



台灣電力公司

核能後端營運處

低放射性廢棄物最終處置技術評估報告

(2024 年版)

(資訊公開版)

中華民國 115 年 1 月

摘要

「低放射性廢棄物最終處置技術評估報告(2024 年版)」(以下簡稱 LLWD 2024)透過場址特徵化、工程概念設計與安全分析模擬技術之執行成果，說明現階段處置設施多重障壁系統設計概念，具備將廢棄物隔離遠於人類生活環境、圍阻核種外釋及遲滯核種傳輸之安全功能，避免人類生活環境接觸到廢棄物，以及盡可能延長核種傳輸至人類生活圈之時間，藉由放射性活度隨時間衰減之特性，使放射性核種遷移至人類生活圈時，其危害度已降至極低。

本報告以「台東縣達仁鄉」與「金門縣烏坵鄉」2 處建議候選場址作為分析標的，分別說明場址特徵化程序與成果，並依照場址環境場址特性進行處置設施概念設計與施工、運轉及封閉規劃，再以安全分析作業確認整體處置系統對人類之劑量影響。最後，分析影響劑量之關鍵因子。

場址特徵化研究，延續前期 LLWD 2020 報告成果，補充兩處建議候選場址相關文獻資料，進行場址特徵模型疊代流程，建立更貼近實際場址特性之地質與水文地質模型，進行後續相關處置設施工程設計與安全評估。此外，也對於現階段兩處建議候選場址特徵模型進行疊代檢討，對於不確定高之區域或對於安全評估影響較高之場址特徵進行下一階段調查規劃，透過疊代式流程滾動檢討場址特徵模型。

工程概念設計延續 LLWD 2020 設計成果，新增 T-Box 盛裝容器考量，重新進行兩處建議候選場址輔助區之規劃，並配合 T-Box 容器重新優化處置坑道內廢棄物布設。

安全分析在處置場運轉階段依照運轉流程，評估正常運轉時執行處置作業造成的總劑量，以及異常事件發生時對單一工作人員造成的輻射劑量。封閉後階段依循 IAEA 建議之處置場安全評估流程，依照場址特徵化、工程概念設計與特徵、事件、作用(Features, Events,

Processes, FEPs)篩選之成果，評估未來場址環境與工程障壁系統演化狀態。LLWD 2024 延續 LLWD 2020 主要安全分析架構，並參照國際同儕審查建議，強化運轉中安全評估分析，檢討運轉中可能之意外事件，並評估工作人員輻射暴露之風險與劑量。在封閉後安全分析，納入縱深防禦概念(Defense in depth)，新增單一障壁失效情節，確保工程障壁安全功能由多重障壁提供，而非依賴單一障壁。另外在安全論證方面，持續透過本土化試驗取的本土化參數來強化安全論證內容。

依目前之場址特徵化概念、處置設施概念設計，在設計情節與不同替代情節之條件下，初步評估仍可達成設施外個人年有效劑量低於 0.25 mSv 之法規限值，並符合相關法規與安全要求。

本報告經美國、日本、法國與國內處置領域專家進行國際和國內同儕審查，審查結果認為整體而言已充分參照國際原子能總署 IAEA 所制定的相關準則及各項安全標準並遵循我國的相關法規要求。而相關的關鍵議題，如障壁之穿透式裂隙與特殊劣化行為，亦有研究工作進行中，值得肯定。儘管安全論證仍主要集中在文獻調查、模型研究和工程設計階段，但目前的安全論證已達到相當高的水準。國際委員也提供後續可精進方向建議，應持續發佈具有科學可辯護性的程序與技術，開發多層式與可量化的安全功能，並將多學科的模型統合為統一的場址概念模型，並將模型應用於性能評估，持續發展技術基礎及研究。

目錄

摘要.....	摘-1
目錄.....	I
表目錄.....	III
圖目錄.....	VI
第一章 前言.....	1-1
1.1 計畫背景.....	1-1
1.2 「LLWD 2024 報告」技術精進說明.....	1-1
第二章 確保處置安全之基本考量.....	2-1
2.1 低放處置系統整體功能目標.....	2-1
2.2 低放處置設施之處置安全策略.....	2-2
2.3 工程障壁系統之設計概念.....	2-5
參考文獻.....	2-11
第三章 場址環境特徵化技術.....	3-1
3.1 氣候演化.....	3-1
3.2 達仁鄉建議候選場址環境特徵概念模型.....	3-2
3.2.1 地質環境概念模型.....	3-2
3.2.2 水文地質概念模型.....	3-7
3.2.3 地球化學概念模型.....	3-9
3.2.4 生物環境概念模型.....	3-10
3.3 烏坵鄉建議候選場址環境特徵概念模型.....	3-11
3.3.1 地質環境概念模型.....	3-12
3.3.2 水文地質概念模型.....	3-16
3.3.3 地球化學概念模型.....	3-19
3.3.4 生物環境概念模型.....	3-19
參考文獻.....	3-21
第四章 處置設施概念設計.....	4-1
4.1 處置場工程障壁系統概念設計.....	4-1
4.2 處置設施概念設計.....	4-2
4.3 處置場輔助區概念設計.....	4-7
第五章 處置場興建、運轉與封閉作業規劃.....	5-1
5.1 興建規劃.....	5-1
5.2 運轉規劃.....	5-3

5.3 封閉設計	5-10
5.4 處置場環境輻射監測與管制規劃	5-14
第六章 安全分析	6-1
6.1 運轉期間安全評估	6-2
6.1.1 建立運轉期間安全評估情節	6-2
6.1.2 運轉期間劑量評估結果	6-7
6.1.3 運轉期間結構、系統與組件安全管理	6-18
6.2 封閉後安全評估	6-21
6.2.1 建立封閉後安全評估情節	6-21
6.2.2 評估模式與參數設定	6-26
6.2.3 封閉後劑量評估結果	6-46
6.3 敏感度與不確定性評估	6-48
6.3.1 封閉後處置安全設計關鍵因子與參數敏感度	6-48
6.3.2 遠場地下水流場特徵敏感度與不確定性分析	6-49
參考文獻	6-52
第七章 結論	7-1
7.1 法規符合性說明	7-1
7.2 結論	7-5
參考文獻	7-8

表目錄

表 1.2-1	「LLWD 2020 報告」審查技術發展相關決議辦理情形	1-2
表 1.2-2	「LLWD 2024 報告」主要技術精進項目說明	1-4
表 2.2-1	處置設施封閉前之主要處置安全策略	2-2
表 2.2-2	處置設施封閉後之主要處置安全策略	2-3
表 2.3-1	工程障壁系統單元組成與規劃處置對象	2-7
表 2.3-2	工程障壁系統單元之長期安全功能設計考量	2-9
表 3.1-1	氣候演化情節場址特徵參數設定表	3-1
表 3.2-1	達仁鄉建議候選場址硬頁岩特性彙總表	3-5
表 3.2-2	達仁鄉建議候選場址水文地質單元參數	3-7
表 3.3-1	烏坵鄉建議候選場址岩石特性彙總表	3-15
表 3.3-2	烏坵鄉建議候選場址水文地質單元參數	3-17
表 4.1-1	次地表處置系統主要設計特徵與設計目標	4-1
表 4.2-1	達仁鄉建議候選場址處置坑道設計概念綜整表	4-3
表 4.2-2	達仁鄉建議候選場址通行隧道設計概念綜整表	4-4
表 4.2-3	烏坵鄉建議候選場址處置坑道設計概念綜整表	4-6
表 4.2-4	烏坵鄉建議候選場址通行隧道現階段設計概念綜整表	4-7
表 5.3-1	處置坑道及通行隧道封閉設計概念綜整表	5-10
表 5.3-2	封塞設計概念綜整表	5-11
表 6.1-1	輻射作業及其與安全功能相關之結構、系統與組件—接 收港與專用運輸道路	6-2
表 6.1-2	輻射作業及其與安全功能相關之結構、系統與組件—接 收大樓	6-3
表 6.1-3	輻射作業及其與安全功能相關之結構、系統與組件—通 行隧道與處置坑道	6-4
表 6.1-4	異常運轉情節對應之曝露對象與曝露途徑彙整—廢棄物 包件墜落情節	6-6
表 6.1-5	正常運轉情節之接收港接收作業輻射劑量	6-8
表 6.1-6	正常運轉情節之接收大樓內接收與檢查作業輻射劑量	6-8
表 6.1-7	正常運轉情節之處置區處置作業輻射劑量	6-10
表 6.1-8	廢棄物包件墜落地面但仍具備圍阻功能之劑量評估結果	6-11

表 6.1-9	廢棄物包件墜落地面但圍阻功能失效且廢棄物塊狀逸散之劑量評估結果	6-12
表 6.1-10	廢棄物包件墜落海裡但仍具備圍阻功能之劑量評估結果	6-13
表 6.1-11	廢棄物包件墜落海裡但圍阻功能失效且廢棄物塊狀逸散之劑量評估結果	6-13
表 6.1-12	廢棄物包件墜落海裡但圍阻功能失效且廢棄物粉狀逸散之劑量評估結果	6-14
表 6.1-13	火災情節之劑量評估結果	6-14
表 6.1-14	空調過濾系統失效情節之劑量評估結果	6-15
表 6.1-15	建築物或結構物屏蔽牆開裂受損之劑量影響	6-16
表 6.1-16	海嘯襲擊事件之劑量影響	6-17
表 6.1-17	事件發生頻率分級	6-18
表 6.1-18	事件發生後之危害程度分級	6-18
表 6.1-19	結構、系統與組件安全分級表	6-19
表 6.1-20	異常運轉情節之事件後果危害程度劃分表	6-19
表 6.1-21	結構、系統與組件之安全分級彙整	6-21
表 6.2-1	參考氣候演化主要特徵	6-22
表 6.2-2	次地表處置設施之廢棄物特性設定	6-28
表 6.2-3	次地表處置設施廢棄物單元尺寸與盛裝容器數量	6-29
表 6.2-4	次地表處置設施廢棄物單元之材料參數	6-29
表 6.2-5	達仁鄉建議候選場址設計情節之盛裝容器圍阻功能有效性設定	6-30
表 6.2-6	烏坵鄉建議候選場址設計情節之盛裝容器圍阻功能有效性設定	6-30
表 6.2-7	達仁鄉建議候選場址混凝土障壁單元孔隙率設定	6-31
表 6.2-8	達仁鄉建議候選場址混凝土障壁單元有效擴散係數設定	6-31
表 6.2-9	達仁鄉建議候選場址工程障壁系統的水力傳導係數設定	6-32
表 6.2-10	達仁鄉建議候選場址工程障壁系統之乾密度參數設定	6-32
表 6.2-11	達仁鄉建議候選場址工程障壁系統曲折度參數設定	6-33
表 6.2-12	烏坵鄉建議候選場址混凝土障壁單元孔隙率設定	6-33

表 6.2-13	烏坵鄉建議候選場址混凝土障壁單元有效擴散係數設定	6-34
表 6.2-14	烏坵鄉建議候選場址工程障壁系統水力傳導係設定...	6-34
表 6.2-15	烏坵鄉建議候選場址工程障壁系統乾密度參數設定...	6-34
表 6.2-16	烏坵鄉建議候選場址工程障壁系統曲折度參數設定...	6-35
表 6.2-17	達仁鄉建議候選場址設計情節之通過混凝土障壁單元流量設定(基礎型工程障壁系統).....	6-36
表 6.2-18	達仁鄉建議候選場址設計情節之通過混凝土障壁單元流量設定(混凝土窖型工程障壁系統).....	6-37
表 6.2-19	達仁鄉建議候選場址設計情節之通過混凝土障壁單元流量設定(高阻水型工程障壁系統).....	6-40
表 6.2-20	達仁鄉建議候選場址設計情節之膨潤土障壁單元孔隙率、有效擴散係數和通過流量設定	6-41
表 6.2-21	烏坵鄉建議候選場址設計情節之通過混凝土障壁單元流量設定(基礎型工程障壁系統).....	6-41
表 6.2-22	烏坵鄉建議候選場址設計情節之通過混凝土障壁單元流量設定(混凝土窖型工程障壁系統).....	6-42
表 6.2-23	烏坵鄉建議候選場址設計情節之通過混凝土障壁單元流量設定(高阻水型工程障壁系統).....	6-43
表 6.2-24	烏坵鄉建議候選場址設計情節之膨潤土障壁單元孔隙率、有效擴散係數和通過流量設定	6-43
表 6.3-1	達仁鄉建議候選場址不同遠場特徵設定之結果比較...	6-50
表 6.3-2	烏坵鄉建議候選場址不同遠場特徵設定之結果比較...	6-51

圖目錄

圖 2.2-1	處置設施安全功能與處置作業階段關聯示意圖	2-5
圖 2.3-1	基礎型處置系統設計概念示意圖	2-8
圖 2.3-2	混凝土窖型處置系統設計概念示意圖	2-8
圖 2.3-3	高阻水型處置系統設計概念示意圖	2-9
圖 3.2-1	達仁鄉建議候選場址多尺度模型範圍規劃	3-2
圖 3.2-2	中央山脈南部地質構造演化史	3-3
圖 3.2-3	達仁鄉建議候選場址岩性場址尺度 3 維概念模型	3-4
圖 3.2-4	達仁鄉建議候選場址場址尺度地質構造概念模型平面圖	3-4
圖 3.2-5	達仁鄉建議候選場址場址尺度 3 維地質構造概念模型.	3-5
圖 3.2-6	達仁鄉建議候選場址應力分布	3-6
圖 3.2-7	達仁鄉建議候選場址地質單元場址尺度 3 維概念模型.	3-6
圖 3.2-8	達仁鄉建議候選場址水文地質場址尺度概念模型	3-7
圖 3.2-9	達仁鄉建議候選場址地下水流場模擬數值模型圖	3-8
圖 3.2-10	達仁鄉建議候選場址封閉時地下水水頭分布圖	3-9
圖 3.2-11	達仁鄉建議候選場址封閉時之地下水流速與出滲位置.	3-9
圖 3.2-12	達仁鄉建議候選場址地球化學概念模型	3-10
圖 3.2-13	達仁鄉建議候選場址之生物圈核種傳輸途徑	3-11
圖 3.3-1	烏坵鄉建議候選場址設施與場址尺度模型範圍	3-12
圖 3.3-2	烏坵鄉建議候選場址岩性場址尺度 3 維概念模型	3-13
圖 3.3-3	烏坵鄉建議候選場址場址尺度脆性變形構造概念模型(現 已被岩脈入侵).....	3-14
圖 3.3-4	烏坵鄉建議候選場址應力分布	3-15
圖 3.3-5	烏坵鄉建議候選場址尺度地質單元概念模型	3-16
圖 3.3-6	烏坵鄉建議候選場址水文地質單元空間分布概念	3-17
圖 3.3-7	烏坵鄉建議候選場址地下水流場模擬數值模型圖	3-18
圖 3.3-8	烏坵鄉建議候選場址封閉時之地下水水頭分布圖	3-18
圖 3.3-9	烏坵鄉建議候選場址封閉時之地下水流速與出滲位置...	3-18
圖 3.3-10	烏坵鄉建議候選場址地球化學概念模型	3-19
圖 3.3-11	烏坵鄉建議候選場址之生物圈核種傳輸途徑	3-20

圖 4.2-1	達仁鄉建議候選場址處置設施區布置規劃示意圖	4-3
圖 4.2-2	烏坵鄉建議候選場址處置設施區布置規劃示意圖	4-5
圖 4.3-1	達仁鄉建議候選場址輔助區及接收港布置圖	4-8
圖 4.3-2	烏坵鄉建議候選場址輔助區及接收港布置圖	4-8
圖 5.1-1	達仁鄉建議候選場址初步規劃施工階段範圍示意圖	5-1
圖 5.1-2	達仁鄉建議候選場址之各期施工範圍	5-2
圖 5.1-3	烏坵鄉建議候選場址初步規劃施工階段範圍示意圖	5-2
圖 5.1-4	烏坵鄉建議候選場址之各期施工範圍	5-2
圖 5.2-1	處置場整體運轉流程規劃圖	5-3
圖 5.2-2	運送前置作業流程規劃圖	5-4
圖 5.2-3	接收港作業流程規劃圖	5-4
圖 5.2-4	接收大樓作業流程規劃圖	5-5
圖 5.2-5	車輛卸載廢棄物包件流程示意圖(以內含 55 加侖桶之運輸容器為例).....	5-6
圖 5.2-6	廢棄物包件檢查區作業流程示意圖(55 加侖桶).....	5-7
圖 5.2-7	廢棄物包件分流區作業流程示意圖(55 加侖桶).....	5-8
圖 5.2-8	處置作業流程規劃圖	5-9
圖 5.2-9	處置作業流程示意圖(55 加侖桶與 HPCC).....	5-10
圖 5.3-1	達仁鄉建議候選場址處置坑道封塞設計概念示意圖 ...	5-12
圖 5.3-2	達仁鄉建議候選場址封塞系統配置示意圖	5-12
圖 5.3-3	烏坵鄉建議候選場址處置坑道封塞設計概念示意圖 ...	5-13
圖 5.3-4	烏坵鄉建議候選場址封塞系統配置示意圖	5-13
圖 5.4-1	達仁鄉建議候選場址之環境監測規劃	5-14
圖 5.4-2	達仁鄉建議候選場址之圍籬位置規劃	5-14
圖 5.4-3	烏坵鄉建議候選場址環境監測規劃	5-15
圖 5.4-4	烏坵鄉建議候選場址之圍籬位置規劃	5-15
圖 6-1	安全評估流程圖	6-1
圖 6.2-1	處置設施之核種傳輸概念模型	6-27
圖 6.2-2	達仁鄉建議候選場址處置窖位置核種遷移出滲區域分佈圖	6-44
圖 6.2-3	達仁鄉建議候選場址關鍵群體之曝露途徑	6-45
圖 6.2-4	烏坵鄉建議候選場址關鍵群體之曝露途徑	6-46
圖 6.2-5	達仁溪關鍵群體各情節之劑量評估結果	6-47
圖 6.2-6	塔瓦溪關鍵群體各情節之劑量評估結果	6-47

圖 6.2-7	烏坵鄉關鍵群體各情節之劑量評估結果.....	6-48
圖 6.3-1	封閉後處置安全設計關鍵因子示意圖	6-49

第一章 前言

1.1 計畫背景

本公司於「低放射性廢棄物最終處置技術評估報告 2016 年版與 2020 年版」(以下簡稱「LLWD 2016 報告」與「LLWD 2020 報告」)中，利用既有場址調查文獻資料，配合推論與假設之方法，研判 2 處建議候選場址可能之場址特性，據以研擬因應環境特性之處置概念，與進行安全分析模擬技術作業。藉此方式，說明低放射性廢棄物最終處置場的工程設計與場址環境，具有圍阻核種外釋與遲滯核種傳輸之安全功能，能儘量延長核種傳輸至人類生活圈的時間。同時利用低放射性廢棄物具有放射性活度隨時間增加而遞減之特性，使低放射性廢棄物外釋到人類生活圈時，已衰變至對人類無害之程度。

「LLWD 2016 報告」與「LLWD 2020 報告」之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，認為若場址選定後，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。而在缺乏現場調查資料作為分析基礎的狀況下，國際同儕審查委員與行政院原子能委員會放射性物料管理局(現併入核能安全委員會)審查委員，均對於低放射性廢棄物處置技術提出未來發展之建議。本公司彙整委員所提建議，同時依據既定「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，並提出「低放射性廢棄物最終處置技術評估報告(2024 年版)」(以下簡稱「LLWD 2024 報告」)。

1.2 「LLWD 2024 報告」技術精進說明

「LLWD 2024 報告」是以上一階段「LLWD 2020 報告」成果為基礎進行技術精進，彙整主管機關對於「LLWD 2020 報告」

的審查結論及其辦理狀況，如表 1.2-1 所示。另分別就場址特性、工程設計與安全分析等三大技術領域，說明「LLWD 2024 報告」主要技術精進內容，詳見表 1.2-2。

表 1.2-1 「LLWD 2020 報告」審查技術發展相關決議辦理情形

項次	「LLWD 2020 報告」 審查決議事項	「LLWD 2024 報告」 辦理情形
1	依照國際原子能總署(IAEA) SSR-5 第 14 項、SSG-23 及 SSG-29 相關規定，每四年提報更新技術報告送核安會審核。	基於前階段(「LLWD 2020 報告」)研究成果，依 SSR-5、SSG-23 及 SSG-29 要求並整合近四年本土化相關試驗成果、安全評估更新與處置運轉作業規劃。
2	有關需求管理系統方面，台電公司已就低放處置技術相關領域，建立處置需求管理系統與場址特性參數資料庫，後續仍需持續強化內容，並定期管理維護，以確保需求管理系統持續有效運作，請妥為規劃執行並於低放處置技術評估更新版報告提出精進成果。	「LLWD 2024 報告」完成，並經由國內同儕審查、國際同儕審查以及核安會審查同意後，將相關報告成果更新至處置需求管理系統與場址特性參數資料庫。
3	應考量除役廢棄物特性與新盛裝容器開發規格，並持續檢討精進有關廢棄物接收標準、廢棄物接收與不合格品處理程序、廢棄物活度、廢棄物盛裝容器、運送方式、處置系統設計等內容，請妥為規劃執行。	「LLWD 2024 報告」已將申照中之 T-box 納入考慮，除役廢棄物特性亦已依 3 座核能電廠除役計畫成果進行源項廢棄物特性與數量更新。據以更新接收規範、廢棄物比活度分類、運轉作業規劃、處置作業規劃、分類分區工程障壁系統設計等作業規劃與設計調整。透過運轉階段與封閉後安全評估作業確認其安全性。 廢棄物接收與不合格品處理程序需依照低放射性廢棄物最終處置場廢棄物接收規範進行辦理，主要包含一般性條件、廢棄物之物理及化學特性，以及廢棄物之輻射特性。依處置場整體運轉流程規劃，廢棄物包件將於接收大樓進行檢查，處置場人員依據檢查結果進行判定接收、整理或除污、退運等作業處理。
4	持續進行廢棄物相關特性與源項分析，並定期更新低放射性廢棄物數量，請妥為規劃執行。	「LLWD 2024 報告」已依據 LRWDS 與 3 座核能電廠除役計畫成果，估算廢棄物源項特性與數量。基於源項不確定性，依前述成果設計代表清單，並以設計容量進行相關安全評估作業。

項次	「LLWD 2020 報告」 審查決議事項	「LLWD 2024 報告」 辦理情形
5	持續蒐集低放處置建議候選場址現地調查資料與各項關鍵參數，精進更新場址特徵化模型，就區域地質模型及分區、地球化學特性、水文地質模型、大地工程與材料參數、參數不確定性與敏感度評估、剪裂帶對核種遷移之影響等，列為未來發展要項，並將相關資料數值化及建置於需求管理系統內，請妥為規劃執行。	「LLWD 2024 報告」仍持續蒐集相關調查參數據以更新，惟建議候選場址基地與其周邊現地調查參數仍不完整，須待可進場時執行調查作業。本階段改採不同建置方法，更新場址環境特徵模型，作為提供工程設計與安全評估作業執行依循。再透過比較前後期不同作業程序成果之不確定性，分析未來技術發展要項。
6	考量新盛裝容器開發規格及緩衝材料使用策略，持續檢討更新，就盛裝容器運送與吊掛等作業之可配合性、盛裝容器處置場配置、混凝土配比與關鍵參數特性、緩衝材料使用策略及工程安全規範、緩衝材料採購規劃及品質管控、緩衝材料特性參數、工程材料劣化評估等，列為未來發展要項，請妥為規劃執行並於低放處置技術評估更新版報告提出精進成果。	已配合新盛裝容器開發進行所需作業規劃與設計調整。新容器開發計畫亦包含製程與品保檢驗等規劃。惟目前缺乏新容器長期劣化特性推估與佐證資料，建議持續精進。混凝土與緩衝材料之基本特性試驗與相關規範均已有所掌握。緩衝材料劣化研究顯示在萬年內並無明顯影響。混凝土處置窖長期劣化特性研究仍持續進行中，後續仍需持續檢討其適用性。
7	以場址尺度精度釐清建議候選場址之地質構造與水文地質特性，以作為隧道工程規劃設計與施工之考量，另建議蒐集鄰近場址之工程經驗，以類似之地質條件案例進行評估，並提出施工階段之調查與監測規劃，請妥為規劃執行。	2 處建議候選場址地質概念模型與水文地質概念模型，已基於過往調查資料、草埔森永隧道資料，與現場地表地質裂隙調查資料，更新地質概念模型。依據裂隙特性歸納代表性體積(REV)之等效水力傳導係數，並推測大地應力等特徵。執行水文地質模型建置與地下水流模擬，並據以規劃興建與運轉階段之調查與監測作業。
8	有關處置場封閉作業規劃方面，請就處置場廢棄物特性、環境特性、工程設計及安全評估結果，參考國際相關作法，研析處置場監管規劃，請妥為規劃執行。	已參考 IAEA HIDRA、NUREG-2175 與英國 Drigg 處置場人類無意入侵之情節與評估模式等，研擬 2 處建議候選場址之主動監管期。依據處置系統特性研擬主動監管期與被動監管期之監管作業規劃。
9	有關安全分析與安全論證方面，請針對氣候演化情節再精進評估內容，並就 FEPs 篩選與分析、處置母岩敏感度與不確定性分析、工程障壁系統劣化之影響等，列為未來發展要項，請妥為規劃執行。	已參考氣候變遷相關國際研究文獻成果，仍延續以最可能發生之氣候暖化預測為設計情節，另研擬提早結束並進入冰期之替代氣候演化情節，供安全評估作業依循。另為了更清楚描述 FEPs 考量內容，對於考量內容較多的 FEPs 項目由原 3 階層架構，增加為 4 階層架構。

表 1.2-2 「LLWD 2024 報告」主要技術精進項目說明

項目	「LLWD 2024 報告」主要技術精進說明
場址特性類	---
環境特徵概念模型整體技術	<ul style="list-style-type: none"> 參考前期採地質、水文地質、地球化學與生物特徵概念模型等 4 類模型成果，更新描述場址環境特徵。 參考前期過去搜集相關文獻與現地調查成果所彙整之場址特性參數，包含鄰近隧道工程調查資料，以及曾執行之 2 處建議候選場址母岩、水樣與吸附參數實驗數值。
地質特徵概念模型與水文地質概念模型	<ul style="list-style-type: none"> 改以地質作用過程分析為基礎之分析方式，重新建置 2 處建議候選場址之地質概念模型。 改以新建之地質概念模型單元特性，進行水文地質特徵概念模型之水文地質單元劃分。 增加利用裂隙統計特性，估算等效水力傳導係數之分析技術，應用於推估水文地質單元水力傳導係數。 惟缺乏實際場址特性監測資料供模型進行校驗，仍無法確認模型可真實反映流場特性。
場址調查作業規劃	<ul style="list-style-type: none"> 參考前期參考日本 MIU 特徵化經驗，更新建置多尺度疊代特徵化程序。 應用多尺度疊代特徵化程序，將場址調查作業再細分為 1.調查階段之地球物理與地面調查、初步鑽孔調查、細部鑽孔調查、井測與水力試驗調查、環境特徵監測與其他場址特性調查項目。2.興建階段之施工期間調查、坑道壁面調查、隧道中鑽探調查與環境特徵監測等。
工程設計類	---
工程障壁系統	<ul style="list-style-type: none"> 參考前期透過完整設計功能考量，提出我國未來低放處置場工程障壁設計規範、施工規範與檢驗規範之作法，以及工程障壁設計性能目標、設計安全功能、主要設計特徵、設計材料特性等考量架構。 新增處置設施主要設計特徵與設計考量內容。 依接收 T-Box 需求調整次地表處置之工程障壁系統設計，區分為基礎型、混凝土窖型與高阻水型。
盛裝容器	<ul style="list-style-type: none"> 維持處置 55 加侖桶與 HPCC，及 7m³ 鋼箱作為運輸容器之規劃，以及相關容器安全功能考量。 新增接收 T2~T5 之 T-Box 容器。 新增以各型 T-Box 最短焊道一半長度被腐蝕視為水體可接觸到廢棄物之判斷方式，以及各型 T-Box 一半厚度被腐蝕視為完整喪失阻水能力。
處置窖	<ul style="list-style-type: none"> 已依現階段設計處置容量、各分類廢棄物與容器選用數量，以及處置 T-Box 之設計需求，重新檢討處置窖內之堆疊、運轉設備與處置窖尺寸調整。 混凝土配比與施作品質試驗成果對現階段設計成果影響，待完成評估後將陸續更新與補充於「LLWD 2024 報告」。
膨潤土阻水層	<ul style="list-style-type: none"> 依本階段「膨潤土障壁單元長期劣化特性研究」與過去對於膨潤土材料研究與試驗結果，在萬年時間尺度內對於功能之影響均不明顯。 新增參考日本「余裕深度處分之安全評價手法」對於膨

項目	「LLWD 2024 報告」主要技術精進說明
	潤土材料的劣化設定方式，採用特定時間設定劣化狀態假設值之方式進行模擬。
通行隧道與次地表處置區	<ul style="list-style-type: none"> 參考前期「LLWD 2020 報告」更新對於通行隧道與次地表處置區之設計基準、功能考量與設計技術。 增加興建階段處置母岩異向性對於坑道長期穩定影響所需之調查與監測規劃。
輔助區與接收大樓	<ul style="list-style-type: none"> 參考前期「LLWD 2020 報告」更新對於輔助區與接收大樓之設計基準與功能考量。 依新增接收 T-Box 需求，調整輔助區與接收大樓布置。
運轉作業	<ul style="list-style-type: none"> 參考前期採處置場運送前置作業、接收港接收作業、接收大樓內接收檢查作業、處置作業等，不同運轉作業區分架構。 新增接收 T-Box 於不同運轉作業規劃與所需對應設備與空間設計調整。
封閉與監管作業	<ul style="list-style-type: none"> 參考前期人類無意入侵事件以鑽探事件與對入侵者造成之曝露劑量低於 1 mSv，作為主動監管期研訂之劑量情節。 新增主動監管期作業與被動監管期作業規劃。
安全分析類	---
廢棄物分類	<ul style="list-style-type: none"> 依法規將廢棄物基本分為 A 類、B 類與 C 類。 維持將 A 類細分為 A0 類與 A1 類之規劃。 新增將 C 類依長半化期核種比活度含量，細分為 CS 與 CL 之規劃。
代表清單	<ul style="list-style-type: none"> 維持封閉後安全評估代表清單起始年為 2100 年。 新增依廢棄物特性區分為活化金屬廢棄物、污染金屬廢棄物、濕性(樹脂)廢棄物、綜合廢棄物之作法。 依核三廠除役計畫內容更新廢棄物預估數量與代表清單活度與比活度。
廢棄物接收規範	<ul style="list-style-type: none"> 參考前期區分為一般性條件、廢棄物物理及化學特性，及廢棄物輻射特性之架構，以及符合相關法規規定之要求內容。 已依新增之容器選用與廢棄物分類規劃，進行接收規範更新。
運轉期間安全評估	<ul style="list-style-type: none"> 維持採正常運轉情節和異常運轉情節進行劑量評估。異常運轉情節包括地震事件、海嘯事件、火災事件、空調過濾系統失效事件、廢棄物包件墜落等。 分析對象新增 T-Box。
金屬腐蝕核種釋出率	<ul style="list-style-type: none"> 已完成碳鋼與不銹鋼於不同 pH 值、富氧與乏氧，以及溫度條件下之本土金屬腐蝕率試驗。 已依本期計畫完成之金屬腐蝕試驗成果，計算本土化金屬腐蝕核種釋出率，並納入分析之中。
FEPs 與情節	<ul style="list-style-type: none"> 參考前期依循 IAEA ISAM 建置之 FEPs 清單架構。 新增部分 FEPs 項目之第 4 階層內容，用於清楚說明該項目考量內容。 更新 2 處建議候選場址之 FEPs 篩選成果。 參考前期氣候持續暖化之設計情節、地震替代情節、各單一工程障壁單元失效情節，以及人類無意入侵情節。

項目	「LLWD 2024 報告」主要技術精進說明
	<ul style="list-style-type: none"> 新增氣候暖化影響提早結束並進入冰期情節。
工程障壁系統劣化分析技術	<ul style="list-style-type: none"> 參考前期設定一組略低於設計目標之參數值，代表工程障壁系統在處置場封閉時的初始狀態。 參考前期考量障壁材料特性與劣化機制，以化學反應模型分析障壁材料隨時間劣化後，孔隙率隨時間的變化趨勢，再以文獻資料蒐集所得之孔隙率與水力傳導係數、擴散係數的關係式，更新孔隙率隨時間的變化反應到水力傳導係數和擴散係數。 新增處置窖發生穿透性裂縫後，會導致大部分通過處置窖的水流往裂縫流動的流場特徵分析。同時，亦將此流場特徵變化會增強核種傳輸機制之平流傳輸特徵，納入安全評估中。 新增評估覆蓋層入滲率技術，以及評估覆蓋層抵抗沖刷能力檢核技術。 新增 T-Box 安全功能劣化分析技術。 參考前期分配係數採相互比較本土化試驗結果與國際間低放處置場安全評估的分配係數設定差異，依據實驗結果設定一組分配係數，作為安全評估之輸入參數。 混凝土長期劣化試驗等成果，待完成後將納入「LLWD 2028 報告」安全評估分析中。
敏感度與不確定性分析	<ul style="list-style-type: none"> 參考前期封閉後處置安全設計關鍵因子識別成果。 針對採用不同方法學建置之「LLWD 2020 報告」與「LLWD 2024 報告」遠場地下水特徵影響，進行敏感度與不確定性討論。 探討考量處置窖裂隙流場特徵與否，對於安全評估結果之敏感度與不確定性影響。 探討「LLWD 2020 報告」與「LLWD 2024 報告」代表清單差異，對於安全評估結果之敏感度與不確定性影響。 依更新之地質概念模型成果與不確定性，探討對於工程設計成果之影響與因應策略。

第二章 確保處置安全之基本考量

2.1 低放處置系統整體功能目標

依我國低放處置安全管理相關法規與台電公司 LLWD 2020 系列報告研究成果，研訂低放處置系統整體功能目標包含：保護一般公眾免於放射性物質釋出的危害、保護無意入侵者、保護運轉期間之工作人員與確保處置場封閉後的穩定性，分述如下：

一、保護一般公眾免於放射性物質釋出的危害

藉由多重障壁系統、監測、維護與管理等合理措施，盡可能降低放射性物質釋放至環境中，確保核種遷移於各類可能途徑釋放至環境時，其可能導致之輻射劑量皆低於可接受之劑量限值。依據「低放射性廢棄物最終處置及其設施安全管理規則」(2012)第 8 條規定，對於一般公眾造成之有效劑量需低於 0.25 mSv/yr。

二、保護無意入侵者

處置系統之設計、運轉與封閉，於處置場址撤除主動監管後，仍需提供無意入侵防護障壁。於次地表處置系統將依據「LLWD 2020 報告」成果，以確保單一事件中對於無意入侵者造成之有效劑量需低於 1 mSv。

三、保護運轉期間之工作人員

處置場運轉作業輻射防護考量，需遵循「低放射性廢棄物最終處置及其設施安全管理規則」(2012)與「游離輻射防護安全標準」(2005)之規定，並遵循合理抑低原則，確保工作人員每連續 5 年週期之有效劑量不超過 100 mSv，任何單一年內之有效劑量不超過 50 mSv。

四、封閉後具穩定性

處置設施設計需以實現長期穩定性，以及儘量排除處置場封閉後之主動維護需求為目標，確保處置場封閉後之主動監管期間僅需進行監控、監測與少量之地面處置設施維管作業。

2.2 低放處置設施之處置安全策略

低放處置設施之處置安全策略依作業時期差異，可分為處置設施運轉安全與處置設施封閉後長期安全。由於處置系統之多重安全功能將由天然障壁系統、工程障壁系統，以及處置設施之監測與維護管理等措施共同實現。因此，在不同作業階段之安全相關議題決策，均需綜合考量各作業階段與處置系統整體安全性。處置安全策略說明如下：

一、處置設施封閉前之主要處置安全策略

在處置設施封閉前，主要的潛在輻射劑量影響來自於處置設施運轉相關作業之輻射曝露影響，包含運輸與接收作業、檢查與暫時貯存作業、處置作業等。確保安全之處置安全策略主要為確保圍阻功能、輻射防護功能與被動安全特徵的監測與管控功能。實現各安全功能之主要安全目標與策略，彙整如表 2.2-1 所列。

表 2.2-1 處置設施封閉前之主要處置安全策略

安全功能	處置安全策略	主要作法
圍阻	防止放射性廢棄物所含核種洩漏	處置場運轉期間各項作業，應避免打開盛裝容器頂蓋
		處置場運轉期間之貯存作業，應避免盛裝容器與水接觸或產生積水現象
	防止放射性核種自處置設施釋出	處置場運轉期間之處置區與檢整區作業應可防止放射性核種釋出至設施外
輻射防護	確保設施外民眾之輻射防護安全	利用輻射屏蔽設計與環境監測措施，確保設施外輻射劑量低於法規限值
	確保作業人員之輻射防護安全	利用輻射屏蔽設計與輻射防護管理措施，確保職業曝露劑量低於限值
		輻射工作人員與一般工作人員作業區應加以區隔，並進行作業人員進出管制
被動安全特徵的監測與管控	確保可維持處置系統被動安全特徵至設施解除監管後	處置場運轉期間須定期監測工程障壁系統特徵，處置設施設計應配合保留合適的維護作業能力
		確保處置單元中所含之核種總活度、長半化期核種種類與活度，低於規劃處置總量

二、處置設施封閉後之主要處置安全策略

處置設施封閉後之主要處置安全策略，在監管階段為確保處置設施圍阻功能與避免發生人類無意入侵事件。在解除監管階段則是儘可能的維持處置設施之隔離與圍阻功能，利用多重障壁系統遲滯核種遷移至生物圈所需之時間，確保核種遷移至生物圈時已明顯無害。因此，確保安全之處置安全策略主要為確保圍阻功能、隔離功能，以及監管階段的被動安全特徵的監測與管控功能。實現各安全功能之主要安全目標與策略，彙整如表 2.2-2 所列。

表 2.2-2 處置設施封閉後之主要處置安全策略

安全功能	處置安全策略	主要作法
隔離	選擇有利於維持隔離功能之環境	於場址選擇階段，需確認場址已避開自然現象有明顯影響區域
	選擇有利於維持遲滯功能之環境	避免選擇可能會導致核種加速遷移至生物圈之場址特徵
	降低發生無意入侵事件之可能性	選擇人類活動不明顯、人類不易接近、無已知重要天然礦產與資源等特性之環境，降低發生無意入侵事件之可能性
圍阻	工程障壁系統需具圍阻功能	工程障壁系統需有效圍阻核種於處置設施中，並使短半化期核種之可能危害明顯降低
	工程障壁系統需具遲滯功能	工程障壁系統需有效遲滯長半化期核種的釋出，搭配天然障壁系統遲滯功能，確保核種遷移至生物圈時已明顯無害
	選擇有利於維持圍阻與遲滯功能之環境	需選擇場址環境特徵不會對維持多重障壁系統安全功能有明顯危害之環境
	確保解除監管前，不會發生無意入侵事件	確保設施在解除監管前，可利用保安設施與措施，有效防止無意入侵事件發生
監測與管控	確保可維持處置系統被動安全特徵至設施解除監管後	處置設施監管階段，須定期執行工程障壁系統特徵與環境輻射監測，確認處置設施之被動安全特徵符合預期功能

