

低放射性廢棄物最終處置計畫
執行成果報告
(107 年 8 月至 108 年 1 月)
修訂二版

台灣電力公司
108 年 6 月

目 錄

第一章	前言	1
第二章	處置技術建置計畫	10
第三章	處置設施選址計畫	21
第四章	民眾溝通專案計畫	30
第五章	綜合檢討與建議	42
附錄一、	低放射性廢棄物最終處置技術建置計畫 107 年 度執行成果摘錄	
附錄二、	成果報告審查意見	

摘要

「放射性物料管理法」第 29 條規定：放射性廢棄物之處理、運送、貯存及最終處置，應由放射性廢棄物產生者自行或委託具有國內、外放射性廢棄物最終處置技術能力或設施之業者處置其廢棄物；產生者應負責減少放射性廢棄物之產生量及其體積。其最終處置計畫應依計畫時程，切實推動。「放射性物料管理法施行細則」第 36 條規定：低放射性廢棄物產生者或負責執行低放射性廢棄物最終處置者，應於本法施行後一年內，提報低放射性廢棄物最終處置計畫，經主管機關核定後，切實依計畫時程執行；每年 2 月及 8 月底前，應向主管機關提報上半年之執行成果。

本執行成果報告章節內容如下：

第一章、前言，主要摘述有關低放處置計畫之歷程。

第二章、處置技術建置計畫，主要說明持續辦理之各項技術服務案於本階段執行情形。

第三章、處置設施選址計畫，主要說明本階段低放處置設施選址之執行情形。

第四章、民眾溝通專案計畫，主要說明針對 2 處建議候選場址所在鄉「金門縣烏坵鄉」及「臺東縣達仁鄉」，本階段有關民眾溝通工作之執行情形。

第五章、綜合檢討與建議，主要檢討本階段工作之執行情形，及訂定下階段工作之查核點，俾利低放處置計畫順利推動。

附錄一、低放射性廢棄物最終處置技術建置計畫 107 年度執行成果摘錄，主要彙整本階段低放處置相關技術成果，包含「低放射性廢棄物最終處置技術精進計畫」。

附錄二、成果報告審查意見，包含主管機關原能會審查執行成果之審查意見及台電公司答復說明。

第一章 前言

台電公司依據「放射性物料管理法」規定於 92 年 12 月 25 日將「低放射性廢棄物最終處置計畫書」提報原子能委員會(以下簡稱原能會)審查，並於 93 年 1 月 16 日奉准核備。台電公司依據奉核之「低放射性廢棄物最終處置計畫書」(以下簡稱處置計畫書)所規劃時程與作業進行低放射性廢棄物最終處置計畫。

「低放射性廢棄物最終處置設施場址設置條例」(以下簡稱「場址設置條例」)於 95 年 4 月 28 日經立法院院會二、三讀完成立法，並於 95 年 5 月 24 日經總統公布施行，主辦機關(經濟部)於 95 年 6 月 19 日召開研商「場址設置條例」應辦事宜會議，依據該條例第 6 條規定會商主管機關同意，指定台電公司作為低放射性廢棄物最終處置設施選址之作業者(以下簡稱「選址作業者」)；並依該條例第 5 條規定，聘任相關機關代表及各專業領域專家學者組成「低放射性廢棄物最終處置設施場址選擇小組」(以下簡稱「選址小組」)，依條例規定執行處置設施之選址工作。鑑於「場址設置條例」對於選址作業之程序與時限有所規範，台電公司原報奉核定之處置計畫書亦配合修訂，並於 96 年 4 月 26 日奉准核備。

場址設置條例公布施行迄今 10 年餘，於執行過程中，因面臨實務上窒礙難行之情況，例如主辦機關經濟部曾於 98 年 3 月公開上網及陳列「建議候選場址遴選報告」，建議臺東縣達仁鄉南田村及澎湖縣望安鄉東吉嶼二處為建議候選場址，並規劃於 98 年底核定公告建議候選場址。惟因澎湖縣政府於 98 年 9 月將望安鄉東吉嶼劃為澎湖南海玄武岩自然保留區，致選址作業退回至潛在場址篩選階段重新辦理。台電公司因應此一情況，重新檢討處置計畫時程，並依據物管局 2 次審查意見及「低放射性廢棄物最終處置計畫書(修訂二版)」審查會議紀錄修訂，於 101 年 4 月 23 日提陳「低放射性廢棄物最終處置計畫書(修訂二版)Rev.2」請主管機關核備，主管機關於 101 年 5 月 4 日來函同意核備處置計畫書(修訂二版)。

經濟部於 101 年 7 月 3 日核定公告金門縣烏坵鄉及臺東縣達仁鄉兩處建議候選場址後，於 101 年 8 月 17 日函請建議候選場址所在地方政府同意接受

委託辦理公投選務工作。金門縣政府於同年 9 月 26 日函復經濟部，略以：該縣近年各項公職人員選舉之投票率大部分均未過 50%，檢討原因乃離島交通不便，影響外地工作者投票意願，故辦理「縣地方性」低放場址選址公投，恐因交通及投票率門檻因素而不利推動。又謂烏坵鄉投票率如涉鄉公職者高達七、八成，未涉鄉公職者不及 3 成，以該鄉是孤立於 70 海浬外之離島鄉，及人口不及縣總人口 1%，由「縣」公投決定低放場址選址事務，似與「住民自決精神」相背。為符合住民自決精神，為方便低放場址選址作業順遂，建請修法低放場址選址公投以鄉為範疇。另臺東縣政府於同年 10 月 9 日函復表示：「因本縣現階段法規訂定並不完備，且委託辦理地方性公民投票之內容不明確，另考量辦理地方性公民投票選務作業事項繁瑣，仍須與選舉委員會協商取得共識，故尚難協助辦理。」致尚未能完成候選場址之選址作業。後續台電公司參加經濟部於 102 年 3 月 4 日邀集原能會、內政部及中選會召開之「低放射性廢棄物最終處置設施場址公投評估研商會議」討論低放選址相關議題，台電公司將持續配合經濟部指示辦理相關事宜，並持續進行金門及臺東縣之溝通工作，以爭取該兩縣民眾支持。經濟部續於 105 年 5 月 5 日依據立法院第 9 屆第 1 會期經濟委員會第 8 次全體委員會議決議，函請臺東及金門二縣政府同意接受委託辦理法定低放場址地方性公民投票選務工作，分別於 105 年 5 月 18 日、7 月 29 日獲金門縣政府及臺東縣政府回函表示未予同意，後續台電公司將配合經濟部指示持續地方溝通。

為因應公投作業無法依預定時程辦理，主管機關於第 122 次放射性物料管制會議要求台電公司進行「低放射性廢棄物最終處置計畫書(修訂二版)第 10 章替代/應變方案」之強化修正。後續台電公司於 103 年 7 月 30 日將前述替代/應變方案提報主管機關及於 103 年 8 月 19 日將「低放射性廢棄物最終處置計畫書(修訂二版)Rev.3」提送主管機關審查，並於 103 年 9 月 9 日獲主管機關核備。另，主管機關亦多次函請主辦機關自行辦理公投，主辦機關評估自行辦理公投之可行性不高，於 103 年 7 月 5 日以經營字第 10500618530 號函，說明自辦公投有窒礙難行之處，原因包括有「球員兼裁判」之嫌，公投選務動員之人力、物力龐大，在無選務經驗情況下，稍有不慎極易衍生公投無效之議等。依據低放射性廢棄物最終處置計畫書(修訂二版)Rev.4，台電公司本階段應已

取得建造執照及進行施工階段等工作，由於選址主辦機關經濟部對於辦理公投時程仍未確定，主管機關原能會於 103 年 1 月 17 日函請經濟部督導台電公司，就低放射性廢棄物最終處置計畫提出替代應變方案，後續台電公司依據主管機關 104 年 11 月 26 日召開之放射性物料臨時管制會議紀錄決議事項 1.(1)「台電公司應於 105 年 3 月底前提報低放處置計畫之強化執行措施，另應切實檢討修訂處置計畫書，依法持續進行選址作業」，於 105 年 3 月 29 日提送低放最終處置計畫之強化執行措施。主管機關則於 105 年 4 月 12 日發函要求台電公司參酌強化執行措施內容，依據放射性物料管理法施行細則第 36 條第 2 項規定，敘明理由及改正措施，檢討修正低放射性廢棄物最終處置計畫，並於 105 年 6 月 15 日前提報。台電公司考量選址公投時程仍具高度不確定性，重新審視時程規劃，將選址主辦機關經濟部依據「場址設置條例」辦理選址作業之時程，與核定候選場址後之作業時程分開規劃，於 105 年 6 月 15 日提報「低放射性廢棄物最終處置計畫書(修訂三版)」，函請主管機關核備。主管機關於 105 年 6 月 28 日函復審查意見，不同意時程規劃採浮動方式呈現，並要求「自核定建議候選場址起，於 51 個月完成各項選址任務，擬具明確時程規劃。」台電公司考量選址作業現況，因新增法規與現行法規修訂將造成後續選址作業時程增加，以審查意見規劃選址時程，將不切實際。故僅參照其它意見修訂后，於 105 年 7 月 26 日將「低放射性廢棄物最終處置計畫書(105 年修訂版)」提送主管機關審查。主管機關於 105 年 8 月 19 日函復審查意見，仍是不同意採浮動時程規劃。惟台電公司考量選址作業現況，若依審查意見自核定建議候選場址起，於 51 個月完成各項選址任務，即應於 105 年 10 月完成選址公投、場址調查、環境影響評估等任務，為不切實際之規劃，故仍以浮動時程規劃於 105 年 9 月 14 日提報「低放射性廢棄物最終處置計畫書（105 年修訂 2 版）」。

主管機關於 105 年 10 月 5 日函復審查意見，要求台電公司於 105 年底前提報替代/應變計畫具體實施方案，並重新綜合檢討處置計畫時程後，併同提報低放射性廢棄物最終處置計畫書(105 年修訂 3 版)，惟台電公司考量選址作業現況，有關時程規劃仍維持修訂 2 版之規劃，並將替代/應變計畫具體實施

方案納入「低放射性廢棄物最終處置計畫書(105 年修訂 3 版)」，於 105 年 12 月 27 日以電核能部核端字第 1050018039 號函提報主管機關核備。

主管機關於 106 年 3 月 2 日就處置計畫書函復意見，不同意處置設施選址時程與應變方案(集中式貯存)時程採浮動時程規劃，並要求應於其給定時程內完成，否則依法裁罰。有關低放處置意見部分，因台電公司非選址法定權責機構，對於選址的方式與進度無實質的掌控權，主辦機關經濟部依循「場址設置條例」辦理選址公投，函請 2 處建議候選場址所在縣政府同意接受委託辦理選址地方公投選務工作，惟均未獲得同意，其主要癥結在於「場址設置條例」未強制規定地方政府應配合辦理公投選務工作，且以全縣公投決定低放建議候選場址所在鄉是否願意成為低放場址，違背住民自決精神，以致於無法辦理選址公投。因此，在場址未確定前，台電公司實無法依照原低放處置計畫書持續推動最終處置設施的建置，為不影響後續計畫的規劃，僅能先以相對時程規劃後續的作業期程。

有關應變方案意見部分，台電公司考量行政院國家永續發展委員會 105 年 11 月 3 日之決議，在該委員會架構下成立「非核家園推動專案小組」(非核小組)，該小組設置要點草案載明其議題範圍包括「核廢料處理、貯存及處置」、「蘭嶼低階核廢料貯存場遷場」，非核小組將邀請民間團體、在地居民及專家學者共同參與，以尋求社會共識。此外，原能會 106 年 1 月 11 日召開「低放射性廢棄物最終處置計畫替代/應變方案之具體實施方案」及「蘭嶼貯存場遷場規劃報告」審查會之會議結論第(一)項第 4 點要求台電公司參照經濟部 105 年 11 月 21 日經營字第 10502616430 號函，將本案提送經濟部轉行政院國家永續發展委員會「非核家園推動專案小組」研議，尋求最佳可行方案，並依研議結果修正本應變方案後，再提報原能會。故本案之推動時機與時程需俟行政院與經濟部核定後，依核定之計畫啟動。

基於上述考量處置計畫書仍採浮動時程規劃，台電公司於 106 年 5 月 2 日函請主管機關續審「低放射性廢棄物最終處置計畫書(105 年修訂 3 版)」，惟主管機關 106 年 5 月 18 日會物字第 1060006710 號函說明台電公司未依主管機關審查意見訂定具體明確時程，依舊堅持採用浮動時程之概念而未見改善，有

達「放射性物料管理法」第 29 條精神，故礙難同意。請台電公司於 106 年 5 月 31 日前依審查結論修訂低放射性廢棄物最終處置計畫並提送主管機關核定。

台電公司於 106 年 5 月 31 日函復主管機關審查結論說明「台電公司依照『放射性物料管理法』，執行低放射性廢棄物最終處置作業，目前進入選址階段，係依據 95 年公布『低放射性廢棄物最終處置設施場址設置條例』，協助選址主辦機關經濟部辦理選址作業，完成 2 處建議候選場址之核定公告，後續將依公投選出之候選場址，繼續完成最終處置計畫。因公投時程非本公司權責，致最終處置計畫後續工作之時程需俟公投選出候選場址後再做調整；依據主管機關於 106 年 1 月 17 日函送『低放射性廢棄物最終處置計畫替代/應變方案之具體實施方案』及『蘭嶼貯存場遷場規劃報告』審查會議紀錄，會議決議(一)4 之要求，已於 106 年 3 月 3 日將『放射性廢棄物最終處置應變方案(集中式貯存)推行初步規劃書』報請經濟部核轉行政院國家永續發展委員會『非核家園推動專案小組』審議，故本案之推動時機與時程將俟該小組做出決策後，台電公司將配合辦理相關事宜。敬請原能會續審『低放射性廢棄物最終處置計畫書(105 年修訂 3 版)』」。

主管機關於 106 年 6 月 5 日會物字第 1060007437 號函提出「因台電公司未依放射性物料管理法第 29 條之意旨，提出具體明確之計畫時程，故礙難同意低放射性廢棄物最終處置計畫書(105 年修訂 3 版)。原核定之『低放射性廢棄物最終處置計畫書(修訂二版)』持續有效，台電公司仍應依其切實執行。」

台電公司考量國內社會現實情況，以及低放處置計畫書(修訂二版)已與現況脫節等因素，於 106 年 9 月 6 日以電核能端字第 1068075668 號函提報「低放射性廢棄物最終處置計畫書(105 年修訂 4 版)」，送主管機關審查。原能會於 106 年 10 月 20 日會物字第 1060013748 號函仍表示處置計畫書採浮動時程，故礙難同意。

本計畫每半年執行成果報告係依「放射性物料管理法施行細則」第 36 條規定提報及依原能會物管局審查 101 年 2 月~101 年 7 月執行成果報告之意

見，將半年執行成果報告之章節架構調整為「前言」、「處置技術建置計畫」、「處置設施選址計畫」、「民眾溝通專案計畫」及「綜合檢討與建議」等章節。

本階段（107 年 8 月至 108 年 1 月）執行「處置技術建置計畫」部分，除延續各項執行中之計畫外，台電公司於執行「低放射性廢棄物最終處置技術發展整合規劃與評估」案期間，於 105 年完成「低放射性廢棄物最終處置技術評估報告(LLWD 2016 報告)」(以下簡稱「LLWD 2016 報告」)國際同儕審查。國際同儕審查委員肯定該報告針對安全性議題提出適當的重點說明，若場址選定後，國內將具備充足技術完成低放射性廢棄物最終處置場的建置；另，國際同儕審查委員亦針對低放處置技術之未來發展提出建議。「LLWD 2016 報告」於 106 年經物管局審查後，審查委員亦就低放處置技術之未來發展提出建議。台電公司彙整上述建議，及依據「低放射性廢棄物最終處置技術建置計畫」之技術發展規劃，及台電公司參照主管機關物管局審查「LLWD 2016 報告」提出之審查意見及依據「低放射性廢棄物最終處置技術建置計畫」，持續辦理「低放射性廢棄物最終處置技術精進計畫」，期能精進低放射性廢棄物最終處置相關技術與分析能力，為銜接未來低放處置場之場址調查、設施設計與安全分析作業所需。

台電公司亦針對低放貯存場自產廢棄物與超 C 類固化桶進行整桶計測作業，並且進一步針對難測核種活度值異常之超 C 類桶進行取樣分析，用以提升低放射性廢棄物分類計算結果之可靠度，並針對自產廢棄物適用之處置方式進行研究，辦理「低放貯存場低放射性廢棄物計測暨取樣分析技術服務」，俾利低放最終處置計畫。

「處置設施選址計畫」部分，則依據低放射性廢棄物最終處置 107 年度工作計畫(修訂 2 版)及配合主辦機關經濟部辦理公投之民眾溝通工作。「民眾溝通專案計畫」部分，則依據 107 年度「低放選址地方溝通工作計畫」執行相關工作，包括金門縣本島及臺東縣達仁鄉之鄰近鄉各村落逐戶拜訪、金門縣與臺東縣地方媒體溝通宣導與機關社團溝通宣導活動，以及辦理全國性廣告文宣製作等工作。另並於低放貯存場辦理相關公眾溝通工作等。本階段(107 年 8 月至 108 年 1 月)相關工作及執行計畫項目與查核點表列如下：

一、主管機關指示事項

計畫名稱/工作項目	查核點	查核項目/查核情形說明
低放射性廢棄物最終處置 108 年度工作計畫	107 年 10 月	主管機關物管局 101 年 3 月 26 日「低放射性廢棄物最終處置計畫書(修訂二版)審查會議」會議紀錄決意事項第 5 項，台電公司應於每年 10 月底前提報次年度之工作計畫 / 已於 107 年 10 月 11 日提送報告初稿。

二、處置技術建置計畫

計畫名稱/工作項目	查核點	查核項目/查核情形說明
(一)整合性計畫		
低放射性廢棄物最終處置 技術精進計畫	107 年 8 月 ~108 年 1 月	每月提報工作月報 / 承商每月均按時提出，符合計畫工作要求
(二)場址調查評估		
場址特性調查計畫		併入「低放射性廢棄物最終處置技術精進計畫」進行
(三) 安全/功能評估		
低放貯存場低放射性廢棄物計測暨取樣分析技術服務		本案已於 106 年 12 月決標，後續工作將配合低放貯存場「提升蘭嶼貯存場營運安全實施計畫」正式動工後，再行啟動。

三、處置設施選址計畫

計畫名稱/工作項目	查核點	查核項目/查核情形說明
-----------	-----	-------------

低放選址作業資訊	107 年 10 月	提報選址作業資訊 / 於 107 年 10 月 12 日提報 107 年第 3 季選址作業資訊送國營會公布在主辦機關網頁
	108 年 1 月	提報選址作業資訊 / 於 108 年 1 月 10 日提報 107 年第 4 季選址作業資訊送國營會公布在主辦機關網頁

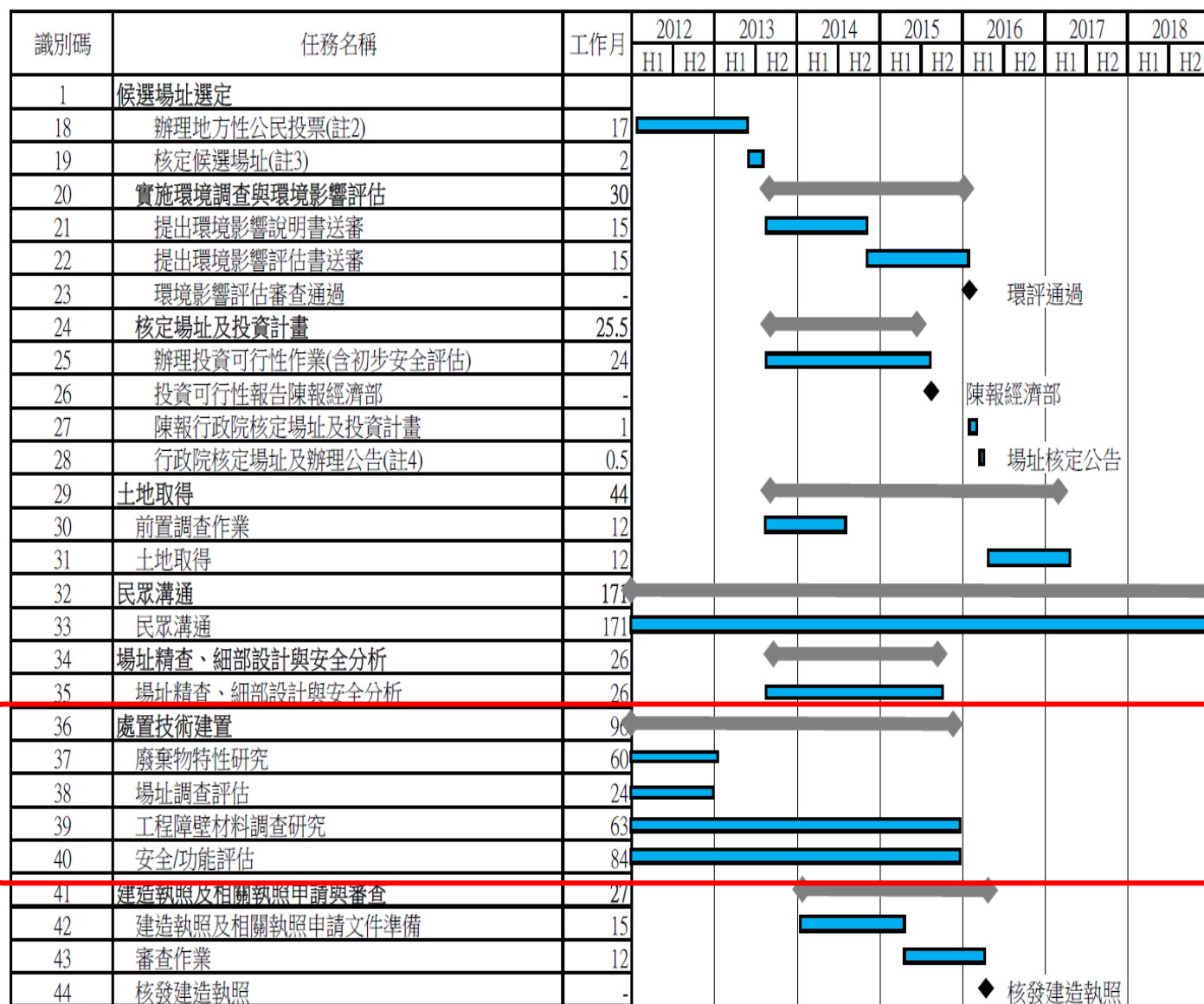
四、民眾溝通專案計畫

計畫名稱/工作項目	查核點	查核項目/查核情形說明
低放選址地方溝通計畫	108 年 1 月	彙整地方公眾溝通紀錄

本階段依「低放射性廢棄物最終處置計畫書(修訂二版)」規劃時程，應辦理項目之執行現況及改善說明於第五章、綜合檢討與建議中列表說明。

第二章 處置技術建置計畫

有關處置技術建置計畫之時程規劃，因主辦機關尚未選定候選場址，致後續相關任務包括處置技術建置之時程均需調整。台電公司已提送「低放射性廢棄物最終處置計畫書(105 年修訂 4 版)」，惟主管機關函復該計畫書之修訂礙難同意，目前則仍暫時延用「低放射性廢棄物最終處置計畫書(修訂二版)」所規劃之時程，圖示如下：



目前低放射性廢棄物最終處置計畫仍屬選址階段，國內低放射性廢棄物處置場址概念設計規劃與初步安全評估技術已具雛形，後續將持續逐步精進所需技術與相關考量項目。

一、過往執行成果重點

低放處置計畫相關工作成果表列如下：

工作項目	辦理情形	成果
廢棄物接收規範	已完成廢棄物接收規範(0版)，並於 97 年 6 月 6 日奉主管機關備查。	將持續精進更新，配合處置場設計作業之執行，進行相關細節之修訂與增訂。
低放射性廢棄物最終處置設施概念設計	台電公司已於 102 年 8 月底前完成「低放射性廢棄物最終處置設施概念設計(C 版)」報告更新版及自主管理審查，更新內容包括處置場接收廢棄物總活度與數量更新、重裝容器之廢棄物特性分析及重裝容器之處置概念設計更新等。	將持續精進更新，本報告已併入「低放射性廢棄物最終處置技術發展整合規劃與評估」案執行。
低放射性廢棄物最終處置設施功能模擬評估	台電公司已於 102 年 8 月底前完成「低放射性廢棄物最終處置設施功能模擬評估(C 版)」報告更新版及自主管理審查，更新內容包括處置場接收廢棄物數量更新、原安全分析成果更新、重裝容器之廢棄物特性分析等。	將持續精進更新，本報告已併入「低放射性廢棄物最終處置技術發展整合規劃與評估」案執行。
低放射性廢棄物最終處置計畫(規劃階段)專案品質保證計畫	「低放射性廢棄物最終處置計畫(規劃階段)專案品質保證計畫(修訂 7 版)」已於 106 年 4 月 13 日主管機關物三字第 1060001037 號函同意備查。	「低放射性廢棄物最終處置計畫(規劃階段)專案品質保證計畫(修訂 7 版)」已於 106 年 4 月 13 日獲主管機關同意備查，作為各相關技術發展計畫之品保作業依據。 將每年定期檢討，未來若有修正時，將提報主管機關審查。

有關台電公司過去(至 107 年 7 月)已完成之低放處置相關研究發展案表列如下：

計畫名稱	起迄年度	研究成果摘要
建立低放射性廢棄物核種資料庫及分類	87.12~88.9	參考美、日核能先進國家法規與技術經驗，同時依物管局發函實施之「低放射性廢料分類補充規定」，衡量國內低放射性廢料產生、處理、貯存現況，研擬規劃作為日後履行法規及執行技術之藍圖，為未來低放射性廢料分類、最終處置建立執行模式。
建立低放射性廢棄物核種資料庫及分類	91.2~94.12	本計畫內容涵蓋電腦篩選廢棄物源代表桶、蘭嶼貯存場大規模開蓋取樣計測廢棄物桶、核種放射化學分析、國內首座檢整廢棄物桶，並利用 Excel 試算表進行廢棄物桶的分類試算，建立諸多方法與技術經驗。
蘭嶼貯存場廢棄物桶核種濃度評估計算與分類資料庫建立（第一期）	97.1~99.1	蘭嶼貯存場貯放早期產生之固化廢棄物，因核種資料欠缺或不完整，無法依法規要求進行分類，需配合檢整作業，完成整桶加馬活度計測、廢棄物桶分類。第一期完成 19,785 桶之核種分析及分類。
微生物對低放射性廢棄物最終處置之水泥固化體及工程障壁分解效應定量評估	97.12~99.12	本研究針對台灣之海島氣候環境，在微生物對低放射性廢棄物 (LLRW) 處置之水泥固化體及廢棄物桶材等工程障壁的分解效應進行量化評估，瞭解微生物對水泥固化體與廢棄物桶材之生物降解效應，以建立微生物對本土 LLRW 處置場工程障壁穩定性功能評估參數。
低放射性廢棄物最終處置射源項管理系統	98.11~100.11	參考 IAEA 標準與物管局建議規範，及配合最終處置場設計與功能評估工作需要，完成台電公司低放射性廢棄物相關單位(包括核一廠、核二廠、核三廠以及核後端處)資訊管理系統的建置，建立符合國內現況的低放射性廢棄物整合資料庫，可方便操作提高管理工作效率，以期順利完成申請建造執照作業。

低放射性廢棄物最終處置潛在場址特性資料分析管理系統規劃建置與應用	100.1~101.4	本計畫主要是利用已完成之相關研究與調查報告，建立符合物管局建議所需之場址地質調查技術及參數資料庫。為因應未來低放射性廢棄物最終處置候選場址選定後，適時銜接場址調查作業之準備。所建立之資料庫包含：地質資料庫、文件搜尋與管理系統設計與建置、地質資料 GIS 系統、三維地質模型建置分析與評估及展示系統等。
低放射性廢棄物難測核種分析技術精進	100.1~102.1	本計畫配合目標核種適合儀器之前處理技術開發及改良，搭配不同放射性核子儀器度量技術，進行方法開發、測試及實際樣品分析，並作相互比較以確認方法正確性及結果可信度，可應用於低放射性水泥固化體分析。
蘭嶼貯存場廢棄物桶核種濃度評估計算與分類資料庫建立(第二期)	99.1~103.1	本計畫完成蘭嶼貯存場水泥固化桶、重新固化桶、柏油固化桶及固化重裝容器之分類工作，及建立蘭嶼貯存場廢棄物桶核種濃度計算與分類結果電腦資料庫。
耐 100 年結構完整性之混凝土處置容器研究	99.9~102.9	本計畫以建立混凝土品質檢驗技術、耐久性評估技術、模具拆裝設計、容器結構完整性檢驗技術、混凝土雙軸式攪拌系統工程設計與建造能力，以及容器製作，達成一般容器使用申請及耐 100 年結構完整性之混凝土處置容器使用申請為主要工作成果。
低放射性廢棄物最終處置工程障壁中緩衝回填材料調查評估技術服務工作	102.1~104.1	本計畫完成後，可瞭解國際現有低放處置場之工程障壁材料之力學及化學等特性；並得到台灣本土可作為工程障壁材料之料源調查結果，提出適合台灣低放射性廢棄物最終處置場之工程障壁材料種類、力學、化學及回填材料與緩衝材之配比結果。

低放射性廢棄物潛在場址之微生物核種吸附與工程障壁腐蝕安全影響評估	101.8~104.8	本工作計畫就本土海島氣候環境，建立建議候選場址之本土微生物資料，進行微生物影響安全性評估。包括取得建議候選場址之本土微生物、測試其對核種之吸附能力、於緩衝材料中之生長能力、對低放射性廢棄物水泥固化體及廢棄物桶等工程障壁之分解效應，以評估對低放射性廢棄物最終處置建議候選場址之使用年限安全穩定性及可能造成環境影響之衝擊性。
低放射性廢棄物最終處置設施功能評估	102.8.9~105.7.23	本案工作目標為對於放射性核種在低放處置設施近場混凝土障壁及緩衝回填材料，遠場處置母岩及地質圈所形成之多重障壁系統中的傳輸途徑，進行整體分析研究，進而評估生物圈所接收的輻射劑量與風險，以確保低放射性廢棄物最終處置場設立不會對周圍生物圈造成輻射影響。
低放射性廢棄物資料庫系統精進案	103.12~105.12	本案工作內容，主要為台電公司低放固化桶之分類計算精進，以及強化原有資料庫功能，包含提升資料即時性、納入貯位資料與整桶計測資料、修訂電廠難測核種比例因數計算機制等相關資料庫精進，完成「低放射性廢棄物資料庫系統」。
低放射性廢棄物最終處置技術發展整合規劃與評估	103.9~107.6	本案工作目標為針對我國低放射性廢棄物最終處置之廢棄物特性、場址特性調查、處置設施設計、設施營運、封閉監管與安全分析等處置相關工作項目，說明我國設置低放射性廢棄物最終處置設施所需之各項技術能力，並完成「低放射性廢棄物處置技術評估」報告(LLWD 2016 報告)，並藉由國際同儕審查，提升處置技術評估之公信力，強化民眾與各界對於我國建置低放射性廢棄物最終處置設施之信心。

台電公司執行中計畫前階段(107 年 2 月至 107 年 7 月)執行成果重點表列如下：

計畫名稱	全案期程	工作成果概要
低放射性廢棄物最終處置技術精進計畫	107.3~111.2	依據「LLWD 2016 報告」國際同儕審查委員針對低放處置技術之未來發展提出建議及物管局於 106 年召開「LLWD2016 報告」審查會議，邀請國內專家學者擔任審查委員，亦就低放處置技術之未來發展提出建議。台電公司彙整上述建議，及依據「低放射性廢棄物最終處置技術建置計畫」之技術發展規劃，辦理「低放射性廢棄物最終處置技術精進計畫」技術服務案之採購，本案已於 107 年 3 月完成決標。
低放貯存場低放射性廢棄物計測暨取樣分析技術服務		本計畫於 106 年 12 月 26 日與核能研究所完成議價、決標作業。並於上階段(107 年 5 月 18 日)完成本計畫「專案品質保證方案」及「服務建議書」審查及定稿，預計於低放貯存場「提升蘭嶼貯存場營運安全實施計畫」正式動工後，再行啟動本案計畫。

(一)低放射性廢棄物最終處置技術精進計畫

前階段(107 年 2 月至 107 年 7 月)之工作，台電公司於 105 年完成「LLWD 2016 報告」國際同儕審查。國際同儕審查委員肯定該報告針對安全性議題提出適當的重點說明，若場址選定後，國內將具備充足技術完成低放射性廢棄物最終處置場的建置；另，國際同儕審查委員亦針對低放處置技術之未來發展提出建議。「LLWD 2016 報告」於 106 年經物管局審查後，審查委員亦就低放處置技術之未來發展提出建議。台電公司彙整上述建議，及依據「低放射性廢棄物最終處置技術建置計畫」之技術發展規劃，辦理「低放射性廢棄物最終處置技術精進計畫」，期能精進低放射性廢棄物最終處置相關技術與分析能力。本案已於 107 年 3 月完成決標。

(二)低放貯存場低放射性廢棄物計測暨取樣分析技術服務

前階段(107 年 2 月至 107 年 7 月)之工作，主要工作為 106 年 12 月 26 日完成議價、決標作業，承商並於 107 年 1 月 23 日函送「專案品質保證方案」及「服務建議書」，符合契約期限規定，台電公司會請相關單位/部門協助審查。

二、現階段(半年)執行之具體工作項目與成果

台電公司本階段(107 年 8 月至 108 年 1 月)執行工作，主要工作為持續辦理近年所規劃之低放處置技術相關研究發展案，包括：

(一)「低放射性廢棄物最終處置技術精進計畫」

場址特徵化之工作，本階段已完成選定與我國低放處置建議候選場址母岩環境相似之國際場址、國際場址之場址特徵化資料蒐集、彙整與歸納場址特徵化程序方法與驗證方法、演練水文地質特徵模型建置與驗證程序、提出場址特徵化程序方法與驗證方法等工作，承商並於 107 年 9 月提出「場址特徵化之國際經驗與技術發展」報告。

低放射性廢棄物盛裝容器安全功能特性研究之工作，本階段已完成蒐集與彙整國內已核准之低放射性廢棄物盛裝容器資訊、盛裝容器功能評估與彙整、盛裝容器安全分析建議參數等工作，並於 107 年 12 月提出「低放射性廢棄物盛裝容器安全功能特性研究」報告。

混凝土處置窖材料劣化試驗與模式研究之工作，本階段已完成混凝土處置窖相關劣化現象及分析參數之文獻蒐集、建立各劣化機制與統整各定量試驗、制定合適之混凝土處置窖各劣化試驗程序與檢驗規範、提出混凝土處置窖各劣化模式及安全分析參數等工作，承商並於 107 年 12 月提出「混凝土處置窖材料劣化試驗與模式研究」報告。

處置窖結構安全分析之工作，本階段已完成訂定處置窖各階段配置下載重情境與載重組合、處置窖 3D 模型建置與結構分析、處置窖功能性與安全性整體評估等工作，承商並於 107 年 12 月提交「處置窖結構安全分析」報告。

國際間處置場監管研究之工作，本階段已完成蒐集與彙整國際原子能總署(International Atomic Energy Agency, IAEA)、日本中深度處置和美國核廢料隔離先導型處置設施(Waste Isolation Pilot Plant, WIPP)的監管措施、依據我國 2 處建議候選場址的場址特性與概念設計規劃主動監管與被動監管之項目與措施，以及根據廢棄物特性評估主動監管期限等工作，承商並於 107 年 9 月提出「低放射性廢棄物處置設施之監管研究」報告，上述相關成果說明詳見附錄。

核種吸附實驗之工作，本階段係已依照 ASTM D4319 標準方法，完成混凝土材料與 2 處建議候選場址之母岩，於 2 處建議候選場址水質環境下，對 Co、I、Ni、Cs 的吸附特性實驗，並初步得知材料吸附 Co 的情形較其他核種明顯。而 Sr 和 C 核種的吸附實驗仍持續進行中，同時也將持續彙整國內外相關文獻，藉此探討環境因素對材料的吸附特性影響。

膨潤土參數實驗與界面特性分析之工作，本階段已執行之工作內容包括文獻蒐集、膨潤土採購、取得場址現地砂石、訂製試驗所需模具，以及利用壓製法、澆置法和夯實法等 3 種施工方法製作試體，並進行抗壓強度、彈性模數、水力傳導度等相關特性試驗。其中已完成部分的特性實驗，後續將持續進行相關特性實驗，並依據實驗結果研擬各施工方法的最佳施工流程、控制變因與保存環境等。

低放處置需求管理系統(以下簡稱 RMS 系統)之工作，可分為處置需求管理系統和處置需求管理系統操作與維護手冊(含系統程式碼)、特徵/事件/作用資料庫、場址特性參數資料庫等 3 部分，分別說明如下：

1. 處置需求管理系統和處置需求管理系統操作與維護手冊(含系統程式碼)

本階段執行之工作主要為蒐集與彙整日本、瑞典於處置事業階段的 RMS 主要功能、架構、開發過程、各階層需求與需求內容，並配合我國低放射性廢棄物處置計畫書之工作規劃，研擬適合我國之低放處置 RMS 架構，包含原始需求、功能需求、設計需求三大階層，以及與其對應之 L1 至 L5 架構、來源、定義、內容。另外，亦針對 L1 和 L2 研擬需求內容。

2. 特徵/事件/作用資料庫

本階段執行之工作主要為蒐集與彙整瑞典 SKB 和美國 NUREG-2175 有關 FEPs 的文獻資料，研析 FEPs 資料庫之應用、FEP 表單篩選方法，並參考蒐集所得之資料，設計適於我國低放處置的 FEPs 表單，規劃 FEPs 表單的篩選方法與途徑。

另外，於 107 年 12 月 28 日邀集國立台灣大學土木工程系所詹穎雯教授、國立中央大學土木工程系所黃偉慶教授、國立海洋大學材料工程研究所楊仲家教授、中興工程顧問公司余信遠博士、中興工程顧問公司

梁智信博士等學者專家，於中興公司辦理 107 年國內專家會議，針對工程障壁劣化之 FEPs 表單篩選結果進行檢核。

3. 場址特性參數資料庫

本階段執行之工作主要為蒐集與彙整美國 NUREG-2175 之場址穩定性分析文獻，探討應分析之場址特性，並重新檢視 LLWD 2016 報告的 13 項場址特性參數，將其依地質環境、生物環境、水文地質、地球化學等 4 大模型進行分類。

另，107 年 10 月 26 日台電公司赴中央大學針對低放處置技術議題與物管局審查委員進行溝通說明，技術議題包括岩層裂隙地下水傳輸評估技術、吸附試驗規劃、RMS 系統規劃說明。

本案至 108 年 1 月底已完成全案約 39.07%，工作項目及進度皆符合原訂目標。

(二)低放貯存場低放射性廢棄物劑測暨取樣分析技術服務

本案工作目標針對低放貯存場自產廢棄物與超 C 類固化桶進行整桶計測作業，並且進一步針對難測核種活度值異常之超 C 類桶進行取樣分析，用以提升低放射性廢棄物分類計算結果之可靠度，並針對自產廢棄物適用之處置方式進行研究，俾利低放最終處置計畫。主要之工作項目包括：

1. 針對低放貯存場自產廢棄物進行整桶計測作業
2. 針對低放貯存場 138 桶超 C 類固化桶，進行整桶計測作業以及進行取樣作業
3. 針對前項工作中自超 C 類固化桶所取之樣品，進行難測核種放化分析作業，並依分析結果建立難測核種比例因數
4. 依據低放貯存場自產廢棄物整桶計測作業成果，進行低放貯存場自產廢棄物分類計算及處置方式之研究
5. 依據低放貯存場超 C 類固化桶之整桶計測作業與取樣分析結果，進行低放固化桶之分類計算精進研究

本案於 106 年 12 月 26 日與核能研究所完成議價、決標作業。本階段(107 年 8 月至 108 年 1 月)執行工作，主要與低放貯存場相關人員及該案承攬商，共同會商兩案相關介面之協調及相互配合事項。低放貯存場已於本階段完成「提升蘭嶼貯存場營運安全實施計畫」之招標，並開始進行各類桶取出重裝作業，本案需待標的物由壕溝中取出並存放至鋼構廠房 B 棟後，方可進行超 C 類桶及自產廢棄物之整桶計測及超 C 類桶取樣等相關工項，預計於低放貯存場通知上述作業完成後，再行通知承商開工。

(三)低放射性廢棄物最終處置計畫(選址階段)專案品質保證計畫

低放專案品質保證計畫本階段(107 年 8 月至 108 年 1 月)工作計畫執行檢討如下：

1. 本品保計畫係適用於「選址階段」，而低放處置計畫目前仍是處於此階段，故本品保計畫仍適用。
2. 主辦部門於執行低放處置計畫時，皆能依循本專案品質保證計畫，確保作業品質；107 年度台電公司於 107 年 8 月對承商辦理核安品質稽查及 11 月辦理內部稽查，台電公司已就稽查建議事項完成改正措施。
3. 本品保計畫已依第 2 章規定每年檢討 1 次，並依據物管局意見修訂完畢，修訂第 8 版物管局已於 107 年 4 月 9 日以物三字第 1070000851 號函同意備查，未來將於 108 年 4 月重新辦理檢討送物管局備查。

三、執行成效、檢討及下階段工作要項

本階段(107 年 8 月至 108 年 1 月)工作執行成效與檢討：

計畫名稱	執行成效與檢討
低放射性廢棄物最終處置技術精進計畫	1. 承商於 107 年 9 月底提送「場址特徵化之國際經驗與技術發展」及「低放射性廢棄物處置設施之監管研究」報告初稿，執行成果詳附錄。 2. 承商於 107 年 12 月底提送「低放射性廢棄物盛裝容器之安全功能特性研究」、「混凝土處置窖材

	料劣化試驗與模式研究」及「處置窖結構安全分析」報告初稿，執行成果詳附錄。 3. 承商於 108 年 1 月底提送「低放處置設施工程障壁設計功能」及「低放處置設施工程障壁設計規範」報告初稿，惟因報告尚在審查，並未摘錄於附錄。
低放貯存場低放射性廢棄物計測暨取樣分析技術服務	本計畫於 106 年 12 月 26 日與核能研究所完成議價、決標作業。本階段主要與低放貯存場相關人員及該案承攬商，共同會商兩案相關介面之協調及相互配合事項，預計於低放貯存場通知上述作業完成後，再行通知承商開工。
低放射性廢棄物最終處置計畫(選址階段)專案品質保證計畫	107 年度台電公司將辦理公司內部稽查，及對承商辦理品質巡查及核安稽查。未來台電公司亦將依據「低放射性廢棄物最終處置計畫(選址階段)專案品質保證計畫」，持續辦理相關品質稽查作業。

台電公司下階段(108 年 2 月-108 年 7 月)，主要將持續辦理現階段執行之各項計畫，並將依據「低放射性廢棄物最終處置技術建置計畫」之規劃辦理相關技術精進作業。

第三章 處置設施選址計畫

低放射性廢棄物最終處置計畫於選址過程中，應執行之工作內容包括選址公投、場址調查及環境影響評估等工作。本階段(107 年 2 月至 107 年 7 月)因尚無法辦理選址公投，未能選定候選場址，致相關後續作業仍無法執行。

一、過往執行成果重點

場址設置條例於 95 年 5 月 24 日公布施行後，主辦機關經濟部依條例第 6 條規定會商主管機關同意，於 95 年 7 月 11 日指定台電公司為選址作業者，依條例規定選址作業者須提供選址小組有關處置設施選址之相關資料，並執行場址調查、安全分析、公眾溝通及土地取得等工作，台電公司並配合主辦機關辦理選址相關事項及依條例第 20 條規定接續辦理原依放射性物料管理法等相關法規執行低放射性廢棄物最終處置計畫之選址工作。

場址設置條例第 7 條規定「選址小組應於組成之日起六個月內，擬訂處置設施選址計畫，提報主辦機關」，台電公司作為選址作業者乃依經濟部指示於 95 年 10 月 31 日研提「低放射性廢棄物最終處置設施場址選址計畫」草案陳報經濟部國營會，送請選址小組審查，並遵照選址小組審查意見於 95 年 12 月 28 日將修訂之選址計畫草案再送國營會，經濟部續於 96 年 1 月 25 日召開選址小組第 2 次委員會議進行討論，台電公司遵照委員意見修訂完成選址計畫，由選址小組依前述規定提報主辦機關經濟部，經濟部則於 96 年 3 月 21 日將選址計畫刊登於行政院政府公報並上網公告 1 個月，並經會商主管機關及相關機關意見後，核定於 96 年 6 月 20 日生效。

經濟部依據場址設置條例完成選址計畫公告與核定後，選址小組則依據場址設置條例與選址計畫，以台灣全部地區為範圍進行潛在場址篩選，首先依據場址設置條例第 4 條規定及原能會發布之「低放射性廢棄物最終處置設施場址禁置地區之範圍及認定標準」與其他法規規定之禁止與限制開發條件，篩選出符合之可能潛在場址，再由選出之可能潛在場址依環境接受度、接收港條件、陸運環境、處置場設施所需空間、特殊地質條件以及處置方式等因子進行評量，評選出較佳之可能潛在場址。台電公司除提供選址小組前述有關處置設

施選址之相關資料外，並執行選址小組 96 年 10 月 23 日第 4 次委員會議初步同意之可能潛在場址其地球化學條件(地下水體氫離子濃度指數與地質介質對鈷及銻之分配係數)調查及分析，以作為選址小組票選潛在場址之參考依據。

主辦機關經濟部於 97 年 8 月 19 日召開選址小組第 8 次委員會議票選潛在場址，選址小組針對評量較佳之可能潛在場址，再考量相關因子評量結果後，順利票選出「臺東縣達仁鄉」、「屏東縣牡丹鄉」及「澎湖縣望安鄉」等 3 處潛在場址，並將票選結果提報經濟部，經濟部於 97 年 8 月 29 日核定公告。

台電公司續依經濟部規劃之選址作業期程，積極辦理建議候選場址遴選作業相關配合工作，如配合辦理選址小組委員於 98 年 2 月 9、10 日赴臺東縣達仁鄉、屏東縣牡丹鄉等 2 處潛在場址現勘及依 98 年 1 月 20 日選址小組第 10 次委員會議結論修訂「建議候選場址遴選報告」，於 98 年 2 月 13 日完成「建議候選場址遴選報告(修訂版)」供選址小組委員參考，選址小組於 2 月 20 日召開第 11 次委員會議，票選結果建議以「臺東縣達仁鄉」與「澎湖縣望安鄉」為建議候選場址，台電公司並依票選結果及該次會議決議完成「建議候選場址遴選報告」定稿本送選址小組委員確認，選址主辦機關經濟部於 98 年 3 月 17 日依法將「建議候選場址遴選報告」公開上網及陳列 30 日(期間自 98 年 3 月 18 日起至 4 月 16 日止)。

公告期間經濟部共收到各界意見 140 件，其中有條件贊成者 1 件、涉及法律層面意見者 4 件、不具理由反對者 37 件及具理由反對者 98 件。主管機關原能會於 98 年 5 月 25 日發函經濟部洽前述各界意見之答覆情形，並請經濟部將各界意見答覆初稿會商相關機關，經濟部於 6 月 1 日函復原能會將督導台電公司積極辦理，故後續台電公司依據經濟部彙整各界意見之來函，研擬答覆初稿於 6 月 18 日函復國營會轉陳經濟部。經濟部於 7 月 9 日將各界意見會商主管機關原能會及相關機關，另指示台電公司研擬答覆原能會對建議候選場址遴選報告各界意見答覆初稿之評議意見並修訂答覆初稿內容，台電公司完成後於 7 月 30 日函復國營會轉陳經濟部。經濟部並於會商主管機關與各相關機關意見後於 11 月 12 日逐項答復意見採納情形。

台電公司於莫拉克颱風(98 年 8 月 8 日)後，前往台灣本島東南部潛在場址與其他較佳可能潛在場址勘查，並於 9 月 18 日研提勘查評估報告陳報主管機關，經勘查確認場址範圍內未曾遭受地層崩塌滑動、侵蝕、洪水、土石流等災害，勘查評估結果顯示，前述場址地區環境相對穩定，並未受到豪雨之不利影響，場址評選時將地質、水文等因素納入考量，評估結果正確性獲得驗證。

經濟部原規劃於 98 年 12 月底前核定公告「建議候選場址」，惟因澎湖縣政府於 98 年 9 月 15 日公告將望安鄉東吉嶼大部分私有土地一併納入為「澎湖南海玄武岩自然保留區」，並經該管主管機關行政院農業委員會於 9 月 23 日核備。依「文化資產保存法」規定，該保留區禁止改變或破壞其自然狀態，造成僅存 1 處「臺東縣達仁鄉」場址之情況，嗣經經濟部函請原能會釋明應核定公告 2 處以上「建議候選場址」，方符合「場址設置條例」規定，致未能依原訂規劃期程於 98 年 12 月底前辦理核定及公告作業。經濟部於 99 年 1 月 26 日召開選址小組第 12 次委員會議，研商補足「建議候選場址」之處理方案，經委員決議將選址作業退回至潛在場址篩選階段重新辦理。後續選址小組於 3 月 8 日第 13 次會議，經檢視相關法規條文修訂及法規公告區域更動情形，確認其餘可能潛在場址仍符合資格，並同意新增 1 處較佳可能潛在場址；於 5 月 31 日召開第 14 次會議討論選址作業提報各較佳可能潛在場址之調查資料與評比說明，99 年 7 月 13、15 日並至新增之較佳可能潛在場址勘查。

經濟部於 99 年 9 月 1 日召開選址小組第 15 次會議，經出席委員三分之二以上之投票同意，票選出「臺東縣達仁鄉」、「金門縣烏坵鄉」等 2 處潛在場址，經濟部並於 9 月 10 日公告。台電公司即就公告之 2 處潛在場址辦理場址遴選作業資料蒐集與彙整，並沿用或更新社經因素、場址環境因素與工程技術因素等評量因子之資訊，就各潛在場址特性進行評量，分析說明評估結果，並依 100 年 2 月 25 日選址小組第 16 次委員會議結論修訂「建議候選場址遴選報告」。經濟部續於 3 月 21 日召開選址小組第 17 次會議，經出席委員三分之二以上之投票同意，票選建議「臺東縣達仁鄉」與「金門縣烏坵鄉」為建議候選場址，台電公司則依票選結果及該次會議決議完成「建議候選場址遴選報

告」定稿本送選址主辦機關，經濟部於 100 年 3 月 29 日依法將「建議候選場址遴選報告」公開上網及陳列 30 日(期間自 3 月 29 日起至 4 月 27 日止)。

「建議候選場址遴選報告」公開上網及陳列期間，經濟部共收到 13 件(76 項)意見，其中具理由反對有 11 項，提出建議意見有 12 項，提出質疑意見有 53 項。台電公司依據經濟部彙整各界意見來函，研擬意見答復初稿於 100 年 5 月 23 日函復國營會，國營會於 6 月 1 日函示，鑒於日本福島核電廠事故後，社會各界關切核能安全議題，請台電公司就核安相關意見併同「核能電廠安全防護總體檢評估報告」重擬相關答復資料。台電公司遵照指示及參照「核能電廠安全防護總體檢評估報告」內容，補充相關答復資料於 100 年 7 月 8 日提報國營會，由國營會洽商主管機關與相關機關(包含選址小組票選建議之建議候選場址所在之地方政府)，至 101 年 2 月始獲得最後一機關之回復意見。經濟部參酌各機關回復意見，於 101 年 3 月 7 日正式答復各界對「建議候選場址遴選報告」所提意見，後續台電公司於 101 年 5 月 19 日陪同經濟部林前次長赴金門縣烏坵鄉現勘，並與烏坵鄉鄉長及當地居民溝通選址作業及後續公投工作，及於 101 年 5 月 8 日及 5 月 21 日陪同經濟部林前次長分別拜會臺東縣及金門縣地方首長，洽談有關核定公告建議候選場址相關事宜。國營會續於 101 年 5 月 24 日向經濟部長簡報低放選址作業核定公告建議候選場址議題，經濟部於 101 年 7 月 3 日核定公告建議候選場址。後續主辦機關於 101 年 8 月 17 日函請建議候選場址所在地方政府同意接受委託辦理公投選務工作。惟兩地縣政府分別於同年 9 月 26 日及 10 月 9 日函復對於選址公投尚有意見，均未同意接受委託辦理公投。

台電公司於 101 年 10 月 30 日提報「低放射性廢棄物最終處置 102 年工作計畫」送主管機關審查。主管機關於 101 年 11 月 27 日提出第 1 次審查意見，台電公司依據審查意見於 101 年 12 月 10 日研提修訂版函復主管機關，後續主管機關於 101 年 12 月 24 日召開「低放射性廢棄物最終處置計畫-102 年度工作計畫」審查會議，台電公司就會議紀錄及審查意見於 102 年 1 月 29 日研擬答復說明及計畫修訂 2 版提報主管機關，台電公司依據主管機關於 102 年 2 月 6 日就 102 年度工作計畫修訂 2 版函復之要求，應依 101 年 12 月 24

日之審查會議決議事項，切實執行年度工作計畫，俾各項工作品質及成效能確保低放處置計畫依時程切實推動。該次會議決議有關請台電公司於 102 年 2 月底前提報充實低放最終處置專職人力之具體規畫部分，台電公司已於 102 年 2 月 22 日提報「最終處置專職人力具體規劃」送主管機關審查，主管機關於 2 月 27 日函復，請台電公司參酌國際處置專責機構之人力配置及規模，儘速加強充實，俾最終處置計畫依計畫時程切實推動。

台電公司依據國營會 101 年 12 月 17 日經國二字第 10100200630 號函，提報辦理選址公投選務工作所需人力、經費等資料，於 102 年 1 月 2 日送國營會。

台電公司於 102 年 2 月 26 日陪同經濟部梁政務次長等長官赴臺東縣達仁鄉建議候選場址現勘及簡報說明場址初步規劃設計(包括處置坑道佈置設計、低放廢棄物專用接收港配置設計、專用道路規劃設計、輔助區規劃與營運概念等)、場址地質等條件(包括處置區岩性及年代、斷層距離、地震與海嘯影響等)與周邊環境狀況。

台電公司於 102 年 3 月 4 日參加經濟部邀集原能會、內政部及中選會召開之「低放射性廢棄物最終處置設施場址公投評估研商會議」討論低放選址公投相關議題，但對於場址公投辦理方式尚未有具體結論，致處置計畫書之選址作業時程仍有不確定因素。台電公司爰提報修正處置計畫書，將主辦機關辦理之場址公投時程採浮動方式提報，惟未獲主管機關原能會同意。

台電公司於 102 年 10 月 29 日將 103 年度工作計畫提報主管機關審查，並於 102 年 11 月 14 日參加主管機關召開之「放射性廢棄物最終處置計畫-103 年度工作計畫」審查說明會會議簡報年度工作計畫內容。台電公司依據 103 年度工作計畫修訂二版及主管機關 102 年 11 月 18 日「放射性廢棄物最終處置計畫—103 年度工作計畫」審查說明會會議紀錄，與 102 年 12 月 26 日來函「低放射性廢棄物最終處置 103 年工作計畫」之審查結論辦理與選址計畫相關工作。審查結論其中有關「請強化處置計畫之「替代/應變」方案，並研提具體可行之方案。」部分，台電公司已於 102 年 10 月 1 日第 124 次放射性物料管制會議簡報「替代/應變方案」，並依第 125 次放射性物料管制會議紀錄，

「於送請經濟部審核及行政院民間與官方核廢料處理協商平台研討後，再行提報主管機關。」辦理相關簡報準備事宜。經濟部為順利推動低放射性廢棄物最終處置設施選址作業等業務，於 102 年 11 月 18 日以任務編組方式成立核廢料處理專案辦公室，主要負責辦理放射性廢棄物營運專責機構之籌設、研訂放射性廢棄物營運相關政策暨執行策略工作。台電公司於 103 年 1 月 24 日會同該專案辦公室赴物管局討論低放選址替代/應變方案。後續主管機關於 103 年 3 月 20 日第 126 次放射性物料管制會議第 661 議案決議「請台電公司妥善規劃本案，並於送請行政院民間與官方核廢料處理協商平台研討後，再行提報本局。」台電公司在經濟部核廢料處理專案辦公室督導下，準備行政院民間與官方核廢料處理協商平台第 4 次會議之簡報(低放射性廢棄物最終處置計畫替代/應變方案)。行政院原訂 4 月 30 日召開第 4 次協商平台會議，因民間團體召開記者會，聲明退出平台會議，故無法依據第 126 次會議決議辦理。

主管機關於 103 年 6 月 19 日召開第 127 次放射性物料管制會議，就第 661 議案決議「由於行政院民間與官方核廢料處理協商平台之後續運作尚難預測，請台電公司依第 124 次會議決議，於 7 月底前提報本局，提報之替代/應變方案，應有明確之規劃時程；可參考美國藍帶委員會(Blue Ribbon Committee, BRC)或台電公司高放處置計畫應變方案之作法。」台電公司依據此項決議，於 103 年 7 月 30 日以電核端字第 1038060805 號函向主管機關提出「低放射性廢棄物最終處置計畫書(修訂二版)第 10 章替代/應變方案之強化修正」後，主管機關於 103 年 8 月 12 日以物三字第 1030002133 號函，要求台電公司將前述替代/應變方案併入「低放射性廢棄物最終處置計畫書」，台電公司遂於 103 年 8 月 19 日以電核端字第 1030016757 號函將「低放射性廢棄物最終處置計畫書(修訂二版)Rev.3」提報主管機關，並於 103 年 9 月 9 日獲主管機關核備。上述低放處置計畫推動之重要事紀如圖 3-1。

台電公司已研定 107 年度溝通工作計畫，該計畫係規劃依照廣告文宣、議題管理、組織動員、調查研究、活動贊助、公益關懷等行動模組進行各類之行動方案。另，台電公司已協助主辦機關經濟部設置低放射性廢棄物最終處置官方網站(<http://www.llwfd.org.tw>)，該網站已就世界上主要運用核能科技國家之

成功經驗進行說明，並刊載低放平面文宣、宣導短片、場址動畫等文宣作為溝通工作推展之輔助資料，以釐清民眾疑慮與增強對處置工作之信心。

台電公司前階段(106 年 8 月至 107 年 1 月)選址工作主要為依據「低放射性廢棄物最終處置 107 年度工作計畫(修訂 2 版)」及配合主辦機關經濟部，辦理公投之民眾溝通工作。

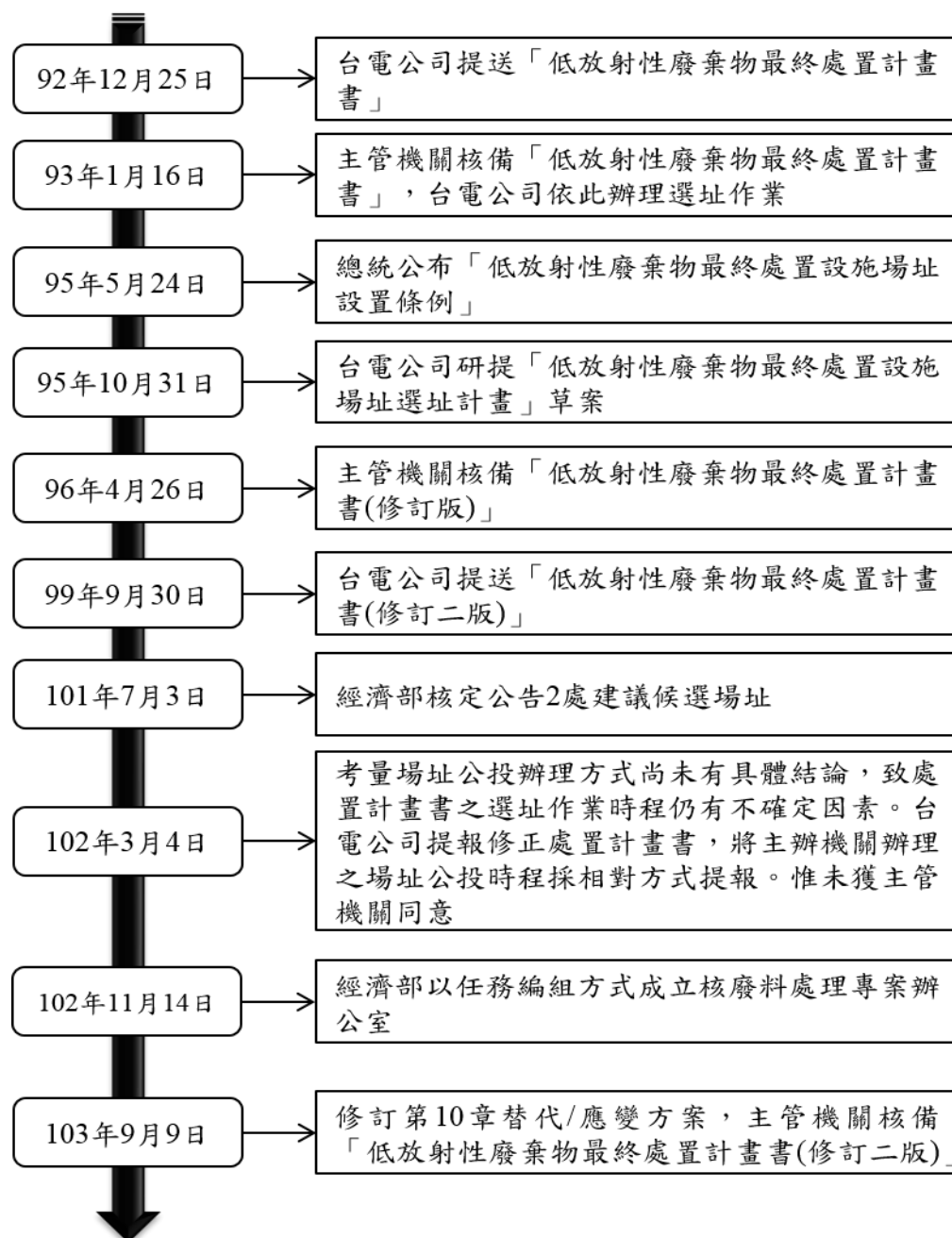


圖 3-1 低放處置計畫推動之重要事紀時間圖

有關應變方案(集中式貯存)，台電公司依據原能會於 106 年 1 月 17 日函送具體實施方案審查會議紀錄決議及 106 年 2 月 23 日經濟部李部長聽取核能後端業務辦理情形裁示，將「可行性研究報告」更名為「放射性廢棄物最終處置應變方案(集中式貯存)推行初步規劃書」(以下簡稱「推行初步規劃書」)，於 106 年 3 月 3 日陳報經濟部核轉「非核小組」研議並尋求最佳可行方案。後續應變方案(集中式貯存)之推動時機與時程將俟「非核小組」做出決策，並依據經濟部指示啟動辦理相關工作，應變方案(集中式貯存)之重要紀事如圖 3-2。

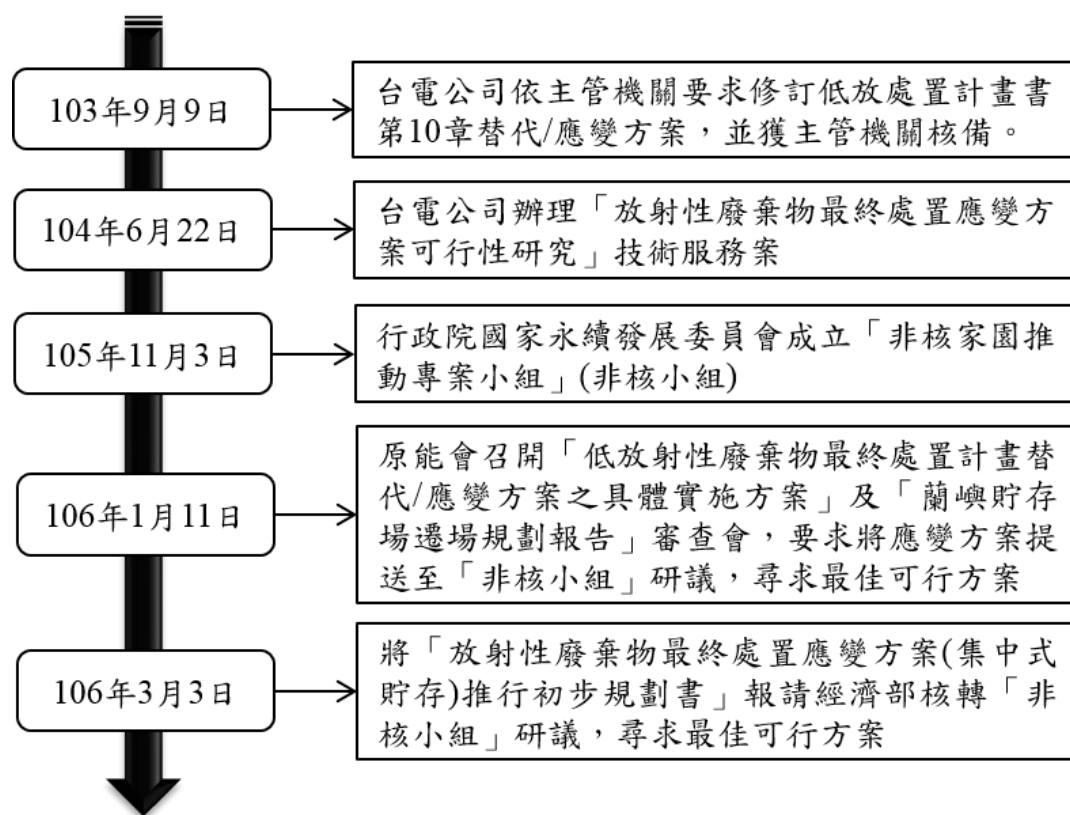


圖 3-2 應變方案之重要事紀時間圖

二、現階段(半年)執行之具體工作項目與成果

台電公司本階段依據低放射性廢棄物最終處置 107 年度工作計畫(修訂 2 版)，及配合主辦機關經濟部，持續辦理推動公投之民眾溝通工作。且遵照主管機關指示，辦理「低放射性廢棄物最終處置技術精進計畫」技術服務案，持續進行低放處置技術精進，俾利銜接後續場址調查、安全分析等工作。

三、執行成效、檢討及下階段工作要項

現階段選址計畫主要工作為選址公投準備作業，因 2 處建議候選場址縣政府尚未同意經濟部委託辦理公投選務工作，經濟部評估自辦公投確有困難事項待克服，致公投時程仍具有不確定性因素存在，台電公司除持續加強與縣政府、議會及地方民眾之溝通外，並依據「108 年度低放選址地方溝通工作計畫」進行公眾溝通。

第四章 民眾溝通專案計畫

一、選址溝通工作

「場址設置條例」於 95 年 5 月 24 日公布施行後，台電公司考量處置設施場址之產生須依地方性公投的結果來決定，於是成立「低放射性廢棄物最終處置場選址公投督導會報」，負責本項計畫重大決策之訂定，目前於總管理處下成立「督導組」，負責規劃及推動選址公投溝通宣導事宜，並於建議候選場址所在縣設置「低放溝通宣導小組」，負責執行地方性溝通宣導工作。

台電公司為使民眾了解低放處置場設施之安全特性，以有效提升民眾對低放處置安全之信心，已製作有 2 種處置方式示意動畫及隧道處置之實體模型，應用於公眾溝通。該實體模型已擺設於台電公司核能三廠南部展示館，再配合 2 種處置方式之示意動畫播映，將有助於民眾瞭解處置概念與操作方式。

為提升建議候選場址所在鄉「金門縣烏坵鄉」及「臺東縣達仁鄉」民眾支持度，台電公司特針對地方民眾進行逐戶拜訪說明，使民眾充分了解低放射性廢棄物及選址相關資訊。

針對金門縣烏坵鄉，台電公司於 100 年 5 月 24 日至 6 月 3 日、100 年 9 月 15 日至 25 日、101 年 10 月 1 日至 15 日、102 年 9 月 1 日至 15 日、103 年 7 月 30 日至 8 月 16 日、104 年 4 月 15 日至 5 月 1 日及 105 年 5 月 1 日至 5 月 18 日 7 次登島，進行逐戶拜訪工作，支持度分別為 41%、54%、38%、30%、67%、65%及 64%；今年則新增旅台烏坵仕紳進行逐戶拜會說明低放公投事宜。

金門縣本島之逐戶拜訪工作，金城鎮(105 年 5 月 24 日至 105 年 8 月 18 日)、金寧鄉(105 年 9 月 6 日至 107 年 7 月 10 日)，以及金湖鎮(107 年 8 月 6 日至 108 年 1 月)。

目前臺東縣達仁鄉已完成 6 輪逐戶拜訪工作，第一輪(99 年 1 月 11 日至 10 月 8 日)、第二輪(99 年 10 月 25 日至 100 年 4 月 22 日)、第三輪(100 年 8 月 1 日至 100 年 12 月 16 日)、第四輪(101 年 8 月 30 日至 102 年 2 月 8 日)、第五輪(102 年 7 月 22 日至 102 年 12 月 13 日)、第六輪(104 年 12 月 23 日至

105 年 1 月 30 日)，經深入耕耘，歷次民眾對設置處置場的支持度分別為 38%、40%、57%、60%、61%及 61%，已有顯著提升。另場址所在達仁鄉之鄰近大武鄉，台電公司亦分別辦理逐戶拜訪工作，南興村(103 年 9 月 1 日至 103 年 10 月 2 日)、尚武村(103 年 9 月 9 日至 103 年 12 月 15 日)、大武村(103 年 10 月 13 日至 104 年 1 月 22 日)、大鳥村(103 年 12 月 15 日至 104 年 4 月 16 日)、大竹村(104 年 2 月 2 日至 104 年 4 月 9 日)。另達仁鄉之鄰近金峰鄉，分別為嘉蘭村(105 年 8 月 29 日至 105 年 11 月 30 日)、正興村(105 年 8 月 29 日至 105 年 9 月 30 日)、壠坵村(105 年 9 月 29 日至 105 年 10 月 31 日)、賓茂村(105 年 11 月 1 日至 105 年 11 月 30 日)、新興村(105 年 11 月 1 日至 105 年 11 月 30 日)及鄰近之太麻里鄉金崙村(105 年 11 月 1 日至 106 年 1 月 26 日)、大王村、北里村、多良村(105 年 12 月 1 日至 106 年 2 月 22 日)，達仁鄉之鄰近大武鄉尚武村(106 年 7 月 3 日至 106 年 7 月 31 日)、南興村(106 年 8 月 1 日至 106 年 8 月 31 日)、大武村(106 年 9 月 1 日至 106 年 10 月 20 日)、大竹村(106 年 10 月 23 日至 106 年 11 月 6 日)、大鳥村(106 年 12 月 4 日至 106 年 12 月 19 日)、太麻里鄉泰和村(107 年 7 月 9 日至 107 年 11 月)，為使民眾更了解設置處置場的必要性，台電公司將持續進行溝通宣導工作。

本階段(107 年 8 月至 108 年 1 月)在全國及建議候選場址所在縣辦理之溝通工作計畫表述如下：

***全國性—107 年 8 月-108 年 1 月**

行動模組	行動方案	辦理情形	工作成效
廣告文宣	低放短片	107.8-108.1 已完成製作	目前在金門及臺東地區利用辦理地方溝通說明會期間，適時播放前階段製作之遠景規劃宣導短片及發送文宣等，均獲得當地居民認同，
	低放平面文宣	107.8-108.1 已完成製作	
	低放懶人包	107.8-108.1 已完成製作	
	核廢料管理虛擬實境(VR)	107.8-108.1 已完成製作	

	核廢料設施及展示館實體展示	107.8-108.1 目前辦理製作中	對台電公司低放溝通宣導方面達到良好效果
	建置核廢料處置專屬網站	107.8-108.1 已完成製作	
	開放民眾參觀核物料貯存設施	107.8-108.1 已開放民眾參觀	
	北部展示館之強化核廢料安全措施	107.8-108.1 已辦理	
	南部展示館之強化核廢料安全措施	107.8-108.1 已辦理	

目前 107 年已完成低放 3D 立體動畫，並規劃 108 年 10 月底完成低放處置立體模型及低放多媒體互動系統。

***金門縣—107 年 8 月-108 年 1 月**

行動模組	行動方案	辦理情形	工作成效
廣告文宣	縣市應用製作物 (三角桌曆)	107.8-108.1 已完成製作	透過媒體廣告及文宣發放，讓民眾對何謂低放射性廢棄物、處理及處置流程、低放射性廢棄物最終處置場安全概念及回饋項目更為了解
	縣市廣播廣告	107.8-108.1 辦理太武之春廣播廣告	
	金門日報夾報廣告	107.8-108.1 辦理金馬之聲廣播廣告 107.8-108.1 已完成製作	
組織動員	縣府及地方機關 首長拜會	107.8-108.1 辦理 1 輪	1.對於縣市首長及鄉鎮長民代等由溝通小組採單獨拜會面對面方式報告建議候選場址篩選過
	議會議員拜會	107.8-108.1 辦理 1 輪	

	機關團體及村里說明會	107.8-108.1 辦理 27 場	程、何謂低放射性廢棄物及處理流程、低放射性廢棄物最終處置場安全概念及回饋項目，即時答覆疑問，建立溝通管道並尋求支持，蒐集建議作為訂定地方性溝通策略參考 2.村里、機關社團及本處辦理之各項集會，以播放投影片方式說明宣導，並發放低放文宣、資料給現場參加人員，現場參加人員疑慮即時答覆、意見蒐集 3.烏坵鄉民溝通除以登烏坵本島說明以外，另旅台鄉親溝通方式，則以家族說明會，並透過參觀相關設施以瞭解鄉民看法及意願，俾有助於促成地方公投作業與提高投票率
	逐戶拜訪	107.8-108.1 辦理金湖鎮逐戶拜訪 180 人次	
	烏坵鄉親三節關懷活動	107.8-108.1 辦理中秋節、春節贈送禮品及關懷活動	
	烏旅台鄉親家族說明會	107.8-108.1 辦理 1 場	
	烏坵仕紳赴金門協助溝通	107.8-108.1 辦理 1 場	
	烏坵旅台鄉親說明會	107.8-108.1 辦理 1 場	
	烏坵旅台鄉親逐戶拜訪	107.8-108.1 辦理 1 輪	
	製作業務宣導品(如茶葉禮盒、環保袋、環保筷等)	107.8-108.1 辦理 4 式	
活動贊助	節慶、宗教、文化及體育等	107.8-108.1 辦理 2 場	藉由金門地方人文活動，本處溝通小組為持續辦理低放選址宣導業務，特配合於活動期間安排辦理低放宣導，以擴大宣導層面與成效

***臺東縣—107 年 8 月-108 年 1 月**

行動模組	行動方案	辦理情形	工作成效
------	------	------	------

廣告文宣	縣市廣播廣告	107.8-108.1 本階段持續辦理委託廣播電台播放低放選址公投宣導廣告，其中包含正聲、臺東之聲、警廣、台東知本及東民，共 5 家廣播公司	讓低放宣導擴及全縣每一角落，使更多的縣民了解低放處置之安全資訊
	縣市燈箱廣告(航空站)	全年持續辦理	
	縣市應用製作物(三角桌曆)	107.8-108.1 已完成	
組織動員	縣府及地方機關首長拜會	107.8-108.1 辦理 1 輪	1.對於縣市首長及鄉鎮長等採面對面方式報告建議候選場址篩選過程及選址公投進度，即時答覆疑問，建立溝通管道並尋求支持，蒐集建議作為訂定地方性溝通策略參考 2.村里及機關團體參訪或說明會進行宣導工作，說明場址篩選過程、低放廢棄物之內涵、處理及處置方式、國外成熟技術經驗、地方公投規定、回饋經費與地方未來願景 3.民眾及教會人士等輔以核能設施參訪活動，讓民眾正確認識低放射性廢棄物，匯聚足夠民意基礎及互信感
	議會議員拜會	107.8-108.1 辦理 1 輪	
	村里及社區發展協會說明會	107.8-108.1 辦理 12 場	
	機關團體參訪及說明會	107.8-108.1 辦理 9 場	
	急難救助、老人弱勢等	107.8-108.1 辦理 18 人次	
	製作業務宣導品	107.8-108.1 辦理 5 式	
活動贊助	節慶、宗教、文化	107.8-108.1 辦理 10 場	現場辦理低放處置宣導，透過低放射性廢棄物最

	及體育等		終處置場未來設置的藍圖和安全性之宣傳，以降低民眾心中的疑慮和提高相關設施之接受度
--	------	--	--

金門地區民風純樸，目前因政府政策利多，生活條件良好，對於金門地區，將使烏坵民眾的意願能適切傳遞予金門民眾，並透過各種溝通管道，讓金門鄉親瞭解處置場的設置不但是支持政府的政策，還可以提供烏坵鄉民一個新的發展契機。另烏坵常住人口尚不及設籍人口之 5%，烏坵鄉旅台鄉親仍列為溝通重點，溝通方式則以家族說明、個別拜訪及辦理電力活動營方式進行。另依據 102 年委託金門大學完成之烏坵鄉遠景規劃報告，持續與烏坵鄉民說明規劃辦理成果，以瞭解鄉民看法或意願，俾有助於促成地方公投作業與提高投票率。

因 101 年 7 月烏坵鄉才被公告為「建議候選場址」，故金門地區的溝通作業啟動時程較晚，為加速溝通廣度，亦針對金門縣民眾編製宣導文宣，以夾報方式寄送。烏坵現仍為軍管地區，設籍人口卻漸增至 685 人(107 年 6 月)，惟除冬季收割紫菜時返鄉人口較多外，常住人口僅約 30 餘人，故仍須持續加強對旅台鄉親的溝通說明。彙整台電公司進行民眾溝通之常見議題及說明如下：

	民眾常見議題	台電公司溝通說明
1.	烏坵鄉親想了解回饋金的實質內容	烏坵鄉親希望回饋金能直接回饋給每位鄉親，但按目前低放場址設置條例回饋辦法，明訂給予總額 50 億元回饋金，其中 27.5 億元是烏坵鄉親的回饋金，未來將交由地方政府，依照預決算程序自行運用。
2.	烏坵鄉親低放選址公投何時可啟動	烏坵鄉親希望能盡早決定及早日動工，惟依「低放射性廢棄物最終處置設施場址設置條例」，有關於低放選址公投的相關作業是由主辦機關經濟部負責。至於何時辦理公投，也將由該單位負責決定。
3.	烏坵鄉親想了解低放處置對於環境的影響	低放射性廢棄物最終處置場的設計，世界各國皆採「多重障壁」的概念，也就是利

		用多項的防護措施，隔絕放射性廢棄物於人類生活環境之外。這些多重障壁包括放射性廢棄物固化體、廢棄物包封容器、阻水填充材料、排水材料與設施及天然地質屏障等。整體而言是相當安全的。
4.	金門鄉親表示低放選址的公投是否由烏坵鄉親來決定即可	金門鄉親表示由於烏坵鄉親人數不多，由金門人來決定低放公投是不公平的，但依照目前公投法的規定，仍需以金門縣來決定。
5.	金門鄉親詢問有關於低放選址應尊重烏坵鄉親的意願	金門鄉親表示低放選址選在在烏坵鄉，只要烏坵鄉親決定贊成，金門鄉親也沒有立場反對。目前烏坵鄉駐軍減少，生活不易，常住之老年家年歲漸長，所以只要回饋辦法妥善，多數烏坵鄉親皆願意接受。
6.	為什麼選址是在台東不選其它地方？	主辦機關經濟部依據「低放射性廢棄物最終處置設施禁制地區之範圍與認定標準」規定，考量活動斷層、地質、地球化學條件、地表及地下水條件、人口密度、及其他依法不得開發地區等，篩選出可行之場址。經濟部並於 101 年 7 月 3 日核定公告「臺東縣達仁鄉」及「金門縣烏坵鄉」2 處建議候選場址。
7.	回饋金的發放方式？	依「低放射性廢棄物最終處置設施場址設置條例」規定，將按分配比例撥入各鄉鎮公所之公庫，由地方鄉鎮市民代表會負責監督使用情形。回饋金之運用，將以增進場址所在地及周邊地區居民福祉為主。
8.	為何不直接讓蘭嶼貯存場轉變成最終處置場？	低放貯存場是暫時貯存非永久放置，而最終處置場之選定，將依據「低放射性廢棄物最終處置設施場址禁制地區之範圍及認定標準」規定，考量活動斷層、地質、地球化學條件、地表及地下水條件、人口密度、及其他依法不得開發地區等，篩選出可行之場址，並依「低放射性廢棄物最終處置設施場址設置條例」進行選址。

9.	為什麼不把核廢料直接放在除役的核電廠？	依核子反應器設施管制法，核子反應器設施之除役，應採取拆除之方式，並在主管機關規定之期限內完成。故除役核廢料將暫時貯存於核電廠內，並依「低放射性廢棄物最終處置設施場址設置條例」進行選址，俟未來遷至最終處置場進行處置。
10.	安全技術上的疑慮。	本公司已於 106 年完成「LLWD 2016 報告」，初步進行安全分析，並經國內及國際同儕審查，且經主管機關審查同意，證實國內具有處置技術之能力，後續台電公司亦將持續精進處置相關技術。

對於臺東地區之溝通工作，除針對全縣各鄉鎮(市)村里民辦理低放業務宣導說明會外，將持續辦理鄰近鄉之逐戶拜訪工作。臺東縣青壯人口離鄉率頗高，將持續辦理旅外鄉親選址溝通宣導座談會，使鄉民能增加對國家政策之了解。

未來工作將配合經濟部依據「場址設置條例」之作業期程，於相關場址所在縣進行溝通宣導工作，加強廣度及深度，主要策略目標為讓民眾了解民生用途的核能應用設備均會產生低放射性廢棄物，有必要在國內興建一處低放最終處置場，以加強低放選址公投的政策之正當性、增進社會大眾對政府及台電公司的信任感。

溝通宣導重點分為運用全國性媒體循序宣傳，尋求聚集全國民眾焦點，並形成正面輿論，普及低放射性廢棄物最終處置場公投資訊，推廣活動識別系統，加強與民代、公職、媒體、環團及意見領袖溝通，對於場址所在鄉及週邊鄉鎮持續深化溝通，爭取認同，並疏通反對聲浪。

台電公司已訂定「107 年低放選址地方溝通工作計畫」並據以執行中，期能經由上述溝通計畫之行動方案之執行，解除關鍵問題之所在，完成推展地方性公投選務工作。

二、放射性廢棄物貯存所在地方溝通

(一)低放貯存場溝通工作

台電公司自 79 年營運低放射性廢棄物貯存場以來，均持續辦理敦親睦鄰之公眾溝通活動，本階段(107 年 8 月至 108 年 1 月)之敦親睦鄰業務及業務宣導活動，羅列如下：

1.敦親睦鄰

(1)急難救助

補助蘭嶼鄉民赴島外轉診就醫，扶助無人照料長者、弱勢家庭及殘障貧病鄉民，並致贈慰問金，107 年 8 月至 108 年 1 月之轉診醫療補助，共發放 416 人次，補助金額共計約 108.9 萬元；專案補助共發放 45 次，補助金額共計約 15 萬元。

(2)獨居老人及弱勢家庭持續關懷

對蘭嶼鄉之弱勢群體，除財物上之補助外，亦自生活中給予陪伴、慰問，以做到持續關懷。107 年 8 月至 108 年 1 月完成關懷人數為 406 人次。

(3) 襄助地方事務

於本場人力資源範圍內，量能襄助鄉政運作及協助地方事務，協助鄉民吊卸船隻及搬運大型建材物料。107 年 8 月至 108 年 1 月完成協助鄉民吊卸船隻、物料 11 件。

(4)公益關懷

台電公司聘用自蘭嶼招募之 6 位部落服務員，投入各部落服務，主動關懷社區各項需求，主辦或協辦部落體育文康及民俗節慶各項活動。107 年 8 月至 108 年 1 月貯存場主辦活動為「107 年度蘭嶼貯存場中秋節晚會暨業務宣導活動」、「107 年度低放貯存場淨灘活動」、「107 年度低放貯存安全業務宣導參訪活動」、「獨居老人暨弱勢家庭持續關懷計畫」等活動，並配合蘭嶼鄉公所、地方機關及民間立案社團辦理「107 年度第三十三屆蘭嶼旅台青年雙十節籃球排球聯誼賽活動」等全鄉性活動，並於中秋節慶、跨年及蘭嶼鄉傳統文化節慶時期受邀參與活動。

(5)睦鄰補助

補助並參與機關、學校及社團辦理地方藝文、民俗節慶及具地方文化特色活動，如補助臺東縣蘭嶼高級中學辦理「臺東縣立蘭嶼高級中學 107 年專科教室大樓落成典禮」活動、臺東縣蘭嶼鄉野銀社區發展協會辦理「107 年度海洋盃拼板舟划船錦標賽」活動、基督教蘭恩文教基金會辦理「蘭恩傳統地下屋落成典禮暨工作房新建動土祈福儀式規劃」活動、臺東縣蘭嶼高級中學辦理「107 年台北市秋季全國田徑公開賽」活動、臺東縣蘭嶼天主教文化研究發展協會辦理「107 年度達悟族傳統技藝文化復振計畫-織布」活動、臺東縣蘭嶼天主教文化研究發展協會辦理「107 年度文化叢書-Ngaran 命名文化出版」活動、臺東縣蘭嶼高級中學辦理「107 年第一屆蘭中盃籃球邀請賽」活動等活動。107 年 8 月至 108 年 1 月補助總額共計約 34.4 萬元。

2.宣導與溝通

- (1) 接待鄉民、民間團體、機關單位蒞場參訪，主動積極邀請蘭嶼鄉民蒞場參訪，說明貯存場目前之業務狀況，並於參訪結束後召開座談會回答鄉民之疑問。107 年 8 月至 108 年 1 月共計接待約 2,065 人(含自台灣參訪之遊客)。
- (2) 核後端處招募自蘭嶼鄉 6 個部落之部落服務員共 6 位，除協助社區服務工作，亦協助相關業務之說明宣導，並陪同台電人員拜訪地方人士。
- (3) 核後端處每月發行 800 份「低放貯存場敦親睦鄰花絮」，宣導相關業務，並由部落服務員至各社區挨家挨戶發送。

(二) 各核電廠之溝通工作

各核能電廠內均有貯存放射性廢棄物，台電公司亦不斷利用各種管道向當地鄉民溝通宣導貯存設施之安全性，目前核一廠主要就用過核子燃料乾式貯存設施及除役議題進行溝通宣導，核二廠亦就用過核子燃料乾式貯存設施興

建計畫議題進行溝通宣導，核三廠則就核能安全及回饋金等核能相關議題進行溝通宣導。

三、執行成效、檢討及下階段工作要項

在溝通過程中，民眾關心的事項，主要包括回饋金的分配與管理、地方遠景規劃、電力相關設施改善、處置場設置利弊、公投門檻及投票行政區域界定等。民眾意見均回饋至相關作業，以利達成處置場的選定。另於低放處置場址及基本設計確立後，將進行製作低放處置設施 3D 數位展示模型，使民眾能更清楚了解處置場的配置及運作狀況。

對於臺東地區，除將辦理全縣各鄉鎮(市)村里民低放業務宣導說明會外，將持續辦理鄰近鄉之逐戶拜訪工作。臺東縣青壯人口離鄉率頗高，將持續辦理旅外鄉親選址溝通宣導座談會，使鄉民能增加對國家政策之了解。對於金門地區，將使烏坵民眾的意願能適切傳遞予金門民眾，並透過各種溝通管道，讓金門鄉親瞭解處置場的設置不但是支持政府的政策，還可以提供烏坵鄉民一個新的發展契機。另烏坵常住人口尚不及設籍人口之 5%，烏坵鄉旅台鄉親仍列為溝通重點，溝通則以家族說明會及個別拜訪之方式辦理，另並持續與烏坵鄉民在說明會時將烏坵鄉遠景規劃向鄉民進行說明，以瞭解鄉民看法或意願，俾有助於促成地方公投作業與提高投票率。

未來工作將依據「場址設置條例」之作業期程，配合經濟部公告核定建議候選場址，於相關場址所在縣進行溝通宣導工作，加強廣度及深度。主要溝通策略目標為讓民眾了解民生用途的核能應用設備均會產生低放射性廢棄物，有必要在國內興建一處低放最終處置場，以加強低放選址公投的政策之正當性、增進社會大眾對政府及台電公司的信任感。

溝通宣導重點分為運用全國性媒體循序宣傳，尋求聚集全國民眾焦點，並形成正面輿論，普及低放射性廢棄物最終處置場公投資訊，推廣活動識別系統，加強與民代、公職、媒體、環團及意見領袖溝通，對於場址所在鄉及週邊鄉鎮持續深化溝通，爭取認同，並疏通反對聲浪。

另為因應經濟部尚未確定公投選址時程，台電公司已訂定「107 年低放選址地方溝通工作計畫」。期能經由上述溝通計畫之行動方案之執行，解除關鍵問題之所在，完成推展地方性公投選務工作。

第五章 綜合檢討與建議

本階段工作計畫之執行進度，處置技術建置計畫部分，包括整合性計畫及安全/功能評估等項目，各子項工作均照年度工作計畫進度執行中。且台電公司彙整審查 LLWD 2016 報告之國際同儕審查委員就低放處置技術之未來發展提出建議及「低放射性廢棄物最終處置技術建置計畫」之技術發展規劃，持續辦理「低放射性廢棄物最終處置技術精進計畫」技術服務案，本階段如期完成「場址特徵化之國際經驗與技術發展」、「低放射性廢棄物處置設施之監管研究」、「低放射性廢棄物盛裝容器之安全功能特性研究」、「混凝土處置窖材料劣化試驗與模式研究」、「處置窖結構安全分析」等技術相關報告。

有關處置設施選址計畫部分，台電公司依據低放射性廢棄物最終處置 108 年度工作計畫(修訂 2 版)及配合主辦機關經濟部辦理推動公投之民眾溝通工作，以及提報主辦機關例行之低放選址作業資訊，以期順利達成選址目標；另依據主管機關 103 年 9 月 9 日核備之「低放射性廢棄物最終處置計畫書(修訂二版)Rev.3」，於 104 年 9 月 3 日開始辦理「放射性廢棄物最終處置應變方案可行性研究」案，已於 105 年 12 月完成放射性廢棄物最終處置應變方案之投資可行性研究報告，並於 106 年 3 月 3 日依經濟部指示將該報告更名為「放射性廢棄物最終處置應變方案(集中式貯存)推行初步規劃書」報請經濟部核轉行政院國家永續發展委員會「非核家園推動專案小組」審議，故本案之推動時機與時程將俟該小組做出決策後，台電公司將配合辦理相關事宜。

有關民眾溝通專案計畫部分，因應經濟部尚未確定公投選址時程之不明確，台電公司已訂定「107 年低放選址地方溝通工作計畫」並據以執行中，期能經由上述溝通計畫之行動方案之執行，解除關鍵問題之所在，完成推展地方性公投選務工作。

下階段(108 年 2 月至 108 年 7 月)工作，台電公司除持續辦理相關技術建置計畫及公眾溝通工作外，亦將積極配合主辦機關經濟部指示辦理選址計畫相關配合工作，並遵照主管機關指示辦理處置計畫相關準備工作，相關工作及執行計畫查核點表列如下：

一、處置技術建置計畫

計畫名稱	查核點	查核項目
(一)整合性計畫		
低放射性廢棄物最終處置技術精進計畫	108 年 2 月 ~108 年 7 月	每月工作月報彙整查核
	108 年 2 月	承商提送「低放射性廢棄物最終處置技術建置計畫(108 年版)」初稿
	108 年 3 月	承商提送「處置坑道力學特性分析」、「低放處置場運轉規劃」報告初稿
	108 年 4 月	承商提送「建議候選場址核種吸附實驗研究」、「膨潤土材料施工方法研究」、「膨潤土長期穩定性研究」報告初稿
	108 年 6 月	承商提送「建議候選場址地震評估與情節建立」、「低放射性廢棄物處置場人類無意入侵情節研究」、「低放射性廢棄物最終處置建議候選場址特性調查報告」中文版、「低放射性廢棄物最終處置建議候選場址處置設計與工程技術報告」中文版、「低放射性廢棄物最終處置建議候選場址安全評估報告」中文版、「低放射性廢棄物最終處置技術精進評估報告」中文版(送同儕審查)等報告初稿
(二)安全 / 功能評估		
低放貯存場低放射性廢棄物計測暨取樣分析技術服務案	預計於低放貯存場「提升蘭嶼貯存場營運安全	

	實施計畫」 正式動工 後，再行啟 動	
--	-----------------------------	--

二、處置設施選址計畫

計畫名稱/工作項目	查核點	查核項目
低放選址作業資訊	108 年 4 月	提報 108 年第 1 季選址作業資訊 送國營會公布在主辦機關網頁
	108 年 7 月	提報 108 年第 2 季選址作業資訊 送國營會公布在主辦機關網頁

三、民眾溝通專案計畫

計畫名稱	查核點	查核項目
低放選址地方溝通計畫	108 年 7 月	地方公眾溝通紀錄

最終處置計畫現階段面臨之困難主要來自非技術性層面，調查評估工作之推動完成有賴地方民眾與民意機關之同意接受及各相關主管機關之配合支持。台電公司將持續戮力與地方民眾及相關機關等溝通說明，加強宣導處置場興建營運安全、繁榮地方建設及社會福利之遠景規劃，俾提高社會接受度，使選址作業順利。

附錄一、低放射性廢棄物最終處置技術建置計畫
107 年度執行成果摘錄

「低放射性廢棄物最終處置技術精進計畫」

目錄

表目錄.....	IV
圖目錄.....	VII
第 1 章 場址特徵化之國際經驗與技術發展	1-1
1.1 安全功能與場址特徵	1-1
1.2 日本處置研究相關場址水文地質特徵化經驗.....	1-9
1.3 國際場址水文地質特徵模型建置與驗證.....	1-17
1.4 水文地質特徵化作業程序	1-46
1.5 結論	1-53
參考文獻	1-55
第 2 章 低放射性廢棄物盛裝容器之安全功能特性研究	2-1
2.1 盛裝容器相關規範	2-1
2.1.1 國內低放射性廢棄物盛裝容器相關法規	2-1
2.1.2 國際低放射性廢棄物盛裝容器規範	2-1
2.2 低放射性廢棄物盛裝容器安全功能考量	2-2
2.2.1 耐久性考量	2-2
2.2.2 搬運功能考量	2-3
2.2.3 堆疊功能考量	2-3
2.2.4 屏蔽功能考量	2-4
2.2.5 圍阻功能考量	2-5
2.2.6 遲滯功能考量	2-5
2.3 各類型盛裝容器介紹	2-6
2.4 盛裝容器安全功能特性參數研究	2-11
2.4.1 輻射屏蔽功能特性參數	2-11
2.4.2 結構力學功能特性參數	2-15
2.4.3 耐久功能特性參數	2-17
2.4.4 圍阻功能與遲滯功能之特性參數	2-23
2.5 綜合討論	2-24
2.6 結論與建議	2-27
參考文獻	2-30
第 3 章 混凝土處置窖材料劣化試驗與模式研究	3-1
3.1 研究背景與執行構想	3-1
3.2 氣離子入侵影響評估	3-2

3.2.1 氯離子侵蝕反應機理	3-2
3.2.2 氯離子侵蝕耐久性評估方法	3-3
3.2.3 氯離子入侵定量試驗與檢驗規範	3-7
3.3 硫酸鹽入侵影響評估	3-10
3.3.1 硫酸鹽侵蝕反應機理	3-10
3.3.2 硫酸鹽侵蝕耐久性評估方法	3-11
3.3.3 硫酸鹽入侵定量試驗與檢驗規範	3-13
3.4 溶出失鈣侵蝕影響評估	3-15
3.4.1 溶出失鈣反應機理	3-15
3.4.2 溶出失鈣耐久性評估方法	3-18
3.4.3 溶出失鈣定量試驗與檢驗規範	3-20
3.5 混凝土窖材料的配比設計與檢驗流程	3-22
3.6 後續評估建議	3-23
參考文獻	3-26
第 4 章 處置窖結構安全分析	4-1
4.1 處置窖功能需求	4-1
4.2 處置窖設計規劃	4-2
4.2.1 達仁鄉建議候選場址處置窖規劃	4-4
4.2.2 烏坵鄉建議候選場址處置窖規劃	4-8
4.3 處置窖工程障壁材料性質	4-11
4.4 荷重模擬與荷重組合	4-12
4.5 處置窖結構分析	4-15
4.6 結論及建議	4-29
參考文獻	4-31
第 5 章 低放射性廢棄物處置設施之監管研究	5-1
5.1 國際監管案例	5-1
5.1.1 國際原子能總署	5-1
5.1.2 日本中深度處置監管規劃	5-4
5.1.3 美國 WIPP 監管規劃	5-9
5.1.4 國際監管案例彙整	5-12
5.2 低放射性廢棄物處置設施監管規劃	5-14
5.2.1 建議候選場址特性概述	5-14
5.2.2 低放射性廢棄物處置設施概念設計	5-17
5.2.3 建議候選場址之主動監管初步規劃	5-20

