

行政院原子能委員會放射性物料管理局

委託研究計畫研究報告

低放射性廢棄物坑道處置安全審驗技術建立之

國際資訊研析

子計畫二：低放射性廢棄物坑道處置工程

設計審驗技術之資訊研析

計畫編號：104FCMA019

計畫主持人：董家鈞

子計畫二主持人：張玉璘

受委託機關(構)：國立中央大學

報告日期：中華民國 105 年 12 月



低放射性廢棄物坑道處置安全審驗技術建立之  
國際資訊研析

子計畫二：低放射性廢棄物坑道處置工程  
設計審驗技術之資訊研析

受委託單位：國立中央大學

計畫主持人：董家鈞

子計畫二主持人：張玉璘

研究期程：中華民國 105 年 1 月至 105 年 12 月

研究經費：新臺幣 107.8 萬元(子計畫二經費)

行政院原子能委員會放射性物料管理局  
委託研究計畫研究報告

中華民國 105 年 12 月

(本報告內容純係作者個人之觀點，不應引申為本機關之意見)





## 摘要

日本低放射性廢棄物處置方式依據廢棄物放射性強度由高至低分別利用餘裕深度處置、近地表處置設施和近地表壕溝式處置三種方式進行處置。針對低放射性廢棄物三種處置方式的管理，日本第二種處置規則第二條第一項第四號訂定，事業許可申請書內容必須詳細記載廢棄物處置場核種衰減過程所對應之周圍監控區域，以及廢棄物處置場維護措施的變更或管理結束時期，同時，日本第二種處置規則第十三條中也規定處置場於管理時期與管理結束時期中應紀錄的相關項目。

另外針對餘裕深度處置，日本實施安全評估並推測氣候、海平面變動，以及隆起、侵蝕等地質變動影響工程障壁和天然障壁的可能性，用以確保事業者於限制進入、監控等管理結束後，仍能長期持續的保護一般民眾安全。

本報告將研析日本「低放射性廢棄物處置場回填計畫與設施管理方法：2010」，從中掌握日本低放射性廢棄物處置場於各個不同階段所設定的管理目的、項目與考量方法，並參考日本低放射性廢棄物處置場之相關監管計畫，逐項提出相關管理策略與建議，供我國進行進一步的設計。

在確認安全性與建立信心上則參考日本「餘裕深度處置之安全評價方法：2008」，逐一檢視、確認低放射性廢棄物最終處置之安全評估管理方式與處置系統設計分析案例，並提出相關管理建議供日後我國管理作業規劃與執行參考。







# 目錄

摘要.....	1
目錄.....	4
圖目錄.....	8
表目錄.....	10
<b>第一章 序論.....</b>	<b>12</b>
1.1 計畫背景.....	12
1.2 計畫目標.....	12
1.3 計畫範圍與項目分配.....	12
<b>第二章 日本低放處置設施管理方法.....</b>	<b>13</b>
2.1 目標與適用範圍.....	14
2.2 日本低放射性廢棄物處置方式與管理項目.....	15
2.2.1 餘裕深度處置.....	16
2.2.2 近地表處置設施.....	22
2.2.3 近地表壕溝式處置.....	28
<b>第三章 日本低放處置場回填方法.....</b>	<b>32</b>
3.1 回填管理方法.....	32
3.1.1 回填材料的選擇方法.....	32
3.1.2 坑道回填的施工方法.....	35
3.1.3 坑道回填的施工品質管理方法.....	37
3.2 覆土管理方法.....	39
3.2.1 覆土材料的選擇方法.....	41
3.2.2 覆土的施工方法.....	44
3.2.3 覆土的侵蝕應對方法.....	46
3.2.4 覆土的安定化.....	51
3.2.5 覆土的施工品質管理方法.....	52
<b>第四章 日本低放處置場封閉後續監控管理.....</b>	<b>55</b>
4.1 監控.....	55
4.2 周圍監控區域相關措施.....	55
4.3 餘裕深度處置監控.....	56
4.3.1 餘裕深度處置建設、營運階段監控.....	56
4.3.2 餘裕深度處置封閉後階段監控.....	58
4.3.3 餘裕深度處置周圍監控區域的監控考量方法.....	59
4.3.4 餘裕深度處置指標核種的選定案例.....	60
4.3.5 餘裕深度處置湧水、附近地下水的監控.....	63
4.3.6 地下水滲透狀況觀測案例.....	64
4.4 近地表處置設施監控.....	65
4.4.1 近地表處置設施第1階段監控.....	65
4.4.2 近地表處置設施第2階段監控.....	66
4.4.3 近地表處置設施周圍監控區域的監控考量方法.....	67

4.4.4	近地表處置設施指標核種的選定案例.....	67
4.4.5	近地表處置監控的適用案例(第 2 階段).....	68
4.5	近地表壕溝式處置監控.....	71
4.5.1	近地表壕溝式處置營運階段監控.....	71
4.5.2	近地表壕溝式處置周圍監控區域的監控考量方法.....	72
4.5.3	近地表壕溝式處置指標核種的選定案例.....	74
4.5.4	近地表壕溝式處置監控的適用案例(營運階段).....	74
4.6	密閉的監控結果基本措施.....	76
4.7	放射性廢棄物處置場的影響環境物質監控措施案例.....	77
<b>第五章</b>	<b>日本低放處置場封閉後續維護管理.....</b>	<b>79</b>
5.1	廢棄物處置場相關維護.....	79
5.2	維護餘裕深度處置的基本安全機能.....	79
5.2.1	維護餘裕深度處置建設、營運階段的基本安全機能.....	79
5.2.2	維護餘裕深度處置封閉後階段的基本安全機能.....	80
5.2.3	餘裕深度處置營運保護區域的設定.....	80
5.2.4	餘裕深度處置相關維護措施.....	81
5.3	維護近地表處置設施的基本安全機能.....	83
5.3.1	維護近地表處置設施第 1 階段、第 2 階段的基本安全機能.....	83
5.3.2	維護近地表處置設施第 3 階段的基本安全機能.....	83
5.3.3	近地表處置設施營運保護區域的設定.....	83
5.3.4	近地表處置設施相關維護措施.....	84
5.4	維護近地表壕溝式處置的基本安全機能.....	86
5.4.1	維護近地表壕溝式處置營運階段的基本安全機能.....	86
5.4.2	維護近地表壕溝式處置保護階段的基本安全機能.....	87
5.4.3	近地表壕溝式處置營運保護區域的設定.....	87
5.4.4	近地表壕溝式處置相關維護措施.....	88
5.5	覆土的維持管理.....	89
<b>第六章</b>	<b>日本低放處置場安全審查方法.....</b>	<b>90</b>
6.1	安全審查流程.....	90
6.2	安全審查的計畫.....	92
6.2.1	實施時期的計畫.....	92
6.2.2	檢查對象項目的選擇.....	94
6.2.3	數據取得的計畫.....	97
6.3	安全審查的實施.....	106
6.3.1	檢查對象項目的再評估.....	107
6.3.2	劑量評估的必要性與實施.....	108
6.3.3	確認廢棄物處置設施長期安全性的預測.....	108
6.4	芬蘭安全審查的相關類似案例.....	108
6.4.1	芬蘭的法規.....	108
6.4.2	封閉的相關規範要點.....	109
6.4.3	封閉後管理的相關規範要點.....	109
6.4.4	安全審查的相關規範要點.....	109

6.4.5 芬蘭有關處置場的調查或監測.....	110
6.5 以安全審查結果為基礎的措施.....	111
<b>第七章 日本低放處置場的紀錄管理.....</b>	<b>112</b>
7.1 第二種廢棄物處置事業期間的相關紀錄.....	112
7.2 第二種廢棄物處置事業除役時的紀錄.....	112
7.3 國際機關有關紀錄的研究案例.....	112
7.3.1 紀錄的階層.....	112
7.3.2 第 1 階層一次階級的情報(PLI)案例.....	114
7.3.3 紀錄的管理.....	116
7.4 紀錄項目的重要度整合和保存期間的研究案例.....	117
7.4.1 紀錄項目的選擇.....	117
7.4.2 紀錄項目的整合.....	120
7.5 品質保證.....	121
<b>第八章 日本餘裕深度處置安全評估方法.....</b>	<b>122</b>
8.1 日本餘裕深度處置安全評估方法之考量.....	122
8.1.1 研擬安全評估方法之相關歷程.....	122
8.1.2 處置廢棄物類型.....	123
8.1.3 餘裕深度處置設施概念.....	124
8.1.4 安全評估方法.....	126
8.2 日本餘裕深度處置安全評估情節分類.....	127
8.2.1 研擬安全評估情節之相關歷程.....	127
8.2.2 營運情節.....	128
8.2.3 基本情節.....	129
8.2.4 變異情節.....	129
8.2.5 人為、稀有事件情節.....	129
8.3 安全評估應考量主要事項.....	130
8.3.1 管理期間的安全評估.....	130
8.3.2 管理期間結束後的安全評估.....	131
8.4 處置系統狀態的設定考量.....	132
8.4.1 基本考量.....	132
8.4.2 處置系統狀態設定的考量方法.....	137
8.4.3 作為技術檢查對象的主要事件和物性變化.....	140
8.4.4 主要障壁機能所對應的要素分析.....	143
8.5 各類情節的安全評估方式.....	146
8.5.1 管理期間內的安全評估.....	146
8.5.2 管理期間結束後的安全評估.....	146
8.5.3 處置系統放射性核種的遷移.....	146
8.5.4 輻射曝露路徑.....	148
8.5.5 核種、元素的評估參數.....	149
8.5.6 解析模型進行技術檢查案例說明.....	150
<b>第九章 建議事項.....</b>	<b>156</b>
9.1 處置場監管計畫.....	156

9.1.1 日本低放處置場之管理方法.....	156
9.1.2 我國處置場監管計畫的精進.....	157
9.2 處置場安全評估之相關建議研析.....	160
9.2.1 處置場劑量限值納入風險管理的考量方式.....	160
9.2.2 安全評估的管理建議.....	161
<b>第十章 結論.....</b>	<b>163</b>
<b>參考文獻.....</b>	<b>164</b>
<b>附錄.....</b>	<b>166</b>

## 圖目錄

圖 2.1 日本放射性廢棄物分類與最終處置方法概念圖.....	16
圖 2.2 餘裕深度處置設計概念圖.....	17
圖 2.3 鋼製處置容器構造.....	18
圖 2.4 餘裕深度處置之各管理階段示意圖.....	18
圖 2.5 餘裕深度處置的放射性廢棄物核種衰變特性案例.....	21
圖 2.6 餘裕深度處置的人為情節評估案例.....	21
圖 2.7 近地表處置設施廢棄物內部示意圖.....	23
圖 2.8 近地表處置設施第 1 階段管理示意圖.....	23
圖 2.9 近地表處置設施第 2 階段管理示意圖.....	23
圖 2.10 近地表處置設施第 3 階段管理示意圖.....	24
圖 2.11 廢棄物包件的法令技術標準.....	24
圖 2.12 近地表處置設施的放射性廢棄物輻射衰變特性案例.....	28
圖 2.13 近地表壕溝式處置營運階段示意圖.....	29
圖 2.14 近地表壕溝式保護階段示意圖.....	29
圖 2.15 近地表壕溝處置的放射性廢棄物輻射衰變特性案例.....	32
圖 3.1 餘裕深度處置基本安全機能相關管理項目流程(坑道的回填施工：建設、營運階段)...	32
圖 3.2 施工機械及施工方法的選擇所需留意的施工區域(回填材料).....	37
圖 3.3 近地表處置設施基本安全機能相關管理項目與流程(覆土施工：第 1 階段).....	40
圖 3.4 近地表壕溝式處置基本安全機能相關管理項目與流程(覆土施工：營運階段).....	40
圖 3.5 施工機械及施工方法的選擇所需留意的施工區域(覆土).....	45
圖 3.6 樹高與樹根深度之關係.....	48
圖 3.7 覆土的要求和侵蝕對策(既有設施研究案例).....	48
圖 3.8 抑制侵蝕系統之概念設計圖(既有設施研究案例).....	49
圖 3.9 覆土的要求和侵蝕對策(近地表處置設施、地下處置型).....	49
圖 3.10 抑制侵蝕系統之概念設計圖(近地表處置設施、地下處置型).....	50
圖 3.11 覆土的要求和侵蝕對策(近地表處置設施、地表處置型).....	50
圖 3.12 抑制侵蝕系統之概念設計圖(近地表處置設施、地表處置型).....	50
圖 3.13 孔隙比求得方法.....	51
圖 4.1 餘裕深度處置基本安全機能相關監控項目與流程(建設、營運階段).....	56
圖 4.2 餘裕深度處置基本安全機能相關監控項目與流程(封閉後階段).....	58
圖 4.3 湧水、地下水等監控場所的案例.....	64
圖 4.4 近地表處置設施基本安全機能相關監控項目與流程(第 1 階段).....	65
圖 4.5 近地表處置設施基本安全機能相關監控項目與流程(第 2 階段).....	67
圖 4.6 近地表處置設施地下水位等高線圖.....	69
圖 4.7 地下水監控設備設置場所與附近地下水的擬定採取場所.....	70
圖 4.8 外部輻射劑量監測點設置場所.....	70
圖 4.9 近地表壕溝式處置基本安全機能相關監控項目與流程(營運階段).....	71
圖 4.10 JPDR 近地表壕溝式處置地下水監控設備設置場所.....	75
圖 4.11 空氣吸收劑量等測定點的配置案例.....	76

圖 4.12 密閉的監控結果所對應的處理流程.....	77
圖 4.13 物質遷移的評估示意圖.....	78
圖 5.1 餘裕深度處置基本安全機能相關維護項目與流程(建設、營運階段).....	80
圖 5.2 餘裕深度處置基本安全機能相關維護項目與流程(封閉後階段).....	80
圖 5.3 餘裕深度處置保護管理區域設定案例.....	81
圖 5.4 近地表處置設施基本安全機能相關維護項目與流程(第 1、2 階段).....	83
圖 5.5 近地表處置設施基本安全機能相關維護項目與流程(第 3 階段).....	83
圖 5.6 近地表處置設施保護管理區域設定案例。.....	84
圖 5.7 近地表壕溝式處置基本安全機能相關維護項目與流程(營運階段).....	86
圖 5.8 近地表壕溝式處置基本安全機能相關維護項目與流程(保護階段).....	87
圖 5.9 近地表壕溝式處置保護管理區域設定案例。.....	88
圖 6.1 餘裕深度處置基本安全機能相關管理項目流程.....	91
圖 6.2 餘裕深度處置基本安全機能相關管理項目流程.....	91
圖 6.3 安全審查的 PDCA 循環流程.....	92
圖 6.4 安全審查的實施時期選定案例.....	93
圖 6.5 安全審查檢查對象項目的選擇流程.....	95
圖 6.6 最新資訊的項目區分考量方法.....	98
圖 6.7 天然障壁核種遷移的評估參數設定流程案例.....	103
圖 6.8 封閉後影響工程障壁狀態的因素.....	103
圖 6.9 選擇數據取得項目的考量方法.....	104
圖 6.10 安全審查的實施流程.....	107
圖 6.11 定量的再評估案例.....	108
圖 8.1 餘裕深度處置設施與營運過程示意圖.....	125
圖 8.2 餘裕深度處置設施的處置坑斷面.....	126
圖 8.3 餘裕深度處置設施營運狀況示意圖.....	129
圖 8.4 處置系統狀態設定的考量方法.....	137
圖 8.5 處置系統狀態設定的具體流程.....	138
圖 8.6 膨潤土材料的滲透性能所對應的要素分析圖案例.....	144
圖 8.7 水泥材料的擴散性能所對應的要素分析圖案例.....	145
圖 8.8 評估膨潤土材料長期滲透性能變化所考量的事件處理案例.....	152
圖 8.9 評估體系的一維化概念模型示意圖.....	152
圖 8.10 可能的條件設定之相關長期變質解析結果案例.....	154
圖 8.11 可能的條件設定之相關膨潤土材料滲透係數變化.....	155
圖 8.12 考量長期評估中所存在的不確定性後其滲透係數變化.....	155

## 表目錄

表 2.1 日本原子力學會標準與第二種廢棄物處置事業法律相關關係.....	13
表 2.2 日本原子力學會標準與廢棄物處置事業安全規範相關關係.....	14
表 2.3 日本低放射性廢棄物處置場主要廢棄物來源.....	15
表 2.4 鋼製處置容器資料.....	18
表 2.5 餘裕深度處置相關管理措施及項目.....	19
表 2.6 餘裕深度處置各階段工程的基本安全機能與管理措施實施時期.....	20
表 2.7 餘裕深度處置的階段轉換條件和確認方法.....	20
表 2.8 近地表處置設施相關管理措施及項目.....	25
表 2.9 近地表處置設施各階段工程基本安全機能與管理措施實施時期.....	26
表 2.10 近地表處置設施的階段轉換條件和確認方法.....	26
表 2.11 日本原燃公司 2 號廢棄物處置設施輻射衰減所對應的管理案例.....	26
表 2.12 近地表壕溝式處置相關管理措施及項目.....	30
表 2.13 近地表壕溝式處置各階段工程基本安全機能與管理措施實施時期.....	31
表 2.14 近地表壕溝式處置的階段轉換條件和確認方法.....	31
表 3.1 土壤材料和現地土壤的判別與分類方法.....	33
表 3.2 回填材的原料、回填材料的試驗項目及方法(物理性質試驗).....	33
表 3.3 回填材的原料、回填材料的試驗項目及方法(化學性質試驗).....	34
表 3.4 回填材料的試驗項目及方法(力學性質試驗).....	34
表 3.5 放射性廢棄物處置場規劃案例的相關施工方法概要.....	36
表 3.6 坑道回填區的技術條件所對應之品質管理項目及方法範例.....	38
表 3.7 覆土材原料、覆土材料的試驗項目及方法(物理性質試驗).....	42
表 3.8 覆土材原料、覆土材料的試驗項目及方法(化學性質試驗).....	43
表 3.9 覆土材料的試驗項目及方法(力學性質試驗).....	43
表 3.10 一般的壓實方式.....	44
表 3.11 覆土侵蝕對策的種類及特徵.....	46
表 3.12 覆土的技術條件所對應之品質管理項目及方法範例.....	54
表 4.1 密閉及抑制遷移相關監控.....	55
表 4.2 周圍監控區域的相關監控.....	56
表 4.3 密閉的監控考量方法(建設、營運階段).....	57
表 4.4 抑制遷移的監控考量方法(封閉後階段).....	58
表 4.5 餘裕深度處置及近地表處置設施周圍監控區域的監控考量方法.....	59
表 4.6 餘裕深度處置的放射性物質濃度案例(輕水爐、氣爐).....	61
表 4.7 餘裕深度處置放射性物質濃度(輕水爐、氣爐)變化.....	61
表 4.8 餘裕深度處置各元素的分配係數.....	62
表 4.9 指標核種的考量項目整合.....	63
表 4.10 密閉的監控考量方法(第 1 階段).....	66
表 4.11 抑制遷移的監控考量方法(第 2 階段).....	67
表 4.12 抑制遷移的監控考量方法(營運階段).....	72
表 4.13 近地表壕溝式處置周圍監控區域的監控考量方法.....	73

表 5.1 餘裕深度處置維護措施於各階段的巡視、檢查案例.....	82
表 5.2 近地表處置設施的維護措施於各階段巡視、檢查案例.....	85
表 5.3 近地表壕溝式處置的維護措施於各階段巡視、檢查案例.....	88
表 5.4 覆土的維持管理案例.....	89
表 6.1 安全審查的實施時期主要目的.....	93
表 6.2 廢棄物處置設施所要求的機能與區域案例.....	96
表 6.3 安全審查的檢查對象項目選擇案例.....	96
表 6.4 最新資訊的區分和案例.....	99
表 6.5 數據取得項目的案例(安全審查目的中所取得的數據).....	100
表 6.6 數據取得項目的案例(檢查、品質管理、紀錄數據).....	100
表 6.7 數據取得條件的設定案例(於安全審查目的中取得數據).....	101
表 6.8 直接表現項目和影響因子項目的考量方法及注意事項.....	102
表 6.9 有關 Loviisa 處置場各階段的調查目的.....	110
表 6.10 有關 Loviisa 處置場調查或監測的實施項目.....	111
表 7.1 廢棄物處置事業除役時的紀錄，高段階級的情報案例.....	113
表 7.2 主動的封閉後管理階段中可能作成的紀錄.....	114
表 7.3 紀錄項目的重要度和保存期間的研討(例).....	119
表 8.1 餘裕深度處置的主要廢棄物種類.....	123
表 8.2 處置對象廢棄物的輻射及放射性核種濃度.....	123
表 8.3 安全評估情節與相關報告書考量彙整.....	128
表 8.4 處置系統與曝露途徑發生機率高低與情節分類關聯性.....	130
表 8.5 地質、氣候相關現象的 FEP 與其影響.....	133
表 8.6 廢棄物安全小委員會報告書中所提出的人類活動相關 FEP.....	135
表 8.7 金屬材料的腐蝕速度測定方法.....	142
表 8.8 地表水系的特性和曝露路徑.....	149
表 9.1 處置設施封閉階段的材料品質管理方法與國內常用規範比照表.....	159
表 9.2 最終處置場的品質管理方法案例.....	160



# 第一章 序論

## 1.1 計畫背景

目前我國低放射性廢棄物處置的方式係將放射性廢棄物經過固化後，貯存於核一廠、核二廠、核三廠、核研所、減容中心及蘭嶼貯存場，但目前核一、核二廠皆面臨滿貯，而蘭嶼貯存場空間亦有限制，已不再接收放射性廢棄物，因此將參照國際間核能先進國家之做法，於合適之場址興建放射性廢棄物最終處置設施，以長期處置國內放射性廢棄物，解決放射性廢棄物滿貯之壓力。

低放射性廢棄物最終處置場之生成必須經過嚴密的場址選擇、環境影響評估、安全分析、興建與運轉管制及封閉與監管等程序。現階段國內之低放處置事業仍停留在場址選擇工作階段。

為有效掌握低放射廢棄物最終處置設施管理方法以及安全評估分析，本報告將參考日本低放射性廢棄物處置之既有研析成果，促使低放射性廢棄物最終處置作業能務實推展，早日完成最終處置場的設置與運轉。

## 1.2 計畫目標

針對低放射性廢棄物最終處置，本報告將研析日本「低放射性廢棄物處置場回填計畫與設施管理方法：2010」，進行低放射性最終處置技術評估。在確認安全性與建立信心上則將參考日本「餘裕深度處置之安全評價方法：2008」，逐一檢視、確認低放射性廢棄物最終處置之安全評估方法，並綜合分析前述二本研析成果與我國現行管理規則，提出相關管理策略與要求之建議，作為未來國內低放射性廢棄物處置計畫設計之參考依據。

## 1.3 計畫範圍與項目分配

本報告將研析日本「低放射性廢棄物處置場回填計畫與設施管理方法：2010」與「餘裕深度處置之安全評價方法：2008」二本報告書的工作項目以八個章節分述探討，其中第二章至第七章屬於研析「低放射性廢棄物處置場回填計畫與設施管理方法：2010」的部分，主要分章說明日本針對低放射性廢棄物最終處置場的相關管理、監控、維護、審查與紀錄等方法；而第八章的部分屬於研析「餘裕深度處置之安全評價方法：2008」，主要說明日本針對餘裕深度處置的相關安全評估方法、考量事項與模型建構方式。接著將綜合分析前述研析成果與我國現行管理規則，並於第九章提出相關管理策略與要求之建議，最後於第十章進行總結。

## 第二章 日本低放處置設施管理方法

日本遵循「爐規法實施令」，將放射性廢棄物依核種輻射強度區分為第一種廢棄物與第二種廢棄物，相對於我國則稱為高放射性與低放射性廢棄物。

日本原子力學會針對低放射性廢棄物處置場回填計畫與設施管理方法訂定第二種廢棄物處置事業相關標準，以實行低放射性廢棄物處置設施於施工、營運、封閉期間之安全管理。表 2.1 為日本原子力學會標準與第二種廢棄物處置事業有關核原料物質、核燃料物質及原子爐的規範法律(以下稱爐規法)，以及第二種處置規則條例的對照表；表 2.2 則是日本原子力學會標準與廢棄物處置事業有關安全規範的對照表。

表 2.1 日本原子力學會標準與第二種廢棄物處置事業法律相關關係

	爐規法	第二種埋設規則	與原子力學會標準的對應
階段轉換許可	法第五十一條之二第二項第五號 (於事業許可申請書中記載保安措施變更的預定時期)	第二條第一項第四號 (放射性衰減所對應周圍監控區域與保安措施的變更及除役時期)	階段管理等安全確保的對策 (基本安全機能與管理措施、階段轉換條件)
確認認可相關	法第五十一條之六 (廢棄物處理相關確認)	第六條 (廢棄物處置設施技術上的基準)	回填方法 (材料的選擇方法、施工方法、品質管理等)
	法第五十一條之十六 (保安及防護特定核燃料物質所採取的措施)	第十六條 (廢棄物處置設施的巡視及檢查) 第十七條 (廢棄物處置設施的保護)	保安措施、監控、廢棄物處置場相關保護 (處置場保護區域的設定、巡視、檢查等) (廢棄物處置場釋出液的監控、遷移狀況的監控)
		第十四條 (周圍監控區域的設定和措施) 第十九條第十號 (周圍監控區域的監控及濃度限制)	周圍監控區域相關措施 (周圍監控區域的設定和措施) (濃度限制的監控場所、頻率、測定項目設定)
		第十九條之二 (廢棄物處置設施的定期評估)	安全評估 (程序、計畫、最新資訊的收集等)
		第十三條之三 (品質保證)	品質保證
		法第五十一條之十五 (紀錄)	第十三條 (紀錄)
其他	-	-	適用範圍、引用規格、用

表 2.2 日本原子力學會標準與廢棄物處置事業安全規範相關關係

階段	事業者	原子力安全、保安院	原子力安全委員會
計畫階段	第二種處置規則第二條 (法第五十一條之二第二項) 申請廢棄物處置事業許可	安全審查 廢棄物處置事業許可	諮詢 審查 答覆
建設階段	第二種處置規則第四條 (法第五十一條之六第一項) 申請廢棄物處置設施確認 (包含營運階段的申請) 第二種處置規則第二十條 (法第五十一條之十八第一項) 申請保護規定認可 第二種處置規則第二十二條 (法第五十一條之二十) 選出廢棄物處置管理者 (法第五十一條之十六第二項) 採取的保護措施 (營運開始前訂定保護規定) 第二種處置規則第十七條 第二種處置規則第十四條 <處置場的保護> 保護管理、監控等 <限制進入> 周圍監控區域的設定等	廢棄物處置設施確認 (放置前) 保護規定認可	
餘裕深度處置 近地表處置設施 近地地表壕溝式處置 建設、營運階段 [作業階段] (廢棄物放置~通行隧道、周圍隧道的回填完畢)	第1階段 [作業階段] (廢棄物放置~覆土施工完成) 營運階段 [作業階段] (廢棄物放置~覆土安定)	法第五十一條之十一 事業開始 <處置事業的實施> 第二種處置規則第七條 (法第五十一條之六第二項) 申請放射性廢棄物處置的確認 第二種處置規則第五條第三號、第四號 廢棄物處置設施的確認 坑道回填或覆土的施工(包含設計) 坑道回填或覆土的施工工事 施工管理、周圍監控、保護管理	放射性廢棄物處置的確認 獨立行政法人原子力安全基礎機構實施 保護檢查 入內檢查(必要情況) 認可、檢查等狀況報告 報告 意見 廢棄物處置設施確認 保護檢查
回填後階段	第2~第3階段	保護階段	
除役措施		第二種處置規則第二十條第二項 (法第五十一條之二十五第二項) 申請除役措施計畫認可 第二種處置規則第二十條第二項 (法第五十一條之十八第一項) 申請保護規定變更認可 第二種處置規則第二十二條十一 (法第五十一條之二十五第三項) 申請除役措施完成的確認	除役措施計畫認可 保護規定變更認可 確認完成

## 2.1 目標與適用範圍

低放射性廢棄物處置場回填計畫與設施管理方法之相關標準訂定目的為藉由輻射防護概念以確保廢棄物處置場之安全。

日本原子力學會標準的適用範圍含括餘裕深度處置、近地表處置設施或近地表壕溝式處置處理原子爐設施、再處理設施、MOX 燃料加工設施從運轉至除役所產生的低放射性廢棄物。

## 2.2 日本低放射性廢棄物處置方式與管理項目

日本低放射性廢棄物處置方式依據廢棄物放射性強度由高至低分別利用餘裕深度處置、近地表處置設施和近地表壕溝式處置三種方式進行處置，其各處置場主要之廢棄物來源整理於表2.3。高放射性廢棄物的部分則是擬使用深地層處置方式進行處置，圖2.1為日本放射性廢棄物分類與最終處置方法之概念圖。

針對低射性廢棄物處置場的管理，日本第二種處置規則第二條第一項第四號訂定，事業許可申請書內容必須記載低放射性廢棄物處置場核種衰減過程所對應之周圍監控區域，以及廢棄物處置場保護措施的變更或除役時期。

設定廢棄物處置場管理期間的根據是從曝露劑量管理的輻射防護考量去執行，考量條件為管理期間結束後，放射性廢棄物對一般民眾所產生的劑量已至不必進行管理的程度。

表 2.3 日本低放射性廢棄物處置場主要廢棄物來源

低放射性廢棄物處置方法		廢棄物產生場所		
		核能發電廠	MOX燃料加工工廠	再處理工廠
餘裕深度處置		放射性較高的廢棄物	含鈾、超鈾廢棄物	含鈾、超鈾廢棄物
近地表處置設施	1號場	濃縮廢液、用過樹脂、燃燒灰	—	—
	2號場	金屬類、塑膠、保溫材料、過濾器等固體狀廢棄物	—	—
近地表壕溝式處置		放射性極低的混凝土、金屬	—	—

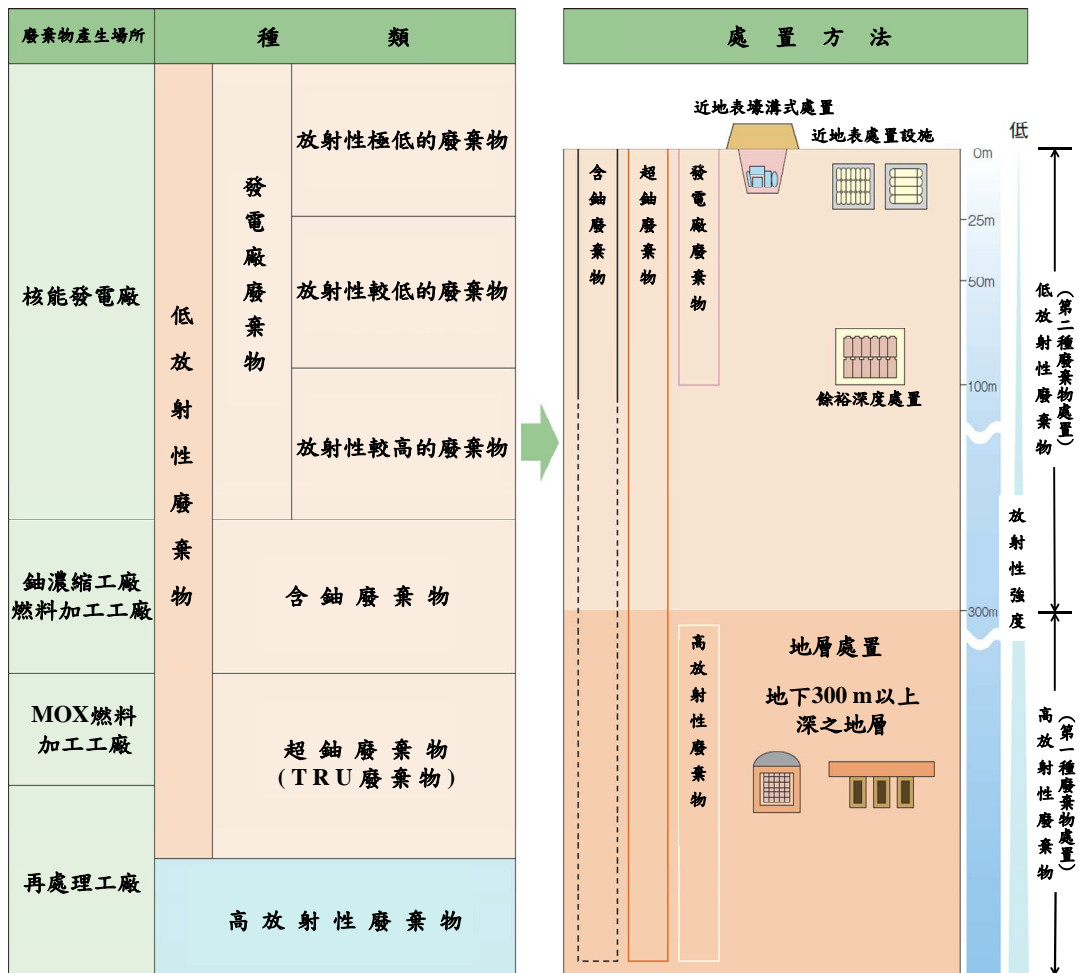


圖 2.1 日本放射性廢棄物分類與最終處置方法概念圖

### 2.2.1 餘裕深度處置

餘裕深度處置為距離地表 50 公尺以上之廢棄物處置場，其設施概念如圖 2.2 所示，利用低擴散性、低滲透性、具吸附核種性質的材料製成工程障壁，並將廢棄物以工程障壁層層包覆，延緩地下水滲透和抑制放射性物質的擴散，以降低放射性物質釋出速度，並且運用填充材料(砂漿水泥、混凝土)填充廢棄物包件周圍空隙，用以固定廢棄物包件。

餘裕深度處置主要之廢棄物來源為核能發電廠運轉至除役所產放射性較高的廢棄物，或 MOX 燃料加工工廠、再處理工廠運轉至除役所產生的低放射性廢棄物，這些廢棄物將先經過切斷、燃燒、壓縮以及固化等處理後，再放入鋼製處置容器中處置，圖 2.3 與表 2.4 為鋼製處置容器之構造資訊，處置容器主要分為本體、頂蓋及方便吊掛作業之吊掛用吊柄，其中容器本體與頂蓋為板狀鋼材經成型後，以熔接方式接合而成，吊柄則是以溶接方式安置於容器側面，內部屏蔽材料為根據放射性廢棄物的放射性濃度設計，並於處置容器內側設置。

MOX 燃料加工工廠、鈾濃縮工廠運轉至除役所產生含鈾廢棄物或超鈾廢棄物(transuranic waste 簡稱 TRU waste)可能具有衰變熱，然而餘裕深度處置兩側並沒有設置冷卻裝置，因此將限制廢棄物包件處置時所產生的熱，若廢棄物衰變熱高出限制時，將先進行貯存待衰變熱降低後再進行處置作業。

餘裕深度處置的回填與設施管理主要分為處置場於建設、營運階段與封閉後階段二個階段進行管理，如圖 2.4 示意圖所示，管理之主要目的為確保處置場於各階段能發揮預期的基本安全機能，管理的措施及項目列於表 2.5，而處置場於各階段之基本安全機能與管理措施的實施時期列於表 2.6，另外當處置場由建設營運階段進入封閉後階段時，也將依據階段的轉換

條件以及確認方法進行管理，如表 2.7 所列。

針對餘裕深度處置管理結束時期的考量方法和計算案例，餘裕深度處置報告書中提及：「廢棄物的核種衰減至對偶然開挖等人類活動曝露劑量極低的期間，應管理並設定營運保護區域與限制開挖行為，以維護民眾的安全。基於此考量，事業者申請許可時，應考量設定必要的管理期間。」另外也提及「在評估廢棄物包件的核種衰減、基本安全機能以及曝露劑量潛在的危險性後，在進入非必要管理階段時，必須綜合確認至此所有的評估基礎標準，以擬定可進入非必要管理期間的時間點。」

基於以上敘述，處置場封閉後的管理期間考量方向可依據以下兩點進行合理考察：

- (1) 根據原子力安全委員會的安全規範基本考量方法，從中設定基本情節、變異情節、人為或稀有事件情節的劑量低於目標值之期間。
- (2) 餘裕深度處置中，處置深度的設計將降低人類接觸的可能性，可以設定偶然開挖等假定事件(人為情節)所對應劑量低於目標值的期間。

於管理期間，主要的放射性廢棄物管理對象為  $^{60}\text{Co}$ 、 $^{137}\text{Cs}$  等核種濃度較大的廢棄物，圖 2.5 為餘裕深度處置設施中，設定輻射防護主要考量的核種，根據圖 2.5 所示，經過數十年後核種合計濃度減少約 10 倍，而經過 300 年至 400 年後，輻射濃度減少約 100 倍，此時曝露劑量的潛在危險性將相對較低，並且當處置經過 300 年至 400 年後， $^{60}\text{Co}$ 、 $^{137}\text{Cs}$  的核種濃度降幅顯著，因此可考量將管理期間定為 300 年至 400 年。

圖 2.6 為人為情節評估的案例，應考量將管理期間設定為數十年至百年，以確保偶然開挖等人類活動的曝露劑量低於標準值。

整合上述案例後可得知，人為情節的管理期間為數十年至百年，但放射性廢棄物的核種衰變管理期間為 300 年至 400 年，因此經整合後，處置場的管理期間應考量以 300 年至 400 年為目標。

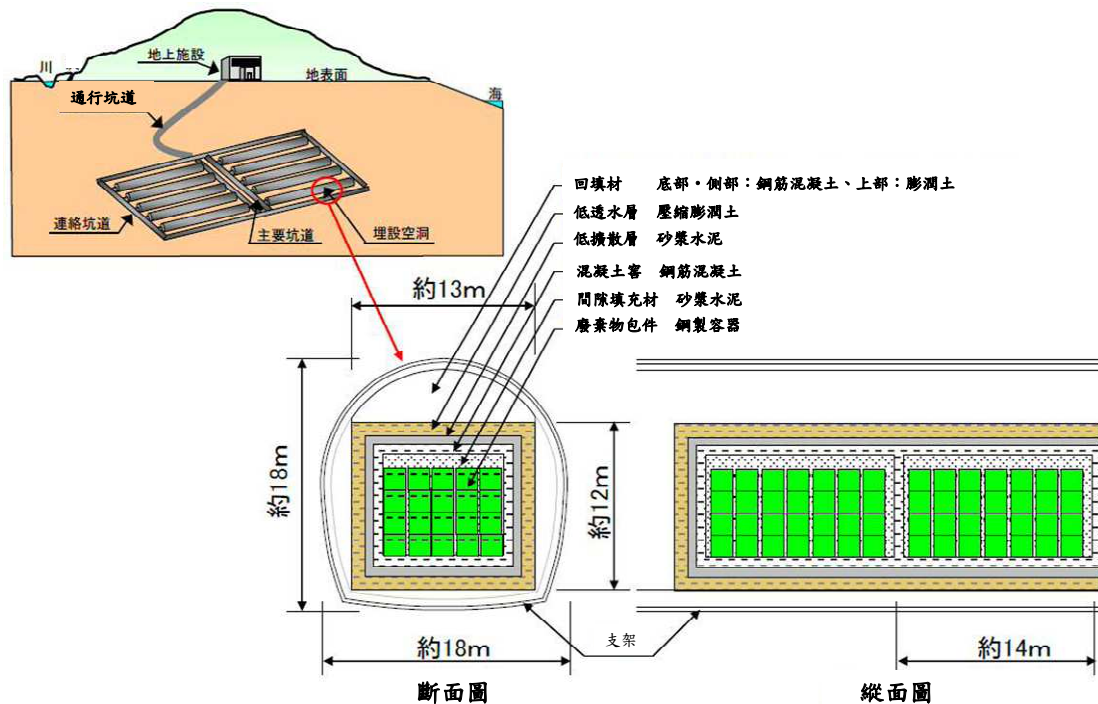


圖 2.2 餘裕深度處置設計概念圖

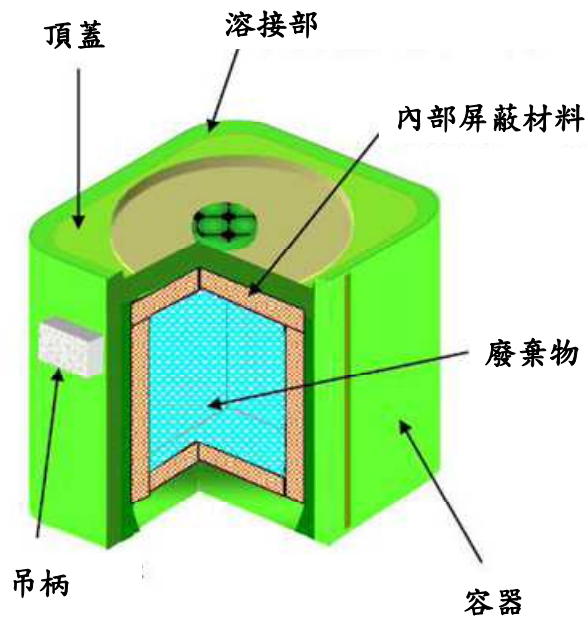
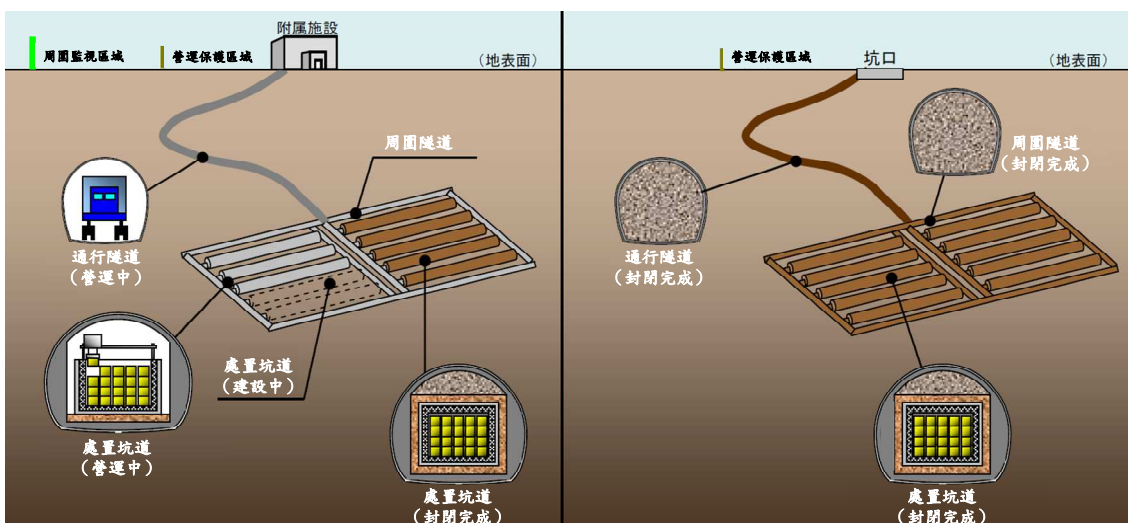


圖 2.3 鋼製處置容器構造

表 2.4 鋼製處置容器資料

容器尺寸	160 cm × 160 cm × 160 cm
容器鋼板厚度	5 cm 以上
容器材料	碳鋼(SM400)
頂蓋材料	溶接構造用壓延鋼材
容器重量(含內部屏蔽材料、廢棄物)	最大約 28 噸
表面劑量	500 mSv/hr 以下



(a) 建設、營運階段

(b) 封閉後階段

圖 2.4 餘裕深度處置之各管理階段示意圖

表 2.5 餘裕深度處置相關管理措施及項目

階段	基本安全機能	管理措施		管理項目
		區分	目的	
建設、營運階段	屏蔽	監控	周圍監控區域的輻射劑量不得超過限制	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 周圍監控區域的直接伽瑪射線及高空散射效應伽瑪射線劑量的測定</li> </ul>
		廢棄物處置場相關保護	維持廢棄物處置場的密閉機能	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 周圍監控區域的限制進入</li> <li>• 維持巡視、檢查處置設備，並管理監控設備</li> <li>• 處置場保護區域的設定，處置場保護區域的巡視、檢查</li> </ul>
	密閉			密閉的設計機能
		監控	周圍監控區域的放射性濃度不得超過限制	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 周圍地下水中的放射性物質濃度測定</li> </ul>
	抑制遷移	坑道的回填施工	預防形成放射性物質的遷移路徑	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 回填材料的選擇方法</li> <li>• 坑道回填的施工方法</li> </ul>
		安全審查	廢棄物處置場長期的安全性以及相關技術的適用	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 國內外最新的資訊收集、整理</li> <li>• 檢查、品質管理、紀錄、監控等相關資料取得、整理</li> </ul>
	隔離	坑道的回填施工	防止民眾輕易入侵至廢棄物包件附近	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 回填材料的選擇方法</li> <li>• 坑道回填的施工方法</li> </ul>
		安全審查	廢棄物處置場長期的安全性以及相關技術的適用	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 國內外最新的資訊收集、整理</li> <li>• 檢查、品質管理、紀錄等相關資料取得、整理</li> </ul>
	封閉後階段	廢棄物處置場相關保護	維持廢棄物處置場的抑制遷移機能、禁止或限制開挖等特定行為	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 處置場保護區域的設定，處置場保護區域的巡視、檢查</li> <li>• 設置禁止特定行為的告示與維持管理</li> </ul>
				<ul style="list-style-type: none"> <li>• 附近地下水中的放射性物質濃度測定</li> <li>• 周圍監控區域內地下水中的放射性物質濃度測定</li> </ul>
抑制遷移		監控	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 周圍監控區域的濃度不得超過限制</li> </ul>	
		安全審查	廢棄物處置場長期的安全性以及	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 取得與整理能避免處置系統長期性能損耗的資料</li> </ul>



			相關技術的適用	
--	--	--	---------	--

表 2.6 餘裕深度處置各階段工程的基本安全機能與管理措施實施時期

階段管理		建設、營運階段			封閉後階段	管理期間結束後的長期期間
工程	廢棄物定置	自定置完成至回填完成			回填完成後至管理期間結束	
		最初處置坑工程障壁的建造、處置坑的回填	後段工程(處置坑道開挖)	周圍、通行隧道的回填(施工開始至完成)		
管理措施				坑道回填施工		
			廢棄物處置場相關保護			
		監控				
		安全審查				
紀錄		紀錄				
基本安全機能	屏蔽	[黑底]				
	密閉	[黑底]				
	抑制遷移				[黑底]	機能期
	隔離	該機能並無要求，但仍屬持續確保期間				[黑底]

註：灰底的部分為管理標準範圍，黑底的部分為處置場基本安全機能

表 2.7 餘裕深度處置的階段轉換條件和確認方法

階段轉換時期	階段轉換條件	確認方法
建設、營運階段→封閉後階段	完成通行隧道、周圍隧道回填施工	通行隧道、周圍隧道的回填過程至施工完成時的檢查確認
	廢棄物處置場於建設、營運階段的封閉機能確保	廢棄物處置場相關的保護與監控的結果確認
	廢棄物處置場的長期安全性確保	安全審查的結果確認

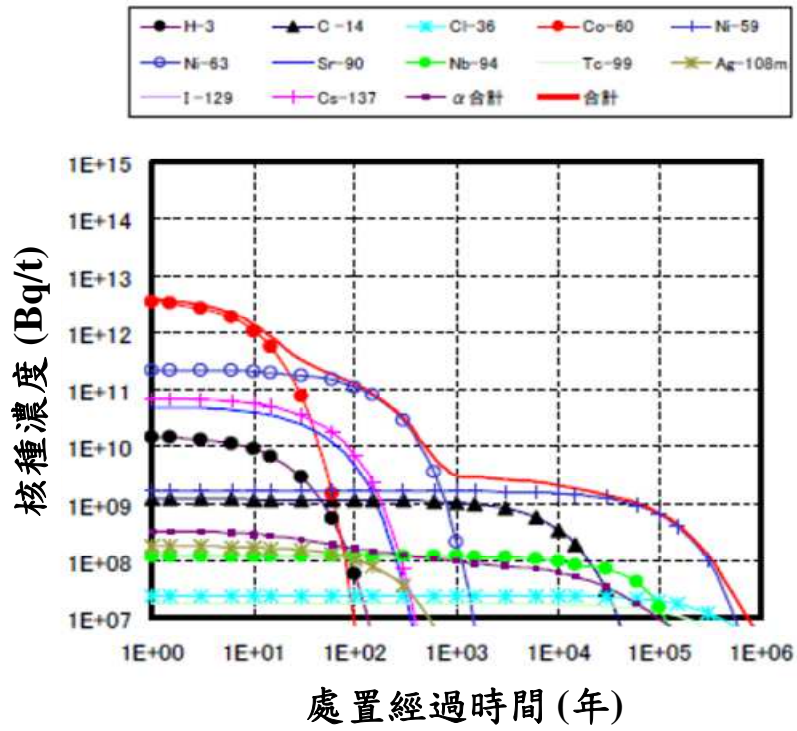


圖 2.5 餘裕深度處置的放射性廢棄物核種衰變特性案例

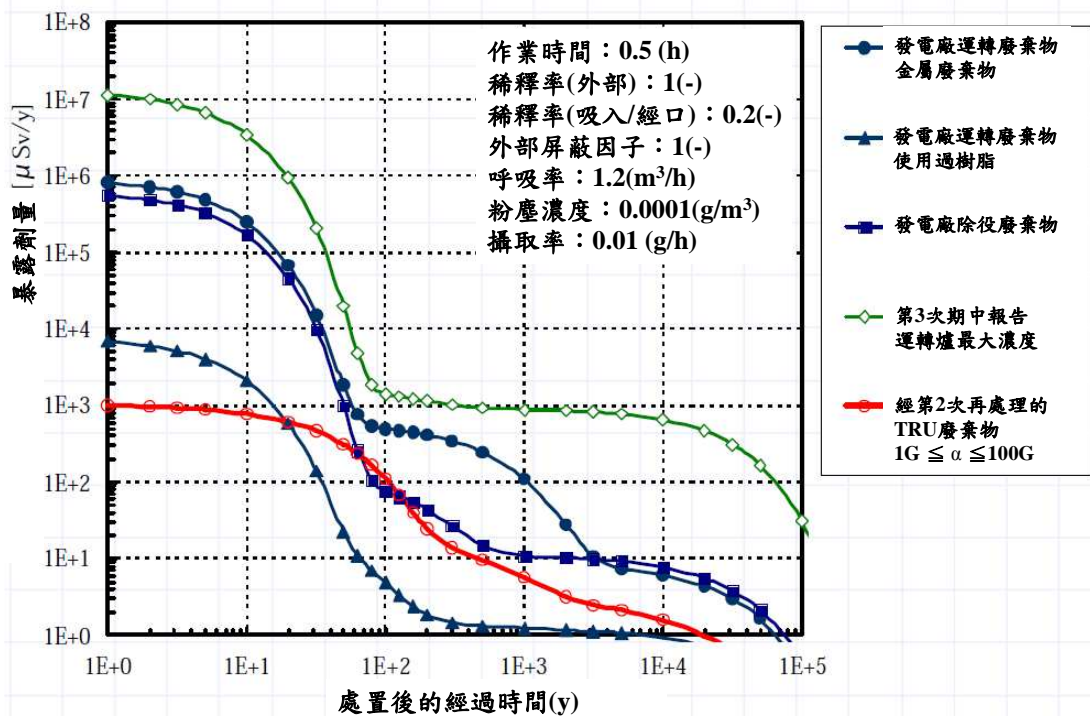


圖 2.6 餘裕深度處置的人為情節評估案例

## 2.2.2 近地表處置設施

近地表處置設施為距離地表未滿 50 公尺之廢棄物處置場，目前日本營運中的 1 號、2 號近地表處置設施位於青森縣東北部的六所村，處置量共約 80,000 m<sup>3</sup>，其中 1 號廢棄物處置場主要接收的放射性廢棄物為核能發電廠運轉至除役所產生的濃縮廢液、用過樹脂、燃燒灰等，這些廢棄物將運用水泥、瀝青、塑膠於廢料桶內進行固化後處置；而 2 號廢棄物處置場主要接收的放射性廢棄物為核能發電廠運轉至除役所產生的金屬類、塑膠、保溫材料、過濾器等固體狀廢棄物，廢棄物於處置前將先經過切斷、壓縮、熔融等處理後，再放入廢棄物桶中，接著運用水泥砂漿填充材料進行固化處理，如圖 2.7 所示。

待廢棄物處置妥當後，利用砂與膨潤土混合物進行回填，最後再用覆土材料進行覆蓋。每一處置窖外牆內側加上一層多孔性混凝土層，若地下水經由外牆滲透入處置窖，則將經由多孔性混凝土層排至處置設施外的檢查通道。

近地表處置設施的回填與設施管理主要分為三個階段進行管理：第 1 階段為藉由工程障壁防止放射性物質向外釋出、第 2 階段為藉由天然障壁和工程障壁抑制放射性物質遷移至生活環境、第 3 階段為依靠天然障壁抑制放射性物質遷移至生活環境，各階段之管理示意圖如圖 2.8 至圖 2.10 所示。

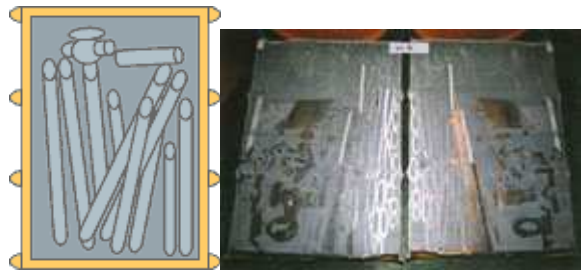
管理內容包括處置的廢棄物形態、廢棄物中所含的放射性物質種類、濃度以及混凝土窖等工程設施的設置，圖 2.11 為近地表處置設施廢棄物的法令技術管理標準，表 2.8 為管理的措施及項目，而處置場於各階段之基本安全機能與管理措施的實施時期列於表 2.9，另外每當處置場進入下一個管理階段時，皆將依據各階段的轉換條件以及確認方法進行管理，如表 2.10 所列。

日本原燃公司針對低放射性廢棄物近地表處置設施核種衰減所對應的變更管理內容及預訂時期已有具體案例，表 2.11 為日本六所村 2 號近地表廢棄物處置設施有關事業許可申請書的記載內容。第 1 階段、第 2 階段及第 3 階段的管理內容則根據圖 2.12 六所村 2 號近地表處置設施主要核種的衰減曲線預測圖進行變更，於管理期間，主要針對核種濃度較大的放射性物質 <sup>60</sup>Co、<sup>137</sup>Cs 進行管理，由圖 2.12 可以得知，大部分主要考量核種於 30 年至 40 年後輻射濃度下降約 10 倍，而於 300 年至 400 年後輻射濃度則下降約 100 倍，並且當處置經過 300 年至 400 年後，<sup>60</sup>Co、<sup>137</sup>Cs 的核種濃度降幅顯著，因此預計近地表處置設施的總管理期間可能為 300 年至 400 年，同時也針對處置場的人為開挖、樹根入侵和稀有事件情節進行評估。

周圍監控區域為輻射曝露劑量管理必要時期(第 1 階段監控廢棄物處置場密閉時期、第 2 階段監控抑制遷移時期)所設置的監控區域。第 1 階段考量工事上的條件，將完成時期設定於處置開始後 25 年至 30 年之間，而 2 階段的完成時期是以作為第 3 階段的施工用地為前提，並考量覆土的安定性，設定於第 1 階段完成後 30 年，此階段 <sup>60</sup>Co、<sup>137</sup>Cs 等主要的曝露劑量管理核種已衰減至最初的 1/10，周圍監視區域的輻射劑量也已低於限制，接著第 3 階段所設置的營運保護區域將採取禁止、限制開挖等特定行為措施，預計完成期間為第 1 階段完成後 300 年。由於此階段不會限制、管理一般民眾進入，因此可考量是否有繼續設置周圍監控區域的必要性。