三、處置作業各階段之安全功能目標

依前述處置安全策略彙整各作業階段所需實現之安全功能如圖 2.2-1 所示，各項安全功能目標說明如下：

-
- (一)輻射防護功能主要實現於運轉階段，需實現保護一般民眾與輻射工作人員之目標。對於一般民眾輻射防護考量，於既有 2 處建議候選場址採用之次地表處置系統，可由其處置母岩提供。運轉階段之輻射工作人員輻射防護可透過實體屏蔽與劑量管理加以實現，封閉後因輻射工作人員也無須再執行相關作業，故其考量與一般民眾相同。
- (二)圍阻功能之主要功能目標，在於放射性核種衰變至顯著降低危害之前，仍可確保將放射性廢棄物與其核種圍阻於處置設施之中。在主動監管階段結束之前，可透過監測設施確認圍阻功能是否仍如預期，必要時可進行設施功能維護或改善，同時可透過管理措施確實避免圍阻功能受到人為破壞。進入解除監管階段後，處置設施的圍阻功能將會隨時間逐漸減弱，進入功能延伸階段。
- (三)當處置設施圍阻功能減損後，核種將開始自廢棄物體中釋出，此時需藉由工程障壁系統之遲滯功能，延緩核種自工程障壁中釋出之時間，並藉由吸附功能降低釋出之核種濃度。
- (四)坑道型式處置系統之隔離功能，主要是由天然障壁系統之岩層厚度為實現主體。由於處置設施於運轉與監管階段為實現圍阻功能之主要時期，此時放射性核種尚未自廢棄物體中釋出，工程障壁不需分攤實現隔離功能之任務。在此階段處置設施之隔離功能，主要是藉由保安系統確保不會發生人類無意入侵事件，將廢棄物隔離於生物圈可接觸範圍之外。當進入解除監管階段之後，天然障壁系統之岩層厚度仍為實現隔離功能主體，需注意侵蝕與抬升作用對於岩覆厚度可能產生之影響。同時，天然障壁與工程障壁系統的遲滯功能將為影響核種遷移至生物圈所需時間與濃度特性之主要因素。此時，處置設施之工程障壁系統另具有被動式無意入侵者防護障壁之作用。

(五)被動安全特徵的監測與管控功能，主要的功能目標在於確認處置系統可如預期般的發揮功能，屬於處置安全管理策略。透過核種種類與總活度管控，監測工程障壁單元功能等管理手段，檢核與確認處置系統可實現其確保處置安全目標。

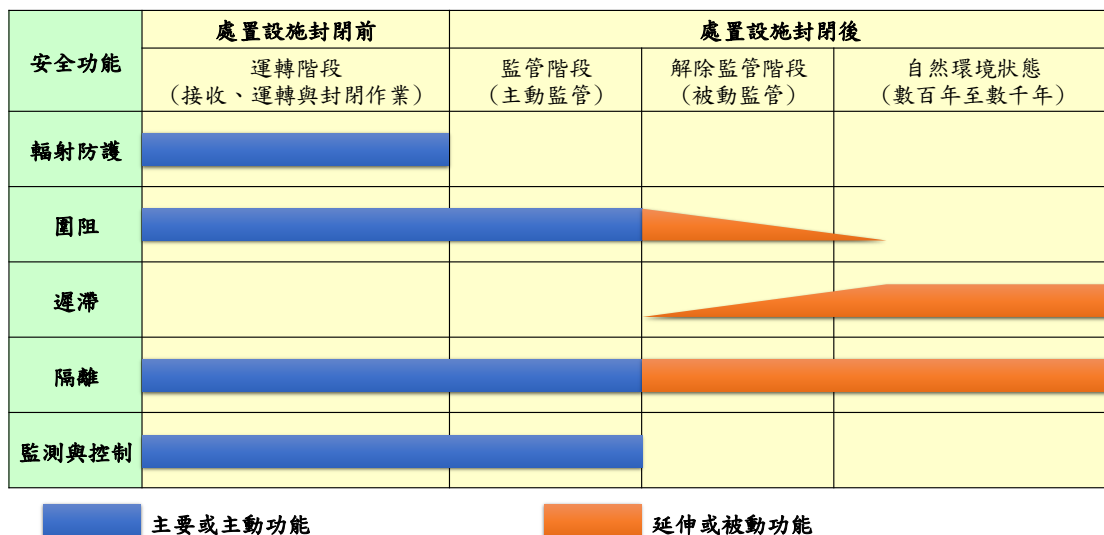


圖 2.2-1 處置設施安全功能與處置作業階段關聯示意圖

2.3 工程障壁系統之設計概念

組成工程障壁系統之各處置單元設施，為實現各作業階段圍阻、隔離與輻射防護功能，保護一般公眾與工作人員之實體障壁設施。工程障壁系統設計之主要考量為確保處置長期安全，且於運轉階段須提供必要之輻射屏蔽功能。因此，工程障壁系統整體設計功能考量涵蓋：避免核種自廢棄物體釋出、抑制核種遷移、提升長期處置環境穩定性，與輻射屏蔽等功能。此外，設計工程障壁系統時，亦須考量避免封閉後需維護處置設施之需求。由於不同分類之低放射性廢棄物其含長半化期核種活度具有差異，故對於工程障壁系統安全功能需求亦有所差異。因此，依不同廢棄物分類，處置單元須設計對應之處置障壁系統，可包含：廢棄物體、處置盛裝容器、窖內填充、處置窖、阻水層與回填等。以下分就不同分類廢棄物之工程障壁系統設計概念進行說明：

一、廢棄物分類

(一) A 類廢棄物區分為 A0 類與 A1 類

延續「LLWD 2020 報告」分類規劃，將 A 類低放射性廢棄物分為 A1 類和 A0 類低放射性廢棄物等 2 類，其中 A0 類廢棄物之核種活度濃度為低於 A 類廢棄物分類限值之 1/100，超過 A0 類判斷標準之 A 類廢棄物則歸為 A1 類廢棄物。

(二) B 類廢棄物

維持與「低放射性廢棄物最終處置及其設施安全管理規則」(2012)相同定義。

(三) C 類廢棄物區分為 CS 類與 CL 類

於「低放射性廢棄物數量、特性與分類報告」中，參考法國國家放射性廢棄物管理局(the French National Radioactive Waste Management Agency, ANDRA)對於中低放短半化期廢棄物之廢棄物總比活度限制 3.7×10^8 Bq/kg (LEDEN & EDP Sciences, 2024) 作為短半化期為主之 CS 廢棄物分類條件。考量此農業情節之核種傳輸距離甚短且直接抽水飲用地下水，於劑量逆推估算上最為保守。逆推限值所採用模型，為求保守並未考量工程障壁系統功能。環境材料特性採用一般常見水文地質參數數值且不考慮吸附特性增加其保守度，而汙染區則反應廢棄物體特性，考量其吸附特性。

二、工程障壁系統

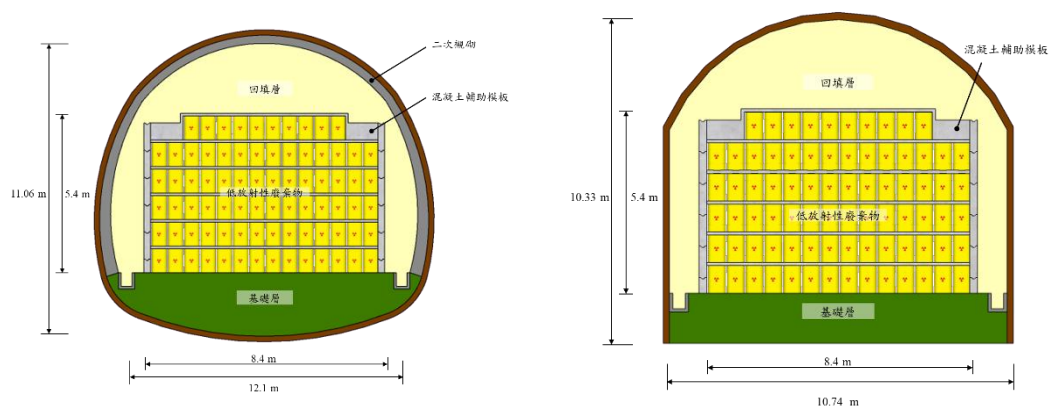
處置設施工程障壁系統設計著重於維持遲滯功能設計，其處置障壁單元依據所處置對象之廢棄物分類與容器特性差異，由不同的工程障壁單元組合成基礎型、混凝土窖型和高阻水型等 3 種工程障壁系統，如表 2.3-1 所列。

表 2.3-1 工程障壁系統單元組成與規劃處置對象

		基礎型	混凝土窖型	高阻水型
規劃處置對象	55 加侖桶	A0 類廢棄物	A1 類、B 類與 CS 類廢棄物	CL 類廢棄物
	HPCC	A0 類與 A1 類廢棄物	B 類與 CS 類廢棄物	無
	T-Box	A0 類、A1 類與 B 類廢棄物	CS 類廢棄物	CL 類廢棄物
填充層		<ul style="list-style-type: none"> ● 自充填混凝土 ● 分層澆灌 ● 增設混凝土輔助模板 	<ul style="list-style-type: none"> ● 55 加侖桶、T-Box 間空隙以自充填混凝土填充 ● HPCC 間空隙以砂填充 ● 於處置窖內分層澆灌 	<ul style="list-style-type: none"> ● 自充填混凝土 ● 於處置窖內分層澆灌
處置窖		無	混凝土處置窖	混凝土處置窖
阻水層		無	無	膨潤土磚
回填層/基礎層		處置坑道全斷面回填混凝土材料		
混凝土襯砌		視母岩岩體品質決定是否設計，若是，則須設計較佳之水密性，降低發生坑道滲水現象可能性		

(一)基礎型處置系統

2 處建議候選場址既有基礎型處置坑道規劃用於處置 A0 類 55 加侖桶與 HPCC。由於 HPCC 為設計使用年限 100 年的高性能混凝土處置容器，因其容器具有 100 年處置安全功能，故 A1 類之 HPCC 亦規劃處置於此。本期新增之 A0 類、A1 類與 B 類 T-Box 容器初步規劃採基礎型處置系統。設計概念如圖 2.3-1 所示。



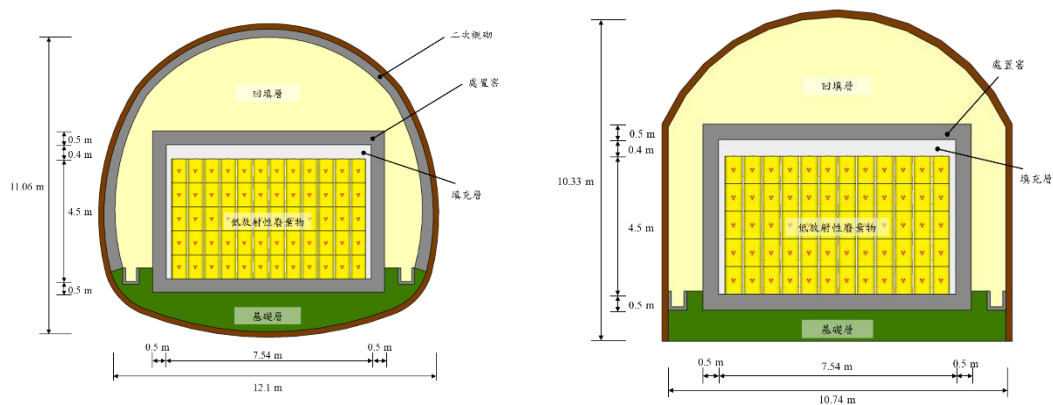
達仁鄉建議候選場址

烏坵鄉建議候選場址

圖 2.3-1 基礎型處置系統設計概念示意圖

(二) 混凝土窖型處置系統

混凝土窖型處置系統規劃用於處置 A1 類、B 類與 CS 類 55 加侖桶廢棄物包件、B 類與 CS 類 HPCC 廢棄物包件，以及 CS 類 T-Box 廢棄物包件。設計概念如圖 2.3-2 所示。



達仁鄉建議候選場址

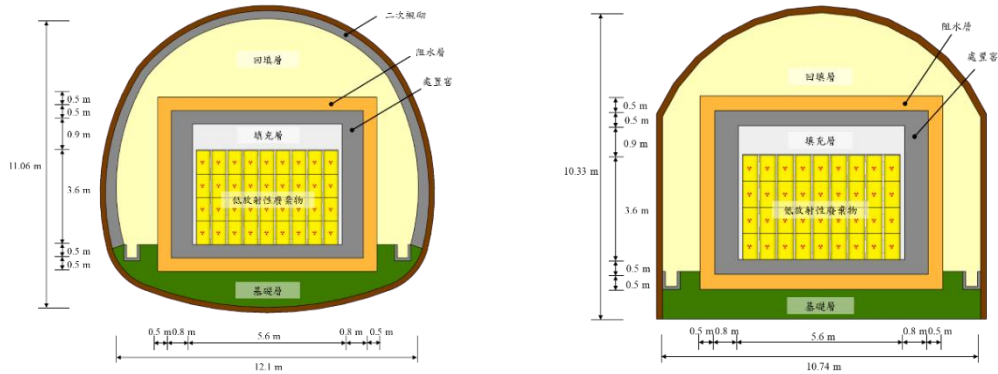
烏坵鄉建議候選場址

圖 2.3-2 混凝土窖型處置系統設計概念示意圖

(三) 高阻水型處置系統

高阻水型處置系統規劃用於處置 CL 類廢棄物 55 加侖桶與 T-Box 包件。HPCC 並無 CL 分類，故不納入設計。由於其所含長半化期核種活度較高，為了降低地下水侵入機會、延長核種外

釋時間，規劃設置處置窖與阻水層，以提供抑制核種遷移能力。
設計概念如圖 2.3-3 所示。



達仁鄉建議候選場址

烏坵鄉建議候選場址

圖 2.3-3 高阻水型處置系統設計概念示意圖

在多重安全功能的考量下，工程障壁系統各組件設計考量均與前述設計功能考量相關。但單一組件並不必然包含所有功能，且實現各功能之主要組件於不同作業時期亦有所差異

表 2.3-2 工程障壁系統單元之長期安全功能設計考量

功能 單元	圍阻	遲滯	吸附
廢棄物體	均勻固化與固結之廢棄物，於容器破損時可避免廢棄物發生逸散	<ul style="list-style-type: none"> ● 均勻固化體品質須滿足接收標準，其低透水性可提供遲滯功能 ● 金屬廢棄物利用混凝土固結以降低金屬腐蝕率，可抑低其核種釋出率 	<ul style="list-style-type: none"> ● 均勻固化體具吸附核種功能 ● 混凝土材料具吸附核種功能
盛裝容器	<ul style="list-style-type: none"> ● 避免運轉過程中，水體意外接觸到廢棄物體 ● 部分 T-Box 具有較厚容器壁，可延長其圍阻功能時間 ● HPCC 考量具 100 年之圍阻功能 	混凝土容器具低透水特性(僅 HPCC)	混凝土材料具吸附核種功能(僅 HPCC)

功能 單元	圍阻	遲滯	吸附
填充層	<ul style="list-style-type: none"> ● 避免運轉過程中，水體意外接觸到廢棄物體 ● 採用混凝土材料，維持較低的金屬腐蝕率，延長金屬容器圍阻功能 	填充廢棄物包件間之孔隙，避免形成快速通道	混凝土材料具吸附核種功能
處置窖	<ul style="list-style-type: none"> ● 避免運轉過程中，水體意外接觸到廢棄物體 ● 於金屬容器銹蝕後，可提供圍阻廢棄物之力學圍束功能 	利用低擴散設計，維持擴散主導長期核種遷移特性	混凝土材料具吸附核種功能
阻水層	---	利用低透水設計，維持擴散主導長期核種遷移特性	膨潤土材料具吸附核種功能
回填層/ 基礎層	---	避免形成快速通道 採用混凝土材料，維持較低的金屬腐蝕率	混凝土材料具吸附核種功能

參考文獻

1. 2005，游離輻射防護安全標準。
2. 2012，低放射性廢棄物最終處置及其設施安全管理規則。

本頁空白。

第三章 場址環境特徵化技術

本章將以文獻資料為類比基礎，進一步說明場址尺度環境特徵模型，並建立氣候演化情節，供後續安全評估使用。

3.1 氣候演化

本報告研擬 2 種氣候演化情節，第 1 種氣候演化情節，是假設在安全評估的時間尺度內，其氣候將持續受暖化作用影響不會進入冰期，並將此定義為「設計情節」。第 2 種氣候演化情節是假設在安全評估的時間尺度內，暖化作用的影響會結束且進入冰期，並將此定義為「替代情節」。2 種氣候演化情節之主要氣候特徵參數設定如表 3.1-1 所列。

表 3.1-1 氣候演化情節場址特徵參數設定表

情節	西元年	2,100 年 (設施封閉)	4,100 年 (封閉後 2,000 年)	6,100 年 (封閉後 4,000 年)	12,100 年 (封閉後 10,000 年)
設計 演化 氣候 情節	達仁鄉建議候選 場址降雨量(mm/yr)	3,728	3,439	3,439	3,439
	達仁鄉建議候選場址 海平面升降高度(m)	0.73	4.22	4.22	0.22
	烏坵鄉建議候選 場址降雨量(mm/yr)	1,228	1,133	1,133	1,133
	烏坵鄉建議候選場址 海平面升降高度(m)	0.51	4.00	4.00	0.00
情節	西元年	2,100 年 (設施封閉)	4,100 年 (封閉後 2,000 年)	9,100 年 (封閉後 7,000 年)	12,100 年 (封閉後 10,000 年)
替代 演化 氣候 情節	達仁鄉建議候選 場址降雨量(mm/yr)	3,728	3,439	2,820	3,026
	達仁鄉建議候選場址 海平面升降高度(m)	0.73	4.22	-56.78	-35.78
	烏坵鄉建議候選 場址降雨量(mm/yr)	1,228	1,133	929	997
	烏坵鄉建議候選場址 海平面升降高度(m)	0.51	4.00	-57.00	-36.00

3.2 達仁鄉建議候選場址環境特徵概念模型

環境特徵化模型的尺度分為區域尺度、場址尺度與設施尺度。達仁鄉建議候選場址各尺度特徵化模型範圍界定如下圖 3.2-1 所示，水文地質模型則再於此範圍內離地質模型邊界最近之海岸線及分水嶺劃分。

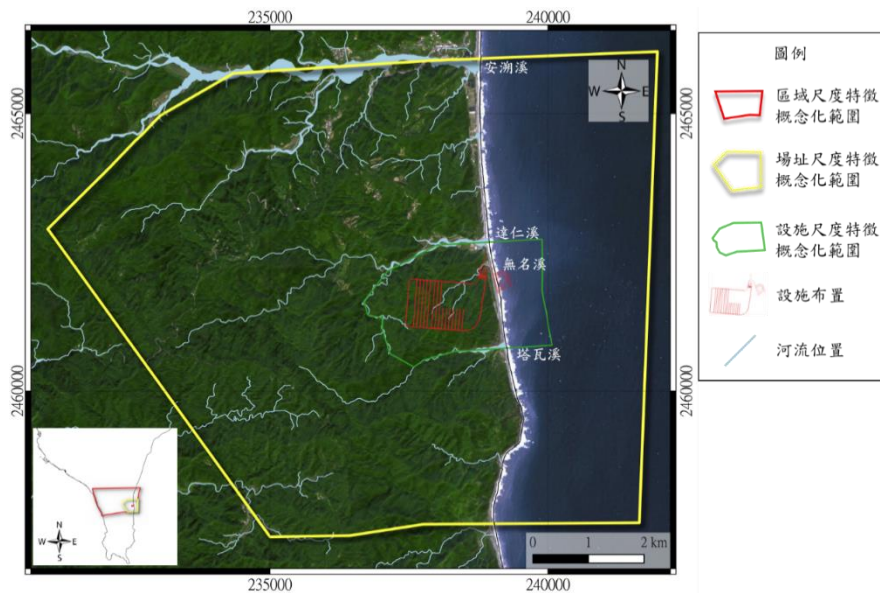
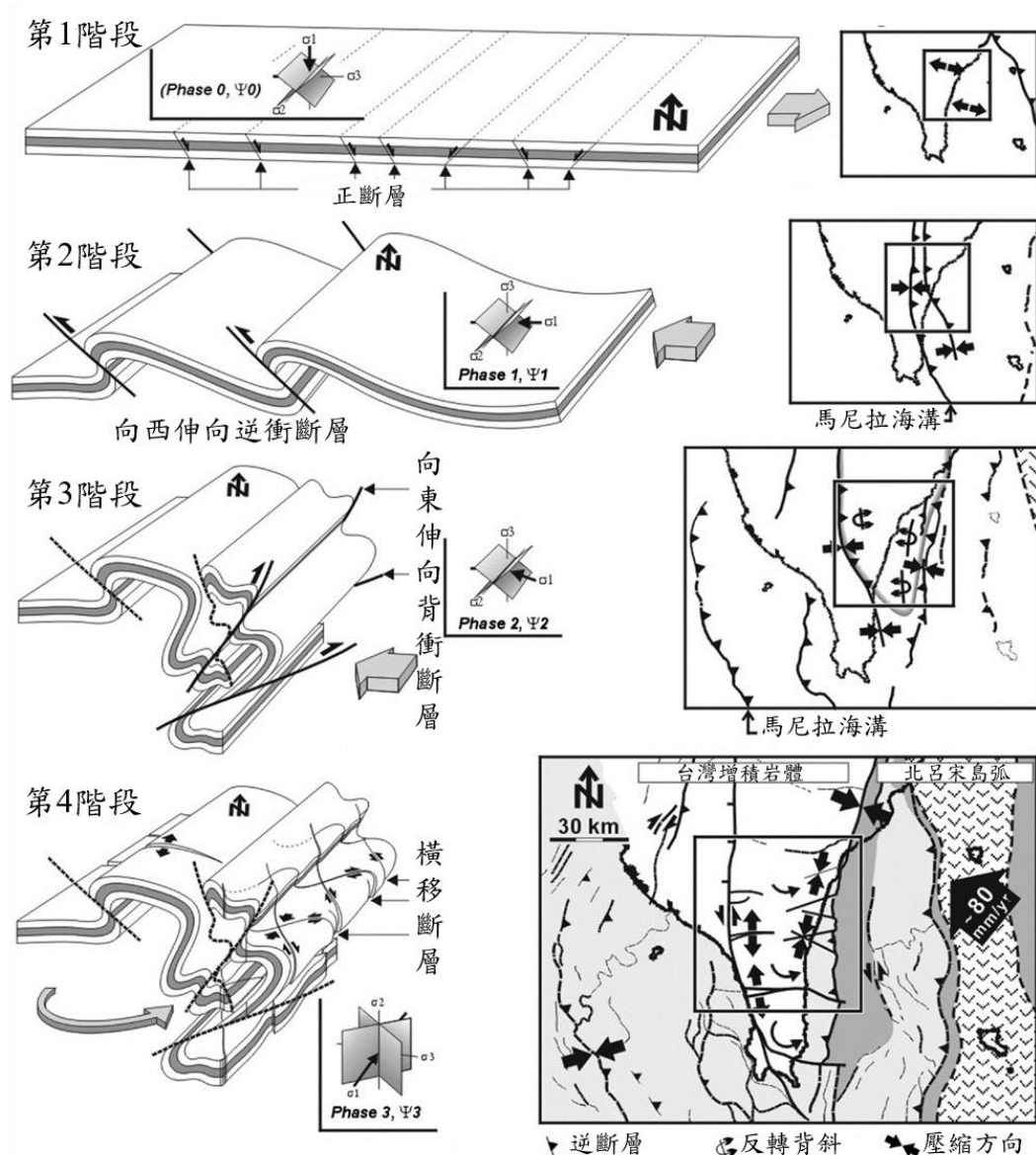


圖 3.2-1 達仁鄉建議候選場址多尺度模型範圍規劃

3.2.1 地質環境概念模型

一、地質演化模型

台灣南部地質歷史可以分為 4 個階段(Chang et al., 2009, p.395)，如圖 3.2-2 所示。第 1 階段區域應力屬於拉張環境，台灣全域均在海平面下，第 2 階段，開始初步的蓬萊造山運動，此時期板塊的擠壓作用也使潮州層產生第 1 次應變，形成向西伸向的褶皺與逆衝斷層，第 3 階段潮州層產生第 2 次應變，產生向東伸向之背衝斷層(Back Thrust Fault)與等斜褶皺(Isoclinal fold)，第 4 階段在海岸山脈位置持續的碰撞擠壓，對台灣南部產生以碰撞點為中心的逆時鐘旋轉，使台灣中央山脈南段地質環境產生旋轉與橫移斷層。



資料來源：修改自 Chang et al. (2009, p.406)

圖 3.2-2 中央山脈南部地質構造演化史

二、岩性概念模型

岩性概念模型如圖 3.2-3 所示，岩性包含潮州層的硬頁岩，以及第四紀沉積物，另外參考草埔森永隧道地質鑽探報告之 RQD 試驗成果，將岩性依深度劃分為 0 m 至 100 m 其 RQD 約介於 50 至 60，為 CH1 岩性單元。100 m 至 240 m 其 RQD 約介於 61 至 79，為 CH2 岩性單元。240 m 至 500 m 其 RQD 大於 80，為 CH3 岩性單元。

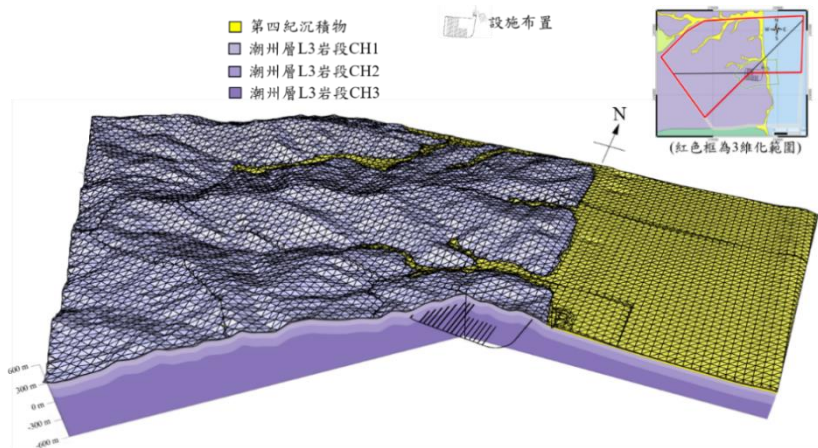


圖 3.2-3 達仁鄉建議候選場址岩性場址尺度 3 維概念模型

三、地質構造概念模型

進行地質構造單元劃分時，依據其形成機制差異，可分為兩類地質構造區：(1)由屬於塑性變形構造的褶皺構造形成塑性區，其形成環境是在較深且具有塑性之環境所形成(圖 3.2-4 構造 A 與構造 B)，(2)由屬於脆性變型構造的裂隙帶形成的脆性區，其形成環境是在較淺且塑性條件較低之環境所形成(圖 3.2-4 構造 C 與構造 D)。3 維地質構造概念模型如圖 3.2-5。

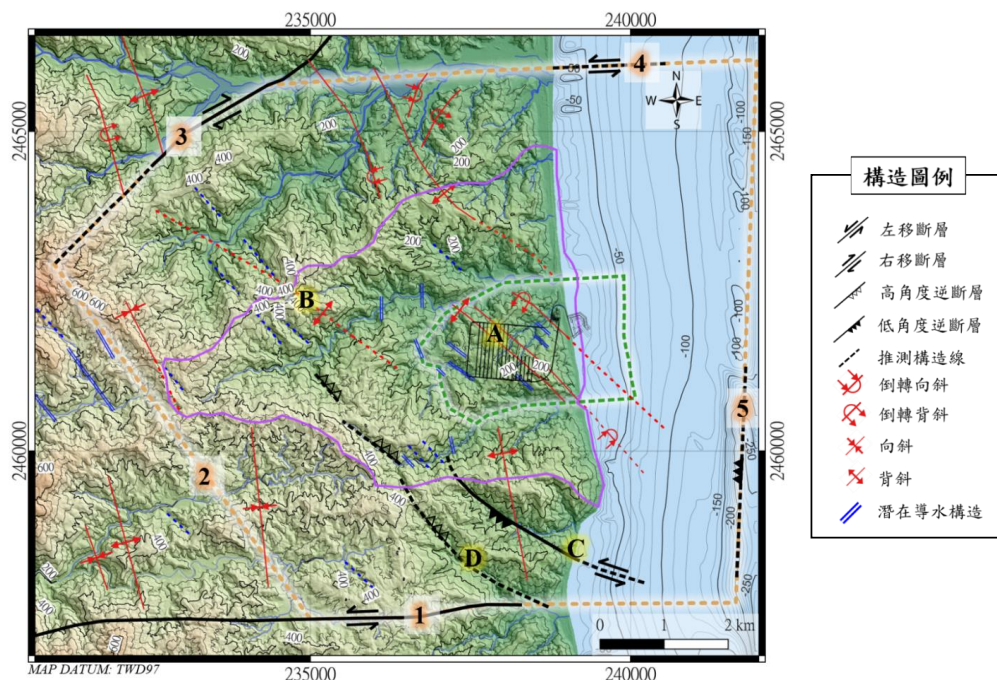
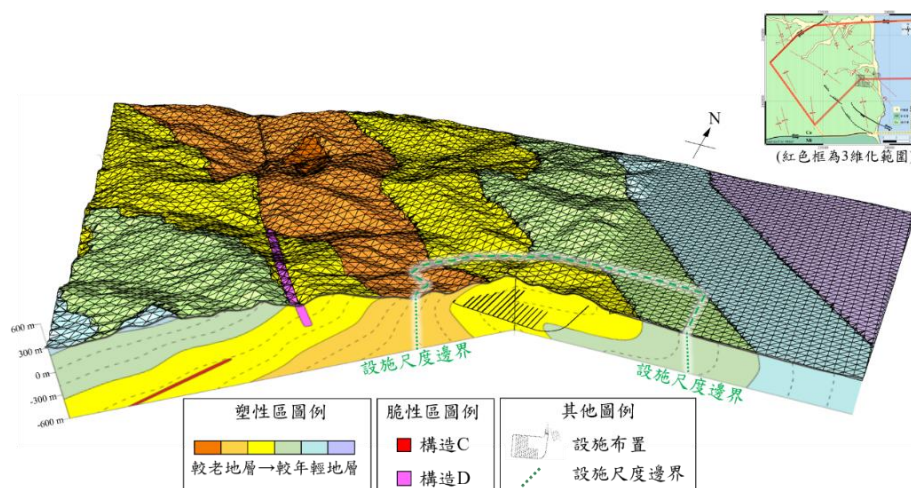


圖 3.2-4 達仁鄉建議候選場址場址尺度地質構造概念模型平面圖



備註：塑性區顏色與當中虛線，僅為展示褶皺型態與方向之示意用，非真實地層或岩性之厚度。

圖 3.2-5 達仁鄉建議候選場址場址尺度 3 維地質構造概念模型

四、應力環境概念模型

(一)處置母岩力學參數

參考交通部公路總局對草埔森永隧道之地質探查報告(交通部公路總局，2012，p.26~p.56)，硬頁岩力學參數彙整如表 3.2-1。

表 3.2-1 達仁鄉建議候選場址硬頁岩特性彙總表

試驗項目	範圍
單位重	2.69 g/cm ³ 至 2.78 g/cm ³
單壓強度	48.4 kg/cm ² 至 461.3 kg/cm ² (約等於 4.75 MPa~45.24 MPa)
孔隙率	0.005~0.367
凝聚力	16 kg/cm ² 至 64 kg/cm ² (約等於 1.57 MPa~6.28 MPa)
摩擦角	34.8°~57.9°
靜彈性模數	93,400 kg/cm ² 至 628,600 kg/cm ² (約等於 9.15 GPa~61.64 GPa)
柏松比	0.18 至 0.34
岩石消散耐久試驗	中等高耐久性~非常高耐久性

(二)鉛垂向應力與水平向應力

依據硬頁岩單位重與岩覆深度計算，可得處置坑道位置之鉛垂向應力(σ_v)最小值為 1.91 MPa，出現於圖 3.2-6(a)的位置

A，最大值為 4.89 MPa，出現在圖 3.2-6 (a)的位置 B。水平向應力(σ_h)最小值為 2.51 MPa，出現於圖 3.2-6(b)的位置 A，最大值為 5.85 MPa，出現在圖 3.2-6 (b)的位置 B。應力方向如圖 3.2-2 第 4 階段所示，最大主應力(σ_1)為南北向。

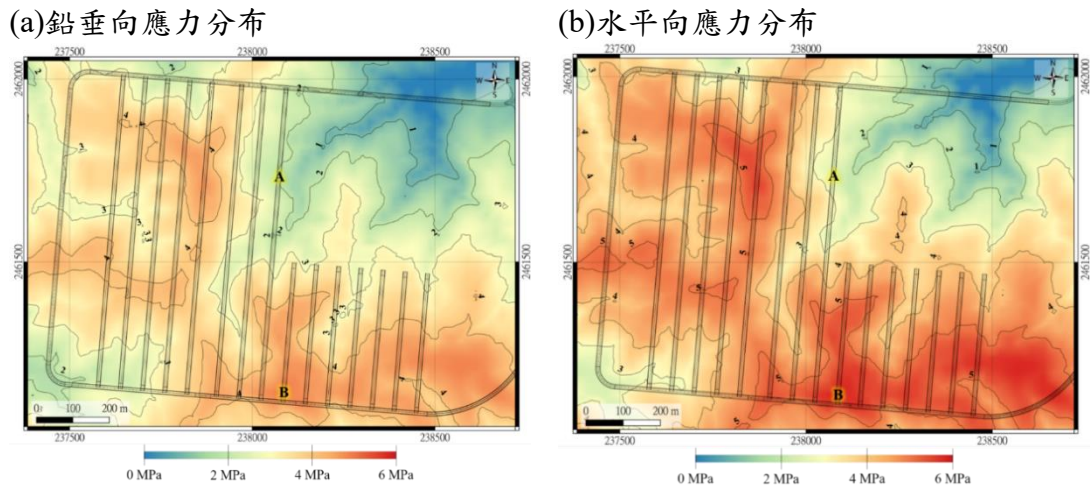


圖 3.2-6 達仁鄉建議候選場址應力分布

五、地質單元概念模型

地質特徵包含地質演化、岩性、地質構造與應力環境，這些背景會影響處置母岩之裂隙特徵，並進一步影響導水特徵與地下水流場。就前述第二項至第五項概念模型進行整合評估，建立地質特性的均勻分區，據以建立地質單元概念模型如圖 3.2-7 所示。

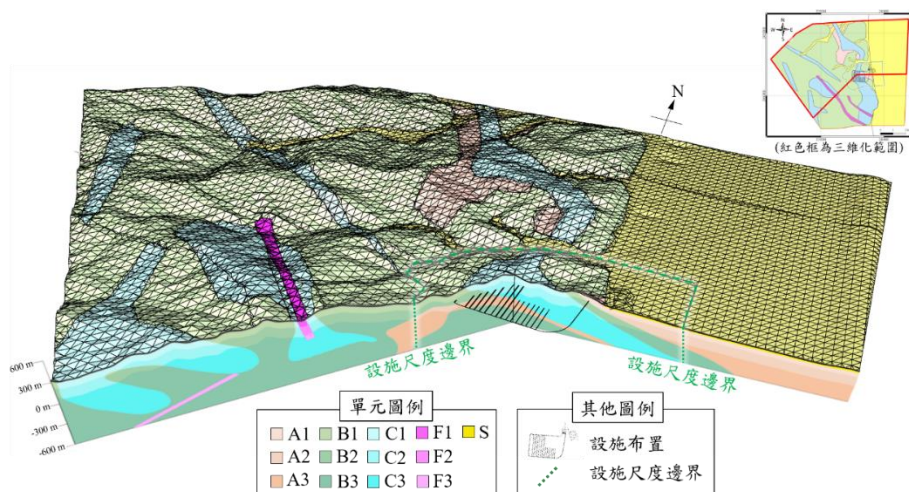


圖 3.2-7 達仁鄉建議候選場址地質單元場址尺度 3 維概念模型

3.2.2 水文地質概念模型

一、水文地質場址尺度模型

塑性區地質單元依地層傾角可分為 A、B、C 區，各區依深度再分出 3 種不同水文地質單元。脆性區依同樣原則劃分為 F1、F2 與 F3 之水文地質單元。另考量第四紀沉積物 S 區因厚度較薄，相較於場址尺度水文地質模型厚度，對於地下水流場影響並不顯著，故不另劃設水文地質單元，僅於邊界條件中考量其對於入滲與出滲特性影響。達仁鄉建議候選場址水文地質場址尺度模型如圖 3.2-8 所示。

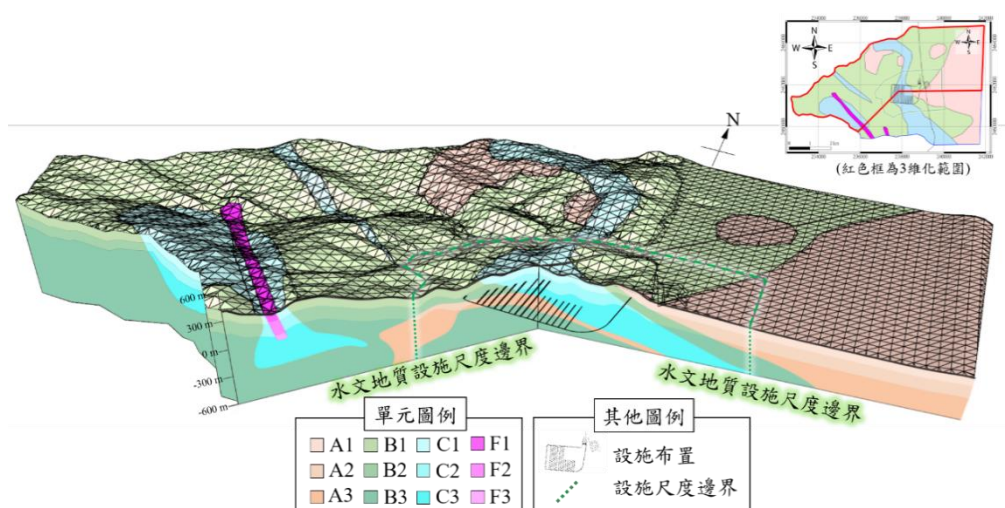


圖 3.2-8 達仁鄉建議候選場址水文地質場址尺度概念模型

達仁鄉建議候選場址各水文地質單元依照其裂隙參數之特徵，其相關參數彙整如表 3.2-2。

表 3.2-2 達仁鄉建議候選場址水文地質單元參數

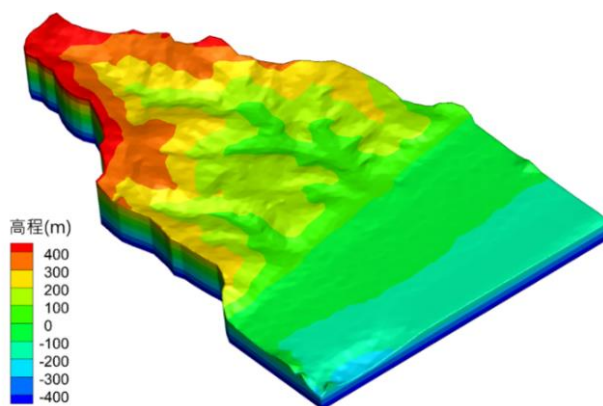
水文地質單元編號	K _{xx} (m/s)	K _{xy} (m/s)	K _{yy} (m/s)	K _{yz} (m/s)	K _{zz} (m/s)	K _{zx} (m/s)	孔隙率
A1	6.71×10^{-6}	-1.29×10^{-6}	5.77×10^{-6}	-8.07×10^{-9}	5.88×10^{-6}	2.54×10^{-9}	0.30
A2	5.21×10^{-7}	-9.25×10^{-8}	4.52×10^{-7}	3.37×10^{-11}	4.36×10^{-7}	1.76×10^{-10}	0.05
A3	7.38×10^{-8}	-1.30×10^{-8}	6.43×10^{-8}	5.11×10^{-11}	6.10×10^{-8}	-1.02×10^{-11}	0.05
B1	$5.64 \times$	$-5.36 \times$	$5.24 \times$	$5.55 \times$	$4.14 \times$	$3.46 \times$	0.30