5.2.4 建議候選場址之被動監管初步規劃	5-27
5.3 主動監管期限評估	5-29
5.3.1 日本六所村低放處置場之主動監管評估考量	5-29
5.3.2 台灣低放射性廢棄物源項估算清單	5-30
5.3.3 台灣主動監管期限分析與建議	5-35
5.4 結論	5-57
參考文獻	5-60

表目錄

表 1.3-1	模型地質材料水力傳導係數.....	1-20
表 1.3-2	模型斷層水力傳導係數.....	1-20
表 1.3-3	場址尺度模型的水力傳導係數設定.....	1-26
表 1.3-4	塊體尺度模型的地層分區水力傳導係數.....	1-32
表 1.3-5	塊體尺度的不連續構造水力傳導係數.....	1-32
表 1.3-6	MIU 場址裂隙特性統計.....	1-35
表 1.3-7	等效水力傳導係數.....	1-38
表 1.4-1	水文地質特徵與調查尺度關聯性.....	1-50
表 2.3-1	低放射性廢棄物容器規格表.....	2-6
表 2.4-1	盛裝容器輻射屏蔽功能特性(核能電廠運轉廢棄物)....	2-12
表 2.4-2	盛裝容器輻射屏蔽功能特性(低放貯存場廢棄物).....	2-12
表 2.4-3	盛裝容器輻射屏蔽功能特性(BWR 除役廢棄物).....	2-13
表 2.4-4	盛裝容器輻射屏蔽功能特性(PWR 除役廢棄物).....	2-14
表 2.4-5	「最終處置」情境下容器應力參數表.....	2-15
表 2.4-6	「臨時貯存」情境下容器滑動與傾覆安全性分析表...	2-17
表 2.4-7	2 處建議候選場址環境參數的設定.....	2-18
表 2.4-8	鋼材質於海水與淡水環境中腐蝕速率表.....	2-19
表 2.4-9	鋼製盛裝容器於海水與淡水環境中的耐久年限.....	2-19
表 2.4-10	高性能混凝土容器混凝土配比表.....	2-21
表 2.4-11	高性能混凝土容器硫酸鹽侵蝕預測公式之設計年限...	2-21
表 3.2-1	各鹽害環境下的混凝土表面氯離子濃度.....	3-6
表 3.2-2	鹽害環境作用等級分區之地域劃分.....	3-7
表 3.2-3	鹽害環境作用等級分區範圍.....	3-7
表 3.2-4	各種混凝土氯離子擴散係數試驗方法之比較.....	3-8
表 3.3-1	各種硫酸鹽侵蝕預測式之比較說明表.....	3-13
表 3.5-1	混凝土窖材料在不同種劣化情形下之特性分析統整表.....	3-22
表 4.2-1	放射性廢棄物之表面劑量率及屏蔽厚度關係(處置窖)..	4-3
表 4.3-1	處置坑道材料參數表.....	4-12
表 4.4-1	達仁鄉建議候選場址各階段坑道荷重組合.....	4-13
表 4.4-2	烏坵鄉建議候選場址各階段坑道荷重組合.....	4-14
表 4.5-1	達仁鄉場址 A 類處置窖單元各階段應力分析成果.....	4-21

表 4.5-2	達仁鄉場址 B/C 類處置窖單元各階段應力分析成果 ..	4-22
表 4.5-3	烏坵鄉場址 A 類處置窖單元各階段應力分析成果	4-27
表 4.5-4	烏坵鄉場址 B/C 類處置窖單元各階段應力分析成果 ..	4-28
表 5.1-1	中深度處置基本安全功能監管項目(興建與運轉階段) ..	5-5
表 5.1-2	中深度處置基本安全功能監管項目(封閉後階段)	5-6
表 5.1-3	周圍監視區域之監控考量方法	5-8
表 5.2-1	台東縣達仁鄉建議候選場址處置設施之基本資料	5-17
表 5.2-2	金門縣烏坵鄉建議候選場址處置設施之基本資料	5-19
表 5.2-3	台東縣達仁鄉建議候選場址之環境輻射監測設置點 ...	5-23
表 5.2-4	金門縣烏坵鄉建議候選場址之環境輻射監測設置點 ...	5-27
表 5.3-1	核能電廠廠內貯存運轉廢棄物數量預估	5-33
表 5.3-2	核能電廠運轉廢棄物鑽心表面劑量率	5-40
表 5.3-3	低放貯存場廢棄物鑽心表面劑量率	5-41
表 5.3-4	核能電廠除役廢棄物鑽心表面劑量率	5-42
表 5.3-5	核能電廠運轉廢棄物鑽心表面劑量率衰減分析	5-43
表 5.3-6	低放貯存場廢棄物鑽心表面劑量率衰減分析(1)	5-44
表 5.3-7	低放貯存場廢棄物鑽心表面劑量率衰減分析(2)	5-45
表 5.3-8	低放貯存場廢棄物鑽心表面劑量率衰減分析(3)	5-46
表 5.3-9	除役廢棄物鑽心表面劑量率衰減分析	5-47
表 5.3-10	台東縣達仁鄉建議候選場址鑽探情節之鑽探人員曝露劑 量(1)	5-48
表 5.3-11	台東縣達仁鄉建議候選場址鑽探情節之鑽探人員曝露劑 量(2)	5-49
表 5.3-12	台東縣達仁鄉建議候選場址鑽探情節之鑽探人員曝露劑 量(3)	5-50
表 5.3-13	台東縣達仁鄉建議候選場址鑽探情節之鑽探人員曝露劑 量(4)	5-51
表 5.3-14	金門縣烏坵鄉建議候選場址鑽探情節之鑽探人員曝露劑 量(1)	5-52
表 5.3-15	金門縣烏坵鄉建議候選場址鑽探情節之鑽探人員曝露劑 量(2)	5-53
表 5.3-16	金門縣烏坵鄉建議候選場址鑽探情節之鑽探人員曝露劑 量(3)	5-54

表 5.3-17	金門縣烏坵鄉建議候選場址鑽探情節之鑽探人員曝露劑 量(4).....	5-55
----------	---------------------------------------	------

圖目錄

圖 1.1-1	日本 MIU 場址的特徵化研究目標與課題	1-5
圖 1.1-2	MIU 場址特徵化多尺度原則	1-5
圖 1.1-3	MIU 場址特徵化疊代式原則	1-6
圖 1.1-5	調查坑道概念示意圖	1-9
圖 1.2-1	MIU 第 1 階段研究計畫之概略場址特性調查流程	1-11
圖 1.2-2	MIU 第 2 階段研究計畫之概略場址特性調查流程	1-11
圖 1.2-3	MIU 區域尺度範圍與調查配置	1-12
圖 1.2-4	MIU 區域尺度裂隙特性的特徵化範例(MIU-2 號鑽孔)	1-13
圖 1.2-5	鑽孔與地物井測判釋不連續構造之範例(MIZ-1 號井)	1-15
圖 1.3-1	區域地下水模型地質與鑽井位置圖	1-18
圖 1.3-2	區域地下水模型斷層位置	1-19
圖 1.3-3	區域尺度地下水模型	1-20
圖 1.3-4	MIU 區域尺度總水頭分布(模型表面)	1-22
圖 1.3-5	MIU 區域尺度總水頭分布(模型表面以下)	1-22
圖 1.3-6	場址尺度之地質與模型地層參考	1-23
圖 1.3-7	場址尺度三維水文地質模型	1-24
圖 1.3-8	場址尺度水文地質模型二維剖面	1-25
圖 1.3-9	MIU 場址尺度模型的邊界條件設定	1-26
圖 1.3-10	場址尺度地下水模擬總水頭分布	1-27
圖 1.3-11	塊體尺度模擬範圍與模擬之不連續構造	1-28
圖 1.3-12	塊體尺度模型	1-29
圖 1.3-13	塊體尺度模型設定(1 至 23 層)	1-30
圖 1.3-14	塊體尺度模型設定(24 至 46 層)	1-31
圖 1.3-15	塊體尺度模型的邊界條件	1-33
圖 1.3-16	塊體尺度地下水模擬總水頭分布	1-34
圖 1.3-17	塊體尺度地下水模擬總水頭分布(EL. -300 m)	1-34
圖 1.3-18	花崗岩各分區之離散裂隙網路模型二維分布	1-37
圖 1.3-19	三維水頭分布	1-39
圖 1.3-20	第 1 組至第 5 組的水頭分布	1-40
圖 1.3-21	第 6 組至第 10 組的水頭分布	1-41
圖 1.3-22	第 1 組至第 5 組的水頭分布(已濾除小於 10 m 之裂隙)	1-42

圖 1.3-23	第 6 組至第 10 組的水頭分布(已濾除小於 10 m 之裂隙)....	1-43
圖 1.3-24	模型頂部總水頭分布模擬成果對比.....	1-44
圖 1.3-25	EL. -300 m 處總水頭分布模擬成果對比	1-44
圖 2.3-1	西屋公司 HIC 容器示意圖	2-11
圖 2.4-1	鋼製盛裝容器於海水與淡水環境中的耐久性.....	2-20
圖 2.4-2	烏坵鄉海水環境氯離子濃度門檻值所達深度與時間關係 圖.....	2-23
圖 3.2-1	氯離子侵蝕造成鋼筋腐蝕與時間之關係.....	3-3
圖 3.2-2	混凝土氯離子擴散係數檢驗標準值之訂定程序.....	3-9
圖 3.3-1	硫酸鈉和水泥水化產物之間的化學反應.....	3-11
圖 3.3-2	混凝土硫酸鹽侵蝕檢驗標準值之訂定程序.....	3-14
圖 3.4-1	低放處置場混凝土溶出失鈣現象示意圖.....	3-15
圖 3.4-2	混凝土孔隙溶液 pH 值與孔隙率隨溶出失鈣時間之變化....	3-18
圖 3.4-3	混凝土溶出失鈣侵蝕檢驗標準值之訂定程序.....	3-21
圖 3.5-1	混凝土處置窖材料耐久性評估流程圖	3-23
圖 4.2-1	A 類處置窖內 55 加侖桶平面配置圖	4-3
圖 4.2-2	B、C 類處置窖內 55 加侖桶平面配置圖	4-4
圖 4.2-3	達仁鄉建議候選場址 A 類處置坑道橫斷面圖	4-6
圖 4.2-4	達仁鄉建議候選場址 A 類處置坑道縱斷面圖	4-6
圖 4.2-5	達仁鄉建議候選場址 B/C 類處置坑道橫斷面圖	4-7
圖 4.2-6	達仁鄉建議候選場址 B/C 類處置通道縱斷面圖	4-7
圖 4.2-7	烏坵鄉建議候選場址 A 類處置坑道橫斷面圖	4-9
圖 4.2-8	烏坵鄉建議候選場址 A 類處置坑道縱斷面圖	4-10
圖 4.2-9	烏坵鄉建議候選場址 B/C 類處置坑道橫斷面圖	4-10
圖 4.2-10	烏坵鄉建議候選場址 B/C 類處置坑道縱斷面圖	4-11
圖 4.3-1	各候選場址之處置坑道材料圖	4-11
圖 4.5-1	處置坑道局部斷面分段分階開挖過程圖	4-15
圖 4.5-2	岩體最大主應力(壓應力)及最大位移分布圖	4-16
圖 4.5-3	坑道二次襯砌施作完成後之最大主應力分布	4-16
圖 4.5-4	達仁鄉場址 A 類處置窖第 1 階段工程佈置.....	4-17
圖 4.5-5	達仁鄉場址 A 類處置窖第 1 階段結構有限元素模型..	4-17
圖 4.5-6	達仁鄉場址 A 類處置窖單元第 1 階段應力分析成果..	4-18

圖 4.5-7	烏坵鄉坑道岩體最大主應力(壓應力)及最大位移分布	4-24
圖 4.5-8	坑道基礎層施作完成後之最大主應力分布	4-24
圖 5.1-1	警示標誌範例圖	5-4
圖 5.1-2	日本中深度處置設計概念圖	5-5
圖 5.1-3	湧水與地下水之監控場所案例	5-7
圖 5.1-4	WIPP 長久性標誌設計概念	5-10
圖 5.1-5	WIPP 土墩示意圖	5-11
圖 5.1-6	WIPP 資訊中心示意圖	5-11
圖 5.2-1	台東縣達仁鄉建議候選場址周邊環境.....	5-14
圖 5.2-2	台東縣達仁鄉建議候選場址模型與地下水流場模擬圖	5-15
圖 5.2-3	金門縣烏坵鄉建議候選場址周邊環境.....	5-16
圖 5.2-4	金門縣烏坵鄉建議候選場址模型與地下水流場模擬圖	5-16
圖 5.2-5	台東縣達仁鄉建議候選場址處置設施空間配置與重力排水規劃示意圖	5-18
圖 5.2-6	金門縣烏坵鄉建議候選場址處置設施空間配置與重力排水規劃示意圖	5-19
圖 5.2-7	台東縣達仁鄉建議候選場址之地形高程圖	5-21
圖 5.2-8	台東縣達仁鄉建議候選場址之圍籬位置規劃	5-21
圖 5.2-9	台東縣達仁鄉建議候選場址之環境取樣偵測點規劃...	5-22
圖 5.2-10	金門縣烏坵鄉建議候選場址之圍籬位置規劃	5-25
圖 5.2-11	金門縣烏坵鄉建議候選場址之環境取樣偵測點規劃...	5-26
圖 5.3-1	低放射性廢棄物源項估算流程	5-31
圖 5.3-2	主動監管期限分析流程	5-35
圖 5.3-3	MicroShield 模型建置	5-36

第1章 場址特徵化之國際經驗與技術發展

確保低放射性廢棄物處置安全的首要目標，為選擇可提供隔離與圍阻安全功能的處置環境，使核種傳輸至生物圈時，其活度已衰變至不會對民眾與環境造成危害的程度。我國經過「低放射性廢棄物最終處置設施場址設置條例」之「禁置標準」與選址條件篩選，已選出 2 處建議候選場址，然於公告 2 處建議候選場址後，受地方輿情影響尚未辦理選址公投，亦無法直接進行現地場址特性調查工作。現階段我國 2 處低放處置建議候選場址之水文地質特徵化技術發展面臨：(1)既有場址特性調查資料不足；(2)無可供校驗參數之監測資料；(3)無法於現階段直接進場調查取得所需資訊等狀況。因而導致無法利用既有場址調查資訊，執行驗證與提升場址特徵化技術能力之困境。為突破此困境，將借鏡國際相關調查資料、研究成果與經驗，研析其場址水文地質特徵化程序與確認成果之方法，為日後確定場址時之場址特徵化相關作業順利推展預為準備。

故先彙整國際上對地質處置場址的安全功能與場址特性要求，選定與我國低放處置場址母岩環境相似之國際場址作為研究對象。其後，彙整國際場址的水文地質特徵化經驗，進而歸納出適於中深度坑道式低放地質處置場址的水文地質特徵化作業程序要求。

1.1 安全功能與場址特徵

一、安全功能與場址特徵

為確保放射性廢棄物可長期且安全的處置，處置設施一般結合天然障壁與工程障壁形成多重障壁系統，達到圍阻核種外釋與遲滯核種傳輸之安全功能，盡量延長核種傳輸至生活圈的時間，並利用放射性活度隨時間遞減之特性，使放射性物質遷移到人類生活圈時，已衰變至對人類無害之程度。

場址特性需具備(1)水文地質特徵與地質環境應可限制處置設施內之地下水流量，並輔助廢棄物可被安全的圍阻與隔離。(2)水文地質環境要能夠抑制地下水流入、流經與流出處置設施等安全功能。為了分析場址水文地質條件是否符合上述安全功能，應充分了解水文地質特性，以證明任何可能從處置設施遷移至環境的現象，均能使放射性核種經過足夠長的遷移時間才釋放至生物圈，用以降低地表放射性核種濃度，達成遲滯的效果，為此須掌握場址水文地質特徵，例如孔隙分布、水力傳導係數、水力梯度、含水層特性、重要區域水文地質特徵的位置、範圍與相互關係、地下水流速與主要流動方向，以及地下水與母岩之物化特性。

二、國際場址特徵化經驗研究對象與介紹

(一)研究對象選擇

我國目前 2 處低放射性廢棄物最終處置場建議候選場址，分別為台東縣達仁鄉建議候選場址與金門縣烏坵鄉建議候選場址，其處置母岩岩性分別屬於硬頁岩與花崗岩。

綜觀國際上現有放射性廢棄物處置相關之地質研究設施，其研究對象多屬於高放射性廢棄物處置設施研究用途，並分為(1)花崗岩地質環境：瑞典、芬蘭、瑞士、日本與中國等。(2)泥質岩類地質環境：如日本、法國等。(3)鹽岩地質環境：美國、德國。

目前花崗岩為國際上高放處置深地質試驗室主要研究之岩類，而金門縣烏坵鄉建議候選場址之岩類同屬花崗岩，故可做為研究對象之選擇也較多。為貼近金門縣烏坵鄉建議候選場址未來可能面臨之調查狀況，選擇與台灣同樣位處環太平洋地震帶之日本，以日本的瑞浪深地層實驗室(Mizunami Underground Research Laboratory，以下簡稱 MIU)為較合適之研究對象，原因包含：(1)相似的地質環境。(2)相似的處置母岩地質條件。(3)相似的水文地質條件。(4)裂隙岩體特性調查資料豐富。(5)完整裂隙岩體特徵化分析成果與經驗。

台東縣達仁鄉建議候選場址的地層由硬頁岩組成，屬於泥質岩類環境。於篩選與達仁鄉建議候選場址地質環境特徵相同之國際場址時，需考量泥質岩類地層的特徵受其沉積材料特性與沉積構造影響甚巨，包含其成分變化(例如碳酸鹽類含量多寡)、粒徑變化(粉砂質顆粒的含量)、含水量、或其他構造作用或應力環境等因素，均可能造成岩類相同但地層力學強度與水力特徵截然不同的情況。達仁鄉建議候選場址於其生成過程中，沉積環境由深海海盆漸變為大陸斜坡環境，受過大量的濁流擾動與海底崩移堆積作用影響，並且於其後造山運動中產生多期變形，場址常見小型剪裂構造、褶皺與發達劈理(台電公司，2009，p.4-9)。目前國際間的泥質岩場址中，例如法國的 Meuse/Haute Marne URL，地層為均勻、細顆粒、擾動少的厚層泥質岩層(Hoyos et al., 2007, p.1~p.3)；中國塔木素預選區的泥質岩層，則屬於湖相沉積，屬於較寧靜的沉積環境，其相關研究成果中，亦未見有類似達仁鄉建議候選場址般常見小型剪裂構造且劈理發達之報告(饒耕璋，2018，p.1)。故本計畫於研究初期，評估現有的國際泥質岩類場址，考量地層所歷經之歷史與地層結構與達仁鄉建議候選場址並不相似，不宜直接以相同地質環境概括之，初步規劃採用日本原燃公司(Japan Nuclear Fuel Limited, JNFL)於六所村中深度處置試驗坑道之相關試驗資料，作為研究對象。惟其公開資料較少，且並非以場址特徵化調查技術為研究對象，調查規模亦較小，對於釐清場址特徵化技術之研究幫助有限。因此，以 MIU 調查與研究成果作為主要研究對象。

(二)日本瑞浪深地層實驗室簡介

MIU 為日本原子力研究開發機構(Japan Atomic Energy Agency, JAEA)針對花崗岩地質環境所興建之通用性地下實驗室。研究主要針對所處場址之地質與水文地質特徵，利用多種方式進行調查與分析，期能求得場址特徵化之調查與分析方法。

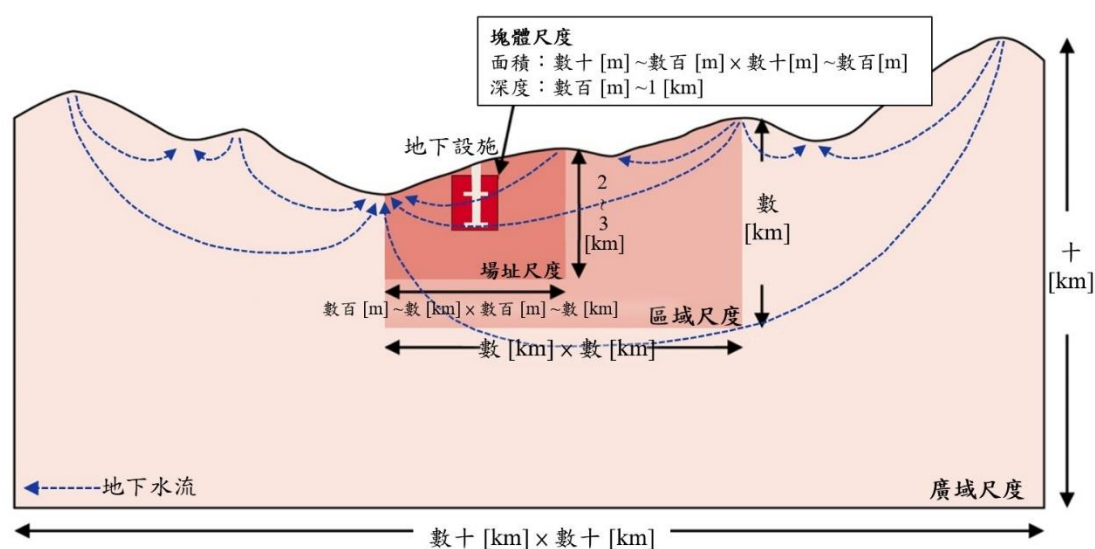
MIU 於 1986 年即開始累積場址地質與水文地質特徵化研究資料，並於 1996 年啟動「超深地層研究所計畫」，迄今針對場址地質與水文地質特徵的安全功能累積豐富的場址特徵化研究經驗。其水文地質場址特徵的研究重點，著重於可能影響場址圍阻與隔離功能的重要地質特徵，包含會影響水力特性的岩層界面、裂隙岩體分區、斷層構造、裂隙位態特徵、裂隙發達程度等，進行特徵化分析並據以建立水文地質模型。

MIU 的場址特徵化的研究原則包含 4 個部分(JAEA, 2008, p.29~p.32)，分別為(1)訂定場址特徵化目標與課題：從地質處置的角度考量場址特性要求、安全評估與設施設計，判斷需要經場址調查確定的場址特性，並以此訂定該場址的場址特徵化目標與課題，MIU 場址的特徵化研究目標與課題如圖 1.1-1 所示。(2)劃分空間尺度：MIU 為了有效率的分配場址特性調查資源，並釐清場址地質環境的不均質性，針對不同的場址特性調查尺度，進行不同規模與內容的場址特徵化作業。MIU 將場址特徵化尺度分為廣域尺度、區域尺度、場址尺度以及塊體尺度，如圖 1.1-2 所示。(3)應用疊代式原則：MIU 考量地質環境特性的掌握受限於調查進程、空間、時間、與經費等條件，以疊代式的場址特徵化作業，逐一評估調查資料的種類與數量、對地質環境的理解程度，以及調查目的達成度，並且將評估結論回饋下一階段的調查計畫，使場址特徵化成果達到最佳化，MIU 場址特徵化的疊代式原則如圖 1.1-3 所示。(4)建立特性資料關聯圖：MIU 整合調查項目、資料類型、資料所屬的學術領域，以及各個特徵化尺度，與各個場址特徵化目標與課題對比，建立關聯性，用以輔助管理場址特徵化作業。特性資料關聯圖的基本架構範例如圖 1.1-4 所示。



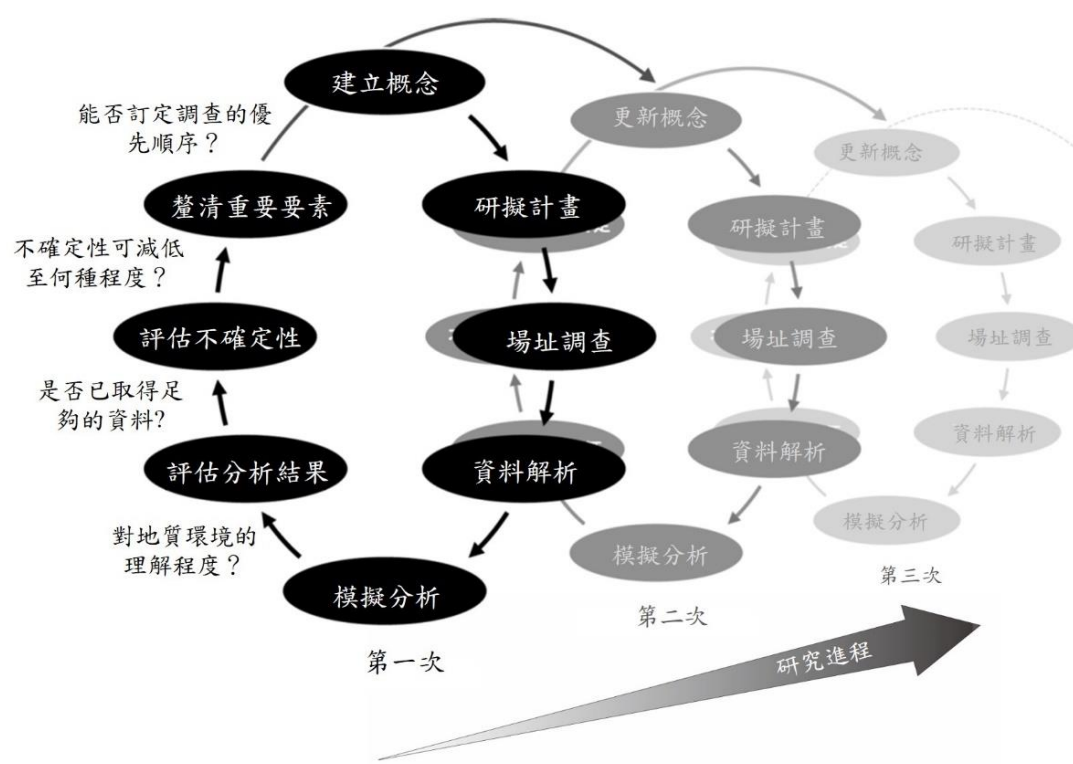
資料來源：JAEA(2008, p.33)

圖 1.1-1 日本 MIU 場址的特徵化研究目標與課題



資料來源：JAEA(2008, p.33)

圖 1.1-2 MIU 場址特徵化多尺度原則

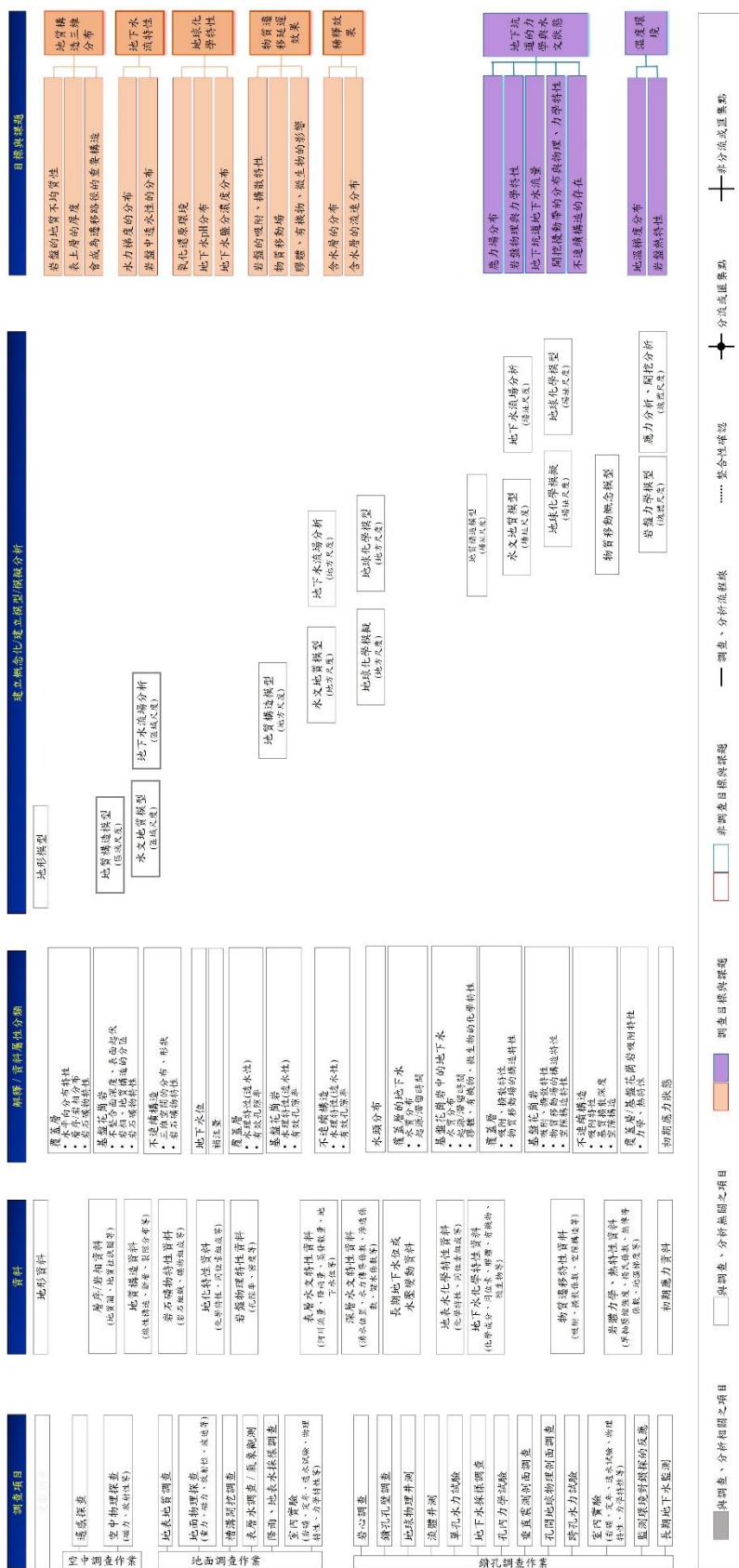


資料來源：JAEA(2008, p.34)

圖 1.1-3 MIU 場址特徵化疊代式原則

資料來源：修改自 JAEA(2007, p.257~p.258)

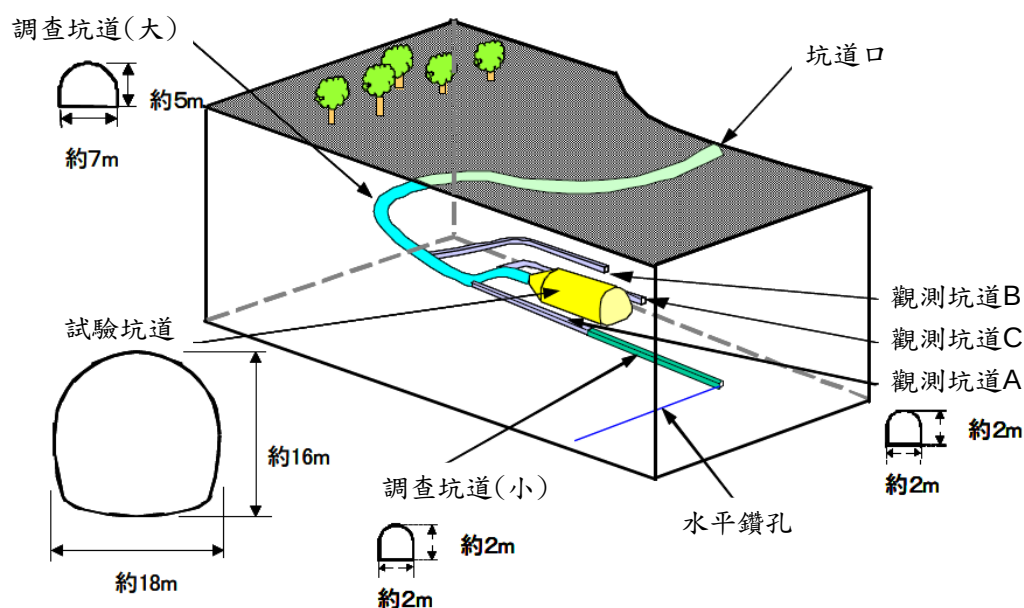
圖 1.1-4 MIU 特性資料關聯圖基本架構範例



(三)六所村中深度處置試驗坑道簡介

日本原燃公司於日本青森縣六所村之地表下 50 m~100 m 規劃一座中放射性廢棄物處置試驗坑道。規劃以天然障壁及工程障壁組合而成的多重障壁系統，遲滯放射性核種遷移，確保處置之安全性。為評估坑道處置之可行性，先後進行了預備調查和正式調查。預備調查開始於 2001 年 7 月，進行鑽井調查和地球物理探查等地質調查，以及滲透試驗和水質試驗等地下水調查。初步評估此區域地表下 50 m ~ 100 m 間為鷹架層，主要由砂岩、凝灰岩、泥岩組成，並且裂隙較少，地下水流動緩慢，非常適合設置處置設施。

正式調查於 2002 年 11 月至 2006 年 3 月間進行，以地質調查、地下水調查、地盤調查為主，確認地層邊界、斷層及裂隙分布、地下水流速與流向、地下水水質以及岩盤穩定性。此外，亦同時開挖一條長約 1,100 m 的調查坑道(寬 7 m、高 5 m)，執行地質觀察、物理試驗、透水試驗、地下水壓量測等確保坑道安定性之調查試驗。另為配合處置設施之多重障壁系統概念，在調查坑道末端擴挖成斷面寬 18 m、高 16 m 及長度 70 m 之試驗坑道，如圖 1.1-5 示。此試驗坑道位於高程-90 m 處，可進行工程障壁相關試驗與研究。而在開挖試驗坑道前，先於其周邊開挖 3 條觀測坑道，以監測岩盤變位及孔隙水壓等參數之變化。



資料來源：修改自鈴木(2007, p.4)

圖 1.1-5 調查坑道概念示意圖

1.2 日本處置研究相關場址水文地質特徵化經驗

一、MIU 場址水文地質特性調查歷程

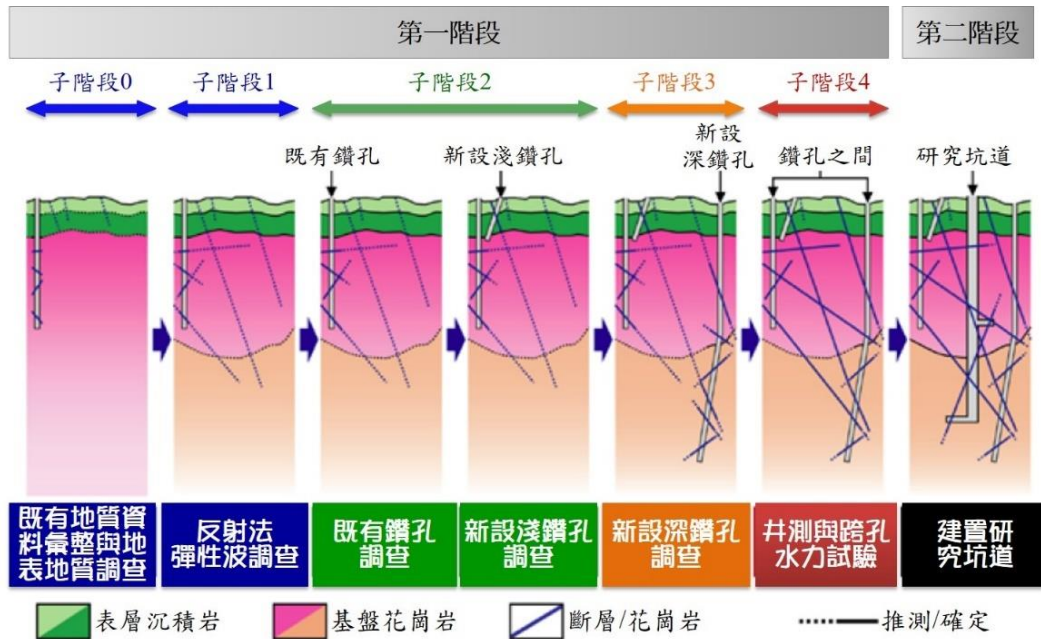
MIU 隸屬於 JAEA 旗下之東濃地科學中心。前身為東濃礦山，於 1986 年轉為地質科學研究用途，至 1996 年啟動「超深地層研究所計畫」，是針對一般性地質處置實驗室的研究計畫，包含場址之地質環境的特徵化研究。2002 年超深地層研究所正式動工，至今已完成 500 m 深度之研究坑道的建置，包含主立坑、換氣立坑以及深度 300 m 與 500 m 的橫向實驗坑道。

MIU 的「超深地層研究所計畫」之研究目標包含場址特徵化研究、處置設施建置技術研究、處置場址調查技術研究等項目。該計畫依據研究設施的建置進程分為 3 個階段，分別為：(1)地面調查階段：建立深地質環境的調查、分析與評估技術。(2)研究坑道開挖階段：利用地表調查為主的所有地質調查資料建置各種地質環境模型，用以描述未受擾動的地質環境，並預測開挖造成的

影響。(3)研究坑道研究應用階段：利用地表下調查結果修改與發展地質環境模型，判釋與評估深地質環境受研究坑道延伸開挖的影響，並評估深地層環境中工程技術的有效性。

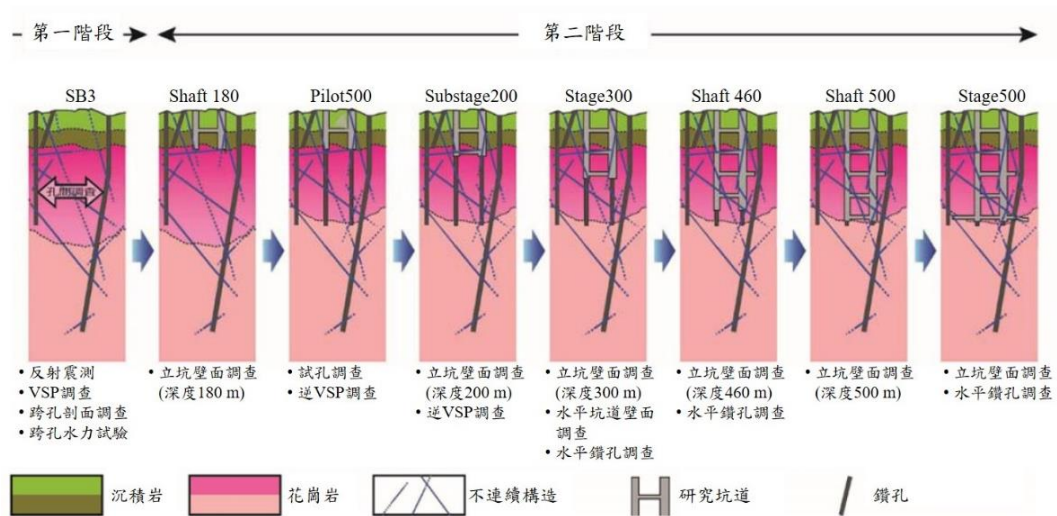
MIU 的場址特徵化主要於第 1 階段與第 2 階段進行。第 1 階段為地面地質調查階段，利用研究坑道開挖前的調查期間，於地面進行各種地質環境特性調查。特性調查工作共分為 5 個子階段，如圖 1.2-1 所示。第 1 階段主要從區域尺度以及場址尺度進行考量下，並且依據疊代式原則，逐漸縮小調查範圍，聚焦於重要地質與水文地質特徵。此階段取得之岩性變化、斷層分布、裂隙特性參數等調查成果，除了用以進行初步的區域尺度與場址尺度特徵化分析，並用於與後續研究坑道開挖後取得之特性調查成果，進行對比與更新。

於第 2 階段，MIU 地質與水文地質特性調查的範圍縮限至 MIU 研究設施範圍內，調查目標包含：(1)隨著研究坑道開挖，更新地質概念，並提高對深部地質環境的瞭解；(2)藉由實際開挖研究坑道，針對施工、維護、與管理等工程技術，確認技術的有效性；(3)累積研究資料，供下一個計畫階段參考，擬定調查與研究規劃。第 2 階段的調查規劃承襲第一階段研究成果，場址特徵化研究範圍縮小至 MIU 設施範圍，隨著研究坑道開挖深度的加深(圖 1.2-2)，更新地質與水文地質模型，提高場址水文地質單元的空間分布與水力特性之掌握程度。



資料來源：JAEA(2013, p.7)

圖 1.2-1 MIU 第 1 階段研究計畫之概略場址特性調查流程



資料來源：JAEA(2016, p.7)

圖 1.2-2 MIU 第 2 階段研究計畫之概略場址特性調查流程

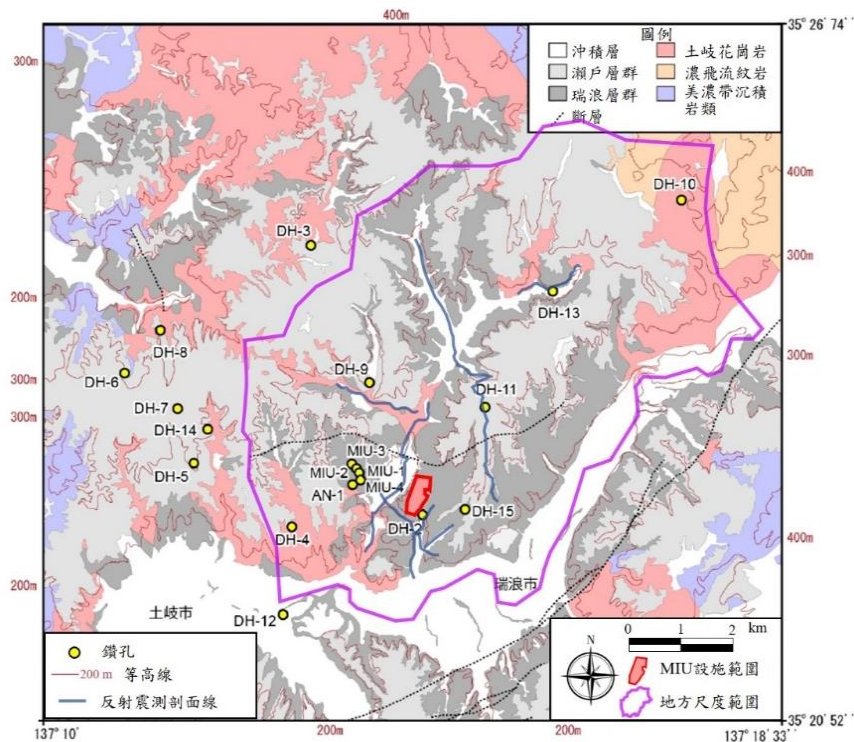
二、區域尺度的水文地質特性調查與特徵化分析

(一)區域尺度的岩層分區與交界面特徵化

區域尺度的特徵化為初期作業，此時水力特性調查結果處於尚未取得或僅部分區域有既有文獻可供參考的狀態。MIU 利用

文獻調查、地表地質調查、反射震測調查成果，以及鑽孔調查資料(圖 1.2-3)，蒐集大範圍的歷史文獻與地面地質調查成果，據以對場址的水文地質特性進行初步的判釋，將岩層分成不同的分區，代表不同的水文地質特性。對於各個分區，MIU 從過往文獻調查成果、地表地質調查取得的岩性分布，判釋各分區於地表面的分布特徵。以此為基礎，進一步利用反射震測剖面取得震波傳遞速率的分界面，並利用鑽孔調查資料取得岩性分布變化，藉以初步判釋各個岩區的分布深度。

區域尺度的岩層分區與其交界面的分布判釋，代表初步的判釋成果，後續需依據新的實際調查資料進行修正與更新，並且不排除後續會大幅修改的可能性。區域尺度的特徵化成果主要用於初步了解會影響地下水流場特性之重要地質特徵要素，協助後續規劃小尺度特徵化作業的目標與內容。



資料來源：彙整自 JAEA(2015c, p.1)、JAEA(2007, p.243-p.244)

備註：DH 系列鑽孔為 MIU 另外的研究計畫(廣域地下水流動研究計畫)之鑽孔，AN 與 MIU 系列鑽孔所在區域為 MIU 研究設施的前預訂位址。而後供 MIU 文獻調查與既有鑽孔調查階段的特徵化作業使用。

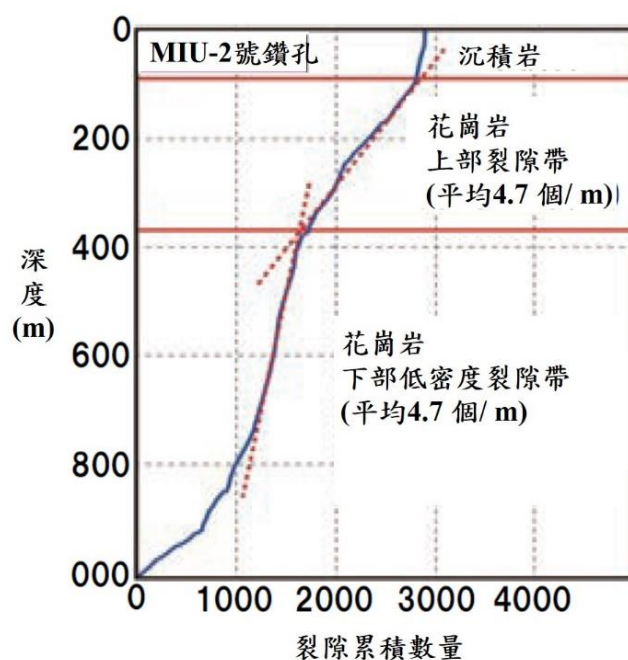
圖 1.2-3 MIU 區域尺度範圍與調查配置

(二)區域尺度的不連續構造特徵化

MIU 針對區域尺度的不連續構造，依據過往調查資料(例如航照、衛星影像、空載調查、廣域地質調查資料等)，取得初步的不連續構造平面空間分布特徵，用於決定後續場址尺度的特徵化重點對象。對於不連續構造的垂向分布，MIU 同樣僅針對較為重要的不連續構造收集垂向分布資訊。包含利用地表地質調查確認裂隙分布趨勢，以反射震測調查確認其位態分布與深度，並利用鑽孔確認其分布深度並推算其厚度以及位態。藉由整合不連續面的平面與垂向空間分布資訊，進而可確定不連續構造的三維分布特徵。

(三)區域尺度的裂隙特性特徵化

MIU 於考量平面空間範圍約數十平方公里，深度約數公里的區域尺度時，對於岩體的水力傳導特性，主要依據裂隙密集程度以及裂隙開口寬進行分區。利用既有的鑽孔調查資料，統計鑽孔的裂隙密度，並依裂隙密集程度，將花崗岩質的母岩劃分為上部裂隙密集帶以及下部低密度裂隙帶，判釋範例如圖 1.2-4 所示。



資料來源：JAEA(2012, p.19)

圖 1.2-4 MIU 區域尺度裂隙特性的特徵化範例(MIU-2 號鑽孔)

(四)區域尺度的導水特性特徵化

對於區域尺度的流場評估，MIU 將重點放在確認大尺度範圍的主要地下水流場趨勢。岩層分區的部份，MIU 依據過往既有鑽孔的單孔水力試驗資料，以幾何平均的方式進行推算代表各個岩層分區的水力傳導係數。不連續構造的部分，MIU 根據文獻調查確認既有鑽孔的調查資料，依據其單孔水力試驗、流體井測調查結果等確認不連續構造的水力傳導係數與導水係數，並根據水壓監測資料，確認水壓的分布趨勢以及水壓對鑽孔的反應等特性，評估水力傳導係數的判釋結果。

對於區域尺度的導水特性特徵化作業，其四周的邊界是以集水區的分水嶺為界，對於上部邊界，為彙整過往文獻資料，包含既有鑽孔的水位調查資料，取得地表地形與地下水位的關係，進而供區域尺度的地下水流場評估。

三、場址尺度的水文地質特性調查與特徵化分析

(一)場址尺度的岩層分區與交界面特徵化

場址尺度的岩層分區與交界面特徵化，是以區域尺度的特徵化成果為基礎，從中取出場址尺度範圍內的調查成果作為場址尺度特徵化分析的基本依據，並進一步依據新取得之證據，驗證既有的岩層分區。確認是否有新的岩層分區，需新增代表不同水力傳導特性的水文地質單元，並依據新取得的空間調查資訊，修正岩層分區之間的交界面深度。

對於場址尺度的岩層分區，MIU 利用鑽孔取得之岩性與岩性分布範圍等地質特性，檢驗既有的區域尺度分層成果並新增新的分層。並且利用地球物理井測、流體井測試驗、水力試驗以及研究坑道開挖的湧水紀錄，確認新的分層，確保各種地質調查與水文地質調查結果之間的一致性，並據以確定新的分區之地質與水文地質特性與原本所屬的分區明顯不同，有另外分區之必要。

(二)場址尺度的不連續構造特徵化

在區域尺度的不連續構造特徵化作業時，MIU 的判釋依據為過往廣域地質、航照、衛星影像，與部份既有調查資料，進行大尺度不連續構造的判釋。至場址尺度，則以區域尺度的判釋成果為基礎，利用在 MIU 研究設施範圍內以及其周邊補充調查資料，釐清未標示於地質圖上但對小尺度範圍流場可能有影響的不連續構造。

MIU 將不連續構造視為場址尺度範圍的重要地質特徵要素，利用多重的特性調查，對場址的不連續構造進行疊代式的修正。利用鑽孔調查成果，取得裂隙密集區段，並搭配地球物理井測，確認斷層的分布(圖 1.2-5)。對於鑽孔與鑽孔之間無法取得直接性調查資料的區域，補充跨孔地球物理調查(多重位移垂直震測剖面調查)，取得更詳細的不連續構造分布的細節。其後於研究坑道開挖調查以及研究坑道內的鑽孔調查，則持續重複進行不連續構造的更新，並且補充地球物理調查輔助更新與驗證。



資料來源：JAEA(2007, p.347~p.348)

圖 1.2-5 鑽孔與地物井測判釋不連續構造之範例(MIZ-1 號井)

(三)場址尺度的裂隙特性特徵化

於區域尺度的裂隙特性特徵化作業，MIU 主要的考量為大範圍尺度下的岩體破碎程度，因此以裂隙密度、裂隙分布深度以及裂隙開口寬等裂隙特性參數，僅進行概略性的場址裂隙特徵之

描述。至場址尺度的裂隙特性特徵化作業，MIU 將區域尺度特徵化作業時未納入考量的裂隙位態一併納入分析，對於不同的裂隙特徵項目，開始使用統計分布模型描述其特徵，包含裂隙長度、裂隙位態以及裂隙密度。

(四)場址尺度的導水特性特徵化

場址尺度的導水特性特徵化分析，考量的課題與區域尺度相似，同樣為岩層分區的透水性、不連續構造的透水性，以及區域尺度範圍的邊界特性。MIU 將重點放在確認場址尺度範圍內不連續構造對地下水流場趨勢的影響狀況，針對裂隙岩體的水力特性，主要以雙封塞水力試驗進行測量。在試驗過程中，利用封塞阻隔包含單一裂隙或多道裂隙的區段，測量水力反應，取得利用流量隨時間之變化、水井函數、試驗歷時以及試驗井半徑等參數進行分析，求得導水係數與水力傳導係數。

岩層分區的部份，沉積岩的導水特性根據新增的淺鑽孔調查，依據其流體井測以及水力試驗結果，取得沉積岩分層的水力參數。花崗岩的導水特性則依據場址尺度內調查的深鑽孔調查，根據其流體井測與水力試驗調查成果，取得分層的導水係數與水力傳導係數。對於花崗岩各層的水力傳導特性，MIU 除了推算其平均值，並另外計算各層的導水係數分布，進而輸入至 Geo-DFN 模型，建立具有水文地質特性的離散裂隙網路模型(Hydro-DFN)，以此進行分析場址尺度的水力傳導係數分布。對於不連續構造，主要依據流體井測以及水力試驗取得不連續構造的導水係數與水力傳導係數，並根據水壓監測資料，確認水壓的分布趨勢以及水壓對鑽孔的反應等特性，進而推估其水力傳導係數值。

四、塊體尺度的水文地質特性調查與特徵化分析

塊體尺度的水文地質特性調查與特徵化分析範圍，是將原本的場址尺度縮小至數百平方公尺的範圍內，垂向分布範圍則介於數百公尺至 1 km。塊體尺度的特徵化分析使用之特性調查與特性

資料與場址尺度相似，惟新增研究坑道開挖調查、研究坑道內鑽孔調查，以及研究坑道內鑽孔的井測與水力試驗成果。當特徵化範圍聚焦至數百公尺，甚至僅 100 m 之範圍以進行塊體尺度的特徵化分析，使用之資料主要來自研究坑道的調查成果。塊體尺度的特徵化除了供場址尺度特徵化成果的確認，並主要供岩層分區與交界面、不連續構造、裂隙特性以及導水特性等判釋結果進行修正。

1.3 國際場址水文地質特徵模型建置與驗證

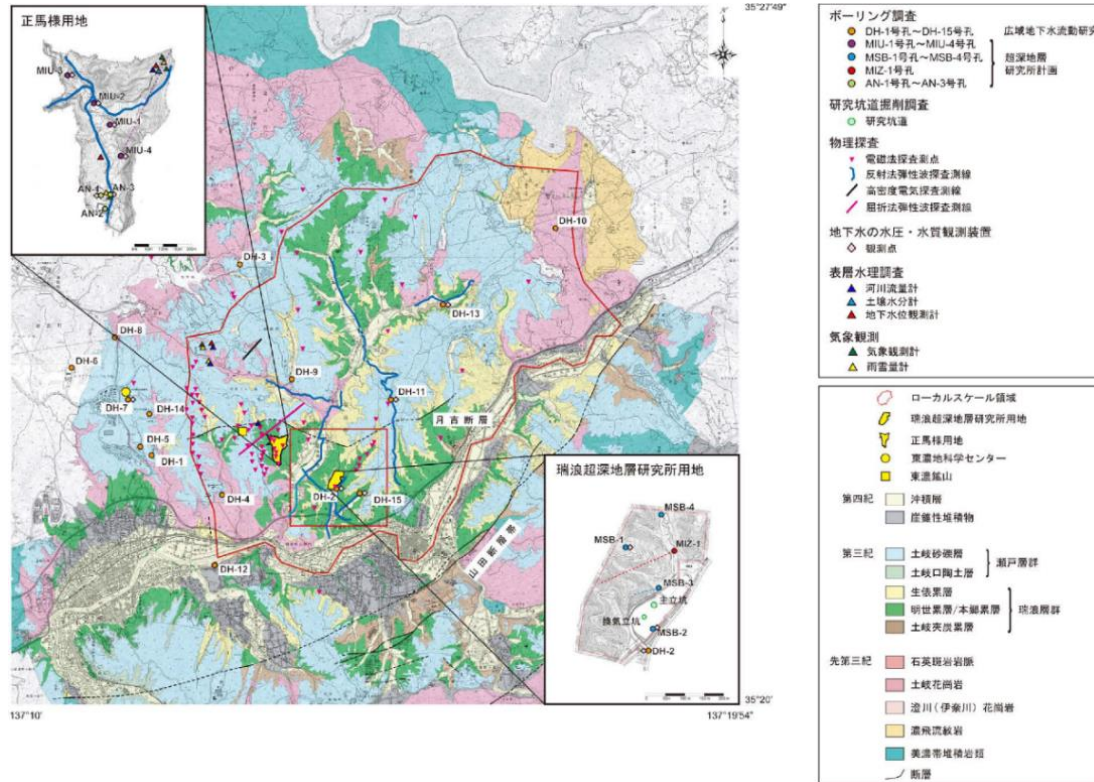
本章依據 MIU 場址特徵化的多尺度概念，分別建立不同尺度的水文地質特徵模型，以實際模擬的分析成果，論證特徵模型建置程序之可靠性。

本報告的模擬尺度包含區域尺度、場址尺度以及塊體尺度，其中，應用 MODFLOW 模擬三個尺度的流場分布，並另外針對塊體尺度，使用 FracMan 模擬裂隙特性差異對流場的影響。區域尺度的特徵模型以集水區流域作為分界，建立大範圍的數值模型，模擬區域尺度範圍的地下水流場分布，在此範圍內模擬 6 條軌跡長度超過 3 km 的不連續構造對流場的影響，並依據模擬結果提供更小尺度之模型(場址尺度)的邊界條件設定依據。場址尺度以場址四周約 4 km² 的範圍建立模型，模擬在此範圍內 2 條不連續構造對場址尺度範圍的影響，並提供比更小尺度之模型(塊體尺度)的邊界條件設定依據。塊體尺度的場址範圍約 0.66 km²，針對數百公尺尺度的數條小型不連續構造，模擬對場址流場的影響。各個尺度的模擬成果說明如後。

一、MIU 區域尺度水文地質特徵模型建置與流場模擬

(一)模擬範圍

區域尺度範圍以 MIU 所在區域的集水區流域所形成之自然邊界為分界，範圍如圖 1.3-1 所示，並將模型深度設至絕對高程 -2,000 m。



資料來源：JAEA(2007, p.243~p.244)

圖 1.3-1 區域地下水模型地質與鑽井位置圖

(二)地質背景

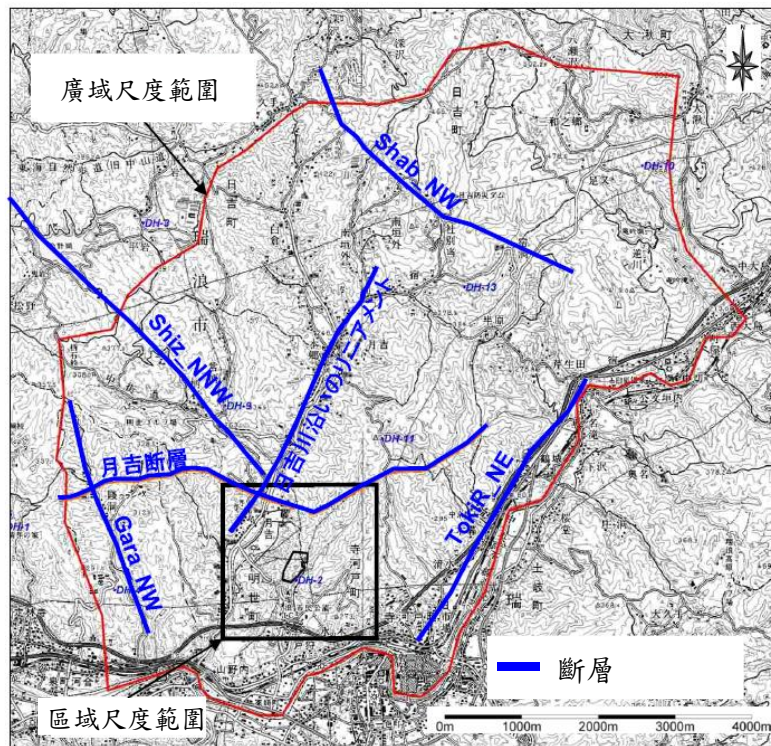
場址所在區域的地質材料分布，由上而下可概分為沉積物層(瀨戶層群)、沉積岩層(瑞浪層群)、花崗岩上部裂隙帶以及下部裂隙帶。本模型將上述 4 種材料納入模型設定，並另外將不連續構造(斷層)設為第 5 種材料，斷層分布如圖 1.3-2 所示。

(三)模型建置

模型中的水文地質單元包含瀨戶層群、瑞浪層群、花崗岩上部裂隙帶、花崗岩下部裂隙帶以及斷層等五種，地層分區的部分參考 MIU 場址的地質圖與鑽探岩心紀錄(JAEA, 2007,

p.243~p.244, p.267~p.286)，以內差法計算後取得各個分區的空間分布。不連續構造的分布如圖 1.3-2 所示，其中，月吉斷層的位態依據 MIU 的判釋成果(JNC, 2005b, p.13)進行設定，其餘不連續構造的位態則假設為垂直。區域尺度的三維模型建置成果如圖 1.3-3 所示。

各個水文地質單元的參數設定如表 1.3-1 與表 1.3-2 所示。瀨戶層群水平與垂直方向的水力傳導係數為 1×10^{-5} m/s，瑞浪層群水平方向為 5.01×10^{-8} m/s，垂直方向為 5.01×10^{-10} m/s，花崗岩上部裂隙帶水平與垂直方向為 2×10^{-7} m/s，花崗岩下部裂隙帶水平與垂直方向為 3.98×10^{-8} m/s。MIU 的研究結果將斷層的透水性判斷為具有異向性，分成垂直與平行斷層面兩個方向，但是 MODFLOW 數值模式在同一個模型中是使用相同座標系統，因此斷層的水力傳導係數在水平方向設定為 1×10^{-11} m/s，垂直方向為 6.31×10^{-6} m/s。



資料來源：JNC(2015b, p.39)

圖 1.3-2 區域地下水模型斷層位置

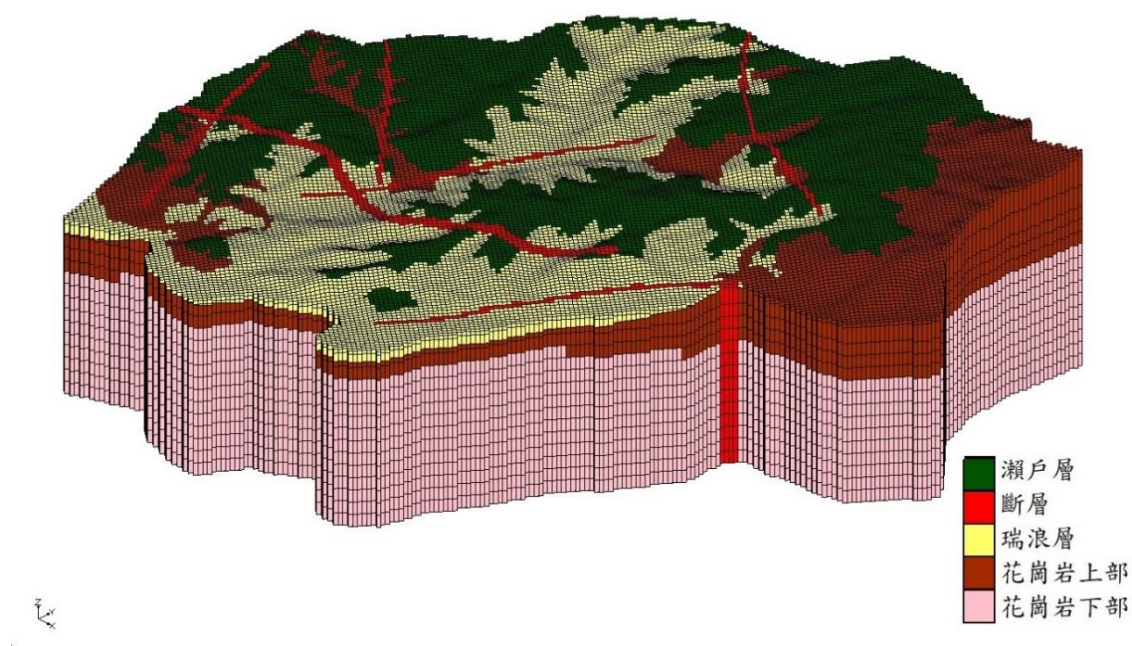


圖 1.3-3 區域尺度地下水模型

表 1.3-1 模型地質材料水力傳導係數

地層分區	水力傳導係數(m/s)	
	水平方向	垂直方向
瀨戶層群	1.00×10^{-5}	
瑞浪層群	5.01×10^{-8}	5.01×10^{-10}
花崗岩上部裂隙帶	2.00×10^{-7}	
花崗岩下部裂隙帶	3.98×10^{-8}	

資料來源：JNC(2005a, p.7)

備註：原表格以對數呈現。

表 1.3-2 模型斷層水力傳導係數

斷層區分	斷層寬(m)	水力傳導係數(m/s)	
		斷層面方向	斷層面垂直方向
斷層	8	6.31×10^{-6}	1.00×10^{-11}

資料來源：JNC(2005a, p.8)

備註：原表格以對數呈現。

(四)邊界條件

邊界條件設定參考 MIU 場址的水文調查成果，依地下水位與地表高程的回歸分析設定上部邊界(JNC, 2005a, p.9)，約為鑽孔高程乘上 0.9933 再減掉 4.8468 m。假設為定水頭邊界，模型四周與下部邊界則設為不透水邊界。初始水頭分布則採用地表重力排水。

(五)模擬結果

總水頭分布如圖 1.3-4 所示，地下水流趨勢主要受到地形影響，在高海拔地區補注含水層，於低海拔河川等地勢較低的地方流出。

從圖 1.3-5 所示之總水頭分布剖面，可觀察到東北方較高地勢的區域總水分布較高，而西南方地勢較低總水分布也較低，藉由該剖面可確認地下水由東北往西南方向流動。

模型中的斷層屬於阻水構造，在東北方地勢較高的區域，花崗岩層中的地下水受到斷層阻隔。例如圖 1.3-2 所示之 Shab_NW 斷層。水頭分布模擬結果顯示地下水沿斷層往東流動，至斷層的東側末端，水力梯度明顯往南降低，使地下水隨著水頭分布變化，往南流動。總水頭分布接受斷層阻隔影響，例如圖 1.3-5(a)與圖 1.3-5(b)所示之絕對高程-300 m 以及-500 m 的總水頭分布。另外，月吉斷層亦對流場產生顯著影響，以月吉斷層為界，北側的總水頭高於南側的總水頭。而因流場分布差異而產生的水頭特徵，將透過邊界條件的方式保留下來，提供後續更小尺度之模擬(場址尺度)所需之邊界條件。

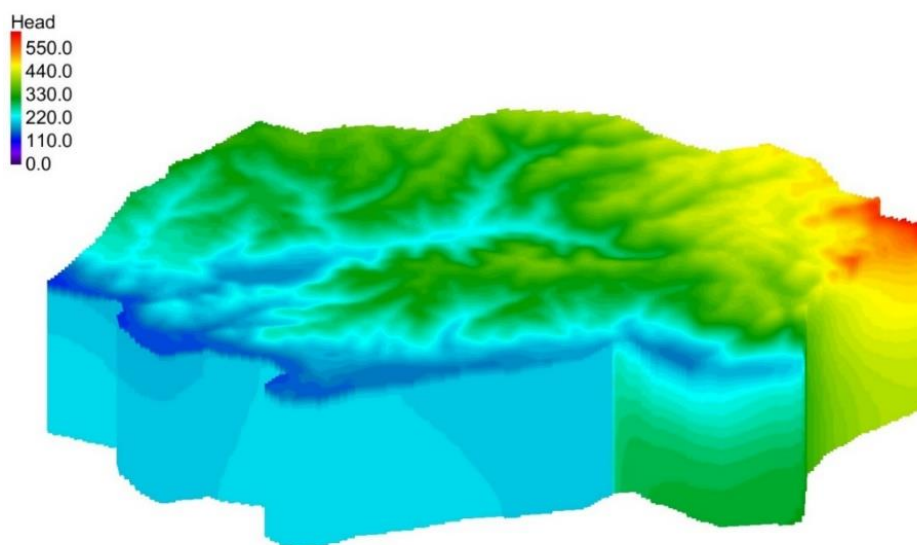


圖 1.3-4 MIU 區域尺度總水頭分布(模型表面)

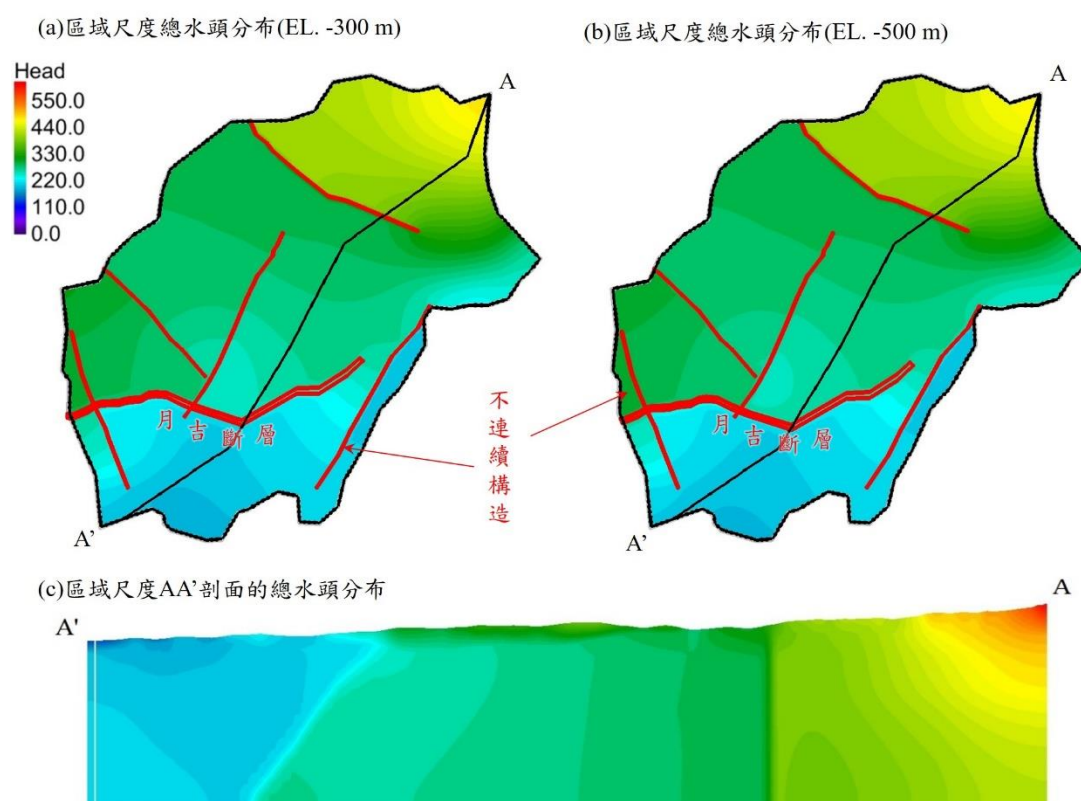
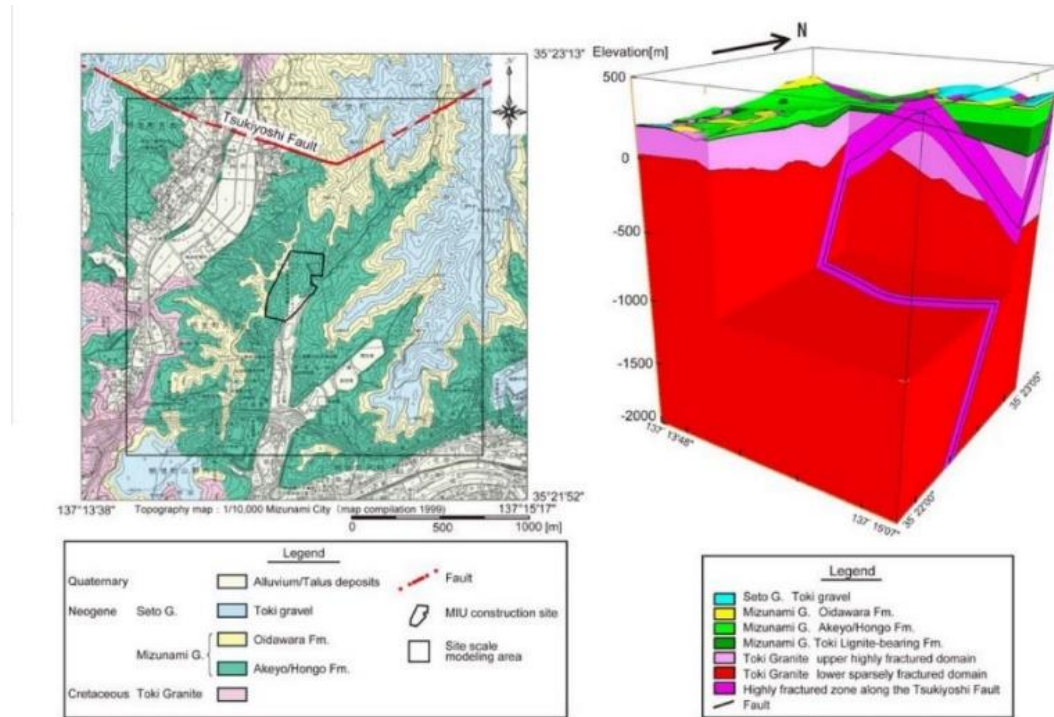


圖 1.3-5 MIU 區域尺度總水頭分布(模型表面以下)

二、MIU 場址尺度水文地質特徵模型與流場模擬

(一)模型範圍

場址尺度的模擬範圍如圖 1.3-6 所示。範圍以場址為中心，採用邊長 2 km 的正方形區域作為模擬範圍，且在模型北側有不連續構造(月吉斷層)通過。



資料來源：JAEA(2007, p.31)

圖 1.3-6 場址尺度之地質與模型地層參考

(二)模型建置

在由區域尺度縮小至場址尺度時，MIU 的地質環境設定主要差異為提高地質材料特性的細分程度。原本的瑞浪層群進一步細分為生俵累層、明世累層與土岐夾炭累層，各水文地質單元的空間分布亦以更細的分層進行設定，共分為 28 層。場址尺度的三維模型如圖 1.3-7 所示，各層水文地質單元的二維分布剖面如圖 1.3-8 所示。

考量數值模式有網格使用上的限制，為使月吉斷層阻水效果得以呈現於模型中，因此斷層寬度設定為 50 m，使模型上、下層之斷層屬性的網格得以銜接。模型深度範圍為地表至絕對高程 -1,000 m。各個地質材料所使用的水力傳導係數如表 1.3-3 所列。

(三)邊界條件

場址尺度模型的邊界條件以區域尺度為基礎。模型四周的邊界藉由區域地下水模擬結果，擷取場址尺度模型的範圍，將其水頭分布設定為場址尺度模型邊界條件，其三維空間分布如圖 1.3-9 所示。模型的表面邊界依地下水位與地表高程的回歸分析結果進行設定(JNC, 2005a, p.8~p.9)，約為鑽孔高程乘上 0.9933 再減掉 4.8468 m，下邊界設為不透水邊界。

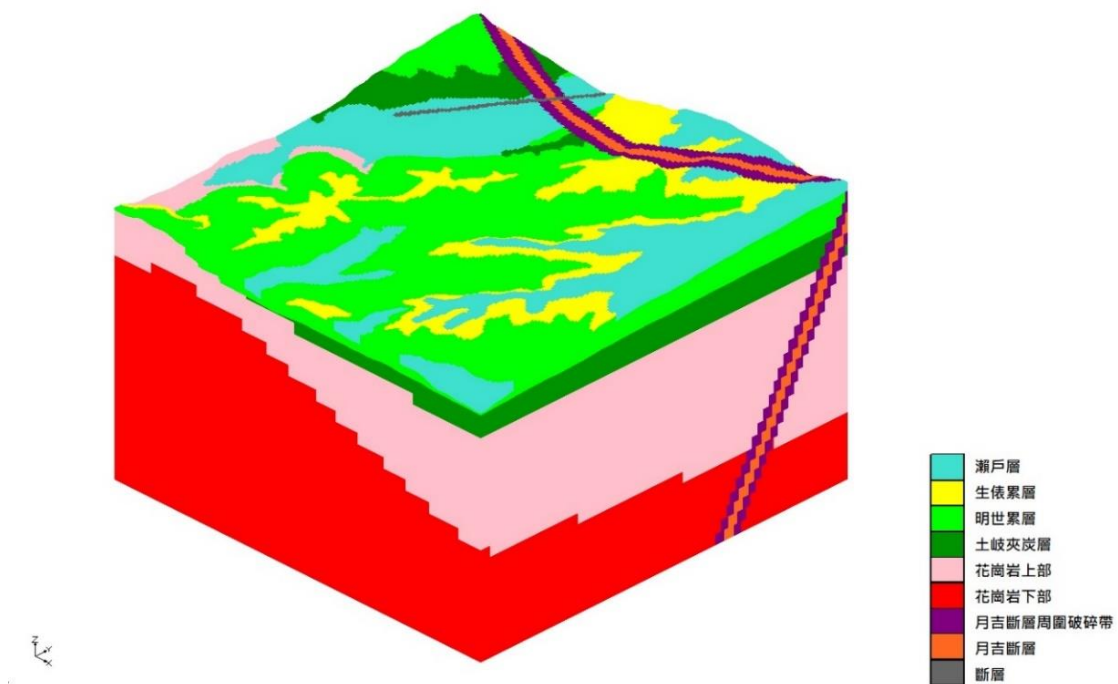


圖 1.3-7 場址尺度三維水文地質模型

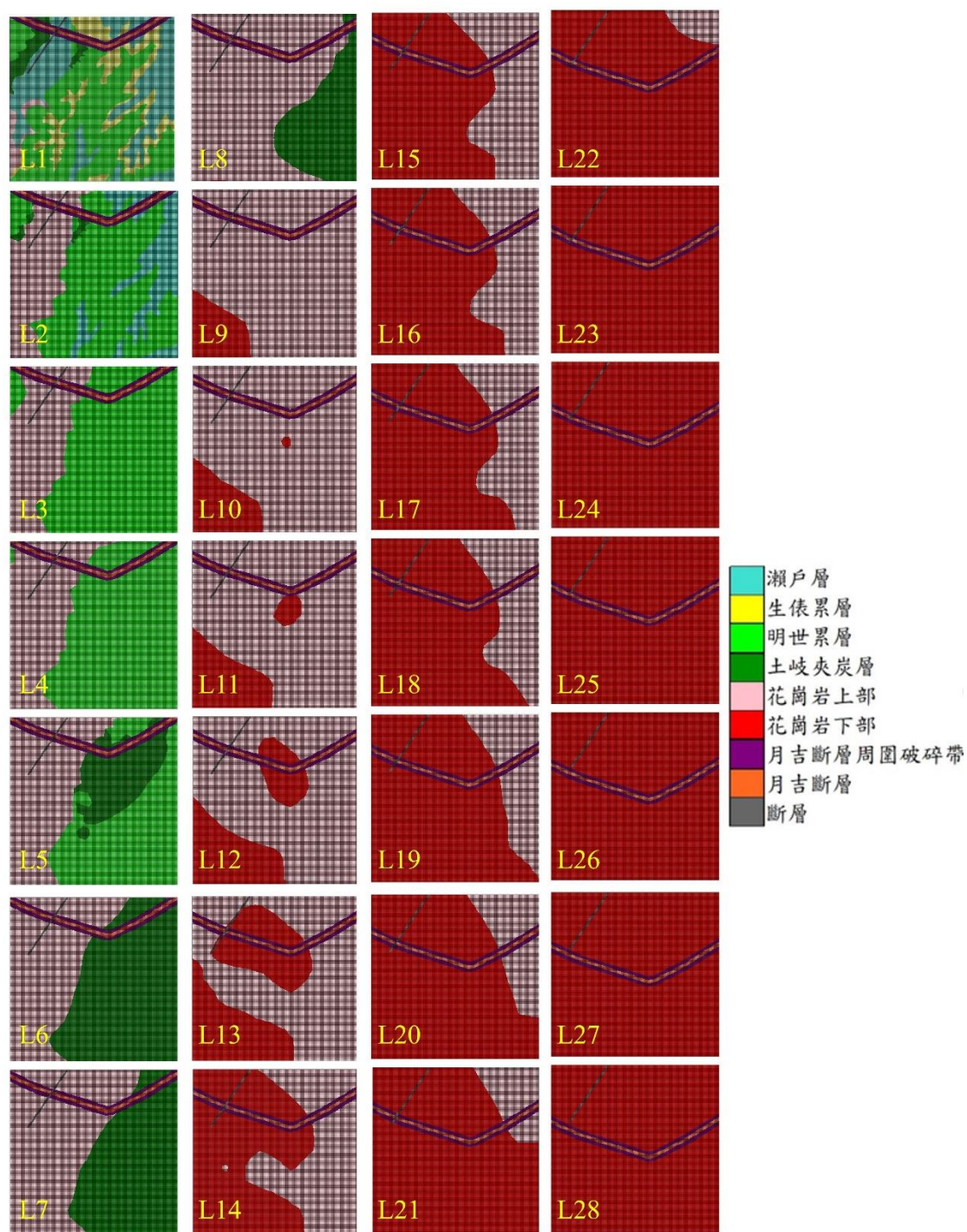


圖 1.3-8 場址尺度水文地質模型二維剖面

表 1.3-3 場址尺度模型的水力傳導係數設定

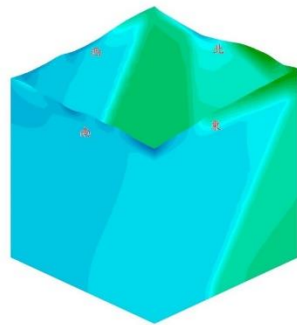
地質特徵			水力傳導係數 (m/s)	備註
沉積 岩	瀨戶層群		1.00×10^{-5}	
	瑞浪 層群	生俵累層	3.16×10^{-9}	
		明世累層/本郷累層	1.58×10^{-8}	
		土岐夾炭累層	1.00×10^{-7}	
土岐花崗岩		上部裂隙帶	1.99×10^{-7}	
		下部低密度裂隙帶	3.98×10^{-8}	
沿月吉斷層分布的裂隙帶			3.98×10^{-7}	
斷層	月吉斷層主要部分		1.00×10^{-11}	
	其餘斷層		6.30×10^{-6}	與斷層平行方向
			1.00×10^{-11}	與斷層垂直方向

資料來源：JAEA(2007, p.35)

備註：原表格以對數呈現。

場址尺度模型邊界條件(3
維視角)

Head
550.0
440.0
330.0
220.0
110.0
0.0



東側邊界



西側邊界



南側邊界



北側邊界



圖 1.3-9 MIU 場址尺度模型的邊界條件設定

(四)模擬結果

場址尺度地下水模擬結果如圖 1.3-10 所示。總水頭的分布與地表地勢有高度相關性，然而於海拔高程降低後，流場就受岩層特性而有不同變化，尤其月吉斷層為阻水構造，模型中北邊高能量的水頭部分，受斷層影響使地下水被阻擋在斷層之上，如圖

1.3-10 中的 AA' 剖面所示。地下水可能由繞過月吉斷層的其他方向，補注南邊區域或是由表面緩慢滲透過低透水的瑞浪層而來。透過剖面 AA' 所呈現的總水頭分布，受月吉斷層阻擋影響模型北邊的水頭分布較高，另外剖面 BB' 受日吉川沿線斷層阻擋影響，西北區域較高的總水頭，被阻擋於該斷層左方，無法向右傳遞。

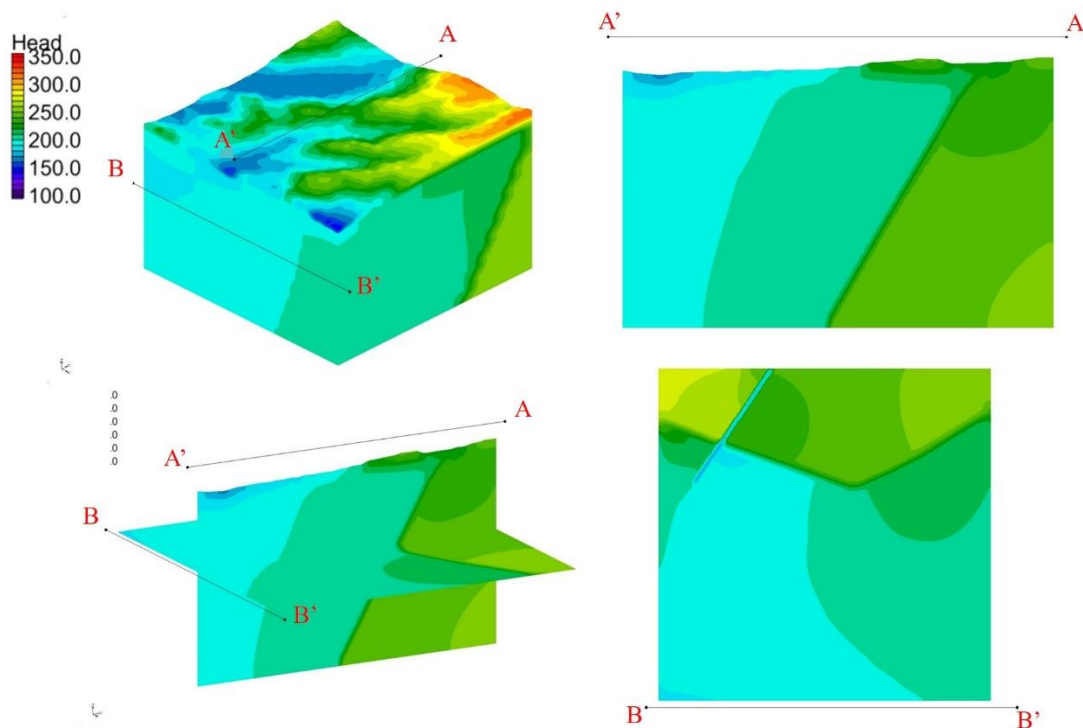


圖 1.3-10 場址尺度地下水模擬總水頭分布

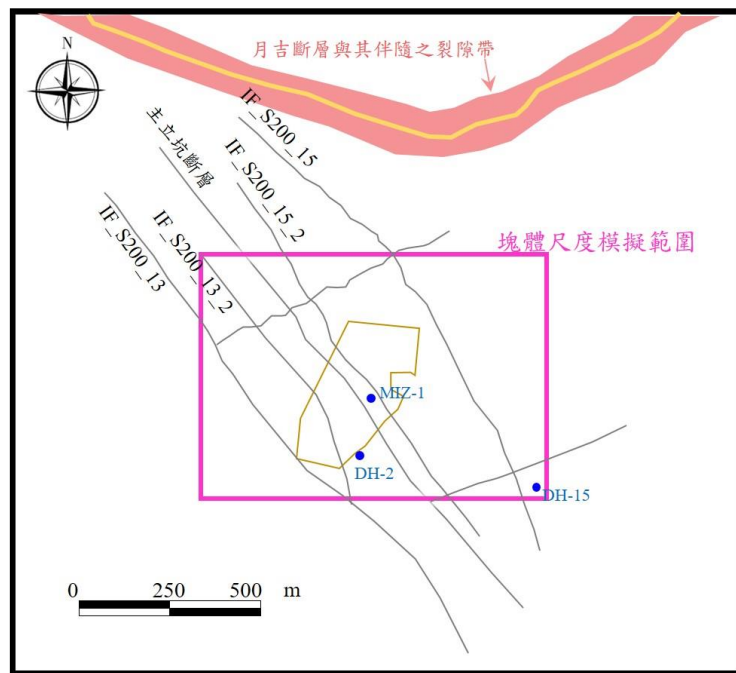
三、MIU 塊體尺度水文地質特徵模型與流場模擬

塊體尺度小於前述場址尺度，主要是模擬場址周邊小型不連續構造對塊體尺度範圍的影響。本報告針對塊體尺度的模擬，分為兩個模擬案例。案例 1 依據 MIU 場址的水力特性調查成果，設定塊體尺度模型的水文地質參數。案例 2 的水文地質參數進一步依據裂隙特性調查成果，建立離散裂隙網路模型，藉由對代表體積(representative volume)進行升尺度計算(upscaling)，計算等效水力傳導係數，作為塊體尺度模型的水文地質參數設定依據。

(一) 案例 1：塊體尺度地下水模擬

1. 模型範圍

模型範圍如圖 1.3-11 所示。模型範圍的考量主要依據場址周邊斷層的分布，並且盡量讓模擬網格的大小可以貼近場址地質特徵。模型長度為 970 m、寬度為 680 m、深度為地表至地下 -300 m。



資料來源：JAEA(2015b, p.41)

圖 1.3-11 塊體尺度模擬範圍與模擬之不連續構造

2. 模型建置

塊體尺度模型以場址尺度模型的地質構造設定為基礎，依照更新之調查成果進行調整。不連續構造的部分，於塊體尺度模型中增加 7 條不連續構造，如圖 1.3-11 所示。

塊體尺度的地層分層更新之後，地層分層的順序由上至下分別為明世/本鄉累層、明世累層基底礫岩層、土岐夾炭累層、土岐夾炭累層基底礫岩層、花崗岩上部裂隙帶、花崗岩低角度裂隙帶、花崗岩上部裂隙帶，以及花崗岩下部裂隙帶，因此模

型設定的部分，以場址尺度的模型設定為基礎，進一步於塊體尺度模型中增加明世累層基底礫岩層、土岐夾炭累層基底礫岩層，以及花崗岩低角度裂隙帶。

塊體尺度模型如圖 1.3-12 所示，模型中包含斷層在內總共有 17 種地質材料，模型縱向深度由地表到絕對高程-300 m 之間。為了讓模型中的網格分配可以更接近斷層的大小，以及貼近地質分層的複雜性與材料多樣性，因此於該模型中延垂直方向使用了 46 層來分配網格，各層地質材料分布如圖 1.3-13 與圖 1.3-14 所示。

不連續構造包含五條西北走向斷層(IF_S200_13、IF_S200_13_2、IF_S200_15、IF_S200_15_2、S500_M_SHAFT)，兩條東北走向斷層(IF_SB3_11、IF_SB3_19)，其中主立坑斷層(S500_M_SHAFT)經過沉積岩與花崗岩，因此分為兩種不同水力傳導特性的材料(日本電力中央研究所，2017，p.6-40~p.6-41)，如表 1.3-4 與表 1.3-5 所列。

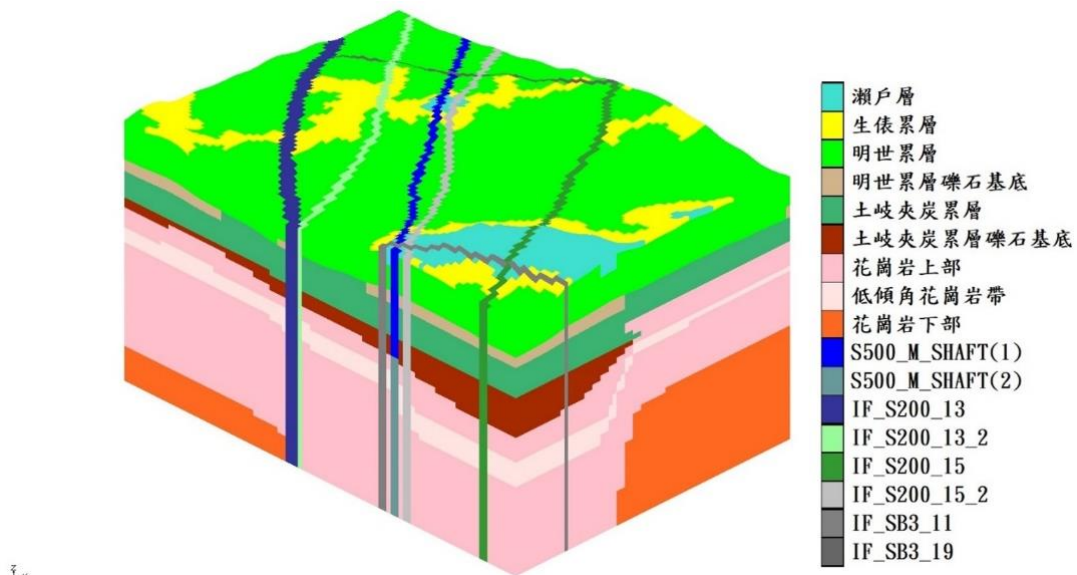


圖 1.3-12 塊體尺度模型

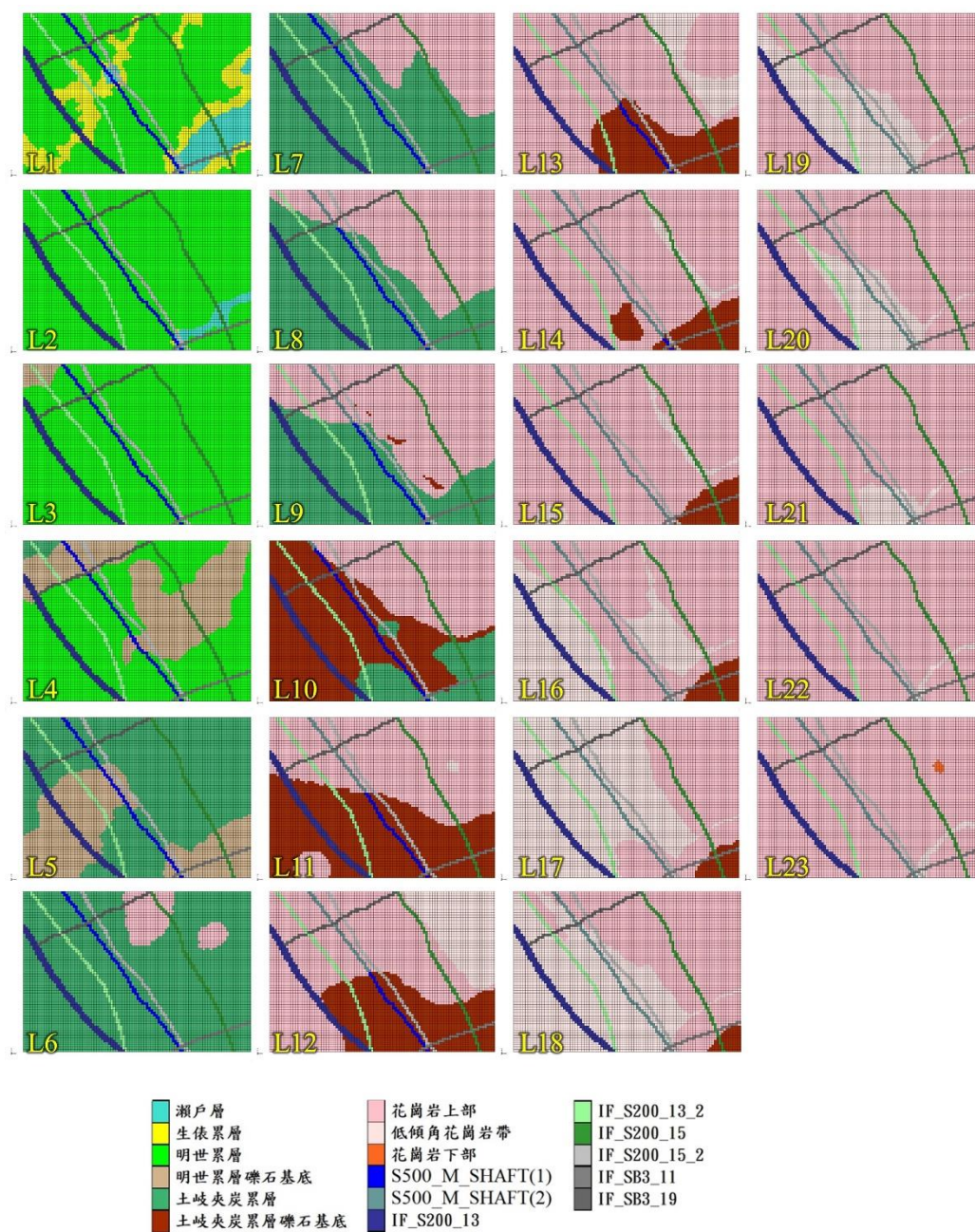


圖 1.3-13 塊體尺度模型設定(1 至 23 層)