(a) 1 號廢棄物處置場



(b) 2 號廢棄物處置場

圖 2.7 近地表處置設施廢棄物內部示意圖

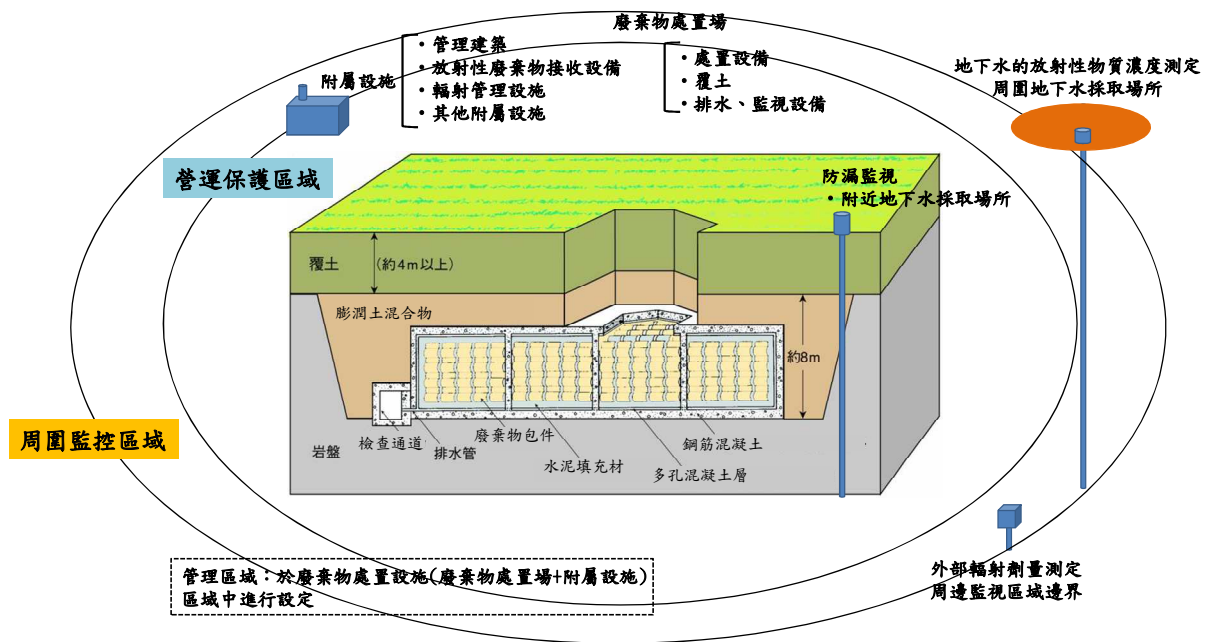


圖 2.8 近地表處置設施第 1 階段管理示意圖

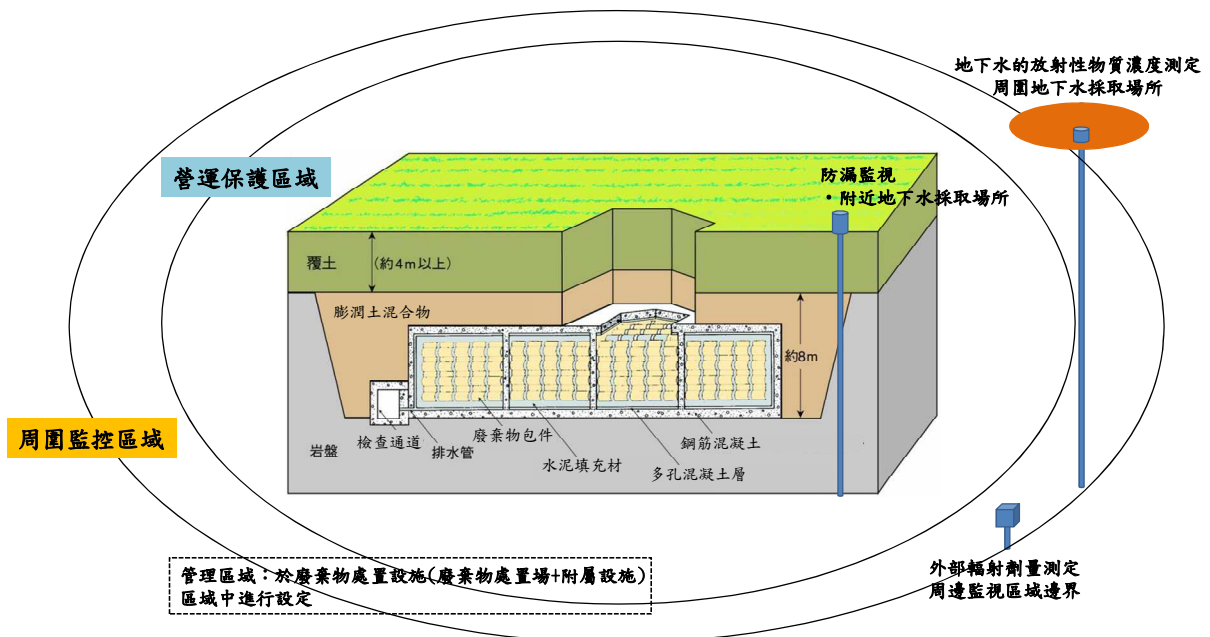


圖 2.9 近地表處置設施第 2 階段管理示意圖

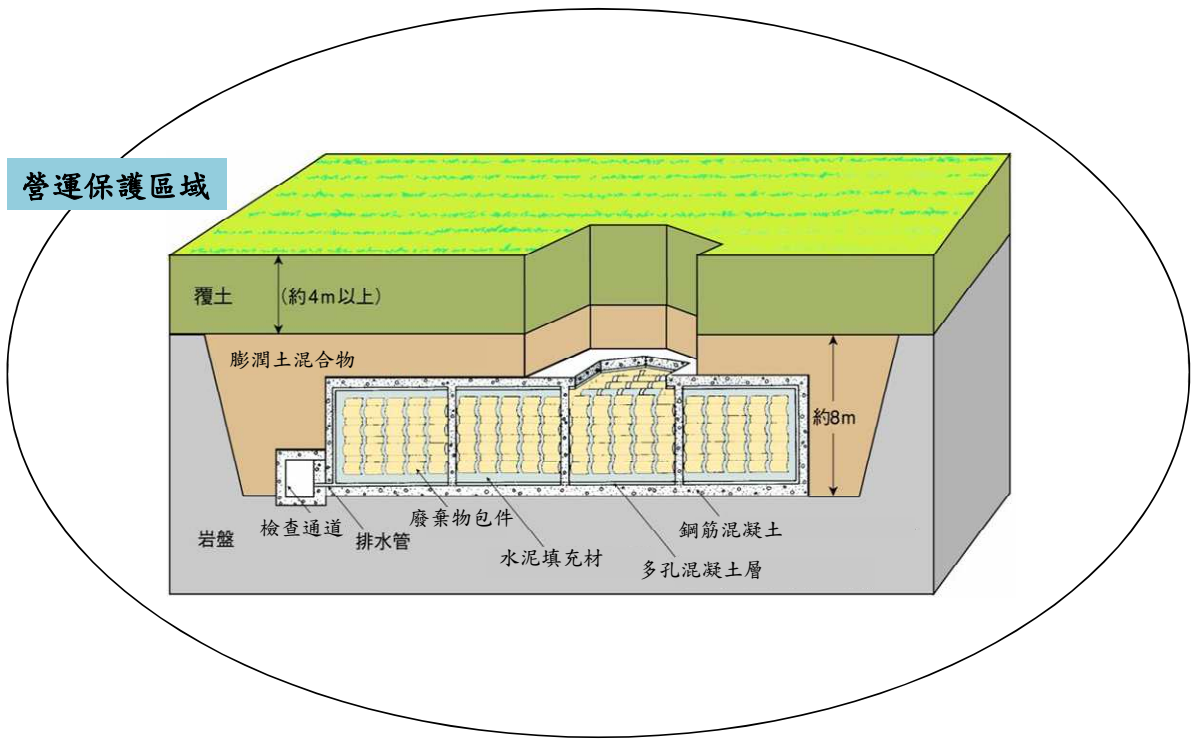


圖 2.10 近地表處置設施第 3 階段管理示意圖

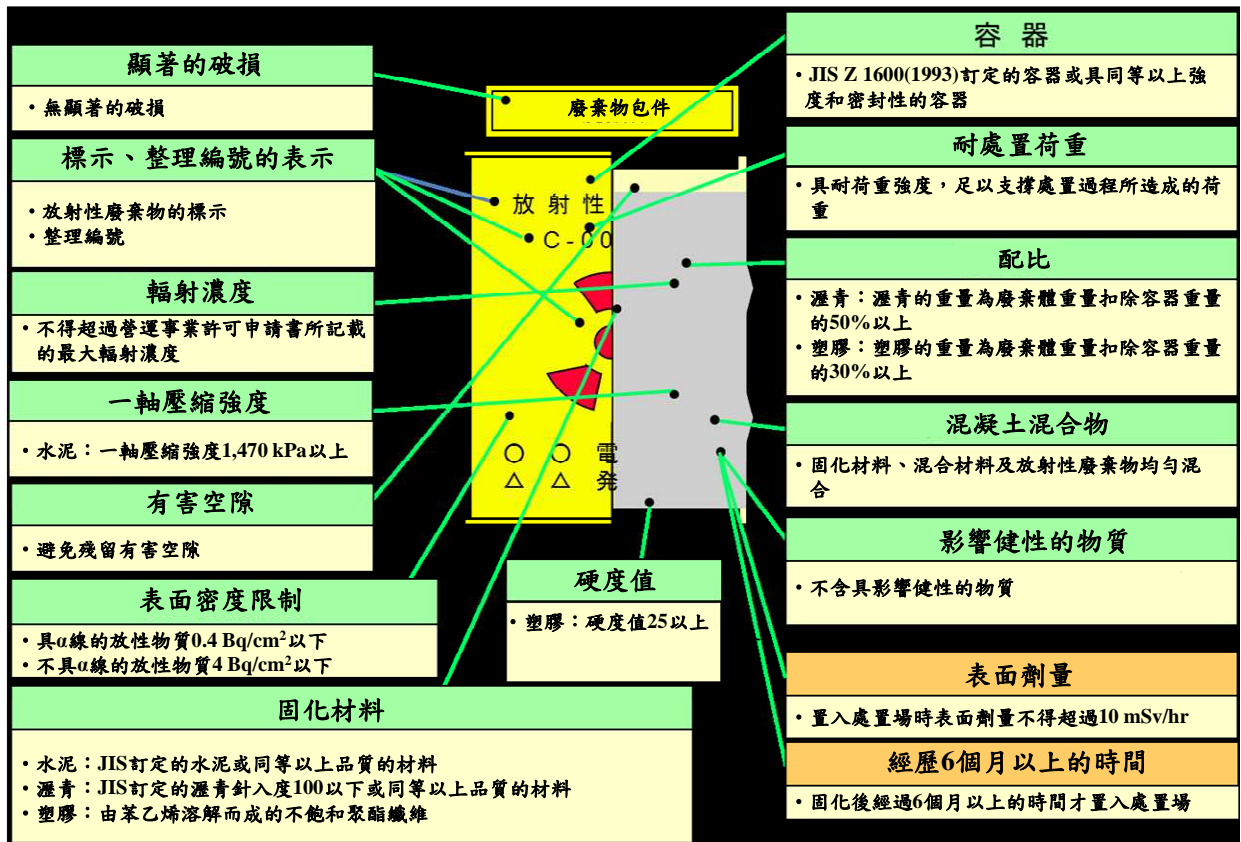


圖 2.11 廢棄物包件的法令技術標準

表 2.8 近地表處置設施相關管理措施及項目

階段	基本安全機能	管理措施		管理項目	
		區分	目的		
第 1 階段	屏蔽	監控	周圍監控區域的輻射劑量不得超過限制	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 測定周圍監控區域的直接伽瑪射線及高空散射效應伽瑪射線劑量</li> </ul>	
			廢棄物處置場相關保護	維持廢棄物處置場的密閉機能	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 限制進入周圍監控區域</li> <li>• 維持巡視、檢查處置設備，並管理監控設備</li> <li>• 設定處置場保護區域，巡視、檢查處置場保護區域</li> </ul>
	抑制遷移	覆土的施工		減少空隙以防止沉陷等較大形變	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 覆土材料的選定方法</li> <li>• 覆土的施工方法</li> </ul>
			防止廢棄物處置場之設備或廢棄物包件的露出	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 覆土材料的選定方法</li> <li>• 覆土的施工方法</li> <li>• 覆土的厚度</li> </ul>	
	第 2 階段	抑制遷移	廢棄物處置場相關保護	維持廢棄物處置場抑制遷移的機能	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 限制進入周圍監控區域</li> <li>• 設定處置場保護區域</li> <li>• 維持管理監控設備</li> <li>• 巡視、檢查處置場保護區域</li> </ul>
				監控	抑制遷移的機能狀況(釋出狀況、遷移至生活環境)
周圍監控區域的濃度不得超過限制					<ul style="list-style-type: none"> <li>• 周圍地下水中的放射性物質濃度測定</li> </ul>
第 3 階段	抑制遷移	廢棄物處置場相關保護	維持廢棄物處置場抑制遷移的機能、農耕作業等特定行為的禁止與限制	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 處置場全區域的設定</li> <li>• 處置場全區域的巡視、檢查</li> <li>• 設置禁止特定行為的告示與維持管理</li> </ul>	

表 2.9 近地表處置設施各階段工程基本安全機能與管理措施實施時期

階段管理		第 1 階段		第 2 階段	第 3 階段	管理期間結束後的長期間
工程	廢棄物定置	自定置完成至覆土完成		覆土完成後至管理期間結束		
		• 填充材料填充 • 披件施工	覆土的施工 (自施工開始至完成)			
管理措施			覆土的施			
			廢棄物處置場相關保護			
			監控			
紀錄		紀錄				
基本安全機能	屏蔽	[黑底]				
	密閉	[黑底]				
	抑制遷移			[黑底]		機能期待期間

註：灰底的部分為管理標準範圍，黑底的部分為處置場基本安全機能

表 2.10 近地表處置設施的階段轉換條件和確認方法

階段轉換時期	階段轉換條件	確認方法
第 1 階段→第 2 階段	完成覆土施工	完成覆土施工時的檢查與確認
	廢棄物處置場於第 1 階段的封閉機能確保	廢棄物處置場相關的保護與監控的結果確認
第 2 階段→第 3 階段	經一段時間後，覆土無發生沉陷或沉降的情形	巡視、檢查覆土是否有沉陷或沉降的情形，並且確認修復措施保護紀錄
	廢棄物處置場於第 2 階段的抑制遷移機能確保	監控結果的確認

表 2.11 日本原燃公司 2 號廢棄物處置設施輻射衰減所對應的管理案例

輻射衰減所對應廢棄物處置的保護措施變更預定時期
廢棄物處置場的管理實施為遵從「放射性廢棄物處置設施的安全審查基本考量方法」，設定第 1 階段、第 2 階段及第 3 階段，各階段所對應的廢棄物處置保護措施變更預定時期如

下表示：

- (1) 設施接收廢棄物包件前進行周圍監控區域的設定，並於第 2 階段完成時廢除。
- (2) 第 1 階段設定營運保護區域除了採取設立標誌等必要措施外，同時必須監控處置設備外是否有釋出放射性物質，若確認有釋出情形，應盡速修復處置設備，並採取其他必要且合適的對應措施，第 1 階段預計於處置開始後 25 年至 30 年間完成。完成前，全部處置設備已覆蓋覆土。
- (3) 第 2 階段設定營運保護區域除了採取設立標誌等必要措施外，同時必須監控放射性物質是否有釋出至環境中，並且採取對應的放射性物質抑制遷移措施，第 2 階段預計於第 1 階段完成後 30 年完成。
- (4) 第 3 階段營運保護區域的設定採取設立標誌等必要措施，其完成期間預計於第 1 階段完成後 300 年。第 3 階段必須經過相關措施的主管部門批准後才能完成。

#### 階段管理的計畫

為了長時間確實管理廢棄物處置場，除了以第二種處置規則為基礎設定營運保護區域外，也採取於廢棄物處置場設置注意事項告示牌等相關保護措施，另外，根據「放射性廢棄物處置設施的安全審查基本考量方法」，設定第 1 階段、第 2 階段及第 3 階段，並依輻射防護考量禁止居住於施工用地內，以下為必要的保護措施所採取的基礎考量。

- (1) 第 1 階段為藉由工程障壁防止放射性物質向外釋出，於此階段進行周圍監控區域邊界附近的外部放射線相關劑量監控、廢棄物處置場的巡視及檢查，並藉由排水、監控設備測定水流的放射性物質濃度，用以確認放射性物質是否有釋出的情形。  
第 1 階段期間為處置作業及鄰近處置設備的設置，由於此期間仍無法完全確保廢棄物處置場周圍的土砂等天然障壁發揮其功能，因此考慮工事上的條件，將第 1 階段的完成時期設定於處置開始後 25 年至 30 年。完成前，全部處置設備已覆蓋覆土。第 1 階段的必要保護措施如下所列：
  1. 設定周圍監控區域及營運保護區域。
  2. 周圍監控區域邊界附近的外部放射線相關劑量及地下水放射性物質的濃度監控。
  3. 處置設備外監控放射性物質是否有釋出的情形，若確認有釋出的情形，應盡速修復處置設備，以防放射性物質繼續釋出。
  4. 進行廢棄物處置場的巡視與檢察，必要時將針對覆土進行校正與修復。
  5. 透過排水、監控設備對排水進行監控。
- (2) 第 2 階段為確保天然障壁和工程障壁，用以抑制放射性物質遷移的階段，於此階段進行廢棄物處置場的巡視及檢查，並藉由排水、監控設備測定水流的放射性物質濃度，用以確認放射性物質是否有釋出的情形。  
第 2 階段的完成時期是以作為第 3 階段的施工用地為前提，並考量覆土的安定性，設定於第 1 階段完成後 30 年。第 2 階段的必要保安措施如下所列：
  1. 引繼第 1 階段所設定的周圍監控區域及營運保護區域。
  2. 周圍監控區域邊界附近的外部放射線相關劑量及地下水放射性物質的濃度監控。
  3. 監控處置設備是否有釋出放射性物質的狀況，必要時將採取抑制放射性物質遷移的措施。
  4. 進行廢棄物處置場的巡視與檢察，必要時將針對覆土進行校正與修復。
  5. 透過排水、監控設備對排水進行監控。
- (3) 第 3 階段為確保天然障壁抑制放射性物質遷移的階段，於此階段容許一般民眾進入施



工用地，但根據輻射防護考量，將禁止取用井水，並限制開挖地表面。

第3階段的完成時期為確保管理期間結束後，一般民眾所接受的劑量已無安全疑慮，因此設定於第1階段完成後300年。第3階段的必要保護措施如下所列：

- 1.引繼第2階段所設定的營運保護區域。
- 2.施工用地內設置監控器，針對陸、水放射性物質的濃度進行測定。
- 3.進行廢棄物處置場的巡視，必要時將針對覆土進行校正與修復。
- 4.容許一般民眾進入施工用地，但依據輻射防護考量，將禁止取用井水，並限制開挖地表面。
- 5.盡快實施檢查通道的回填。

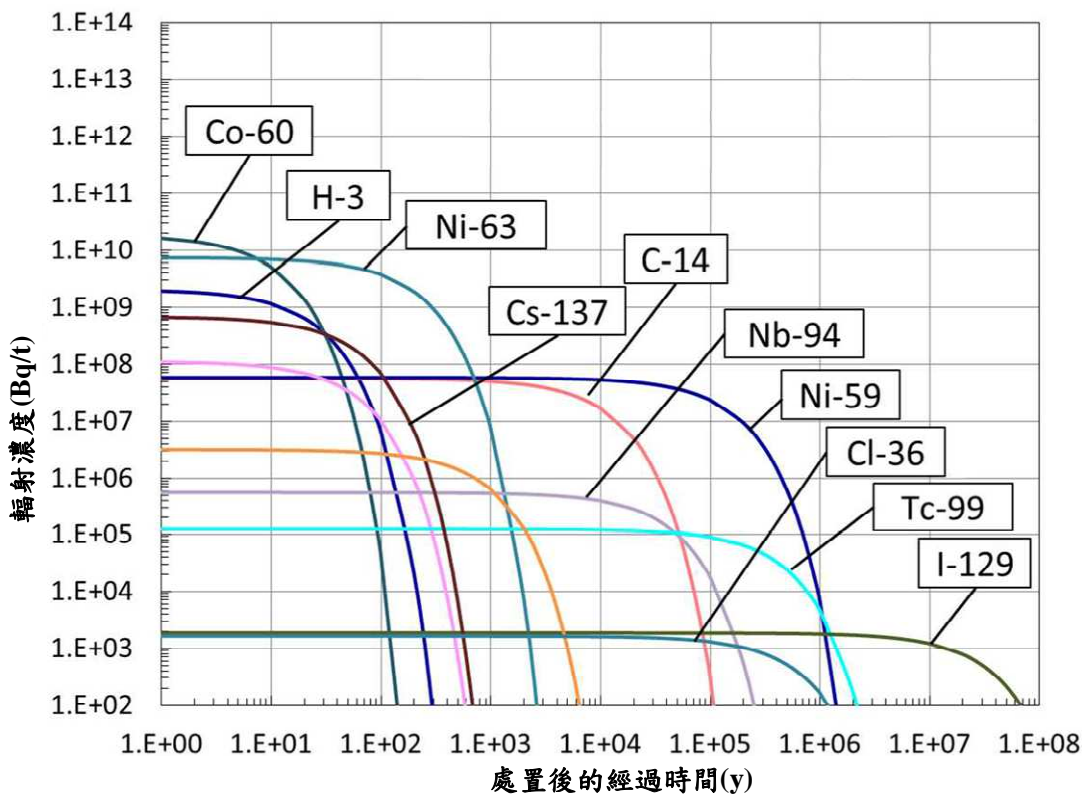


圖 2.12 近地表處置設施的放射性廢棄物輻射衰變特性案例

### 2.2.3 近地表壕溝式處置

近地表壕溝式處置為距離地表未滿 50 公尺之廢棄物處置場，主要接收的放射性廢棄物為核能發電廠運轉至除役所產生放射性極低的混凝土、金屬等放射性廢棄物，這些廢棄物將運用樹脂披件或具彈性的包件包覆後，再進行處置。

近地表壕溝式處置的回填與設施管理主要分為營運階段以及保護階段二個階段進行管理，其中營運階段為監控放射性物質由廢棄物處置場遷移至生活環境，以抑制放射性物質遷移至生活環境中；而保護階段為禁止特定行為，並須設立限制告知設施，以達成運用天然障壁抑制放射性廢棄物遷移至生活環境的目標，圖 2.13 與圖 2.14 為二個階段之管理示意圖。管理的措施及項目列於表 2.12，而處置場於各階段之基本安全機能與管理措施的實施時期列於表 2.13，另外當處置場由建設營運階段進入封閉後階段時，也將依據階段的轉換條件以及確認方法進行管理，如表 2.14 所列。

針對近地表壕溝式處置處理放射性較低的非固化型固體廢棄物，其管理期間的設定為參

考日本報告書中，原子爐放射性廢棄物的核種衰減進行計算，如圖 2.15 所示，並根據圖 2.15 衰減曲線得知，經過處置 50 年後，放射性廢棄物的核種合計濃度已明顯下降，另外  $^{60}\text{Co}$ 、 $^{137}\text{Cs}$  等主要管理對象的放射性廢棄物，其核種濃度經處置 50 年後降幅明顯，因此將管理期間設定為營運階段以及營運階段後 50 年的保護階段進行管理。

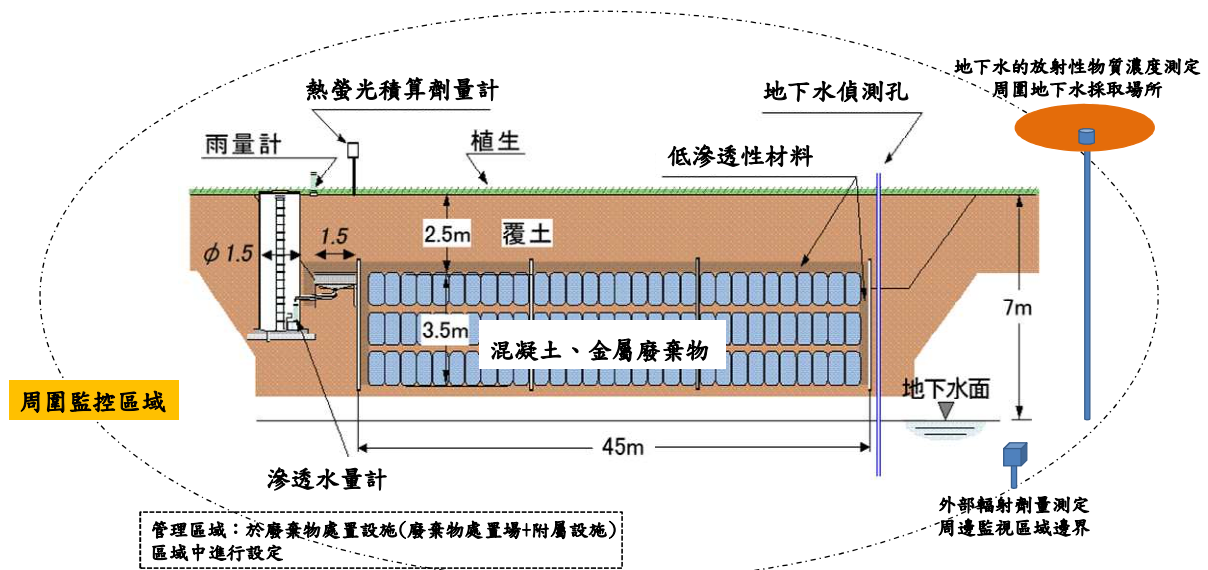


圖 2.13 近地表壕溝式處置營運階段示意圖

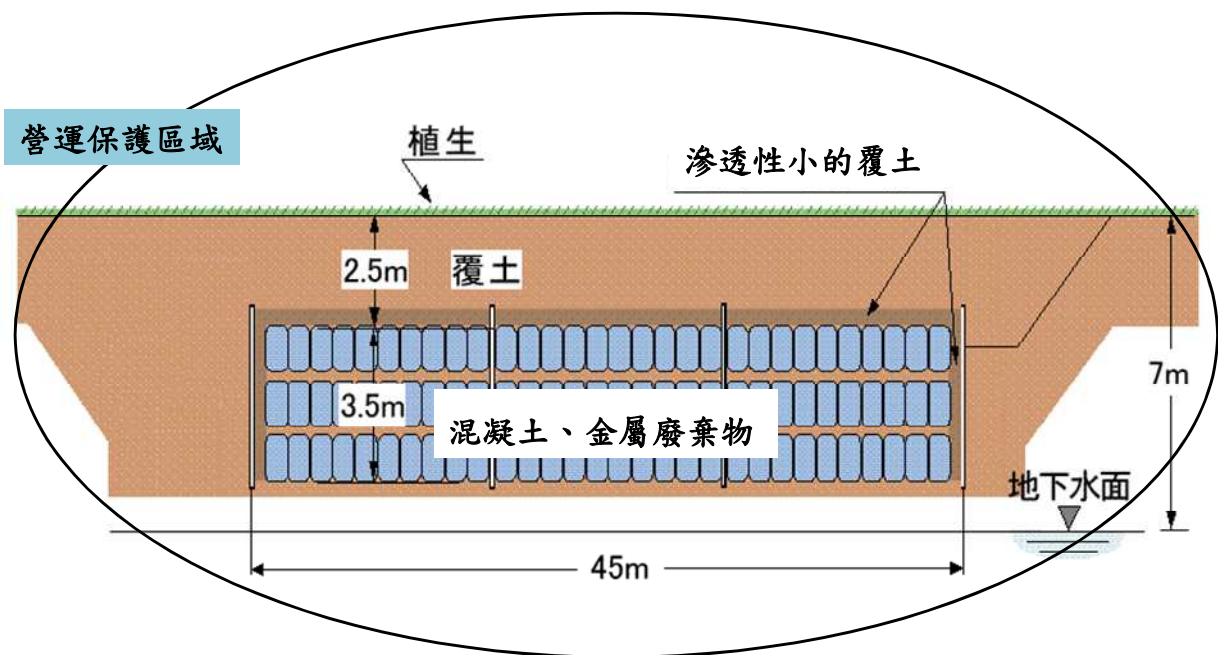


圖 2.14 近地表壕溝式保護階段示意圖

表 2.12 近地表壕溝式處置相關管理措施及項目

階段	基本安全機能	管理措施		管理項目	
		區分	目的		
營運階段	屏蔽	監控	周圍監控區域的輻射劑量不得超過限制	• 周圍監控區域的直接伽瑪射線及高空散射效應伽瑪射線劑量的測定	
			覆土的施工	減少空隙以防止沉陷等較大形變	• 覆土材料的選定方法 • 覆土的施工方法
	抑制遷移	廢棄物處置場相關保護		防止廢棄物處置場之設備或廢棄物包件的露出	• 覆土材料的選定方法 • 覆土的施工方法 • 覆土的厚度
			監控	維持廢棄物處置場的抑制遷移機能	• 限制進入周圍監控區域 • 處置場保護區域的設定 • 維持管理監控設備 • 處置場保護區域的巡視、檢查
				抑制遷移的機能狀況(遷移至生活環境)	• 周圍監控區域內地下水中的放射性物質濃度測定
	保護階段	抑制遷移	廢棄物處置場相關保護	周圍監控區域的濃度劑量不得超過限制	• 周圍地下水中的放射性物質濃度測定
				維持廢棄物處置場的抑制遷移機能、禁止與限制農耕作業等特定行為	• 設定處置場全區域 • 巡視、檢查處置場全區域 • 設置禁止特定行為的告示與維持管理

表 2.13 近地表壕溝式處置各階段工程基本安全機能與管理措施實施時期

階段管理		營運階段		保護階段
工程		廢棄物定置	覆土的施工(自施工開始至完成)	覆土完成後至管理期間結束
管理措施		覆土的施工		
		廢棄物處置場相關保護		
		監控		
紀錄		紀錄		
基本安全機能	屏蔽			
	放射性物質飛散防止			
	抑制遷移			

註：灰底的部分為管理標準範圍，黑底的部分為處置場基本安全機能

表 2.14 近地表壕溝式處置的階段轉換條件和確認方法

階段轉換時期	階段轉換條件	確認方法
營運階段→保護階段	完成覆土施工	完成覆土施工時的檢查與確認
	廢棄物處置場於營運階段的抑制遷移機能確保	監控結果的確認

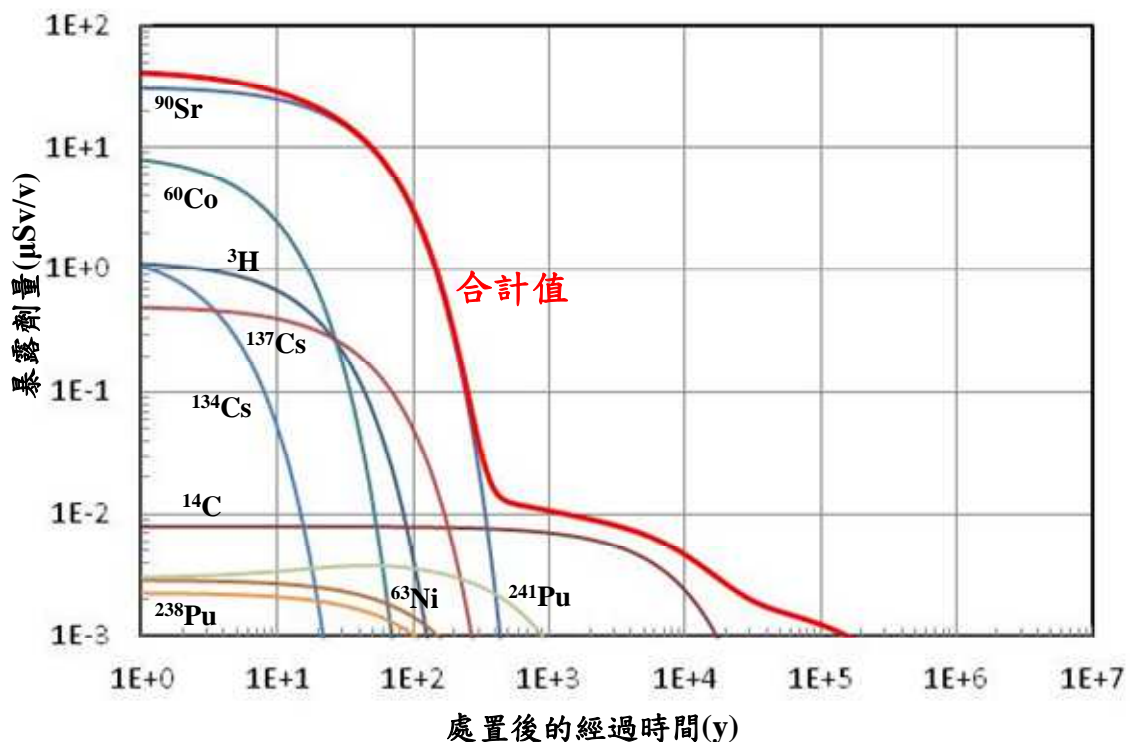


圖 2.15 近地表壕溝處置的放射性廢棄物輻射衰變特性案例

## 第三章 日本低放處置場回填方法

### 3.1 回填管理方法

餘裕深度處置通行隧道和周圍隧道的回填管理措施主要目的為防止形成放射性物質易遷移的路徑，以及防止民眾輕易入侵至廢棄物包件附近，並且將依據管理措施的目的進行設計與施工，用以達成隔離與抑制放射性物質遷移之基本安全機能。

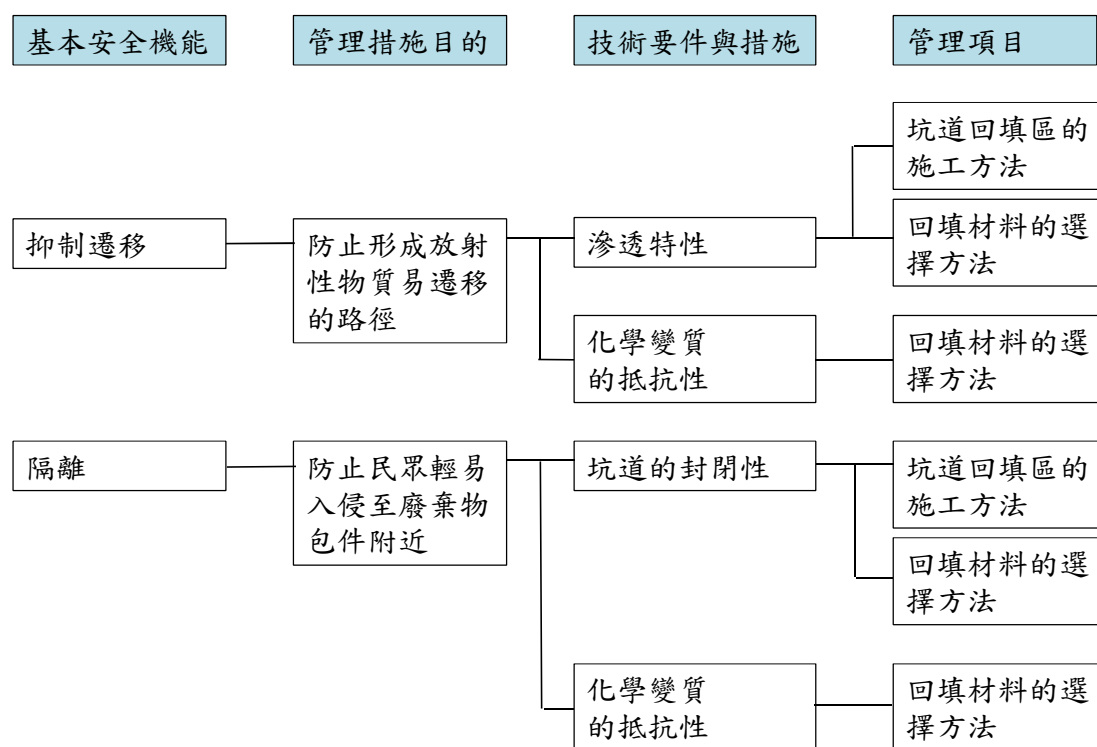
#### (1) 防止形成放射性物質易遷移的路徑

由於坑道回填區的滲透性相較於周圍母岩高，易形成放射性物質遷移的路徑，並且坑道回填區周圍地下水流場將會恢復為未開挖狀態，因此，坑道回填區需具備低滲透性，並能長期抵抗物理變化和化學變質，以維持機能的長期運作。

#### (2) 防止民眾輕易入侵至廢棄物包件附近

處置坑道最終將封閉，以防止民眾入侵，為了長期維持機能的運作，回填區需具有長期抵抗物理和化學變化的特性。

為滿足上述需求，坑道回填區施工必須選擇適當的回填材料和施工方法，圖 3.1 為坑道回填區施工的管理項目流程，主要分為回填材料的選擇方法，以及坑道回填區施工方法兩項進行管理，藉此確保處置場基本安全機能的運作。



註：坑道回填區的施工，其管理項目包括設計、施工管理、施工時的品質管理

圖 3.1 餘裕深度處置基本安全機能相關管理項目流程(坑道的回填施工：建設、營運階段)

#### 3.1.1 回填材料的選擇方法

為了確保坑道回填區的基本安全機能運作，回填材料需具備下列三項技術條件：

##### (1) 滲透特性

回填材料的滲透特性會影響放射性物質之遷移路徑，因此必須針對回填材料的滲透特性進

行確認。

(2) 坑道封閉性

回填材料的封閉性為隔離一般民眾入侵至處置場的重要基本安全機能，為長期維持其基本機能，必須確認材料的物理及化學安定性。

(3) 化學變質抵抗力

由於處置場的基本安全機能需長期發揮並維持，因此應確認材料的物理及化學安定性。

表 3.1 為建設工地土壤材料的分類方法，其中高有機質土和有機質土易變質，基於回填材料需具有長期化學的安定性，故不適合選用。另外，高有機質土和有機質土可藉由燒失量試驗所測得之有機物含量判別。

其餘有關回填材的原料、回填材料的試驗項目及方法如表 3.2 至表 3.4 所示。

表 3.1 土壤材料和現地土壤的判別與分類方法

土壤材料		實驗室土壤分類		現地土壤分類	
		判別、分類指標	判別、分類試驗	判別、分類指標	判別、分類方法
粗粒土	礫質土	粒子的質量混合比	粒徑分析試驗(篩分析)	粒子的質量混合比	觀察
	砂質土				
細粒土	黏性土	塑性圖、阿太堡實驗	觀察、液性限度試驗、塑性限度試驗	粒子的質量混合比	
	有機質土	有機質的特徵、液性限度		有機質的特徵	
	火山灰土	地質的背景、液性限度		火山灰質的特徵	
高有機質土		有機質的特徵	觀察	有機質的特徵	
人工材料		材料的特徵		材料的特徵	

表 3.2 回填材的原料、回填材料的試驗項目及方法(物理性質試驗)

技術的要求	項目	試驗方法		對象
		方法	適用範圍	
滲透特性、坑道封閉性	密度	JIS A 1202:1999	通過 9.5 mm 篩的土	回填材的料、回填材料
		JIS A 1225:2000 JGS 0191:2000	塊狀土	
	含水比	JIS A 1203:1999 JGS 0121:2000	全部的土	
	粒徑	JIS A 1204:2000 JGS 0131:2000	高有機質土以外且通過 75 mm 篩的土	
	稠度	JIS A 1205:1999 JGS 0141:2000	通過 425 μm 篩的土	
坑道封閉性、化學變質抵抗力	消散耐久性	JGS 2124-2006	岩石	

性	破碎率	JHS 109:2006	岩石	
---	-----	--------------	----	--

表 3.3 回填材的原料、回填材料的試驗項目及方法(化學性質試驗)

技術的要求	項目	試驗方法		對象
		方法	適用範圍	
滲透特性	亞甲藍 吸附量	JBAS-107:1991	粉狀膨潤土(70% 以上通過 250 號 篩)	回填材的原料 、回填材料
	層間陽 離子組 成	JBAS-106:1977	粉狀膨潤土(70% 以上通過 250 號 篩)	
	伴隨礦 物	X 光繞射	全部的土	
化學變質抵抗 性	pH	JGS 0211:2000	去除粒徑 10 mm 以上的土	
	燒失量	JIS A 1226:2000 JGS 0221:2000	全部的土	
	有機炭 素含量	JGS 0231:2000	全部的土	
	水溶性 成分	JGS 0241:2000	去除粒徑 10 mm 以上的土	
	伴隨礦 物	X 光繞射	全部的土	

表 3.4 回填材料的試驗項目及方法(力學性質試驗)

技術的要求	項目	試驗方法		對象
		方法	適用範圍	
滲透特性	乾密度	JIS A 1210:1999 JGS 0711:2000	通過 37.5 mm 篩 的土	回填材料
坑道封閉性	乾密度	JIS A 1210:1999 JGS 0711:2000	通過 37.5 mm 篩 的土	
	一軸壓縮	JIS A 1216:1998 JGS 0511:2000	未經試驗的黏性 土	
	三軸壓縮	JGS 0521:2000 JGS 0522:2000 JGS 0523:2000	飽和黏性土	
		JGS 0524:2000	飽和土(最大粒徑 不超過 20 mm)	
	滲透係數	JIS A 1218:1998 JGS 0311:2000	飽和土(滲透係數 $10^{-9}$ m/s~ $10^{-3}$ m/s)	

### 3.1.2 坑道回填的施工方法

坑道回填區的施工應選擇確保回填材料能發揮滲透特性、坑道封閉性和化學變質抵抗性三項技術條件的施工方法。另外當選擇施工機械時，必須針對回填材料特性選擇合適的機械，坑道回填區與襯砌、周圍岩盤接觸的區域或是縫隙的部分也需留意確保回填材料能如期發揮三項技術條件。

表 3.5 為坑道回填區施工方法的研究案例概要，圖 3.2 則為坑道回填區與周圍岩盤，或坑道回填區與支保工接觸的部分，此為施工時容易造成品質不均的區域，因此必須留意施工機械及施工方法的選擇。



表 3.5 放射性廢棄物處置場規劃案例的相關施工方法概要

方法	概要	研究場所	
現場壓實	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 使用推土機將材料鋪平，並使用壓路機壓實的施工方法</li> <li>• 此工法需使用大型機械施工，具有施工範圍受限的問題</li> </ul>		<p>TRU：坑道下部 HLW：坑道下部、上半一般部</p>
斜面壓實	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 運用裝載機將材料於斜面上鋪設，並使用前端振動機所裝備的壓實用機械將材料於斜面上壓實的施工方法</li> <li>• 斜面壓實於狹小空間也可以進行</li> </ul>		<p>瑞典核燃料廢棄物管理局 (SKB) 的施工實驗案例 HLW：坑道上半狹小部</p>
膨潤土塊施工方法	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 將壓縮塑形過後的膨潤土塊設置於指定位置的施工方法</li> <li>• 塊狀材料易於品質管理，而膨潤土塊之間以及膨潤土塊與岩盤之間的空隙必須運用粉末膨潤土進行填充</li> </ul>		<p>TRU：坑道下部、一般部施工 HLW：坑道下部、上半一般部</p>
噴凝施工方法	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 將材料置入噴凝機，以噴凝的方式於不同位置上施工的施工方法</li> <li>• 此工法對於噴凝機的輸送壓力、材料的狀態以及確保所訂定的密度判斷十分重要</li> <li>• 噴凝後具有回彈的問題</li> <li>• 完工的部分一般難以運用品質管理方法管理</li> </ul>		<p>TRU：坑道全域 HLW：坑道下部、上半一般部、上半狹小部</p>

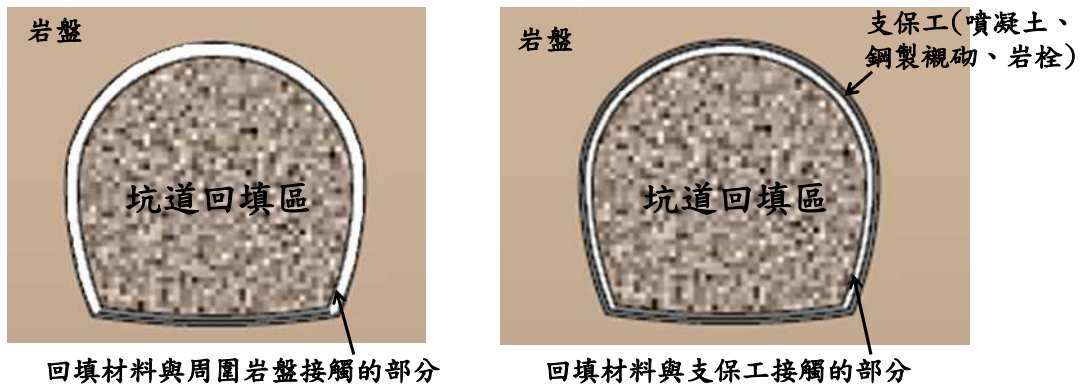


圖 3.2 施工機械及施工方法的選擇所需留意的施工區域(回填材料)

### 3.1.3 坑道回填的施工品質管理方法

坑道回填區的品質管理實施目的為確認回填區的施工確實，用以確保回填區能發揮所訂定的基本安全機能，因此品質管理項目將以滲透特性、坑道封閉性和化學變質的抵抗性三項技術條件為基礎進行設計，坑道回填區的管理項目與試驗方法如表 3.6 所示。試驗方法將依據日本工業規格或岩盤工學會等團體所訂定的方法為基準進行。

品質管理實施的頻率是以能縮小回填區品質統計的變異性和符合管理基準為目標進行設定。品質管理的管理基準值將依據施工試驗所獲得之品質試驗結果分布，以及變異性的考量所設定。另外當坑道回填區施工完成時，必須採用不會對坑道回填區性能造成不良影響的試驗方法。

表 3.6 坑道回填區的技術條件所對應之品質管理項目及方法範例

技術條件	品質管理項目	對象	試驗方法
滲透特性	粒徑	回填材的原材料	JIS A 1204:2000
	含水比		JIS A 1203:1999
	稠度		JIS A 1205:1999
	亞甲藍吸附量*		JBAS-107:1991
	層間陽離子組成*		JBAS-106:1977 陽離子組成分析
	原材料的配合	回填材料	JIS A 5308:2009
	含水比		JIS A 1203:1999
	鋪設方法		鋪設厚度、鋪設機械等規定
	輾壓方法		輾壓機械、輾壓次數等規定
	乾密度	坑道回填區	JIS A 1225:2000 或根據三次元雷射所量測的數據與放入的質量計算平均密度
坑道封閉性	完工的部分	坑道回填區	目測
化學變質的抵抗性	粒徑	回填材的原材料	JIS A 1204:2000
	含水比		JIS A 1203:1999
	稠度		JIS A 1205:1999
	消散耐久性		JGS 2124-2006
	破碎率		日本道路公團 JHS 109:2006
	亞甲藍吸附量*		JBAS-107:1991
	層間陽離子組成*		JBAS-106:1977 陽離子組成分析
	原材料的配合	回填材料	JIS A 5308:2009
	含水比		JIS A 1203:1999
	鋪設方法		鋪設厚度、鋪設機械等規定
	輾壓方法		輾壓機械、輾壓次數等規定
乾密度	坑道回填區	JIS A 1225:2000 或根據三維雷射所量測的數據與放入的質量計算平均密度	

註：\*號為限定使用膨潤土的情形

### 3.2 覆土管理方法

近地表處置設施與近地表壕溝式處置的覆土管理措施主要目的為減少空隙以防止沉陷等較大形變發生，以及防止處置設施或廢棄物包件露出，藉此達成抑制放射性物質遷移的基本安全機能。

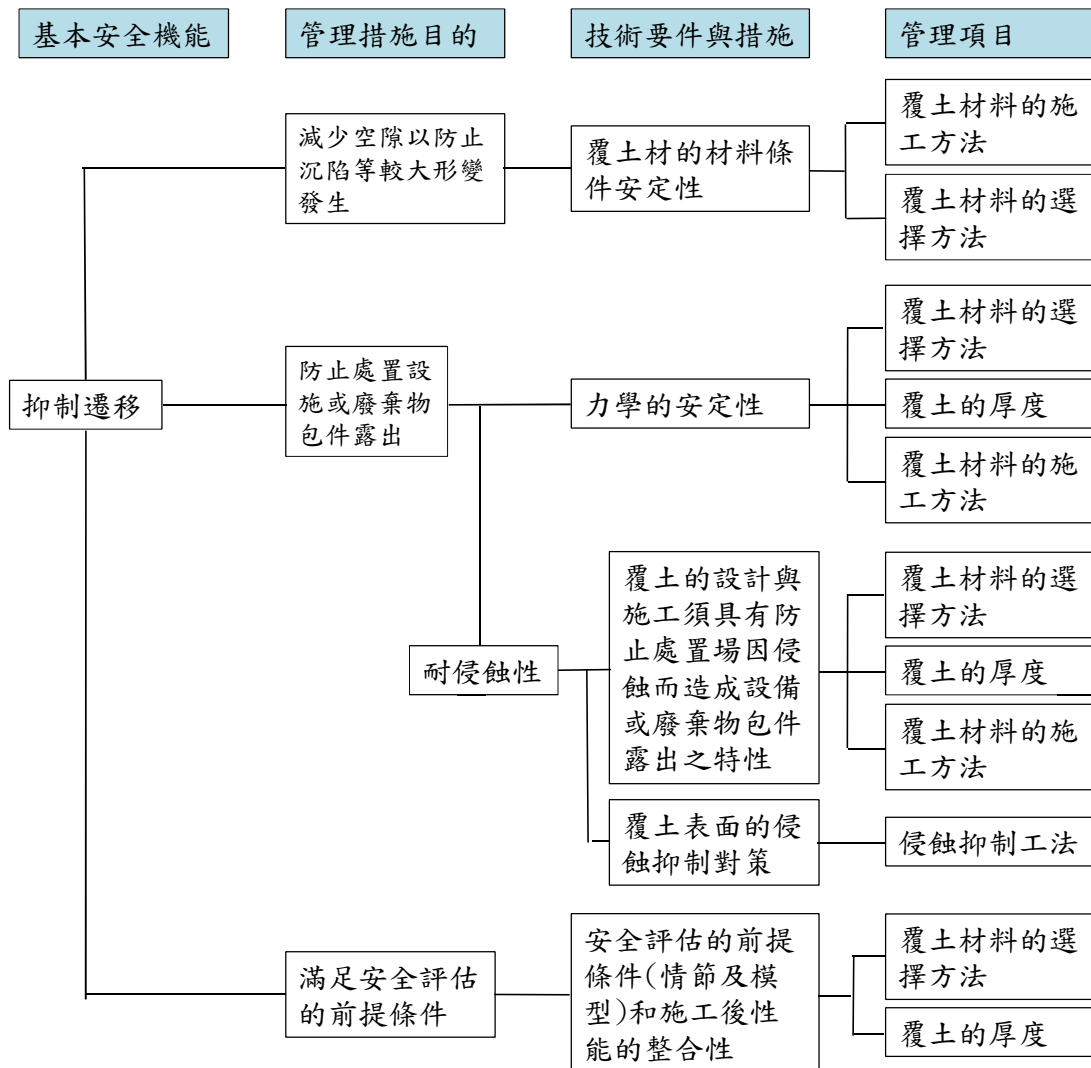
(1) 減少空隙以防止沉陷等較大形變發生

為了避免覆土材料壓實不均和化學變化導致基本安全機能受到影響，選擇滿足施工完成時所訂定的壓實度標準之覆土施工方法，以避免壓實不均的情況發生，同時也必須考量選擇物理、化學變化較小的覆土材料。

(2) 防止處置設施或廢棄物包件露出

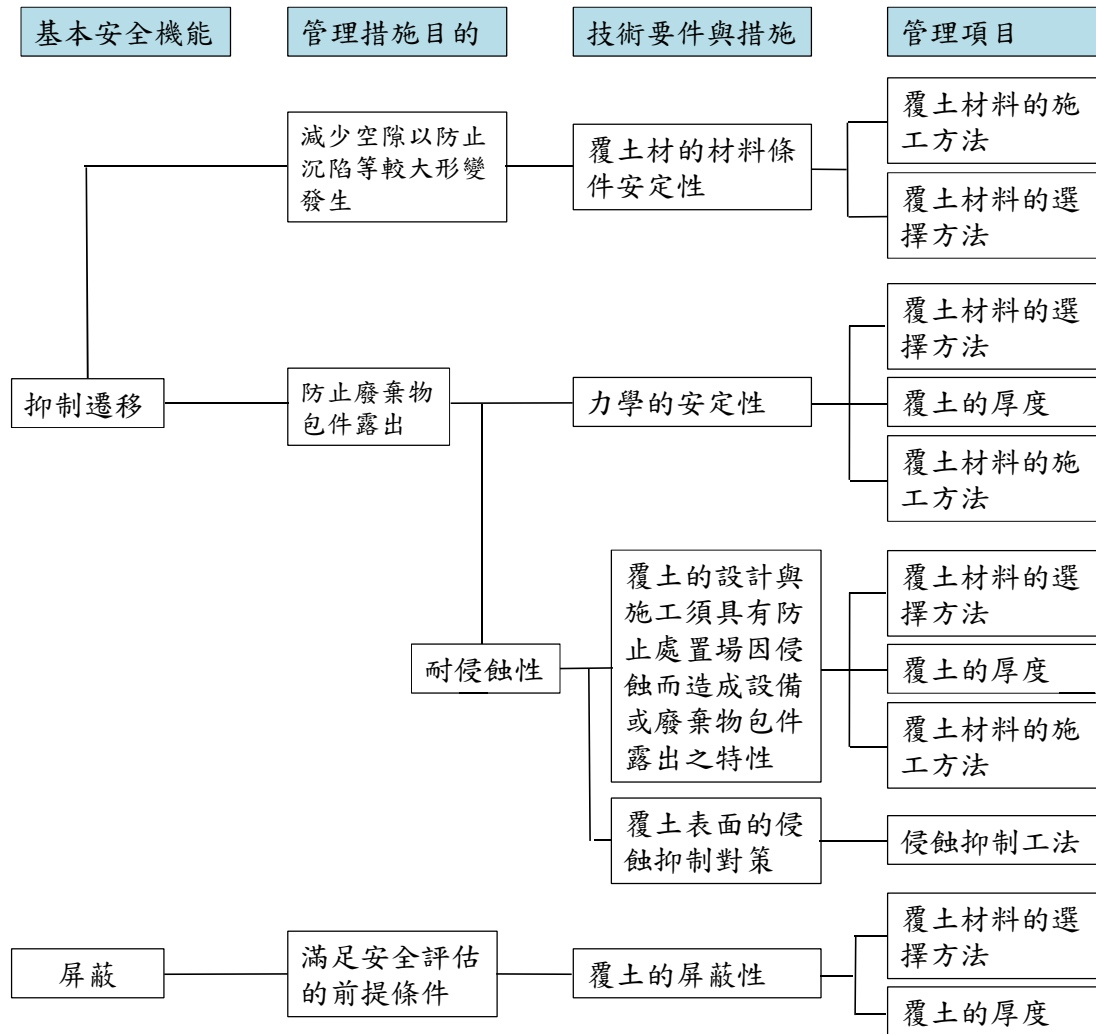
覆土需具備力學安定性，以防覆土自身重量或地震等外力作用而產生變形，並且也需具有延緩雨水等外物侵蝕的特性，這些特性的相關項目規定皆必須加以考量。

為了確保基本安全機能的運作，覆土施工的安全確保管理項目主要分為覆土材料的選定方法、覆土的安定化(覆土的厚度)、覆土的施工(包含施工品質管理)三項進行管理，如圖 3.3、3.4 流程所示。



註：覆土的施工相關管理項目包括設計、施工管理、施工時的品質管理

圖 3.3 近地表處置設施基本安全機能相關管理項目與流程(覆土施工：第 1 階段)



註：覆土的施工相關管理項目包括設計、施工管理、施工時的品質管理

圖 3.4 近地表壕溝式處置基本安全機能相關管理項目與流程(覆土施工：營運階段)

### 3.2.1 覆土材料的選擇方法

為了確保覆土的基本安全機能運作，覆土材料需選擇具備下列四項技術條件和安全評估的前提條件，並且根據 IAEA-TECDOC-1260 考量經濟性、技術面及未來展望因素，覆土材料的選擇宜使用設施附近之材料。

(1) 覆土材的材料條件安定性：覆土材料化學特性的長期安定性

選擇具有物理、化學安定性的材料，以防覆土壓實不均的情形。

(2) 施工完成時達成的壓實度：覆土施工完成時，其壓實度的目標值所達成的程度

為了防止覆土壓實不均的情形發生，並於施工完成時達到所訂定的壓實度，將針對材料的粒徑分布進行管理。

(3) 力學的安定性：為了防止因自身重量或地震等作用而影響其基本安全機能，覆土需考量力學上的性能

選擇具有適當強度以及形變特性的材料，以防因自身重量或地震等外力作用造成變形。

(4) 耐侵蝕性：覆土抵抗雨水等侵蝕作用的能力

採用具有物理、化學長期安定性，以及具有強度、變形特性的覆土材料，以防止雨水侵蝕。

(5) 安全評估的前提條件(情節及模型)和施工後性能的整合性

必須滿足安全評估前提條件所規定的覆土物性質(密度、強度、形變特性、滲透係數等)。

建設工地地質材料的分類方法如同 3.1.1 節表 3.1，其中泥炭高有機質土可能因燃燒而消失，因此就化學安定性的觀點考量，不適宜作為覆土材料。有機質土和火山灰土作為築堤使用時，必須針對材料的安定性及沉陷相關防範對策進行研究，因此不一定適宜作為覆土材料，但火山灰土可藉由混合地質材料作為覆土材料使用。另外，高有機質土和有機質土可依據燒失量試驗所測得之有機物含量判別。

其餘有關覆土材原料、覆土材料的試驗項目及方法如表 3.7 至表 3.9 所示。

表 3.7 覆土材原料、覆土材料的試驗項目及方法(物理性質試驗)

技術的要求	項目	試驗方法		對象
		方法	適用範圍	
覆土材的材料 條件安定性	消散耐 久性	JGS 2124:2006	岩石	覆土材原料 覆土材料
施工完成時達 成的壓實度	粒徑	JIS A 1204:2000 JGS 0131:2000	高有機質土以外且 通過 75 mm 篩的土	覆土材原料 覆土材料
		JBAS-103:1977	粉狀膨潤土(70%以 上通過 250 號篩)	覆土材原料
	稠度	JIS A 1205:1999	通過 425 μm 篩的土	覆土材原料
力學的安定性	密度	JIS A 1202:1999 JGS 0111:2000	通過 9.5 mm 篩的土	覆土材原料 覆土材料
		JIS A 1225:2000 JGS 0191:2000	塊狀土	覆土材原料
	含水比	JIS A 1203:1999 JGS 0121:2000	全部的土	覆土材原料 覆土材料
		JBAS-101:1977	粉狀膨潤土(70%以 上通過 250 號篩)	覆土材原料
	粒徑	JIS A 1204:2000 JGS 0131:2000	高有機質土以外且 通過 75 mm 篩的土	覆土材原料 覆土材料
		JBAS-103:1977	粉狀膨潤土(70%以 上通過 250 號篩)	覆土材原料
	稠度	JIS A 1205:1999 JGS 0141:2000	通過 425 μm 篩的土	覆土材原料 覆土材料
	消散耐 久性	JGS 2124:2006	岩石	
耐侵蝕性	密度	JIS A 1202:1999 JGS 0111:2000	通過 9.5 mm 篩的土	覆土材原料 覆土材料
		JIS A 1225:2000 JGS 0191:2000	塊狀土	覆土材原料
	含水比	JIS A 1203:1999 JGS 0121:2000	全部的土	覆土材原料 覆土材料
		JBAS-101:1977	粉狀膨潤土(70%以 上通過 250 號篩)	覆土材原料
	消散耐 久性	JGS 2124:2006	岩石	覆土材原料 覆土材料

表 3.8 覆土材原料、覆土材料的試驗項目及方法(化學性質試驗)

技術的要求	項目	試驗方法		對象
		方法	適用範圍	
覆土材的材料條件安定性 力學的安定性 耐侵蝕性	pH	JGS 0211:2000	去除粒徑 10 mm 以上的土	覆土材原料、覆土材料
	燒失量	JIS A 1226:2000 JGS 0221:2000	全部的土	
	有機炭素含量	JGS 0231:2000	全部的土	
	水溶性成分	JGS 0241:2000	去除粒徑 10 mm 以上的土	
安全評估的前提條件(情節及模型)和施工後性能的整合性	亞甲藍吸附量	JBAS-107:1991	粉狀膨潤土(70% 以上通過 250 號篩)	覆土材原料、覆土材料(膨潤土混合物)
	層間陽離子組成	JBAS-106:1977 陽離子組成分析		覆土材原料
	伴隨礦物	X 光繞射	全部的土	覆土材原料

表 3.9 覆土材料的試驗項目及方法(力學性質試驗)

技術的要求	項目	試驗方法		對象
		方法	適用範圍	
力學的安定性 耐侵蝕性	乾密度	JIS A 1210:1999 JGS 0711:2000	通過 37.5 mm 篩的土	覆土材料
	一軸壓縮	JIS A 1216:1998 JGS 0511:2000	未經試驗的黏性土	
	三軸壓縮	JGS 0521:2000 JGS 0522:2000 JGS 0523:2000	飽和黏性土	
		JGS 0524:2000	飽和土(最大粒徑不超過 20 mm)	
	CBR	JIS A 1211:1998 JGS 0721:2000	通過 37.5 mm 篩的土	
	壓密	JIS A 1217:2000 JGS 0411:2000	主體為細粒料滲透性低的飽和土	
	凍脹量的預測	JGS 0171:2003	未經試驗且通過 19 mm 篩的土	
	凍脹性的判定	JGS 0172:2003	未經試驗且通過 19 mm 篩的土	
安全評估的前提條件(情節及模型)和施	滲透係數	JIS A 1218:1998 JGS 0311:2000	飽和土(滲透係數 $10^{-9}$ m/s~ $10^{-3}$ m/s)	



工後性能的整合性				
----------	--	--	--	--

### 3.2.2 覆土的施工方法

覆土的施工方法應選擇確保覆土材料能發揮其材料安定性、施工完成時達成的壓實度、力學安定性和耐侵蝕性四項技術條件的施工方法。

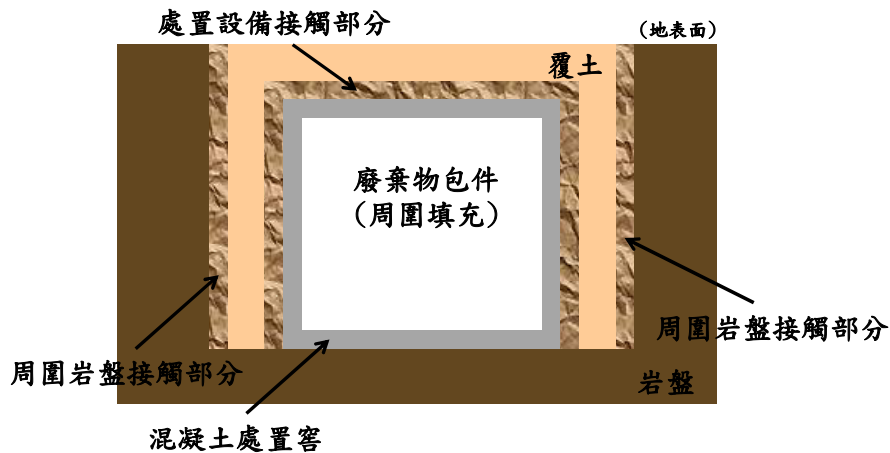
覆土材料的種類具多樣性(包含黏性土、破碎岩等)，加上壓實用施工機械種類眾多，因此選用符合覆土材料壓實特性的機械將顯得額外重要。此外，同樣的土壤與機械因施工條件的不同也會造成壓實效果有所差異，必須對各個施工條件進行綜合研究，以利達成施工完成時所要求的壓實度，表 3.10 為一般的壓實方式。

在近地表處置設施中，覆土與處置設備、周圍岩盤接觸的部分，以及於近地表壕溝式處置中，覆土與處置物周圍、周圍岩盤接觸的部分，皆是施工時容易造成品質不均的區域，因此必須留意施工機械及施工方法的選擇，以確保覆土材料能發揮其技術條件，近地表處置設施和近地表壕溝式處置需留意的區域標示於圖 3.5。

表 3.10 一般的壓實方式

機械	合適機械	合適土壤	鋪設厚度 (cm)	回數	備註
輾壓重 力式	鋼輪壓路機、羊腳輪 壓路機或夯實壓路機	黏土質用土(乾)	15~25	6~10	10t~30t 多軸式
		黏土質用土(濕)	15~25	6~10	3t~6t 拖拉式
		玉石混合土、破碎岩	30~45	5~7	22t 自走式
振動式	鋼輪壓路機	黏土質用土(乾)	20~25	6~8	3t~11t
		砂礫混合土	25~30	5~7	
	單輪光面輪壓路機 壓實壓路機 夯土機	砂礫	20~30	5~7	3t~5t
		砂礫混合土	20~30	3~5	0.5t~2t
衝擊式	夯實機	山地或狹小空間	10~20	3~5	50kg~500kg