水文地質單元編號	Kxx (m/s)	Kxy (m/s)	Kyy (m/s)	Kyz (m/s)	Kzz (m/s)	Kzx (m/s)	孔隙率
	10^{-6}	10^{-7}	10^{-6}	10^{-8}	10^{-6}	10^{-7}	
B2	4.52×10^{-7}	-4.01×10^{-8}	4.23×10^{-7}	-1.69×10^{-9}	3.34×10^{-7}	3.48×10^{-8}	0.05
B3	6.43×10^{-8}	-5.56×10^{-9}	6.03×10^{-8}	-8.73×10^{-11}	4.68×10^{-8}	4.97×10^{-9}	0.05
C1	6.76×10^{-6}	-8.6×10^{-7}	6.14×10^{-6}	3.16×10^{-9}	6.33×10^{-6}	3.20×10^{-9}	0.30
C2	5.44×10^{-7}	-6.07×10^{-8}	4.99×10^{-7}	-1.74×10^{-10}	5.29×10^{-7}	-1.45×10^{-10}	0.05
C3	7.68×10^{-8}	-8.57×10^{-9}	7.07×10^{-8}	6.63×10^{-11}	7.41×10^{-8}	2.21×10^{-11}	0.05
F1	1.20×10^{-5}	-1.38×10^{-6}	1.10×10^{-5}	1.16×10^{-7}	9.18×10^{-6}	6.77×10^{-7}	0.40
F2	9.53×10^{-7}	-8.06×10^{-8}	8.93×10^{-7}	-1.26×10^{-9}	6.88×10^{-7}	6.98×10^{-8}	0.40
F3	1.65×10^{-7}	-1.34×10^{-8}	1.55×10^{-7}	-1.44×10^{-10}	1.16×10^{-7}	1.15×10^{-8}	0.40

備註：x、y、z 的方向分別為：+x 為東方、+y 為北方、+z 為上方。

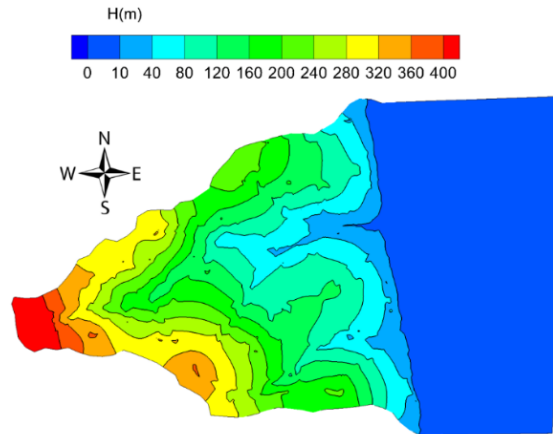
二、地下水流場模擬成果

達仁鄉建議候選場址東面臨海，其所屬區域主要為丘陵山坡地形為主，場址南北有分別有達仁溪與塔瓦溪兩條河川通過，地下水流場模擬區域範圍及數值模型如圖 3.2-9 所示。達仁鄉建議候選場址在西元 2,100 年處置場封閉時的地下水流場模擬結果如圖 3.2-10 與圖 3.2-11 所示。水流方向往兩側河谷及海岸流動，在鄰近達仁溪與塔瓦溪河谷處之地下水流速較快。



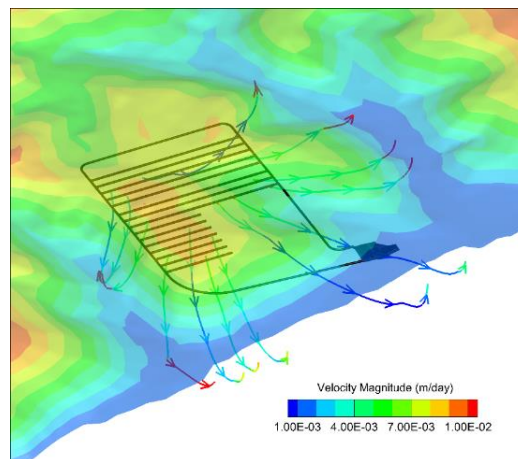
資料來源：台電公司(2023，p.2-70)

圖 3.2-9 達仁鄉建議候選場址地下水流場模擬數值模型圖



資料來源：台電公司(2023，p.2-70)

圖 3.2-10 達仁鄉建議候選場址封閉時地下水水頭分布圖



資料來源：台電公司(2023，p.2-71)

圖 3.2-11 達仁鄉建議候選場址封閉時之地下水流速與出滲位置

3.2.3 地球化學概念模型

達仁鄉建議候選場址處置坑道規劃位置約在 EL.30 m~EL.31.2 m 處，處置坑道上方岩覆厚度約介於 70.9 m~181.9 m 之間(台電公司，2021，p.3-20、p.6-20)。地球化學概念模型以岩覆厚度 135 m 作為代表值，蒐集文獻類比此深度地下水之氧化還原電位(ORP)、pH 值、氯離子濃度、硫酸鹽濃度等的分布趨勢如圖 3.2-12 所示。

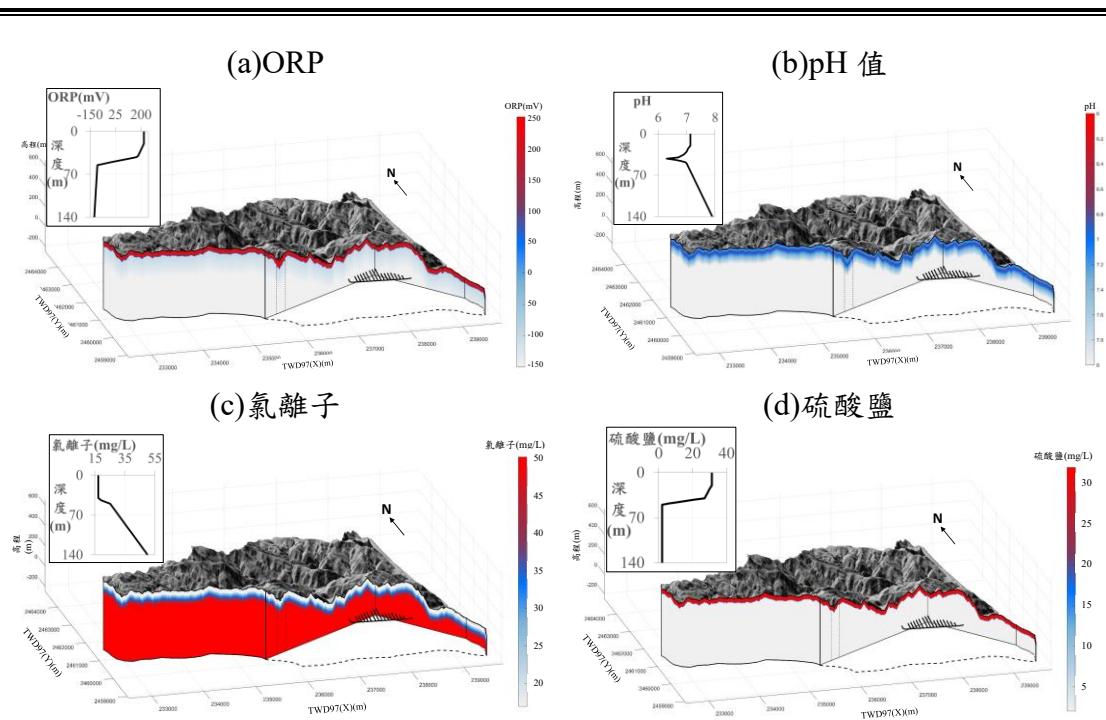


圖 3.2-12 達仁鄉建議候選場址地球化學概念模型

3.2.4 生物環境概念模型

一、關鍵群體與其生活環境

假設塔瓦溪口與達仁溪口附近有居民居住，為關鍵群體，供後續相關分析評估核種釋出對其造成的影響。

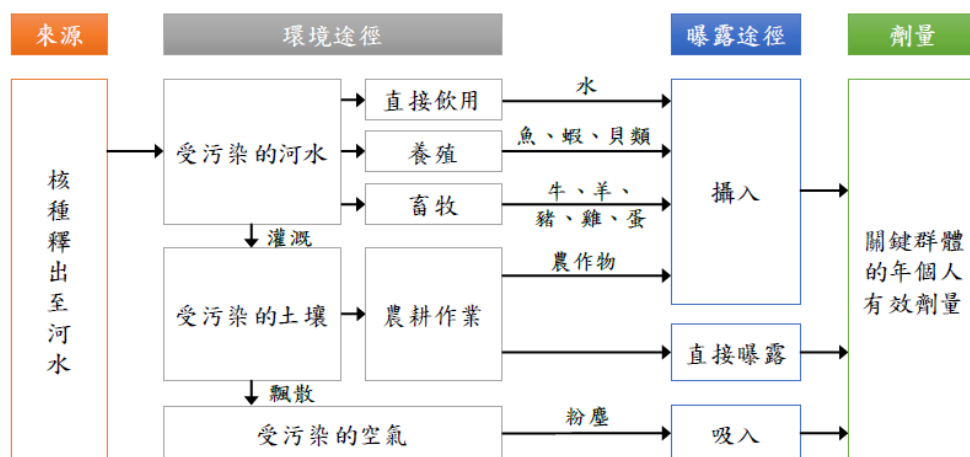
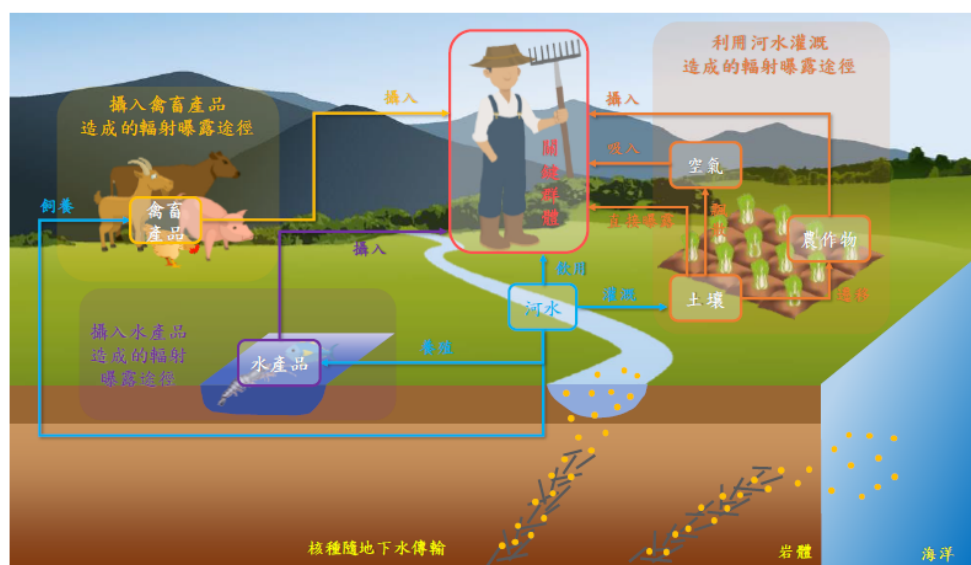
在生活環境部分，達仁鄉 90% 以上均為丘陵山坡地，耕地面積僅有 1,855 公頃，且耕地貧瘠，農業發展頗受限制。達仁鄉鄰近台灣東部海域，有沿岸漁業、近岸漁業與內陸養殖業等漁業活動，養殖業則主要分布於台 26 線沿線以及達仁溪出海口附近。

二、關鍵群體飲食習慣

食物來源為當地農業、漁業、畜牧業之產出。居民飲用水來源主要為自來水與引自上游的山泉水，部分水產養殖會抽取地下水供漁業養殖之用。

三、生物圈核種傳輸途徑

達仁鄉建議候選場址核種可能的傳輸途徑，如圖 3.2-13 所示。

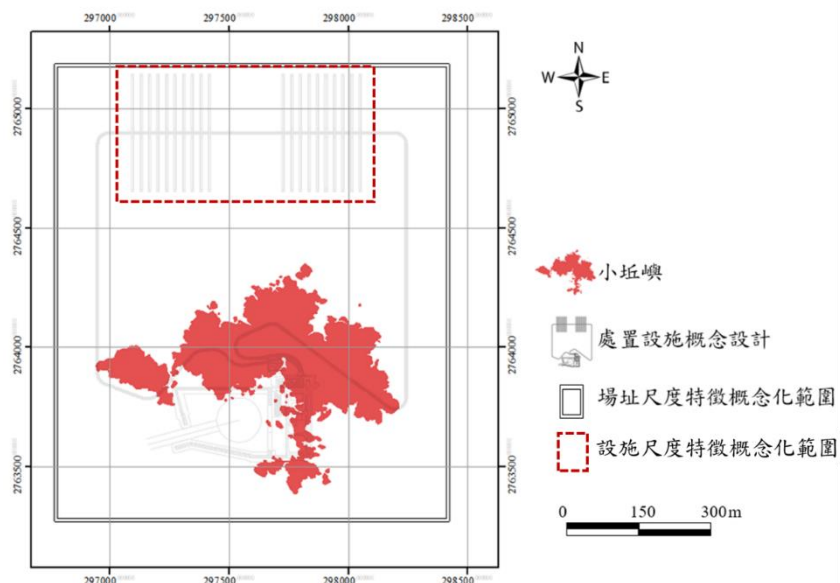


資料來源：台電公司(2022，p.7-75)

圖 3.2-13 達仁鄉建議候選場址之生物圈核種傳輸途徑

3.3 烏坵鄉建議候選場址環境特徵概念模型

本節烏坵鄉建議候選場址位於金門縣烏坵鄉之小坵嶼，四面臨海，探討範圍，主要以場址尺度為主，範圍如圖 3.3-1 所示。



資料來源：台電公司(2023，p.2-13)

圖 3.3-1 烏坵鄉建議候選場址設施與場址尺度模型範圍

3.3.1 地質環境概念模型

一、地質演化模型

(一)第 1 階段：125~115 Ma

此時期的火成侵入活動生成烏坵嶼，烏坵鄉建議候選場址應力呈現北北東向，屬於壓性斷裂(工研院，1999，p.12)。

(二)第 2 階段：112 Ma

小坵嶼基盤地塊持續抬升，岩體由塑性轉為脆性(工研院，2000，p.6-3)。

(三)第 3 階段：110 Ma ~97 Ma

此時期烏坵鄉建議候選場址應力呈西北向或東西向，屬張性斷裂及造成第二次火成侵入活動火成，侵入活動生成小坵嶼基盤與受應力作用而生成之節理(工研院，1999，p.12、p.44、摘要)。

(四)第 4 階段：94~76 Ma

此時期烏坵鄉建議候選場址應力呈現西北向，造成第三次火成侵入活動與張性斷裂(工研院，1999，p.45)。約在 86 Ma 之

後，此區岩體持續穩定抬升，解壓節理亦隨之在岩體中形成(工研院，2000，p.6-5)。

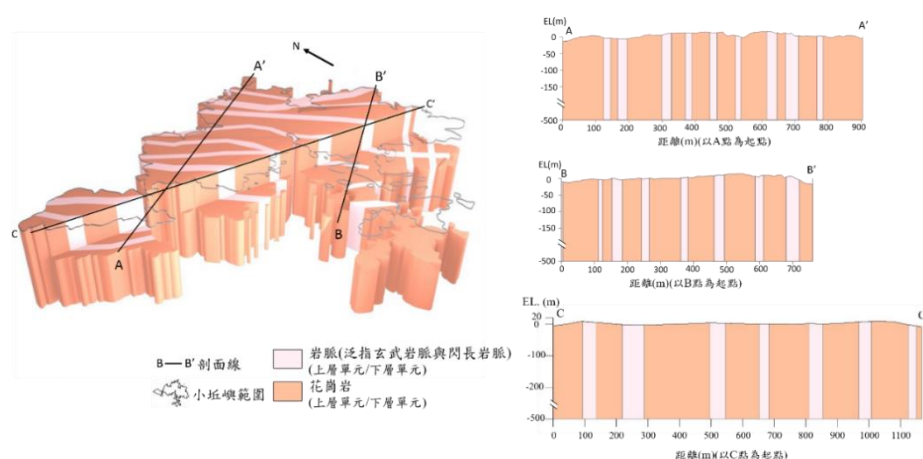
(五)第 5 階段：76 Ma 以後至今

主應力方向西北西向，現代構造應力值則只有各期古構造應力值的 1/4~1/5 左右，小坵嶼現地套鑽法量測結果顯示其地表淺部無明顯應力集中現象(工研院，2000，p.3-4)。今呈現穩定的大陸邊緣環境(工研院，1999，p.12~p.13)。

目前烏坵鄉建議候選場址的隆升沉降趨勢，10 萬年以來地盤的抬升速率約為 0.48 mm/yr (鄧國雄及黃發明 2001，p.3)。場址侵蝕速率平均侵蝕速率約在 0.1 mm/yr (福建省國土資源廳，2013，p.1)。

二、岩性概念模型

場址尺度之岩性概念模型區分花崗岩與岩脈 2 類岩石單元。其中，岩脈組成大部分為閃長岩，少部分為玄武岩。建構 3 維場址岩性概念模型如圖 3.3-2 所示。



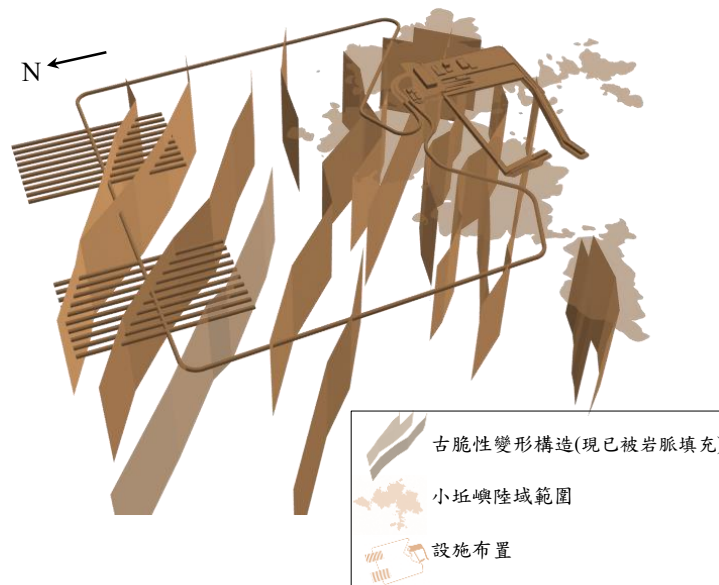
備註：(1)3D 模型呈現 3 維空間的光影分布影響，故模型中的顏色非均一顏色。

(2)本模型僅呈現火成岩的分布，岩脈寬度非現地調查結果，僅為簡化後的示意圖。

圖 3.3-2 烏坵鄉建議候選場址岩性場址尺度 3 維概念模型

三、地質構造概念模型

參考島上分布趨勢並推估其島外可能分布後，建構概念模型
3 維分布如圖 3.3-3 所示。



備註：(1)島外的脆性變形構造為推測。

(2)設施布置位置依據海上震測剖面顯示無截穿結晶岩頂面上覆沉積層之斷層，因此設施布置位置無活動斷層之分布。

圖 3.3-3 烏坵鄉建議候選場址場址尺度脆性變形構造概念模型(現已被岩脈入侵)

四、應力環境概念模型

(一)處置母岩力學參數

基本岩石物理特性的部分，花崗岩平均飽和單位重為 $2.63 \text{ g/cm}^3 \sim 2.64 \text{ g/cm}^3$ ，吸水率為 $0.15\% \sim 0.37\%$ ，平均乾單位重 $2.62 \text{ g/cm}^3 \sim 2.71 \text{ g/cm}^3$ ，平均孔隙率為 $0.39\% \sim 0.98\%$ ；閃長岩平均飽和單位重為 $2.69 \text{ g/cm}^3 \sim 2.94 \text{ g/cm}^3$ ，吸水率為 $0.05 \sim 0.19\%$ ，平均乾單位重 $2.69 \text{ g/cm}^3 \sim 2.93 \text{ g/cm}^3$ ，平均孔隙率為 $0.14\% \sim 0.53\%$ (工研院，2000，p.7-71)，岩石力學特性彙整如表 3.3-1 所示。

(二)鉛垂向應力與水平向應力

處置設施所受鉛垂向應力(σ_v)來自上覆海水層與岩層，計算後烏坵鄉建議候選場址於 EL. -102.9 m 處所受的鉛垂向應力

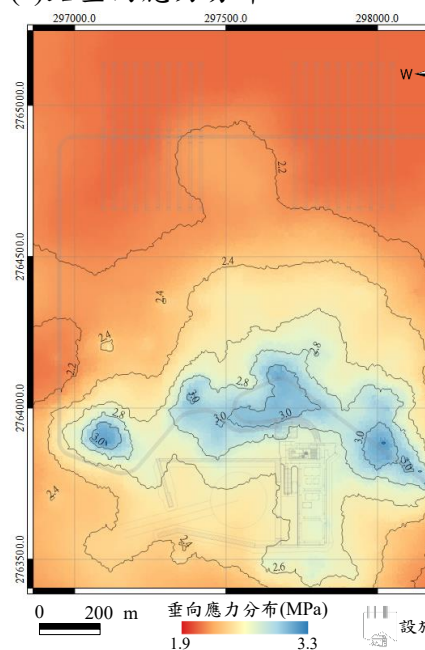
(σ_v)分布如圖 3.3-4(a)所示，水平向應力(σ_h)分布如圖 3.3-4(b)所示。

表 3.3-1 烏坵鄉建議候選場址岩石特性彙總表

試驗項目	範圍		平均值
單軸抗壓強度	閃長岩	42.1 MPa 至 364.4 MPa (主要介於 160 MPa~360 MPa)	209.7 MPa
	花崗岩	67.7 MPa 至 250.4 MPa (主要介於 100 MPa~250 MPa)	161.4 MPa
抗張強度	閃長岩	7.6 MPa 17.0 MPa (主要介於 13.0 MPa~17.0 MPa)	14.2 MPa
	花崗岩	6.1 MPa 12.5 MPa (主要介於 6.0 MPa~10.0 MPa)	8.9 MPa
內摩擦角	閃長岩	53°~61°	57°
	花崗岩	55°~58°	57°
凝聚力	閃長岩	9.7 MPa ~43.5 MPa	26.7 MPa
	花崗岩	29.6 MPa ~41.6 MPa	33.7 MPa
動態彈性模數	閃長岩	62.7 GPa ~96.6 GPa	76.7 GPa
	花崗岩	39.8 GPa~63.0 GPa	49.9 GPa
動態泊松比	閃長岩	0.27~0.31	0.29
	花崗岩	0.21~0.32	0.26

資料來源：工研院(2000，p.7-13~p.7-17)

(a)鉛垂向應力分布



(b)水平向應力分布

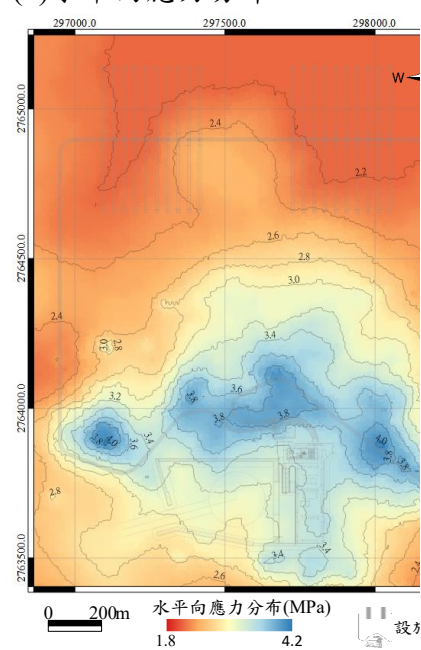
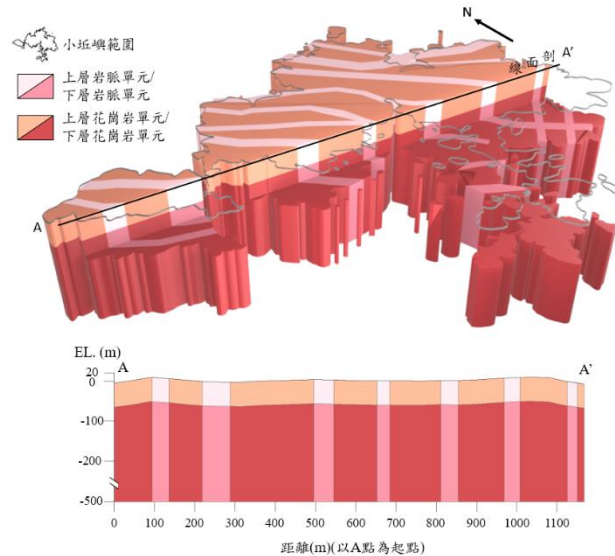


圖 3.3-4 烏坵鄉建議候選場址應力分布

五、地質單元概念模型

綜整前述，據以建立地質單元概念模型如圖 3.3-5 所示。



備註：(1)3D 模型呈現 3 維空間的光影分布影響，故模型中的顏色非均一顏色。

(2)本模型僅呈現火成岩的分布，岩脈寬度非現地調查結果，僅為簡化後的示意圖。

圖 3.3-5 烏坵鄉建議候選場址尺度地質單元概念模型

3.3.2 水文地質概念模型

一、水文地質場址尺度模型

地表至地表下深度 60 m 以內的區域，由水文地質單元編號 1~4 組成，透水性最高者為水文地質單元編號 1，而後依序遞減至水文地質單元編號 4。深度 60 m 以下參考相同分區概念，受岩脈影響程度越高之區域，其透水性越高，透水性最高者為水文地質單元編號 5，而後依序遞減至水文地質單元編號 8，水文地質單元分布如圖 3.3-6 所示。

烏坵鄉建議候選場址各水文地質單元依照其裂隙參數之特徵，各水文地質單元的水力傳導係數彙整如表 3.3-2 所示。

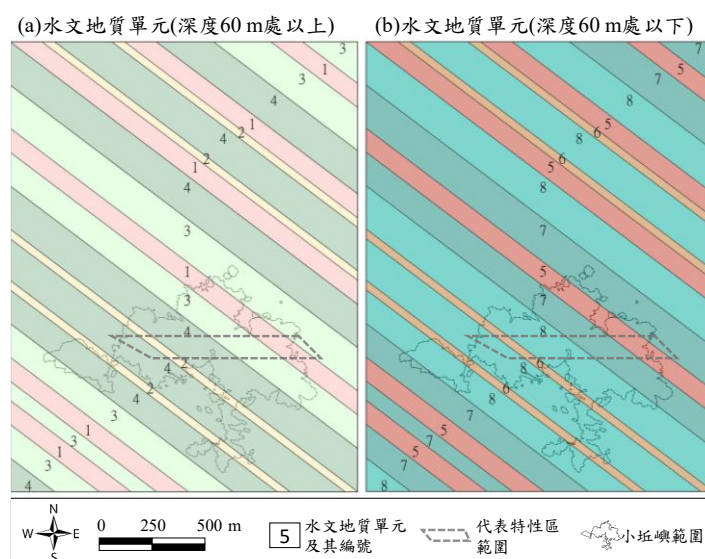


圖 3.3-6 烏坵鄉建議候選場址水文地質單元空間分布概念

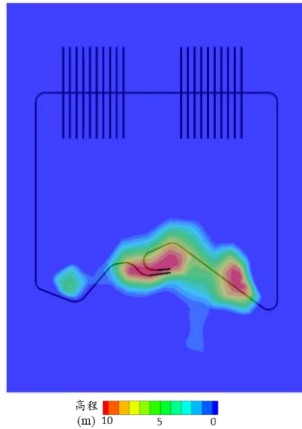
表 3.3-2 烏坵鄉建議候選場址水文地質單元參數

水文地質單元編號	Kxx (m/s)	Kyy (m/s)	Kzx (m/s)	Kxy (m/s)	Kyz (m/s)	Kzz (m/s)	孔隙率
1	4.73×10^{-8}	4.73×10^{-8}	7.11×10^{-10}	-3.44×10^{-9}	-4.74×10^{-11}	6.76×10^{-8}	0.14
2	4.36×10^{-8}	4.37×10^{-8}	7.35×10^{-10}	-3.29×10^{-9}	1.39×10^{-10}	6.22×10^{-8}	0.12
3	1.85×10^{-8}	1.83×10^{-8}	2.92×10^{-10}	1.86×10^{-11}	-1.99×10^{-11}	2.62×10^{-8}	0.1
4	7.34×10^{-9}	7.21×10^{-9}	9.71×10^{-11}	2.78×10^{-11}	-1.05×10^{-11}	1.04×10^{-8}	0.07
5	2.05×10^{-8}	2.04×10^{-8}	2.55×10^{-10}	-1.39×10^{-9}	-2.80×10^{-11}	3.05×10^{-8}	0.12
6	2.05×10^{-8}	2.05×10^{-8}	1.02×10^{-10}	-1.42×10^{-9}	-8.90×10^{-11}	3.06×10^{-8}	0.11
7	3.01×10^{-9}	3.03×10^{-9}	2.57×10^{-11}	1.10×10^{-11}	-1.17×10^{-11}	4.50×10^{-9}	0.09
8	1.32×10^{-9}	1.29×10^{-9}	3.14×10^{-11}	-9.47×10^{-13}	-1.01×10^{-12}	1.94×10^{-9}	0.07

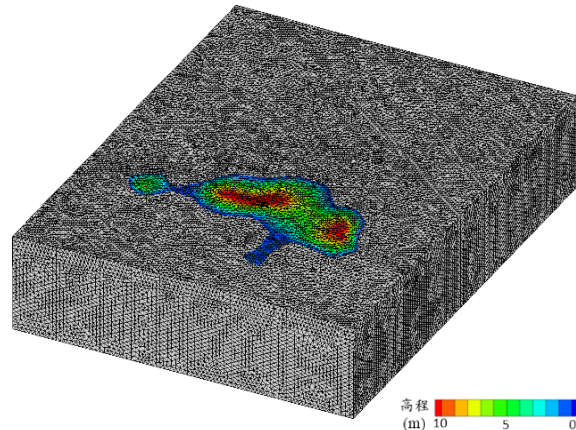
備註：x、y、z 的方向分別為：+x 為東方、+y 為北方、+z 為上方。

二、地下水流場模擬成果

依氣候演化分析設定西元 2100 年處置場封閉時之地下水流場模擬區域範圍及數值模型如圖 3.3-7 所示。地下水流場模擬結果如圖 3.3-8 與圖 3.3-9 所示。處置坑道所在區域位在海平面下區域，因此場址區域地下水壓受到海水位控制。通過處置坑道區域地下水均會往小坵嶼方向移動，大部分區域會在小坵嶼鄰近海岸邊出滲，一部分會沿著水力傳導特性較佳的岩脈出滲。



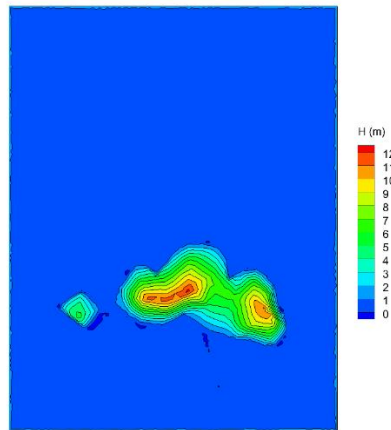
(a)模擬區域範圍及數值模型



(b)模擬區域網格

資料來源：台電公司(2023，p.2-32)

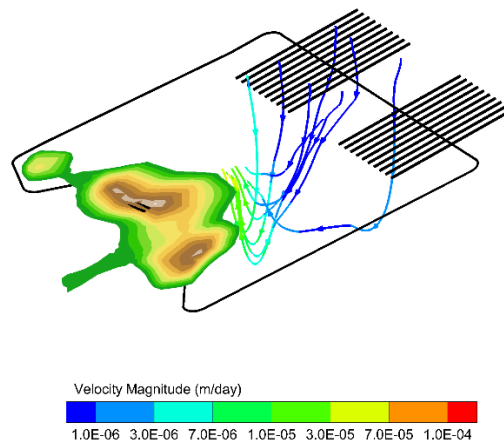
圖 3.3-7 烏坵鄉建議候選場址地下水流場模擬數值模型圖



備註：封閉時間為西元 2100 年。

資料來源：台電公司(2023，p.2-33)

圖 3.3-8 烏坵鄉建議候選場址封閉時之地下水水頭分布圖



備註：封閉時間為西元 2100 年。

資料來源：台電公司(2023，p.2-34)

圖 3.3-9 烏坵鄉建議候選場址封閉時之地下水流速與出滲位置

3.3.3 地球化學概念模型

烏坵鄉建議候選場址之處置坑道規劃位置約在 EL. -102.9 m 處，其上方岩覆厚度約 70 m、海水覆蓋深度約 30 m(台電公司，2023，p.2-34)。地球化學概念模型以處置設施規劃深度作為代表值，蒐集文獻類比此深度地下水之氧化還原電位(ORP)、pH 值之分布趨勢如圖 3.3-10 所示。關於氯離子濃度與硫酸鹽濃度，考量設施布置位於海床上，因此目前採用海水資料進行假設，假設海域氯離子濃度為 17,739 mg/L、硫酸鹽濃度固定為 2,040 mg/L。

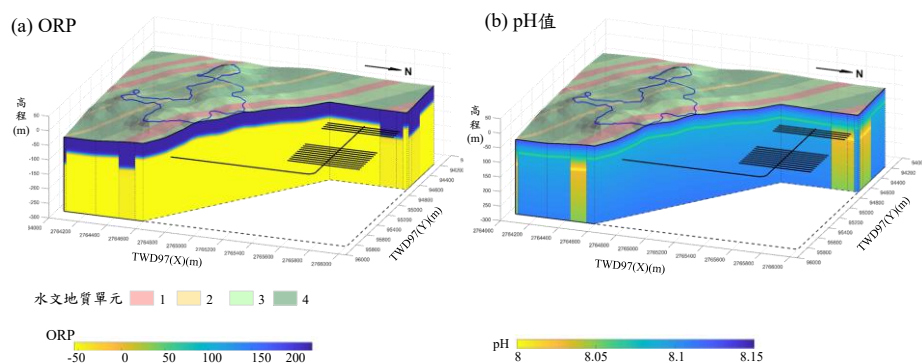


圖 3.3-10 烏坵鄉建議候選場址地球化學概念模型

3.3.4 生物環境概念模型

一、關鍵群體與其生活環境

烏坵鄉建議候選場址島上常住人口僅約 10 多人，這些常住居民為安全分析的關鍵群體。在生活環境部分，金門縣烏坵鄉早期屬軍事管制區，近年因戰地任務解除陸續移交金門縣政府管理。烏坵鄉建議候選場址最近的島嶼是小坵嶼，對外交通不便，目前僅小規模之蔬菜耕種及零星飼養畜牧家禽。物資補給主要依靠定期船艦，島上無重要交通與公共設施。

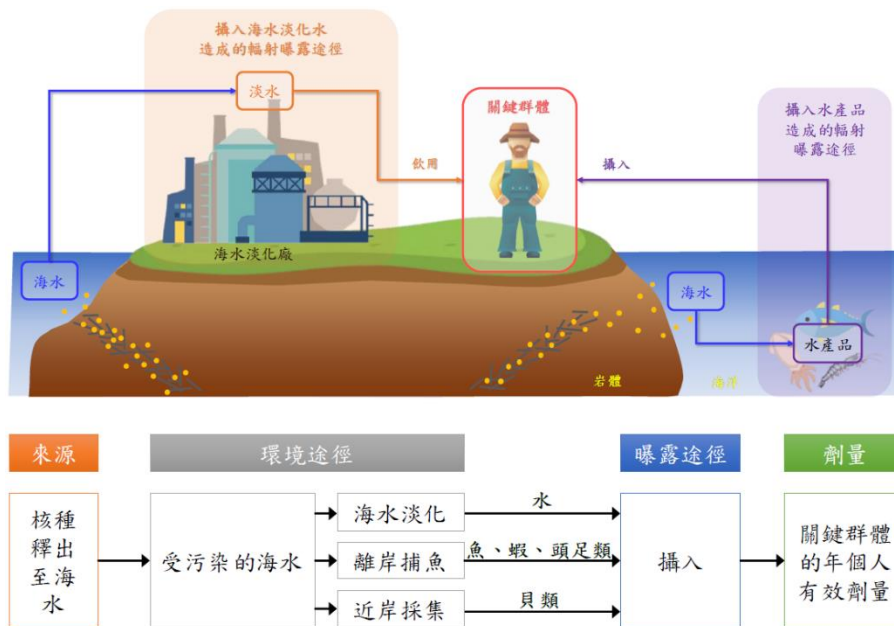
二、關鍵群體飲食習慣

小坵嶼上居民僅在住家附近貧瘠土地種植蔬菜自用，或是採集紫菜、釣魚、拾取風螺、抓螃蟹和小章魚等，作為日常食物的

來源之一。小坵嶼部分水源為雨水及海水，但主要水源來源仍靠補給船運輸之瓶裝礦泉水。

三、生物圈核種傳輸途徑

烏坵鄉建議候選場址核種可能的傳輸途徑，如圖 3.3-11 所示。



資料來源：台電公司(2022，p.7-96)

圖 3.3-11 烏坵鄉建議候選場址之生物圈核種傳輸途徑

參考文獻

1. 工研院，1999，烏坵地區地表地質調查報告。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-2015-R.1，摘要、p.12、p.13、p.44~p.45。
2. 工研院，2000，小坵優先調查候選場址-場址調查報告。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-RS-2100-R.1，p.3-4、p.6-3~p.6-5、p.7-13~p.7-17、p.7-71。
3. 台電公司，2021，LLWD2-ED-2019-07-V06-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，p.3-20、p.6-20。
4. 台電公司，2022，LLWD1-SC-2021-01-V05-低放射性廢棄物最終處置技術精進評估報告，p.7-75、p.7-96。
5. 台電公司，2023，LLWD2-SI-2023-01-V05-場址特性調查技術報告，p.2-13、p.2-33、p.2-34、p.2-70、p.2-71、p.4-13。
6. 交通部公路總局，2012，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(含測量及地質探查)委外地質探查工作地質探查報告，p.1~p.128、附錄 B。
7. 福建省國土資源廳網站，2013，網頁資料：
<http://www.fjgtzy.gov.cn/cms/html/fjsgtzyt/2013-05-23/1499177562.html>，擷取日期：2017/03/13。
8. 鄧國雄、黃發明，2001，福建湄洲島的海階與斷層地形，福建地理，16，3，p.3。
9. Chang, C.P., Angelier, J., Lu, C.Y., 2009, Polyphase deformation in a newly emerged accretionary prism: Folding, faulting and rotation in the southern Taiwan mountain range, Tectonophysics, 466, p.395~p.408.