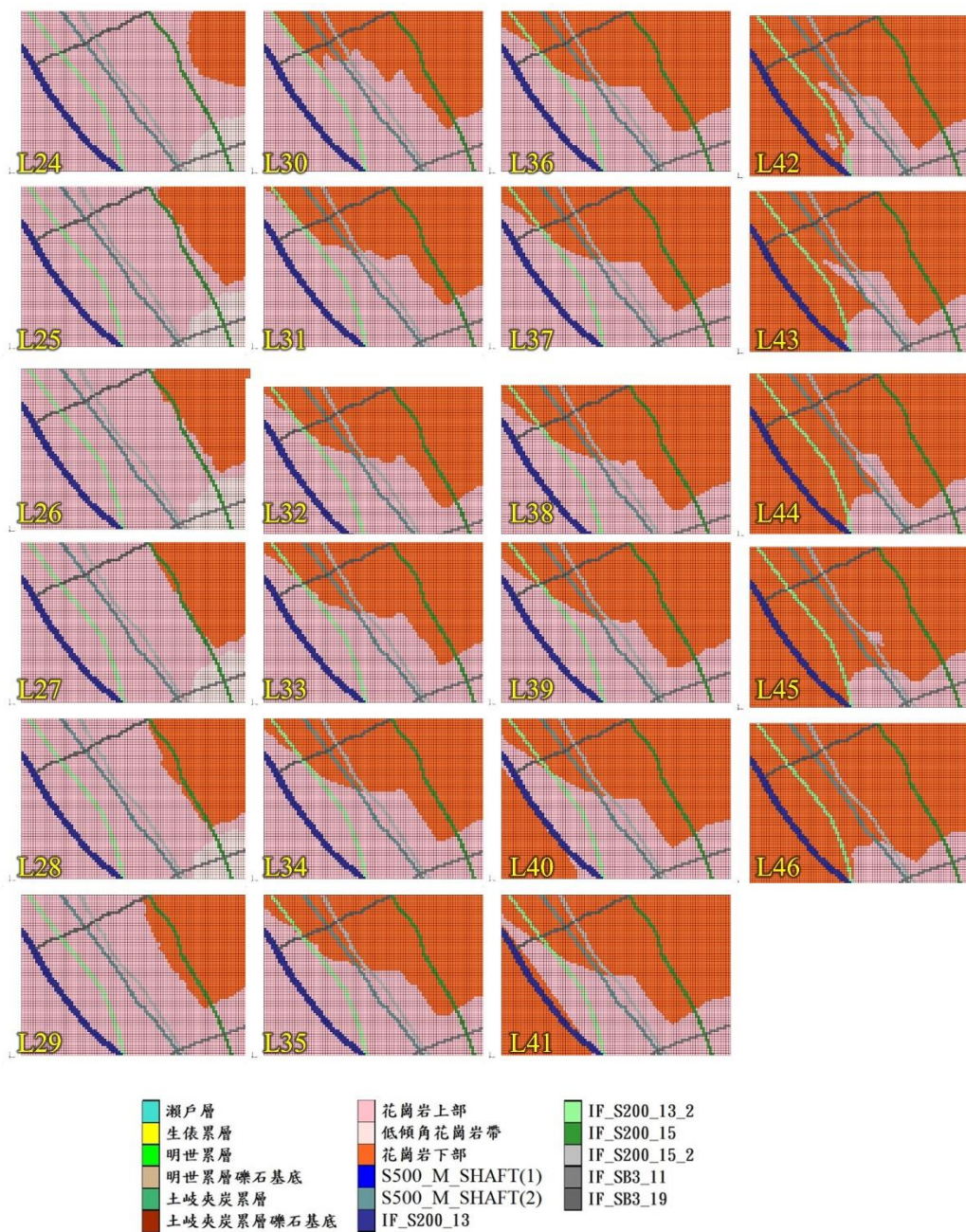


圖 1.3-14 塊體尺度模型設定(24 至 46 層)

表 1.3-4 塊體尺度模型的地層分區水力傳導係數

地質區分		水力傳導係數(m/s)		
		水平方向	垂直方向	異向性
瀨戶層群		1.00×10^{-6}	1.00×10^{-6}	無
瑞浪層群	瑞浪層群	1.58×10^{-7}	1.58×10^{-9}	有
	生俵累層	3.16×10^{-9}	3.16×10^{-11}	有
	明世累層/本鄉累層(本體)	2.51×10^{-8}	2.51×10^{-10}	有
	明世累層/本鄉累層(基底礫岩層)	5.01×10^{-7}	5.01×10^{-7}	無
	土岐夾炭累層(本體)	2.51×10^{-7}	2.51×10^{-9}	有
	土岐夾炭累層 (基底礫岩層)	5.01×10^{-6}	5.01×10^{-6}	無
花崗岩	上部裂隙帶	3.16×10^{-8}	5.01×10^{-7}	有
	低角度裂隙帶	1.00×10^{-6}	1.00×10^{-6}	無
	下部裂隙帶	2.00×10^{-8}	1.00×10^{-7}	有

資料來源：日本電力中央研究所(2017, p.6-40)

備註：原表格以對數呈現。

表 1.3-5 塊體尺度的不連續構造水力傳導係數

不連續構造		斷層寬(m)	水力傳導係數(m/s)	
			水平方向	垂直方向
IF_S200_13_		1	3.16×10^{-10}	1.00×10^{-11}
IF_S200_13_2		1	1.26×10^{-6}	1.26×10^{-6}
IF_S200_15		1	3.98×10^{-9}	1.00×10^{-11}
IF_S200_15_2		1	6.31×10^{-6}	6.31×10^{-6}
IF_SB3_11		1	5.01×10^{-5}	1.00×10^{-11}
IF_SB3_19		1	1.58×10^{-6}	1.58×10^{-6}
主立坑斷層 (S500_M_SHAFT)	沉積岩	1	3.01×10^{-8}	3.01×10^{-8}
	花崗岩	1	3.16×10^{-11}	3.16×10^{-11}

資料來源：日本電力中央研究所(2017, p.6-41)

備註：原表格以對數呈現。

3. 邊界條件

藉由場址尺度地下水模擬結果，擷取塊體尺度模型的範圍，將其水頭分布設定為塊體尺度模型邊界條件，以三維視角呈現如圖 1.3-15 所示。模型的表面邊界依照鑽孔高程與地下水位紀錄的回歸分析結果進行設定(JNC, 2005a, p.9)，約為鑽孔高程乘上 0.9933 再減掉 4.8468 m，下邊界為不透水邊界。

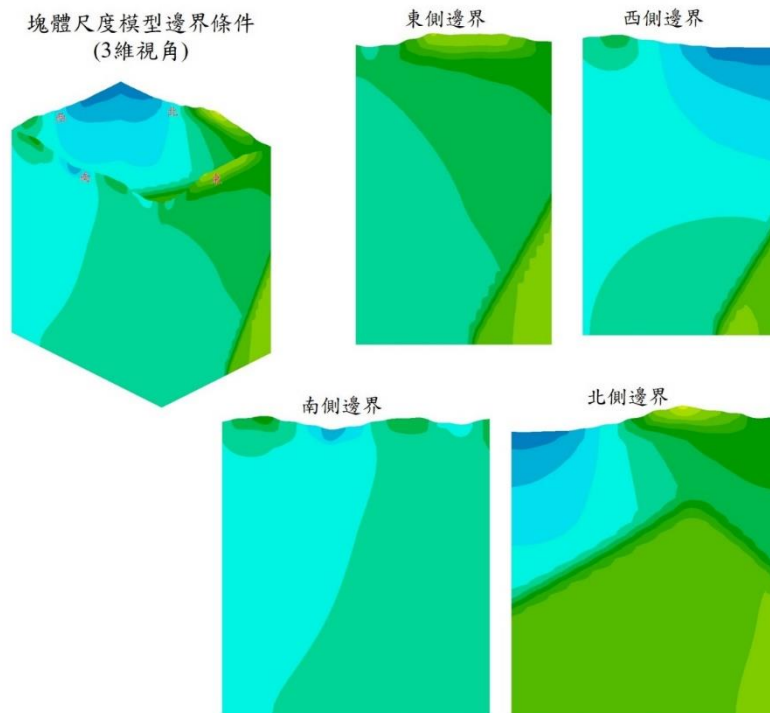


圖 1.3-15 塊體尺度模型的邊界條件

4. 模擬成果

模擬地下水頭分布呈現如圖 1.3-16 所示，模擬結果反應低透水性斷層的影響。模型內的總水頭分布如 AA'與 BB'剖面所示。於 AA'剖面中可發現，模型北邊區域的總水頭分布較高，南邊區域的總水頭分布較低，地下水大致由北向南流動。BB'剖面為絕對高程 0 m 的位置，顯示流場受到小型不連續構造的阻水特性影響。總水頭的分布趨勢受各連續構造的分布所影響，分成不同的區間。此外，斷層對總水頭的影響亦有深度差異，

如圖 1.3-17 所示之絕對高程-300 m 的總水頭剖面，也可以觀察出類似的水頭分布情況，但是不同深度的地質分布也不相同，因此總水頭有所差異。然而不連續構造之間所形成的封閉區域，水頭分布會受地表地勢、不連續構造的水力傳導係數，以及圍岩水力傳導係數等因素影響，使總水頭分布出現落差的情形。

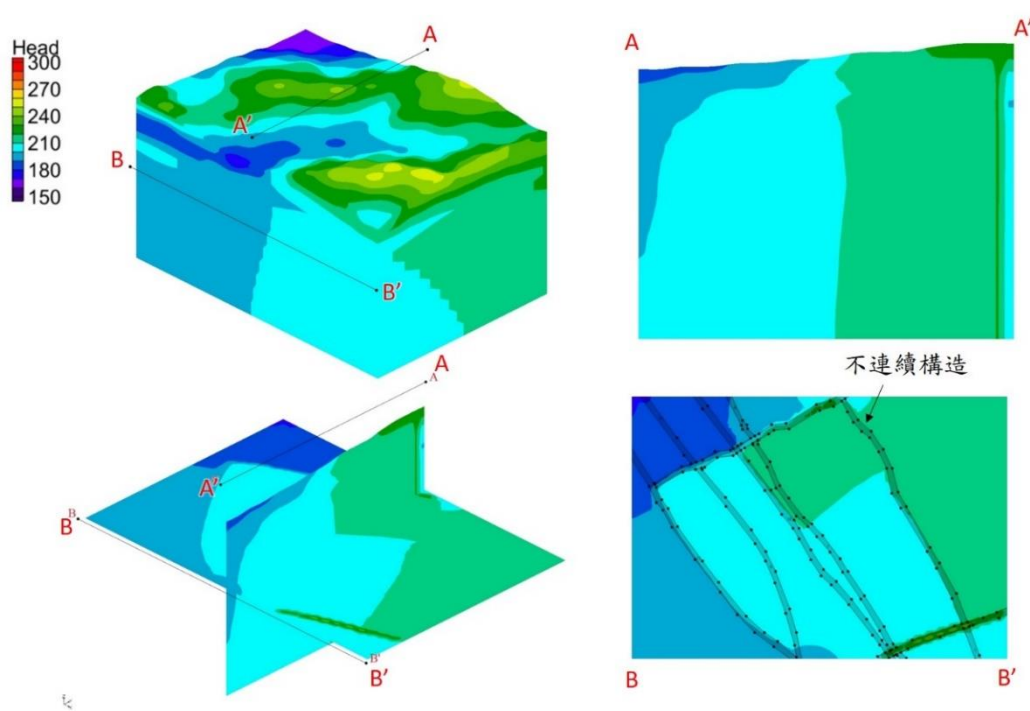


圖 1.3-16 塊體尺度地下水模擬總水頭分布

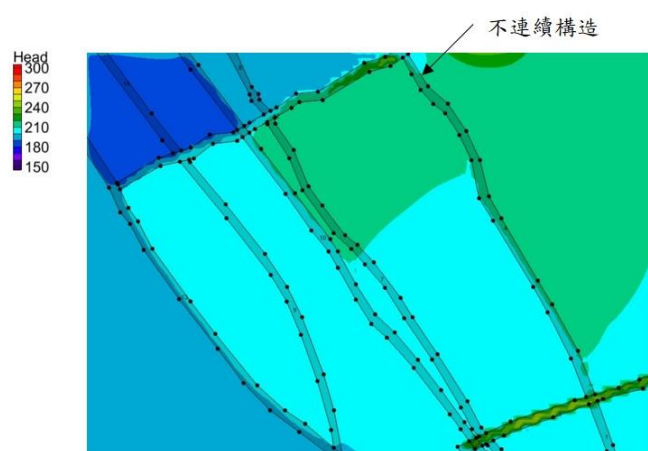


圖 1.3-17 塊體尺度地下水模擬總水頭分布(EL. -300 m)

(二) 案例 2：離散裂隙模擬分析

離散裂隙模擬分析利用 FracMan 建立模型與計算。裂隙特徵依據 MIU 的地表地質調查與鑽孔調查資料，對裂隙特性進行統計分析。根據裂隙特性的統計分布特徵，使用 FracMan 生成離散裂隙網路模型，並應用 ODA 原理進而求得等效水力傳導係數的分布，作為本案例中塊體尺度模型的水力傳導係數設定依據。裂隙特性參數依據 MIU 的場址特性調查成果，分述如後。

1. 裂隙特性參數

裂隙的位態依據地表露頭調查與鑽探岩心紀錄，分析統計分布特性，如表 1.3-6 所示。

表 1.3-6 MIU 場址裂隙特性統計

裂隙分區	裂隙分組	傾斜方向/ 傾斜角度[。]	費雪 係數	裂隙 樣本數	P ₁₀ (實測)	P ₃₂
上部裂隙帶 (UHFD)	1	142/74	22.8	551	0.37	1.14
	2	079/06	92.1	180	0.12	0.13
	3	072/82	47.4	152	0.1	0.41
	Res	000/00	0.0	1,272	0.84	1.69
	合計	-			1.43	3.37
低角度裂隙帶 (LAFZ)	1	047/11	53	426	1.55	1.97
	2	063/82	25.1	155	0.57	2.17
	Res	000/00	0.0	457	1.67	3.34
	合計	-			3.79	7.48
下部裂隙帶(LSFD)	1	251/88	28.7	145	0.09	0.33
	2	187/88	24.8	126	0.08	0.37
	3	131/86	32.4	48	0.03	0.15
	Res	000/00	0.0	387	0.25	0.51
	合計	-			0.45	1.36

資料來源：JAEA(2015a, p.21)

裂隙分區同樣參考更新之場址特性調查結果(圖 1.3-12)，將花崗岩分為 3 個區域，分別花崗岩上部裂隙帶、花崗岩低角度裂隙帶，以及花崗岩下部裂隙帶。

裂隙長度主要依據地表露頭調查，並將鑽孔孔徑納入考量，視為最小裂隙長度，對裂隙長度進行線性回歸。回歸結果呈現冪次定律統計分布，最小長度取 0.124 m，最大長度取 1,000 m，冪律分布函數為 2.7(JAEA, 2015a, p.25)。裂隙導水係數依據水力試驗與流體井測，導水係數與裂隙分布成呈現對數分布，對數平均值為-6，標準偏差為 1 (JAEA, 2015a, p.28)。裂隙開口寬根據 MIU 的研究成果(JAEA, 2015a, p.33~p.34)，其經驗式為開口寬等於滲透率開平方根。

2.離散裂隙網路模型

依據前述裂隙特性參數的統計特徵，使用隨機生成裂隙的方式，建立 10 個離散裂隙網路模型，並進一步計算各個離散裂隙網路模型的等效水力傳導係數，提供塊體尺度模型的水力傳導係數設定。

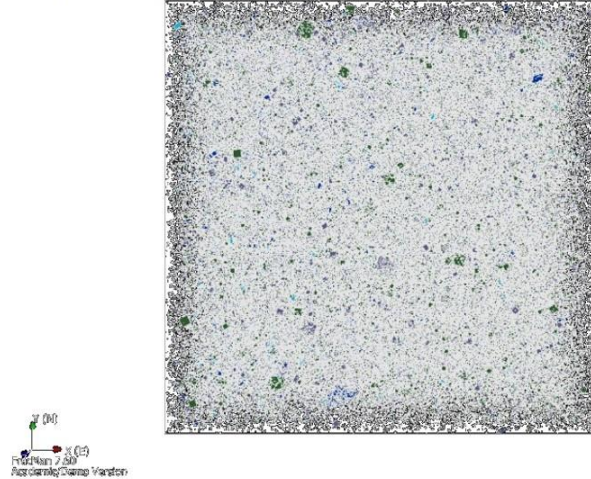
花崗岩上部裂隙帶離散裂隙網路模型如圖 1.3-18(a)所示。花崗岩上部裂隙帶的裂隙根據位態分成 4 組，前 3 組有特定位態，第 4 組為無特定位態，隨機分散在空間中。強度方面，第 1 組裂隙群強度為 1.14，僅次於無位態裂隙群組的 1.69，其餘兩組強度為 0.13 與 0.41，強度高低之間有 1.56 至 0.73 的落差，而無特定位態裂隙群組強度最高，因此離散裂隙網路模型中裂隙相對均勻分布。

花崗岩低角度裂隙帶離散裂隙網路模型如圖 1.3-18(b)所示，花崗岩低角度裂隙帶的裂隙根據位態分成 3 組，前 2 組有特定位態，第 4 組為無特定位態，隨機分散在空間中。第 1 組強度 1.97、第 2 組強度 2.17、第 3 組強度 3.34，落差幅度 1.37，離散裂隙網路模型中裂隙有較多呈現東北傾斜。

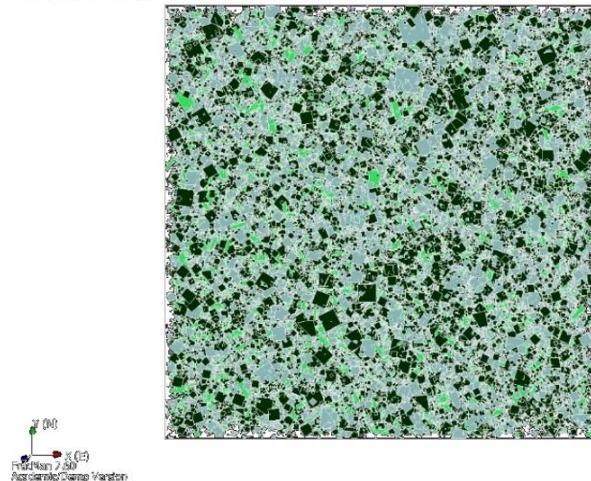
花崗岩下部裂隙帶離散裂隙網路模型如圖 1.3-18(c)所示，花崗岩下部裂隙帶的裂隙根據位態分成 4 組，前 3 組有特定位

態，第 4 組為無特定位態，隨機分散在空間中。下部裂隙帶裂隙以高傾角為主，使離散裂隙網路模型中裂隙傾斜程度也較大。

(a) 花崗岩上部裂隙帶離散裂隙模型



(b) 花崗岩低角度裂隙帶離散裂隙模型



(c) 花崗岩下部裂隙帶離散裂隙模型

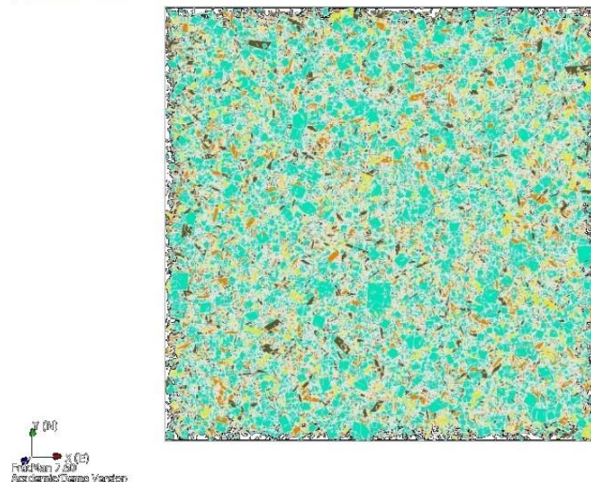


圖 1.3-18 花崗岩各分區之離散裂隙網路模型二維分布

10 組計算等效水力傳導係數結果如表 1.3-7 所列，將 3 種母岩裂隙特性，使用隨機生成裂隙的方式，建立離散裂隙網路模型，並對各模型計算出等效水力傳導係數。由於花崗岩低角度裂隙帶的調查結果顯示其裂隙強度最大，本案例中計算得出的等效水力傳導係數也相對較高。花崗岩下部裂隙帶根據調查結果，顯示整體裂隙強度小於花崗岩上部裂隙帶與花崗岩低角度裂隙帶，其離散裂隙網路模型所計算出之等效水力傳導係數，亦低於其他兩個裂隙帶的計算結果。

表 1.3-7 等效水力傳導係數

模擬 案例	上部裂隙帶		低角度裂隙帶		下部裂隙帶	
	Kx=Ky(m/s)	Kz(m/s)	Kx=Ky(m/s)	Kz(m/s)	Kx=Ky(m/s)	Kz(m/s)
1	3.44×10^{-5}	2.73×10^{-5}	6.60×10^{-5}	3.51×10^{-5}	1.03×10^{-5}	1.20×10^{-5}
2	3.39×10^{-5}	2.72×10^{-5}	6.03×10^{-5}	3.19×10^{-5}	1.16×10^{-5}	1.32×10^{-5}
3	3.38×10^{-5}	2.71×10^{-5}	5.98×10^{-5}	3.20×10^{-5}	8.38×10^{-6}	8.88×10^{-6}
4	3.38×10^{-5}	2.71×10^{-5}	6.01×10^{-5}	3.16×10^{-5}	8.36×10^{-6}	8.88×10^{-6}
5	3.38×10^{-5}	2.70×10^{-5}	6.01×10^{-5}	3.18×10^{-5}	8.54×10^{-6}	9.03×10^{-6}
6	3.39×10^{-5}	2.70×10^{-5}	5.98×10^{-5}	3.24×10^{-5}	8.49×10^{-6}	8.95×10^{-6}
7	3.39×10^{-5}	2.70×10^{-5}	6.03×10^{-5}	3.17×10^{-5}	8.58×10^{-6}	9.06×10^{-6}
8	3.38×10^{-5}	2.71×10^{-5}	5.97×10^{-5}	3.20×10^{-5}	8.79×10^{-6}	8.99×10^{-6}
9	3.38×10^{-5}	2.71×10^{-5}	6.03×10^{-5}	3.21×10^{-5}	8.68×10^{-6}	8.96×10^{-6}
10	3.38×10^{-5}	2.71×10^{-5}	6.02×10^{-5}	3.17×10^{-5}	8.71×10^{-6}	9.00×10^{-6}

3.地下水模擬

依據離散裂隙網路模型計算取得等效水力傳導係數的分布後，進行數值模型的水力傳導係數設定。

模型的地質材料分布設定以及邊界條件設定與案例一相同，如圖 1.3-12 至圖 1.3-15 所示。僅花崗岩的部分，其水力傳導係數以場址裂隙特徵的統計分布為依據，透過離散裂隙模型建置，計算出等效水力傳導係數後，再回饋至模型的水力傳導係數設定。

模擬之三維水頭分布成果如圖 1.3-19 所示。以第 1 組模擬成果為例，模擬結果顯示地表面的總水頭與地勢起伏的趨勢相近。小型斷層對流場的阻水效果明顯，在斷層與斷層之間的區塊內，可觀察到水力梯度較為平緩。10 組模擬成果分別取絕對高程-10 m、-60 m 和-300 m 呈現，如圖 1.3-20 與圖 1.3-21 所示。10 組模擬成果均以相同的裂隙統計分布特徵為基礎，產生 10 組等效水力傳導係數模型，模擬取得的流場分布特性亦相當近似。

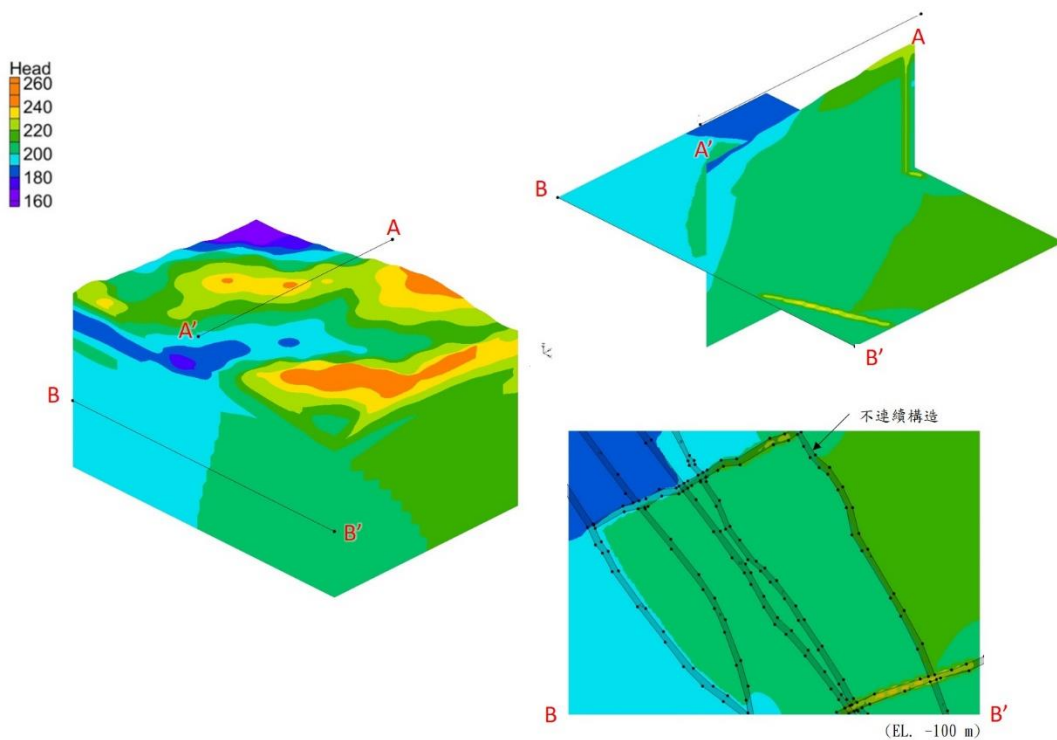


圖 1.3-19 三維水頭分布

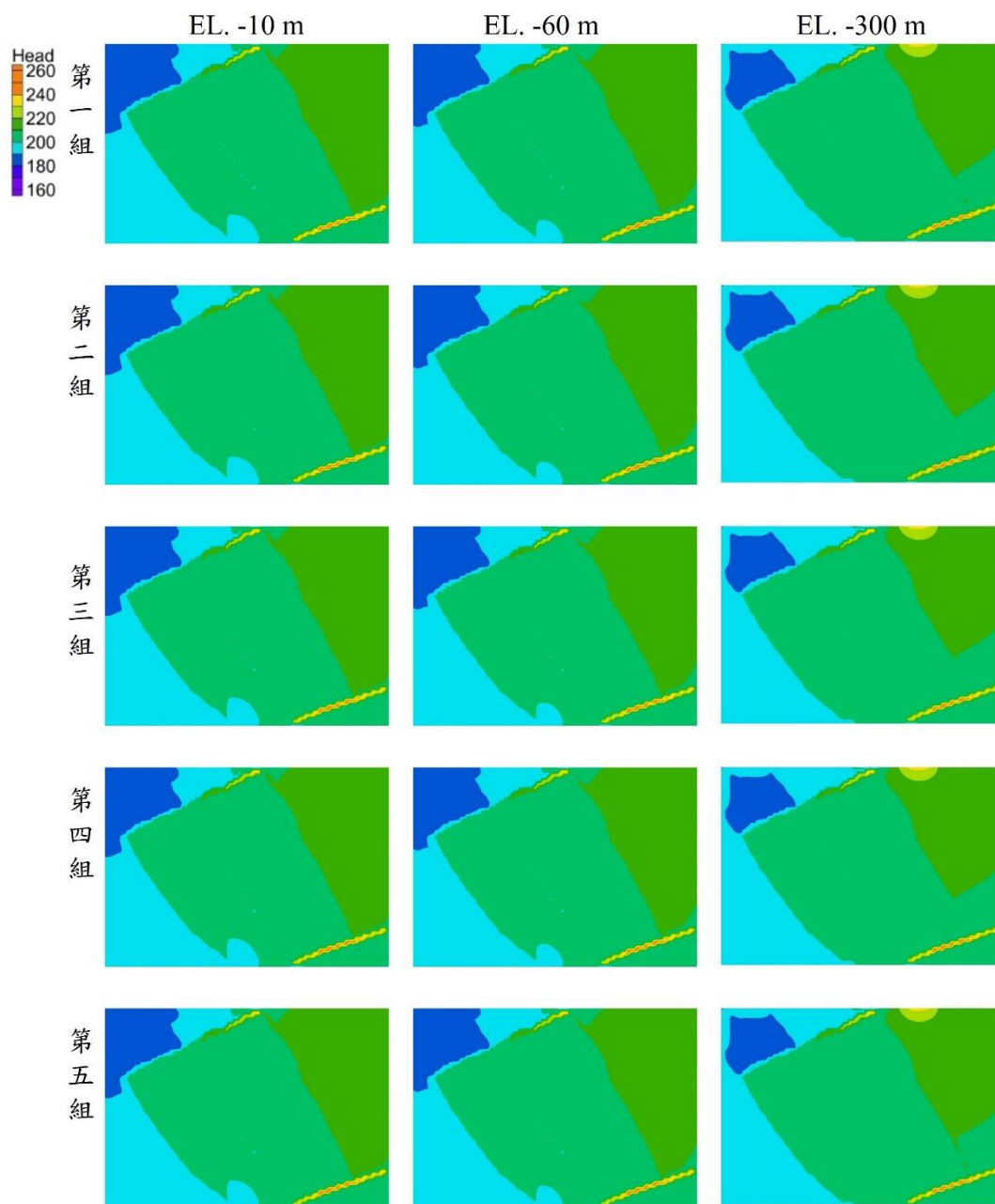


圖 1.3-20 第 1 組至第 5 組的水頭分布

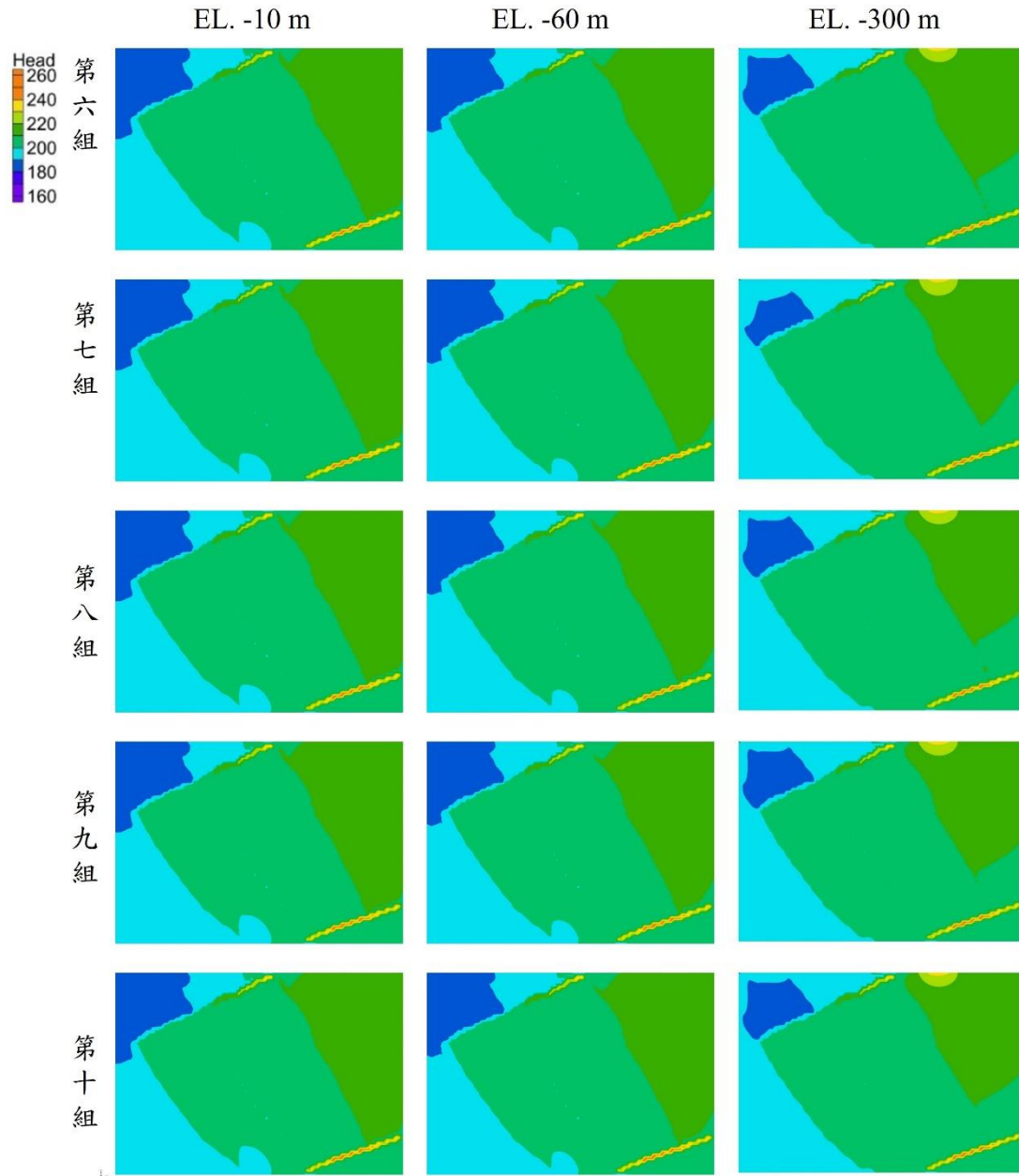


圖 1.3-21 第 6 組至第 10 組的水頭分布

此外，於 MIU 場址的研究坑道開挖後，其裂隙特性特徵化過程中，曾因場址裂隙特性調查資料量過於龐大，不利於模式運算，進而篩除裂隙長度小於一定值之裂隙，僅保留裂隙長度介於 10 m 至 1,000 m 之間的裂隙進行特徵化，以進一步進行等效水力傳導係數的計算(JAEA, 2015a, p.31)。本報告亦參考其研究，同樣濾除 10 m 以下的裂隙，並再次計算等效水力傳導係數分布與模擬地下水流場，成果如圖 1.3-22 與圖 1.3-23 所示。

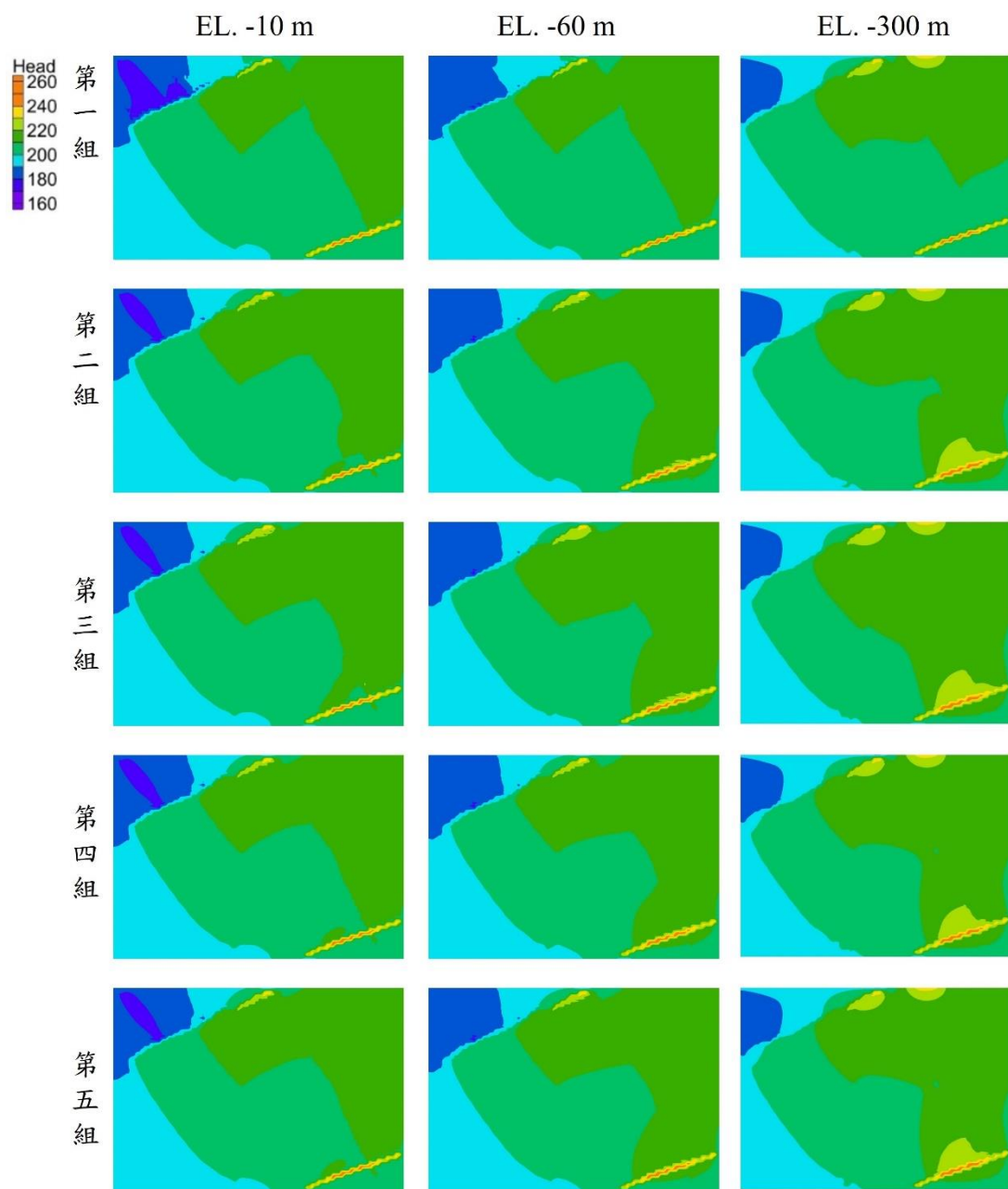


圖 1.3-22 第 1 組至第 5 組的水頭分布(已濾除小於 10 m 之裂隙)

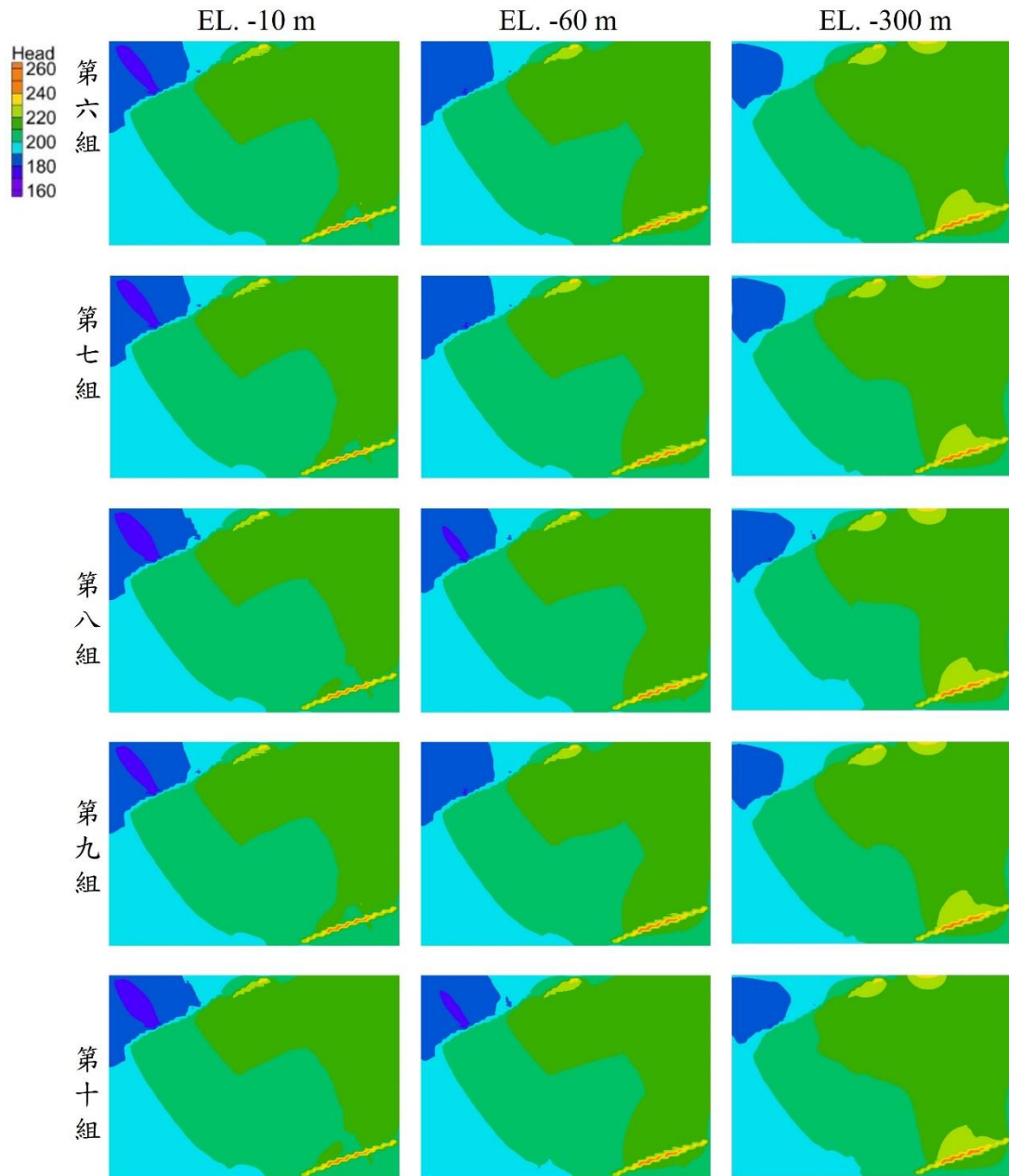
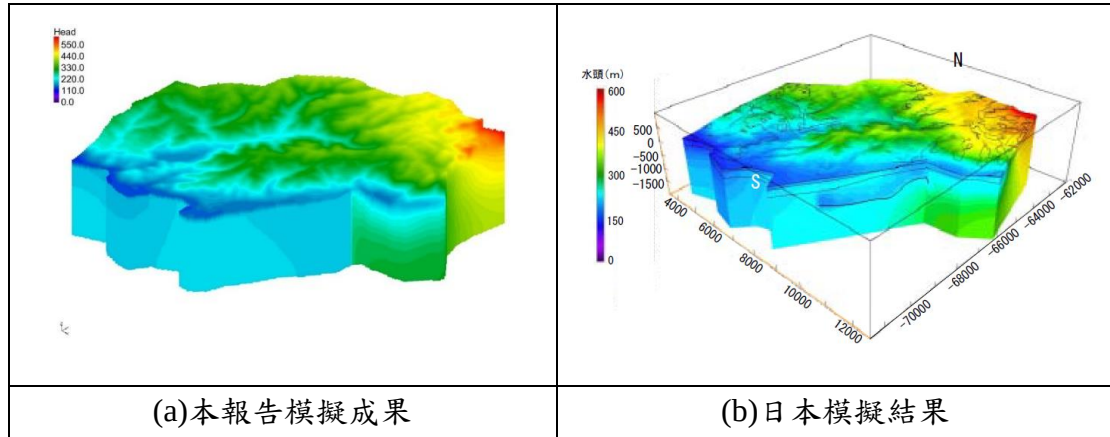


圖 1.3-23 第 6 組至第 10 組的水頭分布(已濾除小於 10 m 之裂隙)

四、流場模擬結果討論

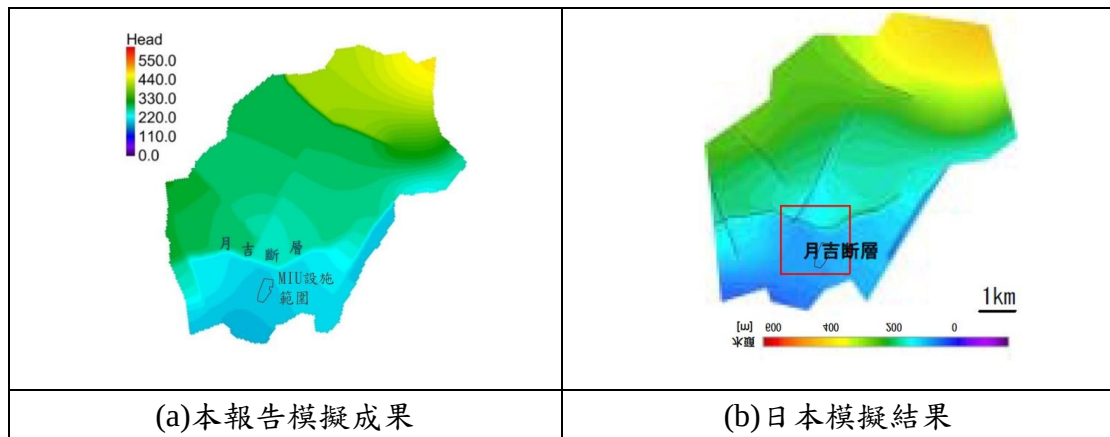
本報告參考 MIU 的場址特徵化程序，研擬與執行本計畫地下水流場特徵模型建置程序與結果評估。模型建置使用 MIU 的主要鑽孔資料、邊界條件、水文地質主要特徵等場址資訊。模擬成果顯示 MIU 場址的水頭分布明顯受地形變化的影響，主地下水流向為東北往西南，此結果與日本的流場特徵評估成果相符，

如圖 1.3-24 與圖 1.3-25 所示。本報告模擬成果以及日本模擬成果的比較說明如後。



資料來源：JNC, 2005a, p.11

圖 1.3-24 模型頂部總水頭分布模擬成果對比



資料來源：JNC, 2005a, p.11

圖 1.3-25 EL. -300 m 處總水頭分布模擬成果對比

- (一) 本報告的流場模擬成果顯示場址水頭的分布變化範圍約介於 EL. 600 m 至 EL. 110 之間。日本的流場特徵亦呈現相似的水頭變化範圍(圖 1.3-25)。
- (二) 本報告的流場模擬成果顯示場址水頭分布與地形變化呈現良好的一致性，日本的特徵化研究成果亦顯示地下水流場與地形變化的關係密切，水頭隨地形變化的趨勢相當明顯(圖 1.3-25)。

(三)本報告的流場模擬結果顯示場址的水頭分布為東北往西南遞減，主地下水流向為東北往西南方流動，與日本的流場特徵化果相同(圖 1.3-26)。

(四)本報告模擬結果顯示不連續構造的阻水特徵明顯，反映不連續構造為地下水流場的重要影響因子，於本報告與日本的模擬成果均可觀察到不連續構造的阻水特性對流場特徵的影響，例如圖 1.3-26 中的月吉斷層。

本報告模擬成果的討論重點為確認水文地質特徵模型建置程序的合宜性，利用已知的 MIU 場址流場特徵，確認模擬成果是否反應 MIU 場址的主要流場變化。建模依據多階段特性調查歷程收集之地質與水文地質特徵，包含岩性變化、不連續構造空間分布、水文地質特性參數的分布與範圍等，並依循 MIU 的邊界條件考量方法，依據現地調查資料與場址地形變化訂定邊界條件，提供水文地質模型建置依據，進而於模擬成果中重現 MIU 場址的主要流場特徵。

此外，考量實際執行場址特性調查與特徵分析作業時，僅可取得場址特徵調查與判釋成果，實際的數值模型網格設定須再行訂定。故本報告的模型參數採用 MIU 的場址特徵化成果，但網格幾何設定則與 MIU 的文獻報告不同，反應真實執行狀況。例如網格尺寸、數量與空間分布等網格設定項目。因此，本報告流場模擬成果與日本成果之間主要特徵相符，但存在細部差異。此外，實際流場特徵之模擬與評估，仍需利用現地監測資料(例：河川水位、地下水位、孔隙水壓等)進行相關參數校正，以確保模擬之流場特徵反應實際場址情形。

1.4 水文地質特徵化作業程序

為瞭解與評估不同情節下之場址水文地質特徵特性，須透過建立水文地質特徵模型的方式，利用數值模擬來評估各種不同環境條件下之地下水流場特性。為確保未來可順利且準確執行場址水文地質特徵化作業，依前述討論內容與水文地質特徵化之主要目的，研擬水文地質特徵化作業程序與要求。

一、水文地質概念模型與模擬考量

建立水文地質概念化模型之步驟分別為選定評估尺度並定義出研究範圍與模型邊界、定義模擬範圍內之水文地質單元分層與分布、定義概念模型之入流與出流特性、執行模型驗證與參數校正。以下分就建立概念模型之重要考量進行說明：

(一)評估尺度考量

依地下水流場特徵之評估需求，可將水文地質模型略分為：

1.廣域尺度與區域尺度模型

用以評估場址初始地下水流場特性，以及用於模擬長期水文環境特徵演變，對於處置場址附近之地下水流場變化。主要考量特徵為海水位升降、降雨入滲補注量等環境邊界條件之改變。主要評估之流場特徵為場址附近之地下水流場水力梯度特性，以及核種自處置設施釋出後之可能傳輸途徑、傳輸途徑流量與傳輸途徑所需時間。

2.場址尺度模型

用以評估處置設施開發與封閉等作業，導致設施與周邊環境水文地質狀態改變後，對於地下水流場特性產生之影響。主要考量特徵為區域尺度模型之評估結果、設施阻水與排水設計、開挖擾動與岩體應力重分配之影響。主要評估處置設施周圍之地下水流場水力梯度特性與流場特性。

3.設施尺度與塊體尺度模型

用以評估處置設施封閉設計與當工程設施隨著時間逐漸產生功能劣化後，處置設施內之地下水流場變化。主要考量特徵為場址尺度模型之評估結果、設施封閉設計、工程設施隨時間演化其透水特性之變化。主要評估處置設施內之地下水流場特性，以及功能劣化後之地下水流場特性。

(二)邊界設定考量

進行水文地質模擬時，將其自然邊界作為模型邊界為最適當之作法。尤其是會發生地下水流出或流入之邊界，例如：河川、湖泊、海洋等。自然邊界有助於正確定義模型之入流與出流特性概念。但若因模擬尺度較小，或模擬區域內並未存在自然邊界時，常會先利用尺度更大之模型將自然邊界納入模型分析後，再取其模擬結果作為小尺度模型之邊界條件使用，用以避免因誤判邊界條件所產生之模擬錯誤。

(三)水文地質單元分層與分布考量

水文地質單元之分層與分布特性，決定概念模型中地下水流場之分布特性，透水性較佳之水文地質單元將成為地下水流速較快之區域。反之則可能導致流場流動之方向改變。

水文地質分層與分布，以及水文地質單元特性需透過場址調查與試驗分析取得，其涵蓋了主要的水文地質調查與試驗項目。須利用水文地質特徵化作業程序確認與選用合適參數，用以建立正確之水文地質概念化模型。

(四)模型之入流與出流特性

模型之入流與出流特性，決定了概念模型之地下水主要流向與流場特性。一般而言，相同流量之入流邊界與出流邊界，若其所在位置之高差越大，將會使整個概念模型呈現出高水力梯度之地下水流場特性。反之，則會使地下水流場趨緩。若概念模型之水文地質分層並無複雜之阻水構造，則入流邊界與出流邊界之分

布位置，亦將主導概念模型流場之主要流向。因此，建立模型之中，需仔細檢視可能成為入流與出流之邊界，以及利用地下水位監測與水文地質資料，研判真實流場之入流與出流特性，並反應於概念模型之中。

(五)模型驗證與參數校正

水文地質特徵模型，須先透過理論與現地調查所取得之場址水文地質環境特徵，再利用數學模式建構出可以反映出現場真實流場特徵之特徵概念化模型。因此，對於場址水文地質狀態之理解與掌握程度，將會直接影響模擬結果之準確性與評估應用範圍。所以在不同評估階段，受可掌握之場址水文地質環境資料精度影響，模型與參數設定之可校正程度亦有所差異，故各階段之評估考量與要求亦不盡相同。因此，隨著文獻評估、進場調查與設施施工等階段的推展，反覆利用最新取得之場址特徵資料，持續驗證與校正水文地質模型是必要的工作。

考量建立水文地質特徵模型之目的在於模擬真實之地下水流場特性，故模型驗證通常須利用模擬範圍內之地下水位監測資料。當水文地質概念模型之特徵概念與真實環境特徵越接近，則其模擬結果之流場變動趨勢與特性越準確。反之，則須針對水文地質概念模型進行參數校正。反覆執行模型驗證與參數校正，直到模擬成果精度可符合評估需求。

(六)評估結果與不確定分析

反覆利用已驗證之概念模型進行測試，對於評估場址特徵評估之不確定性有相當之幫助，例如：固定各水文地質分層之水力傳導係數等特性，改變水文邊界條件用以測試可能釋出途徑之流徑或流向變化。或固定水文邊界條件，改變水文地質特性進行地下水流場之敏感度分析。藉由此類反覆執行之敏感度評估，可協助進行量化指標評估。有助於確認水文地質概念模型之不確定性與信賴度，例如：水文地質特性可能變動範圍對於流場改變之程

度、不同水文環境下之地下水流場特性、測試不同處置設施設計對地下水流場之影響。

二、不同階段之水文地質調查與特徵化

配合現階段低放射性廢棄物最終處置場的建置歷程，將水文地質特徵化程序分為 4 個階段。分別為建議候選場址尚未確定前的初步評估階段、建議候選場址確定後的場址調查階段、處置場開始施工的坑道開挖階段，以及處置場完成後的坑道完工階段。

各階段皆依水文地質概念模型、階段式調查計畫、調查方法、參數資料解析、概念模型模擬、評估分析結果與不確定性等順序執行，藉由多次疊代循環，逐步確認水文地質特徵模型的準確性。彙整水文地質特徵與其調查方法、尺度與調查時機之考量如表 1.4-1 所列。

(一)初步評估階段

候選場址尚未確定前，場址特性資料以文獻蒐集為主，受限於資料的精度，主要以大尺度的地質構造為邊界，建立區域尺度的水文地質特徵模型，了解地質構造三維空間分布與地下水流特性，釐清重要的水文地質特徵，並取得籌畫下一階段水文地質特徵化所需的基本資料，規劃下一階段的調查項目與方法。

(二)場址調查階段

候選場址確定後，進場實施水文地質特性調查，並利用調查所得之參數資料，檢視前一階段水文地質特徵概念模型的正確性，經修正與調整後，作為場址尺度水文地質特徵模型的邊界條件，分析場址尺度下的地下水流況，並視現有資料狀況，評估是否需於坑道開挖時施行補充調查。此外，需預期坑道開挖階段需取得之現場參數資料和取得方式，以利驗證場址尺度水文地質特徵模型。

表 1.4-1 水文地質特徵與調查尺度關聯性

水文地質特徵	調查方法	考量尺度			
		廣域	區域	場址	設施
地形	文獻調查	○	○	○	○
	地形測量			○	
水文地質分區	文獻調查	○	○	○	○
	地表地質調查與反射震測調查	-	○	○	○
	鑽孔調查與試驗(既有鑽孔、淺鑽孔、深鑽孔)	-	○	○	○
	補充跨孔水力與地物調查	-	-	○	○
	施工時坑道壁面調查	-	-	○	○
	施工時坑道湧水調查	-	-	○	○
水文地質分層界面	文獻調查	○	○	○	○
	地表地質調查與反射震測調查	-	○	○	○
	鑽孔調查(既有鑽孔、淺鑽孔、深鑽孔)	-	○	○	○
	補充跨孔水力與地物調查	-	-	○	○
	施工時坑道壁面調查	-	-	○	○
	施工時坑道湧水調查	-	-	○	○
斷層與其裂隙帶	文獻調查	-	○	○	○
	地表地質調查與反射震測調查	-	○	○	○
	鑽孔調查(既有鑽孔、淺鑽孔、深鑽孔)	-	○	○	○
	補充跨孔水力與地物調查	-	-	○	○
	施工時坑道壁面調查	-	-	○	○
	施工時坑道內鑽孔調查	-	-	○	○
岩體裂隙分區與裂隙特性	文獻調查	-	○	○	○
	地表地質調查與反射震測調查	-	○	○	○
	鑽孔調查(既有鑽孔、深鑽孔)	-	○	○	○
	補充跨孔水力與地物調查	-	-	○	○
	施工時坑道壁面調查	-	-	○	○
	施工時坑道內鑽孔調查	-	-	○	○
水文地質單元透水特性	文獻調查	-	○	○	○
	鑽孔調查(既有鑽孔、深鑽孔)	-	○	○	○
	單(雙)井地下水文試驗	-	○	○	○
	補充跨孔水力與地物調查	-	-	○	○
	單(雙)井追蹤與擴散試驗	-	-	○	○
	研究坑道湧水調查	-	-	○	○
	地下水位、水壓監測	-	○	○	○

(三)坑道開挖階段

隨著坑道開挖取得之直接證據，驗證前一階段水文地質特徵概念模型，使模型更趨精確。

(四)坑道完工階段

坑道完工後仍需持續監測場址地區之地下水流場變化，持續更新與校正水文地質概念模型，供後續封閉階段作業規劃使用。

三、水文地質特徵化作業程序規劃

在將多尺度原則與疊代式原則應用至水文地質特徵化程序的過程中，涉及不同類型之議題的關聯性考量，並進而影響每次特徵化作業循環所考量的特性調查方法，對應的特性調查資料與特徵、特徵化尺度以及特徵化目標。對於不同議題之間的關聯性的評估，進而影響至水文地質特徵化作業程序的規劃，相關考量包含：

(一)考量特性調查、特性參數與場址特徵之間的關聯性

特性調查方法與場址特性之間的關聯性可能為一對一、一對多，或多對一的關係，並進而對應到不同的場址特徵。

- 1.單一特性調查方法可能僅能取得單項特性參數的調查結果，例如地下水位調查，取得的特性參數即為地下水位資料，進而取得調查範圍內的水位分布特徵。
- 2.單一特性調查方法可能取得多種特性參數，例如岩心調查可取得岩性、裂隙位態、裂隙開口寬、斷層分布深度等特性參數，進而取得岩層的交界面分布、岩體的裂隙特徵、以及不連續構造的空間分布特徵。
- 3.多種特性調查方法取得的成果可能綜整為一種特性參數，例如文獻調查、地表地質調查、反射震測調查、鑽孔調查、以及鑽孔的地球物理與流體井測調查，取得不連續構造的分佈資訊，綜整後可取得不連續構造的空間分布特徵。

在場址的地質與水文地質特徵化過程中，對於不同尺度與不同階段的疊代式特徵化作業，其特性調查、特性參數以及相應的場址特徵之間的關聯，應組織各關聯性之間的邏輯架構。

(二)考量不同調查法取得之特徵之間的關聯性

不同的特徵與特徵之間有時具有疊加的關係，對於實務上的執行而言，具有先後關係。例如不連續構造的空間分布特徵為地質與地球物理特性調查與特徵化分析的成果。不連續構造的水力傳導特徵則是以其為基礎，進一步針對不連續構造進行水力試驗與流體井測調查與分析後取得。

(三)考量不同調查尺度之間的關聯性

特徵化程序的執行須依據不同的分析尺度，由大至小進行場址特徵化作業，以日本的特徵化經驗為例，分為廣域尺度、區域尺度、場址尺度、塊體尺度。基本上，小尺度模型與大尺度模型之間的特徵化成果基本上為累加的關係，並且隨著特徵化尺度的不同，重要地質特徵要素會隨之不同，關注的特性參數亦會隨之調整。

(四)整合場址特徵化目標與特性調查方法

從地質處置的角度，對於目標場址訂定特徵化目標，包含掌握地質構造的三維空間分布，以及地下水流場的特性。於規劃場址特性調查內容、分析場址特性調查資料，至完成場址特徵化成果，均與最初訂定之特徵化目標相呼應，確保其特徵化研究的方向未偏離其目標。

綜上所述，對於場址特徵化的特性調查、特性調查資料、特徵化分析、特徵化尺度，以及對應的特徵化目標，系統化的組織各項之間的關聯性，並建立特性調查至特徵化分析之間涉及的議題之關聯性，以說明其邏輯架構。

1.5 結論

- 一、依據分析 MIU 研究成果，影響場址水文地質特徵判釋之重要地質特徵要素包含：岩層分區、交界面、不連續構造、裂隙特徵以及導水特性等 5 類。故其對應之調查與分析技術，以及確認調查結果之考量方式，對於正確反映場址水文地質特徵之判釋有決定性之影響。
- 二、疊代式作業為場址特徵化過程中的重要原則。每一階段的特徵化作業，應綜整前一階段成果作為研擬下階段調查計畫的參考依據。包含評估前期調查方法的不足之處、場址特徵化目標與課題的達成狀況、以及待釐清之重要地質特徵要素。並且考量該階段的特性資料需求、需進行補充調查的場址特徵、跨領域特性調查的需求狀況，以及特性調查資料的預期用途。研擬合宜之調查方法，藉此使調查成果符合該階段的場址特徵化目標。
- 三、特性調查方法與特性參數之間可以是非單一的關聯性，場址特徵的特性參數須經由具關連性之場址特性調查方法加以調查與確認。例如場址不連續構造與裂隙的透水性，須透過不同鑽孔調查結果的交叉比對進行判釋。
- 四、模擬分析為重要地質特徵要素的判釋輔助工具。藉由建立模型用以模擬不同尺度的地下水流場特性，可評估不連續構造、裂隙特性等地質特徵要素對地下水流場影響的重要性，輔助規劃後續場址特性調查程序，進而驗證與確認場址特徵化之準確性。
- 五、當場址特徵化成果隨著特性調查資料而更新，每次更新後的場址特徵化概念會成為一個新的檢視工具，用以檢視前一階段的特徵化成果，包含：(1)更新或新增之重要地質特徵要素。(2)現階段對場址特性的理解程度。(3)評估下一階段需要取得更多調查證據之重要地質特徵要素。
- 六、因此，重複性的調查程序視為準確評估場址特徵化成果重要的一環。準確評估場址特徵化目標之驗證方式，主要透過反覆確認對

地質特徵要素的理解程度，以及評估取得的調查資料是否已反映調查目標的場址特徵。此外，特徵化成果除了經由疊代式的場址特性調查驗證，後續仍須輔以長期地下水監測資料驗證與修正模型，確認特徵化成果之正確性。

參考文獻

1. 台灣電力公司，2009，地質評估報告—八號場址，低放射性廢棄物最終處置場可行性研究技術服務工作，p.4-9。
2. 鈴木義和，2007，低レベル放射性廃棄物の余裕深度処分施設の調査について，土木学会岩盤力学委員会ニューズレター，No.12，p.4。
3. 電力中央研究所，2017，地層処分技術調査等事業(岩盤中地下水移行評価確証技術開発)-岩盤中物質移行特性評価技術の確証，p.6-40~p.6-41.
4. 饒耕瑋，2018，高放废物地质处置库围岩特性研究，p.1。
5. Hoyos, A.K. de, Mathieu, G. and Viennot, P.P., 2007, p.1~p.3
6. JAEA, 2007, Final report on the surface-based investigation (phase I) at the Mizunami Underground Laboratory project (In Japanese), JAEA-Research 2007-043, p.31, p.35, p.243~p.244, p.347~p.348, p.257~p.258, p.267~p.286.
7. JAEA, 2008, Establishment of advanced integration technology for site characterization of deep geological repository; Development of information synthesis and interpretation system; Annual report 2007 (Contract research)(Part I)(In Japanese), JAEA-Research 2008-085(Part I), p.29~p.34.
8. JAEA, 2012, Proceedings of Information and Opinion Exchange Conference on Geoscientific Study, 2012 (In Japanese), JAEA-Review 2012-049, p.19.
9. JAEA, 2013, Mizunami Underground Research Laboratory Project; Preparation of geosynthesis data flow diagram (Construction phase) (In Japanese), JAEA-Data/Code 2013-010, p.7.

10. JAEA, 2015a, Study for Development of the Methodology for Multi-scale Hydrogeological Modeling Taking into Account Hydraulic Heterogeneity Caused by Fracture Network (In Japanese),JAEA-Research-2015-011, p.21, p.25, p.28, p.31~p.34.
11. JAEA, 2015b, Study of hydrogeology in the Mizunami Underground Research Laboratory Project; Hydrogeological modeling at site scale in Phase II (In Japanese), JAEA-Research 2015-008, p.41.
12. JAEA, 2015c, Data on fractures in the Toki Granite based on the deep borehole investigations (In Japanese), JAEA-Data/Code 2015-004, p.1.
13. JAEA, 2016, Development of geological models in the Mizunami Underground Research Laboratory Project; Updating from "Shaft500 Geological Model" to "Stage500 Geological Model" in Phase II (In Japanese), JAEA-Research 2016-009, p.7.
14. JNC, 2005a, Groundwater Flow Analysis on Local Scale-Evaluation of groundwater flow condition on Local scale and setting boundary conditions for groundwater flow analysis on Site scale model in Step0- (In Japanese), JNC TN7400 2005-004, p.7~p.9, p.10~p.11, p.13.
15. JNC, 2005b, Stepwise Hydrogeological Modeling and Groundwater Flow Analysis on Site Scale (Step0 and Step1) (In Japanese), JNC-TN7400-2005-008, p. 13.

第2章 低放射性廢棄物盛裝容器之安全功能特性研究

2.1 盛裝容器相關規範

2.1.1 國內低放射性廢棄物盛裝容器相關法規

國內對於放射性物質的相關管制法規，主要為放射性物料管理法以及游離輻射防護法兩者，其中與放射性廢棄物包裝容器有關部分則包含下列幾項：

- 一、放射性廢棄物處理貯存及其設施安全管理規則。
- 二、低放射性廢棄物盛裝容器使用申請書導則。
- 三、低放射性廢棄物最終處置及其設施安全管理規則。
- 四、低放射性廢棄物最終處置盛裝容器審查規範。
- 五、低放射性廢棄物最終處置場廢棄物接收規範。
- 六、放射性物質安全運送規則。

台電公司所選用的盛裝容器，應根據容器的使用目標等條件，對應符合上述規範與規則。

2.1.2 國際低放射性廢棄物盛裝容器規範

國際間低放射性廢棄物盛裝容器之相關規範，可參考美國核管會(Nuclear Regulatory Commission, NRC)與國際原子能總署(International Atomic Energy Agency, IAEA)這兩大主要系統。NRC 系統中與低放射性廢棄物盛裝容器相關者，主要包含低放射性廢棄物陸地處置管制法規，如 10 CFR 61-LICENSING REQUIREMENTS FOR LAND DISPOSAL OF RADIOACTIVE WASTE (NRC, 2018a)；以及放射性物質安全運送的管制法規，主要為 10 CFR 71-PACKAGING AND TRANSPORTATION OF RADIOACTIVE MATERIAL (NRC, 2018b)、49 CFR 173-

SHIPPERS-GENERAL REQUIREMENTS FOR SHIPMENTS AND PACKAGINGS (NRC, 2018c)。

IAEA 系統中對放射性廢棄物處置分類及放射性物質安全運送的相關規定，主要包含 IAEA SSR-6 (Rev.1) Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material 2018 Edition (IAEA, 2018)、Containers for Packaging of Solid Low and Intermediate Level Radioactive Wastes (IAEA, 1993)，以及 IAEA TECDOC 1515 Development of Specifications for Radioactive Waste Packages (IAEA, 2006)等，而這些規定廣泛於歐洲大多數國家採用。

2.2 低放射性廢棄物盛裝容器安全功能考量

低放射性廢棄物盛裝容器若依照處置作業目的與工程障壁設計規劃，盛裝容器在處置作業安全功能需求至少包含耐久性、搬運功能、堆疊功能、屏蔽功能、圍阻功能與遲滯功能等。參考現階段處置場概念設計，低放射性廢棄物處置場於接收廢棄物包件後，若廢棄物包件符合處置場對於廢棄物包件的相關要求，可考慮直接進行處置程序。因此，在選用低放射性廢棄物盛裝容器時，可考慮未來包件符合處置場對於處置安全功能的要求，有效簡化處置場內作業程序。本章則依據最終處置作業需求，針對低放射性廢棄物盛裝容器所必須考量的安全功能進行說明。

2.2.1 耐久性考量

低放射性廢棄物無論從核電廠、醫療事業單位或研究單位等產生後，裝入盛裝容器開始起算，可能歷經集中貯存作業所需的搬運、吊運、堆疊、取出，再將廢棄物運送到低放射性廢棄物最終處置場進行處置為止，廢棄物盛裝容器需維持整體結構完整，可維持搬運、堆疊與適當的屏蔽功能，保守估計此期間至少數十年以上，期間若盛裝容器發現有破損、洩漏等問題，則須將廢棄

物取出，以新的盛裝容器包裝固化，或是利用其他盛裝容器再包裝等程序，相關作業不僅耗時費事，更可能造成廢棄物體積的大幅增加、輻射外洩風險提升等問題。因此，盛裝容器的耐久性為選擇盛裝容器時重要考量因子。國際間盛裝容器的製作材料大多採用對環境腐蝕因子具有高耐受性的材料，例如鋼材、耐久性佳的混凝土材料等，必要時配合表面防蝕處理增進其耐久性。

2.2.2 搬運功能考量

低放射性廢棄物在裝入盛裝容器並密封後，將依照廢棄物貯存或處置規劃，利用吊掛機具與運輸車輛或船舶，搬運至指定地點進行貯存或處置。盛裝容器必須詳細考量運輸過程中，各種可能的搬運或吊掛方式，在盛裝容器外部進行對應設計，必要時利用運輸包件再包裝，以滿足搬運功能需求。在搬運情境的考量上，除了盛裝容器正常搬運所使用的吊耳、夾具等設計外，意外情境所造成的盛裝容器墜落損壞、盛裝容器的耐受程度等，也是盛裝容器搬運功能考量的重點之一。

2.2.3 堆疊功能考量

盛裝容器的主要功能除了前述耐久性與搬運功能考量外，在使用期間為因應貯存或處置空間規劃，達成空間利用最大效益，容器適度的堆疊在所難免，而堆疊功能與廢棄物重量、盛裝容器結構體耐受度、地震來襲時的情境、固定的方式考量等息息相關，過度的堆疊作業將使底層廢棄物盛裝容器產生受力不均或受壓破壞，造成盛裝容器失效，堆疊時更應該考慮地震來襲時盛裝容器的穩定性，避免掉落或碰撞。有鑑於此，本報告中將針對各種

盛裝容器的堆疊可行性、最大堆疊高度、堆疊穩定性等納入功能考量。

2.2.4 屏蔽功能考量

屏蔽功能需考量廢棄物釋出光子輻射造成之體外輻射曝露，例如廢棄物中若含有 Co-60 核種，需考量 Co-60 核種在衰變過程產生 1.17 MeV 與 1.33 MeV 之 γ 輻射對人體造成的輻射曝露。為降低體外輻射曝露劑量，常見的作法為強化盛裝容器之輻射屏蔽功能，而對於盛裝容器之屏蔽功能，主要需考量以下 2 項：

一、盛裝容器厚度

光子輻射在穿透物質時會衰減其輻射強度，而穿透的物質厚度越厚則輻射強度衰減量越多，進而降低對人體的輻射曝露。

二、盛裝容器材質

光子輻射強度衰減與屏蔽材質息息相關，一般而言，材質密度越大越具有輻射屏蔽效果，例如 Co-60 對鉛的半值層為 1.2 cm，而對混凝土約為 6.2 cm。

因此，當廢棄物中含有高活度之強光子輻射核種(例如 Co-60 與 Cs-137)時，可選擇厚度較厚之盛裝容器，或者選用輻射屏蔽能力較好之材質(例如高原子序、高密度材質)所設計之盛裝容器，藉以降低體外輻射曝露。然而，在探討人員曝露劑量時，除了上述盛裝容器厚度與材質外，還需考量盛裝容器幾何形狀，以相同厚度與材質製造的盛裝容器，在盛裝相同濃度廢棄物條件下，盛裝容器越大代表人員接觸的曝露面越大，將對人員造成較大的曝露劑量。

2.2.5 圍阻功能考量

依據 IAEA 技術報告 Technical Reports Series No. 355 (IAEA, 1993)中說明，包件進行材料評估時，應特別考量當盛裝容器長期放置於貯存設施中，其完整性是否能維持，或是於處置場中，盛裝容器做為圍阻障壁，材料是否能延長其功效。另外，我國法規之「低放射性廢棄物最終處置盛裝容器審查規範」(行政院原子能委員會，2010)第五條規定，處置容器在許可使用年限期間必須能維持其結構之完整性，並可阻絕放射性核種外釋。因此，盛裝容器需藉由物理上的結構設計或化學上的材料特性等設計方式達到圍阻功能，防止放射性核種自處置系統釋出，將放射性核種限制在處置設施中。

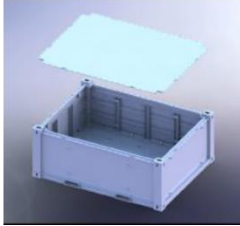
2.2.6 遲滯功能考量

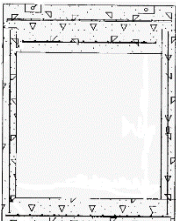
根據「低放射性廢棄物最終處置及其設施安全管理規則」(行政院原子能委員會，2012)第 2 條所定義，多重障壁係指放射性廢棄物處置設施用以遲滯放射性核種之溶出、洩漏、遷移的各項設施，其中包含廢棄物盛裝容器。低放處置工程障壁系統首重圍阻功能，在確保障壁系統圍阻功能的狀況下，讓低放廢棄物降至明顯無害的狀況。而當前述圍阻功能失效後，將藉由障壁系統降低通過廢棄物之流量，或藉由障壁系統之吸附特性，降低核種傳輸至生物圈之濃度與延緩核種釋出至生物圈的時間，即為遲滯功能之主要目標，用以確保核種釋出至生物圈時，對人類健康已無危害。

2.3 各類型盛裝容器介紹

本節所介紹低放射性廢棄物盛裝容器，包含 55 加侖桶、3 m³ 鋼箱(及外箱)、7 m³ 鋼箱(即 3x4 重裝容器)、B-25 鋼箱、20 ft 半高貨櫃、83 加侖桶、3x1 重裝容器、耐 100 年高性能混凝土結構完整容器(High Performance Concrete Container, HPCC)(以下簡稱「高性能混凝土容器(HPCC)及高完整性容器(HIC)」。表 2.3-1 列出各容器規格及外觀示意圖。

表 2.3-1 低放射性廢棄物容器規格表

項目	長/直徑	寬	高	示意圖
55 加侖桶	0.572 m (外徑)	-	0.887 m (外徑)	
3 m ³ 鋼箱 (及外箱)	1.720 m 2.080 m(外箱)	1.720 m 2.080 m(外箱)	1.245 m 1.675 m(外箱)	 3 cubic metre Box - Corner lifting variant
7 m ³ 鋼箱 (3x4 重裝容 器)	2.847 m	2.197 m	1.090 m	
B-25 鋼箱	1.855 m	1.194 m	1.118 m	
20 ft 半高貨櫃	6.100 m (20 ft)	2.438 m (8 ft)	1.200 m (4 ft)	

項目	長/直徑	寬	高	示意圖
83 加侖桶	0.672m (外徑)	-	0.987m (外徑)	
3x1 重裝容器	2.010 m	0.730 m	1.000 m	
高性能 混凝土 容器 (HPCC)	0.854 m	-	1.070 m	
高完整性容器 (HIC) 備註	2.235 m (外徑)	-	2.743 m (外徑)	

備註：HIC 容器以西屋公司開發的圓形容器作為示意。

資料來源：台電公司(2016a, p.37、p.221)；WHC(1996, p.A-5)

一、55 加侖桶

55 加侖桶為我國核能電廠普遍採用之低放射性廢棄物盛裝容器，容積為 200 公升(55 加侖)，桶材表面進行大於 $55\mu\text{m}$ 之熱浸鍍鋅塗裝鋼桶，內徑尺寸為 569 mm，桶高為 884 mm，桶身、桶底、桶蓋為一般用第一種標準調質軋壓鈍面冷軋碳鋼片及鋼帶之中鋼產品，品質符合經濟部發行之中華民國國家標準 CNS-9278-SPCC-SD 要求，桶身與桶底厚度 1.5mm 以上，桶蓋 1.8mm 以上，裝載後總重約 0.7 公噸。

二、3 m³ 鋼箱(及外箱)

3 m³ 鋼箱(及外箱)為我國現階段除役預計採用之低放射性廢棄物盛裝容器，規劃用於裝載 B 類、C 類與超 C 類之金屬廢棄物。3 m³ 鋼箱本體尺寸長、寬與高分別為 1,720 mm × 1,720 mm × 1,245 mm，壁厚可依需求選擇 5 至 10 mm、100 mm 或者 200 mm；外箱尺寸長、寬與高則分別為 2,080 mm × 2,080 mm × 1,675 mm。3 m³ 鋼箱設計允許載重為 11.0 公噸，設計容積為 3 m³。

三、7 m³ 鋼箱

7 m³ 鋼箱也被稱為 3x4 重裝容器，為低放貯存場用於檢整重裝作業使用之容器，可用於裝載 12 個 55 加侖桶，尺寸為長、寬與高分別為 2,847 mm × 2,197 mm × 1,090 mm，內部尺寸為 2,700 mm × 2,050 mm × 920 mm，主要構造包含底盤、側板、角柱與頂板，使用鋼材品質符合 CNS 2473 SS400 或 ASTM A36，或美國機械工程 1998 年發行之 ASME-SA36 SECTION II，或日本工業標準 1987 年發行之 JIS-G3101 SS400，並於鋼材表面進行厚度大於 80 μ m 之熱浸鍍鋅塗裝。重裝容器之鋼板厚度為側邊 4.5 mm、底板 12 mm 及上蓋 10 mm。7 m³ 鋼箱淨重不包含屏蔽約 2.5 公噸，包含屏蔽則最重可達 7.9 公噸，載重約 9.8 公噸。

四、B-25 鋼箱

B-25 鋼箱為我國現階段除役預計採用之低放射性廢棄物盛裝容器，規劃用於裝載聯合結構廠房內除反應器壓力槽及爐內組件外的之 A 類金屬廢棄物。B-25 鋼箱尺寸之長、寬與高分別為 1,855 mm × 1,194 mm × 1,118 mm，壁厚可依需求選擇 2 mm、2.5 mm 或者 3.5 mm，其設計容積為 2.7 m³，設計允許載重為 4.0 公噸。

五、20 ft 半高貨櫃

20 ft 半高貨櫃為我國現階段除役預計採用之低放射性廢棄物盛裝容器，規劃用於裝載汽機廠房內之 A 類的乾性低放射性廢棄

物，或是不適合外釋之廢棄物。20 ft 半高貨櫃外尺寸之長、寬與高分別為 6,100 mm × 2,438 mm × 1,200 mm，壁厚 1.5 mm，裝載後總重最高 25.0 公噸，設計允許載重可達 22.4 公噸。

六、83 加侖桶

83 加侖桶為我國核能電廠低放射性廢棄物盛裝容器，容積為 300 公升(83 加侖)，桶材表面進行大於 55 μ m 之熱浸鍍鋅塗裝鋼桶，內徑尺寸為 669mm，桶高為 984 mm，桶身、桶底、桶蓋為一般用第一種標準調質軋壓鈍面冷軋碳鋼片及鋼帶之中鋼產品，品質符合經濟部發行之中華民國國家標準 CNS-9278-SPCC-SD 要求，桶身與桶底厚度 1.5mm 以上，桶蓋 1.8mm 以上。

七、3x1 重裝容器

3x1 重裝容器為低放貯存場用於檢整重裝作業使用之容器，可用於裝載 3 個 55 加侖桶，尺寸長、寬與高分別為 2,010 mm × 730 mm × 1,000 mm，主要構造包含底盤、側板、角柱與頂板，使用鋼材品質符合經濟部發行之中華民國國家標準 CNS 2473 SS400 或 ASTM A36，或日本工業標準 1987 年發行之 JIS-G3101 SS400，並於鋼材表面進行厚度大於 80 μ m 之熱浸鍍鋅塗裝。

八、高性能混凝土容器(HPCC)

高性能混凝土容器是以混凝土加強鋼纖維組成，使用之混凝土材料有水泥、飛灰、爐石粉、矽灰、強塑劑、粗細料與鋼纖維，容器呈圓柱狀，容積為 300 公升，設計為可將 55 加侖桶直接置入。HPCC 最外圍尺寸為 854 mm，桶高為 1,070 mm，內徑為 652 mm，壁厚為 75 mm，可放置廢棄物之深度為 930 mm，內容量約 300 公升，空重約 620 kg。HPCC 係參考法國 ANDRA 所採用的金屬纖維強化混凝土容器所設計。

九、高完整性容器(HIC)

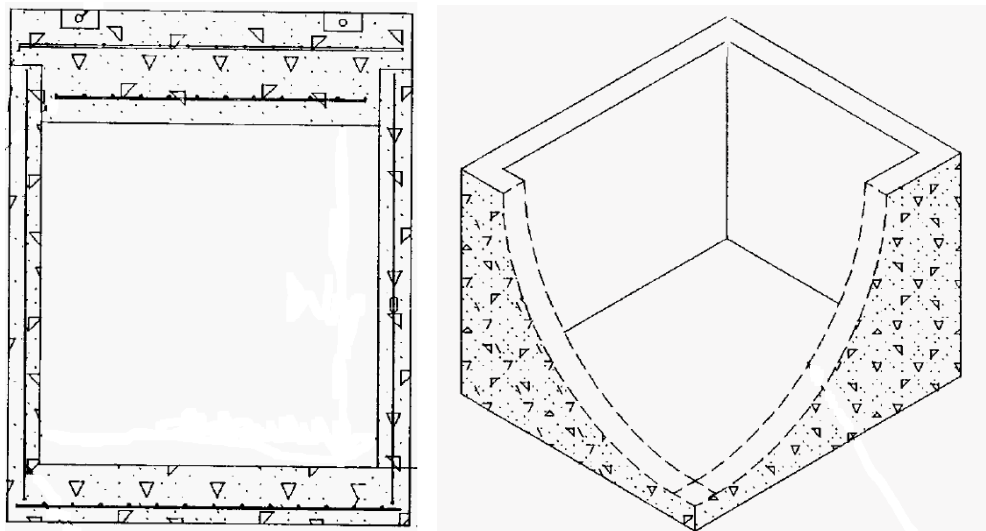
高完整性容器設計上最主要需維持其結構完整性至少 300 年，使廢棄物中所含之長半化期核種(如 Sr-90 或 Cs-137)可經過

10 個半化期而衰變至無害程度，達到圍阻之功能需求，同時可降低廢棄物在處置作業與處置期間之安全危害(DOE, 1985, p.A-3;SNL, 1981, p.A-5)。在此 HIC 設計概念條件下，美國能源部(department of energy, DOE)在過去清理三哩島電廠時，使用混凝土搭配鋼內襯製成的 HIC，盛裝過濾器、脫水離子交換樹脂與沸石(DOE, 1985, p.iii)。

西屋公司(Westinghouse Hanford Company)對於固化廢棄物處置設計不同款式的 HIC，例如鋼筋混凝土混合鋼纖維製成的圓柱型 HIC 與箱型 HIC(圖 2.3-1)，圓柱型 HIC 內徑尺寸為 1,828.8 mm，可放置廢棄物之深度為 1,828.8 mm，桶蓋厚 609.6 mm，桶底厚 304.8 mm，桶身厚 203.2 mm。箱型 HIC 內尺寸之長、寬與高分別為 3,200.4 mm × 2,133.6 mm × 2,895.6 mm，頂部厚度為 279.4 mm，底部厚度為 228.6 mm，壁厚為 203.2 mm(WHC, 1996, p.2, p.3)。

台灣中央大學土木系黃偉慶教授長期針對 HIC 容器之材料耐久性進行深入研究，評估之 HIC 材料主要為混凝土添加鋼纖維，並透過離子侵蝕模式分析 HIC 容器設計厚度之耐久性。

綜整上述 HIC 蒐集之資料可知，在 HIC 須達 300 年結構完整性的核心設計概念下，容器供應商達成此目標的作法不盡相同，有透過混凝土搭配鋼內襯製成的 HIC，或是混凝土拌入鋼纖維製成的 HIC，而根據實際盛裝之廢棄物形狀或操作需求，將會客製化設計不同尺寸與形狀之 HIC，以利廢棄物裝載作業與處置作業的進行，故報告後續分析中暫不列入。



備註：左圖為圓柱形 HIC 容器設計概念圖，右圖為箱型 HIC 容器設計概念圖
資料來源：WHC(1996, p.A-5, p.B-6)

圖 2.3-1 西屋公司 HIC 容器示意圖

2.4 盛裝容器安全功能特性參數研究

2.4.1 輻射屏蔽功能特性參數

本報告節針對盛裝容器之基本輻射屏蔽功能進行評估，在相同的輻射源強度條件下，可發現輻射屏蔽功能與容器厚度及材質密度呈正相關。而為了掌握各盛裝容器於裝載廢棄物後是否符合盛裝容器設定之表面劑量，故分析盛裝容器在裝載不同廢棄物後之輻射劑量。

對於盛裝容器輻射屏蔽功能特性，將以盛裝容器可接受的表面劑量率與放射性物質運送包件劑量規範為基礎進行探討，評估盛裝容器於裝載不同廢棄物的情況下，是否仍具有輻射屏蔽功能，評估結果彙整於表 2.4-1 至表 2.4-4，透過上述表格可快速掌握廢棄物可適用之盛裝容器，以及劑量能否符合放射性物質包件運送劑量規範，例如 BWR 除役廢棄物的保溫材 A 類可裝載於各種盛裝容器且皆可符合運送劑量規範，而儀器管線 C 類則僅適合裝載於 HPCC 且於運送時需額外增加輻射屏蔽或外包裝以

符合運送劑量規範。部分廢棄物如反應器內部組件 C 類，在評估結果中沒有適合裝載之盛裝容器，則建議未來再裝載這類型的廢棄物時，可透過降低廢棄物裝載量，或是以外加屏蔽的方式強化盛裝容器輻射屏蔽功能。

表 2.4-1 盛裝容器輻射屏蔽功能特性(核能電廠運轉廢棄物)

廢棄物源	分類	55 加侖桶	83 加侖桶	3x1 重裝容器	7 m ³ 鋼箱	HPCC
可壓廢棄物	A0	●★	●★	●★	●★	●★
	C	●★	●★	●★	●★	●★
可燃廢棄物	A0	●★	●★	●★	●★	●★
	C	●★	●★	●★	●★	●★
其他廢棄物	A0	●★	●★	●★	●★	●★
	A1	●★	●★	●★	●★	●★
	B	●★	●★	●★	●★	●★
	C	●★	●★	●★	●★	●★
樹脂	A0	●★	●★	●★	●★	●★
	A1	●★	●★	●★	●★	●★
	B	●★	●☆	●☆	●☆	●★
	C	●★	●★	●★	●★	●★
固化廢棄物	A0	●★	●★	●★	●★	●★
	A1	●★	●★	●★	●★	●★
	B	●★	●★	●★	●★	●★
	C	●★	●★	●★	●★	●★

備註：●為符合盛裝容器表面劑量限制(55 加侖桶、83 加侖桶、HPCC 20 mSv；3x1 重裝容器、7 m³ 鋼箱 10 mSv)；★為劑量低於 2 mSv/hr 符合運送劑量規範；☆為劑量高於 2 mSv/hr，運送時須再外加屏蔽或外包裝以符合運送劑量規範。

表 2.4-2 盛裝容器輻射屏蔽功能特性(低放貯存場廢棄物)

廢棄物源	分類	55 加侖桶	3x1 重裝容器	7 m ³ 鋼箱
可壓廢棄物	A	●★	●★	●★
	C	●★	●★	●★
可燃廢棄物	A	●★	●★	●★
	B	●★	●★	●★
	C	●★	●★	●★
其他廢棄物	A	●★	●★	●★
	B	●★	●★	●★
	C	●★	●★	●★
樹脂	A	●★	●★	●★
	B	●★	●★	●★
	C	●★	●★	●★
固化廢棄物	A	●★	●★	●★
	B	●★	●★	●★
	C	●★	●★	●★

備註：●為符合盛裝容器表面劑量限制(55 加侖桶；3x1 重裝容器、7 m³ 鋼箱 10 mSv)；★為劑量低於 2 mSv/hr 符合運送劑量規範。

表 2.4-3 盛裝容器輻射屏蔽功能特性(BWR 除役廢棄物)

廢棄物源	分類	55 加侖桶	83 加侖桶	B-25 鋼箱	3 m ³ 鋼箱	3x1 重裝容器	7 m ³ 鋼箱	20 ft 半高貨櫃	HPCC
保溫材	A	●★	●★	●★	●★	●★	●★	●★	●★
儀器管線	C	○☆	○☆	○☆	○☆	○☆	○☆	○☆	●☆
內襯鋼板與燃料格架	A	●★	●★	●★	●★	●★	●★	●★	●★
	C	○☆	○☆	○☆	○☆	○☆	○☆	○☆	●☆
其它汽機廠房組件	A	●★	●★	●★	●★	●★	●★	●★	●★
反應器內部組件	A	●★	●★	●☆	●☆	●☆	●☆	○☆	●★
	C	○☆	○☆	○☆	○☆	○☆	○☆	○☆	○☆
反應器壓力槽	A	●★	●★	●★	●★	●★	●★	●★	●★
桶槽	A	●★	●★	●★	●★	●★	●★	●★	●★
	B	●☆	●☆	●☆	●☆	●☆	●☆	○☆	●★
污染混凝土	A	●★	●★	●★	●★	●★	●★	●★	●★
泵	A	●★	●★	●★	●★	●★	●★	●★	●★
	B	●★	●★	●★	●★	●★	●★	●★	●★
活化混凝土(生物屏蔽)	A	●★	●★	●★	●★	●★	●★	●★	●★
濕性廢棄物(固化後)	A	●★	●★	●★	●★	●★	●★	●★	●★
	B	○☆	○☆	○☆	○☆	○☆	○☆	○☆	●☆
熱交換器	A	●★	●★	●★	●★	●★	●★	●★	●★
	B	●★	●★	●☆	●☆	●☆	●☆	○☆	●★
	C	●☆	●☆	●☆	○☆	○☆	○☆	○☆	●☆
管路連接件	A	●★	●★	●★	●★	●★	●★	●★	●★
	B	●★	●★	●☆	●☆	●☆	●☆	○☆	●★
	C	●☆	●☆	●☆	●☆	●☆	●☆	○☆	●☆
製程管線	A	●★	●★	●★	●★	●★	●★	●★	●★
	B	●★	●★	●☆	●☆	●☆	●☆	○☆	●★
	C	●☆	●☆	●☆	○☆	○☆	○☆	○☆	●☆
通風元件	A	●★	●★	●★	●★	●★	●★	●★	●★
	B	○☆	○☆	○☆	○☆	○☆	○☆	○☆	●☆
	C	●☆	●☆	●☆	○☆	○☆	○☆	○☆	●☆
閥件	A	●★	●★	●★	●★	●★	●★	●★	●★
	B	●★	●★	●★	●★	●★	●★	●★	●★
雜項製程組件	A	●★	●★	●★	●★	●★	●★	●★	●★
	B	●☆	●☆	●☆	●☆	●☆	●☆	○☆	●★
	C	●☆	●☆	●☆	○☆	○☆	○☆	○☆	●☆

備註：●為符合盛裝容器表面劑量限制(55 加侖桶、83 加侖桶、B-25 鋼箱、HPCC 20 mSv；3 m³ 鋼箱、3x1 重裝容器、7 m³ 鋼箱 10 mSv、20 ft 半高貨櫃 2 mSv)；○為不符合盛裝容器表面劑量限制；★為劑量低於 2 mSv/hr 符合運送劑量規範；☆為劑量高於 2 mSv/hr，運送時須再外加屏蔽或外包裝以符合運送劑量規範。

表 2.4-4 盛裝容器輻射屏蔽功能特性(PWR 除役廢棄物)

廢棄物源	分類	55 加侖桶	83 加侖桶	B-25 鋼箱	3 m ³ 鋼箱	3×1 重裝容器	7 m ³ 鋼箱	20 ft 半高貨櫃	HPCC
生物屏蔽 混凝土	A	●★	●★	●★	●★	●★	●★	●★	●★
污染材料	A	●★	●★	●★	●★	●★	●★	●★	●★
蒸發器底部 1	A	●★	●★	●★	●★	●★	●★	●★	●★
蒸發器底部 2	A	●★	●★	●★	●★	●★	●★	●★	●★
蒸發器底部 3	A	●★	●★	●★	●★	●★	●★	●★	●★
導管	A	●★	●★	●★	●★	●★	●★	●★	●★
底部爐心 鍛	B	●☆	●☆	●☆	●☆	●☆	●☆	○☆	●★
底部支撐 柱	C	○☆	○☆	○☆	○☆	○☆	○☆	○☆	○☆
內部雜項	B	●☆	●☆	●☆	●☆	●☆	●☆	○☆	●☆
壓力槽壁	A	●★	●★	●★	●★	●★	●★	●★	●★
反應器內 襯	A	●★	●★	●★	●★	●★	●★	●★	●★
屏蔽桶	B	●★	●★	●★	●★	●★	●★	●★	●★
耗乏樹脂	B	●☆	●☆	●☆	●☆	●☆	●☆	○☆	●★
未屏蔽桶	A	●★	●★	●★	●★	●★	●★	●★	●★
上部爐心 桶	B	○☆	○☆	○☆	○☆	○☆	○☆	○☆	○☆
上部爐心 導板	C	○☆	○☆	○☆	○☆	○☆	○☆	○☆	○☆
上部爐心 支撐組件	A	●★	●★	●★	●★	●★	●★	●★	●★
上部支撐 柱	A	●★	●★	●★	●★	●★	●★	○☆	●★
壓力槽底 部	A	●★	●★	●★	●★	●★	●★	●★	●★
壓力槽頂 部	A	●★	●★	●★	●★	●★	●★	●★	●★
用過濾器	B	○☆	○☆	○☆	○☆	○☆	○☆	○☆	●☆

備註：●為符合盛裝容器表面劑量限制(55 加侖桶、83 加侖桶、B-25 鋼箱、HPCC 20 mSv；3 m³ 鋼箱、3×1 重裝容器、7 m³ 鋼箱 10 mSv、20 ft 半高貨櫃 2 mSv)；○為不符合盛裝容器表面劑量限制；★為劑量低於 2 mSv/hr 符合運送劑量規範；☆為劑量高於 2 mSv/hr，運送時須再外加屏蔽或外包裝以符合運送劑量規範。

2.4.2 結構力學功能特性參數

本報告針對未來規劃使用的盛裝容器，進行最終處置以及臨時貯存兩種情境的結構力學功能分析，其中滑動與傾覆安全分析時，假定盛裝容器受堆疊靜荷重及 475 年地震回歸期地震力作用，其水平最大加速度為 0.41 g，垂直最大加速度為 0.205 g。情境一「最終處置」情境下，考量處置窖頂蓋施作階段為盛裝容器受堆疊靜荷重最大階段，並假設地震發生進行分析，由各類型盛裝容器分析結果得知，除了 55 加侖桶與 83 加侖桶需要針對最上層容器頂蓋補強或加裝鋼板避免大幅度變形外，目前規劃使用的盛裝容器結構強度皆可符合情境一的載重需求，未來若考量使用其他種類或尺寸的盛裝容器，建議應比照情境一進行模型建置與分析工作。各種容器最大堆疊層數與應力分析結果彙整如容器應力參數表，做為日後選擇使用容器的參考。

表 2.4-5 「最終處置」情境下容器應力參數表

容器名稱	材料強度 (kgf/cm ²)		最大堆疊層數	最大應力 (kgf/cm ²)	材料類型	備註
	抗壓	抗拉				
55 加侖桶	2,551	2,700	5	901.05	A36	頂層容器頂面變形量過大，建議加鋪鋼板
83 加侖桶	2,551	2,700	4	928.84	A36	頂層容器頂面變形量過大，建議加鋪鋼板
3m ³ 鋼箱	5,608	7,750	2	42.2	A352	
7m ³ 鋼箱	2,450	4,000	4	1,099(鋼板) 1,690(角柱)	低碳鋼 (SS400)	
3×1 重裝容器	2,450	4,000	4	1,372(鋼板) 2,245(角柱)	低碳鋼 (SS400)	
高性能 混凝土 容器 (HPCC)	693	102	4	21.6(拉應力)	鋼纖維 混凝土	
B-25 鋼箱	2,461	3,023	3	2,164 (壓應力)	A569	
20 ft 半高 貨櫃	3,515	4,921	3	1,644(鋼板) 2,336(角柱)	A588	