## 近地表處置設施



## 近地表壕溝式處置

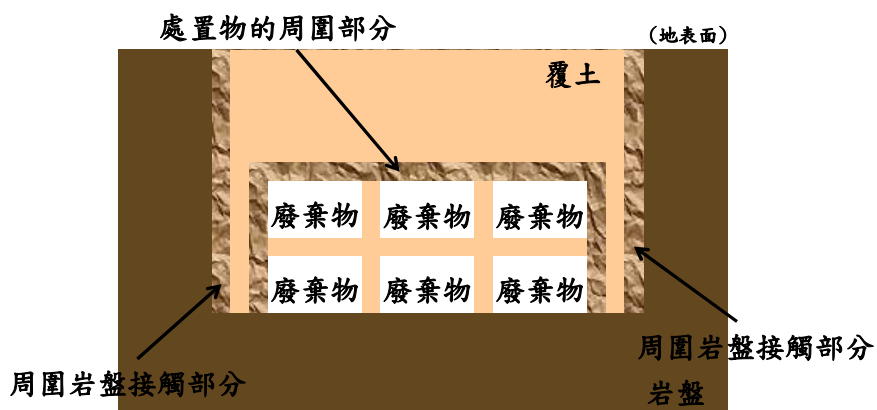


圖 3.5 施工機械及施工方法的選擇所需留意的施工區域(覆土)

覆土、膨潤土混合物施工時，易受當地氣象以及周圍環境而影響品質，其中膨潤土混合物於輾壓前後受降雨的影響甚大，一般而言，混合物含水量過多時會產生泥狀化現象，導致輾壓困難，因此混合物在受水的影響前就必須輾壓完成，若輾壓完成後受降雨等影響造成表面泥狀化時，必須注意土木機械施工行駛時的可行性。

針對覆土材料以及膨潤土混合物的施工狀況實施以下對策進行管理，以確能發揮四項技術條件。

### (1) 作業日的選擇

- 預計會降雨或降雪的日期不進行作業。
- 氣溫降至 0°C 以下有凍結疑慮時不進行作業。
- 土壤的含水比未達管理基準值時不進行作業。

### (2) 鋪設、輾壓前的對策

- 建設施工區域全體的排水計畫，利用排水溝或排水設備的設置，以加速降雨或湧水的水量排放。地勢較高的位置應優先進行施工。
- 預計會降雨時，膨潤土混合物施工完成的部分應使用披件覆蓋進行養護。
- 湧水、地下水處理設施應充分的設置。

### (3) 鋪設、輾壓中的對策

- 鋪設完成的膨潤土混合物應盡早輾壓。

- 降雨時應迅速以披件覆蓋養護。

#### (4) 施工完後的對策

- 施工達所訂定層數後，應盡速以保護材料、防水披件覆蓋。

若來不及以披件將鋪設覆蓋養護，則必須確認覆土表面是否有品質劣化的情形發生，並於降雨後繼續施工前，將品質劣化的部分去除。

另外近地表壕溝式處置中，若判斷廢棄物間具有可能造成覆土沉陷等較大形變發生的空隙時，必須在覆土施工時採取合適的措施將空隙填充完成。而在近地表處置設施中，廢棄物處置場堆積土斜面的噴凝工，路面的瀝青工等暫時性與工事無關的構造物對策工程，若發生阻害基本安全機能條件的情形時，應於覆土施工開始前撤除。

### 3.2.3 覆土的侵蝕應對方法

覆土抑制侵蝕的性能主要為抑制因降雨、地表水流、風害、劣化(風化)所造成的覆土喪失，可藉由覆土材料的密度、形狀、厚度等適當設定、選用耐侵蝕性高且具備物理、化學長期安定性的覆土材料、設計具抵抗侵蝕特性的覆土施工方法；或是利用植栽、地表水流加速排放設備、構造物表面保護工(混凝土、瀝青、碎石、礫石鋪設)等覆土表面侵蝕抑制施工方法，以延緩侵蝕的速率。覆土侵蝕對策的種類及特徵如表 3.11 所示，侵蝕對策的採用必須考慮周邊環境條件、氣象條件、經濟性、維持管理面等特徵，同時也必須考量各對策的施工組合。

表 3.11 覆土侵蝕對策的種類及特徵

侵蝕對策		特徵	
覆土的 物性、 形狀	物性	覆土材料、施工方法	易受覆土沉陷影響，必須定期維持管理
	形狀	排水梯度設計	易受覆土沉陷影響，單獨使用抑制侵蝕效果較低，因此多與雨水排水工併用
		額外覆土	需定期維持管理
覆土表面		植栽	易與周圍環境調和，並且不易受覆土沉陷影響，但選用的植物必須具有地域適應性和疾病抵抗性以維持壽命。另外必須對覆土表面的土壤進行改良
		雨水排水工	抑制侵蝕效果較高，但易受覆土沉陷影響，必須定期維持管理
		人工材料(碎石、礫石)的鋪設	抑制侵蝕效果較高且不易受覆土沉陷影響，但必須考慮周圍環境的調和，同時也必須定期維持管理

#### 3.2.3.1 雨水排水對策

周圍排水對策是以收集廢棄物處置場周圍的雨水，促使雨水由廢棄物處置場內流出至周圍，並防止周圍排水發生遲滯情形為目的進行。在計畫與設計期間，當覆土施工完成時，必須針對廢棄物處置場所規劃的高度與當時的集中排水系統進行研究，水道斷面面積的設定也必須確保能容納雨水的流量，並且於廢棄物處置場合適的位置設置排水路徑。

排水工程除了能確保廢棄物處置場免於來自周圍地表水的影響外，也能抑止流速，因此必須選用能防止水流侵蝕的構造。排水工程的具體設計(流量設計、雨水流量、排水工程斷面

的計算等)可參考「最終處置場技術系統手冊」進行。

覆土的表面排水對策目的為將覆土上的雨水排除至廢棄物處置場外，排除工程

(1) 設計覆土梯度，使表面水流自然排除

為了使覆土表面降雨的排水順利，施工前必須確保緩坡是朝地下水流的方向，有關地表面梯度的設計可參考 IAEA-TECDOC-1260 案例。

(2) 設置排水溝促進表面水流的排除

覆土表面種植草本或木本植物可以抑制降雨對覆土表面的侵蝕，而豪雨時，表面排水溝可以發揮抑制侵蝕面展開的效果，因此除了設計地表面梯度增加自然排除外，同時也可以設計 U 字型的排水溝，增加表面流水排除的效果。

另外有關排水工程的設計考量方面，雨水流量及排水工程斷面的計算方法與周圍排水對策的排水工程設計相同。

(3) 運用植栽增加保水容量與促進蒸發

於覆土表面植栽不但可以增加土壤的保水能力，同時也可以期待促進蒸發，

### 3.2.3.2 植栽

財團法人原子力環境整備中心的報告書中顯示，植栽具有以下效果：

(1) 防止覆土受降雨影響流失

防止覆土受降雨影響流失的考量對策為種植根莖分布密度較高的草本植物，藉此鞏固土壤粒子，豪雨發生時，由於無法避免覆土因水流的形成而流失，必須考慮進行表面排水工程，加快表面水流的排水，以防止侵蝕面的展開，因此可考量植栽工程與表面排水工程複合進行，以發揮相乘效果。

(2) 防止風害侵蝕

防止風害的對策為種植高低相異，且樹高約 2 公尺以下的木本植物，並於樹木下種植草本植物以達防止侵蝕的效果。但若位於空曠缺乏任何屏蔽的迎風面時，植物於生長過程容易受到風害的影響，因此應考量選用生長於海風強且寒冷地區的植物，必要時應考慮設置防風設備。

(3) 防止凍結、溶解劣化

凍結、溶解的應對方法為促進表面排水以及運用植栽保護地表面，但是若位於寒冷地區，必須針對透水性鋪面工程或暗渠工程等地下排水工程的設置進行研究，以促使地下水水位降低。

(4) 防止樹根入侵導致劣化

由於覆土壓實緊密，樹根有可能會入侵至深部，因此應避免種植樹高約 2 公尺以上的喬木。然而通常覆土內含有喬木種子，喬木也可能藉由外部自然入侵而生長，因此除了種植草本植物和樹高約 2 公尺以下的木本植物外，覆土內的喬木種子以及由外部自然入侵的喬木必須定期清除。

日本文部科學省針對松樹、栗子樹、櫻花樹三種樹木的樹根進行調查，樹高與樹根的關係整理於圖 3.6，由圖之結果可確認松樹為深根性植物，而栗子樹及櫻花樹為淺根性植物。

(5) 防止動物入侵導致劣化

影響覆土安定性的考量動物為鼯鼠、老鼠等。為了避免這些動物生活與繁殖，必須限制生物圈內所存在的食物量，因此應考量避免種植會結果實的植物，用以限制未來環境的食物量。

選擇植栽的種類相當重要，例如草本類的華箬竹屬、蒿屬植物，其根可以防止覆土風蝕

及流失，若考量防風效果，可以種植樹高約 2 公尺以下的綠肥作物，例如樹高較低的胡枝子屬植物或樹高稍高的洩疏屬植物，並且也可考量將洩疏屬植物與檜木屬植物混合種植。另外，綠肥作物在成長過程中，其落葉會覆蓋於土壤表面，並逐漸分解供給植物養份，使土壤、植物安定化，而這些植物中，除了胡枝子屬植物以外，其餘植物皆能適應潮害等嚴酷環境。

當覆土材的原材料為粗粒砂岩或河砂時，將會造成草本植物或木本植物的生長困難，為了於覆土表面植栽，將考量使用能配合植栽的土壤進行改良，例如黑色火山土，若現地產黑色火山土，可考慮加以運用提升植栽效率。

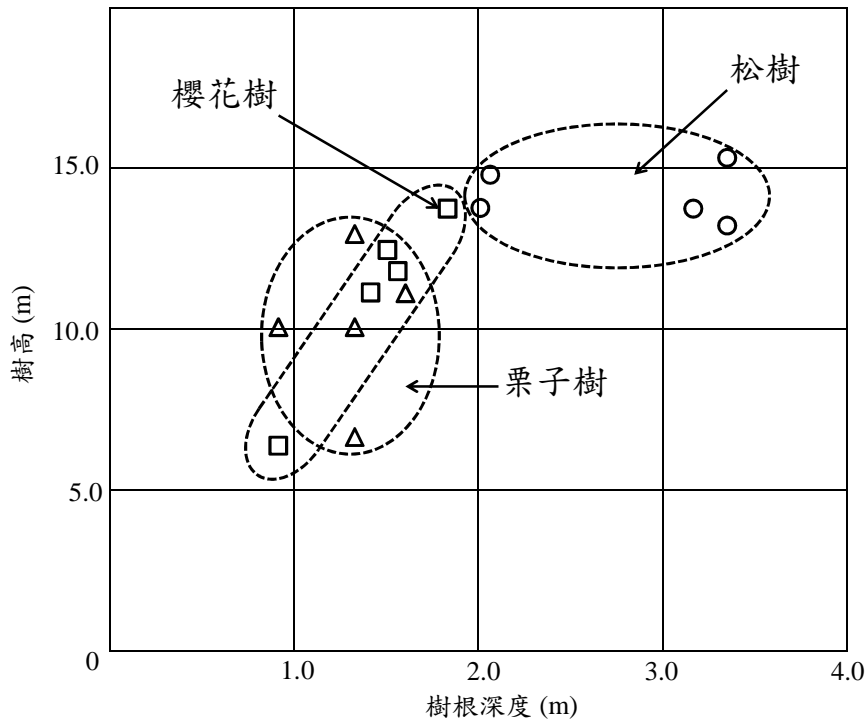


圖 3.6 樹高與樹根深度之關係

### 3.2.3.3 既有設施覆土抑制侵蝕系統研究案例

日本原燃公司低放射性廢棄物處理中心針對覆土的侵蝕對策考量方法如圖 3.7 所示。另外，圖 3.8 為抑制侵蝕系統的概念設計圖。於設施中，為了使覆土的滲透係數較周圍土壤低，將針對覆土的抑制滲透水量與抑制侵蝕系統進行研究。

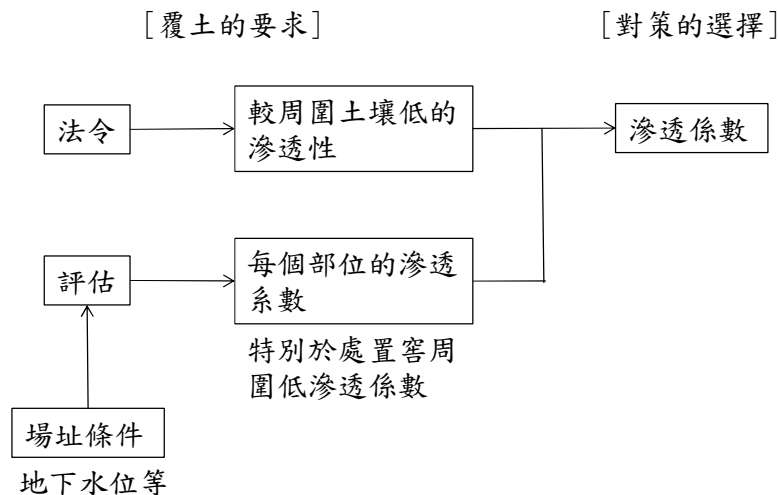


圖 3.7 覆土的要求和侵蝕對策(既有設施研究案例)

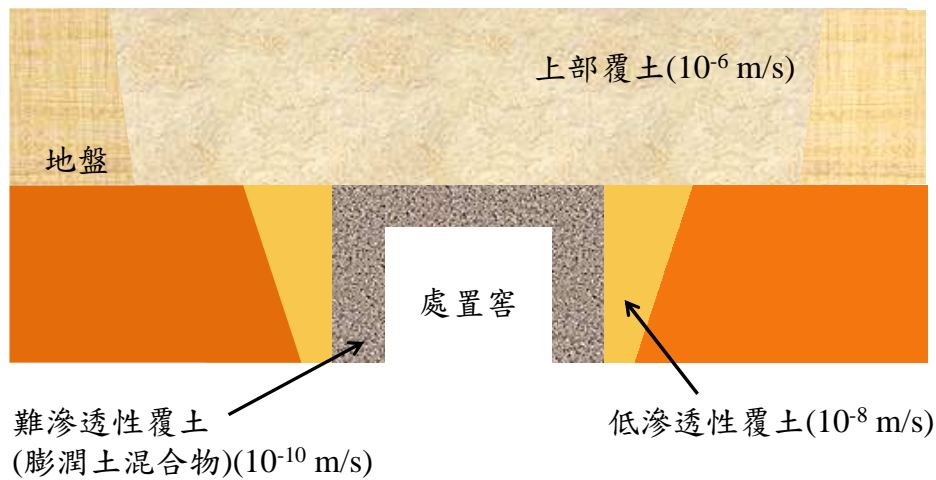


圖 3.8 抑制侵蝕系統之概念設計圖(既有設施研究案例)

### 3.2.3.4 近地表處置設施覆土抑制侵蝕系統研究案例

有關近地表處置設施覆土的侵蝕對策考量方向如圖 3.9 和圖 3.11 所示，另外，圖 3.10 和圖 3.12 為抑制侵蝕系統的概念設計圖。

圖 3.9 及圖 3.10 為地下處置型設施，近地表處置設施周圍的覆土施工採用低滲透性覆土材料，用以抑制廢棄物處置設施的滲透水量；並採用合適的壓實密度，用以防止周圍處置設備容易露出，最後於表面實施抑制侵蝕對策工程，並確保覆土本身的物性，以達到覆土抑制侵蝕的效果。

圖 3.11 及圖 3.12 為地表處置型設施，近地表處置設施上方設置低滲透層覆土材料，用以抑制廢棄物處置設施的滲透水量；並採用適當的壓實密度，用以防止周圍處置設備容易露出，最後於表面實施抑制侵蝕對策工程，並確保覆土本身的物性及厚度，以達到覆土抑制侵蝕的效果。圖 3.10 地表處置型設施之覆土厚度為安全評估前提條件所評估的厚度，加上侵蝕評估所添加的額外厚度。

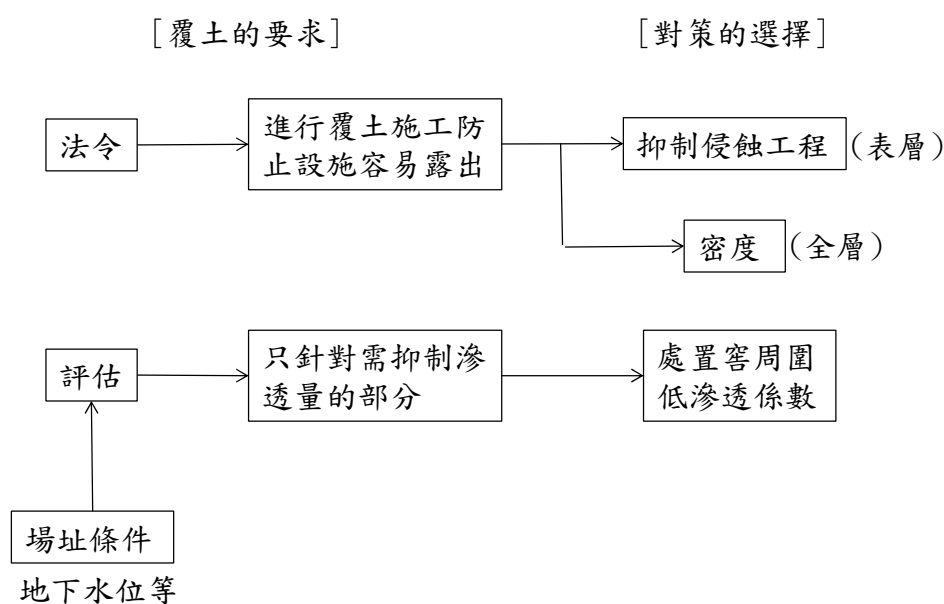


圖 3.9 覆土的要求和侵蝕對策(近地表處置設施、地下處置型)

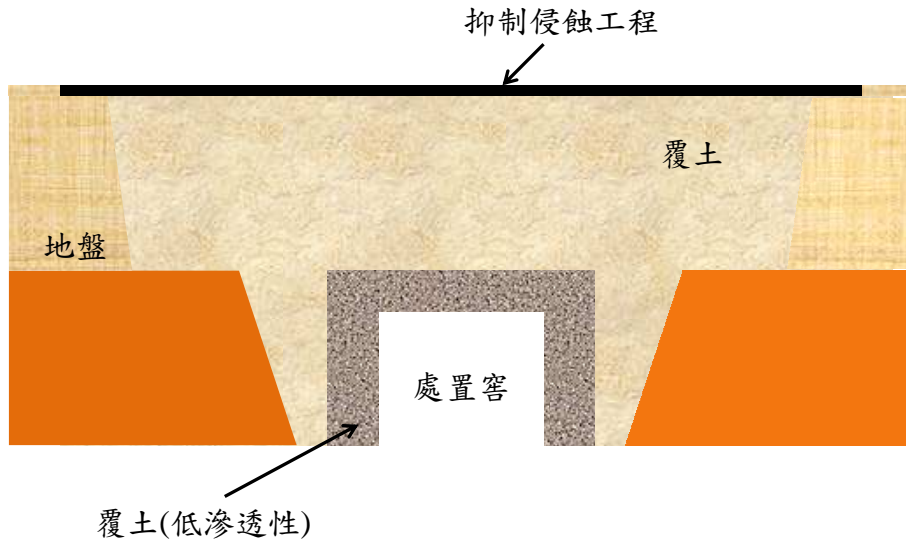


圖 3.10 抑制侵蝕系統之概念設計圖(近地表處置設施、地下處置型)

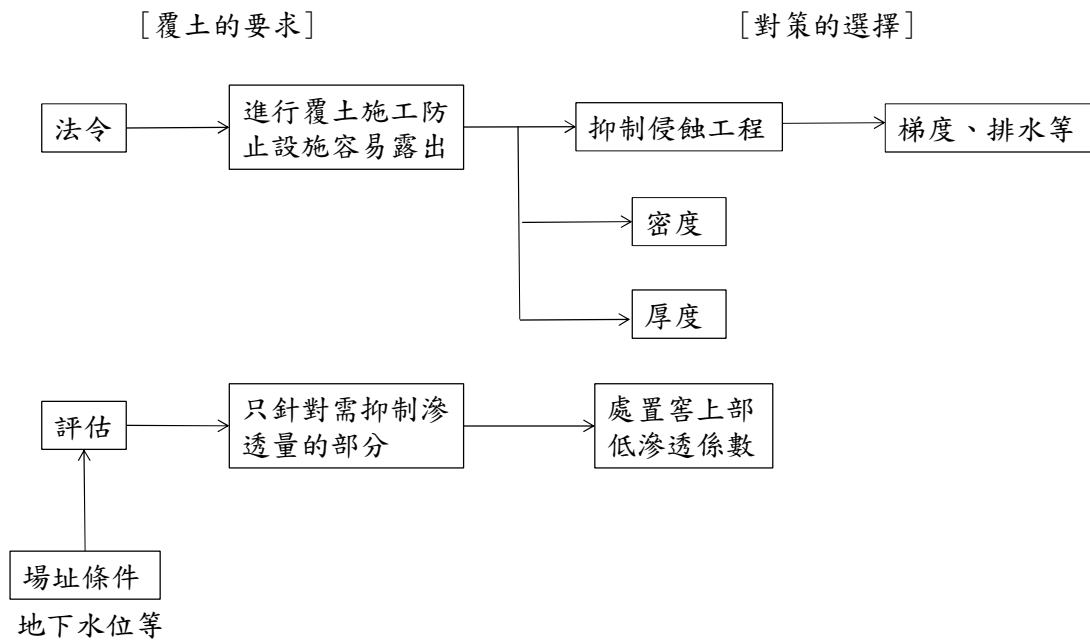


圖 3.11 覆土的要求和侵蝕對策(近地表處置設施、地表處置型)

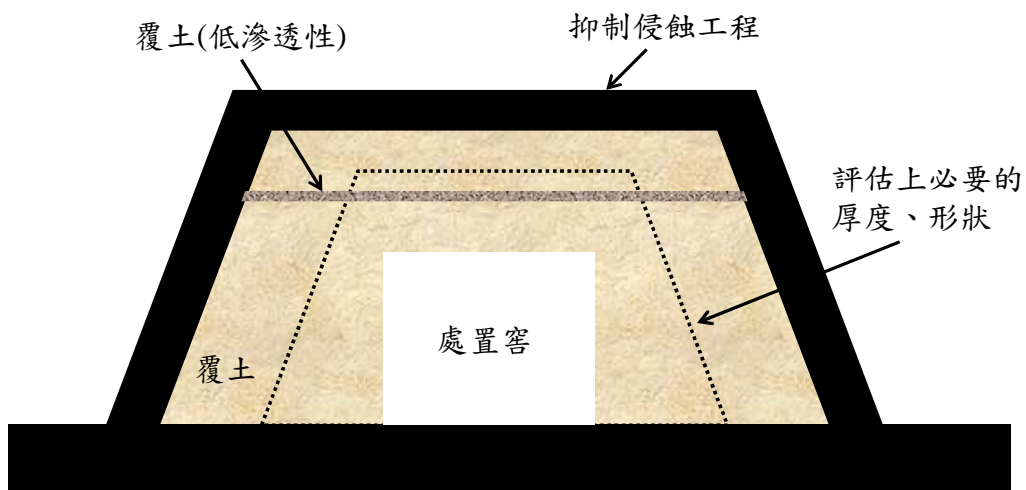


圖 3.12 抑制侵蝕系統之概念設計圖(近地表處置設施、地表處置型)

### 3.2.4 覆土的安定化

近地表處置設施中，應以覆土變形量的預測評估結果為基準，採取對應的措施，用以確保覆土的厚度。另外覆土的厚度也必須考量植物根的伸長和動物的入侵，並達到減少空隙以防止沉陷等較大的形變發生，以及防止廢棄物處置設施或廢棄物包件露出二項條件為基礎進行設計。

#### 3.2.4.1 覆土的沉陷現象

土為土顆粒、水及空氣構成，土顆粒依粒徑分為礫、砂、泥和黏土，其中以礫、砂為主體的土稱為粗粒土；泥、黏土含量較多的土則稱為細粒土，在預測覆土沉陷量時，必須先識別岩盤的種類。當岩盤受到填充土荷重時，岩盤中的應力會增加造成壓縮沉陷，而壓縮沉陷區分為幾乎與荷重同時發生的彈性沉陷和因土的壓密(孔隙溶液排出)使岩盤體積逐漸減少的壓密沉陷，其中彈性沉陷主要發生在粗粒土，由於沉陷時幾乎無遲滯情形，並且沉陷量較小，因此較易於施工時修復；相對而言，壓密沉陷主要發生於滲透係數較小的細粒土，因內部孔隙溶液排放速度緩慢，沉陷的時間較長，導致施工時較難以應對。

在具有壓密沉陷潛能的土層，必須事先預測其沉陷量，並且設計施工對策，尤其在填充土邊界的附近與土層厚度不同的區域容易造成不等量沉陷，不等量沉陷會使地表產生高低落差、龜裂和窪地，而落差與龜裂的部分有高可能性會引起地表侵蝕或排水不良(排水配置變化、排水設備破損、產生滯留區域等)，並造成事先沉陷量的預測產生誤差，因此添加額外覆土以及維持管理的對策準備將顯得相當重要。

壓密沉陷量一般使用 Terzaghi 的一次元壓密理論進行預測，壓密試驗結果如式(3.1)所示：

$$S_c = H \quad (3.1)$$

其中  $S_c$ ：一次壓密沉陷量

$e_0$ ：初期孔隙比( $e$ - $\log p$  曲線上)

$e_1$ ：荷重增加量所對應的孔隙比( $e$ - $\log p$  曲線上)

$H$ ：壓密層的厚度

$e_0$ 、 $e_1$ 可藉由圖 3.13 壓密試驗結果  $e$ - $\log p$  所對應之初始荷重  $p_0$  與填充土荷載後所增加的應力  $\Delta p$  求得。

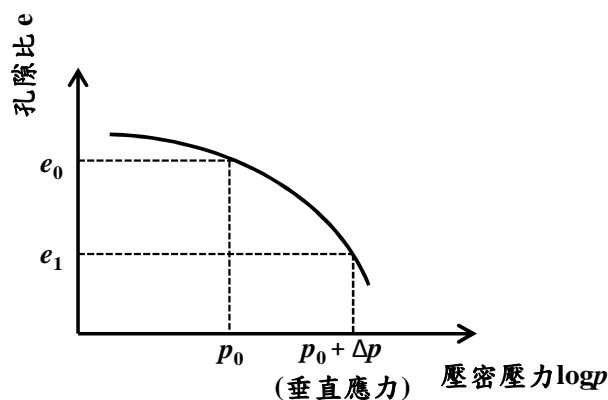


圖 3.13 孔隙比求得方法

另外也可以藉由土層的壓縮指數  $C_c$  或體積壓密係數  $m_v$  透過式(3.2)或式(3.3)求得一次壓密沉陷量：



$$S_c = \frac{C_c}{1 + e_0} \left( \frac{\log \Delta p + p_0}{p_0} \right) H$$

$$S_c = m_v \Delta p H \quad (3.3)$$

其中  $S_c$ ：一次壓密沉陷量

$C_c$ ：壓縮指數

$p_0$ ：初始荷重

$\Delta p$ ：填充土荷載後所增加的應力

$e_0$ ：初期孔隙比( $e$ - $\log p$  曲線上)

$m_v$ ：體積壓縮係數

$H$ ：壓密層的厚度

### 3.2.4.2 覆土的變形現象

為了不讓廢棄物處置場設置的設備容易露出，所採取的措施為在處置設備上覆蓋數公尺厚的覆土，但可能因覆土的壓密沉陷而發生變形現象，因此必須加以考量。

在覆土材料與膨潤土混合物皆有使用的近地表處置設施中，膨潤土的飽和回脹力需加以預測，為此，膨潤土混合物的壓密沉陷與飽和回脹力複合現象所產生的變形預測，將依據膨潤土特有的飽和回脹特性，以及材料斷面形狀的不同進行設計，並於必要時實施添加額外覆土等相關因應對策。

膨潤土混合物的變形量  $\Delta S$  可藉由式(3.4)計算，將膨潤土混合物層分割為  $n$  層，並將各層的沉陷量  $\Delta s_k$ 、回脹量  $\Delta s'_k$  以及膨潤量  $\Delta d_k$  相加後求得。

$$\Delta S = \sum_{k=1}^n (\Delta s_k + \Delta s'_k + \Delta d_k) \quad (3.4)$$

其中  $\Delta S$ ：變形量

$\Delta s_k$ ：各分割層的沉陷量

$\Delta s'_k$ ：各分割層的回脹量

$\Delta d_k$ ：各分割層的膨潤量

### 3.2.5 覆土的施工品質管理方法

實施覆土品質管理的目的為確認覆土施工的確實，用以確保覆土能發揮所訂定的基本安全機能，因此品質管理項目將以覆土能展現其材料安定性、施工完成時達成的壓實度、力學安定性、耐侵蝕性四項技術條件，以及滿足安全評估前提條件(情節及模型)和施工後性能的整合性作為基礎進行設計，覆土的管理項目與試驗方法如表 3.12 所示。試驗方法將依據日本工業規格或岩盤工學會等團體所訂定的方法為基準進行。

品質管理實施的頻率是以能縮小覆土品質統計的變異性和符合管理基準為目標進行設定。品質管理的管理基準值將依據施工試驗所獲得之品質試驗結果分布，以及變異性的考量

為基準設定。

表 3.12 覆土的技術條件所對應之品質管理項目及方法範例

技術條件	品質管理項目	對象	試驗方法
覆土材的材料條件 安定性	燒失量	覆土材原料	JIS A 1226:2000 (土的燒失量試驗方法)
	含水比	覆土材料	JIS A 1203:1999 (土的含水比試驗方法)
	乾密度	覆土材料 覆土	JIS A 1210:1999 (土的夯實試驗方法) JIS A 1214:2001 (砂置換法)或 JGS 1614:2003 (RI 法)
施工完成時達成的 壓實度	粒徑	覆土材原料 覆土材料	JIS A 1204:2000 (土的粒徑分析試驗方法)
	鋪設厚度、輾壓次數	覆土材料	測量
力學的安定性	密度	覆土材原料 覆土材料	JIS A 1202:1999 (土顆粒的密度試驗方法)
	含水比	覆土材原料 覆土材料	JIS A 1203:1999 (土的含水比試驗方法)
	粒徑	覆土材原料 覆土材料	JIS A 1204:2000 (土的粒徑分析試驗方法)
	燒失量	覆土材原料	JIS A 1226:2000 (土的燒失量試驗方法)
	乾密度	覆土材料 覆土	JIS A 1210:1999 (土的夯實試驗方法) JIS A 1214:2001 (砂置換法)或 JGS 1614:2003 (RI 法)
	覆土厚度	覆土	測量
耐侵蝕性	密度	覆土材原料 覆土材料	JIS A 1202:1999 (土顆粒的密度試驗方法)
	含水比	覆土材原料 覆土材料	JIS A 1203:1999 (土的含水比試驗方法)
	燒失量	覆土材原料	JIS A 1226:2000 (土的燒失量試驗方法)
	乾密度	覆土材料 覆土	JIS A 1210:1999 (土的夯實試驗方法) JIS A 1214:2001 (砂置換法)或 JGS 1614:2003 (RI 法)
	覆土厚度	覆土	測量
安全評估的前提條件(情節及模型)和施工後性能的整合性	亞甲藍吸附量 (使用膨潤土情形)	覆土材原料 覆土材料	JBAS-107:1991(粉狀膨潤土的亞甲藍吸附量測定方法)
	含水比	覆土材料	JIS A 1203:1999 (土的含水比試驗方法)
	乾密度	覆土材料、 覆土	JIS A 1210:1999 (土的夯實試驗方法) JIS A 1214:2001 (砂置換法)或 JGS 1614:2003 (RI 法)
	覆土厚度	覆土	測量

※RI法：放射性同位素法(Radio Isotope)

## 第四章 日本低放處置場封閉後續監控管理

### 4.1 監控

IAEA WS-R-1 (1999)放射性廢棄物淺地層處置安全條件，以及餘裕深度處置報告書中皆記載，監控的目的為「處置場基本安全機能如期設計並發揮效能，且於操作時，能觀測與確認是否有適時的防範或降低輻射對周圍民眾或作業員的影響。」為此，IAEA WS-R-1 提及「監控計畫不應損害處置系統的長期性能。」因此在設置監控所需的設備時，應避免對廢棄物處置設施造成安全性能的影響，監控的必要性、目的及可適用的技術皆需逐項檢查，用以實施合理且合適的監控計畫。此考量項目於餘裕深度處置、近地表處置設施及近地表壕溝式處置皆適用。

基於發揮處置場基本安全機能，並確保一般民眾安全，必須確認廢棄物處置場的抑制遷移與密閉二項基本安全機能是否完備，因此針對處置場的密閉及抑制遷移相關情形實施監控，具體的監控方法如表 4.1 所列。

監控密閉及廢棄物處置場釋出液的設備，於設置時需考量對設施安全性能的影響，並宜實施影響較低的監控方式。

表 4.1 密閉及抑制遷移相關監控

監控的種類		密閉的監控	抑制遷移的監控	
			廢棄物處置場釋出液的監控	遷移至生活環境的監控
具體的監控方法	餘裕深度處置	[建設、營運階段] 湧水、附近地下水等放射性物質濃度的測定	[封閉後階段] 附近地下水放射性物質濃度的測定	[封閉後階段] 周圍監控區域內地下水放射性物質濃度的測定
	近地表處置設施	[第 1 階段] 附近地下水放射性物質濃度的測定	[第 2 階段] 附近地下水放射性物質濃度的測定	[第 2 階段] 周圍監控區域內地下水放射性物質濃度的測定
	近地表壕溝式處置	-	-	[營運階段] 周圍監控區域內地下水放射性物質濃度的測定

### 4.2 周圍監控區域相關措施

事業者基於考量周圍民眾的輻射防護，必須訂定周圍監控區域，且周圍監控區域必須進行管理，以防放射性物質濃度超過限制。

事業者必須於廢棄物處置場開始接收放射性廢棄物前，就已訂定周圍監控區域，並於管理周圍民眾輻射防護期間，禁止民眾居住。另外於邊界處設置標誌，限制業務以外的民眾進入周圍監控區域，若該區域原本就幾乎無民眾進入時，則無此限制。

餘裕深度處置於建設、營運階段和封閉後階段、近地表處置設施於第 1 階段和第 2 階段，以及近地表壕溝式處置於營運階段，皆將執行周圍監控區域的相關監控，用以確認外部劑量與放射性物質濃度低於法定劑量限制及濃度限制。餘裕深度處置、近地表處置設施以及近地表壕溝式處置周圍監控區域的相關監控如表 4.2 所列：

表 4.2 周圍監控區域的相關監控

監控對象	周圍地下水中的放射性物質濃度	外部輻射相關劑量
監控場所	周圍監控區域	周圍監控區域
監控頻率	1 回/月	1 回/月(廢棄物處置場尚未全部被土砂覆蓋前為 1 回/周)

註：此為標準尚未規定的項目，但法令要求必須對附屬設施的排氣、排水中所含放射性物質濃度、降雨、地下水水位進行監控

### 4.3 餘裕深度處置監控

餘裕深度處置於封閉後階段，將分別設定設施及地質條件的監控場所、監控頻率與監控期間，並且於一定期間內監控抑制遷移、廢棄物處置場釋出液和是否有遷移至生活環境的情形。

並且根據抑制遷移的監控結果和安全審查的實施結果，對監控場所、監控頻率及監控期間進行調整。

#### 4.3.1 餘裕深度處置建設、營運階段監控

餘裕深度處置於建設、營運階段的監控對象為放射性物質的屏蔽和密閉二項基本安全機能。密閉的設計機能管理措施目的為維持密閉機能的運作，為了達到管理措施的目的，必須監控廢棄物處置場是否有放射性物質的釋出，具體而言，湧水、附近地下水等放射性物質濃度的測定皆必須列為管理項目。

另外針對屏蔽和密閉，管理措施的目的為周圍監控區域的輻射劑量(屏蔽)、濃度(密閉)皆不得超過限制，雖然周圍監控區域的濃度限制為法令基本要求，但與密閉並無直接的關係，密閉的損壞可能影響周圍監控區域地下水，因此必須監控周圍區域的輻射劑量、濃度不得超過限制，具體而言，周圍監控區域直接伽瑪射線及高空散射效應伽瑪射線劑量的測定，以及周圍地下水中放射性物質濃度的測定皆必須列為管理項目。

餘裕深度處置於建設、營運階段的監控管理項目流程如圖 4.1 所示，而表 4.3 則是監控的考量方法。

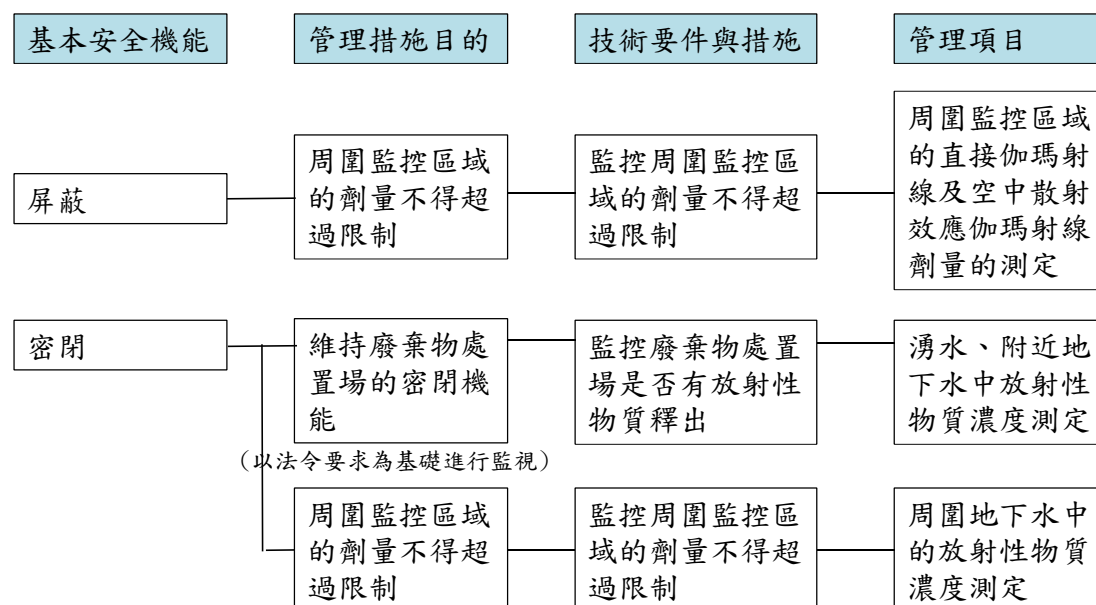


圖 4.1 餘裕深度處置基本安全機能相關監控項目與流程(建設、營運階段)

表 4.3 密閉的監控考量方法(建設、營運階段)

監控對象	湧水、附近地下水等放射性物質濃度
監控場所	<p>• 湧水</p> <p>若工程障壁因地下水滲透而發生核種釋出的情形時，則必須考量處置坑排水(湧水)可能含有的放射性物質，當該處置坑回填完成時，則收集鄰近處置坑中的湧水、周邊坑道的湧水和周圍的地下水進行調查。</p> <p>• 附近地下水</p> <p>調查廢棄物處置場周圍水平方向和垂直方向的地下水流況與地質條件，並以調查結果為基礎設定監控場所。水平方向監控場所的配置位於設施下游，並以最接近設施且不對設施造成影響的位置進行設定。如果將附近地下水的採驗場所設置於設施附近，則當有釋出情形發生時，可以迅速驗出，但單一偵測點的釋出檢驗範圍較小，相對的，如果將採驗場所設置的位置遠離設施，則當有釋出情形發生時，會較慢才能驗出，但單一偵測點的釋出檢驗範圍較廣。因此應以地下水流況的調查結果為基礎，設定偵測點數與設施的距離。另外垂直方向監控場所的配置除了考量地下水的流況外，也將針對劑量評估上的重要路徑進行設定。</p>
監控頻率	周圍地下水的監控頻率法令規定為 1 回/月，但考量含有放射性物質的地下水遷移速度相當緩慢，周圍地下水的監控頻率應根據監控結果的狀況進行設定。
測定項目	<p>申請核種的核種濃度</p> <p>若有選擇具放射性、於障壁中具遷移性的代表性放射性核種作為指標核種時，尚未驗出指標核種輻射的期間，可以只針對指標核種進行測定；在驗出指標核種輻射後，將也測定其他的核種。</p>
判定的考量方法	湧水、附近地下水等所含的放射性物質濃度不得超過背景輻射濃度。為了排除其他外在影響，並正確的評估廢棄物處置設施，應透過廢棄物處置場地下水濃度的檢測，以及該地下水上游端濃度的檢測，並將二處檢測結果加以比較判斷較為妥當。

### 4.3.2 餘裕深度處置封閉後階段監控

餘裕深度處置於封閉後階段的監控對象為放射性物質的抑制遷移基本安全機能。為了滿足此基本安全機能，管理措施的目的為維持抑制遷移的機能(釋出狀況、遷移至生活環境)，以及周圍監控區域的核種濃度不超過限制。

針對前者目的「維持抑制遷移的機能」所對應的措施為分別設定設施及地質條件的監控場所、監控頻率與監控期間，並且於一定期間內監控抑制遷移、廢棄物處置場釋出液和是否有遷移至生活環境的情形。之後根據抑制遷移的監控結果和安全審查的實施結果，對監控場所、監控頻率及監控期間進行調整。具體而言，附近地下水中的放射性物質濃度測定，以及周圍監控區域內地下水中的放射性物質濃度測定皆必須列為管理項目。

而後者目的「周圍監控區域的核種濃度不超過限制」所對應的措施為監控周圍監控區域的核種濃度不得超過限制，具體而言，將周圍地下水中的放射性物質濃度測定列為管理項目。

其中監控周圍監控區域的核種濃度不得超過限制為同期間於周圍監控區域中，設定與實施抑制遷移的監控、廢棄物處置場放射性物質釋出的監控、以及放射性物質遷移至生活環境的監控。

餘裕深度處置於封閉後階段的監控管理項目流程如圖 4.2 所示，而表 4.4 則是監控的考量方法。

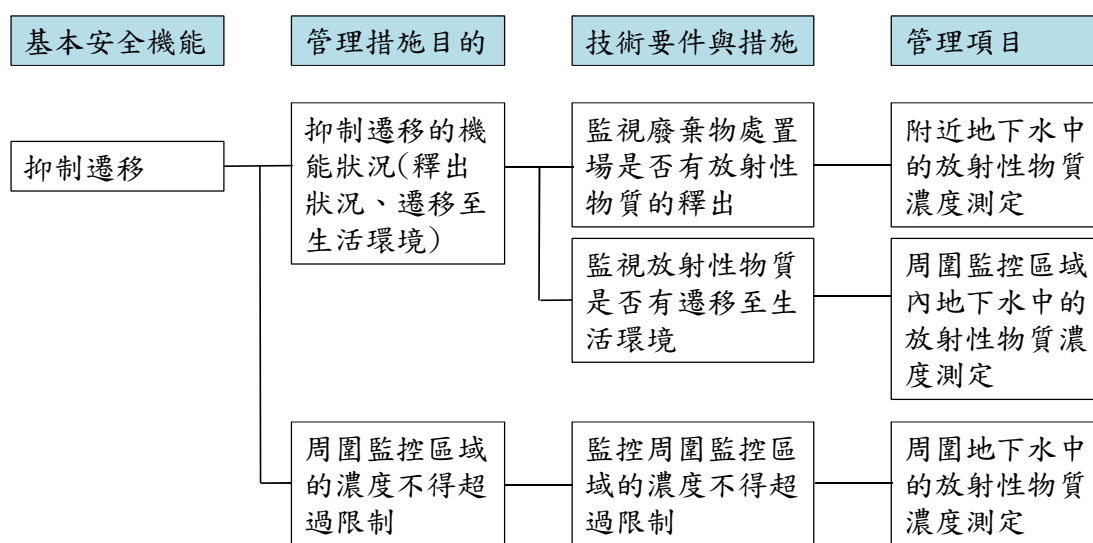


圖 4.2 餘裕深度處置基本安全機能相關監控項目與流程(封閉後階段)

表 4.4 抑制遷移的監控考量方法(封閉後階段)

監控對象	附近地下水及周圍監控區域內地下水中的放射性物質濃度
監控場所	<ul style="list-style-type: none"> <li>附近地下水(廢棄物處置場釋出液的監控)</li> <li>周圍監控區域的地下水(遷移至生活環境的監控)</li> </ul>
監控頻率	與建設、營運階段相同
測定項目	申請核種的放射性濃度 與建設、營運階段相同
判定的考量方法	地下水放射性物質的遷移狀況與安全評估所預想的一致性

### 4.3.3 餘裕深度處置周圍監控區域的監控考量方法

餘裕深度處置周圍監控區域的監控考量方法如表 4.5 所列，此考量方法也適用於近地表處置設施。

表 4.5 餘裕深度處置及近地表處置設施周圍監控區域的監控考量方法

監 控 對 象	周圍地下水中的 放射性物質濃度	外部輻射相關劑量	附屬設施的排氣、排 水中所含放射性物質 濃度	降雨	地下水水位
監 控 場 所	周圍監控區域  監控場所的水平 方向配置以廢棄 物處置場為中 心，並在八方位周 圍監控區域上設 置，另外可考量地 下水流況修正監 控場所的數量。而 垂直方向的配置 則是考量地盤結 構，於有效深度(如 水流速較快的地 層中)進行設定	周圍監控區域  以廢棄物處置場為 中心的八方位周圍 監控區域上設置檢 測點，並以一般民眾 的居住場所為考 量，設定監控場所 (若連接海洋等非居 住區域時，則可以減 少檢測點數量)	排氣口、排水口  於附屬設施廢棄物的 排氣口以及排水口設 置監控場所，用以監 控附屬設施所排放出 的氣體或液體廢棄物	事務所內  由於事業所地 域內的降雨量 差異甚小，因此 只需於事務所 內的代表位置 設置一處監控 場所	事務所內  為了監控事務所 內地下水水位的 變動，將設置監控 場所於通過廢棄 物處置場的地下 水上游和下游位 置，以及劑量評估 上與前提條件有 關的地下水水位 觀測位置等複數 代表場所
監 控 頻 率	1 回/月	1 回/月(廢棄物處置 場尚未全部被土砂 覆蓋前為 1 回/周)	排氣或排水的持續監 控	一個月間的累 積降雨量(1 回/ 月)	1 回/月
測 定 項 目	申請核種的核種 濃度  若有選擇具放射 性、於障壁中具遷 移性的代表性放 射性核種作為指 標核種時，尚未驗 出指標核種輻射 的期間，可以只針 對指標核種進行 測定；在驗出指標 核種輻射後，將也 測定其他的核種。	輻射劑量  輻射劑量為管理指 標，可與監控項目 的直接指標進行比 較，用以確認管理狀 況	申請核種的核種濃度  若有選擇具放射性、 於障壁中具遷移性 的代表性放射性核種 作為指標核種時，尚 未驗出指標核種輻 射的期間，可以只 針對指標核種進行 測定；在驗出指標 核種輻射後，將也 測定其他的核種。	累積降雨量  地下水流況，以 及具影響附近 地下水、周圍地 下水中放射性 物質濃度的監 控項目	地下水水位  具影響地下水中 放射性物質濃度 的監控項目



判定的考量方法	周圍地下水中的放射性物質濃度不得超過法定限制濃度	外部輻射劑量不得超過法定限制劑量	周圍監控區域外空氣中的放射性濃度不得超過劑量告示所限制的濃度 周圍監控區域外水中的放射性濃度不得超過劑量告示所限制的濃度	-	-
---------	--------------------------	------------------	---	---	---

#### 4.3.4 餘裕深度處置指標核種的選定案例

在監控廢棄物處置場的釋出液以及周圍監控區域邊界附近的地下水濃度時，可考量於廢棄物所含的放射性物質中，選擇代表性顯著的放射性物質作為指標核種進行監控。在選擇指標核種時，其總輻射能、遷移性與測定精度的考量將額外重要。

餘裕深度處置廢棄物所含的放射性物質種類、總量與濃度之案例如表 4.6 所列。核種的總輻射能自接收時(0 年)至 50 年、100 年後，將隨著半衰期逐漸減少，如表 4.7 所示。各元素於障壁中的分配係數如表 4.8 所列。而指標核種的選定考量項目則整合於表 4.9。

據案例所示， $^3\text{H}$  具有較高的總輻射能，所對應的障壁材料分配係數皆為 0，代表  $^3\text{H}$  為極易遷移的核種，相較於其他核種會較早通過障壁，並且已具有測定  $^3\text{H}$  的方法，不會有測定性的疑慮，再加上  $^3\text{H}$  具有較長的半衰期(半衰期 12.3 年)，因此可考量將  $^3\text{H}$  作為 50 年間的指標核種。

若經過 100 年， $^3\text{H}$  因衰減已不適合做為指標核種，因此可考量選擇半衰期較長、較易遷移且已具有測定方法的  $^{14}\text{C}$  核種作為指標核種。

表 4.6 餘裕深度處置的放射性物質濃度案例(輕水爐、氣爐)

發生量 (m <sup>3</sup> )	24,000	
重量 (t)	18,087	
核種	Bq	Bq/t
<sup>3</sup> H	1.3×10 <sup>16</sup>	7.2×10 <sup>11</sup>
<sup>14</sup> C	4.3×10 <sup>15</sup>	2.4×10 <sup>11</sup>
<sup>36</sup> Cl	5.8×10 <sup>13</sup>	3.2×10 <sup>9</sup>
<sup>41</sup> Ca	7.2×10 <sup>12</sup>	4.0×10 <sup>8</sup>
<sup>60</sup> Co	4.1×10 <sup>18</sup>	2.2×10 <sup>14</sup>
<sup>59</sup> Ni	2.5×10 <sup>16</sup>	1.4×10 <sup>12</sup>
<sup>63</sup> Ni	3.0×10 <sup>18</sup>	1.6×10 <sup>14</sup>
<sup>90</sup> Sr	1.3×10 <sup>14</sup>	7.1×10 <sup>9</sup>
<sup>94</sup> Nb	7.6×10 <sup>13</sup>	4.2×10 <sup>9</sup>
<sup>99</sup> Tc	9.4×10 <sup>12</sup>	5.2×10 <sup>8</sup>
<sup>108m</sup> Ag	1.1×10 <sup>15</sup>	6.3×10 <sup>10</sup>
<sup>129</sup> I	1.5×10 <sup>9</sup>	8.2×10 <sup>4</sup>
<sup>137</sup> Cs	3.2×10 <sup>14</sup>	1.7×10 <sup>10</sup>
<sup>152</sup> Eu	7.3×10 <sup>14</sup>	4.0×10 <sup>10</sup>
<sup>154</sup> Eu	3.2×10 <sup>14</sup>	1.8×10 <sup>10</sup>
<sup>239</sup> Pu	3.0×10 <sup>12</sup>	1.7×10 <sup>8</sup>
<sup>241</sup> Am	1.1×10 <sup>12</sup>	6.1×10 <sup>7</sup>

表 4.7 餘裕深度處置放射性物質濃度(輕水爐、氣爐)變化

核種	半衰期	接受時(0 年)	50 年後	100 年後
	年	Bq	Bq	Bq
<sup>3</sup> H	1.23×10 <sup>1</sup>	1.3×10 <sup>16</sup>	7.8×10 <sup>14</sup>	4.6×10 <sup>13</sup>
<sup>14</sup> C	5.73×10 <sup>3</sup>	4.3×10 <sup>15</sup>	4.3×10 <sup>15</sup>	4.3×10 <sup>15</sup>
<sup>36</sup> Cl	3.01×10 <sup>5</sup>	5.8×10 <sup>13</sup>	5.8×10 <sup>13</sup>	5.8×10 <sup>13</sup>
<sup>41</sup> Ca	1.03×10 <sup>5</sup>	7.2×10 <sup>12</sup>	7.2×10 <sup>12</sup>	7.2×10 <sup>12</sup>
<sup>60</sup> Co	5.27×10 <sup>0</sup>	4.1×10 <sup>18</sup>	5.7×10 <sup>15</sup>	8.0×10 <sup>12</sup>
<sup>59</sup> Ni	8.00×10 <sup>4</sup>	2.5×10 <sup>16</sup>	2.5×10 <sup>16</sup>	2.5×10 <sup>16</sup>
<sup>63</sup> Ni	1.00×10 <sup>2</sup>	3.0×10 <sup>18</sup>	2.1×10 <sup>18</sup>	1.5×10 <sup>18</sup>
<sup>90</sup> Sr	2.87×10 <sup>1</sup>	1.3×10 <sup>14</sup>	3.9×10 <sup>13</sup>	1.2×10 <sup>13</sup>
<sup>94</sup> Nb	2.03×10 <sup>4</sup>	7.6×10 <sup>13</sup>	7.6×10 <sup>13</sup>	7.6×10 <sup>13</sup>
<sup>99</sup> Tc	2.11×10 <sup>5</sup>	9.4×10 <sup>12</sup>	9.4×10 <sup>12</sup>	9.4×10 <sup>12</sup>
<sup>108m</sup> Ag	4.18×10 <sup>2</sup>	1.1×10 <sup>15</sup>	9.3×10 <sup>14</sup>	9.3×10 <sup>14</sup>
<sup>129</sup> I	1.57×10 <sup>7</sup>	1.5×10 <sup>9</sup>	1.5×10 <sup>9</sup>	1.5×10 <sup>9</sup>
<sup>137</sup> Cs	3.01×10 <sup>1</sup>	3.2×10 <sup>14</sup>	3.2×10 <sup>13</sup>	3.2×10 <sup>13</sup>
<sup>152</sup> Eu	1.35×10 <sup>1</sup>	7.3×10 <sup>14</sup>	4.4×10 <sup>12</sup>	4.4×10 <sup>12</sup>

$^{154}\text{Eu}$	$8.59 \times 10^0$	$3.2 \times 10^{14}$	$1.0 \times 10^{11}$	$1.0 \times 10^{11}$
$^{239}\text{Pu}$	$2.41 \times 10^4$	$3.0 \times 10^{12}$	$3.0 \times 10^{12}$	$3.0 \times 10^{12}$
$^{241}\text{Am}$	$4.32 \times 10^2$	$1.1 \times 10^{12}$	$9.4 \times 10^{11}$	$9.4 \times 10^{11}$

表 4.8 餘裕深度處置各元素的分配係數

元素	分配係數				
	廢棄物層	水泥砂漿	混凝土	膨潤土	岩石
H	0	0	0	0	0
C- $\text{oa}^{\text{a)}$	0.01	0.01	0.01	0.001	0.0001
C- $\text{oa}^{\text{b)}$	0.001	0.001	0.001	0.001	0.0001
Cl	0	0	0	0	0
Ca	0.001	0.001	0.001	0.001	0.2
Co	0.0125	0.0125	0.0125	0.05	0.01
Ni	0.0125	0.0125	0.0125	0.05	0.01
Sr	0.001	0.001	0.001	0.001	0.2
Nb	0	0	0	0.1	0.1
Tc	0.0003	0.0003	0.0003	0	0
Ag	0.001	0.001	0.001	0	0.09
I	0.00125	0.00125	0.00125	0	0.0001
Cs	0.002	0.002	0.002	0.05	0.05
Eu	0.25	0.25	0.25	1	5
Pu	0.25	0.25	0.25	5	0.05
Am	0.25	0.25	0.25	1	5

註：<sup>a)</sup>來源為污染物的有機形態炭素

<sup>b)</sup>來源為放射性物質的有機形態炭素

表 4.9 指標核種的考量項目整合

No	核種	總輻射能			遷移性、分配係數(m <sup>3</sup> /kg)					測定性	備註
		經過年數(年)			廢棄物層	水泥砂漿	混凝土	膨潤土	岩石		
		0	50	100							
1	<sup>3</sup> H	○	△		◎	◎	◎	◎	◎	○	指標核種
2	<sup>14</sup> Co	△	△	△				△	○	○	
3	<sup>14</sup> Coa	△	△	△	△	△	△	△	○	○	(指標核種)
4	<sup>36</sup> Cl				◎	◎	◎	◎	◎		
5	<sup>41</sup> Ca				△	△	△	△	△		
6	<sup>60</sup> Co	◎	△							○	
7	<sup>59</sup> Ni	○	○	○							
8	<sup>63</sup> Ni	◎	◎	◎							
9	<sup>90</sup> Sr	△			△	△	△	△		○	
10	<sup>94</sup> Nb				◎	◎	◎				
11	<sup>99</sup> Tc				○	○	○	◎	◎	△	
12	<sup>108m</sup> Ag	△	△		△	△	△	◎			
13	<sup>129</sup> I				△	△	△	◎	○	○	
14	<sup>137</sup> Cs	△	△							○	
15	<sup>152</sup> Eu	△									
16	<sup>154</sup> Eu	△									
17	<sup>239</sup> Pu										
18	<sup>241</sup> Am									○	

註：總輻射能：◎>○>△>無標記

遷移性：◎>○>△>無標記，◎的分配係數為 0

測定性：○代表核種測定方法有記載於文部科學省，為環境監測器可以測定之核種

### 4.3.5 餘裕深度處置湧水、附近地下水的監控

選擇監控場所對於實施餘裕深度處置密閉的監控，以及廢棄物處置場釋出液的監控相當重要，並活用營運作業進展時的各種湧水與附近地下水進行測定。

湧水的監控對象包含該處置坑的內部排水、鄰近處置坑的內部排水以及周圍隧道的湧水，其概念如圖 4.3 所示。

#### • 監控回填中的處置坑

工程障壁因地下水滲透而發生核種釋出時，考量釋出的核種溶入內部排水中，因此將利用該處置坑的內部排水進行監控。

#### • 監控密閉的處置坑

利用鄰近尚未密閉的處置坑內部排水，以及周圍隧道的湧水進行監控。

#### • 監控密閉的處置坑(已封閉全部處置坑)

於處置坑周圍所配置的周圍隧道中，收集地下水，並利用周圍隧道的湧水。

#### • 監控密閉的處置坑(已封閉全部處置坑、周圍隧道)

利用附近地下水，以全面監控處置坑和周圍隧道的回填，附近地下水可考量使用地表鑽井

的方式進行量測。

#### • 監控密閉的處置坑(已封閉全部處置坑、周圍隧道、通行隧道)

在封閉後管理階段對廢棄物處置場釋出液的監控為利用附近地下水進行。分別設定設施設計及地質條件的監控場所、監控頻率與監控期間，並且於一定期間內監控抑制遷移、廢棄物處置場釋出液和是否有遷移至生活環境的情形。並且根據抑制遷移的監控結果和安全審查的實施結果，對監控場所、監控頻率及監控期間進行調整。

當處置坑的數量較少，或是處置坑間距較大時，將各別單獨考量處置坑的情形，若能掌握流動解析等地下水流況，則於處置場附近地下水下游設置能測定放射性物質濃度，並能監控釋出狀況的監控井。另一方面，位於地下 100 m 處的地下水通常於龜裂或弱層流動，當場址、處置坑、隧道未封閉或封閉時，其地下水的流動改變情形將較難預測，必須設置多個觀測孔才能加以掌握，但在設置觀測孔的同時，必須注意觀測孔對障壁性能的影響。另外，可考量持續監控附近地下水，以掌握周圍隧道回填後，地下水流況是否已恢復為設施建設前的狀態。