本頁空白。

第四章 處置設施概念設計

本章節以前期「LLWD 2020 報告」為基礎，根據國際同儕審查委員與核安會審查委員對於低放射性廢棄物處置技術發展建議，考量處置系統整體功能目標與工程設計策略，並因應新增之 T-Box，精進 2 處建議候選場址處置場場區整體規劃，包含工程障壁系統、輔助區運輸動線、運轉作業設備等設計概念。

4.1 處置場工程障壁系統概念設計

處置系統設計執行方向，依低放處置設施安全功能設計策略執行，並延續前期計畫已進行我國法規符合性與初步安全論證之設計成果。次地表處置工程障壁系統之長期安全功能設計，主要在於實現遲滯核種傳輸之安全功能，主要設計特徵與設計目標列於表 4.1-1。

表 4.1-1 次地表處置系統主要設計特徵與設計目標

主要設計特徵	安全功能	主要考量時期	主要設計目標	設計對象
降低處置單元水滲透	圍阻	封閉後	<ul style="list-style-type: none"> 處置窖、填充層、回填層需能於設施封閉後，提供低於工程障壁系統周圍處置環境之透水能力 處置坑道於運轉階段須能維持其阻水與排水能力 	處置窖、填充層、回填層、處置坑道
工程障壁結構完整性	圍阻	封閉後	<ul style="list-style-type: none"> 各工程障壁單元設計項目須能滿足設計載重組合影響 若有設置膨潤土材料，需考量其膨脹壓力對其單元產生之載重影響 處置坑道須維持運轉階段所需作業空間與提供力學穩定性 	盛裝容器、處置窖、填充層、回填層、處置坑道

主要設計特徵	安全功能	主要考量時期	主要設計目標	設計對象
場址封閉與穩定性設計	隔離/圍阻/遲滯	封閉後	<ul style="list-style-type: none"> 場址選擇須避開具明顯環境災害潛勢區域 選擇有利於維持障壁系統長期安全之環境 設計必須能確保封閉後的穩定性 	工程障系統與處置場封閉設計
工程障壁具良好遲滯功能	遲滯	封閉後	<ul style="list-style-type: none"> 處置窖、填充層、回填層與阻水層需能於設施封閉後，提供足夠的低透水功能，維持擴散主導傳輸機制之環境 需考量長期劣化對安全功能影響 	盛裝容器、處置窖、填充層、回填層、阻水層
運轉期避免廢棄物與水接觸	圍阻	運轉	<ul style="list-style-type: none"> 利用擋水遮罩設施與排水系統，避免廢棄物遭滲水滴落或與積水接觸 	處置坑道阻水與排水設施
次地表處置設施無意闖入者防護	隔離	封閉後	<ul style="list-style-type: none"> 處置場址與處置區域布置應選擇人類不易抵達的區位 於佈置次地表處置障壁系統時，須依規劃處置之廢棄物特性與長期地貌演化特性，訂定合適之岩覆厚度 須依照無意闖入者事件的劑量曝露結果訂定主動監管期 	處置區岩覆

4.2 處置設施概念設計

處置設施包含處置坑道及通行隧道，2 處建議候選場址之處置設施區概念設計成果分述如下。

一、達仁鄉建議候選場址

達仁鄉建議候選場址處置設施區概念布置如圖 4.2-1 所示，將依處置坑道及通行隧道分別說明。

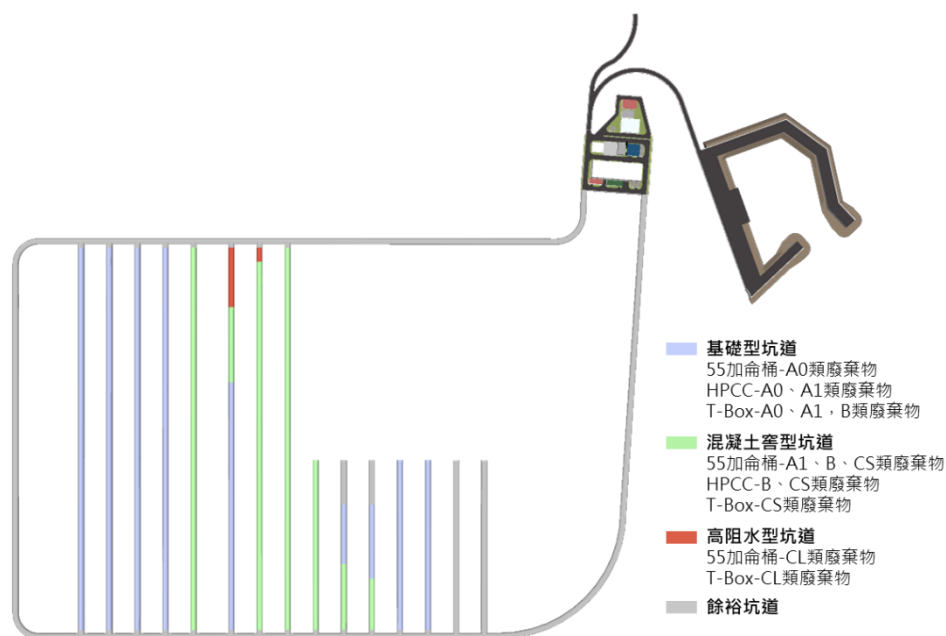


圖 4.2-1 達仁鄉建議候選場址處置設施區布置規劃示意圖

(一)處置坑道

現階段概念設計成果綜整如表 4.2-1。

表 4.2-1 達仁鄉建議候選場址處置坑道設計概念綜整表

階段	功能需求	主要考量	設計概念
	作業空間	廢棄物包件最大堆疊高度。	基礎型處置坑道、混凝土窖型處置坑道、高阻水型處置坑道之作業空間詳見圖 2.3-1、圖 2.3-2、圖 2.3-3。
		橋式天車吊運作業空間。	
		處置窖施工空間。	
		封閉作業施工空間。	
	通風	進行處置作業或施工作業時，坑道內空氣品質應符合職業安全衛生相關要求。	1.坑道內布置空氣品質及輻射監測儀器。 2.坑道入口設置兩座抽風設施，一為通風用風機；另一為抽風機搭配獨立風管，當意外事件發生時啟用，使輻射氣體藉由獨立風管送入空氣過濾系統。
		通風系統應考慮運轉期間發生意外事件時，不造成輻射污染擴散。	
	排水與防滲	設置排水系統以收集可能藉由岩石裂隙或襯砌入滲之滲流水。	1.處置坑道兩側設置排水溝，排水溝容量依據允許入滲量設計。 2.採重力排水，洩水坡度 0.1%。
		排水系統應考慮運轉期間發生意外事件時，不造成輻射污染擴散。	
			1.在每處銜接段設置集水陰井，收集坑道排水溝之滲流水。 2.集水陰井之水樣需定期抽樣檢測，確認無污染後再由抽水車抽水排出。

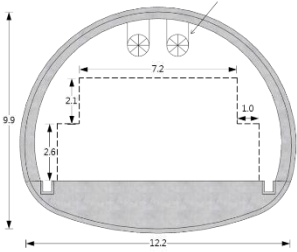
階段	功能需求	主要考量	設計概念
		避免由岩石裂隙或襯砌入滲之滲流水與廢棄物接觸。	1.襯砌外側施作防水膜及提高坑道襯砌混凝土之水密性。 2.每次處置作業前，對襯砌進行滲漏水檢查，若有滲漏水狀況則進行止水處理。
	消防	依據可能火災來源規劃消防設備。 設備型式應考量使用後對放射性廢棄物的影響。	1.設置火災偵測及自動警報設備。 2.每 100 m 設置一組二氧化碳滅火器，第一組滅火器距離處置坑道入口處不得超過 50 m，坑道兩側交錯配置。
封閉後及監管階段	遲滯	處置坑道斷面幾何及坑道間距應考慮母岩特性，儘量降低開挖損傷區範圍，以維持處置坑道周圍之處置母岩遲滯功能。 廢棄物種類應分區處置，將處置 B、C 類廢棄物的處置坑道布置於處置區內相對地下水流速較低之區域。	1.處置坑道斷面採用近似圓形斷面。 2.處置坑道間距 61 m，約 5 倍坑道寬度。 詳圖 4.2-1。
	無意入侵者保護	足夠的處置深度以降低無意入侵者事件發生的可能性。	1.基礎型及混凝土窖型處置坑道岩覆 > 62.2 m。 2.高阻水型處置坑道岩覆 > 76.4 m。

備註：此為概念設計階段之初步規劃成果，未來須再視處置發展狀況檢視其適宜性。

(二)通行隧道

達仁鄉建議候選場址通行隧道設計概念如表 4.2-2。

表 4.2-2 達仁鄉建議候選場址通行隧道設計概念綜整表

階段	功能需求	主要考量	設計概念
施工及運轉階段	路線線型	隧道縱坡應考慮施工車輛及廢棄物運輸車輛的爬坡性能。	設計縱坡 0.1% → 0.148% → 0.9% 及 0.1% → 1.25%。
	作業空間	運輸車輛載運廢棄物時的通行空間。	 <p>單位：m</p>
		吊車運輸的通行空間。	
		施工車輛通行空間。	
		處置設施區內相關電器儀控設備安裝空間。	
	通風	通行隧道應維持通風良好，空氣品質符合職業安全衛生相關規定要求。	1.布置空氣品質監測系統。 2.採縱流式通風，每 300 m 配置 1 組 2 台噴流式風機。
	排水	規劃排水系統收集可能藉由岩石裂隙或襯砌入滲之滲流水。	1.隧道兩側設置排水溝，排水溝容量依據允許入滲量設計。 2.採重力排水，洩水坡度依隧道縱坡設計。

階段	功能需求	主要考量	設計概念
	消防	依據可能之火災來源規劃消防設備。	1.設置火災偵測及自動警報設備。 2.每 100 m 設置一組二氧化碳滅火器，第一組滅火器距離處置坑道入口處不得超過 50 m，通行隧道兩側交錯配置。
		設備型式應考量使用後對放射性廢棄物的影響。	
	緊急避難	規劃緊急逃生出口及相關設備，當火災等意外事件發生時，人員可緊急逃生。	規劃緊急避難通道及相關逃生指示設備。
	洞口防洪	應考量海嘯或洪水事件發生時的淹水高度，據以設計適當的洞口高程，以避免通行隧道內發生淹水事件。	通行隧道洞口高程 EL 20 m。

備註：此為概念設計階段之初步規劃成果，未來須再視處置發展狀況檢視其適宜性。

二、烏坵鄉建議候選場址

烏坵鄉建議候選場址處置設施區概念布置如圖 4.2-2 所示，將依處置坑道及通行隧道分別說明。

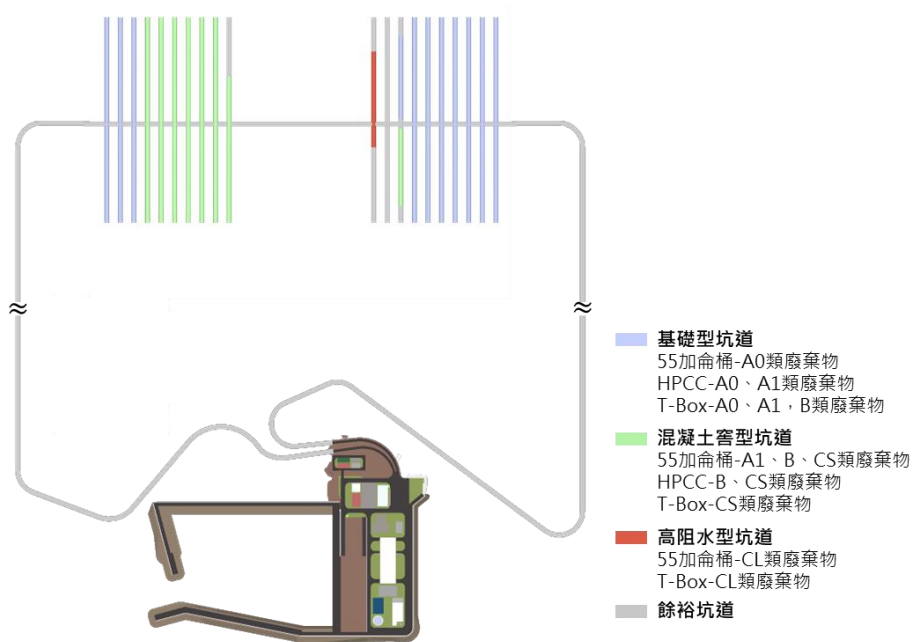


圖 4.2-2 烏坵鄉建議候選場址處置設施區布置規劃示意圖

(一)處置坑道

現階段概念設計成果綜整如表 4.2-3。

表 4.2-3 烏坵鄉建議候選場址處置坑道設計概念綜整表

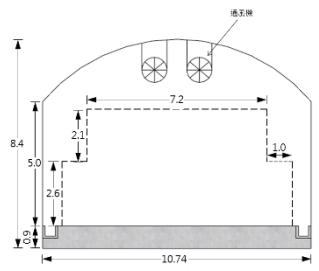
階段	功能需求	主要考量	設計概念
	作業空間	廢棄物包件最大堆疊高度。	基礎型處置坑道、混凝土窖型處置坑道、高阻水型處置坑道之作業空間詳見圖 2.3-1、圖 2.3-2、圖 2.3-3。
		橋式天車吊運作業空間。	
		處置窖施工空間。	
		封閉作業施工空間。	
	通風	進行處置作業或施工作業時，坑道內空氣品質應符合職業安全衛生相關要求。	1.坑道內布置空氣品質及輻射監測儀器。 2.坑道入口設置兩座抽風設施，一為通風用風機；另一為抽風機搭配獨立風管，當意外事件發生時啟用，使輻射氣體藉由獨立風管送入空氣過濾系統。
		通風系統應考慮運轉期間發生意外事件時，不造成輻射污染擴散。	
	排水與防滲	設置排水系統以收集可能藉由岩石裂隙或襯砌入滲之滲流水。	1.處置坑道兩側設置排水溝。 2.採重力排水，洩水坡度 0.1%。
		排水系統應考慮運轉期間發生意外事件時，不造成輻射污染擴散。	1.在處置坑道與通行隧道銜接段設置集水陰井收集流入坑道排水溝之滲流水。 2.集水陰井之水樣需定期抽樣檢測，確認無污染後再由抽水車抽水排出。
		避免由岩石裂隙或襯砌入滲之滲流水與廢棄物接觸	廢棄物包件上方規劃臨時擋水遮罩。
	消防	依據可能火災來源規劃消防設備。	1.設置火災偵測及自動警報設備。 2.每 100 m 設置一組二氧化碳滅火器，第一組滅火器距離處置坑道入口處不得超過 50 m，坑道兩側交錯配置。
		設備型式應考量使用後對放射性廢棄物的影響。	
封閉後及監管階段	遲滯	處置坑道斷面幾何及坑道間距應考慮母岩特性，儘量降低開挖損傷區範圍，以維持處置坑道周圍之處置母岩遲滯功能。	1.處置坑道斷面採用倒 D 形斷面。 2.處置坑道間距 31.7 m，約 3 倍坑道寬度。
		廢棄物種類應分區處置，將處置 B、C 類廢棄物的處置坑道布置於處置區內相對地下水流速較低之區域。	詳圖 4.2-2。
	無意入侵者保護	足夠的處置深度以降低無意入侵者事件發生的可能性。	處置坑道岩覆 58.8 m~59 m。

備註：此為概念設計階段之初步規劃成果，未來須再視處置發展狀況檢視其適宜性。

(二)通行隧道

烏坵鄉建議候選場址通行隧道設計概念如表 4.2-4。

表 4.2-4 烏坵鄉建議候選場址通行隧道現階段設計概念綜整表

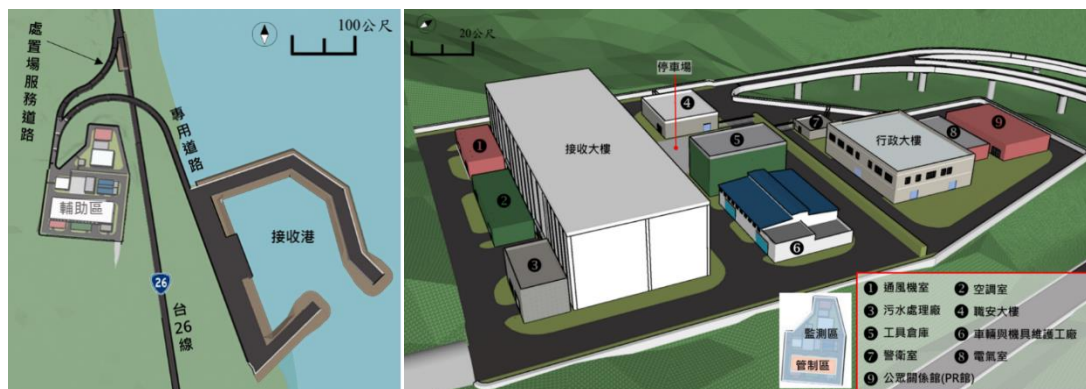
階段	功能需求	主要考量	設計概念
施工及運轉階段	路線線型	隧道縱坡應考慮施工車輛及廢棄物運輸車輛的爬坡性能。	設計縱坡 7% → 0% → 6.77% → 0% 及 7% → 0% → 5.25% → 0%。
	作業空間	運輸車輛載運廢棄物時的通行空間	 <p>單位：m</p>
		吊車運輸的通行空間。	
		施工車輛通行空間。	
		處置設施區內相關電器儀控設備安裝空間。	
	通風	通行隧道應維持通風良好，空氣品質符合職業安全衛生相關規定要求。	<ol style="list-style-type: none"> 1. 布置空氣品質監測系統。 2. 採縱流式通風，每 300 m 配置 1 組兩台噴流式風機。
	排水	規劃排水系統收集可能藉由岩石裂隙或襯砌入滲之滲流水。	<ol style="list-style-type: none"> 1. 隧道兩側設置排水溝。 2. 洩水坡度依據道路縱坡，縱坡為 0 處則規劃洩水坡度 0.1%。 3. 設置 4 處集水井收集隧道滲流水，每 7 日以抽水車將積水抽出。 4. 集水井設置自動水位計偵測水位高度。
	消防	依據可能之火災來源規劃消防設備。 設備型式應考量使用後對放射性廢棄物的影響。	<ol style="list-style-type: none"> 1. 設置火災偵測及自動警報設備。 2. 每 100 m 設置一組二氧化碳滅火器，第一組滅火器距離處置坑道入口處不得超過 50 m，通行隧道兩側交錯配置。
	緊急避難	規劃緊急逃生出口及相關設備，當火災等意外事件發生時，人員可緊急逃生。	規劃緊急避難通道及相關逃生指示設備。
	洞口防洪	應考量海嘯或洪水事件發生時的淹水高度，據以設計適當的洞口高程，以避免通行隧道內發生淹水事件。	洞口路面高程 EL 10.3 m。

備註：此為概念設計階段之初步規劃成果，未來須再視處置發展狀況檢視其適宜性。

4.3 處置場輔助區概念設計

延續「LLWD 2020 報告」之概念設計，並考慮整體運轉流程需求，輔助區主要設施包括接收大樓、行政大樓、職安大樓、車輛與機具維護工廠、污水處理廠、空調室、通風機室、電氣室、工具倉庫、警衛室、公眾關係館及接收港等。達仁鄉建議候選場址之輔

助區布置圖詳圖 4.3-1。烏坵鄉建議候選場址之輔助區布置圖詳圖 4.3-2。



備註：左圖為輔助區與接收港區之俯視圖；右圖為輔助區放大之布置圖

圖 4.3-1 達仁鄉建議候選場址輔助區及接收港布置圖



備註：左圖為輔助區與接收港區之俯視圖；右圖為輔助區放大之布置圖

圖 4.3-2 烏坵鄉建議候選場址輔助區及接收港布置圖

第五章 處置場興建、運轉與封閉作業規劃

5.1 興建規劃

達仁鄉建議候選場址聯外交通主要依靠台 26 線連接台東縣其他鄉鎮，目前當地並無任何港埠設施可供船舶停靠。考量當地交通、場址規劃、土石挖填方、物料來源、人力資源等條件後，施工階段與範圍如圖 5.1-1 所示，施工分期如圖 5.1-2。

烏坵鄉建議候選場址所屬位置距金門島約 72 海浬，距台灣本島台中港 73 海浬，聯外交通目前除台中港軍艦進行補給外，當地民眾主要依靠舢舨作為交通工具，場址所在小坵島上並無港埠設施可供船舶停靠。施工階段與範圍如圖 5.1-3 所示，施工分期如圖 5.1-4。

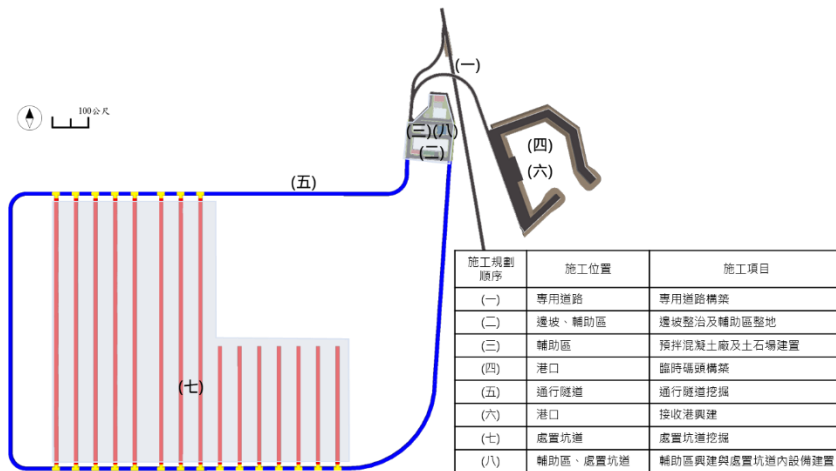


圖 5.1-1 達仁鄉建議候選場址初步規劃施工階段範圍示意圖

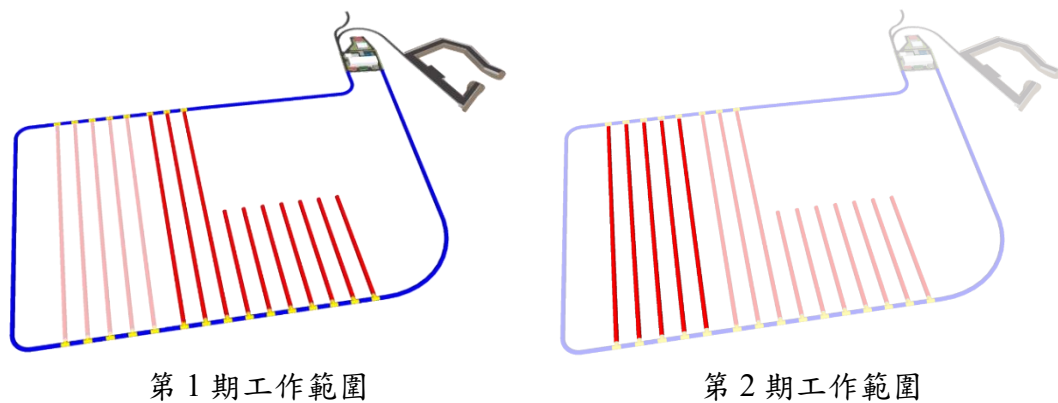


圖 5.1-2 達仁鄉建議候選場址之各期施工範圍

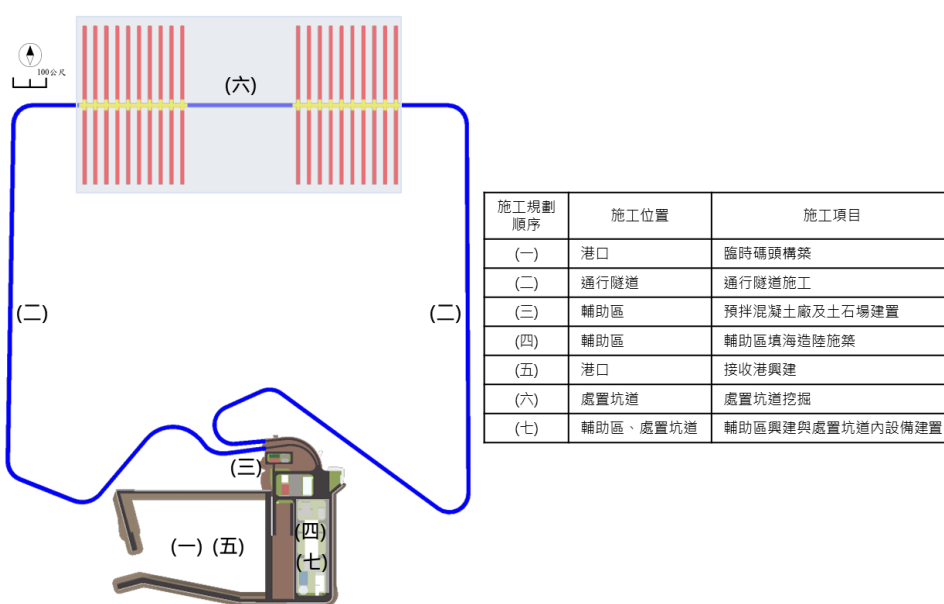


圖 5.1-3 烏坵建議候選場址初步規劃施工階段範圍示意圖

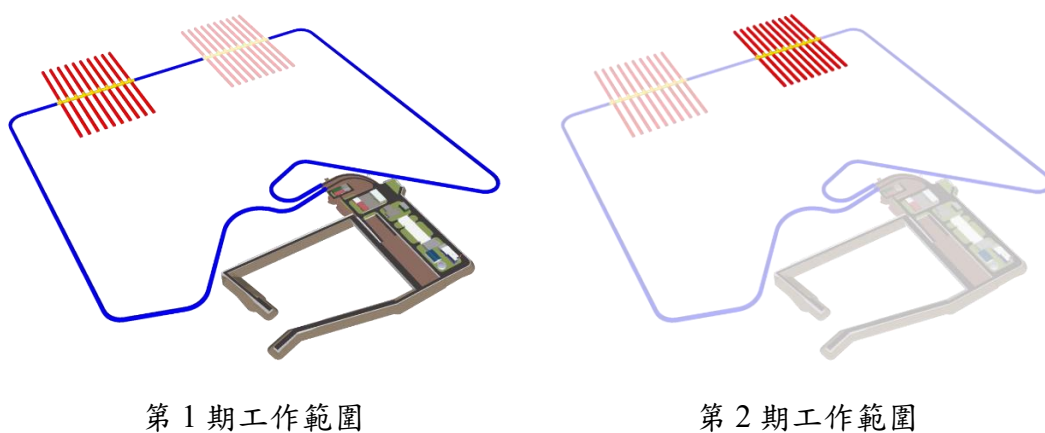


圖 5.1-4 烏坵鄉建議候選場址之各期施工範圍

5.2 運轉規劃

參考目前所規劃之處置場場區與處置場設施設計，將運轉流程分為運送前置作業、接收作業與處置作業 3 部分，架構詳圖 5.2-1，各項處置作業之詳細執行流程與示意如圖 5.2-2 至圖 5.2-9。

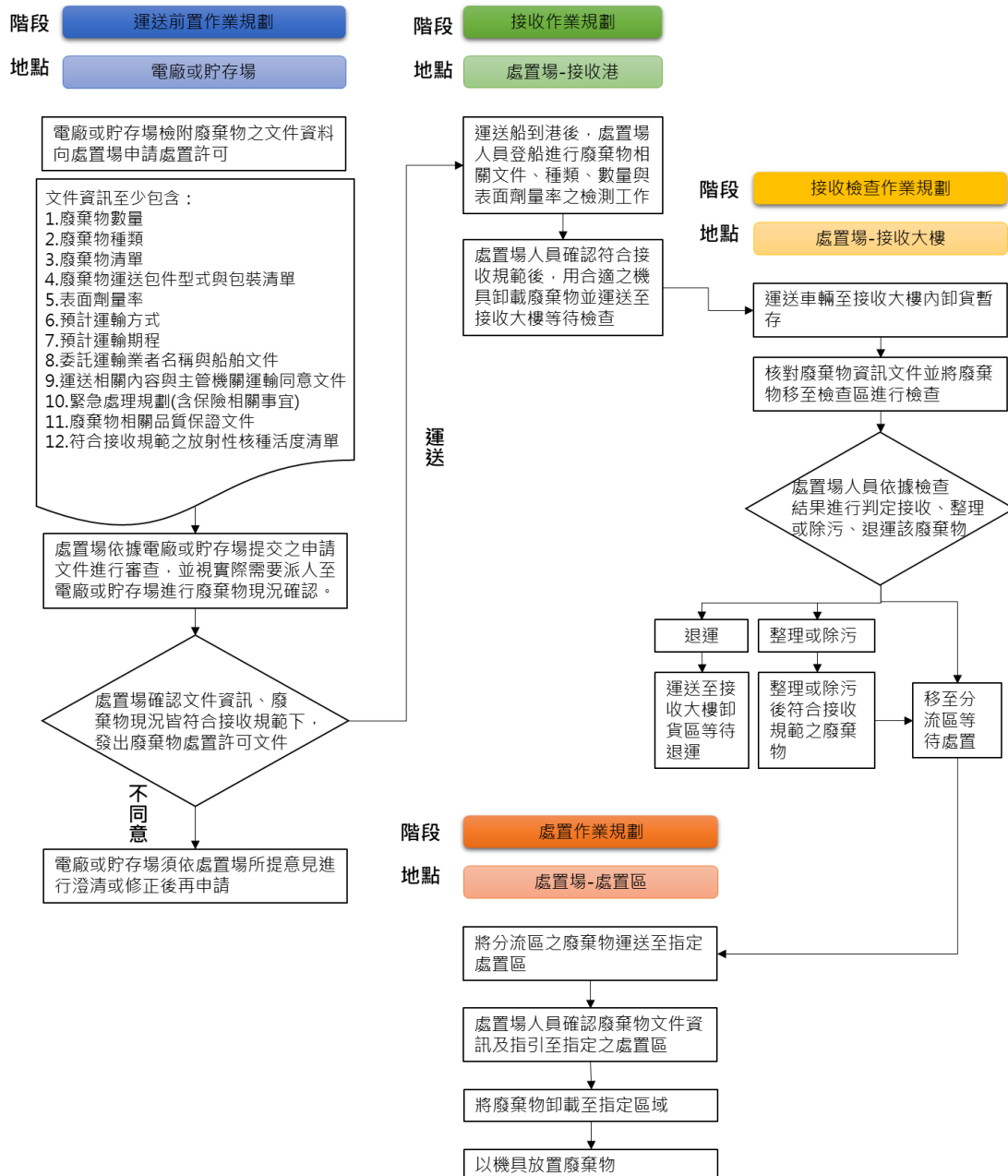


圖 5.2-1 處置場整體運轉流程規劃圖

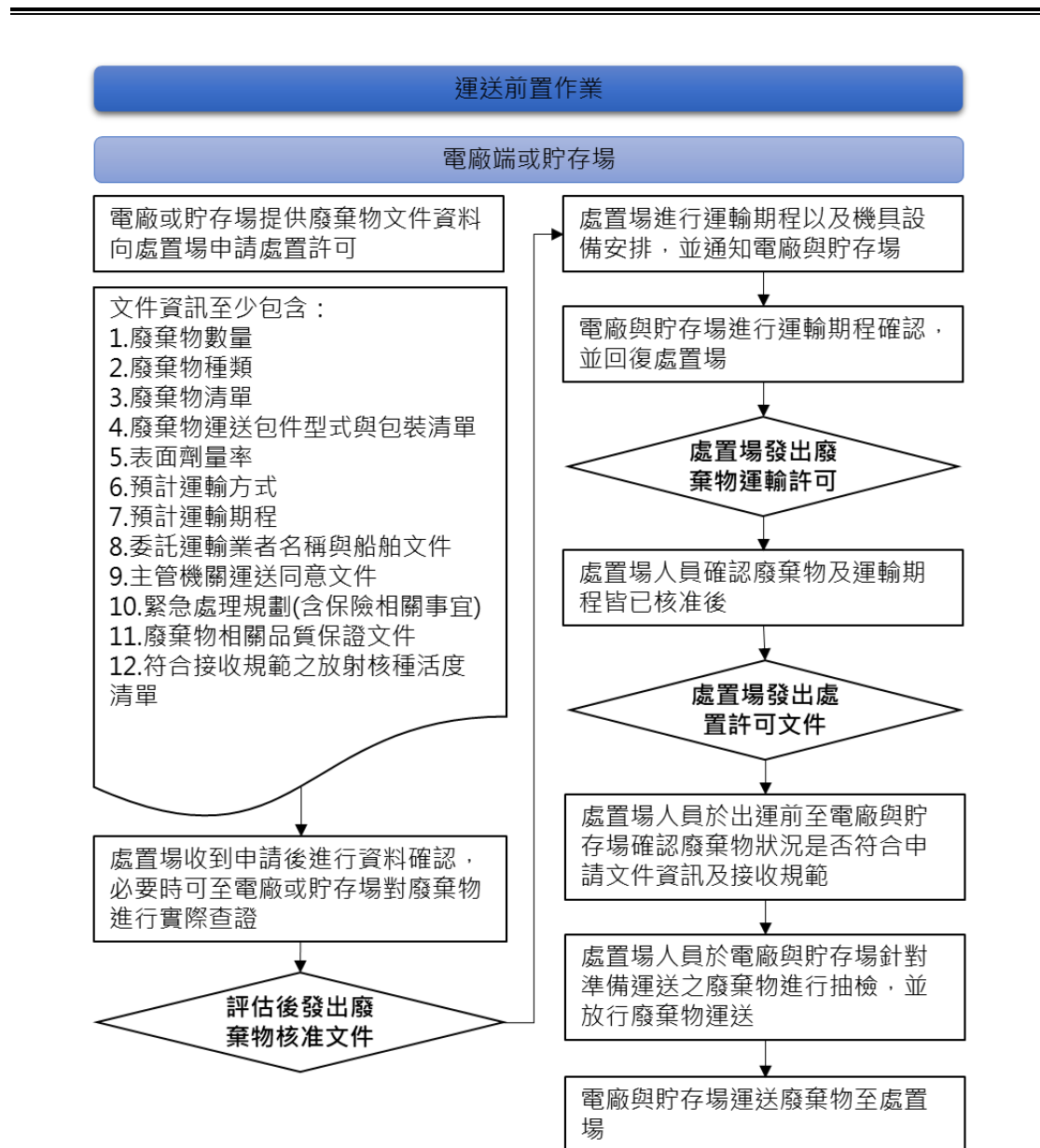


圖 5.2-2 運送前置作業流程規劃圖

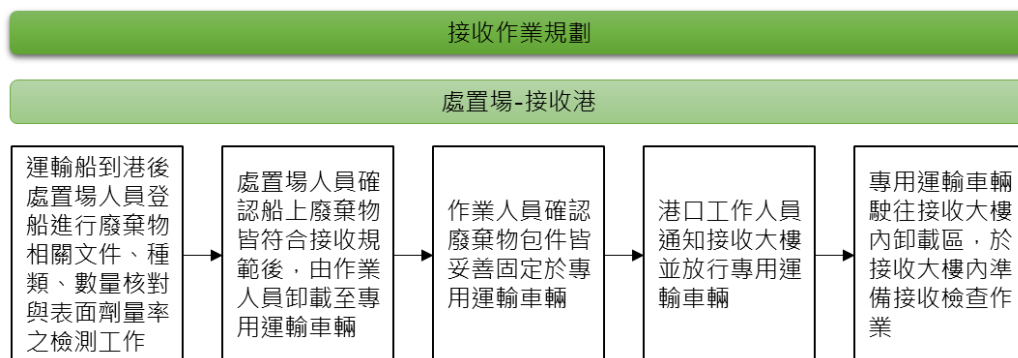


圖 5.2-3 接收港作業流程規劃圖

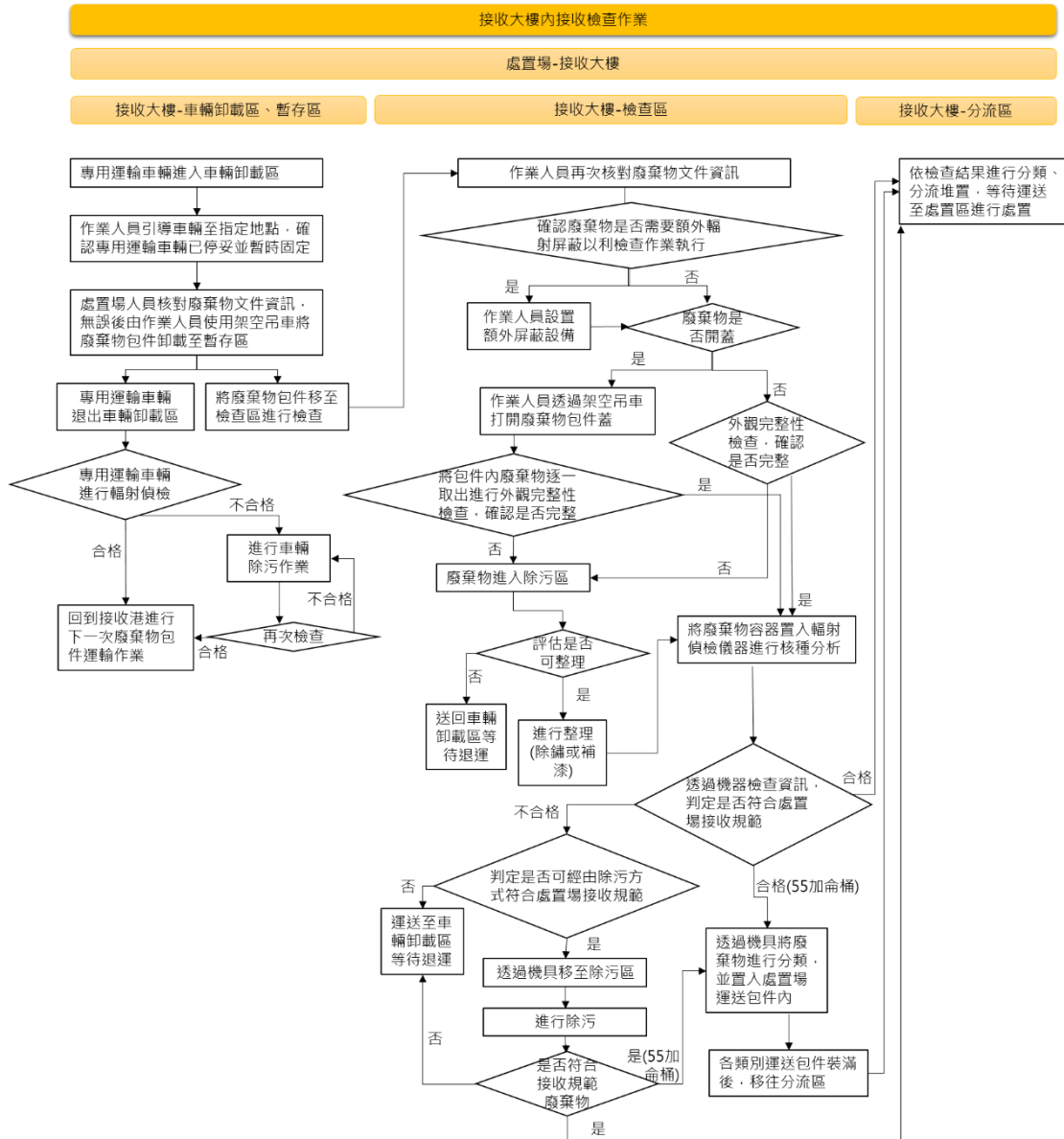


圖 5.2-4 接收大樓作業流程規劃圖

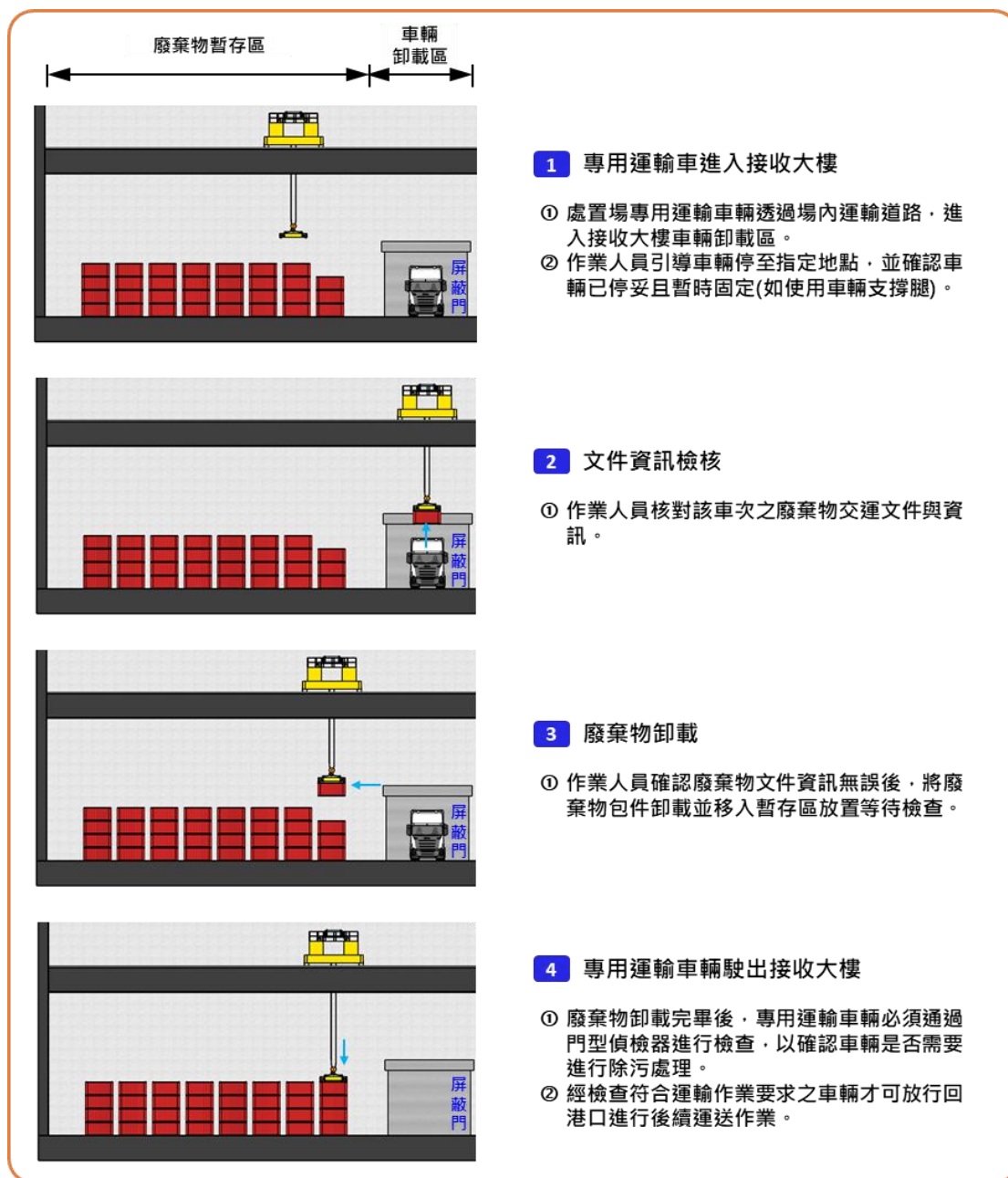


圖 5.2-5 車輛卸載廢棄物包件流程示意圖(以內含 55 加侖桶之運輸容器為例)