根據分析結果進行整理，目前所規劃使用的盛裝容器皆能滿足「最終處置」情境下，盛裝容器堆疊與上方澆鑄混凝土情況所需的材料強度，可見在結構力學功能特性上，規劃使用的盛裝容器皆能滿足處置需求。結構力學功能分析中除了情境一「最終處置」外，在廢棄物包件由電廠運抵處置場後，廢棄物包件暫時堆置於暫存區、檢查區進行檢查、或是分流區等待處置時可能以堆疊方式存放，故另針對情境二「臨時貯存」情境下，分析盛裝容器臨時貯存堆疊時受靜荷重及地震力作用下之穩定性。以滑動安全性而言，由於容器內所裝載放射性廢棄物及填充混凝土提供相當自重，經分析滑動安全性皆可滿足要求；而盛裝容器的傾覆安全性將控制容器堆疊層數，各類型盛裝容器於臨時貯存情境下傾覆安全性分析結果整合如表 2.4-6 所示。

根據統計結果，目前規劃使用的盛裝容器，在臨時貯存堆疊時上下層緊密鎖固、堆疊盛裝容器側面或頂面無外加支撐條件下，容器的寬度(短向)與高度比值與容器可堆疊層數為正相關，即表 2.4-6 中的寬高比值越高，該類型盛裝容器在「臨時貯存」情境下堆疊具有較佳的穩定性，傾倒風險相對較低，有益於低放射性廢棄物臨時貯存時的堆疊穩定性。經由目前規劃使用的各類型盛裝容器進行估計，單一容器的寬高比值若低於 1.3，則容器不建議進行堆疊，或在堆疊時須加設側面支撐或頂面固定；寬高比值大於 1.3，則容器大致可堆疊 2 至 3 層。上述原則依據結構幾何形狀計算推估結果，可做為容器穩定性的一項參考指標，實際上盛裝容器的穩定與否、堆疊層數限制仍應經由結構模擬分析決定。

表 2.4-6 「臨時貯存」情境下容器滑動與傾覆安全性分析表

容器類型	單一容器尺寸			最高堆疊層數	滑動/傾覆安全係數		寬高比值
	長(m)	寬(m)	高(m)		(長向)	(短向)	
55 加侖桶	-	0.572	0.887	1	-	1.51/1.25	0.645
83 加侖桶	-	0.672	0.987	1	-	1.51/1.33	0.681
3m ³ 鋼箱	1.720	1.720	1.245	2	1.51/1.07	1.51/1.07	1.382
7m ³ 鋼箱	2.847	2.197	1.090	3	1.51/1.30	1.51/1.01	2.016
3x1 重裝容器	2.010	0.730	1.000	1	1.51/3.99	1.51/1.41	0.730
HPCC	-	0.854	1.070	1	-	1.00/1.54	0.798
B-25 鋼箱	1.855	1.194	1.118	1	1.51/2.65	1.51/1.70	1.068
20 ft 半高貨櫃	6.100	2.438	1.200	2	1.51/3.60	1.51/1.45	2.032

2.4.3 耐久功能特性參數

根據「低放射性廢棄物最終處置技術評估報告」(台電公司，2017a，p.120~p.126、p.157~p.163)分析結果，達仁鄉建議候選場址水文地質環境將不受海平面升降的影響，長期維持淡水環境；而烏坵鄉建議候選場址屬於海床下坑道式處置，因此其水文地質環境將長期維持於海水環境。

針對我國 2 處建議候選場址不同處置環境，本報告分別設定對應之海水與淡水環境參數，如表 2.4-7 所示。其中達仁鄉淡水環境參數為依據行政院環境保護署網站上公開的環境資源資料庫，將 2003 年 5 月 23 日至 2017 年 10 月 20 日於建興國小新開分校測站所取得的數據平均後進行設定；而烏坵鄉海水環境參數則根據交通部運輸研究所網站上公告之臺灣腐蝕環境分類資訊系統，選擇與烏坵鄉小坵嶼相對距離較近的港口監測點，將其 2015 年第二季至 2018 年第一季於水下 6 m 處所測得的氯離子濃度平均後，篩選出數值最大的台中港一號碼頭進行設定(行政院環境保護署，2018；臺灣腐蝕環境分類資訊系統，2018)。

表 2.4-7 2 處建議候選場址環境參數的設定

環境參數	達仁鄉(淡水)	烏坵鄉(海水)
SO_4^{2-}	31.5 mg/L	2,043.9 mg/L
Cl^-	18.0 mg/L	17,528.4 mg/L
pH	6.47	7.90
溫度	27.1 °C	25.2 °C

有關盛裝容器於建議候選場址環境下之劣化特性，以下依照鋼製盛裝容器腐蝕與混凝土盛裝容器腐蝕分項進行討論。

一、鋼製盛裝容器腐蝕

本報告將蒐集國內外相關資訊，藉此掌握鋼製盛裝容器於 2 處建議候選場址不同環境之腐蝕現象對其耐久性的影響，然而影響材料腐蝕速率的因素眾多，以現有文獻資料較難取得環境參數與材料參數皆與我國場址特性一致之實驗數據，因此現階段以最接近且最新針對材料腐蝕速率影響較大的海淡水環境、材料組成研究成果進行探討與分析。

本報告將盛裝容器依照製造材質類型分類，並蒐集國內外相關資訊，藉此推估不同類型鋼材於海水或淡水環境中的腐蝕速率，如表 2.4-8 所示。其中碳鋼、低碳鋼(SS400)、不鏽鋼於淡水環境的腐蝕速率為參考日本腐蝕防蝕協會資料訂定(財団法人原子力環境整備促進・資金管理センター，2002，p.88；辻川茂男，2009，p.1；水による腐食，2018)；海水環境的部分則參考交通部運輸研究所於台中港一號碼頭水中帶鋼材質量變化試驗結果(羅建明等，2016，p.5-9)。

鍍鋅層處於海水與淡水環境中的腐蝕速率則採用美國電鍍工學會(American Galvanizer's Association)網站中水侵蝕資料，將鋅片浸泡於美國緬因州東海(Eastport)、以及於一般硬水中所測定的質量變化結果(American Galvanizer's Association, 2018)。

有關耐候鋼於海水與淡水環境中的腐蝕速率係參考「不同劣化環境對結構用鋼腐蝕速率的影響」(曹文琥等，2007，

p.268~p.269)，運用 ASTM G5-94 直流極化試驗法測得耐候鋼於海水溶液以及 pH 值 7 之溶液中，28 天浸漬後的平均腐蝕速率設定之。

表 2.4-8 鋼材質於海水與淡水環境中腐蝕速率表

材質	淡水中腐蝕速率 ($\mu\text{m}/\text{yr}$)	海水中腐蝕速率 ($\mu\text{m}/\text{yr}$)
鋅	16.0	16.0
碳鋼(A36)	100.0	186.7
耐候鋼(A709)	3,357.9	3,756.7
低碳鋼(SS400)	100.0	171.8
不鏽鋼	1.0	10.7

資料來源：本報告綜合整理

根據本報告所列盛裝容器內容，將 55 加侖桶、3 m³ 鋼箱、7 m³ 鋼箱、B-25 鋼箱、20 ft 半高貨櫃、83 加侖桶、以及 3x1 重裝容器等鋼製盛裝容器，所使用之材質與表面鍍鋅厚度經過腐蝕速率計算後，即可得各鋼製盛裝容器於海淡水環境中之耐久年限，彙整如表 2.4-9 與圖 2.4-1 所示。

表 2.4-9 鋼製盛裝容器於海水與淡水環境中的耐久年限

項目	材質與厚度	淡水環境中 耐久年限	海水環境中 耐久年限
55 加侖桶	1.5 mm 碳鋼 + 55 μm 鍍鋅	18.4	11.5
83 加侖桶	1.5 mm 碳鋼 + 55 μm 鍍鋅	18.4	11.5
B-25 鋼箱	2 mm 碳鋼	20.0	10.7
20 ft 半高貨櫃	1.5 mm 耐候鋼	0.4	0.4
7 m ³ 鋼箱	4.5 mm SS400+ 80 μm 鍍鋅	47.4	26.2
3x1 重裝容器	3.2 mm SS400 + 80 μm 鍍鋅	38.7	23.6
3 m ³ 鋼箱	5 mm 不鏽鋼	5,000.0	467.3

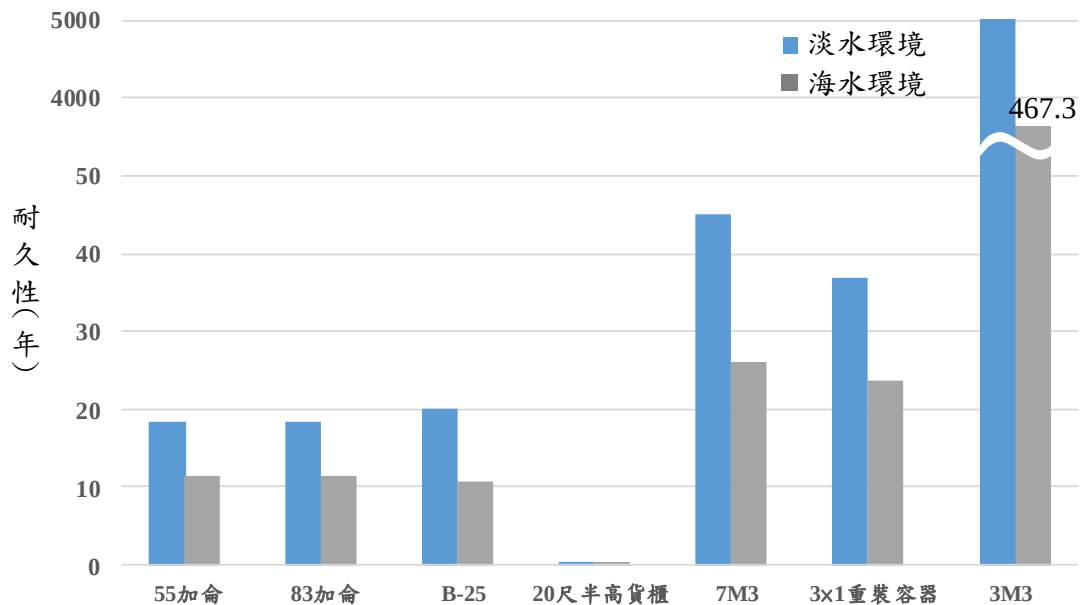


圖 2.4-1 鋼製盛裝容器於海水與淡水環境中的耐久性

根據圖 2.4-1 可得知，由不鏽鋼製成的 3 m^3 鋼箱相較於其他鋼製盛裝容器在淡水與海水環境中，皆具有較佳的耐久性，其次為 SS400 鋼材所製成的 7 m^3 鋼箱與 3×1 重裝容器；而 55 加侖桶、83 加侖桶與 B-25 鋼箱由於本身的鋼板設計厚度較小，且所使用鋼材為較容易受環境影響而產生腐蝕，因此其耐久性較 SS400 製成的盛裝容器差；至於由耐候鋼製成的 20 ft 半高貨櫃在淡水與海水環境中之耐久性僅不到半年，此乃是因為耐候鋼雖然能有效抵抗大氣腐蝕因子，卻無法阻止浸泡在水中時水分滲入，因此當耐候鋼浸泡在海淡水環境中時將會加速腐蝕速率，其耐久性較其他盛裝容器差(Weathering steel, 2018, p.3)。

另外，也可以從圖 2.4-1 中得知，各鋼製盛裝容器於海水環境中的耐久性皆較淡水環境中的差，耐久年限多為淡水環境中的 55%至 63%， 3 m^3 鋼箱於海水環境中的耐久性更是僅剩淡水環境中的 9.3%。造成此現象的原因乃是由於海水中的氯離子濃度較高，除了有利於電化學反應外，氯離子亦會造成鋼材表面的鈍態保護膜分解，使鋼箱表面更容易發生腐蝕。因此當盛裝容器運用

在如烏坵鄉建議候選場址之海水處置環境時，必須將氯離子對盛裝容器之腐蝕劣化影響納入考量，以確保盛裝容器之耐久性能符合預期的設計年限。

二、高性能混凝土容器(HPCC)硫酸鹽入侵

根據台電公司(2013, p.24)所列之 HPCC 混凝土配比如表 2.4-10，以及表 2.4-7 中 2 處建議候選場址之硫酸鹽濃度分別代入，藉此評估 2 處建議候選場址海淡水環境中的硫酸根離子對混凝土耐久性所造成的影響。相關的參數數值與耐久性的評估結果如表 2.4-11 所示，並藉由分析結果可得知，HPCC 在 2 處建議候選場址環境下，其抵抗硫酸鹽侵蝕的能力皆可達 300 年以上。

表 2.4-10 高性能混凝土容器混凝土配比表

桶材	水泥	爐石	飛灰	矽灰	細粒料	粗粒料	鋼纖維	水+強塑劑
kg/m ³	325.2	81.3	133	26	936	747	117	165.7

資料來源：台電公司(2013, p.24)

表 2.4-11 高性能混凝土容器硫酸鹽侵蝕預測公式之設計年限

參數	海淡水硫酸根離子濃度		備註
	淡水：0.032	海水：0.204	
硫酸鹽濃度影響係數 K_C	0.999	0.990	
水膠比影響係數 K_W	1.300		0.293
飛灰影響係數 K_F	1.304		取代 23.5%
爐石影響係數 K_M	1.113		取代 14.4%
矽灰影響係數 K_S	1.0		取代 4.6%
養護方式影響係數 K_Y	1.0		標準養護
耐久性 t (年)	306	303	強度劣化係數取 0.75

三、高性能混凝土容器(HPCC)氯離子入侵

鋼纖維混凝土所製成容器對於氯離子入侵影響的考量機制，與一般鋼筋混凝土結構物有不同考量。一般鋼筋混凝土結構物對於氯離子入侵的破壞機制，是假定氯離子入侵混凝土保護層後，鋼筋所在位置氯離子濃度達到臨界濃度，視為鋼筋腐蝕破壞；而鋼纖維混凝土所製成容器對於氯離子入侵的破壞機制，是考量氯

離子侵入容器壁體，且全部壁體深度達到臨界氯離子濃度，視為破壞。以下依上述原則推估 HPCC 對於氯離子入侵的抵抗能力。

參考台電公司(2013, p.43)的 HPCC 貯鹽試驗結果，將氯離子於 90 天齡期 HPCC 混凝土中的擴散係數 $1.44 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ 、經驗係數 m 值 0.59、以及表面氯離子濃度 24.2 kg/m^3 代入 Fick 第二擴散定律中，並以日本混凝土標準示方書提出的臨界氯離子濃度經驗式為基準，將 HPCC 混凝土所設計的水灰比 0.293 代入，設定鋼纖維開始腐蝕的臨界氯離子濃度 2.34 kg/m^3 ，藉此評估 2 處建議候選場址海淡水環境中的氯離子對混凝土耐久性所造成的影響。

由於達仁鄉建議候選場址的氯離子濃度平均值 18.04 mg/L ，依美國加州交通部所制定的「橋梁設計規範 (Bridge Design Specification, 2003)」(Caltrans, 2003, p.8-37~p.8-38)，屬於不需考慮氯離子影響的環境，並且其濃度遠小於鋼纖維開始腐蝕的臨界氯離子濃度，故 HPCC 中的鋼纖維在沒有直接曝露於環境中的情況下，將不易受氯離子入侵的影響而產生腐蝕現象。圖 2.4-2 表示在烏坵鄉海水環境下，氯離子達到臨界值(2.34 kg/m^3)對應混凝土深度與時間的關係，根據圖 2.4-2 的評估結果可得知，HPCC 於氯離子濃度較高的烏坵鄉海水環境中，氯離子隨時間逐漸侵入 HPCC 壁體，當侵入深度為混凝土壁厚 75 mm 、濃度達到鋼纖維開始腐蝕的濃度門檻值 2.34 kg/m^3 ，需要歷經 300 年以上的時間，由此推估 HPCC 對於氯離子入侵的抵抗能力可達 300 年以上。

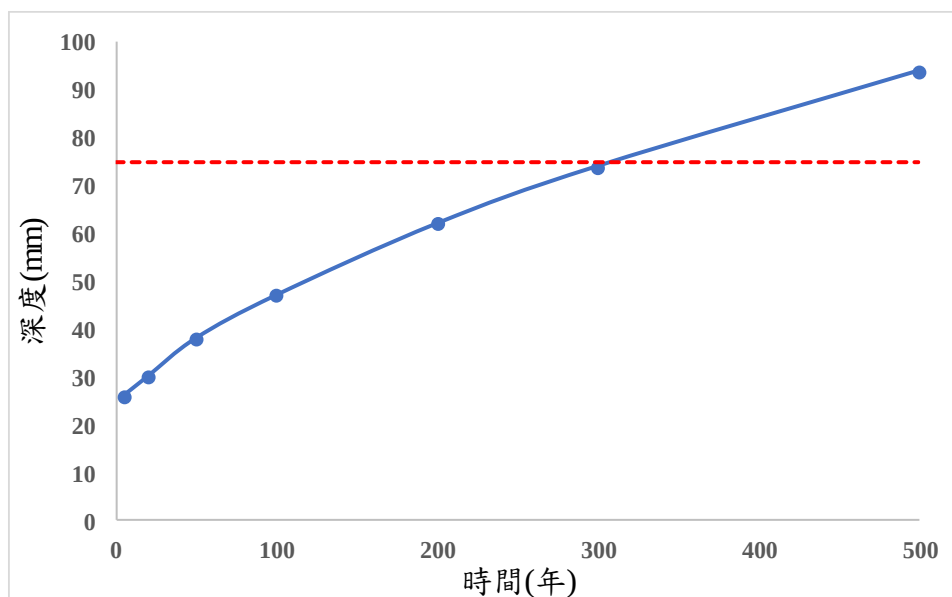


圖 2.4-2 烏坵鄉海水環境氯離子濃度門檻值所達深度與時間關係圖

2.4.4 圍阻功能與遲滯功能之特性參數

依「低放射性廢棄物最終處置及其設施安全管理規則」第 4 條相關規定，低放廢棄物應依其分類進行固化包裝，不適合固化或固化後不符合第六條規定之 A 類廢棄物，應盛裝於設計使用年限至少能維持一百年結構完整之容器或封存於具相同容器功能之工程障壁中或以其他經主管機關核准之方法進行處置。不適合固化或固化後不符合第六條規定之 B 類廢棄物及 C 類廢棄物，應盛裝於經主管機關核准之高完整性容器或以其他經主管機關核准之方法進行處置。依現階段規劃之盛裝容器選用現況，僅高性能混凝土容器(HPCC)可視為具備圍阻與遲滯功能之處置容器，其餘盛裝容器並不具備圍阻與遲滯功能。因此，以下僅就高性能混凝土容器(HPCC)之圍阻功能與遲滯功能之特性參數進行說明。

一、圍阻功能特性參數

依「低放射性廢棄物混凝土盛裝容器使用申請書」內容之說明，該容器提供台電公司盛裝經固化或安定化處理，以及不適合固化，或固化後不符合『低放射性廢棄物最終處置及其設施安全管理規則』第六條規定之 A 類廢棄物，以便於暫時貯存、運送及最終處置之用。故其圍阻功能特性參數依據處置容器核准內容，視為 100 年。

二、遲滯功能特性參數

依「低放射性廢棄物混凝土盛裝容器使用申請書」內容，並未說明其遲滯功能之相關特性參數內容。暫依表面氯離子擴散係數之上限作為代表，假設其有效擴散係數為 $1.44 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{sec}$ 。

2.5 綜合討論

盛裝容器的安全功能，分為輻射屏蔽功能、結構力學功能及耐久功能等三部分，各項安全功能與盛裝容器的材質、厚度、幾何形狀等皆有密不可分的關係，綜合上述各項功能特性參數結果討論如下。

一、材質

目前規劃使用盛裝容器的材質，主要分為鋼材與混凝土材質兩大類，鋼材包含有碳鋼(如 ASTM A36、CNS 2473 SS400、ASTM A569)、不鏽鋼(如 ASTM A352)、耐候鋼(如 ASTM A588)等類型，混凝土則為鋼纖維混凝土。盛裝容器的材質，主要決定單位厚度的輻射屏蔽能力、容器抗拉與抗壓強度、環境中抗腐蝕能力等因子，設計階段應考量裝入廢棄物類型、數量、容器結構強度需求、使用年限目標等設計要求，挑選最適合的容器類型。

目前國際間較常使用的盛裝容器材質為一般結構物使用的碳鋼材質或同等級材質，搭配熱浸鍍鋅或其他防蝕處理使用，主

要原因包括碳鋼材質良好的輻射屏蔽效果，且各類盛裝容器的設計可滿足處置情況下的力學強度需求，具備足夠的抗拉與抗壓強度，材料韌性與延展性佳，可承受輕微撞擊不易破損，表面光滑水分不易停留並具防水性，並可藉由表面鍍鋅等處理方式來提高材料抗腐蝕性、達成設計使用年限等。此外，碳鋼具有材質均勻穩定的特性，藉由焊接技術可塑造盛裝容器所需形狀與機構。

除了鋼材以外，混凝土為另一類型的盛裝容器基材，如 HPCC 即採用高性能混凝土加入鋼纖維製成，對於輻射屏蔽的效果雖不及同樣厚度的鋼板，但若將混凝土比重僅約鋼板的 1/3 以及其他特性納入考量，以混凝土作為容器基材仍具有其優勢。參考本報告針對 HPCC 抗氯離子與硫酸鹽入侵能力之評估方法可得知，混凝土基材的配比設計包含水膠比、礦物摻料種類及用量，將是影響混凝土盛裝容器抗氯離子與硫酸鹽入侵能力的主要因素，因此目前多數國家皆有訂定混凝土運用於不同劣化侵蝕環境下時的配比設計標準(ACI, 2014, p.318~p.323；中華人民共和國住房和城鄉建設部，2008, p.27；BSI, 2000, p.62)。而 HPCC 所使用的混凝土基材配比除了符合多數國家的配比設計標準外，評估結果顯示，HPCC 的混凝土基材在設計使用年限內能有效將劣化因子阻絕，對環境保持良好的圍阻功能，阻絕核種外釋，也因為 HPCC 抵抗氯離子與硫酸鹽侵蝕能力佳，達成容器的高耐久性，設計使用年限可長達 100 年以上甚至更久。

二、厚度

盛裝容器的壁體厚度與輻射屏蔽功能、結構力學功能及耐久功能等皆具有直接關聯性。以鋼材為主要構成材質的盛裝容器，其厚度包含 1.5 mm (55 加侖桶與 83 加侖桶，碳鋼+55 μm 鍍鋅；20 ft 半高貨櫃，耐候鋼)、2 mm (B-25 鋼箱，碳鋼)、3.2 mm (3 $\times$ 1 重裝容器，碳鋼+80 μm 鍍鋅)、4.5 mm (7 m³ 鋼箱，碳鋼+80 μm 鍍鋅)、5.0 mm (3 m³ 鋼箱，不鏽鋼)等，由評估結果得知容器厚度

越高則輻射劑量衰減比例越高，但並非線性正相關；結構力學功能中對於現階段處置窖概念設計的規劃配置，經數值模型模擬結果，除了 55 加侖桶與 83 加侖桶頂蓋須採取補強或輔助措施外，盛裝容器結構強度皆可滿足力學需求；容器的耐久性參考表 2.4-9，無論海水或淡水環境下，表面經鍍鋅處理確實可以有效提高容器的使用年限，而金屬的材質與使用厚度，仍是決定使用年限的最主要因素；至於 20 ft 半高貨櫃所使用的耐候鋼，其特性在大氣中可具備良好的抗腐蝕能力，但卻不適合浸泡在海水及淡水中。綜合上述分析結果，以鋼材為主要構成材質的容器，厚度選擇應配合容器內裝入廢棄物種類與輻射劑量目標，以及設計使用年限進行個別規劃。

相對於鋼材盛裝容器而言，HPCC 的壁體厚度因考量混凝土容器剪力強度需求，設計厚度較鋼製盛裝容器高出許多，桶身厚度最低處約為 7.5 cm，輻射屏蔽功能若以 7.5 cm 計算，輻射劑量衰減比例約 68.13%，結構力學功能經模型模擬滿足處置場規劃需求，抗氯離子與硫酸鹽腐蝕能力經分析結果較一般鋼製容器為佳，整體而言應配合容器內裝入廢棄物種類及輻射衰減目標進行規劃。

三、幾何形狀

盛裝容器的幾何形狀主要於結構力學功能中進行考量，以目前規劃使用容器來說，大致分為圓柱體盛裝容器與長方體盛裝容器(包含正方體盛裝容器)兩大類，圓柱體盛裝容器包含 55 加侖桶、83 加侖桶及 HPCC 等三種；長方體盛裝容器則包含 3 m³ 鋼箱、7 m³ 鋼箱、B-25 鋼箱、20 ft 半高貨櫃及 3x1 重裝容器等。盛裝容器對於幾何形狀的考量，除了操作與搬運的便利性、易於除污及防止水分滯留以避免積水所造成之腐蝕或劣化等效應外，本報告針對最終處置時容器最大應力與臨時貯存堆疊時的傾覆安全性進行分析，各類盛裝容器的設計形狀搭配材料厚度，經分

析最大應力均低於材料強度，在堆疊時上下層容器之間緊密接合條件下，容器寬度與高度比值(寬高比值)越大，則允許的最高堆疊層數越大，容器因地震事件發生而產生掉落意外的事件風險越低。

2.6 結論與建議

本報告針對未來推估可能使用的低放射性廢棄物盛裝容器，包含 55 加侖桶、3 m³ 鋼箱、7 m³ 鋼箱(即 3×4 重裝容器)、B-25 鋼箱、20 ft 半高貨櫃、83 加侖桶、3×1 重裝容器及高性能混凝土容器(HPCC)等，進行安全功能考量、安全功能分析評估、安全功能特性參數研究等工作，做為日後台電公司在實際選用低放射性廢棄物盛裝容器時，對於盛裝容器各項安全功能的說明與參考。

盛裝容器的材質主要分為鋼材與混凝土材質兩大類，容器材質決定單位厚度的輻射屏蔽能力、容器抗拉與抗壓強度、環境中抗腐蝕能力等因子。以碳鋼或同等級材質搭配熱浸鍍鋅或其他防蝕處理的容器，具有極佳的抗拉與抗壓強度，材料韌性與延展性佳，可承受輕微撞擊不易破損，表面光滑且具防水性，抗腐蝕能力佳，為國際間低放射性廢棄物盛裝容器常見的材質選擇。除此之外，利用高性能混凝土加入鋼纖維所製成的高性能混凝土容器(HPCC)，因抵抗氯離子與硫酸鹽侵蝕能力佳，達成容器的高耐久特性，設計使用年限可達 100 年以上。

針對現階段處置窖概念設計的規劃配置，經數值模型模擬結果，目前推估未來有可能使用的各種盛裝容器，其結構強度大多可滿足處置窖內營運至封閉、監管期間的使用強度需求。就容器的耐久性考量，無論海水或淡水環境下，表面經鍍鋅處理確實可以有效提高容器的使用年限，但若盛裝容器設定使用年限超過 20 年以上，仍應以厚度大於 3.2 mm 碳鋼或不鏽鋼製成容器為主要考量；至於

20 ft 半高貨櫃所使用的耐候鋼，其特性在大氣中可具備良好的抗腐蝕能力，但卻不適合浸泡在海水及淡水中。

相對於鋼材所製造的盛裝容器而言，高性能混凝土容器 (HPC) 的壁體厚度因考量混凝土容器剪力強度需求，設計厚度較鋼製盛裝容器高出許多，力學功能經模型模擬亦滿足處置場規劃需求，抗氯離子與硫酸鹽腐蝕能力經分析結果較一般鋼製容器為佳，整體而言應配合容器內裝入廢棄物種類及輻射衰減目標進行規劃。

台電公司目前處置規劃包含運轉及除役廢棄物，盛裝容器使用以 55 加侖桶、7 m³ 鋼箱(即 3x4 重裝容器)、B-25 鋼箱、20 ft 半高貨櫃等作為 A 類廢棄物之盛裝容器，而高性能混凝土容器 (HPC)、3 m³ 鋼箱等主要作為 B、C 類廢棄物之盛裝容器，主要考量點推估應為廢棄物輻射強度與除役時所拆除元件體積大小。國內目前正積極準備各核能電廠的除役工作，經由國際間核電廠除役經驗得知，除役所產生的廢棄物尺寸、數量、輻射強度，與除役作業採用切割方法、標準皆密切相關，建議未來各核電廠除役工作辦理招標委託或規劃設計時，應要求將採用拆除方式與對應的廢棄物數量、尺寸、輻射強度等作通盤規劃與計算，逐步修正盛裝容器的類型與尺寸、數量需求，作為日後盛裝容器製造或採購的依據。

綜觀世界各國對於放射性廢棄物處置或貯存設施的位址選定與興建，經常遭受到民眾的反彈與抗爭，造成場址取得困難、興建時程延宕，國內對於最終處置場的興建，預期仍有許多困難需要克服，因此對於盛裝容器的設計使用壽命，建議應考慮最終處置場興建完成前，低放射性廢棄物將長期貯存於核電廠廢棄物貯存庫或集中式中期貯存場的情況，在最終處置場興建完成後，廢棄物包件自貯存場取出送至處置場，仍可符合處置場接收標準而進行處置，或者盛裝容器已有腐蝕或其他損壞情況，需要進行取出、重裝等程

序，方能滿足未來處置場接收要求；在盛裝容器的選用考量上，要特別注意容器的耐久性、抗腐蝕性，足以維持放射性廢棄物的貯存與處置安全，唯有選用盛裝容器時進行縝密的規劃與周全的考量，方能在安全、功能與經濟效益間，取得最佳方案。

參考文獻

1. 中華人民共和國住房和城鄉建設部，2008，混凝土結構耐久性設計規範，GB/T 50476，p.27。
2. 水による腐食，2018，網頁資料：https://jp.misumi-ec.com/tech-info/categories/surface_treatment_technology/st01/c1896.html，擷取日期：2018/11/12。
3. 台電公司，2013，低放射性廢棄物混凝土盛裝容器使用申請書(修訂三版)，p.24、p.43。
4. 台電公司，2016a，核一廠除役許可申請及除役作業規劃工作-低放射性廢棄物容器資料蒐集及評估(第4版)，p.37、p.221。
5. 台電公司，2016b，LLWD2-SA-2015-01-V08-低放射性廢棄物最終處置場廢棄物接收規範。
6. 台電公司，2017a，LLWD1-SC-2016-02-V08-低放射性廢棄物最終處置技術評估報告，p.120~p.126、p.157~p.163。
7. 行政院環境保護署，2018，網頁資料：<http://wq.epa.gov.tw/Code/AdvSearch.aspx?StartYear=2013&EndYear=2016&SelDrop=Start&YearSelect=else&Station=4735&Area=7&PageID=5&Water=Gdwater>，擷取日期：2018/11/12。
8. 辻川茂男，2009，腐食反応の特徴，p.1。
9. 物管局，2012，低放射性廢棄物盛裝容器使用申請書導則，核能研究所。
10. 財団法人原子力環境整備促進・資金管理センター，2002，放射化物等の核種移行挙動に関する検討委員会（アルカリ・還元雰囲気下の腐食速度評価試験等）報告書，p.88。
11. 曹文琬等，2007，不同劣化環境對結構用鋼腐蝕速率的影響，p.268~p.269。

12. 臺灣腐蝕環境分類資訊系統，2018，網頁資料：
<https://act.ihmt.gov.tw/Atmosphere/ChartWCT.aspx?Type=CL>，擷取日期：2018/11/12。
13. 羅建明等，2016，金屬材料腐蝕環境調查研究，交通部運輸研究所，p.5-9。
14. 行政院原子能委員會，2007，放射性物質安全運送規則。
15. 行政院原子能委員會，2008，放射性廢棄物處理貯存及其設施安全管理規則。
16. 行政院原子能委員會，2010，低放射性廢棄物最終處置盛裝容器審查規範。
17. 行政院原子能委員會，2012，低放射性廢棄物最終處置及其設施安全管理規則。
18. American Concrete Institute (ACI), 2014, Building Code Requirements for Structural Concrete, ACI 318-14, p.318~p.323.
19. American Galvanizer's Association, 2018, retrieved November 12, 2018, from <https://galvanizeit.org/hot-dip-galvanizing/how-long-does-hdg-last/in-water/water-corrosion-data>.
20. BSI, 2000, Concrete-Part 1: Specification, performance, production and conformity, BS EN 206-1:2000, p.62.
21. Caltrans, 2003, Bridge Design Specifications, p.8-37~p.8-38.
22. DOE, 1985, DISPOSAL DEMONSTRATION OF A HIGH INTEGRITY CONTAINER (HIC) CONTAINING AN EPICOR-II PREFILTER FROM THREE MILE ISLAND, p.iii, p.A-3.
23. IAEA, 1993, Containers for Packaging of Solid Low and Intermediate Level Radioactive Wastes.
24. IAEA, 2006, IAEA TECDOC 1515 Development of Specifications for Radioactive Waste Packages.

25. IAEA, 2018, SSR-6 (Rev.1) Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material.
26. NRC, 2018a, 10 CFR 61-LICENSING REQUIREMENTS FOR LAND DISPOSAL OF RADIOACTIVE WASTE.
27. NRC, 2018b, 10 CFR 71-PACKAGING AND TRANSPORTATION OF RADIOACTIVE MATERIAL.
28. NRC, 2018c, 49 CFR 173-SHIPPIERS-GENERAL REQUIREMENTS FOR SHIPMENTS AND PACKAGINGS.
29. SNL, 1981, Proposed Design Requirements for High Integrity Containers Used to Store, Transport and Dispose of High-Specific-Active, Low-Level Radioactive Wastes From Three Mile Island Unit II, p.A-5.
30. Weathering steel, 2018, retrieved November 9, 2018, from https://en.wikipedia.org/wiki/Weathering_steel, p.3.
31. WHC, 1996, High Integrity Container Evalustion for Solid Waste Disposal Burial Containers,p.2, p.3, p.A-5, p.B-6.

第3章 混凝土處置窖材料劣化試驗與模式研究

3.1 研究背景與執行構想

目前台電低放射性廢棄物最終處置設施概念設計報告中，2 處建議候選場址所設計之 A 類坑道式處置窖與 B、C 類坑道式處置窖均以混凝土為主體，並且針對廢棄物活度較高之 B、C 類放射性廢棄物，加厚其處置窖斷面，確保處置設施內核種傳輸特性可長期維持以擴散主導之形態(台灣電力公司，2016，p.8；台灣電力公司，2016，p.9)。

然而混凝土為一多孔多相的複合體，易受到結構行為、時間演化及材料衰減之影響而使其未達設計服務年限即產生損害或劣化現象。一般而言在處置場長期的營運期間，混凝土結構物會因曝露環境的不同而遭受各種物理性或化學性侵蝕，例如地下水或海水的入侵將使處置環境成為飽和狀態，於此環境中，混凝土除了會產生溶出失鈣現象外，地下水或海水中所含的氯離子與硫酸鹽也會造成混凝土劣化，進而影響混凝土的長期耐久性。

混凝土材料應用於低放射性廢棄物處置工程障壁時，由於要求的服務年限不同於一般結構物用途之混凝土，須長達數百年以上，因此混凝土工程障壁的耐久性更顯得重要，故評估混凝土材料受環境與地化特性之侵蝕和劣化影響，對於低放射性廢棄物處置設施的工程障壁材料設計、選擇、功能與安全性評估等，均為設計與管制單位的重要考量。

本工作項目以低放射性廢棄物最終處置場混凝土處置窖為標的，探討混凝土窖材料在可能之處置環境中遭受劣化之狀況，以及對混凝土窖長期耐久性之影響，包括氯離子入侵、硫酸鹽侵蝕以及水泥水化產物溶出。

另一方面同時也蒐集國內外相關的劣化研究成果，制定合適的試驗程序與檢驗規範，藉此求得劣化模擬分析時所需輸入的參

數，供日後施工作業執行之管理，以及安全評估分析所使用。茲將本工作項目研究所得之結論與建議分節加以敘述。

3.2 氯離子入侵影響評估

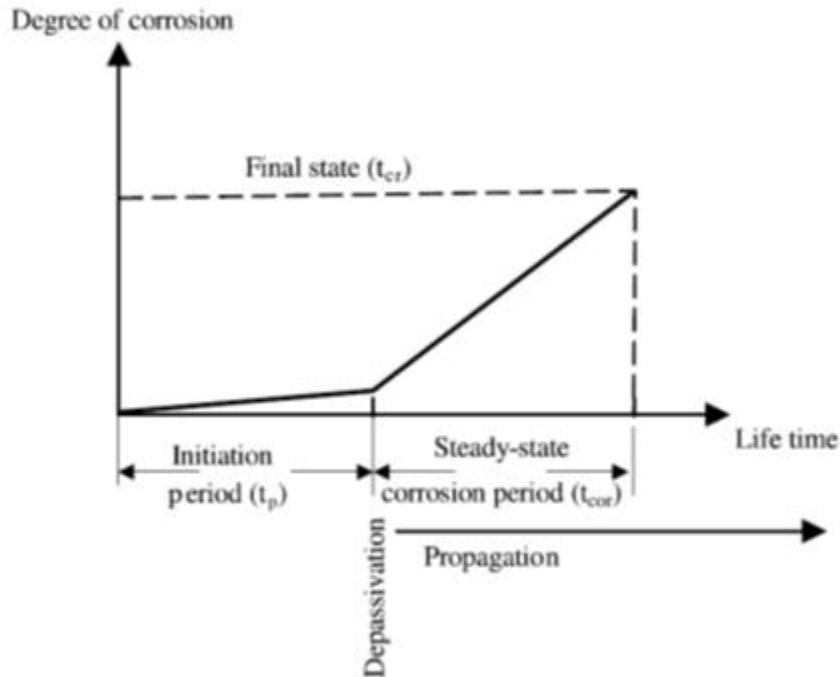
3.2.1 氯離子侵蝕反應機理

當含有氯離子成分的地下水或海水入侵至處置窖時，氯離子將會漸漸滲入混凝土內，並透過擴散作用入侵至鋼筋與混凝土的交界面，當與鋼筋接觸之混凝土，其氯離子濃度到達一門檻值(臨界氯離子濃度)時，將會造成鋼筋表面的鈍態氧化鐵保護膜分解，進而導致鋼筋開始腐蝕，式(3-1)至式(3-3)為鋼筋腐蝕的反應式。



由式(3-1)、式(3-2)可得知反應過程中氯離子的行為如同催化劑一般不斷的被釋出，再與鐵反應造成鐵釋出形成鐵鏽產物($Fe(OH)_3$)，而鐵鏽產物的生成將造成鋼筋體積膨脹，並使混凝土內產生膨脹壓力，進而逐漸導致混凝土產生龜裂、剝落、甚至結構物的損壞，影響其服務年限。

鋼筋腐蝕的過程大略可分為兩個階段，如圖 3.2-1 中誘發階段與腐蝕階段，其中鋼筋開始腐蝕的時間點為誘發階段與腐蝕階段之交界處。由於國際上對於氯離子侵蝕的耐久性設計，主要考量鋼筋位置處入侵的氯離子達到臨界濃度所需要的時間，並以此作為氯離子侵蝕的耐久性設計年限，亦即誘發階段的發展時間，因此本工作項目將針對此階段進行探討。



資料來源：牟妍樺(2013，p.21)

圖 3.2-1 氯離子侵蝕造成鋼筋腐蝕與時間之關係

3.2.2 氯離子侵蝕耐久性評估方法

由於低放射性廢棄物最終處置設施之設計年限多為數百年以上，而各國鋼筋混凝土構造物之耐久性規範則多以 75 年或 100 年為上限，其中歐洲及中國規範以表列式，訂出特定設計年限下各種腐蝕環境等級之相關要求，本案無法直接引用來推估設計年限超過 100 年的相關設計參數，目前僅有美國 Life-365TM 和日本混凝土標準示方書有詳細列出鹽害環境下之理論公式及各參數之經驗式。

然而日本規範所建議之表面氯離子濃度與國內實際調查之結果有不小的差異，並且將氯離子於混凝土中的擴散係數 D 值代入 Fick 第二擴散定律時，也未考量 D 值隨時間衰減的現象，若直接引用日本規範將會有與本土實際情況不符之情形(日本土木學會，2012，p.148~p.157)；而美國 Life-365TM 在將 D 值代入 Fick 第二擴散定律時，雖然有將 D 值隨時間衰減的現象納入考

量，但在臨界氯離子濃度方面則是設定為一定值，未考量混凝土水膠比與添加卜作嵐材料之影響，使結果與實際狀況相異(Life-365TM, 2014, p.12)。因此建議不應全盤引用日本規範或美國 Life-365TM 的經驗式，而是應參考台灣地區鹽害耐久性的研究成果，並據以提出本土化之氯離子耐久性分析模式加以分析，以求得與本土實際狀況較為相符的成果。

一、氯離子擴散理論式

有關本土化鹽害環境下之耐久性設計模式是採用 Fick 第二擴散定律，而混凝土氯離子擴散係數是參考美國 Life-365 以時間函數表示，並假設其值於 25 年之後維持定值。

將初始條件： $C(x \geq 0, t = 0) = C_i$ ，以及邊界條件： $C(x = 0, t > 0) = C_0$ 、 $C(x = \infty, t > 0) = C_i$ 代入 Fick 第二擴散定律解偏微分方程式可得式(3-4)。

$$C(x, t) = C_i + (C_0 - C_i) \left[1 - \operatorname{erf} \left(\frac{x}{2\sqrt{T}} \right) \right] \quad (3-4)$$

將 ∂T 積分，須考量式(3-4)擴散係數的衰減在一定時間(t_s)後就會停止，故時間以 t_s 區分為兩種狀況，如式(3-5)。

$$\begin{aligned} T &= \int_0^t D(t) dt = \int_0^{t_s} D_{ref} \left(\frac{t_{ref}}{t} \right)^m dt + \int_{t_s}^t D_{ref} \left(\frac{t_{ref}}{t} \right)^m dt \\ &= D_{ref} \left[\frac{t_{ref}^m t_s^{1-m}}{1-m} + \left(\frac{t_{ref}}{t_s} \right)^m (t - t_s) \right] \end{aligned} \quad (3-5)$$

將式(3-5)代入式(3-4)可得式(3-6)。

$$\begin{aligned} C(x, t) &= C_i + (C_0 - C_i) \\ &\cdot \left(1 - \operatorname{erf} \frac{x}{2 \sqrt{\beta_{cl} D_{ref} \left[\frac{t_{ref}^m t_s^{1-m}}{1-m} + \left(\frac{t_{ref}}{t_s} \right)^m (t - t_s) \right]}} \right) \end{aligned} \quad (3-6)$$

考量鋼筋位置處任一時間點之氯離子濃度 $C(x, t)$ 不可超過鋼筋腐蝕臨界氯離子濃度 C_t ，即可得耐久性設計方程式，如式(3-7)。

$$C_t \geq C_i + (C_0 - C_i) \cdot \left(1 - \operatorname{erf} \frac{x}{2 \sqrt{\beta_{cl} D_{ref} \left[\frac{t_{ref}^m t_s^{1-m}}{1-m} + \left(\frac{t_{ref}}{t_s} \right)^m (t - t_s) \right]}} \right) \quad (3-7)$$

其中，

C_i =混凝土初始氯離子濃度 $[\text{kg}/\text{m}^3]$ ，可取 0.15。

C_0 =混凝土表面氯離子濃度 $[\text{kg}/\text{m}^3]$ 。

D_{ref} =時間 t_{ref} 時的擴散係數 $[\text{m}^2/\text{s}]$ 。

x =保護層厚度 $[\text{cm}]$ 。

m =衰減常數 $[-]$ 。

t =氯離子侵入之時間 $[\text{年}]$ 。

t_{ref} =氯離子入侵之任一參考時間 $[\text{年}]$ 。

t_s =混凝土氯離子擴散係數不再遞減之時間 $[\text{年}]$ ，取 25。

β_{cl} =考量混凝土瑕疵及裂縫影響的係數 $[-]$ ，抗彎構件取 1.5，抗壓構件取 1.0。

式(3-7)中之 C_t 為鋼筋腐蝕臨界氯離子濃度 (kg/m^3) ，以日本混凝土示方書中之規定最為完整，其不僅有考量水灰比的影響，亦有不同水泥種類的建議公式，也是少數有明文規定於規範的建議值，故本土化模式將採用日本混凝土示方書的建議值。

一、使用普通波特蘭水泥的情況： $C_t = -3.0 \left(\frac{W}{C} \right) + 3.4$

二、使用高爐水泥、飛灰水泥的情況： $C_t = -2.6 \left(\frac{W}{C} \right) + 3.1$

三、使用低熱高爐水泥，早強波特蘭水泥的情況： $C_t = -2.2 \left(\frac{W}{C} \right) + 2.6$

四、使用矽灰水泥的情況： $C_t = 1.2$

除此之外，混凝土結構物表面氯離子濃度 C_0 以及任一參考時間之氯離子擴散係數 D_{ref} 皆為氯鹽擴散公式(3-7)中之重要參數，本工作項目將透過台灣地區鹽害環境分區與氯離子入侵定量試驗方法中分別說明 C_0 與 D_{ref} 二項參數的設定方法與參考依據。

二、台灣地區鹽害環境分區

由於結構物表面氯離子濃度 C_0 為氯鹽擴散公式中之一重要指標，其值與所處環境中氯鹽濃度有直接之關係，依本團隊過去近 10 年之沿海大氣環境中氯鹽量的調查成果(詹穎雯等，2015，p.235~p.251)，將大氣中氯鹽量作成等位線分布，並透過現地老舊結構物的混凝土鑽心取樣，得到各區域之混凝土表面氯離子濃度，藉此建立起大氣中氯鹽量與混凝土表面氯離子濃度之關係，進而可將台灣鹽害環境之作用等級分為三類，分別為極嚴重鹽害區、嚴重鹽害區及中度鹽害區，各鹽害區所對應之混凝土表面氯離子濃度 C_0 值如表 3.2-1 所示。

表 3.2-1 各鹽害環境下的混凝土表面氯離子濃度

作用等級	混凝土表面氯離子濃度 C_0 (kg/m ³)
極嚴重鹽害區	20 ~ 30
嚴重鹽害區	10 ~ 20
中度鹽害區	4 ~ 10

資料來源：詹穎雯等(2015，p.241)

台灣各區域因地理環境不同加上季風影響，各區域之鹽害程度有明顯差異，因此又可將台灣各區域分為甲區和乙區二種鹽害等級分區，如表 3.2-2 所示，而各分區的鹽害環境作用等級之範圍如表 3.2-3 所示，甲區所需考量鹽害的範圍為離海岸線 3 km 以內之濱海地帶，乙區為離海岸線 1 km 以內之濱海地帶。

表 3.2-2 鹽害環境作用等級分區之地域劃分

鹽害等級分區	地域劃分
甲區	一、新北市(含基隆市)至桃園市觀音區 二、苗栗縣後龍鎮至彰化縣福興鄉 三、宜蘭縣壯圍鄉至宜蘭縣蘇澳鎮 四、花蓮縣花蓮市至花蓮縣壽豐鄉 五、屏東縣東岸 上述地區離海岸線 3 km 以內之濱海地帶
乙區	一、桃園市新屋區至苗栗縣竹南鎮 二、宜蘭縣頭城鎮 三、宜蘭縣南澳鄉至花蓮縣新城鄉 四、花蓮縣豐濱鄉至臺東縣達仁鄉 五、彰化縣芳苑鄉至屏東縣南岸 上述地區離海岸線 1 km 以內之濱海地帶

資料來源：詹穎雯等(2015，p.250~p.251)

表 3.2-3 鹽害環境作用等級分區範圍

環境作用等級	離海岸線的距離	
	甲區	乙區
極嚴重鹽害區	海水中飛沫區及離海岸 100 m 以內之區域	海水中飛沫區
嚴重鹽害區	離海岸 100 m ~ 300 m 以內之區域	離海岸 100 m 以內之區域
中度鹽害區	離海岸 300 m ~ 3 km 以內之區域	離海岸 100 m ~ 1 km 以內之區域

資料來源：詹穎雯等(2015，p.247)

3.2.3 氯離子入侵定量試驗與檢驗規範

混凝土氯離子擴散係數為評估混凝土抵抗氯離子能力最直接的方法，雖然目前各國皆有經驗公式可以直接求得一混凝土之氯離子擴散係數，但混凝土的水灰比、摻料種類與摻量等不同的配比設計，皆會影響混凝土抵抗氯離子入侵的能力。

為了有效與精確的評估混凝土抵抗氯離子入侵的能力，供後續混凝土配比的調整與安全評估參考所使用，國際間目前常用於測定混凝土抵抗氯離子入侵能力或氯離子於混凝土中的擴散行為實驗包含氯離子快速滲透試驗法(Rapid Chloride Permeability Test 簡稱 RCPT)、加速氯離子傳輸試驗法(Accelerated Chloride

Migration Test 簡稱 ACMT)、氯離子快速遷移係數法(Rapid Chloride Migration 簡稱 RCM)、以及貯鹽試驗法(Ponding Test)四種，並將四種試驗方法進行比較整理於表 3.2-4，由表中之評估可知，RCM 貯鹽試驗因有明確之試驗規範，且試驗完成後可得到量化之數據，較適合作為評估混凝土抵抗氯離子能力的檢驗方法。

表 3.2-4 各種混凝土氯離子擴散係數試驗方法之比較

試驗項目	試驗時間	試驗成果	優缺點比較
氯離子快速滲透試驗法(RCPT)	6 小時	以電通量評估混凝土抵抗氯離子穿透能力之等級	有試驗規範 無量化之擴散係數
加速氯離子傳輸試驗法(ACMT)	7 天 ~ 20 天	藉由經驗公式計算氯離子傳輸係數	無試驗規範 有量化之傳輸係數
非穩態氯離子遷移係數試驗法(RCM)	1 天 ~ 4 天	藉由經驗公式計算非穩態氯離子遷移係數	有試驗規範 有量化之遷移係數
氯離子貯鹽試驗(Ponding test)	至少 90 天	藉由擴散方程式計算氯離子擴散係數	有試驗規範 有量化之擴散係數

備註：試驗時間是指試體加電壓或浸泡鹽水時間，不含前處理和氯離子含量檢測。

其中，貯鹽試驗係藉由自然滲透的方式進行，其所得氯離子擴散係數較符合 Fick 第二擴散定律，但由於所需試驗的時間長達 90 天，加上試體養護 90 天的時間，進行 1 次試驗至少需 180 天，若以此試驗方法作為未來施工中之檢驗標準，將無法於短時間確保混凝土的性能是否符合需求。因此，國際上多以 RCM 作為施工中的檢驗方法，而目前即將要施工的淡江大橋主橋段工程為國內第 1 次採用 RCM 作為施工的檢驗標準，其以 28 天作為品質控制標準，以 56 天作為評定合格與否之依據。

然不論是貯鹽試驗的氯離子擴散係數還是非穩態氯離子遷移係數皆沒有一定的標準值，其會根據工程所在場址的環境鹽害等級、設計年限、鋼筋保護層等而有所改變，因此需透過鹽害耐久性設計，來訂定所需要的混凝土氯離子擴散係數值。

為了訂定未來施工中 28 天及 56 天之 D_{RCM} 檢驗標準值，建議在設計規劃階段，採用 3.2.2 節介紹的本土化氯離子侵蝕耐久性分析模式，將混凝土設計年限、表面氯離子濃度、鋼筋保護層設計厚度及臨界氯離子濃度等參數代入，得到混凝土需求的氯離子擴散係數值後，再經由混凝土配比試驗、貯鹽試驗或參考相關的研究成果，確認混凝土配比是否符合氯離子擴散係數的需求值，再將符合需求之混凝土進行 RCM，可得到 28 天及 56 天齡期之 D_{RCM} 值，進而可訂定出未來施工中 28 天及 56 天 D_{RCM} 檢驗標準值，其流程如圖 3.2-2 所示。

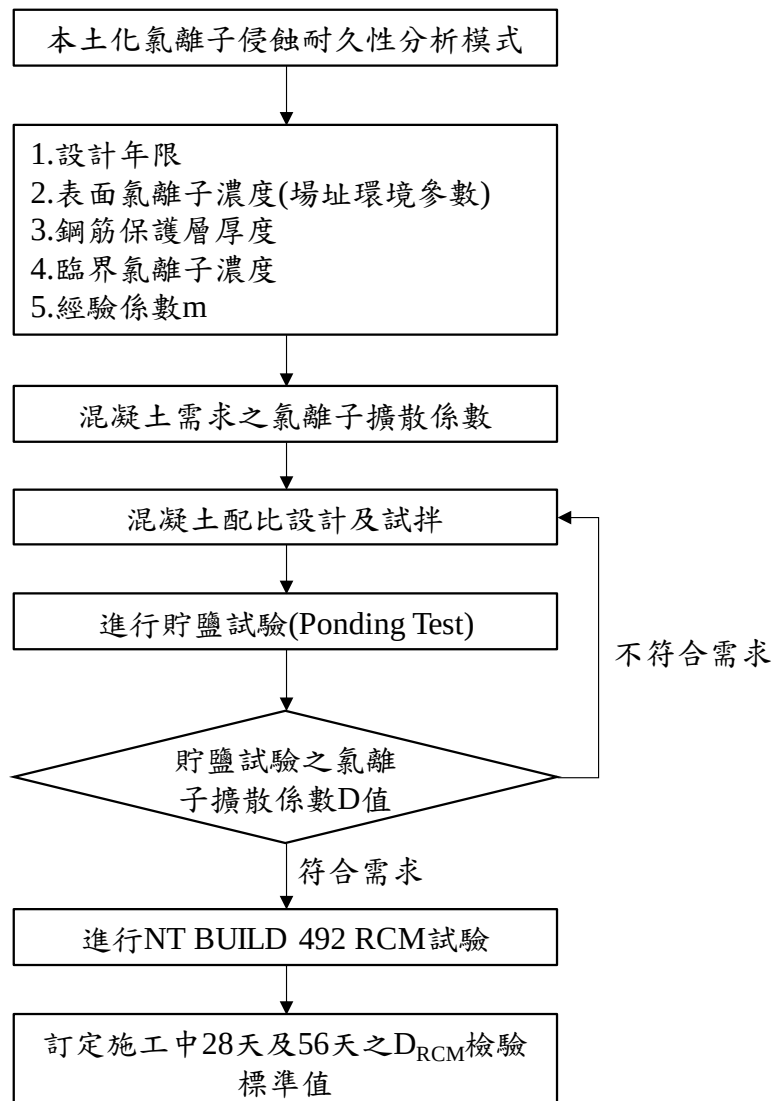
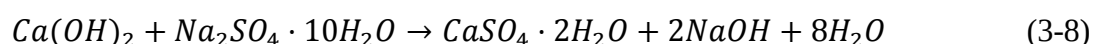


圖 3.2-2 混凝土氯離子擴散係數檢驗標準值之訂定程序

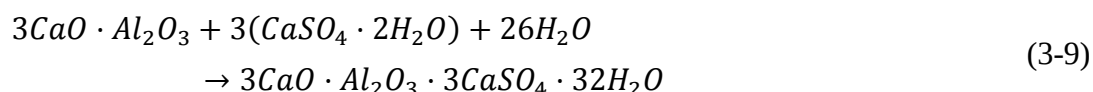
3.3 硫酸鹽入侵影響評估

3.3.1 硫酸鹽侵蝕反應機理

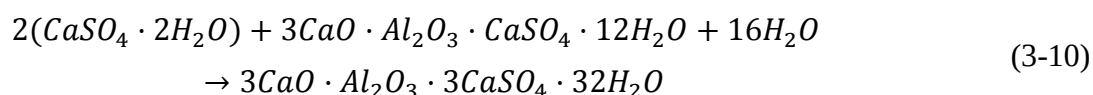
當硫酸鹽滲入混凝土中時，易與水泥水化產物氫氧化鈣反應結合成石膏鹽類，其化學反應式如式(3-8)所示。石膏鹽類的生成雖然會使體積膨脹為原本的 1.24 倍，但其膨脹內應力不易超過混凝土的張力強度，因此較難導致混凝土產生開裂的情形(廖國裕，2003，p.23)。



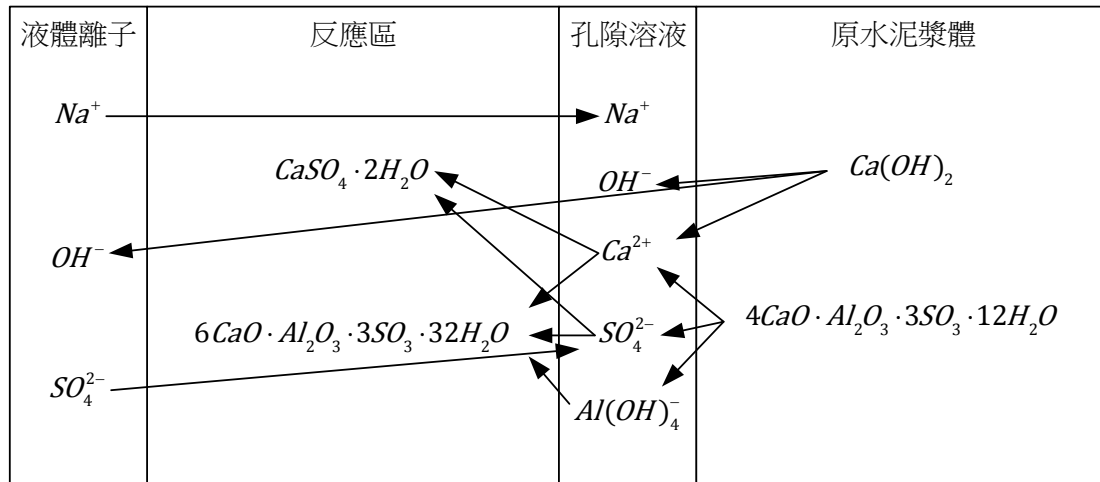
但在水的媒介下，石膏鹽類將會與水泥中尚未水化的鋁酸三鈣($3CaO \cdot Al_2O_3$ 簡稱 C_3A)反應生成鈣礬石，其化學反應式如式(3-9)所示。



另外，石膏鹽類亦會與混凝土中的單硫型鋁酸鈣發生式(3-10)之反應生成鈣礬石。



式(3-9)與式(3-10)的反應產物鈣礬石即為硫酸鹽入侵導致混凝土膨脹的主因，鈣礬石為溶解度極小的礦物，本身呈針狀結晶，當鈣礬石吸取水分後，會使含鋁的固相表面成針狀析出，並形成膨脹內應力，適量的膨脹內應力將有助於混凝土孔隙的填充，增加混凝土的抗壓強度，但當硫酸鹽入侵混凝土產生過多的鈣礬石，使得膨脹內應力超過混凝土的張力強度時，將會導致混凝土膨脹與開裂，硫酸鈉和水泥水化產物之間的化學反應如圖 3.3-1 所示。



資料來源：劉贊群(2009，p.12)

圖 3.3-1 硫酸鈉和水泥水化產物之間的化學反應

3.3.2 硫酸鹽侵蝕耐久性評估方法

為了能在短時間內有效的評估處置場混凝土窖材料於硫酸鹽侵蝕環境下是否符合設計之需求，本工作項目將收集國際間不同的硫酸鹽侵蝕預測式模型進行劣化評估，並將之所需要輸入的參數和相關說明彙整於表 3.3-1，經彙整後可發現，大部分的預測模型係以劣化深度作為評估依據，此僅能表示硫酸鹽擴散滲入至該深度，無法反應混凝土因硫酸鹽侵蝕而失去性能之程度，加上預測式中許多參數如硫酸鹽的擴散係數、硫酸鹽反應所產生的線性應變、造成混凝土表面裂縫所需的能量等，皆無對應之標準試驗程序，故在應用上有所困難。

因此，建議可參考王海彥等(2014，p.91~p.97)提出的經驗公式進行設計年限的評估，其考量為混凝土水膠比、環境之硫酸鹽濃度、礦物摻料之添加比例及養護方式，並利用混凝土劣化係數 75% 作為混凝土耐久性之門檻值，進而推導出受硫酸鹽侵蝕的使用年限，如式(3-11)與式(3-12)所示：

$$K_f = K_W K_C K_F K_M K_S K_Y \cdot e^{-0.003t} \quad (3-11)$$

$$t = \ln\left(\frac{K_W K_C K_F K_M K_S K_Y}{0.75}\right) / 0.003 \quad (3-12)$$

其中，

K_f =混凝土硫酸鹽侵蝕強度劣化係數[-]。

K_W =水膠比影響係數[-]。

K_C =硫酸鹽濃度影響係數[-]。

K_F =飛灰摻量影響係數[-]。

K_M =爐石摻量影響係數[-]。

K_S =矽灰摻量影響係數[-]。

K_Y =養護方法影響係數，標準養護方式取 1.0、蒸氣養護取 0.952、自然養護取 0.869、相同環境養護取 0.791[-]。

t =使用年限[年]。

預測式(3-11)與式(3-12)中的 K_W 、 K_C 、 K_F 、 K_M 、 K_S 可藉由式(3-13)至式(3-17)求得。

$$K_W = -2.30117W + 1.97009 \quad (3-13)$$

$$K_C = -0.00018C^3 + 0.00446C^2 - 0.004632C + 1 \quad (3-14)$$

$$K_F = e^{(-0.00052F^2 + 0.02350F)} \quad (3-15)$$

$$K_M = -0.00023M^2 + 0.01116M + 1 \quad (3-16)$$

$$K_S = -0.00005S^4 + 0.00029S^3 + 0.00746S^2 - 0.03561S + 1 \quad (3-17)$$

其中，

W =水膠比[-]。

C =硫酸鹽溶液質量濃度[%]。

F =飛灰摻量[%]。

M =爐石摻量[%]。

S =矽灰摻量[%]。

表 3.3-1 各種硫酸鹽侵蝕預測式之比較說明表

參考文獻	所需輸入的參數	說明
Harrison et al. (1981)	一、水泥中 C_3A 含量 二、溶液中鎂離子含量 三、溶液中硫酸根離子含量 四、時間	較著重於處置場近場環境溶液中所含的化學成分對混凝土造成的劣化深度影響。
Shuman (1989)	一、硫酸根離子在混凝土中之擴散係數 二、水泥中 C_3A 含量 三、溶液中鎂離子含量 四、溶液中硫酸根離子含量 五、時間	較著重於處置場近場環境溶液中所含的化學成分對混凝土造成的劣化深度影響。
Hassan et al. (2012)	一、硫酸根離子在混凝土中之擴散係數 二、水泥中 C_3A 含量 三、混凝土表層之硫酸根離子濃度 四、時間	模型中 C_3A 含量愈高劣化深度愈少，與試驗已證實的結果矛盾。
Yingwu Zhou(2015)	一、硫酸根離子在混凝土中之擴散係數 二、水泥中 C_3A 含量 三、混凝土表層之硫酸根離子濃度 四、乾濕循環影響常數 五、擴散係數衰減常數 六、時間	模型中 C_3A 含量愈高劣化深度愈少，模型與試驗已證實的結果矛盾。
Atkinson and Hearne (1990)	一、硫酸根離子在混凝土中之擴散係數 二、混凝土彈性模數 三、溶液中硫酸根離子含量 四、造成混凝土表面產生裂縫所需之能量 五、裂縫表面粗糙度 六、泊松比 七、時間	較著重於混凝土基本性質的不同對其抵抗硫酸鹽入侵深度的影響。
王海彥(2014)	一、混凝土強度劣化係數 二、混凝土水膠比 三、環境中硫酸根離子濃度 四、礦物摻料添加比例 五、養護法 六、時間	較著重混凝土基本性質的不同對硫酸鹽侵蝕強度劣化的影響。

3.3.3 硫酸鹽入侵定量試驗與檢驗規範

受硫酸鹽侵蝕之混凝土品質檢驗標準值訂定程序如圖 3.3-2 所示，在處置窖設計規劃階段，建議可採用王海彥硫酸鹽侵蝕分析模型，將場址地下水中之硫酸鹽濃度、混凝土水膠比、礦物摻料取代比例、混凝土養護方式及混凝土劣化係數等參數代入，可得到設計

年限值，如不符合需求的設計年限，則調整參數再重新計算設計年限，若符合設計年限需求，則依據假設之參數進行混凝土配比設計，經由試拌製作試體並進行 ASTM C1012 水硬性水泥砂漿棒曝露於硫酸鹽溶液中之長度變化試驗，試驗過程中記錄試體長度變化至少 18 個月，可得試體長度變化隨時間之發展曲線，若試驗過程發現無明顯之長度變化時，可適度提高硫酸鈉溶液之濃度，以加速反應縮短試驗時間，再依據試驗結果，訂定出未來施工中 90 天或 180 天或更長齡期之最大膨脹應變，作為硫酸鹽侵蝕之檢測標準。

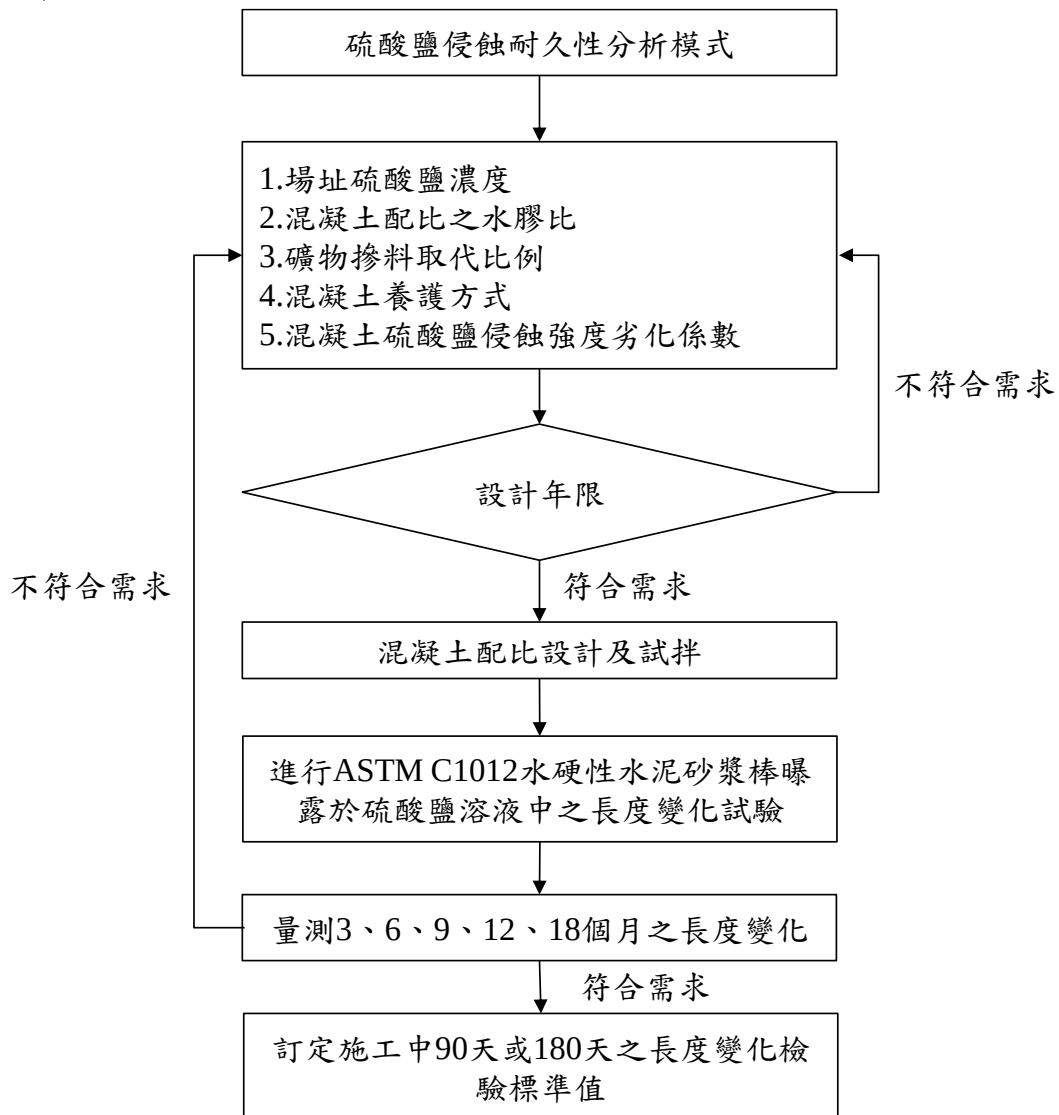
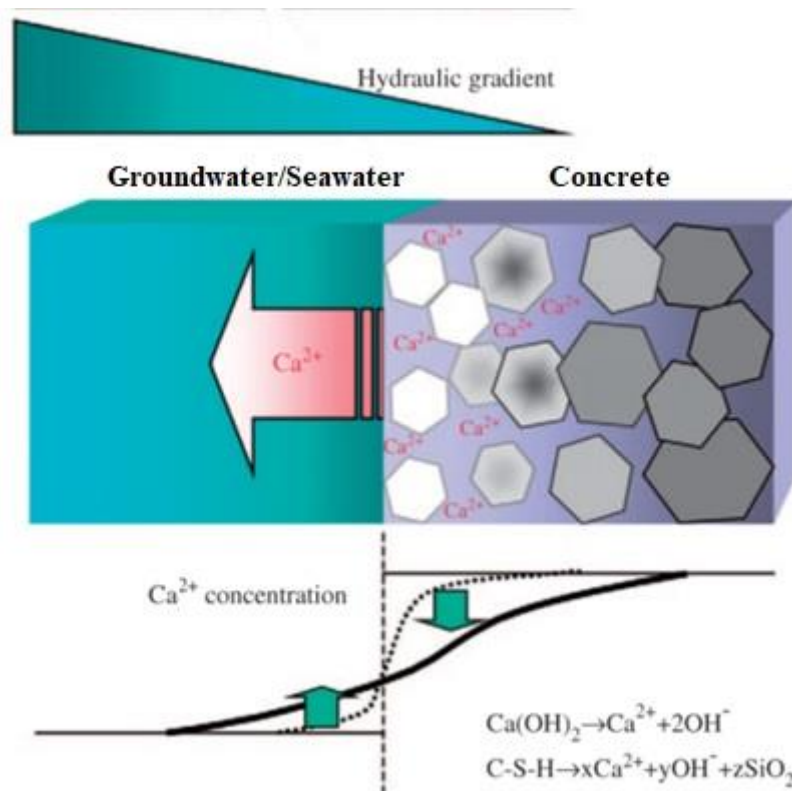


圖 3.3-2 混凝土硫酸鹽侵蝕檢驗標準值之訂定程序

3.4 溶出失鈣侵蝕影響評估

3.4.1 溶出失鈣反應機理

當低放射性廢棄物處置場混凝土障壁長期受到海水、地下水作用時，混凝土內鈣離子濃度較高的孔隙溶液會與外界鈣離子濃度較低的水環境會產生鈣離子濃度差，進而引起混凝土孔隙溶液中的鈣離子向外擴散，如圖 3.4-1 所示，混凝土材料中的高鹼性物質將會逐漸溶出，造成混凝土內部孔隙率增加與強度降低，此種現象即稱為溶出失鈣現象。



資料來源：Yokozeki, K.(2007, p.171)

圖 3.4-1 低放處置場混凝土溶出失鈣現象示意圖

混凝土溶出失鈣反應隨著時間的進行大致可區分為 4 個階段：

一、第 1 階段

當水泥水化後，初始混凝土的孔隙溶液 pH 值約為 13，屬於高鹼性環境，然而一旦經溶出失鈣反應後，混凝土中一些易溶於

水的鹼金族元素例如鈉、鉀離子會優先從混凝土中溶出，其反應式如式(3-18)所示，隨著混凝土中鹼金族元素的溶出，其孔隙溶液的 pH 值將會逐漸下降至 12.5 左右。



二、第 2 階段

當混凝土中易溶於水的鹼金族元素完全溶出後，溶出失鈣於第 2 階段的主要反應對象將轉向為氫氧化鈣的鈣離子溶出，其反應如式(3-19)所示。氫氧化鈣是一種易溶於水且無附著性的六角狀晶體，相較於第 1 階段鹼金族元素的溶出，由於混凝土中的氫氧化鈣含量較多，可達水泥量的 39%，因此當這些氫氧化鈣完全溶出時，將會導致混凝土的孔隙率明顯增加，造成混凝土劣化，此時混凝土孔隙溶液 pH 值從 12.5 降至 11.5。



三、第 3 階段

當氫氧化鈣中的鈣離子完全溶出後，溶出失鈣反應將轉向溶出 C-S-H 膠體中的鈣離子，但由於 C-S-H 膠體溶解度較低，因此需要數千年甚至萬年才能將 C-S-H 膠體中的鈣離子完全溶出，在此階段，擁有較高 Ca/Si 比的 $C_{1.8}SH$ 膠體，其鈣離子會優先被溶出並形成 Ca/Si 比較低的 $C_{1.1}SH$ 膠體，式(3-20)為其反應式，而當混凝土中 $C_{1.8}SH$ 膠體皆完全溶解後， $C_{1.1}SH$ 膠體中的鈣離子也會溶出並形成 Ca/Si 比更低的 $C_{0.8}SH$ 膠體(SKB, 2001, p.16)，其反應如式(3-21)所示，式(3-20)、式(3-21)溶解反應屬於 C-S-H 膠體非全等溶解(incongruent dissolution)，並且此階段混凝土孔隙溶液的 pH 值變化主要受到 C-S-H 膠體溶解的影響，當 C-S-H 膠體的 Ca/Si

比越低，孔隙溶液的 pH 值也隨之越低。此階段混凝土孔隙溶液的 pH 值由 11 逐漸降至 10。

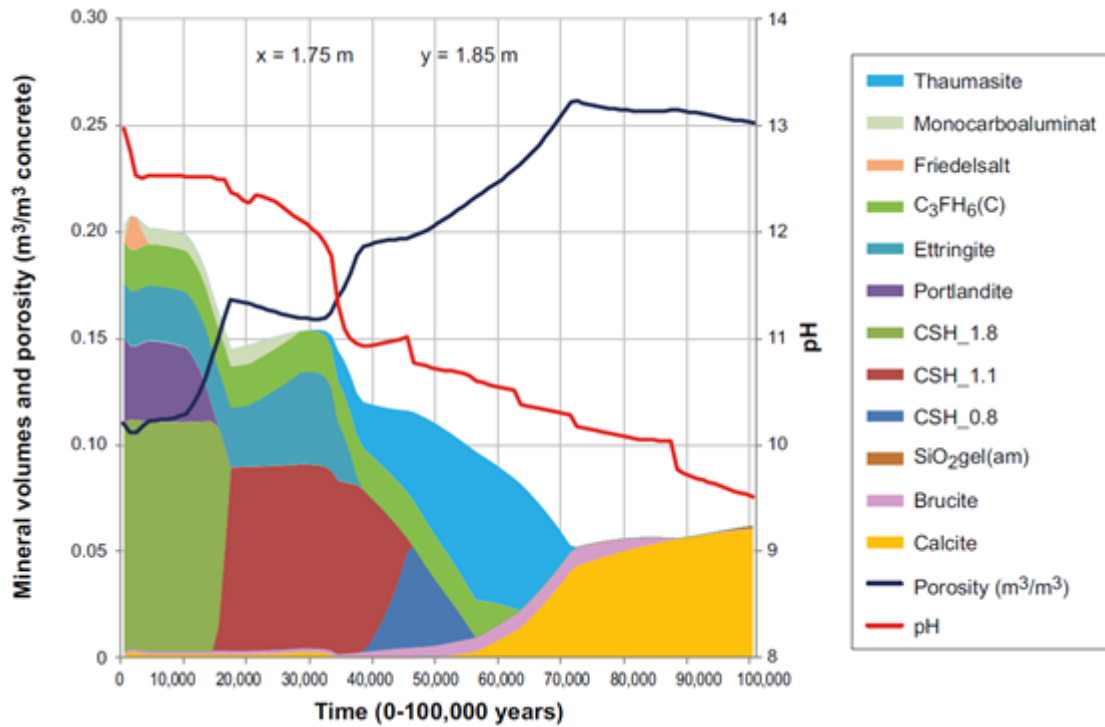


四、第 4 階段

在最後的階段，當 $C_{1.1}SH$ 膠體中的鈣離子陸續被溶出並完全溶解後，最後 $C_{0.8}SH$ 膠體中的鈣離子也將會被溶出，並形成二氧化矽膠體，此時混凝土孔隙溶液的 pH 值約降至 10 以下，反應如式(3-22)所示：



透過圖 3.4-2 瑞典 SKB (2014, p.129)針對混凝土溶出失鈣反應，其孔隙溶液 pH 值與孔隙率隨反應時間變化的情形可得知，混凝土的孔隙溶液 pH 值將隨著反應時間的增加而從 13 逐漸降至 9.5，此現象將會影響混凝土的臨界氯離子濃度值，造成鋼筋表面鈍態保護膜分解所需的氯離子濃度減少，使混凝土更容易因氯離子的入侵而產生劣化影響。另外混凝土的孔隙率也將隨著反應時間的增加而從 11%逐漸增至 13%，孔隙率的增加除了會造成混凝土的抗壓強度減少以外，地下水或海水中的離子於混凝土中的擴散係數也將增加，導致離子更容易入侵至混凝土中，影響其服務年限。



資料來源：SKB(2014, p.129)

圖 3.4-2 混凝土孔隙溶液 pH 值與孔隙率隨溶出失鈣時間之變化

3.4.2 溶出失鈣耐久性評估方法

雖然目前國內外並沒有一標準檢驗程序用以評估混凝土抵抗溶出失鈣劣化之能力，但為了在未來處置窖施工中，能短時間內有效評估混凝土窖材料於溶出失鈣侵蝕環境下是否符合設計之需求，本工作項目將文獻回顧收集之 Kamali, S. et al., 2003、Walton, J. C. et al., 1990 和 Kamali, S. et al., 2008 三種模型，擇一進行後續劣化評估，其中 Kamali, S. et al.(2008, p.575~p.585)預測式為採用歐規水泥進行試驗所得，與國內所使用之膠結材料性質上具有不小差異，因此無法代入相對應之參數至預測式中計算，而 Walton, J. C. et al.(1990, p.19)預測式中的鈣離子擴散係數目前並無對應之標準試驗方法可求得，故以適用性而言，實難採用此二種預測式作為侵蝕年限的預估，因此建議依 Kamali, S. et

al.(2003, p.451~p.458)提出的經驗公式(3-23)為基礎，進行處置場混凝土害材料溶出失鈣的耐久性評估。

$$L_d = a \times t^{\frac{1}{n}} \quad (3-23)$$

其中，

a =常數參數[-]。

L_d =劣化深度[mm]。

t =時間[天]。

n =沒有通以電壓進行加速實驗時代2；通以電壓進行加速實驗時代1。

式(3-23)中的 a 可由關係式(3-24)建立：

$$a = e \times f(w/b) \times g(SF) \times h(pH) \times i(T) \times j(Prot) \quad (3-24)$$

其中，

e =常數參數 0.147[-]。

$f(w/b)$ =水膠比函數參數[-]，與劣化深度之關係式(3-25)。

$g(SF)$ =矽灰含量函數參數[-]，與劣化深度之關係式(3-26)。

$h(pH)$ =溶液的 pH 值函數參數[-]，與劣化深度之關係式(3-27)。

$i(T)$ =溫度變化函數[-]，與劣化深度之關係式(3-28)。

$j(Prot)$ =實驗方式參數[-]，分別為：

$Prot=1$ ：自然環境下進行實驗 $j(Prot)=1$ 。

$Prot=2$ ：浸泡硝酸銨進行加速實驗 $j(Prot)=14.49$ 。

$Prot=3$ ：通以電流進行加速實驗 $j(Prot)=0.87$ 。

$$f(w/b) = 3.24 \times \frac{w}{b} - 0.296 \quad (3-25)$$

$$g(SF) = \begin{cases} -5.87 \times SF + 1, & \text{if } SF \leq 10.2\% \\ 0.4, & \text{if } SF > 10.2\% \end{cases} \quad (3-26)$$

$$h(pH) = \begin{cases} -0.045 \times pH + 1.311, & \text{if } pH \leq 12.4 \\ 0, & \text{if } pH > 12.4 \end{cases} \quad (3-27)$$

$$i(T) = \begin{cases} 0.016 \times T + 0.684, & \text{if } T \leq 70.9 \\ 0.058 \times T - 2.308, & \text{if } T > 70.9 \end{cases} \quad (3-28)$$

其中，

$\frac{w}{b}$ =水灰比[-]。

SF=矽灰添加量[%]。

pH=溶液酸鹼值[-]。

T=溶液溫度[°C]。

3.4.3 溶出失鈣定量試驗與檢驗規範

混凝土受溶出失鈣的影響程度除了與環境中的溶液、溫度、酸鹼值等外部因素有關以外，也與混凝土的水膠比、水泥種類等內部的配比設計有關。惟目前國際間無規範針對此劣化情形制定相關的試驗程序與檢驗方法，因此本工作項目為了有效的評估混凝土抵抗溶出失鈣的能力，供後續混凝土配比的調整與安全評估參考所使用，藉由文獻蒐集的方式，整理目前國際間針對此一劣化情形之電化學法與化學加速法二種常見的試驗方法，以及酚酞指示劑、SEM 或 EDS 量測法三種較常見的量測方法，藉此建立各齡期下之溶出失鈣劣化深度範圍，其中因 SEM 及 EDS 皆須使用精密儀器，且考量未來實務上使用性及方便性，故現階段規劃以硝酸銨化學加速試驗法搭配酚酞指示劑法，作為未來耐久性分析參數之選定及檢驗規範之訂定依據。試驗過程應記錄不同齡期之劣化深度變化，以取得劣化深度變化隨時間之發展曲線，再依據試驗結果，訂定出未來施工中 28 天或 56 天所能容許之最大劣化深度，作為溶出失鈣劣化之檢測標準，其訂定程序如圖 3.4-3 所示。

由於現階段國內並沒有相關之試驗數據可供參考，因此尚無法訂出合理之檢測標準值，建議未來於處置場設計規劃階段時，應將所述之流程作為混凝土溶出失鈣之檢驗標準訂定程序，並規劃足夠的試驗組數及相關試驗工作，經由統計分析以求得劣化深度之變異範圍，據以訂出合理之檢測值。

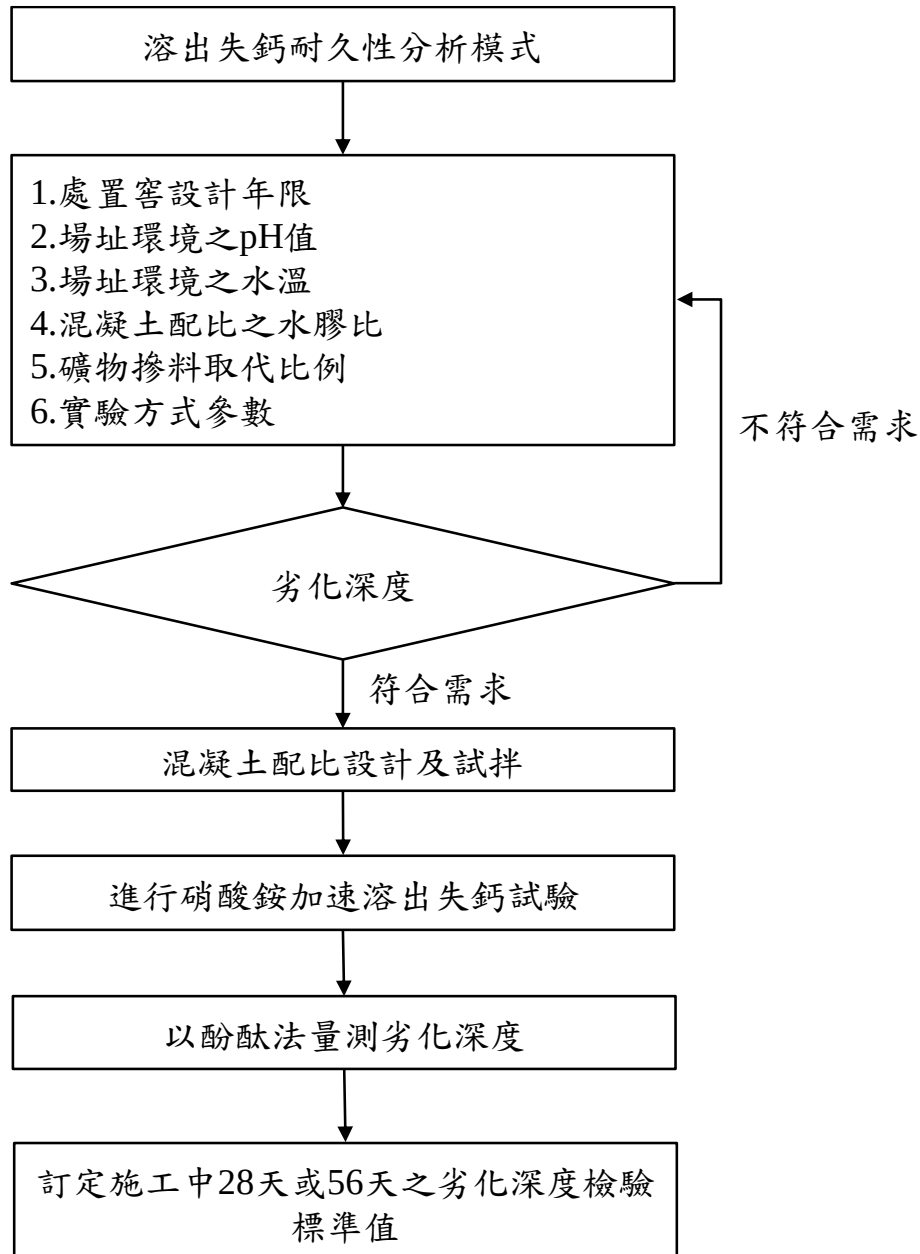


圖 3.4-3 混凝土溶出失鈣侵蝕檢驗標準值之訂定程序

3.5 混凝土窖材料的配比設計與檢驗流程

依據本章前述各節，將不同種劣化情形下所建議之耐久性分析方法、配比設計方法及檢驗方法統整於表 3.5-1。混凝土窖材料於配比設計前，應先針對建議候選場址之環境參數進行調查，接著依設定之使用年限並透過本工作項目蒐集之預測式進行分析，以獲得混凝土相關的基本材料參數，如氯離子鹽害預測式(本土化經驗式)可得混凝土窖保護層的最小厚度、最大水膠比和氯離子擴散係數等參數；硫酸鹽預測式(王海彥等人)可得混凝土最大水膠比、最小礦物摻料比例等參數，再取兩者較保守值依據溶出失鈣預測式評估混凝土於場址中之溶出失鈣劣化深度，若劣化深度小於設計之混凝土保護層厚度，則可依這些參數進行混凝土窖材料配比設計。

混凝土窖材料配比設計完成後，需於檢驗階段分別進行砂漿棒膨脹試驗、酚酞試驗和 RCM 試驗，這些試驗結果必須符合先行試驗所各別定出之標準值，並依據其標準值作為後續施工材料的驗收標準，混凝土窖材料耐久性評估流程如圖 3.5-1 所示。

表 3.5-1 混凝土窖材料在不同種劣化情形下之特性分析統整表

項目	劣化形式	設計年限	環境調查參數	配比檢驗方法	施作完成之檢驗方法	檢驗標準值
氯離子	鋼筋保護層分解導致鋼筋腐蝕膨脹產生內應力	約 300 年	溶液中氯離子濃度、混凝土表面氯離子濃度	本土化經驗式	貯鹽試驗(配比設計階段)、RCM 試驗(施工階段)	貯鹽試驗所得之擴散係數需小於本土化經驗式之分析結果、RCM 試驗所得之擴散係數需滿足先行試驗所訂之標準值
硫酸鹽	與水化物反應產生具膨脹性的鈣礬石		溶液中硫酸鹽濃度	王海彥等	砂漿棒膨脹試驗	膨脹應變需小於先行試驗所訂之標準值
溶出失鈣	水化物溶解導致孔隙增加		溶液之酸鹼值、溫度	Kamali, S.	化學加速試驗(硝酸銨法)、酚酞試驗	劣化深度需小於先行試驗所訂之標準值

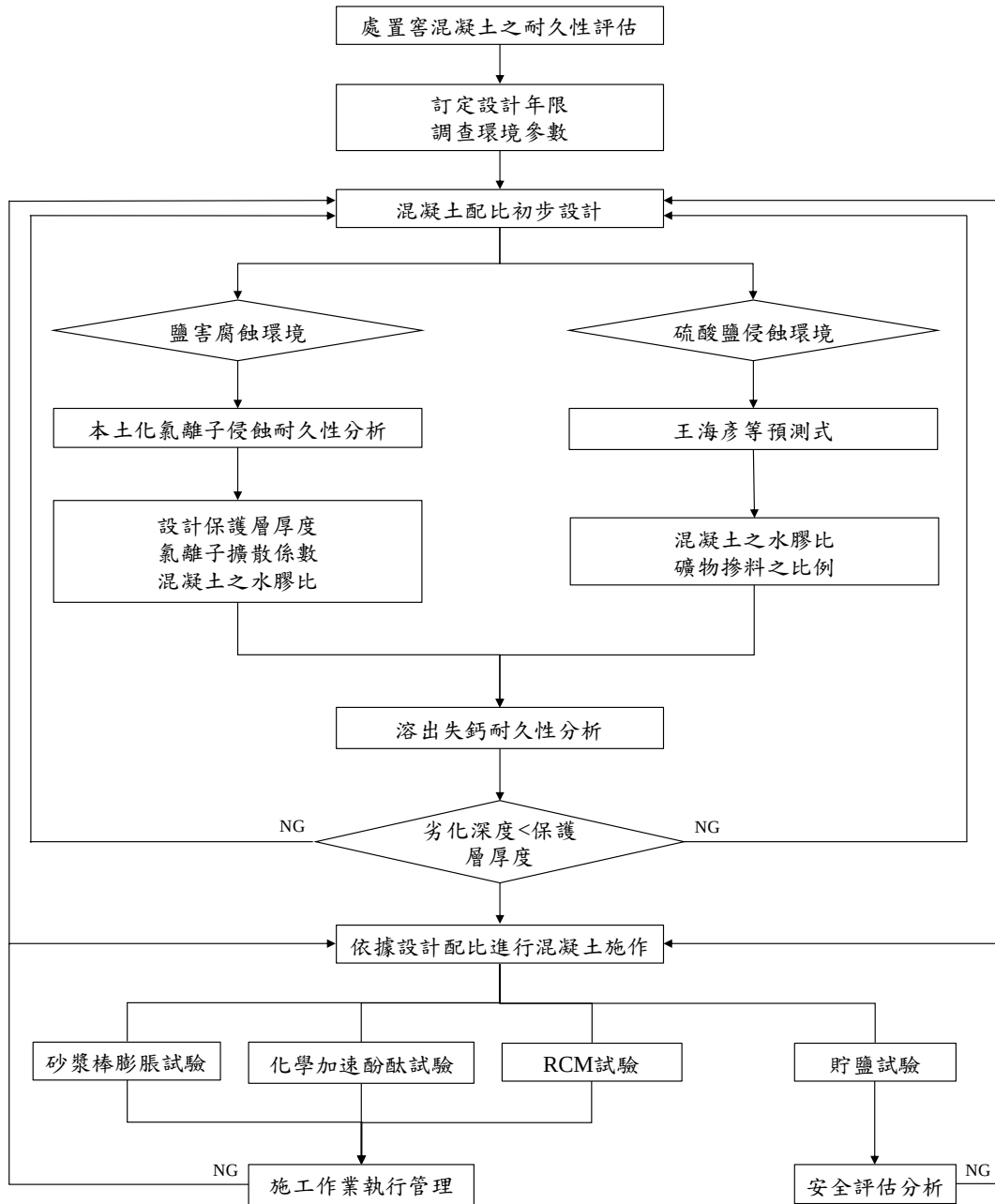


圖 3.5-1 混凝土處置窖材料耐久性評估流程圖

3.6 後續評估建議

(一)本工作項目針對混凝土窖材料的劣化機制進行參數分析，並對材料劣化提出初步的分析程序，氯離子侵蝕可採用本土化之氯離子擴散方程式進行分析，硫酸鹽侵蝕可採用王海彥等所提出之預測模型結合 ASTM C1012 砂漿棒試驗方法進行分析，溶出

失鈣劣化則可採 Kamali, S.等所提出之預測模型進行分析，而未來對於多種機制耦合作用下的評估，則有待後續研究持續推動進行。

(二)我國目前尚未明確決定低放射性廢棄物最終處置場的場址位置，因此較難確切掌握處置環境的詳細資訊，並且即使在同一位置進行溶液的多次採樣，其溶液中的離子濃度也會因採樣時的氣候、降雨量、溫度等環境因素而改變，造成參數數值取決上的困難。據此，在評估混凝土窖材料劣化時，建議先從較易於掌握的混凝土障壁設計年限以及設計厚度著手，採取逆推計算的方式，回推求得在此設計年限與障壁厚度下，所需的材料參數(例如水膠比、卜作蘭材料用量等)及容許承受的環境最大負載量。

(三)若欲加強貯鹽試驗法評估的準確性，除了必須取得齡期較長的混凝土試體濃度剖面外，同時也必須與多組相同齡期的試驗結果進行比較，以增加試驗數據並擴大樣本數。

(四)低放處置場混凝土之使用年限較長，而目前 ACI 301 針對 ASTM C1012 試驗方法所訂之各硫酸鹽侵蝕等級規定值皆未超過使用年限 100 年，因此有關本案硫酸鹽侵蝕之檢驗規範，建議可依未來先行試驗結果，予以各場址混凝土更為嚴苛之需求規定值，以滿足較長之使用年限需求，亦可依先行試驗結果，予以各場址混凝土檢驗規範較短之需求試驗齡期規定值，以求未來實務上之可行性。

(五)本工作項目對於混凝土溶出失鈣之試驗方法規劃採用酚酞法進行劣化深度之量測，惟此試驗方法更常使用於混凝土中性化侵蝕深度之判斷依據，因中性化與溶出失鈣皆會消耗混凝土中之氫氧化鈣，使混凝土由鹼性轉為中性，建議未來進行硝酸銨化學加速試驗時，應於試驗空間中通以氮氣，藉此與外界空氣(二

氧化碳)隔離，降低誤判劣化程度之可能性，以確保混凝土劣化深度均單純為溶出失鈣所致。

參考文獻

1. 日本土木學會，2012，混凝土標準示方書(設計編)，p.148~p.157。
2. 王海彥，仇文革，杜立峰，龔倫，2014，隧道襯砌混凝土對硫酸鹽侵蝕耐久壽命預測模型研究，現代隧道技術第 51 卷第 3 期(總第 356 期)，p.91~p.97。
3. 台灣電力公司，2016，LLWD2-ED-2015-01-V08-台東縣達仁鄉建議候選場址概念設計報告，p.8。
4. 台灣電力公司，2016，LLWD2-ED-2015-02-V08-金門縣烏坵鄉建議候選場址概念設計報告，p.9。
5. 牟妍樺，2013，低放處置場混凝土工程障壁受氯離子侵襲之服務年限信賴度研究，碩士論文，國立中央大學土木工程研究所，p.19~p.22。
6. 詹穎雯、楊仲家、陳育聖，2015，臺灣地區大氣中氯鹽與橋梁腐蝕劣化環境之研究，交通部公路總局，p.235~p.251。
7. 廖國裕，2003，混凝土中骨材與水泥漿界面處過渡區性質與耐久性之研究，國立交通大學，博士論文，p.23。
8. 劉贊群，2009，混凝土硫酸鹽侵蝕基本機理研究，中南大學，博士論文，p.7~p.12。
9. Kamali, S., Gerard, B., Moranville M., 2003, Modelling the leaching kinetics of cement-based materials – influence of materials and environment, Cement & Concrete Composites, vol. 25, p.451~p.458.
10. Kamali, S., Moranville M., Leclercq, S., 2008, Material and environmental parameter effects on the leaching of cement pastes: Experiments and modelling, Cement and Concrete Research, vol. 38, p.575~p.585.

11. Life-365, 2014, Service Life Prediction Model and Computer Program for Predicting the Service Life and Life-Cycle Cost of reinforced concrete exposed to chlorides, Version 2.2.1., p.9, p.12.
12. SKB R-01-08, 2001, Modelling of long-term concrete degradation processes in the Swedish SFR repository, p.16.
13. SKB R-13-40, 2014, The impact of concrete degradation on the BMA barrier functions, p.129.
14. Walton, J. C., Plansky, L. E., Smith, R. W., 1990, Models for Estimation of Service Life of Concrete Barriers in Low-Level Radioactive Waste Disposal, U.S. Nuclear Regulatory Commission, p.19~p.21.
15. Yokozeki, K., 2007, Leaching from Cementitious Materials Used in Radioactive Waste Disposal Sites, Thermodynamics, Solubility and Environmental Issues, p.171.