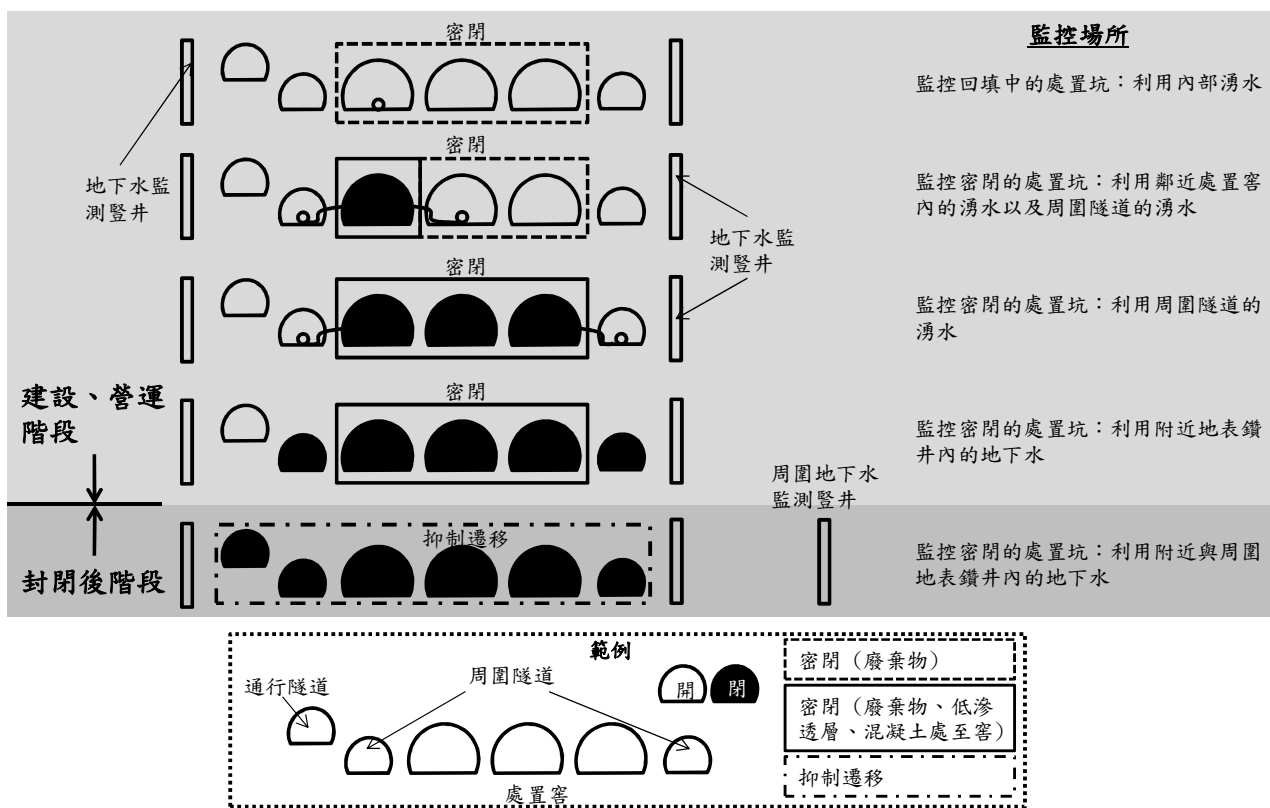


圖 4.3 湧水、地下水等監控場所的案例

#### 4.3.6 地下水滲透狀況觀測案例

實際設施與試驗設施的差異為，試驗設施的測定裝置較能自由設置，並且可以進一步的掌握實際狀況。藉此特長，並考量阻撓地下水滲透，用以避免放射性物質釋出，將進行類似環境的地下水滲透試驗，並加以觀測。此間接監控方法可與湧水、附近地下水等有關放射性物質濃度的測定併用，或是因位置條件因素造成測定判別困難時，可考量使用。

##### • 原場址地下水滲透狀況的監控案例

原場址地下水滲透狀況的相關觀測試驗，例如於周圍隧道外側設置試驗設施，以觀測地下水的滲透狀況，在與實際設施相同的溫度、壓力、環境等條件下，確保低滲透層的密閉性。

##### • 水環境及試驗室中觀測地下水滲透狀況的案例

水環境地下水滲透狀況的觀測為模擬水滲透至廢棄物，並觀察廢棄物表面的腐蝕狀況，以

確保廢棄物的密閉性。而試驗室中地下水滲透狀況的觀測為運用原場址的地下水對廢棄物進行養護，並觀察廢棄物表面的腐蝕狀況，以及測定通過廢棄物的放射性物質濃度，用以確保廢棄物的密閉性。

#### 4.4 近地表處置設施監控

近地表處置設施第 1 階段為實施密閉的監控；而第 2 階段為實施抑制遷移的監控、廢棄物處置場釋出液的監控，以及遷移至生活環境的監控。

##### 4.4.1 近地表處置設施第 1 階段監控

近地表處置設施第 1 階段的監控對象為放射性物質的屏蔽和密閉二項基本安全機能。密閉的設計機能管理措施目的為維持密閉機能的運作，為了達到管理措施的目的，必須監控廢棄物處置場是否有放射性物質的釋出，具體而言，附近地下水中放射性物質濃度測定的必須列為管理項目。

另外針對屏蔽和密閉，管理措施的目的為周圍監控區域的輻射劑量(屏蔽)、濃度(密閉)皆不得超過限制，雖然周圍監控區域的濃度限制為法令基本要求，但與密閉並無直接關係，密閉的損壞可能會影響周圍監控區域地下水，因此必須監控周圍區域的輻射劑量、濃度不得超過限制，具體而言，各個周圍監控區域直接伽瑪射線及高空散射效應伽瑪射線劑量的測定，以及周圍地下水中放射性物質濃度的測定皆必須列為管理項目。

近地表處置設施第 1 階段的監控管理項目如圖 4.4 所示，而表 4.10 則是監控的考量方法。

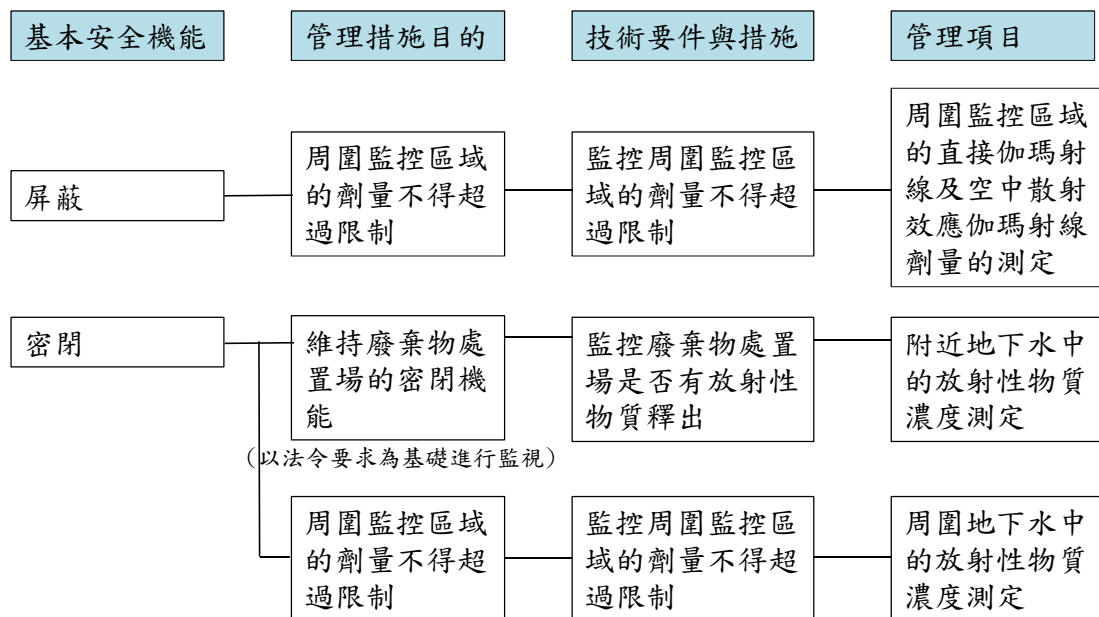


圖 4.4 近地表處置設施基本安全機能相關監控項目與流程(第 1 階段)

表 4.10 密閉的監控考量方法(第 1 階段)

監控對象	附近地下水中的放射性物質濃度
監控場所	<p>• 附近地下水</p> <p>調查廢棄物處置場周圍水平方向和垂直方向的地下水流況與地質條件，並以調查結果為基礎設定監控場所。水平方向監控場所的配置位於設施下游，並以最接近設施且不對設施造成影響的位置進行設定。如果將附近地下水的採驗場所設置於設施附近，則當有釋出情形發生時，可以迅速驗出，但單一偵測點的釋出檢驗範圍較小，相對的，如果將採驗場所設置的位置遠離設施，則當有釋出情形發生時，會較慢才能驗出，但單一偵測點的釋出檢驗範圍較廣。因此應以地下水流況的調查結果為基礎，設定偵測點數與設施的距離。另外垂直方向監控場所的配置除了考量地下水的流況外，也將針對劑量評估上的重要路徑進行設定。</p> <p>外部周圍設備監控內部排水的放射性物質濃度時，若排水的放射性物質濃度尚未超過背景輻射濃度，則不一定對附近地下水進行監控，若超過時，則對附近地下水進行監控。</p>
監控頻率	<p>周圍地下水的監控頻率法令規定為 1 回/月，但考量含有放射性物質的地下水遷移速度相當緩慢，周圍地下水的監控頻率應根據監控結果的狀況進行設定。</p> <p>外部周圍設備監控內部排水的放射性物質濃度，其監控頻率是根據發生的排水量等處置場狀況進行妥當設定。</p>
測定項目	<p>申請核種的放射性濃度</p> <p>若有選擇具放射性、於障壁中具遷移性的代表性放射性核種作為指標核種時，尚未驗出指標核種輻射的期間，可以只針對指標核種進行測定；在驗出指標核種輻射後，將也測定其他的核種。</p>
判定的考量方法	<p>地下水中的放射性物質濃度不得超過背景輻射濃度。為了排除其他外在影響，並正確的評估廢棄物處置設施，應透過廢棄物處置場地下水濃度的檢測，以及該地下水上游端濃度的檢測，並將二處檢測結果加以比較判斷較為妥當。</p>

#### 4.4.2 近地表處置設施第 2 階段監控

近地表處置設施第 2 階段的監控對象為放射性物質的抑制遷移基本安全機能。為了滿足此基本安全機能，管理措施的目的為維持抑制遷移的機能(釋出狀況、遷移至生活環境)，以及周圍監控區域的核種濃度不得超過限制。

針對前者目的「維持抑制遷移的機能」所對應的措施為監控廢棄物處置場是否有放射性物質釋出，以及監控放射性物質是否有遷移至生活環境。具體而言，附近地下水中放射性物質濃度的測定，以及周圍監控區域內地下水中放射性物質濃度的測定皆必須列為管理項目。

而後者目的「周圍監控區域的核種濃度不超過限制」所對應的措施為監控周圍監控區域的核種濃度不得超過限制，具體而言，將周圍地下水中放射性物質濃度的測定列為管理項目。

近地表處置設施第 2 階段的監控管理項目流程如圖 4.5 所示，而表 4.11 則是監控的考量方法。

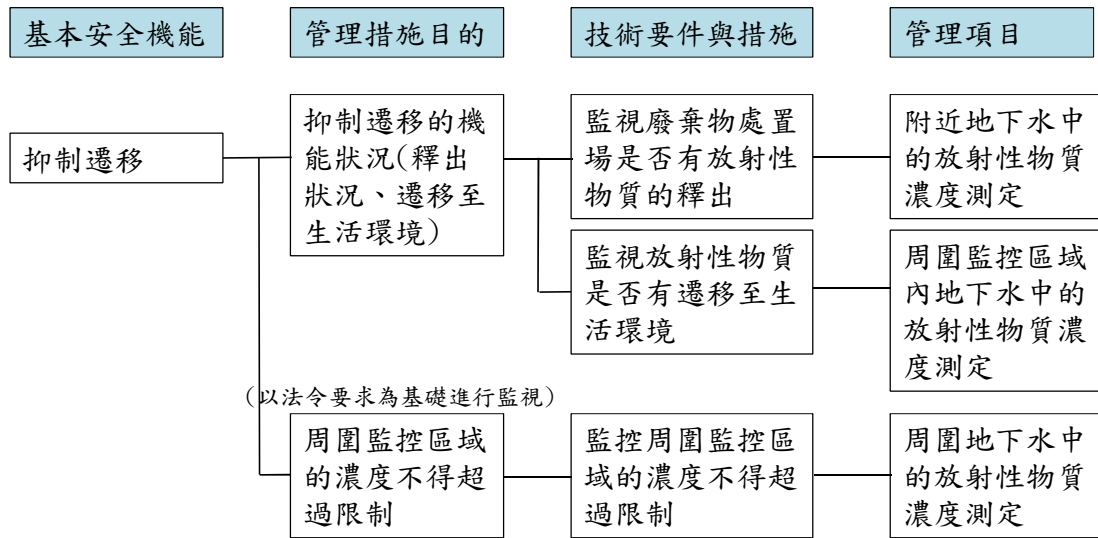


圖 4.5 近地表處置設施基本安全機能相關監控項目與流程(第 2 階段)

表 4.11 抑制遷移的監控考量方法(第 2 階段)

監控對象	附近地下水及周圍監控區域內地下水中的放射性物質濃度
監控場所	<ul style="list-style-type: none"> <li>附近地下水(廢棄物處置場釋出液的監控)</li> <li>周圍監控區域的地下水(遷移至生活環境的監控)</li> </ul>
監控頻率	與第 1 階段相同
測定項目	申請核種的放射性濃度 與第 1 階段相同
判定的考量方法	地下水放射性物質的遷移狀況與安全評估所預想的一致性

#### 4.4.3 近地表處置設施周圍監控區域的監控考量方法

近地表處置設施周圍監控區域的監控考量方法與餘裕深度處置的考量方法一致，已於 4.3.3 節中的表 4.5 中呈列，故不於此再次闡述。

#### 4.4.4 近地表處置設施指標核種的選定案例

近地表處置設施與餘裕深度處置皆依據表 4.7 選定指標核種，其選定結果如下：

- (1)  $^3\text{H}$  於第 1 階段與第 2 階段皆有較高的總輻射能，所對應的障壁材料分配係數皆為 0，代表  $^3\text{H}$  為極易遷移的核種，相較於其他核種會較早通過障壁，並且已具有測定  $^3\text{H}$  的方法，不會有測定性的疑慮，再加上  $^3\text{H}$  具有較長的半衰期(半衰期 12.3 年)，於第 1 階段、第 2 階段期間尚未完全衰減，因此可考量將  $^3\text{H}$  作為第 1 階段、第 2 階段的指標核種。
- (2) 由於障壁劣化時所對應的分配係數不一定較小，因此除了選定  $^3\text{H}$  指標核種，也可以考量選定障壁性能劣化評估用的測定核種，而  $^{60}\text{Co}$  和  $^{137}\text{Cs}$  於第 1 階段與第 2 階段皆有較高的總輻射能，並且也無測定性的相關問題，因此可考量選定  $^{60}\text{Co}$  和  $^{137}\text{Cs}$  作為障壁性能劣化評估用的測定核種。

然而  $^{60}\text{Co}$  的半衰期較短(半衰期 5.27 年)，至第 2 階段結束期間(預計於廢棄物接受後 50 年)仍可作為測定核種，但若處置時間經過 50 年後，則需考量是否合適繼續作為測定核種。



#### 4.4.5 近地表處置監控的適用案例(第 2 階段)

下述為日本原燃公司 1、2 號近地表處置設施於第 2 階段有關廢棄物處置場放射性物質釋出、放射性物質遷移至生活環境、外部輻射劑量、降雨、地下水位等監控案例：

##### (1) 抑制遷移的監控

透過測定附近地下水中的放射性物質濃度，用以監控廢棄物處置場放射性物質的釋出，另一方面同時測定周圍地下水中的放射性物質濃度，用以監控放射性物質遷移至生活環境的情形。

處置設備內有設置排水、監控設備時，在排水、監控設備尚未判定出排水中有廢棄物所含的放射性物質期間，將以排水、監控設備的監控取代附近地下水的監控；當排水、監控設備判定出排水中有廢棄物所含的放射性物質時，則開始監控附近地下水。

##### 1. 地下水的監控場所

###### (a) 廢棄物處置場放射性物質釋出的監控

圖 4.6 為日本原燃公司低放射性廢棄物處置中心的地下水位等高線圖，通過 1、2 號處置設備的水，主要經過腹地中央的濕地後，再流入南方濕地。為了盡早檢測出放射性物質釋出遷移的情形，以及考量檢測範圍涵蓋全部廢棄物處置場，以利與外圍區域設備進行某種程度的隔離，目前所規劃之附近地下水的採取場所如圖 4.7 所示。地下水的採集深度取決於地質區分和滲透係數相關情報的收集，必要時將進行流動的解析與採集滲透係數相異地層中的地下水，以掌握垂直方向的水流情形。

###### (b) 放射性物質遷移至生活環境的監控

日本原燃公司低放射性廢棄物處置中心根據地下水位等高線圖水平方向的水流情報、地質區分和滲透係數的情報，以及由流動解析所獲得垂直方向的水流情報，於廢棄物處置場周圍監控區域的邊界附近設置 7 個深度相異、使用壓力測定方式的地下水監控井，並設定於適當的深度採集地下水，用以探勘水平方向與垂直方向的水流情形。地下水監控井的配置如圖 4.7 所示。

##### 2. 核種的監控

根據近地表處置設施的指標核種選定方法，第 2 階段仍以  $^3\text{H}$  作為指標核種進行監控。

##### 3. 監控頻率

第 2 階段的監控頻率與第 1 階段相同，附近地下水與周圍地下水的  $^3\text{H}$  濃度監控頻率為 1 回/月。

##### (2) 外部輻射劑量

##### 1. 監控場所

日本原燃公司低放射性廢棄物處置中心以下列項目作為考量，於周圍監控區域的邊界附近設置十個監測點，如圖 4.8 所示。

- 周圍監控區域的北方及東方有聚居地和道路，因此配置較為密集。
- 周圍監控區域的西方為腹地的延伸地，而南方為濕地幾乎不會有民眾進入，此兩方為較不需要注意的區域，因此配置較為稀疏。

##### 2. 監控頻率

周圍監控區域邊界附近的外部輻射劑量監控頻率為 1 回/月。

##### (3) 降雨

一個月間總降雨量的測定紀錄頻率為 1 回/月。

#### (4) 地下水水位

地下水監控設備測定紀錄地下水水位的頻率為1回/月。

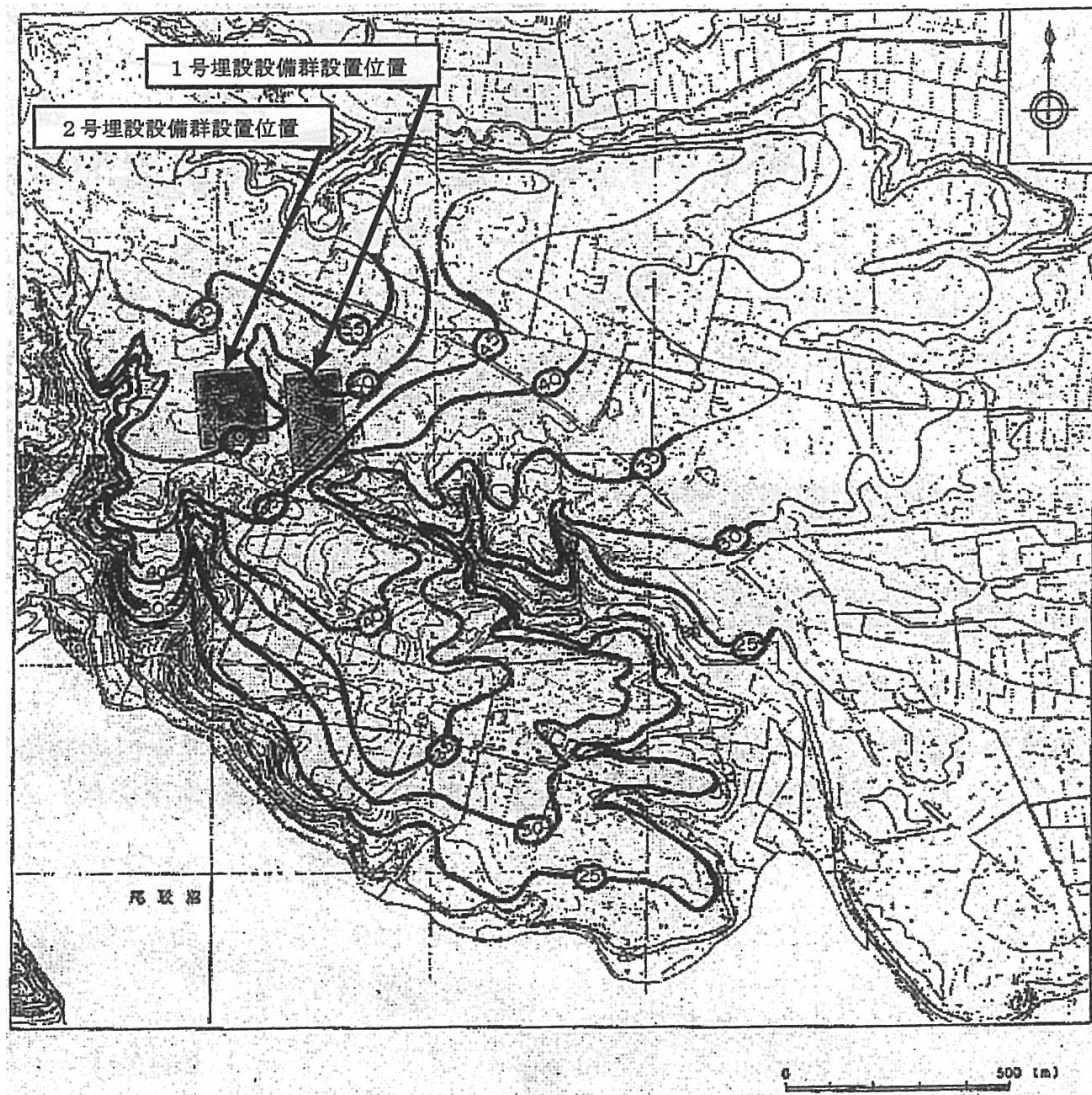


圖 4.6 近地表處置設施地下水水位等高線圖

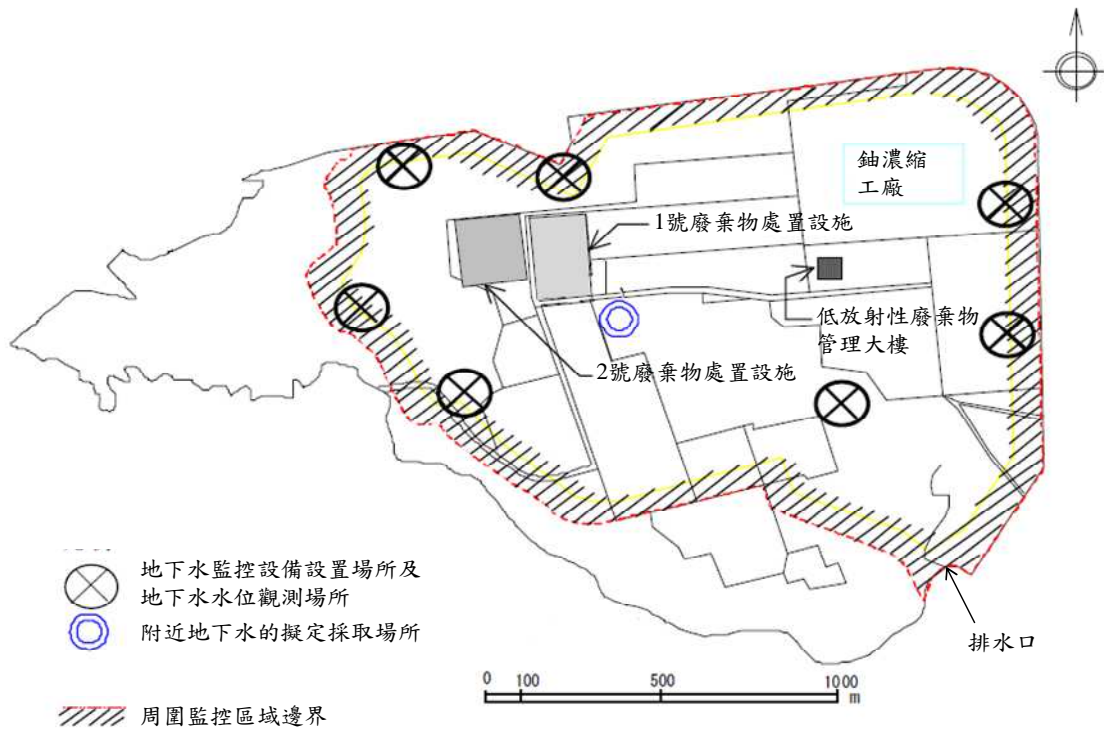


圖 4.7 地下水監控設備設置場所與附近地下水的擬定採取場所

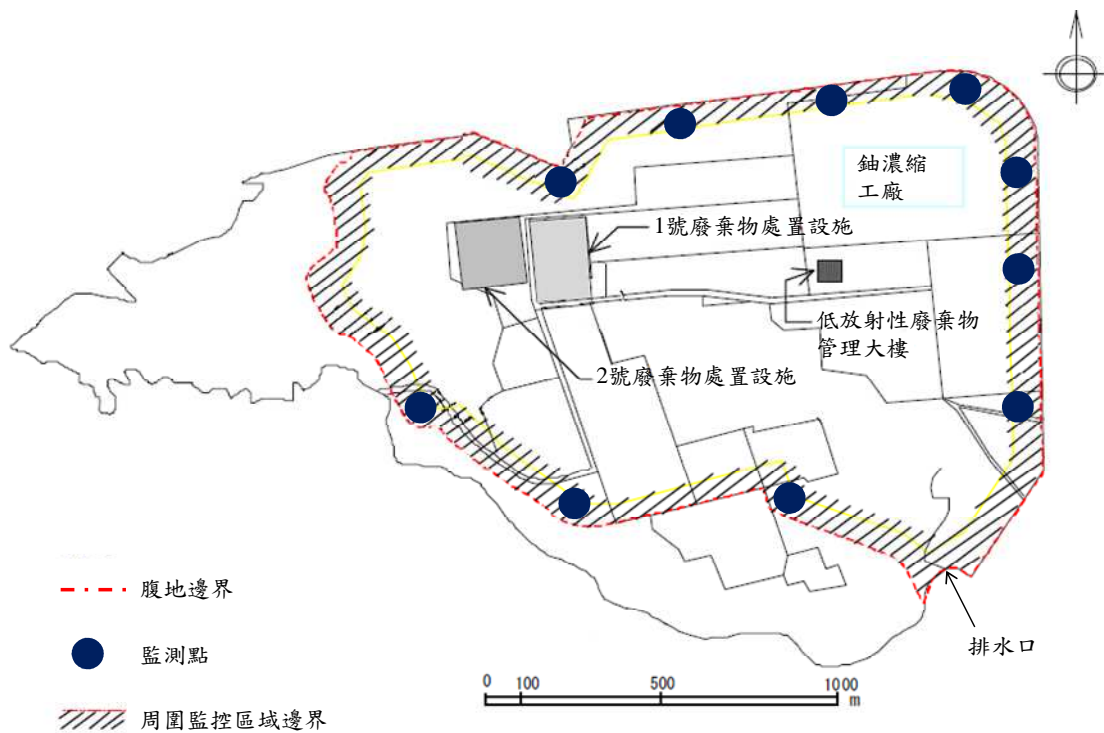


圖 4.8 外部輻射劑量監測點設置場所

## 4.5 近地表壕溝式處置監控

近地表壕溝式處置的監控為實施放射性物質遷移至生活環境的監控，以及抑制遷移的監控。

### 4.5.1 近地表壕溝式處置營運階段監控

近地表壕溝式處置營運階段的監控對象為放射性物質的屏蔽和抑制遷移二項基本安全機能。抑制遷移的設計機能管理措施目的為維持抑制遷移(防止遷移至生活環境)機能的運作，為了達到管理措施的目的，必須監控放射性物質是否有遷移至生活環境。具體而言，周圍監控區域內地下水中放射性物質濃度的測定必須列為管理項目。

另外針對屏蔽和抑制遷移，管理措施的目的為周圍監控區域的輻射劑量(屏蔽)、濃度(抑制遷移)皆不得超過限制，雖然周圍監控區域的濃度限制為法令基本要求，但與密閉並無直接關係，密閉的損壞可能會影響周圍監控區域地下水，因此必須監控周圍區域的輻射劑量、濃度不得超過限制，具體而言，周圍監控區域直接伽瑪射線及高空散射效應伽瑪射線劑量的測定，以及周圍地下水中放射性物質濃度的測定皆必須列為管理項目。

近地表壕溝式處置營運階段的監控管理項目流程如圖 4.9 所示，而表 4.12 則是監控的考量方法。

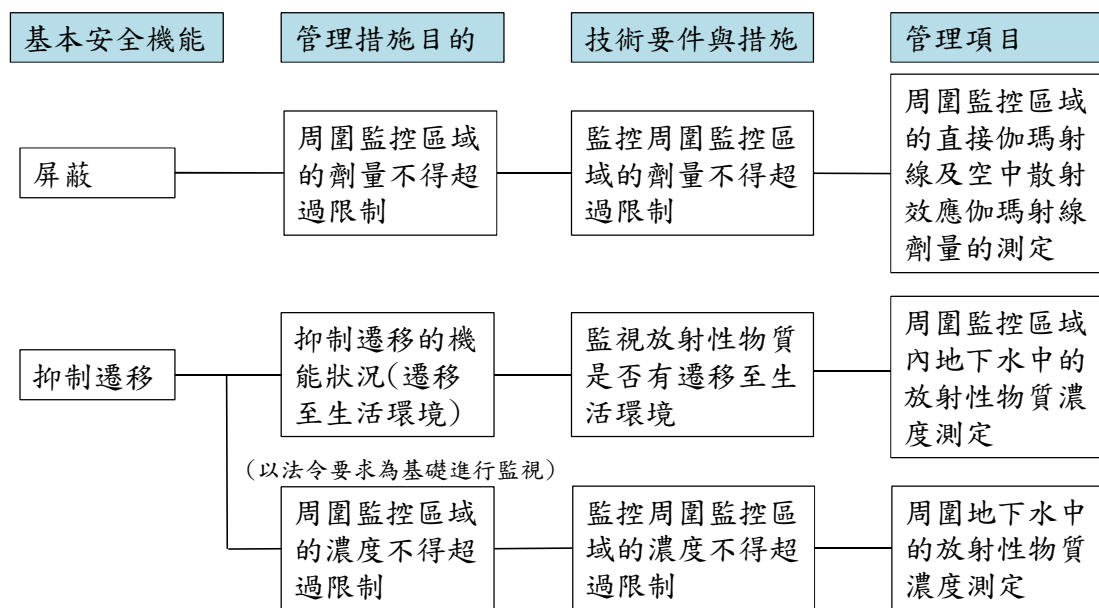


圖 4.9 近地表壕溝式處置基本安全機能相關監控項目與流程(營運階段)

表 4.12 抑制遷移的監控考量方法(營運階段)

監控對象	周圍監控區域內地下水中的放射性物質濃度
監控場所	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 周圍監控區域內的地下水</li> </ul> 周圍監控區域監控場所的設定為依據地下水流況，並且於通過廢棄物處置場的地下水主流下游位置進行配置。必要時將考量也對垂直方向進行配置。
監控頻率	周圍地下水的監控頻率法令規定為 1 回/月，但考量含有放射性物質的地下水遷移速度相當緩慢，周圍地下水的監控頻率應根據監控結果的狀況進行設定。
測定項目	申請核種的放射性濃度 若有選擇具放射性、於障壁中具遷移性的代表性放射性核種作為指標核種時，尚未驗出指標核種輻射的期間，可以只針對指標核種進行測定；在驗出指標核種輻射後，將也測定其他的核種。
判定的考量方法	地下水放射性物質的遷移狀況與安全評估所預想的一致性

#### 4.5.2 近地表壕溝式處置周圍監控區域的監控考量方法

近地表壕溝式處置周圍監控區域的監控考量方法如表 4.13 所列，由於近地表壕溝式處置並無設置需監控排氣、排水中所含放射性物質濃度的相關設施，因此附屬設施的排氣、排水中所含放射性物質濃度並不為近地表壕溝式處置的監控對象，但若處置設施所處理的廢棄物不具防止放射性物質飛散的措施時，必須針對該設施所排出的氣體進行監控。

表 4.13 近地表壕溝式處置周圍監控區域的監控考量方法

監控對象	周圍地下水中的放射性物質濃度	外部輻射相關劑量	降雨	地下水水位
監控場所	周圍監控區域	周圍監控區域	事務所內	事務所內
	主要考量地下水流況，並於通過廢棄物處置場的地下水下游位置設定監控場所，必要時也考量於垂直方向進行配置	以廢棄物處置場為中心的八方位周圍監控區域上設置檢測點，並以一般民眾的居住場所為考量，設定監控場所(若連接海洋等非居住區域時，則可以減少檢測點數量)	由於事業所地域內的降雨量差異甚小，因此只需於事務所內的代表位置設置一處監控場所	為了監控事務所內地下水水位的變動，於通過廢棄物處置場的地下水上游和下游位置，以及劑量評估上與前提條件有關的地下水水位觀測位置等複數代表位置設置監控場所
監控頻率	1 回/月	1 回/月(廢棄物處置場尚未全部被土砂覆蓋前為 1 回/周)	一個月間的累積降雨量(1 回/月)	1 回/月
測定項目	申請核種的核種濃度	輻射劑量	累積降雨量	地下水水位
	若有選擇具放射性、於障壁中具遷移性的代表性放射性核種作為指標核種時，尚未驗出指標核種輻射的期間，可以只針對指標核種進行測定；在驗出指標核種輻射後，將也測定其他的核種。	輻射劑量為管理指標，可與監控項目的直接指標進行比較，用以確認管理狀況	地下水流況，以及具影響附近地下水、周圍地下水中放射性物質濃度的監控項目	具影響地下水中放射性物質濃度的監控項目
判定的考量方法	周圍地下水中的放射性物質濃度不得超過法定限制濃度	外部輻射劑量不得超過法定限制劑量	-	-

### 4.5.3 近地表壕溝式處置指標核種的選定案例

近地表壕溝式處置與餘裕深度處置皆依據表 4.7 選定指標核種。其中  $^3\text{H}$  具有較高的總輻射能，所對應的障壁材料分配係數皆為 0，代表  $^3\text{H}$  為極易遷移的核種，相較於其他核種會較早通過障壁，並且已具有測定  $^3\text{H}$  的方法，不會有測定性的疑慮，再加上  $^3\text{H}$  具有較長的半衰期(半衰期 12.3 年)，因此可考量將  $^3\text{H}$  作為指標核種。

### 4.5.4 近地表壕溝式處置監控的適用案例(營運階段)

下述為 Japan Power Demonstration Reactor (JPDR) 混凝土廢棄物近地表壕溝式處置設施於營運階段有關放射性物質遷移至生活環境、外部輻射劑量、降雨、地下水位監控案例：

#### (1) 放射性物質遷移至生活環境的監控

測定周圍監控區域內地下水中的放射性物質濃度，用以監控放射性物質遷移至生活環境的情形。

##### 1. 地下水的監控場所

JPDR 於地下水下游接近廢棄物處置場的位置，以及周圍監控區域邊界附近的地下水設置採集設備和採集孔，另外於廢棄物處置場上游的位置同樣也設置採集孔，用以確認背景環境，如圖 4.10 所示。

##### 2. 監控核種

根據近地表壕溝式處置指標核種的選定方法，以  $^3\text{H}$  作為指標核種進行監控。

##### 3. 監控頻率

地下水  $^3\text{H}$  的濃度監控頻率為 1 回/月。

#### (2) 外部輻射劑量

##### 1. 監控場所

JPDR 以下列項目作為考量，於周圍監控區域的邊界附近設置輻射測定設備，如圖 4.11 所示。

- 周圍監控區域的北方及西方有聚居地和道路，因此配置較為密集。
- 周圍監控區域的東方面向海岸，南方與其他原子力事業的腹地連接，比較不需要留意民眾進入，因此配置較為稀疏。

##### 2. 監控頻率

周圍監控區域邊界附近的外部輻射劑量監控頻率為 1 回/月。

#### (3) 降雨

一個月間總降雨量的測定紀錄頻率為 1 回/月。

#### (4) 地下水水位

地下水監控設備測定紀錄地下水水位的頻率為 1 回/月。

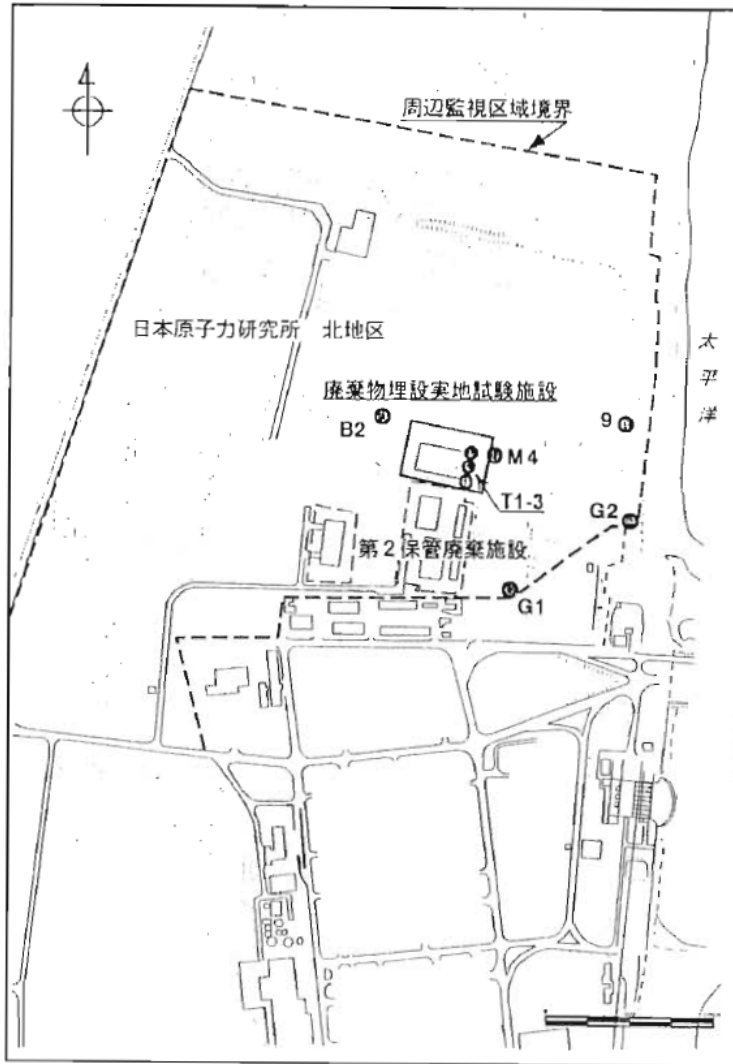


圖 4.10 JPDR 近地表壕溝式處置地下水監控設備設置場所



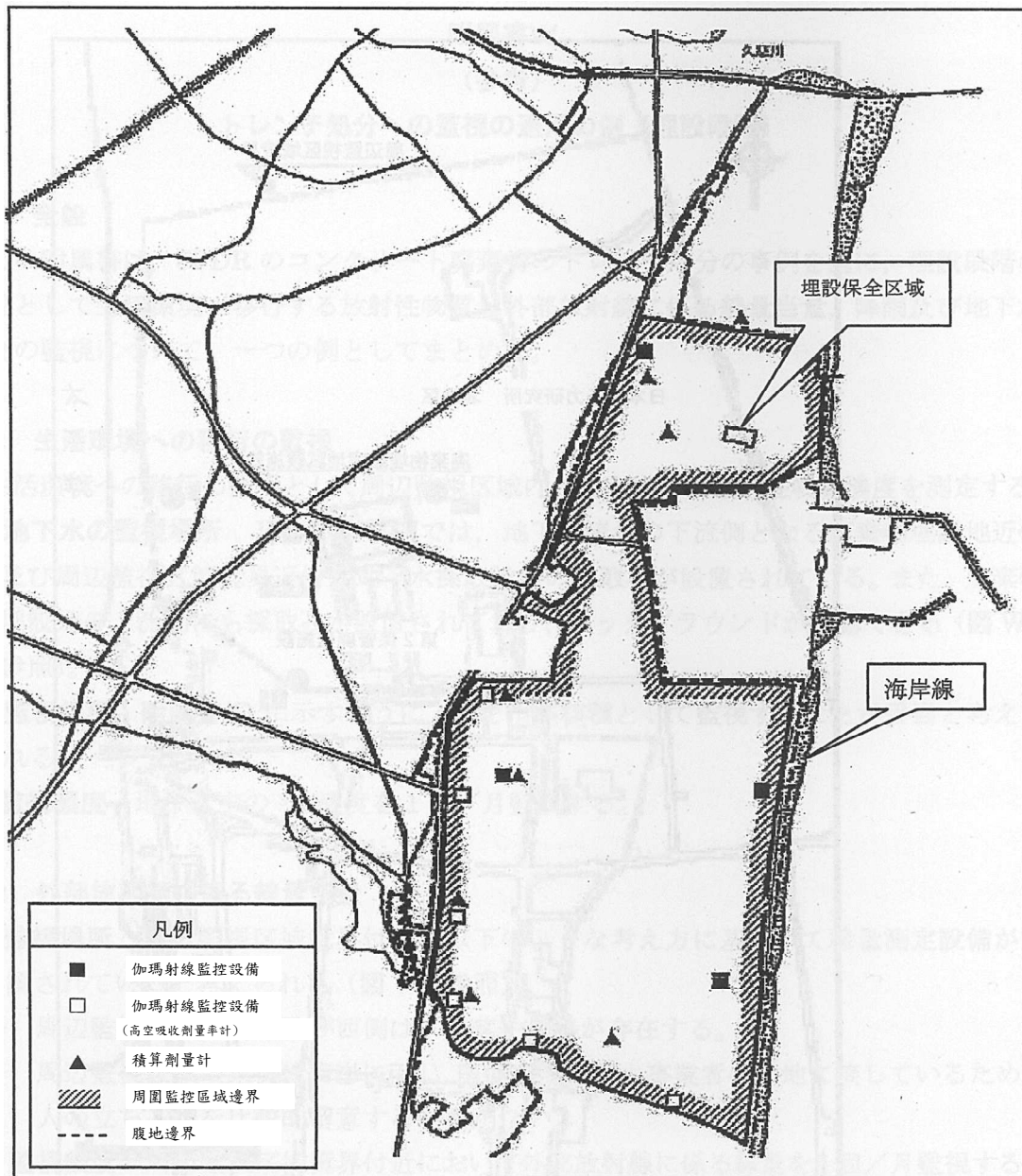


圖 4.11 空氣吸收劑量等測定點的配置案例

#### 4.6 密閉的監控結果基本措施

針對餘裕深度處置和近地表處置設施的密閉監控結果，若檢驗出廢棄物有放射性物質釋出的情形，則將實行、製作調查計劃，並彙整結果以查明發生原因，接著依據結果研討是否有必要進行廢棄物處置設備的修復，若判定有必要修復設備時，需制定修復計畫以及所採用的修復措施。密閉的監控結果所對應之基本流程案例如圖 4.12 所示。

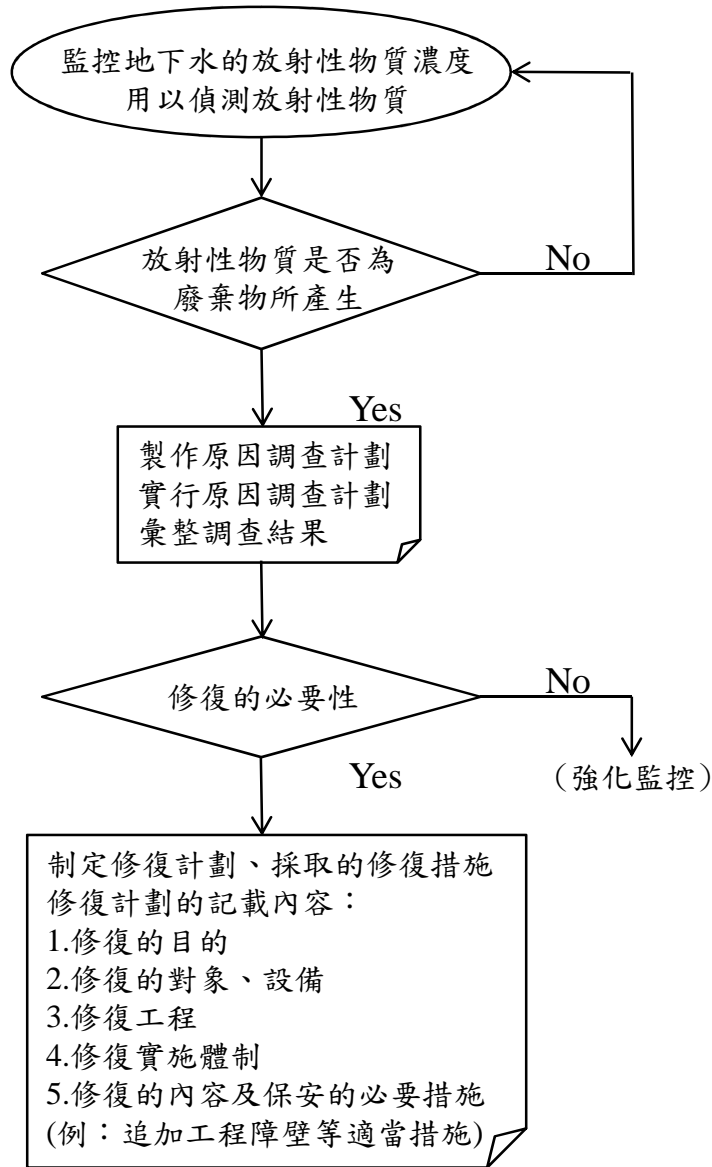


圖 4.12 密閉的監控結果所對應的處理流程

## 4.7 放射性廢棄物處置場的影響環境物質監控措施案例

影響環境物質的監控為針對實際處置的廢棄物，並將具有影響周圍環境疑慮的項目逐一列出加以監控。而環境基準則是以生物學的相關知識進行修改與審查。

### (1) 監控項目的選擇方法

#### 1. 廢棄物含量

由於環境中較難檢測出影響環境物質的濃度，因此必須確認廢棄物含有「廢棄物處理及清理相關法律」所訂定的物質濃度，以利進行監控。

#### 2. 確認適性

模擬廢棄物中含有影響環境物質的濃度，進行放射性物質的遷移評估，用以確認評估點不會超過環境基準，若評估結果屬於自然變動範圍內，則此物質可從監控項目中移除。而評估的參數為根據評估的目的所對應之數值進行設定，圖 4.13 為物質遷移評估的示意圖。

### (2) 監控頻率

放射性廢棄物處置場與一般管理型最終處置場所訂定的維持管理基準監控頻率皆為 1 回 /yr 以上，若數年間的測定結果顯示，未達基準值的次數不再增加的話，則可以考慮減少

監控頻率。

### (3) 事前調查的必要性

監測器的測定結果評估為事前於設施周圍測定環境濃度，以利判定季節變動或影響設施的因素，有關事前調查(背景調查)的案例可參考產業廢棄物最終處置場的事前調查。

### (4) 監控場所及期間

產業廢棄物最終處置場的監控期間為持續至最終處置場除役為止，而除役的基準為所有監控項目於一定年數期間(2年間)，皆確認未監測出異常。

放射性廢棄物處置場將參考產業廢棄物最終處置場的監控期間，運用監控放射性物質的監控井，監控至覆土覆蓋後30年，於監控期間將確認環境中易遷移物質的傾向變動，並判斷合適的監控中止時期。

### (5) 異常狀態的對應

若監控中發生背景環境變動或檢驗出明顯超過環境基準的濃度時，將採取不對健康造成影響的措施。並且調查發生原因，必要時可以參考產業廢棄物最終處置場所對應的處理方式，例如當水質惡化的異常狀態發生時，將調查發生原因，並採取生活環境的保護相關措施。

### (6) 監控的除役

管理型最終處置場的監控除役依據為地下水的最終狀態必須長期安定，且達到基準要求。放射性廢棄物處置場的監控終止時期判斷基準，可參考產業廢棄物最終處置場的監控除役基準進行設定。

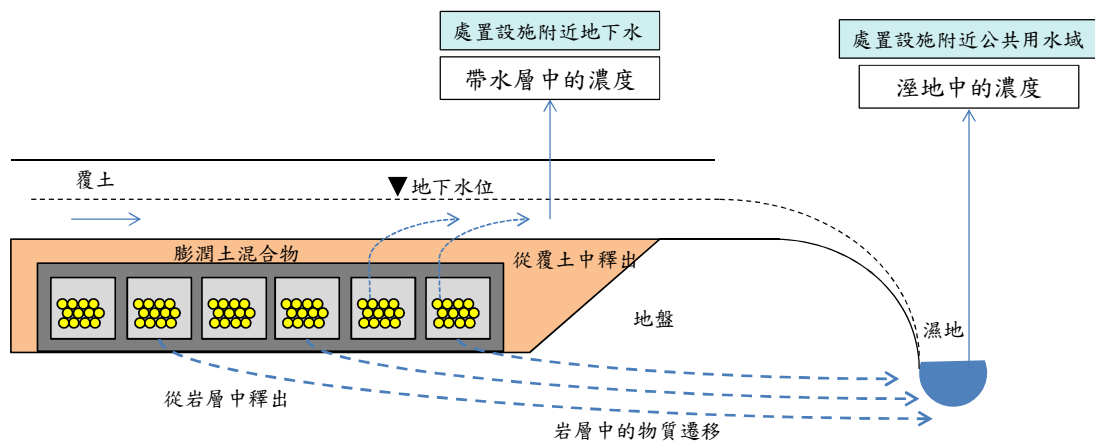


圖 4.13 物質遷移的評估示意圖

## 第五章 日本低放處置場封閉後續維護管理

### 5.1 廢棄物處置場相關維護

事業者採取廢棄物處置場相關的維護措施，目的為於廢棄物處置後開始，至解除管理的期間，維護放射性廢棄物處置場的現狀。為此將在廢棄物處置場與其周圍設定營運保護區域，並針對該區域加以巡視、檢查，以防止發生開挖行為及農耕等特定行為，必要時將採取對應的修復措施，同時維持管理廢棄物處置場的現狀。

營運保護區域是以第二種處置規則為基礎，於廢棄物處置場內管理區域外，設定特別管理場所，用以維護處置完成的廢棄物處置場，而營運保護區域的範圍則是根據廢棄物處置場的維護措施進行設定，例如餘裕深度處置為了確保廢棄物處置場的障壁機能，將禁止或限制開挖等行為；而近地表處置設施和近地表壕溝式處置為了確保覆土的機能，將禁止或限制農耕等特定行為。

營運保護區域及廢棄物處置設施平常的維護管理主要為巡視、檢查該區域及設施有無異常，並維持管理營運保護區域及廢棄物處置設施所設置的標誌、圍籬、告示牌等告示設備，以及監控輻射影響的監控設備，同時將實施狀況加以紀錄。標誌、告示牌等告示設備所記載的內容應至少包含放射性廢棄物的種類、營運開始日期與營運結束日期，以及維護的注意事項。

巡視、檢查的頻率以第二種處置規則所訂定的頻率(1回/週)為基準，但當發生震度4以上的地震等自然災害時，必須臨時進行巡視、檢查，用以早期確認有無異常情形，若發現異常，必要時將採取緊急修復措施。

通常開始進行廢棄物接收作業，設定周圍監控區域時，即可進行維護管理。並且可以考量在採取限制一般民眾進入周圍監控區域與巡視、檢查廢棄物處置設施的管理期間，同樣於周圍監控區域進行防止與處置事業無關的開挖等行為，或防止農耕等特定行為的保護措施。此作法於各種低放處置方法和各種低放處置階段皆適用。

### 5.2 維護餘裕深度處置的基本安全機能

餘裕深度處置基本安全機能的維護主要是針對建設、營運階段的放射性物質密閉機能與封閉後階段的抑制遷移機能作維護。

至於餘裕深度處置的隔離基本安全機能則是將廢棄物處置場設置於地下一定深度，用以確保於管理期間結束後，生活環境能與廢棄物處置場隔離，但在封閉後階段前，基本安全機能尚未發揮功能，因此必須於管理期間開始時，進行巡視與檢察，並且執行防止開挖等行為的保護管理措施。

#### 5.2.1 維護餘裕深度處置建設、營運階段的基本安全機能

廢棄物處置場於處置坑回填施工時，為了確保密閉基本安全機能的完備，於建設、營運階段結束前必須實施維護措施。為此，將設定營運保護區域，並且針對該區域進行巡視、檢查。另外也將設立監控輻射影響的設備和營運保護區域的告示標誌，用以達成維持管理的目的。餘裕深度處置於建設、營運階段的維護管理項目流程如圖 5.1 所示。

在開始進行廢棄物接收作業，設定周圍監控區域時，通常可以運用限制進入周圍監控區域，或是實施巡視、檢查等有關廢棄物處置設施的維護管理，用以取代營運保護區域的設定，

並且同時開始實施廢棄物處置場的相關維護管理項目。各種低放處置方法於設定周圍監控區域時，皆可使用此作法。

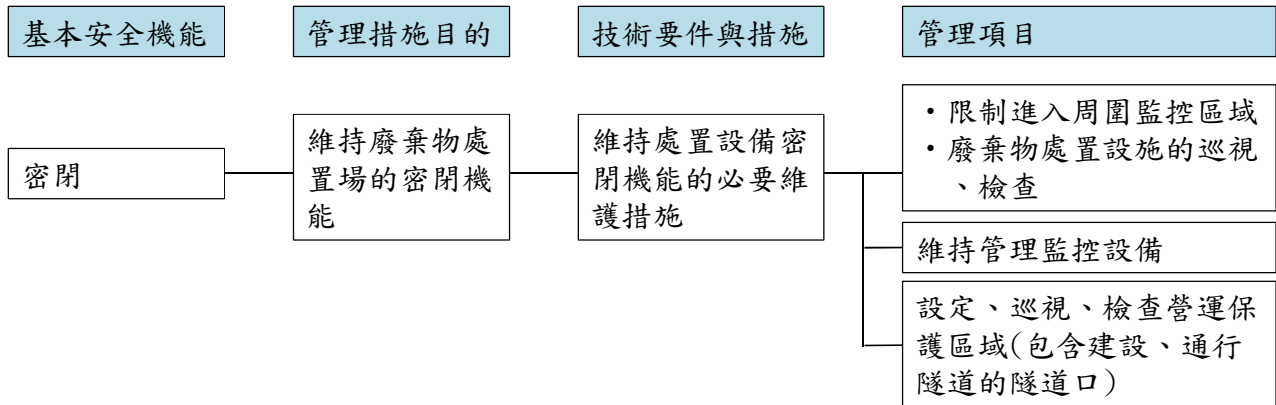


圖 5.1 餘裕深度處置基本安全機能相關維護項目與流程(建設、營運階段)

### 5.2.2 維護餘裕深度處置封閉後階段的基本安全機能

封閉後階段的抑制遷移基本安全機能維護措施主要為確保廢棄物處置場的障壁機能。為了防止偶然的人類活動阻害廢棄物處置場的障壁機能，於廢棄物核種衰減前，將採取禁止或限制處置場開挖行為的維護措施，為此必須設定營運保護區域(包含建設、通行隧道的隧道口)，並且針對該區域進行巡視、檢查。另外也將設立監控輻射影響的設備和營運保護區域的告示標誌，用以達成維持管理的目的。餘裕深度處置於封閉後階段的維護管理項目流程如圖 5.2 所示。

封閉後階段與建設、營運階段相同，於設置周圍監控區域時，可以考慮同時實施廢棄物處置場的相關維護管理項目。

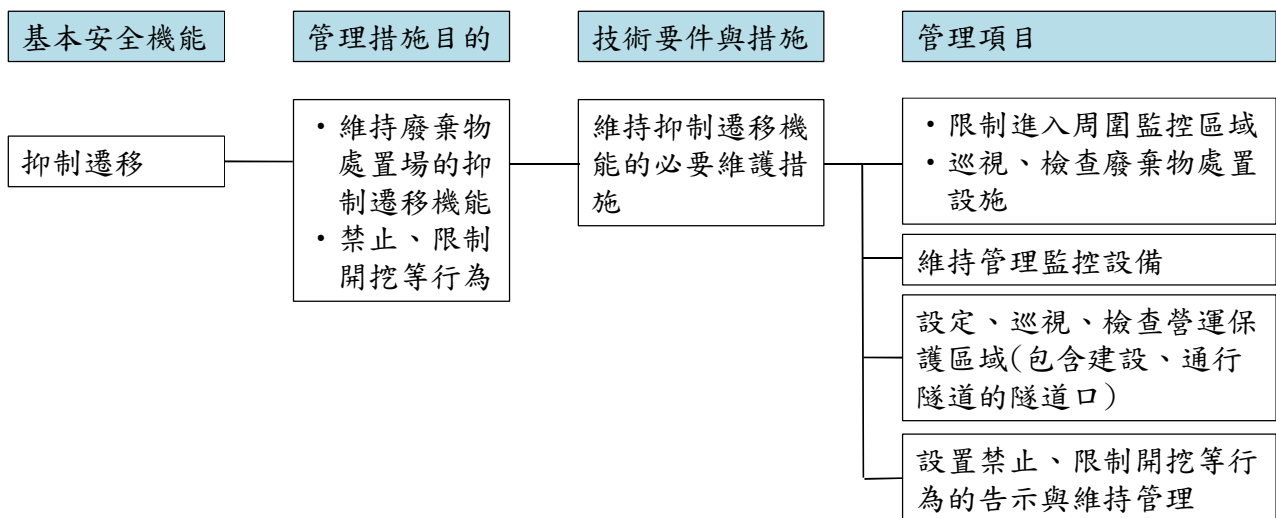


圖 5.2 餘裕深度處置基本安全機能相關維護項目與流程(封閉後階段)

### 5.2.3 餘裕深度處置營運保護區域的設定

餘裕深度處置一般設有多個處置坑。於建設、營運階段期間同時並存已回填完成的處置坑、建設中的處置坑、以及廢棄物接收作業中的處置坑。當全部的處置坑及通行隧道回填完畢後，則進入封閉後階段。而餘裕深度處置營運保護區域的設定期間為從建設、營運階段最初的處置坑回填完成後開始，至封閉後階段的管理結束為止。

當最初的處置坑回填後，為了維護廢棄物處置場，必須設定營運保護區域，以進行特別管理。在建設、營運階段中，開始進行廢棄物接收作業，設定周圍監控區域時，即可進行維

護管理。在處置坑回填完成後，可以考量於該處置坑、周圍隧道和邊境部分設立標誌，用以區分營運保護區域與其他場所。

由於在封閉後階段已解除限制進入周圍監控區域措施，因此必須依據禁止或限制開挖等行為的範圍，以及廢棄物處置場投影至地面的範圍，設定營運保護區域。圖 5.3 為餘裕深度處置保護管理區域設定案例。

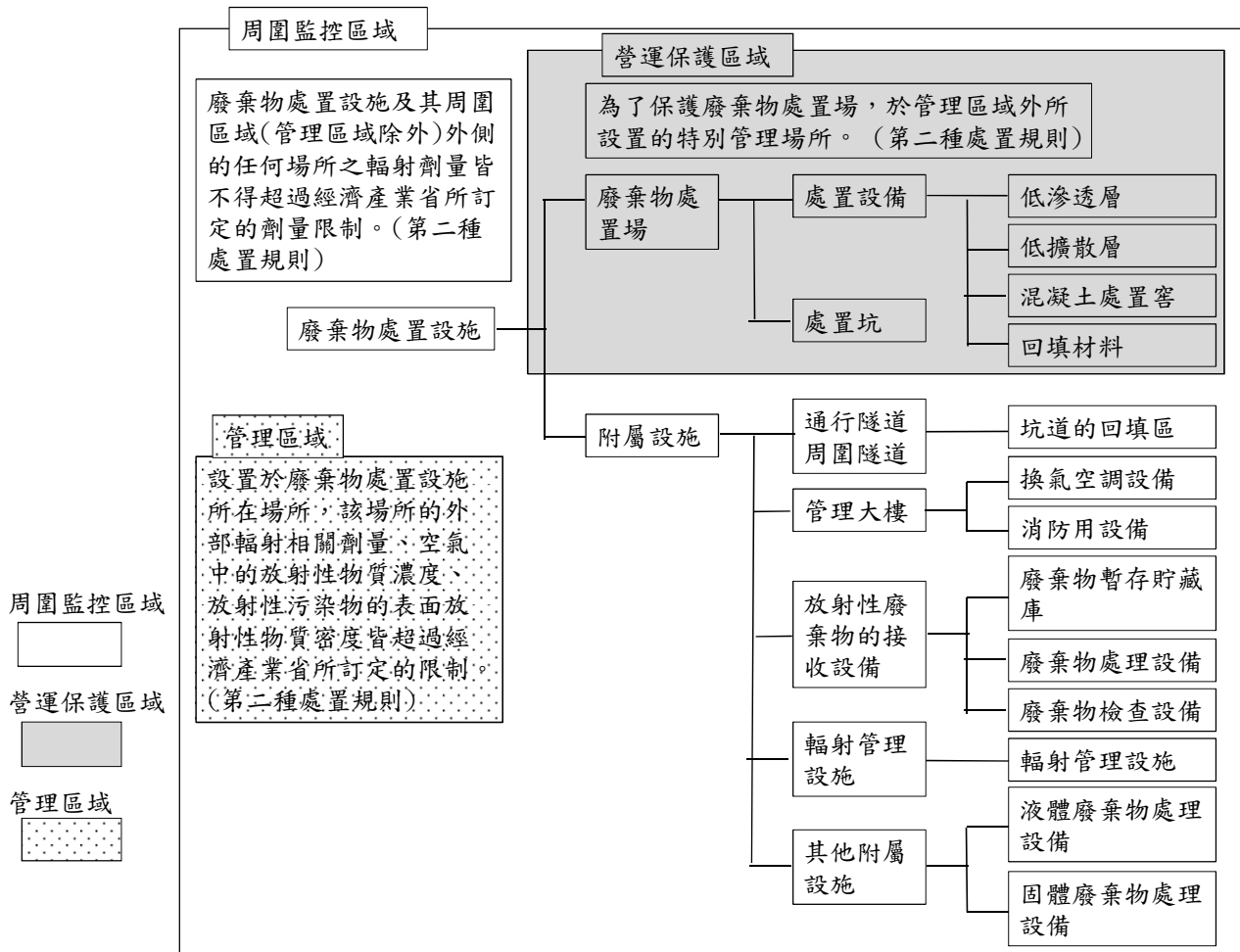


圖 5.3 餘裕深度處置保護管理區域設定案例

## 5.2.4 餘裕深度處置相關維護措施

餘裕深度處置相關的維護措施分為三點，另外餘裕深度處置維護措施於各階段的巡視、檢查案例如表 5.1 所列。

- (1) 巡視、檢查營運保護區域(包含巡視、檢查完成回填的處置坑、周圍隧道和邊境部分)。
- (2) 維持管理標誌、圍籬和告示牌等告示設備。
- (3) 於實施監控或進行周圍監控區域相關措施的期間，維持管理相關監控設備。