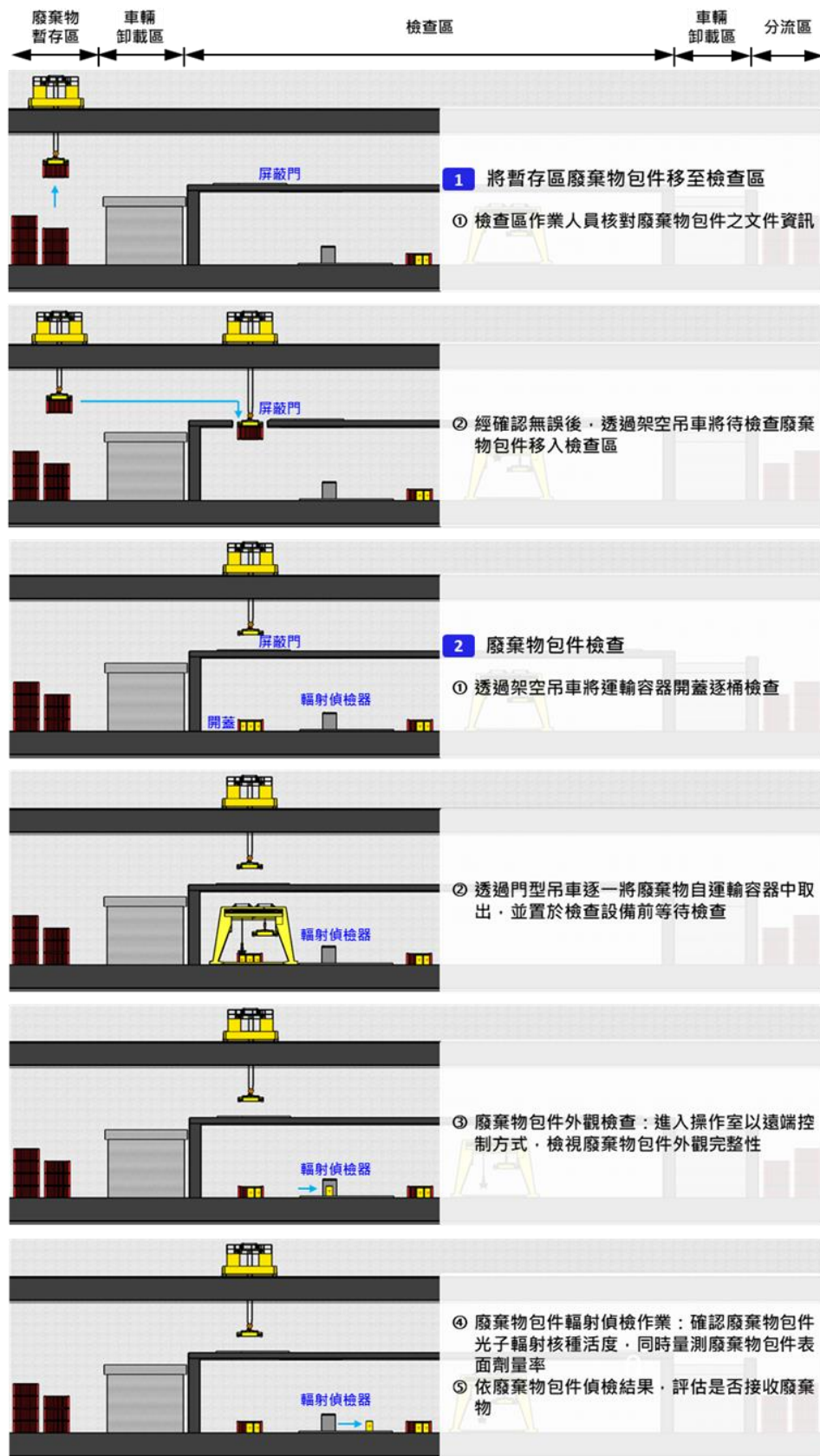


圖 5.2-6 廢棄物包件檢查區作業流程示意圖(55 加侖桶)



圖 5.2-7 廢棄物包件分流區作業流程示意圖(55 加侖桶)

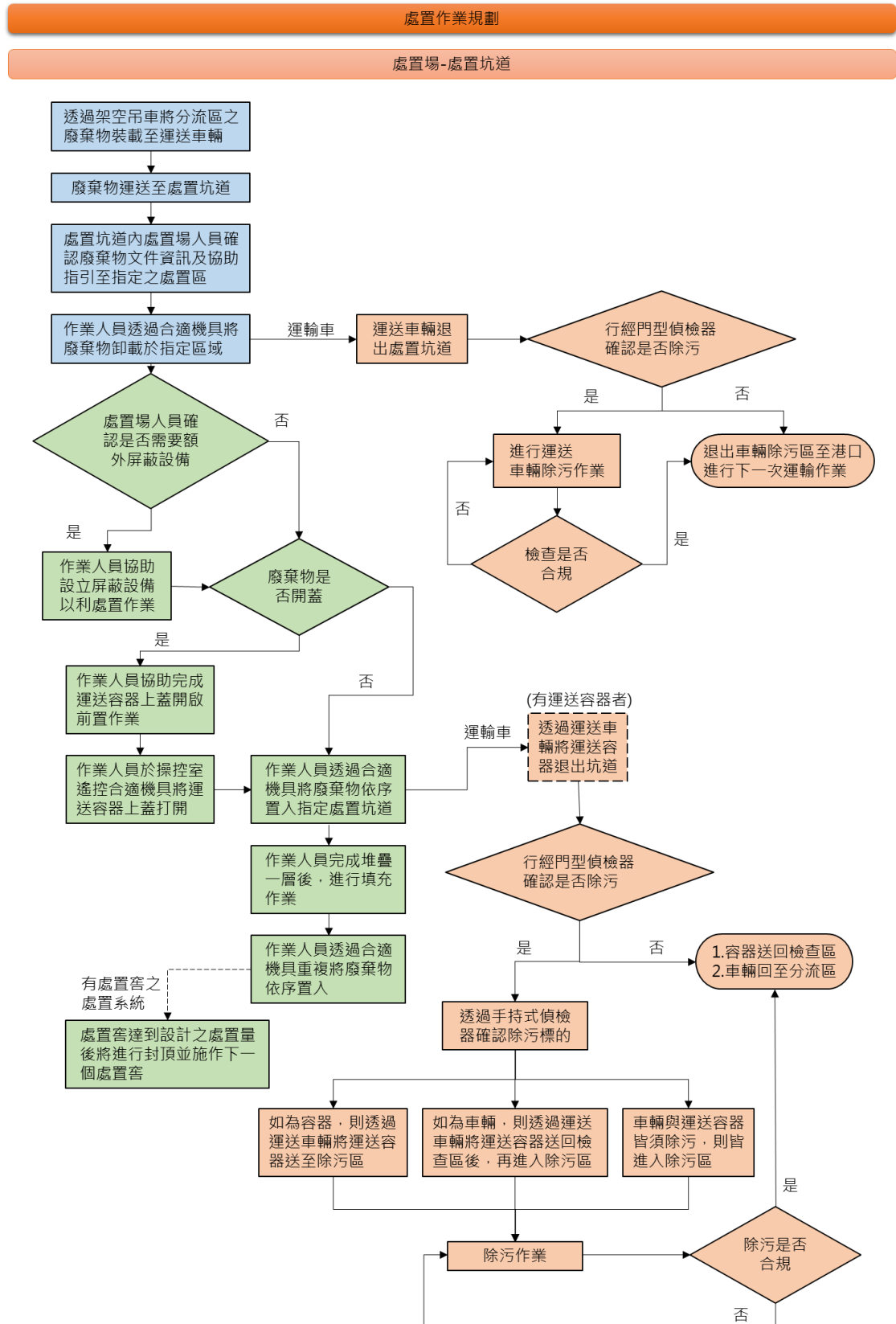


圖 5.2-8 處置作業流程規劃圖

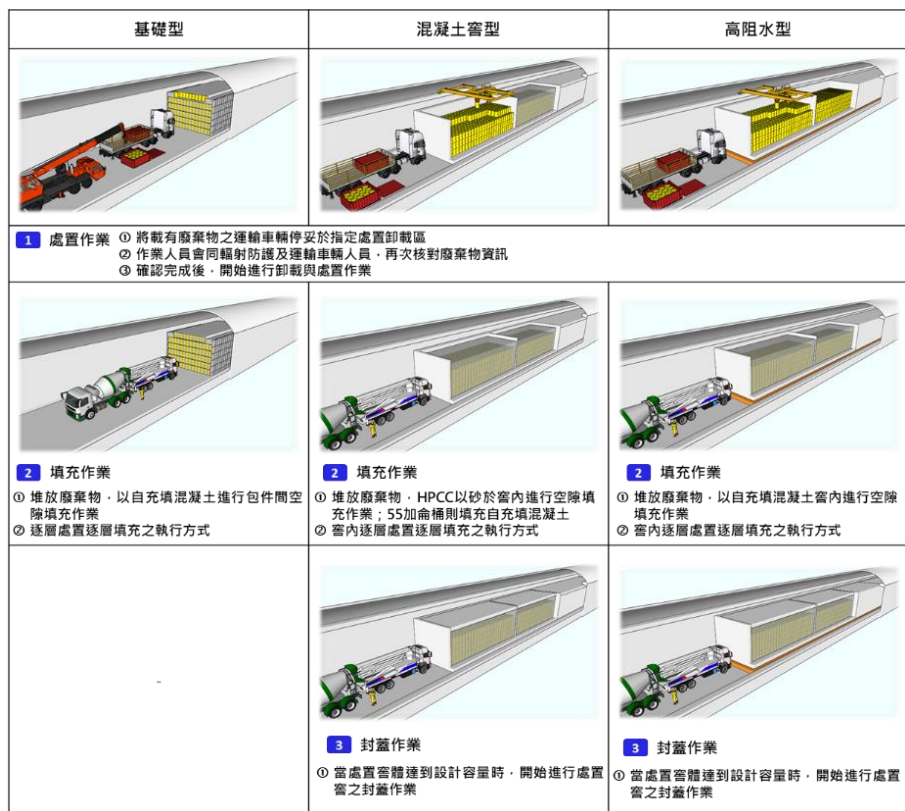


圖 5.2-9 處置作業流程示意圖(55 加侖桶與 HPCC)

5.3 封閉設計

為儘量維持封閉後的遲滯功能，處置設施區封閉作業除了坑道全斷面回填外，另規劃在處置坑道及通行隧道設置封塞系統。處置設施區之封閉設計概念綜整如表 5.3-1，封塞設計概念綜整如表 5.3-2。

表 5.3-1 處置坑道及通行隧道封閉設計概念綜整表

主要功能	設計考量	設計概念
遲滯	延遲地下水入侵以降低處置窖功能提早劣化的可能性	處置坑道及通行隧道全斷面混凝土回填
	避免封閉後處置坑道及通行隧道內形成核種遷移的快速路徑	1.處置坑道及通行隧道全斷面混凝土回填 2.處置坑道與通行隧道銜接處設置水力封塞、通行隧道沿線設置數個水力封塞

主要功能	設計考量	設計概念
	避免坑道周圍母岩應力損傷區成為核種遷移主要路徑	處置坑道母岩於封閉時，應力損傷區足以形成封閉後之快速通道者，則需利用水力封塞設計加以封堵

表 5.3-2 封塞設計概念綜整表

類型	設計功能	設計概念
水力封塞	遲滯核種	1.與阻水層相同，使用膨潤土作為水力封塞材料 2.施工方式以膨潤土磚為主，局部因空間不規則不易施工處，以膨潤土澆置工法或放置膨潤土粒輔助施工
	延緩地下水於處置坑道及通行隧道內流動時間	
力學封塞	承受水力封塞在地下水入侵回脹時之回脹壓力，以免回填層受壓破壞	1.混凝土抗壓強度必須足夠承受預定設計側向壓力，規劃設計強度目標 $\geq f'_c = 210 \text{ kgf/cm}^2$ 2.混凝土水力傳導係數應與回填層水力傳導係數一致，規劃混凝土水膠比 $W/B \leq 0.4$
	坑道回填混凝土時，承受混凝土未初凝前的液態壓力	
	延緩地下水於處置坑道及通行隧道內流動時間	

一、達仁鄉建議候選場址

達仁鄉建議候選場址之母岩為硬頁岩，依據鄰近區域地質調查資料顯示岩體可能較為破碎。在坑道開挖階段，為維持開挖穩定及避免湧水，規劃以灌漿工法預先填補開挖損傷區範圍，並施作防水膜及混凝土襯砌，維持處置坑道力學穩定及水密性。而封閉時，為避免開挖損傷區成為核種的快速傳輸通道，必須將局部擴挖坑道斷面以施作水力封塞，封塞長度大於開挖損傷區。達仁鄉建議候選場址處置坑道封塞設計概念示意圖如圖 5.3-1，封塞系統配置示意圖如圖 5.3-2。

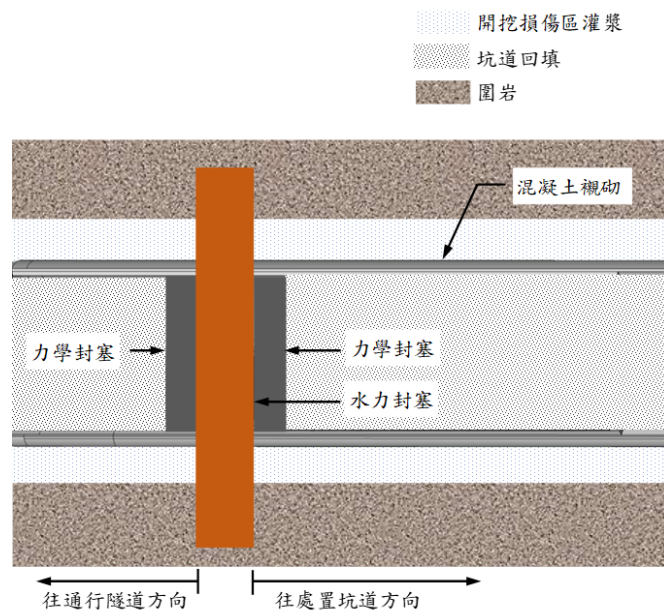


圖 5.3-1 達仁鄉建議候選場址處置坑道封塞設計概念示意圖

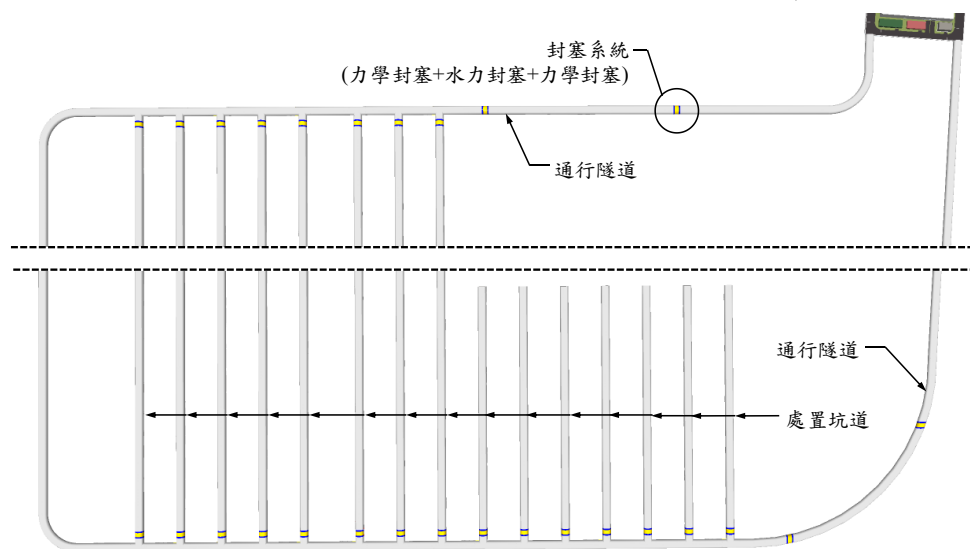


圖 5.3-2 達仁鄉建議候選場址封塞系統配置示意圖

二、烏坵鄉建議候選場址

烏坵鄉建議候選場址之母岩為花崗岩，依據鄰近區域地質調查資料顯示岩體可能相當緻密及完整。處置坑道不需施做混凝土襯砌，僅以噴凝土保護開挖面。灌漿工法僅於坑道開挖時，視需要使用。

為避免周圍母岩的開挖損傷範圍在處置坑道封閉後成為核種遷移主要路徑，封閉時，規劃於水力封塞預定位置將處置坑道擴挖以施作水力封塞，封塞長度大於開挖損傷區。如此，可利用水力封塞阻隔開挖損傷區沿坑道走向之傳輸路徑。烏坵鄉建議候選場址處置坑道封塞設計概念示意圖如圖 5.3-3，封塞系統配置示意圖如圖 5.3-4。

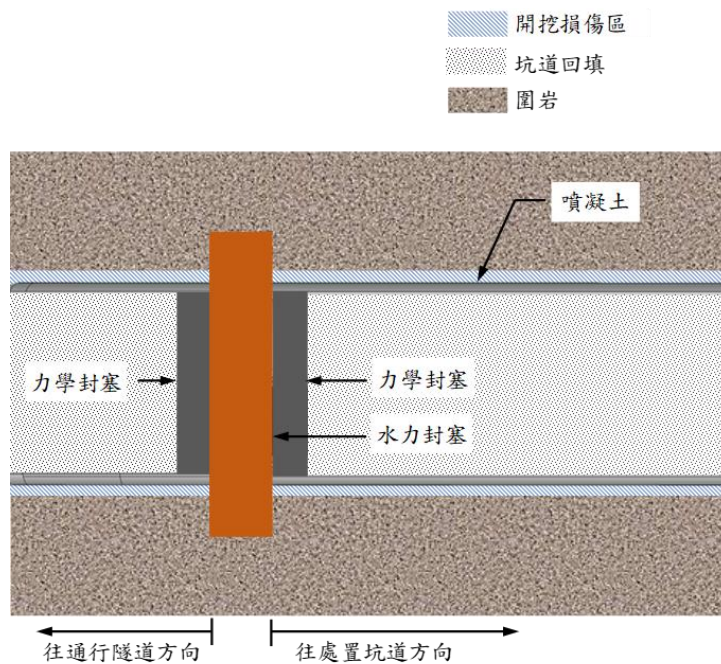


圖 5.3-3 烏坵鄉建議候選場址處置坑道封塞設計概念示意圖

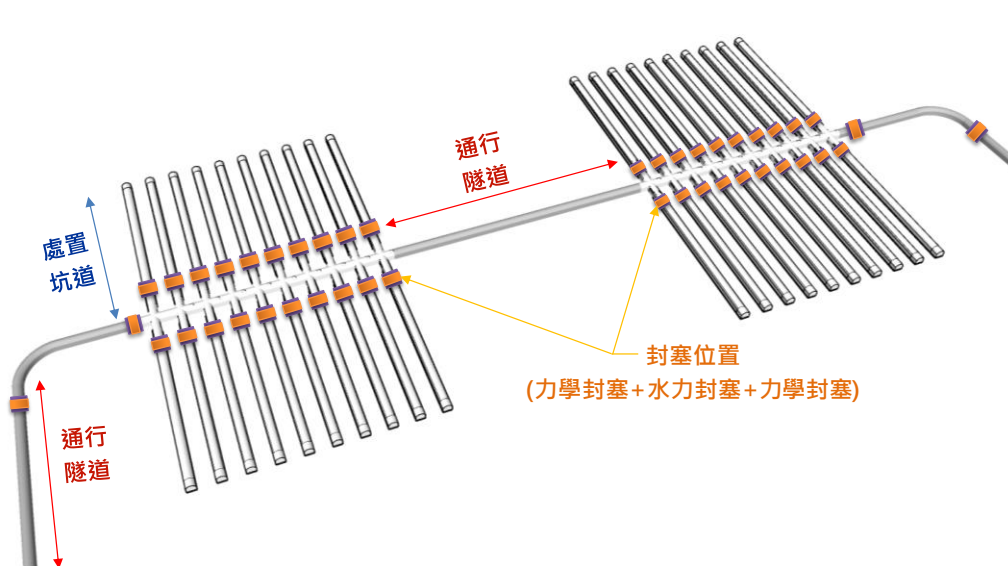


圖 5.3-4 烏坵鄉建議候選場址封塞系統配置示意圖

5.4 處置場環境輻射監測與管制規劃

為確認處置場周圍輻射狀態與避免民眾無意闖入，將在 2 處建議候選場址布置環境輻射監測、設施圍籬與管制哨。依據場址環境特性、地下水流場分析成果與潛在關鍵群體位置，布置規劃如圖 5.4-1 至圖 5.4-4。



圖 5.4-1 達仁鄉建議候選場址之環境監測規劃



圖 5.4-2 達仁鄉建議候選場址之圍籬位置規劃

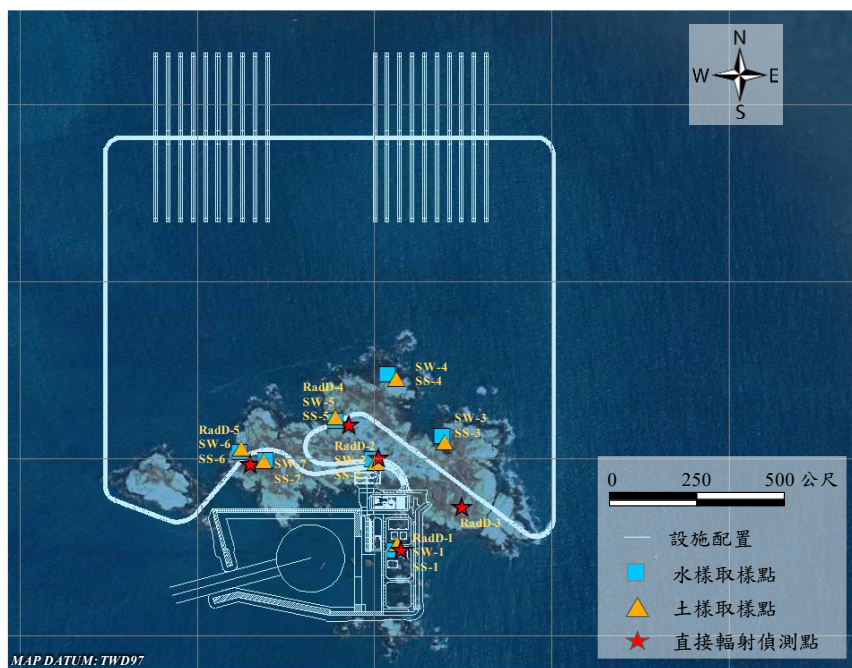


圖 5.4-3 烏坵鄉建議候選場址環境監測規劃

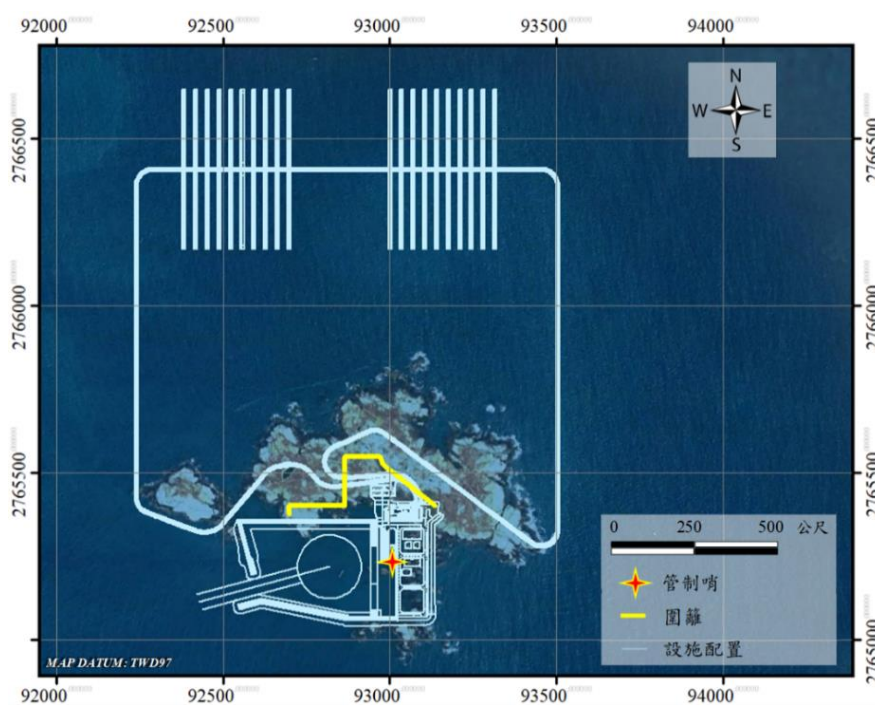
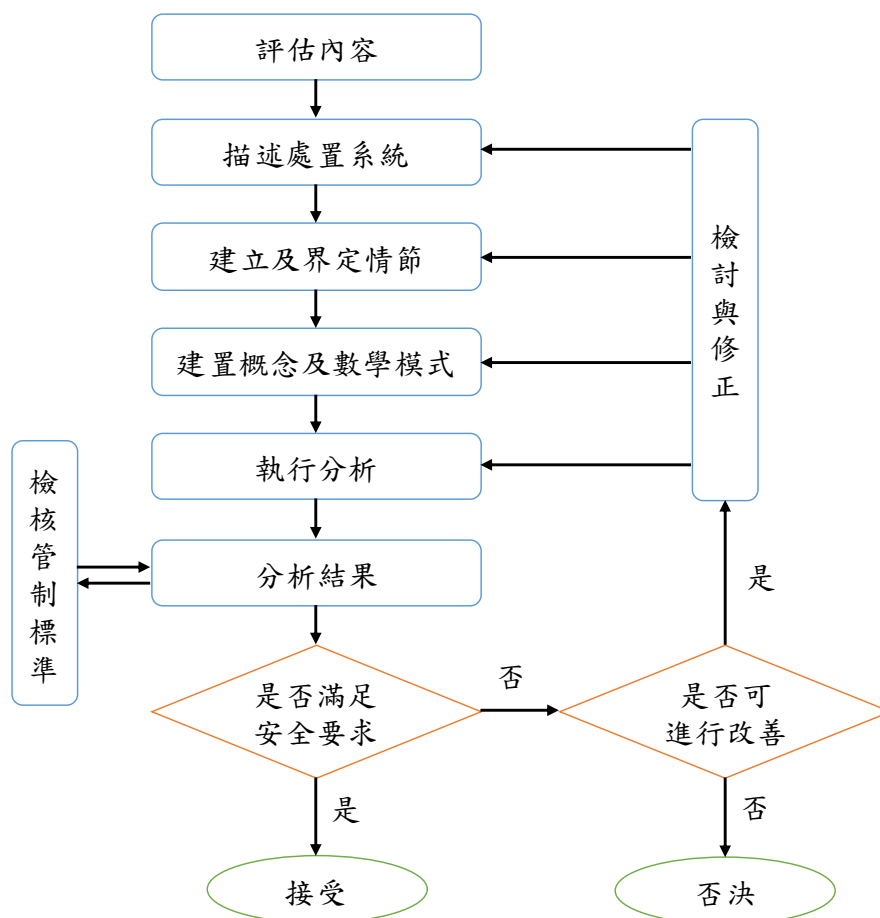


圖 5.4-4 烏坵鄉建議候選場址之圍籬位置規劃

本頁空白。

第六章 安全分析

安全評估分別針對低放處置場運轉期間和封閉後等 2 部分，評估可能造成的輻射危害。低放處置場運轉期間的安全評估是依據運轉作業規劃，建立運轉期間可能發生的情節，並依據不同的情節分析其對工作人員或民眾的影響。低放處置場封閉後的安全評估則是參考 IAEA 於 2004 年發表「近地表處置場之安全評估」報告，報告之重點在說明情節之界定及建立、概念及數學模式之建立、以及可信度，以供各核能國家進行安全評估之依循(IAEA, 2004, p.17)。其安全評估流程包括評估內容、描述處置系統、建立及界定情節、建置概念及數學模型、分析結果與可信度等過程，工作流程如圖 6-1 所示。



備註：修改自 IAEA(2004, p.17)

圖 6-1 安全評估流程圖

6.1 運轉期間安全評估

6.1.1 建立運轉期間安全評估情節

運轉期間安全評估的目的在於依據處置場作業流程、設施設計與安全功能，逐步盤點所有作業階段可能造成輻射暴露的狀況，並據以建立「正常運轉情節」與「異常運轉情節」。作法分為三部分：

- (1) 識別輻射作業與安全功能相關的結構、系統與組件 (structures, systems, and components, SSCs)
- (2) 建立正常運轉情節
- (3) 建立異常運轉情節

一、識別輻射作業與安全功能相關的 SSCs

依據接收港與專用運輸道路、接收大樓、通行隧道與處置坑道，三項處置設施作業地點，彙整運轉期間各項輻射作業及其與安全功能相關之結構、系統與組件，如表 6.1-1 至表 6.1-3 所示。

表 6.1-1 輻射作業及其與安全功能相關之結構、系統與組件—接收港與專用運輸道路

作業內容	結構、系統與組件	與安全功能關聯性
運輸船到港檢查-包件表面劑量率檢測	廢棄物包件	實現圍阻與輻射防護安全功能
	手持式偵測器	確認輻射防護功能無損壞
廢棄物包件卸載-自運輸船卸載與裝載至運輸車輛	廢棄物包件	實現圍阻與防護安全功能
	移動式吊車與其吊具	避免發生包件墜落事件，而損壞包件圍阻與輻射屏蔽功能
廢棄物包件運送至接收大樓	廢棄物包件	實現圍阻與防護安全功能
	運輸車輛與包件固定裝置	避免包件於運輸過程中墜落，而損壞包件圍阻與輻射屏蔽功能

表 6.1-2 輻射作業及其與安全功能相關之結構、系統與組件—接收大樓

作業內容	廢棄物包件	與安全功能關聯性
接收大樓卸載區	廢棄物包件	實現圍阻與輻射防護安全功能
	卸載區屏蔽牆	實現輻射屏蔽功能
	接收大樓結構	提供結構穩定性，避免作業機具與屏蔽牆發生倒塌情況
	運輸車輛與包件固定裝置	避免包件於運輸過程中墜落，而損壞包件圍阻與輻射屏蔽功能
	架空吊車與其吊具	避免發生包件墜落事件，而損壞包件圍阻與輻射屏蔽功能
	手持式偵測器	確認運送容器無污染，協助實現輻射防護功能
接收大樓檢查區作業	廢棄物包件	實現圍阻與輻射防護安全功能
	檢查區屏蔽牆	實現輻射屏蔽功能
	接收大樓結構	提供結構穩定性，避免作業機具與屏蔽牆發生倒塌情況
	區域輻射監測儀與連續空浮監測儀	確認檢查區之環境輻射狀態，協助實現輻射防護功能
	純鍮偵檢器 碘化鈉偵檢器	檢核廢棄物包件所含核種活度與交運文件登載是否相同，協助執行被動安全特徵的監測與管控安全功能
	空調過濾系統	避免發生污染事件，協助實現輻射防護功能
	門型吊車、架空吊車與其吊具	避免發生包件墜落事件，而損壞包件圍阻與輻射屏蔽功能
接收大樓分流區	廢棄物包件	實現圍阻與輻射防護安全功能
	分流區屏蔽牆	實現輻射屏蔽功能
	接收大樓結構	提供結構穩定性，避免作業機具與屏蔽牆發生倒塌情況
接收大樓內所有作業	廢棄物包件	實現圍阻與輻射防護安全功能
	消防設備與系統	避免機具或設備故障後起火燃燒影響廢棄物包件之圍阻與輻射防護安全功能

表 6.1-3 輻射作業及其與安全功能相關之結構、系統與組件—通行隧道與處置坑道

作業內容	廢棄物包件	與安全功能關聯性
處置作業-專用車輛運輸	廢棄物包件	實現圍阻與防護安全功能
	運輸車輛與包件固定裝置	避免包件於運輸過程中墜落，而損壞包件圍阻與輻射屏蔽功能
處置作業-卸載	廢棄物包件	實現圍阻與輻射防護安全功能
	移動式吊車、架空吊車與其吊具	避免發生包件墜落事件，而損壞包件圍阻與輻射屏蔽功能
處置作業-裝載至處置窖	移動式吊車、架空吊車與其吊具	避免發生包件墜落事件，而損壞包件圍阻與輻射屏蔽功能
	額外屏蔽設備與遠端遙控系統	實現工作人員之輻射防護功能
	處置窖	實現工作人員之輻射防護功能
處置作業-專用運輸車輛退出處置坑道	門型偵檢器	確認運輸載具及運送容器無污染，協助實現輻射防護功能

二、正常運轉情節

在正常運轉情況下，廢棄物包件的圍阻功能完整，核種不會外釋，但工作人員因作業需求而接近放射性廢棄物，將造成體外暴露。正常運轉情節依作業流程分為三類：

(一) 接收港接收作業

內容包含：

1. 運輸船到港檢查
2. 裝吊至運輸車輛
3. 運輸車輛運送至接收大樓

(二) 接收大樓內接收與檢查作業

內容包含：

1. 運輸車輛進入卸載區
2. 廢棄物包件卸載至暫存區

3. 再次核對內容與文件
4. 廢棄物包件移至檢查區
5. 打開運輸容器
6. 取出廢棄物包件
7. 檢查及判定
8. 廢棄物包件移至分流區

(三) 處置區處置作業

1. 分流區之廢棄物包件裝載至運輸車輛
2. 運送廢棄物包件至指定處置坑道
3. 核對處置資訊
4. 廢棄物包件自運輸車輛卸載
5. 廢棄物包件堆疊於處置坑道
6. 廢棄物包件置入處置窖

三、異常運轉情節

低放處置場運轉區域內，有可能對個體造成非預期曝露之事件，可略分為自然事件、人為事件以及其他非上述起因導致的事件(例如：火災事件)。依接收港接收作業、專用道路運輸作業、接收大樓內接收與檢查作業、處置區處置作業等不同作業地點，分析其可能發生的事件作用與後果。歸納出 5 種可能導致輻射曝露的異常運轉情節：

(一) 廢棄物包件墜落情節

由於人為操作疏失、機械系統故障、地震等因素，造成廢棄物包件墜落。此類情節又依「圍阻是否失效」與「廢棄物逸散型態」細分為六種情節，如表 6.1-4 所示：

表 6.1-4 異常運轉情節對應之曝露對象與曝露途徑彙整－廢棄物包件墜落情節

異常運轉情節	曝露對象	曝露途徑
廢棄物包件墜落在地面但仍具備圍阻功能	工作人員	<ul style="list-style-type: none"> 廢棄物包件直接輻射曝露
廢棄物包件墜落在地面但圍阻功能失效且廢棄物塊狀逸散	工作人員	<ul style="list-style-type: none"> 廢棄物包件直接輻射曝露 塊狀廢棄物直接輻射曝露，以及污染粉塵之攝入曝露與空氣浸身
廢棄物包件墜落在地面但圍阻功能失效且廢棄物粉狀逸散	工作人員	<ul style="list-style-type: none"> 廢棄物包件直接輻射曝露 粉狀廢棄物直接輻射曝露，以及污染粉塵之攝入曝露與空氣浸身
廢棄物包件墜落海裡但仍具備圍阻功能	工作人員	<ul style="list-style-type: none"> 廢棄物包件直接輻射曝露
廢棄物包件墜落海裡但圍阻功能失效且廢棄物塊狀逸散	工作人員	<ul style="list-style-type: none"> 廢棄物包件直接輻射曝露 塊狀廢棄物直接輻射曝露
廢棄物包件墜落海裡但圍阻功能失效且廢棄物粉狀逸散	工作人員	<ul style="list-style-type: none"> 廢棄物包件直接輻射曝露
	場址周圍民眾	<ul style="list-style-type: none"> 污染水產物進入生物圈

(二) 火災情節

因專用運輸車輛意外引發的火災，或是接收大樓內機械故障造成的火災，由於處置設施裝設有火警偵測與消防系統，可迅速撲滅火勢，故不致影響包件圍阻功能。其輻射影響同樣僅來自事件處理時，工作人員接近包件所產生的直接輻射曝露。

(三) 空調過濾系統失效情節

包件墜落導致廢棄物逸散，在此情況下同時發生空調過濾系統失效，逸散污染粉塵才可能經由排氣系統進入環境，使周邊民眾產生攝入曝露與空氣浸身曝露。

(四) 建築物或結構物受損情節

由於地震造成接收大樓或運轉建物之屏蔽牆、處置窖牆體產生裂縫或開裂，損減屏蔽功能，並對工作人員造成直接輻射曝露。

(五) 海嘯襲擊情節

海嘯可能導致港口整船之廢棄物包件全數捲起墜入海中，事故處理期間工作人員將受到廢棄物包件造成的直接輻射曝露。

6.1.2 運轉期間劑量評估結果

一、正常運轉情節劑量評估結果

正常運轉下，廢棄物包件的圍阻功能完整，核種不會外釋，因此場外民眾不會受到影響。工作人員的曝露主要來自接近包件作業時的直接輻射曝露。評估程序係依不同包件類型(T-Box、HPCC、55 加侖桶等)之平均活度，計算 1 公尺距離下的劑量率，再結合作業時間與包件組合，推算各情節的總劑量。劑量結果依照不同作業區域如表 6.1-5 至表 6.1-7 所示。

表 6.1-5 正常運轉情節之接收港接收作業輻射劑量

輻射作業 內容	曝露 人員	容器類別	操作 人次	單次 平均 時間 (min)	平均 劑量率 (mSv/hr)	單次作業 平均劑量 (mSv)	工作項目 總劑量 (person mSv)
運輸船到 港檢查	查驗 人員	1 箱 T-Box	8,727	1	1.81×10^{-1}	3.02×10^{-3}	26.35
		1 箱 運輸容器	35,849	1	2.32×10^{-2}	3.87×10^{-4}	13.86
		1 組 HPCC	11,095	1	2.22×10^{-2}	3.70×10^{-4}	4.10
裝吊至運 輸車輛	吊卸 人員	1 箱 T-Box	8,727	5	1.81×10^{-1}	1.51×10^{-2}	131.76
		1 箱 運輸容器	35,849	5	2.32×10^{-2}	1.93×10^{-3}	69.31
		1 組 HPCC	11,095	5	2.22×10^{-2}	1.85×10^{-3}	20.52
運輸車輛 運送至接 收大樓	車輛 駕駛	1 箱 T-Box	8,727	5	1.81×10^{-1}	1.51×10^{-2}	131.76
		2 箱 運輸容器	17,925	5	2.99×10^{-2}	2.50×10^{-3}	44.74
		3 組 HPCC	3,699	5	4.78×10^{-2}	3.98×10^{-3}	14.73