本頁空白。

第4章 處置窖結構安全分析

處置窖結構安全分析報告將依據 LLWD2016 報告中「處置設計與工程技術技術支援報告」(台灣電力公司，2017，p.15~p.27)之處置窖規劃做為初步之結構配置，考量各階段(興建、運轉、封閉)分別進行處置窖結構安全分析，並依據其分析結果進行必要結構修正，以確保處置設施結構強度足以抵禦自然外力威脅，避免結構破壞後加速核種外釋至人類生活圈，並提出「處置窖結構安全分析報告」。

4.1 處置窖功能需求

低放射性廢棄物處置窖為前述多重障壁中，工程結構物的其中一項，依照不同時期區分，處置窖所應發揮的功能整理如下。

一、興建營運期間

(一)力學穩定

處置窖需擁有足夠之結構強度抵抗自然外力，避免工程結構破裂損壞，使廢棄物於處置窖內能完善保存。

(二)廢棄物定置

提供低放射性廢棄物集中放置空間，使廢棄物無法輕易的移動。

(三)輻射屏蔽功能

處置窖須提供足夠厚度之混凝土牆作為輻射屏蔽，以確保工作人員之輻射安全。

二、封閉期間

(一)限制擴散傳輸、平流傳輸

由於核種易透過水傳輸，為達到障壁遲滯核種功能，處置窖結構需擁有良好之密封性，其窖體材料需擁有較小之孔隙率，降低地下水的入滲量，以防止核種藉由地下水流外釋至處置窖外。

(二)核種吸附

混凝土材料具備吸附核種的功能，以混凝土構築而成的處置窖體可有效吸附核種，減緩核種擴散。

(三)長期圍阻

工程材料會隨時間與環境因素而產生老劣化，導致長期水力傳導係數升高，加速水力傳導現象，處置窖選用耐久性較佳、抵抗環境腐蝕能力較高的混凝土材料，可有效提高長期圍阻功能。

4.2 處置窖設計規劃

依照「低放射性廢棄物最終處置及其設施安全管理規則」(原子能委員會，2012，p.2)第二章第4條，低放射性廢棄物依其放射性核種濃度分類規定，可分為A類、B類、C類及超C類等廢棄物，並需依廢棄物分類特性分區處置，其中超C類廢棄物非經主管機關核准，不得於低放射性處置設施進行處置。在「處置設計與工程技術技術支援報告」內容中，針對2處建議候選場址分別規劃A類放射性廢棄物處置窖與B、C類放射性廢棄物處置窖，並設計對應之多重障壁系統，主要考量因素包含處置窖壁體厚度、廢棄物放置數量、運轉期間預留空間及B、C類廢棄物之處置窖外圍緩衝材料配置等，詳細敘述如下。

一、處置窖壁體厚度

參考「核一廠除役計畫」(原子能委員會，2017，p.10-18、p.10-22)所述，55加侖桶最大表面劑量率為20 mSv/h，故假設C類處置窖之低放射性廢棄物表面劑量率為20 mSv/h；另參考「放射性物質安全運送規則」(原子能委員會，2010，p.8)之包件表面劑量率規範，假設A類處置窖之低放射性廢棄物表面劑量率為2 mSv/h。依據表4.2-1「處置設計與工程技術技術支援報告」(台灣電力公司，2017，p.31)之分析結果研判，針對A類低放射性廢棄

物，處置窖側牆厚度 43 cm 以上可符合需求。針對 C 類低放射性廢棄物，處置窖側牆厚度 61 cm 以上可符合需求。且依輻射防護之合理抑低原則，貯存或於處置窖定置放射性廢棄物時，會把高表劑量率的放射性廢棄物堆疊於內圈，藉由廢棄物與廢棄物間之自屏蔽效應，降低直接輻射曝露，達到合理抑低之效。

表 4.2-1 放射性廢棄物之表面劑量率及屏蔽厚度關係(處置窖)

放射性廢棄物之表面劑量率(mSv/h)	20	10	2	1	0.5	0.2
屏蔽厚度(cm)	61	55	43	37	32	25

資料來源：台灣電力公司(2017，p.31)

二、低放射性廢棄物數量

為使有限的處置坑道能發揮最有效率之空間利用，及考慮減少其廢棄物間接觸面積，避免於外力影響下，相互碰撞造成盛裝容器損害，規劃以行列之排列方式堆置低放射性廢棄物，如圖 4.2-1、圖 4.2-2 所示。

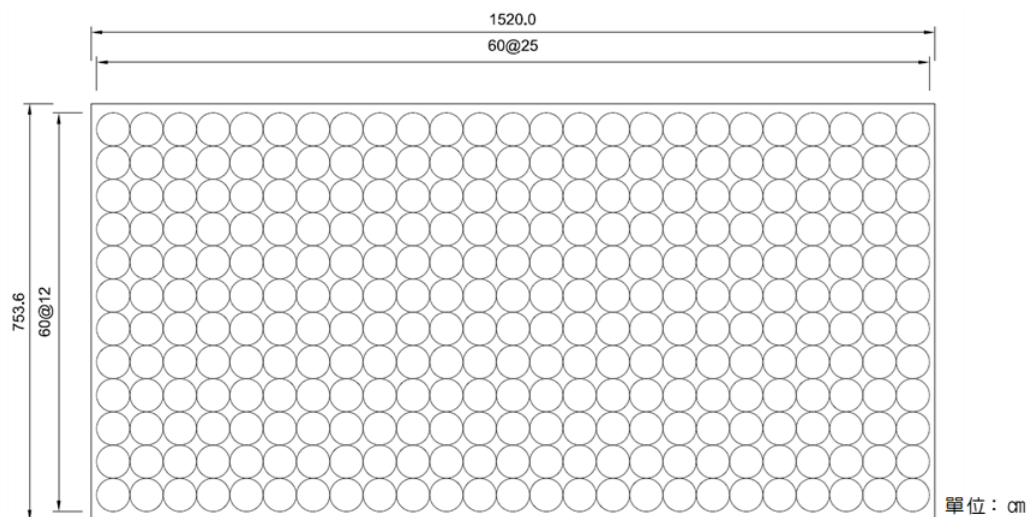


圖 4.2-1 A 類處置窖內 55 加侖桶平面配置圖

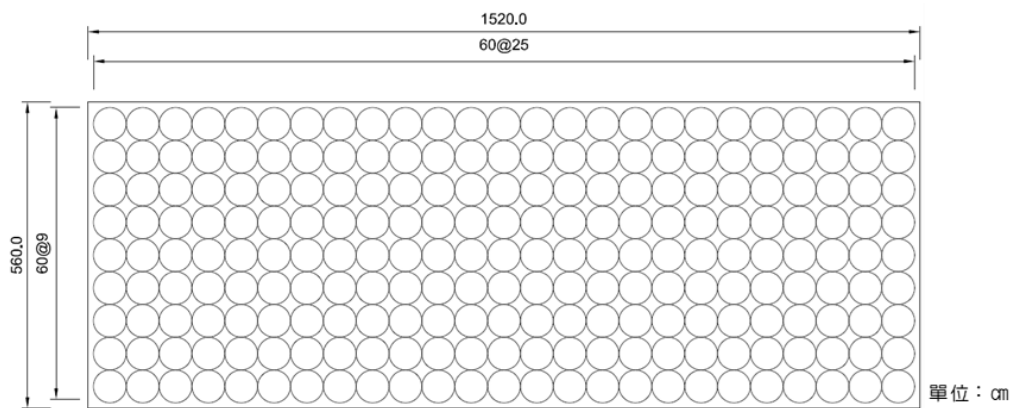


圖 4.2-2 B、C 類處置窖內 55 加侖桶平面配置圖

三、預留空間

處置窖未封頂前，其上部應保留空間約 2 m 淨高，以設置搬入與定置廢棄物的起重設備，及填充材料的施工作業。處置窖側牆外則需約 1.1 m 寬度，以保留運轉期間維護人員走道及設置排水溝空間。而處置窖與坑道間之空間，於封閉階段均將以回填材料予以填充，以提升處置設施長期安全功能。

四、緩衝材料

針對 B、C 類低放射性廢棄物，因含有較高濃度之長半化期核種，故需要確保較長時間之安全功能，以確保其長期安全性。因此規劃此類處置窖周圍使用緩衝材料以抑制地下水滲流量，確保其安全功能。

4.2.1 達仁鄉建議候選場址處置窖規劃

針對台東縣達仁鄉建議候選場址，其地質條件主要由硬頁岩組成，內含許多地質弱面，坑道整體輪廓將以近似圓形設計，開挖過程中隨即施築襯砌(噴凝土、鋼支保及岩栓)，並規劃二次襯砌以加強其隧道結構之安全穩定性。

依據「低放射性廢棄物最終處置及其設施安全管理規則」將 A 類與 B/C 類廢棄物處置窖分別設計，其規劃說明如下：

一、A 類廢棄物處置窖

如圖 4.2-3 所示，處置窖壁體厚度設計為 50 cm，滿足 A 類低放射性廢棄物處置窖厚度 43 cm 以上之需求。封閉前處置窖至隧道頂保有 2 m 以上空間。窖體與隧道間淨距為 1.1 m，足以規劃排水溝及人員行走空間。

廢棄物配置方面，如圖 4.2-4 所示，其處置窖內部廢棄物放置區長寬高分別為 15.2 m、7.5 m 及 4.9 m，窖間隔牆厚度 40 cm，放置區尺寸接近 55 加侖桶直徑之倍數，有效利用處置窖內有限空間，處置空間可堆放 55 加侖桶每層 300 桶，可放置五層，總數為 1,500 桶。每層盛裝容器堆疊完後，以填充材料填實廢棄物間空隙，分層澆注完畢後處置窖頂層再加以封蓋。

二、B/C 類廢棄物處置窖

圖 4.2-5、圖 4.2-6 所示，處置窖壁體厚度設計為 80 cm > 61 cm (O.K. 滿足屏蔽厚度需求)。並於處置窖周圍包覆厚度 50 cm 之緩衝材料。封閉前處置窖至隧道頂保有 2 m 以上空間。窖體與隧道間淨距為 1.118 m，足以規劃排水溝及人員行走空間，最上層廢棄物與處置窖頂蓋間保留 90 cm，做為坑道回填施工時之屏蔽，以確保工作人員輻射安全。

處置窖內部廢棄物放置區長寬高分別為 15.2 m、5.6 m 及 4.5 m，窖間隔牆厚度 40 cm，處置空間可堆放 55 加侖桶每層 225 桶，可放置 4 層，總數為 900 桶。每層盛裝容器堆疊完後，以填充材料填實廢棄物間空隙，分層澆注完畢後處置窖頂層再加以封蓋並施做緩衝材。

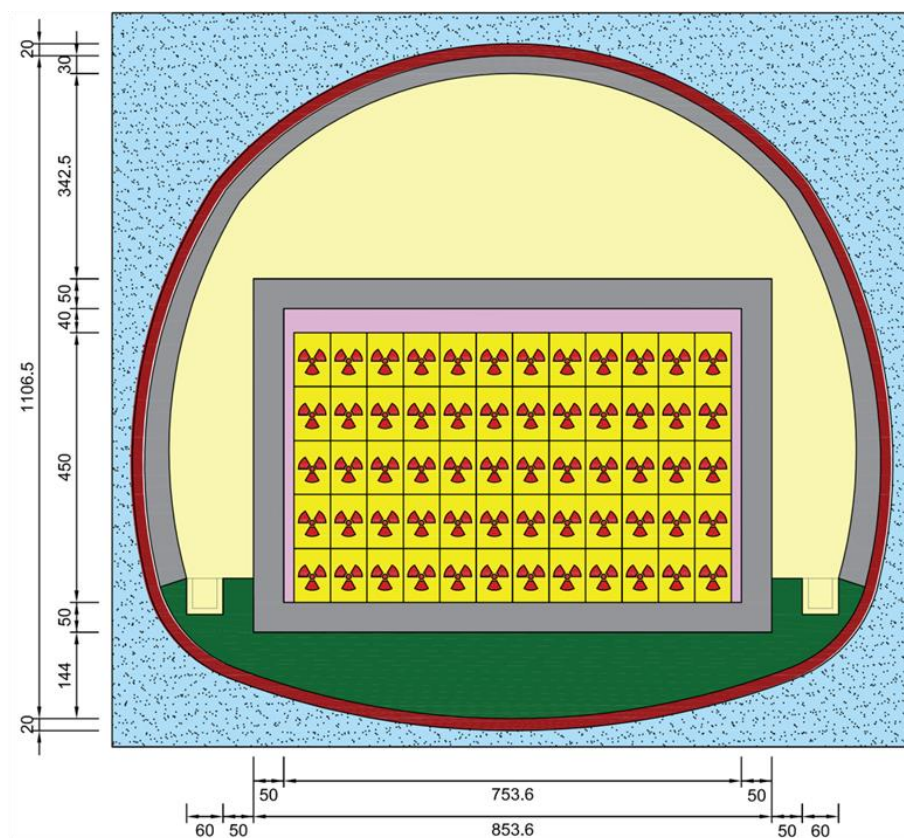


圖 4.2-3 達仁鄉建議候選場址 A 類處置坑道橫斷面圖

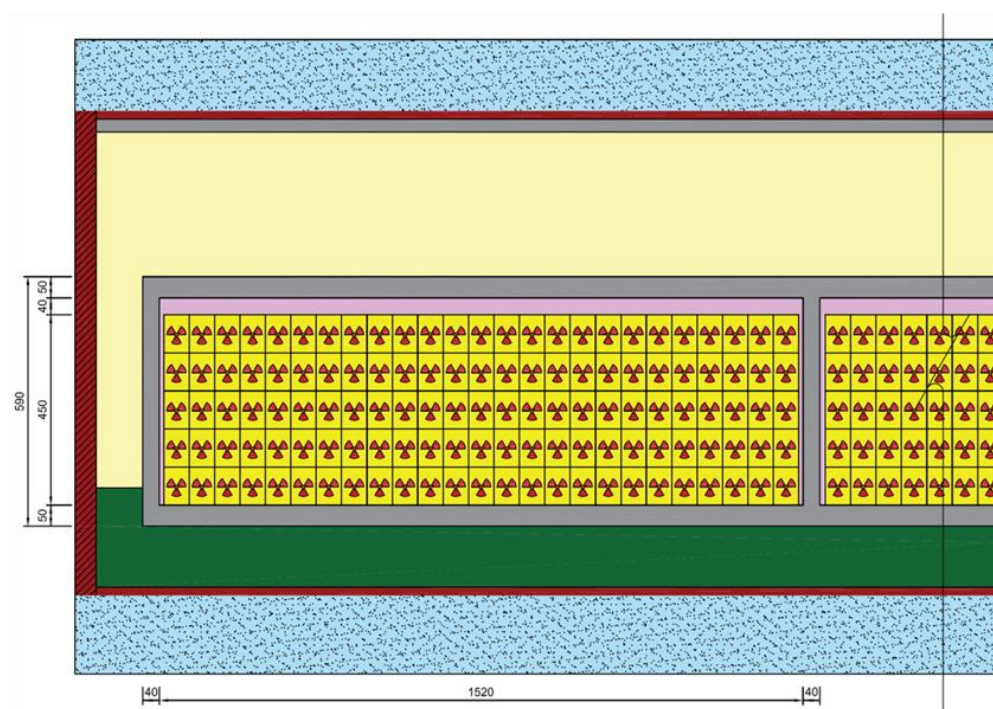


圖 4.2-4 達仁鄉建議候選場址 A 類處置坑道縱斷面圖

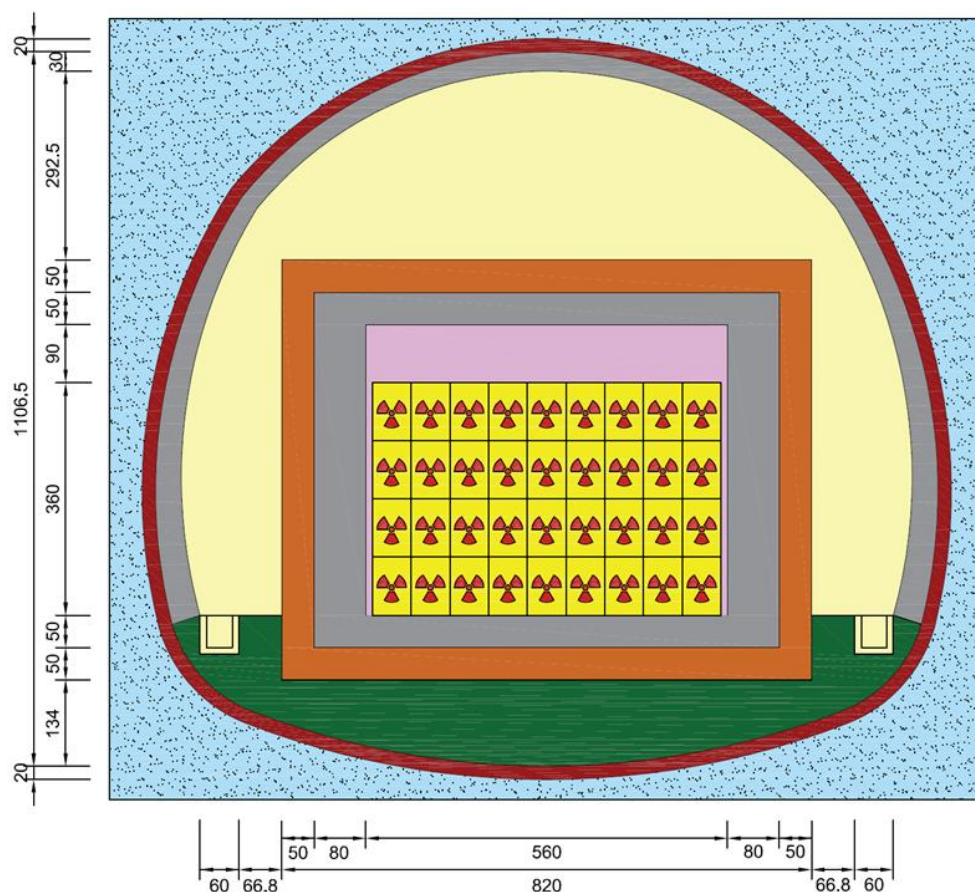


圖 4.2-5 達仁鄉建議候選場址 B/C 類處置坑道橫斷面圖

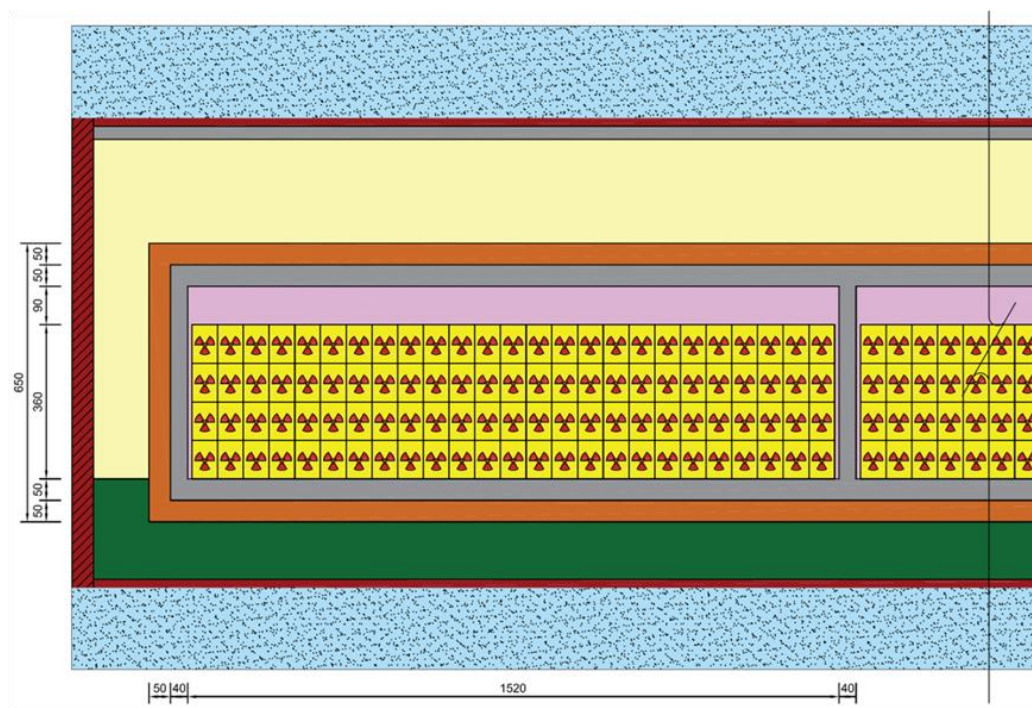


圖 4.2-6 達仁鄉建議候選場址 B/C 類處置通道縱斷面圖

4.2.2 烏坵鄉建議候選場址處置窖規劃

針對金門縣烏坵鄉建議候選場址，考量其地質以花崗岩為主體，圍岩條件較佳，整體輪廓將以倒 D 形設計，開挖期間施築襯砌(噴凝土與鋼支保)支撐隧道結構。

依據「低放射性廢棄物最終處置及其設施安全管理規則」將 A 類與 B/C 類之處置窖分別設計，其規劃說明如下：

一、A 類廢棄物處置窖

窖體形式與達仁鄉建議候選場址設計相近，如圖 4.2-7、圖 4.2-8 所示，處置窖壁體厚度設計為 50 cm，滿足 A 類低放射性廢棄物處置窖厚度 43 cm 以上之需求。封閉前處置窖至隧道頂保有 2m 以上之空間。窖體與隧道間淨距為 1.1 m，足以規劃排水溝及人員行走之空間。

廢棄物配置方面，其處置窖內部廢棄物放置區長寬高分別為 15.2 m，7.5 m，4.9 m，窖間隔牆厚度 40 cm，放置區尺寸接近於 55 加侖桶直徑之倍數，有效利用處置窖內有限空間，處置空間可堆放 55 加侖桶每層 300 桶，可放置五層，總數為 1,500 桶。每層盛裝容器堆疊完後，以填充材料填實廢棄物間之空隙，分層澆注完畢後處置窖頂層再加以封蓋。

二、B/C 類廢棄物處置窖

窖體形式與達仁鄉建議候選場址設計相近，如圖 4.2-9、圖 4.2-10 所示，處置窖壁體厚度設計為 80 cm，滿足 B/C 類低放射性廢棄物處置窖厚度 61 cm 以上之需求。並於處置窖周圍包覆厚度 50 cm 之緩衝材料。封閉前處置窖至隧道頂保有 2 m 以上之空間。緩衝材外緣與隧道間淨距約為 1.26 m，足以規劃排水溝及人員行走之空間，最上層廢棄物與處置窖頂蓋間保留 90 cm，做為坑道回填施工時之屏蔽，以確保工作人員輻射安全。

廢棄物配置方面，其處置窖內部廢棄物放置區長寬高分別為 15.2 m、5.6 m 及 4.5 m，窖間隔牆厚度 40 cm，放置區尺寸接近

於 55 加侖桶直徑之倍數，有效利用處置窖內有限空間，處置空間可堆放 55 加侖桶每層 225 桶，可放置四層，總數為 900 桶。每層盛裝容器堆疊完後，以填充材料填實廢棄物間空隙，分層澆注完畢後處置窖頂層再加以封蓋並施做緩衝材料。

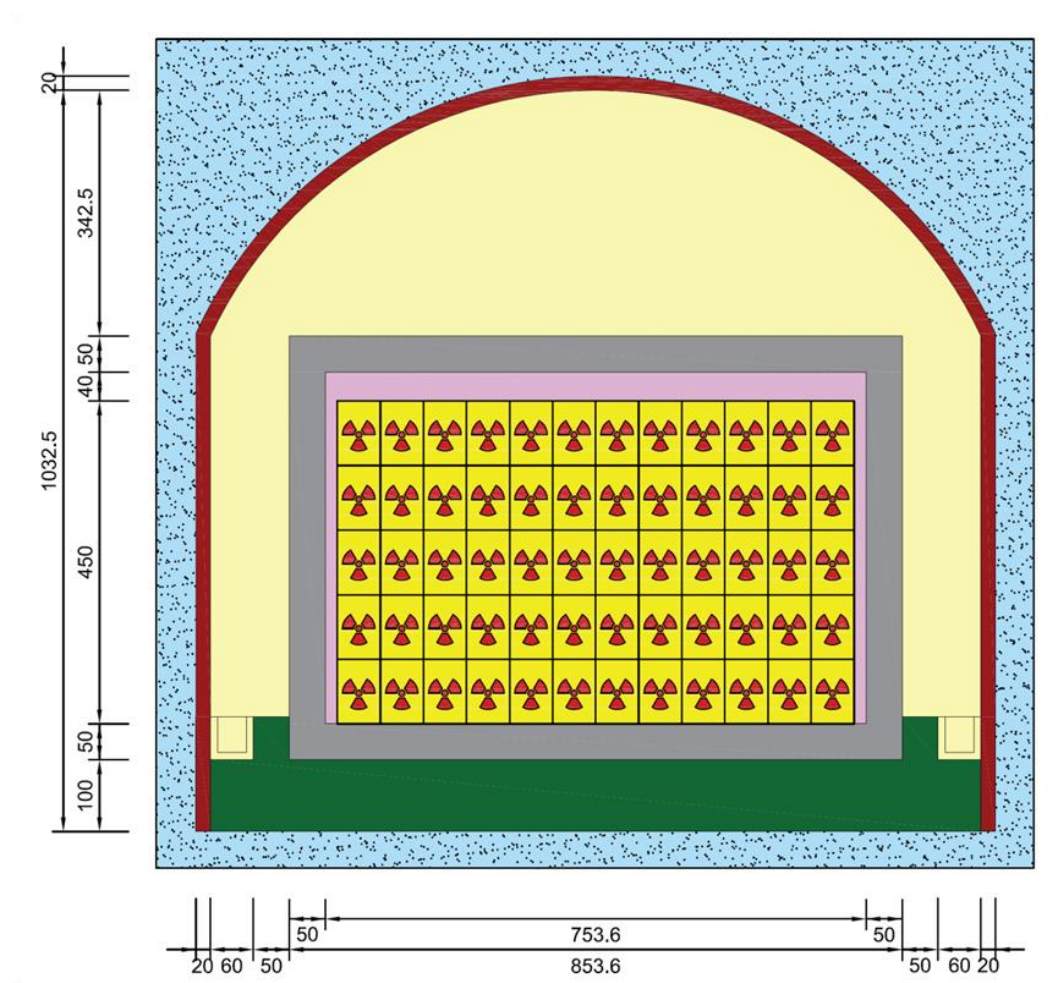


圖 4.2-7 烏坵鄉建議候選場址 A 類處置坑道橫斷面圖

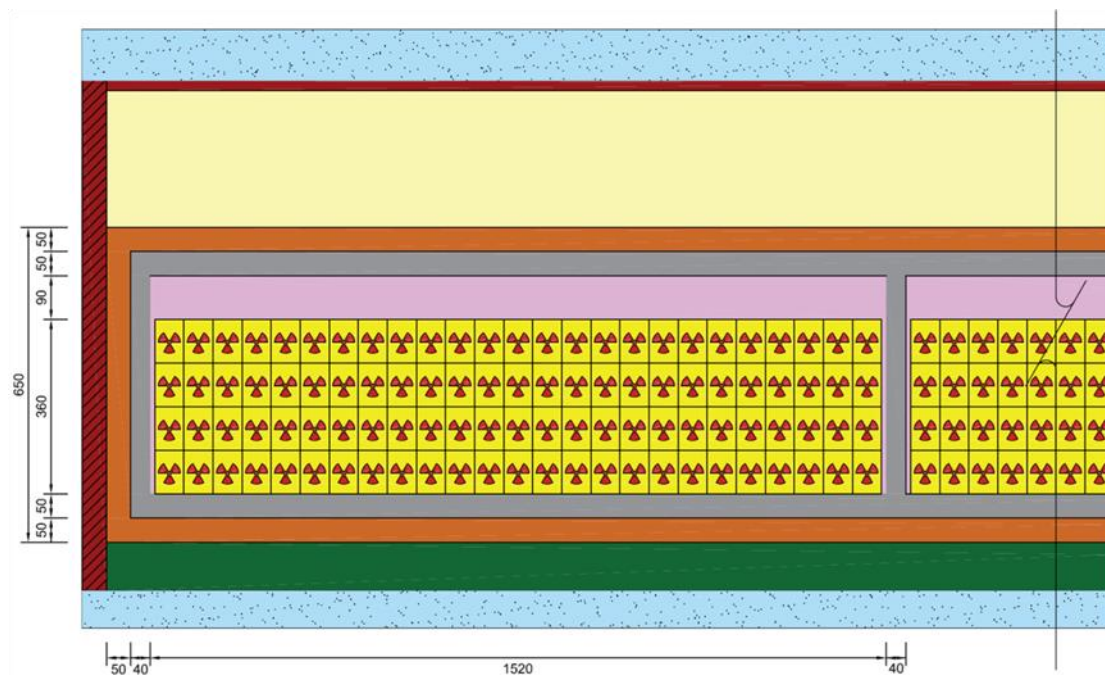


圖 4.2-10 烏坵鄉建議候選場址 B/C 類處置坑道縱斷面圖

4.3 處置窖工程障壁材料性質

為了使處置窖於建設、運轉、封閉及監管階段，達到經濟性、結構安全與圍阻遲滯等性能，各工程障壁材料之選用，是門重要的課題，如圖 4.3-1 所示處置坑道內其工程障壁內元件為盛裝容器(含廢棄物固化體)、填充材料、處置窖、緩衝材料、回填材料、二次襯砌、基礎層、噴凝土與鋼支保。表 4.3-1 彙整上述規劃設計之材料種類、規格，及其相關參數，其數據將會於結構分析模擬時採用。

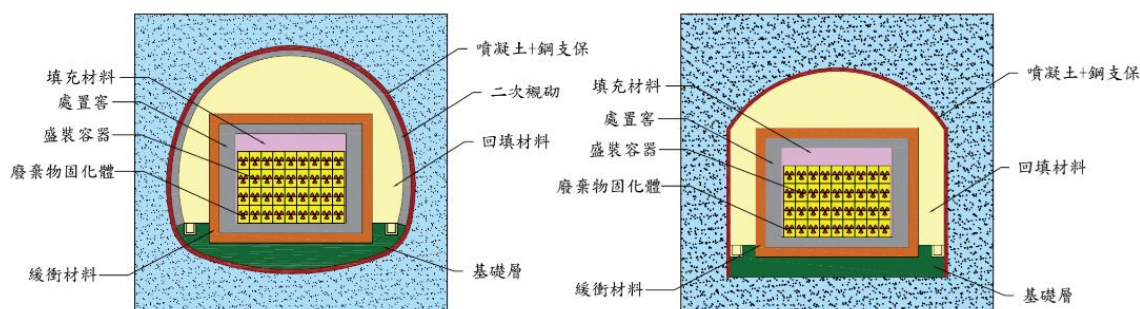


圖 4.3-1 各候選場址之處置坑道材料圖

表 4.3-1 處置坑道材料參數表

	材料名稱	材料種類	單位重 (tf/m ³)	彈性係數 (kgf/cm ²)	柏松比 ν	抗壓強度 (kgf/cm ²)	抗拉強度 (kgf/cm ²)
1	廢棄物固化體	水泥或瀝青等不同固化材料	2.09	127,465	0.30	15	0.00
2	盛裝容器	符合 CNS 9278 要求之冷軋鋼材	7.85	2,040,000	0.30	2,551	2,700.00
3	填充材料	1:3 水泥砂漿	2.11	148,996	0.15	175	17.50
4	處置窖	鋼筋混凝土	2.40	383,658	0.15	350	22.33
5	緩衝材料	膨潤土	1.63	1,020	0.30	6	0.61
6	回填材料	混凝土	2.04	301,072	0.20	140	14.19
7	二次襯砌、基礎層	鋼筋混凝土	2.40	383,658	0.15	280	20.79
8	鋼支保	結構用型鋼	7.85	2,040,704	0.20	2,519	3,520.00
9	噴凝土	噴凝土	2.40	251,330	0.15	280	20.79

4.4 荷重模擬與荷重組合

結構物於設計規劃時，其結構設計強度需能抵抗外力作用，而工程障壁生命週期中可能遭遇之荷重為靜荷重、土壓力、水壓力、風壓、地震力、大地應力、緩衝材料回脹壓力及溫度力。其中大地應力係指區域性的地中應力之大小與方向，其主要應力來源包含覆土(岩)荷重、沖刷解壓、板塊運動、地球收縮、岩漿侵入壓力和岩漿冷凝之收縮應力等等。而土壓力則為局部範圍土壤自重作用所造成垂直或側向壓力，模擬時將大地應力與土壓力兩者合併考量，在分析隧道開挖過程以前，以初始應力方式施加於岩體中，並與前期相互比對確認。另考量荷重估算之不確定性及不同荷重同時作用等情況發生，因此將各荷重以安全係數放大及組合做為規劃設計之荷重，表 4.4-1 及表 4.4-2 為本報告各階段所採用之荷重組合整理。

表 4.4-1 達仁鄉建議候選場址各階段坑道荷重組合

A 類處置坑道	B/C 類處置坑道
第 1 階段 處置窖體施作完成 1.荷重組合一：1.4D+1.0T 2.荷重組合二：1.2D+1.6L+1.2T 3.荷重組合三：1.2D+1.6L+1.6E0 4.荷重組合四：1.2D+1.6L+1.6W 5.荷重組合五：1.0D+0.8L+1.0T+1.0E 6.荷重組合六：1.2D+1.0L+1.0E	第 1 階段 處置窖體施作完成 1.荷重組合一：1.4D+1.0T 2.荷重組合二：1.2D+1.6L+1.2T 3.荷重組合三：1.2D+1.6L+1.6E0 4.荷重組合四：1.2D+1.6L+1.6W 5.荷重組合五：1.0D+0.8L+1.0T+1.0E 6.荷重組合六：1.2D+1.0L+1.0E
第 2 階段 廢棄物放滿處置窖 1.荷重組合一：1.4D+1.0T 2.荷重組合二：1.2D+1.6L+1.2T 3.荷重組合三：1.2D+1.6L+1.6E0 4.荷重組合四：1.2D+1.6L+1.6W 5.荷重組合五：1.0D+0.8L+1.0T+1.0E 6.荷重組合六：1.2D+1.0L+1.0E	第 2 階段 廢棄物放滿處置窖 1.荷重組合一：1.4D+1.0T 2.荷重組合二：1.2D+1.6L+1.2T 3.荷重組合三：1.2D+1.6L+1.6E0 4.荷重組合四：1.2D+1.6L+1.6W 5.荷重組合五：1.0D+0.8L+1.0T+1.0E 6.荷重組合六：1.2D+1.0L+1.0E
第 3 階段 填充材填入處置窖 1.荷重組合一：1.4D+1.0T 2.荷重組合二：1.2D+1.6L+1.2T 3.荷重組合三：1.2D+1.6L+1.6E0 4.荷重組合四：1.2D+1.6L+1.6W 5.荷重組合五：1.0D+0.8L+1.0T+1.0E 6.荷重組合六：1.2D+1.0L+1.0E	第 3 階段 填充材填入處置窖 1.荷重組合一：1.4D+1.0T 2.荷重組合二：1.2D+1.6L+1.2T 3.荷重組合三：1.2D+1.6L+1.6E0 4.荷重組合四：1.2D+1.6L+1.6W 5.荷重組合五：1.0D+0.8L+1.0T+1.0E 6.荷重組合六：1.2D+1.0L+1.0E
第 4 階段 完成處置窖頂板 1.荷重組合一：1.4D+1.0T 2.荷重組合二：1.2D+1.6L+1.2T 3.荷重組合三：1.2D+1.6L+1.6E0 4.荷重組合四：1.2D+1.6L+1.6W 5.荷重組合五：1.0D+0.8L+1.0T+1.0E 6.荷重組合六：1.2D+1.0L+1.0E	第 4 階段 完成處置窖頂板 1.荷重組合一：1.4D+1.0T 2.荷重組合二：1.2D+1.6L+1.2T 3.荷重組合三：1.2D+1.6L+1.6E0 4.荷重組合四：1.2D+1.6L+1.6W 5.荷重組合五：1.0D+0.8L+1.0T+1.0E 6.荷重組合六：1.2D+1.0L+1.0E
第 5 階段 回填材澆置與窖頂同高 1.荷重組合一：1.4D+1.0T 2.荷重組合二：1.2D+1.6L+1.2T 3.荷重組合三：1.2D+1.6L+1.6E0 4.荷重組合四：1.2D+1.6L+1.6W 5.荷重組合五：1.0D+0.8L+1.0T+1.0E 6.荷重組合六：1.2D+1.0L+1.0E	第 5 階段 回填材澆置與窖頂同高 1.荷重組合一：1.4D+1.0T 2.荷重組合二：1.2D+1.6L+1.2T 3.荷重組合三：1.2D+1.6L+1.6E0 4.荷重組合四：1.2D+1.6L+1.6W 5.荷重組合五：1.0D+0.8L+1.0T+1.0E 6.荷重組合六：1.2D+1.0L+1.0E
第 6 階段 坑道內填滿回填材 1.荷重組合一：1.4D+1.4WP 2.荷重組合二：1.2D+1.6E0+1.2WP 3.荷重組合三：1.0D+1.0E+1.0WP	第 6 階段 坑道內填滿回填材 1.荷重組合一：1.4D+1.4WP+1.6RP 2.荷重組合二：1.2D+1.6E0+1.2WP+1.6RP 3.荷重組合三：1.0D+1.0E+1.0WP+1.6RP
第 7 階段 混凝土強度劣化至原有 75% 1.荷重組合一：1.4D+1.4WP 2.荷重組合二：1.2D+1.6E0+1.2WP 3.荷重組合三：1.0D+1.0E+1.0WP	第 7 階段 混凝土強度劣化至原有 75% 1.荷重組合一：1.4D+1.4WP+1.6RP 2.荷重組合二：1.2D+1.6E0+1.2WP+1.6RP 3.荷重組合三：1.0D+1.0E+1.0WP+1.6RP

備註：D=靜荷重，L=活荷重，T=溫度荷重，W=風荷重，E=設計地震力，E0=運轉地震力，WP=地下水位造成之水壓力(達仁鄉建議候選場址)或海水荷重及岩盤地下水位造成之水壓力(烏坵鄉建議候選場址)，RP=緩衝材料(膨潤土)之回脹壓力。

表 4.4-2 烏坵鄉建議候選場址各階段坑道荷重組合

A 類處置坑道	B/C 類處置坑道
第 1 階段 處置窖體施作完成 1.荷重組合一：1.4D+1.0T+1.4WP 2.荷重組合二：1.2D+1.6L+1.2T+1.2WP 3.荷重組合三：1.2D+1.6L+1.6E0+1.2WP 4.荷重組合四：1.2D+1.6L+1.6W+1.2WP 5.荷重組合五：1.0D+0.8L+1.0T+1.0E+1.0WP 6.荷重組合六：1.2D+1.0L+1.0E	第 1 階段 處置窖體施作完成 1.荷重組合一：1.4D+1.0T+1.4WP 2.荷重組合二：1.2D+1.6L+1.2T+1.2WP 3.荷重組合三：1.2D+1.6L+1.6E0+1.2WP 4.荷重組合四：1.2D+1.6L+1.6W+1.2WP 5.荷重組合五：1.0D+0.8L+1.0T+1.0E+1.0WP 6.荷重組合六：1.2D+1.0L+1.0E
第 2 階段 廢棄物放滿處置窖 1.荷重組合一：1.4D+1.0T+1.4WP 2.荷重組合二：1.2D+1.6L+1.2T+1.2WP 3.荷重組合三：1.2D+1.6L+1.6E0+1.2WP 4.荷重組合四：1.2D+1.6L+1.6W+1.2WP 5.荷重組合五：1.0D+0.8L+1.0T+1.0E+1.0WP 6.荷重組合六：1.2D+1.0L+1.0E	第 2 階段 廢棄物放滿處置窖 1.荷重組合一：1.4D+1.0T+1.4WP 2.荷重組合二：1.2D+1.6L+1.2T+1.2WP 3.荷重組合三：1.2D+1.6L+1.6E0+1.2WP 4.荷重組合四：1.2D+1.6L+1.6W+1.2WP 5.荷重組合五：1.0D+0.8L+1.0T+1.0E+1.0WP 6.荷重組合六：1.2D+1.0L+1.0E
第 3 階段 填充材填入處置窖 1.荷重組合一：1.4D+1.0T+1.4WP 2.荷重組合二：1.2D+1.6L+1.2T+1.2WP 3.荷重組合三：1.2D+1.6L+1.6E0+1.2WP 4.荷重組合四：1.2D+1.6L+1.6W+1.2WP 5.荷重組合五：1.0D+0.8L+1.0T+1.0E+1.0WP 6.荷重組合六：1.2D+1.0L+1.0E	第 3 階段 填充材填入處置窖 1.荷重組合一：1.4D+1.0T+1.4WP 2.荷重組合二：1.2D+1.6L+1.2T+1.2WP 3.荷重組合三：1.2D+1.6L+1.6E0+1.2WP 4.荷重組合四：1.2D+1.6L+1.6W+1.2WP 5.荷重組合五：1.0D+0.8L+1.0T+1.0E+1.0WP 6.荷重組合六：1.2D+1.0L+1.0E
第 4 階段 完成處置窖頂板 1.荷重組合一：1.4D+1.0T+1.4WP 2.荷重組合二：1.2D+1.6L+1.2T+1.2WP 3.荷重組合三：1.2D+1.6L+1.6E0+1.2WP 4.荷重組合四：1.2D+1.6L+1.6W+1.2WP 5.荷重組合五：1.0D+0.8L+1.0T+1.0E+1.0WP 6.荷重組合六：1.2D+1.0L+1.0E	第 4 階段 完成處置窖頂板 1.荷重組合一：1.4D+1.0T+1.4WP 2.荷重組合二：1.2D+1.6L+1.2T+1.2WP 3.荷重組合三：1.2D+1.6L+1.6E0+1.2WP 4.荷重組合四：1.2D+1.6L+1.6W+1.2WP 5.荷重組合五：1.0D+0.8L+1.0T+1.0E+1.0WP 6.荷重組合六：1.2D+1.0L+1.0E
第 5 階段 回填材澆置與窖頂同高 1.荷重組合一：1.4D+1.0T+1.4WP 2.荷重組合二：1.2D+1.6L+1.2T+1.2WP 3.荷重組合三：1.2D+1.6L+1.6E0+1.2WP 4.荷重組合四：1.2D+1.6L+1.6W+1.2WP 5.荷重組合五：1.0D+0.8L+1.0T+1.0E+1.0WP 6.荷重組合六：1.2D+1.0L+1.0E	第 5 階段 回填材澆置與窖頂同高 1.荷重組合一：1.4D+1.0T+1.4WP 2.荷重組合二：1.2D+1.6L+1.2T+1.2WP 3.荷重組合三：1.2D+1.6L+1.6E0+1.2WP 4.荷重組合四：1.2D+1.6L+1.6W+1.2WP 5.荷重組合五：1.0D+0.8L+1.0T+1.0E+1.0WP 6.荷重組合六：1.2D+1.0L+1.0E
第 6 階段 坑道內填滿回填材 1.荷重組合一：1.4D+1.4WP 2.荷重組合二：1.2D+1.6E0+1.2WP 3.荷重組合三：1.0D+1.0E+1.0WP	第 6 階段 坑道內填滿回填材 1.荷重組合一：1.4D+1.4WP+1.6RP 2.荷重組合二：1.2D+1.6E0+1.2WP+1.6RP 3.荷重組合三：1.0D+1.0E+1.0WP+1.6RP
第 7 階段 混凝土強度劣化至原有 75% 1.荷重組合一：1.4D+1.4WP 2.荷重組合二：1.2D+1.6E0+1.2WP 3.荷重組合三：1.0D+1.0E+1.0WP	第 7 階段 混凝土強度劣化至原有 75% 1.荷重組合一：1.4D+1.4WP+1.6RP 2.荷重組合二：1.2D+1.6E0+1.2WP+1.6RP 3.荷重組合三：1.0D+1.0E+1.0WP+1.6RP

備註：D=靜荷重，L=活荷重，T=溫度荷重，W=風荷重，E=設計地震力，E0=運轉地震力，WP=地下水位造成之水壓力(達仁鄉建議候選場址)或海水荷重及岩盤地下水位造成之水壓力(烏坵鄉建議候選場址)，RP=緩衝材料(膨潤土)之回脹壓力。

4.5 處置窖結構分析

處置坑道可能採全斷面或局部斷面開挖，以局部斷面開挖而言，為加速工進一般會採用分段步進施工，而不論是全斷面或局部斷面開挖，其過程均牽涉到岩體開挖及噴凝土、鋼支保、岩栓等支撐構件之設置，並於整體挖通後施作二次混凝土襯砌，圖 4.5-1 為達仁建議候選場址坑道採局部斷面開挖分段分階步進施工流程示意。各隧道開挖階段之分析，與本報告後續分析工作相同，皆採用 Abaqus 套裝軟體作為分析工具。

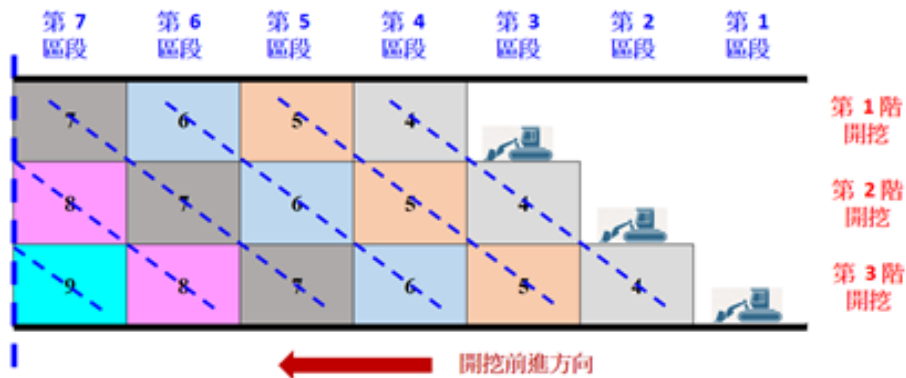
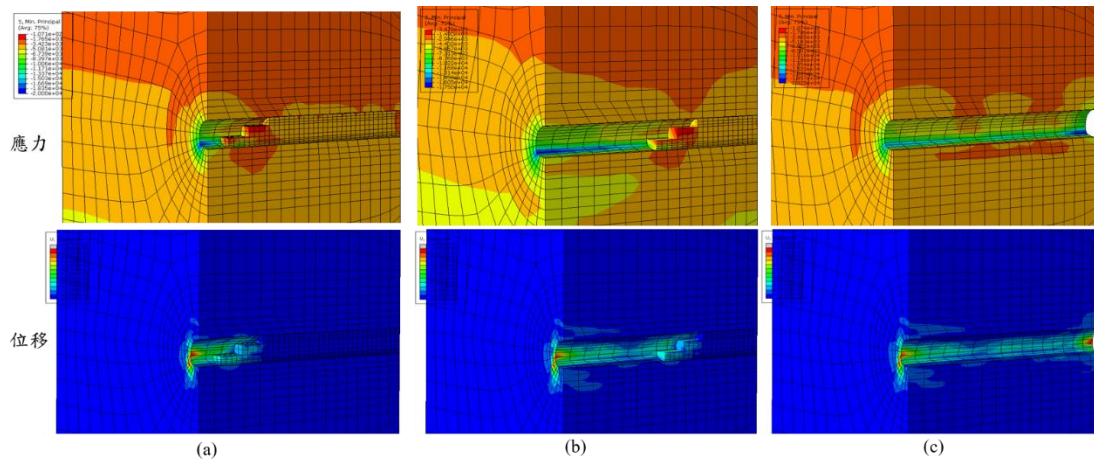


圖 4.5-1 處置坑道局部斷面分段分階開挖過程圖

一、達仁鄉建議候選場址

圖 4.5-2 為各隧道開挖階段之分析結果，大地應力在分析開挖過程之前已經以初始應力方式輸入於岩體之中，圖中所表示應力為最大主應力，大致以壓應力為主，圖 4.5-3 為二次襯砌施作完成後之最大主應力之分布，對於混凝土或抗壓性較佳之材料，多以最大主應力中張應力較大區域評估其損壞情形，圖中張應力最大區域集中於排水溝底部外側，惟量值不大，主要為自重及坑道變形所產生。



備註：(a)坑道第 3 區段，(b)坑道第 7 區段，(c)坑道完全開挖

圖 4.5-2 岩體最大主應力(壓應力)及最大位移分布圖

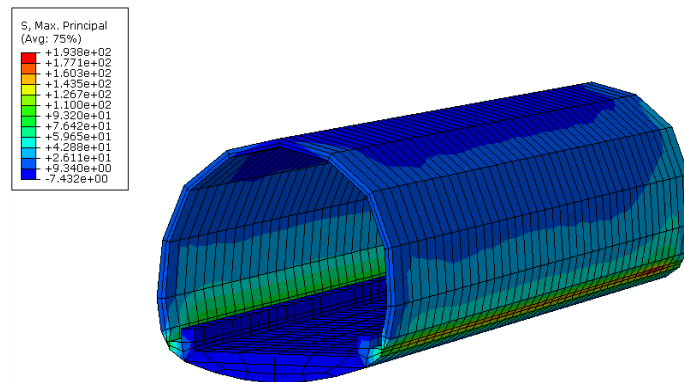


圖 4.5-3 坑道二次襯砌施作完成後之最大主應力分布

(一)達仁鄉建議候選場址 A 類處置窖結構分析

針對達仁鄉建議候選場址 A 類廢棄物處置窖興建、營運、封閉及監管過程中第 1 階段至第 7 階段進行結構分析，各階段之坑道與二次襯砌均相同，處置窖結構及包覆回填範圍隨各階段不同，所考慮之荷重組合及荷重作用之區域也隨之有所差異。坑道初始條件為岩體、噴凝土及二次襯砌之初始應力與變形，處置窖斷面配置以 A 類廢棄物處置窖為考量，分布區域自開挖端向內 1.6 m 開始，一直延伸到末端前 4.4 m 為止，處置窖長度共計 94 m(包含窖體間隔牆)，模型坑道中間區域可視為一般處置坑道與處置窖的應力與應變分佈結果，模型兩端則反應出處置窖受到邊界效應影響的應力與應變分佈結果。由於處置窖及包覆回填結

構均屬混凝土類或抗壓性較佳之材料，該類材料抗壓強度遠大於其抗張強度，損壞主要為超張應力所致，故主要考量張應力分佈評估其安全特性。以達仁鄉建議候選場址 A 類廢棄物處置窖興建時期為例，圖 4.5-4 為達仁鄉建議候選場址 A 類廢棄物處置窖興建時期工程佈置圖，處置窖建構完成但尚未放入廢棄物包件，所建構有限元素模型如圖 4.5-5 所示(坑道構件未示)。圖 4.5-6 為達仁鄉場址 A 類處置窖單元第 1 階段應力分析成果。

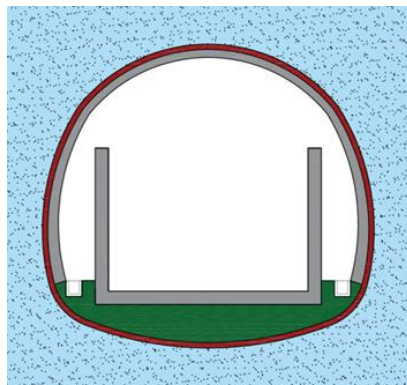


圖 4.5-4 達仁鄉場址 A 類處置窖第 1 階段工程佈置

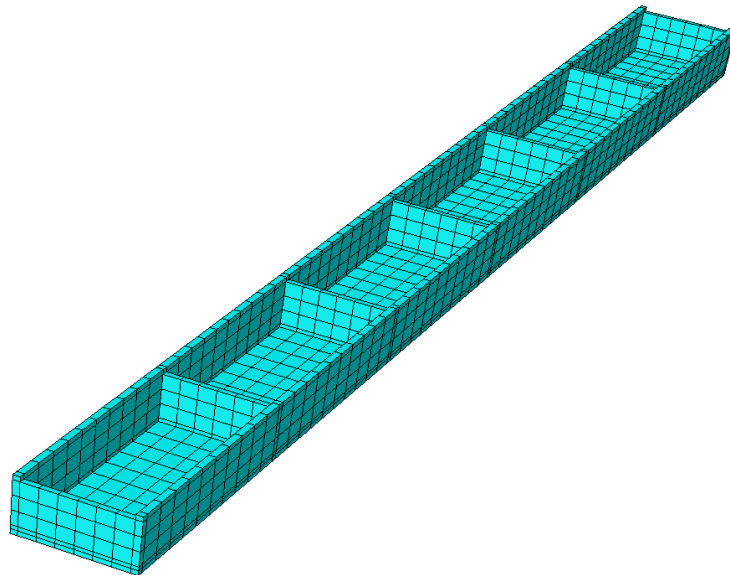


圖 4.5-5 達仁鄉場址 A 類處置窖第 1 階段結構有限元素模型

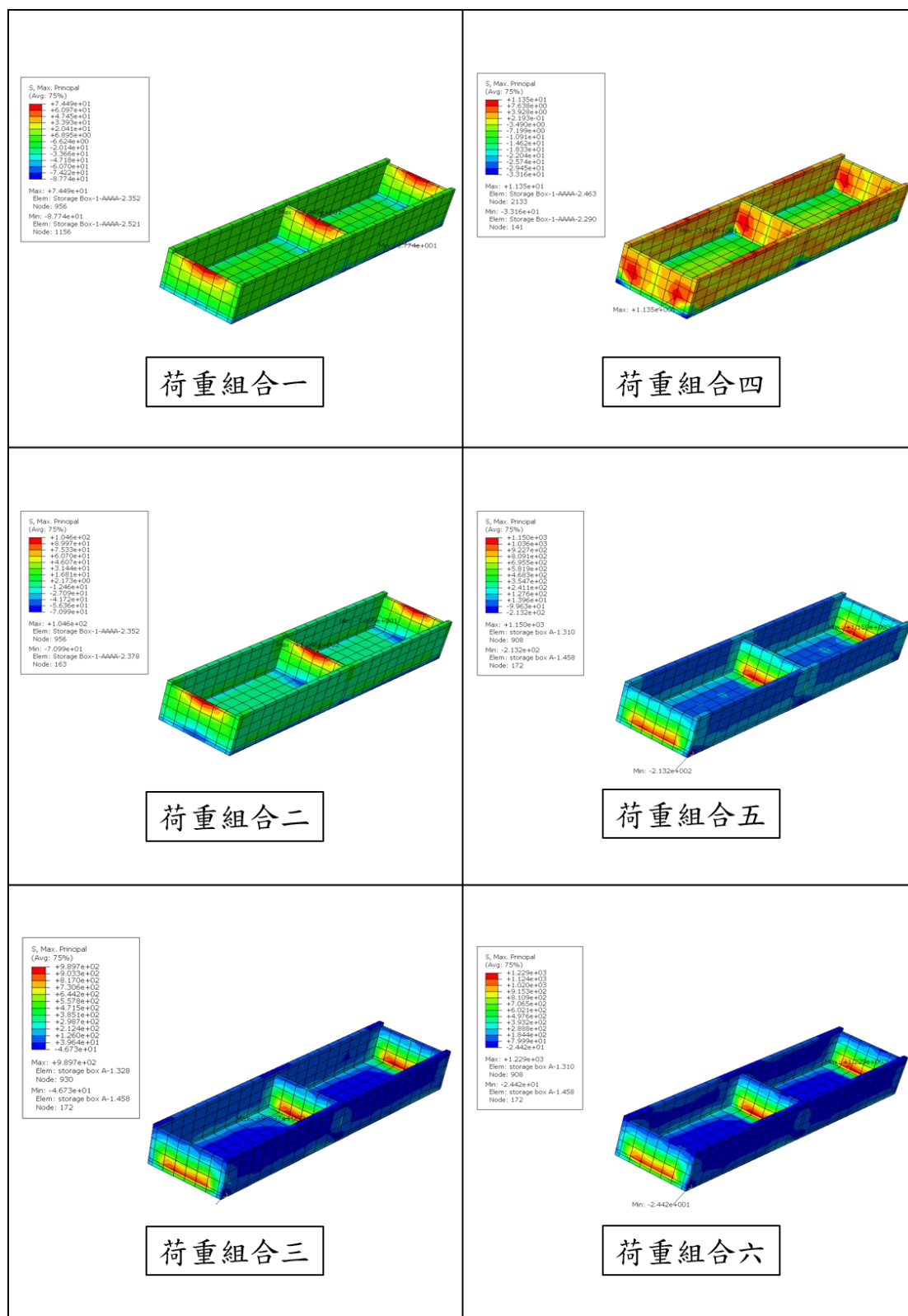


圖 4.5-6 達仁鄉場址 A 類處置窖單元第 1 階段應力分析成果

綜整上述第 1 階段至第 7 階段應力分析成果，各階段不同荷重組合分析所得張應力與壓應力極值如表 4.5-1 所示。除了封閉時期中第 5 階段處置窖頂版構築完成，且荷重組合包含地震力的情況下，部分處置窖位置所受張應力略為超過混凝土材料抗張強度外，各階段分析所得應力值皆低於混凝土設計強度。

經觀察第 1 階段至第 7 階段分析成果，可初步得知：

1. 分析成果中第 1 階段至第 4 階段，也就是處置窖尚未與外部坑道經由回填材相連結前，處置窖最大應力發生區域以窖體之間的間隔牆底部為主，其原因為處置窖在抵抗平行坑道走向的地震時，隔間牆所受到的慣性力相對較大所造成。
2. 分析成果中第 5 階段，也就是回填材澆注高度達到處置窖頂版高度時，最大張應力發生位置發生於窖體側牆的底部，其成因推估為分析中回填材與窖體外側連結，協助窖體抵抗平行坑道走向地震，但也因為回填材的澆注，將處置窖與坑道相連結，造成窖體與坑道共同抵抗垂直坑道走向的地震力，故最大張應力發生於窖體側牆底部的帶狀區域。
3. 第 2 階段與第 3 階段間，處置窖各項應力極值皆明顯降低，其原因推估為處置窖內部填充材的澆注，除加強廢棄物包件的穩定性外，亦有效提升了處置窖的整體強度。
4. 第 4 階段與第 5 階段間，在考量地震力作用之荷重組合下，處置窖張應力極值大幅提升，其原因可能在於回填材澆注至與處置窖頂版高度相同時，坑道在地震力作用下的變形量受到處置窖與回填材的束制，相對的處置窖受力也因而提高。
5. 第 6 階段與第 7 階段間的差異，在於各項材料強度設定為原材料強度的 75%，表中分析結果得知各項應力極值變化量相當微小。

(二)達仁鄉建議候選場址 B/C 類處置窖結構分析

針對達仁鄉建議候選場址 B/C 類廢棄物處置窖興建、營運、封閉及監管過程中第 1 階段至第 7 階段進行結構分析，各階段之坑道與二次襯砌均相同，處置窖結構及包覆回填範圍隨各階段不同，所考慮之荷重組合及荷重作用之區域也隨之有所差異，將分別於各階段分析內容說明。坑道初始條件為岩體、噴凝土及二次襯砌之初始應力與變形，處置窖斷面配置以 B/C 類廢棄物處置窖為考量，在處置窖外圍包覆緩衝材，處置窖分布區域自開挖端向內 1.6 m 開始，一直延伸到末端前 4.4 m 為止，長度共計 94 m(包含窖體間隔牆)，模型坑道中間區域可視為一般處置坑道與處置窖的應力與應變分佈結果。

綜整上述第 1 階段至第 7 階段應力分析成果，各階段不同荷重組合分析所得張應力與壓應力極值如表 4.5-2 所示。根據表中所列張應力極值與拉應力極值，得知各階段在依規範規定之荷重組合作用下，除了第 6、7 階段處置窖底版張應力極值偏大，部分超過混凝土抗張強度外，其他階段荷重組合處置窖所受應力值皆相對微小，低於混凝土材料容許抗張強度及抗壓強度。

經觀察第 1 階段至第 7 階段分析成果，可初步得知：

- 1.分析成果中由於坑道前端與後端邊界條件的差異，以及處置窖下方及側面緩衝材在力學上較容易變形的影響，地震力作用下應力分布結果略為不對稱，但應力值差異相當微小，對於應力分析結果整體而言影響不大。
- 2.觀察 B/C 類處置窖與 A 類處置窖應力分析結果，在不考慮膨潤土回脹壓力的情況下，B/C 類處置窖所得應力值普遍低於 A 類處置窖分析所得應力值，其成因可能由於 B/C 類處置窖與坑道結構間以緩衝材相隔絕，緩衝材材質較軟相對容易產生變形，導致 B/C 類處置窖所受應力比 A 類處置窖為低。

表 4.5-1 達仁鄉場址 A 類處置窖單元各階段應力分析成果

荷重組合	達仁鄉場址 A 類處置窖單元斷面應力極值(單位：kgf/cm ²)							
		第 1 階段	第 2 階段	第 3 階段	第 4 階段	第 5 階段	第 6 階段	第 7 階段
1.4D+1.0T	Max.	+0.76	+2.26	+1.91	+1.36	+0.72		
	Min.	-0.89	-1.44	-1.14	-1.37	-1.30		
1.2D+1.6L+1.2T	Max.	+1.07	+2.11	+2.64	+1.84	+1.13		
	Min.	-0.72	-1.18	-1.11	-1.31	-1.90		
1.2D+1.6L+1.6E0	Max.	+10.09	+9.03	+3.53	+3.51	+19.19		
	Min.	-0.48	-3.75	-1.73	-1.87	+0.20		
1.2D+1.6L+1.6W	Max.	+0.12	+2.25	+0.26	+0.29	+2.54		
	Min.	-0.34	-1.21	-0.84	-0.88	-0.29		
1.0D+0.8L+1.0T+1.0E	Max.	+11.73	+12.53	+5.79	+5.61	+19.55		
	Min.	-2.17	-3.71	-2.80	-2.80	+1.01		
1.2D+1.0L+1.0E	Max.	+12.53	+10.81	+4.47	+4.46	*+23.96		
	Min.	-0.25	-4.03	-1.79	-1.92	+0.58		
1.4D+1.4WP	Max.						-1.10	-1.53
	Min.						-8.31	-9.99
1.2D+1.6E0+1.2WP	Max.						+2.66	+2.44
	Min.						-5.19	-5.95
1.0D+1.0E+1.0WP	Max.						+4.37	+4.46
	Min.						-3.01	-3.47
備註： 1.荷重組合中，D 表示靜荷重；L 表示活荷重；T 表示溫度荷重；E 表示設計地震力；E0 表示運轉地震力；W 表示風荷重；WP 表示地下水或海水荷重。 2.表格中“+”表示張應力，“-”表示壓應力。標示“*”者表示超出材料強度。								

表 4.5-2 達仁鄉場址 B/C 類處置窖單元各階段應力分析成果

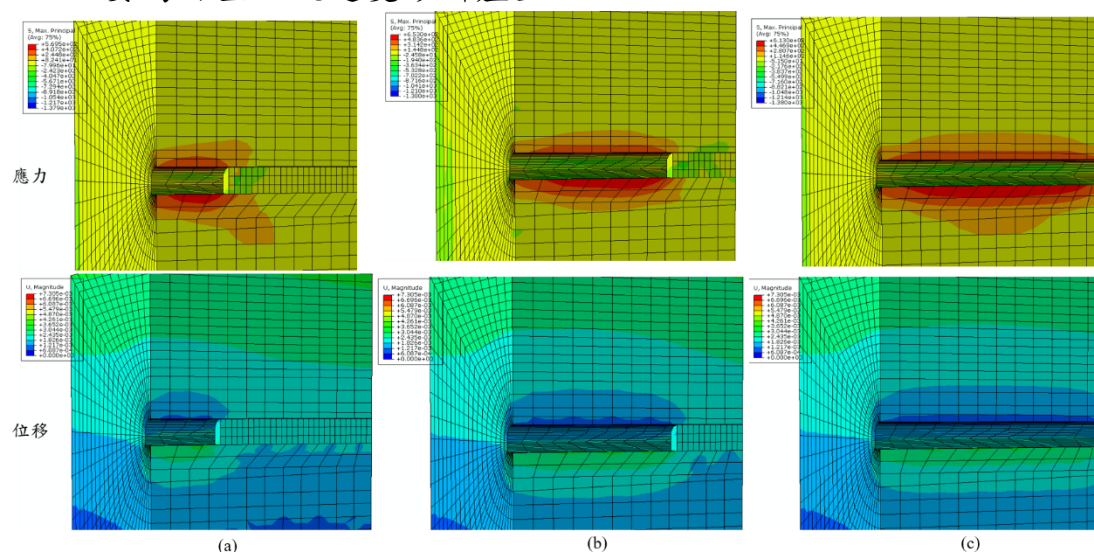
荷重組合	達仁鄉場址 B/C 類處置窖單元斷面應力極值(單位：kgf/cm ²)							
		第 1 階段	第 2 階段	第 3 階段	第 4 階段	第 5 階段	第 6 階段	第 7 階段
1.4D+1.0T	Max.	+0.81	+0.57	+1.29	+0.91	+3.89		
	Min.	-1.36	-1.21	-0.61	-1.06	-0.85		
1.2D+1.6L+1.2T	Max.	+0.63	+0.23	+1.39	+0.93	+3.27		
	Min.	-1.32	-0.93	-0.55	-0.86	-0.81		
1.2D+1.6L+1.6E0	Max.	+1.35	+2.91	+1.23	+1.52	+1.49		
	Min.	-0.49	-0.72	-0.71	-0.44	-0.49		
1.2D+1.6L+1.6W	Max.	+0.87	+0.89	+2.66	+0.88	+3.64		
	Min.	-0.01	-0.09	+0.14	-0.35	-0.66		
1.0D+0.8L+1.0T+1.0E	Max.	+0.62	+5.15	+0.45	+0.66	+3.02		
	Min.	-1.00	-1.12	-1.17	-0.90	-0.46		
1.2D+1.0L+1.0E	Max.	+1.62	+3.36	+1.20	+1.70	+2.30		
	Min.	-0.62	-0.84	-0.74	-0.43	-0.34		
1.4D+1.4WP+1.6RP	Max.						*+25.25	*+22.31
	Min.						-3.74	-5.64
1.2D+1.6E0+1.2WP+1.6RP	Max.						*+27.67	*+25.07
	Min.						-2.74	-4.45
1.0D+1.0E+1.0WP+1.6RP	Max.						*+28.47	*+26.25
	Min.						-2.47	-3.91
備註： 1.荷重組合中，D 表示靜荷重；L 表示活荷重；T 表示溫度荷重；E 表示設計地震力；E0 表示運轉地震力；W 表示風荷重；WP 表示地下水或海水荷重；RP 表示緩衝材回脹壓力。 2.表格中“+”表示張應力，“-”表示壓應力。標示“*”者表示超出材料強度。								

- 3.分析成果中第 5、6、7 階段，也就是回填材澆注高度達到處置窖頂版高度以上之後，最大張應力發生位置發生於窖底中央，與 A 類處置窖最大張應力發生於窖體側牆的底部不同，其成因推估為 A 類處置窖窖體底部、外側與回填材直接連結，窖體側牆底部直接抵抗垂直坑道走向之地震力，但 B/C 類處置窖與坑道間以緩衝材相隔，受垂直坑道走向地震力作用時，緩衝材容易被壓縮變形，故最大張應力發生位置與 A 類處置窖不同。
- 4.第 2 階段與第 3 階段之間，在地震作用的各類荷重組合下，處置窖應力極值明顯降低，其原因推估為處置窖內部填充材的澆注，除加強廢棄物包件的穩定性外，亦有效提升了處置窖的整體強度。
- 5.第 4 階段與第 5 階段間，在考量地震力作用之荷重組合下，處置窖張應力極值提升，其原因可能在於回填材澆注至與處置窖頂版高度相同時，坑道在地震力作用下的變形量受到處置窖與回填材的束制，相對的處置窖受力也因而提高。
- 6.第 6 階段與第 7 階段間，由於考量地下水的完全侵入情況，荷重組合增加了地下水壓與膨潤土遇水膨脹的壓應力，經分析得知其中膨潤土吸水後回脹壓力的作用，造成處置窖需抵抗由兩側向內彎折的力矩，以致處置窖底部產生張應力提升情況，未來細部設計時應採鋼筋配置作為因應方式。
- 7.第 6 階段與第 7 階段間的差異，在於各項材料強度設定為原材料強度的 75%，表中分析結果得知各項應力極值變化量相當微小，並未因材料劣化而有大幅改變。

二、烏坵鄉建議候選場址

圖 4.5-7 為烏坵鄉建議候選場址坑道第 3、7 區段開挖及完全開挖後坑道周圍岩體最大主應力及最大位移分布，可知坑道二側壓應力量值較初始大地應力為大，坑道兩側下方尤為明顯，頂拱及仰拱壓應力則較初始大地應力為小，而坑道頂拱及仰拱分別向

下及向上變位，呈現上、下擠壓變形狀態；坑道入口及出口二側之應力及變位受邊界效應影響明顯較中間部位大，然中間部位之反應乃較接近真實情況，同時隨著開挖逐步進展，坑道周圍岩體之應力及位移分布將較為均勻。圖 4.5-8 為基礎層施作完成後之最大主應力之分布，主要集中於排水溝底部外側，惟量值不大，主要為自重及坑道變形所產生。



備註：(a)坑道第3區段，(b)坑道第7區段，(c)坑道完全開挖

圖 4.5-7 烏坵鄉坑道岩體最大主應力(壓應力)及最大位移分布

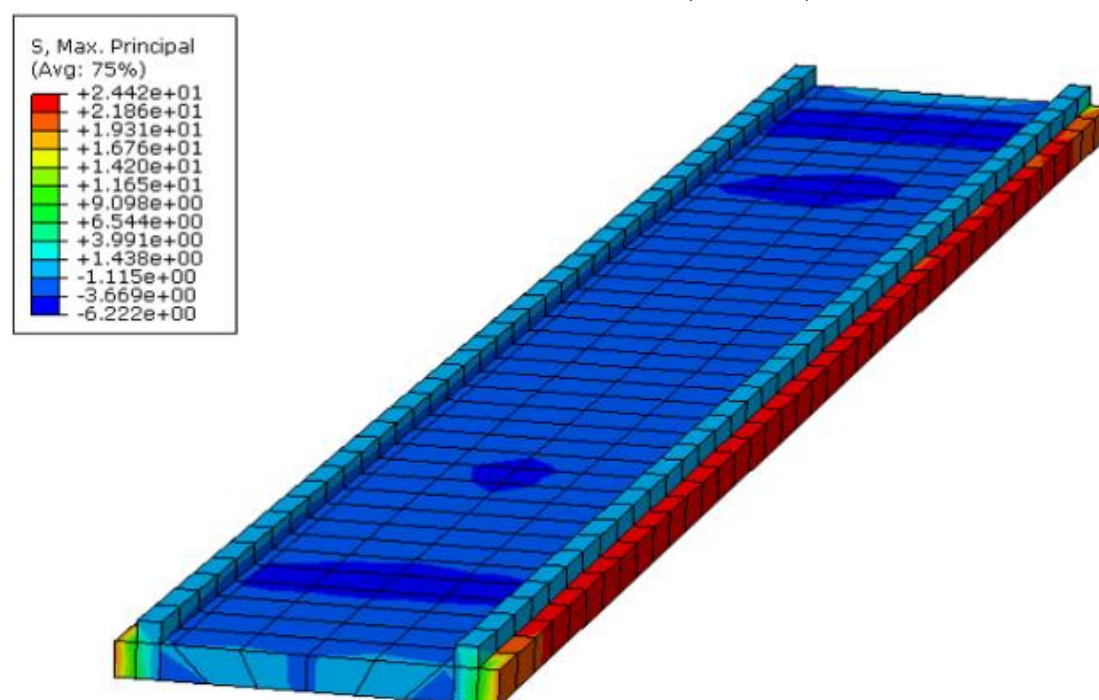


圖 4.5-8 坑道基礎層施作完成後之最大主應力分布

(一)烏坵鄉建議候選場址 A 類處置窖結構分析

烏坵鄉建議候選場址 A 類廢棄物處置窖興建、營運、封閉及監管過程中第 1 階段至第 7 階段進行結構分析，各階段之坑道與基礎層均相同，處置窖結構及包覆回填範圍隨各階段不同，所考慮之荷重組合及荷重作用之區域也隨之有所差異，坑道初始條件為岩體、噴凝土及基礎層之初始應力與變形。處置窖斷面配置以 A 類廢棄物處置窖為考量，分布區域自開挖端向內 1.6 m 開始，一直延伸到末端前 4.4 m 為止，處置窖長度共計 94 m(包含窖體間隔牆)，模型坑道中間區域可視為一般處置坑道與處置窖的應力與應變分佈結果，模型兩端則反應出處置窖受到邊界效應影響的應力與應變分佈結果。

綜整上述第 1 階段至第 7 階段應力分析成果，各階段不同荷重組合分析所得張應力與壓應力極值如表 4.5-3 所示。各階段分析所得張應力或壓應力極值皆低於混凝土設計強度。

經觀察第 1 階段至第 7 階段分析成果，可初步得知：

- 1.經由分析成果表中得知，第 2 階段與第 3 階段間處置窖各項應力極值皆明顯降低，其原因推估為處置窖內部填充材的澆注，除加強廢棄物包件的穩定性外，亦有效提升了處置窖的整體強度。
- 2.第 2 階段與第 3 階段間，處置窖大多數應力極值有降低趨勢，其原因推估為處置窖內部填充材的澆注，除加強廢棄物包件的穩定性外，亦有效提升了處置窖的整體強度。
- 3.分析中第 4 階段進入第 5 階段時，窖體張應力極值明顯下降，而壓應力極值則略有提高，相對於材料抗壓強度來說仍有相當餘裕，推估第 5 階段時回填材澆注高度達到處置窖頂版高度，窖體因側向回填材的支撐而降低可能產生的張應力情況。
- 4.第 6 階段與第 7 階段間的差異，在於各項材料強度設定為原材料強度的 75%，表中分析結果得知各項應力極值略為降低。

(二)烏坵鄉建議候選場址 B/C 類處置窖結構分析

針對烏坵鄉建議候選場址 B/C 類廢棄物處置窖興建、營運、封閉及監管過程中第 1 階段至第 7 階段進行結構分析，各階段之坑道與基礎層均相同，處置窖結構及包覆回填範圍隨各階段不同，所考慮之荷重組合及荷重作用之區域也隨之有所差異，將分別於各階段分析內容說明。坑道初始條件為岩體、噴凝土及基礎層之初始應力與變形，處置窖斷面配置以 B/C 類廢棄物處置窖為考量，在處置窖外圍包覆緩衝材，處置窖分布區域自開挖端向內 1.6 m 開始，一直延伸到末端前 4.4 m 為止，長度共計 94 m(包含窖體間隔牆)，模型坑道中間區域可視為一般處置坑道與處置窖的應力與應變分佈結果，模型兩端則反應出處置窖受到邊界效應影響，主要考量張應力分佈評估其安全特性。

綜整上述第 1 階段至第 7 階段應力分析成果，各階段不同荷重組合分析所得張應力與壓應力極值如表 4.5-4 所示。根據表中所列張應力值極與拉應力極值，得知各階段在依規範規定之荷重組合作用下，除了第 6、7 階段張應力極值較高外，整體處置窖所受應力值皆相對微小，低於混凝土材料容許抗張強度及抗壓強度。

經觀察第 1 階段至第 7 階段分析成果，可初步得知：

- 1.分析成果中由於坑道前端與後端邊界條件的差異，以及處置窖下方及側面緩衝材在力學上較容易變形的影響，地震力作用下應力分布結果略為不對稱，但應力值差異相當微小，對於應力分析結果整體而言影響不大。
- 2.觀察 B/C 類處置窖與 A 類處置窖應力分析結果，在不考慮膨潤土回脹壓力的情況下，B/C 類處置窖所得應力值普遍低於 A 類處置窖分析所得應力值，其成因可能由於 B/C 類處置窖與坑道結構間以緩衝材相隔絕，緩衝材材質較軟相對容易產生變形，導致 B/C 類處置窖所受應力比 A 類處置窖為低。

表 4.5-3 烏坵鄉場址 A 類處置窖單元各階段應力分析成果

荷重組合	烏坵鄉場址 A 類處置窖標準斷面應力極值(單位: kgf/cm ²)							
		第 1 階段	第 2 階段	第 3 階段	第 4 階段	第 5 階段	第 6 階段	第 7 階段
1.4D+1T+1.4WP	Max.	+22.04	+19.89	+15.16	+17.97	+1.23		
	Min.	-3.81	-5.72	-5.02	-5.10	-9.54		
1.2D+1.6L+1.2T+1.2WP	Max.	+18.08	+16.02	+14.73	+15.23	+1.49		
	Min.	-3.89	-5.83	-4.76	-5.23	-10.67		
1.2D+1.6L+1.6E0+1.2WP	Max.	+21.21	+19.70	+13.84	+13.61	+0.50		
	Min.	-9.61	-1.13	-1.65	-1.71	-4.90		
1.2D+1.6L+1.6W+1.2WP	Max.	+13.23	+12.68	+13.58	+13.33	+3.32		
	Min.	+0.81	+0.18	0.16	0.14	-2.14		
1D+0.8L+1T+1E+1WP	Max.	+15.38	+13.21	+12.51	+13.03	+1.74		
	Min.	-3.37	-5.67	-4.00	-4.58	-10.68		
1.2D+1L+1E+1WP	Max.	+17.30	+15.65	+10.79	+10.53	+0.38		
	Min.	-0.001	-1.05	-1.47	-1.52	-4.13		
1.4D+1.4WP	Max.						+4.99	+4.54
	Min.						-3.88	-3.93
1.2D+1.6E0+1.2WP	Max.						+3.54	+3.12
	Min.						-4.81	-4.34
1D+1E+1WP	Max.						+3.37	+2.98
	Min.						-4.26	-3.80
備註: 1.荷重組合中,D表示靜荷重;L表示活荷重;T表示溫度荷重;E表示設計地震力;E0表示運轉地震力;W表示風荷重;WP表示地下水或海水荷重。 2.表格中"+"表示張應力,"-"表示壓應力。標示"*"者表示超出材料強度。								

表 4.5-4 烏坵鄉場址 B/C 類處置窖單元各階段應力分析成果

荷重組合	烏坵鄉場址 B/C 類處置窖單元斷面應力極值(單位：kgf/cm ²)							
		第 1 階段	第 2 階段	第 3 階段	第 4 階段	第 5 階段	第 6 階段	第 7 階段
1.4D+1.0T+1.4WP	Max.	+0.81	+0.31	+0.64	+0.75	-0.30		
	Min.	-1.36	-0.02	-0.06	-0.10	-1.34		
1.2D+1.6L+1.2T+1.2WP	Max.	+1.68	+0.46	+0.75	+0.85	-0.02		
	Min.	-1.62	-0.09	-0.21	-0.22	-1.26		
1.2D+1.6L+1.6E0+1.2WP	Max.	+1.91	+0.56	+0.49	+0.46	+0.41		
	Min.	-0.06	+0.12	+0.08	+0.05	-0.36		
1.2D+1.6L+1.6W+1.2WP	Max.	+3.42	+3.09	+1.88	+1.80	+2.61		
	Min.	+0.33	-0.04	+0.01	+0.24	+0.34		
1.0D+0.8L+1.0T+1.0E+1.0WP	Max.	+1.32	1.09	+2.20	+0.89	+0.17		
	Min.	-1.43	-0.14	-2.35	-0.19	-1.02		
1.2D+1.0L+1.0E+1.0WP	Max.	+1.83	+0.45	+0.43	+1.70	+0.34		
	Min.	-0.09	+0.05	+0.06	-0.43	-0.33		
1.4D+1.4WP+1.6RP	Max.						+16.46	+15.91
	Min.						+1.11	+0.53
1.2D+1.6E0+1.2WP+1.6RP	Max.						+16.67	+16.44
	Min.						-0.33	-0.43
1.0D+1.0E+1.0WP+1.6RP	Max.						+16.8	+16.61
	Min.						-0.14	-0.23
備註： 1.荷重組合中，D 表示靜荷重；L 表示活荷重；T 表示溫度荷重；E 表示設計地震力；E0 表示運轉地震力；W 表示風荷重；WP 表示地下水或海水荷重；RP 表示緩衝材回脹壓力。 2.表格中“+”表示張應力，“-”表示壓應力。標示“*”者表示超出材料強度。								

- 3.分析成果中第 5、6、7 階段，也就是回填材澆注高度達到處置窖頂版高度以上，最大張應力發生位置發生於窖體側牆中央，與 A 類處置窖最大張應力大多發生於窖體側牆底部不同，其成因推估為 A 類處置窖窖體底部、外側與回填材直接連結，窖體側牆底部直接抵抗垂直坑道走向之地震力，但 B/C 類處置窖與坑道間以緩衝材相隔，受垂直坑道走向地震力作用時，緩衝材容易被壓縮變形，故最大張應力發生位置與 A 類處置窖不同。
- 4.第 6 階段與第 7 階段間，由於考量地下水的完全侵入情況，荷重組合增加了地下水壓與膨潤土遇水膨脹的壓應力，經分析得知其中膨潤土吸水後回脹壓力的作用，造成處置窖需抵抗由兩側向內彎折的力矩，以致處置窖側牆產生張應力提升情況，未來細部設計時應採鋼筋配置作為因應方式。
- 5.第 6 階段與第 7 階段間的差異，在於各項材料強度設定為原材料強度的 75%，表中分析結果得知各項應力極值變化量相當微小，並未因材料劣化而有大幅改變。

4.6 結論及建議

根據各不同類型處置窖的應力分析結果綜整得知，除了達仁場址 A 類處置窖回填材澆注高度與窖頂同高時，設計地震來襲的情境下，以及達仁場址 B/C 類處置窖封閉與監管期間，緩衝材達到設計回脹壓力的情境下，處置窖的局部張應力可能大於抗張強度外，處置窖在興建、營運、封閉、監管等各階段，依照分析結果結構應力皆低於材料強度。其原因在於處置窖於 LLWD2016 報告進行規劃時，是以滿足廢棄物輻射屏蔽需求訂出窖體混凝土厚度，由本報告分析得知 LLWD2016 報告所規劃尺寸，在分析情境與適當鋼筋配置條件下可滿足結構使用需求。

若將兩處建議候選場址 A 類廢棄物處置窖分析結果與 B/C 類廢棄物處置窖分析結果相比較，可發現在不考慮緩衝材浸水後回脹壓力的情境下，A 類廢棄物處置窖所受應力普遍高於 B/C 類廢棄物處置窖應力，推估其成因為緩衝材材料楊氏係數窖處置窖混凝土為低，在應力傳遞的過程中成為處置窖與外部力量的緩衝區域，故具有緩衝材配置的 B/C 類廢棄物處置窖應力普遍較 A 類廢棄物處置窖低。

經本報告分析結果，雖僅少數情境下處置窖局部混凝土所受張應力有機會超出材料抗張強度，但考量混凝土仍有產生局部裂縫、形成局部核種快速通道的可能性，故仍建議除了考量使用期間裂縫可能發生位置適量配置鋼筋，降低裂縫產生的機會與數量外，未來應擬定裂縫發生時適當的修補工法與修補時機，降低核種快速通道發生的可能性。

參考文獻

1. 原子能委員會，2012，低放射性廢棄物最終處置及其設施安全管理規則，p.1~p.3。
2. 台灣電力公司，2017，處置設計與工程技術技術支援報告，p.15~p.28、p.31。
3. 原子能委員會，2017，核一廠除役計畫，p.10-18、p.10-22。
4. 原子能委員會，2010，放射性物質安全運送規則，p.8。

本頁空白。

第5章 低放射性廢棄物處置設施之監管研究

為了確認處置設施安全功能是否發揮預期的效果，以及避免因人類活動行為而破壞處置系統安定性，因此處置設施將透過監管作業來達成此目標。監管作業可區分為主動監管與被動監管，主動監管為透過人為主動的方式管理處置設施，例如監測、巡查與維護作業，而被動監管則是經由設施圍籬、知識傳承與限制土地使用條件等，間接對處置設施進行管理的作為。然而，監管作業需考量處置型式與場址特性進行規劃，因此，本章將以 2 處建議候選場址現階段場址特性調查成果與坑道式處置概念，規劃處置設施監管作業，並以地質調查鑽探入侵情節評估鑽探人員受曝露之輻射劑量，進而提出建議之主動監管期限。

5.1 國際監管案例

5.1.1 國際原子能總署

國際原子能總署(International Atomic Energy Agency, IAEA)對於監管(institutional control)的定義為「依據國家法律指定之政府單位或機構對放射性廢棄物場址進行監控，監控方式可以為主動式，例如監測、監控與補救工作，或者為被動式，例如限制土地使用，並可能為設施設計的一項因子」(IAEA, 2007, p.42)。監管最重要的時期為封閉後之監管，透過監管措施確認處置設施封閉系統之功能，藉以提高對於封閉系統之信心，進而達成以下目標(IAEA, 2001, p.4~p.6)：(1)防止處置設施遭受入侵、(2)防止放射性廢棄物遭到移出或者受到干擾、(3)透過監控確認處置設施之功能、(4)如有必要，將執行補救措施。

IAEA「放射性廢棄物處置安全要求」(IAEA, 2011, p.7)說明處置設施封閉後，處置設施安全將由場址與設施之固有被動安全特徵、廢棄物包件特性，以及監管措施共同達成，而透過監測與

監控執行監管作業，可以防止處置設施發生入侵事件、確認處置系統發揮預期功能，以及增加社會大眾信心。在主動監管期間，須滿足必要的科技、法律與經濟要求。

IAEA「放射性廢棄物處置安全論證與安全評估之安全指引」(IAEA, 2012, p.8)認為處置設施封閉後需執行一段期間的監管，以確認處置設施之安全，而監管方法可能為主動監管或被動監管，主動監管措施例如監測環境中之放射性核種濃度，或是監測障壁的完整性。其他監管措施為被動監管，例如確保處置設施紀錄被保存下來與限制土地使用條件等。

針對主動監管與被動監管措施，IAEA 在「放射性廢棄物處置之人類無意入侵」(IAEA, 2017, p.38, p.58~p.62)報告中有更明確的說明：

一、封閉後的主動監管階段

此階段是從設施開始長期封閉，並進行場址主動監管之時間為起始，主動監管期間，處置場周圍會架設圍籬並且進行巡查，或者是對於進出處置場進行管控，並對處置設施進行監測，若處置設施出現損害將進行補救。此外，主動監管期間內將進行知識保存作業，強化民眾對於處置場之記憶，其方法如下：

- (一)在不同單位層級保存處置場相關資訊，例如公立學校系統、國家地質學會，以及負責規劃處置場之政府部門，達到分層保存與備份；
- (二)監測處置設施與環境，並將監測結果發行例行性報告；
- (三)建立可靠的資訊與管理系統；
- (四)定期更新安全論證報告，使安全論證報告為「活的文件(living document)」，進而達到記憶保存與維持設施經營者與管制單位之專業知識；
- (五)增加處置場的存在感，例如舉辦社區與學校導覽、學術研究合作，或是定期舉辦活動。

然而對於主動監管期，有觀點認為「不對後代子孫造成不必要的負擔」，這意味著處置設施的長期安全不應依賴人類行為，例如延長主動監管期。

二、封閉後的被動監管階段

當主動監管結束後，處置場將進入被動監管階段，被動監管可維持之時間與處置場知識保存息息相關，只要民眾對於此處為放射性廢棄物處置場具有記憶，理解當處置場遭受入侵或破壞時將可能導致潛在危害，如此就可避免民眾入侵或破壞處置場的行為，使被動監管得以持續。

被動監管階段將執行場址紀錄與管制作為，例如產權限制或是鑽探與開挖許可要求等，此外在處置場放置標誌亦有助於提供被動監管之效用。被動措施考量如下：

(一) 土地使用限制

土地使用限制為限制處置場與周邊之活動，可透過法律限制處置場與鄰近地區之土地開發使用，或者是將場址列為禁區，這些限制可有效預防開挖或礦產探勘等工程，因為這類工程一般需獲得政府批准，而土地使用限制也有助於留存民眾對處置場的記憶。

(二) 檔案與文件保存

保存檔案紀錄的目的在提供後代子孫關於處置場之位置、內容物與處置設施遭到破壞後可能產生的危害，將處置場檔案保存於當地、地區、國家與國際上是很好的做法，除了保存檔案，同時須確保檔案在未來社會之存取性、可用性與可理解性。

(三) 標誌與紀念碑

地表和地表下的警示標誌可用於警告未來社會此處具有處置設施，當處置設施遭受破壞後可能會產生的相關潛在危害，而標誌應要淺顯易懂，可藉由符號取代文字(如圖 5.1-1)，避免發生語言問題。紀念碑也是一項可考量的標誌，紀念碑的樣式可參考

用於世界上各處置場址的紀念碑，並採用與其相同之設計，倘若一個國家喪失了紀念碑記憶，其他國家仍可能記得紀念碑代表意義。因此可藉由廣泛已知之標誌或處置場紀念碑，達成知識長期保存之效。

(四)其他知識保存措施

其他保存民眾對處置場記憶的方式，例如利用教育、建立訪客中心或設立處置場封閉紀念日等。

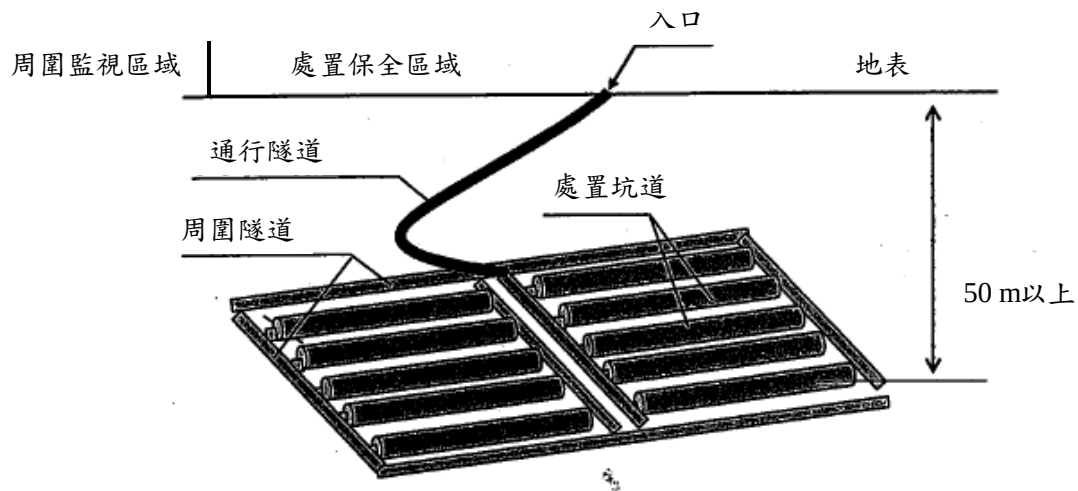


資料來源：IAEA(2017, p.61)

圖 5.1-1 警示標誌範例圖

5.1.2 日本中深度處置監管規劃

日本原子力學會針對中深度處置(餘裕深度處置)、近地表處置設施與近地表壕溝式處置這 3 種不同處置型式之監管方式進行說明，探討處置設施不同階段應管理之目的與項目。台灣現階段低放射性廢棄物處置之概念設計為地表下坑道式處置，其處置概念與日本中深度處置(圖 5.1-2)相近，故以下將介紹日本中深度處置於不同階段之監管(日本原子力学会，2010，p.97~p.115)。



資料來源：修改自日本原子力学会(2010, p.28)

圖 5.1-2 日本中深度處置設計概念圖

一、中深度處置興建與運轉階段之監管

中深度處置於興建與運轉階段之監管，主要為確保輻射屏蔽與密閉性這二項基本安全功能，輻射屏蔽監管方式為監控處置場周圍環境之輻射劑量，而密閉性則是透過監控處置場區與周邊環境之地下水放射性核種濃度，藉以評估處置設施之密閉完整性，因為一旦處置設施密閉性遭受損壞，將可能導致地下水中之放射性核種濃度提高，表 5.1-1 為此階段之監管項目。

表 5.1-1 中深度處置基本安全功能監管項目(興建與運轉階段)

基本安全功能	監管措施目的	技術要件與措施	監管項目
輻射屏蔽	周圍監視區域之輻射劑量不得超過限值	監控周圍監視區域之輻射劑量不得超過限值	周圍監視區域之直接輻射監測
密閉性	維持處置場之密閉功能	監控處置場是否有放射性核種釋出	坑道內湧水與排水系統中之放射性核種濃度測定
	周圍監視區域之放射性核種濃度不得超過限值	監控周圍監視區域之核種濃度不得超過限值	周圍地下水中之放射性核種濃度測定

二、中深度處置封閉後階段之監管

中深度處置於封閉後階段之監管，主要為確認抑制放射性核種遷移之基本安全功能，監管措施之目的為維持抑制遷移的功能，以及周圍監視區域之核種濃度不得超過限值，其監管措施主要為量測水中放射性核種濃度，進而判斷處置設施是否仍維持抑制核種遷移之功能，以及是否發生放射性核種遷移至自然環境之現象，監測範圍包含處置設施附近地下水與周圍監視區域地下水，表 5.1-2 為封閉後階段之監管項目。

表 5.1-2 中深度處置基本安全功能監管項目(封閉後階段)

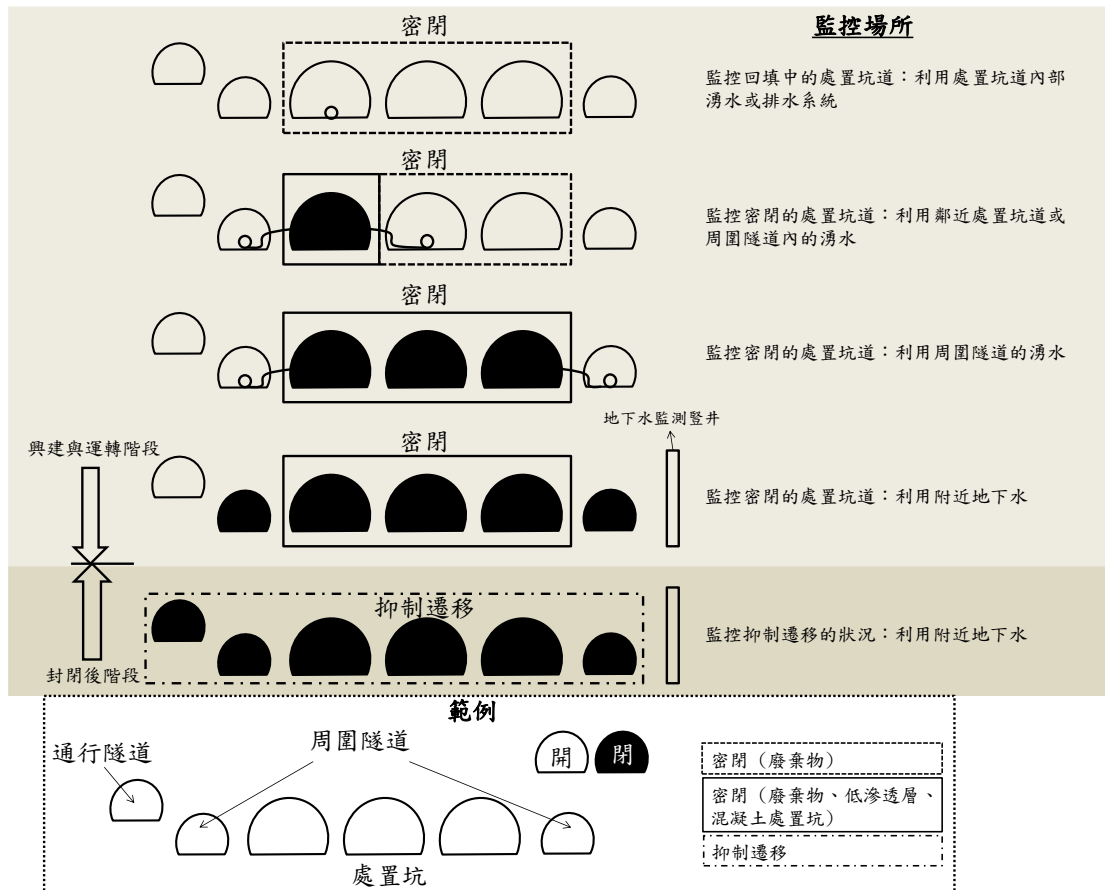
基本安全功能	監管措施目的	技術要件與措施	監管項目
抑制遷移	抑制遷移的功能狀況	監視處置場是否有放射性核種釋出	處置設施附近地下水中之放射性核種濃度測定
		監視放射性核種是否有遷移至環境	周圍地下水中之放射性核種濃度測定
	周圍監視區域之放射性核種濃度不得超過限值	監控周圍監視區域之放射性核種濃度不得超過限值	周圍地下水中之放射性核種濃度測定