表 5.1 餘裕深度處置維護措施於各階段的巡視、檢查案例

階段區分	巡視、檢查內容				
	巡視場所	檢查對象	檢查項目和方法	頻率	備註
建設、營運階段	廢棄物處置場(完成回填的處置坑)	<ul style="list-style-type: none"> <li>完成回填的處置坑、周圍隧道和邊境部分等</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>目視確認該邊界部分</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>巡視、檢查定期 1 回/週</li> <li>發生震度 4 以上的地震等自然災害時，將盡可能盡速實施</li> <li>監控設備的檢查頻率依據機器的檢查規格訂定</li> </ul>	—
	監控設備	<ul style="list-style-type: none"> <li>地下水的採取設備(包含廢棄物處置場內的地下水採取設備)、雨量計</li> <li>周圍監控區域的輻射監控設備</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>校正及目視確認集水管、取水裝置(泵浦等)、水位計、雨量計有無異常</li> </ul>		
	營運保護區域或周圍監控區域 <sup>a)</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>廢棄物營運保護區域所設立的標誌與注意事項告示牌(包含完成回填的處置坑、周圍隧道和邊境部分所設立的標誌)</li> <li>周圍監控區域的圍籬<sup>a)</sup></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>目視確認標誌的文字有無消失、損傷或傾倒等異常</li> </ul>		
封閉後階段	監控設備 <sup>b)</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>附近地下水的採取設備、雨量計</li> <li>周圍監控區域的輻射監控設備</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>校正及目視確認取水裝置(泵浦等)、水位計、雨量計有無異常</li> </ul>	同上	—
	周圍監控區域 <sup>a)</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>周圍監控區域的圍籬<sup>a)</sup></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>與建設、營運階段相同</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>封閉後階段的巡視、檢查為確認有無發生開挖等行為的前兆，以及確認標誌有無異常。巡視、檢查的頻率可以逐漸減少(例如 1 回/月)</li> </ul>	—
	營運保護區域	<ul style="list-style-type: none"> <li>廢棄物營運保護區域所設立的標誌與注意事項告示牌等</li> <li>發生開挖等行為的前兆</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>目視確認標誌的文字有無消失、損傷或傾倒</li> <li>禁止、限制開挖等行為，以及目視確認防止準備開挖的行為發生</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>發生震度 4 以上的地震等自然災害時，將盡可能盡速實施</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>與建設、營運階段相同</li> <li>第二種處置規則訂定處置場的巡視、檢查頻率為 1 回/週，此為正常狀態下，於建設、營運階段營運中所考量的頻率。當設施於封閉後階段持續管理數十年時，巡視、檢查頻率可考量依據檢查對象和廢棄物處置場的狀況進行合理設定</li> </ul>

註 a)：設定周圍監控區域，並於該區域進行維護管理的情形

註 b)：執行監控的期間

### 5.3 維護近地表處置設施的基本安全機能

近地表處置設施基本安全機能的維護主要是針對第1階段處置設備及覆土的放射性物質密閉機能，第2階段處置設備及覆土的抑制遷移機能，以及第3階段覆土抑制放射性物質遷移至生活環境的抑制遷移機能。

#### 5.3.1 維護近地表處置設施第1階段、第2階段的基本安全機能

為了維持密閉及抑制遷移基本安全機能，當廢棄物處置場覆土施工後，將設定巡視、檢查對象，包含施工後覆土的保護管理區域，同時巡視、檢查該營運保護區域及處置設備。另外也維持管理輻射影響監控設備、營運保護區域的標誌、圍籬及告示等。近地表處置設施於第1階段、第2階段的維護管理項目流程如圖5.4所示。

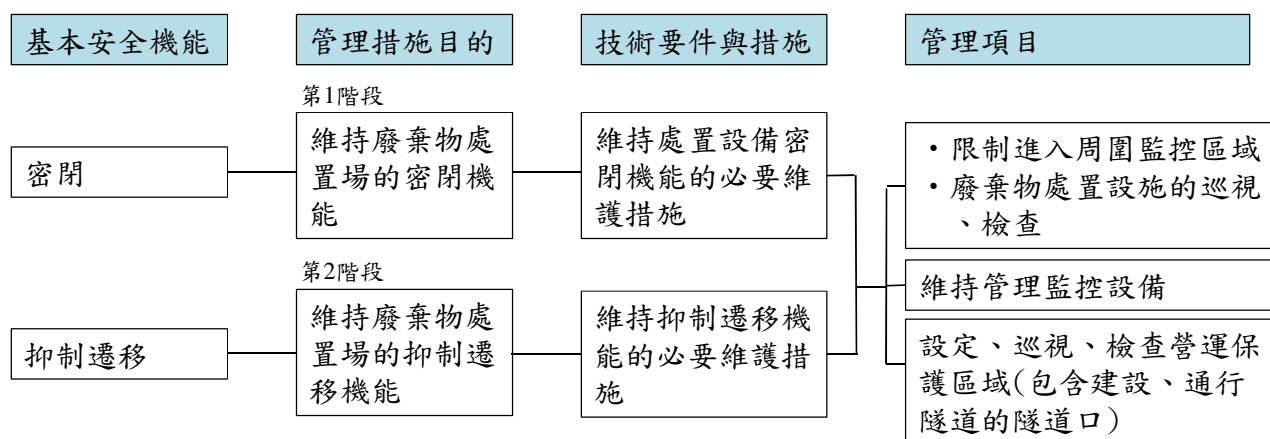


圖 5.4 近地表處置設施基本安全機能相關維護項目與流程(第1、2階段)

#### 5.3.2 維護近地表處置設施第3階段的基本安全機能

基於維持覆土抑制遷移的基本安全機能，以及防止障壁機能因偶然的人類活動而受到阻害，此階段將採取禁止或限制特定行為的維護措施。為此，將繼續巡視、檢查第2階段所設定的營運保護區域，並且避免覆土沉陷，以及農耕等特定行為影響覆土的抑制遷移機能，另外也將維持管理圍籬和告示標誌。近地表處置設施於第3階段的維護管理項目流程如圖5.5所示。

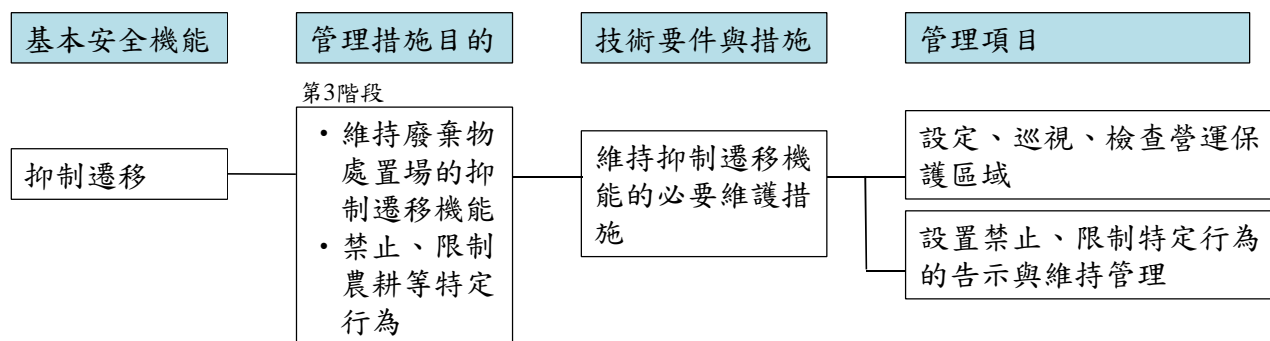


圖 5.5 近地表處置設施基本安全機能相關維護項目與流程(第3階段)

#### 5.3.3 近地表處置設施營運保護區域的設定

為了防止放射性廢棄物的放射性物質釋出至廢棄物處置場外，以及抑制放射性物質遷移至生活環境，必須維持管理處置設備和覆土機能。為此，當完成覆土施工時，必須於廢棄物



處置場內設定營運保護區域進行特別管理。

近地表處置設施營運保護區域的設定期間自第1階段廢棄物處置設施完成覆土施工後開始，至第3階段的管理結束為止。於第1階段及第2階段設定周圍監控區域時，即可進行維護管理。第3階段解除周圍監控區域設定後，將對廢棄物處置場覆土的施工設定營運保護區域，並採取維護措施。圖5.6為近地表處置設施保護管理區域設定案例。

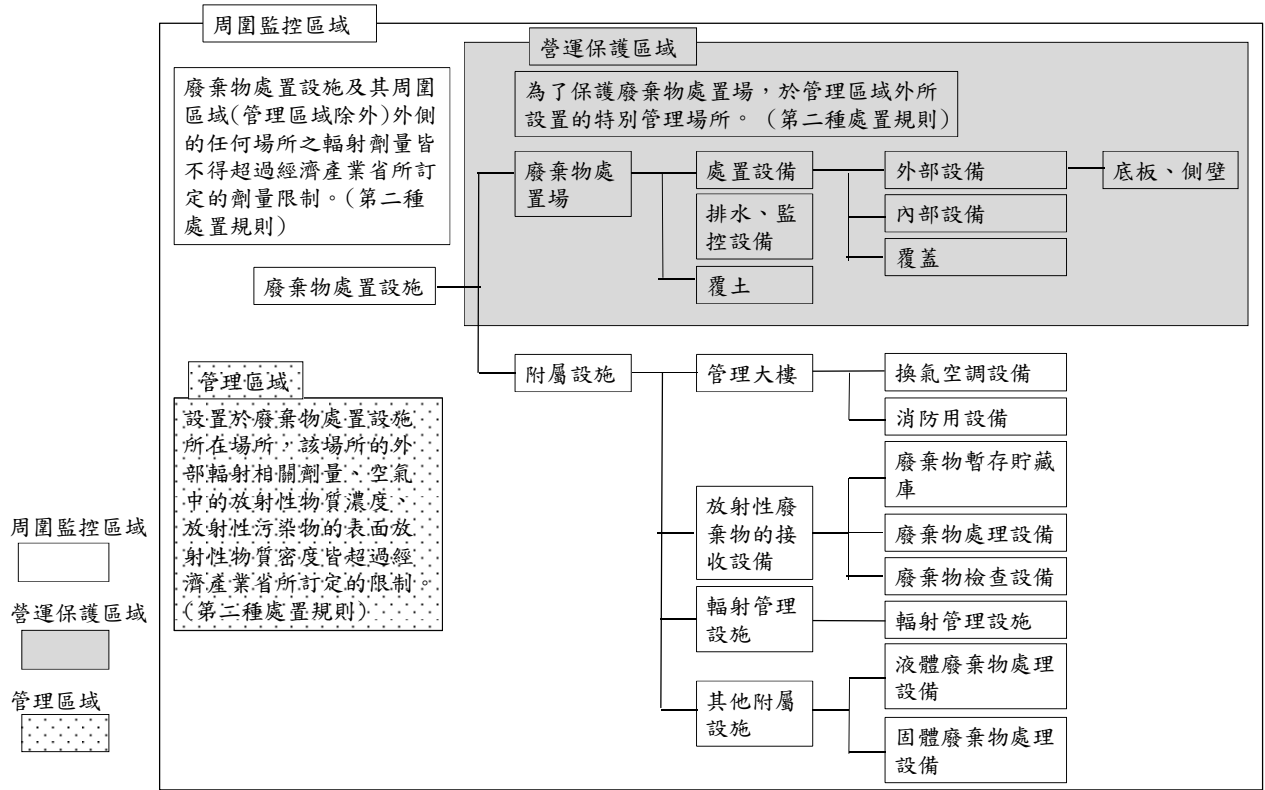


圖 5.6 近地表處置設施保護管理區域設定案例。

### 5.3.4 近地表處置設施相關維護措施

近地表處置設施相關的維護措施分為四點，針對近地表處置設施的維護措施，於各階段的巡視、檢查案例如表 5.2 所列。

- (1) 巡視、檢查營運保護區域。
- (2) 當廢棄物處置場的機能受損，或覆土發生異常狀況時，將進行修復措施。
- (3) 維持管理標誌、圍籬和告示牌等告示設備。
- (4) 維持管理監控設備(第1階段及第2階段)。

表 5.2 近地表處置設施的維護措施於各階段巡視、檢查案例

階段區分	巡視、檢查內容					
	巡視場所	檢查對象	檢查項目和方法	頻率	備註	
第 1 階段	廢棄物處置場	覆土施工完成後	<ul style="list-style-type: none"> <li>覆土</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>目視確認是否有發生會引起覆土沉陷的水窪</li> <li>目視確認覆土的表面排水設備有無損傷和異物堵塞</li> <li>目視確認植栽的生育狀況、外來植物的繁殖、動物的生活是否有對施工後的覆土造成損傷或異常</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>巡視、檢查定期 1 回/週</li> <li>發生震度 4 以上的地震等自然災害時，將盡可能盡速實施</li> <li>監控設備的檢查頻率依據機器的檢查規格訂定</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>覆土的維持管理 (詳見 5.5 節)</li> </ul>
	監控設備	<ul style="list-style-type: none"> <li>附近地下水監控設備</li> <li>周圍監控區域的輻射監控設備</li> <li>雨量計</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>目視確認集水管、取水裝置(泵浦等)、水位計有無異常</li> <li>輻射監控設備的外觀有無損傷，機器的校正</li> <li>雨量計的外觀有無損傷，機器的校正(確認量測機器的運作等)</li> </ul>		—	
	營運保護區域或周圍監控區域 <sup>a)</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>廢棄物營運保護區域所設立的標誌、圍籬與注意事項告示牌</li> <li>周圍監控區域的圍籬<sup>a)</sup></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>目視確認標誌的文字有無消失、損傷或傾倒等異常</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>營運保護區域的標誌所記載之維護注意事項內容，在階段改變時，應盡速修改為與階段所對應的內容</li> </ul>	
第 2 階段	廢棄物處置場	覆土	與第 1 階段相同	與第 1 階段相同	與第 1 階段相同	
	監控設備	<ul style="list-style-type: none"> <li>附近地下水監控設備</li> <li>周圍監控區域的輻射監控設備</li> <li>雨量計</li> </ul>	與第 1 階段相同	與第 1 階段相同	—	

	營運保護區域或周圍監控區域 <sup>a)</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>廢棄物營運保護區域所設立的標誌、圍籬與注意事項告示牌</li> <li>周圍監控區域的圍籬<sup>a)</sup></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>與第 1 階段相同</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>與第 1 階段相同</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>與第 1 階段相同</li> </ul>
第 3 階段	廢棄物處置場	<ul style="list-style-type: none"> <li>覆土</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>與第 1 階段相同</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>第 1 階段至第 2 階段的巡視、檢查頻率為 1 回/週，當確認廢棄物處置場的安定化狀況後，巡視、檢查的頻率可以逐漸減少(例如 1 回/月)</li> <li>發生震度 4 以上的地震等自然災害時，將盡可能盡速實施</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>與第 1 階段相同</li> </ul>
	營運保護區域	<ul style="list-style-type: none"> <li>廢棄物營運保護區域所設立的標誌、圍籬與注意事項告示牌</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>目視確認標誌的文字有無消失、損傷或傾倒等異常</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>第二種處置規則訂定處置場的巡視、檢查頻率為 1 回/週，此為正常狀態下，於第 1 階段及第 2 階段的頻率。當設施於第 3 階段持續管理 200 年至 300 年時，巡視、檢查頻率可考量依據檢查對象和廢棄物處置場的狀況進行合理設定</li> <li>營運保護區域的標誌所記載之維護注意事項內容，在階段改變時，應盡速修改為與階段所對應的內容</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>發生特定行為的前兆</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>禁止、限制農耕等行為，以及目視確認防止農耕的準備行為發生</li> </ul>		

註<sup>a)</sup>：設定周圍監控區域，並於該區域進行維護管理的情形

## 5.4 維護近地表壕溝式處置的基本安全機能

近地表壕溝式處置基本安全機能的保護主要是針對營運階段和保護階段廢棄物處置場覆土的抑制遷移機能。

### 5.4.1 維護近地表壕溝式處置營運階段的基本安全機能

當廢棄物處置場完成覆土施工時，將設定營運保護區域，並實施巡視、檢查，用以維持抑制遷移基本安全機能的運作。另外也維持管理有關監控周圍生活環境的設備、營運保護區域的標誌、圍籬及告示等。近地表壕溝式處置於營運階段的維護管理項目流程如圖 5.7 所示。

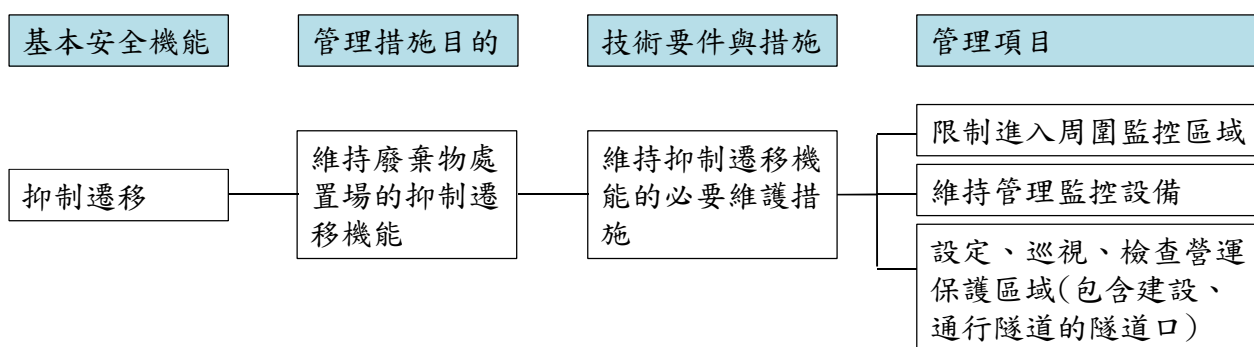


圖 5.7 近地表壕溝式處置基本安全機能相關維護項目與流程(營運階段)

## 5.4.2 維護近地表壕溝式處置保護階段的基本安全機能

於保全階段，廢棄物處置場將持續發揮抑制遷移的基本安全機能，另一方面將採取禁止或限制特定行為的維護措施，以防偶然的人類活動阻害障壁機能。為此，將繼續巡視、檢查營運階段所設定的營運保護區域，並且避免農耕等特定行為，以及影響障壁抑制遷移基本安全機能的情形發生，另外同時也維持管理營運保護區域的標誌、圍籬及告示牌等。近地表壕溝式處至於保護階段的維護管理項目流程如圖 5.8 所示。

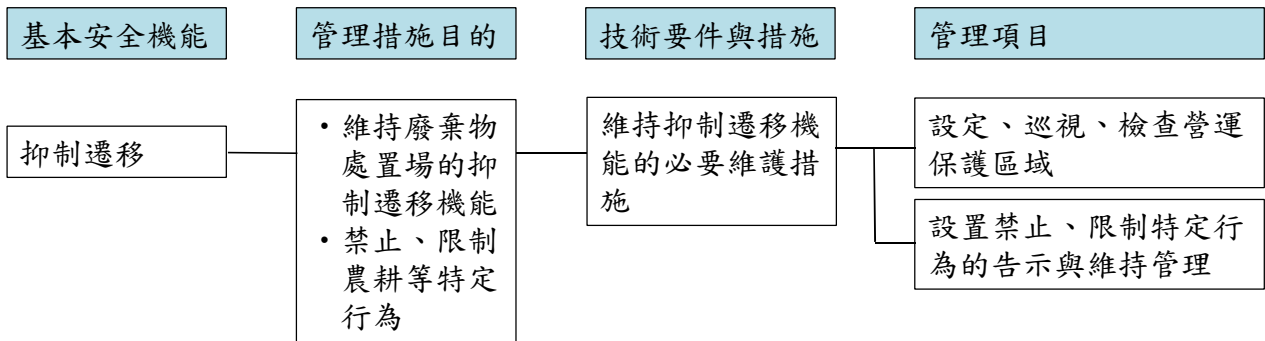


圖 5.8 近地表壕溝式處置基本安全機能相關維護項目與流程(保護階段)

## 5.4.3 近地表壕溝式處置營運保護區域的設定

為了抑制放射性物質遷移至生活環境，必須維持管理廢棄物處置場的障壁機能。為此，當完成覆土施工時，必須於廢棄物處置場內設定營運保護區域進行特別管理。

近地表壕溝式處置營運保護區域的設定期間自廢棄物處置場完成覆土施工後開始，至保護階段的管理結束為止。於設定營運階段周圍監控區域時，即可進行維護管理。保護階段解除周圍監控區域設定後，將對廢棄物處置場覆土的施工設定營運保護區域，並採取維護措施。圖 5.9 為近地表壕溝式處置保護管理區域設定案例。

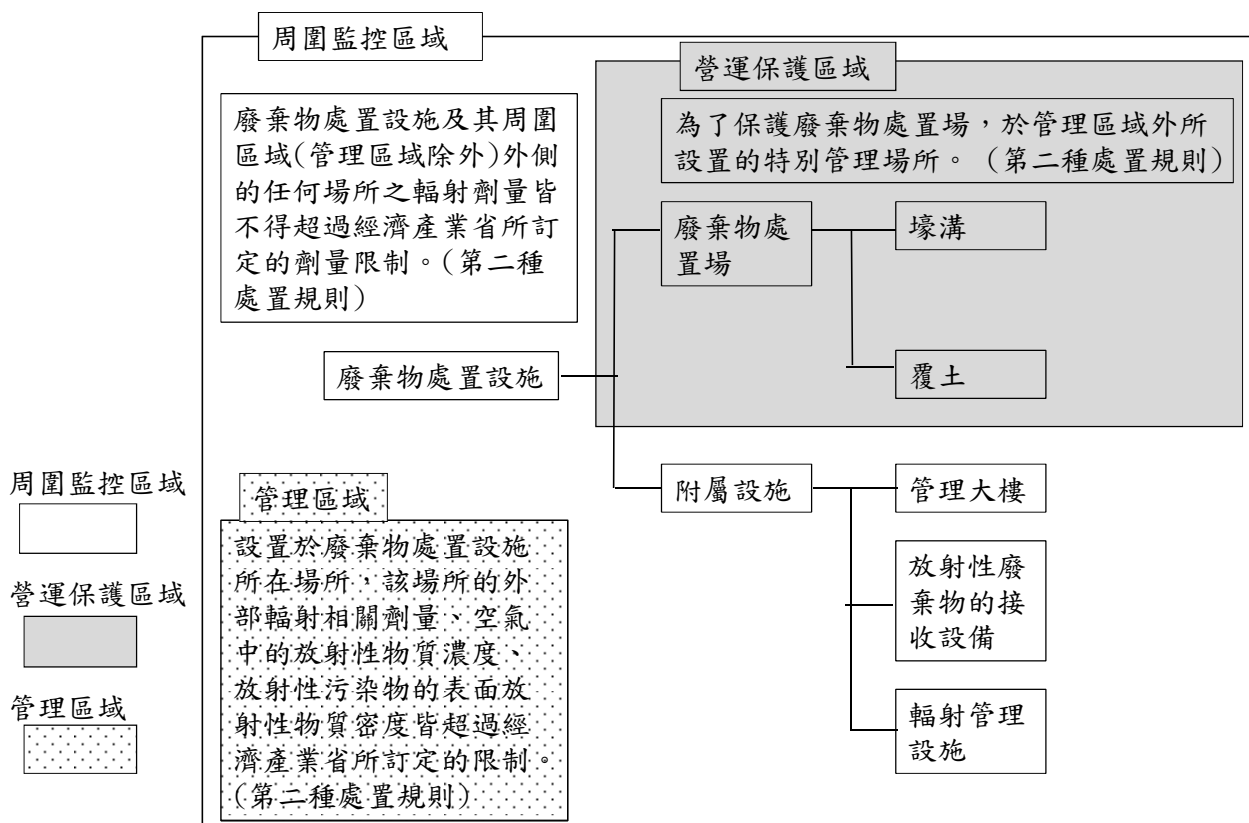


圖 5.9 近地表壕溝式處置保護管理區域設定案例。

#### 5.4.4 近地表壕溝式處置相關維護措施

近地表壕溝式處置相關的維護措施與近地表處置設施相同，共分為四點，而近地表壕溝式處置維護措施於各階段的巡視、檢查案例如表 5.3 所列。

- (1) 巡視、檢查營運保護區域。
- (2) 當廢棄物處置場的機能受損，或覆土發生異常狀況時，將進行修復措施。
- (3) 維持管理標誌、圍籬和告示牌等告示設備。
- (4) 維持管理監控設備(營運階段)。

表 5.3 近地表壕溝式處置的維護措施於各階段巡視、檢查案例

階段區分	巡視、檢查內容				
	巡視場所	檢查對象	檢查項目和方法	頻率	備註
營運階段	廢棄物處置場 覆土施工完成後	<ul style="list-style-type: none"> <li>覆土</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>目視確認是否有發生會引起覆土沉陷的水窪</li> <li>目視確認覆土的表面排水設備有無損傷和異物堵塞</li> <li>目視確認植栽的生育狀況、外來植物的繁殖、動物的生活是否有對施工後的覆土造成損傷或異常</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>巡視、檢查定期 1 回/週</li> <li>發生震度 4 以上的地震等自然災害時，將盡可能盡速實施</li> <li>監控設備的檢查頻率依據機器的檢查規格訂定</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>覆土的維持管理 (詳見 5.5 節)</li> </ul>
	監控設備	<ul style="list-style-type: none"> <li>周圍監控區域內地下水監控設備</li> <li>周圍監控區域的輻射監控設備</li> <li>雨量計</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>目視確認地下水觀測口、水位計有無異常</li> <li>輻射監控設備的外觀有無損傷，機器的校正</li> <li>雨量計的外觀有無損傷，機器的校正(確認量測機器的運作等)</li> </ul>		—
	營運保護區域或周圍監控區域 <sup>a)</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>廢棄物營運保護區域所設立的標誌、圍籬與注意事項告示牌</li> <li>周圍監控區域的圍籬<sup>a)</sup></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>目視確認標誌的文字有無消失、損傷或傾倒等異常</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>營運保護區域的標誌所記載之維護注意事項內容，在階段改變時，應盡速修改為與階段所對應的內容</li> </ul>
保護階段	廢棄物處置場	<ul style="list-style-type: none"> <li>覆土</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>與營運階段相同</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>營運階段的巡視、檢查頻率為 1 回/週，當確認廢棄物處置場的安定化狀況後，巡視、檢</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>與營運階段相同</li> </ul>
	營運保護區域	<ul style="list-style-type: none"> <li>廢棄物營運保護區域所設立的標誌、圍籬與注</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>目視確認標誌的文字有無消失、損傷或傾倒等異常</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>第二種處置規則訂定處置場的巡視、檢查頻率為 1 回/週，此為正常狀態下於營運階段的頻率。當設施於保</li> </ul>	

	意事項告示牌		查的頻率可以逐漸減少(例如 1 回/月)	護階段持續管理 50 年時，巡視、檢查頻率可考量依據檢查對象和廢棄物處置場的狀況進行合理設定
	• 發生特定行為的前兆	• 禁止、限制農耕等行為，以及目視確認防止農耕的準備行為發生	• 發生震度 4 以上的地震等自然災害時，將盡可能盡速實施	• 營運保護區域的標誌所記載之維護注意事項內容，在階段改變時，應盡速修改為與階段所對應的內容

註<sup>a)</sup>：設定周圍監控區域，並於該區域進行維護管理的情形

## 5.5 覆土的維持管理

在近地表處置設施與近地表壕溝式處置中，必須維持管理覆土等相關處置設備，使覆土在管理期間結束前，能持續抑制放射性物質遷移至生活環境。表 5.4 為覆土的維持管理案例。

表 5.4 覆土的維持管理案例

維持管理項目	維持管理內容的案例
覆土異常時的措施	檢查覆土表面時，若確認有沉陷、沉降等具損害廢棄物處置場機能的異常前兆，則必須調查原因，並採取對應的修復措施。
覆土表面排水設備	檢查覆土表面排水設備時，若確認排水溝有損傷，或因異物而堵塞的情形時，應採取清掃、去除異物、修復等措施。
植栽	管理植栽時，若確認有樹木生長不良時，應該取灑水、施肥、去除蟲害等措施。
發生地震、自然災害時的應對	發生震度 4 以上的地震等自然災害，導致覆土的厚度減少時，若確認有抑制遷移機能受損、廢棄物處置場表面排水溝堵塞等異常情形時，將採取修復措施。

## 第六章 日本低放處置場安全審查方法

低放射性廢棄物處置場中，將針對餘裕深度處置場於適當的期間實施安全審查，用以確保處置場的長期安全，並且對照、持續確認有關廢棄物處置設施長期安全性的相關適用技術最新資訊，以確保餘裕深度處置場能長期發揮基本安全機能。

### 6.1 安全審查流程

事業者必須收集最新資訊並取得相關數據，以建立事前的安全審查計畫。而當實施安全審查後，必須以安全審查結果為基礎提出對應措施。餘裕深度處置場於建設、營運階段和封閉後階段的安全審查管理項目流程如圖 6.1、6.2 所示。

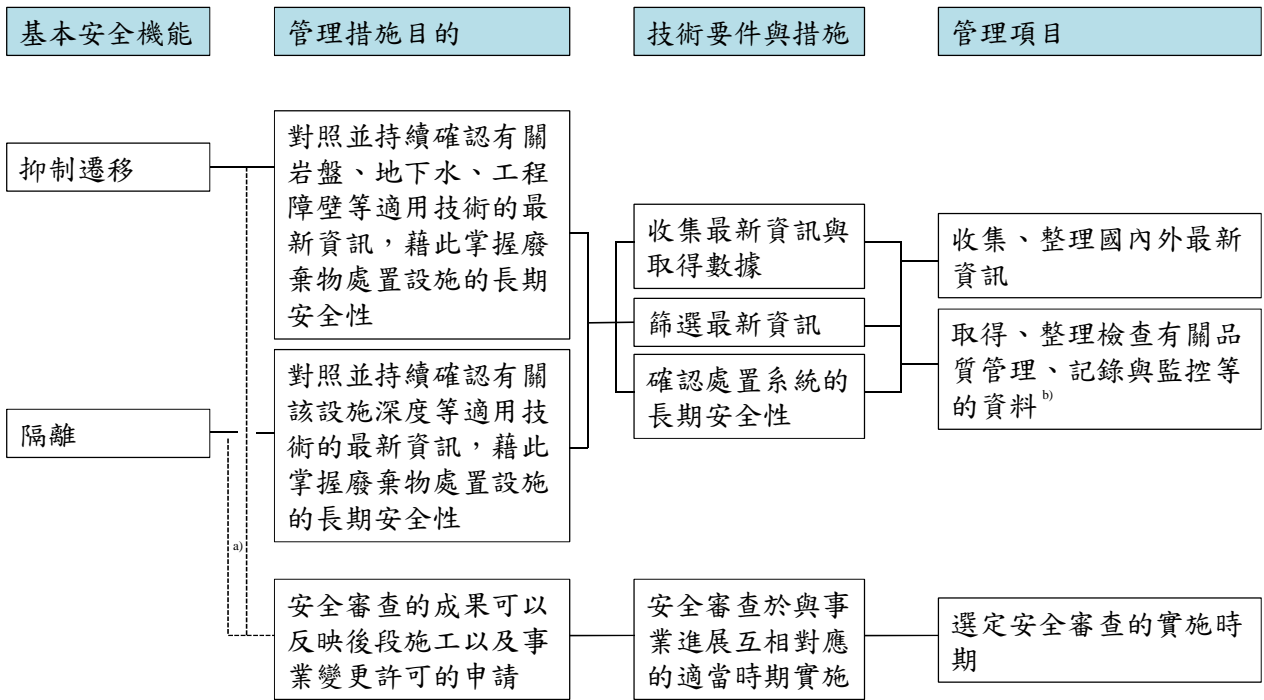
安全審查的對象為餘裕深度處置場抑制遷移和隔離基本安全機能，基於確保處置場能長期發揮抑制遷移和隔離基本安全機能，以達成管理措施的目的，將對照並持續確認有關岩盤、地下水、工程障壁等適用技術的最新資訊，藉此掌握抑制遷移機能，同時也將對照並持續確認有關廢棄物處置設施深度等適用技術的最新資訊，藉此掌握隔離機能。

接著將著重於取得最新資訊的相關數據，並篩選最新資訊，以及確認處置系統的長期安全性，處置系統長期安全性的確認係以最新資訊整體的綜合判斷為基礎，進行檢查項目的再評估結果與劑量評估結果的篩選。此措施與第二種處置規則第十九條之二「藉由最新技術資訊，進行核燃料物質等輻射劑量的相關評估」相互對應。

處置場建設、營運階段在事業進展時，將實施對應的檢查、品質管理、紀錄和監控，並依各自目的進行管理。於此階段的安全審查管理項目為收集、整理國內外最新資訊，以及取得、整理檢查有關品質管理、紀錄、監控的數據。而所取得的監控相關數據只能用於抑制遷移，並不能用於隔離。另外考量安全審查的成果可以反映後段施工以及事業變更許可的申請，將選定適當的實施時期，並註記管理項目。

於封閉後階段，幾乎已無機會在既定的業務中取得數據。此階段的安全審查相關管理項目為收集、整理國內外最新資訊，以及取得、整理防止處置系統長期性能損壞的數據。另外基於繼承事業技術，將考量定期實施安全審查，並注記管理項目。然而於封閉後階段有關隔離的數據相較於建設、營運階段較難取得，因此與基本安全機能相關的管理項目唯有抑制遷移。

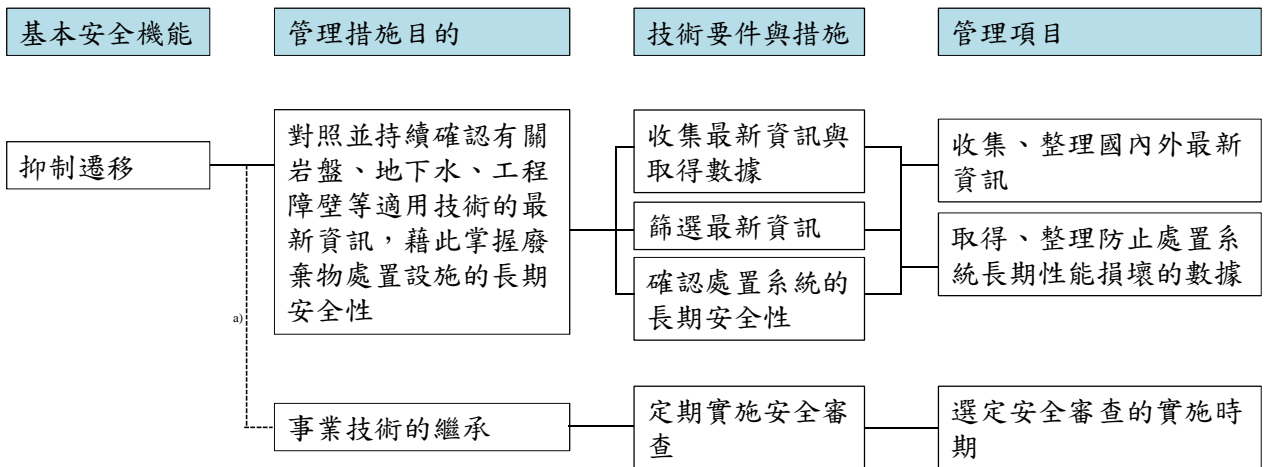
安全審查自接受許可開始至管理期間結束的時期，可參考圖 6.3 之 PDCA 循環流程反覆實施相同步驟，並藉此重覆評估計畫的適宜，同時也能以「實施安全審查(Do, Check)」的預定實施時期，計畫安全審查的實施時期。



註<sup>a)</sup>：虛線表示與基本安全機能的確保具間接關係

註<sup>b)</sup>：監控的相關數據只對應抑制遷移

圖 6.1 餘裕深度處置基本安全機能相關管理項目流程  
(安全審查：建設、營運階段)



註<sup>a)</sup>：虛線表示與基本安全機能的確保具間接關係

圖 6.2 餘裕深度處置基本安全機能相關管理項目流程  
(安全審查：封閉後階段)



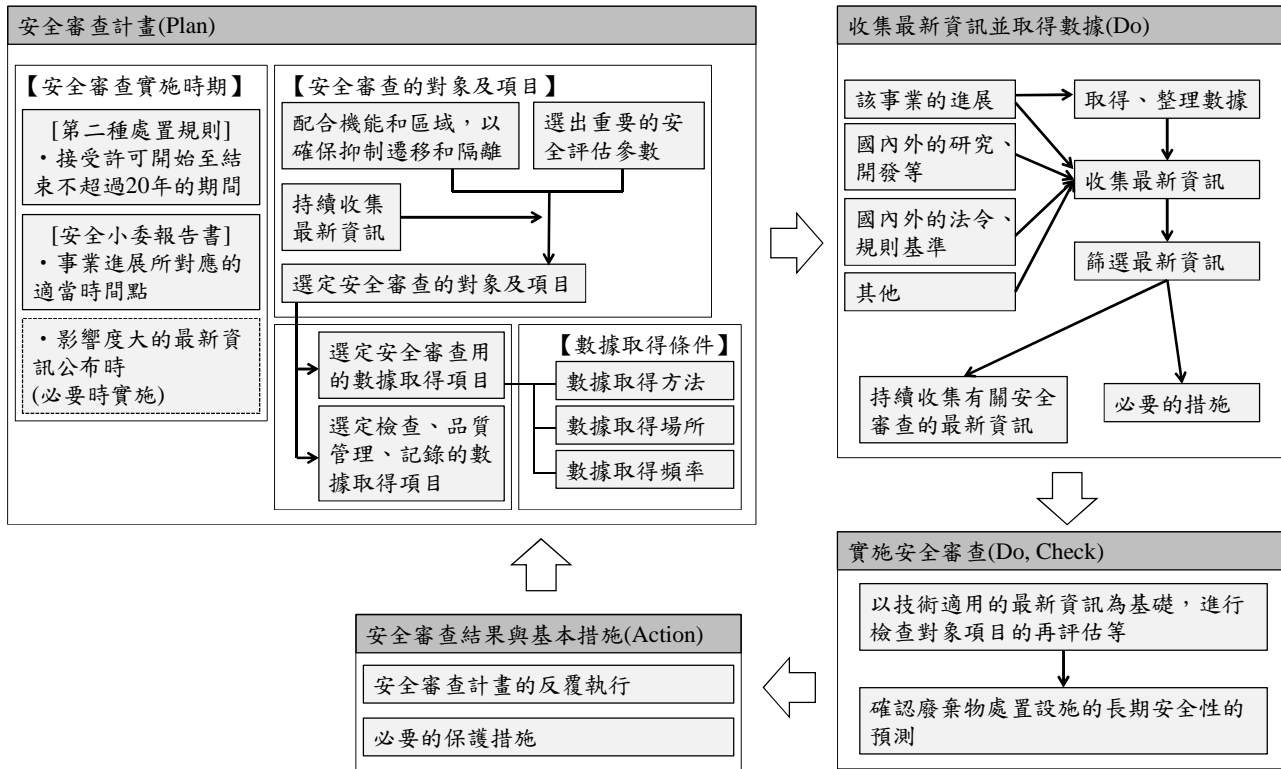


圖 6.3 安全審查的 PDCA 循環流程

## 6.2 安全審查的計畫

安全審查是於適當時期中確認處置系統的長期安全性，為此，必須進行安全審查的計畫，並於計畫中訂定安全審查的實施時期、檢查的對象及項目，以及數據的取得項目。

### 6.2.1 實施時期的計畫

第二種處置規則第十九條之二規定，安全審查自接受許可開始至管理期間結束為止的實施期間不得超過 20 年。因此安全審查的實施時期將計畫不超過 20 年。另外當第二種廢棄物處置的相關維護措施因核種衰減而變更時，將計畫實施安全審查。

在建設、營運階段，考量安全評估的成果可以反映後段施工以及事業變更許可的申請，應計畫將實施的時期與事業的進展互相對應。而在封閉後階段，基於繼承事業技術，將計畫定期實施安全審查。

具體的實施時期則是依據建設、營運階段和封閉後階段各自不同的考量進行選定，例如可考慮於下列時期實施安全審查：

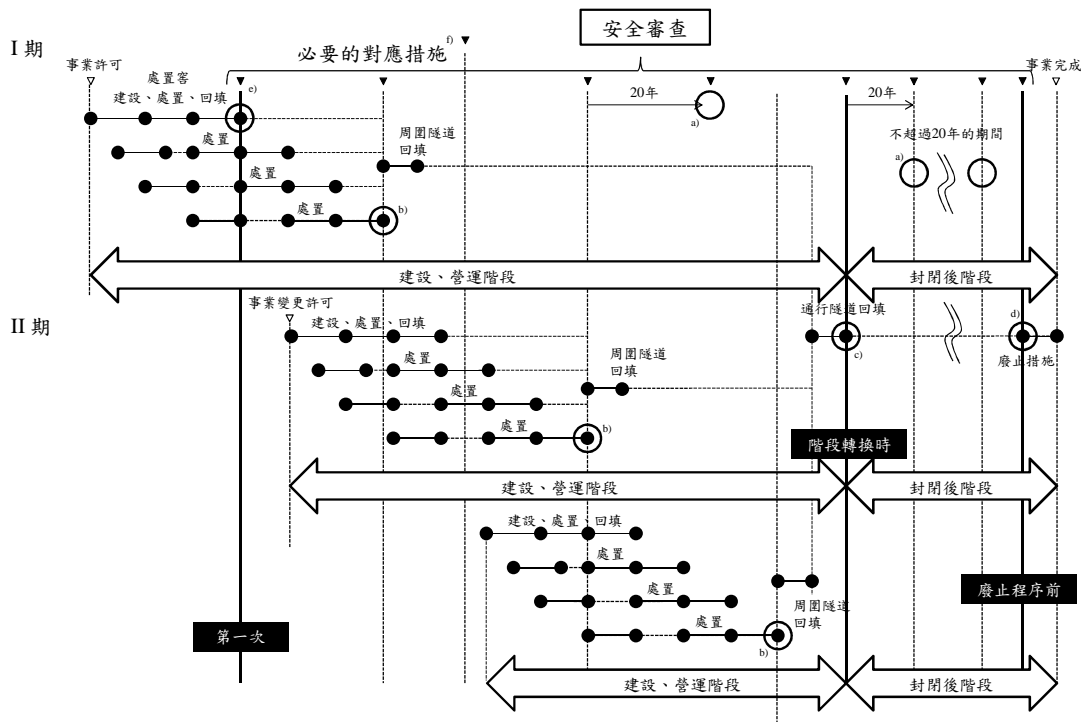
#### (1) 建設、營運階段

- 部分區域的廢棄物已處置或單位區域回填時
- 階段轉換時
- 安全審查的成果可反映出後段施工以及申請事業變更許可的有效時期
- 取得許可或安全審查實施後經過 20 年時
- 影響度大的最新資訊公布時等必須進行安全審查的情形

#### (2) 封閉後階段

- 除役措施前
- 以不超過 20 年的期間為基準，定期實施
- 影響度大的最新資訊公布時等必須進行安全審查的情形

圖 6.4 為事業申請許可分為 I 期和 II 期時，安全審查的實施時期選定案例，表 6.1 為安全審查實施時期的主要目的。由圖 6.4 與表 6.1 可得知，安全審查的實施時期和目的皆會因事業的進展以及廢棄物處置設施的狀況而有所差異。另外圖 6.4 中所標示的「第一次」和「階段轉換」為除役措施前，實施安全審查較重要的時期。



註：第一次的安全審查預定於一個處置窖回填後實施

註 a)：自接受許可開始不超過 20 年的實施期間

註 b)：部分區域廢棄物已處置或單位區域回填時

註 c)：階段轉換時

註 d)：管理期間結束前

註 e)：安全審查的成果可反映出後段施工以及申請事業變更許可的有效時期

註 f)：影響度大的最新資訊公布時等必須進行安全審查的情形

圖 6.4 安全審查的實施時期選定案例

表 6.1 安全審查的實施時期主要目的

實施時期	主要目的	
建設、營運階段	第一次	<ul style="list-style-type: none"> <li>取得第一筆有關天然障壁、工程障壁的數據時，進行安全性的確認</li> <li>掌握基於安全審查目的所取得的數據基線情報</li> <li>預定申請事業變更許可時所對應的安全審查結果</li> </ul>
	單位區域回填時	<ul style="list-style-type: none"> <li>整理建設、營運階段所取得的數據(檢查、品質管理、紀錄、監控等)</li> <li>相互對照國內外有關研究、開發、法令、規則基準的最新資訊，用以確認安全性</li> </ul>
	階段轉換時	<ul style="list-style-type: none"> <li>相互對照建設、營運階段所獲得之最新資訊，用以確認安全性(實施劑量評估)</li> </ul>

		<ul style="list-style-type: none"> <li>由建設、營運階段所獲得之數據來確認階段轉換條件</li> </ul>
封閉後階段	不超過20年的期間	<ul style="list-style-type: none"> <li>運用地下水數據驗證封閉後非定常地下水流動的解析，以及定常狀態的確認</li> <li>反覆確認監控抑制遷移的相關措施</li> <li>相互對照國內外有關研究、開發、法令、規則基準的最新資訊，用以確認安全性</li> <li>繼承具有定期實施安全審查的相關事業技術</li> </ul>
	除役措施前(最終)	<ul style="list-style-type: none"> <li>除役措施計畫的認可及安全性的最終確認(實施劑量評估)</li> </ul>

## 6.2.2 檢查對象項目的選擇

安全審查的檢查對象項目於計畫安全審查時選定。其項目來自於安全評估中所考量的重要事項，以及提供設施基本安全機能的區域與其機能，換句話說，選出再評估對象的安全評估參數，並作為判斷長期安全性的合理依據。

在選擇檢查對象項目時必須注意當廢棄物處置設施的機能和安​​全評估參數關連性較多時，必須綜合對照判斷兩者的關連性。另外在選定檢查對象項目的同時，必須考量具有判斷長期安全性的相關重要事項，對此設想最新資訊的收集項目，並反覆評估安全審查計畫，以及再評估檢查對象項目。

安全審查的檢查對象項目選擇流程如圖 6.5 所示。廢棄物處置設施所要求的機能和區域的配合，與以抑制遷移、隔離當作安全審查對象的對照表如表 6.2 所示。

檢查對象項目的參數將遵照日本原子力學會標準 AESJ-SC-F012：2008「餘裕深度處置的安全評估方法」辦理，由安全評估參數中選出，並將各個適用於安全審查再評估的判斷因素進行分類與選擇。圖 6.5 所示之社會環境參數為安全評估中所考量的社會、環境狀態參數，其中與生物圈狀態相關的參數為環境參數，與人類行動模式統計數據相關的參數為社會參數。社會環境參數多使用於劑量評估計算，特別是生物圈的評估計算。社會環境參數為了在安全審查時能與最初的設定值進行比較，必須於安全審查時收集足夠的參數，而環境參數(生物圈數據)為檢查對象項目，但社會參數(人類的行動模式)的相關數據必須對社會的長期變化作判斷，因此實質上不為檢查對象項目。

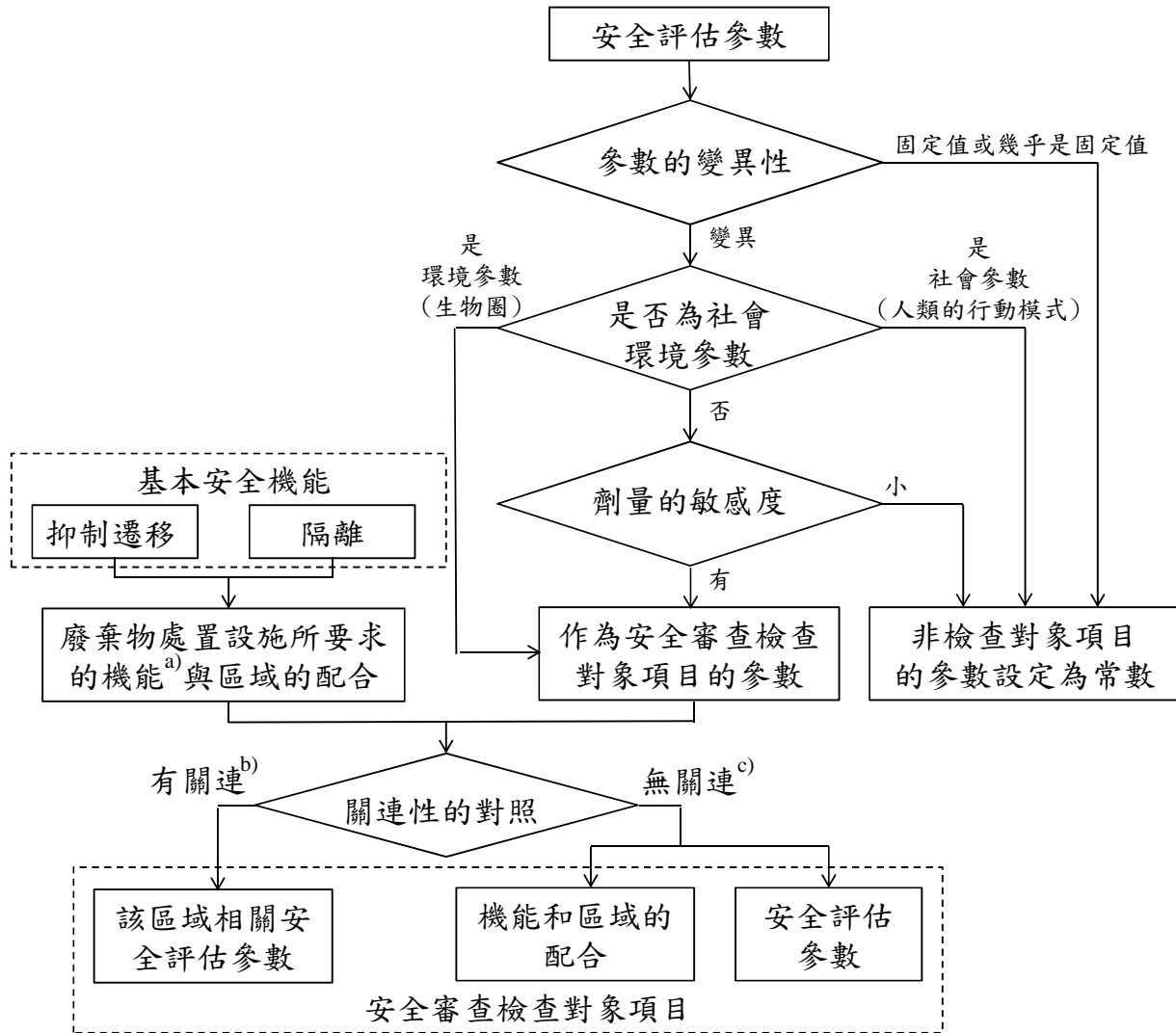
劑量的敏感度為參考學會標準「餘裕深度處置的安全評估方法」之敏感度分析結果進行判斷：

- (1) 工程障壁中砂漿的擴散係數或水泥材料的 Kd 對各類核種的抑制釋出效果敏感度較大。
- (2) 數千年至數萬年半衰期的  $^{14}\text{C}$  和  $^{59}\text{Ni}$  對工程障壁的抑制釋出，以及天然障壁的遲滯遷移敏感度較大。
- (3) 半衰期長且缺乏吸附性的  $^{36}\text{Cl}$ 、 $^{129}\text{I}$  等溶出率，對工程障壁中砂漿的擴散係數等抑制釋出效果的敏感度較大，但對天然障的壁遲滯遷移敏感度較小。
- (4) 膨潤土材料的滲透係數對半衰期長且缺乏吸附性核種敏感度較大。
- (5) 地表面稀釋水量對各種核種的敏感度較大。
- (6) 膨潤土 Kd 對全部核種的敏感度較小。

這些作為檢查對象的項目是選自於安全評估參數，並將參數分為以下二類：

- (1) 作為安全審查檢查對象項目的參數  
透過各種方法所取得的數據，以及最新資訊的收集。
- (2) 非檢查對象項目的參數設定為常數  
反映出現設想外的最新資訊。

安全審查檢查對象的項目與數據的取得及最新資訊的收集考量案例呈現於表 6.3。



註<sup>a)</sup>：滿足基本安全機能的相關機能，例如滿足抑制遷移的其中一個機能為核種吸附性

註<sup>b)</sup>：當該機能的指標可轉變為安全評估參數時的情形，例如核種吸附性(機能)的指標=吸附分配係數(安全評估參數)

註<sup>c)</sup>：機能無法轉變為參數或參數無法轉變為機能時的情形，例如處置窖內回填材料低滲透層的遲滯(機能)與解析地下水流動所設定的相關參數(安全評估參數)

圖 6.5 安全審查檢查對象項目的選擇流程

表 6.2 廢棄物處置設施所要求的機能與區域案例

基本安全機能	機能	區域						
		附屬設施	廢棄物處置場					
		通行隧道 周圍隧道	區域內 回填材	混凝土窖	低擴散層	低滲透層	處置窖	
		坑道回填部分					窖體	窖體內回填材
抑制遷移	核種 吸附性	-	● (吸附)	● (吸附)	● (吸附)	● (吸附)	-	-
	低擴散性	-	-	-	● (低擴散)	● (低擴散)	-	-
	低滲透性	-	-	-	-	● (低滲透)	-	● (低滲透層的 遲滯)
	防止形成 易遷移的 路徑	● (防止形成易 遷移的路徑)	-	-	-	-	-	-
隔離	確保隔離 距離	-	-	-	-	-	● (窖體 深度)	-
	抑止民眾 輕易入侵	● (坑道的封閉)	-	-	-	-	-	-

表 6.3 安全審查的檢查對象項目選擇案例

區分	基本安全機能	安全審查的檢查對象項目	檢查對象項目相關的最新資訊案例		
			隨著該事業的進展所獲得的最新資訊	國內外的研究、開發等所獲得的最新資訊	
			檢查、品質管理、紀錄數據	取得安全審查目的的數據	收集最新資訊
工程障壁相關	抑制遷移	窖體內填充材料的尺寸	○	—	—
		混凝土窖的尺寸	○	—	—
		低擴散層的尺寸	○	—	—
		低滲透層的尺寸	○	—	—
		水泥材料的吸附分配係數	○	○ 地下水(化學) 吸附分配係數	○ 研究、開發等
		低滲透層的吸附分配係數	○	○ 地下水(化學) 吸附分配係數	○ 研究、開發等

		低擴散層的實質擴散係數	○	○ 地下水(化學) 裂隙實質擴散係數	○ 研究、開發等
		低滲透層的實質擴散係數	○	○ 地下水(化學) 實質擴散係數	○ 研究、開發等
		低滲透層的滲透係數	○	○ 地下水(化學) 滲透係數	○ 研究、開發等
處置坑相關	抑制遷移	處置坑的坑道內填充材料等低滲透層的拘束	○	—	—
	隔離	處置坑的隔離距離	○	—	—
附屬設施相關	抑制遷移	防止於通行隧道及周圍隧道形成易遷移的路徑	○	—	—
	隔離	通行隧道及周圍隧道的密閉性	○	—	—
天然障壁相關	抑制遷移	農耕土壤的吸附分配係數	—	—	○ 研究、開發等
		岩石的吸收分配係數	—	—	○ 研究、開發等
		地下水流動解析所設定的參數	○	○ 地下水 (物理、化學)	○ 研究、開發等
廢棄物相關	抑制遷移	廢棄物的輻射總量	○	—	—
		廢棄物的溶出率	○	○ 地下水(化學)	○ 研究、開發等
		廢棄物領域的體積	○	—	—
社會環境參數相關	抑制遷移	環境參數(生物圈)	—	—	○ 調查、統計資料

### 6.2.3 數據取得的計畫

當選定檢查對象項目時，同時也選定數據的取得項目。計畫於建設、營運階段將取得有關檢查、品質管理、紀錄、監控等數據；而於回填後階段則是取得有關防止處置系統長期性能損壞的數據。

安全審查所用的最新資訊項目將因不同場合而使用，例如按照資訊形成的目的做區分，或以檢查對象項目的關連性做區分。

在計畫安全審查時，收集的觀點從「資訊的研究目的作區分」進行。

為了有利於檢查對象項目再評估的進行，將先預想可能的收集範圍，並籌備與檢查對象項目有關連性的資訊，之後從中選出欲收集的資訊項目，在計畫安全審查時，將從設想中選出資訊項目，並以該資訊的形成目的為基準進行收集。最新資訊篩選時，將從「檢查對象項目的關連性」中選出具有顯著技術且可以適用的最新資訊，並持續、累積檢查對象項目。安全審查實施時，將以「檢查對象項目的關連性」所整理、累積的最新資訊為基礎，進行檢查對象項目的再評估。最新資訊的項目區分考量方法如圖 6.6 所示。