表 6.1-6 正常運轉情節之接收大樓內接收與檢查作業輻射劑量

輻射作業 內容	曝露 人員	容器類別	操作 人次	單次 平均 時間 (min)	平均 劑量率 (mSv/hr)	單次作業 平均劑量 (mSv)	工作項目 總劑量 (person mSv)
運輸車輛 進入卸載 區	車輛 駕駛	1 箱 T-Box	8,727	2	1.81×10^{-1}	6.04×10^{-3}	52.70
		2 箱 運輸容器	17,925	2	2.99×10^{-2}	9.98×10^{-4}	17.89
		3 組 HPCC	3,699	2	4.78×10^{-2}	1.59×10^{-3}	5.89
	引導 人員	1 箱 T-Box	8,727	2	1.81×10^{-1}	6.04×10^{-3}	52.70
		2 箱 運輸容器	17,925	2	2.99×10^{-2}	9.98×10^{-4}	17.89
		3 組 HPCC	3,699	2	4.78×10^{-2}	1.59×10^{-3}	5.89
廢棄物包 件卸載至 暫存區	吊卸 人員	1 箱 T-Box	8,727	5	1.81×10^{-1}	1.51×10^E	131.76
		1 箱 運輸容器	35,849	5	2.32×10^{-2}	1.93×10^{-3}	69.31

輻射作業 內容	曝露 人員	容器類別	操作 人次	單次 平均 時間 (min)	平均 劑量率 (mSv/hr)	單次作業 平均劑量 (mSv)	工作項目 總劑量 (person mSv)
		1 組 HPCC	11,095	5	2.22×10^{-2}	1.85×10^{-3}	20.52
再次核對 內容與文 件	查驗 人員	1 箱 T-Box	8,727	1	1.81×10^{-1}	3.02×10^{-3}	26.35
		1 箱 運輸容器	35,849	1	2.32×10^{-2}	3.87×10^{-4}	13.86
		1 組 HPCC	11,095	1	2.22×10^E	3.70×10^{-4}	4.10
廢棄物包 件移至檢 查區	吊卸 人員	1 箱 T-Box	8,727	5	1.81×10^{-1}	1.51×10^{-2}	131.76
		1 箱 運輸容器	35,849	5	2.32×10^{-2}	1.93×10^{-3}	69.31
		1 組 HPCC	11,095	5	2.22×10^{-2}	1.85×10^{-3}	20.52
打開運輸 容器	吊卸 人員	1 箱 運輸容器	35,849	5	2.32×10^{-2}	1.93×10^{-3}	69.31
取出 55 加侖桶	吊卸 人員	1 桶 55 加侖 桶	430,179	5	9.08×10^{-3}	7.56×10^{-4}	325.33
檢查及判 定	查驗 人員	1 箱 T-Box	8,727	2	1.81×10^{-1}	6.04×10^{-3}	52.70
		1 桶 HPCC	44,377	2	1.20×10^{-2}	4.02×10^{-4}	17.82
		1 桶 55 加侖 桶	430,179	2	9.08×10^{-3}	3.03×10^{-4}	130.13
廢棄物包 件移至分 流區	吊卸 人員	1 箱 T-Box	8,727	5	1.81×10^{-1}	1.51×10^{-2}	131.76
		1 箱 運輸容器	35,849	5	2.32×10^{-2}	1.93×10^{-3}	69.31
		1 組 HPCC	11,095	5	2.22×10^{-2}	1.85×10^{-3}	20.52

表 6.1-7 正常運轉情節之處置區處置作業輻射劑量

輻射作業 內容	曝露 人員	容器類別	操作 人次	單次 平均 時間 (min)	平均 劑量率 (mSv/hr)	單次作業 平均劑量 (mSv)	工作項目 總劑量 (person mSv)
分流區之 廢棄物包 件裝載至 運輸車輛	吊卸 人員	1 箱 T-Box	8,727	5	1.81×10^{-1}	1.51×10^{-2}	131.76
		1 箱 運輸容器	35,849	5	2.32×10^{-2}	1.93×10^{-3}	69.31
		1 組 HPCC	11,095	5	2.22×10^{-2}	1.85×10^{-3}	20.52
運送廢棄 物包件至 指定處置 坑道	車輛 駕駛	1 箱 T-Box	8,727	16	1.81×10^{-1}	4.83×10^{-2}	421.62
		2 箱 運輸容器	17,925	16	2.99×10^{-2}	7.92×10^{-3}	143.15
		3 組 HPCC	3,699	16	4.78×10^{-2}	1.27×10^{-2}	47.15
核對處置 資訊	查驗 人員	1 箱 T-Box	8,727	5	1.81×10^{-1}	1.51×10^{-2}	131.76
		1 箱 運輸容器	35,849	5	2.32×10^{-2}	1.93×10^{-3}	69.31
		1 組 HPCC	11,095	5	2.22×10^{-2}	1.85×10^{-3}	20.52
廢棄物包 件自運輸 車輛卸載	吊卸 人員	1 箱 T-Box	8,727	5	1.81×10^{-1}	1.51×10^{-2}	131.76
		1 箱 運輸容器	35,849	5	2.32×10^{-2}	1.93×10^{-3}	69.31
		1 組 HPCC	11,095	5	2.22×10^{-2}	1.85×10^{-3}	20.52
廢棄物包 件堆疊於 基礎型處 置坑道	吊卸 人員	1 箱 T-Box	8,158	8	1.81×10^{-1}	2.42×10^{-2}	197.06
		1 桶 55 加侖 桶	169,079	3	9.08×10^{-3}	4.54×10^{-4}	76.72
		1 桶 HPCC	40,863	3	1.20×10^{-2}	6.02×10^{-4}	24.62
廢棄物包 件置入處 置窖	吊卸 人員	1 箱 T-Box	569	10	1.81×10^{-1}	3.02×10^{-2}	17.18
		1 桶 55 加侖 桶	261,100	5	9.08×10^{-3}	7.56×10^{-4}	197.46
		1 桶 HPCC	3,514	5	1.20×10^{-2}	1.00×10^{-3}	3.53

二、異常運轉情節劑量評估結果

異常運轉情節係針對運轉期間可能發生之自然事件、人為事件或設備故障進行評估。其曝露途徑包含：

- 直接輻射曝露
- 空氣浸身曝露
- 粉塵或污染物攝入曝露
- 海域墜落時之水產品攝入曝露

各項異常情節評估結果如下：

(一) 廢棄物包件墜落情節

廢棄物包件墜落情節結果分別如表 6.1-8 至表 6.1-12 所示。

表 6.1-8 廢棄物包件墜落地面但仍具備圍阻功能之劑量評估結果

廢棄物包件	廢棄物分類	處理時間(min)	事件劑量影響(mSv)
盛裝活化金屬 廢棄物之 T-Box	A0	20	1.21×10^{-3}
	A1	20	4.57×10^{-3}
	B	20	2.31×10^{-2}
	CS	20	3.04×10^{-1}
	CL	20	3.00
盛裝污染金屬 廢棄物之 T-Box	A0	20	8.16×10^{-4}
	A1	20	1.99×10^{-2}
	B	20	2.60×10^{-2}
	CS	20	1.34×10^{-1}
單一 55 加侖桶	A0	5	1.97×10^{-4}
	A1	5	4.73×10^{-3}
	B	5	9.17×10^{-3}
	CS	5	1.66×10^{-3}
	CL	5	5.19×10^{-3}
內含 55 加侖桶 之運輸容器	A0	5	5.05×10^{-4}
	A1	5	1.21×10^{-2}
	B	5	2.34×10^{-2}

廢棄物包件	廢棄物分類	處理時間(min)	事件劑量影響(mSv)
	CS	5	4.20×10^{-3}
	CL	5	1.32×10^{-2}
HPCC	A0	5	4.01×10^{-4}
	A1	5	4.78×10^{-3}
	B	5	8.48×10^{-3}
	CS	5	2.59×10^{-3}

表 6.1-9 廢棄物包件墜落地面但圍阻功能失效且廢棄物塊狀逸散之劑量評估結果

廢棄物包件	廢棄物分類	廢棄物包件處理時間(min)	逸散物處理時間(min)	事件總劑量(mSv)
盛裝活化金屬廢棄物之 T-Box	A0	60	60	4.40×10^{-3}
	A1	60	60	1.66×10^{-2}
	B	60	60	8.43×10^{-2}
	CS	60	60	1.11
	CL	60	60	10.95
盛裝污染金屬廢棄物之 T-Box	A0	60	60	3.08×10^{-3}
	A1	60	60	7.52×10^{-2}
	B	60	60	9.61×10^{-2}
	CS	60	60	4.88×10^{-1}
單一 55 加侖桶	A0	20	60	1.36×10^{-3}
	A1	20	60	3.28×10^{-2}
	B	20	60	6.37×10^{-2}
	CS	20	60	1.22×10^{-2}
	CL	20	60	3.83×10^{-2}
內含 55 加侖桶之運輸容器	A0	120	60	1.27×10^{-2}
	A1	120	60	3.04×10^{-1}
	B	120	60	5.86×10^{-1}
	CS	120	60	1.06×10^{-1}
	CL	120	60	3.32×10^{-1}
HPCC	A0	20	60	4.66×10^{-3}
	A1	20	60	5.56×10^{-2}
	B	20	60	9.98×10^{-2}
	CS	20	60	3.05×10^{-2}

表 6.1-10 廢棄物包件墜落海裡但仍具備圍阻功能之劑量評估結果

廢棄物包件	廢棄物分類	處理時間(min)	事件劑量影響(mSv)
盛裝活化金屬 廢棄物之 T-Box	A0	120	7.25×10^{-3}
	A1	120	2.74×10^{-2}
	B	120	1.39×10^{-1}
	CS	120	1.82
	CL	120	18.03
盛裝污染金屬 廢棄物之 T-Box	A0	120	4.89×10^{-3}
	A1	120	1.19×10^{-1}
	B	120	1.56×10^{-1}
	CS	120	8.03×10^{-1}
內含 55 加侖桶之 運輸容器	A0	120	1.21×10^{-2}
	A1	120	2.91×10^{-1}
	B	120	5.61×10^{-1}
	CS	120	1.01×10^{-1}
	CL	120	3.16×10^{-1}
HPCC	A0	120	9.62×10^{-3}
	A1	120	1.15×10^{-1}
	B	120	2.04×10^{-1}
	CS	120	6.21×10^{-2}

表 6.1-11 廢棄物包件墜落海裡但圍阻功能失效且廢棄物塊狀逸散
之劑量評估結果

廢棄物 包件	廢棄物 分類	廢棄物包 件處理時 間(min)	逸散物處 理時間 (min)	吊掛作 業曝露 (mSv)	逸散物 回收曝 露(mSv)	事件劑 量影響 (mSv)
盛裝活化 金屬廢棄 物之 T-Box	A0	180	90	8.70×10^{-3}	2.25×10^{-3}	1.10×10^{-2}
	A1	180	90	3.29×10^{-2}	8.51×10^{-3}	4.14×10^{-2}
	B	180	90	1.67×10^{-1}	4.31×10^{-2}	2.10×10^{-1}
	CS	180	90	2.19	5.66×10^{-1}	2.75
	CL	180	90	21.6	5.66	27.23
盛裝污染 金屬廢棄 物之 T-Box	A0	180	90	5.87×10^{-3}	1.68×10^{-3}	7.55×10^{-3}
	A1	180	90	1.43×10^{-1}	4.09×10^{-2}	1.84×10^{-1}
	B	180	90	1.87×10^{-1}	5.04×10^{-2}	2.38×10^{-1}

廢棄物包件	廢棄物分類	廢棄物包件處理時間(min)	逸散物處理時間(min)	吊掛作業曝露(mSv)	逸散物回收曝露(mSv)	事件劑量影響(mSv)
	CS	180	90	9.63×10^{-1}	2.50×10^{-1}	1.21
內含 55 加侖桶之運輸容器	A0	180	90	1.79×10^{-2}	1.10×10^{-3}	1.90×10^{-2}
	A1	180	90	4.29×10^{-1}	2.64×10^{-2}	4.56×10^{-1}
	B	180	90	8.27×10^{-1}	5.14×10^{-2}	8.78×10^{-1}
	CS	180	90	1.49×10^{-1}	9.35×10^{-3}	1.58×10^{-1}
	CL	180	90	4.66×10^{-1}	2.92×10^{-2}	4.95×10^{-1}
HPCC	A0	180	90	1.15×10^{-2}	5.66×10^{-1}	5.78×10^{-1}
	A1	180	90	1.38×10^{-1}	1.68×10^{-3}	1.39×10^{-1}
	B	180	90	2.44×10^{-1}	4.09×10^{-2}	2.85×10^{-1}
	CS	180	90	7.46×10^{-2}	5.04×10^{-2}	1.25×10^{-1}

表 6.1-12 廢棄物包件墜落海裡但圍阻功能失效且廢棄物粉狀逸散之劑量評估結果

廢棄物包件	廢棄物分類	廢棄物包件處理時間(min)	工作人員作業曝露(mSv)	周圍居民攝入劑量(mSv)
內含 55 加侖桶之運輸容器	A0	180	1.79×10^{-2}	5.82×10^{-4}
	A1	180	4.29×10^{-1}	1.77×10^{-2}
	B	180	8.27×10^{-1}	1.13×10^{-1}
	CS	180	1.49×10^{-1}	2.92×10^{-1}
	CL	180	4.66×10^{-1}	7.38×10^{-1}

(二) 火災情節

火災情節之劑量評估結果如表 6.1-13 所示。

表 6.1-13 火災情節之劑量評估結果

廢棄物包件	廢棄物分類	處理時間(min)	事件劑量影響(mSv)
盛裝活化金屬廢棄物之 T-Box	A0	45	2.72×10^{-3}
	A1	45	1.03×10^{-2}
	B	45	5.20×10^{-2}
	CS	45	6.83×10^{-1}
	CL	45	6.76
盛裝污染金屬廢棄物之 T-Box	A0	45	1.83×10^{-3}
	A1	45	4.48×10^{-2}
	B	45	5.85×10^{-2}

廢棄物包件	廢棄物分類	處理時間(min)	事件劑量影響(mSv)
	CS	45	3.01×10^{-1}
單一 55 加侖桶	A0	30	1.18×10^{-3}
	A1	30	2.84×10^{-2}
	B	30	5.50×10^{-2}
	CS	30	9.95×10^{-3}
	CL	30	3.11×10^{-2}
內含 55 加侖桶之 運輸容器	A0	30	3.03×10^{-3}
	A1	30	7.28×10^{-2}
	B	30	1.40×10^{-1}
	CS	30	2.52×10^{-2}
	CL	30	7.90×10^{-2}
HPCC	A0	30	2.41×10^{-3}
	A1	30	2.87×10^{-2}
	B	30	5.09×10^{-2}
	CS	30	1.55×10^{-2}

(三) 空調過濾系統失效情節

空調過濾系統失效情節之劑量評估結果如表 6.1-14 所示。

表 6.1-14 空調過濾系統失效情節之劑量評估結果

廢棄物包件	廢棄物分類	吸入曝露(mSv)	嚥入曝露(mSv)	空氣浸身(mSv)	總劑量(mSv)
盛裝活化金屬 廢棄物之 T-Box	A0	6.38×10^{-6}	1.26×10^{-5}	7.69×10^{-12}	1.90×10^{-5}
	A1	5.46×10^{-5}	1.30×10^{-4}	3.98×10^{-11}	1.84×10^{-4}
	B	6.65×10^{-4}	1.42×10^{-3}	6.79×10^{-10}	2.08×10^{-3}
	CS	1.10×10^{-2}	2.28×10^{-2}	1.21×10^{-8}	3.39×10^{-2}
	CL	7.09×10^{-2}	1.31×10^{-1}	8.46×10^{-8}	2.02×10^{-1}
盛裝污染金屬 廢棄物之 T-Box	A0	3.19×10^{-4}	4.17×10^{-5}	8.44×10^{-12}	3.60×10^{-4}
	A1	7.77×10^{-3}	1.02×10^{-3}	2.06×10^{-10}	8.78×10^{-3}
	B	3.14×10^{-3}	1.45×10^{-3}	2.82×10^{-10}	4.59×10^{-3}
	CS	3.12×10^{-2}	7.45×10^{-3}	2.10×10^{-9}	3.86×10^{-2}
單一 55 加侖桶	A0	3.33×10^{-5}	1.18×10^{-5}	4.58×10^{-12}	4.51×10^{-5}
	A1	2.12×10^{-3}	3.64×10^{-4}	1.07×10^{-10}	2.48×10^{-3}
	B	4.75×10^{-3}	1.31×10^{-3}	1.20×10^{-9}	6.06×10^{-3}
	CS	3.74×10^{-2}	3.54×10^{-3}	4.17×10^{-10}	4.09×10^{-2}
	CL	1.32×10^{-1}	1.20×10^{-2}	2.09×10^{-9}	1.44×10^{-1}
HPCC	A0	6.56×10^{-4}	9.51×10^{-5}	3.21×10^{-11}	7.51×10^{-4}
	A1	7.96×10^{-3}	1.15×10^{-3}	3.86×10^{-10}	9.10×10^{-3}

廢棄物包件	廢棄物分類	吸入曝露 (mSv)	嚥入曝露 (mSv)	空氣浸身 (mSv)	總劑量 (mSv)
	B	5.49×10^{-3}	3.23×10^{-3}	1.56×10^{-9}	8.72×10^{-3}
	CS	1.30×10^{-2}	8.41×10^{-3}	6.68×10^{-9}	2.15×10^{-2}

(四) 建築物或結構物受損情節

建築物或結構物受損情節之劑量評估結果如表 6.1-15 所示。

表 6.1-15 建築物或結構物屏蔽牆開裂受損之劑量影響

單位：mSv

建物結構	廢棄物盛裝容器 (堆疊數量)	廢棄物分類	裂隙寬度		
			0.1 cm	0.5 cm	1 cm
接收大樓	運輸容器 (8×5×1)	A0	2.93×10^{-5}	1.16×10^{-4}	2.25×10^{-4}
		A1	7.03×10^{-4}	2.79×10^{-3}	5.40×10^{-3}
		B	1.28×10^{-3}	5.28×10^{-3}	1.03×10^{-2}
		CS	2.24×10^{-4}	9.42×10^{-4}	1.84×10^{-3}
		CL	7.13×10^{-4}	2.97×10^{-3}	5.79×10^{-3}
	HPCC (8×12×4)	A0	1.70×10^{-4}	7.58×10^{-4}	1.49×10^{-3}
		A1	2.03×10^{-3}	9.04×10^{-3}	1.78×10^{-2}
		B	3.55×10^{-3}	1.60×10^{-2}	3.15×10^{-2}
		CS	1.09×10^{-3}	4.88×10^{-3}	9.63×10^{-3}
	盛裝活化金屬廢棄物之 T-Box (6×4×4)	A0	5.63×10^{-5}	2.52×10^{-4}	4.96×10^{-4}
		A1	2.13×10^{-4}	9.52×10^{-4}	1.88×10^{-3}
		B	1.08×10^{-3}	4.82×10^{-3}	9.50×10^{-3}
		CS	1.41×10^{-2}	6.33×10^{-2}	1.25×10^{-1}
		CL	1.40×10^{-1}	6.26×10^{-1}	1.23
	盛裝污染金屬廢棄物之 T-Box (6×4×4)	A0	3.68×10^{-5}	1.71×10^{-4}	3.39×10^{-4}
		A1	8.99×10^{-4}	4.18×10^{-3}	8.28×10^{-3}
		B	1.19×10^{-3}	5.42×10^{-3}	1.07×10^{-2}
		CS	6.23×10^{-3}	2.79×10^{-2}	5.49×10^{-2}
次地表 混凝土窖型 處置系統	55 加侖桶 (25×12×5)	A1	9.92×10^{-2}	1.17×10^{-1}	1.39×10^{-1}
		B	1.59×10^{-1}	1.93×10^{-1}	2.36×10^{-1}
		CS	2.63×10^{-2}	3.25×10^{-2}	4.02×10^{-2}
	HPCC (17×8×4)	B	6.62×10^{-2}	8.36×10^{-2}	1.05×10^{-1}
		CS	2.10×10^{-2}	2.63×10^{-2}	3.30×10^{-2}

建物結構	廢棄物 盛裝容器 (堆疊數量)	廢棄物 分類	裂隙寬度		
			0.1 cm	0.5 cm	1 cm
	盛裝活化 金屬廢棄物 之 T-Box (7×3×2)	CS	2.98×10^{-1}	3.63×10^{-1}	4.44×10^{-1}
	盛裝污染 金屬廢棄物 之 T-Box (7×3×2)	CS	1.31×10^{-1}	1.59×10^{-1}	1.95×10^{-1}
次地表 高阻水型 處置系統	55 加侖桶 (25×9×4)	CL	8.75×10^{-2}	1.05×10^{-1}	1.28×10^{-1}
	盛裝活化 金屬廢棄物 之 T-Box (7×3×1)	CL	2.58	3.03	3.61

(五) 海嘯襲擊情節

海嘯襲擊情節之劑量評估結果如表 6.1-16 所示。

表 6.1-16 海嘯襲擊事件之劑量影響

廢棄物包件	廢棄物分類	處理時間(hr)	事件劑量影響(mSv)
盛裝活化金屬 廢棄物之 T-Box	A0	30	0.11
	A1	30	0.41
	B	30	2.08
	CS	30	27.34
	CL	30	270.44
盛裝污染金屬 廢棄物之 T- Box	A0	30	0.07
	A1	30	1.79
	B	30	2.34
	CS	30	12.04
含有 55 加侖桶 之運輸容器	A0	900	5.46
	A1	900	131.02
	B	900	252.27
	CS	900	45.38
	CL	900	142.22
HPCC	A0	592	2.85
	A1	592	33.96
	B	592	60.25
	CS	592	18.39

6.1.3 運轉期間結構、系統與組件安全管理

低放處置場運轉期間，安全功能相關之結構、系統與組件若未正常運作，將導致異常運轉事件發生，並有不同的事件後果。故有必要就事件發生頻率與事故嚴重性，判定結構、系統與組件之安全等級，以擬訂各項運轉期間之管理措施，確保結構、系統與組件可維持其安全功能、降低事件發生頻率與潛在危害。

一、結構、系統與組件安全分級條件

運轉期間的安全管理需判定各結構、系統與組件失效時可能造成的輻射後果。結構、系統與組件的安全分級依據事件發生頻率與事件後果嚴重性進行判定。

(一) 事件發生頻率

事件發生頻率依據每年發生事件數進行判斷，如表 6.1-17 所示。

表 6.1-17 事件發生頻率分級

分級	低發生頻率	中發生頻率	高發生頻率
事件發生頻率 (每年事件數)	$< 10^{-4}$	$10^{-4} \sim 10^{-2}$	$> 10^{-2}$

(二) 事件後果嚴重性

事件發生後，依照事件對工作人員或場址周邊民眾產生輻射曝露劑量進行分級，如表 6.1-18。

表 6.1-18 事件發生後之危害程度分級

單位：mSv

事故危害程度分級		低後果事故	中後果事故	高後果事故
單一事件 造成之劑量	工作人員	1 ~ 10	10 ~ 50	> 50
	場址周邊民眾	> 0.25		

(三) 安全分級

依事件發生頻率與其可能造成的後果，可將事件後果的嚴重程度加以分級。分類結果為：低嚴重事故歸為安全等級 3、中嚴重事故歸為安全等級 2、高嚴重事故歸為安全等級 1，其分級原則如表 6.1-19 所示。

表 6.1-19 結構、系統與組件安全分級表

	低後果事故	中後果事故	高後果事故
低發生頻率	安全分級 3	安全分級 3	安全分級 3
中發生頻率	安全分級 3	安全分級 2	安全分級 2
高發生頻率	安全分級 3	安全分級 2	安全分級 1

二、結構、系統與組件安全等級

依照事件後果的危害程度，異常運轉情節造成高嚴重事故之情節有 5 項，中嚴重事故有 8 項，低嚴重事故有 14 項，如表 6.1-20 所示。

表 6.1-20 異常運轉情節之事件後果危害程度劃分表

異常運轉情節		廢棄物包件	高嚴重事故	中嚴重事故	低嚴重事故
廢棄物包件墜落情節	墜落在地面但仍具備圍阻功能	CL 類活化金屬廢棄物之 T-Box			✓
	墜落在地面但圍阻功能失效且廢棄物塊狀逸散	CS 類活化金屬廢棄物之 T-Box			✓
		CL 類活化金屬廢棄物之 T-Box		✓	
	墜落在地面但圍阻功能失效且廢棄物粉狀逸散	未達危害程度分級標準			
	墜落海裡但仍具備圍阻功能	CS 類活化金屬廢棄物之 T-Box			✓
		CL 類活化金屬廢棄物之 T-Box		✓	
	墜落海裡但圍阻功能失效且廢棄物塊狀逸	CS 類活化金屬廢棄物之 T-Box			✓

異常運轉情節		廢棄物包件	高嚴重 事故	中嚴重 事故	低嚴重 事故
散		CL 類活化金屬廢棄物之 T-Box		✓	
		CS 類污染金屬廢棄物之 T-Box			✓
	墜落海裡但圍阻功能失效且廢棄物粉狀逸散	未達危害程度分級標準			
火災情節		CL 類活化金屬廢棄物之 T-Box			✓
空調過濾系統失效情節		未達危害程度分級標準			
建築物或結構物受損情節		CL 類活化金屬廢棄物之 T-Box (接收大樓、次地表高阻水型處置系統受損)			✓
海嘯襲擊情節		B 類活化金屬廢棄物之 T-Box			✓
		CS 類活化金屬廢棄物之 T-Box		✓	
		CL 類活化金屬廢棄物之 T-Box	✓		
		A1 類污染金屬廢棄物之 T-Box			✓
		B 類污染金屬廢棄物之 T-Box			✓
		CS 類污染金屬廢棄物之 T-Box		✓	
		含有 A0 類 55 加侖桶之運輸容器			✓
		含有 A1 類 55 加侖桶之運輸容器	✓		
		含有 B 類 55 加侖桶之運輸容器	✓		✓
		含有 CS 類 55 加侖桶之運輸容器		✓	
		含有 CL 類 55 加侖桶之運輸容器	✓		
		A0 類 HPCC			✓
		A1 類 HPCC		✓	
		B 類 HPCC	✓		
		CS 類 HPCC		✓	

三、結構、系統與組件安全分級彙整

依據上述分析結果，歸納各結構、系統與組件之安全分級，如表 6.1-21 所示。

表 6.1-21 結構、系統與組件之安全分級彙整

安全等級	具安全功能之結構、系統與組件
安全分級 1	無
安全分級 2	<ul style="list-style-type: none"> 廢棄物包件(CL 類 T-Box) 移動式吊車、門型吊車、架空吊車與其吊具
安全分級 3	<ul style="list-style-type: none"> 廢棄物包件(A1 類 T-Box) 廢棄物包件(B 類 T-Box) 廢棄物包件(CS 類 T-Box) 廢棄物包件(含有 A0 類 55 加侖桶之運輸容器) 廢棄物包件(含有 A1 類 55 加侖桶之運輸容器) 廢棄物包件(含有 B 類 55 加侖桶之運輸容器) 廢棄物包件(含有 CS 類 55 加侖桶之運輸容器) 廢棄物包件(含有 CL 類 55 加侖桶之運輸容器) 廢棄物包件(A0 類 HPCC) 廢棄物包件(A1 類 HPCC) 廢棄物包件(B 類 HPCC) 廢棄物包件(CS 類 HPCC) 消防設備與系統 接收大樓屏蔽牆 接收大樓結構 處置窖

6.2 封閉後安全評估

6.2.1 建立封閉後安全評估情節

封閉後安全評估旨在分析處置場封閉之後，於長期演化過程中可能影響核種遷移與輻射影響的自然作用、工程障壁劣化與人為干擾情況。建立的封閉後各類安全評估情節，可以作為後續模式建置與劑量分析基礎。建立封閉後情節的流程包括：

1. 環境特徵參考演化
2. 工程障壁系統演化
3. 情節界定

一、環境特徵參考演化

封閉後安全評估需考量處置場在千年至萬年時間尺度下，自然環境將如何演變，並作為設計情節與替代情節建構的基礎。依據氣候、地質與水文調查成果，建立五類環境特徵參考演化，包括：氣候、地質、水文地質、地球化學與生物環境。

(一) 參考氣候演化

全球氣候在過去數十萬年呈現冰期與間冰期循環。目前位於間冰期，未來長期可能再次進入冰期。但依 IPCC AR6 (IPCC, 2022)評估，因溫室氣體排放，短期內全球仍持續暖化，不會直接進入冰期。因此設定兩類氣候發展：

1. 主要氣候演化：氣候持續暖化並延遲進入冰期
2. 替代氣候演化：暖化效應提早消退、地球重新進入冰期(供替代情節使用)

參考氣候演化下的氣溫、年平均降雨量與海平面變化如表 6.2-1。

表 6.2-1 參考氣候演化主要特徵

西元年	氣溫	年平均降雨量	海平面
2,100 年(設施封閉)	上升 1.4°C	上升 8.4%	上升 0.51 m
4,100 年(封閉後 2,000 年)	回復現今狀態	回復現今狀態	上升 4 m
6,100 年(封閉後 4,000 年)	回復現今狀態	回復現今狀態	上升 4 m
12,100 年(封閉後 1 萬年)	回復現今狀態	回復現今狀態	回復現今狀態

(二) 地質環境演化

目前達仁鄉與烏坵鄉建議候選場址皆位於地質活動低、屬於穩定之區域構造環境。推測未來一萬年內，板塊構造運動、應力環境、脆性/塑性變等地質作用皆維持與現況相同，不致產生新的斷層或顯著構造變形。自然地形變化主要受到侵蝕、沉積與地層抬升影響：

- 達仁鄉推估侵蝕速率為 2.5 mm/yr、抬升速率為 0.26 mm/yr

- 烏坵鄉推估侵蝕速率為 0.1 mm/yr、抬升速率為 0.48 mm/yr

(三) 水文地質演化

降雨與海平面變化將是影響地下水流場的主要控制因素。推估在西元 2,100 至 4,100 年降雨量較現況高，入滲量增加；西元 4,100 年至 12,100 年降雨回復現況，入滲量與現在相同。海平面在西元 2,100 年上升 0.51 公尺、在西元 4,100 年至 6,100 年上升 4 公尺，而至西元 21,000 年回復至現況水位。海平面升降會改變地下水邊界水位，進而影響流向、流速與淡鹹水界面位置。開挖擾動區期在一萬年內保持穩定，不會因地質事件而改變特徵

(四) 地球化學演化

地球化學環境將依水文條件、地下水流場與材料劣化逐漸調整。pH、Eh、溶解氧含量與離子組成變化將影響核種遷移參數(例如分配係數 K_d)。長期趨勢預期仍維持接近現況，對核種吸附能力之影響可於後續模式中納入。

(五) 生物環境演化

氣候演化未造成顯著地貌改變，因此生物環境在千年至萬年尺度內預期類似現況。達仁鄉建議候選場址假設附近有農耕、漁撈、水產養殖、畜牧之關鍵群體；飲水取自自來水與山泉水。烏坵鄉建議候選場址因島嶼資源受限，未來人口需搭配海水淡化廠供水；居民日常食物來源包含岸邊釣魚或採集貝類。

三、工程障壁系統演化

工程障壁單元包括：廢棄物體、容器、填充層、處置窖、阻水層、回填層與二次襯砌，包含混凝土材料、金屬材料與膨潤土材料等 3 類材料。

55 加侖桶在封閉時即視為失效狀態。假設處置場運轉 60 年，則 HPCC 在封閉後 40 年完全失效。保守假設焊道厚度遭腐蝕削減一半時，即視為 T-Box 開始喪失圍阻功能；容器厚度遭腐蝕削減一半時，即視為 T-Box 完全喪失圍阻功能。

混凝土因溶出失鈣作用、硫酸鹽侵蝕作用與氯離子入侵而導致劣化，並因鋼筋腐蝕膨脹，使得混凝土產生裂縫，孔隙率、擴散係數與水力傳導係數增加。膨潤土的劣化主要源自裂隙水流造成的離子交換、蒙脫石溶解與沖蝕，使膨脹壓與阻水能力逐漸下降；但在乾密度高且流量極低的情況下，劣化進程非常緩慢。

四、情節界定

封閉後安全評估之情節依自然環境特徵參考演化與工程障壁系統演化模式，區分為三大類：設計情節、替代情節與人類無意入侵情節。各情節反映處置系統於正常、偏不利、及人為干擾條件下，用以全面評估長期安全。

(一) 設計情節

設計情節反映處置場在合理預期的自然環境演化與工程障壁劣化下之正常行為，包括：

1. 氣候、地質、水文地質、地球化學與生物環境等自然環境特徵依「參考演化」變化。
2. 容器逐步失效、混凝土與膨潤土材料依預期速率劣化
- 3 地下水流場沿預期路徑向外傳輸，核種依擴散、平流和吸附等作用逐漸遷移。

設計情節為封閉後安全評估的主情節，用於檢驗在「最合理預期」條件下，處置系統是否具備長期防護能力。

(二) 替代情節

替代情節用於評估在偏不利、但仍具合理可能性的條件下，處置系統是否仍能維持安全功能。替代情節包括以下三類：

1. 氣候暖化影響提早結束並進入冰期情節

此情節假設氣候暖化若較預期提前結束，使全球氣候重新進入冰期循環，將使降雨量、海平面、蒸發量與水文條件的變化與參考演化不同，進而影響地下水補注、流向與流速。此情

節用於檢驗在較為不利的氣候變化下，處置系統的核種遷移行為是否仍可維持在可接受範圍。

- (1) 氣溫與降雨量因進入冰期而下降，地下水補注量隨之改變：流場條件與設計情節不同。
- (2) 海平面下降使地下水邊界條件改變：地下水流動路徑與水力坡度可能因此調整。
- (3) 地下水流場速度與傳輸方向改變：長期地下水流路徑可能縮短或改變。

此情節代表較不利的自然環境變化，用以檢驗系統在不同氣候演化軌跡下的穩健性。

2. 地震情節

地震情節考量地震可能使工程障壁在封閉後的早期便受到擾動，造成處置窖產生裂縫並隨時間擴大，使混凝土障壁的完整性與遲滯能力較設計情節提前下降。此狀況將使水流更容易穿透工程障壁並形成較早的遷移路徑，用以反映偏不利自然事件對處置系統的潛在影響。

- (1) 地震作用使處置窖在封閉後初期即形成裂縫：裂縫隨時間增加，使混凝土障壁的結構完整性降低。
- (2) 混凝土孔隙率、滲透性與有效擴散係數提前升高：工程障壁的阻水與遲滯功能因裂縫增加而提早劣化。
- (3) 地下水可較早穿透障壁並形成偏快的遷移通道：核種可能在此條件下比設計情節更早進入水流系統。

地震情節作為替代情境，用於檢驗工程障壁在地震造成的提前劣化下，處置系統是否仍能維持長期安全裕度。混凝土窖體局部裂縫產生

3. 單一工程障壁失效情節

在縱深防禦的安全理念下，低放射性廢棄物處置場採多重障壁系統，不能依賴單一障壁確保安全。當某一障壁因自然或

人為影響而喪失效能時，其餘障壁能分擔功能、減緩核種釋出。因此，單一工程障壁失效情節以設計情節為基礎，每次僅假設一個障壁單元於封閉後即處於最不利狀態，用以展示多重障壁系統並非依賴單一障壁即可達成長期安全。

(1) 處置窖失效

假設水泥漿體完全劣化，只剩粗細粒料。由於粗細粒料吸附性差，視為不具吸附功能。

(2) 回填層失效

與處置窖相同，假設材料完全劣化至僅剩粗細粒料。阻水能力與對核種的吸附作用大幅降低。

(3) 阻水層失效

假設乾密度由設計值 $1,800 \text{ kg/m}^3$ 降至 $1,400 \text{ kg/m}^3$ 。水力傳導係數放大 100 倍，阻水能力大幅降低。

(三) 人類無意入侵情節

人類無意入侵情節假設主動監管結束後發生地質鑽探穿越處置區，使人員接觸廢棄物而產生輻射曝露。達仁鄉與烏坵鄉建議候選場址處置深度均大於 70 公尺，鑽探入侵機率低，且依 1 mSv 判定基準，封閉後 50 年入侵曝露即低於標準，故主動監管期限採 50 年。本計畫不再評估鑽探人員劑量，而是分析封閉後 50 年發生鑽探時，廢棄物快速釋出對關鍵群體的影響。

6.2.2 評估模式與參數設定

封閉後安全評估以 GoldSim (GoldSim Technology Group LLC, 2018, p.1~p.1175) 進行模擬與分析。如圖 6.2-1，核種傳輸分析以一個處置窖為分析單元，將廢棄物、盛裝容器與填充層視為整合的廢棄物體，建立源項、工程障壁單元、地質圈與生物圈四大部分的劑量評估架構。

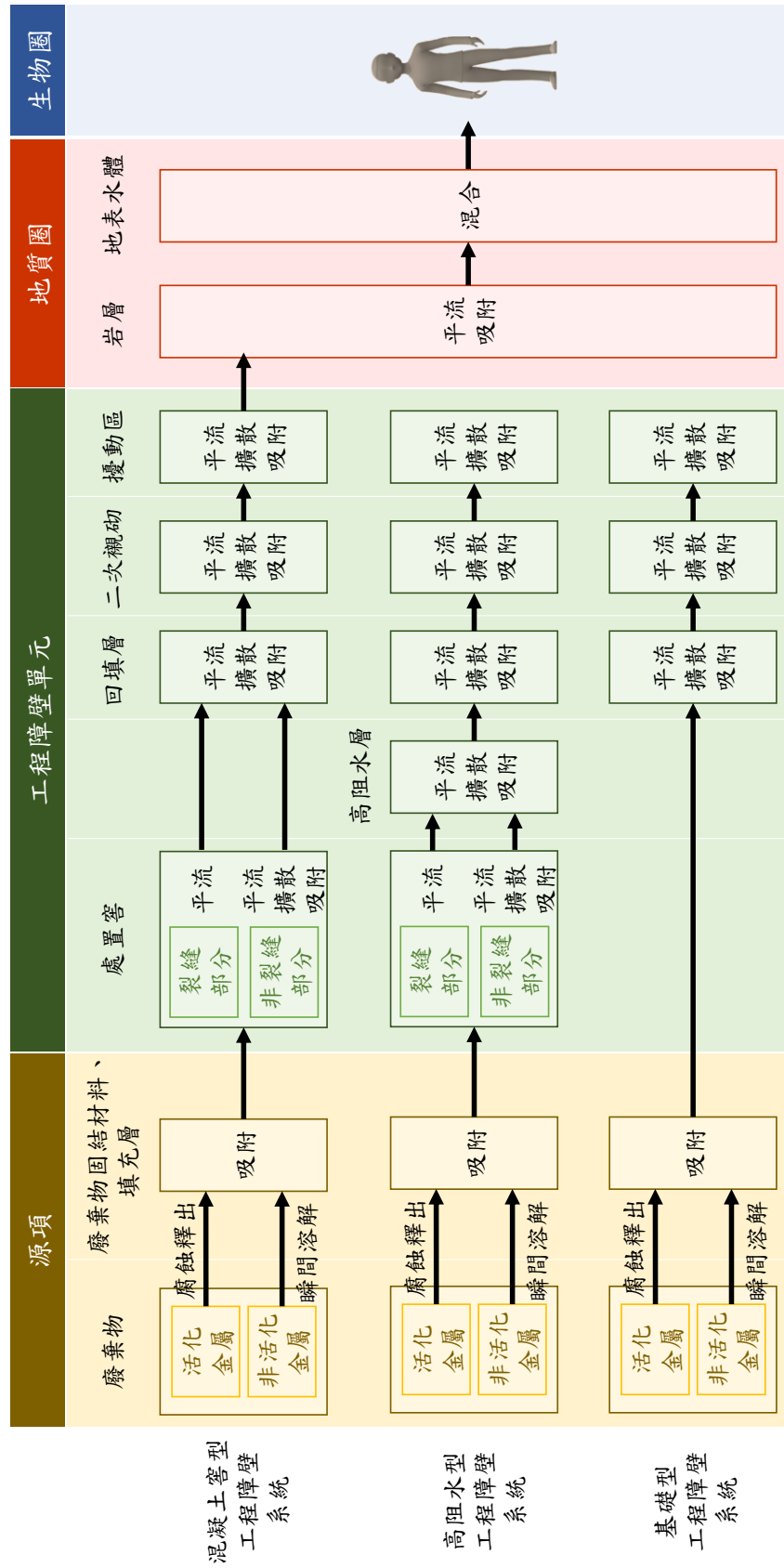


圖 6.2-1 處置設施之核種傳輸概念模型

一、源項

1. 廢棄物單元材料設定

次地表處置設施共設定 19 種廢棄物單元，如表 6.2-2 所示。
廢棄物單元尺寸及其內含的盛裝容器數量以及其材料參數，分別如表 6.2-3 與表 6.2-4 所示。