三、處置坑道區之密閉性監測

對於處置坑道區之密閉性監測，在興建與運轉階段是監測處置坑道內之湧水或地下水監測井之水樣，當處置坑道完全封閉進入封閉後階段，則為監測周圍地下水監測井之水樣，其概念如圖 5.1-3 所示。而對於周圍監視區域之監控股量方法如表 5.1-3。

(一) 監控回填中的處置坑道

若此階段工程障壁因地下水滲透而發生核種釋出時，考量釋出的核種將溶入內部排水中，故針對處置坑道內部湧水或排水系統取水樣監測。



資料來源：修改自日本原子力学会(2010, p.115)

圖 5.1-3 湧水與地下水之監控場所案例

(二) 監控封閉的處置坑道

透過鄰近尚未封閉之處置坑道與周圍隧道之湧水進行監測，確認封閉之處置坑道無發生核種外釋現象。

(三) 監控封閉的處置坑道(已封閉全部處置坑道)

當處置坑道全部封閉後，將監測周圍隧道之湧水，確認封閉之處置坑道無發生核種外釋現象。

(四) 監控封閉的處置坑道(已封閉全部處置坑道與周圍隧道)

此階段將透過監測附近地下水，監控處置坑道與周圍隧道之回填功效，確認無發生核種外釋現象。

(五) 監控封閉的處置坑道(已封閉全部處置坑道、周圍隧道與通行隧道)

封閉後監管階段對於廢棄物處置場之監控，主要為監測附近地下水中之核種濃度，進而確認處置設施抑制放射性核種遷移之安全功能，以及是否發生核種遷移至生活環境的現象。

表 5.1-3 周圍監視區域之監考量方法

監管對象	周圍地下水中之放射性核種濃度	體外輻射曝露劑量	設施排氣與排水中所含的放射性核種濃度	降雨	地下水位
監管場所	周圍監視區域	周圍監視區域	排氣口、排水口	處置場範圍	處置場範圍
	以廢棄物處置場為中心，在周圍監視區域之八個方位設置取樣點，可考量地下水流場修正取樣點數量	以廢棄物處置場為中心，在周圍監視區域之八個方位設置取樣點，並以一般民眾之居住所作為考量（若連接海洋等非居住區域時，可減少取樣點數量）	處置設施之排氣口與排水口設置取樣點，監控處置設施排放之氣體與液體廢棄物	於處置場範圍內設置一量測點，測量降雨量	為了監控處置場之地下水位變動，將在處置場地下水上游和下游位置，以及與劑量評估有相關之地下水位位置，設置取樣點
監控頻率	1 回/月	1 回/月 (處置場尚未完全被土砂覆蓋前為 1 回/週)	連續監測	每月累積降雨量 (1 回/月)	1 回/月
監測項目	放射性核種濃度	輻射劑量	放射性核種濃度	累積降雨量	地下水水位

資料來源：日本原子力学会(2010，p.133)

5.1.3 美國 WIPP 監管規劃

美國主動監管與被動監管在 10 CFR 191.12 有明確的定義，主動監管為「透過任何非被動監管的方式，管控處置場之進出、執行維護或補救措施、管控或清理來自處置場的外釋，以及監測處置系統性能相關之參數」，而被動監管為「在處置場放置永久性標誌、公眾紀錄與檔案、政府擁有所有權，且對土地資源使用進行規範，以及其他保存關於處置場位置、設計與內容物等知識的方法」。由此可知，主動監管是藉由專門管理機構執行管理，以維護、監控處置設施與環境，並防止人類入侵至處置設施；被動監管則是透過警告標誌或知識傳承，使後代擁有處置場相關之資訊與知識，如此他們將不會入侵至處置設施或擾動處置系統。

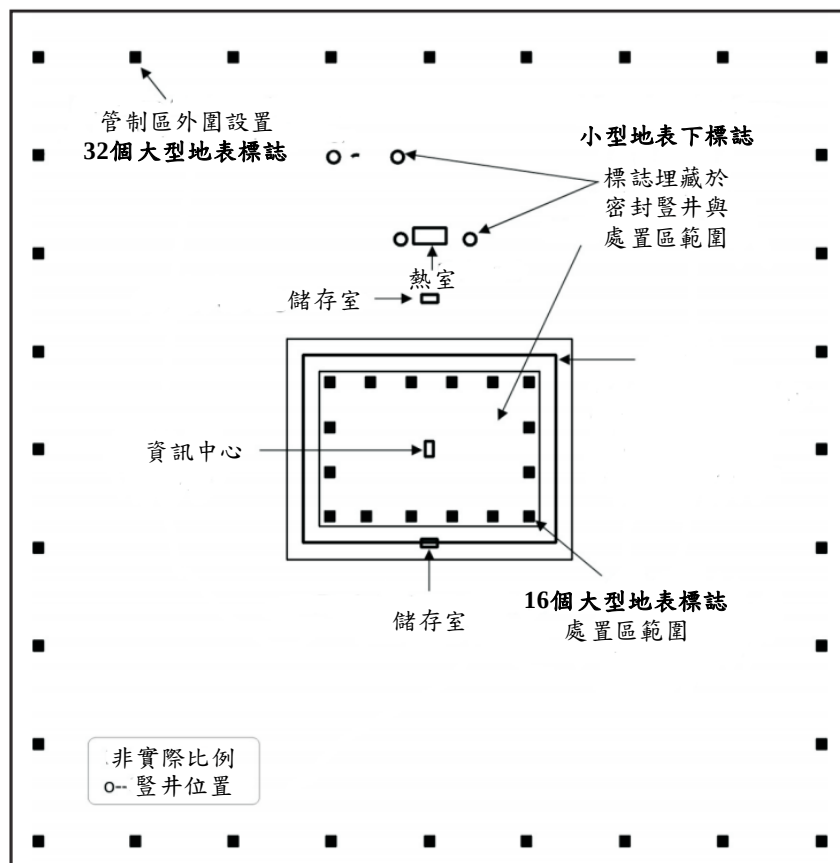
美國 WIPP 對於封閉後之主動監管措施，主要是處置場進出管制、處置場維護與處置場監控，其作法如下(DOE, 2012a, p.4~p.7)：

- 一、設立圍籬線，在地表處管制人員進入處置場範圍。
- 二、於圍籬外設置未鋪砌的道路(unpaved roadways)，作為處置設施檢視與維護圍籬，以及觀察處置場界狀況。
- 三、圍籬上設置警示標誌，告知民眾此處為放射性廢棄物處置場，隨意入侵可能具有輻射危險性，因此未經授權不得進入。
- 四、例行性檢查與維護圍籬、警示標誌與道路，檢查與巡視人員需經過專業的訓練。
- 五、執行例行性的長期監測，例如監測地下水。

WIPP 的被動式監管措施，主要為提醒人類此處掩埋放射性廢棄物具有危險性請勿入侵，以及保存處置場相關資訊，被動式監管範圍與措施規劃如圖 5.1-4，其作為如下(DOE, 2012b, p.15~p.22)：

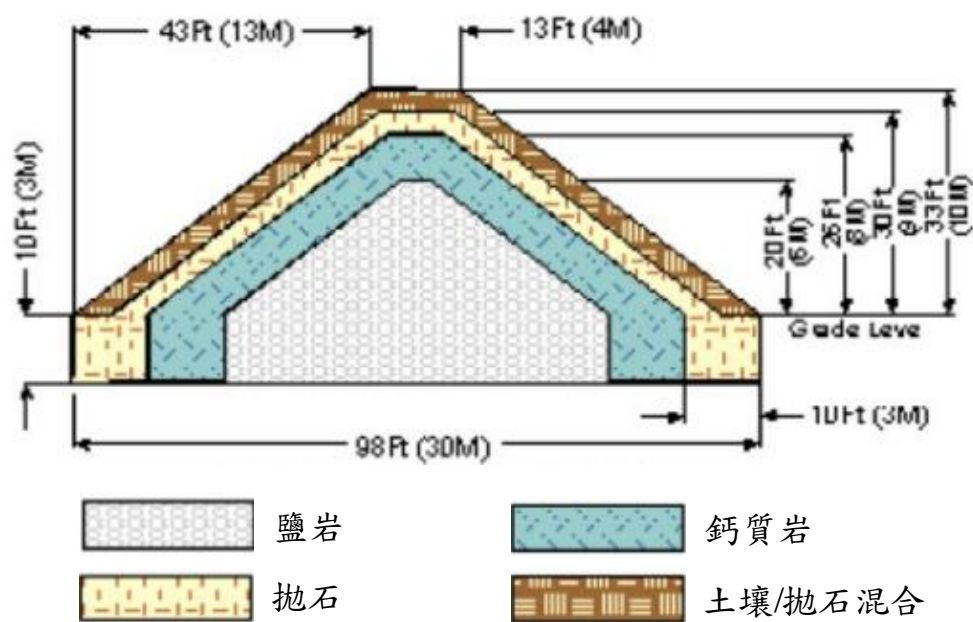
- 一、在處置場邊界與處置區範圍上方設立標誌或紀念碑，留下處置場相關訊息；

- 二、處置區範圍與垂直密封豎井內布置地表下標誌，用於提醒入侵者此處具有放射性廢棄物，請勿挖掘或鑽探；
- 三、處置區上方地表處設置土墩(earthen berm)(圖 5.1-5)，土墩內埋永久性磁鐵材料或雷達可探測體，以利偵測處置設施位置與分布區域；
- 四、處置區中心上方地表處設置資訊中心(information center)(圖 5.1-6)，資訊中心由花崗岩牆組成，牆上刻有文字、圖片等處置場相關訊息，作為資訊保留；
- 五、處置場設有 2 座儲存室(storage room)，內部保留的資訊與資訊中心相同，其中 1 座由土墩覆蓋掩埋，另 1 座則位於地表下 20 feet 處。



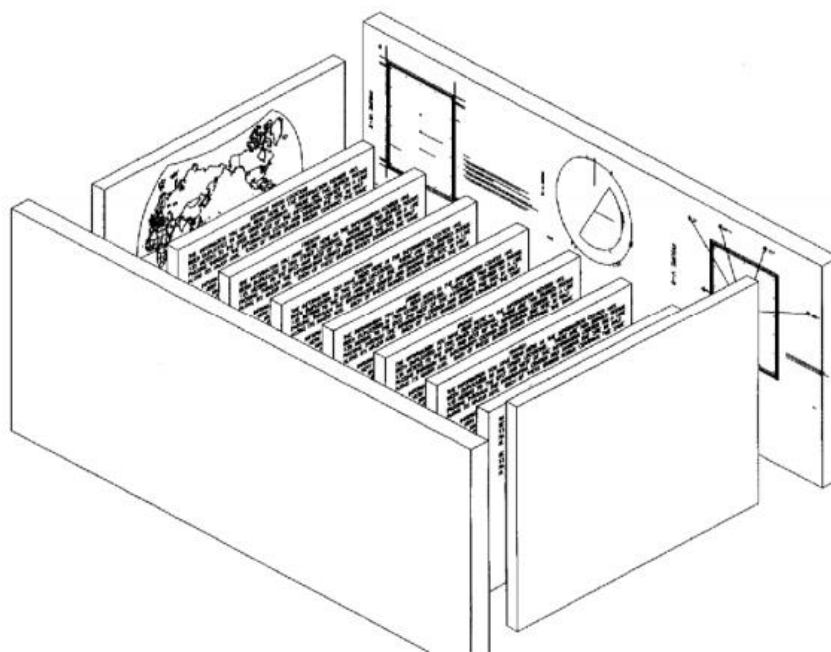
資料來源：修改自 DOE(2007, p.1)

圖 5.1-4 WIPP 長久性標誌設計概念



資料來源：修改自 DOE(2012b, p.18)

圖 5.1-5 WIPP 土墩示意圖



資料來源：DOE(2012b, p.19)

圖 5.1-6 WIPP 資訊中心示意圖

5.1.4 國際監管案例彙整

綜觀 IAEA、日本中深度處置以及美國 WIPP 對於放射性廢棄物處置場之監管，其監管的核心功能與目的可分為 2 項：防止或降低人類無意入侵，以及確認處置系統安全功能。

一、防止或降低人類無意入侵

放射性廢棄物處置場一般採用自然環境與工程設施組合成多重障壁系統，作為確保放射性廢棄物處置安全之手段。透過多重障壁系統達成圍阻放射性核種外釋與遲滯放射性核種遷移，盡可能延長放射性核種傳輸至生物圈之時間，並利用放射性核種自然衰變特性，使放射性核種進入人類生活圈時已衰變至無害程度，達到長期安全處置之目標。然而，在這數百年至數千年的時間尺度間，倘若發生人類入侵事件，將可能造成處置設施安全系統遭受破壞，使處置設施無法發揮預期之安全功能，更甚者，將導致放射性廢棄物被快速帶入生物圈而造成潛在危害。

為了防止發生人類無意入侵，或降低人類入侵發生的可能性，處置場將規劃主動監管與被動監管措施來達成此目標。主動監管是藉由人為的管理方式執行，例如管控處置場人員進出、巡視處置場邊界之圍籬或標誌完整性，若有損壞將進行維護，以及巡視場址內是否有遭受入侵之跡象等，透過人為管理可確保主動監管期間將不會發生人類入侵事件。然而，主動監管雖然可排除人類入侵，確保處置設施安全系統不會遭受擾動與破壞，但 IAEA 認為主動監管不應對後代子孫造成不必要的負擔 (IAEA, 2017, p.58)，而美國核管會亦認為主動監管可信任的期間最多為 100 年 (NRC, 2015, p.4-37)，因此並非透過無止盡的延長主動監管期限來確保處置設施安全。

被動監管是藉由延長人類對於處置設施之知識與記憶，進而降低人類無意入侵的可能性，例如在處置場設立警告標誌與紀念碑、處置場相關文件保存、在處置場封閉回填的過程中埋藏警告

標誌或處置場相關資訊、透過教育的方式傳承處置場知識，或者經由政府公權力限制土地使用條件等，這些被動式監管作業可使人類持續保有入侵或破壞處置設施會導致危害之知識，降低人類無意入侵的可能性，倘若發生入侵事件，則可能發現掩埋之警告標誌，進而停止入侵，避免造成進一步之輻射災害。

二、確認處置系統安全功能

為確認處置設施如預期發揮圍阻與遲滯功能，以及確認環境中無輻射之危害，採用監測地下水中放射性核種濃度，與監測環境中直接輻射曝露等主動監管措施來達成此目的，其中又以地下水監測格外重要。地下水監測可反應處置設施障壁系統的完整性與抑制核種遷移的功能，而處置設施不同階段著重之地下水取樣點亦有些許差異，以日本中深度處置為例，在處置坑道尚未封閉前，地下水取樣以坑道內湧水或排水系統為主；處置坑道封閉期間，將取樣周邊坑道內湧水或排水系統；而當處置坑道完全封閉後，則改由監測井或周圍環境之地下水進行取樣，也就是由近至遠的方式規劃地下水取樣，因為核種外釋與遷移通常需要一定的時間，因此距離處置坑道越近的地下水取樣點越能提早反應處置安全功能的完整性，而周圍環境之地下水監測則是告知民眾無放射性核種外釋至生活環境。

透過地下水中放射性核種濃度與環境直接輻射曝露監測，除了可確認處置系統安全功能外，亦可強化社會對於廢棄物處置安全之信心。

5.2 低放射性廢棄物處置設施監管規劃

5.2.1 建議候選場址特性概述

一、台東縣達仁鄉建議候選場址介紹

台東縣達仁鄉建議候選場址位於中央山脈南段延伸，東臨太平洋，北、西、南緣以河流或山脈稜線為界，場址計畫區南北兩側主要以塔瓦溪與達仁溪為界，東西側則以太平洋與山脈稜線為界，地勢由東往西逐漸升高，高程最高至 200 m，場址地形坡度約為 1:0.3~1:0.8。主要水系為一無名溪，平常時無流量，而場址北方為達仁溪，南方則為塔瓦溪。場址目前規劃之對外主要交通為單一專用道路連至接收港，無其他通行方式，而接收港則可連接至台 26 線，場址周邊環境如圖 5.2-1 所示。依據場址特性調查之成果進行地下水流場模擬與分析，其模擬結果如圖 5.2-2(台電公司，2017a，p.59)，模擬結果顯示，處置區之地下水流主要往北側達仁溪、南側塔瓦溪，以及太平洋的方向流動。

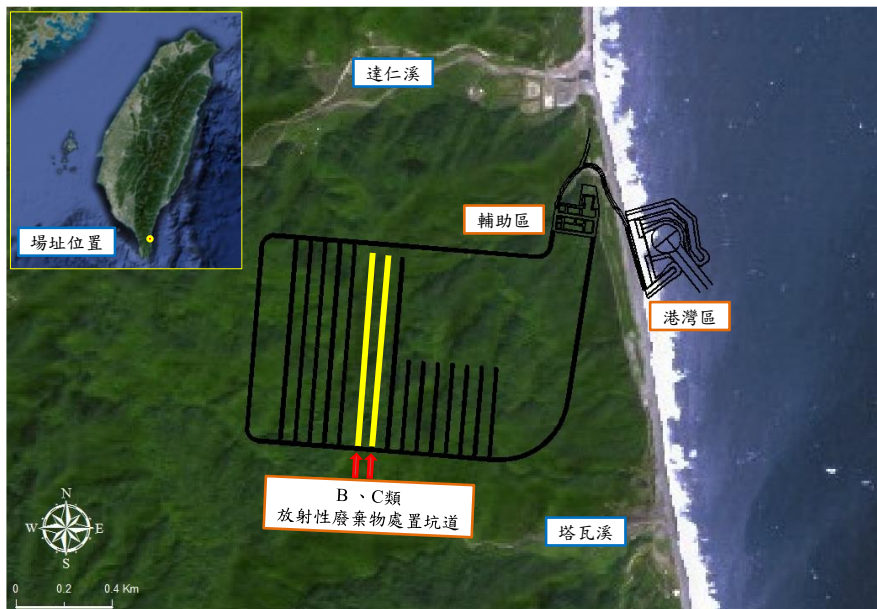
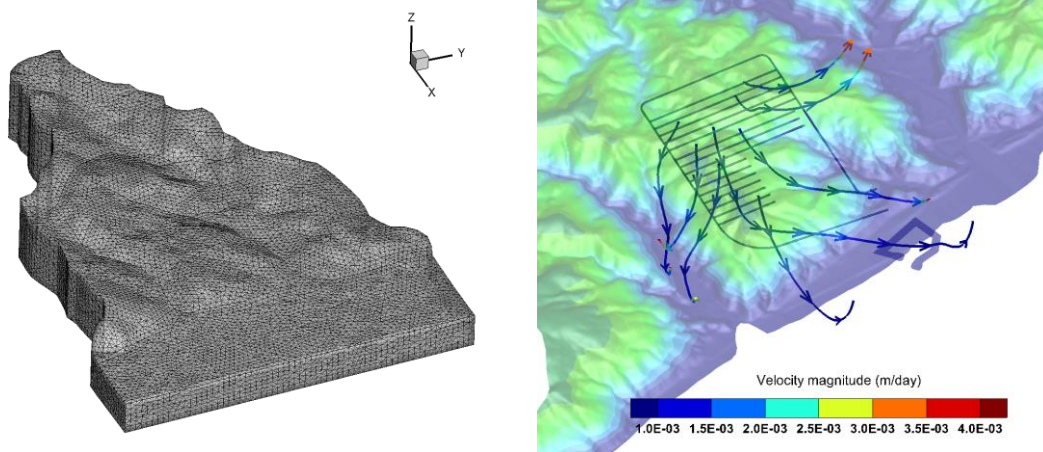


圖 5.2-1 台東縣達仁鄉建議候選場址周邊環境



(左)模型網格，(右)地下水流場分布圖

資料來源：台電公司(2017a, p.59)

圖 5.2-2 台東縣達仁鄉建議候選場址模型與地下水流場模擬圖

二、金門縣烏坵鄉建議候選場址介紹

金門縣烏坵鄉建議候選場址位於小坵島，小坵島位於台灣海峽北段緊臨大陸東南沿海，小坵島對外交通僅可透過海上船運，而此區屬軍事管制區，除軍人及當地居民外，一般人均須事先提出申請並獲許可方能前往。小坵島上交通以水泥建造而成的步道為主，規劃以專用道路方式進入處置場，場址周邊環境如圖 5.2-3 所示。

依據場址特性調查之成果進行地下水流場模擬與分析，其模擬結果如圖 5.2-4(台電公司，2017a, p.79)，模擬結果顯示，處置區之地下水流受鹽水分布變化的影響，地下水流向於靠近島嶼的區域受海淡水交界面影響而改變流向。由於金門縣烏坵鄉建議候選場址處置設施將位於海床下，因此設施附近之地下水流速相當緩慢，水流方向為朝向小坵島。

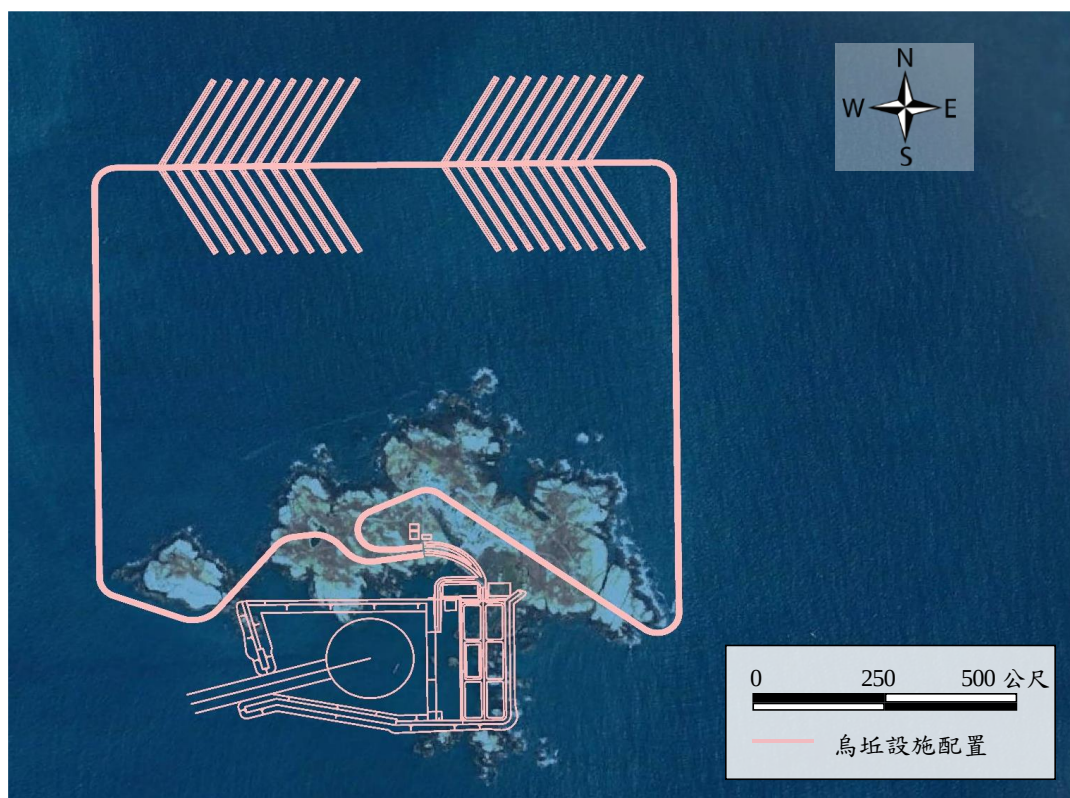
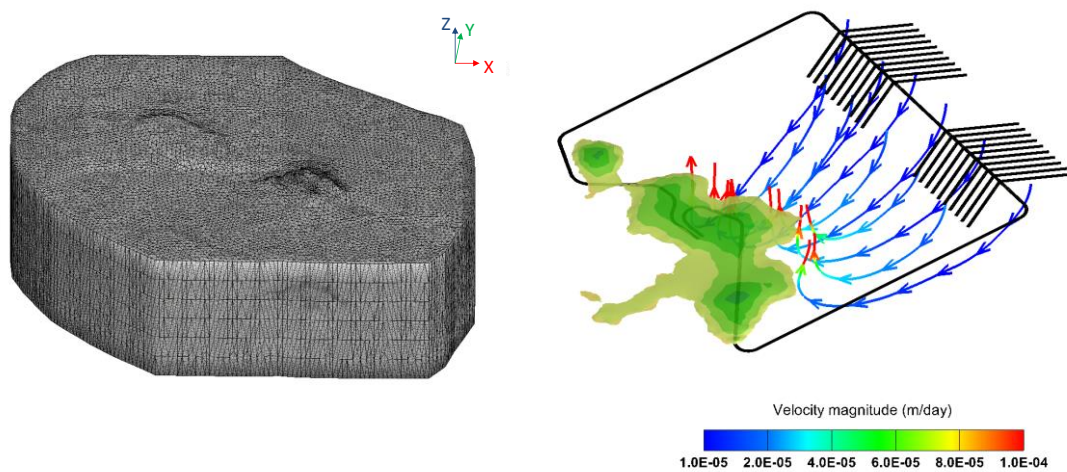


圖 5.2-3 金門縣烏坵鄉建議候選場址周邊環境



(左)模型網格，(右)地下水流場

資料來源：台電公司(2017a，p.78)

圖 5.2-4 金門縣烏坵鄉建議候選場址模型與地下水流場模擬圖

5.2.2 低放射性廢棄物處置設施概念設計

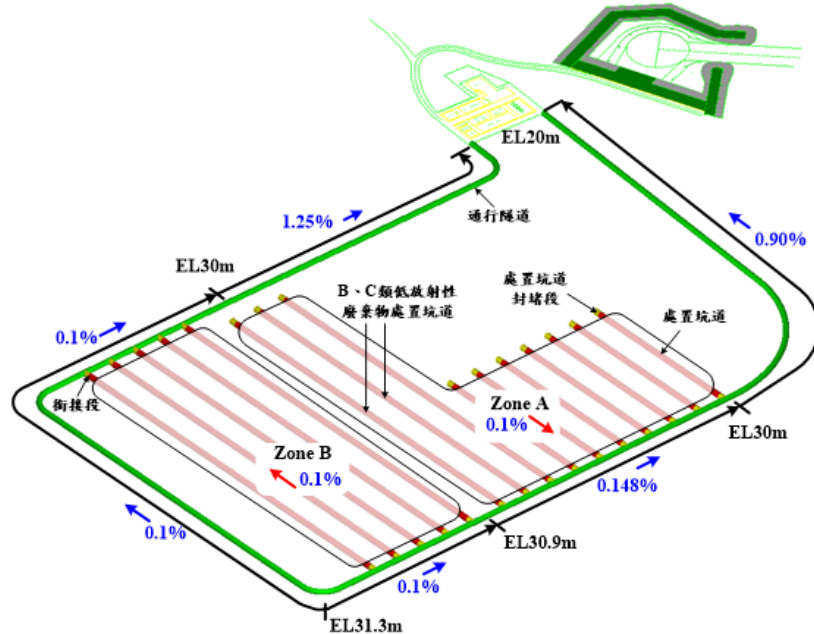
一、台東縣達仁鄉建議候選場址處置設施概念設計

考量台東縣達仁鄉建議候選場址之場址特性，包含可能產生的海嘯波浪高度亦納入考量，其處置設施空間配置參見圖 5.2-5。如圖所示，通行隧道的 2 個洞口起拱線高程皆為 EL20 m，其中 1 個洞口往處置區之通行隧道，先以坡度 0.9% 向上至 EL30 m 處，接著以坡度 0.148% 向上至 EL30.9 m，最後再以坡度 0.1% 向上至整個通行隧道起拱線最高處之 EL31.3 m。另一個洞口往處置區之通行隧道，先以坡度 1.25% 向上至 EL30 m 處，再以坡度 0.1% 向上至整個通行隧道起拱線最高處之 EL31.3 m。處置坑道之坡度為 0.1%，起拱線高程為 EL30 m 至 EL31.2 m，A 類低放射性廢棄物處置坑道岩覆深度大於 62.2 m；B、C 類低放射性廢棄物處置坑道岩覆深度大於 76.4 m。處置坑道總長度為 8,938 m，坑道間中心距離為 61 m，為 5 倍坑道寬度。整個處置系統之基本資料詳表 5.2-1。

表 5.2-1 台東縣達仁鄉建議候選場址處置設施之基本資料

設計項目	設計值
通行隧道進出口起拱線高程	EL20 m
通行隧道坡度	0.1%、0.148%、0.9%、1.25%
處置坑道起拱線高程	EL30 m 至 EL31.2 m
處置坑道坡度	0.1%
A 類低放射性廢棄物處置坑道上方岩覆	>62.2 m
B、C 類低放射性廢棄物處置坑道上方岩覆	>76.4 m
處置坑道間距	61 m
處置坑道總長度	8,938 m
處置坑道最大寬度	11.3 m(二次襯砌內緣起計)
處置坑道最大高度	11.1 m
處置坑道總數	15 條
長度 778 m 之處置坑道數	3 條
長度 828 m 之處置坑道數	5 條
長度 352 m 之處置坑道數	7 條
通行隧道總長度	4,268 m

設計項目	設計值
銜接段及處置坑道端部封堵段	450 m



備註：箭頭方向為重力排水方向

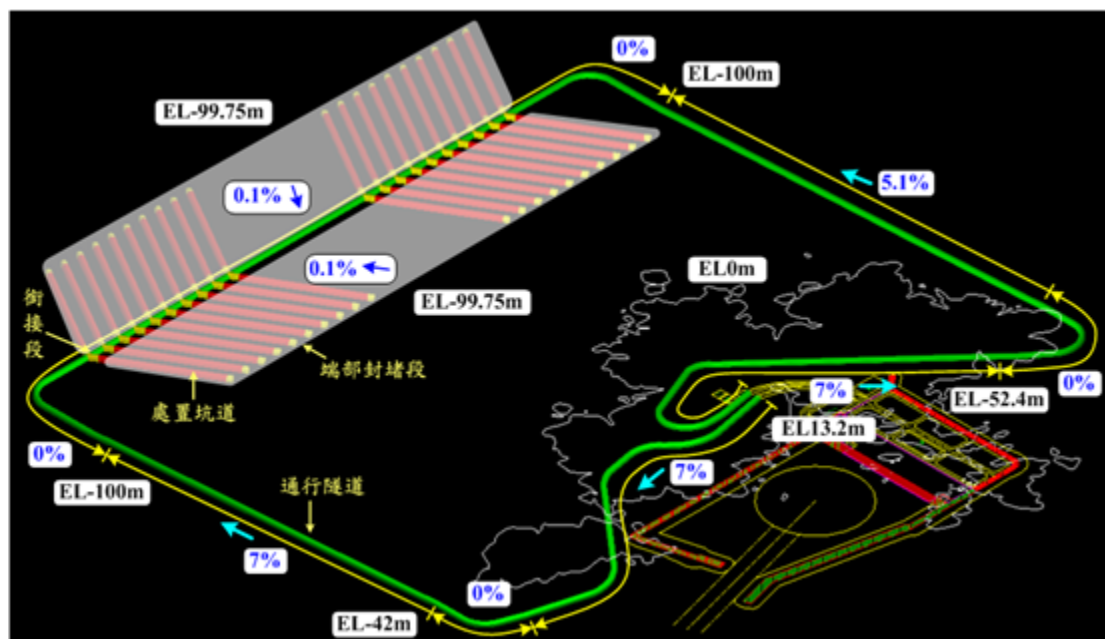
圖 5.2-5 台東縣達仁鄉建議候選場址處置設施空間配置與重力排水規劃示意圖

二、金門縣烏坵鄉建議候選場址處置設施概念設計

考量金門縣烏坵鄉建議候選場址之場址特性，包含可能產生的海嘯波浪高度亦納入考量，其處置設施空間配置參見圖 5.2-6。如圖所示，2 個通行隧道洞口的頂拱圓心高程皆為 EL13.2 m，其中一個洞口往處置區之通行隧道，將以坡度 7% 向下，直至 EL-100 m 處，爾後之通行隧道坡度保持水平，即坡度為 0，另一個洞口往處置區之通行隧道，將先以坡度 7% 向下至 EL-52.4 m 處，再以坡度 5.1% 向下至 EL-100 m 處。處置坑道之坡度為 0.1%，其頂拱圓心高程為 EL-99.7 m 至 EL-100 m，其上方岩覆為 58.8 m 至 59.0 m。處置坑道總長度為 8,800 m，坑道間中心距離為 31.7 m，約為 3 倍坑道寬度。整個處置系統之基本資料詳表 5.2-2。

表 5.2-2 金門縣烏坵鄉建議候選場址處置設施之基本資料

設計項目	設計值
通行隧道進出口頂拱圓心高程	EL13.2 m
通行隧道坡度	0、5.1%、7%
處置坑道頂拱圓心高程	EL-99.7 m 至 EL-100 m
處置坑道坡度	0.1%
處置坑道上方岩覆	58.8 m 至 59.0 m
處置坑道間距	31.7 m
處置坑道總長度	8,800 m
處置坑道最大寬度	10.7m(襯砌內緣起計)
處置坑道最大高度	10.3m
處置坑道(220 m)總數	40 條
通行隧道總長度	5,432 m
銜接段及處置坑道端部封堵段	1,200 m



備註：箭頭方向為重力排水方向。

圖 5.2-6 金門縣烏坵鄉建議候選場址處置設施空間配置與重力排水規劃示意圖

5.2.3 建議候選場址之主動監管初步規劃

一、台東縣達仁鄉建議候選場址

依台東縣達仁鄉建議候選場址之場址特性與處置設施概念設計成果，觀察處置場周邊地形高程(圖 5.2-7)，處置場輔助區與無名溪間之地形落差小，坡度較為和緩，民眾有可能經由攀爬的方式進入處置場；處置場西側緊鄰山脈，而處置場南側與塔瓦溪間之地形坡度較為陡峻，因此研判處置場西側與南側較無受到入侵的可能性。此外，處置設施為單一專用出入口且處置區位在山丘中，進入處置設施之通行隧道入口起拱線高程為 EL20 m，且派有專員管制進出，因此正常情況下無遭受入侵的可能性。

為防止民眾經由無名溪處攀爬而入侵處置場，將在輔助區外圍與處置場靠無名溪側架設圍籬，並於固定距離在圍籬上設置警告標誌，標誌上將說明此處為低放射性廢棄物處置場，未經授權請勿進入等警告事項，告知欲入侵者此處具有潛在危險性，不應再繼續入侵。處置場西側與南側山區與處置場邊界處，將在人員可移動處設置警告標誌或告示牌，提醒入侵者已不應再持續進入處置場範圍。而在處置場連接接收港的專用道路與前往台 26 縣道路交會處設置管制哨，作為進入處置場的第一段管制，避免民眾誤入處置場。同時，在圍籬周邊與管制哨將架設監視器，並於圍籬上設置紅外線感應裝置作為入侵警報系統，監視是否有人入侵處置場，圖 5.2-8 為圍籬與道路管制哨之初步規劃位置。

為確保圍籬、標誌與各項監視設備之完整性，將派員定期(如每月)巡視場界，目視檢查確認圍籬與標誌無遭受破壞或損毀、監視設備是否能正常運作，以及是否有遭受入侵之跡象，倘若發現圍籬、標誌或監測設備損壞，或是標誌上之字跡與圖示已有不清晰的情況，將進行補強維護或更換。

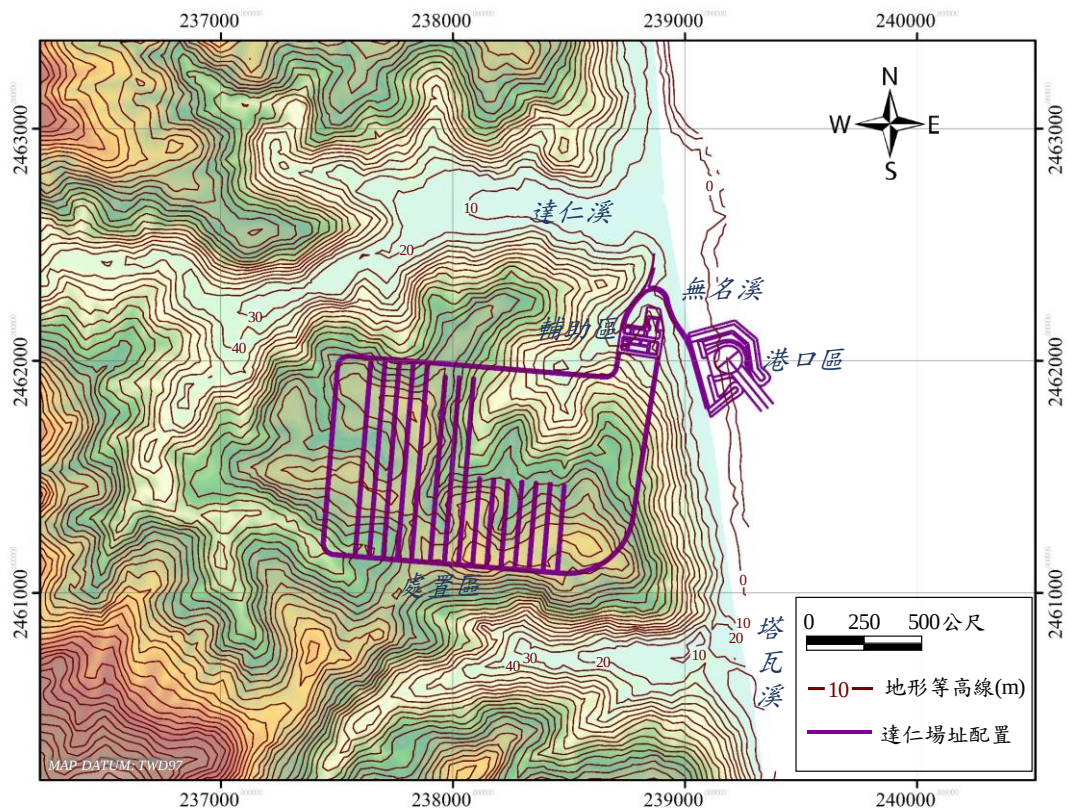


圖 5.2-7 台東縣達仁鄉建議候選場址之地形高程圖

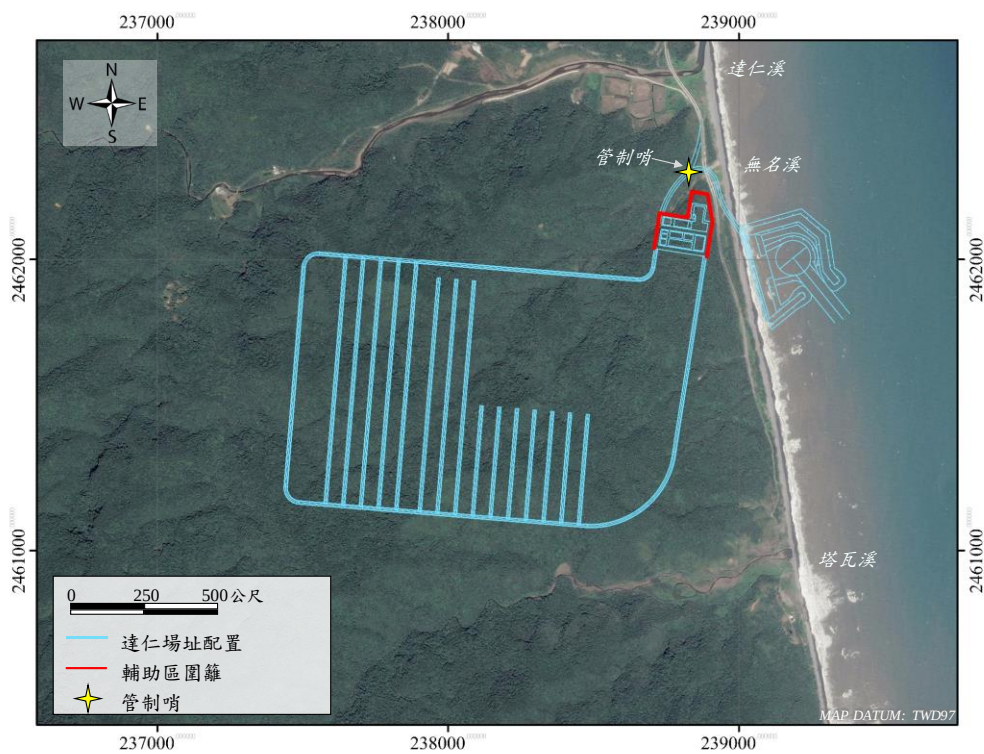


圖 5.2-8 台東縣達仁鄉建議候選場址之圍籬位置規劃

對於確認處置障壁系統之功能完整性，參考日本中深度處置之監管措施規劃，在處置坑道尚未全數封閉前，將在各未封閉之處置坑道排水廊道取水樣進行分析，確認封閉施工未對障壁功能產生負面影響；處置坑道封閉後，則取通行隧道之水樣進行分析；當通行隧道也完全封閉後，則針對場址內之調查監測井、達仁溪與塔瓦溪下游段，以及鄰近處置場的太平洋沿岸等區域取水樣分析，分析水樣中是否有異常之放射性核種出現，或是放射性核種濃度是否超過管制限值，確保處置障壁系統發揮預期功能，並達到圍阻放射性核種與遲滯放射性核種傳輸之效，確認無放射性核種外釋，環境取樣位置初步規劃如圖 5.2-9，說明如表 5.2-3。初步選擇達仁溪、塔瓦溪與鄰近處置場太平洋沿岸作為水樣取樣點係參考地下水流場模擬之成果，待未來有更進一步之場址調查成果，更新地下水流場模擬成果後，將再重新檢視水樣取樣位置之適宜性。

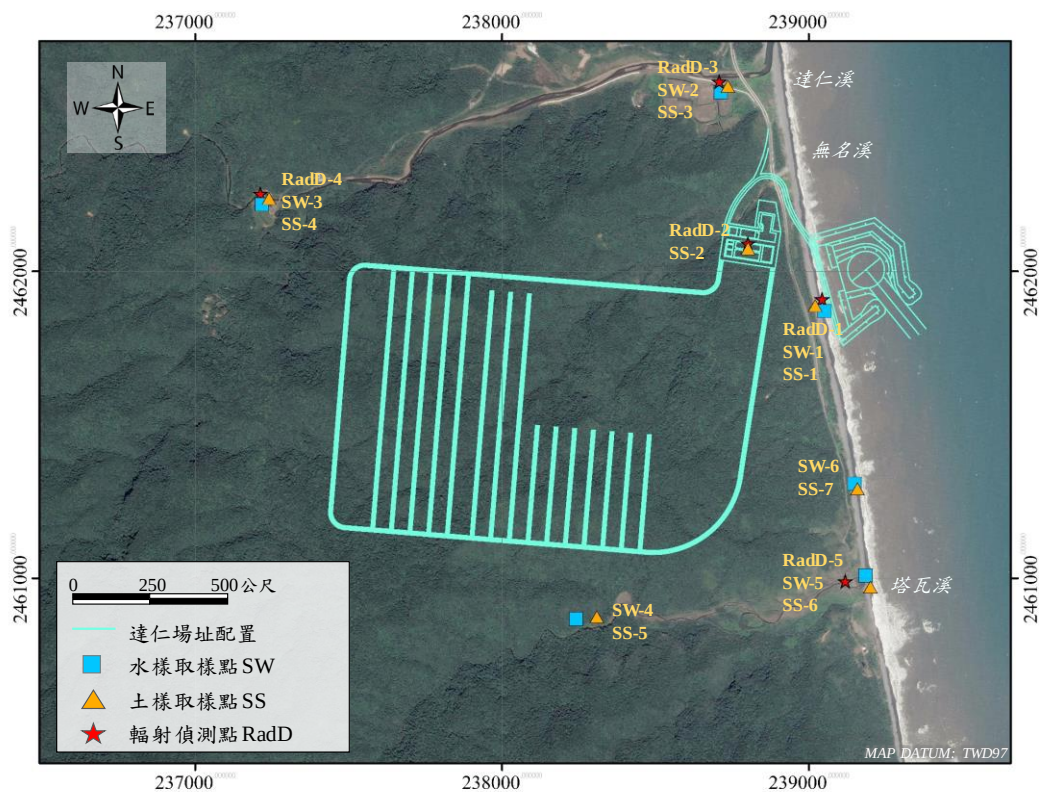


圖 5.2-9 台東縣達仁鄉建議候選場址之環境取樣偵測點規劃

表 5.2-3 台東縣達仁鄉建議候選場址之環境輻射監測設置點

輻射偵測點		
標號	位置概述	設置考量原因
RadD-1	處置場港口區	此處進行廢棄物接收作業，因此設置輻射監測站
RadD-2	處置場輔助區	此處進行廢棄物處置前作業，因此設置輻射監測站
RadD-3	達仁溪下游平坦區	考量此處地勢較為平坦且為達仁溪地下水流出海口處，因此設置輻射監測站
RadD-4	達仁溪下游前段處	考量地下水流場特性，因此設置輻射監測站
RadD-5	塔瓦溪下游平坦區	考量此處地勢較為平坦且為塔瓦溪地下水流出海口處，因此設置輻射監測站
土樣或岸沙取樣(SS)點與水樣取樣點(SW)		
標號	位置概述	設置考量原因
SS-1、SW-1	處置場港口區	考量地下水流場模擬結果，地下水其中一個主要流向為流往太平洋，因此在太平洋沿岸設置 2 個取樣點，1 個位在港口區，此區會進行廢棄物接收作業，另 1 個為港口區南側之岸邊
SS-7、SW-6	處置場東側太平洋岸邊	
SS-2	處置場輔助區	此處進行廢棄物處置前作業，因此設置取樣點，確認無環境污染
SS-3、SW-2	達仁溪下游平坦區	考量地下水流場模擬結果，地下水其中一個主要流向為流往達仁溪，因此在達仁溪初步設置 2 個取樣點，1 個為達仁溪下游靠近出海口處，另 1 個為達仁溪下游前段，地圖上顯示似有民眾居住之區域
SS-4、SW-3	達仁溪下游前段處	
SS-5、SW-4	塔瓦溪下游前段處	考量地下水流場模擬結果，地下水其中一個主要流向為流往塔瓦溪，因此在塔瓦溪初步設置 2 個取樣點，確認無環境污染
SS-6、SW-5	塔瓦溪下游平坦區	

為確認處置場對環境無產生輻射危害，將在處置場輔助區、周邊人口主要聚集處，以及河川下游平緩處設置輻射偵測站，透過高壓游離腔即時監測環境直接輻射劑量，以及熱發光劑量計計讀環境累積劑量，確保處置場周邊居民之輻射安全，偵測位置初步規劃如圖 5.2-9，說明如表 5.2-3。此外，將在處置場內設置降

雨量測系統，統計處置場之降雨特性，作為後續更新地下水流場模擬之用。

為了達成處置場知識共享與傳承，處置場將規劃定期公開輻射監測結果與處置場運轉成果，例如發布處置場運轉年報，使民眾得了解處置場運轉狀況。此外，可安排產學合作，使處置技術、知識與經驗得以傳承，進而增加民眾對處置設施之記憶。

二、金門縣烏坵鄉建議候選場址

依金門縣烏坵鄉建議候選場址之場址特性與處置設施概念設計成果，處置設施位於海床底下，上方有海床與海水覆蓋，處置設施為單一專用出入口設置於小坵島上，且派有專員管制進出，因此正常情況下無法由小坵島上或海上直接入侵處置設施。對於海上交通，小坵島現階段並無商用客船固定往來運輸，因此並不會有非小坵島居民至小坵島上。

為防止小坵島居民意外入侵處置場，將在處置場輔助區與港口區連接小坵島的外圍架設圍籬，並於固定距離在圍籬上設置標誌，標誌上將說明此處為低放射性廢棄物處置場，未經授權請勿進入等警告事項，告知欲入侵者此處具有潛在危險性，不應再繼續入侵。同時，在圍籬周邊將架設監視器，並於圍籬上設置紅外線感應裝置作為入侵警報系統，監視是否有人入侵處置場，圍籬初步規劃如圖 5.2-10。

為確保圍籬、標誌與監視設備之完整性，將派員定期(如每月)巡視小坵島，目視檢查確認圍籬與標誌無遭受破壞或損毀、監視設備是否能正常運作，以及是否有遭受入侵之跡象，倘若發現圍籬、標誌或監測設備損壞，或是標誌上之字跡與圖示已有不清晰的情況，將進行補強維護或更換。

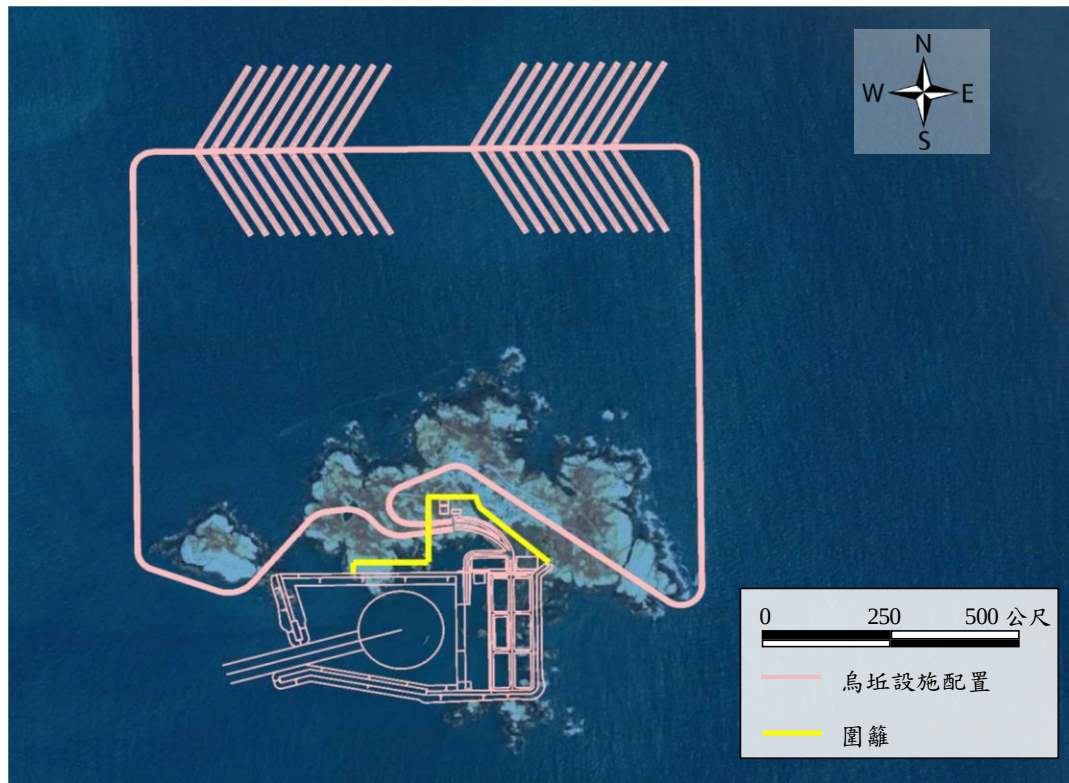


圖 5.2-10 金門縣烏坵鄉建議候選場址之圍籬位置規劃

對於確認處置障壁系統之功能完整性，參考日本中深度處置之監管措施規劃，在處置坑道尚未全數封閉前，將在各未封閉之處置坑道排水廊道取水樣進行分析；處置坑道封閉後，則取通行隧道之水樣進行分析，確認封閉施工未對障壁功能產生負面影響；當通行隧道亦完全封閉後，則針對小坵島上之調查井與島上台灣海峽沿岸等區域取水樣分析，分析水樣中是否有異常之放射性核種出現，或是放射性核種濃度是否超過管制限值，確保處置障壁系統發揮預期功能，並達到圍阻放射性核種與遲滯放射性核種傳輸之效，確認無放射性核種外釋，環境取樣位置初步規劃如圖 5.2-11，說明如表 5.2-4。初步選擇小坵島上台灣海峽沿岸作為水樣取樣點係參考地下水流場模擬之成果，待未來有更進一步之場址調查成果，更新地下水流場模擬成果後，將再重新檢視水樣取樣位置之適宜性。

為確認處置場對環境無產生輻射危害，將在處置場內與周邊人口主要聚集區設置輻射偵測站，透過高壓游離腔即時監測環境直接輻射劑量，以及熱發光劑量計計讀環境累積劑量，確保處置場周邊居民之輻射安全，偵測位置初步規劃如圖 5.2-11，說明如表 5.2-4。此外，將在處置場內設置降雨量測系統，統計處置場之降雨特性，作為後續更新地下水流場模擬之用。

為了達成處置場知識共享與傳承，處置場將規劃定期公開輻射監測結果與處置場運轉成果，例如發布處置場運轉年報，使民眾得了解處置場運轉狀況。此外，可安排產學合作，使處置技術、知識與經驗得以傳承，進而增加民眾對處置設施之記憶。

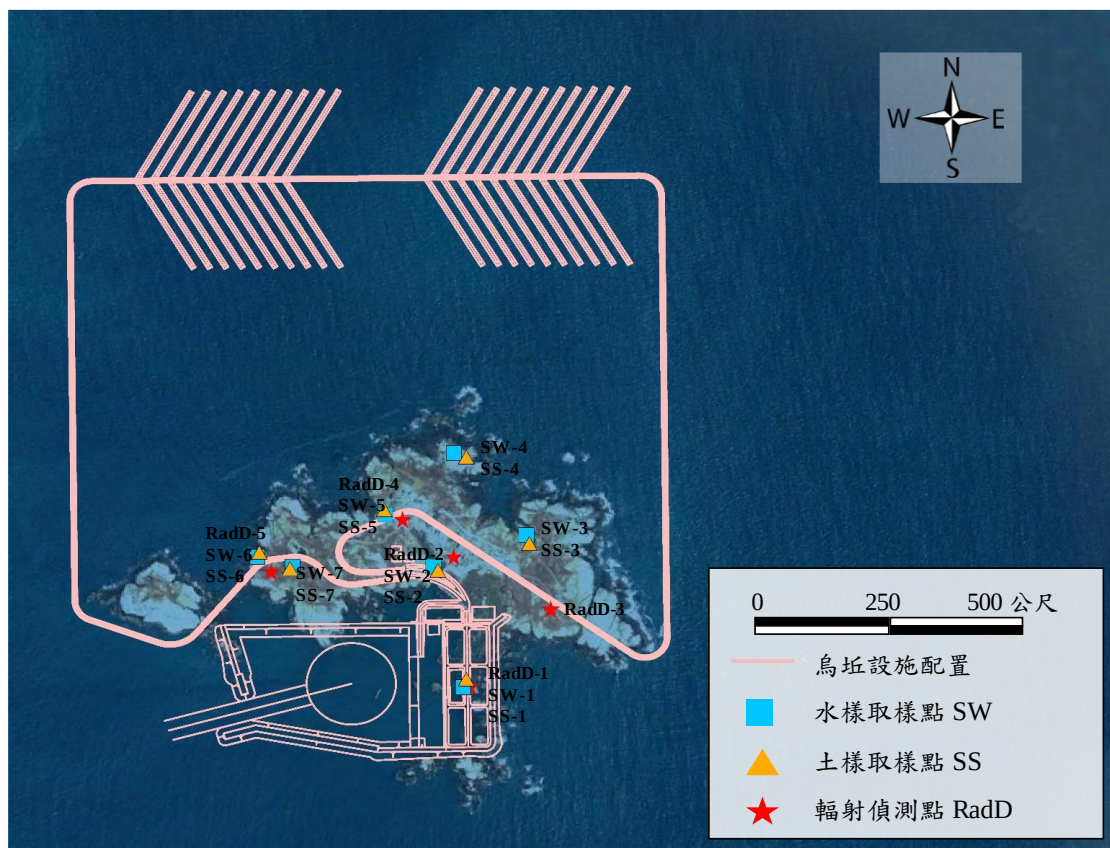


圖 5.2-11 金門縣烏坵鄉建議候選場址之環境取樣偵測點規劃

表 5.2-4 金門縣烏坵鄉建議候選場址之環境輻射監測設置點

輻射偵測點		
標號	位置概述	設置考量原因
RadD-1	處置場港口區與輔助區	此處進行廢棄物接收與處置前作業，因此設置輻射監測站
RadD-2	小坵島主要房屋區	此區為小坵島上主要房屋集中區，代居民生活主要位在此處，因此設置輻射監測站
RadD-3	小坵島東側房屋	此處有房屋，代表有居民居住在此處，因此設置輻射監測站
RadD-4	小坵島北側房屋	
RadD-5	小坵島西側房屋	
土樣或岸沙取樣(SS)點與水樣取樣點(SW)		
標號	位置概述	設置考量原因
SS-1、SW-1	處置場接收港與輔助區	此處進行廢棄物接收與處置前作業，因此設置取樣點，確認無環境污染
SS-2、SW-2	小坵島主要房屋區	此區為小坵島主要房屋集中區，代表居民生活主要位在此處，因此設置取樣點確認無環境污染
SS-3、SW-3	小坵島東北海岸	考量地下水流場模擬結果，處置區地下水流向為流往小坵島岸邊，因此初步在小坵島北面岸邊設置 4 個取樣點，確認無環境污染
SS-4、SW-4	小坵島北海岸	
SS-5、SW-5	小坵島西北海岸	
SS-6、SW-6	小坵島西海岸	
SS-7、SW-7	小坵島西側池塘	確認池塘用水無遭受污染

5.2.4 建議候選場址之被動監管初步規劃

如 5.1 節所述，主動監管期限結束後，處置設施將進入被動監管階段，被動監管是透過天然與工程障壁系統、延長人類對處置場記憶，以及政府限制土地開發等作為，避免未來發生人類無意入侵事件，或是處置系統遭受擾動與破壞，進而導致輻射災害的發生。針對 2 處建議候選場址之被動監管措施，其規劃與說明如下：

一、多重障壁系統

2 處建議候選場址皆採用坑道式處置，處置坑道內設有可容納廢棄物的處置窖，並與天然岩覆形成多重障壁系統。處置窖以鋼筋混凝土建造而成，可承載處置窖內廢棄物、填充材料以及處

置窖與坑道間回填材料的重量，亦可降低通過廢棄物的地下水流量，遲滯核種傳輸的時間，以及藉由吸附特性減少核種釋出的活度。另外，處置窖的牆壁具有一定厚度，可防止廢棄物體直接遭受破壞，而處置坑道封閉時將進行回填，使處置設施與周邊母岩特性具有顯著差異，故當人類無意入侵時應能發現此差異而停下入侵行為進行查看，進而減緩或避免人類繼續破壞處置設施。

處置設施上方的岩覆深度至少有 50 m，因此除非特定目的之調查，否則一般而言，人類活動主要集中在地表或近地表範圍，故此處置深度可降低人類活動而擾動處置設施，或是人類無意入侵之可能性。

此外，台東縣達仁鄉建議候選場址之地形坡度約為 1:0.3~1:0.8，於土地開發或興建建築物時，一般會選擇地形坡度較為平坦區域進行開發，再者，依據「建築技術規則第 262 條」，山坡地平均坡度大於 30% 者不得開發建築物。而金門縣烏坵鄉建議候選場址之處置設施位在海床底下，因此 2 處建議候選場址在此地形條件下，可大幅降低人類行為而擾動處置設施之可能性。

二、地表圍籬與標誌

主動監管結束前，將再次確認地表上之圍籬與標誌是否完善，缺損之處將進行補強或替換。被動監管期間，處置場將保留圍籬與標誌，作為處置場識別，用於警示民眾此處為低放射性廢棄物處置場，應避免進入或破壞，以降低人類無意入侵之可能性，進而避免發生輻射災害。

三、刊物、論文與處置場相關文件保存

將處置場運轉與主動監管期間發行之刊物(例如處置場運轉年報)、研究論文，或是處置場相關文件(例如處置設施安全分析報告與處置設施竣工文件等)加以保存，將此類重要文件保存於當地圖書館與國家圖書館，達到文件備份、知識保存與傳承之效。

四、地圖標示

台灣國土相關資訊(例如地籍與地圖)是由行政院內政部負責，故可商請內政部在地圖上標示此處為處置場，作為地圖資料保存與傳承。

五、土地公有化

依現行規劃，低放射性廢棄物處置場之購地是由後端基金支付，而後端基金由經濟部負責管理，當確認購置處置場土地後，該土地將為公有土地而非私有土地。因此在被動監管期間，公家機關具有土地所有權，可防止民眾於此處建設。假設未來要進行公有土地申購讓售，處置場應為重大建設計畫，在政府部門應會保留相關文件，故將可限制土地使用條件，避免處置設施遭受破壞。

5.3 主動監管期限評估

主動監管目的在於確認處置設施在運轉與封閉期間之設施功能完整性、環境輻射安全，以及防止人類無意入侵事件發生，然而主動監管並非無止盡的持續監管，造成未來後代子孫的龐大壓力，故需訂定合適的主動監管期限。本節將先說明日本六所村低放處置場在主動監管評估之考量，而主動監管期限的訂定需考量廢棄物內所含之核種特性，因此將接著說明廢棄物核種估算方式，並且考量現階段處置規劃採用處置窖、坑道式處置與天然岩覆形成多重障壁系統，其最有可能的入侵行為為鑽探行為，故以鑽探情節評估直接輻射曝露劑量，進而提出建議之主動監管期限。

5.3.1 日本六所村低放處置場之主動監管評估考量

六所村低放處置場為淺地表低放射性廢棄物處置設施，而六所村低放處置場規劃於處置場結束主動監管後，土地可未受任何

限制供民眾自由使用，因此在處置設施封閉結束主動監管後之劑量限值訂為 $10\ \mu\text{Sv/yr}$ (JNFL, 2007, p.47~p.p.58)。為確認處置設施結束主動監管後，輻射劑量符合法律制定限值，日本原燃 (Japan Nuclear Fuel Limited, JNFL) 依下步驟執行安全評估：

一、確認廢棄物源項資料

依照處置場預定接收之廢棄物數量，估算處置場可能之放射性核種活度。

二、制定曝露情節

六所村低放處置場為淺地表處置設施，且規劃在結束主動監管後對於土地使用條件不受任何限制，因此保守以當地居住的農業生活作為曝露情節，評估輻射劑量。

三、輻射劑量評估

由於六所村低放處置場設定之曝露情節為農業居住生活，因此劑量評估考量居民受污染土壤、飲用污染水源與食用污染作物造成的輻射曝露，確保在處置場解除主動監管後，居民受到之輻射劑量符合法律制定之劑量限值。

六所村低放處置場在制定 300 年的主動監管期後，透過安全評估證實民眾劑量遠低於 $10\ \mu\text{Sv/yr}$ 的免除監管法規限值。由此可推論實際上所需之最低主動監管期限，取決於在設定之曝露情節下，何時處置場對一般民眾造成的輻射劑量降至 $10\ \mu\text{Sv/yr}$ 以下。

因此參考六所村低放處置場監管期之評估概念，後續將依序說明台灣廢棄物源項評估、曝露情節制定與劑量評估結果。

5.3.2 台灣低放射性廢棄物源項估算清單

台灣低放射性廢棄物來源主要為核能電廠運轉期間產生之運轉廢棄物，以及核能電廠除役產生之除役廢棄物。不同的廢棄

物來源，其廢棄物核種組成會有些許差異，因此為了評估不同廢棄物源之輻射影響特性，故須掌握廢棄物核種清單，便於後續進行輻射劑量影響分析。圖 5.3-1 為低放射性廢棄物源項估算流程，以下將說明運轉廢棄物與除役廢棄物之源項估算方式，以及核種衰變鏈計算。

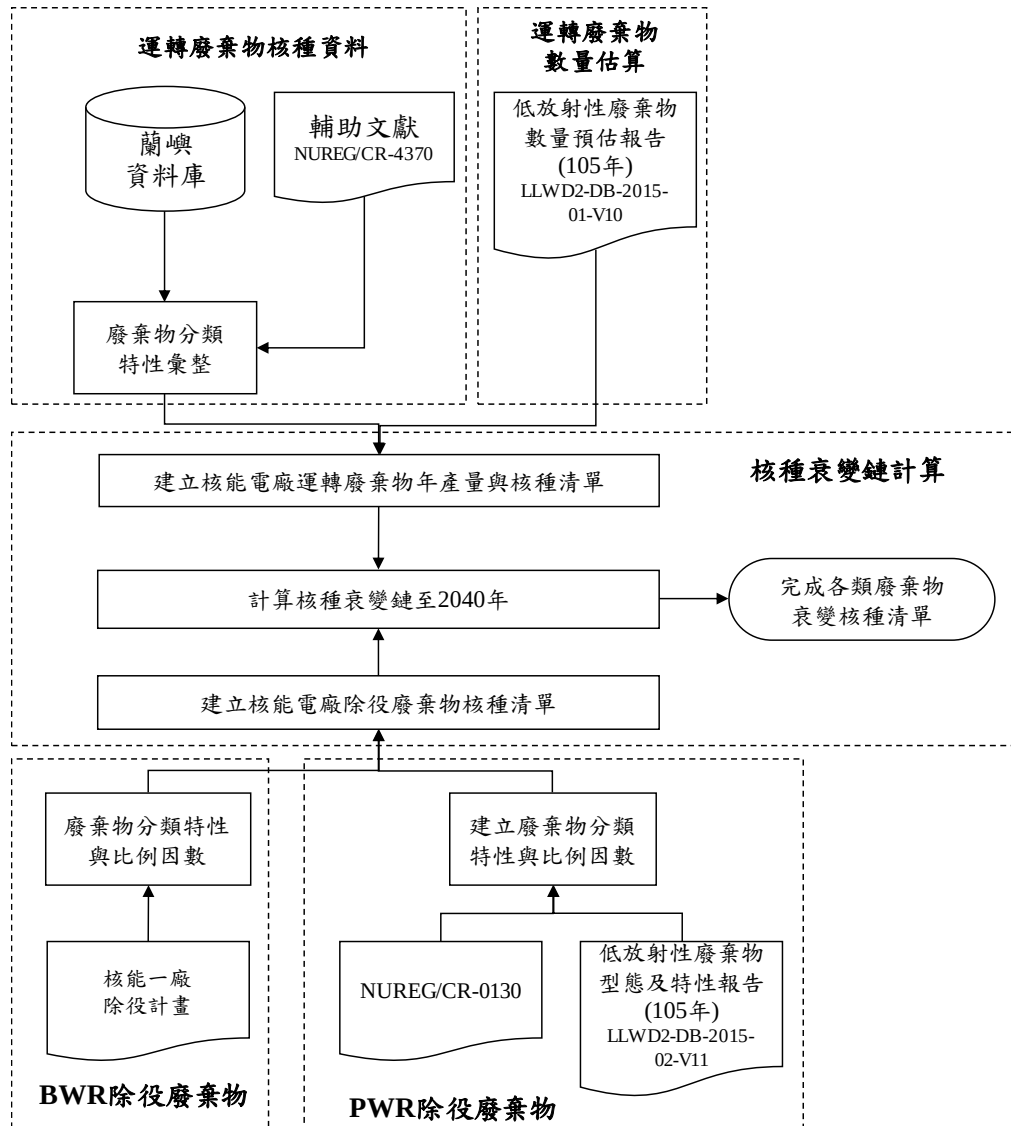


圖 5.3-1 低放射性廢棄物源項估算流程

一、運轉廢棄物源項估算方式

(一)運轉廢棄物核種資料來源

運轉廢棄物以台電公司建置之低放射性廢棄物資料庫(low-level radioactive waste disposal systems, LRWDS)中之低放貯存場資料為基礎進行評估，LRWDS 內紀錄了廢棄物桶之核種資料、固化日期、廠別、廢棄物來源與廢棄物分類等資訊，而核能電廠運轉廢棄物分為固化廢棄物、廢樹脂、可燃廢棄物、可壓廢棄物與其他這 5 種，故將低放貯存場紀錄之廢棄物依其來源特性歸類至這 5 種廢棄物流，完成廢棄物歸類後，再以固化日期之廢棄物分類區分為 A 類、B 類與 C 類廢棄物。

由於 A 類廢棄物桶佔 8 成以上，且廢棄物核種活度分布範圍非常廣泛，為了後續處置設施依廢棄物核種活度特性進行分類分區處置規劃與處置設施工程設計，故將 A 類廢棄物運用 K-means 演算法區分為 2 群，其中 1 群為重要長半化期核種(例如 C-14、Tc-99 或 I-129)活度較高之群體，稱之為 A1，而另一群則稱為 A0。接著將各類廢棄物桶與前述分群結果做比對，分析該廢棄物桶是屬於偏向 A1 群體或是 A0 群體，最後計算各類 A 類廢棄物之平均值代表初始固化核種資料。而 B 類與 C 類廢棄物桶則以固化日期核種資料取平均值，作為各類廢棄物流之代表初始固化核種資料。

此外因低放貯存場資料庫內無核能二廠與核能三廠的可壓廢棄物資料，因普遍污染程度較低，初步假設可壓廢棄物為 A 類廢棄物。另考量核能二廠與核能一廠之反應器機組同屬沸水式反應器(Boiling Water Reactor, BWR)，故核能二廠可壓廢棄物初始代表核種資料將參考核能一廠；而核能三廠屬於壓水式反應器(Pressurized Water Reactor, PWR)，則參考美國 NUREG/CR-4370 報告(NRC, 1986, p.A-156)所列壓水式反應器之可壓廢棄物建議核種進行評估。

(二)運轉廢棄物數量估算

台電公司(2017b, p.37~p.39)以民國 99 年至民國 103 年間之廢棄物年平均產量，作為後續年度年產量的預估基準，推估各核能電廠自民國 104 年至停止運轉時的廢棄物產生量，再加上各廠內至 103 年 12 月止的廠內貯存量，即為各核能電廠停機時，廠內的運轉廢棄物貯存總量，計算結果如表 5.3-1。對於各類廢棄物之年產量，則假設民國 103 年廠內貯存之廢棄物是從核能電廠開始商轉至民國 103 年間，每年以固定的數量平均產生廢棄物，便於後續計算廢棄物核種衰變。

表 5.3-1 核能電廠廠內貯存運轉廢棄物數量預估

		固化廢棄物	樹脂	可燃廢棄物	可壓廢棄物	其他廢棄物	總計
核能一廠	104 年至停止運轉廢棄物產量	425	1,168	1,821	883	731	5,028
	103 年 12 月廠內貯存量	8,610	5,808	9,668	10,979	9,220	44,285
	總計	9,035	6,976	11,489	11,862	9,951	49,313
核能二廠	104 年至停止運轉廢棄物產量	456	3,349	3,934	1,306	2,248	11,293
	103 年 12 月廠內貯存量	28,400	8,255	1,278	1,046	15,363	52,342
	總計	26,856	11,604	5,212	2,352	17,611	63,635
核能三廠	104 年至停止運轉廢棄物產量	269	479	1,067	140	110	2,065
	103 年 12 月廠內貯存量	2,685	1,804	1,415	1,520	1,064	8,488
	總計	2,954	2,283	2,482	1,660	1,174	10,553
總數量							123,501

資料來源：台電公司(2017b, p.37~p.39)。

二、除役廢棄物源項估算方式

台灣核能電廠具有 BWR 機組與 PWR 機組，因此核能電廠除役廢棄物需考量不同的機組來源。BWR 機組除役廢棄物資料以核能一廠除役計畫(台電公司，2017d)作為依據，而 PWR 機組除役廢棄物則初步以 NUREG/CR-0130 (NRC, 1984)與「低放射性廢棄物型態及特性報告(105 年)」(台電公司，2017c)進行概估，進而建立各核能電廠除役廢棄物核種估算清單。

(一)BWR 除役廢棄物

核能一廠除役計畫已於民國 106 年 6 月通過原子能委員會審查，故核能一廠除役廢棄物將依據核能一廠除役計畫。除役計畫中有完整評估核能一廠除役廢棄物核種比例因數與廢棄物數量，因此可計算各類廢棄物所含之放射性核種，而核能二廠與核能一廠同為 BWR 機組，因此核能二廠除役廢棄物初步假設與核能一廠相同。

(二)PWR 除役廢棄物

由於核能三廠除役計畫尚未展開，為了估算 PWR 機組除役產生之廢棄物核種活度資料，故參考美國核管會對於壓水式反應器除役產生之廢棄物數量、廢棄物分類與核種活度資料(NRC, 1984, p.5.2, p.5.7, p.5.9, p.6.3, p.6.9)，計算單桶(55 加侖桶)廢棄物之核種活度。此外再參考台電公司(2017c, p.31~p.32)對於核能三廠除役廢棄物之核種活度估算資料，進而完成核能三廠除役廢棄物所含之放射性核種資料。

三、核種衰變鏈計算

本報告將所有廢棄物均衰變至 2040 年，核種衰變鏈是取自於國際放射防護委員會(International Commission on Radiological Protection, ICRP)107 號報告的衰變鏈資料(ICRP, 2008)，而活度衰變計算則是採用貝特曼方程式(Bateman equations)。選擇 2040 年作為衰變鏈計算是假設 2025 年核能三廠運轉執照終止後開始推

動低放處置，台東縣達仁鄉建議候選場址從場址調查至申請核發運轉執照約需 14 年，而金門縣烏坵鄉建議候選場址從場址調查至申請核發運轉執照約需 18 年(台電公司，2016，p.13、p.42)，故初步將廢棄物衰變計算至 2040 年，估算各類廢棄物之代表活度。

5.3.3 台灣主動監管期限分析與建議

主動監管期限的分析方式為運用 MicroShield 分析各類廢棄物遭到鑽探取出後之表面輻射劑量率並計算表面劑量率衰減，再依據建立之地質調查鑽探入侵情節，評估鑽探人員受到之輻射曝露劑量，進而提出建議之主動監管期限，主動監管期限分析流程如圖 5.3-2，詳細說明如下。

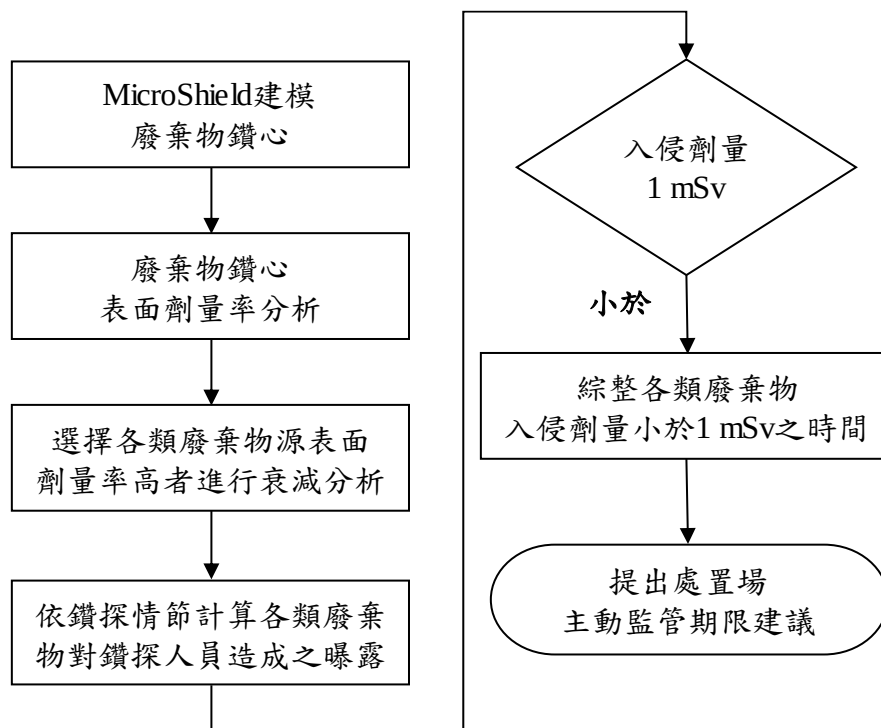


圖 5.3-2 主動監管期限分析流程

一、MicroShield 建模

依照 5.3.2 節計算之運轉廢棄物與除役廢棄物核種衰變計算結果，假設放射性核種均勻分布在廢棄物桶中，並且假設廢棄物遭受鑽探破壞而取出鑽心，鑽心直徑為 63.5 mm，長為 1 m，因此以 MicroShield 建置鑽心模型，計算鑽心表面 5 cm 處之輻射劑量率，MicroShield 概念化模型如圖 5.3-3 所示。由於 BWR 機組除役廢棄物資料皆為參考核能一廠除役計畫，且核能二廠停機時間較核能一廠晚，因此於分析 BWR 機組除役廢棄物時，將以核能二廠除役廢棄物作為代表。

Source Dimensions			
Height	100.0 cm (3 ft 3.4 in)		
Radius	3.175 cm (1.3 in)		
Dose Points			
A	X	Y	Z
#1	8.175 cm (3.2 in)	50.0 cm (1 ft 7.7 in)	0.0 cm (1 in)
Shield			
Shield N	Dimension	Material	Density (g/cm3)
Source	3166.922 cm3	Concrete	2.322
Transition		Air	0.00122
Air Gap		Air	0.00122

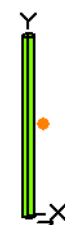


圖 5.3-3 MicroShield 模型建置

二、鑽心表面劑量率分析

MicroShield 分析各類廢棄物取出鑽心之表面劑量率如表 5.3-2 至表 5.3-4 所示，對於核能電廠運轉廢棄物而言，以樹脂廢棄物的表面劑量率最高，核能一廠為 0.118 mSv/hr、核能二廠為 0.296 mSv/hr，而核能三廠為 0.18 mSv/hr；低放貯存場廢棄物則以核能研究所的可壓廢棄物劑量最高，為 0.066 mSv/hr；而除役廢棄物則以 BWR 機組的反應器內部組件與 PWR 機組的底部支撐柱表面劑量率最高，反應器內部組件為 77.9 mSv/hr，而底部支撐柱為 472 mSv/hr。

三、劑量率衰減分析

從表 5.3-2 至表 5.3-4 選核能電廠運轉廢棄物、低放貯存場各來源廢棄物與除役廢棄物中，各類廢棄物鑽心表面劑量率最高之廢棄物源進行劑量衰減分析，例如核能一廠運轉 A0 類廢棄物以固化廢棄物 A0 類作為代表，A1 類廢棄物以固化廢棄物 A1 類作為代表，B 類廢棄物以固化廢棄物 B 類作為代表，而 C 類廢棄物以樹脂作為代表，探討不同來源與類別之直接輻射曝露劑量衰減特性。表 5.3-5 為核能電廠運轉廢棄物之劑量衰減分析結果；表 5.3-6 至表 5.3-8 為低放貯存場廢棄物之劑量衰減分析結果；表 5.3-9 為核能電廠除役廢棄物之劑量衰減分析結果。

四、鑽探人員輻射劑量計算

假設有一位地質調查鑽探人員於處置場址區域執行地質鑽探作業，規劃在此區域執行一口鑽井作為地質普查分析，並於完成調查後進行灌漿封井作業。由於台東縣達仁鄉建議候選場址之覆蓋層厚度為 62.2 m 至 76.4 m，金門縣烏坵鄉建議候選場址之覆蓋層厚度為 59 m，故假設地質調查鑽探深度在台東縣達仁鄉建議候選場址為 81 m，而在金門縣烏坵鄉建議候選場址為 65 m，預期此深度將會取出廢棄物鑽心，導致鑽探人員受到輻射曝露。參考安朔草埔隧道(交通部公路總局西部濱海公路南區臨時工程處，2011)與烏坵鄉(工研院能資所，1999a~1999j)之鑽探紀錄資料，安朔草埔之平均鑽探進尺速率為每日 5.4 m，而烏坵鄉之平均鑽探進尺速率為每日 8.8 m，故假設台東縣達仁鄉建議候選場址之鑽探進尺速率為每日 5.4 m，然而因金門縣烏坵鄉建議候選場址位在海床下，考量海上鑽探作業較陸地困難，因此保守假設海上作業鑽探進尺速率僅為陸地的一半，進尺速率為每日 4.4 m。

由於鑽探會先經過未受污染的覆蓋層後才進入處置坑道區，因此保守從鑽探進入處置坑道區開始計算鑽探人員輻射曝露時間，以每日工作 8 小時計算，台東縣達仁鄉建議候選場址鑽探作

業受曝露時間保守計算為 28 小時 $((81-62.2)/5.4 \times 8)$ ，而在金門縣烏坵鄉建議候選場址鑽探作業受曝露時間為 11 小時 $((65-59)/4.4 \times 8)$ 。

因鑽探過程中會引發揚塵，而揚塵中可能含有放射性物質，因此鑽探人員輻射曝露途徑將考量吸入污染粉塵、嚥入污染物質、空氣浸身(air submersion)，以及鑽心廢棄物直接輻射曝露這 4 種途徑。假設空氣中的污染粉塵濃度為 $6 \times 10^{-7} \text{ kg/m}^3$ 而鑽探作業屬重度工作類型，故假設鑽探人員之呼吸速率為 $1.7 \text{ m}^3/\text{hr}$ ，在鑽探作業過程中，鑽探人員在具有污染粉塵的環境下工作，因此在作業過程中可能會因污染粉塵停留在嘴唇上，導致在不注意的情況下誤食污染粉塵，嚥入速率假設為 5 mg/hr (NDA, 2011, p.35)。

依照表 5.3-5 至表 5.3-9 各廢棄物源表面劑量率計算結果，並依前述鑽探人員曝露情節，評估鑽探人員輻射劑量。表 5.3-10 至表 5.3-13 為台東縣達仁鄉建議候選場址發生鑽探入侵事件時，不同廠別、不同分類與不同類型之單一鑽探事件鑽探人員劑量評估結果，而表 5.3-14 至表 5.3-17 則為金門縣烏坵鄉建議候選場址發生鑽探入侵事件之鑽探人員劑量評估結果。

針對人類無意入侵事件之劑量探討，IAEA 認為當入侵事件引發之年劑量介於 1 mSv 至 20 mSv 範圍，建議在處置設施設計規劃階段，透過執行各種措施來降低處置設施遭受入侵之機率與災害，而當入侵事件引發之年劑量低於 1 mSv ，則不必要再致力於降低入侵機率與災害(IAEA, 2017, p.16)。依據 IAEA 人類無意入侵事件劑量建議，故初步以入侵事件造成鑽探人員曝露劑量 1 mSv 作為研判。

如前所述，因 2 處建議候選場址之鑽探速率與覆蓋層厚度差異，造成 2 處建議候選場址人類無意入侵時受曝露之時間不同(台東縣達仁鄉建議候選場址為 28 小時；金門縣烏坵鄉建議候選場址為 11 小時)，導致不同的劑量影響程度，故需不同的時間使放

射性核種衰變而減少危害。以台東縣達仁鄉建議候選場址而言，核能電廠運轉廢棄物在 2070 年後，廢棄物對鑽探人員造成之輻射曝露已低於 1 mSv，低放貯存場廢棄物則是到 2090 年後，廢棄物對鑽探人員造成之輻射曝露將低於 1 mSv，而核能電廠除役廢棄物則是需至 2170 年後，鑽探人員曝露劑量方低於 1 mSv；對於金門縣烏坵鄉建議候選場址而言，核能電廠運轉廢棄物在 2050 年後，廢棄物對鑽探人員造成之輻射曝露已低於 1 mSv，低放貯存場廢棄物對鑽探人造成之輻射曝露皆低於 1 mSv，而核能電廠除役廢棄物則在 2130 年後，對鑽探人員造成之輻射曝露方低於 1 mSv。

五、主動監管期限建議

由於人類無意入侵情節非屬正常設計情節，因此在劑量評估過程中不應直接與法規限值做比較(IAEA, 2017, p.24)，且應於正常設計情節外考量(IAEA, 2017, p.119)，然而以輻射安全與輻射防護的角度出發，參考 IAEA 對於人類無意入侵事件劑量建議，保守以入侵事件造成鑽探人員曝露劑量 1 mSv 作為研判，依據 2 處建議候選場址特性，探討合適之主動監管期建議。

從各類廢棄物對鑽探人員造成之輻射曝露劑量評估結果來看，建議台東縣達仁鄉建議候選場址主動監管持續至 2170 年，而金門縣烏坵鄉建議候選場址則是建議主動監管持續至 2130 年，使所有廢棄物對鑽探人員造成之輻射曝露劑量皆低於 1 mSv。換言之，以處置場初步運轉規劃 60 年再經 3 年的封閉作業(台電公司, 2016, p.13、42、71)後進入監管階段，台東縣達仁鄉建議候選場址將規劃執行主動監管 67 年，而金門縣烏坵鄉建議候選場址將規劃執行主動監管 27 年，此主動監管期亦符合美國核管會認為主動監管可信任的期間最多為 100 年(NRC, 2015, p.4-37)之建議。

主動監管結束後，處置場將進入被動監管階段，由被動式監管措施(如多重障壁系統、標誌與圍籬、知識傳承、土地使用限制等)持續防護處置設施，降低處置設施遭受擾動的可能性。

表 5.3-2 核能電廠運轉廢棄物鑽心表面劑量率

項目	分類	劑量率 mSv/hr	項目	分類	劑量率 mSv/hr
核能一廠運轉廢棄物					
可壓廢棄物	A0	2.13×10^{-3}	可壓廢棄物	C	5.45×10^{-2}
可燃廢棄物	A0	1.23×10^{-3}	可燃廢棄物	C	2.45×10^{-2}
其他	A0	3.93×10^{-3}	其他	A1	1.74×10^{-3}
其他	B	1.74×10^{-2}	其他	C	2.40×10^{-2}
樹脂	A0	4.39×10^{-3}	樹脂	A1	4.75×10^{-3}
樹脂	B	1.55×10^{-2}	樹脂	C	1.18×10^{-1}
固化廢棄物	A0	1.07×10^{-2}	固化廢棄物	A1	7.71×10^{-3}
固化廢棄物	B	7.16×10^{-2}	固化廢棄物	C	4.53×10^{-2}
核能二廠運轉廢棄物					
可壓廢棄物	A0	2.70×10^{-3}	可燃廢棄物	A0	1.10×10^{-3}
其他	A0	3.38×10^{-3}	樹脂	A0	7.88×10^{-3}
樹脂	A1	1.14×10^{-1}	樹脂	B	2.96×10^{-1}
樹脂	C	2.42×10^{-2}	固化廢棄物	A0	1.99×10^{-2}
固化廢棄物	A1	5.52×10^{-2}	固化廢棄物	B	2.15×10^{-2}
固化廢棄物	C	5.61×10^{-2}			
核能三廠運轉廢棄物					
可壓廢棄物	A0	3.01×10^{-4}	可燃廢棄物	A0	3.00×10^{-4}
其他	A0	9.19×10^{-4}	其他	C	2.07×10^{-2}
樹脂	A0	2.18×10^{-3}	樹脂	A1	1.02×10^{-2}
樹脂	B	1.80×10^{-1}	樹脂	C	4.77×10^{-2}
固化廢棄物	A0	1.37×10^{-3}	固化廢棄物	B	1.10×10^{-1}
固化廢棄物	C	3.85×10^{-3}			

備註：劑量率分析時間為 2040 年。

表 5.3-3 低放貯存場廢棄物鑽心表面劑量率

項目	分類	劑量率 mSv/hr	項目	分類	劑量率 mSv/hr
核能研究所廢棄物					
可燃廢棄物	A0	5.34×10^{-3}	可燃廢棄物	A1	3.61×10^{-3}
可燃廢棄物	B	1.80×10^{-2}	可燃廢棄物	C	6.62×10^{-2}
固化廢棄物	C	1.32×10^{-2}			
核能一廠廢棄物					
可壓廢棄物	A0	9.02×10^{-4}	可壓廢棄物	C	2.42×10^{-2}
可燃廢棄物	A0	4.24×10^{-4}	可燃廢棄物	C	1.29×10^{-2}
其他	A0	1.56×10^{-3}	其他	A1	4.48×10^{-4}
其他	B	6.59×10^{-3}	其他	C	7.80×10^{-3}
樹脂	A0	1.23×10^{-3}	樹脂	A1	1.20×10^{-3}
樹脂	B	4.09×10^{-3}	樹脂	C	2.75×10^{-2}
固化廢棄物	A0	4.67×10^{-3}	固化廢棄物	A1	2.89×10^{-3}
固化廢棄物	B	3.16×10^{-2}	固化廢棄物	C	1.90×10^{-2}
核能二廠廢棄物					
可燃廢棄物	A0	4.35×10^{-5}	其他	A0	5.70×10^{-4}
樹脂	A0	6.59×10^{-4}	樹脂	A1	4.16×10^{-3}
樹脂	B	1.74×10^{-2}	樹脂	C	4.59×10^{-3}
固化廢棄物	A0	1.38×10^{-3}	固化廢棄物	A1	2.56×10^{-3}
固化廢棄物	B	2.21×10^{-3}	固化廢棄物	C	1.00×10^{-2}
核能三廠廢棄物					
可燃廢棄物	A0	1.01×10^{-4}	其他	A0	2.10×10^{-4}
其他	C	1.09×10^{-2}	樹脂	A0	6.23×10^{-4}
樹脂	A1	2.69×10^{-3}	樹脂	B	3.85×10^{-2}
樹脂	C	1.38×10^{-2}	固化廢棄物	A0	3.47×10^{-4}
固化廢棄物	B	1.99×10^{-2}	固化廢棄物	C	1.26×10^{-3}
減容中心					
減容中心 廢棄物	A0	3.08×10^{-4}			
檢整廢棄物					
檢整廢棄物	A0	5.38×10^{-4}	檢整廢棄物	C	6.70×10^{-3}

備註：(1).劑量率分析時間為 2040 年。

(2).低放貯存場貯存之核能一廠可壓廢棄物與可燃廢棄物、核能二廠可燃廢棄物與其他、核能三廠可燃廢棄物、其他與固化廢棄物，以及減容中心廢棄物與檢整廢棄物中，其 A 類廢棄物在分群法分析後皆屬 A0 類廢棄物。

表 5.3-4 核能電廠除役廢棄物鑽心表面劑量率

項目	分類	劑量率	項目	分類	劑量率
BWR 機組除役廢棄物					
反應器內部組件	A0	3.09×10^{-1}	反應器內部組件	C	77.89
反應器壓力槽	A0	1.20×10^{-1}	儀器管線	C	6.37
內襯銅板與燃料格架	A0	3.25×10^{-2}	內襯銅板與燃料格架	C	3.66
管路連接件	A0	8.77×10^{-4}	管路連接件	B	3.06×10^{-1}
管路連接件	C	1.30	製程管線	A0	4.05×10^{-3}
製程管線	B	3.31×10^{-1}	製程管線	C	1.61
閥件	A0	5.62×10^{-3}	閥件	B	1.05×10^{-1}
熱交換器	A0	5.24×10^{-4}	熱交換器	B	3.22×10^{-1}
熱交換器	C	1.56	其他汽機廠房組件	A0	7.08×10^{-4}
桶槽	A0	4.14×10^{-3}	桶槽	B	2.52×10^{-1}
泵	A0	4.96×10^{-3}	泵	B	1.69×10^{-2}
雜項製程組件	A0	1.39×10^{-2}	雜項製程組件	B	4.10×10^{-1}
雜項製程組件	C	1.02	通風元件	A0	1.36×10^{-3}
通風元件	B	1.20	通風元件	C	3.97×10^{-1}
污染混凝土	A0	4.36×10^{-3}	活化混凝土(生物屏蔽)	A0	9.65×10^{-8}
保溫材	A0	1.32×10^{-5}	溼性廢棄物(固化後)	A0	6.36×10^{-2}
溼性廢棄物(固化後)	B	3.13			
PWR 機組除役廢棄物					
壓力槽壁	A0	6.42×10^{-2}	壓力槽頂部	A0	1.94×10^{-4}
壓力槽底部	A0	4.43×10^{-4}	上部爐心支撐組件	A0	3.43×10^{-2}
上部支撐柱	A0	3.68×10^{-1}	上部爐心桶	B	23.6
上部爐心導板	C	164	導管	A0	1.75×10^{-1}
底部支撐柱	C	472	底部爐心鍛	B	9.72×10^{-1}
內部雜項	B	1.07	生物屏蔽混凝土	A0	1.20×10^{-5}
反應器內襯	A0	4.78×10^{-3}	蒸發器底部 1	A0	2.11×10^{-1}
蒸發器底部 2	A0	2.05×10^{-3}	蒸發器底部 3	A0	6.98×10^{-4}
耗乏樹脂	B	8.10×10^{-1}	用過濾器	B	4.5
屏蔽桶	B	9.97×10^{-3}	未屏蔽桶	A0	8.97×10^{-4}
污染材料	A0	9.76×10^{-3}			