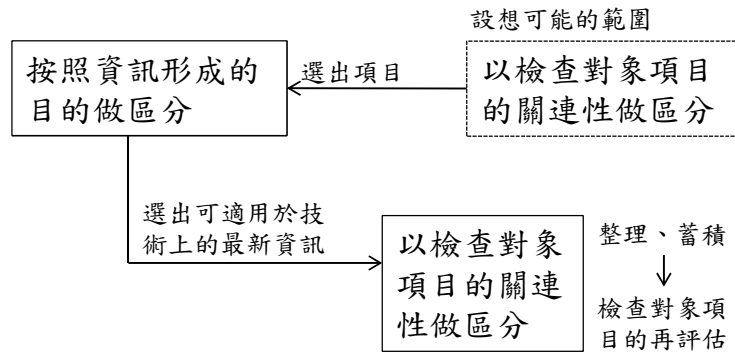


圖 6.6 最新資訊的項目區分考量方法

### 6.2.3.1 按照資訊形成的目的做區分

若按照資訊形成的目的做區分，則可將收集的資訊依下列觀點區分為三項：

(1) 隨著事業進展所獲得的最新相關資訊

此部分包含藉由安全審查所取得的數據，或將檢查、品質管理、紀錄數據整理後所獲得的資訊，另外也包含於建設、營運過程中發現預想以外的新資訊，或透過監控所獲得的資訊等。

(2) 隨著國內外研究、開發所獲得的最新資訊

隨著國內外研究、開發所獲得的最新資訊為有關處置系統長期安全性的資訊，包含調查、統計資料等相關資訊，以及原子力設施以外有關隧道或地下構造物等類似事例的資訊。

(3) 國內外有關法令、規則基準制定、改訂的最新資訊

此部分包括國際間的規則基準、建議，以及國內外的法令、準則、日本原子力學會等有關標準的事項，另外也包含具影響處置系統長期安全性研究的相關規則基準。

最新資訊的區分案例如表 6.4 所示，其中數據的取得項目與取得條件案例如表 6.5~6.7 所示。

表 6.4 最新資訊的區分和案例

最新資訊的區分		最新資訊的案例	
該事業進展的最新相關資訊	<ul style="list-style-type: none"> <li>基於安全審查目的所取得的數據，經整理後獲得的資訊</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>地下水數據(物理：地下水位、孔隙水壓；化學：地下水水質)</li> <li>檢查項目和替代指標的相關性</li> </ul>	詳細項目列於表 6.5
	<ul style="list-style-type: none"> <li>整理安全審查的檢查、品質管理、紀錄數據時所獲得的資訊</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>工程障壁的材料尺寸</li> <li>廢棄物的輻射總量</li> </ul>	詳細項目列於表 6.6
	<ul style="list-style-type: none"> <li>建設、營運過程中取得設想外的資訊</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>建設中發現設想外的地質環境(例如新的裂隙或高滲透區域)</li> </ul>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>透過監控所取得的資訊</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>由監控密閉、監控抑制遷移推測工程障壁的狀況</li> </ul>	
隨著國內外的研究、開發等所獲得的最新資訊	<ul style="list-style-type: none"> <li>由處置系統長期安全性的相關研究、開發所獲得的國內外資訊</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>類似處置場環境的相關試驗</li> <li>工程障壁的性能評估(模型、解析結果等)</li> <li>天然障壁的長期變動事項</li> </ul>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>由調查、統計資料所獲得的國內外資訊</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>環境參數(生物圈)</li> </ul>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>由原子力設施以外的隧道或地下構造物等類似事例所獲得的國內外資訊</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>灌漿材料對近場環境岩盤的影響</li> </ul>	
國內外有關法令、規則基準制定、改訂的最新資訊	<ul style="list-style-type: none"> <li>國際的規則基準、建議</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>IAEA 的安全原則、安全條件、安全準則</li> <li>IAEA 安全報告系列“Surveillance and Monitoring of Near Surface Disposal Facilities for Radioactive Waste (放射性廢棄物淺地層處置設施的監控和監視)”, No.35(2004)</li> <li>ICRP 的建議</li> </ul>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>國內外的法令、準則類</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>爐規法、第二種處置規則的相關法令</li> <li>原子力安全委員會的安全審查準則</li> <li>各國放射性廢棄物處置的相關法令、準則</li> </ul>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>學會的標準、規則基準</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>學會標準“餘裕深度處置的安全評估方法”</li> <li>日本原子力學會標準委員會第 41 回原子燃料再利用專門部會“FTC41-6-2 餘裕深度處置設施的設施檢查方法”, 2009.12.2</li> <li>土木學會的施工標準書、委員會報告書</li> <li>日本建築學會的 JASS5N</li> </ul>	
其他最新資訊		<ul style="list-style-type: none"> <li>處置系統長期安全性的其他相關資訊</li> </ul>	



表 6.5 數據取得項目的案例(安全審查目的中所取得的數據)

區分 (參照表 6.3)	檢查項目對象 (參照表 6.3)	數據取得項目	
		實際設施或設施施工時，由製作的試體中所取得的數據	地下水數據
工程障壁相關	水泥材料的吸附分配係數	• 水泥材料的吸附分配係數	地下水組成(離子濃度)、pH、氧化還原電位、電導率、陽離子交換容量
	低滲透層的吸收分配係數	• 低滲透層的吸收分配係數	
	低擴散層的實質擴散係數	• 低擴散層的實質擴散係數 • 低擴散層的裂隙狀態(側面)	
	低滲透層的實質擴散係數	• 低滲透層的實質擴散係數	
	低滲透層的滲透係數	• 低滲透層的滲透係數	
廢棄物相關	廢棄物的溶出率	—	
天然障壁相關	解析地下水流動所設定的參數	—	• 地下水組成(離子濃度)、pH、氧化還原電位、電導率 • 地下水位、孔隙水壓 • 地下水水質、地下水年代

表 6.6 數據取得項目的案例(檢查、品質管理、紀錄數據)

區分 (參照表 6.3)	檢查對象項目 (參照表 6.3)	數據取得項目
工程障壁相關	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 窖體內填充材料的尺寸</li> <li>• 混凝土窖的尺寸</li> <li>• 低擴散層的尺寸</li> <li>• 低滲透層的尺寸</li> <li>• 水泥材料的吸收分配係數</li> <li>• 低滲透層的吸收分配係數</li> <li>• 低擴散層的實質擴散係數</li> <li>• 低滲透層的實質擴散係數</li> <li>• 低滲透層的滲透係數</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 工程障壁材料的構件尺寸</li> <li>• 工程障壁所使用的材料種類、品質</li> <li>• 水泥材料的級配</li> <li>• 窖體內填充材料的填充量</li> <li>• 低擴散層的孔隙率、裂隙狀態、壓縮強度</li> <li>• 低滲透層的有效蒙脫石密度、乾密度、含水比</li> <li>• 坑內溫度、坑內濕度</li> </ul>
處置坑相關	處置坑內填充材料等低滲透層的拘束	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 坑道內填充材料的乾密度</li> <li>• 坑道內所使用的填充材料種類、品質</li> <li>• 坑道內填充材料的級配</li> <li>• 坑道內填充材料的填充狀態</li> </ul>
	處置坑的相隔距離	• 處置坑的位置
附屬設施相關	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 防止於通行隧道及周圍隧道形成易遷移的路徑</li> <li>• 通行隧道及周圍隧道的密</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 回填材料的有效蒙脫石密度</li> <li>• 回填所使用的材料種類、品質</li> <li>• 回填材料的級配</li> </ul>

	閉性	• 坑道的密閉狀態
天然障壁相關	解析地下水流動所設定的參數	• 內空變位
		• 堤頂沉陷、支保應力
廢棄物相關	廢棄物的輻射能總量	• 安全評估中每單位所設定的放射性廢棄物處置量，包含的放射性物質種類及輻射能總量
	廢棄物的溶出率	• 廢棄物組成(炭素鋼、不鏽鋼、鋁合金比率)
	廢棄物領域的體積	• 廢棄物領域的體積

表 6.7 數據取得條件的設定案例(於安全審查目的中取得數據)

取得項目	取得方法	取得場所	取得頻率
• 低擴散層的裂隙幅度、個數(側面)	使用目視及比例測定	低擴散層(側面)	低滲透層(側面)施工時
• 地下水組成(離子濃度)、pH、氧化還原電位、電導率、陽離子交換容量	分析採取的地下水或於測定豎井孔內測定	處置坑、隧道及既有豎井孔	安全審查時
• 水泥材料的吸收分配係數	AESJ-SC-F003:2002	實施設施施工時，於室內試驗所製作的試體	能確認代替指標和其相關性的頻率
• 低滲透層的吸收分配係數	或 AESJ-SC-F008:2006		
• 低擴散層的實質擴散係數	滲透型擴散試驗法		
• 低滲透層的實質擴散係數			
• 低滲透層的滲透係數	室內滲透試驗		
• 回填材料的滲透係數			
• 低滲透層的膨潤壓	膨潤壓試驗		
• 低滲透層的強度、變形係數	標準試驗	既有豎井孔(地下水流的上游、下游等)	於建設、營運等施工的影響、季節變動的確認、穩定狀態的確認中設定必要的頻率
• 坑道內填充材料的強度、變形係數	原位置試驗(變形係數)		
• 地下水位、孔隙水壓	豎井孔內測定		
• 地下水水質、地下水年代	追索方法(運用地下水中所含的溶質成份方法)	解析地下水流動的廣域模型中的測定點	安全審查時
	追索方法(放入人工追索物質的追跡方法)	地下水流較快的場所、限定的場所	安全審查時

### 6.2.3.2 以檢查對象項目的關連性做區分

若以檢查對象項目的關連性作區分，則可將資訊區分為二項：

- (1) 直接表現項目：含有數據，且能代表檢查對象項目的最新資訊。

直接表現項目又分為直接指標、代替指標，以及解析。其中代替指標與檢查對象項目有相關關係，因此收集有相關性的資訊時應以最新資訊為主。而解析則是表示檢查對象項目的解析結果。

- (2) 影響因素項目：主要為影響檢查對象項目長期變化的因素項目。

影響因子項目依據對檢查對象項目的影響分為環境條件和事件兩類，其中對象再區分為環境條件、直接指標、代替指標、解析。

直接表現項目和影響因子項目的考量及注意事項如表 6.8 所示，而圖 6.7(天然障壁相關)、圖 6.8(工程障壁相關)則是選出對檢查對象項目影響度較大的影響因子流程。

表 6.8 直接表現項目和影響因子項目的考量方法及注意事項

含有數據的最新資訊區分項目	考量方法及注意事項
直接表現項目 — 直接指標 — 代替指標 — 解析	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 著重於檢查對象項目中的代表項目</li> <li>• 數據量多的時候，應活用統計處理</li> <li>• 為代替指標時，應確認有關表示關係性的經驗式之最新資訊</li> <li>• 解析時，應確認有關解析方法或其輸入數據的最新資訊</li> <li>• 確認安全評估時間軸上附近所取得的數據</li> </ul>
影響因子項目 — 環境條件 — 事件等 — 直接指標 — 代替指標 — 解析 — 環境條件	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 主要為影響檢查對象項目長期變化的因素項目</li> <li>• 影響因子項目和檢查對象項目的定量關係不明確時，於可能的範圍中設立安全方和危險方的判斷基準</li> <li>• 必須考慮環境條件的數據取得場所與檢討對象項目部位的位置關係，並確認取得數據的顯著差異性</li> <li>• 為事件等代替指標時，應確認有關表示關係性的經驗式之最新資訊</li> <li>• 解析事件時，應確認有關解析方法或其輸入數據的最新資訊</li> <li>• 確認安全評估時間軸上附近的影響因子</li> </ul>

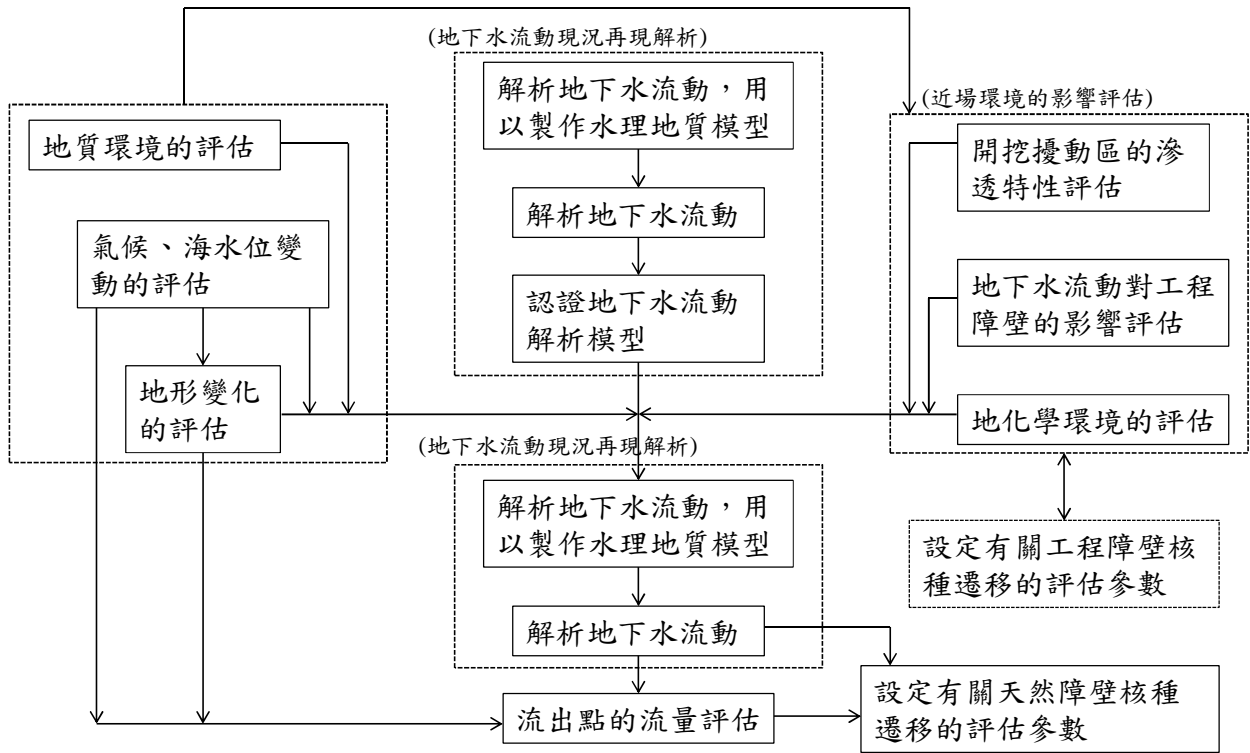


圖 6.7 天然障壁核種遷移的評估參數設定流程案例

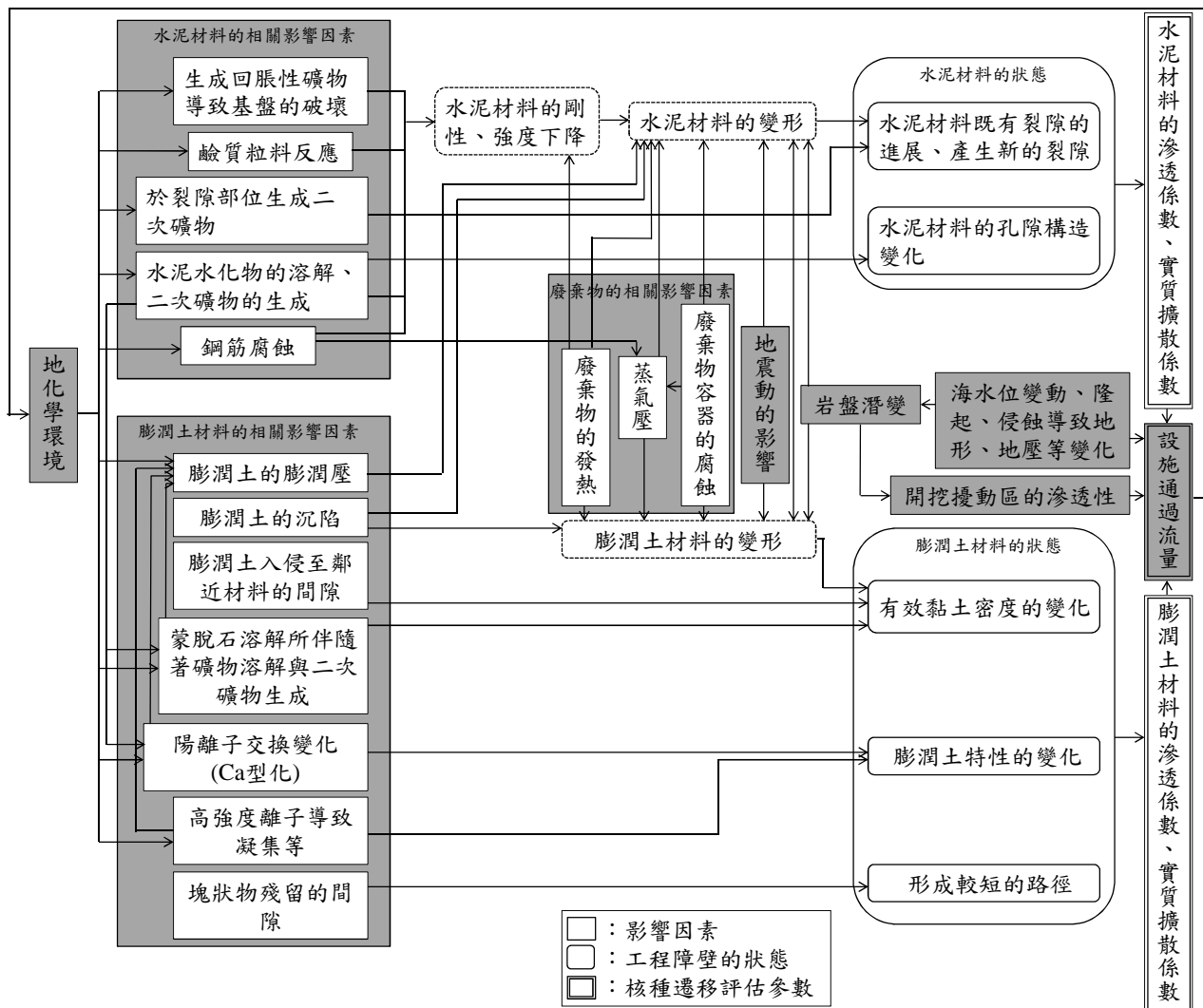


圖 6.8 封閉後影響工程障壁狀態的因素

### 6.2.3.3 用於安全審查的數據取得條件設定案例

基於安全審查而重新取得數據時，必須訂定數據的取得條件，也就是說必須設定數據的取得項目、取得方法、取得場所和取得頻率。選擇數據取得項目的考量方法如圖 6.9 所示。

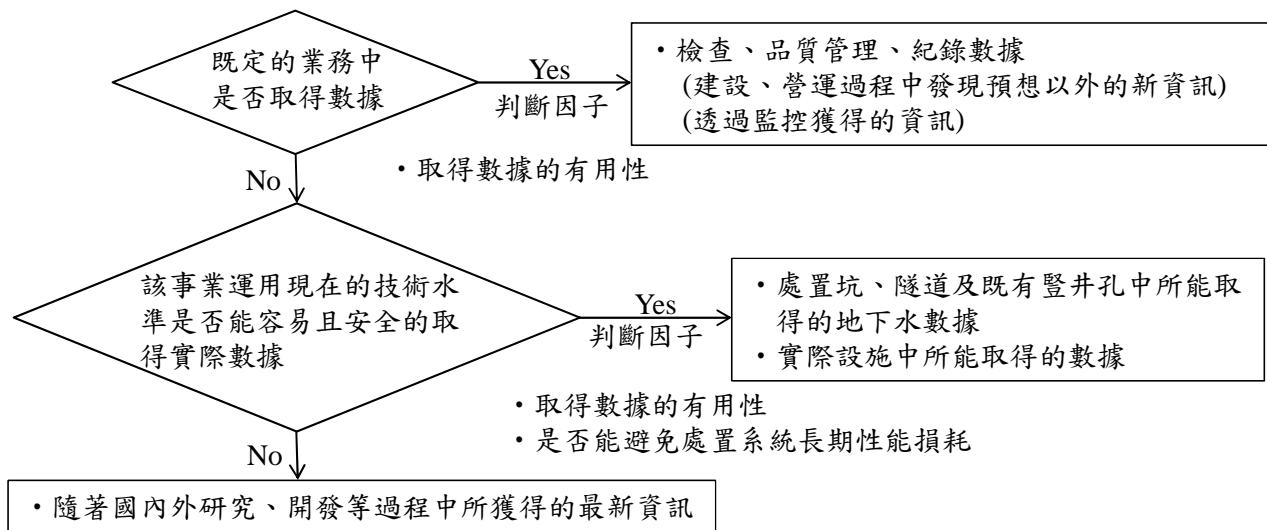


圖 6.9 選擇數據取得項目的考量方法

檢查、品質管理、紀錄等定期業務所取得的相關數據中，對處置系統長期安全性有用的數據，可考量合理的運用於下列安全審查目的中：

- 從多組相同形式的數據中，掌握偏差程度較大的值
- 確認用以確保抑制遷移和隔離的機能
- 確認影響工程障壁的環境條件
- 確認開挖時的岩盤狀況(開挖擾動區域的滲透性等)
- 認證地下水流動模型
- 確認廢棄物的相關確定情報

另外，在建設、營運過程中可能會發現預想外的新資訊，或是在監控時可能會從獲得的資訊中取得數據，基於此因，必須先事前設想可能會取得的數據為何，當實際獲得的資訊類別與事前的設定無法配合時，必須對應未決定的數據取得條件加以取得相關數據。

依照該事業運用現在的技術水準所取得的數據表示為「於安全審查計畫(包含計畫的重新修改)的實施時間點中，運用可能的技術方法取得與安全評估對象處置系統相關的數據」，此為選定數據取得項目中較能容易且安全進行的觀點。其中容易且安全的取得數據判斷因子為「取得數據的有用性」及「是否能避免處置系統長期性能損耗」。

依照該事業運用現在技術水準的相關數據考量為處置坑、隧道及既有豎井孔所能取得的地下水數據，以及於實際設施中所能取得的數據。地下水數據包含地下水位等物理數據和地下水組成等化學數據，下述之目的可考量運用於安全審查：

- 確認對工程障壁有影響的近場環境與地下水水質。
- 認證解析地下水流動的模型。
- 認證將開挖、設施建設、封閉納入考量的非定常地下水流動解析。
- 確認地化學環境對工程障壁所造成的影響。

於實際設施中所能取得的數據為經由確認檢查(模板脫型)後的低擴散層裂隙狀況，或經

由實際設施施工時所製作的試體中取得，為了確認檢查項目的直接指標與代替指標之關連性，將考量取得直接指標的數據。

除此之外，應取得國內外研究、開發等過程中獲得的最新資訊所使用的數據。此外，有關這些數據的取得時期可整理於下：

(1) 主要於建設、營運階段所獲得的數據

- 檢查、品質管理、紀錄數據。
- 建設、營運過程中發現預想以外含有數據的新資訊。
- 透過監控獲得含有數據的資訊。
- 從實際設施中所能取得的數據。

(2) 於建設、營運階段和封閉後階段所獲得的數據

- 既有豎井孔中所能取得的地下水數據。
- 隨著國內外研究、開發等過程中所獲得的最新資訊。

數據取得的頻率對應於數據取得對象的性能狀態隨時間軸變化的變化度，因此必須考量於時間軸上需花費多久時間進行解析或評估，並且也必須設定數據項目的取得頻率。另外關於數據取得的期間，可能取得的期間為最大 300 年的程度，而預期的評估期間則是以萬年為尺度，因此必須考量在何種期間所取用的數據對評估較有效用。

#### 6.2.3.4 收集與篩選用於安全審查的最新資訊

為了執行安全審查的計畫，必須收集最新資訊並取得數據。這些最新資訊將會進行適宜的篩選，並選出可適用的技術，用以確認處置系統的長期安全性。另外，當影響度大的最新資訊公布時，將採取必要措施。

此處之篩選為參考專家的意見，並透過當時技術力的考察，將最新資訊的類型或安全審查的實施方法(安全評估或性能評估的方法等)逐項進行審查。另外篩選的時期區分為獲得最新資訊時進行、收集至某種程度時進行、與安全審查實施前進行。適宜的進行這些篩選，並多次議論其方法將有助於事業技術的繼承。

篩選時考慮的事項為最新資訊的入手管道，以及與過去資訊的關係，資訊相關的品質保證考量方法將引用記載於核燃料再利用開發機構 JNC TN1400 2005-020 的方法進行。另外進行篩選後，將採用可能的必要措施。

(1) 最新資訊的入手管道可參考下列項目：

- 經整理、紀錄後，可取得數據的情報
- 公開的情報(論文、報告書、書籍、網頁等)
- 事業者及其關連機關透過研究調查所獲得的情報

(2) 與過去資訊的關係可參考下列項目：

- 若與過去的資訊有明確的差異，則可預想對評估的結果影響較大
- 若有補充過去資訊的部分，則可預想能有助於評估不確定性的下降

(3) 資訊的品質保證可考量經由下列的保證獲得

- 接近理論的，且具有明確體系的資訊
- 於可能的監察體系中實施評估、監察機能的效果
- 通過反覆過程持續改良的資訊
- 接近專家審查所接受的資訊
- 安全評估實施者與研究，或場址調查計畫相關者之間的有效溝通成立時，所傳遞的全部相關獲得情報

- 情節或計算案件中，為了確認影響處置系統性能的主要不確定性，而實施的敏感度分析資訊
- 為了篩選情節中所含的全部 FEPs (Features, Events and Processes 簡稱 FEP)，以利進行評估而設定的適當基準資訊
- 評估中所含的 FEPs 與國際的 FEP 進行檢查比較之資訊
- 選定情節、模型、數據的相關證據、室外或室內實驗、理論研究中所獲得的各種資源，以及為了支持可能的情況所選擇的特定情節或模型與參數值，而進行多方面的議論資訊
- 以十分確立的物理、化學原則、或評估的相關條件(例如空間的、時間的尺度)，進行有關數學模型的適用性證明實驗，而從中獲得的經驗法則基礎
- 於可能的監察體系中開發計算代碼，例如為了解析解其他的代碼並加以比較而嚴密驗證的資訊，以及盡可能的進行實驗或自然條件的模擬確證
- 不確定性的相關使用明確戰略和方法

(4) 進行篩選後，將考量採用以下必要措施：

- 取得與既往差異較大的數據時，必須確認測定機器的健全性，並請多位專家實施審查
- 缺乏判斷資訊的驗證根據時，為了增加數據的信賴性，將追加數據的取得或實施試解析
- 當判斷對處置系統的長期安全性影響度大時，將重新修改安全審查的計畫(回到實施時期，檢查對象項目的重新修改等)
- 當判斷為對安全審查無用的資訊時，應從最新資訊的清單中除外
- 當取得的數據判斷為無用時，將重新修改安全審查的計畫(檢查對象項目的重新修改等)

### 6.3 安全審查的實施

安全審查的實施流程與原子力學會標準之「安全審查的計畫」、「收集用於安全審查的最新資訊」、「安全審查的實施」的各項規定如圖 6.10 所示。

安全審查實施時，首先以可能適用於技術上的最新資訊為基礎，進行檢查對象項目的再評估，接著以再評估的結果為基礎，判斷管理期間結束後實施劑量評估的必要性，若實施則將再評估的結果與區分情節的劑量標準值進行比較。這些結果與篩選後的最新資訊將成為廢棄物處置設施長期安全性的預測確認綜合判斷指標。

其中於安全審查時，再評估的參數種類、數值與安全評估的情節或模型相互依存。由於有關此標準的安全評估情節、模型、參數是設想以學會標準「餘裕深度處置的安全評估方法」的規定為基礎進行設定、構築，因此在安全審查時必須確認各時間點相關的相同標準改訂狀況，並將之納入考量，同時必須確認將適宜、關連的最新資訊納入情節、模型考量時的妥當性。

然而在安全審查中，若出現影響度大的最新資訊時，通常不只對安全審查相關檢討對象項目進行再評估，同時也因應需求考量重新修改或追加情節。

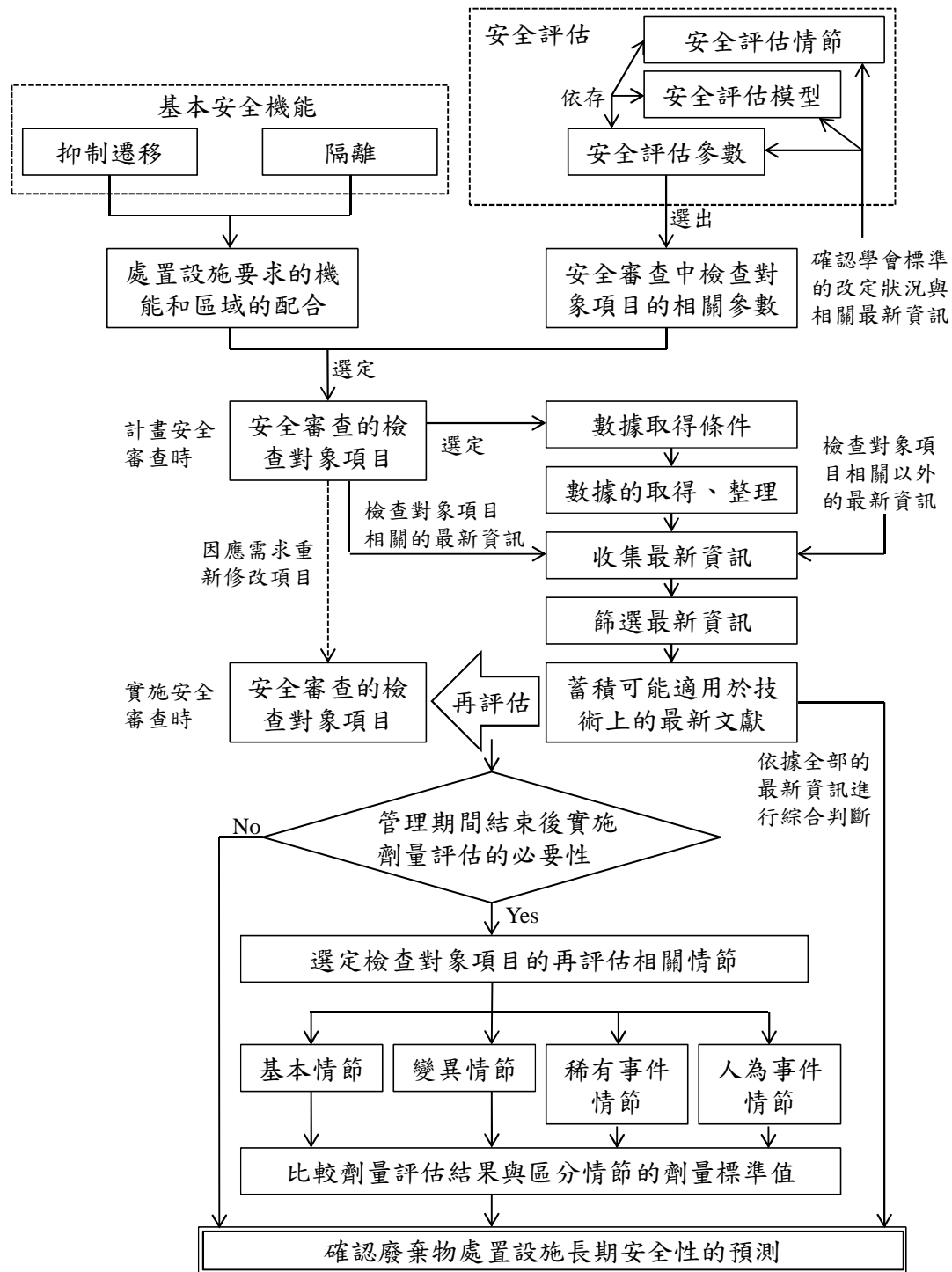


圖 6.10 安全審查的實施流程

### 6.3.1 檢查對象項目的再評估

實施安全審查時，首先以可能適用於技術上的最新資訊為基礎，進行檢查對象項目的再評估。

由於檢查對象項目的再評估為運用篩選後的最後資訊，用以掌握施工時的性能、提升確證精度、確證期間的長期化以及提升預測評估精度，因此在確認處置系統狀態設定的妥當性後，應將申請時的安全評估相關檢查對象項目評估結果進行定量或定性的修改。圖 6.11 為進行定量的再評估案例中，申請時的安全評估與檢查對象項目的再評估比較圖。

其中定量的再評估是以最新資訊的篩選，或取得數據的工學審查為基礎慎重進行，用以確認安全性的非保守判斷是否有錯誤的情形。另外定性的再評估則是考量累積說明申請時的



安全評估為非危險性的根據，藉此能鞏固長期安全性的預測判斷。

然而，檢查對象項目的再評估結果為安全審查 PDCA 循環流程反覆實施的項目，因此可作為下次安全審查時的檢查對象項目基礎。

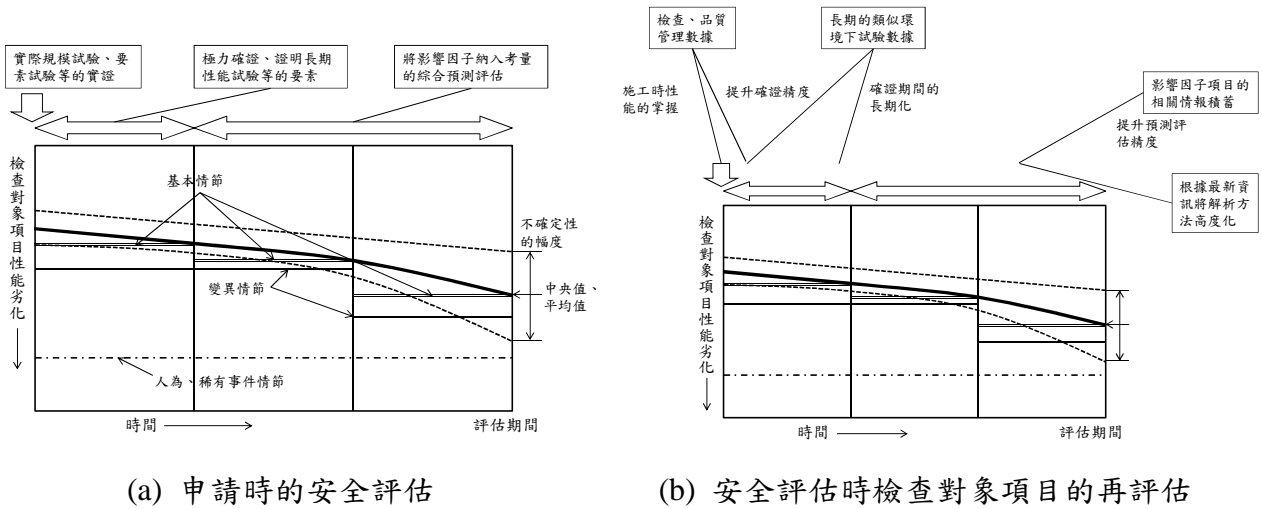


圖 6.11 定量的再評估案例

### 6.3.2 劑量評估的必要性與實施

以檢查對象項目的再評估結果為基礎，判斷管理期間結束後實施劑量評估的必要性。若檢查對象項目再評估後修正的程度較少，判斷對劑量評估的結果影響程度較小時，從再評估修正前至再評估的結果(或申請時的安全評估)皆於安全區域振盪時，或能自行證明劑量評估結果低於劑量標準值時，皆可不必要實施劑量評估。

當實施劑量評估時，將比較其結果與區分情節的劑量標準值。其中實施劑量評估的情節為能反應檢查對象項目再評估結果的必要性事件。然而，當影響度大的最新資訊公布時，依據其相關的安全審查，不只須再評估通常的安全審查相關檢查對象項目，同時也須考量增加或重新修正對應的情節。

### 6.3.3 確認廢棄物處置設施長期安全性的預測

廢棄物處置設施長期安全性的預測可經由檢查對象項目的再評估結果、因應需求所實施的劑量評估結果和與劑量標準值比較的結果、以及根據篩選後的最新資訊綜合判斷進行確認。其中，檢查對象項目的再評估結果及劑量評估的結果不是以個別的判斷進行，而是著重以綜合的判斷觀點進行。

## 6.4 芬蘭安全審查的相關類似案例

國外安全審查相關的管制條件或調查、模型案例為與日本餘裕深度處置相似，且正於芬蘭實施的中地層深度處置。於芬蘭“Radiation and Nuclear Safety Authority”(放射性、原子力安全中心，以下簡稱“STUK”)為放射性廢棄物處置的管制機關，營運中的中低放射性廢棄物處置場包含 Loviisa 處置場與 Olkiluoto VLJ 處置場。

### 6.4.1 芬蘭的法規

於中低放射性廢棄物處置場中，既有的處置場或營運、運轉中的處置場適用於下列法規：

- 法律：原子力法(1987 年、2008 年修訂)
- 規則：原子力令(1988 年、2008 年修訂)、政府決策(398/1991 “Decision of the Council of State

on the general regulations for the safety of a disposal facility for reactor waste” (政府決策中有關廢棄物處置設施運轉安全性的一般規範)、現在為全部放射性廢棄物處置共通 736/2008 “Government Decree on the safety of disposal of nuclear waste (核廢棄物處置的安全性相關政令)”之改訂)

- 規格：STUK YVL8.1 “Disposal of low and intermediate level waste from the operation of nuclear power plants” (運轉廢棄物的處置規格、1991 年、2003 年改訂)

針對芬蘭法規中的封閉、封閉後管理、安全審查的要點將依章節分別闡述：

#### 6.4.2 封閉的相關規範要點

處置場的封閉是由營運者製作最終封閉計畫，並由 STUK 認可最終封閉計畫後開始。最終封閉計畫所含的事項如下所示：

- 實現處置場封閉技術的相關說明
- 安全評估(final safety analysis report (最終安全解析報告書，以下簡稱 FSAR)的更新)
- 營運期間中所實施的地質調查概要
- 封閉後的監控計畫

其中處置場封閉時的技術條件有以下兩點：

- 處置設施的地下空間以難以入侵處置窖的方式進行封閉
- 以處置窖周圍岩盤的地下水流量或路徑不會造成侵蝕不良影響的方式進行封閉

此外，封閉後的監控計畫相關條件為「運用對處置安全性無影響，且可以信賴的技術進行封閉後的監控(主動的管理)」。

當處置場全部封閉的相關處置結束時，STUK 將進行最終處置的確認，營運者(持有許可執照者)申請完放射性廢棄物管理相關手續後，營運者將喪失放射性廢棄物管理義務。至此之後，放射性廢棄物的所有權將轉移至國家，全部由國家負責。

#### 6.4.3 封閉後管理的相關規範要點

封閉後管理的相關責任由國家負責，國家或管制機關有關行政的封閉管理(被動的管理)條件如下列事項所示：

- 確保處置場周圍適當的防護區域
- 於必須確保安全的期間，發佈不動產相關決策的禁止令
- 安排 STUK 長期保管紀錄

處置場安全解析中有關封閉後管理的處理如下所示：

- 最終封閉計畫中所加進的封閉後監控(主動的管理)技術，將不考量實施安全解析
- 行政的封閉後管理(被動的管理)中，處置場或周圍母岩對人類生活的影響最大可假設於 200 年後排除

#### 6.4.4 安全審查的相關規範要點

芬蘭有關處置場的許可於建設時、營運時、封閉時給予，營運者必須分別繳交預備的安全分析報告書(preliminary safety analysis report，以下簡稱 PSAR)、FSAR 與最終封閉計畫。由於營運時的許可為 50 年的長期間，而政府決策中訂定每 15 年更新 FSAR，因此在這期間，營運許可的條件為每 15 年更新 FSAR。

除了每 15 年更新 FSAR 外，下列所示之定期報告也有繳交的義務：

- 每年繳交廢棄物管理計畫(包含除役措施計畫)的相關報告

- 每 3 年繳交放射性廢棄物管理的研究、開發、技術設計相關報告
- 每 5 年繳交除役措施計畫的相關報告

FSAR 為每 15 年更新，除此之外，營運時安全條件關連的安全解析結果因變更而取得新數據時，必須修正 FSAR。

#### 6.4.5 芬蘭有關處置場的調查或監測

處置場的調查或監測分別於營運前階段、營運階段和封閉後階段進行。其中營運前階段為運用 PSAR 取得建設許可和運用 FSAR 取得營運許可，營運階段為運用 FSAR 的更新和最終封閉計畫。

有關 Loviisa 處置場各階段的調查目的如表 6.9 所示，調查或監測的實施項目分別列於表 6.10。

表 6.9 有關 Loviisa 處置場各階段的調查目的

調查時期	調查目的
營運階段前的調查(為了進行 PSAR 的調查)	調查的主要目的為判別處置場預定地的母岩狀態，用以評估處置的安全性。由於放射性核種會藉由地下水從處置場遷移至生物圈，因此調查的焦點為考量地下水流動中最重要的特性(岩盤的裂隙或母岩的滲透係數等)。另外，調查的結果已運用於 Loviisa 處置場的場址報告(1982 年)或設計、PSAR(1986 年繳交，1988 年承認)等。
建設階段、營運階段的調查(為了進行及更新 FSAR 的調查)	處置場長期的安全性是藉由多重障壁圍阻放射性廢棄物的方式加以確保。其中岩盤為最有效的障壁，因此必須在建設階段和營運階段監測岩盤的品質，確認與處置目的一致。監測的目的為評估地質環境對處置場建設的長期影響，並運用其結果進行未來的安全解析。監測程序大致上為測定岩石的安定性、水文地質學、地下水化學、附近岩盤等相關事項。
營運階段的調查(為了更新 FSAR 的調查)	最終處置設施營運時的研究是以監測程序為基準，於 2004 年開始繼續進行。程序的目的為調查處置場及周圍地下水和岩盤特性與行為的長期變化，並同時加以監測。

表 6.10 有關 Loviisa 處置場調查或監測的實施項目

調查時期	調查位置	大項目	中項目
營運前階段 (為了進行 PSAR 的調查)	地表	地質構造調查	地質製圖
			豎井
		物理探查	地表測定
			單孔測定
			孔間設定
		地下水調查	地下水理
			地下水水質等
		室內試驗	岩石試驗
			土質試驗
			吸附試驗
營運前階段 (為了進行 FSAR 的調查)	地表	地質構造調查	豎井
		地下水調查	地下水理
			地下水水質
	岩盤監測	振動測定	
	地下	地質構造調查	地質製圖
			豎井
		岩盤試驗	—
		地下水調查	地下水理
			地下水水質
		室內試驗	岩石試驗
岩盤監測		岩盤變位計	
	振動測定		
營運階段 (為了更新 FSAR 的調查)	地表	地下水調查	地下水理
			地下水水質
	地下	地下水調查	地下水理
			地下水水質
		岩盤監測	岩盤變位計
			振動測定

## 6.5 以安全審查結果為基礎的措施

依據安全審查的結果，將採取必要的維護措施或重新修改之後的安全審查計畫。另外，安全審查的結果有助於除役措施計畫的認可申請，當除役措施計畫的認可接受後，將不再實施安全審查。

同時也可以以安全審查的結果為基礎，重新修改餘裕深度處置封閉後階段有關抑制遷移的相關監控措施。

## 第七章 日本低放處置場的紀錄管理

低放射性廢棄物處置相關的紀錄管理為適宜的保存必要的紀錄，用以適當的維持管理廢棄物處置場，同時紀錄管理也為維護廢棄物處置場，以及第二種廢棄物處置事業除役後，保證處置場安全性的必要事項，而於管理時間及事業除役時，有關保管應紀錄的項目與其保存方法將規定於注意事項。

### 7.1 第二種廢棄物處置事業期間的相關紀錄

#### (1) 紀錄的項目

以低放射性廢棄物處置所取得的佈局、廢棄物、設施設計、建設、設施檢查、安全評估、營運、管理、維護、保守、回填的施工、安全審查、防護措施等相關含有情報的數據為對象，檢查安全確保上的重要度，並且至管理期間結束時，必須選定應保存的紀錄項目。

#### (2) 紀錄的保存方法

管理期間中可以透過人的直接知覺，考量於管理期間內保存性較佳的素材(例如耐久性較佳的紙張)上製作紀錄，另外也可以透過備份和電磁的方法製作紀錄，並加以保存。其中以電磁的方法紀錄時，須考量數據的時效、輸入方式的變更及電子機器的進化等，因此必須適時的進行更新作業。

#### (3) 紀錄的保存期間

抑制妨礙維護廢棄物處置場的原因事件方法與必要情報，以及除役措施的必要情報紀錄保存期間至所管轄的行政機關接受並確認完成除役措施。

### 7.2 第二種廢棄物處置事業除役時的紀錄

#### (1) 紀錄的項目

事業除役結束以後，廢棄物處置場的位置及廢棄物的關連情報必須保存紀錄，目的為避免未來世代的人無意間誤入現世代所留下的放射性廢棄物處置場，另外也可以做為處置場處置的放射性廢棄物及其周圍區域的再利用考量依據。第二種廢棄物處置事業除役之後，處置相關紀錄情報的管理將交給公家機關進行。基於此點考量，管理期間中所保存的紀錄項目，其有關同事業除役以後的部分，必須選定應保存的紀錄項目。

#### (2) 紀錄的保存方法

第二種廢棄物處置事業除役之後的紀錄必須長期的保存，因此應考慮使用具有耐久性的素材進行紀錄的保存。

### 7.3 國際機關有關紀錄的研究案例

國際機關 IAEA 技術圖書有關放射性廢棄物處置的紀錄係根據紀錄的使用目的，將紀錄階層化管理，以下將針對階層的紀錄管理系統，以及各階層所紀錄的紀錄案例進行說明。

#### 7.3.1 紀錄的階層

階層的紀錄管理系統是將紀錄分為一次階級的情報、中段階級的情報、以及高段階級的情報，並將這3階層加以定義。

##### (1) 第1階層；PLI(一次階級的情報)

階層構造的基礎部分，同時也為全國的紀錄管理系統的基礎部分，由一次階級的情報 (Primary level Information, 簡稱 PLI) 構成，主要收集處置場使用期間中的連續情報。PLI 內的情報種類與數量為處置場系統、法律等規範、公眾參與的必要性等多樣事項內容。因此必須加入佈局、設計、建設、封閉等各階段與處置場關連的全部情報。

**(2) 第 2 階層；ILI(中段階級的情報)**

階層構造的第二部分為中段階級的情報(Intermediate level Information, 簡稱 ILI)，由基於確實理解處置場系統的重要文書摘要所構成。此情報包含處置場管理期間中，為了滿足法規條件和許可條件的必要紀錄。另外 ILI 包含 PLI 內的特定紀錄及索引事項，因此可從 PLI 直接接管重要資料，或直接接管 PLI 的資料摘要，或是兩者皆接管。

**(3) 第 3 階層；HLI(高段階級的情報)**

階層構造最頂端位置的重要情報為高段階級的情報(High Level Information, 簡稱 HLI)，由比 ILI 更為精要的情報構成。為了規範處置場系統的相關基本考量，以及提供足夠的情報，促使未來世代的人得以知曉現世代的處置場相關情報，HLI 的事項必須滿足全部的要求事項。廢棄物處置事業除役時的紀錄屬於此類情報。

「封閉時至封閉後可能作成的紀錄案例」和「主動的封閉後管理階段中可能作成的紀錄案例」如表 7.1 表 7.2 所示。其中「主動的管理」為基於確認處置場封閉後一定期間的健全性，而監控頻率高的管理期間；在這之後將考量轉移至管理較為緩和的「被動的管理」。

表 7.1 廢棄物處置事業除役時的紀錄，高段階級的情報案例

紀錄的種類	紀錄的案例
安全評估或修復處置的關連紀錄	
處置設施的場所及場址數據	<ul style="list-style-type: none"> <li>封閉後制度管理的期間中，應管理的領域和處置領域(包含標誌位置)的邊界</li> <li>國內/國際地理基準的參考情報</li> <li>地域人口學</li> <li>場址的數據：地質學、水質學、氣象學、地球化學、地震數據、地表水的抑制</li> </ul>
處置場的設計及工程障壁	<ul style="list-style-type: none"> <li>建設的規格/流程，包含材料及施工方法</li> <li>標示各處置元件(壕溝、組件等)的構造及位置之完成圖</li> <li>修復處置包含不適合/規格外的說明</li> <li>主動及被動的監測系統之詳細圖及規格</li> <li>工程障壁維護及修理的規格與紀錄</li> </ul>
放射性廢棄物的紀錄	<ul style="list-style-type: none"> <li>處置紀錄：最終處置場所、處置日期、放射性廢棄物進出紀錄</li> <li>設施合格與否的判定基準：可能接受的放射性廢棄物形狀、廢棄體化方法、輻射能量、全容量</li> </ul>
紀錄管理系統	<ul style="list-style-type: none"> <li>紀錄管理系統的說明，封閉中每次更新所執行的全部變更。其中說明包含處置場的內容和構造、處置場所使用的全部指示文書、流程、計畫</li> </ul>
運轉紀錄	<ul style="list-style-type: none"> <li>監測數據：包含運轉的監測計畫/規格(包括改訂)、監測結果、大氣中的劑量和輻射能量、地表水、植物相和動物相、堆積物和地下水</li> <li>運轉遵守紀錄：不合格、處置修正、遵守的紀錄</li> </ul>

背景情報	• 未來世代對處置場系統機能和性能理解有幫助的情報
歷史、法、其他的利用關連紀錄	
許可紀錄	• 運轉許可申請、許可、要求的相關紀錄 • 性能目標、包含劑量限度 • 監測條件 • 性能評估報告
法律	• 運轉及封閉時所適用的環境法說明
一般情報	• 放射性廢棄物管理業務和(採用)技術的概要、放射性廢棄物的處置對社會的相關情報

表 7.2 主動的封閉後管理階段中可能作成的紀錄

紀錄的種類	紀錄的案例
安全評估或修復處置的關連紀錄	
監測數據	• 管理監測活動的規格、計畫、流程 • 監測裝置的校正和保守紀錄 • 監測結果
設施的維護	• 規格/計畫/流程 • 修理/修復紀錄 • 包含處置時不合格的紀錄
歷史、法、其他的利用關連紀錄	
法律	• 適用於主動的封閉後管理階段的環境法說明
一般情報	• 主動的封閉後管理階段中，處置場的管理對社會的相關情報

### 7.3.2 第 1 階層一次階級的情報(PLI)案例

IAEA-TECDOC-1398 中第一階層一次階級的情報案例如下所示：

- (1) 放射性廢棄物的產生紀錄
  - 說明放射性廢棄物包裝及特性的紀錄
- (2) 處置前的管理紀錄
  - 放射性廢棄物包裝化的紀錄
- (3) 處置場營運前的紀錄
  1. 計畫
    - 設計計算書和設計方針
    - 替代案的研究與比較
    - 開發選擇佈局的基準
    - 研究開發
  2. 佈局
    - 場址特性調查報告
    - 場址選擇報告、審查、認可
    - 生物圈、地質、水理學(地下水)、地球化學、地質力學、地震特性調查
    - 氣候史及預測
    - 公聽會文書

- 證書類、限制條款(包含開挖權)及土地回收文書

### 3.設計

- 性能評估報告
- 工學的計算
- 建設規格
- 放射性廢棄物包裝及工程障壁的相關研究開發報告
- 密封、覆蓋及封閉設計報告
- 外部組織的同儕審查(科學、技術的)

### 4.施工許可

- 預備的安全評估、審查及所管機關的認可
- 配置圖及現況圖
- 施工圖書
- 各元件的施工及完成的日期
- 計劃管理報告
- 契約、籌備及接受等圖書
- 合格性的紀錄
- 品質保證圖書
- 公聽會文書

### 5.營運許可

- 最終處置安全評估、審查及所管機關的認可
- 環境影響評估、審查及環境所管機關的認可、許可申請、繳交、認可紀錄(環境、廢水、有害、危險廢棄物、排氣)
- 許可、認可證
- 公聽會紀錄
- 許可的通訊
- 外部組織的同儕審查(科學、技術的)

## (4) 處置場營運階段的紀錄

### 1.放射性廢棄物的獨立數據

- 根據 WIRKS 管理放射性廢棄物的庫存紀錄(參考 IAEA-TECDOC-1222)
- 放射性廢棄物的接受基準
- 放射性廢棄物包裝的籌備及品質管理
- 放射性廢棄物產生者的技術報告書
- 放射性廢棄物產生者所製作的放射性廢棄物情報
- 處置場營運者或調整者或兩者對放射性廢棄物的認知情報
- 放射性廢棄物特性調查流程及認可
- 進出明細書、即是與貨物同時到達的文書
- 和放射性廢棄物產生者的契約及通訊

### 2.設施及場址獨立的紀錄

- 試運轉及運轉開始的紀錄
- 認可過的設計修正及執行修正
- 緩衝材料、回填材料的定置
- 規範當局的報告



- 地質或水理學上的變化(地震、侵蝕、人類活動)
- 營運期間的地震活動
- 環境的監測及監控程式(地水水面高度、放射性核種試樣、空氣樣品、氣象數據、收穫作物樣品、生物相(植物相及動物相))
- 修復內容(執行狀況)
- 放射性核種或其他污染物質釋出至環境
- 試驗的操作條件
- 緊急事態及非正常事件
- 周期的重新修正手續
- 最新的安全評估、審查及所管機關的認可
- 品質保證程式計畫、監察計畫及監察報告
- 不合格及修正處置的報告

### 3. 一般營運紀錄

- 緊急時的計畫書、危險評估及緊急事態
- 營運上的事件報告(事件報告)
- 定期報告(每月一次、每年一次、其他)
- 營運手續(開發、改訂、重新修正、認可)
- 保障措施及安全報告書
- 營運日誌及紀錄

## (5) 處置場封閉階段

### 1. 覆蓋及密封

- 規格
- 說明
- 現況圖
- 樣品及試驗
- 歷史相關(日期、事件等)
- 修理手續、其他

### 2. 監測及環境管理

- 程式
- 設備
- 手續(觀察、試樣、解析等)
- 樣品及試驗
- 預測模型(覆蓋、放射性核種的傳輸)、即是概念模型、配置、數據、代碼的說明
- 修理手續、其他

## 7.3.3 紀錄的管理

IAEA-TECDOC-1260 說明了有關低放射性廢棄物淺地層處置的紀錄管理，說明中表示，保證適當的保管文書與紀錄為廢棄物管理當局者及管制機關的責任。封閉後，廢棄物管理當局者應安全的定期實施審查，或當遭遇污染物質的釋出速度比預期快的事件時，基於評估其對系統性能的影響，可能必須存取已保管的紀錄並進行解說。另外廢棄物的特性及廢棄物處置設施的相關紀錄一般將考慮由廢棄物管理當局者，以及國家當局兩者等多數場所進行保存，應保存的最重要紀錄為下列關連事項：

- 處置場的地理位置
- 放射性廢棄物的化學及物理特性
- 處置場的設計
- 最終性能評估
- 處置場的營運紀錄
- 封閉系統的建設紀錄
- 規範
- 有關公家協議的全面情報

## 7.4 紀錄項目的重要度整合和保存期間的研究案例

第二種處置規則第十三條中規定紀錄的相關項目和保存期間。但是其紀錄的保存期間為一年至十年的短期間，因此並沒有規定事業除役前的保存，以及除役之後的紀錄。

為此，日本將按照國內外的議論事項，重新選擇有關低放射性廢棄物處置的佈局、放射性廢棄物、設施設計、建設、設施檢查、安全評估、營運、管理、維護、保守、回填施工、安全審查、防護措施等重要紀錄情報，並研討各個項目的規範規定、紀錄的原本意義、是否應於管理期間結束時保存、以及是否為事業除役後仍應保存的重要紀錄。

### 7.4.1 紀錄項目的選擇

重要的紀錄項目研究案例將參照 7.3.3 節中有關 IAEA-TECDOC-1260 議論低放射性廢棄物處置的封閉，並選擇出下列項目：

- 處置場的地理位置
- 放射性廢棄物的特性
- 處置場的設計
- 最終性能評估
- 處置場的營運紀錄
- 封閉系統的建設紀錄
- 規範
- 有關公家協議的全面情報

原子力環境整備促進、資金管理中心針對放射性廢棄物處置的紀錄保存進行研討，並選擇出能作為未來世代選擇依據的必要情報，其選擇的結果如下所示：

- 處置場附近的地理情報
- 處置場的地理位置相關情報
- 場址的地質環境條件相關情報
- 場址的位置、深度等相關情報
- 處置場的設施規格相關情報
- 放射性廢棄物的特性相關情報
- 現世代執行的安全評估相關情報
- 現世代執行的安全評估原數據相關情報

另外 IAEA 中有議論與重要度相對應的階層紀錄管理系統，IAEA-TECDOC-1398 將放射性廢棄物處置事業除役時的紀錄視為重要情報(HLI)，並按照以下的分類選定項目：

- (1) 安全評估或修復措施的關連紀錄
  - 處置設施的場所及場址數據

- 處置場的設計及工程障壁
- 放射性廢棄物的紀錄
- 紀錄管理系統
- 運轉紀錄
- 背景紀錄

(2) 歷史、法、其他的利用關連紀錄

- 許可紀錄
- 法律
- 一般情報

參考這些項目，並同時也考慮規範中所選擇的紀錄項目，低放射性廢棄物處置相關的紀錄項目如以下分類，起初針對這些分類的紀錄項目進行選擇，並開始研討各個項目的重要度。根據此分類所選擇出的紀錄項目結果如表 7.3 「紀錄項目」欄所示。

- (1) 處置場的地理位置及場址數據
- (2) 廢棄體(或放射性廢棄物)的情報
- (3) 處置場的設計、建設
- (4) 安全評估
- (5) 處置場的營運、管理、監控
- (6) 處置場的維護、保守、事故
- (7) 認知情報
- (8) 品質保證
- (9) 安全審查關連
- (10) 防護措施
- (11) 除役措施相關施工
- (12) 一般情報
- (13) 紀錄管理系統

在這些分類中，以下分類項目是經過日本原子力學會標準的各管理措施研討後，所選出的重要紀錄項目。

- 處置場的設計、建設
- 處置場的營運、管理、監控
- 處置場的維護、保守、事故
- 安全審查關連

處置場建設相關的紀錄包含回填施工的相關紀錄。其保存對象為坑道的回填部分(餘裕深度處置)，以及覆土(近地表處置與壕溝式處置)的施工品質管理紀錄。施工品質管理的項目請參考 3.1.3 節中表 3.6 及 3.2.5 節中表 3.12。

處置場的營運、管理、監控紀錄中，監控相關的紀錄為餘裕深度處置與近地表處置的密閉、抑制遷移監控結果，以及壕溝式處置的抑制遷移監控結果，並且周圍監控區域相關監控結果的紀錄也為保存之對象。(詳細項目請參考 4.1)

處置場的維護、保守、事故紀錄中，廢棄物處置場的維護相關紀錄為營運保護區域的設定相關紀錄，以及巡視、檢查結果的紀錄，並且於確認異常狀態後所實施的修復措施紀錄也為保存之對象。(詳細項目請參考表 5.1、5.2 及表 5.3)

餘裕深度處置安全審查相關紀錄的保存對象為長期安全性的預測確認結果，以及以安全審查為基礎所採取的措施。

表 7.3 紀錄項目的重要度和保存期間的研討(例)

分類	紀錄項目	第二種處置規則 (保存期間)	紀錄的意義		保存期間	
			廢棄物處置 場的維持管 理	抑制無意入 侵、跡地利 用情報	管理 期間	除役 以後
處置場 的地理 位置及 場址數 據	氣象、地盤、水理、地震、社會環境	第二條、第三條 事業許可申請	有益	有益	○	○
	積算降雨量	第十三條 紀錄(至除役)	有益	—	○	—
	地下水的水位	第十三條 紀錄(至除役)	有益	—	○	—
廢棄物 (或放射 性廢棄 物)的 情報	放射性廢棄物的處置種類、數量、放射性物質的數量、處置日期、進行處置的場所、處置相關確認結果(確認證)	第七條 廢棄物確認申請 第八條 廢棄物的技術基準 第九條 確認證 第十三條 紀錄(至除役) 第二十條 保安規定	有益	有益	○	○
	放射性廢棄物的輻射濃度確認紀錄，包含事業所中使用的資材等	第十三條 紀錄(搬出後十年間)	有益	—	○	—
處置場 的設 計、建 設	廢棄物處置設施的設計圖、構造圖、設計計算書、圖面、施工工程表、處置計畫等的檢查結果(包含確認證)	第四條 設施確認申請 第六條 設施的技術基準 第九條 確認證 第十三條 紀錄(至除役) 第二十條 保安規定	有益	有益	○	○
安全審 查	劑量管理、廢棄物的說明書，營運上故障等相關說明書	第二條、第三條 許可申請書	有益	有益	○	○
處置場 的營 運 管 理、 監 控	運轉紀錄	第二十條 保安規定	有益	—	○	—
	輻射管理紀錄	第十三條 紀錄(十年以內)	—	—	—	—
	地下水中放射性物質濃度的紀錄(密閉、抑制遷移的監控結果等)	第十三條 紀錄(至除役)	有益	有益	○	○
處置場 的維 護、 保 守、 事 故	營運保護區域的設定	第十七條 廢棄物處置場的維護	有益	有益	○	○
	巡視、檢查的結果	第十六條 巡視及檢查	—	—	—	—
	廢棄物處置場相關的維護紀錄	第十三條 紀錄(至除役)	—	—	—	—
	廢棄物處置場的修理紀錄	第十三條 紀錄(至除役)	有益	有益	○	○
	廢棄物處置場的事故紀錄	第十三條 紀錄(至除役)	有益	有益	○	○

	錄					
許可情 報	事業許可申請書、許可 書 事業變更許可申請書、 許可書	第二條、第三條 許可的(變 更)申請	有益	有益	○	○
	廢棄物確認申請書、確 認證 設施確認申請書、確認 證	第四條 設施確認申請 第七條 廢棄物確認申請 第九條 確認證	有益	有益	○	○
	保安規定認可申請書、 認可書	第二十條 保安規定	有益	有益	○	○
品質保 證	品質保證計畫實施、評 估及改善狀況的紀錄	第十三條 紀錄(五年間)	有益	—	○	—
安全審 查關連	長期安全性的預測確認 結果	第十三條 紀錄(至除役)	有益	有益	○	○
	以安全審查的結果為基 礎所採取的措施	第十三條 紀錄(至除役)	有益	有益	○	○
除役措 施的相 關施工	除役措施的相關施工方 法、時期及對象 廢棄物處置場的附屬設 施設備名稱	第十三條 紀錄(至除役)	有益	有益	○	○
一般情 報	和當地的協議、報告紀 錄(包含安全協定)	—	有益	有益	○	○
紀錄管 理系統	紀錄管理系統的說明書 GIS(地理情報系統)的登 錄紀錄	—	有益	有益	○	○