表 6.2-2 次地表處置設施之廢棄物特性設定

	工程障壁系統	盛裝容器	廢棄物分類	代表清單
1	基礎型	55 加侖桶	A0 類	綜合廢棄物
2		HPCC	A0 類	濕性(樹脂)廢棄物
3			A1 類	
4		T-Box	A0 類	活化金屬廢棄物
5				污染金屬廢棄物
6			A1 類	活化金屬廢棄物
7				污染金屬廢棄物
8			B 類	活化金屬廢棄物
9				污染金屬廢棄物
10	混凝土窖型	55 加侖桶	A1 類	綜合廢棄物
11			B 類	
12			CS 類	
13		HPCC	B 類	濕性(樹脂)廢棄物
14			CS 類	
15		T-Box	CS 類	活化金屬廢棄物
16				污染金屬廢棄物
17	高阻水型	55 加侖桶	CL 類	綜合廢棄物
18		T-Box	CL 類	活化金屬廢棄物
19				污染金屬廢棄物

表 6.2-3 次地表處置設施廢棄物單元尺寸與盛裝容器數量

工程障壁系統	55 加侖桶	HPCC	T-Box
基礎型	(L)16.2 m、 (W)8.4 m、(H)5.4 m	(L)16.2 m、 (W)7.2 m、(H)5.4 m	(L)16.2 m、 (W)7.4 m、(H)3.7 m
	2,160 桶	774 桶	64 箱
混凝土窖型	(L)15.2 m、(W)7.54 m、(H)4.9 m		(L)15.2 m、 (W)5.75 m、(H)4.1 m
	1,500 桶	544 桶	42 箱
高阻水型	(L)15.2 m (W)5.6 m、(H)4.5 m	-	(L)15.2 m、 (W)5.75 m、(H)2.75 m
	900 桶	-	21 箱

表 6.2-4 次地表處置設施廢棄物單元之材料參數

廢棄物單元	乾密度(kg/m ³)	孔隙率	曲折度 (Tortuosity)
基礎型之 55 加侖桶	1,833	0.33	2.09
基礎型之 HPCC	2,782	0.13	5.54
基礎型之 T-Box	4,702	0.15	4.70
混凝土窖型之 55 加侖桶	1,830	0.32	2.17
混凝土窖型之 HPCC	2,517	0.16	4.28
混凝土窖型之 T-Box	3,917	0.18	3.89
高阻水型之 55 加侖桶	1,826	0.32	2.19
高阻水型之 T-Box	3,371	0.19	3.16

2. 核種釋出率設定

核種釋出率的設定依照廢棄物的特性，大致可分為兩大類，分別為活化金屬廢棄物和非活化金屬廢棄物。保守假設非活化金屬廢棄物所含核種於處置場封閉時瞬間完全溶解於水中；而達仁鄉與烏坵鄉建議候選場址之活化金屬廢棄物腐蝕釋出率，分別為 4.23×10^{-4} 1/yr 與 1.03×10^{-3} 1/yr。

3. 容器失效設定

達仁鄉與烏坵鄉建議候選場址各容器失效設定如表 6.2-5 與表 6.2-6 所示。

表 6.2-5 達仁鄉建議候選場址設計情節之盛裝容器圍阻功能有效性設定

盛裝容器		圍阻功能開始失效	圍阻功能完全失效
55 加侖桶		-	處置場封閉後 0 年
HPCC		-	處置場封閉後 40 年
T-Box	T2~T4	處置場封閉後 970 年	處置場封閉後 3,840 年
	T5	處置場封閉後 530 年	處置場封閉後 880 年

表 6.2-6 烏坵鄉建議候選場址設計情節之盛裝容器圍阻功能有效性設定

盛裝容器		圍阻功能開始失效	圍阻功能完全失效
55 加侖桶		-	處置場封閉後 0 年
HPCC		-	處置場封閉後 40 年
T-Box	T2~T4	處置場封閉後 520 年	處置場封閉後 2,070 年
	T5	處置場封閉後 280 年	處置場封閉後 470 年

二、工程障壁單元

1. 工程障壁單元材料參數設定

達仁鄉建議候選場址工程障壁單元之孔隙率、有效擴散係數、水力傳導係數、乾密度、曲折度等材料參數分別如表 6.2-7 至表 6.2-11 所示。

表 6.2-7 達仁鄉建議候選場址混凝土障壁單元孔隙率設定

處置場封閉後 時間(年)	混凝土窖型處置窖 (非裂縫部分)	高阻水型處置窖 (非裂縫部分)	回填層、基礎層、 二次襯砌
0	0.2	0.2	0.35
100	0.2	0.2	0.352
300	0.201	0.2	0.354
500	0.201	0.201	0.355
700	0.21	0.208	0.357
1,000	0.21	0.208	0.358
1,500	0.211	0.208	0.36
5,000	0.214	0.211	0.37
20,000	0.221	0.215	0.384

表 6.2-8 達仁鄉建議候選場址混凝土障壁單元有效擴散係數設定

單位： m^2/s

處置場封閉後 時間(年)	混凝土窖型處置窖 (非裂縫部分)	高阻水型處置窖 (非裂縫部分)	回填層、基礎層、 二次襯砌
0	1.0×10^{-12}	1.0×10^{-12}	7.0×10^{-11}
100	1.0×10^{-12}	1.0×10^{-12}	7.0×10^{-11}
300	1.0×10^{-12}	1.0×10^{-12}	7.0×10^{-11}
500	1.0×10^{-12}	1.0×10^{-12}	7.0×10^{-11}
700	1.2×10^{-12}	1.2×10^{-12}	7.0×10^{-11}
1,000	1.2×10^{-12}	1.2×10^{-12}	7.1×10^{-11}
1,500	1.2×10^{-12}	1.2×10^{-12}	7.2×10^{-11}
5,000	1.3×10^{-12}	1.2×10^{-12}	7.6×10^{-11}
20,000	1.5×10^{-12}	1.3×10^{-12}	8.3×10^{-11}

表 6.2-9 達仁鄉建議候選場址工程障壁系統的水力傳導係數設定

單位：m/s

低放處置 場封閉後 經過時間 (年)	混凝土窖 型處置坑 道處置窖	高阻水型 處置坑道 處置窖	阻水層	回填層	二次襯砌	擾動區
0	1.0×10^{-13}	1.0×10^{-13}	1.0×10^{-13}	3.0×10^{-10}	3.0×10^{-10}	1.0×10^{-7}
100	1.3×10^{-13}	1.3×10^{-13}	1.0×10^{-13}	3.2×10^{-10}	3.2×10^{-10}	1.0×10^{-7}
300	1.4×10^{-13}	1.3×10^{-13}	1.0×10^{-13}	3.3×10^{-10}	3.3×10^{-10}	1.0×10^{-7}
500	1.4×10^{-13}	1.4×10^{-13}	1.0×10^{-13}	3.4×10^{-10}	3.4×10^{-10}	1.0×10^{-7}
700	1.9×10^{-13}	1.8×10^{-13}	1.0×10^{-13}	3.5×10^{-10}	3.5×10^{-10}	1.0×10^{-7}
1,000	1.9×10^{-13}	1.8×10^{-13}	1.0×10^{-13}	3.6×10^{-10}	3.6×10^{-10}	1.0×10^{-7}
1,500	2.0×10^{-13}	1.8×10^{-13}	1.0×10^{-13}	3.7×10^{-10}	3.7×10^{-10}	1.0×10^{-7}
5,000	2.2×10^{-13}	2.0×10^{-13}	1.0×10^{-13}	4.5×10^{-10}	4.5×10^{-10}	1.0×10^{-7}
20,000	2.8×10^{-13}	2.3×10^{-13}	1.0×10^{-13}	5.9×10^{-10}	5.9×10^{-10}	1.0×10^{-7}

表 6.2-10 達仁鄉建議候選場址工程障壁系統之乾密度參數設定

單位：kg/m³

低放處置 場封閉後 經過時間 (年)	混凝土窖 型處置窖	高阻水型 處置窖	阻水層	回填層、 基礎層	二次襯砌
0	2,200.6	2,200.6	1,900.3	1,751.1	1,851.1
100	2,200.6	2,200.6	1,900.3	1,749.1	1,849.1
300	2,199.6	2,200.6	1,900.3	1,747.1	1,847.1
700	2,199.6	2,199.6	1,900.3	1,744.1	1,844.1
1,000	2,199.6	2,199.6	1,900.3	1,743.1	1,843.1
2,000	2,198.6	2,198.6	1,900.3	1,740.1	1,840.1
4,000	2,196.6	2,197.6	1,900.3	1,734.1	1,834.1
10,000	2,192.6	2,195.6	1,900.3	1,723.1	1,823.1

表 6.2-11 達仁鄉建議候選場址工程障壁系統曲折度參數設定

低放處置場 封閉後經過 時間(年)	混凝土窖型 處置窖	高阻水型 處置窖	阻水層	回填層、 基礎層	二次襯砌
0	5.01×10^{-3}	5.01×10^{-3}	2.0	1.92×10^{-1}	1.92×10^{-1}
100	5.01×10^{-3}	5.01×10^{-3}	2.0	1.94×10^{-1}	1.94×10^{-1}
300	5.08×10^{-3}	5.01×10^{-3}	2.0	1.95×10^{-1}	1.95×10^{-1}
700	5.08×10^{-3}	5.08×10^{-3}	2.0	1.97×10^{-1}	1.97×10^{-1}
1,000	5.08×10^{-3}	5.08×10^{-3}	2.0	1.98×10^{-1}	1.98×10^{-1}
2,000	5.15×10^{-3}	5.15×10^{-3}	2.0	2.00×10^{-1}	2.00×10^{-1}
4,000	5.28×10^{-3}	5.21×10^{-3}	2.0	2.04×10^{-1}	2.04×10^{-1}
10,000	5.57×10^{-3}	5.35×10^{-3}	2.0	2.11×10^{-1}	2.11×10^{-1}

烏坵鄉建議候選場址工程障壁單元之孔隙率、有效擴散係數、水力傳導係數、乾密度、曲折度等材料參數分別如表 6.2-12 至表 6.2-16 所示。

表 6.2-12 烏坵鄉建議候選場址混凝土障壁單元孔隙率設定

處置場封閉後 時間(年)	混凝土窖型處置窖 (非裂縫部分)	高阻水型處置窖 (非裂縫部分)	回填層、基礎層
0	0.200	0.200	0.350
100	0.208	0.207	0.350
300	0.207	0.206	0.351
500	0.207	0.206	0.353
700	0.208	0.206	0.354
1,000	0.209	0.207	0.359
1,500	0.208	0.207	0.367
5,000	0.211	0.209	0.386
20,000	0.233	0.218	0.403

表 6.2-13 烏坵鄉建議候選場址混凝土障壁單元有效擴散係數設定

單位：m²/s

處置場封閉後 時間(年)	混凝土窖型處置窖 (非裂縫部分)	高阻水型處置窖 (非裂縫部分)	回填層、基礎層
0	1.0×10^{-12}	1.0×10^{-12}	7.0×10^{-11}
100	1.2×10^{-12}	1.1×10^{-12}	7.0×10^{-11}
300	1.1×10^{-12}	1.1×10^{-12}	7.0×10^{-11}
500	1.1×10^{-12}	1.1×10^{-12}	7.0×10^{-11}
700	1.2×10^{-12}	1.1×10^{-12}	7.0×10^{-11}
1,000	1.2×10^{-12}	1.1×10^{-12}	7.1×10^{-11}
1,500	1.2×10^{-12}	1.1×10^{-12}	7.5×10^{-11}
5,000	1.2×10^{-12}	1.2×10^{-12}	8.4×10^{-11}
20,000	1.8×10^{-12}	1.4×10^{-12}	9.2×10^{-11}

表 6.2-14 烏坵鄉建議候選場址工程障壁系統水力傳導係數設定

單位：m/s

低放處置場 封閉後經過 時間(年)	混凝土窖型 處置坑道 處置窖	高阻水型 處置坑道 處置窖	阻水層	回填層	擾動區
0	1.0×10^{-13}	1.0×10^{-13}	1.0×10^{-13}	3.0×10^{-10}	1.0×10^{-8}
100	1.8×10^{-13}	1.7×10^{-13}	1.0×10^{-13}	3.0×10^{-10}	1.0×10^{-8}
300	1.7×10^{-13}	1.6×10^{-13}	1.0×10^{-13}	3.1×10^{-10}	1.0×10^{-8}
500	1.7×10^{-13}	1.6×10^{-13}	1.0×10^{-13}	3.2×10^{-10}	1.0×10^{-8}
700	1.8×10^{-13}	1.6×10^{-13}	1.0×10^{-13}	3.3×10^{-10}	1.0×10^{-8}
1,000	1.8×10^{-13}	1.7×10^{-13}	1.0×10^{-13}	3.7×10^{-10}	1.0×10^{-8}
1,500	1.8×10^{-13}	1.7×10^{-13}	1.0×10^{-13}	4.3×10^{-10}	1.0×10^{-8}
5,000	2.0×10^{-13}	1.8×10^{-13}	1.0×10^{-13}	6.1×10^{-10}	1.0×10^{-8}
20,000	4.1×10^{-13}	2.5×10^{-13}	1.0×10^{-13}	8.3×10^{-10}	1.0×10^{-8}

表 6.2-15 烏坵鄉建議候選場址工程障壁系統乾密度參數設定

單位：kg/m³

低放處置場封 閉後經過時間 (年)	混凝土窖型 處置窖	高阻水型 處置窖	阻水層	回填層、 基礎層
0	2,051.1	2,200.6	1,900.3	1,900.6
100	2,051.1	2,201.6	1,900.3	1,900.6

低放處置場封閉後經過時間 (年)	混凝土窖型處置窖	高阻水型處置窖	阻水層	回填層、基礎層
300	2,050.1	2,202.6	1,900.3	1,901.6
700	2,047.1	2,201.6	1,900.3	1,901.6
1,000	2,042.1	2,200.6	1,900.3	1,900.6
2,000	2,028.1	2,200.6	1,900.3	1,900.6
4,000	2,019.1	2,199.1	1,900.3	1,899.1
10,000	2,007.2	2,188.6	1,900.3	1,896.6

表 6.2-16 烏坵鄉建議候選場址工程障壁系統曲折度參數設定

低放處置場封閉後經過時間 (年)	混凝土窖型處置窖	高阻水型處置窖	阻水層	回填層、基礎層
0	2.86×10^{-3}	5.01×10^{-3}	2.0	3.36×10^{-1}
100	2.81×10^{-3}	5.03×10^{-3}	2.0	3.36×10^{-1}
300	2.75×10^{-3}	4.97×10^{-3}	2.0	3.40×10^{-1}
700	2.78×10^{-3}	4.94×10^{-3}	2.0	3.47×10^{-1}
1,000	2.79×10^{-3}	5.01×10^{-3}	2.0	3.56×10^{-1}
2,000	2.69×10^{-3}	5.01×10^{-3}	2.0	3.87×10^{-1}
4,000	2.70×10^{-3}	5.11×10^{-3}	2.0	4.05×10^{-1}
10,000	3.15×10^{-3}	5.08×10^{-3}	2.0	4.29×10^{-1}

2. 工程障壁單元核種傳輸參數

達仁鄉建議候選場址通過各工程障壁單元之流量如表 6.2-17 至表 6.2-20 所示。

表 6.2-17 達仁鄉建議候選場址設計情節之通過混凝土障壁單元流量設定(基礎型工程障壁系統)

單位：m³/yr

處置場封閉後時間 (年)	55 加侖桶(X 區)			55 加侖桶(Y 區)		
	廢棄物	回填層、 基礎層	二次襯砌	廢棄物	回填層、 基礎層	二次襯砌
0	1.139×10 ⁻¹	1.301×10 ⁻¹	1.315×10 ⁻¹	8.487×10 ⁻²	1.003×10 ⁻¹	1.026×10 ⁻¹
100	1.139×10 ⁻¹	1.312×10 ⁻¹	1.326×10 ⁻¹	8.483×10 ⁻²	1.013×10 ⁻¹	1.038×10 ⁻¹
300	1.139×10 ⁻¹	1.318×10 ⁻¹	1.332×10 ⁻¹	8.474×10 ⁻²	1.017×10 ⁻¹	1.042×10 ⁻¹
500	1.139×10 ⁻¹	1.323×10 ⁻¹	1.338×10 ⁻¹	8.466×10 ⁻²	1.021×10 ⁻¹	1.047×10 ⁻¹
700	1.139×10 ⁻¹	1.329×10 ⁻¹	1.344×10 ⁻¹	8.457×10 ⁻²	1.025×10 ⁻¹	1.052×10 ⁻¹
1,000	1.140×10 ⁻¹	1.334×10 ⁻¹	1.360×10 ⁻¹	8.445×10 ⁻²	1.029×10 ⁻¹	1.057×10 ⁻¹
2,000	1.140×10 ⁻¹	1.337×10 ⁻¹	1.363×10 ⁻¹	8.403×10 ⁻²	1.035×10 ⁻¹	1.064×10 ⁻¹
4,000	1.140×10 ⁻¹	1.371×10 ⁻¹	1.390×10 ⁻¹	9.463×10 ⁻²	1.191×10 ⁻¹	1.228×10 ⁻¹
7,000	1.142×10 ⁻¹	1.396×10 ⁻¹	1.417×10 ⁻¹	8.404×10 ⁻²	1.079×10 ⁻¹	1.115×10 ⁻¹
10,000	1.144×10 ⁻¹	1.414×10 ⁻¹	1.436×10 ⁻¹	8.405×10 ⁻²	1.094×10 ⁻¹	1.132×10 ⁻¹
處置場封閉後時間 (年)	HPCC(X 區)			HPCC(Y 區)		
	廢棄物	回填層、 基礎層	二次襯砌	廢棄物	回填層、 基礎層	二次襯砌
0	8.164×10 ⁻⁵	2.734×10 ⁻²	3.575×10 ⁻²	1.279×10 ⁻⁴	4.208×10 ⁻²	4.842×10 ⁻²
100	8.165×10 ⁻⁵	2.916×10 ⁻²	3.813×10 ⁻²	1.278×10 ⁻⁴	4.486×10 ⁻²	5.161×10 ⁻²
300	8.165×10 ⁻⁵	3.008×10 ⁻²	3.932×10 ⁻²	1.277×10 ⁻⁴	4.621×10 ⁻²	5.317×10 ⁻²
500	8.166×10 ⁻⁵	3.099×10 ⁻²	4.051×10 ⁻²	1.276×10 ⁻⁴	4.756×10 ⁻²	5.472×10 ⁻²
700	8.167×10 ⁻⁵	3.190×10 ⁻²	4.170×10 ⁻²	1.274×10 ⁻⁴	4.890×10 ⁻²	5.627×10 ⁻²
1000	8.168×10 ⁻⁵	3.281×10 ⁻²	4.290×10 ⁻²	1.273×10 ⁻⁴	5.022×10 ⁻²	5.779×10 ⁻²
2,000	8.172×10 ⁻⁵	3.478×10 ⁻²	4.547×10 ⁻²	1.266×10 ⁻⁴	5.294×10 ⁻²	6.091×10 ⁻²
4,000	8.172×10 ⁻⁵	3.894×10 ⁻²	5.091×10 ⁻²	1.426×10 ⁻⁴	6.675×10 ⁻²	7.681×10 ⁻²
7,000	8.186×10 ⁻⁵	4.279×10 ⁻²	5.595×10 ⁻²	1.266×10 ⁻⁴	6.503×10 ⁻²	7.483×10 ⁻²
10,000	8.200×10 ⁻⁵	4.541×10 ⁻²	5.938×10 ⁻²	1.267×10 ⁻⁴	6.892×10 ⁻²	7.931×10 ⁻²

處置場封閉後時間 (年)	T-Box(X 區)			T-Box(Y 區)		
	廢棄物	回填層、 基礎層	二次襯砌	廢棄物	回填層、 基礎層	二次襯砌
0	1.252×10^{-8}	2.965×10^{-3}	1.304×10^{-2}	1.016×10^{-8}	2.150×10^{-3}	1.123×10^{-2}
100	1.252×10^{-8}	3.163×10^{-3}	1.391×10^{-2}	1.015×10^{-8}	2.292×10^{-3}	1.198×10^{-2}
300	1.252×10^{-8}	3.262×10^{-3}	1.435×10^{-2}	1.014×10^{-8}	2.361×10^{-3}	1.234×10^{-2}
520	1.252×10^{-8}	3.361×10^{-3}	1.479×10^{-2}	1.013×10^{-8}	2.430×10^{-3}	1.270×10^{-2}
530	1.252×10^{-8}	3.361×10^{-3}	1.479×10^{-2}	1.013×10^{-8}	2.430×10^{-3}	1.270×10^{-2}
700	1.252×10^{-8}	3.460×10^{-3}	1.522×10^{-2}	1.012×10^{-8}	2.499×10^{-3}	1.306×10^{-2}
880	1.253×10^{-8}	3.522×10^{-3}	1.549×10^{-2}	1.006×10^{-8}	2.526×10^{-3}	1.320×10^{-2}
2,000	1.253×10^{-8}	3.773×10^{-3}	1.660×10^{-2}	1.006×10^{-8}	2.706×10^{-3}	1.414×10^{-2}
7,000	1.255×10^{-8}	4.644×10^{-3}	2.043×10^{-2}	1.006×10^{-8}	3.326×10^{-3}	1.738×10^{-2}
10,000	1.257×10^{-8}	4.930×10^{-3}	2.169×10^{-2}	1.006×10^{-8}	3.525×10^{-3}	1.842×10^{-2}

表 6.2-18 達仁鄉建議候選場址設計情節之通過混凝土障壁單元流量設定(混凝土窖型工程障壁系統)

單位：m³/yr

處置場封閉後時間(年)	55 加侖桶、HPCC(X 區)				
	廢棄物	處置窖		回填層、 基礎層	二次襯砌
		非裂縫部分	裂縫部分		
0	4.855×10^{-5}	7.747×10^{-5}	0	1.787×10^{-2}	2.376×10^{-2}
100	4.856×10^{-5}	8.615×10^{-5}	0	1.907×10^{-2}	2.535×10^{-2}
300	4.856×10^{-5}	8.905×10^{-5}	0	1.967×10^{-2}	2.615×10^{-2}
500	4.856×10^{-5}	8.906×10^{-5}	0	2.026×10^{-2}	2.694×10^{-2}
700	4.857×10^{-5}	1.035×10^{-4}	0	2.087×10^{-2}	2.775×10^{-2}
1,000	2.606×10^{-3}	1.014×10^{-4}	2.558×10^{-3}	2.402×10^{-2}	3.110×10^{-2}
2,000	6.446×10^{-3}	1.016×10^{-4}	6.398×10^{-3}	2.914×10^{-2}	3.664×10^{-2}
4,000	1.284×10^{-2}	9.884×10^{-5}	1.280×10^{-2}	3.826×10^{-2}	4.665×10^{-2}
7,000	1.287×10^{-2}	1.022×10^{-4}	1.282×10^{-2}	4.079×10^{-2}	5.002×10^{-2}
10,000	1.289×10^{-2}	1.052×10^{-4}	1.284×10^{-2}	4.253×10^{-2}	5.233×10^{-2}

處置場封閉 後時間(年)	55 加侖桶、HPCC(Y 區)				
	廢棄物	處置窖		回填層、 基礎層	二次襯砌
		非裂縫部分	裂縫部分		
0	7.622×10^{-5}	7.960×10^{-5}	0	2.773×10^{-2}	3.222×10^{-2}
100	7.618×10^{-5}	8.057×10^{-5}	0	2.956×10^{-2}	3.434×10^{-2}
300	7.611×10^{-5}	8.083×10^{-5}	0	3.045×10^{-2}	3.538×10^{-2}
500	7.603×10^{-5}	8.075×10^{-5}	0	3.134×10^{-2}	3.641×10^{-2}
700	7.595×10^{-5}	8.235×10^{-5}	0	3.223×10^{-2}	3.745×10^{-2}
1,000	2.360×10^{-3}	8.198×10^{-5}	2.284×10^{-3}	3.539×10^{-2}	4.074×10^{-2}
2,000	5.757×10^{-3}	8.159×10^{-5}	5.681×10^{-3}	4.057×10^{-2}	4.622×10^{-2}
4,000	1.288×10^{-2}	9.153×10^{-5}	1.280×10^{-2}	5.679×10^{-2}	6.391×10^{-2}
7,000	1.144×10^{-2}	8.166×10^{-5}	1.136×10^{-2}	5.423×10^{-2}	6.116×10^{-2}
10,000	1.144×10^{-2}	8.200×10^{-5}	1.137×10^{-2}	5.679×10^{-2}	6.414×10^{-2}
處置場封閉 後時間(年)	HPCC(X 區)				
	廢棄物	處置窖		回填層、 基礎層	二次襯砌
		非裂縫部分	裂縫部分		
0	4.855×10^{-5}	7.747×10^{-5}	0	1.787×10^{-2}	2.376×10^{-2}
100	4.856×10^{-5}	8.615×10^{-5}	0	1.907×10^{-2}	2.535×10^{-2}
300	4.856×10^{-5}	8.905×10^{-5}	0	1.967×10^{-2}	2.615×10^{-2}
500	4.856×10^{-5}	8.906×10^{-5}	0	2.026×10^{-2}	2.694×10^{-2}
700	4.857×10^{-5}	1.035×10^{-4}	0	2.087×10^{-2}	2.775×10^{-2}
1,000	2.606×10^{-3}	1.014×10^{-4}	2.558×10^{-3}	2.402×10^{-2}	3.110×10^{-2}
2,000	6.446×10^{-3}	1.016×10^{-4}	6.398×10^{-3}	2.914×10^{-2}	3.664×10^{-2}
4,000	1.284×10^{-2}	9.884×10^{-5}	1.280×10^{-2}	3.826×10^{-2}	4.665×10^{-2}
7,000	1.287×10^{-2}	1.022×10^{-4}	1.282×10^{-2}	4.079×10^{-2}	5.002×10^{-2}
10,000	1.289×10^{-2}	1.052×10^{-4}	1.284×10^{-2}	4.253×10^{-2}	5.233×10^{-2}

處置場封閉 後時間(年)	HPCC(Y 區)				
	廢棄物	處置窖		回填層、 基礎層	二次襯砌
		非裂縫部分	裂縫部分		
0	7.622×10^{-5}	7.960×10^{-5}	0	2.773×10^{-2}	3.222×10^{-2}
100	7.618×10^{-5}	8.057×10^{-5}	0	2.956×10^{-2}	3.434×10^{-2}
300	7.611×10^{-5}	8.083×10^{-5}	0	3.045×10^{-2}	3.538×10^{-2}
500	7.603×10^{-5}	8.075×10^{-5}	0	3.134×10^{-2}	3.641×10^{-2}
700	7.595×10^{-5}	8.235×10^{-5}	0	3.223×10^{-2}	3.745×10^{-2}
1,000	2.360×10^{-3}	8.198×10^{-5}	2.284×10^{-3}	3.539×10^{-2}	4.074×10^{-2}
2,000	5.757×10^{-3}	8.159×10^{-5}	5.681×10^{-3}	4.057×10^{-2}	4.622×10^{-2}
4,000	1.288×10^{-2}	9.153×10^{-5}	1.280×10^{-2}	5.679×10^{-2}	6.391×10^{-2}
7,000	1.144×10^{-2}	8.166×10^{-5}	1.136×10^{-2}	5.423×10^{-2}	6.116×10^{-2}
10,000	1.144×10^{-2}	8.200×10^{-5}	1.137×10^{-2}	5.679×10^{-2}	6.414×10^{-2}
處置場封閉 後時間(年)	T-Box(X 區)				
	廢棄物	處置窖		回填層、 基礎層	二次襯砌
		非裂縫部分	裂縫部分		
0	3.163×10^{-6}	3.289×10^{-6}	0	1.436×10^{-3}	8.458×10^{-3}
100	3.164×10^{-6}	3.327×10^{-6}	0	1.532×10^{-3}	9.022×10^{-3}
300	3.164×10^{-6}	3.340×10^{-6}	0	1.580×10^{-3}	9.305×10^{-3}
500	3.164×10^{-6}	3.341×10^{-6}	0	1.628×10^{-3}	9.588×10^{-3}
960	3.165×10^{-6}	3.404×10^{-6}	0	1.717×10^{-3}	1.012×10^{-2}
970	2.561×10^{-3}	3.395×10^{-6}	2.558×10^{-3}	4.277×10^{-3}	1.268×10^{-2}
2,000	6.401×10^{-3}	3.397×10^{-6}	6.398×10^{-3}	8.225×10^{-3}	1.716×10^{-2}
3,840	1.280×10^{-2}	3.384×10^{-6}	1.280×10^{-2}	1.482×10^{-2}	2.475×10^{-2}
7,000	1.282×10^{-2}	3.405×10^{-6}	1.282×10^{-2}	1.506×10^{-2}	2.606×10^{-2}
10,000	1.284×10^{-2}	3.423×10^{-6}	1.284×10^{-2}	1.522×10^{-2}	2.690×10^{-2}

處置場封閉 後時間(年)	T-Box(Y 區)				
	廢棄物	處置窖		回填層、 基礎層	二次襯砌
		非裂縫部分	裂縫部分		
0	2.321×10^{-6}	2.412×10^{-6}	0	1.040×10^{-3}	7.361×10^{-3}
100	2.319×10^{-6}	2.439×10^{-6}	0	1.109×10^{-3}	7.848×10^{-3}
300	2.317×10^{-6}	2.445×10^{-6}	0	1.142×10^{-3}	8.085×10^{-3}
500	2.315×10^{-6}	2.443×10^{-6}	0	1.176×10^{-3}	8.322×10^{-3}
960	2.310×10^{-6}	2.483×10^{-6}	0	1.237×10^{-3}	8.758×10^{-3}
970	2.286×10^{-3}	2.476×10^{-6}	2.284×10^{-3}	3.522×10^{-3}	1.105×10^{-2}
2,000	5.683×10^{-3}	2.464×10^{-6}	5.681×10^{-3}	6.990×10^{-3}	1.495×10^{-2}
3,840	1.136×10^{-2}	2.455×10^{-6}	1.136×10^{-2}	1.282×10^{-2}	2.165×10^{-2}
7,000	1.137×10^{-2}	2.466×10^{-6}	1.136×10^{-2}	1.297×10^{-2}	2.275×10^{-2}
10,000	1.137×10^{-2}	2.475×10^{-6}	1.137×10^{-2}	1.307×10^{-2}	2.343×10^{-2}

表 6.2-19 達仁鄉建議候選場址設計情節之通過混凝土障壁單元流量設定(高阻水型工程障壁系統)

單位：m³/yr

處置場封閉 後時間(年)	55 加侖桶(Y 區)				
	廢棄物	處置窖		回填層、 基礎層	二次襯砌
		非裂縫部分	裂縫部分		
0	1.911×10^{-5}	2.026×10^{-5}	0	1.346×10^{-2}	8.094×10^{-2}
100	1.911×10^{-5}	2.060×10^{-5}	0	1.436×10^{-2}	8.634×10^{-2}
300	1.911×10^{-5}	2.060×10^{-5}	0	1.481×10^{-2}	8.904×10^{-2}
500	1.911×10^{-5}	2.072×10^{-5}	0	1.526×10^{-2}	9.175×10^{-2}
700	1.911×10^{-5}	2.118×10^{-5}	0	1.571×10^{-2}	9.446×10^{-2}
1,000	1.912×10^{-5}	2.118×10^{-5}	0	1.616×10^{-2}	9.717×10^{-2}
2,000	2.578×10^{-3}	2.114×10^{-5}	2.559×10^{-3}	1.969×10^{-2}	1.056×10^{-1}
4,000	6.417×10^{-3}	2.114×10^{-5}	6.398×10^{-3}	2.571×10^{-2}	1.219×10^{-1}
7,000	1.284×10^{-2}	2.106×10^{-5}	1.282×10^{-2}	3.403×10^{-2}	1.397×10^{-1}
10,000	1.286×10^{-2}	2.115×10^{-5}	1.284×10^{-2}	3.534×10^{-2}	1.475×10^{-1}

處置場封閉後時間(年)	T-Box(Y 區)				
	廢棄物	處置窖		回填層、基礎層	二次襯砌
		非裂縫部分	裂縫部分		
0	8.020×10^{-6}	8.988×10^{-6}	0	1.964×10^{-2}	2.397×10^{-2}
100	2.148×10^{-5}	2.274×10^{-5}	0	1.085×10^{-2}	1.547×10^{-2}
300	2.148×10^{-5}	2.274×10^{-5}	0	1.119×10^{-2}	1.596×10^{-2}
500	2.148×10^{-5}	2.284×10^{-5}	0	1.153×10^{-2}	1.644×10^{-2}
700	2.149×10^{-5}	2.323×10^{-5}	0	1.216×10^{-2}	1.735×10^{-2}
1,000	2.149×10^{-5}	2.323×10^{-5}	0	1.218×10^{-2}	1.736×10^{-2}
2,000	2.150×10^{-5}	2.324×10^{-5}	0	1.222×10^{-2}	1.742×10^{-2}
4,000	6.419×10^{-3}	2.319×10^{-5}	6.398×10^{-3}	2.088×10^{-2}	2.701×10^{-2}
7,000	1.284×10^{-2}	2.314×10^{-5}	1.282×10^{-2}	2.886×10^{-2}	3.565×10^{-2}
10,000	1.286×10^{-2}	2.322×10^{-5}	1.284×10^{-2}	2.986×10^{-2}	3.706×10^{-2}

表 6.2-20 達仁鄉建議候選場址設計情節之膨潤土障壁單元孔隙率、有效擴散係數和通過流量設定

處置場封閉後時間(年)	孔隙率	有效擴散係數(m^2/s)	流量(m^3/yr)	
			處置 55 加侖桶	處置 T-Box
0	0.1	2.0×10^{-10}	2.13×10^{-5}	1.91×10^{-5}
100	0.1	2.0×10^{-10}	2.13×10^{-5}	1.91×10^{-5}
300	0.1	2.0×10^{-10}	2.13×10^{-5}	1.91×10^{-5}
700	0.1	2.0×10^{-10}	2.13×10^{-5}	1.91×10^{-5}
1,000	0.1	2.0×10^{-10}	2.13×10^{-5}	1.91×10^{-5}
2,000	0.1	2.4×10^{-10}	7.25×10^{-4}	6.32×10^{-4}
4,000	0.1	3.3×10^{-10}	1.09×10^{-2}	7.14×10^{-3}
10,000	0.1	6.0×10^{-10}	1.09×10^{-2}	7.14×10^{-3}

烏坵鄉建議候選場址通過各工程障壁單元之流量如表 6.2-21 至表 6.2-24 所示。

表 6.2-21 烏坵鄉建議候選場址設計情節之通過混凝土障壁單元流量設定(基礎型工程障壁系統)

單位： m^3/yr

處置場封閉後時間(年)	55 加侖桶、HPCC	
	廢棄物	回填層、基礎層
0	5.60×10^{-4}	6.27×10^{-4}

處置場封閉後時間(年)	55 加侖桶、HPCC	
	廢棄物	回填層、基礎層
100	5.60×10^{-4}	6.27×10^{-4}
300	5.60×10^{-4}	6.29×10^{-4}
500	5.60×10^{-4}	6.31×10^{-4}
700	5.60×10^{-4}	6.34×10^{-4}
1,000	5.60×10^{-4}	6.43×10^{-4}
2,000	5.60×10^{-4}	6.62×10^{-4}
4,000	5.61×10^{-4}	6.86×10^{-4}
10,000	5.60×10^{-4}	7.03×10^{-4}
處置場封閉後時間(年)	T-Box	
	廢棄物	回填層、基礎層
0	5.60×10^{-4}	6.27×10^{-4}
100	5.60×10^{-4}	6.27×10^{-4}
300	5.60×10^{-4}	6.29×10^{-4}
520	5.60×10^{-4}	6.32×10^{-4}
700	5.60×10^{-4}	6.32×10^{-4}
880	5.60×10^{-4}	6.34×10^{-4}
2,000	5.60×10^{-4}	6.39×10^{-4}
7,000	5.60×10^{-4}	6.62×10^{-4}
10,000	5.60×10^{-4}	7.03×10^{-4}

表 6.2-22 烏坵鄉建議候選場址設計情節之通過混凝土障壁單元流量設定(混凝土窖型工程障壁系統)

單位：m³/yr

處置場封閉後時間(年)	55 加侖桶、HPCC			
	廢棄物	處置窖		回填層、基礎層
		非裂縫部分	裂縫部分	
0	2.17×10^{-7}	2.26×10^{-7}	0	7.20×10^{-5}
100	2.17×10^{-7}	2.34×10^{-7}	0	7.20×10^{-5}
300	1.15×10^{-5}	2.32×10^{-7}	1.13×10^{-5}	8.57×10^{-5}
500	1.71×10^{-5}	2.32×10^{-7}	1.69×10^{-5}	9.37×10^{-5}
700	2.84×10^{-5}	2.32×10^{-7}	2.82×10^{-5}	1.07×10^{-4}
1,000	5.67×10^{-5}	2.31×10^{-7}	5.64×10^{-5}	1.45×10^{-4}
2,000	5.67×10^{-5}	2.31×10^{-7}	5.64×10^{-5}	1.66×10^{-4}
4,000	5.67×10^{-5}	2.32×10^{-7}	5.65×10^{-5}	1.91×10^{-4}
7,000	5.67×10^{-5}	2.34×10^{-7}	5.65×10^{-5}	2.10×10^{-4}
10,000	5.67×10^{-5}	2.37×10^{-7}	5.64×10^{-5}	2.20×10^{-4}
處置場封閉後時間(年)	T-Box			
	廢棄物	處置窖		回填層、基礎層
		非裂縫部分	裂縫部分	
0	1.82×10^{-7}	1.92×10^{-7}	0	1.00×10^{-4}
100	1.82×10^{-7}	2.00×10^{-7}	0	1.00×10^{-4}
300	1.82×10^{-7}	1.99×10^{-7}	0	1.03×10^{-4}
500	1.71×10^{-5}	1.98×10^{-7}	1.69×10^{-5}	1.24×10^{-4}

960	2.84×10^{-5}	1.98×10^{-7}	2.82×10^{-5}	1.50×10^{-4}
970	5.66×10^{-5}	1.97×10^{-7}	5.64×10^{-5}	1.79×10^{-4}
2,000	5.66×10^{-5}	1.97×10^{-7}	5.64×10^{-5}	2.08×10^{-4}
3,840	5.67×10^{-5}	1.98×10^{-7}	5.65×10^{-5}	2.40×10^{-4}
7,000	5.66×10^{-5}	2.01×10^{-7}	5.65×10^{-5}	2.70×10^{-4}
10,000	5.66×10^{-5}	2.04×10^{-7}	5.64×10^{-5}	1.79×10^{-4}