備註：(1).劑量率分析時間為 2040 年。

(2).核能電廠除役 A 類廢棄物，經分群法分析後皆屬 A0 類廢棄物。

表 5.3-5 核能電廠運轉廢棄物鑽心表面劑量率衰減分析

單位：mSv/hr

廢棄物源	NPP1 固化 廢棄物	NPP1 固化 廢棄物	NPP1 固化 廢棄物	NPP1 樹脂 廢棄物	NPP2 固化 廢棄物	NPP2 樹脂 廢棄物	NPP2 樹脂 廢棄物	NPP2 固化 廢棄物	NPP3 固化 廢棄物	NPP3 樹脂 廢棄物	NPP3 樹脂 廢棄物	NPP3 樹脂 廢棄物
分類	A0	A1	B	C	A0	A1	B	C	A0	A1	B	C
2040	1.07×10^{-2}	7.71×10^{-3}	7.16×10^{-2}	1.18×10^{-1}	1.99×10^{-2}	1.14×10^{-1}	2.96×10^{-1}	5.61×10^{-2}	1.37×10^{-3}	1.02×10^{-2}	1.80×10^{-1}	4.77×10^{-2}
2050	5.30×10^{-3}	3.67×10^{-3}	3.63×10^{-2}	4.75×10^{-2}	5.59×10^{-3}	3.06×10^{-2}	8.50×10^{-2}	1.47×10^{-2}	5.78×10^{-4}	3.68×10^{-3}	7.38×10^{-2}	2.20×10^{-2}
2060	3.39×10^{-3}	2.38×10^{-3}	2.36×10^{-2}	2.67×10^{-2}	1.72×10^{-3}	8.40×10^{-3}	2.74×10^{-2}	4.65×10^{-3}	3.26×10^{-4}	2.16×10^{-3}	4.01×10^{-2}	1.38×10^{-2}
2070	2.47×10^{-3}	1.75×10^{-3}	1.73×10^{-2}	1.84×10^{-2}	6.37×10^{-4}	2.40×10^{-3}	1.10×10^{-2}	1.84×10^{-3}	2.23×10^{-4}	1.52×10^{-3}	2.69×10^{-2}	9.92×10^{-3}
2080	1.90×10^{-3}	1.35×10^{-3}	1.34×10^{-2}	1.39×10^{-2}	3.10×10^{-4}	7.58×10^{-4}	5.83×10^{-3}	9.79×10^{-4}	1.68×10^{-4}	1.17×10^{-3}	2.01×10^{-2}	7.63×10^{-3}
2090	1.50×10^{-3}	1.07×10^{-3}	1.05×10^{-2}	1.08×10^{-2}	1.95×10^{-4}	2.95×10^{-4}	3.86×10^{-3}	6.70×10^{-4}	1.32×10^{-4}	9.22×10^{-4}	1.56×10^{-2}	6.00×10^{-3}
2100	1.19×10^{-3}	8.48×10^{-4}	8.34×10^{-3}	8.57×10^{-3}	1.41×10^{-4}	1.54×10^{-4}	2.86×10^{-3}	5.23×10^{-4}	1.05×10^{-4}	7.39×10^{-4}	1.23×10^{-2}	4.76×10^{-3}
2110	9.43×10^{-4}	6.76×10^{-4}	6.62×10^{-3}	6.81×10^{-3}	1.09×10^{-4}	1.01×10^{-4}	2.22×10^{-3}	4.33×10^{-4}	8.36×10^{-5}	5.96×10^{-4}	9.77×10^{-3}	3.79×10^{-3}
2120	7.50×10^{-4}	5.39×10^{-4}	5.26×10^{-3}	5.43×10^{-3}	8.65×10^{-5}	7.62×10^{-5}	1.75×10^{-3}	3.68×10^{-4}	6.69×10^{-5}	4.84×10^{-4}	7.76×10^{-3}	3.02×10^{-3}
2130	5.97×10^{-4}	4.31×10^{-4}	4.19×10^{-3}	4.33×10^{-3}	6.92×10^{-5}	6.05×10^{-5}	1.39×10^{-3}	3.18×10^{-4}	5.37×10^{-5}	3.94×10^{-4}	6.17×10^{-3}	2.42×10^{-3}
2140	4.76×10^{-4}	3.45×10^{-4}	3.33×10^{-3}	3.46×10^{-3}	5.56×10^{-5}	4.92×10^{-5}	1.11×10^{-3}	2.79×10^{-4}	4.33×10^{-5}	3.23×10^{-4}	4.91×10^{-3}	1.93×10^{-3}
2150	3.79×10^{-4}	2.77×10^{-4}	2.65×10^{-3}	2.77×10^{-3}	4.48×10^{-5}	4.05×10^{-5}	8.82×10^{-4}	2.47×10^{-4}	3.49×10^{-5}	2.66×10^{-4}	3.90×10^{-3}	1.55×10^{-3}
2160	3.02×10^{-4}	2.22×10^{-4}	2.11×10^{-3}	2.22×10^{-3}	3.60×10^{-5}	3.37×10^{-5}	7.04×10^{-4}	2.22×10^{-4}	2.83×10^{-5}	2.20×10^{-4}	3.11×10^{-3}	1.24×10^{-3}
2170	2.41×10^{-4}	1.79×10^{-4}	1.68×10^{-3}	1.78×10^{-3}	2.95×10^{-5}	2.83×10^{-5}	5.62×10^{-4}	2.01×10^{-4}	2.31×10^{-5}	1.84×10^{-4}	2.47×10^{-3}	9.97×10^{-4}
2180	1.92×10^{-4}	1.44×10^{-4}	1.34×10^{-3}	1.43×10^{-3}	2.41×10^{-5}	2.40×10^{-5}	4.49×10^{-4}	1.85×10^{-4}	1.89×10^{-5}	1.56×10^{-4}	1.97×10^{-3}	8.04×10^{-4}
2190	1.54×10^{-4}	1.17×10^{-4}	1.07×10^{-3}	1.15×10^{-3}	1.98×10^{-5}	2.05×10^{-5}	3.59×10^{-4}	1.72×10^{-4}	1.56×10^{-5}	1.33×10^{-4}	1.57×10^{-3}	6.50×10^{-4}
2200	1.23×10^{-4}	9.52×10^{-5}	8.49×10^{-4}	9.33×10^{-4}	1.64×10^{-5}	1.77×10^{-5}	2.88×10^{-4}	1.61×10^{-4}	1.29×10^{-5}	1.14×10^{-4}	1.25×10^{-3}	5.28×10^{-4}
2210	9.87×10^{-5}	7.79×10^{-5}	6.78×10^{-4}	7.58×10^{-4}	1.37×10^{-5}	1.55×10^{-5}	2.31×10^{-4}	1.52×10^{-4}	1.08×10^{-5}	9.94×10^{-5}	1.00×10^{-3}	4.30×10^{-4}
2220	7.93×10^{-5}	6.41×10^{-5}	5.41×10^{-4}	6.19×10^{-4}	1.15×10^{-5}	1.38×10^{-5}	1.86×10^{-4}	1.45×10^{-4}	9.13×10^{-6}	8.76×10^{-5}	7.99×10^{-4}	3.53×10^{-4}
2230	6.38×10^{-5}	5.30×10^{-5}	4.33×10^{-4}	5.09×10^{-4}	9.73×10^{-6}	1.23×10^{-5}	1.50×10^{-4}	1.39×10^{-4}	7.80×10^{-6}	7.81×10^{-5}	6.40×10^{-4}	2.91×10^{-4}
2240	5.15×10^{-5}	4.43×10^{-5}	3.47×10^{-4}	4.21×10^{-4}	8.35×10^{-6}	1.12×10^{-5}	1.21×10^{-4}	1.34×10^{-4}	6.74×10^{-6}	7.04×10^{-5}	5.13×10^{-4}	2.42×10^{-4}
2260	3.40×10^{-5}	3.16×10^{-5}	2.24×10^{-4}	2.95×10^{-4}	6.35×10^{-6}	9.50×10^{-6}	8.05×10^{-5}	1.26×10^{-4}	5.22×10^{-6}	5.92×10^{-5}	3.32×10^{-4}	1.71×10^{-4}
2280	2.29×10^{-5}	2.36×10^{-5}	1.46×10^{-4}	2.15×10^{-4}	5.06×10^{-6}	8.39×10^{-6}	5.47×10^{-5}	1.20×10^{-4}	4.26×10^{-6}	5.17×10^{-5}	2.17×10^{-4}	1.26×10^{-4}
2300	1.58×10^{-5}	1.84×10^{-5}	9.66×10^{-5}	1.64×10^{-4}	4.23×10^{-6}	7.63×10^{-6}	3.83×10^{-5}	1.16×10^{-4}	3.64×10^{-6}	4.67×10^{-5}	1.45×10^{-4}	9.74×10^{-5}
2320	1.13×10^{-5}	1.50×10^{-5}	6.54×10^{-5}	1.31×10^{-4}	3.68×10^{-6}	7.11×10^{-6}	2.78×10^{-5}	1.13×10^{-4}	3.25×10^{-6}	4.31×10^{-5}	9.85×10^{-5}	7.79×10^{-5}
2340	8.44×10^{-6}	1.28×10^{-5}	4.55×10^{-5}	1.11×10^{-4}	3.31×10^{-6}	6.72×10^{-6}	2.11×10^{-5}	1.10×10^{-4}	3.00×10^{-6}	4.05×10^{-5}	6.94×10^{-5}	6.66×10^{-5}

備註：NPP1 為核能一廠，NPP2 為核能二廠，NPP3 為核能三廠。

表 5.3-6 低放貯存場廢棄物鑽心表面劑量率衰減分析(1)

單位：mSv/hr

廢棄物源	INER 可燃廢棄物	INER 可燃廢棄物	INER 可燃廢棄物	INER 可燃廢棄物	NPP1 固化廢棄物	NPP1 固化廢棄物	NPP1 固化廢棄物	NPP1 樹脂廢棄物
分類	A0	A1	B	C	A0	A1	B	C
2040	5.34×10^{-3}	3.61×10^{-3}	1.80×10^{-2}	6.62×10^{-2}	4.67×10^{-3}	2.89×10^{-3}	3.16×10^{-2}	2.75×10^{-2}
2050	3.91×10^{-3}	2.53×10^{-3}	1.40×10^{-2}	4.95×10^{-2}	3.11×10^{-3}	1.93×10^{-3}	2.21×10^{-2}	1.93×10^{-2}
2060	3.11×10^{-3}	1.98×10^{-3}	1.11×10^{-2}	3.94×10^{-2}	2.38×10^{-3}	1.51×10^{-3}	1.68×10^{-2}	1.48×10^{-2}
2070	2.47×10^{-3}	1.56×10^{-3}	8.79×10^{-3}	3.13×10^{-2}	1.86×10^{-3}	1.19×10^{-3}	1.32×10^{-2}	1.17×10^{-2}
2080	1.96×10^{-3}	1.24×10^{-3}	6.98×10^{-3}	2.50×10^{-2}	1.47×10^{-3}	9.48×10^{-4}	1.04×10^{-2}	9.24×10^{-3}
2090	1.56×10^{-3}	9.85×10^{-4}	5.55×10^{-3}	1.99×10^{-2}	1.17×10^{-3}	7.56×10^{-4}	8.27×10^{-3}	7.35×10^{-3}
2100	1.24×10^{-3}	7.84×10^{-4}	4.41×10^{-3}	1.58×10^{-2}	9.31×10^{-4}	6.03×10^{-4}	6.57×10^{-3}	5.86×10^{-3}
2110	9.89×10^{-4}	6.24×10^{-4}	3.51×10^{-3}	1.26×10^{-2}	7.41×10^{-4}	4.82×10^{-4}	5.22×10^{-3}	4.67×10^{-3}
2120	7.87×10^{-4}	4.97×10^{-4}	2.79×10^{-3}	1.01×10^{-2}	5.90×10^{-4}	3.85×10^{-4}	4.15×10^{-3}	3.73×10^{-3}
2130	6.27×10^{-4}	3.96×10^{-4}	2.22×10^{-3}	8.06×10^{-3}	4.69×10^{-4}	3.09×10^{-4}	3.30×10^{-3}	2.98×10^{-3}
2140	5.00×10^{-4}	3.16×10^{-4}	1.77×10^{-3}	6.45×10^{-3}	3.74×10^{-4}	2.48×10^{-4}	2.63×10^{-3}	2.39×10^{-3}
2150	3.98×10^{-4}	2.52×10^{-4}	1.05×10^{-3}	5.17×10^{-3}	2.98×10^{-4}	1.99×10^{-4}	2.09×10^{-3}	1.91×10^{-3}
2160	3.18×10^{-4}	2.01×10^{-4}	1.12×10^{-3}	4.15×10^{-3}	2.38×10^{-4}	1.61×10^{-4}	1.67×10^{-3}	1.54×10^{-3}
2170	2.54×10^{-4}	1.61×10^{-4}	8.92×10^{-4}	3.34×10^{-3}	1.90×10^{-4}	1.30×10^{-4}	1.33×10^{-3}	1.24×10^{-3}
2180	2.03×10^{-4}	1.29×10^{-4}	7.11×10^{-4}	2.70×10^{-3}	1.52×10^{-4}	1.06×10^{-4}	1.06×10^{-3}	1.00×10^{-3}
2190	1.63×10^{-4}	1.03×10^{-4}	5.67×10^{-4}	2.19×10^{-3}	1.22×10^{-4}	8.60×10^{-5}	8.43×10^{-4}	8.13×10^{-4}
2200	1.30×10^{-4}	8.31×10^{-5}	4.53×10^{-4}	1.78×10^{-3}	9.74×10^{-5}	7.05×10^{-5}	6.73×10^{-4}	6.63×10^{-4}
2210	1.05×10^{-4}	6.70×10^{-5}	3.62×10^{-4}	1.45×10^{-3}	7.83×10^{-5}	5.82×10^{-5}	5.37×10^{-4}	5.43×10^{-4}
2220	8.45×10^{-5}	5.42×10^{-5}	2.89×10^{-4}	1.19×10^{-3}	6.30×10^{-5}	4.84×10^{-5}	4.30×10^{-4}	4.48×10^{-4}
2230	6.83×10^{-5}	4.40×10^{-5}	2.32×10^{-4}	9.87×10^{-4}	5.81×10^{-5}	4.05×10^{-5}	3.44×10^{-4}	3.72×10^{-4}
2240	5.54×10^{-5}	3.59×10^{-5}	1.86×10^{-4}	8.23×10^{-4}	4.13×10^{-5}	3.43×10^{-5}	2.76×10^{-4}	3.12×10^{-4}
2260	3.70×10^{-5}	2.43×10^{-5}	1.21×10^{-4}	5.86×10^{-4}	2.75×10^{-5}	2.53×10^{-5}	1.79×10^{-4}	2.26×10^{-4}
2280	2.53×10^{-5}	1.69×10^{-5}	7.95×10^{-5}	4.35×10^{-4}	1.87×10^{-5}	1.95×10^{-5}	1.18×10^{-4}	1.71×10^{-4}
2300	1.78×10^{-5}	1.22×10^{-5}	5.33×10^{-5}	3.37×10^{-4}	1.32×10^{-5}	1.57×10^{-5}	7.86×10^{-5}	1.36×10^{-4}
2320	1.31×10^{-5}	9.21×10^{-6}	3.67×10^{-5}	2.74×10^{-4}	9.62×10^{-6}	1.32×10^{-5}	5.39×10^{-5}	1.14×10^{-4}
2340	1.00×10^{-5}	7.27×10^{-6}	2.61×10^{-5}	2.32×10^{-4}	7.34×10^{-6}	1.16×10^{-5}	3.82×10^{-5}	9.89×10^{-5}

備註：INER 為核能研究所、NPP1 為核能一廠。

表 5.3-7 低放貯存場廢棄物鑽心表面劑量率衰減分析(2)

單位：mSv/hr

廢棄物源	NPP2 固化廢棄物	NPP2 固化廢棄物	NPP2 樹脂廢棄物	NPP2 固化廢棄物	NPP3 樹脂廢棄物	NPP3 樹脂廢棄物	NPP3 樹脂廢棄物	NPP3 樹脂廢棄物
分類	A0	A1	B	C	A0	A1	B	C
2040	1.38×10^{-3}	2.56×10^{-3}	1.74×10^{-2}	7.52×10^{-3}	6.23×10^{-4}	2.69×10^{-3}	3.85×10^{-2}	1.38×10^{-2}
2050	5.48×10^{-4}	8.28×10^{-4}	8.46×10^{-3}	2.10×10^{-3}	4.30×10^{-4}	1.46×10^{-3}	2.75×10^{-2}	9.84×10^{-3}
2060	3.05×10^{-4}	3.79×10^{-4}	5.32×10^{-3}	1.11×10^{-3}	3.34×10^{-4}	1.14×10^{-3}	2.11×10^{-2}	7.70×10^{-3}
2070	2.08×10^{-4}	2.28×10^{-4}	3.85×10^{-3}	7.51×10^{-4}	2.63×10^{-4}	9.10×10^{-4}	1.65×10^{-2}	6.10×10^{-3}
2080	1.57×10^{-4}	1.63×10^{-4}	2.96×10^{-3}	5.83×10^{-4}	2.09×10^{-4}	7.32×10^{-4}	1.31×10^{-2}	4.85×10^{-3}
2090	1.23×10^{-4}	1.27×10^{-4}	2.33×10^{-3}	4.79×10^{-4}	1.66×10^{-4}	5.91×10^{-4}	1.04×10^{-2}	3.86×10^{-3}
2100	9.76×10^{-5}	1.01×10^{-4}	1.85×10^{-3}	4.04×10^{-4}	1.32×10^{-4}	4.79×10^{-4}	8.26×10^{-3}	3.08×10^{-3}
2110	7.81×10^{-5}	8.24×10^{-5}	1.47×10^{-3}	3.47×10^{-4}	1.05×10^{-4}	3.91×10^{-4}	6.54×10^{-3}	2.46×10^{-3}
2120	6.27×10^{-5}	6.75×10^{-5}	1.17×10^{-3}	3.02×10^{-4}	8.38×10^{-5}	3.20×10^{-4}	5.22×10^{-3}	1.97×10^{-3}
2130	5.05×10^{-5}	5.58×10^{-5}	9.31×10^{-4}	2.66×10^{-4}	6.68×10^{-5}	2.64×10^{-4}	4.16×10^{-3}	1.58×10^{-3}
2140	4.08×10^{-5}	4.65×10^{-5}	7.43×10^{-4}	2.37×10^{-4}	5.33×10^{-5}	2.19×10^{-4}	3.31×10^{-3}	1.26×10^{-3}
2150	3.31×10^{-5}	3.91×10^{-5}	5.93×10^{-4}	2.14×10^{-4}	4.26×10^{-5}	1.83×10^{-4}	2.63×10^{-3}	1.02×10^{-3}
2160	2.70×10^{-5}	3.31×10^{-5}	4.73×10^{-4}	1.95×10^{-4}	3.41×10^{-5}	1.55×10^{-4}	2.10×10^{-3}	8.19×10^{-4}
2170	2.21×10^{-5}	2.84×10^{-5}	3.79×10^{-4}	1.80×10^{-4}	2.73×10^{-5}	1.32×10^{-4}	1.67×10^{-3}	6.62×10^{-4}
2180	1.82×10^{-5}	2.46×10^{-5}	3.03×10^{-4}	1.68×10^{-4}	2.19×10^{-5}	1.14×10^{-4}	1.33×10^{-3}	5.37×10^{-4}
2190	1.51×10^{-5}	2.16×10^{-5}	2.43×10^{-4}	1.58×10^{-4}	1.76×10^{-5}	9.89×10^{-5}	1.06×10^{-3}	4.38×10^{-4}
2200	1.26×10^{-5}	1.91×10^{-5}	1.96×10^{-4}	1.49×10^{-4}	1.42×10^{-5}	8.72×10^{-5}	8.50×10^{-4}	3.59×10^{-4}
2210	1.07×10^{-5}	1.72×10^{-5}	1.58×10^{-4}	1.43×10^{-4}	1.15×10^{-5}	7.78×10^{-5}	6.80×10^{-4}	2.96×10^{-4}
2220	9.09×10^{-6}	1.56×10^{-5}	1.28×10^{-4}	1.37×10^{-4}	9.32×10^{-6}	7.02×10^{-5}	5.45×10^{-4}	2.46×10^{-4}
2230	7.83×10^{-6}	1.43×10^{-5}	1.04×10^{-4}	1.32×10^{-4}	7.61×10^{-6}	6.41×10^{-5}	4.37×10^{-4}	2.06×10^{-4}
2240	6.83×10^{-6}	1.33×10^{-5}	8.45×10^{-5}	1.29×10^{-4}	6.24×10^{-6}	5.91×10^{-5}	3.52×10^{-4}	1.74×10^{-4}
2260	5.37×10^{-6}	1.17×10^{-5}	5.72×10^{-5}	1.22×10^{-4}	4.28×10^{-6}	5.17×10^{-5}	2.30×10^{-4}	1.28×10^{-4}
2280	4.43×10^{-6}	1.07×10^{-5}	3.99×10^{-5}	1.18×10^{-4}	3.04×10^{-6}	4.67×10^{-5}	1.53×10^{-4}	9.85×10^{-5}
2300	3.82×10^{-6}	9.93×10^{-6}	2.88×10^{-5}	1.14×10^{-4}	2.25×10^{-6}	4.31×10^{-5}	1.04×10^{-4}	7.95×10^{-5}
2320	3.40×10^{-6}	9.39×10^{-6}	2.18×10^{-5}	1.11×10^{-4}	1.75×10^{-6}	4.06×10^{-5}	7.26×10^{-5}	6.71×10^{-5}
2340	3.12×10^{-6}	8.98×10^{-6}	1.73×10^{-5}	1.08×10^{-4}	1.42×10^{-6}	3.86×10^{-5}	5.29×10^{-5}	5.89×10^{-5}

備註：NPP2 為核能二廠、NPP3 為核能三廠。

表 5.3-8 低放貯存場廢棄物鑽心表面劑量率衰減分析(3)

單位：mSv/hr

廢棄物源	減容廢棄物	檢整廢棄物	檢整廢棄物
分類	A0	A0	C
2040	3.08×10^{-4}	5.38×10^{-4}	6.70×10^{-3}
2050	1.64×10^{-4}	2.49×10^{-4}	1.02×10^{-3}
2060	1.16×10^{-4}	1.92×10^{-4}	8.41×10^{-4}
2070	8.84×10^{-5}	1.52×10^{-4}	7.08×10^{-4}
2080	6.95×10^{-5}	1.21×10^{-4}	6.04×10^{-4}
2090	5.53×10^{-5}	9.74×10^{-5}	5.21×10^{-4}
2100	4.42×10^{-5}	7.84×10^{-5}	4.54×10^{-4}
2110	3.55×10^{-5}	6.34×10^{-5}	4.01×10^{-4}
2120	2.85×10^{-5}	5.15×10^{-5}	3.57×10^{-4}
2130	2.30×10^{-5}	4.19×10^{-5}	3.22×10^{-4}
2140	1.86×10^{-5}	3.44×10^{-5}	2.94×10^{-4}
2150	1.51×10^{-5}	2.83×10^{-5}	2.71×10^{-4}
2160	1.23×10^{-5}	2.35×10^{-5}	2.52×10^{-4}
2170	1.01×10^{-5}	1.97×10^{-5}	2.36×10^{-4}
2180	8.37×10^{-6}	1.66×10^{-5}	2.23×10^{-4}
2190	6.97×10^{-6}	1.42×10^{-5}	2.12×10^{-4}
2200	5.86×10^{-6}	1.22×10^{-5}	2.03×10^{-4}
2210	4.97×10^{-6}	1.06×10^{-5}	1.95×10^{-4}
2220	4.26×10^{-6}	9.36×10^{-6}	1.88×10^{-4}
2230	3.69×10^{-6}	8.35×10^{-6}	1.83×10^{-4}
2240	3.24×10^{-6}	7.53×10^{-6}	1.77×10^{-4}
2260	2.58×10^{-6}	6.33×10^{-6}	1.68×10^{-4}
2280	2.16×10^{-6}	5.53×10^{-6}	1.62×10^{-4}
2300	1.89×10^{-6}	4.98×10^{-6}	1.56×10^{-4}
2320	1.70×10^{-6}	4.59×10^{-6}	1.50×10^{-4}
2340	1.58×10^{-6}	4.31×10^{-6}	1.45×10^{-4}

表 5.3-9 除役廢棄物鑽心表面劑量率衰減分析

單位：mSv/hr

廢棄物源	BWR 反應器內部組件	BWR 濕性廢棄物(固化後)	BWR 反應器內部組件	PWR 頂部爐心柱	PWR 上部爐心桶	PWR 底部支撐柱
分類	A0	B	C	A0	B	C
2040	3.09×10^{-1}	3.13	7.79×10^1	3.68×10^{-1}	2.36×10^1	4.72×10^2
2050	8.31×10^{-2}	1.13	2.09×10^1	9.88×10^{-2}	6.34	1.27×10^2
2060	2.23×10^{-2}	5.38×10^{-1}	5.62	2.65×10^{-2}	1.70	3.40×10^1
2070	6.01×10^{-3}	3.30×10^{-1}	1.51	7.13×10^{-3}	4.57×10^{-1}	9.15
2080	1.63×10^{-3}	2.36×10^{-1}	4.11×10^{-1}	1.92×10^{-3}	1.23×10^{-1}	2.46
2090	4.56×10^{-4}	1.81×10^{-1}	1.15×10^{-1}	5.19×10^{-4}	3.33×10^{-2}	6.66×10^{-1}
2100	1.41×10^{-4}	1.42×10^{-1}	3.54×10^{-2}	1.43×10^{-4}	9.19×10^{-3}	1.84×10^{-1}
2110	5.59×10^{-5}	1.13×10^{-1}	1.41×10^{-2}	4.23×10^{-5}	2.72×10^{-3}	5.43×10^{-2}
2120	3.31×10^{-5}	8.96×10^{-2}	8.33×10^{-3}	1.53×10^{-5}	9.79×10^{-4}	1.96×10^{-2}
2130	2.70×10^{-5}	7.14×10^{-2}	6.79×10^{-3}	7.98×10^{-6}	5.12×10^{-4}	1.03×10^{-2}
2140	2.53×10^{-5}	5.69×10^{-2}	6.37×10^{-3}	6.03×10^{-6}	3.87×10^{-4}	7.74×10^{-3}
2150	2.49×10^{-5}	4.54×10^{-2}	6.26×10^{-3}	5.51×10^{-6}	3.53×10^{-4}	7.07×10^{-3}
2160	2.48×10^{-5}	3.63×10^{-2}	6.23×10^{-3}	5.36×10^{-6}	3.44×10^{-4}	6.88×10^{-3}
2170	2.47×10^{-5}	2.90×10^{-2}	6.22×10^{-3}	5.32×10^{-6}	3.42×10^{-4}	6.83×10^{-3}
2180	2.47×10^{-5}	2.32×10^{-2}	6.22×10^{-3}	5.31×10^{-6}	3.41×10^{-4}	6.82×10^{-3}
2190	2.47×10^{-5}	1.86×10^{-2}	6.21×10^{-3}	5.31×10^{-6}	3.41×10^{-4}	6.81×10^{-3}
2200	2.47×10^{-5}	1.50×10^{-2}	6.21×10^{-3}	5.31×10^{-6}	3.41×10^{-4}	6.81×10^{-3}
2210	2.47×10^{-5}	1.21×10^{-2}	6.21×10^{-3}	5.30×10^{-6}	3.40×10^{-4}	6.81×10^{-3}
2220	2.47×10^{-5}	9.78×10^{-3}	6.21×10^{-3}	5.30×10^{-6}	3.40×10^{-4}	6.81×10^{-3}
2230	2.47×10^{-5}	7.95×10^{-3}	6.21×10^{-3}	5.30×10^{-6}	3.40×10^{-4}	6.80×10^{-3}
2240	2.47×10^{-5}	6.50×10^{-3}	6.21×10^{-3}	5.30×10^{-6}	3.40×10^{-4}	6.80×10^{-3}
2260	2.46×10^{-5}	4.42×10^{-3}	6.20×10^{-3}	5.30×10^{-6}	3.40×10^{-4}	6.80×10^{-3}
2280	2.46×10^{-5}	3.10×10^{-3}	6.20×10^{-3}	5.29×10^{-6}	3.40×10^{-4}	6.79×10^{-3}
2300	2.46×10^{-5}	2.27×10^{-3}	6.20×10^{-3}	5.29×10^{-6}	3.40×10^{-4}	6.79×10^{-3}
2320	2.46×10^{-5}	1.74×10^{-3}	6.19×10^{-3}	5.29×10^{-6}	3.39×10^{-4}	6.79×10^{-3}
2340	2.46×10^{-5}	1.41×10^{-3}	6.19×10^{-3}	5.29×10^{-6}	3.39×10^{-4}	6.78×10^{-3}

表 5.3-10 台東縣達仁鄉建議候選場址鑽探情節之鑽探人員曝露劑量(1)

單位：mSv

廢棄物源	核能電廠運轉廢棄物											
	NPP1 固化 廢棄物	NPP1 固化 廢棄物	NPP1 固化 廢棄物	NPP1 樹脂 廢棄物	NPP2 固化 廢棄物	NPP2 樹脂 廢棄物	NPP2 樹脂 廢棄物	NPP2 固化 廢棄物	NPP3 固化 廢棄物	NPP3 樹脂 廢棄物	NPP3 樹脂 廢棄物	NPP3 樹脂 廢棄物
分類	A0	A1	B	C	A0	A1	B	C	A0	A1	B	C
2040	3.12×10^{-1}	2.46×10^{-1}	2.05	3.45	1.99×10^{-2}	3.20	8.32	1.79	4.07×10^{-2}	3.91×10^{-1}	5.11	1.47
2050	1.59×10^{-1}	1.32×10^{-1}	1.06	1.46	5.59×10^{-3}	8.74×10^{-1}	2.41	6.26×10^{-1}	1.84×10^{-2}	2.09×10^{-1}	2.12	7.45×10^{-1}
2060	1.06×10^{-1}	9.56×10^{-2}	6.98×10^{-1}	8.74×10^{-1}	1.72×10^{-3}	2.51×10^{-1}	7.96×10^{-1}	3.44×10^{-1}	1.13×10^{-2}	1.66×10^{-1}	1.18	5.12×10^{-1}
2070	7.98×10^{-2}	7.75×10^{-2}	5.21×10^{-1}	6.37×10^{-1}	6.37×10^{-4}	8.23×10^{-2}	3.36×10^{-1}	2.64×10^{-1}	8.36×10^{-3}	1.47×10^{-1}	8.05×10^{-1}	4.02×10^{-1}
2080	6.37×10^{-2}	6.60×10^{-2}	4.10×10^{-1}	5.08×10^{-1}	3.10×10^{-4}	3.62×10^{-2}	1.91×10^{-1}	2.38×10^{-1}	6.76×10^{-3}	1.36×10^{-1}	6.11×10^{-1}	3.36×10^{-1}
2090	5.21×10^{-2}	5.74×10^{-2}	3.29×10^{-1}	4.20×10^{-1}	1.95×10^{-4}	2.30×10^{-2}	1.35×10^{-1}	2.27×10^{-1}	5.69×10^{-3}	1.27×10^{-1}	4.84×10^{-1}	2.88×10^{-1}
2100	4.32×10^{-2}	5.08×10^{-2}	2.67×10^{-1}	3.54×10^{-1}	1.41×10^{-4}	1.88×10^{-2}	1.07×10^{-1}	2.20×10^{-1}	4.88×10^{-3}	1.21×10^{-1}	3.90×10^{-1}	2.51×10^{-1}
2110	3.62×10^{-2}	4.54×10^{-2}	2.18×10^{-1}	3.03×10^{-1}	1.09×10^{-4}	1.71×10^{-2}	8.82×10^{-2}	2.14×10^{-1}	4.25×10^{-3}	1.15×10^{-1}	3.18×10^{-1}	2.22×10^{-1}
2120	3.06×10^{-2}	4.11×10^{-2}	1.79×10^{-1}	2.61×10^{-1}	8.65×10^{-5}	1.62×10^{-2}	7.45×10^{-2}	2.09×10^{-1}	3.74×10^{-3}	1.10×10^{-1}	2.60×10^{-1}	1.98×10^{-1}
2130	2.61×10^{-2}	3.75×10^{-2}	1.48×10^{-1}	2.28×10^{-1}	6.92×10^{-5}	1.55×10^{-2}	6.39×10^{-2}	2.05×10^{-1}	3.33×10^{-3}	1.06×10^{-1}	2.14×10^{-1}	1.79×10^{-1}
2140	2.25×10^{-2}	3.46×10^{-2}	1.24×10^{-1}	2.02×10^{-1}	5.56×10^{-5}	1.50×10^{-2}	5.54×10^{-2}	2.01×10^{-1}	3.00×10^{-3}	1.03×10^{-1}	1.78×10^{-1}	1.63×10^{-1}
2150	1.96×10^{-2}	3.22×10^{-2}	1.04×10^{-1}	1.80×10^{-1}	4.48×10^{-5}	1.45×10^{-2}	4.86×10^{-2}	1.97×10^{-1}	2.73×10^{-3}	9.94×10^{-2}	1.49×10^{-1}	1.50×10^{-1}
2160	1.73×10^{-2}	3.02×10^{-2}	8.82×10^{-2}	1.63×10^{-1}	3.60×10^{-5}	1.41×10^{-2}	4.32×10^{-2}	1.93×10^{-1}	2.51×10^{-3}	9.66×10^{-2}	1.26×10^{-1}	1.40×10^{-1}
2170	1.54×10^{-2}	2.86×10^{-2}	7.55×10^{-2}	1.48×10^{-1}	2.95×10^{-5}	1.37×10^{-2}	3.88×10^{-2}	1.90×10^{-1}	2.33×10^{-3}	9.41×10^{-2}	1.07×10^{-1}	1.31×10^{-1}
2180	1.39×10^{-2}	2.72×10^{-2}	6.54×10^{-2}	1.37×10^{-1}	2.41×10^{-5}	1.34×10^{-2}	3.52×10^{-2}	1.86×10^{-1}	2.18×10^{-3}	9.18×10^{-2}	9.20×10^{-2}	1.23×10^{-1}
2190	1.26×10^{-2}	2.60×10^{-2}	5.72×10^{-2}	1.27×10^{-1}	1.98×10^{-5}	1.31×10^{-2}	3.23×10^{-2}	1.83×10^{-1}	2.05×10^{-3}	8.98×10^{-2}	8.00×10^{-2}	1.17×10^{-1}
2200	1.16×10^{-2}	2.49×10^{-2}	5.07×10^{-2}	1.19×10^{-1}	1.64×10^{-5}	1.28×10^{-2}	2.99×10^{-2}	1.80×10^{-1}	1.95×10^{-3}	8.78×10^{-2}	7.04×10^{-2}	1.12×10^{-1}
2210	1.08×10^{-2}	2.40×10^{-2}	4.53×10^{-2}	1.13×10^{-1}	1.37×10^{-5}	1.26×10^{-2}	2.79×10^{-2}	1.77×10^{-1}	1.86×10^{-3}	8.60×10^{-2}	6.25×10^{-2}	1.08×10^{-1}
2220	1.01×10^{-2}	2.33×10^{-2}	4.10×10^{-2}	1.07×10^{-1}	1.15×10^{-5}	1.23×10^{-2}	2.63×10^{-2}	1.74×10^{-1}	1.79×10^{-3}	8.43×10^{-2}	5.62×10^{-2}	1.04×10^{-1}
2230	9.51×10^{-3}	2.26×10^{-2}	3.75×10^{-2}	1.02×10^{-1}	9.73×10^{-6}	1.21×10^{-2}	2.50×10^{-2}	1.71×10^{-1}	1.72×10^{-3}	8.27×10^{-2}	5.11×10^{-2}	1.00×10^{-1}
2240	9.03×10^{-3}	2.19×10^{-2}	3.46×10^{-2}	9.83×10^{-2}	8.35×10^{-6}	1.19×10^{-2}	2.38×10^{-2}	1.68×10^{-1}	1.67×10^{-3}	8.12×10^{-2}	4.69×10^{-2}	9.74×10^{-2}
2260	8.28×10^{-3}	2.09×10^{-2}	3.03×10^{-2}	9.18×10^{-2}	6.35×10^{-6}	1.15×10^{-2}	2.20×10^{-2}	1.63×10^{-1}	1.58×10^{-3}	7.84×10^{-2}	4.05×10^{-2}	9.23×10^{-2}
2280	7.72×10^{-3}	1.99×10^{-2}	2.73×10^{-2}	8.67×10^{-2}	5.06×10^{-6}	1.11×10^{-2}	2.06×10^{-2}	1.58×10^{-1}	1.50×10^{-3}	7.57×10^{-2}	3.62×10^{-2}	8.81×10^{-2}
2300	7.29×10^{-3}	1.91×10^{-2}	2.51×10^{-2}	8.26×10^{-2}	4.23×10^{-6}	1.07×10^{-2}	1.96×10^{-2}	1.53×10^{-1}	1.45×10^{-3}	7.32×10^{-2}	3.30×10^{-2}	8.45×10^{-2}
2320	6.93×10^{-3}	1.84×10^{-2}	2.35×10^{-2}	7.91×10^{-2}	3.68×10^{-6}	1.04×10^{-2}	1.87×10^{-2}	1.48×10^{-1}	1.39×10^{-3}	7.08×10^{-2}	3.07×10^{-2}	8.12×10^{-2}
2340	6.63×10^{-3}	1.78×10^{-2}	2.22×10^{-2}	7.61×10^{-2}	3.31×10^{-6}	1.00×10^{-2}	1.79×10^{-2}	1.44×10^{-1}	1.35×10^{-3}	6.85×10^{-2}	2.89×10^{-2}	7.83×10^{-2}

備註：NPP1 為核能一廠、NPP2 為核能二廠、NPP3 為核能三廠。

表 5.3-11 台東縣達仁鄉建議候選場址鑽探情節之鑽探人員曝露劑量(2)

單位：mSv

廢棄物源	低放貯存場廢棄物								
	INER 可燃廢棄物	INER 可燃廢棄物	INER 可燃廢棄物	INER 可燃廢棄物	NPP1 固化廢棄物	NPP1 固化廢棄物	NPP1 固化廢棄物	NPP1 樹脂廢棄物	NPP2 固化廢棄物
分類	A0	A1	B	C	A0	A1	B	C	A0
2040	1.71×10^{-1}	1.15×10^{-1}	5.29×10^{-1}	2.22	1.45×10^{-1}	1.19×10^{-1}	9.32×10^{-1}	9.99×10^{-1}	4.65×10^{-2}
2050	1.31×10^{-1}	8.47×10^{-2}	4.18×10^{-1}	1.75	1.02×10^{-1}	9.18×10^{-2}	6.64×10^{-1}	7.66×10^{-1}	2.31×10^{-2}
2060	1.08×10^{-1}	6.89×10^{-2}	3.36×10^{-1}	1.47	8.06×10^{-2}	7.94×10^{-2}	5.15×10^{-1}	6.37×10^{-1}	1.62×10^{-2}
2070	8.96×10^{-2}	5.71×10^{-2}	2.72×10^{-1}	1.24	6.59×10^{-2}	7.01×10^{-2}	4.11×10^{-1}	5.46×10^{-1}	1.34×10^{-2}
2080	7.51×10^{-2}	4.78×10^{-2}	2.22×10^{-1}	1.06	5.48×10^{-2}	6.27×10^{-2}	3.33×10^{-1}	4.76×10^{-1}	1.19×10^{-2}
2090	6.35×10^{-2}	4.04×10^{-2}	1.82×10^{-1}	9.20×10^{-1}	4.61×10^{-2}	5.68×10^{-2}	2.72×10^{-1}	4.20×10^{-1}	1.08×10^{-2}
2100	5.42×10^{-2}	3.45×10^{-2}	1.50×10^{-1}	8.07×10^{-1}	3.91×10^{-2}	5.19×10^{-2}	2.23×10^{-1}	3.76×10^{-1}	1.00×10^{-2}
2110	4.68×10^{-2}	2.98×10^{-2}	1.24×10^{-1}	7.17×10^{-1}	3.36×10^{-2}	4.80×10^{-2}	1.85×10^{-1}	3.40×10^{-1}	9.38×10^{-3}
2120	4.08×10^{-2}	2.61×10^{-2}	1.04×10^{-1}	6.46×10^{-1}	2.91×10^{-2}	4.48×10^{-2}	1.54×10^{-1}	3.11×10^{-1}	8.85×10^{-3}
2130	3.61×10^{-2}	2.30×10^{-2}	8.84×10^{-2}	5.89×10^{-1}	2.56×10^{-2}	4.22×10^{-2}	1.30×10^{-1}	2.88×10^{-1}	8.41×10^{-3}
2140	3.22×10^{-2}	2.06×10^{-2}	7.57×10^{-2}	5.44×10^{-1}	2.27×10^{-2}	4.00×10^{-2}	1.10×10^{-1}	2.70×10^{-1}	8.04×10^{-3}
2150	2.91×10^{-2}	1.86×10^{-2}	5.55×10^{-2}	5.08×10^{-1}	2.04×10^{-2}	3.81×10^{-2}	9.45×10^{-2}	2.54×10^{-1}	7.73×10^{-3}
2160	2.66×10^{-2}	1.70×10^{-2}	5.75×10^{-2}	4.80×10^{-1}	1.86×10^{-2}	3.66×10^{-2}	8.19×10^{-2}	2.42×10^{-1}	7.47×10^{-3}
2170	2.45×10^{-2}	1.57×10^{-2}	5.12×10^{-2}	4.57×10^{-1}	1.71×10^{-2}	3.53×10^{-2}	7.18×10^{-2}	2.31×10^{-1}	7.24×10^{-3}
2180	2.29×10^{-2}	1.46×10^{-2}	4.61×10^{-2}	4.39×10^{-1}	1.58×10^{-2}	3.42×10^{-2}	6.38×10^{-2}	2.23×10^{-1}	7.05×10^{-3}
2190	2.15×10^{-2}	1.37×10^{-2}	4.21×10^{-2}	4.25×10^{-1}	1.48×10^{-2}	3.32×10^{-2}	5.72×10^{-2}	2.16×10^{-1}	6.87×10^{-3}
2200	2.03×10^{-2}	1.30×10^{-2}	3.89×10^{-2}	4.13×10^{-1}	1.40×10^{-2}	3.24×10^{-2}	5.20×10^{-2}	2.10×10^{-1}	6.72×10^{-3}
2210	1.94×10^{-2}	1.24×10^{-2}	3.63×10^{-2}	4.04×10^{-1}	1.33×10^{-2}	3.17×10^{-2}	4.77×10^{-2}	2.05×10^{-1}	6.58×10^{-3}
2220	1.86×10^{-2}	1.19×10^{-2}	3.43×10^{-2}	3.97×10^{-1}	1.28×10^{-2}	3.10×10^{-2}	4.42×10^{-2}	2.01×10^{-1}	6.45×10^{-3}
2230	1.79×10^{-2}	1.14×10^{-2}	3.27×10^{-2}	3.91×10^{-1}	1.25×10^{-2}	3.04×10^{-2}	4.13×10^{-2}	1.97×10^{-1}	6.34×10^{-3}
2240	1.74×10^{-2}	1.10×10^{-2}	3.14×10^{-2}	3.87×10^{-1}	1.19×10^{-2}	2.99×10^{-2}	3.90×10^{-2}	1.94×10^{-1}	6.23×10^{-3}
2260	1.64×10^{-2}	1.04×10^{-2}	2.96×10^{-2}	3.80×10^{-1}	1.13×10^{-2}	2.89×10^{-2}	3.54×10^{-2}	1.88×10^{-1}	6.03×10^{-3}
2280	1.57×10^{-2}	9.95×10^{-3}	2.84×10^{-2}	3.76×10^{-1}	1.08×10^{-2}	2.81×10^{-2}	3.29×10^{-2}	1.84×10^{-1}	5.86×10^{-3}
2300	1.51×10^{-2}	9.55×10^{-3}	2.77×10^{-2}	3.73×10^{-1}	1.04×10^{-2}	2.73×10^{-2}	3.10×10^{-2}	1.80×10^{-1}	5.70×10^{-3}
2320	1.46×10^{-2}	9.20×10^{-3}	2.72×10^{-2}	3.71×10^{-1}	1.01×10^{-2}	2.67×10^{-2}	2.96×10^{-2}	1.77×10^{-1}	5.55×10^{-3}
2340	1.42×10^{-2}	8.90×10^{-3}	2.69×10^{-2}	3.70×10^{-1}	9.79×10^{-3}	2.60×10^{-2}	2.84×10^{-2}	1.74×10^{-1}	5.41×10^{-3}

備註：INER 為核能研究所、NPP1 為核能一廠、NPP2 為核能二廠。

表 5.3-12 台東縣達仁鄉建議候選場址鑽探情節之鑽探人員曝露劑量(3)

單位：mSv

	低放貯存場廢棄物								
廢棄物源	NPP2 固化廢棄物	NPP2 樹脂廢棄物	NPP2 固化廢棄物	NPP3 樹脂廢棄物	NPP3 樹脂廢棄物	NPP3 樹脂廢棄物	NPP3 樹脂廢棄物	減容中心廢棄物	檢整廢棄物
分類	A1	B	C	A0	A1	B	C	A0	A0
2040	1.06×10^{-1}	5.22×10^{-1}	4.63×10^{-1}	2.05×10^{-2}	1.97×10^{-1}	1.16	5.38×10^{-1}	1.02×10^{-2}	2.70×10^{-2}
2050	5.70×10^{-2}	2.71×10^{-1}	3.11×10^{-1}	1.50×10^{-2}	1.61×10^{-1}	8.51×10^{-1}	4.26×10^{-1}	6.14×10^{-3}	1.89×10^{-2}
2060	4.42×10^{-2}	1.82×10^{-1}	2.81×10^{-1}	1.23×10^{-2}	1.51×10^{-1}	6.70×10^{-1}	3.64×10^{-1}	4.78×10^{-3}	1.73×10^{-2}
2070	3.96×10^{-2}	1.41×10^{-1}	2.69×10^{-1}	1.03×10^{-2}	1.43×10^{-1}	5.42×10^{-1}	3.17×10^{-1}	4.01×10^{-3}	1.62×10^{-2}
2080	3.74×10^{-2}	1.15×10^{-1}	2.61×10^{-1}	8.69×10^{-3}	1.36×10^{-1}	4.44×10^{-1}	2.79×10^{-1}	3.49×10^{-3}	1.53×10^{-2}
2090	3.60×10^{-2}	9.68×10^{-2}	2.55×10^{-1}	7.45×10^{-3}	1.31×10^{-1}	3.67×10^{-1}	2.50×10^{-1}	3.09×10^{-3}	1.47×10^{-2}
2100	3.49×10^{-2}	8.27×10^{-2}	2.50×10^{-1}	6.45×10^{-3}	1.26×10^{-1}	3.06×10^{-1}	2.25×10^{-1}	2.78×10^{-3}	1.41×10^{-2}
2110	3.40×10^{-2}	7.16×10^{-2}	2.46×10^{-1}	5.65×10^{-3}	1.22×10^{-1}	2.56×10^{-1}	2.06×10^{-1}	2.53×10^{-3}	1.37×10^{-2}
2120	3.32×10^{-2}	6.27×10^{-2}	2.41×10^{-1}	5.01×10^{-3}	1.18×10^{-1}	2.19×10^{-1}	1.90×10^{-1}	2.34×10^{-3}	1.34×10^{-2}
2130	3.25×10^{-2}	5.56×10^{-2}	2.37×10^{-1}	4.50×10^{-3}	1.15×10^{-1}	1.88×10^{-1}	1.77×10^{-1}	2.18×10^{-3}	1.31×10^{-2}
2140	3.19×10^{-2}	4.98×10^{-2}	2.33×10^{-1}	4.08×10^{-3}	1.12×10^{-1}	1.63×10^{-1}	1.66×10^{-1}	2.06×10^{-3}	1.29×10^{-2}
2150	3.14×10^{-2}	4.52×10^{-2}	2.30×10^{-1}	3.74×10^{-3}	1.10×10^{-1}	1.43×10^{-1}	1.57×10^{-1}	1.96×10^{-3}	1.27×10^{-2}
2160	3.09×10^{-2}	4.15×10^{-2}	2.26×10^{-1}	3.47×10^{-3}	1.08×10^{-1}	1.27×10^{-1}	1.50×10^{-1}	1.88×10^{-3}	1.26×10^{-2}
2170	3.04×10^{-2}	3.84×10^{-2}	2.23×10^{-1}	3.24×10^{-3}	1.06×10^{-1}	1.14×10^{-1}	1.43×10^{-1}	1.82×10^{-3}	1.25×10^{-2}
2180	3.00×10^{-2}	3.59×10^{-2}	2.20×10^{-1}	3.06×10^{-3}	1.04×10^{-1}	1.04×10^{-1}	1.38×10^{-1}	1.77×10^{-3}	1.24×10^{-2}
2190	2.96×10^{-2}	3.38×10^{-2}	2.17×10^{-1}	2.90×10^{-3}	1.02×10^{-1}	9.59×10^{-2}	1.34×10^{-1}	1.73×10^{-3}	1.23×10^{-2}
2200	2.92×10^{-2}	3.21×10^{-2}	2.14×10^{-1}	2.78×10^{-3}	1.00×10^{-1}	8.92×10^{-2}	1.30×10^{-1}	1.70×10^{-3}	1.23×10^{-2}
2210	2.89×10^{-2}	3.07×10^{-2}	2.11×10^{-1}	2.67×10^{-3}	9.86×10^{-2}	8.37×10^{-2}	1.26×10^{-1}	1.68×10^{-3}	1.22×10^{-2}
2220	2.85×10^{-2}	2.95×10^{-2}	2.08×10^{-1}	2.58×10^{-3}	9.70×10^{-2}	7.93×10^{-2}	1.23×10^{-1}	1.66×10^{-3}	1.22×10^{-2}
2230	2.82×10^{-2}	2.85×10^{-2}	2.05×10^{-1}	2.51×10^{-3}	9.56×10^{-2}	7.56×10^{-2}	1.20×10^{-1}	1.64×10^{-3}	1.22×10^{-2}
2240	2.79×10^{-2}	2.76×10^{-2}	2.03×10^{-1}	2.44×10^{-3}	9.42×10^{-2}	7.26×10^{-2}	1.18×10^{-1}	1.63×10^{-3}	1.21×10^{-2}
2260	2.73×10^{-2}	2.62×10^{-2}	1.97×10^{-1}	2.33×10^{-3}	9.15×10^{-2}	6.80×10^{-2}	1.14×10^{-1}	1.61×10^{-3}	1.21×10^{-2}
2280	2.68×10^{-2}	2.51×10^{-2}	1.92×10^{-1}	2.25×10^{-3}	8.90×10^{-2}	6.47×10^{-2}	1.10×10^{-1}	1.60×10^{-3}	1.21×10^{-2}
2300	2.63×10^{-2}	2.42×10^{-2}	1.88×10^{-1}	2.17×10^{-3}	8.66×10^{-2}	6.23×10^{-2}	1.07×10^{-1}	1.59×10^{-3}	1.21×10^{-2}
2320	2.58×10^{-2}	2.34×10^{-2}	1.83×10^{-1}	2.11×10^{-3}	8.43×10^{-2}	6.04×10^{-2}	1.04×10^{-1}	1.59×10^{-3}	1.21×10^{-2}
2340	2.53×10^{-2}	2.27×10^{-2}	1.79×10^{-1}	2.06×10^{-3}	8.21×10^{-2}	5.89×10^{-2}	1.01×10^{-1}	1.58×10^{-3}	1.21×10^{-2}

備註：NPP2 為核能二廠、NPP3 為核能三廠。

表 5.3-13 台東縣達仁鄉建議候選場址鑽探情節之鑽探人員曝露劑量(4)

單位：mSv

廢棄物源	低放貯存場廢棄物	除役廢棄物					
	檢整廢棄物	BWR 反應器內部組件	BWR 濕性廢棄物 (固化後)	BWR 反應器內部組件	PWR 頂部爐心柱	PWR 上部爐心桶	PWR 底部支撐柱
分類	C	A0	B	C	A0	B	C
2040	3.56×10^{-1}	8.68	$8.78 \times 10^{+1}$	$2.18 \times 10^{+3}$	$1.03 \times 10^{+1}$	$6.62 \times 10^{+2}$	$1.32 \times 10^{+4}$
2050	1.97×10^{-1}	2.33	$3.19 \times 10^{+1}$	$5.87 \times 10^{+2}$	2.77	$1.78 \times 10^{+2}$	$3.55 \times 10^{+3}$
2060	1.92×10^{-1}	6.28×10^{-1}	$1.52 \times 10^{+1}$	$1.58 \times 10^{+2}$	7.44×10^{-1}	$4.77 \times 10^{+1}$	$9.54 \times 10^{+2}$
2070	1.88×10^{-1}	1.71×10^{-1}	9.35	$4.31 \times 10^{+1}$	2.00×10^{-1}	$1.28 \times 10^{+1}$	$2.57 \times 10^{+2}$
2080	1.85×10^{-1}	4.81×10^{-2}	6.72	$1.21 \times 10^{+1}$	5.40×10^{-2}	3.47	$6.93 \times 10^{+1}$
2090	1.83×10^{-1}	1.50×10^{-2}	5.16	3.78	1.48×10^{-2}	9.52×10^{-1}	$1.90 \times 10^{+1}$
2100	1.81×10^{-1}	6.00×10^{-3}	4.06	1.51	4.29×10^{-3}	2.75×10^{-1}	5.51
2110	1.79×10^{-1}	3.49×10^{-3}	3.23	8.80×10^{-1}	1.45×10^{-3}	9.30×10^{-2}	1.86
2120	1.78×10^{-1}	2.72×10^{-3}	2.57	6.87×10^{-1}	6.74×10^{-4}	4.32×10^{-2}	8.64×10^{-1}
2130	1.77×10^{-1}	2.43×10^{-3}	2.06	6.14×10^{-1}	4.54×10^{-4}	2.91×10^{-2}	5.82×10^{-1}
2140	1.76×10^{-1}	2.28×10^{-3}	1.65	5.74×10^{-1}	3.84×10^{-4}	2.46×10^{-2}	4.92×10^{-1}
2150	1.76×10^{-1}	2.16×10^{-3}	1.33	5.45×10^{-1}	3.55×10^{-4}	2.28×10^{-2}	4.55×10^{-1}
2160	1.75×10^{-1}	2.06×10^{-3}	1.07	5.19×10^{-1}	3.37×10^{-4}	2.17×10^{-2}	4.33×10^{-1}
2170	1.75×10^{-1}	1.97×10^{-3}	8.62×10^{-1}	4.96×10^{-1}	3.24×10^{-4}	2.08×10^{-2}	4.16×10^{-1}
2180	1.74×10^{-1}	1.88×10^{-3}	6.98×10^{-1}	4.75×10^{-1}	3.12×10^{-4}	2.00×10^{-2}	4.00×10^{-1}
2190	1.74×10^{-1}	1.81×10^{-3}	5.68×10^{-1}	4.55×10^{-1}	3.01×10^{-4}	1.93×10^{-2}	3.87×10^{-1}
2200	1.74×10^{-1}	1.73×10^{-3}	4.65×10^{-1}	4.37×10^{-1}	2.91×10^{-4}	1.87×10^{-2}	3.74×10^{-1}
2210	1.74×10^{-1}	1.66×10^{-3}	3.82×10^{-1}	4.19×10^{-1}	2.82×10^{-4}	1.81×10^{-2}	3.61×10^{-1}
2220	1.73×10^{-1}	1.60×10^{-3}	3.17×10^{-1}	4.03×10^{-1}	2.73×10^{-4}	1.75×10^{-2}	3.50×10^{-1}
2230	1.73×10^{-1}	1.54×10^{-3}	2.64×10^{-1}	3.88×10^{-1}	2.65×10^{-4}	1.70×10^{-2}	3.40×10^{-1}
2240	1.73×10^{-1}	1.48×10^{-3}	2.23×10^{-1}	3.74×10^{-1}	2.57×10^{-4}	1.65×10^{-2}	3.30×10^{-1}
2260	1.73×10^{-1}	1.38×10^{-3}	1.63×10^{-1}	3.49×10^{-1}	2.43×10^{-4}	1.56×10^{-2}	3.12×10^{-1}
2280	1.73×10^{-1}	1.30×10^{-3}	1.24×10^{-1}	3.26×10^{-1}	2.31×10^{-4}	1.48×10^{-2}	2.97×10^{-1}
2300	1.73×10^{-1}	1.22×10^{-3}	9.98×10^{-2}	3.07×10^{-1}	2.21×10^{-4}	1.42×10^{-2}	2.83×10^{-1}
2320	1.72×10^{-1}	1.15×10^{-3}	8.39×10^{-2}	2.90×10^{-1}	2.11×10^{-4}	1.36×10^{-2}	2.71×10^{-1}
2340	1.72×10^{-1}	1.09×10^{-3}	7.35×10^{-2}	2.76×10^{-1}	2.03×10^{-4}	1.31×10^{-2}	2.61×10^{-1}

表 5.3-14 金門縣烏坵鄉建議候選場址鑽探情節之鑽探人員曝露劑量(1)

單位：mSv

廢棄物源	核能電廠運轉廢棄物											
	NPP1 固化 廢棄物	NPP1 固化 廢棄物	NPP1 固化 廢棄物	NPP1 樹脂 廢棄物	NPP2 固化 廢棄物	NPP2 樹脂 廢棄物	NPP2 樹脂 廢棄物	NPP2 固化 廢棄物	NPP3 固化 廢棄物	NPP3 樹脂 廢棄物	NPP3 樹脂 廢棄物	NPP3 樹脂 廢棄物
分類	A0	A1	B	C	A0	A1	B	C	A0	A1	B	C
2040	1.22×10^{-1}	9.65×10^{-2}	8.05×10^{-1}	1.36	1.99×10^{-2}	1.26	3.27	7.01×10^{-1}	1.60×10^{-2}	1.54×10^{-1}	2.01	5.76×10^{-1}
2050	6.27×10^{-2}	5.19×10^{-2}	4.15×10^{-1}	5.74×10^{-1}	5.59×10^{-3}	3.43×10^{-1}	9.47×10^{-1}	2.46×10^{-1}	7.23×10^{-3}	8.22×10^{-2}	8.33×10^{-1}	2.93×10^{-1}
2060	4.15×10^{-2}	3.76×10^{-2}	2.74×10^{-1}	3.43×10^{-1}	1.72×10^{-3}	9.85×10^{-2}	3.13×10^{-1}	1.35×10^{-1}	4.43×10^{-3}	6.53×10^{-2}	4.62×10^{-1}	2.01×10^{-1}
2070	3.13×10^{-2}	3.05×10^{-2}	2.05×10^{-1}	2.50×10^{-1}	6.37×10^{-4}	3.23×10^{-2}	1.32×10^{-1}	1.04×10^{-1}	3.28×10^{-3}	5.78×10^{-2}	3.16×10^{-1}	1.58×10^{-1}
2080	2.50×10^{-2}	2.59×10^{-2}	1.61×10^{-1}	2.00×10^{-1}	3.10×10^{-4}	1.42×10^{-2}	7.51×10^{-2}	9.35×10^{-2}	2.66×10^{-3}	5.33×10^{-2}	2.40×10^{-1}	1.32×10^{-1}
2090	2.05×10^{-2}	2.26×10^{-2}	1.29×10^{-1}	1.65×10^{-1}	1.95×10^{-4}	9.04×10^{-3}	5.31×10^{-2}	8.90×10^{-2}	2.24×10^{-3}	5.01×10^{-2}	1.90×10^{-1}	1.13×10^{-1}
2100	1.70×10^{-2}	1.99×10^{-2}	1.05×10^{-1}	1.39×10^{-1}	1.41×10^{-4}	7.39×10^{-3}	4.19×10^{-2}	8.63×10^{-2}	1.92×10^{-3}	4.74×10^{-2}	1.53×10^{-1}	9.86×10^{-2}
2110	1.42×10^{-2}	1.78×10^{-2}	8.57×10^{-2}	1.19×10^{-1}	1.09×10^{-4}	6.73×10^{-3}	3.46×10^{-2}	8.41×10^{-2}	1.67×10^{-3}	4.52×10^{-2}	1.25×10^{-1}	8.71×10^{-2}
2120	1.20×10^{-2}	1.61×10^{-2}	7.05×10^{-2}	1.03×10^{-1}	8.65×10^{-5}	6.36×10^{-3}	2.93×10^{-2}	8.22×10^{-2}	1.47×10^{-3}	4.33×10^{-2}	1.02×10^{-1}	7.77×10^{-2}
2130	1.02×10^{-2}	1.47×10^{-2}	5.83×10^{-2}	8.97×10^{-2}	6.92×10^{-5}	6.10×10^{-3}	2.51×10^{-2}	8.04×10^{-2}	1.31×10^{-3}	4.17×10^{-2}	8.42×10^{-2}	7.02×10^{-2}
2140	8.83×10^{-3}	1.36×10^{-2}	4.86×10^{-2}	7.92×10^{-2}	5.56×10^{-5}	5.89×10^{-3}	2.18×10^{-2}	7.88×10^{-2}	1.18×10^{-3}	4.03×10^{-2}	6.99×10^{-2}	6.40×10^{-2}
2150	7.69×10^{-3}	1.27×10^{-2}	4.08×10^{-2}	7.08×10^{-2}	4.48×10^{-5}	5.70×10^{-3}	1.91×10^{-2}	7.73×10^{-2}	1.07×10^{-3}	3.91×10^{-2}	5.85×10^{-2}	5.89×10^{-2}
2160	6.78×10^{-3}	1.19×10^{-2}	3.46×10^{-2}	6.39×10^{-2}	3.60×10^{-5}	5.54×10^{-3}	1.70×10^{-2}	7.58×10^{-2}	9.85×10^{-4}	3.80×10^{-2}	4.93×10^{-2}	5.48×10^{-2}
2170	6.04×10^{-3}	1.12×10^{-2}	2.97×10^{-2}	5.83×10^{-2}	2.95×10^{-5}	5.40×10^{-3}	1.52×10^{-2}	7.45×10^{-2}	9.14×10^{-4}	3.70×10^{-2}	4.20×10^{-2}	5.14×10^{-2}
2180	5.44×10^{-3}	1.07×10^{-2}	2.57×10^{-2}	5.37×10^{-2}	2.41×10^{-5}	5.27×10^{-3}	1.38×10^{-2}	7.31×10^{-2}	8.55×10^{-4}	3.61×10^{-2}	3.62×10^{-2}	4.85×10^{-2}
2190	4.96×10^{-3}	1.02×10^{-2}	2.25×10^{-2}	5.00×10^{-2}	1.98×10^{-5}	5.15×10^{-3}	1.27×10^{-2}	7.19×10^{-2}	8.06×10^{-4}	3.53×10^{-2}	3.14×10^{-2}	4.61×10^{-2}
2200	4.56×10^{-3}	9.79×10^{-3}	1.99×10^{-2}	4.68×10^{-2}	1.64×10^{-5}	5.04×10^{-3}	1.18×10^{-2}	7.07×10^{-2}	7.66×10^{-4}	3.45×10^{-2}	2.76×10^{-2}	4.40×10^{-2}
2210	4.23×10^{-3}	9.44×10^{-3}	1.78×10^{-2}	4.42×10^{-2}	1.37×10^{-5}	4.94×10^{-3}	1.10×10^{-2}	6.95×10^{-2}	7.31×10^{-4}	3.38×10^{-2}	2.46×10^{-2}	4.23×10^{-2}
2220	3.96×10^{-3}	9.14×10^{-3}	1.61×10^{-2}	4.21×10^{-2}	1.15×10^{-5}	4.84×10^{-3}	1.03×10^{-2}	6.83×10^{-2}	7.02×10^{-4}	3.31×10^{-2}	2.21×10^{-2}	4.08×10^{-2}
2230	3.74×10^{-3}	8.86×10^{-3}	1.47×10^{-2}	4.02×10^{-2}	9.73×10^{-6}	4.75×10^{-3}	9.80×10^{-3}	6.72×10^{-2}	6.77×10^{-4}	3.25×10^{-2}	2.01×10^{-2}	3.94×10^{-2}
2240	3.55×10^{-3}	8.62×10^{-3}	1.36×10^{-2}	3.86×10^{-2}	8.35×10^{-6}	4.66×10^{-3}	9.35×10^{-3}	6.61×10^{-2}	6.55×10^{-4}	3.19×10^{-2}	1.84×10^{-2}	3.83×10^{-2}
2260	3.25×10^{-3}	8.20×10^{-3}	1.19×10^{-2}	3.61×10^{-2}	6.35×10^{-6}	4.50×10^{-3}	8.64×10^{-3}	6.41×10^{-2}	6.20×10^{-4}	3.08×10^{-2}	1.59×10^{-2}	3.63×10^{-2}
2280	3.03×10^{-3}	7.84×10^{-3}	1.07×10^{-2}	3.41×10^{-2}	5.06×10^{-6}	4.35×10^{-3}	8.11×10^{-3}	6.21×10^{-2}	5.91×10^{-4}	2.97×10^{-2}	1.42×10^{-2}	3.46×10^{-2}
2300	2.86×10^{-3}	7.52×10^{-3}	9.86×10^{-3}	3.24×10^{-2}	4.23×10^{-6}	4.21×10^{-3}	7.68×10^{-3}	6.01×10^{-2}	5.68×10^{-4}	2.88×10^{-2}	1.30×10^{-2}	3.32×10^{-2}
2320	2.72×10^{-3}	7.24×10^{-3}	9.22×10^{-3}	3.11×10^{-2}	3.68×10^{-6}	4.07×10^{-3}	7.34×10^{-3}	5.83×10^{-2}	5.48×10^{-4}	2.78×10^{-2}	1.21×10^{-2}	3.19×10^{-2}
2340	2.61×10^{-3}	6.98×10^{-3}	8.71×10^{-3}	2.99×10^{-2}	3.31×10^{-6}	3.94×10^{-3}	7.04×10^{-3}	5.65×10^{-2}	5.30×10^{-4}	2.69×10^{-2}	1.14×10^{-2}	3.08×10^{-2}

備註：NPP1 為核能一廠、NPP2 為核能二廠、NPP3 為核能三廠。

表 5.3-15 金門縣烏坵鄉建議候選場址鑽探情節之鑽探人員曝露劑量(2)

單位：mSv

廢棄物源	低放貯存場廢棄物								
	INER 可燃廢棄物 A0	INER 可燃廢棄物 A1	INER 可燃廢棄物 B	INER 可燃廢棄物 C	NPP1 固化廢棄物 A0	NPP1 固化廢棄物 A1	NPP1 固化廢棄物 B	NPP1 樹脂廢棄物 C	NPP2 固化廢棄物 A0
分類									
2040	6.72×10^{-2}	4.53×10^{-2}	2.08×10^{-1}	8.71×10^{-1}	5.72×10^{-2}	4.68×10^{-2}	3.66×10^{-1}	3.92×10^{-1}	1.83×10^{-2}
2050	5.14×10^{-2}	3.33×10^{-2}	1.64×10^{-1}	6.87×10^{-1}	3.99×10^{-2}	3.60×10^{-2}	2.61×10^{-1}	3.01×10^{-1}	9.09×10^{-3}
2060	4.24×10^{-2}	2.71×10^{-2}	1.32×10^{-1}	5.76×10^{-1}	3.17×10^{-2}	3.12×10^{-2}	2.02×10^{-1}	2.50×10^{-1}	6.38×10^{-3}
2070	3.52×10^{-2}	2.24×10^{-2}	1.07×10^{-1}	4.87×10^{-1}	2.59×10^{-2}	2.75×10^{-2}	1.62×10^{-1}	2.14×10^{-1}	5.27×10^{-3}
2080	2.95×10^{-2}	1.88×10^{-2}	8.71×10^{-2}	4.17×10^{-1}	2.15×10^{-2}	2.46×10^{-2}	1.31×10^{-1}	1.87×10^{-1}	4.67×10^{-3}
2090	2.49×10^{-2}	1.59×10^{-2}	7.14×10^{-2}	3.61×10^{-1}	1.81×10^{-2}	2.23×10^{-2}	1.07×10^{-1}	1.65×10^{-1}	4.26×10^{-3}
2100	2.13×10^{-2}	1.36×10^{-2}	5.88×10^{-2}	3.17×10^{-1}	1.54×10^{-2}	2.04×10^{-2}	8.78×10^{-2}	1.48×10^{-1}	3.94×10^{-3}
2110	1.84×10^{-2}	1.17×10^{-2}	4.89×10^{-2}	2.82×10^{-1}	1.32×10^{-2}	1.89×10^{-2}	7.27×10^{-2}	1.34×10^{-1}	3.69×10^{-3}
2120	1.60×10^{-2}	1.02×10^{-2}	4.10×10^{-2}	2.54×10^{-1}	1.15×10^{-2}	1.76×10^{-2}	6.06×10^{-2}	1.22×10^{-1}	3.48×10^{-3}
2130	1.42×10^{-2}	9.05×10^{-3}	3.47×10^{-2}	2.31×10^{-1}	1.01×10^{-2}	1.66×10^{-2}	5.10×10^{-2}	1.13×10^{-1}	3.30×10^{-3}
2140	1.27×10^{-2}	8.09×10^{-3}	2.97×10^{-2}	2.14×10^{-1}	8.93×10^{-3}	1.57×10^{-2}	4.33×10^{-2}	1.06×10^{-1}	3.16×10^{-3}
2150	1.14×10^{-2}	7.31×10^{-3}	2.18×10^{-2}	2.00×10^{-1}	8.03×10^{-3}	1.50×10^{-2}	3.71×10^{-2}	9.99×10^{-2}	3.04×10^{-3}
2160	1.04×10^{-2}	6.68×10^{-3}	2.26×10^{-2}	1.88×10^{-1}	7.30×10^{-3}	1.44×10^{-2}	3.22×10^{-2}	9.50×10^{-2}	2.93×10^{-3}
2170	9.64×10^{-3}	6.16×10^{-3}	2.01×10^{-2}	1.80×10^{-1}	6.71×10^{-3}	1.39×10^{-2}	2.82×10^{-2}	9.09×10^{-2}	2.85×10^{-3}
2180	8.98×10^{-3}	5.74×10^{-3}	1.81×10^{-2}	1.72×10^{-1}	6.23×10^{-3}	1.34×10^{-2}	2.50×10^{-2}	8.76×10^{-2}	2.77×10^{-3}
2190	8.44×10^{-3}	5.39×10^{-3}	1.65×10^{-2}	1.67×10^{-1}	5.83×10^{-3}	1.31×10^{-2}	2.25×10^{-2}	8.48×10^{-2}	2.70×10^{-3}
2200	7.99×10^{-3}	5.11×10^{-3}	1.53×10^{-2}	1.62×10^{-1}	5.51×10^{-3}	1.27×10^{-2}	2.04×10^{-2}	8.25×10^{-2}	2.64×10^{-3}
2210	7.62×10^{-3}	4.87×10^{-3}	1.43×10^{-2}	1.59×10^{-1}	5.24×10^{-3}	1.24×10^{-2}	1.87×10^{-2}	8.05×10^{-2}	2.58×10^{-3}
2220	7.31×10^{-3}	4.66×10^{-3}	1.35×10^{-2}	1.56×10^{-1}	5.02×10^{-3}	1.22×10^{-2}	1.74×10^{-2}	7.88×10^{-2}	2.54×10^{-3}
2230	7.05×10^{-3}	4.49×10^{-3}	1.28×10^{-2}	1.54×10^{-1}	4.91×10^{-3}	1.20×10^{-2}	1.62×10^{-2}	7.74×10^{-2}	2.49×10^{-3}
2240	6.82×10^{-3}	4.34×10^{-3}	1.23×10^{-2}	1.52×10^{-1}	4.68×10^{-3}	1.17×10^{-2}	1.53×10^{-2}	7.61×10^{-2}	2.45×10^{-3}
2260	6.46×10^{-3}	4.10×10^{-3}	1.16×10^{-2}	1.49×10^{-1}	4.42×10^{-3}	1.14×10^{-2}	1.39×10^{-2}	7.40×10^{-2}	2.37×10^{-3}
2280	6.17×10^{-3}	3.91×10^{-3}	1.12×10^{-2}	1.48×10^{-1}	4.23×10^{-3}	1.10×10^{-2}	1.29×10^{-2}	7.23×10^{-2}	2.30×10^{-3}
2300	5.94×10^{-3}	3.75×10^{-3}	1.09×10^{-2}	1.47×10^{-1}	4.08×10^{-3}	1.07×10^{-2}	1.22×10^{-2}	7.09×10^{-2}	2.24×10^{-3}
2320	5.74×10^{-3}	3.62×10^{-3}	1.07×10^{-2}	1.46×10^{-1}	3.95×10^{-3}	1.05×10^{-2}	1.16×10^{-2}	6.96×10^{-2}	2.18×10^{-3}
2340	5.57×10^{-3}	3.50×10^{-3}	1.06×10^{-2}	1.45×10^{-1}	3.85×10^{-3}	1.02×10^{-2}	1.12×10^{-2}	6.85×10^{-2}	2.12×10^{-3}

備註：INER 為核能研究所、NPP1 為核能一廠、NPP2 為核能二廠。

表 5.3-16 金門縣烏坵鄉建議候選場址鑽探情節之鑽探人員曝露劑量(3)

單位：mSv

	低放貯存場廢棄物								
廢棄物源	NPP2 固化廢棄物	NPP2 樹脂廢棄物	NPP2 固化廢棄物	NPP3 樹脂廢棄物	NPP3 樹脂廢棄物	NPP3 樹脂廢棄物	NPP3 樹脂廢棄物	減容中心廢棄物	檢整廢棄物
分類	A1	B	C	A0	A1	B	C	A0	A0
2040	4.15×10^{-2}	2.05×10^{-1}	1.82×10^{-1}	8.05×10^{-3}	7.75×10^{-2}	4.57×10^{-1}	2.11×10^{-1}	3.99×10^{-3}	1.06×10^{-2}
2050	2.24×10^{-2}	1.06×10^{-1}	1.22×10^{-1}	5.91×10^{-3}	6.34×10^{-2}	3.34×10^{-1}	1.67×10^{-1}	2.41×10^{-3}	7.43×10^{-3}
2060	1.73×10^{-2}	7.16×10^{-2}	1.10×10^{-1}	4.83×10^{-3}	5.94×10^{-2}	2.63×10^{-1}	1.43×10^{-1}	1.88×10^{-3}	6.80×10^{-3}
2070	1.55×10^{-2}	5.52×10^{-2}	1.06×10^{-1}	4.03×10^{-3}	5.62×10^{-2}	2.13×10^{-1}	1.24×10^{-1}	1.58×10^{-3}	6.36×10^{-3}
2080	1.47×10^{-2}	4.52×10^{-2}	1.03×10^{-1}	3.42×10^{-3}	5.36×10^{-2}	1.74×10^{-1}	1.10×10^{-1}	1.37×10^{-3}	6.02×10^{-3}
2090	1.41×10^{-2}	3.80×10^{-2}	1.00×10^{-1}	2.93×10^{-3}	5.14×10^{-2}	1.44×10^{-1}	9.80×10^{-2}	1.21×10^{-3}	5.76×10^{-3}
2100	1.37×10^{-2}	3.25×10^{-2}	9.84×10^{-2}	2.53×10^{-3}	4.95×10^{-2}	1.20×10^{-1}	8.85×10^{-2}	1.09×10^{-3}	5.55×10^{-3}
2110	1.34×10^{-2}	2.81×10^{-2}	9.65×10^{-2}	2.22×10^{-3}	4.79×10^{-2}	1.01×10^{-1}	8.08×10^{-2}	9.95×10^{-4}	5.39×10^{-3}
2120	1.30×10^{-2}	2.46×10^{-2}	9.48×10^{-2}	1.97×10^{-3}	4.65×10^{-2}	8.59×10^{-2}	7.46×10^{-2}	9.18×10^{-4}	5.26×10^{-3}
2130	1.28×10^{-2}	2.18×10^{-2}	9.32×10^{-2}	1.77×10^{-3}	4.53×10^{-2}	7.37×10^{-2}	6.94×10^{-2}	8.58×10^{-4}	5.15×10^{-3}
2140	1.25×10^{-2}	1.96×10^{-2}	9.17×10^{-2}	1.60×10^{-3}	4.42×10^{-2}	6.40×10^{-2}	6.52×10^{-2}	8.09×10^{-4}	5.07×10^{-3}
2150	1.23×10^{-2}	1.78×10^{-2}	9.03×10^{-2}	1.47×10^{-3}	4.32×10^{-2}	5.62×10^{-2}	6.17×10^{-2}	7.71×10^{-4}	5.00×10^{-3}
2160	1.21×10^{-2}	1.63×10^{-2}	8.89×10^{-2}	1.36×10^{-3}	4.23×10^{-2}	5.00×10^{-2}	5.88×10^{-2}	7.40×10^{-4}	4.95×10^{-3}
2170	1.19×10^{-2}	1.51×10^{-2}	8.76×10^{-2}	1.27×10^{-3}	4.15×10^{-2}	4.50×10^{-2}	5.63×10^{-2}	7.16×10^{-4}	4.91×10^{-3}
2180	1.18×10^{-2}	1.41×10^{-2}	8.63×10^{-2}	1.20×10^{-3}	4.07×10^{-2}	4.09×10^{-2}	5.43×10^{-2}	6.97×10^{-4}	4.87×10^{-3}
2190	1.16×10^{-2}	1.33×10^{-2}	8.51×10^{-2}	1.14×10^{-3}	4.00×10^{-2}	3.77×10^{-2}	5.25×10^{-2}	6.81×10^{-4}	4.85×10^{-3}
2200	1.15×10^{-2}	1.26×10^{-2}	8.39×10^{-2}	1.09×10^{-3}	3.93×10^{-2}	3.50×10^{-2}	5.09×10^{-2}	6.69×10^{-4}	4.82×10^{-3}
2210	1.13×10^{-2}	1.21×10^{-2}	8.28×10^{-2}	1.05×10^{-3}	3.87×10^{-2}	3.29×10^{-2}	4.96×10^{-2}	6.59×10^{-4}	4.81×10^{-3}
2220	1.12×10^{-2}	1.16×10^{-2}	8.17×10^{-2}	1.01×10^{-3}	3.81×10^{-2}	3.11×10^{-2}	4.84×10^{-2}	6.52×10^{-4}	4.79×10^{-3}
2230	1.11×10^{-2}	1.12×10^{-2}	8.06×10^{-2}	9.84×10^{-4}	3.75×10^{-2}	2.97×10^{-2}	4.73×10^{-2}	6.45×10^{-4}	4.78×10^{-3}
2240	1.10×10^{-2}	1.09×10^{-2}	7.96×10^{-2}	9.58×10^{-4}	3.70×10^{-2}	2.85×10^{-2}	4.64×10^{-2}	6.40×10^{-4}	4.77×10^{-3}
2260	1.07×10^{-2}	1.03×10^{-2}	7.75×10^{-2}	9.16×10^{-4}	3.59×10^{-2}	2.67×10^{-2}	4.47×10^{-2}	6.33×10^{-4}	4.76×10^{-3}
2280	1.05×10^{-2}	9.86×10^{-3}	7.56×10^{-2}	8.82×10^{-4}	3.49×10^{-2}	2.54×10^{-2}	4.33×10^{-2}	6.29×10^{-4}	4.75×10^{-3}
2300	1.03×10^{-2}	9.50×10^{-3}	7.37×10^{-2}	8.54×10^{-4}	3.40×10^{-2}	2.45×10^{-2}	4.20×10^{-2}	6.25×10^{-4}	4.74×10^{-3}
2320	1.01×10^{-2}	9.20×10^{-3}	7.19×10^{-2}	8.30×10^{-4}	3.31×10^{-2}	2.37×10^{-2}	4.08×10^{-2}	6.23×10^{-4}	4.74×10^{-3}
2340	9.94×10^{-3}	8.93×10^{-3}	7.01×10^{-2}	8.09×10^{-4}	3.22×10^{-2}	2.31×10^{-2}	3.97×10^{-2}	6.22×10^{-4}	4.74×10^{-3}

備註：NPP2 為核能二廠、NPP3 為核能三廠。

表 5.3-17 金門縣烏坵鄉建議候選場址鑽探情節之鑽探人員曝露劑量(4)

單位：mSv

廢棄物源	低放貯存場廢棄物	除役廢棄物					
	檢整廢棄物	BWR 反應器內部組件	BWR 濕性廢棄物 (固化後)	BWR 反應器內部組件	PWR 頂部爐心柱	PWR 上部爐心桶	PWR 底部支撐柱
分類	C	A0	B	C	A0	B	C
2040	1.40×10^{-1}	3.41	$3.45 \times 10^{+1}$	$8.58 \times 10^{+2}$	4.05	$2.60 \times 10^{+2}$	$5.20 \times 10^{+3}$
2050	7.73×10^{-2}	9.16×10^{-1}	$1.25 \times 10^{+1}$	$2.31 \times 10^{+2}$	1.09	$6.98 \times 10^{+1}$	$1.40 \times 10^{+3}$
2060	7.53×10^{-2}	2.47×10^{-1}	5.96	$6.22 \times 10^{+1}$	2.92×10^{-1}	$1.87 \times 10^{+1}$	$3.75 \times 10^{+2}$
2070	7.38×10^{-2}	6.72×10^{-2}	3.67	$1.69 \times 10^{+1}$	7.86×10^{-2}	5.04	$1.01 \times 10^{+2}$
2080	7.27×10^{-2}	1.89×10^{-2}	2.64	4.76	2.12×10^{-2}	1.36	$2.72 \times 10^{+1}$
2090	7.18×10^{-2}	5.89×10^{-3}	2.03	1.48	5.83×10^{-3}	3.74×10^{-1}	7.48
2100	7.11×10^{-2}	2.36×10^{-3}	1.59	5.94×10^{-1}	1.69×10^{-3}	1.08×10^{-1}	2.16
2110	7.05×10^{-2}	1.37×10^{-3}	1.27	3.46×10^{-1}	5.69×10^{-4}	3.65×10^{-2}	7.31×10^{-1}
2120	7.00×10^{-2}	1.07×10^{-3}	1.01	2.70×10^{-1}	2.65×10^{-4}	1.70×10^{-2}	3.40×10^{-1}
2130	6.96×10^{-2}	9.56×10^{-4}	8.09×10^{-1}	2.41×10^{-1}	1.78×10^{-4}	1.14×10^{-2}	2.29×10^{-1}
2140	6.93×10^{-2}	8.94×10^{-4}	6.48×10^{-1}	2.25×10^{-1}	1.51×10^{-4}	9.67×10^{-3}	1.93×10^{-1}
2150	6.90×10^{-2}	8.49×10^{-4}	5.21×10^{-1}	2.14×10^{-1}	1.39×10^{-4}	8.94×10^{-3}	1.79×10^{-1}
2160	6.88×10^{-2}	8.09×10^{-4}	4.19×10^{-1}	2.04×10^{-1}	1.33×10^{-4}	8.51×10^{-3}	1.70×10^{-1}
2170	6.87×10^{-2}	7.73×10^{-4}	3.39×10^{-1}	1.95×10^{-1}	1.27×10^{-4}	8.17×10^{-3}	1.63×10^{-1}
2180	6.85×10^{-2}	7.40×10^{-4}	2.74×10^{-1}	1.87×10^{-1}	1.23×10^{-4}	7.87×10^{-3}	1.57×10^{-1}
2190	6.84×10^{-2}	7.09×10^{-4}	2.23×10^{-1}	1.79×10^{-1}	1.18×10^{-4}	7.59×10^{-3}	1.52×10^{-1}
2200	6.83×10^{-2}	6.80×10^{-4}	1.82×10^{-1}	1.71×10^{-1}	1.14×10^{-4}	7.34×10^{-3}	1.47×10^{-1}
2210	6.82×10^{-2}	6.53×10^{-4}	1.50×10^{-1}	1.65×10^{-1}	1.11×10^{-4}	7.10×10^{-3}	1.42×10^{-1}
2220	6.81×10^{-2}	6.28×10^{-4}	1.24×10^{-1}	1.58×10^{-1}	1.07×10^{-4}	6.88×10^{-3}	1.38×10^{-1}
2230	6.81×10^{-2}	6.05×10^{-4}	1.04×10^{-1}	1.52×10^{-1}	1.04×10^{-4}	6.67×10^{-3}	1.33×10^{-1}
2240	6.80×10^{-2}	5.83×10^{-4}	8.74×10^{-2}	1.47×10^{-1}	1.01×10^{-4}	6.48×10^{-3}	1.30×10^{-1}
2260	6.79×10^{-2}	5.43×10^{-4}	6.39×10^{-2}	1.37×10^{-1}	9.55×10^{-5}	6.13×10^{-3}	1.23×10^{-1}
2280	6.78×10^{-2}	5.09×10^{-4}	4.89×10^{-2}	1.28×10^{-1}	9.08×10^{-5}	5.82×10^{-3}	1.16×10^{-1}
2300	6.78×10^{-2}	4.79×10^{-4}	3.92×10^{-2}	1.21×10^{-1}	8.66×10^{-5}	5.56×10^{-3}	1.11×10^{-1}
2320	6.77×10^{-2}	4.53×10^{-4}	3.30×10^{-2}	1.14×10^{-1}	8.30×10^{-5}	5.33×10^{-3}	1.07×10^{-1}
2340	6.77×10^{-2}	4.30×10^{-4}	2.89×10^{-2}	1.08×10^{-1}	7.99×10^{-5}	5.13×10^{-3}	1.03×10^{-1}

本頁空白。

5.4 結論

- 一、依據 IAEA 對於監管之定義，監管是依據國家法律指定之政府單位或機構對放射性廢棄物場址進行監控，而監控的方式可分為主動式與被動式。監管的目的是在於確認處置設施安全性、避免處置設施遭受入侵，以及提高社會對於處置設施安全的信心。主動監管措施是透過監測、巡查與進出管制來確認處置設施安全功能與防止處置設施遭受入侵或破壞，並透過定期更新安全論證文件與公開監測結果達到知識傳承與資訊公開。而被動監管則是經由圍籬、標誌、土地使用限制、文件保存與障壁系統等措施，延長人類對於處置設施之記憶，並減少或盡可能避免處置設施直接遭受入侵，進而擾動處置設施安定性。
- 二、日本中深度處置的監管措施是經由監測水中放射性核種濃度來確認處置系統安全功能，取樣位置將根據處置設施不同時期而變化，其原則是在不危及處置安全的前題下，盡可能使取樣位置接近處置坑道。當坑道完全封閉後，則改為監測處置場附近之地下水井。此外，將對於環境輻射進行監測，確保環境與周圍民眾之輻射安全。
- 三、美國 WIPP 的監管監管措施主要是場址進出管制、場址維護與場址監控這三項，並在場址邊界設置圍籬與標誌、場址上方地表與次地表設置警示標誌或紀念碑，以及在處置區內設置資訊保留室，作為知識保留與傳承。
- 四、台東縣達仁鄉建議候選場址之主動監管規劃，將利用場址地形特性，以處置設施對外交通要道與處置坑道入口進行管制，避免民眾入侵，作為主要措施。輔以在輔助區靠近無名溪側設置圍籬與標誌，且定期派員巡視，確認圍籬、標誌與各項監視設備的完整性。對於處置設施安全功能監測，參考日本中深度處置監管措施，當處置坑道完全封閉後，將依地下水流場模擬結果，於場址北側達仁溪、南側塔瓦溪與太平洋沿岸取水樣與土樣進行分析，確認

無放射性物質外釋。環境輻射監測則初步規劃在處置設施港口區、輔助區、當地人口區，以及達仁溪與塔瓦溪下游平坦處設置偵測點，確認環境輻射安全。

五、金門縣烏坵鄉建議候選場址之主動監管規劃，主要在接收港區周圍與輔助區設置圍籬與標誌，且定期派員巡視，確認圍籬、標誌與各項監視設備的完整性，避免民眾入侵。對於處置設施安全功能監測，參考日本中深度處置監管措施，當處置坑道完全封閉後，將依地下水流場模擬結果，於小坵島上池塘與台灣海峽沿岸取水樣與土樣進行分析，確認無放射性物質外釋。環境輻射監測則初步規劃在處置設施港口區、輔助區與當地人口區設置偵測點，確認環境輻射安全。

六、2 處建議候選場址之被動監管措施規劃如下：

(一)多重障壁系統

達仁鄉建議候選場址之地形坡度約為 1:0.3~1:0.8，此坡度於一般情況下不適合開發或興建建築物，而金門縣烏坵鄉建議候選場址位在海床底下，因此 2 處建議候選場址之天然環境已可降低人類入侵的可能性，避免處置設施遭受擾動。

配合 2 處建議候選場址之處置規劃採用處置窖、坑道式處置與天然岩覆形成多重障壁系統，考量場址平均侵蝕速率特性，將 A 類廢棄物之天然岩覆深度設計目標訂定 300 年內至少具有 50 m，而 B、C 類廢棄物之天然岩覆深度設計目標訂定 10,000 年內至少具有 50 m。於此深度條件下，除非具有特定目的之人類活動，否則一般人類活動並不會擾動此深度之處置設施，確保處置設施不遭受破壞。

(二)地表圍籬與標誌

主動監管結束後，將在處置場界留下圍籬與標誌，提醒世人此處為低放射性廢棄物處置設施，具有輻射危險的可能性，應免接近與破壞。

(三)刊物、論文與處置場相關文件保存

規劃將處置場營運與主動監管期間發行之刊物、研究論文或處置場相關文件分區分層保存，達到文件備份與知識傳承，增加民眾對於處置場的記憶與知識，進而避免發生人類入侵事件。

(四)地圖標示

將處置場相關位置與範圍標註於台灣國土地圖資訊上，作為地圖資訊保存與傳承。

(五)土地公有化

將處置場土地設為公有化，可防止民眾於場址處進行建設，倘若未來國家要將土地進行開發或讓售，處置設施應為重大建設計畫，在政府部門應會保留相關文件，故將可限制土地使用條件，避免處置設施遭受破壞。

七、運轉廢棄物以 LRWDS 中的低放貯存場資料為基礎，依其廢棄物來源與廠別進行分類，將廢棄物概分為固化廢棄物、廢樹脂、可燃廢棄物、可壓廢棄物與其他這 5 類。除役廢棄物分別以核能一廠除役計畫與 NUREG/CR-0130 估算 BWR 機組與 PWR 機組除役廢棄物核種資料。最後將所有廢棄物依所含核種、活度與衰變鏈，計算核種衰變至 2040 年之活度。

八、本報告以地質鑽探入侵情節假設廢棄物遭受鑽探取出鑽心，以 MicroShield 分析鑽心表面劑量，並依 2 處建議候選場址特性評估鑽探作業對鑽探人員造成之輻射曝露劑量，以鑽探人員曝露劑量 1 mSv 與表面劑量衰減特性研判，提出主動監管建議期限。台東縣達仁鄉建議候選場址建議主動監管至 2170 年，而金門縣烏坵鄉建主動監管至 2130 年。主動監管結束後將由被動式監管持續防護處置設施，降低處置設施遭受擾動的可能性，並延遲核種傳輸之風險。

參考文獻

1. 工研院能資所，1999a，烏坵地區 BH-1, OC-1, OC-2, OC-3 鑽探孔鑽探地質報告。財團法人工業技術研究院能源與資源研究所低放射性廢料最終處置第一階段工作顧問服務(第一次工作變更)計畫，4ML1100-RG-3309。
2. 工研院能資所，1999b，烏坵地區 BH-10 鑽孔地質鑽探報告。財團法人工業技術研究院能源與資源研究所低放射性廢料最終處置第一階段工作顧問服務(第一次工作變更)計畫，4ML1100-RG-3310。
3. 工研院能資所，1999c，烏坵地區 BH-11 鑽孔地質鑽探報告。財團法人工業技術研究院能源與資源研究所低放射性廢料最終處置第一階段工作顧問服務(第一次工作變更)計畫，4ML1100-RG-3310。
4. 工研院能資所，1999d，烏坵地區 BH-12 鑽孔地質鑽探報告。財團法人工業技術研究院能源與資源研究所低放射性廢料最終處置第一階段工作顧問服務(第一次工作變更)計畫，4ML1100-RG-3311。
5. 工研院能資所，1999e，烏坵地區 BH-2 鑽孔地質鑽探報告。財團法人工業技術研究院能源與資源研究所低放射性廢料最終處置第一階段工作顧問服務(第一次工作變更)計畫，4ML1100-RG-3303。
6. 工研院能資所，1999f，烏坵地區 BH-3 鑽孔地質鑽探報告。財團法人工業技術研究院能源與資源研究所低放射性廢料最終處置第一階段工作顧問服務(第一次工作變更)計畫，4ML1100-RG-3304。
7. 工研院能資所，1999g，烏坵地區 BH-4 鑽孔地質鑽探報告。財團法人工業技術研究院能源與資源研究所低放射性廢料最終處置

- 第一階段工作顧問服務(第一次工作變更)計畫，4ML1100-RG-3305。
8. 工研院能資所，1999h，烏坵地區 BH-5 鑽孔地質鑽探報告。財團法人工業技術研究院能源與資源研究所低放射性廢料最終處置第一階段工作顧問服務(第一次工作變更)計畫，4ML1100-RG-3306。
 9. 工研院能資所，1999i，烏坵地區 BH-8 鑽孔地質鑽探報告。財團法人工業技術研究院能源與資源研究所低放射性廢料最終處置第一階段工作顧問服務(第一次工作變更)計畫，4ML1100-RG-3308。
 10. 工研院能資所，1999j，烏坵地區 BH-9 鑽孔地質鑽探報告。財團法人工業技術研究院能源與資源研究所低放射性廢料最終處置第一階段工作顧問服務(第一次工作變更)計畫，4ML1100-RG-3307。
 11. 台電公司，2016，LLWD2-ED-2015-03-V08 低放射性廢棄物最終處置場興建、營運與封閉作業規劃，p.13、p.42、p.71。
 12. 台電公司，2017a，LLWD1-SC-2016-02-V08 低放射性廢棄物最終處置技術評估報告，p.59、p.78。
 13. 台電公司，2017b，LLWD2-DB-2015-01-V10 低放射性廢棄物數量預估報告(105 年)，p.37~p.39。
 14. 台電公司，2017c，LLWD2-DB-2015-02-V11 低放射性廢棄物型態及特性報告(105 年)，p.31~p.32。
 15. 台電公司，2017d，核一廠除役計畫修訂版(106.06.28)。
 16. 交通部公路總局西部濱海公路南區臨時工程處，2011，台 9 線南迴公路拓寬改善後續計畫-安朔至草埔段新闢四車道工程委託設計委外地質探查工作-隧道段地質鑽探工程報告。
 17. 日本原子力学会，2010，低レベル放射性廃棄物の埋設地に係る埋戻し方法及び施設の管理方法：2010，p.28、p.97~p.115。

18. DOE, 2007, How Will Future Generations Be Warned?, p.1.
19. DOE, 2012a, Waste Isolation Pilot Plant Hazardous Waste Permit, ACTIVE INSTITUTIONAL CONTROLS DURING POST-CLOSURE, ATTACHMENT H1, p.4~p.7.
20. DOE, 2012b, Introduction to WIPP Passive Institutional Controls, p.15~p.22.
21. IAEA, 2001, Procedures and techniques for closure of near surface disposal facilities for radioactive waste, IAEA-TECDOC-1260, p.4~p.6.
22. IAEA, 2007, IAEA Safety Glossary, Terminology Used in Nuclear Safety and Radiation Protection, p.42.
23. IAEA, 2011, Disposal of Radioactive Waste, No. SSR-5, p.7. °
24. IAEA, 2012, The Safety Case and Safety Assessment for the Disposal of Radioactive Waste, No. SSG-23, p.8.
25. IAEA, 2017, The International Project On Inadvertant Human Intrusion in the contex of Disposal of RadioActive Waste, HIDRA, p.16, p.24, p.38, p.58~p.62, p.119.
26. ICRP, 2008, Nuclear Decay Data for Dosimetric Calculations, Supplemental Material.
27. JNFL, 2007, Safety Assessment of Rokkasho Low-Level Radioactive Waste Disposal Center, p.47~p.58.
28. NDA, 2011, Assessment Calculations for Human Intrusion for the LLWR 2011 ESC, p.35.
29. NRC, 1984, Technology, Safety and Costs of Decommissioning a Reference Pressurized Water Reactor Power Station, Add.3, p.5.2, p.5.7, p.5.9, p.6.3, p.6.9.
30. NRC, 1986, Update of Part 61 Impacts Analysis Methodology, NUREG/CR-4370, Vol. 1, p.A-156.