## 7.4.2 紀錄項目的整合

法國的 La Manche 處置場為低放射性廢棄物處置場既有的封閉案例，於案例中，法國國內 Turpin 委員會勸告「必須避免紀錄過多不必要的情報」。藉此案例可得知，為了更進一步的整合紀錄，必須避免混入不必要的紀錄項目。

於前一章節 7.4.1 中所選出的紀錄項目，其紀錄的重要度將以以下視角進行研討，並同時也研討除役前(管理期間結束前)的重要項目，於事業除役後是否仍為必要的紀錄。

### (1) 第二種處置規則中的規定

第二種處置規則第十三條中規定紀錄的相關項目和保存期間。其紀錄項目和規定的紀錄期間如上章節表 7.3 所示，在這些紀錄項目中與營運管理相關且規定至除役前要保存的項目，於管理期間必須保存，至於之後是否繼續保存則依據後續紀錄的意義加以判斷。

### (2) 紀錄的意義

至管理期間結束時，必要的保存紀錄為維持管理廢棄物處置場的必要情報之紀錄，其相關對象為前一章節 7.4.1 表 7.3 「廢棄物處置場的維持管理」欄中標示「有益」之項目。

於日本，由原子力環境整備促進、資金管理中心進行放射性廢棄物處置的紀錄保存相關研

討，有關管理期間結束後的紀錄保存目的將參考 IAEA-TECDOC-1097 所示之「為了避免未來世代的人無意入侵現世代所留下的放棄物處置場，以及考量場址、處置的放射性廢棄物、周圍區域的再利用，必須以正確的情報為基礎，適當的決定處置場相關情報的留存」概念。

依循此概念，管理期間結束後紀錄的保存義意為以下兩點，若紀錄項目中具有此意義，則選定為除役時的紀錄。

- 抑制未來世代的人無意入侵處置場
- 提供未來世代的人研討廢棄物處置場跡地的利用等情報

其相關對象為前一章節 7.4.1 表 7.3 「抑制無意入侵、跡地利用情報」欄中標示「有益」之項目。

最後將實施的紀錄項目，依照前述之方法研討其重要度和保存期間，並將結果列於表 7.3，表 7.3 保存期間欄「管理期間」中印有○的項目為至管理期間結束前應考量保存的紀錄項目；另外「除役以後」中印有○的項目為事業除役後應考量保存的紀錄項目。

## 7.5 品質保證

藉由制定品質保證計畫，以進行維護措施的計畫、實施、評估及改善。品質保證計畫的制定必須遵從第二種處置規則第十三條之三至九的要求事項。

## 第八章 日本餘裕深度處置安全評估方法

日本餘裕深度處置安全評估方法適用於評估餘裕深度處置對一般民眾所造成的曝露劑量，其包含安全評估情節的分類方式、處置系統的狀態設定方法、曝露路徑之分析方式與參數考量等內容。為了使安全評估的信賴性以及透明性提升，必須公開進行曝露劑量路徑、模組、參數相關討論，用以訂定餘裕深度處置安全評估的評估方法。

### 8.1 日本餘裕深度處置安全評估方法之考量

#### 8.1.1 研擬安全評估方法之相關歷程

1998年10月日本原子力委員會原子力後端對策部門於「超過現行政令劑量上限值的低放射性廢棄物處置基本考量方法」中提出餘裕深度處置概念。2000年9月日本原子力安全委員會表示，餘裕深度處置將參考過去低放射性廢棄物處置規劃，採用相同的安全確保管理階段，並考量其適用的可能性。日本原子力委員會原子力後端對策部門於「超過現行政令劑量上限值的低放射性廢棄物處置基本考量方法」中，對於餘裕深度處置安全之基本考量如下：

- (1) 基於回避人類活動所造成的影響，廢棄物必須處置於足夠的深度中(例如距地表50~100公尺的深度)，且一併考量其地下蘊藏之天然資源狀況，用以降低人為活動而導致曝露的可能性。
- (2) 選擇抑制核種遷移機能較佳之地層。
- (3) 處置設施需具備之密閉機能需等同於或優於既有低放射性廢棄物處置設施之處置窖機能。
- (4) 處置設施需進行數百年之管理作業。

綜合資源能源調查會原子力安全、保安部會中的廢棄物安全小委員會，於2003年7月考量將高放射性廢棄物、TRU廢棄物、含鈾廢棄物、核能發電廠所產生的低放射性廢棄物的安全評估方法統一。2004年6月原子力安全委員會提出有關放射性廢棄物處置安全規範的共通重要事項。為考量情節中可能發生的不確定性，並研究對應的輻射防護基準。原子力安全委員會於2007年7月提出「低放射性廢棄物處置相關安全規章的基本考量方法(期中報告)」，依情節發生的可能性高低，將安全評估需考量之情節區分為「基本情節」、「變異情節」與「人為、稀有事件情節」。其考量如下：

- (1) 依發生之可能性高低，將安全評估所需分析之情節分為3類。
- (2) 依據處置系統特性、核種傳輸路徑與輻射曝露途徑等組合，進行情節分類。
- (3) 安全評估需評估至曝露劑量，並以法規之一般民眾劑量限值做為安全性之判斷。
- (4) 假設未來人類的生活型態與現在相同。
- (5) 評估長期氣候、海水面變動、隆起與侵蝕等地質變化，對於工程障壁與天然障壁系統之影響與發生之可能性。

餘裕深度處置的輻射劑量上限值於2000年9月原子爐廢棄物相關劑量上限值中訂定，2007年5月日本原子力安全委員會於「低放射性廢棄物處置場相關輻射濃度上限值」中重新評估原子爐廢棄物以及再處理廢棄物之濃度限值。

## 8.1.2 處置廢棄物類型

餘裕深度處置的廢棄物，為原子爐設施與再處理設施於運轉至拆解過程，其相關作業所產生的低放射性廢棄物，主要的廢棄物種類如表 8.1 原子力安全委員會第 1 回低放射性廢棄物處置分科會(2005 年 9 月 5 日)資料所示：

表 8.1 餘裕深度處置的主要廢棄物種類

產生場所	產生時期	主要廢棄物
原子爐設施	運轉中	<ul style="list-style-type: none"> <li>放射性金屬廢棄物(燃料棒、金屬護箱、可燃性毒物、原子爐內構造物)</li> <li>使用過的樹脂(一次性)</li> </ul>
	拆解時	<ul style="list-style-type: none"> <li>金屬類(放射性/污染)</li> <li>放射性混凝土廢棄物</li> <li>附帶的廢棄物(水中濾器等)</li> <li>黑鉛</li> </ul>
再處理設施	運轉中	<ul style="list-style-type: none"> <li>放射性金屬廢棄物(金屬護箱、可燃性毒物)</li> <li>運轉過程所產生的廢棄物</li> </ul>
	拆解時	<ul style="list-style-type: none"> <li>金屬類(污染)</li> <li>附帶的廢棄物</li> </ul>
MOX 燃料加工設施	運轉中	<ul style="list-style-type: none"> <li>運轉過程所產生的廢棄物</li> </ul>
	拆解時	<ul style="list-style-type: none"> <li>金屬類(污染)</li> <li>附帶的廢棄物</li> </ul>

餘裕深度處置的廢棄物對象，其放射性核種濃度依據原子力安全委員會有關濃度上限值的報告書「低放射性固體廢棄物的處置相關輻射濃度上限值」，摘錄於表 8.2。關於廢棄物的盛裝容器，除了採用現行低放射性廢棄物處置設施所使用的 200 升鋼製廢料桶外，也考慮使用更大的方型鋼製容器。

表 8.2 處置對象廢棄物的輻射及放射性核種濃度

No.		原子爐廢棄物		再處理廢棄物	
		產生量(m <sup>3</sup> )		37351	
		重量(t)		178977	
		核種	Bq	Bq/t	Bq
1	H-3	1.3E+16	6.8E+11	1.5E+15	8.5E+09
2	C-14	4.4E+15	2.3E+11	3.4E+14	1.9E+09
3	Cl-36	5.9E+13	3.1E+09	5.9E+12	3.3E+07
4	Ca-41	7.2E+12	3.8E+08	7.3E+11	4.1E+06
5	Co-60	4.1E+18	2.2E+14	6.5E+17	3.6E+12
6	Ni-59	2.5E+16	1.3E+12	1.4E+15	7.6E+09
7	Ni-63	3.0E+18	1.6E+14	2.1E+17	1.2E+12
8	Se-79			6.0E+11	3.3E+06



9	Sr-90	1.3E+14	6.7E+09	1.6E+17	8.7E+11
10	Zr-93			1.6E+14	8.8E+08
11	Nb-94	1.7E+14	9.0E+09	1.2E+14	6.7E+08
12	Mo-93			4.5E+12	2.5E+07
13	Tc-99	1.0E+13	5.3E+08	4.3E+13	2.4E+08
14	Pd-107			3.7E+10	2.1E+05
15	Ag-108m	1.1E+15	6.0E+10	3.8E+12	2.1E+07
16	Sn-121m			6.3E+14	3.5E+09
17	Sn-126			2.5E+112	1.4E+07
18	I-129	1.5E+09	7.8E+04	1.0E+12	5.8E+06
19	Cs-135			9.6E+11	5.4E+06
20	Cs-137	3.2E+14	1.7E+10	2.2E+17	1.2E+12
21	Sm-151			3.6E+14	2.0E+09
22	Th-229			2.9E+06	1.6E+01
23	U-232			2.6E+10	1.4E+05
24	U-233			5.1E+09	2.8E+04
25	U-234			1.2E+12	6.5E+06
26	U-235			5.4E+10	3.0E+05
27	U-236			2.4E+11	1.3E+06
28	U-238			2.7E+11	1.5E+06
29	Np-237			1.2E+12	6.7E+06
30	Pu-238			5.5E+15	3.1E+10
31	Pu-239	3.0E+12	1.6E+08	1.3E+15	7.2E+09
32	Pu-240			1.5E+15	8.4E+09
33	Pu-241			2.0E+17	1.1E+12
34	Pu-242			3.9E+12	2.2E+07
35	Am-241	1.1E+12	5.8E+07	3.1E+15	1.7E+10
36	Am-242m			3.7E+13	2.1E+08
37	Am-243			1.7E+13	9.5E+07
38	Cm-244			1.8E+15	1.0E+10
39	Cm-245			2.1E+11	1.2E+06

### 8.1.3 餘裕深度處置設施概念

餘裕深度廢棄物處置設施由地面設施(廢棄物接收設施等附屬設施)和地下設施構成。地面設施包含廢棄物接收、檢查等設施，檢查完成的廢棄物將經由運輸坑道運送至地下設施進行定置，如圖 8.1 所示。設施整體規畫概念可參見圖 2.2 所示。

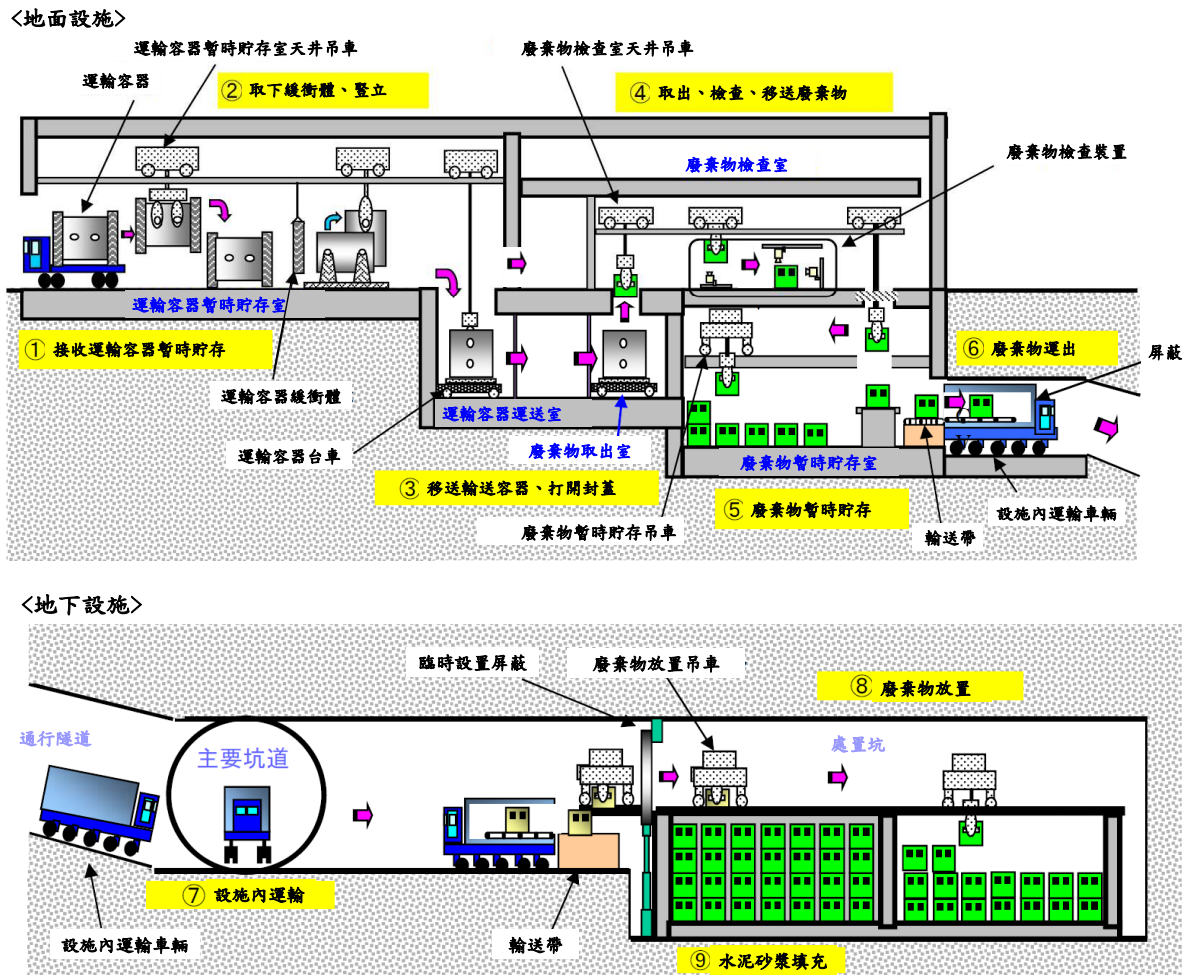


圖 8.1 餘裕深度處置設施與營運過程示意圖

設施設計除了延續 4.1 節所述餘裕深度處置安全之基本考量，另外增加考量如下：

- (1) 選擇無天然資源的場所，且放射性核種抑制遷移機能高的地下數十公尺深之地層中，設置處置坑道。
- (2) 於處置坑道中設置混凝土處置窖，用以定置廢棄物。
- (3) 為了減少侵入至處置設施的地下水量，混凝土處置窖的周圍運用膨潤土設置低滲透層。
- (4) 混凝土處置窖的內側或外側設置具抑制擴散效果的低擴散層水泥系材料。

餘裕深度處置設施為了減少入侵至處置設施的地下水量，以達與現行的低放射性廢棄物處置設施（近地表處置設施）同等以上的核種密閉性能要求，將考量使用高配比膨潤土。另外，水泥砂漿等水泥系材料於現行處置設施中預期只有提供核種的吸附性能，但若於混凝土處置窖內側或外側使用更緻密的材料，則可以期待發揮抑制擴散的效果。這種由高性能材料所構成的隧道型處置設施如圖 8.2 所示。

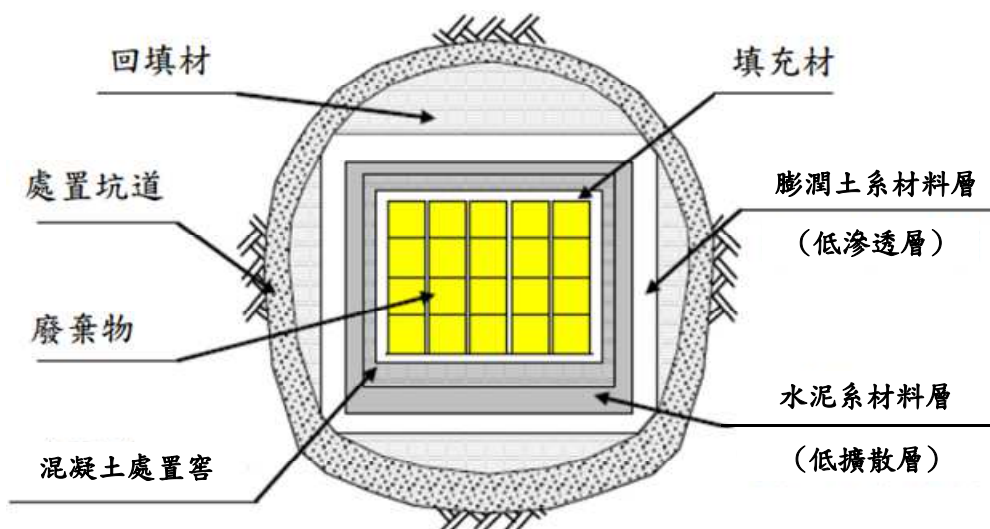


圖 8.2 餘裕深度處置設施的處置坑斷面

#### 8.1.4 安全評估方法

安全評估其確保安全的考量方法，主要基於日本原子力委員會原子力後端對策部門所提出之餘裕深度處置安全基本考量等相關報告內容，再做進一步的探討。

於「選擇抑制核種遷移機能較佳之地層」考量天然障壁系統的機能如下：

- (1) 於滲透性低、地下水流場水力梯度小的地層中設置處置設施，用以降低通過處置設施的地下水水量，用以降低放射性核種的遷移速度。
- (2) 選擇距離生活環境十分遠的地層中設置處置場，用以確保當放射性核種從處置設施釋出時，具有足夠時間使核種衰減而降低濃度。

於「處置設施需具備之密閉機能需等同於或優於既有低放射性廢棄物處置設施之處置窖機能」考量工程障壁系統的機能如下：

- (1) 為了盡可能抑制因放射性核種藉由地下水遷移，進而對周圍民眾所造成的曝露劑量影響，將長期抑制釋出的放射性核種。
- (2) 必須透過現代技術與資料設想工程障壁的劣化因素，並於設計中極力排除劣化的可能性，確保工程障壁長期的低滲透性和低擴散性。另外也必須考慮與之對應的廢棄物密閉機能於可能發生的情況。
- (3) 設計上無法排除的劣化因素，將於安全評估中評估其對放射性核種密閉機能的影響。

此外，基於回避人類活動所造成的影響，廢棄物必須處置於足夠的深度中(例如距地表 50~100 公尺的深度)，且一併考量其地下蘊藏之天然資源狀況，用以降低人為活動而導致曝露的可能性。處置設施必需進行數百年之管理作業，以確保其安全性。

處置設施設計方面，原子力委員會的基本考量方法(1998)中描述，國際上的處置設施及日本的地下設施係以「於隧道型或槽型的地下坑道中設置混凝土構造物，進行廢棄物處置回填的設施」為前提進行。這類設施較能集中處置廢棄物，使其具有較佳的處置效率及處置地點。另為了於管理期間結束後，能長期密閉放射性核種，將設置水泥系材料等具力學強度的障壁，並基於確保處置設施形狀的安定性、盡可能抑制放射性核種釋出，以及考量處置坑內有限的空間，將選擇滲透性低、擴散性低的障壁材料。設定設計規格，同時必須研討滿足此規格的施工方法及品質保證體系。考量輻射屏蔽效果，研討使用的盛裝容器厚度，容器及含有廢棄物之盛裝物的密閉性能，亦為安全確保機能的考量項目之一。

由於廢棄物對人類及其生活環境所造成的影響，有相多種可能發生的狀況。依其發生過

程，大致上可區分為人為過程影響及自然過程影響。為了確保長期安全性，必須降低這些過程產生曝露劑量的可能性及其影響。因此，處置系統在設計上必須對應廢棄物與環境特性，選定適合設置處置設施的地質環境，以及設計工程障壁。處置系統概念的規畫可考量運用「最完善的技術方法(Best Available Technique, 簡稱 BAT)」概念進行。放射性廢棄物處置 BAT 為運用合理且可執行的最完善技術建構障壁概念，用以達成盡可能抑制放射性核種由處置系統中釋出之目的。此考量方法能與日本原子力委員會的基本考量方法(1998)中「混凝土處置窖或同等以上具放射性核種密閉機能的處置設施，並於放射性核種抑制遷移機能高的地層中」設置考量方法相互呼應。

按照上述安全確保的考量方法所建構的餘裕深度處分，基於考量 C-14 等半衰期較長的核種、工程障壁的劣化和地質環境的變化等情形，長期的安全評估必須考量氣候、海平面變動，以及隆起、侵蝕等地質變動影響工程障壁和天然障壁的可能性。為此，依據所選擇的工程障壁系統、處置環境與廢棄物的特性，分析其可能發生的各種情形以及其不確定性，設定其不同發生可能性之長期處置系統狀態，成為不同之安全評估情節設定做為評估基礎。當安全評估情節完成時，將從處置系統的狀態及曝露劑量路徑兩方面進行評量。安全評估不是用以直接預測未來人類的曝露劑量，而是做為判斷處置系統的適當性，並將在假設人類的活動和曝露路徑與現今狀況一致的假設前提下進行。

## 8.2 日本餘裕深度處置安全評估情節分類

### 8.2.1 研擬安全評估情節之相關歷程

歐洲經濟合作發展組織核能署(OECD/NEA)於 2000 年將各國或機關研究放射性廢棄物地層處置封閉後的安全相關特徵、事件及作用(Features, Events and Processes, 簡稱 FEP)綜合成國際 FEP 資料庫，並加以發表。日本綜合資源能源調查會原子力安全、保安部會中廢棄物安全小委員會報告書(2003)以 OECD/NEA 的國際 FEP 項目為基準整理出「放射性核種於地下水中的遷移相關關係」、「未來人類行為的相關關係」與「地質及氣候現象的相關關係」，並研擬出「安全評估事項的構造」。其安全評估事項詮釋方法大致分為：「處置系統未受外部事件影響，放射性核種透過地下水遷移至人類生活環境的作用」。以及「處置設施受外部事件影響，使放射性核種遷移作用變化」。後者以外部影響的特性為基礎再分類成「未來人類行為」因素、「地質及氣候事件」因素，以及研究成果可能殘存不確定性的「超長期預測所伴隨不確定性的考慮」。

另一方面，日本原子力安全委員會於 2004 年 6 月「放射性廢棄物處置的安全規範相關共通重要事項」報告中提到，日本有關輻射防護基準的研討方向為：

- (1) 考慮情節發生的可能性，並導入風險論的考量方法
- (2) 輻射防護基準考慮情節發生的可能性
- (3) 評估期間(處置後數千年及超長期的考量方法)
- (4) 人為過程的處理

承接上述方法，日本原子力安全委員會於 2007 年 7 月提出，管理期間結束以後的安全規範考量方法，是以風險論的考量方法為基礎，將評估情節分為三類，並各自具有相異的判斷基準：

- (1) 基本情節(發生可能性高，通常考量的情節)
- (2) 變異情節(發生可能性低的情節)
- (3) 人為、稀有事件情節(人類活動、發生可能性極低的自然現象)

日本原子力學會標準「餘裕深度處置安全評價方法：2008」按照原子力安全委員會 2007 年報告書的區分為基礎，將安全評估情節分類為：營運情節、基本情節(發生可能性高，通常考量的情節)、變異情節(基本情節以外，可能發生的情節)、人為、稀有事件情節(人類活動、發生頻率低的自然現象)等。安全評估情節與相關報告書之考量彙整如表 8.3 所列。

表 8.3 安全評估情節與相關報告書考量彙整

安全評估情節	原子力安全委員會 2007 年報告書	廢棄物安全小委員會報告書 安全評估事項的構造	原子力安全委員會 共通的重要事項
安全評估的架構	風險論的考量方法	判斷基準	風險論的考量方法
	輻射防護基準考慮 情節發生的可能性	超長期預測所伴隨著不確定 性的考慮	輻射防護基準考慮 情節發生的可能性
	-	-	評估期間(處置後數 千年及超長期的考 量方法)
基本情節	發生可能性高，通 常考量的情節	不考量地質環境的變動，放 射性核種透過地下水遷移	自然過程 一般的考量現象
變異情節	選定的基本情節以 外，可能發生的全 部情節	地質及氣候關連現象 (放射性核種透過地下水遷 移)	自然過程 低頻率現象
人為、稀有事 件情節	人類活動或發生頻 率低的自然現象	未來人類行為 地質及氣候關連現象 (放射性核種透過地下水遷 移)	人為過程
營運情節	-	-	-

考量餘裕深度處置事業已設定需進行數百年之管理，安全評估依此時程規劃，區分為「管理期間」與「管理期間結束後」兩個階段。管理期間內之安全評估以「營運情節」進行考量，管理期間結束後則分為「基本情節」、「變異情節」與「人為、稀有事件情節」。

## 8.2.2 營運情節

「營運情節」用於考量處置設施封閉前之情節，圖 8.3 為「營運情節」下，安全評估考量之餘裕深度處置設施營運狀況示意圖。在此數百年間的管理期間內，主要評估以下作業：

- (1) 於廢棄物接收設施接收廢棄物。
- (2) 暫時貯存。
- (3) 檢查所接收之廢棄物。
- (4) 從廢棄物接受設施運送至處置坑道
- (5) 將廢棄物定置於處置坑
- (6) 處置坑的回填
- (7) 運輸道路的封閉

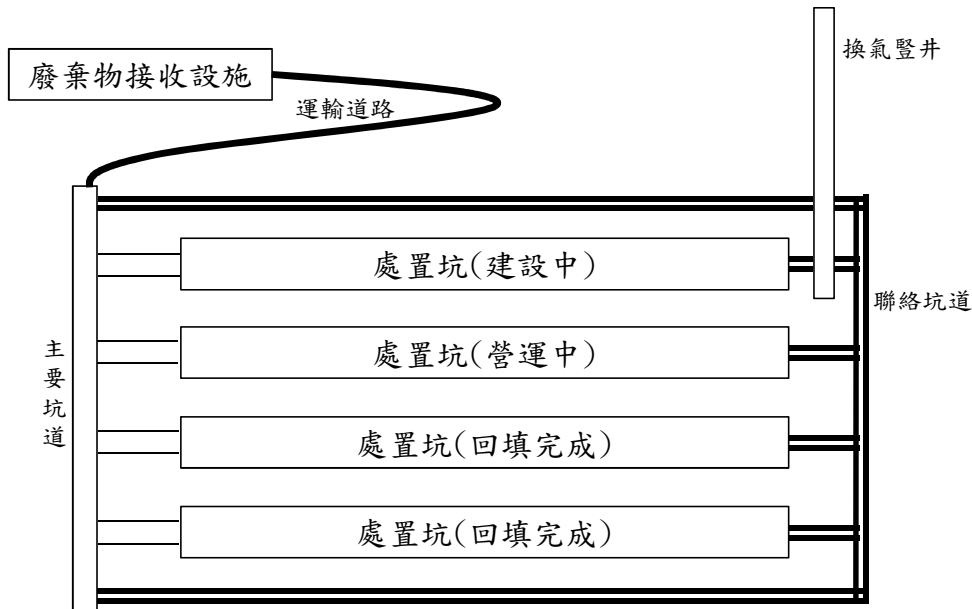


圖 8.3 餘裕深度處置設施營運狀況示意圖

營運情節主要針對上述從(1)廢棄物接收設施接收廢棄物開始，至(6)處置坑回填完成的期間，進行正常及異常時的曝露劑量評估。完成回填的處置坑道，其安全評估方法與「管理期間結束後」之評估方法相同。而「管理期間」的評估內容，則涵蓋廢棄物處理與盛裝方法、處置設施的設計、已回填完成的處置坑是否發生核種釋放至地下水中並流入排水系統、尚未回填的處置坑道與運輸隧道是否可能出現湧水等情形，皆可能被選定於營運情節中評估。

### 8.2.3 基本情節

基本情節為依據地質環境調查所獲得的地質環境資料與條件，基於處置設施設計，評估未來處置系統可能發生之高發生機率狀況。地質環境資料與條件用於預測長期氣候、海水位隨時間的變動，地質環境、地下水流場、地化學特性、核種遷移路徑與曝露途徑等特性之影響。評判處置系統可能發生之高機率狀況的原則之一，其判斷基準是與其發生機率明顯高於其他預測狀況。當其具有長期不確定性之時，則無法使用定量方式進行判斷。此外，基本情節亦不宜採用過多保守的設定，如此極端的保守情形可能會喪失比較的根據(例如不考慮工程障壁機能即等同於最初工程障壁不存在，工程障壁失去意義而產生的危險性)。據此，當在設定基本狀態時，必須根據技術資料和專家進行定性的判斷。

### 8.2.4 變異情節

可能發生之高機率狀況將設定為基本情節，而考慮發生的可能性或不確定性，設想可能發生基本情節以外的狀況，則以變異情節進行評估。

在設定變異情節時，不必再保守考慮不確定性，但必須特別注意評估對象的關聯性以及關聯變化。變異情節中所選擇的情節若其計算結果有明顯變異，則在進行劑量評估時可以將之從變異情節中刪除。

### 8.2.5 人為、稀有事件情節

用以評估處置系統的設計受到極低發生機率的外部現象、人類活動等破壞事件時，其處置系統的設計是否能維持其安全性。為此，必須考量處置場的特性、設施封閉機能、以及發生事件的時期等，再從技術觀點推測可能會發生的最壞情形作為分析情節。舉例來說，假設

管理期間結束後，處置設施受到人類開挖活動，或是發生非預期的地震規模或斷層錯動等影響，導致工程障壁的物理機能喪失，天然障壁的遷移路徑縮短之情形。即屬於人為、稀有事件情節的考量範圍。

整體而言，不同情節其對於處置系統可能狀況的機率高低與可能曝露途徑的機率高低組合如表 8.4 所列。

表 8.4 處置系統與曝露途徑發生機率高低與情節分類關聯性

曝露途徑 處置系統	一般曝露途徑	可能性較低的曝露途徑	可能性極低的曝露途徑
發生可能性高的狀態	基本情節	變異情節	人為、稀有事件情節
有發生可能性的變異狀態	變異情節	變異情節	人為、稀有事件情節
發生頻率極低的狀態	人為、稀有事件情節	人為、稀有事件情節	由於為發生可能性極低的狀況組合，因此不考慮

### 8.3 安全評估應考量主要事項

#### 8.3.1 管理期間的安全評估

日本原子力安全委員會於「放射性廢棄物處置設施的安全審查基本考量方法」中規定正常及異常時的評估相關事項，既有的淺地層處置事業許可申請書以此規定為基準，在正常營運情節下，將針對下列三件事項進行評估：

- (1) 廢棄物的輻射。
- (2) 從排氣系統以氣體為介質釋出的放射性核種。
- (3) 從排水系統以水體為介質釋出的放射性核種。

另外，異常情節時的評估則將針對下列五點進行研討：

- (1) 自然現象造成的影響。
- (2) 廢棄物操作的事故。
- (3) 配管破損、各種機器故障事故。
- (4) 停電事故。
- (5) 火災事故。

其中評估(2)廢棄物操作時的事故為根據放射性核種的吸入攝取進行。管理期間評估的時間範圍從廢棄物接收開始至處置坑回填完成的期間。正常與異常情節均需評估一般民眾的曝露劑量，曝露劑量依據 ICRP Publ.101 進行。

##### (1) 正常情節的評估項目

主要評估與廢棄物接收設施相關的設施，與既有的近地表處置考量項目相同，包含：

- 廢棄物的輻射。
- 從廢棄物接收設施排氣系統以氣體為介質釋出的放射性核種。
- 從廢棄物接收設施排水系統以水體為介質釋出的放射性核種。

當廢棄物從廢棄物接收設施運輸至處置坑後，廢棄物雖然仍會釋出輻射，但由於有地層的屏蔽，因此可以預期對一般民眾所造成的曝露劑量會十分微小。另外，廢棄物放置盛裝容

器並定置於處置窖中，且這些容器與設施均具備密閉機能。因此，在正常的處理過程中，放射性核種幾乎不會有從廢棄物中釋出的可能性。若是評估廢棄物處理作業的過程導致含有水分或表面污染等，則必須考量氫等氣體狀放射性核種的釋出，或廢棄物與水體接觸，使放射性核種混入排水中的可能性。在此情況下，處置坑必須適時考慮以下兩項事件：

- 氣體放射性核種透過處置坑的排氣釋出。
- 放射性核種隨水體自排水釋出。

## (2) 異常情節的評估項目。

「安全審查的基本考量方法」中規定，安全對策應考量地震，以及地震以外的自然現象、火災、爆炸、停電的應對對策。為此，須選出放射性核種釋出可能性較為明顯的異常事件加以考量。

- 考量因外力導致廢棄物破損，放射性核種釋出的事件。此為廢棄物從接收至定置的移動過程中，可能會發生的事件。異常時的評估為考量墜落事故短時間所造成的影響。
- 火災、爆炸的起因為考量熱與化學作用的影響，使廢棄物內放射性核種釋出的事件。由於廢棄物不具可燃性與爆炸性物質，並且已盛裝於容器中加以密封。另外廢棄物接收設施及處置坑道內限制攜帶可燃性物質進入，同時也進行適當的營運管理(設置火災警報器，用以早期發現；設置消防設備，用以迅速滅火)，因此不考量此類異常事件。
- 考量因湧水導致廢棄物進水，使廢棄物內之放射性核種釋出的事件。由於廢棄物已盛裝於容器中加以密封，且於處置坑道內的施工將進行適當的營運管理(設置排水設備，用以迅速排水)，因此不考量此異常事件。

據此，對一般民眾影響較大的異常時評估為處理廢棄物時所產生的墜落事故。然而，廢棄物的製作方法及處置設施的設計相互關係，必須基於以上事件進行判斷。

## 8.3.2 管理期間結束後的安全評估

由於管理期間結束後的安全評估，因其時間較長且涉及之現象較多而存在不確定性，故須謹慎的處理。為此，日本原子力安全委員會 2007 年報告書以風險論的考量方法為基礎，將發生可能性高的情節作為基本情節進行評估，其他具有可能性的情節作為變異情節進行評估，而經以上考量後所剩餘的不確定性高、發生可能性極低的現象則以人為、稀有事件情節進行評估。為了建構這些情節，必須設定處置系統狀態、該狀態下之放射性核種遷移，以及放射性核種釋出至生活環境後的曝露途徑，並將其全部考量進行組合。為此，必須個別考量安全評估情節的構成要素與事項，概分為處置系統的狀態、處置系統的放射性核種遷移，以及曝露路徑。

### (1) 處置系統的狀態

設定處置系統狀態時，必須考慮處置系統外部環境與內部作用而使工程障壁和天然障壁的狀態產生變化之情形，因此其主要考量如下，並於 8.4 節做進一步說明。

- 需評估長期氣候、海水面變動、隆起與侵蝕等地質變化，對於處置系統造成之影響。
- 工程障壁與天然障壁系統之長期內部作用（溫度、水理、力學與化學）對於處置系統之影響。
- 坑道施工或其他偶發性的人為活動對於處置系統之影響。
- 發生機率較低的自然現象對於處置設施之影響。

### (2) 放射性核種遷移

處置系統有關放射性核種的遷移，主要是由地下水流場所支配，其遷移過程必須考量放射性核種的吸附、衰變生成及溶出等，將運用移流擴散方程式進行估算。其考量特性包括地



下水流速、擴散係數、孔隙率、分配係數等參數，或以其特性隨時間變化的方式加以考量。

### (3) 曝露途徑

一般而言，由於預測的時間尺度過長，管理期間結束後之放射性核種釋出至生活環境後的曝露途徑，以及人類活動對處置設施的影響，並無法準確的預測。此外，管理期間亦難以限制處置場外人類的活動。然而，為了探討人類活動對處置設施影響的可能性，以及核種遷移後對於一般民眾的可能影響。將以現在人類的生活型態以及活動樣式為基礎，進行相關的設定。其考量的暴露途徑包含吸入、吸入與外部攝取等三種曝露型態，而所考量的常態活動包含：

- (1) 一定規模的地表水系飲用、灌溉、飼育。
- (2) 一定規模的地表水系的水產物攝取。
- (3) 一定規模的地表水系沿岸作業。
- (4) 於處置場遺址的一般建設作業、居住、農作物攝取。

其中一定規模是以 100 人以上的集團作為代表尺度，而有關河川流量濃度上限值的設定為考量使用的流量為 1/10；規模  $10^7 \text{ m}^3/\text{yr}$  以上。一般建設作業則設定 3 m 的開挖深度。

發生可能性低的曝露途徑為：

- (5)  $10^5 \text{ m}^3/\text{yr}$  以上的小規模地表水系飲用、灌溉、飼育。
- (6) 於處置場遺址進行 10 m 深的開挖活動。

若為餘裕深度處置場，則由於處置場遺址的曝露劑量造成(4)和(6)地表附近土壤污染的可能性較低，因此應慎重判斷曝露劑量路徑和位置。

發生可能性極低的曝露劑量路徑為：

- (7) 極小規模的井水等地表水系飲用。
- (8) 開挖物含廢棄物的曝露劑量。

有關井水的利用，在水量極小的前提下，限定為飲用所使用。而開挖物含廢棄物的曝露劑量產生前提為考量發生可能性極低的豎井開挖，因豎井使廢棄物移動至地表所產生曝露劑量路徑的輻射劑量，是否應為安全基準的比較對象目前尚未明確。因豎井使廢棄物移動至地表所產生曝露劑量路徑的典型案例為於豎井中心進行觀察的作業者曝露劑量。

## 8.4 處置系統狀態的設定考量

### 8.4.1 基本考量

設定處置系統狀態時，必須考慮溫度、水理、力學及化學等處置系統內部作用，以及外部環境的長期氣候、海水位變動、地質變動等現象，對於工程障壁和天然障壁的狀態產生影響之情況。

綜合資源能源調查會原子力安全、保安部會中廢棄物安全小委員會報告書「高放射性廢棄物處置的安全規範相關基礎確保方向」以 OECD/NEA 的國際 FEP 為基礎，再依據日本地質、氣候、場址條件篩選出探討對象，並設定基本狀態及變異狀態，其篩選結果如表 8.5 所示。根據結果，基本狀態及變異狀態的設定將適時考慮下列現象：

- (1) 侵蝕和堆積
- (2) 地質變化、氣候變遷、海水位變動等所產生的水文學、水文地質變化
- (3) 地震活動

侵蝕和堆積為考量處置設施接近地表部分的侵蝕，由於侵蝕與隆起具密切關係，因此必須對隆起、侵蝕進行適當的考量。地質變化、氣候變遷、海水位變動等所產生的水文學、水

文地質變化為考量地下水流速、遷移路徑的變化。地震活動對於地下構造物及耐震設計的影響可能性無法全盤否定，因此於發生頻率極低的現象中加以考量。

表 8.5 地質、氣候相關現象的 FEP 與其影響

地質、氣候相關現象的 FEPs		廢棄物安全小委員會報告書的相關關係圖	餘裕深度處置之安全評價方法：2008 處理方式
F1.2.01	構造運動、造山運動	影響 F1.2.02 地質構造變形、F1.2.03 地震活動、F1.2.04 火山岩漿活動、F1.2.06 熱水活動	將影響的 FEP(F1.2.02-F1.2.07)納入考量
F1.2.02	彈性、塑性或脆性的變形(地質構造的變形)	影響 F1.3.03 海水位變動、F1.2.07 侵蝕和堆積、F1.2.10 地質變化所產生的水文學、水文地質學變化	將影響的 FEP(F1.3.03、F1.2.07 及 F1.2.10)納入考量
F1.2.03	地震活動	影響 F1.2.02 地質構造變形、F1.2.06 熱水活動、F1.2.10 地質變化所產生的水文學、水文地質學變化，而地震、斷層也會直接影響處置系統	進行工程障壁適當的耐震設計，將影響的 FEP(F1.2.02 及 F1.2.10)納入考量，同時也考量發生頻率極低的事件
F1.2.04	火山、岩漿活動	影響 F1.2.02 地質構造變形、F1.2.03 地震活動、F1.2.06 熱水活動，而噴火、貫入也會直接影響處置系統	設施位置未在影響的範圍內
F1.2.05	變質作用	可以忽略對處置系統的影響	不考量
F1.2.06	熱水活動	影響 F1.2.10 地質變化所產生的水文學、水文地質學變化	設施位置未在影響的範圍內
F1.2.07	侵蝕和堆積	削減會直接影響處置系統	隆起和侵蝕的設想相關，推估 1 萬年隆起 1 m~10 m，50 m 深度的處置場經過數萬年至數十萬年後，將可能接近地表，因此將於處置系統的狀態設定中考慮
F1.2.08	成岩作用	可以忽略對處置系統的影響	不考量
F1.2.09	岩鹽的貫入作用、溶解	於日本非必要明確的考慮	不考量

F1.2.10	地質變化所產生的水文學、水文地質變化	水溫、水質、水流梯度的變化造成裂縫形成的影響	可能使地下水流速或分配係數產生變化，因此考量 F1.2.02、F1.2.03、F1.3.07 以及處置系統狀態設定
F1.3.01	全球氣候變遷	影響 F1.3.02 區域、局部的氣候變遷、F1.3.03 海水位變動	將影響的 FEP(F1.3.03-F1.3.07)納入考量
F1.3.02	區域、局部的氣候變遷	影響 F1.2.07 侵蝕和堆積、F1.3.07 氣候變遷所產生的水文學、水文地質學變化	將影響的 FEP(F1.2.07、F1.3.07)納入考量
F1.3.03	海水位變動	影響 F1.2.02 地質構造變形、F1.2.07 侵蝕和堆積、F1.3.02 區域、局部的氣候變遷、F1.3.07 氣候變遷所產生的水文學、水文地質學變化	考量流出點變化、河川化、海水化、水流梯度變化等地下水遷移情節，另外在影響的 FEP 中，F1.2.07 及曝露路徑的設定皆納入考量
F1.3.04	冰河周圍的影響	於日本非必要明確的考慮	不考量
F1.3.05	局部的冰河和冰床影響	於日本非必要明確的考慮	不考量
F1.3.06	氣候暖化的影響	於日本非必要明確的考慮	不考量
F1.3.07	氣候變遷所產生的水文學、水文地質學變化	直接影響處置系統	考量海水位變動的最大影響，與 F1.2.10 組合考慮處置系統的狀態設定
F1.3.08	氣候變遷所產生的生態學變化	對處置系統的影響不明確	以現在的生態系和生活型態為前提
F1.3.09	人類對氣候變遷所產生的反應	對處置系統的影響不明確	不考量

另外，廢棄物安全小委員會報告書針對表 8.6 所示之人類活動對處置系統造成影響的 FEP 進行篩選，並選出開挖活動、地下活動、地表活動、水資源的取用、爆發和衝突等事件。在這些選出的事件中，對於餘裕深度處置等地下處置設施有直接影響可能性的事件為開挖活動和水資源的取用。

- (1) 地下活動為利用地下空間進行建設行為，而在考量利用地下空間時，透過事前調查得知有處置場存在的可能性極高，在得知有處置場存在後，蓄意入侵不為安全評估的對象。
- (2) 地表活動考量設定曝露劑量路徑。於地下水中遷移的放射性核種會影響水壩的建設，以及影響附近取用含水層水資源的水井和抽水站，因此必須考量設為其中一個變異狀態。餘裕深度處置位於數十公尺深，爆發和衝突所產生的影響可能性極小，因此於處置場的安全評估中不考量。綜合上述的考察，應考量的事件為：
  - 開挖活動：應考量開挖活動的起因所產生之狀態，設想為設置溫泉集水井而開挖達地下數十公尺深的調查豎井，由於此事件發生的可能性極小，因此考量將此事件所產生的狀態設為發生頻率極低的狀態。

- 工程障壁/天然障壁的損傷：此為考量開挖豎井對處置系統、工程障壁、天然障壁造成的影響。隨之產生的曝露劑量將藉由豎井孔，於地下水中遷移至人類生活環境，因此將對一般民眾的曝露劑量進行評估。

表 8.6 廢棄物安全小委員會報告書中所提出的人類活動相關 FEP

No.	事件	安全小委報告書的相關關係圖	餘裕深度處置之安全評價方法：2008 處理方式
F1.4.01	人類活動對氣候的影響	氣候變遷影響 F1.4.07 水資源的取用	考量 CO <sub>2</sub> 等暖化氣體的排放對長期氣候變遷的影響
F1.4.02	動機、認知	故意/偶然的入侵與破壞相關事件於 FEP 中考量，但非安全評估對象	安全評估不考量蓄意事件
F1.4.03	場址調查(非入侵行為)	已於 F1.4.02 動機、認知相關 FEP 中考量	不會對處置場造成直接影響，因此不考量
F1.4.04	開挖活動	選出對處置系統有影響的事件	鑿井等開挖活動將會對處置系統造成直接影響
F1.4.05	地下活動	選出對處置系統有影響的事件	為了利用地下空間，透過建設或利用地下空間前的事前調查得知有處置場存在的可能性極高，在得知有處置場存在後，蓄意入侵不為安全評估的對象
F1.4.06	地表活動	選出對處置系統有影響的事件	地表活動不會對處置場造成直接影響，由於同為地下水情節的考慮事項，因此不考量人間活動
F1.4.07	水資源的取用	選出對處置系統有影響的事件	處置場內外水資源的取用將會受到地下水流動的影響
F1.4.08	社會、制度的進展	已於 F1.4.02 動機、認知相關 FEP 中考量	不會對處置場造成直接影響，因此不考量
F1.4.09	技術的進展	除了 F1.4.10 改善行為外，已於其他全部的 FEP 中考量，特別是 F1.4.02 動機、認知相關	技術的進展會對未來人類的活動產生影響，但不會對處置場產生直接的影響，並且進展的方向無法預測，因此不考量
F1.4.10	改善行為	安全評估不考量為了改善廢棄物處置場問題的行為	安全評估不考量為了改善處置場問題的行為
F1.4.11	爆發和衝突	選出對處置系統有影響的事件	餘裕深度處置位於數十公尺深，爆發和衝突所產生的影響可能性極小，由於輻射影響之外的影響較大，因此不考量輻射影響

原子力安全委員會表示，評估期間較長的安全評估適用「風險論的考量方法」，其報告指出下列考量事項：

- (1) 長期安全評估中，有關情節發生的可能性評估，其不確定性將會特別大，因此基於此點的相關考量將會非常重要。
- (2) 統一的輻射防護基準並不適用於全部情節，因此必須判斷輻射防護條件對於情節發生的可能性是否充足。
- (3) 必須系統性的考量各種不確定性、分析可能對處置系統特性、影響功能的事件與現象，以及其對處置系統狀態所造成的變化相關要素，並盡可能選擇涵蓋的情節。
- (4) 選擇涵蓋的情節時，應盡可能確實分析影響的起因事件與其各種的變遷過程，國際間稱此方法為 FEP 分析。

根據此考量方法，持續整理地質環境和處置設施的基本條件與變異條件，並確保處理不確定性時的相關透明性和可塑性，嘗試設定發生可能性較高的處置系統狀態。

圖 8.4 為處置系統狀態設定的考量方法，左側主要為處置系統狀態設定的技術判斷流程，右側為基於判斷所實施的各種技術檢查流程。

然而基本上，評估與判斷的程度將會隨著從上側流程至下側流程的方向而變深，直至最終處置系統的狀態設定。實際上也會有過程途中返回上側再檢討的事例，例如依據整理過後的處置系統狀態而重新修改處置設施的設計、對應的必要前提條件、以及重新進行分析。

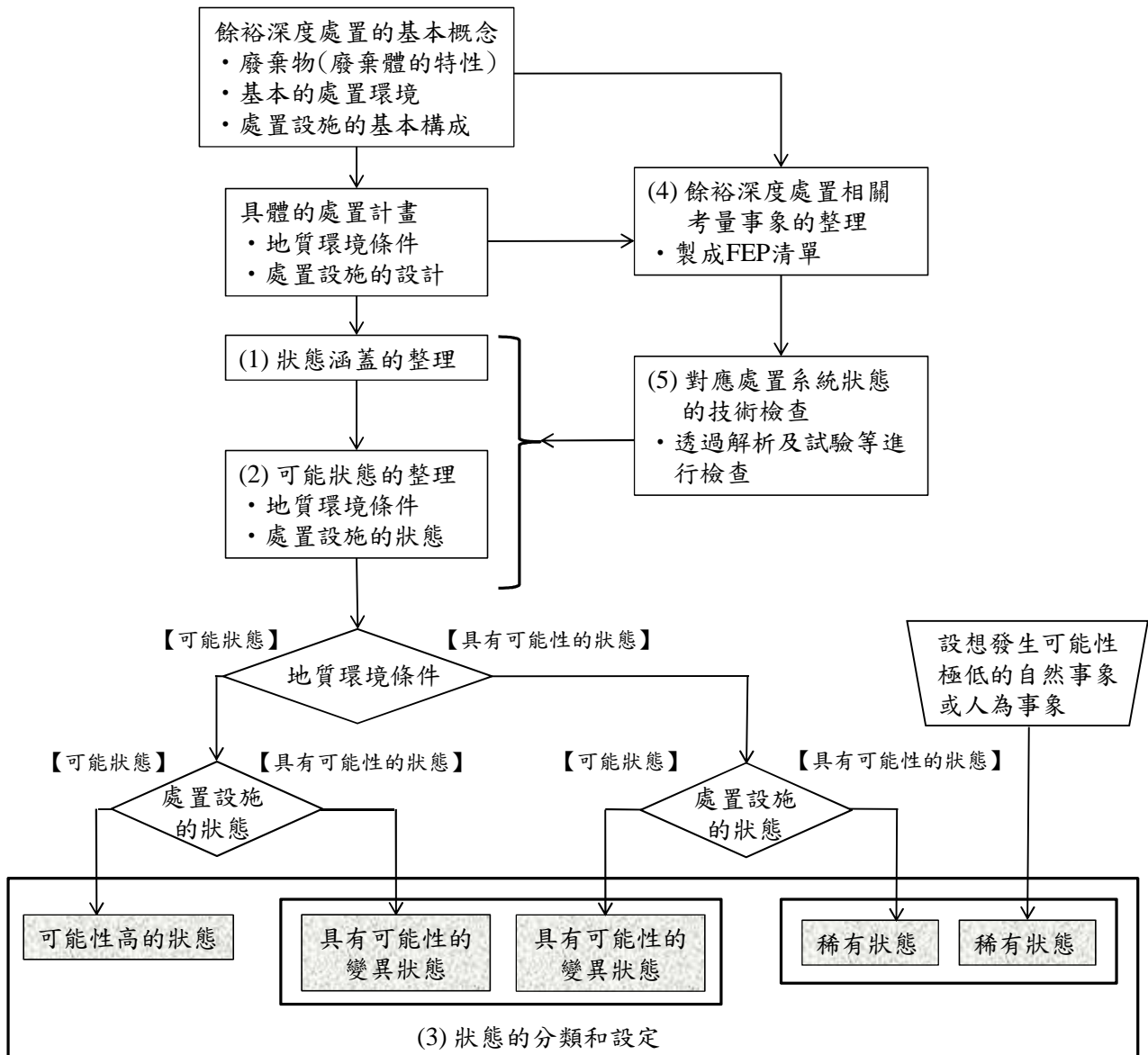


圖 8.4 處置系統狀態設定的考量方法

## 8.4.2 處置系統狀態設定的考量方法

以圖 8.4 處置系統狀態設定的考量方法為基礎，將 FEP 分析的國際情節開發方法流程及 FEP 的篩選過程結合至處置系統的狀態設定，其考察的具體流程如圖 8.5 所示。

圖 8.5 之左側部分主要是進行技術判斷處置場狀態設定的方法，也就是從狀態涵蓋的整理至可能狀態的整理期間；右側部分是以區分後的各種技術檢查結果為依據，做出技術判斷的階段。以此技術上的判斷為中心，按照(1)至(3)階段，並於技術上考量不確定性，將可以整理處置系統的可能狀態等。

### (1) 狀態涵蓋的整理

處置系統狀態設定的對象，為與障壁機能相關之各類評估參數。然而評估參數中，亦有相當數量的參數對最終劑量評估結果並不敏感。因此，於整理處置系統涵蓋的狀態時，應參考廢棄物處置對象的特性，以及處置計畫的劑量評估成果等，選出重要的主要障壁機能和評估參數，並進行整理。

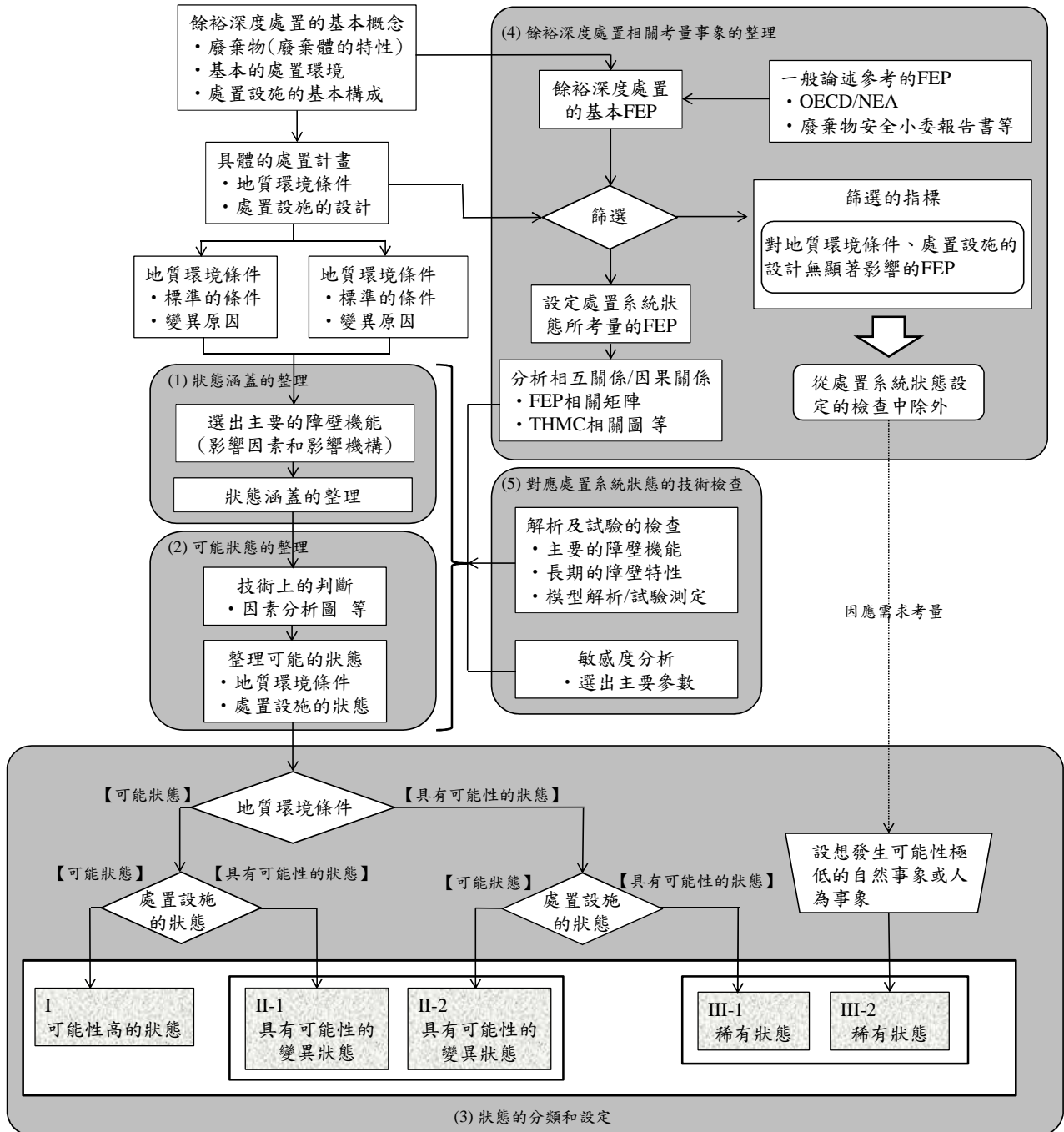


圖 8.5 處置系統狀態設定的具體流程

## (2) 可能狀態的整理

為了進行處置系統的狀態設定，必須整理、記述處置系統範圍中，所發生之可能的狀態。藉此，應考量地質環境條件與處置設施的設計，以及其變化的相關情報，並選出處置系統的主要障壁機能與影響其狀態的因素。更進一步的將參考以具體處置計畫為基礎的技術檢查，從技術上的資訊選擇應考慮的事項，若評估期間較長則考量可能的變化，並記述可能性較高的狀態。另外影響因素中，必須紀錄必要考量事項的選擇過程，用以能確保處置系統狀態設定的可塑性和透明性，也能妥當的提示此時間點中，以知識為基礎的設施設計和評估。

此外，參考技術的檢查須考量不確定性，技術上的判斷地質環境條件和處置設施的各種可能狀態或可能性的狀態。然而有關各種的狀態設定存在多種解析模組的方法時，將盡可能的運用多種方法以實施解析檢查，並以這些評估結果為依據，充分的考察解析方法或解析模組所存在的不確定性，以及解析用數據的變異相關影響，用以技術上的考慮狀態設定之可能範圍。另外有關試驗的檢查，應充分進行試驗條件等相關的不確定性考察，用以技術上的考

慮狀態設定之可能範圍。

### (3) 狀態的分類和設定

地質環境條件與處置設施的各自可能狀態或可能性的狀態對象中，將可能狀態和可能性作為指標，選定與基本、變異和人為、稀有事件等各個安全評估情節，以及其處置系統狀態，接著與各自的指標組合後，設定與處置系統狀態相關的障壁材料物性。處置系統狀態的結果如圖 8.5 所示分為 I~III 三類。

#### • I. 可能性高的狀態

地質環境條件係以地質環境等的調查為依據所設定的狀態。處置設施的狀態在此地質環境條件下，考量處置設施的設計規格和管理要素，設定可能的狀態變化。基本上藉此，設定一個可能性高的處置系統狀態，並適用於基本情節的安全評估。

#### • II-1. 具可能性的變異狀態

地質環境條件係以地質環境等的調查為依據所設定的狀態。處置設施的狀態在此地質環境條件下，考量處置設施的設計規格和管理要素所存在的不確定性，設定具有可能性的狀態變化。處置系統的狀態可以包含「可能性高的狀態」以外多數處置設施的狀態，並適用於變異情節的安全評估。

#### • II-2. 具可能性的變異狀態

地質環境條件係以地質環境等的調查為依據，設想不確定性和考慮其變異因素的可能性狀態。處置設施的狀態為具有可能性的地質環境狀態設定下，考量處置設施的設計規格和管理要素所設定的可能狀態。處置系統的狀態可以包含「可能性高的狀態」以外多數的地質環境條件，考量組合與其對應的一個處置設施可能狀態，同時也適用於變異情節的安全評估。

#### • III-1. 稀有狀態

地質環境條件係以地質環境等的調查為依據，設定具有設想不確定性和考慮其變異因素的可能性狀態。處置設施的狀態為具有可能性的地質環境狀態設定下，考量處置設施的設計規格和管理要素所存在的不確定性，並設定具有可能性的狀態。此設定狀態為將考量不確定性的地質環境條件和考量不確實性的處置設施狀態進行組合設定的處置系統狀態。存在的理論將隨著狀態的組合而得以區分，同時也適用於人為、稀有事件情節的安全評估，相較於 II-1. 和 II-2 所區分的狀態，其可能性明顯較小。

當該處置系統狀態作為評估對象在選定安全評估情節時，必須充分考量技術上的合理性，以及充分檢查與 III-2 稀有事件所設定的狀態涵蓋性等。

#### • III-2. 稀有狀態

依據上述具體處置計畫的起始技術檢查，設定處置系統狀態和其他狀態。適用人為、稀有事件情節的處置系統稀有狀態為慎重起見的評估當發生對處置場性能影響顯著的外部事件或人類活動等無法預期的狀況時，所對應的處置系統設計是否妥當。藉此設想發生可能性極低的自然現象或人為事件，進而設定處置系統的狀態。然而設想稀有狀態時，FEP 分析過程中所除外的事件，仍需考量其無法預期的狀況。

另一方面，技術上的檢查基本上是從(4)中選出重要的考量事件與現象，接著經由(5)的解析及試驗進行檢查，其結果有助於處置系統狀態的相關技術判斷。必要時，將再檢查處置計畫的細節，以及再次整理考量的事件與現象。(4)和(5)技術上檢查的概要如下所示：

### (4) 餘裕深度處置相關考慮事件與現象的整理

餘裕深度處置的處置系統狀態上，為了避免遺漏處置系統長期所產生的重要事件與現象，應選出重要的事件與現象，而選出的重要事件與現象將透過 FEP 分析整理。FEP 分析為參考 OECD/NEA 等國際上的 FEP 清單，以及既有的研究所構築的 FEP 清單等，製成以餘裕