表 6.2-23 烏坵鄉建議候選場址設計情節之通過混凝土障壁單元流量設定(高阻水型工程障壁系統)

單位：m³/yr

處置場封閉後 時間(年)	55 加侖桶			
	廢棄物	處置窖		回填層、基礎層
		非裂縫部分	裂縫部分	
0	9.49×10^{-8}	1.00×10^{-7}	0	4.79×10^{-5}
100	9.49×10^{-8}	1.04×10^{-7}	0	4.79×10^{-5}
300	9.49×10^{-8}	1.27×10^{-7}	0	4.95×10^{-5}
500	9.49×10^{-8}	1.27×10^{-7}	0	5.11×10^{-5}
700	9.49×10^{-8}	1.27×10^{-7}	0	5.27×10^{-5}
1,000	9.49×10^{-8}	1.28×10^{-7}	0	5.91×10^{-5}
2,000	2.83×10^{-5}	1.25×10^{-7}	2.82×10^{-5}	1.01×10^{-4}
4,000	5.66×10^{-5}	1.23×10^{-7}	5.65×10^{-5}	1.46×10^{-4}
7,000	5.66×10^{-5}	1.25×10^{-7}	5.65×10^{-5}	1.59×10^{-4}
10,000	5.65×10^{-5}	1.26×10^{-7}	5.64×10^{-5}	1.66×10^{-4}
處置場封閉後 時間(年)	T-Box			
	廢棄物	處置窖		回填層、基礎層
		非裂縫部分	裂縫部分	
0	6.46×10^{-8}	6.80×10^{-8}	0	6.00×10^{-5}
300	1.73×10^{-7}	1.95×10^{-7}	0	2.94×10^{-5}
960	1.73×10^{-7}	1.95×10^{-7}	0	3.45×10^{-5}
970	1.73×10^{-7}	1.95×10^{-7}	0	3.47×10^{-5}
1,000	1.73×10^{-7}	1.95×10^{-7}	0	3.50×10^{-5}
1,300	1.15×10^{-5}	1.94×10^{-7}	1.13×10^{-5}	4.97×10^{-5}
1,700	2.84×10^{-5}	1.93×10^{-7}	2.82×10^{-5}	6.99×10^{-5}
3,840	5.67×10^{-5}	1.92×10^{-7}	5.65×10^{-5}	1.09×10^{-4}
7,000	5.66×10^{-5}	1.93×10^{-7}	5.65×10^{-5}	1.17×10^{-4}
10,000	5.66×10^{-5}	1.94×10^{-7}	5.64×10^{-5}	1.21×10^{-4}

表 6.2-24 烏坵鄉建議候選場址設計情節之膨潤土障壁單元孔隙率、有效擴散係數和通過流量設定

處置場封閉後 時間(年)	孔隙率	有效擴散係數 (m ² /s)	流量(m ³ /yr)	
			處置 55 加侖桶	處置 T-Box
0	0.1	2.0×10^{-10}	1.05×10^{-7}	1.00×10^{-8}
100	0.1	2.0×10^{-10}	1.05×10^{-7}	1.00×10^{-8}

300	0.1	2.0×10^{-10}	1.05×10^{-7}	1.00×10^{-8}
700	0.1	2.0×10^{-10}	1.05×10^{-7}	1.00×10^{-8}
1,000	0.1	2.0×10^{-10}	1.05×10^{-7}	1.00×10^{-8}
2,000	0.1	2.4×10^{-10}	3.55×10^{-6}	3.40×10^{-7}
4,000	0.1	3.3×10^{-10}	5.28×10^{-5}	3.46×10^{-5}
10,000	0.1	6.0×10^{-10}	5.28×10^{-5}	3.46×10^{-5}

三、地質圈

核種離開工程障壁系統後即進入岩層，並在岩層中受到地下水流場之驅動進入地表水體。達仁鄉建議候選場址之核種則會依處置窖位置不同，於達仁溪、塔瓦溪或太平洋釋出，各處置窖的流出位置分布如圖 6.2-2 所示；烏坵鄉建議候選場址之核種皆於小坵嶼附近釋出。

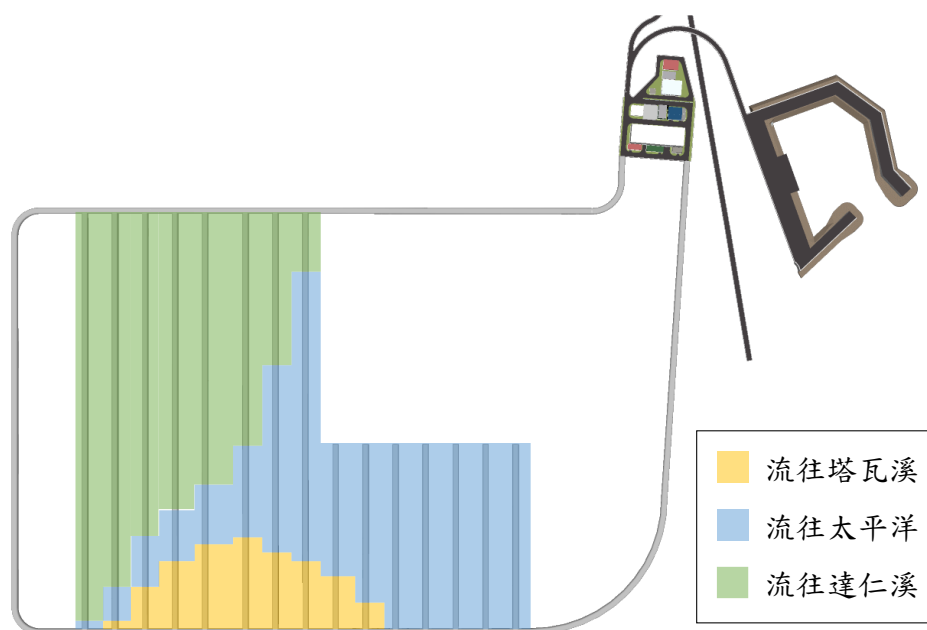


圖 6.2-2 達仁鄉建議候選場址處置窖位置核種遷移出滲區域分佈圖

四、生物圈

(一) 達仁鄉建議候選場址關鍵群體之曝露途徑

位於達仁鄉建議候選場址的關鍵群體，居住在達仁溪和塔瓦溪出海口附近，主要是因利用受污染的河水或海水而造成輻射曝露，其曝露途徑如圖 6.2-3 所示。

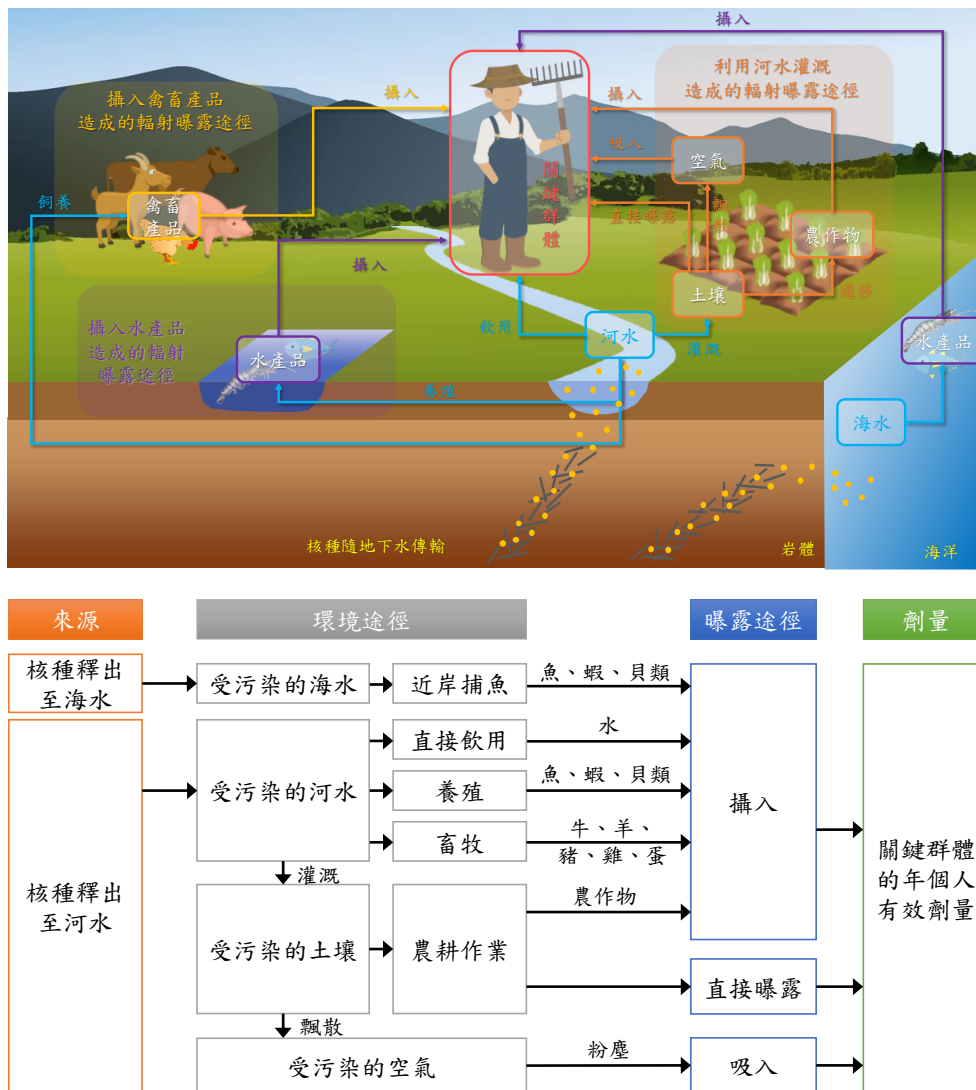


圖 6.2-3 達仁鄉建議候選場址關鍵群體之曝露途徑

(二) 烏坵鄉建議候選場址關鍵群體之曝露途徑

烏坵鄉建議候選場址之關鍵群體居住在小坵嶼上，主要是因利用受污染的海水而造成輻射曝露，其曝露途徑如圖 6.2-4 所示。

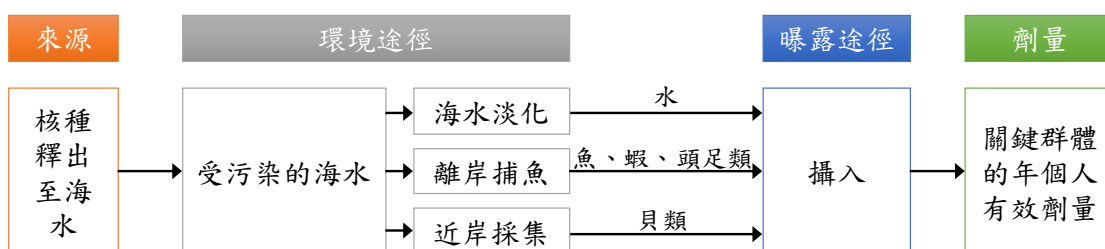
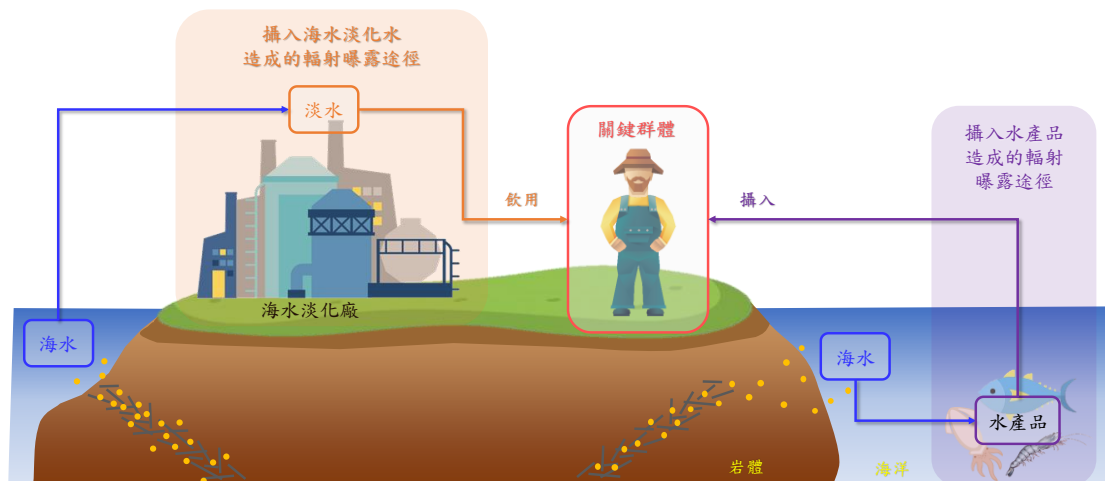


圖 6.2-4 烏坵鄉建議候選場址關鍵群體之曝露途徑

6.2.3 封閉後劑量評估結果

於達仁鄉建議候選場址，達仁溪與塔瓦溪關鍵群體之劑量評估結果如圖 6.2-5 與圖 6.2-6 所示。而烏坵鄉建議候選場址關鍵群體之劑量評估結果如圖 6.2-7 所示。整體而言，各情節下之個人最大年有效劑量均遠低於法規限值 0.25 mSv/yr，顯示系統在設計情節與各替代情節下均能維持足夠之長期防護能力。

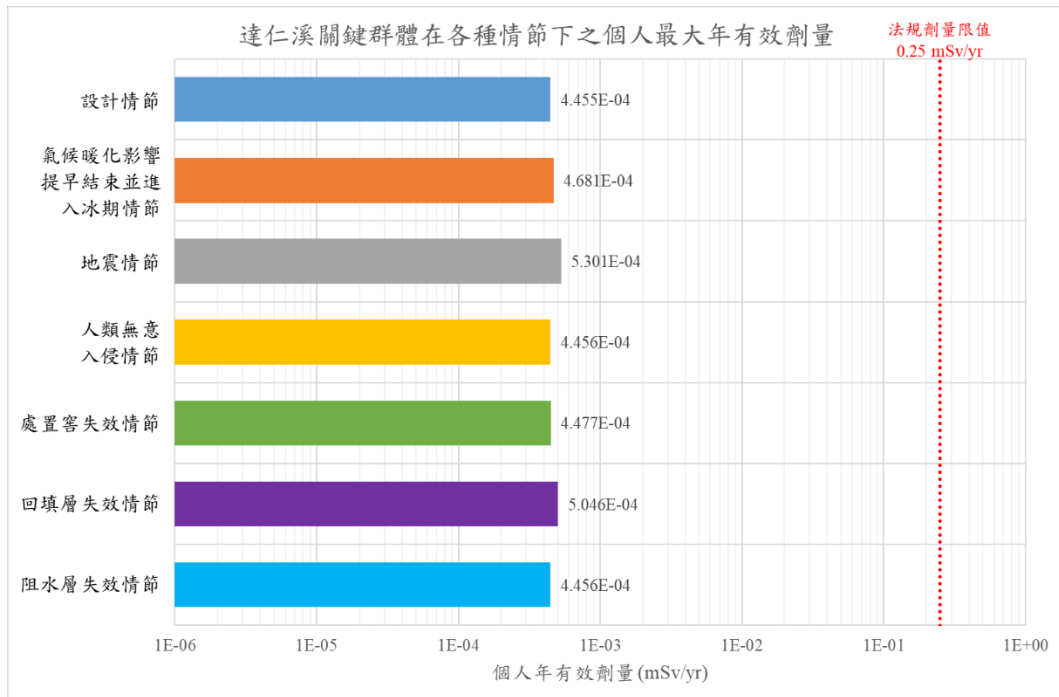


圖 6.2-5 達仁溪關鍵群體各情節之劑量評估結果

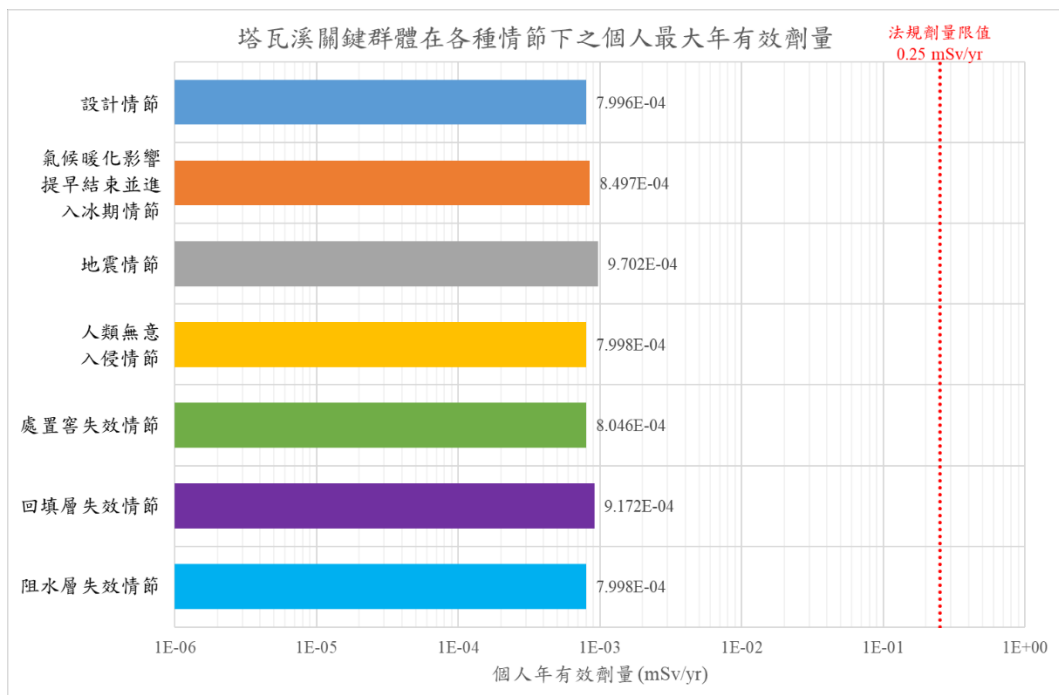


圖 6.2-6 塔瓦溪關鍵群體各情節之劑量評估結果

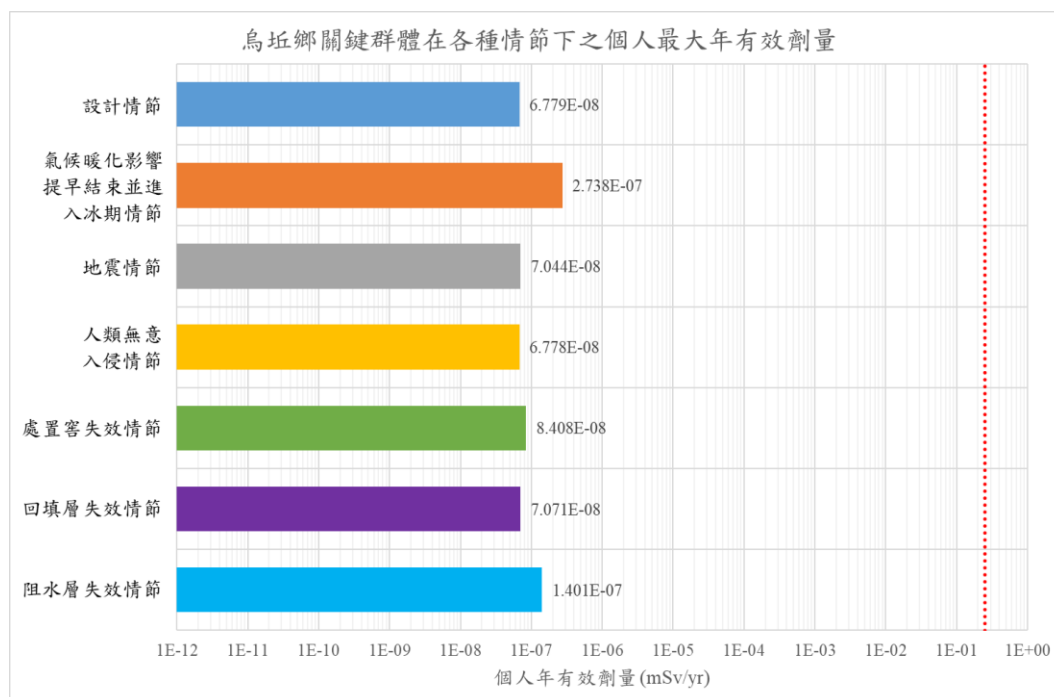


圖 6.2-7 烏坵鄉關鍵群體各情節之劑量評估結果

6.3 敏感度與不確定性評估

6.3.1 封閉後處置安全設計關鍵因子與參數敏感度

封閉後安全評估需要識別並掌握影響核種遷移與尖峰劑量的關鍵因子。因現階段場址尚未定案、缺乏實測資料，模型參數多需以文獻與區域尺度推估，因此必須採用保守假設以降低不確定性。如圖 6.3-1，關鍵因子可分為四類：

- 一、源項類關鍵因子：各核種活度與半化期、劑量轉換因子(DCF)、溶解特性、金屬腐蝕之核種釋出率。
- 二、工程障壁系統設計類關鍵因子：工程障壁系統單元之設計尺寸、材質、質量、有效孔隙率、水力傳導係數、有效擴散係數、吸附分配係數與工程障壁系統內之地下水流量。
- 三、天然障壁系統特徵類關鍵因子：核種於地質圈之傳輸路徑與時間、遠場地下水流量、地表水體年總流量。
- 四、生物圈特徵類關鍵因子：關鍵群體飲食習慣與飲食來源占比。

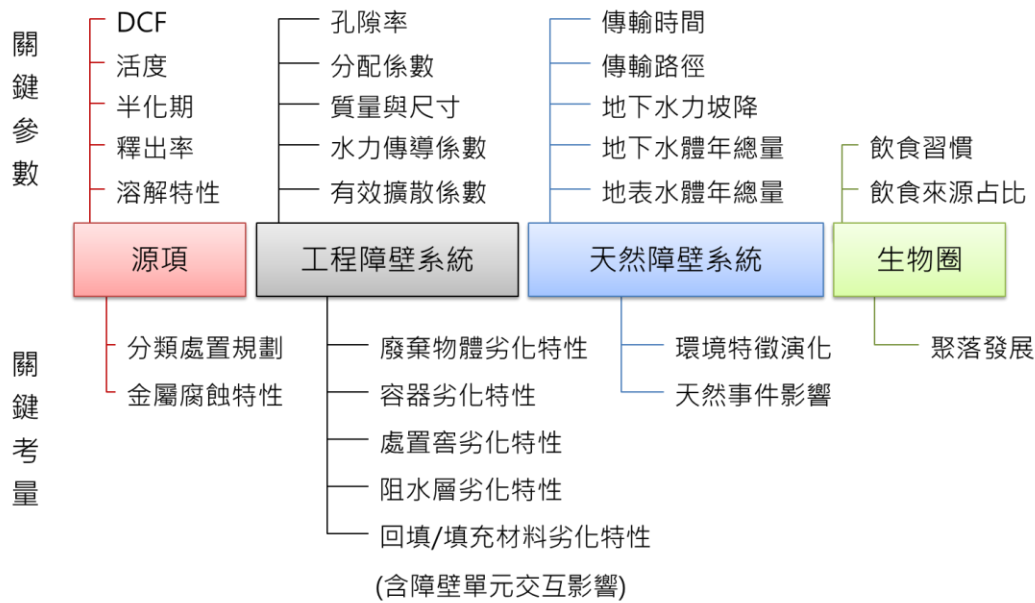


圖 6.3-1 封閉後處置安全設計關鍵因子示意圖

對於尖峰劑量影響具直接影響力之關鍵因子，包含核種清單、地表水體流量以及金屬釋出率。與核種傳輸相關的特徵，會受到遠場地下水流場特徵影響。同樣的特徵參數在不同流場特徵環境下，對於尖峰劑量的影響會有不同的敏感度。關鍵因子大致以下列方式進行選擇：

1. 對劑量結果具直接影響力(如核種清單、地表水體流量以及金屬釋出率)
2. 與核種傳輸相關的特徵(如地下水流場)
3. 參數本身具高度不確定性(如 DCF、吸附係數、飲食量等)

敏感度與不確定性選項能協助釐清評估中最具影響力之參數，並作為後續設計優化與風險溝通之重要依據。

6.3.2 遠場地下水流場特徵敏感度與不確定性分析

一、達仁鄉建議候選場址

1 水文地質模型更新

本報告將達仁場址水文地質分區由「LLWD 2020 報告」之 PCZ(可能導水構造帶)及 AZ1~AZ3(硬頁岩區)，更新為塑性構造區 A、B、C 與脆性構造帶 F。更新後之模型更能反映不同構造帶的透水性差異。

2. 流場變化對尖峰劑量之影響

相較於「LLWD 2020 報告」，本報告更新之達仁鄉建議候選場址地下水流場模型具有較短的地下水流徑與較小的流出時間，使得整體地下水流速呈現增加的情形。採用「LLWD 2020 報告」之地下水流場特徵並配合本報告設計情節所進行之劑量模擬，其結果與本報告更新流場模型所得結果之比較，已彙整於表 6.3-1。比較結果顯示，兩者尖峰劑量數值相近，其主要原因為近場工程障壁系統之流量設定一致，故兩者具備相同的近場核種釋出特徵。然而，本報告所模擬之尖峰劑量發生時間較「LLWD 2020 報告」提前逾一萬年，顯示本報告更新之地下水流場具有較快之流速。此結果說明，達仁鄉建議候選場址之遠場地下水特徵，對核種傳輸行為具有明顯影響力，並會主導封閉後長期遷移與劑量時序之變化。

表 6.3-1 達仁鄉建議候選場址不同遠場特徵設定之結果比較

	採「LLWD 2020 報告」 地下水流場特徵		採本報告 地下水流場特徵	
	發生時間 (年)	尖峰劑量 (mSv/yr)	發生時間 (年)	尖峰劑量 (mSv/yr)
達仁溪	14,120	4.017×10^{-4}	1,550	4.455×10^{-4}
塔瓦溪	13,970	7.960×10^{-4}	1,420	7.996×10^{-4}

二、烏坵鄉建議候選場址

1. 水文地質模型更新

烏坵場址因位於海床下，整體水力梯度低。本報告將「LLWD 2020 報告」原 GZ1~GZ3 與岩脈帶 DZ 分區，更新

為：以深度 60 m 為界之 1~8 號水文地質單元，此分類更能反映淺層風化帶與深層岩體的透水特性。

2. 流場變化對尖峰劑量之影響

相較於「LLWD 2020 報告」，本報告更新之烏坵鄉建議候選場址地下水流場模型具有較長的地下水流徑與較久的流出時間，使整體地下水流速顯著減慢。採用「LLWD 2020 報告」之地下水流場特徵並配合本報告設計情節所進行之劑量模擬，其結果與本報告更新流場模型所得結果之比較，已彙整於表 6.3-2。比較結果顯示，尖峰劑量由約 1.36×10^{-7} mSv/yr 降至 6.78×10^{-8} mSv/yr；然而，本報告所模擬之尖峰劑量發生時間較「LLWD 2020 報告」延後近一千年，顯示本報告更新之地下水流場具有較慢之流速。此分析結果顯示，烏坵鄉建議候選場址之遠場障壁環境具備良好之遲滯能力，較慢之地下水流場能有效延長核種遷移時間並降低尖峰劑量。

表 6.3-2 烏坵鄉建議候選場址不同遠場特徵設定之結果比較

採「LLWD 2020 報告」 地下水流場特徵		採本報告 地下水流場特徵	
發生時間 (年)	尖峰劑量 (mSv/yr)	發生時間 (年)	尖峰劑量 (mSv/yr)
14,370	1.362×10^{-7}	15,260	6.779×10^{-8}

參考文獻

1. 台電公司，2022，LLWD1-SC-2021-01-V05-低放射性廢棄物最終處置技術精進評估報告。
2. GoldSim Technology Group LLC, 2018, GoldSim 12.1, p.1~p.1175.
3. IAEA, 2004, Safety Assessment Methodologies for Near Surface Disposal Facilities, Volume 1, p.17, p.35~p.42.
4. IPCC, 2022, Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability, IPCC Sixth Assessment Report, p.16.

第七章 結論

7.1 法規符合性說明

一、處置系統整體功能目標之法規符合性分析

「放射性物料管理法」(2002)之管理精神在於妥適管理放射性物料，防止放射性危害，確保民眾安全。在此法規系統管理規範下，低放射性廢棄物最終處置設施需足以保障公眾之健康及安全。為符合處置安全管理要求，訂定低放處置設施之處置系統整體功能目標為：保護一般公眾免於放射性物質釋出的危害、保護無意入侵者、保護運轉期間之工作人員、與確保處置場封閉後的穩定性。藉以確保相關作業目標與法規要求一致。以下分就確保處置安全之規劃成果進行法規符合性分析：

(一)保護一般公眾免於放射性核種釋出的危害

依據「低放射性廢棄物最終處置及其設施安全管理規則」(2012)第 8 條規定，對於一般公眾造成之有效劑量需低於 0.25 mSv/yr。依 2 處建議候選場址關鍵群體的曝露劑量安全評估結果，於達仁鄉建議候選場址之達仁溪下游之關鍵群體在設計情節下最大個人年有效劑量為 4.455×10^{-4} mSv/yr，塔瓦溪下游之關鍵群體在設計情節下最大個人年有效劑量則為 7.996×10^{-4} mSv/yr。於烏坵鄉建議候選場址之關鍵群體在設計情節下最大個人年有效劑量為 6.779×10^{-8} mSv/yr。劑量評估結果之最大個人年有效劑量，均低於 0.25 mSv/yr。符合法規要求，但未來仍須依場址特性等實際資訊更新安全評估內容。

(二)隔離與防護無意入侵者

為確保處置系統具有「將放射性廢棄物與生物圈進行隔離，並致力於降低發生人類無意入侵事件發生機率」之隔離安全功能。處置系統採用訂定最低岩覆厚度需求作為設計要求。

依國際處置安全管理做法，處置系統之設計、運轉、與封閉，於處置場址撤除主動監管後，仍需提供無意入侵者防護障壁。未來視場址特徵，若採用次地表處置系統，對於 A0 類與 A1 類低放射性廢棄物而言，須確保處置設施封閉後 300 年內其岩覆厚度大於 50 m，對於 B、C 類低放射性廢棄物而言，須確保處置設施封閉後 1,000 年內岩覆厚度大於 50 m。

主動監管期時間訂定以發生無意闖入者入覆蓋層區域活動造成輻射曝露，與發生鑽探破壞事件造成輻射曝露，所需進行主動監管期較長者為基準。最終依分析成果，建議台東縣達仁鄉建議候選場址主動監管執行至封閉後 50 年(西元 2150 年)，而金門縣烏坵鄉建議候選場址主動監管執行至封閉後 50 年(西元 2150 年)。

(三)運轉期間之工作人員輻射防護

處置場運轉作業之輻射防護考量，需遵循「低放射性廢棄物最終處置及其設施安全管理規則」(2012)與「游離輻射防護安全標準」(2005)第 7 條之規定，並遵循合理抑低原則，確保工作人員每連續 5 年週期之有效劑量不超過 100 mSv，任何單一年內之有效劑量不超過 50 mSv。

依運轉期間工作人員劑量分析結果，2 處建議候選場之整體處置作業所造成之總劑量約介於 3,531 人毫西弗~3,708 人毫西弗。若以低放處置場運轉 60 年與每年執行相關作業之工作人員數為 61 人計算，則每位工作人員的年平均劑量為 0.96 mSv/yr ~ 1.01 mSv/yr。依照規劃上述之每人年平均劑量均低於 20 mSv/yr (依「游離輻射防護安全標準」(2005)第 7 條，輻射工作人員每連續 5 週年有效劑量不得超過 100 mSv，故採用平均 20 mSv/yr 作為考量)。

未來低放處置場實際運轉時，可參考此評估結果進行人力調度和作業時程安排，確保處置場運轉期間工作人員的年有效劑量符合法規要求。

(四)封閉後具長期穩定性

處置設施設計主要利用工程障壁系統達成封閉後之力學穩定性需求，依現階段設計內容，於設施封閉後並無進場更換設施零組件之需求，亦無採用動力設備維護場區環境之需求。

處置系統於設計階段已考量場址應力環境特徵、地震事件、以及工程障壁系統與單元之間的力學穩定性，於運轉階段將持續監測坑道系統穩定性，於封閉時將進行灌漿與回填，應可達成處置設施長期穩定性。

二、處置場址環境特性之法規符合性分析

2 處建議候選場址均通過選址小組依法選出，場址並非位於「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」(2017)之區域中。惟仍待調查階段精查後，再次複驗其符合度。

三、處置設施設計與管理規劃之法規符合性分析

(一)多重障壁系統與分類分區處置

2 處建議候選場址之處置設施設計，均是利用多重障壁系統來實現隔離與圍阻功能，其多重障壁系統包含了地質圈與工程障壁兩大系統。其中工程障壁系統依廢棄物分類差異，有不同對應之工程障壁系統設計。已遵循「低放射性廢棄物最終處置及其設施安全管理規則」(2012)第 9 條之規定。

此外，各類廢棄物之廢棄物體、包裝與處置障壁規劃，亦遵循管理規則第 3 條與第 4 條之規定，次地表處置型式包含高阻水型處置坑道處置系統、混凝土窖型處置坑道處置系統與基礎型處置坑道處置系統之設計與裝填規劃。

(二)廢棄物接收標準規劃

低放最終處置場之接收規範，要求所有放射性廢棄物之品質、包裝、裝載、運輸、及接收必須根據政府機關所頒布規定辦理，且需隨相關規定增修進行變更。現階段之接收規範包含一般性條件、廢棄物之物理及化學特性，以及廢棄物之輻射特性，共計 19 條。規劃接收之盛裝容器包含 55 加侖桶、HPCC、7 m³ 鋼箱與 T-Box (包含 T1~T5-Box)。其中，T-Box 尚未取得最終處置盛裝容器使用許可，且除役作業過程亦可能改採其他盛裝容器。未來仍需視實際容器選用狀況更新相關規範內容。

(三)排水與防滲

次地表處置之坑道排水則是依 3.6 L/m² 保守估算坑道所需之排水總量。運轉作業期間，處置窖基本以 2 座窖體為 1 個模組單元，裝填期間搭配臨時雨遮與坑道滲水導排系統，避免水體接觸廢棄物。當廢棄物堆滿後即進行封頂作業，避免於處置設施封閉前，因意外滲水導致廢棄物接觸水體。

地面輔助區域之廢棄物處置運轉作業主要於接收大樓與處置區進行。處置區所設處置運轉設施與輔助區所設接收大樓，兩者均屬鋼筋混凝土建物，可利用建物本身混凝土的阻水性來避免雨水或地下水滲入建物中。建物對外通道均可關閉屏蔽門與一般門窗達到避免雨水濺入效果，用以確保處置區內之廢棄物包件均可避免廢棄物與水接觸。同時採用 200 年重現期距降雨進行輔助區排水設計，亦可以避免輔助區發生淹水事件而導致廢棄物意外接觸水體。規劃內容已遵循「低放射性廢棄物最終處置及其設施安全管理規則」(2012)第 11 條之規定。

(四)防災與應變能力

依據「LLWD 2020 報告」與「LLWD 2024 報告」之相關處置設施概念設計相關成果。處置坑道與處置窖設計已經過包含地震力之力學安定性分析檢核，排水設計已考量 200 年重現期距降雨，基地與坑道入口高程訂定已考量可能之海嘯溯上高程。運

轉期間亦已規劃廢棄物傾倒與墜落意外事件應變措施，以及坑道與輔助區之消防設備與應變規劃。其中，運轉作業期間之運輸載具漏油燃燒意外事件，對於乘載於載具上之廢棄物包件表面溫度之影響評估，其結果顯示仍在安全範圍之內。此外，處置設施規劃設計容量高於預估之廢棄物總量，保留有增設與調整處置窖所需空間。規劃內容已遵循「低放射性廢棄物最終處置及其設施安全管理規則」(2012)第 10 條之規定。

(五)保安與監管規劃

處置設施已參照國際上處置設施之保安與監管案例，進行 2 處建議候選場址之處置設施監管規劃，以避免於運轉與監管期間發生民眾誤闖或占用之情事。已遵循「低放射性廢棄物最終處置及其設施安全管理規則」(2012)第 12 條之規定。

7.2 結論

我國已依法公告達仁鄉與烏丘鄉建議候選場址，但尚待公投選出候選場址，故依低放處置計畫作業階段劃分，目前仍屬選址公投階段。為提升國人對 2 處建議候選場址應適合成為低放射性廢棄物最終處置場之信心，並使低放射性廢棄物最終處置工作得以順利推展。本公司依循國內低放處置相關法規，與參考 IAEA 之處置安全要求與國際處置技術相關經驗。利用既有場址調查文獻資料，配合推論與假設之方法，執行場址特徵概念化、處置設施概念設計與安全評估模擬等技術之建置與精進。過去已陸續研提「LLWD 2016 報告」與「LLWD 2020 報告」，本報告為延續技術精進之「LLWD 2024 報告」。「LLWD 2016 報告」與「LLWD 2020 報告」之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，認為若場址選定後，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。本報告亦將經過國際同儕審查作業

確認技術建置與精進方向符合現今國際上對於低放處置技術之要求後，提送核安會審查。

基於推動低放處置計畫需求、國內與國際同儕審查委員建議，以及核安會對於「LLWD 2020 報告」審查決議事項，現階段「低放射性廢棄物最終處置技術建置計畫」與「LLWD 2024 報告」之技術發展規劃略可分為安全論證技術精進與處置技術更新等方向。分別說明如下：

一、安全論證技術精進

基於前期技術研究成果，在工程障壁系統中以處置窖之有效擴散係數與其長期劣化特徵、金屬類廢棄物之核種金屬腐蝕釋出率等為影響處置安全的關鍵考量。由於過去均為採用國際文獻資料作為研析基礎，為確認相關設計與施做於本土之實現性，於本階段技術建置已針對實現處置窖設計目標之混凝土配比研究、混凝土長期劣化特徵研究，以及不同場址環境特徵對金屬腐蝕率影響研究等規劃試驗項目。目前之「LLWD 2024 報告」已納入金屬腐蝕率試驗成果作為安全評估參數設定依據，而混凝土長期劣化試驗等成果，待完成後將納入「LLWD 2028 報告」安全評估分析中。

相關試驗成果將作為安全論證的辯證基礎資料。同時，基於IAEA SSG-23 之安全論證建議，除利用相關試驗成果進行安全評估參數設定並更新安全評估結果外。亦須基於此更新結果，進行處置設計疊代與最佳化評估，用以提升工程障壁系統的穩健性。

二、處置技術更新

隨著我國 3 座核電廠即將進入或已進入除役階段，除役廢棄物的數量、特性和採用的盛裝容器，亦會隨著除役計畫的推進而調整。「LLWD 2024 報告」已將 T-Box 納入評估，並將原以壓水式反應爐除役廢棄物國際文獻推估之除役廢棄物數量與特性，改依第三核能發電廠除役計畫成果進行更新。基於前述處置設計

基本條件變更，一併更新相關工程障壁系統設計、分類分區處置規劃、輔助區空間布置與運轉設備調整、接收規範草案與相關作業規劃調整、FEPs 更新與篩選、以及運轉及封閉後安全評估等所涉評估內容。依評估成果，調整後之處置設施設計技術仍可符合確保處置安全之設計應用需求。

初步推論現階段之處置技術建置成果可應用於達仁鄉及烏坵鄉 2 處建議候選場址。然國內低放射性廢棄物最終處置計畫自民國 101 年 7 月，經濟部公告「台東縣達仁鄉」及「金門縣烏坵鄉」2 處為低放射性廢棄物最終處置設施建議候選場址後，即無明顯之進展。在未選出候選場址的現況下，場址特性調查工作亦無法順利推動。因此，文中所述之場址特性資料仍待未來現場調查後方能確認，屆時本報告中各項評估成果仍需依調查結果予以更新。

參考文獻

1. 2002，放射性物料管理法。
2. 2005，游離輻射防護安全標準。
3. 2012，低放射性廢棄物最終處置及其設施安全管理規則。
4. 2017，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。