31. NRC, 2015, Guidance for Conducting Technical Analyses for 10 CFR Part 61, NUREG-2175, p.4-37.

行政院原子能委員會放射性物料管理局
「低放射性廢棄物最終處置計畫-107 年下半年執行成果報告」

審查意見表

目 錄

一、	前言意見	1
二、	處置技術建置計畫意見	8
三、	處置設施選址計畫意見	13
四、	民眾溝通專案計畫意見	17
五、	附錄意見	27
六、	文字修訂	53

審查意見共計 45 項

一、前言意見

編號	1	章節	1	頁碼		行數	
第一次審查意見							
有關第一章前言之內容，原能會重申相關法規要求，請台電公司遵循放射性物料管理法相關規定辦理。							
1. 依「放射性物料管理法」及其施行細則，台電公司應向原能會提報低放射性廢棄物最終處置計畫，經原能會核定後，確實依計畫時程執行，未依計畫時程執行最終處置計畫者，處新臺幣 1,000 萬元以上 5,000 萬元以下罰鍰，並得按年處罰。 2. 依據本會 101 年 5 月 4 日核定之「低放射性廢棄物最終處置計畫書」(修訂二版)之時程規劃，台電公司預訂於 105 年 3 月完成公民投票選出候選場址、實施環境調查及環境影響評估、核定場址及投資計畫等任務，惟台電公司未能如期完成。 3. 針對台電公司未依計畫時程執行最終處置計畫，原能會已於 105 年起依放射性物料管理法，按年處以台電公司罰鍰處分。台電公司應切實檢討修正最終處置計畫書，並積極推動替代/應變方案，以確保處置設施完成前，核廢料的貯存安全無虞。							
意見答覆							
1. 有關原能會就對台電公司未能依現行處置計畫書完成選址部分所開立之罰鍰，台電公司仍須說明：處置計畫之時程，依照「低放射性廢棄物最終處置計畫書(修訂二版)」推動低放射性廢棄物最終處置設施的建置作業，其過程必須依照「低放射性廢棄物最終處置設施場址設置條例(簡稱場址設置條例)」進行選址作業，依該條例明定台電公司並非主辦機關，對於選址的方式與進度無實質的掌控權，對於非台電公司權責範圍之選址作業時程，礙難提出具體時程。台電公司業於 106 年 9 月 7 日向臺北高等行政法院提起行政訴訟以維護公司權益。 2. 因台電公司非選址法定權責機構，對於選址的方式與進度無實質的掌控權，主辦機關經濟部依循「場址設置條例」辦理選址公投，函請 2 處建議候選場址所在縣政府同意接受委託辦理選址地方公投選務工作，惟均未獲得同意，其主要癥結在於「場址設置條例」未強制規定地方政府應配合辦							

理公投選務工作，且金門縣府表示以全縣公投決定低放建議候選場址所在鄉是否願意成為低放場址，違背住民自決精神，以致於無法同意辦理選址公投，臺東縣政府亦表示該縣現階段法規訂定並不完備，故難協助辦理選址公投。因此，在場址未確定前，台電公司實無法依照原低放處置計畫書持續推動最終處置設施的建置，為不影響後續計畫的規劃，僅能先以相對時程規劃後續的作業期程，惟為執行場址設置條例規定之公眾溝通工作以達成公民投票同意設置處置場之任務，台電公司仍持續辦理公眾溝通與宣導工作，及加強金門及台東縣政府與縣議會之溝通，以期順利推動選址公投作業。

3、有關本項審查意見第3點，台電公司敬復如下：

(1) 依據大會核定之「低放射性廢棄物最終處置計畫書（修訂二版）」（下稱「低放處置計畫書」），低放處置之替代方案為境外處置；應變方案有二，其一為暫存於各核能電廠，其二為集中式貯存。

(2) 替代方案(境外處置)部分，考量國際形勢，主動推展放射性廢棄物境外最終處置仍有其困難性，台電公司持續注意國際局勢之變化與機會，經評估可行後始啟動辦理替代方案(境外處置)。

(3) 有關應變方案部分，說明如次：

甲、「低放處置計畫書」中有關應變方案(集中式貯存)部分，已述明「將於 105 年陳報經濟部同意後，啟動集中式貯存方案」。台電公司於 105 年 9 月 30 日將「放射性廢棄物最終處置應變方案可行性研究報告」（後經修訂後更名為「放射性廢棄物最終處置應變方案(集中式貯存)推行初步規劃書」）陳報經濟部國營事業委員會（下稱國營會）轉陳經濟部，在經濟部未同意前，台電公司礙難擅自啟動集中式貯存方案。

乙、台電公司已遵照大會 106 年 1 月 17 日會物字第 1060000807 號檢送之 106 年 1 月 11 日「低放射性廢棄物最終處置計畫替代/應變方案之具體實施方案」審查會議紀錄之結論，於 106 年 3 月 3 日將「放射性廢棄物最終處置應變方案(集中式貯存)推行初步規劃書」陳報經濟部核轉「非核家園推動專案小組」（下稱「非核小組」）研議，尋求最佳可行方案。

丙、108 年 3 月 15 日，「非核小組」召開第 4 次會議，台電公司於會中簡報「我國推動集中式中期貯存場之規劃與展望」，主席綜合

「非核小組」出席委員之意見後，做成初步結論，台電公司後續將依據會議紀錄以及上級機關經濟部之指示辦理相關作業。

丁、而在集中式中期貯存設施或低放最終處置設施未能完成前，台電公司將依「低放處置計畫書」中另一應變方案，將低放廢棄物「暫存於各核能電廠」，以確保低放最終處置設施完成前，低放廢棄物的貯存安全無虞。

(4) 綜上所述，台電公司切實依照目前大會核定之「低放處置計畫書」，推動替代/應變方案，敬請大會鑒察。

第二次審查意見

台電公司應遵循放射性物料管理法相關規定，積極辦理低放處置計畫。

物管局審查結論

依據「低放射性廢棄物最終處置計畫書」(修訂二版)之時程，台電公司應於 105 年 3 月完成公民投票選出候選場址、實施環境調查及環境影響評估、核定場址及投資計畫等任務，惟均未能如期完成，民眾溝通作業猶執行不力。台電公司為國內主要核廢料產生者，依放射性物料管理法，台電公司則負有切實執行低放處置計畫之義務，台電公司依低放處置計畫切實執行，以儘早解決國內核廢料困境。

編號	2	章節	1	頁碼		行數	
審查意見							
第一章前言有關低放射性廢棄物最終處置計畫書修訂，本局意見如下：							
1. 依放射性物料管理法（下稱物管法）第 29 條第 1 項及其施行細則第 36 條規定，台電公司負有訂定低放處置計畫，並送本會核定後據以執行之法定義務；低放處置計畫及計畫時程修正時，應敘明理由及改正措施報經本會核定後執行。台電公司 105 年 6 月 15 日提報修訂之低放處置計畫，其時程規劃係採浮動時程，不符合物管法第 29 條第 1 項規定須依計畫切實執行之意旨，台電公司提出訴願，惟行政院訴願會已決定駁回。該案業經本會覈實審定，並要求台電公司應自 106 年 3 月起 5 年內完成核							

定處置設施場址。

2. 惟台電公司仍拒不依前述本會審定結果，修正處置計畫提送本會核定，本會原核定之「低放射性廢棄物最終處置計畫書（修訂二版；下稱現行低放處置計畫）」仍然有效，台電公司仍應依其切實執行低放處置計畫。
3. 本會核定之現行低放處置計畫，係台電公司執行低放處置計畫之依據及本會監督低放處置計畫進度之基礎，現行低放處置計畫規劃之工作項目、預計時程、組織架構與管理等，均屬台電公司應如期完成及切實執行之事項。
4. 低放處置計畫之「替代/應變方案」係屬低放射性廢棄物最終處置計畫之一部分，台電公司仍應依本會原核定之時程推動辦理，自 106 年 3 月起至完工啟用所需時間為 8 年，其中場址選定及土地取得作業，應自 106 年 3 月起 3 年內完成。

意見答覆

1. 台電公司於 106 年 9 月 6 日提報原能會「低放射性廢棄物最終處置計畫書(105 年修訂 4 版)」，有關最終處置及應變方案時程，仍建請大局考量國內現實情況，以及低放處置計畫書(修訂二版)已與現況脫節等因素，同意台電公司僅就權責範圍內可掌控之作業規劃時程，即於候選場址選定後之規劃時程。惟遭原能會於 106 年 10 月 20 日會物字第 1060013748 號函仍表示處置計畫書採浮動時程，故礙難同意。
2. 「低放射性廢棄物最終處置設施場址設置條例」明定台電公司並非主辦機關，對於選址的方式與進度無實質的掌控權，為維護台電公司權益，有關原能會針對台電公司提報「低放處置計畫書」採相對時程規劃，未受原能會同意之情形。台電公司業於 106 年 11 月 17 日向行政院訴願審議委員會提起行政訴願。惟行政院於 107 年 8 月 29 日作出訴願決定為訴願駁回，台電公司因考量相對時程方為目前依「場址設置條例」規定辦理選址之現狀，故台電公司已於 107 年 11 月 1 日提起行政訴訟。
3. 有關本項審查意見第 4 點，台電公司敬復如下：
 - (1) 依據大會核定之「低放射性廢棄物最終處置計畫書（修訂二版）」（下稱「低放處置計畫書」），低放處置之替代方案為境外處置；應變方案有二，其一為暫存於各核能電廠，其二為集中式貯存。
 - (2) 替代方案(境外處置)部分，考量國際形勢，主動推展放射性廢棄物境

外最終處置仍有其困難性，台電公司持續注意國際局勢之變化與機會，經評估可行後始啟動辦理替代方案(境外處置)。

(3) 有關應變方案部分，說明如次：

甲、「低放處置計畫書」中有關應變方案(集中式貯存)部分，已述明「將於 105 年陳報經濟部同意後，啟動集中式貯存方案」。台電公司於 105 年 9 月 30 日將「放射性廢棄物最終處置應變方案可行性研究報告」(後經修訂後更名為「放射性廢棄物最終處置應變方案(集中式貯存)推行初步規劃書」)陳報經濟部國營事業委員會(下稱國營會)轉陳經濟部，在經濟部未同意前，台電公司礙難擅自啟動集中式貯存方案。

乙、台電公司已遵照大會 106 年 1 月 17 日會物字第 1060000807 號檢送之 106 年 1 月 11 日「低放射性廢棄物最終處置計畫替代/應變方案之具體實施方案」審查會議紀錄之結論，於 106 年 3 月 3 日將「放射性廢棄物最終處置應變方案(集中式貯存)推行初步規劃書」陳報經濟部核轉「非核家園推動專案小組」(下稱「非核小組」)研議，尋求最佳可行方案。

丙、108 年 3 月 15 日，「非核小組」召開第 4 次會議，台電公司於會中簡報「我國推動集中式中期貯存場之規劃與展望」，主席綜合「非核小組」出席委員之意見後，做成初步結論，台電公司後續將依據會議紀錄以及上級機關經濟部之指示辦理相關作業。

丁、而在集中式中期貯存設施或低放最終處置設施未能完成前，台電公司將依「低放處置計畫書」中另一應變方案，將低放廢棄物「暫存於各核能電廠」，以確保低放最終處置設施完成前，低放廢棄物的貯存安全無虞。

(4) 綜上所述，台電公司切實依照目前大會核定之「低放處置計畫書」，推動替代/應變方案，敬請大會鑒察。

第二次審查意見

無進一步意見。

物管局審查結論

低放射性廢棄物最終處置計畫書修訂，台電公司應依本會 106 年 3 月 2 日會物字第 1060002973 號函之審定結果切實辦理。低放射性廢棄物最終處置計畫修訂版於原能會同意核定前，原核定之「低放射性廢棄物最終處置計畫書（修訂二版）」持續有效，請台電公司依法切實執行。

編號	3	章節	1	頁碼		行數	
第一次審查意見							
成果報告建議應加「摘要」，至少可以說明一下報告的章節安排與簡要內容。例如本報告的附錄是要做什麼？是「低放射性廢棄物最終處置技術精進計畫」的年度成果摘要？							
第一次審查意見答復說明							
感謝委員建議，已於成果報告內增加「摘要」章節。							
第二次審查意見							
同意答復。							
物管局審查結論							
請台電公司參照委員意見辦理，以提升計畫成果品質。							

編號	4	章節		頁碼		行數	
第一次審查意見							
1. 該肯定台電的報告書這近一年來越來清楚，顯示目前主管者內心肯勇於面對問題，而非文來文去，拖延問題。 2. 不再以藏文的與主管機關文來文去，以 p.27 圖 3-1 及圖 3-2 將事情以時間軸發展之交代方式，有助問題釐清。及有助民眾清楚了解此一複雜問題癥結，建議此二流程圖於網頁公布，幫助有興趣人士之簡單理解。							

第一次審查意見答復說明	
1. 感謝委員的肯定。 2. 謝謝委員的建議，台電公司將參考委員意見，以時間軸發展之交代方式，助民眾清楚了解此複雜問題癥結，並視適當時機於網頁上公布。	
第二次審查意見	
同意答復。	
物管局審查結論	
請台電公司參照委員意見辦理，以提升計畫成果品質。	

編號	5	章節	1	頁碼	6-7	行數	26~28 1~2
第一次審查意見							
辦理「低放貯存場低放射性廢棄物計測暨取樣分析技術服務」 低放射性廢棄物的取樣分析與分類，應由廢棄物的來源(waste streams)在固化前，即應建立好難測核種的比例因子，以便進行分類。現在此項服務，是針對已經固化後的廢棄物進行整桶量測與取樣分析。請特別注意並說明放射核種非均勻分布與取樣點的關係。							
第一次審查意見答復說明							
本技術服務針對超 c 類桶執行取樣作業，取樣對象為尚未實際取樣分析與過往取樣分析結果異常偏高者，預計共取樣 32 組樣品。取樣方式為自廢棄物桶上方向下鑽孔，每次鑽孔取得一個 100 公克重之水泥柱，每組樣品包含兩個約 100 公克重之水泥柱。由於取樣對象為均勻混合之水泥固化桶，其核種分布較均勻，較無核種分布不均的疑慮。							
第二次審查意見							
同意答覆。							

物管局審查結論

請台電公司參照委員意見辦理，以提升計畫成果品質。

二、處置技術建置計畫意見

編號	6	章節	2	頁碼		行數	
第一次審查意見							
107 年工作計畫規劃將 “場址調查技術精進規劃” 納入為期 4 年的「低放射性廢棄物最終處置技術精進計畫」，以利場址調查技術與相關技術領域介面之銜接；並將場址調查技術精進目標，明確說明包括建立場址調查與特徵化分析所需技術。 本成果報告中有關內容，以場址特徵化為主，場址調查技術、場址尺度特性參數如何取得等方面較無觸及。							
第一次審查意見答復說明							
本報告所述之「場址特徵化之國際經驗與技術發展報告」成果，為依據國際場址特徵化經驗歸納的特徵化程序。此程序著重於如何將疊代式與多尺度原則納入多階段特徵化作業，藉由多重的調查工作持續驗證與修正場址特徵的判釋。程序從大尺度的文獻調查、地表地物剖面調查、地面地質調查等作業開始，先以非破壞性的間接證據初步掌握場址特徵輪廓，用以規劃次階段的特性調查計畫，並逐步縮小特徵化範圍，進行淺層鑽孔、深層鑽孔等調查取得直接性證據，再進一步執行鑽孔井測、水力試驗等對特徵判釋成果進行多方確認，並於各個調查階段期間輔以多次的模擬分析，重複驗證與修正目標特徵與特徵判釋成果，以掌握符合小尺度所需考量精度的場址特徵。本報告的程序歸納成果，已應用至目前正在撰寫之報告，對於各尺度下的各項場址特徵化項目，針對所需之特性參數與調查方法進行規劃(詳以下第 1 項報告)，並將針對二處建議候選場址，應用特徵化程序更新場址裂隙特徵並提出回饋建議(詳以下第 2 項報告)，並將於後續的年度摘要報告中陳報。 1. 「低放射性廢棄物最終處置建議候選場址特性調查報告」： 此報告的內容為更新低放場址的特徵化作業程序，並說明各項場址特徵於各個階段與各個尺度所需應用到的特性調查方法、特性參數項目及所							

需精度。惟現階段考量多階段特徵化程序中，當特徵化程序進入一個新的階段(特徵化尺度逐階段變小)，新的階段需參考前一個階段的特徵化成果，並評估當下的特徵化標的、尺度與調查資源，以研擬適用該階段的調查技術、調查配置與調查精度。故而此報告中的特徵化程序，初期為先針對大尺度範圍以現階段已掌握之特徵資料進行特性調查規劃布置，其後的調查再依前一階段結果規劃。因此此報告論述方向以特徵化目標、原則、程序及階段式考量為主，並輔以說明所需之調查技術與特性參數要求。

2. 「建置建議候選場址特徵化模型研究報告」：

此報告將先依據國際文獻研究成果探討裂隙網路特性之調查與特徵化技術，再以兩處建議候選場址現階段已掌握之特徵資料進行裂隙網路模型更新，未來將會針對建立裂隙網路特徵模型所需之調查與分析流程規劃，做更進一步之探討與規劃。

第二次審查意見

同意答覆。

物管局審查結論

1. 請台電公司參照委員意見辦理，以提升計畫成果品質。
2. 請台電公司依據本局 106 年 7 月 25 日審查「低放射性廢棄物最終處置技術評估報告」會議紀錄（物三字第 1060002081 號函）決議事項持續辦理，並依審查意見，積極精進各項處置技術。

編號	7	章節	2.2.1	頁碼	16	行數	3~4
第一次審查意見							
核種吸附特性實驗所包括的核種至少應涵蓋"低放射性廢棄物最終處置及其設施安全管理規則"附表一與附表二所列的放射核種。							
第一次審查意見答復說明							

依據「用過核子燃料最終處置計畫 108 年度工作計畫」及「低放射性廢棄物最終處置 108 年度工作計畫書」審查會議之會議決議(二)9.，台電公司於 108 年 3 月底前，就現階段只規劃採用六個核種(C、Co、Cs、Ni、Sr 和 I)進行吸附實驗，是否足以代表「低放射性廢棄物最終處置及其設施安全管理規則」附表一與附表二所列核種，提出研析報告。摘錄研析報告結論如下：低放射性廢棄物最終處置及其設施安全管理規則中需考量之半化期核種為 ^{14}C 、 ^{59}Ni 、 ^{94}Nb 、 ^{99}Tc 、 ^{129}I 、 ^{241}Pu 、 ^{238}Pu 、 ^{242}Cm 、 ^3H 、 ^{60}Co 、 ^{63}Ni 、 ^{90}Sr 、 ^{137}Cs ，透過國內外吸附實驗研究成果資料庫的彙整得知， ^3H 核種在不同材料之分配係數皆為 0 L/kg，因此可考量直接採用其數值，不需再進行吸附實驗；而 ^{14}C 、 ^{60}Co 、 ^{137}Cs 、 ^{63}Ni 、 ^{59}Ni 、 ^{90}Sr 、 ^{129}I 已納為本期計畫之吸附實驗對象； ^{241}Pu 、 ^{238}Pu 與 ^{242}Cm 則係因為射源與同位素無法取得，故現階段無法以實驗加以掌握；最後剩餘的 ^{99}Tc 與 ^{94}Nb 由於變異性較大，因此建議於後續的吸附實驗中，應再規劃以不具放射性的同位素 Tc、Nb 核種進行相關吸附實驗，藉此掌握 ^{99}Tc 與 ^{94}Nb 核種在我國低放處置場環境的吸附特性。

第二次審查意見

無進一步意見。

物管局審查結論

1. 請台電公司參照委員意見辦理，以提升計畫成果品質。
2. 請台電公司依據本局 106 年 7 月 25 日審查「低放射性廢棄物最終處置技術評估報告」會議紀錄（物三字第 1060002081 號函）決議事項持續辦理，並依審查意見，積極精進各項處置技術。

編號	8	章節	2	頁碼	16	行數	
第一次審查意見							
「核種吸附實驗」、「膨潤土參數實驗與界面特性分析之工作」、「低放處置需求管理系統」，這三項工作雖提供簡短說明，但這三項工作是統包在「低放射性廢棄物最終處置技術精進計畫」內嗎？如果是為何附錄內不一併提供執行摘要？如果不是，則依據的計畫名稱是什麼？							

第一次審查意見答復說明							
「低放射性廢棄物最終處置技術精進計畫」為 4 年計畫，該計畫自 107 年 2 月開始執行，於 107 年 12 月底前，僅完成「場址特徵化之國際經驗與技術發展」、「低放射性廢棄物盛裝容器之安全功能特性研究」、「混凝土處置窖材料劣化試驗與模式研究」、「處置窖結構安全分析」、「低放射性廢棄物處置設施之監管研究」等 5 項工作成果，故報告附錄一內摘錄上述 5 項工作成果之內容。 而「核種吸附實驗」、「膨潤土參數實驗與界面特性分析之工作」和「低放處置需求管理系統」等工作項目包含在「低放射性廢棄物最終處置技術精進計畫」內，由於相關工作尚在進行中，未來待成果陸續完成後，將持續更新成果摘錄報告內容。							
第二次審查意見							
如果該三項工作已在年度計畫內，建議應依據實際規劃工作進度說明執行成果。							
第二次審查意見答復說明							
感謝委員建議，往後將於「低放射性廢棄物最終處置計畫-107 年下半年執行成果報告」的附錄內，增加對各項工作的實際進度執行成果說明。							
物管局審查結論							
1. 請台電公司參照委員意見辦理，以提升計畫成果品質。 2. 請台電公司依據本局 106 年 7 月 25 日審查「低放射性廢棄物最終處置技術評估報告」會議紀錄（物三字第 1060002081 號函）決議事項持續辦理，並依審查意見，積極精進各項處置技術。							

編號	9	章節	2	頁碼		行數	
第一次審查意見							
原年度計畫書規劃有「低放資料庫精進」將於 107 年度啟動資料庫精進作業規劃。建議說明此項規劃成果。							
第一次審查意見答復說明							

台電公司考量核電廠除役，低放資料庫須納入未來核電廠除役期間所產生廢棄物，將擴充目前資料庫的功能，故將辦理時間往後延長。目前正在重新研擬「低放廢棄物資料庫系統(LRWDS)更新案」招標規範。
第二次審查意見
同意答復。
物管局審查結論
1. 請台電公司參照委員意見辦理，以提升計畫成果品質。 2. 請台電公司依據本局 106 年 7 月 25 日審查「低放射性廢棄物最終處置技術評估報告」會議紀錄（物三字第 1060002081 號函）決議事項持續辦理，並依審查意見，積極精進各項處置技術。

編號	10	章節	2	頁碼	17	行數	
第一次審查意見							
「低放貯存場低放射性廢棄物計測暨取樣分析技術服務」此項工作在本報告第 7 頁表格內歸類為處置技術建置計畫之安全/功能評估類別，且表內說明為「後續工作將配合低放貯存場「提升蘭嶼貯存場營運安全實施計畫」正式動工後，再行啟動。」但在原計畫書內並未規劃有此項工作？							
第一次審查意見答復說明							
本技術服務案於民國 106 年 12 月決標，已超過原計畫提交時間，故未寫入原計畫中。但鑒於本技術服務案仍為處置技術建置計畫之安全/功能評估類別之重要工作項目，因此將本技術服務案納入執行成果中。另，108 年度工作計畫即將本技術服務案納入規劃中。							
第二次審查意見							
同意答復。							
物管局審查結論							

1. 請台電公司參照委員意見辦理，以提升計畫成果品質。
2. 請台電公司依據本局 106 年 7 月 25 日審查「低放射性廢棄物最終處置技術評估報告」會議紀錄（物三字第 1060002081 號函）決議事項持續辦理，並依審查意見，積極精進各項處置技術。

三、處置設施選址計畫意見

編號	11	章節	3	頁碼	20	行數	
第一次審查意見							
第三章 處置設施選址計畫 二、現階段(半年)執行之具體工作項目與成果 台電公司本階段依據低放射性廢棄物最終處置 107 年度工作計畫(修訂 2 版)，及配合主辦機關經濟部，持續辦理推動公投之民眾溝通工作。 三、執行成效、檢討及下階段工作要項 現階段選址計畫主要工作為選址公投準備作業，因 2 處建議候選場址縣政府尚未同意經濟部委託辦理公投選務工作，經濟部評估自辦公投確有困難事項待克服，致公投時程仍具有不確定性因素存在，台電公司除持續加強與縣政府、議會及地方民眾之溝通外，並依據「108 年度低放選址地方溝通工作計畫」進行公眾溝通。 本階段處置設施選址計畫最後成果說明如上，但目前處置設施選址計畫仍無進度，選址計畫於此時段為完全停滯狀態，並無工作成果。							
第一次審查意見答復說明							
1. 台電公司已協助經濟部於 101 年 7 月 3 日核定公告「金門縣烏坵鄉」、「臺東縣達仁鄉」等 2 處建議候選場址，後續於 101 年 8 月 17 日及 105 年 5 月 5 日函請金門縣及臺東縣政府配合辦理公投選務工作，惟均未獲同意，台電公司將持續配合經濟部指示辦理地方民眾溝通工作。 2. 此外，台電公司遵照主管機關指示，辦理「低放射性廢棄物最終處置技術精進計畫」技術服務案，持續進行低放處置技術精進，俾利銜接後續場址調查、安全分析等工作。							

第二次審查意見							
無進一步意見，並請將修訂內容或說明內容納入報告內。							
第二次審查意見答復說明							
遵照委員意見，已將修訂內容或說明內容納入報告內。							
物管局審查結論							
1. 請台電公司參照委員意見辦理，以提升計畫成果品質。 2. 依據「低放射性廢棄物最終處置計畫書（修訂二版）」之時程規劃，台電公司應於 105 年 3 月完成選址作業並提報行政院核定，惟台電公司未能如期選定低放射性廢棄物最終處置設施場址。本報告第三章處置設施選址計畫，台電公司選址作業無實質進展，並應修正與選址作業無關之內容。							

編 號	12	章 節	3	頁 碼	27	行 數	
審查意見							
有關低放射性廢棄物集中貯存應變方案，請台電公司依本會 106 年 2 月 15 日會物字第 1060002261 號函，「低放射性廢棄物最終處置計畫替代/應變方案之具體實施方案」審查結論切實辦理。107 年度工作計畫內含低放射性廢棄物集中貯存應變方案計畫，惟年度成果報告未有此計畫之相關成果，請於專章說明應變方案執行成果。							
審查意見答復說明							
台電公司依據大會之行政指導，並考量應變方案(集中式貯存)策略涉及之層面與範圍廣泛，有必要先進行可行性研究工作，故於 104 年 9 月 3 日啟動「放射性廢棄物最終處置應變方案可行性研究」案(下稱可行性研究案)。可行性研究案針對我國放射性廢棄物特性、中期貯存設施場址條件、設施初步設計、設施營運與初步安全分析等相關工作項目進行研究，台電公司於 105 年 9 月完成「放射性廢棄物最終處置應變方案可行性研究報告							

」(下稱「可行性研究報告」)，經初步評估，我國興建一處集中式貯存設施技術上係具備可行性。

依據大會核備之「低放處置計畫」(修訂二版)中有關應變方案部分，則述明將陳報經濟部同意後，啟動集中式貯存方案，故台電公司於 105 年 9 月 30 日將「可行性研究報告」陳報經濟部國營事業委員會(下稱國營會)轉陳經濟部。國營會於 105 年 10 月 14 日函請台電公司就該報告釐清、補正相關資料後再報；另，大會於 105 年 10 月 27 日就「可行性研究報告」函送意見予經濟部並副知台電公司，國營會爰於 105 年 11 月 2 日函請台電公司將大會所提意見與該會前開 105 年 10 月 14 日函一併妥處。台電公司遵照國營會指示辦理，將大會與該會所提意見一併妥處及修訂「可行性研究報告」。

另，貴局於 104 年 11 月 26 日召開「放射性物料臨時管制會議」，要求台電公司若未能於 105 年 3 月選定低放處置場址，應加強推動處置計畫書第 10 章之「替代/應變方案」，於 105 年 3 月底前提出實施策略規劃(包括重點內涵及規劃時程)，並於 105 年底前提報具體實施方案。台電公司爰依據前述會議要求，先於 105 年 3 月 25 日提出替代/應變方案之實施策略規劃，續就前開修訂之「可行性研究報告」內容於 105 年 12 月 14 日提出具體實施方案。

貴局於 106 年 1 月 11 日召開前開具體實施方案之審查會議，並於 106 年 1 月 17 日函送審查會議紀錄，請台電公司將具體實施方案送請行政院國家永續發展委員會「非核家園推動專案小組」(下稱「非核小組」)研議，尋求最佳可行方案。台電公司依據前開審查會議紀錄之結論及 106 年 2 月 23 日經濟部李部長世光聽取核能後端業務辦理情形之裁示，將釐清、補正及修訂後之「可行性研究報告」更名為「放射性廢棄物最終處置應變方案(集中式貯存)推行初步規劃書」(下稱「推行初步規劃書」)，於 106 年 3 月 3 日陳報國營會轉陳經濟部核轉「非核小組」研議，以尋求最佳可行方案。

台電公司持續遵照經濟部之指示，配合辦理「非核小組」就相關議題討論之幕僚作業。「非核小組」就應變方案(集中式貯存)之研議過程及配合辦理相關作業，截至 108 年 3 月底止摘要說明如下：

1、106 年 5 月 3 日「非核小組」第 1 次會議中，台電公司簡報「核廢料處

置現況說明」，於該簡報中提及「放射性廢棄物最終處置應變方案-集中式貯存」。經討論後，主席裁示：「關於低放、集中式貯存或最終處置場的選址程序，都面臨民眾如何參與選址才能符合民主及效率，未來若透過修法或立法來解決問題，須尋求社會最大共識，也是最正當的程序。」

- 2、107 年 1 月 22 日「非核小組」第 3 次會議中，主席說明略以：「…現階段應優先辦理尋找可存放 50 至 100 年及可控管的集中式中期貯存場，這或許比較容易達成。」會議討論後，主席裁示：「下次會議討論題由台電分析集中貯存場並提出構想，另諮詢委員亦請提出建議場址，一併於下次會議中討論。」
- 3、107 年 4 月 24 日「非核小組」第 4 次會議第 1 次會前會，台電公司報告「『集中式貯存場』構想與初步規劃」。綜觀會中諮詢委員之發言與意見，可初步推論目前「非核小組」對集中式貯存之推動持正面態度，未來將就此議題持續討論。
- 4、107 年 8 月 22 日「非核小組」第 4 次會議第 3 次會前會，台電公司於會中簡報「蘭嶼貯存場遷場規劃」及「集中式中期貯存場規劃」，主席作出結論如下：
 - (1) 為使核廢料處理相關選址作業順利進行，將規劃成立溝通小組或委員會，於前期階段即統籌規劃利害關係人及社會溝通作業，預訂於「非核小組」第 4 次會議中進行討論。
 - (2) 請台電公司規劃，邀請相關學術研究團隊及具意願之委員與會，針對社會溝通相關議題交流意見並凝聚共識後，提出規劃設計草案後，再於後續會議討論。
- 5、台電公司依據前開結論，於 107 年 11 月 19 日邀請國立政治大學公共行政學系之研究團隊，就「核廢料處理社會溝通規劃」進行座談，並預訂於「非核小組」第 4 次會議報告「核廢料處理社會溝通規劃」之辦理情形。
- 6、台電公司依據 107 年 12 月 19 日第 136 次放射性物料管制會議紀錄議案 753 之決議於 108 年 1 月 31 日以核端字第 1088008093 號函檢陳「低放射性廢棄物最終處置計畫「應變方案(集中式貯存)」相關規劃及辦理成果報告」予貴局鑒察。

7、108 年 2 月 21 日，政大公行系研究團隊就「核廢料處理社會溝通規劃」邀請「非核小組」委員進行焦點座談，台電公司亦派員參加。

8、108 年 3 月 15 日「非核小組」第 4 次會議，會中由政大公行系研究團隊報告「核廢料處理社會溝通規劃說明」，另由台電公司就討論議題簡報「我國推動集中式中期貯存場之規劃與展望」。主席綜合「非核小組」出席委員之意見後，做成初步結論。台電公司後續將依據會議紀錄以及上級機關經濟部之指示辦理相關作業。

綜前所述，台電公司自 104 年 9 月開始進行規劃應變方案(集中式貯存)，並在經濟部與大會之督導與監督下持續推動，至今(截至 108 年 3 月底止)已於「非核小組」進行數次討論，並於討論之過程中逐漸形成決策概念之雛形。俟「非核小組」之研議結論形成政府之決策後，台電公司將依據該決策及經濟部之指示配合辦理相關事宜。

第二次審查意見

非核小組已於 108 年 3 月 15 日第 4 次會議決議要求，台電公司應積極辦理並展開溝通，且審查意見之答覆說明不也說明台電公司在此項工作執行現況，既然年度工作計畫書中有列入此項工作，實應在成果報告加以說明。

物管局審查結論

低放處置集中貯存應變方案，係低放射性廢棄物最終處置計畫之一部分，台電公司應依據「低放射性廢棄物最終處置計畫書」(修訂二版)第 10 章「替代/應變方案」辦理。本報告中未列專章說明，且集中貯存應變方案亦無實質進度，請台電公司依本會 106 年 2 月 15 日會物字第 1060002261 號函，「低放射性廢棄物最終處置計畫替代/應變方案之具體實施方案」審查結論，切實執行。

四、民眾溝通專案計畫意見

編號	13	章節	4	頁碼		行數	
第一次審查意見							

本年度成果報告在民眾溝通專案計畫方面的內容說明相對以往有較清楚的說明，可予肯定。

溝通計畫與行動方案仍需要持續有創新性、突破性的做法，建議編列預算對專案溝通人員進行在職訓練、輔導，強化溝通人員的信心。例如後端處工程師可針對國內低放處置計畫的技術發展內容、國外低放處置技術與經驗等與溝通小組成員交流。

第一次審查意見答復說明

1. 台電公司溝通人員固定每天早上 9 點開晨會，由同仁輪流就低放相關議題做專案簡報及資訊交流。另溝通人員在製作各式文宣資料時，會邀請各相關業務同仁交換意見。
2. 核後端處辦理相關國內外技術研討會會派員出席，以吸收相關技術。
3. 台電公司曾於 107 年派員赴國外進行國際核能交流，另於 108 年 3 月 18 日邀請中國、日本及韓國等學者，辦理「核燃料循環後端多邊化安全管理研討會」，討論用過核燃料的未來處置方向。

第二次審查意見

無後續意見。

物管局審查結論

1. 請台電公司參照委員意見辦理，以提升計畫成果品質。
2. 有關民眾溝通專案計畫，台電公司相同溝通模式已辦理多年，其推動成效不彰，民調支持度持續偏低，台電公司應檢討各項行動方案內容，提出創新性、突破性的做法，期能有效爭取地方認同，以利地方公投之遂行。

編號	14	章節	4	頁碼		行數	
第一次審查意見							
關於第四章民眾溝通專案計畫之推動方法，實在需要深刻檢討。經濟部部長於立法院接受立委質詢時公開表示，連低放射性廢棄物永久處置都是不可能的任務，遑論用過核子燃料永久處置。為什麼低放永久處置推動若連經濟部							

部長都這麼悲觀?這麼長期推動之民眾溝通成效為什麼沒辦法讓部長有信心?另外，部長亦表示，金門鄉親有八成以上反對興建處置場，此一數字是否代表台電過去溝通計畫是做虛功?							
第一次審查意見答復說明							
根據台電公司 106 年金門縣的民調顯示，金門民眾反對的比例約 43.8%，支持民眾的比例約為 45.4%，實質上支持民眾的比例是高於反對民眾，表示台電公司過去的溝通計畫是有成效的。							
第二次審查意見							
若台電溝通計畫是有成效的，為何連經濟部部長都沒有信心?							
第二次審查意見答復說明							
低放處置場是個鄰避設施，一般來說是不受民眾歡迎，如同手機基地台也不受當地居民歡迎，故經濟部長只是就一般民眾的印象做一個描述。由於烏坵鄉離金門有一定距離，且金門地區經過本公司多年的努力溝通，金門鄉親的態度目前是以尊重烏坵鄉親意見為主，也就是說如果烏坵鄉親不反對，那金門鄉親就會支持。							
物管局審查結論							
有關民眾溝通專案計畫，台電公司相同溝通模式已辦理多年，其推動成效不彰，民調支持度持續偏低，台電公司應檢討各項行動方案內容，提出創新性、突破性的做法，期能有效爭取地方認同，以利地方公投之遂行。							

編號	15	章節	4	頁碼	29	行數	
第一次審查意見							
本報告為 107 年 8 月至 108 年 1 月成果報告。文內敘述「……，以及籌備金湖鎮（107 年 8 月 6 日至 108 年 1 月持續進行）逐戶拜訪工作。」，請修正”籌備”與”持續進行”等文字。							
第一次審查意見答復說明							

謝謝委員的指正。已修正為「完成金湖鎮（107 年 8 月 6 日至 108 年 1 月）逐戶拜訪工作。

第二次審查意見

同意答復。

物管局審查結論

請台電公司參照委員意見辦理，以提升計畫成果品質。

編 號	16	章 節	4	頁 碼	29	行 數	
第一次審查意見							
1. “民眾”溝通，不要忘記各級學校的“老師”，幫助老師建立正確認知，由老師的觀念直接影響子民，從老師口中說出的說服度甚至高於台電。 2. 推動「金門縣烏坵鄉」及「臺東縣達仁鄉」民眾至核能三廠南部展示館參觀該實體模型，使其解除部分疑慮，並期能回去傳遞於鄉親們 3. 相對上，烏坵民意所需表達已很清楚；達仁同意度也有在上升，建議正在做的達仁鄰近鄉鎮，繪製各鄉同意度%分布圖，委託專業單位分析鏈結交叉分析鄉民屬性，以了知民眾背後的想法，以利規劃長遠溝通方式。							
第一次審查意見答復說明							
1. 台電公司每年皆有辦理大專生暑期電力活動營，針對學生及老師宣導低放相關資訊，金門地區並有安排至學校辦理低放說明會，台東地區則邀請學生至南展館參訪，未來將加強針對學校老師進行溝通。 2. 過去皆有安排烏坵鄉親及達仁鄉親赴核三廠南展館參訪，未來將增加辦理次數。 3. 每年皆有進行金門及台東兩地的民調，並分析民眾的屬性，未來將更進一步進行分析，瞭解民眾的屬性及需求。							
第二次審查意見							

同意答復。

物管局審查結論

1. 請台電公司參照委員意見辦理，以提升計畫成果品質。
2. 有關民眾溝通專案計畫，台電公司相同溝通模式已辦理多年，其推動成效不彰，民調支持度持續偏低，台電公司應檢討各項行動方案內容，提出創新性、突破性的做法，期能有效爭取地方認同，以利地方公投之遂行。

編號	17	章節	4	頁碼	29、39	行數	
第一次審查意見							
有關第四章 民眾溝通專案計畫之選址溝通工作，目前進行廣告文宣、組織動員方式，對於村里民辦理低放業務宣導說明會，辦理鄰近鄉之逐戶拜訪工作。 建議可多主動與環保團體聯繫，並請環保團體參與低放處置計畫工作(如環境基本調查、生物圈環境、食物鏈調查等)。 Page39 提出，另於低放處置場址及基本設計確立後，將進行製作低放處置設施 3D 數位展示模型，使民眾能更清楚了解處置場的配置及運作狀況。有關 3D 數位展示模型建議應無須俟低放處置場址確立才進行，並建議結合 VR 虛擬實境方式，讓民眾或實際想要瞭解低放處置之人士使用，以協助民眾溝通工作之進行。							
第一次審查意見答復說明							
1. 台電公司每年皆於前一年事先規劃「低放射性廢棄物最終處置年度工作計畫」，並送原能會備查，107 年之公眾溝通項目，皆遵照既定計畫執行完畢，未來將遵照建議及選址作業進度進行檢討執行。 2. 目前 107 年已完成低放 3D 立體動畫，並規劃 108 年 10 月底完成低放處置立體模型及低放多媒體互動系統。							
第二次審查意見							

無進一步意見，並請將修訂內容或說明內容納入報告內。

第二次審查意見答復說明

遵照委員意見辦理，已放入半年報告中。

物管局審查結論

1. 請台電公司參照委員意見辦理，以提升計畫成果品質。
2. 有關民眾溝通專案計畫，台電公司相同溝通模式已辦理多年，其推動成效不彰，民調支持度持續偏低，台電公司應檢討各項行動方案內容，提出創新性、突破性的做法，期能有效爭取地方認同，以利地方公投之遂行。

編號	18	章節	4.1	頁碼	29 30	行數	18~19 1~2
第一次審查意見							
對處置場候選場址當地居民的拜訪，近來居民對處置場設置的支持度均達 60% 以上，則理論上公投應該可以過關。可是處置場公投卻遲遲無法舉辦。顯然溝通的對象、深度及廣度仍有待加強。							
第一次審查意見答復說明							
經濟部曾於 101 年及 105 年函請台東縣及金門縣政府，協助辦理公投，然台東縣政府皆以本縣目前法規訂定不完備，且考量辦理地方性公投選務作業繁瑣為由，難以協助辦理公投。而金門縣政府於以近年金門縣公職人員投票率均未過 50%，且以縣公投決定低放場址事物，與「住民自決精神」違背，建請修法以鄉公投為辦理範疇。由於兩地縣政府皆兩度發函難以配合辦理公投之事，導致迄今仍無法完成地方性公投。							
根據民國 95 年 05 月 24 日政府公佈「低放射性廢棄物最終處置設施場址設置條例」，明定主辦機關為經濟部，作業者為台灣電力公司，故有關公投辦理時機係由經濟部所決定，非台電公司所能處理。							
第二次審查意見							

所謂溝通對象，當然也包括經濟部。請加強溝通計畫。

第二次審查意見答復說明

同意遵照辦理。

物管局審查結論

1. 請台電公司參照委員意見辦理，以提升計畫成果品質。
2. 有關民眾溝通專案計畫，台電公司相同溝通模式已辦理多年，其推動成效不彰，民調支持度持續偏低，台電公司應檢討各項行動方案內容，提出創新性、突破性的做法，期能有效爭取地方認同，以利地方公投之遂行。

編號	19	章節	4	頁碼	30	行數	
第一次審查意見							
107 年度工作計畫書內，全國性質規劃有電話民調，成果報告內請說明執行成果。							
第一次審查意見答復說明							
台電公司 107 年低放電話民調顯示，全國民眾對於設置低放最終處置場的支持度為 59.4%，金門縣民眾的支持度為 45.1%，台東縣民眾的支持度為 33.5%。與 106 年民調相比，金門地區為 45.4%、台東地區為 34.5%，在考量抽樣誤差後，並無顯著差異。							
第二次審查意見							
同意答復。							
物管局審查結論							
請台電公司參照委員意見辦理，以提升計畫成果品質。							

編號	20	章節	4	頁碼	32	行數	
第一次審查意見							
有關今年新增旅台烏坵仕紳進行逐戶拜會說明低放公投事宜，請問何謂辦理一輪？請補充說明共計共幾戶？已拜訪幾戶？							
第一次審查意見答復說明							
1. 烏坵鄉 107 年設籍人口約 660 人，烏坵當地常住人口約 20 幾人，其餘鄉民因生活不易，大多旅居於台灣地區。 2. 但因烏坵鄉情況特殊，皆以家族方式群聚生活在一起，分布於台北、台中、高雄、花蓮等地區；如烏坵鄉鄉長蔡永富，其家族大多居住在北部石牌附近，並有互相連絡，目前烏坵鄉親家族大致有 20 多個家族，每個家族皆有代表，只要與這些代表聯繫溝通，便可將訊息傳遞給多數烏坵鄉親。 3. 台電公司為溝通宣導需要，以台北、台中、高雄、花蓮等 4 個地區劃分為一輪，拜會各家族代表為主，107 年透過逐戶拜會安排家族赴金門協助低放溝通、參訪電廠及家族說明會等等，與台北、台中、高雄、花蓮等地區 10 戶不同家族接觸。							
第二次審查意見							
同意答復。							
物管局審查結論							
請台電公司參照委員意見辦理，以提升計畫成果品質。							

編號	21	章節	4	頁碼	33	行數	
第一次審查意見							
組織動員的行動方案內有「急難救助、老人弱勢等」，而且是辦理了 18 場。急難救助在計畫書內是屬於公益關懷的行動方案。而 18 場次是如何計算？							
第一次審查意見答復說明							

針對台東地區生活困頓、弱勢家庭進行慰問，並發送急難救助金，以 107 年為例，達仁鄉補助 12 人、大武鄉補助 5 人、成功鎮 1 人，總計 18 人。

第二次審查意見

修改文字為 18 人次。

第一次審查意見答復說明

遵照委員意見辦理，已修改於半年報告中。

物管局審查結論

請台電公司參照委員意見辦理，以提升計畫成果品質。

編號	22	章節	4	頁碼	34	行數	
第一次審查意見							
1. 此次整理分類民眾意見，均比之前報告清楚了，也展現台電的“能”力。							
2. 金門離很遠，表示尊重烏坵；而烏坵民眾實際沒住在烏坵，甚至已希望盡早施工。故內心上，剩下回饋金錢的分配問題—金門 VS 烏坵；民眾 VS 政府，當可協調出來最佳方式。							
3. 所以，烏坵場址最容易被通過允許進行場址調查工作。故外相上，如何讓烏坵公投或民意表達出來，是目前最關鍵，且也有把握。							
4. 但也須知會國防與外去烏坵服役軍人。							
第一次審查意見答復說明							

1. 謝謝委員的肯定，後續將會持續加強溝通。
 2. 依照「低放射性廢棄物最終處置設施場址設置條例」第十二條明訂回饋金之總額為新台幣五十億元。其回饋金分配比率如下：
 - 一、處置設施場址所在地鄉（鎮、市）不低於百分之四十
 - 二、處置設施場址鄰近鄉（鎮、市）合計不低於百分之三十；無鄰近鄉（鎮、市）者，處置設施場址所在地鄉（鎮、市）及縣（市）各增加百分之十五
 - 三、處置設施場址所在地縣（市）不低於百分之二十
- 依照上述條例，金門縣政府可分得約 17.5 億元，烏坵鄉約可分得 27.5 億元。
3. 為了使烏坵鄉民意表達出來，台電公司在金門地區辦理說明會時有安排烏坵鄉親前往協助說明，另有安排烏坵鄉親到金門地方電視及廣播電台錄音錄影，並安排播出。

烏坵鄉為建議候選場址，烏坵鄉軍方及國防部等亦列為溝通的對象，過去曾安排拜會烏坵鄉守備大隊，並於三節(春節、中秋及端午)併同長住烏坵鄉親一起贈送禮品，其對低放處置亦有一定了解，未來如啟動公投，決定低放最終處置場設置於烏坵鄉，將遵照國家政策辦理，知會國防部等相關人員。

第二次審查意見

同意答復。

物管局審查結論

請台電公司參照委員意見辦理，以提升計畫成果品質。

編號	23	章節	4	頁碼	36	行數	
第一次審查意見							
民眾議題第 10 點：對民眾提安全技術上疑慮，台電怎僅能回答到「證實有…處置技術“評估”之能力」？							
第一次審查意見答復說明							

此處為筆誤，應為「台電公司已於 106 年完成「LLWD 2016 報告」，初步進行安全分析，並經國內及國際同儕審查，且經主管機關審查同意，證實國內具有處置技術之能力，後續台電公司亦將持續精進處置相關技術。」

第二次審查意見

同意答復。

物管局審查結論

請台電公司參照委員意見辦理，以提升計畫成果品質。

五、附錄意見

編號	24	章節	附 1	頁 碼	1-2	行 數	最後一行
第一次審查意見							
附錄第 1 章之 1-2 頁提出：台東縣達仁鄉建議候選場址屬於硬頁岩地質環境，現階段國際間並無相同地質環境之處置或研究設施。 根據該報告內論述，現階段國際間並無台東縣達仁鄉建議候選場址相同地質環境之處置或研究設施，若是屬於該論述，是否仍具有列為低放處置候選場址之選擇條件。 據瞭解，有關泥質岩之定義：呈層的泥質岩為頁岩，不呈層而呈塊狀者為泥岩，由顆粒很細的泥構成的沈積岩。法國有關處置之泥質岩地質環境或中國大陸於內蒙地區塔木素盆地之泥質岩地質環境之相關研究，是否可供硬頁岩地質環境之場址特徵化利用參考。							
第一次審查意見答復說明							
1. 本報告考量泥質岩類地層的特徵受其沉積材料特性與沉積構造影響甚巨，不同場址的泥質岩地層特徵可因此而明顯不同，故未將其他泥質岩場址歸類為與達仁場址相同，研判依據說明於以下第 2 項回答。目前二處建議候選場址均為依據「低放射性廢棄物最終處置設施場址設置條例」							

篩選後選定之場址，經放射性廢棄物最終處置設施場址選擇小組確認此二處場址符合選址條例第 4 條規定，選定為建議候選場址，對於是否選為候選場址，仍待後續依選址程序執行公投並通過後方能訂定。

2. 泥質岩類地層的特徵受其沉積材料特性與沉積構造影響，包含其成分變化(例如碳酸鹽類含量多寡)、粒徑變化(粉砂質顆粒的含量)、含水量、或其他構造作用或應力環境等因素，均可能造成即使相同岩類但地層力學強度與水力特徵不同的情況。達仁鄉建議候選場址於其生成過程中，沉積環境由深海海盆漸變為大陸斜坡環境，受過大量的濁流擾動與海底崩移堆積作用影響，並且於其後造山運動中產生多期變形，場址常見小型剪裂構造、褶皺與發達劈理。法國 Meuse/Haute Marne URL 之地層為 Callovo-Oxfordian argillaceous formation，為均勻、細顆粒、擾動少的厚層泥質岩層；塔木素地區的泥質岩層屬於湖相沉積，屬於較寧靜的沉積環境，根據其相關研究成果，亦未見有類似達仁場址般常見小型剪裂構造且劈理發達之報告。故本計畫於研究初期，即評估儘管前述場址與達仁場址均屬泥質岩類，然地層所歷經之歷史與地層結構並不相似，故研判不宜直接以相同地質環境概括之。未免造成誤解，報告本文已修改並補充上述說明。此外，針對國際間不同泥質岩地層之特徵化差異對比與探討，建議可於後續計畫評估分析。
3. 本報告的特徵化程序演練對象 MIU 場址已系統化建立一套場址特徵化程序，包含須考量之原則及釐清特徵的評估程序。此程序不僅符合現今國際趨勢，對於花崗岩場址與泥質岩場址均適用，因各場址均需藉由於多階段程序中導入疊代式原則與多尺度原則，逐步釐清對處置安全影響明顯的場址特徵，確認場址特徵符合特性要求，並進而達到處置安全之目的。

第二次審查意見

無進一步意見，並請將修訂內容或說明內容納入報告內。

第二次審查意見答復說明

已將相關說明納入報告中。

物管局審查結論

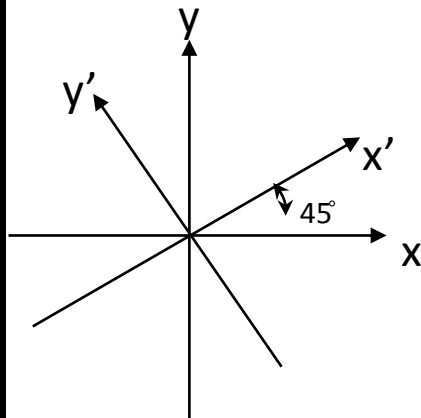
請台電公司依據本局 106 年 7 月 25 日審查「低放射性廢棄物最終處置技術評估報告」會議紀錄（物三字第 1060002081 號函）決議事項持續辦理，並依審查意見，積極精進各項處置技術。

編號	25	章節	附 1.2	頁碼		行數	
第一次審查意見							
107 年度執行成果摘錄第一章 1.2 節介紹日本處置研究相關場址水文地質特徵化經驗，於三、場址尺度的水文地質特性調查與特徵化分析相關內容提及可由水力試驗取得不連續構造的導水係數與水力傳導係數，因此一特徵影響裂隙岩體流場甚巨，試驗細節與分析方法請清楚說明。							
第一次審查意見答復說明							
MIU 針對裂隙岩體的水力特性，採用雙封塞水力試驗進行測量。在試驗過程中，利用封塞阻隔包含單一裂隙或多道裂隙的區段，測量水力特性。藉由將封塞段控制於固定壓力之下，注水並製造暫態水流行為，利用流量隨時間之變化、水井函數、試驗歷時以及試驗井半徑等參數進行分析，求得導水係數與水力傳導係數。相關說明已補充於報告中。							
第二次審查意見							
雙封塞水力試驗是決定水力內寬?導水係數?水力傳導係數?或是均可互換?請詳細說明日本做法。							
第二次審查意見答復說明							
雙封塞試驗可針對井中不連續構造進行施作，得到不連續構造的相關水力參數，對於裂隙細部的水力內寬等特性之參數，目前日本分析結果將導水係數(Transmissivity)換算水力內寬，至於可否互換則需要再與日本專家討論。							
物管局審查結論							

1. 請台電公司參照委員意見辦理，以提升計畫成果品質。
2. 請台電公司依據本局 106 年 7 月 25 日審查「低放射性廢棄物最終處置技術評估報告」會議紀錄（物三字第 1060002081 號函）決議事項持續辦理，並依審查意見，積極精進各項處置技術。

編號	26	章節	附 1.3	頁碼		行數	
第一次審查意見							
107 年度執行成果摘錄第一章 1.3 節利用 MIU 場址資料與多尺度概念，進行水文地質特徵模型建置與驗證，其中表 1.3-1、1.3-2、1.3-3、1.3-4、與表 1.3-5 顯示不同尺度各個水文地質單元的參數設定，建議說明這些參數設定之依據以及使用之調查與試驗方法。另外，MIU 考慮斷層帶水力傳導係數具異向性，本研究 MODFLOW 模式輸入假設斷層的水力傳導係數異向性主軸在水平與垂直方向，若斷層非垂直或水平，則此一設定將偏離事實，區域中斷層面輸入位態需說明。							
第一次審查意見答復說明							
MODFLOW 地下水數值模式遵守達西定律，依照達西方程式與杜普特假設 (Dupuit's Assumption)，將地下水視為水平流向與垂直到向，且模型中的材料須以孔隙介質材料考慮。於日本的文獻中，不連續構造的水力傳導係數值以垂直斷層走向與平行斷層走向的形式呈現，應是為了配合斷層走向非固定方向的情況，故以此種方式說明參數。而本報告將此參數輸至模型的過程中，均配合斷層走向，將文獻提供之垂直斷層走向與平行斷層走向的數值，以投影換算方式，計算求得該數值於水平與垂直方向的分量，用以作為 MODFLOW 中斷層材料網格的水力特性設定依據，因此實際上仍保留原參數之異向性特性。							
第二次審查意見							
投影換算並不正確，水力傳導係數為張量，應該使用張量座標轉換，座標轉換後垂直與水平方向不會是主值方向。							
第二次審查意見答復說明							

本報告採用向量投影方法換算，向量投影與張量投影之換算方法說明如下。
假設空間中一個具有北偏東走向 45 度單位之水力傳導係數舉例說明。



1. 以向量投影方法換算

以方向向量投影的方法，將 1 單位乘上 $\cos 45$ 度，在 X 方向得到 0.7 單位的水力傳導係數。

2. 以委員建議之張量投影方法換算

若應用張量轉換方法公式如下

$$\begin{bmatrix} K_{xx} & K_{xy} & K_{xz} \\ K_{yx} & K_{yy} & K_{yz} \\ K_{zx} & K_{zy} & K_{zz} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \gamma_{11} & \gamma_{21} & \gamma_{31} \\ \gamma_{12} & \gamma_{22} & \gamma_{32} \\ \gamma_{13} & \gamma_{23} & \gamma_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} K_{x'x'} & 0 & 0 \\ 0 & K_{y'y'} & 0 \\ 0 & 0 & K_{z'z'} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \gamma_{11} & \gamma_{12} & \gamma_{13} \\ \gamma_{21} & \gamma_{22} & \gamma_{23} \\ \gamma_{31} & \gamma_{32} & \gamma_{33} \end{bmatrix}$$

$$\gamma_{11} = \sin\phi \sin\theta + \cos\phi \sin\theta \cos\theta$$

$$\gamma_{12} = \cos\phi \sin\theta - \cos\phi \sin\theta \cos\theta$$

$$\gamma_{13} = \cos\phi \sin\theta - \sin\phi \cos\theta \cos\theta$$

$$\gamma_{21} = \cos\phi \sin\theta + \sin\phi \sin\theta \cos\theta$$

$$\gamma_{22} = \cos\phi \cos\theta + \sin\phi \sin\theta \cos\theta$$

$$\gamma_{23} = \sin\theta \cos\theta$$

$$\gamma_{31} = \sin\theta \sin\phi$$

$$\gamma_{32} = \sin\theta \cos\phi$$

$$\gamma_{33} = \cos\theta \sin\phi$$

$$\text{對X軸旋轉}\phi \text{ 對Y軸旋轉}\theta \text{ 對Z軸旋轉}\phi$$

$$\text{對X軸旋轉}\phi \text{ 對Y軸旋轉}\theta \text{ 對Z軸旋轉}\phi$$

透過轉換公式將 Z 軸旋轉-45 度 $K_{x'x'}$ 代 1 其餘為 0，計算後除了在 K_{xx} 和 K_{yy} 方向上有 0.5 單位的水力傳導係數之外，在 K_{xy} 與 K_{yx} 方向上還有 0.5 單位的

水力傳導係數。

因此只使用向量投影會少考慮到水力傳導係數主值對其他方向的影響，感謝委員指導，未來在針對斷層的座標軸轉換方式，會以張量方法進行換算。

物管局審查結論

1. 請台電公司參照委員意見辦理，以提升計畫成果品質。
2. 請台電公司依據本局 106 年 7 月 25 日審查「低放射性廢棄物最終處置技術評估報告」會議紀錄（物三字第 1060002081 號函）決議事項持續辦理，並依審查意見，積極精進各項處置技術。

編號	27	章節	附 1.3	頁碼		行數	
第一次審查意見							
107 年度執行成果摘錄第一章塊體尺度離散裂隙模擬分析相關內容中，關鍵參數為水力內寬，然報告書未說明此一參數如何設定；另外，圖 1.3-18 對於顯示裂隙空間分布特徵沒有幫助。表 1.3-7 之 K_{xy} 是否應表示為 K_x 與 K_y 較妥適？另外， x 、 y 平面為水平面？ z 為垂直方向？若是如此，為何裂隙岩體水力傳導係數張量主軸剛好位於垂直與水平方向？若否，建議應顯示水力傳導係數張量主軸方向。							
第一次審查意見答復說明							
1. 裂隙開口寬根據 MIU 的研究成果(JAEA, 2015a, p. 33~p. 34)，其經驗式為開口寬等於滲透率開平方根。該敘述於報告附錄一 P. 1-36 第一段。 2. 圖 1.3-18 為日本報告中三種花崗岩離散裂隙模型，各個色塊的大小、疏密度、分布區域，反映裂隙特徵的不同。花崗岩上部裂隙帶屬於較為破碎的岩體，色塊的分布細碎而均勻。低角度裂隙帶中廣泛分布低傾角的裂隙，故較多體積較大、形狀接近正方的色塊。下部裂隙帶的裂隙密度較低，裂隙大小較大的裂隙較多，故大面積的色塊比其上的兩個裂隙帶多。 3. 遵照辦理，已於報告附錄一表 1.3-7 修改。 4. FracMman 模式中透過 ODA 升尺度之後，將裂隙分布、長度、開口寬與位態等特性，藉由投影的方法算出各個特性在空間中 X、Y、Z 方向上的貢獻，故主軸於轉換為等效水力傳導係數後，位於垂直方向(Z 方向)與水平							

方向(X、Y 方向)。

第二次審查意見

1. 水力內寬是根據滲透率計算而得?離散裂隙網路其實需要根據水力內寬決定水力傳導係數!!
2. 裂隙位態與大小空間分布視覺化應該更重要。
3. 沒有進一步問題。
4. 藉由投影的方法算出各個特性在空間中 X、Y、Z 方向上的貢獻此一方式是不正確的，水力傳導係數是張量，應透過張量旋轉，故轉換至垂直方向(Z 方向)與水平方向(X、Y 方向)後，應該不是主值。

第二次審查意見答復說明

1. 根據目前收集到的日本文獻針對水力內寬是這樣呈現，而 SKB 針對金門 K 區裂隙參數表當中也使用相同方法，這個部分將跟日本持續討論，以釐清導水係數(Transmissivity)與水力內寬轉換的分析方法。
2. 感謝委員提醒未來將視案例需求提供概念模型進行呈現。
4. 透過 FRACMAN 轉換至垂直方向(Z 方向)與水平方向(X、Y 方向)，之水力傳導係數非主值。

物管局審查結論

1. 請台電公司參照委員意見辦理，以提升計畫成果品質。
2. 請台電公司依據本局 106 年 7 月 25 日審查「低放射性廢棄物最終處置技術評估報告」會議紀錄（物三字第 1060002081 號函）決議事項持續辦理，並依審查意見，積極精進各項處置技術。

編號	28	章節	附 1.3	頁碼	1-35 至 1-37	行數	
第一次審查意見							
案例 2 嘗試建立了塊體尺度的離散裂隙網路模型，並據以計算出塊體等效水力傳導係數，為相當重要的模擬分析工具。請說明：							

1. 未來是否需要建立更大尺度的離散裂隙網路模型？ 2. 離散裂隙模擬分析除了用於等效水力傳導的推估，是否還有其他地質特徵特性方面的應用？							
第一次審查意見答復說明							
1. 塊體尺度為針對小範圍重要區域且流場特性由裂隙主導之範圍進行評估的尺度。於多尺度特徵化程序的過程中，初始的大尺度模型以較廣域的集水區或水系自然邊界劃定範圍，主要以均質孔隙介質的概念評估流場趨勢，無法反映局部小型不連續構造與優勢裂隙的細部變化。當分析尺度縮小後，在此範圍內，原本的局部不連續構造的影響轉而變為顯著，裂隙特徵對此範圍內地下水流場有重要影響，故當分析範圍內的場址特徵屬於上述狀況，即須加入離散裂隙網路模型進行模擬分析，提升流場模擬的精度。 2. 離散裂隙模型分析現階段主要用於建立母岩中的三維裂隙分布特徵，並且將其等效水力傳導特性推估方法應用於多階段的特徵化作業程序，以掌握細部區域的流場異向性特徵。							
第二次審查意見							
無進一步意見。							
物管局審查結論							
1. 請台電公司參照委員意見辦理，以提升計畫成果品質。 2. 請台電公司依據本局 106 年 7 月 25 日審查「低放射性廢棄物最終處置技術評估報告」會議紀錄（物三字第 1060002081 號函）決議事項持續辦理，並依審查意見，積極精進各項處置技術。							

編號	29	章節	附 2.1.2	頁碼	2-2	行數	4~5
第一次審查意見							
"IAEA TS-R-1 Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material 2005 Edition (IAEA, 2005)"此項 IAEA 的規範已經太老舊。現在已經有 2018 年版的規範，請更新為 IAEA SSR-6 (Rev. 1) Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material 2018 Edition。							

第一次審查意見答復說明	
報告依照委員意見將規範更新至最新版本。	
第二次審查意見	
同意答覆。	
物管局審查結論	
請台電公司依據本局 106 年 7 月 25 日審查「低放射性廢棄物最終處置技術評估報告」會議紀錄（物三字第 1060002081 號函）決議事項持續辦理，並依審查意見，積極精進各項處置技術。	

編號	30	章節	附 2.4.2	頁碼	2-15	行數	
第一次審查意見							
各類型盛裝容器分析結果認為 55 加侖桶與 83 加侖桶需要針對最上層容器頂蓋補強或加裝鋼板避免大幅度變形。此與一般認為最下層容器應承受最大荷載而產生最大變形之認知不同，請說明。							
第一次審查意見答復說明							
一般認為最下層容器應承受最大荷載而產生最大變形的認知相當正確，但該觀念適用於力量經由桶身往下連續傳遞的情境。在分析的過程中，推估 55 加侖桶與 83 加侖桶內部並沒有辦法如理論上以混凝土材料完全灌實，甚至即便完全灌實，桶內的混凝土材料並非結構用途混凝土，最上層容器頂蓋受到正上方混凝土壓力，頂蓋的邊緣可以將壓力傳遞到桶身隨之往下方傳遞，但頂蓋接近中央處，由於下方混凝土強度不足或留有空隙，頂蓋必須產生變形提供向上分力，來抵抗上方混凝土直接施加的壓力，才能維持穩定，故分析中頂蓋產生大幅度變形，因此建議最上層容器頂蓋補強或加裝鋼板，讓上方壓力由桶身支撐，避免頂蓋中央產生變形。							
第二次審查意見							

同意答覆。

物管局審查結論

請台電公司依據本局 106 年 7 月 25 日審查「低放射性廢棄物最終處置技術評估報告」會議紀錄（物三字第 1060002081 號函）決議事項持續辦理，並依審查意見，積極精進各項處置技術。

編號	31	章節	附 2.4.2	頁碼	2-16	行數	表 2.4-6 及相關 文字
第一次審查意見							
處置容器結構力學功能分析分別針對「最終處置」與「臨時貯存」情境，分析盛裝容器臨時貯存堆疊時受靜荷重及地震力作用下之穩定性。							
1. 建議同時列出容器滑動之安全分析結果。							
2. 應說明滑動及傾覆安全性分析時所考慮之地震力條件。							
第一次審查意見答復說明							
1. 依委員要求將滑動安全分析果一併列於報告附錄二表 2.4-6。							
2. 滑動與傾覆安全分析時，假定盛裝容器受堆疊靜荷重及 475 年地震回歸期地震力作用，其水平最大加速度為 0.41 g，垂直最大加速度為 0.205 g。							
第二次審查意見							
1. 同意答復。							
2. 請將答覆內容列於報告中。							
第二次審查意見答復說明							
已將上述說明補充於報告中。							
物管局審查結論							

請台電公司依據本局 106 年 7 月 25 日審查「低放射性廢棄物最終處置技術評估報告」會議紀錄（物三字第 1060002081 號函）決議事項持續辦理，並依審查意見，積極精進各項處置技術。

編號	32	章節	附 2	頁碼	2-18	行數	
----	----	----	-----	----	------	----	--

第一次審查意見

Page 2-17 及 2-18 提出

有關盛裝容器於建議候選場址環境下之劣化特性，以下依照鋼製盛裝容器腐蝕與混凝土盛裝容器腐蝕分項進行討論。

一、鋼製盛裝容器腐蝕

為掌握鋼製盛裝容器於 2 處建議候選場址不同環境之腐蝕現象對其耐久性的影響，本報告將盛裝容器依照製造材質類型分類，並蒐集國內外相關資訊，藉此推估不同類型鋼材於海水或淡水環境中的腐蝕速率，如表 2.4-8 所示。其中碳鋼、SS400、不鏽鋼於淡水環境的腐蝕速率為參考日本腐蝕防蝕協會資料訂定。鍍鋅層處於海水與淡水環境中的腐蝕速率則採用美國電鍍工學會(American Galvanizer's Association)網站中水侵蝕資料，將鋅片浸泡於美國緬因州東海(Eastport)、以及於一般硬水中所測定的質量變化結果(American Galvanizer's Association, 2018)。有關耐候鋼於海水與淡水環境中的腐蝕速率係參考「不同劣化環境對結構用鋼腐蝕速率的影響」(曹文琥等，2007，p. 268~p. 269 資料)。

表 2.4-8 鋼材質於海水與淡水環境中腐蝕速率表

材質	淡水中腐蝕速率 ($\mu\text{m}/\text{yr}$)	海水中腐蝕速率 ($\mu\text{m}/\text{yr}$)
鋅	16.0	16.0
碳鋼(A36)	100.0	186.7
耐候鋼(A709)	3,357.9	3,756.7
SS400	100.0	171.8
不鏽鋼	1.0	10.7

資料來源：本報告綜合整理

請問：

由於腐蝕過程牽涉氧化還原之電位化學，請問該實驗條件下，其氧化還原電

位為何？該實驗條件是否與處置場封閉後之地化條件一致。

第一次審查意見答復說明

所參照之文獻係以 NACE Standard TM0169 金屬腐蝕測定法或 ASTM G5-94 直流極化試驗法取得材料之腐蝕速率，因此其環境溶液之氧化還原電位應為正值，與處置場封閉後之氧化還原電位可能會有所不同。然而影響材料腐蝕速率的因素眾多，以現有文獻資料較難取得環境參數與材料參數皆與我國場址特性一致之實驗數據，目前是以最接近且最新針對材料腐蝕速率影響較大的海淡水環境、材料組成等因素所得分析成果。

第二次審查意見

無進一步意見，並請將修訂內容或說明內容納入報告內。

第二次審查意見答復說明

已將相關內容納入報告中。

物管局審查結論

請台電公司依據本局 106 年 7 月 25 日審查「低放射性廢棄物最終處置技術評估報告」會議紀錄（物三字第 1060002081 號函）決議事項持續辦理，並依審查意見，積極精進各項處置技術。

編號	33	章節	附 2.4.3	頁碼	2-21 至 2-22	行數	
第一次審查意見							
鋼纖維混凝土係將鋼纖維散布於混凝土，而一般鋼筋混凝土則利用混凝土保護層防止鋼筋腐蝕，兩者在腐蝕方面的概念並不相同，例如混凝土表面氯離子濃度達到 24.2 kg/m ³ 時，暴露於表面的鋼纖維即已發生腐蝕。 故此處對於鋼纖維混凝土如何不受腐蝕影響其功能的論述需要加以修改。							

第一次審查意見答復說明	
依照委員意見補充鋼纖維混凝土不受腐蝕影響其功能的論述。	
第二次審查意見	
無後續意見。	
物管局審查結論	
1. 請台電公司參照委員意見辦理，以提升計畫成果品質。 2. 請台電公司依據本局 106 年 7 月 25 日審查「低放射性廢棄物最終處置技術評估報告」會議紀錄（物三字第 1060002081 號函）決議事項持續辦理，並依審查意見，積極精進各項處置技術。	

編號	34	章節	附 3.2.2	頁碼	3-3 至 3-5	行數	
第一次審查意見							
鋼纖維開始腐蝕的臨界氯離子濃度選擇以日本混凝土標準示方書提出的臨界氯離子濃度經驗式為準，並認為美國混凝土學會 ACI Life-365 將臨界氯離子濃度訂為一定值，屬過於保守。 建議對日本混凝土標準示方書與 ACI 兩種方法分別進行詳細評估，據以尋求最佳的做法。							
第一次審查意見答復說明							
日本混凝土標準示方書與 ACI Life-365 兩種氯離子入侵評估方法之比較如表所示：							
參數		日本混凝土標準示方書		ACI Life-365			
臨界氯離子濃度		依據混凝土使用的摻料種類，選擇對應之經驗公式，並將水灰比代入計算後求得		恆為定值 0.05%			
氯離子擴散係數衰減常		無考量		氯離子於混凝土中的擴散係數將隨著時間			

數		遞減，並在 25 年後恆為定值不再遞減	
經比較後可得知，針對混凝土鋼筋腐蝕臨界氯離子濃度值之設定，日本混凝土標準示方書提供了經驗公式計算方法，但 ACI Life-365 則是將其訂為一定值，可能過於保守；另一方面有關氯離子擴散係數隨混凝土水化反應時間而遞減之常數，日本混凝土標準示方書目前沒有針對此常數進行考量，反之 ACI Life-365 有考量此常數，並假設混凝土水化反應達 25 年時，其水化反應已完成，使氯離子擴散係數不再衰減。 為求氯離子入侵評估結果更符合實際情況，在設定臨界氯離子濃度值時，將參照日本混凝土標準示方書的方法進行；同時也參照 ACI Life-365 的計算方法，將氯離子擴散係數衰減常數納入考量。			
第二次審查意見			
各國或不同機構所使用的推估模式各有其發展歷程與經驗依據，是否過於保守或過於不保守，不宜依個人認知或經驗即行判斷，且以低放最終處置所要求的高安全標準而言，也不宜做不保守的修改與應用。 故仍建議對日本混凝土標準示方書與 ACI 兩種方法分別進行詳細評估，據以尋求最佳的做法。			
第二次審查意見答復說明			
感謝委員建議，已修訂相關說明。			
物管局審查結論			
1. 請台電公司參照委員意見辦理，以提升計畫成果品質。 2. 請台電公司依據本局 106 年 7 月 25 日審查「低放射性廢棄物最終處置技術評估報告」會議紀錄（物三字第 1060002081 號函）決議事項持續辦理，並依審查意見，積極精進各項處置技術。			

編號	35	章節	附 4	頁碼	4-6 及 4-4	行數	
----	----	----	-----	----	--------------	----	--

第一次審查意見							
1. 因 p4-6L2(烏坵)寫「..僅用一次襯砌(噴凝土與鋼支保)」。則於 P4-4LL3(達仁):「..並規劃二次襯砌以加強其…」,會以為只需「二次襯砌(second lining)」而不需要一次襯砌? 請確認參用隧道目前國內習慣名詞。 2. 「隧道整體輪廓將以近似圓形設計」。及「整體輪廓將以倒 D 形設計」,請確認參用隧道專用名詞? 3. p4-7L6:「、二次襯砌、基礎層、鋼支保與噴凝」及圖 4.3.1 中標註「噴凝土與鋼支保」,請統一用詞。							
第一次審查意見答復說明							
1. 針對報告中所採用「一次襯砌」詞彙改為「襯砌」,至於有關二次襯砌的使用,則會在文中先說明是先完成”襯砌”之後,再使用二次襯砌。 2. 報告中對於隧道斷面形狀之描述,是依照實際規劃形狀做容易理解的描述,便於閱讀者理解。 3. 報告中統一用詞為「噴凝土」與「鋼支保」。							
第二次審查意見							
還是請再確實參考國內官方隧道工程規範用詞為佳。							
第二次審查意見答復說明							
經查閱中華民國隧道協會 2000 年 4 月所出版「隧道工程用語詞彙」及交通部 92 年 12 月「公路隧道設計規範」等,確認包含「襯砌」、「二次襯砌」、「噴凝土」、「鋼支保」等用詞皆為該書中收錄正式隧道工程用語。至於隧道形狀的描述則並無相關規定。							
物管局審查結論							
1. 請台電公司參照委員意見辦理,以提升計畫成果品質。 2. 請台電公司依據本局 106 年 7 月 25 日審查「低放射性廢棄物最終處置技術評估報告」會議紀錄(物三字第 1060002081 號函)決議事項持續辦理,並依審查意見,積極精進各項處置技術。							

編號	36	章節	附	頁碼	4-8	行數	
----	----	----	---	----	-----	----	--

			4.4				
第一次審查意見							
表 4.4-1 所示之荷重組合，請以文字說明第 1 至第 5 階段所代表之意義，才能理解荷重組合的配置。							
第一次審查意見答復說明							
對於各階段所代表之意義補充文字說明。由於報告內容增加針對達仁鄉建議候選場址 A 類處置坑道，以及烏坵鄉建議候選場址 A 類處置坑道分析內容，並調整為 7 個階段，故表格與報告內容配合調整。							
第二次審查意見							
同意答復。							
物管局審查結論							
1. 請台電公司參照委員意見辦理，以提升計畫成果品質。 2. 請台電公司依據本局 106 年 7 月 25 日審查「低放射性廢棄物最終處置技術評估報告」會議紀錄（物三字第 1060002081 號函）決議事項持續辦理，並依審查意見，積極精進各項處置技術。							

編號	37	章節	附 4	頁碼	4-8	行數	4
第一次審查意見							
請說明此中使用，土壓力與大地應力之差別？及靜負載是指？							
第一次審查意見答復說明							
土壓力可分為垂直土壓力與側向土壓力，其中垂直土壓力為土壤自重垂直作用於結構物上所造成之壓力，側向土壓力為結構物側向土壤對於結構物造成之側推壓力。而大地應力對結構物造成之力可分為地盤垂直反力及地盤側向反力；地盤垂直反力作用於結構物底部，其包含了土壓力、水壓力、靜荷重及活荷重等所造成之反力；側向地盤反力為大地應力平衡時，地盤變位對結構物造成之側向力。 另外，所謂靜負載，所指的就是結構分析上的靜載重。							

第二次審查意見							
1. 仍請正確認識後而撰寫使用？ 2. 那麼思考可否正名？							
第二次審查意見答復說明							
大地應力係指區域性的地中應力之大小與方向，其主要應力來源包含覆土(岩)荷重、沖刷解壓、板塊運動、地球收縮、岩漿侵入壓力和岩漿冷凝之收縮應力等等。而土壓力則為局部範圍土壤自重作用所造成垂直或側向壓力。報告中荷重模擬方式，是將大地應力與土壓力兩者合併考量，在分析隧道開挖過程以前，以初始應力方式施加於岩體中，並與前期相互比對確認。補充說明於報告附錄一 p. 4-12。 報告中所使用的「靜負載」一詞，為求用詞統一及避免誤解已更改為「靜荷重」。							
物管局審查結論							
1. 請台電公司參照委員意見辦理，以提升計畫成果品質。 2. 請台電公司依據本局 106 年 7 月 25 日審查「低放射性廢棄物最終處置技術評估報告」會議紀錄（物三字第 1060002081 號函）決議事項持續辦理，並依審查意見，積極精進各項處置技術。							

編號	38	章節	附 4	頁碼	4-9~ 往下	行數	4
第一次審查意見							
1. 在「..一次襯砌(噴凝土與鋼支保)」並沒設計「岩栓」(參 p4-6L2 烏坵)? 2. (L5)此段? 依設計烏坵沒有施作「二次襯砌」。 3. 文中: 淨載重? 靜載重? 4. 4.4 節。載重組合?(如表 4.4-1) 5. P. 4-10: 此處模擬時, 所輸入各類荷重 D=? T=? E=? 事先也需說明使用 ABAQUS。 6. L10: 二次襯砌所受最大主應力是「張應力」?(有沒施加大地應力?其值							

與方向?) 這三行分析之解說可再詳細。

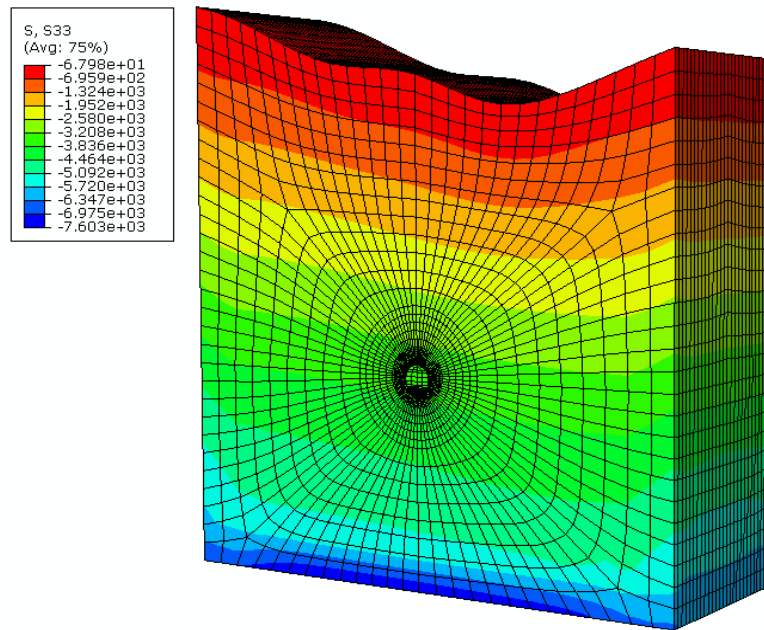
7. 地震力如何施加上去?(其值?) 又此處是模擬多大的地震?
8. 本章，對膨潤土緩衝材 仍採用張力準則是否合宜?
9. 本章，對破裂程度、結構分離又接觸、摩擦力…等等推論，是否過於樂觀?
10. 封閉回填後，雖僅是分析處置窖，需不須考慮大地應力作用? 或於該大地應力額外作用下，受此地震力分析結果會一樣嗎?
11. 運轉期，是否需分析外圍隧道襯砌結構之受震，若岩塊掉落擊破處置包件?或危及工人?

第一次審查意見答復說明

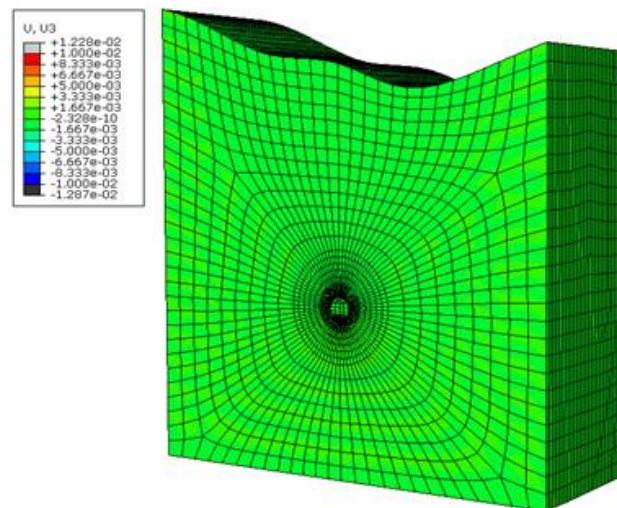
1. 烏坵坑道設計中並無岩栓的使用，岩栓主要使用於達仁隧道襯砌，在報告附錄一 P. 4-4 頁中補充說明。
2. 烏坵坑道目前依地質條件研判，確實沒有施作二次襯砌。
3. 淨載重應為誤植，為求整份報告名詞統一，報告中全數改為靜荷重，而其他載重相關詞也改為荷重。
4. 調整為「荷重組合」。
5. 模擬成果呈現時，將標註英文字母表示荷重所代表意思。由於報告內容增加針對達仁鄉建議候選場址 A 類處置坑道，以及烏坵鄉建議候選場址 A 類處置坑道分析內容，報告內容配合增訂調整。並於 4-15 說明分析軟體為 Abaqus。
6. 任一材料點均有 3 個主應力方向，稱之為最大主應力、中間主應力及最小主應力，在絕大部分情形下，最大主應力為正，表示張應力，僅極少部分情形下最大主應力為負，表示壓應力，對應完全受壓狀態，而最小主應力絕大部份情形為負，表示壓應力，僅極少部分情形下最小主應力為正，表示張應力，對應完全受張狀態。對於混凝土或抗壓性較佳之材料，多以張應力評估其損壞情形，即取最大主應力值進行研判。為避免誤解，報告敘述將調整統一稱為「張應力」或「壓應力」。

達仁鄉坑道之二次襯砌為噴凝土及鋼支保施加後施作，正常情況下僅受到局部隧道圍壓應力，絕大部份圍壓應力由噴凝土及鋼支保承受。大地應力在分析開挖過程之前已經以初始應力方式輸入於岩體之中，其分布情形如下圖，主要為垂直方向(圖中朝上方向)，大小由上至下漸增，呈水平層狀

分布。



(a)



(b)

岩體開挖前大地應力及位移分布：(a)垂直應力，(b)垂直位移

7. 由於2處建議候選場址，目前皆無詳細地層分布與地質特性相關資料，為辦理本次分析工作中地震力分析，台電公司設法取得建議候選場址周邊鄰近設施曾經實測所得地表地震歷時曲線(例如達仁建議候選場址採用核能三廠實測地震時地表加速度資料)，將該地震歷時曲線由分析模型底部輸入模型中，計算出坑道中心對應PGA值；藉由放大地震歷時曲線比例進行疊代，直到找出地震歷時曲線輸入結果使坑道中心對應PGA值大於設計基

準 PGA 值(0.4g 以上)，即以該放大地震歷時曲線作為地震輸入，時間長度為 30 秒。

8. 對於膨潤土緩衝材的模擬，在 Abaqus 所建構的元素資料庫，並沒有與膨潤土緩衝材特性完全一致的元素可供採用，且膨潤土在受到張力後可能短期開裂，而張應力消失之後可能又回復原狀，故本次報告著重於混凝土處置窖受力行為的分析與討論。
9. 本報告以三維數值模型方式，從坑道開挖到處置監管之間各種狀態，針對處置窖進行安全分析評估，主要目的在於驗證處置窖的力學功能是否滿足需求。故數值模擬手法上對於介面接觸等物理上複雜的特性，以最接近真實情況的考量方式進行推估。
10. 分析的過程中，模擬坑道開挖至襯砌完成時，即已將周圍環境應力(包含大地應力)納入模型中考量，經與前期 PHASE2 軟體所完成二維分析成果比對調校後，再以此模型往下進行處置窖分析，故大地應力在每個階段皆有納入考量。
11. 本次分析工作著重於處置窖安全分析，有關外圍隧道襯砌結構是否安全亦相當重要，建議可另案辦理。

第二次審查意見

同意答復。

物管局審查結論

1. 請台電公司參照委員意見辦理，以提升計畫成果品質。
2. 請台電公司依據本局 106 年 7 月 25 日審查「低放射性廢棄物最終處置技術評估報告」會議紀錄（物三字第 1060002081 號函）決議事項持續辦理，並依審查意見，積極精進各項處置技術。

編號	39	章節	附 4	頁碼	4-17	行數	
第一次審查意見							
1. 稱坑道周圍(壓應力)為最小主應力，將無法與台電歷年研究共存。							
2. 此章，單位用 kgf/cm ² 是否可串穿其他章節或歷年報告書習慣？這也是							

品管	
第一次審查意見答復說明	
1. 任一材料點均有 3 個主應力方向，稱之為最大主應力、中間主應力及最小主應力，在絕大部分情形下，最大主應力為正，表示張應力，僅極少部分情形下最大主應力為負，表示壓應力，此時對應完全受壓狀態，而最小主應力絕大部份情形為負，表示壓應力，僅極少部分情形下最大主應力為正，表示張應力，此時對應完全受張狀態。因此，坑道結構之壓應力即為上述最小主應力對應之值。為避免誤解，報告敘述將進行調整。 2. 本章所採用的單位為 kgf/cm²，為國內工程業界使用的標準工程單位，例如工程上常見的混凝土與鋼筋強度單位，國內皆採 kgf/cm² 做為表示方式，以提供工程業界相關人士閱讀與理解上的方便性。	
第二次審查意見	
沒進一步意見，但往後可思考同一本報告單位統一制問題。	
物管局審查結論	
1. 請台電公司參照委員意見辦理，以提升計畫成果品質。 2. 請台電公司依據本局 106 年 7 月 25 日審查「低放射性廢棄物最終處置技術評估報告」會議紀錄（物三字第 1060002081 號函）決議事項持續辦理，並依審查意見，積極精進各項處置技術。	

編號	40	章節	附 5.3.3	頁碼	5-35	行數	圖 5.3-2
第一次審查意見							
"入侵劑量 1mSv" 主動與被動監管分界 依照我國"低放射性廢棄物最終處置及其設施安全管理規則"第 8 條規定對設施外一般人年劑量不得超過 0.25 毫西弗且須合理抑低。 當由主動監管進入被動監管，如同將放射性廢棄物放行，其年劑量限值可參照我國"一定活度或比活度以下放射性廢棄物管理辦法"第 6 條規定年劑量限							

值為 0.01 毫西弗辦理。此項限值與 5.3.1 節 3-30 頁第 2 行日本六所村主動監管與被動監管分界的劑量率每年 10 微西弗一致。

請根據每年 0.01 毫西弗的入侵劑量率，評估我國低放處置場的主動監管年限。並請評估被動監管所需要的年限。

第一次審查意見答復說明

參考 IAEA HIDRA (2017, p. 4、p. 16、p. 45、p. 119)對人類無意入侵的評估概念，人類無意入侵非屬正常情節，應在一般正常情節外獨立考量，因此在劑量影響上將可能超過正常情節。對於人類無意入侵造成之劑量建議，IAEA 建議之劑量為 1 mSv 至 20 mSv，當入侵劑量影響小於 1 mSv 時則不需再進一步強化處置安全以降低劑量影響。日本安全委員會(NSC)在 2010 提出的安全評估指引中，對於人類無意入侵情節之劑量限值建議，居民劑量為 1 mSv 至 10 mSv，而對於入侵者則為 10 mSv 至 100 mSv，日本原燃(JNFL)在 L1 中深度處置策略亦參考此規範，將人類入侵情節之劑量影響設定成居民為 1 mSv 至 10 mSv，入侵者為 10 mSv 至 100 mSv。美國能源局(DOE)在放射性廢棄物管理中說明(DOE M 435.1-1)，對於低放射性廢棄物處置場之入侵分析，慢性曝露劑量為 1 mSv，而入侵造成的急性劑量曝露為 5 mSv。經濟合作暨發展組織核能署(OECD/NEA)於 2008 報告中彙整各國對長半化期廢棄物處置之標準，其中針對人類入侵劑量影響，加拿大與韓國皆以 1 mSv 作為人類入侵劑量影響標準。

綜整國際對於人類入侵之劑量影響討論，因人類入侵為正常情節以外之事件，故於劑量影響之建議或管制上皆較正常情放寬，在人類入侵劑量評估上多以 1 mSv 或 1 mSv 至 10 mSv 作為研判標準。有鑑於此，對於人類入侵之劑量影響標準，仍建議維持 1 mSv。

第二次審查意見

1. 同意主動監管期限的劑量限值為 1mSv。
2. 本項答覆並沒有考慮被動監管的期限，請補充。

第二次審查意見答復說明

感謝委員意見，關於被動監管期間之說明如下：

1. 被動監管之目的在於延遲人類無意入侵發生的時間或降低人類無意入侵

的可能性，然而在 IAEA HIDRA 計畫討論過程中，國際上目前對於被動監管可持續之時間以排除人類無意入侵發生並沒有共識，因為這跟各國的管制程度有關，然而在保守端的評估中，通常保守的假設人類無意入侵在結束主動監管後立刻發生(IAEA, 2017, p. 39, p. 110)。有鑑於此，本報告在初步評估人類無意入侵時，即以主動監管期結束作為人類無意入侵時間探討，確保主動監管期結束後，其廢棄物對於無意入侵者造成之輻射曝露已無明顯危害(低於 1 mSv)。

2. 對於被動監管的可信任期，美國能源部環境管理辦公室對於被動監管期限做過評估，結果顯示被動監管期平均可信任期為 200 年；法國在執行人類無意入侵評估，係假設人類無意入侵發生在 500 年後，依照法國處置之主動監管期規劃 300 年，故可推論法國假設被動監管可維持 200 年之時間。
3. 綜前所述，被動監管為避免人類無意入侵發生的可能性，因不具強制力，故在結束主動監管時，即必須確保已透過障壁系統與增加核種自然衰變時間來抑低無意入侵者受曝露劑量。對於被動監管可信任期，依照美國與法國評估經驗，被動監管有效期為 200 年將可作為參考。

物管局審查結論

1. 請台電公司參照委員意見辦理，以提升計畫成果品質。
2. 請台電公司依據本局 106 年 7 月 25 日審查「低放射性廢棄物最終處置技術評估報告」會議紀錄（物三字第 1060002081 號函）決議事項持續辦理，並依審查意見，積極精進各項處置技術。

編號	41	章節	附 5	頁碼		行數	
第一次審查意見							
報告是以建議候選場址鑽探情節所評估之鑽探人員曝露劑量來提出主動監管建議期限，並建議台東縣達仁鄉主動監管至 2170 年，金門縣烏坵鄉主動監管至 2130 年。但經查劑量評估結果(如表 5.3-11、表 5.3-14)，為何鑽探濕性廢棄物會所造成的劑量貢獻會比鑽探到反應器內部組件要來得高？此評估結果並不合理。							
第一次審查意見答復說明							

對於濕性廢棄物與反應器內部組件對人造成之劑量影響差異，反應器內部組件係因中子活化金屬造成的廢棄物，活化金屬中之核種構成主要為 Co、Fe、Ni 等，特別是 Co 核種的活度相對高出許多；濕性廢棄物主要源於核能電廠廢液處理系統，廢棄物中構成之核種主要有 Co、Cs、Fe 等。

2 種廢棄物初期之劑量影響，反應器內部組件造成之劑量遠高於濕性廢棄物係因反應器內部組件之 Co 核種活度相對高出許多，導致反應器內部組件造成之直接曝露劑量非常高，因此對鑽探造成的劑量非常大。而 Co-60 核種半化期為 5.27 年，隨著處置時間拉長 Co-60 逐漸衰變後，將使反應器內部組件造成之直接輻射劑量影響變低，然而濕性廢棄物所含之 Cs-137 核種半化期長達 30 年，因此當 Co-60 衰變後將成為主要的直接輻射曝露影響，故劑量影響於 2090 年之後，濕性廢棄物的劑量影響逐漸比反應器內部組件顯著。

而當處置時間直至 2260 年之後，Cs-137 亦已經過 7 個半化期，因此直接輻射劑量影響上逐漸降低。而反應器內部組件所含之 Ni 與 Nb 核種濃度高於濕性廢棄物，且核種屬長半化期核種，導致反應器內部組件之直接輻射曝露不再降低，且因濃度較高造成比較高之攝入劑量，故於 2260 年之後，反應器內部組件之劑量影響又比濕性廢棄物高。

第二次審查意見

同意答復。

物管局審查結論

1. 請台電公司參照委員意見辦理，以提升計畫成果品質。
2. 請台電公司依據本局 106 年 7 月 25 日審查「低放射性廢棄物最終處置技術評估報告」會議紀錄（物三字第 1060002081 號函）決議事項持續辦理，並依審查意見，積極精進各項處置技術。

編號	42	章節	附 5	頁碼	5-38 、39	行數	
第一次審查意見							
比較台東縣達仁鄉建議候選場址與金門縣烏坵鄉建議候選場址，鑽探人員輻射劑量計算結果。金門縣烏坵鄉建議候選場址，為何低放貯存場廢棄物對鑽							

探人造成之輻射曝露皆低於 1 mSv？而達仁則是須至 2090 年，長於核能電廠運轉廢棄物須至 2070 年後。而金門之核能電廠運轉廢棄物則是在 2050 年後，廢棄物對鑽探人員造成之輻射曝露才低於 1 mSv。

第一次審查意見答復說明

人類入侵評估過程需考量其場址特性與調查資料，擬定可能之曝露方式，進而評估輻射劑量影響。依 2 處建議候選場址初步調查成果，將以工作人員鑽探曝露情節(直接輻射曝露、攝入與空氣浸身)作為輻射劑量評估，而依過去處置場址周邊之鑽探資料，並將海上作業困難度納入考慮，因此假設達仁鄉建議候選場址之鑽探進尺速率為 5.4 m，而烏坵鄉建議候選場址之進尺速率為 4.4 m。此外亦因 2 處建議候選場址之覆蓋層厚度差異，因此保守假設鑽探穿破處置窖深度條件下，達仁鄉建議候選場址鑽探人員可能受到之曝露時間為 28 小時，而烏坵鄉建議候選場址為 11 小時。

由於因 2 處建議候選場址特性差異，使 2 處建議候選場址發生鑽探入侵時之曝露計算時間不同，造成不同的劑量影響程度，因此核能電廠運轉廢棄物在前述鑽探情節設定下，烏坵鄉建議候選場址於 2050 年後對鑽探人員劑量影響已低於 1 mSv，而在達仁鄉建議候選場址處，因鑽探作業曝露時間較長，故需較長的時間使放射性核種衰變而減少危害，因此需至 2070 年後對鑽探人員劑量影響方低於 1 mSv。

第二次審查意見

建議據以修改報告文字使結果論述更清晰。

第二次審查意見答復說明

感謝委員意見，已依建議修定報告論述方式，避免閱讀上的誤解。

物管局審查結論

1. 請台電公司參照委員意見辦理，以提升計畫成果品質。
2. 請台電公司依據本局 106 年 7 月 25 日審查「低放射性廢棄物最終處置技術評估報告」會議紀錄（物三字第 1060002081 號函）決議事項持續辦理，並依審查意見，積極精進各項處置技術。

編號	43	章節	附 5	頁碼	5-37	行數	
第一次審查意見							
內容提到：「由於鑽探會先經過為受污染的覆蓋層後才進入處置坑道區，因此保守從鑽探進入處置坑道區開始計算鑽探人員輻射曝露時間」，請確認此處覆蓋層是否應假設為「非」受污染。							
第一次審查意見答復說明							
處置場於解除主動監管前會執行例行性的環境監測取樣，例如取水樣、土樣與環境輻射監測等，其目的在於確保處置設施仍維持其安全功能，在確保處置設施安全功能一切維持正常狀態下，方可解除監管。因此在解除主動監管的當下，理應處置設施仍維持安全功能，故假設覆蓋層未受污染應屬合理。							
第二次審查意見							
本項因文字誤植造成誤解，由於鑽探會先經過「為」受污染的覆蓋層後才進入處置坑道區，引號應修正為「未」。							
第二次審查意見答復說明							
感謝委員意見，已將誤植文字進行修訂。							
物管局審查結論							
請台電公司參照委員意見辦理，以提升計畫成果品質。							

編號	44	章節	附 5	頁碼	5-37	行數	
第一次審查意見							
不能理解為何要額外將 A 類廢棄物再分為 A0、A1 這兩群，若是為了針對後續處置設施進行分區規劃，為何僅分類核能電廠運轉廢棄物？而低放貯存場廢棄物與核能電廠除役廢棄物卻沒分類進行評估？							
第一次審查意見答復說明							

答復說明如下：

1. 已將低放貯存場與核能電廠除役之 A 類廢棄物，依相同的 k-means 演算法將之分類為 A0 類與 A1 類廢棄物，相關資料已更新於表 5.3-3、表 5.3-4，而劑量影響評估結果已更新於表 5.3-6 至表 5.3-8、表 5.3-11 至 5.3-13，以及表 5.3-15 至表 5.3-17。
2. 初步將 A 類廢棄物再區分為 A0 類與 A1 類廢棄物，目的係為後續處置場之工程障壁設計規劃，將考量其廢棄物特性(如廢棄物核種濃度與廢棄物來源性質等)而調整工程障壁設計，再經由安全評估確認處置安全。

第二次審查意見

同意答復。

物管局審查結論

1. 請台電公司參照委員意見辦理，以提升計畫成果品質。
2. 請台電公司依據本局 106 年 7 月 25 日審查「低放射性廢棄物最終處置技術評估報告」會議紀錄（物三字第 1060002081 號函）決議事項持續辦理，並依審查意見，積極精進各項處置技術。

六、文字修訂

編號	45	章節	文字修訂	頁碼		行數	
第一次審查意見							
附錄：							
1. P.1-44，倒 3 行，……仍需場利用…？							
2. P.1-46，4-5 行，……時間岩演化…？							
3. P.5-34，第 6 行，特特性？							
第一次審查意見答復說明							
1. 已修訂為「……仍需利用…」。							
2. 已修訂為「……時間演化…」。							

3. 已修訂為「特性」。