深度處置基本概念為依據的 FEP 清單。為了考量處置系統所產生的各種事件，將整理設定的 FEP 與 FEP 之間的相互關係，並選出與整理重要的連鎖影響。檢查 FEP 間的相互關係時，將運用 FEP 分析時一般所使用的各種方法，具體的方法為將各 FEP 以矩陣的形式表記，並連結具有相互關係的各個 FEP。

#### (5) 對應處置系統狀態的技術檢查

處置系統的狀態設定中所必須考量的重要事件與現象，係以具體的處置計畫為基礎，實施解析檢查及試驗檢查，並針對主要的障壁機能長期變化進行相關技術的檢查。此時必須從多種技術觀點檢查專家學者的共識度、資訊的充實度、天然類比的檢視、預測所使用的基礎數據確證性、預設方法的認證等。

另外關於檢查解析及試驗，(1)中所示基於有效的選出處置系統狀態設定中重要的主要障壁機能，將以廢棄物處置對象的特性及具體的處置計畫為依據，進行劑量評估敏感度分析。

關於(4)和(5)的關係並非只能單一從上側開始往下側方向進行，而是兩者適當的反覆檢查，鎖定處置系統狀態設定上必須考量的影響事件與現象。

### 8.4.3 作為技術檢查對象的主要事件和物性變化

主要的障壁機能是以既有的土木工學相關技術資訊，以及既定的日本原子力學會標準為依據，技術檢查其狀態上所考量的主要事件，能以現在可以利用的方法進行評估的事件項目如下所示。

然而，此處所示之事件和方法的選擇是以檢查後的現狀技術資訊結果為基礎，因此可另外採用與處置設施設計對應，以及與最新技術和資訊對應的更合適方法進行。

#### (1) 膨潤土材料的相關事件和物性變化

為了確保膨潤土材料回填後於浸潤飽和時能發揮所定性能，在設計、施工時應考量膨潤壓、不均一性、沉陷時的密度及厚度變化。若膨潤土材料的評估期間較長，則應考量可交換陽離子的鈣型化，以及蒙脫石與相關礦物的溶解和二次礦物的生成等物性變化。在此情況設定滲透係數等膨潤土材料的狀態時，必須評估高鹼性孔隙溶液的移動、膨潤土材料的鈣型化、以及鹼性變質的程度所對應的處置系統狀態。

高鹼性孔隙溶液對膨潤土結構成分的化學變化及物理變化相關試驗研究眾多，蓄積著各種資訊。其中可交換陽離子的變化及高鹼性孔隙溶液使蒙脫石或相關礦物發生溶解和二次礦物生成的變質現象評估方法，目前已提案多種解析模型。例如實施鈉型膨潤土或鈣型化的膨潤土材料之滲透性等相關多數試驗，並整理其影響。另外有關蒙脫石或相關礦物的鹼性變質，過去提案是從化學平衡反應為基礎的熱力學模型，導入遷移狀態理論為基礎的溶解速度，近年為評估有關未平衡領域的速度論經驗法則，依據實驗確認溶解速度的評估，並將之定式化以及進行多種嘗試。更進一步的將具有膨潤性的蒙脫石密度作為指標，並考量孔隙溶液的環境條件，整理膨潤土材料物性的及力學的特性變化。

評估膨潤土材料的狀態時，將於其中選定與構件暴露環境條件對應的適當模型，並評估其物性變化。然而，膨潤土材料的重要障壁特性參數中，滲透係數是以物理、力學特性變化所呈現出的密度為基本指標，並考慮試驗材料的規格和障壁特性而實施系統上的滲透試驗等所整理出的結果，因此可另外以膨潤土材料的基本規格和障壁特性為出發點，設定與評估上所設想的處置設施狀態相對應的值。

餘裕深度處置將設想使用高密度的膨潤土材料，其放射性核種的吸收分配係數可以 AESJ-SC-F008:2006 的擴散法測定。由於試料按照規格製作，初期狀態的相關測定準確度較高，因此膨潤土材料與評估上設想的處置設施狀態所對應的化學或物裡狀態變化，將必須實

施與狀態變化相對應的系統試驗或解析檢查。然而在實施試驗時，由於主要參數是以相關輻射劑量的敏感度分析結果為依據，因此必須考量其重要性。

## (2) 水泥材料的相關事件和物性變化

水泥材料的設計、施工是讓其於服務期間，具有抵抗外力作用的構造耐力及水密性。但是於硬化的過程中，水泥的水化熱及自我收縮，以及硬化後初期時的乾燥收縮，或營運、施工時所引起的外力，皆可能產生裂隙。雖然建設不具有裂隙的水泥材料構造物相當困難，但是目前具有多種抑制裂隙發生的設計法及預測、評估方法，因此即使會有裂隙，仍可以建設具有所定性能的構造耐力及水密性。

此外，水泥材料含有水溶性的水泥水化物，於長期的評估期間，水泥水化物的溶出和二次礦物的生成將會使其物性變化。水泥水化物的溶出和溶出所伴隨的現象評估關係是以經驗規則和實驗為基準，進行劣化的發展預測，並考量水泥水化物的溶解速度及物質遷移速度，進行解析上的進展預測，同時也考量溶出部位的物理、力學特性變化，進行評估和各種檢查。

評估水泥材料的狀態時，將選定與構件暴露環境條件對應的適當模型，並評估物性變化。然而，水泥材料的重要障壁特性參數中，擴散係數是以水泥水化物的溶出導致孔隙率變化為指標，並考慮試驗材料的規格和障壁特性而實施系統上的擴散試驗等所整理出的結果，因此可另外以水泥材料的基本規格和障壁特性為出發點，設定與評估上設想的處置設施狀態相對應的值。

水泥材料的擴散係數可以 AESJ-SC-F008:2006 的擴散法測定。另外，放射性核種的吸收分配係數與環境條件對應，可以 AESJ-SC-F003:2002 以及 AESJ-SC-F008:2006 測定。由於試料按照規格製作，初期狀態的相關測定準確度較高，因此水泥材料與評估上設想的處置設施狀態所對應的化學或物理狀態變化，將必須實施與狀態變化相對應的系統試驗或解析檢查。

另一方面，技術上評估長期間後的裂隙狀態，以及技術上評估水泥材料劣化部位的核種遷移狀態可能相當困難。因此在此情況下，將參考主要參數的相關輻射劑量敏感度分析結果，綜合考量裂隙受外力影響的長期行為、鋼材腐蝕產生銹蝕應力使結構構件發生變形的行為、以及因腐蝕生成物的蓄積產生銹蝕應力的可能性，最後以技術判斷為基準，綜合評估且設定水泥系材料不適用於原本擴散係數的劣化領域狀態，以及所估的比例。

## (3) 金屬材料的相關事件和物性變化

處置設施中，除了鋼筋等作為鋼材使用的炭素鋼以外，也存在對應使用環境而開發作為廢棄物相關的各種金屬材料。金屬材料的種類將會因為溫度、pH、溶解含氧量的有無等不同環境條件，而產生相異的腐蝕機構與形態等腐蝕行為。為此，表 8.7 為測定各種腐蝕速度的提案方法。隨著表面腐蝕生成物的蓄積，腐蝕速度將會產生變化，因此，評估中所考量的金屬材料狀態不僅只有與處置設施狀態設定關連的鋼筋等鋼材，同時也必須檢查伴隨腐蝕而釋出的放射性核種，其相關的金屬廢棄物等多種事項。

金屬材料的狀態與處置設施的狀態對應，金屬材料的種類與環境條件對應，因此將參照經考量腐蝕反應後所實施的腐蝕試驗結果。接著根據其結果，設定伴隨腐蝕而釋出的放射性核種評估參數，同時也考量腐蝕生成物的蓄積對環境條件以及周圍障壁材料的狀態影響，並評估對周圍障壁材料所造成的物性變化。

表 8.7 金屬材料的腐蝕速度測定方法

方法	概要	備註
重量變化法	於浸泡試驗前後，測定試驗片的重量變化	重量變化較小時，評估較為困難
厚度測定法	於浸泡試驗前後，測定試驗片的厚度變化	厚度變化較小時，評估較為困難
溶液中金屬離子測定法	浸泡試驗後，測定浸泡液中的金屬離子含量	會因腐蝕生成物而產生誤差
氫生成測定法	測定產生腐蝕反應時的氫生成量	只適用於非耗氧型腐蝕
氧消耗測定法	測定產生腐蝕反應時的氧消耗量	只適用於耗氧型腐蝕
電阻法	測定腐蝕變化的試體截面積電阻	必須間接的檢測，以及將試驗片加工成較精密的形狀
電化學測定法	以電化學方法測定腐蝕行為 • 定電位分極法 • Tafel 外插法 • 分極抵抗測定法 • 阻抗測定法	• 必須間接的檢測 • 必須使用專用機器
偏光解析法	以光學位移評估表面的腐蝕生成物	• 必須間接的檢測 • 必須使用專用機器

#### (4) 處置系統地下水流動的相關事件和物性變化

地下水存在於地層中空隙或岩盤中裂隙的部分，與其各自對應的是將空隙視為連續的多孔，用以描述地下水流動的方法；以及將裂隙視為平行平板，用以描述地下水流動的方法；或是介於兩者之間的處理考量方法等，有多種對應地質介質與水理特性，用以考量地下水流動方式的流動解析方法。

為了評估處置系統地下水流動的相關狀態，將以現地調查等依據，構成處置系統地質環境條件。例如先掌握地質、水理、地球化學等諸多特性的現狀，製成適當表示處置系統水理地質的模型。接著對應設想的核種遷移路徑水理特性，選擇前述兩種方法的其中一種，或是將其組合運用，製成地下水流動解析模型。有關製成的地下水流動解析模型，可以藉由解析結果和現地實測結果的比較，用以確認解析模型的妥當性。

運用整理過後的地下水流動解析模型，可以進行有關處置系統核種遷移路徑的地下水流動狀態評估。此時必須依據作為對象的地質環境條件，適當的設定水流梯度等邊界條件。評估期間較長時，基於考量氣候變遷及地形變化的影響，將調查該處過去有關地質環境條件變化的紀錄，並對照具體的處置計畫進行評估。

關於入侵至處置設施，並與廢棄物接觸的地下水流量，將採用其地下水解析方法進行解析上的計算，並根據其結果設定設施的入侵水量。此時必須依據處置設施狀態的相關檢查，設定廢棄物層、水泥材料層及膨潤土材料層等構成處置設施構件的滲透係數。在評估這些結構構件的滲透係數時，可以使用上述的流動解析方法進行評估。然而，有關作用於處置設施的水流梯度，將依據作為對象的地質環境條件，或考慮處置設施的狀態進行設定。

測定地質媒介的放射性核種吸收分配係數時，在較淺且具有堆積岩的位置可以視為多孔

介質，並基本上適用於 AESJ-SC-F003:2002。其中在設定數值時，必須參考既往的文獻及 AESJ-SC-TR001:2006，並充分檢查測定值的變異，若測定值呈平均分佈，則可以將其中央值作為可能的狀態加以運用。然而，於有裂隙介質的分析部分，必須考量地質媒介的特性和地質環境條件是否仍適用於 AESJ-SC-F008:2006。

#### (5) 氣體產生影響的相關事件和物性變化

當金屬材料接觸到水或於溶解含氧量低的還原態環境時，金屬材料中特別是鐵系材料將會伴隨著腐蝕產生氫氣。因此於廢棄物附近，應考量廢棄物中或處置容器內殘留的水分，以及地下水入侵至廢棄物因輻射分解而產生的氣體。另外也會因為微生物分解有機物而產生各種氣體。這類由各種機構產生的氣體依據既往的研究以及周圍障壁材料的狀態，應考量產生的氣體於處置設施內部蓄積時，對處置系統狀態影響的可能性。另外也考量氣體的產生使處置設施內部空隙水被擠出的影響。

若氣體的產生將會使處置設施狀態或障壁性能等產生顯著的影響時，必須適當的反映於處置系統狀態的設定和分類。

### 8.4.4 主要障壁機能所對應的要素分析

餘裕深度處置以具體的處置計畫和技術檢查為基礎，實施處置系統的相關狀態設定，其中在主要障壁機能所對應的要素分析案例中，有關膨潤土材料的部分如圖 8.6 所示；而水泥材料的部分則表示於圖 8.7。另外，製作與使用要素分析圖進行相關檢查、製成、分析案例的解析、利用時，必須留意下列幾點：

#### (1) 製作要素分析圖

在研討要素分析圖時，應注意處置系統的狀態分類中，主要分支點的障壁機能，並系統的整理會使該機能產生影響的要素，用以建構要素分析圖，並藉此整理各個要素的判斷方法。

為了確實的選擇所考量的處置系統狀態，不一定需要提前設想地質環境條件和設施設計，而是廣泛的網羅最終判斷要素，並且記述專家判斷的選擇過程及根據。為了記述專家判斷的選擇過程及根據，並依此製成要素分析圖，將選出對處置系統狀態具有影響的要素、地質環境條件、設施設計，並且依據技術上的資訊，確實的分開紀錄應考量的事項和不必要考量的事項。

#### (2) 要素分析圖的案例

以具有主要障壁機能的膨潤土層之滲透性能和水泥材料之擴散機能作為對象，舉例說明要素分析圖的應用方式，其要素分析圖分別表示於圖 8.6 與圖 8.7。

圖 8.6 與圖 8.7 的要素分析圖以主要障壁機能作為起點，從專家的資訊中選出對該障壁機能具有影響的要素，進行系統的整理與記述過程。第一個領域為整理支配障壁機能的障壁特性相關既有特定資訊，第二個領域為記述具有讓第一個領域所表示之特性可能產生變化的影響要素。第一個領域和第二個領域皆可因應需求詳細化其內容。而第三個領域與第二個領域所記述的影響要素相關，記述地質環境條件及處置設施的設計，並且依據技術上的資訊進行判斷。

製成時，將也參考其他用途所製成的 FEP 及 THMC 表格檢查結果，以避免遺漏重要的要素。整理後的各個項目將依據地質環境條件、處置設施的設計及既有的資訊等，判斷是否應於設定的通常狀態中加以考慮，並且將其結果合併於圖中表示。非以粗框及粗線表示的要素為設想有關障壁機能長期變化的通常狀況考量項目，根據地質環境條件和處置設施的設計列出可能的狀態。

#### (3) 要素分析圖的利用

在使用要素分析圖時，可以將項目加以區分，區分的方法為將可能性高的處置系統狀態列為技術評估上應考量的項目，其餘則判斷為通常狀況下無法進行技術上設想的項目。基於前者，處置系統的狀態設定為針對技術上可能的障壁機能進行評估，加上後者，處置系統的狀態設定為考量未來的變異要素，檢查處置系統的狀態並評估其影響。由此可知，要素分析圖可以記述各個安全評估情節所對應的處置系統狀態。

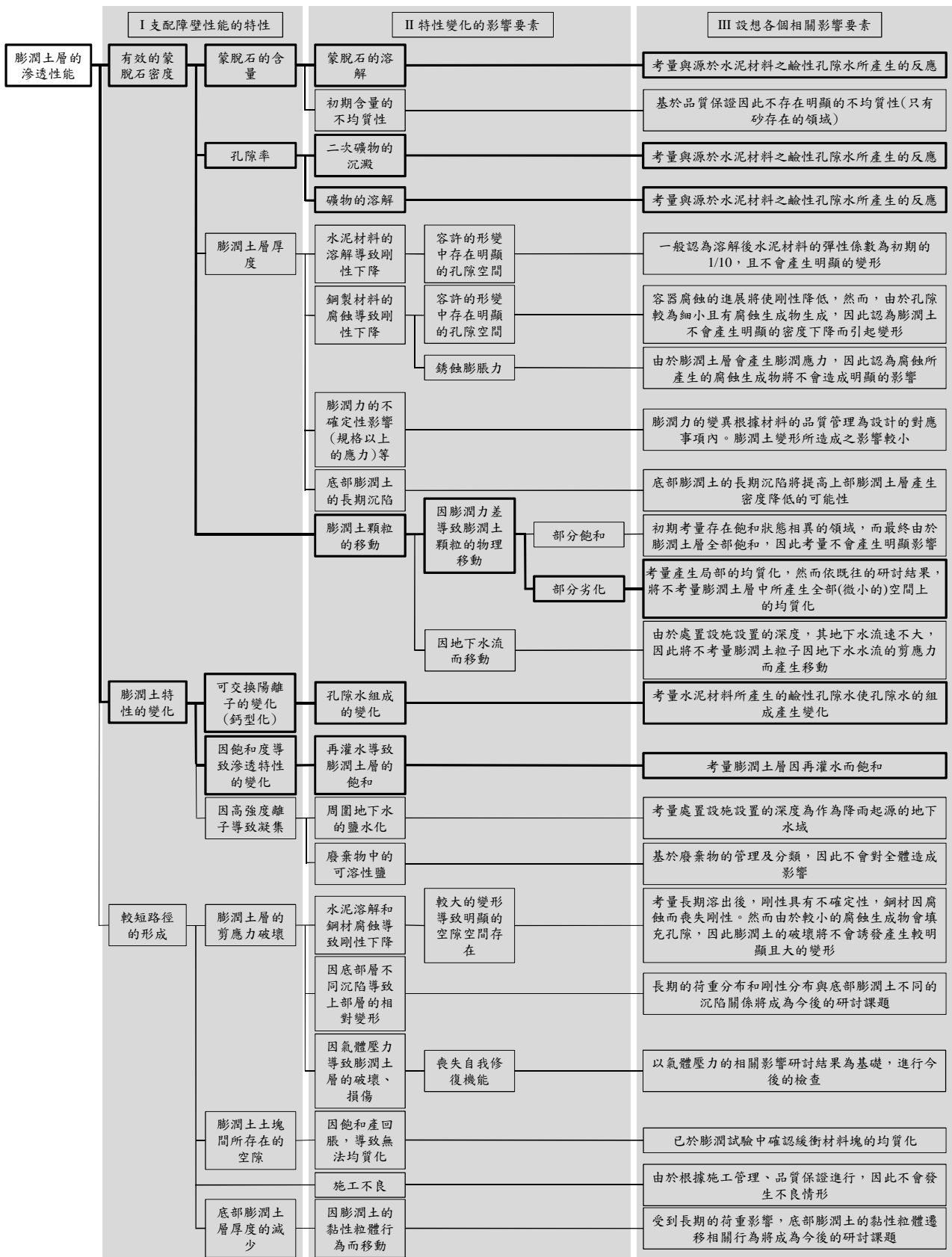


圖 8.6 膨潤土材料的滲透性能所對應的要素分析圖案例

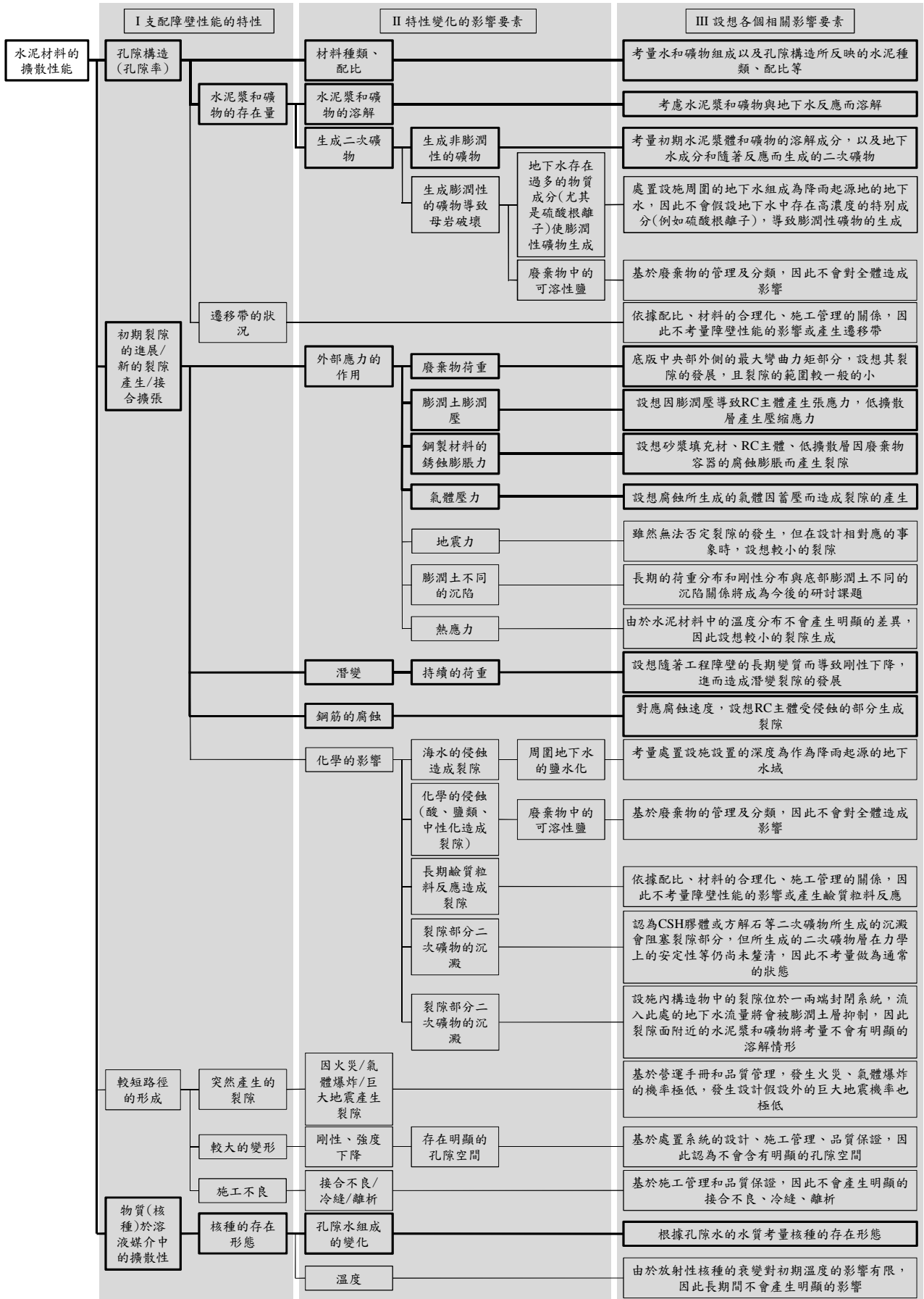


圖 8.7 水泥材料的擴散性能所對應的要素分析圖案例

## 8.5 各類情節的安全評估方式

### 8.5.1 管理期間內的安全評估

有關管理期間內營運情節的安全評估，主要是針對從廢棄物中釋出的輻射曝露劑量進行評估，包含正常時氣體廢棄物與液體廢棄物所釋出的曝露劑量，以及異常時放射性核種所釋出的曝露劑量。

營運中釋出的放射性核種對一般民眾所形成的曝露劑量路徑，目前在既有的原子力設施中，將針對以下路徑進行評估：

- (1) 排氣中的放射性核種造成外部曝露劑量
- (2) 排氣中的放射性核種經由呼吸攝取造成內部曝露劑量
- (3) 地表沉積的放射性核種所造成的外部曝露劑量
- (4) 攝取農、畜產物所產生的內部曝露劑量
- (5) 排水中的放射性核種所形成的外部曝露劑量
- (6) 攝取遷移至海產物中的放射性核種所造成之內部曝露劑量
- (7) 從保管放射性廢棄物設施釋出的伽瑪射線所造成的曝露劑量

將以上路徑經整理後，可區分為下列項目：

- 從廢棄物釋出的輻射所產生的曝露劑量：(7)
- 隨著排氣而釋出的放射性核種所產生之曝露劑量：(1)、(2)、(3)、(4)
- 隨著排水而釋出的放射性核種所產生之曝露劑量：(5)、(6)
- 事故時放射性核種的釋出所造成之曝露劑量

### 8.5.2 管理期間結束後的安全評估

#### (1) 基本情節

於處置系統可能性較高的狀態中，評估放射性核種的遷移與一般曝露路徑的曝露劑量。

#### (2) 變異情節

於處置系統具有可能性的變異狀態中，評估放射性核種的遷移與一般曝露路徑的曝露劑量。或是於處置系統可能性較高的狀態中，評估放射性核種的遷移與可能性較低的曝露路徑之曝露劑量。為了確保變異情節的網羅性，將設想複數處置系統具有可能變異的狀態，或可能性較低的曝露路徑及其組合。

#### (3) 人為、稀有事件情節

設想大規模地震等突發事件的影響，評估處置系統稀有狀態的放射性核種遷移與一般曝露路徑的曝露劑量。若必要時將以處置系統可能性較高的狀態為對象，進行可能性極低的曝露路徑之曝露劑量評估。

### 8.5.3 處置系統放射性核種的遷移

處置系統放射性核種的遷移主要是因為地下水的流動，或於地下水中的擴散所造成。為了評估放射性核種的遷移，必須掌握處置系統全體及細部的地下水流動情形。地下水流動的基本方程式如式(8.1)所示。基準狀態的生成項為代表標準狀態下的地下水揚水量或注入量。水頭為對應大氣壓的壓力，並以水頭(m)表示。

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{k_x(t)(\partial H(t))}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{k_y(t)(\partial H(t))}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \frac{k_z(t)(\partial H(t))}{\partial z} \right) - q_0 = S_s(t)$$

(8.1)

其中  $H(t)$ ：位置  $(x,y,z)$ 、時間  $t$  的總水頭 (m)

$h(t)$ ：位置  $(x,y,z)$ 、時間  $t$  的水頭 (m)

$x, y, z$ ：空間座標

記號	參數名稱	推薦值
$k_x(t), k_y(t), k_z(t)$	位置 $(x,y,z)$ 、時間 $t$ 的 $x, y, z$ 方向滲透係數 (m/yr)	以處置系統的狀態設定為基礎，設定對應的媒介
$q_0(t)$	位置 $(x,y,z)$ 、時間 $t$ 的基準狀態生成項 ((m <sup>3</sup> /yr)/m <sup>3</sup> )	邊界以外通常為 0
$S_s(t)$	位置 $(x,y,z)$ 、時間 $t$ 的比貯率 (1/m)	以處置系統的狀態設定為基礎，設定對應的媒介

關於不飽和狀態的基本式，由於是代入體積含水率及不飽和滲透係數，因此以相同的基本方程式記述。而於飽和狀態中，在決定地下水的流動時，由於滲透係數具有空間分布和邊界條件(地形及周圍的水頭)，因此若於長期的時間，必須考慮時間的變化。另外，若考量氣體的產生所伴隨的影響，則將氣相與地下水代入相同的基本方程式中，並且將兩者合併進行解析。構成處置系統的地質條件及處置設施，其狀態將會隨著時間的經歷而產生複雜的變化，並且根據模型化的形狀或時間的變化，評估模型的表現也將會有所差異。為此，本體放射性核種的遷移評估模型將以一般的移流擴散方程式表示。

### (1) 基礎方程式與適用

具體的設想放射性核種的遷移路徑，並依特徵將遷移路徑分割成複數個領域，一般的移流分散方程式能模組化成 1 維模組或要素模組。然而，與處置系統狀態對應的參數會隨著時間變化，因此移流分散方程式的各參數將以時間函數表示，當時間函數的參數設定較為困難時，將考量把涵蓋時間變化的階段性變化作為函數形式，並給予數值進行設定。

### (2) 領域區分與邊界條件

廢棄物中的放射性核種在流入地表水系之前的遷移路徑上，存在著各種工程障壁及天然障壁。關於這些領域中適用於一般移流擴散方程式的部分，為了不讓解析的負荷過大，將對應傳輸特性進行領域區分，並且必須適當的模組化各個領域。一般而言，將相同傳輸特性的領域整理為一個，並適當的連接各個領域的邊界條件，此情況也適用於保守的 0 濃度邊界條件。另外，考量各領域狀態隨時間經歷而緩慢變化，當領域分割時，必須考量遷移路徑的狀態變化。

### (3) 模組化領域時的注意要點

放射性核種藉由擴散或移流在媒介中遷移。在模組化各領域時，必須考量有無生成項、吸附特性、空間上的擴大難易、有無裂隙等易於地下水流動的路徑等，並且採用可以表現各領域核種傳輸特性的模型。另外，於領域內若預想有較快的移流或擴散作用時，則作為均一混合領域加以考量。

### (4) 模組化對應的處置系統狀態

作為本標準對象的餘裕深度處置基本概念為於抑制核種遷移機能高的地層中，設置具有和混凝土處置窖同等以上的核種密閉機能設施，主要將處置放射性金屬的鋼製容器廢棄物以



及含有樹脂的廢棄物。處置設施的設計中，主要使用膨潤土材料相關設施達成抑制入侵水量的預期效果；使用水泥材料相關設施達成抑制核種遷移擴散的預期效果。地質環境條件方面，於此深度的地質中可以預期具有較低的溶解含氧量及溶解鹽濃度，且擁有地下水流速較為緩慢的地質環境條件。另外，比起實施近地表處置，深地層處置較不易直接受到地表的侵蝕及氣候、海水位變動的影響，因此可以期待能長期維持設計上所設想的處置系統抑制核種遷移機能。在評估地下水造成放射性核種遷移時，可考量將下列放射性核種的抑制遷移機能作為模型：

- 容器中收納的放射性金屬因腐蝕而釋出放射性核種。
- 隨著地下水流入與流出膨潤土而產生放射性核種的遷移。
- 水泥材料(低擴散層)中的擴散所產生的放射性核種遷移。
- 岩層中流動緩慢的地下水所伴隨著放射性核種的遲滯遷移。

#### 8.5.4 輻射曝露路徑

作為放射性核種釋出至生活環境的路徑模型為先設想大氣、河川、湖泊、沼澤等地表水系，當地表附近土壤中存在放射性核種時，評估其輻射曝露路徑以及曝露劑量，並且盡可能使用較符合現實狀況的適當模型及參數。

根據既有的評估結果(原子力安全委員會「發電用原子爐設施有關一般民眾的輻射當量評估安全審查」)，放射性核種釋出至大氣的輻射曝露路徑中，由放射性雲所產生的外部輻射曝露劑量相較於其他路徑明顯較小，因此將這些路徑去除後，針對以下路徑進行評估：

- 因吸入空氣中的放射性核種而產生的曝露劑量
- 沉積、蓄積於地表的放射性核種所產生的外部曝露劑量
- 因攝取農畜產物而產生的內部曝露劑量

由於這些曝露路徑皆有被既有的相關辦法規定，因此有關評估的方法和評估的參數，可參考以下辦法進行設定：

- (1) 原子力安全委員會，「發電用原子爐安全解析的相關氣象辦法」，1982年1月28日決定，2001年3月29日修訂。
- (2) 原子力安全委員會，「發電用原子爐設施有關一般民眾的輻射當量評估安全審查」，1989年3月27日決定，2001年3月29日修訂。
- (3) 原子力安全委員會，「發電用輕水型原子爐設施周圍的劑量目標值相關辦法」，1989年3月27日決定，2001年3月29日修訂。

放射性核種遷移至地表水系(含水層、泉水、河川、湖泊、沼澤或海)時，將對應地表水系的特性(流量、水質)設定不同的曝露路徑及發生的可能性。表 8.8 為對應地表水系的流量及水質所設想的曝露路徑和發生的可能性。此分類係以安全評估情節的分類考量方法為基礎，將曝露路徑的分類和處置系統狀態的分類合併，再區分為基本情節、變異情節和人為、稀有事件情節三種分類。

表 8.8 地表水系的特性和曝露路徑

曝露路徑的分類	地表水系	具體的曝露路徑
一般的曝露路徑	流量 $10^7 \text{ m}^3/\text{yr}$ 以上的河川、湖泊或沼澤(淡水)	攝取飲用水 攝取利用灌溉水的農耕、農作物 攝取利用飼育水的畜產物 攝取水產物 河川岸或湖泊沼澤岸活動
	流量 $10^7 \text{ m}^3/\text{yr}$ 以上的湖泊或沼澤(淡水或鹽水)	攝取水產物 河川岸或湖泊沼澤岸活動
	海(鹽水)	攝取水產物 海岸活動
可能性較低的曝露路徑	流量 $10^5 \text{ m}^3/\text{yr}$ 以上，未滿 $10^7 \text{ m}^3/\text{yr}$ 的泉水、河川、湖泊或沼澤(淡水)	攝取飲用水 攝取利用灌溉水的農耕、農作物 攝取利用飼育水的畜產物
可能性極低的曝露路徑	流量未滿 $10^5 \text{ m}^3/\text{yr}$ 的含水層或泉水	攝取飲用水

### 8.5.5 核種、元素的評估參數

#### (1) 作為分析對象的放射性核種

餘裕深度處置對象的廢棄物包含各種不同的放射性核種濃度及不同的半衰期放射性核種。原子力安全委員會放射性廢棄物安全基準專門部會的第三次期中報告中表示，於原子爐生成的主要放射性核種中，半衰期 1 個月以上的放射性核種共有 186 種，選定其中經 300 年後，濃度推測仍會超過政令濃度上限值  $0.01 \text{ Bq/g}$  的核種，以及加上六所村低放射性廢棄物處置中心事業許可申請書中所記載的放射性核種，共計 38 種核種作為評估對象核種。另外第二次 TRU 廢棄物處置研究開發也以 46 種核種作為評估對象。結合兩者所選定的放射性核種則共有 56 種核種，核種的詳細狀況如附錄表 1 所示。

#### (2) 參數的設定方法

關於各曝露路徑所使用的核種、元素之評估參數如下所示。在這些參數中，將把與處置場環境條件依存性大的參數作為吸附分配係數。其中關於農作物的評估可考量區分為米、青菜、飼料等，並各別表示之，若選擇為單一農作物的情形時則使用青菜類別的數值。

1. 半衰期(yr)：關於放射性核種的半衰期可參照 JAERI Data/Code 2001-004 的值加引用，若有更合適的數值時，則使用該數值。
2. 吸入內部曝露劑量換算係數(Sv/Bq)：對於放射性核種的吸收曝露劑量換算係數為引用 ICRP 中 Publication 72 所表示之成年人的肺 對核種的吸收推薦值，若未表示推薦值的核種則引用最大的數值，另外也考量原子力安全委員會「低放射性固化廢棄物的處置相關輻射濃度上限值」報告中所示之短半衰期母核種的貢獻值。
3. 經口攝取內部曝露劑量換算係數(Sv/Bq)：對於放射性核種經口攝取的曝露劑量換算係數為引用 ICRP 中 Publication 72 所表示之一般民眾年齡別劑量係數裡成人的數值。另外也考量原子力安全委員會「低放射性固化廢棄物的處置相關輻射濃度上限值」報告中所示之短半衰期母核種的貢獻值。

- 4.外部曝露劑量換算係數((Sv/h)/(Bq/kg))：有關半無限平板的外部曝露劑量換算係數為考量原子力安全委員會「低放射性固化廢棄物的處置相關輻射濃度上限值」報告中所示之短半衰期母核種的貢獻值。若無顯示的核種則利用 ORIGEN-2.2 的  $\gamma$  線及 X 線的釋出能量及釋出率，並經由 QAD-CGGP2 代碼計算後求得其值。
- 5.由土壤至農作物(米)的遷移係數((Bq/kg-wet 農作物)/(Bq/kg-dry 土壤))：有關穀類的數值以 TRS-364 為基準，並根據 IAEA SRS-19、IAEA SS-57、IAEA TD-401、IAEA TD-1000 及 NUREG/CR-3585、ORNL-5786、NCRP-129 的最大值依序引用。
- 6.由土壤至農作物(青菜等)的遷移係數((Bq/kg-wet 農作物)/(Bq/kg-dry 土壤))：以 IAEA SRS-19 為基準，並根據 IAEA SS-57、IAEA TD-401、IAEA TD-1000 及 NUREG/CR-3585、ORNL-5786、NCRP-129 的最大值依序引用。
- 7.由土壤至農作物(飼料)的遷移係數((Bq/kg-dry 農作物)/(Bq/kg-dry 土壤))：以 IAEA SES-19 為基準，並根據 IAEA TD-401、IAEA TD-1000、NCRP-129 的最大值依序引用。
- 8.由飼料、飼育水至畜產物(牛乳、牛肉、豚肉、雞肉、雞蛋)的遷移係數(d/kg)：以 IAEA SRS-19 為基準，並根據 IAEA TRS-364、IAEA SS-57、IAEA TD-401 及 ORNL-5786、NCRP-129、PNL-3209(NUREG/CR-3160)、DoE/RW/88.083 的最大值依序引用。
- 9.水產物(淡水魚類、淡水貝類)的濃縮係數(l/kg)：魚類以 IAEA SRS-19 為基準，並根據 IAEA TRS-364、IAEA TD-401、IAEA TD-1000、NCRP-123 的最大值依序引用。另外貝類則依據 IAEA SS-57、UCRL-50564 Rev.1 的最大值依序引用。
- 10.水產物(海產魚類、海產無脊髓動物、海藻類)的濃縮係數(l/kg)：以 IAEA SRS-19 為基礎，並依據 IAEA SS-57、IAEA TRS-247、NCRP-123、UCRL-50564 Rev.1 的最大值依序引用。
- 11.農耕土壤的吸收分配係數( $m^3/kg$ )：可以依據處置場附近農耕土壤特性所對應的值進行設定，並將有機土的值表示為參考值(IAEA TRS-364、IAEA TD-401、IAEA TD-1000、ORNL-5786)。當沒有獲得適當的測定值時，可以運用這些參考值。
- 12.含水層土壤的吸收分配係數( $m^3/kg$ )：應依據處置場的含水層土壤特性所對應的值進行設定，並將砂的值表示為參考值(IAEA TRS-364、IAEA TD-401、IAEA TD-1000、ORNL-5786)。
- 13.河川岸土壤或湖泊沼澤土壤的吸收分配係數( $m^3/kg$ )：可以依據處置場附近河川岸土壤特性所對應的值進行設定，並將砂的值表示為參考值(IAEA TRS-364、IAEA TD-401、IAEA TD-1000、ORNL-5786)。當沒有獲得適當的測定值時，可以運用這些參考值。
- 14.海岸土壤的吸收分配係數( $m^3/kg$ )：可以依據處置場附近海岸土壤特性所對應的值進行設定，並將砂的值表示為參考值(IAEA TRS-364、IAEA TD-401、IAEA TD-1000、ORNL-5786)。當沒有獲得適當的測定值時，可以運用這些參考值。
- 15.處置設施內的媒介吸收分內係數：考量依據廢棄物或填充材料特性所對應的值進行設定。
- 16.移動路徑的岩層吸收分配係數：考量依據處置場的遷移路徑上，岩層特性所對應的值進行設定。

## 8.5.6 解析模型進行技術檢查案例說明

本節以技術上的檢查為目的，進行膨潤土材料滲透性長期變化的模型解析案例說明。然而，關於個別的處置設施狀態評估，必須依據具體上的處置計畫，設定適當的評估用參數及模型。

### (1) 膨潤土材料長期變質的相關考量事項整理

膨潤土材料因處置環境下的化學、物理條件，使蒙脫石與相關礦物溶解，並生成二次礦物，膨潤土所預期的低滲透性等機能將會因長期的變化而產生疑慮。為此，必須將膨潤土材

料與水泥材料的相互反應納入考量，並評估膨潤土材料的長期變質。

然而，在評估膨潤土材料的長期變質時，評估模型及評估條件存在著各種不確定性。於此，關於評估膨潤土材料長期變質時的重要事項及評估條件，本檢查案例有關評估上的考量事項處理方法和其判斷根據彙整於圖 8.8。

根據圖 8.8 之彙整結果，下列膨潤土材料的長期變質關連事件(評估條件)，將先考量存在的不確定性以及可採取的條件，設定分析範圍後實施長期評估。首先，以設施設計及既往的分析成果等為基礎，進行高可能性的變因與發生狀態設定，分析項目如下：

- 初期礦物組成(相關礦物的處理)
- 水泥種類(粒料的處理)
- 膨潤土的初期密度
- 二次礦物的推測(地球化學反應所考量的礦物)

其餘狀態，以假設廢棄物體之孔隙受力學或其他因素影響而擴大，並預測孔隙擴大後，處置設施可能的狀況，進行相關狀態設定後進行分析，分析項目如下：

- 水泥材料中的物質遷移特性(低擴散層的擴散係數)
- 膨潤土層厚度的變化(廢棄物層的空隙擴張導致工程障壁沉陷)

## (2) 評估模型

將水泥材料(回填、低擴散層等)和膨潤土材料(膨潤土層)像處置設施一樣鄰接，並作為膨潤土材料的長期變質評估對象，其考量如圖 8.9 所示之一維的評估體系。將廢棄物周圍以具有低擴散性的高緻密混凝土層和具有低滲透性的膨潤土層配置成坑道的形狀作為處置設施，並將處置坑道斷面一維化。

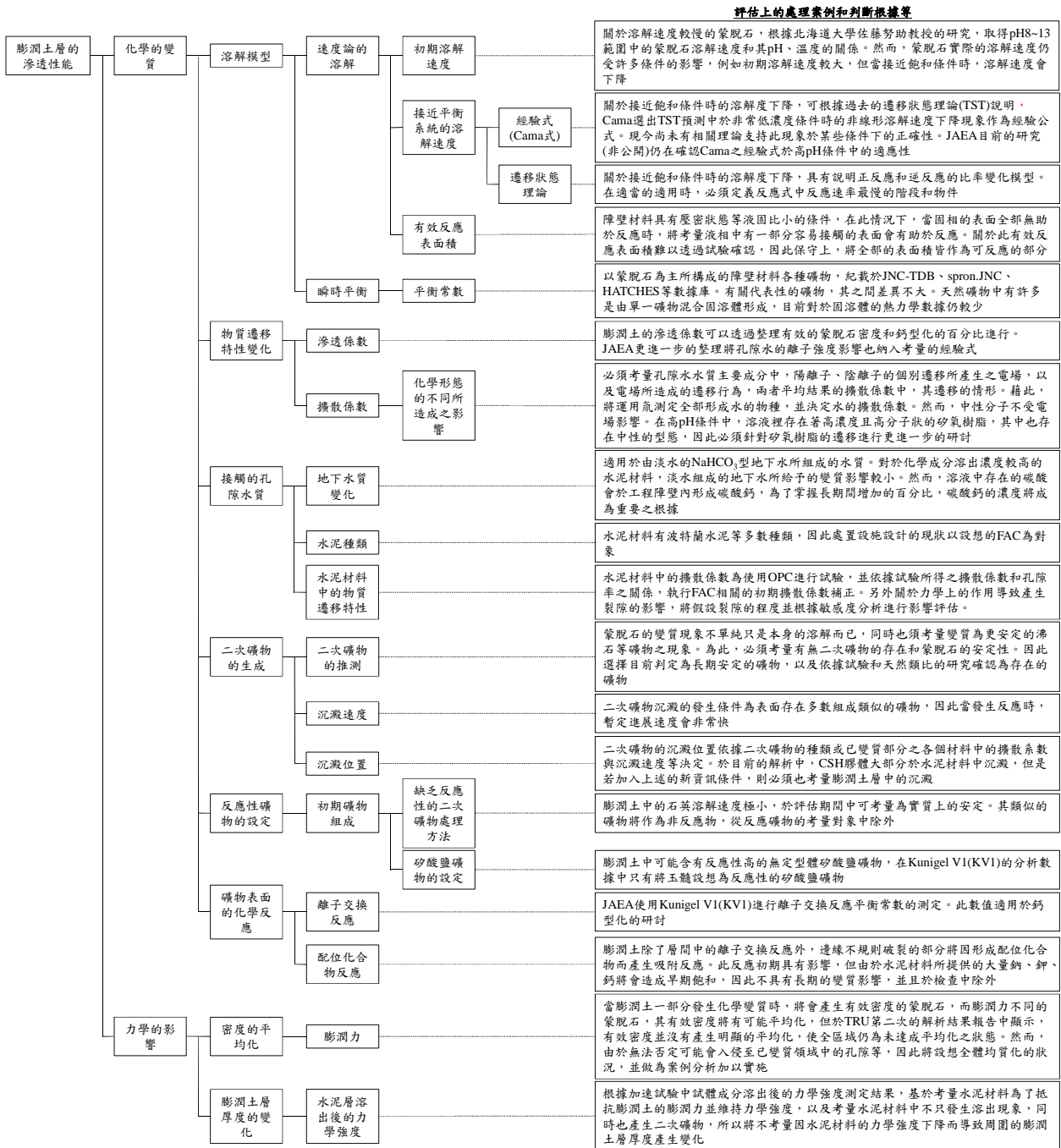


圖 8.8 評估膨潤土材料長期滲透性能變化所考量的事件處理案例

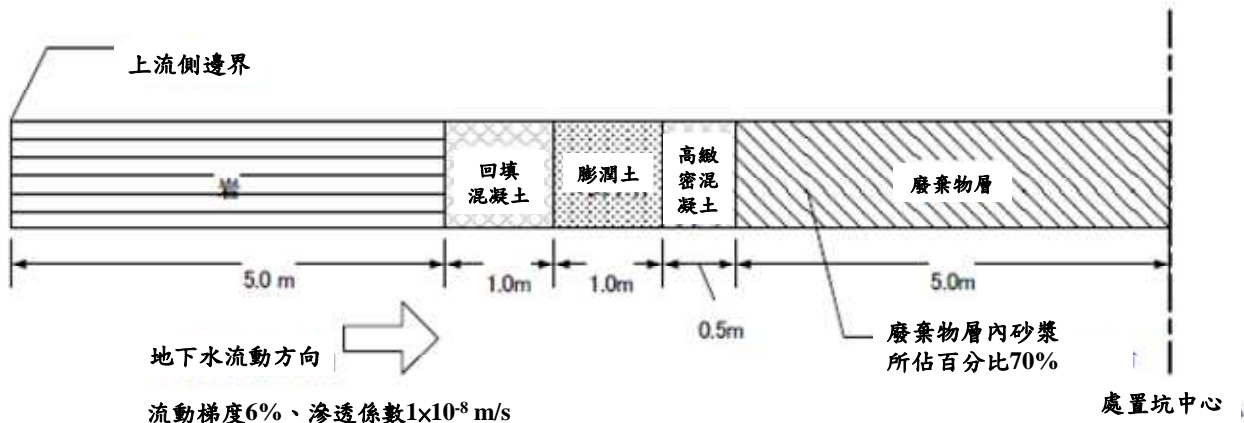


圖 8.9 評估體系的一維化概念模型示意圖

### (3) 解析結果與利用

關於膨潤土材料的工程障壁長期劣化，依據既有的試驗所獲得的資訊及處置設施的設計等，參數及模組進行可能的條件設定後，其解析結果如圖 8.10 及圖 8.11 所示。圖 8.10 為處置設施內，膨潤土材料和水泥材料中的礦物組成變化。另外，圖 8.11 以圖 8.10 的礦物組成變化等為基礎，繪製膨潤土材料的滲透係數變化。有關膨潤土材料中與水泥材料接觸的部分，蒙脫石等的溶解隨滲透係數的增加而增加。然而，膨潤土材料全體的等價滲透係數經歷十萬年後只增加至  $2 \times 10^{-12}$  m/s。在評估考量事件中膨潤土材料的長期變質行為時，存在著各個不確定性，針對技術上具有可能性的範圍，並設定評估條件後，其解析結果如圖 8.12 所示。

處置系統的狀態設定中，依據其解析結果，可以將有些定量上的設定作為評估參數數值的設定。例如為了設定處置系統可能性較高的狀態，根據圖 8.11 所示之可能性條件設定，對應膨潤土材料的滲透係數歷時變化，評估入侵至處置設施的地下水流量，並考量設定歷時上的變化評估參數。另外以圖 8.12 考量不確定性範圍的解析結果為基礎，設定處置系統具有可能性的變異狀態。然而在這過程，將考量有些處置設施的相關地質環境條件，並依據不確定性的特徵，對處置系統的各個狀態分類之評估條件進行充分的檢查，同時也考量影響的涵蓋性，並選定應作為劑量評估對象的評估條件。

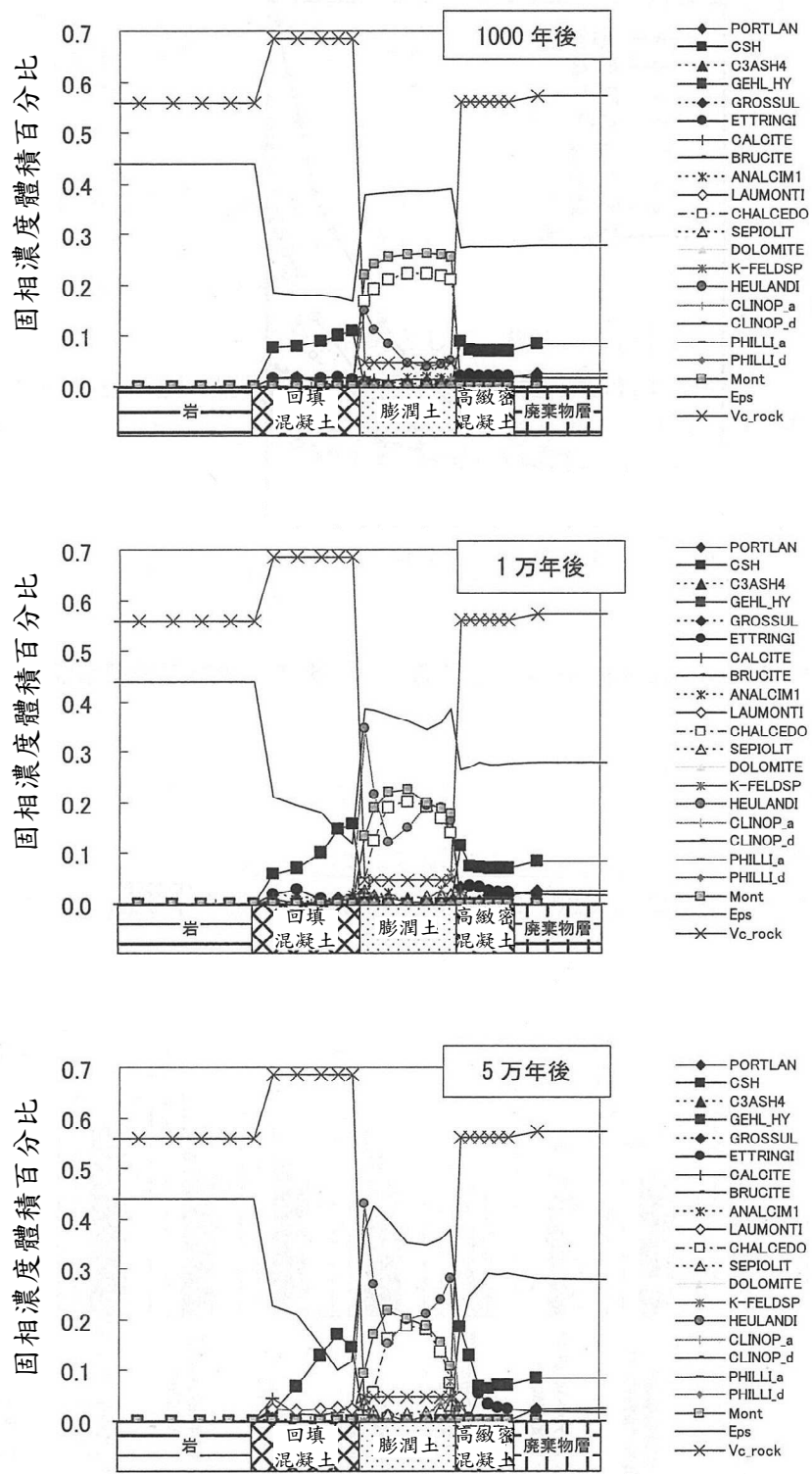


圖 8.10 可能的條件設定之相關長期變質解析結果案例

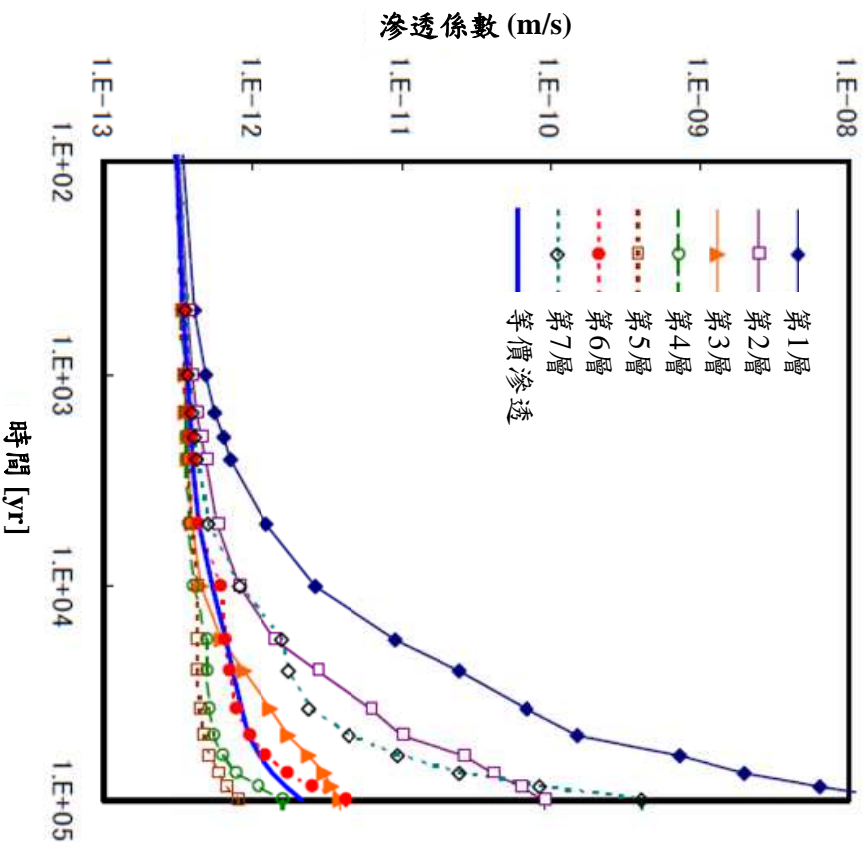


圖 8.11 可能的條件設定之相關膨潤土材料滲透係數變化

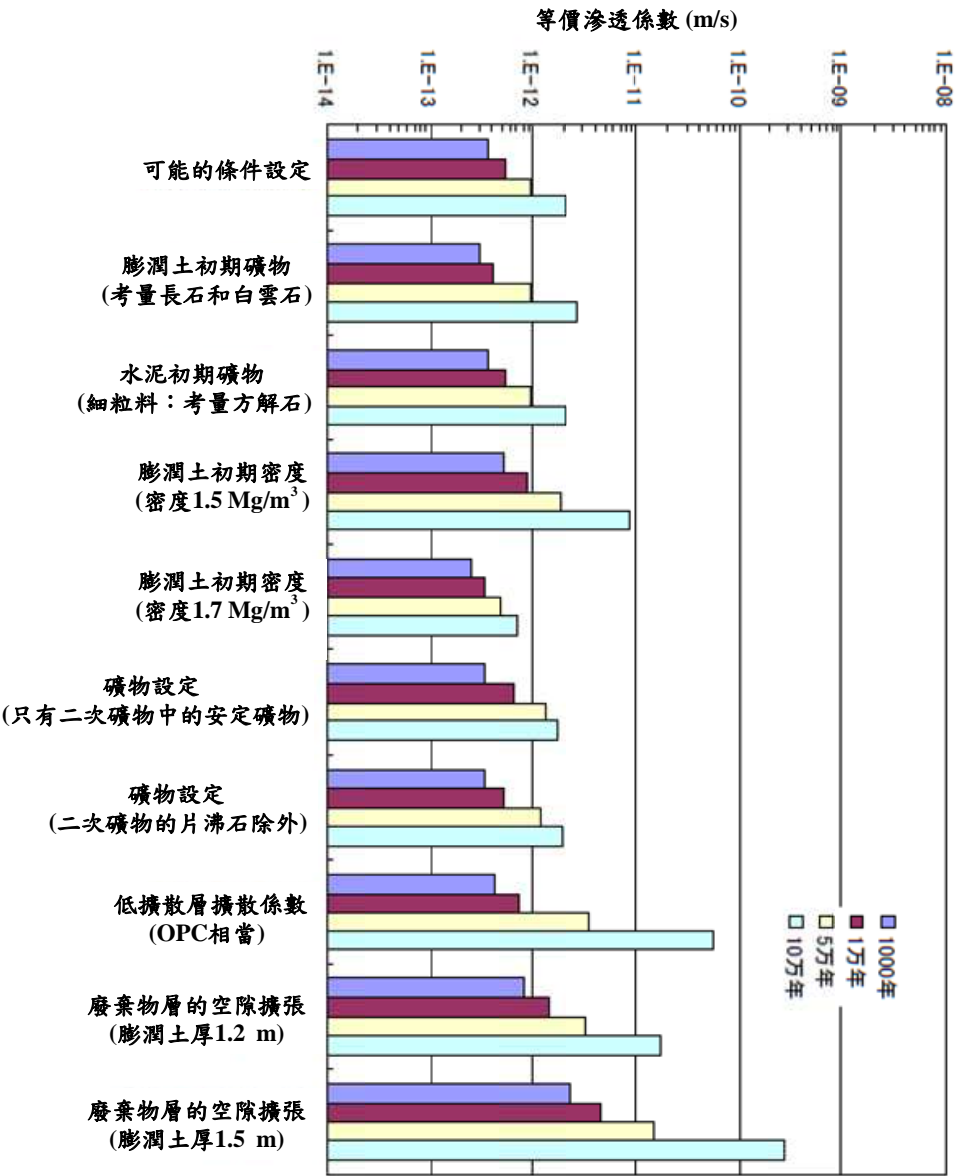


圖 8.12 考量長期評估中所存在的不確定性後其滲透係數變化



## 第九章 建議事項

本報告透過研析日本「低放射性廢棄物處置場回填計畫與設施管理方法：2010」與「餘裕深度處置之安全評價方法：2008」二本報告書，以掌握日本低放射性廢棄物處置場的相關管理方法之發展趨勢及長期的安全要求。

日本遵循「爐規法實施令」，將放射性廢棄物依核種輻射強度區分為第一種廢棄物與第二種廢棄物，相對於我國則稱高放射性廢棄物與低放射性廢棄物。

針對低放射性廢棄物的部分，我國係依據低放射性廢棄物最終處置及其設施安全管理規則第二章第3條的分類加以訂定，依照放射性核種的輻射強度由小至大將低放射性廢棄物分為A類、B類、C類與超C類；而日本原子力安全委員會(NSC)則是針對各種低放射性廢棄物的處置方式提出處置對象的濃度上限值(新管制基準的方向和餘裕深度處置管制基準的相關檢查狀況，2015)。相互對照後可得知，我國低放射性廢棄物之所有分類皆屬於日本第二種廢棄物處置事業的處置對象，因此於審視國內低放射性廢棄物處置事業之相關作業時，皆可參照日本第二種廢棄物處置事業之相關規範進行。

據此，本章節將綜合分析前述章節之成果，並與我國進行比較，分節提出相關管理策略與要求之建議。

### 9.1 處置場監管計畫

#### 9.1.1 日本低放處置場之管理方法

研析日本「低放射性廢棄物處置場回填計畫與設施管理方法：2010」報告書，從中了解日本針對低放射性廢棄物處置場之管理方法，並彙整如下：

##### (1) 環境輻射監測作業

###### 1. 監控區域劃分

日本處置場開始接收放射性廢棄物前，就已訂定周圍監控區域，並於管理周圍民眾輻射防護期間，禁止民眾居住，同時於邊界處設置標誌，限制業務以外的民眾進入周圍監控區域。

###### 2. 監控對象與頻率

針對低放射性廢棄物處置場的監控，餘裕深度處置於封閉回填前的監控對象為處置設施內的湧水、排水與附近地下水；而封閉回填後的監控對象則為附近地下水與周圍地下水，並以1回/月的頻率進行監控，如4.3.5節中的圖4.3所示。近地表處置設施與近地表壕溝式處置則以1回/月的頻率測定附近地下水與周圍地下水中的放射性物質濃度，用以監控廢棄物處置場的放射性物質是否有釋出以及遷移至生活環境的情形，如4.4.5節中的圖4.7與4.5.4節中的圖4.11所示。

###### 3. 應變措施

當檢驗出有放射性物質釋出的情形時，將實行、製作調查計畫，並彙整結果以查明發生原因，依據結果研討是否有必要進行廢棄物處置設備的修復，若判定有必要修復設備的情況時，須制訂修復計畫以及所採用的修復措施，其流程圖如4.6節中的圖4.12所示。

##### (2) 場址保安作業

###### 1. 處置場的維護

日本將低放射性廢棄物處置場的相關設施、監控設備皆列為維護對象，並巡視、檢查營

運保護區域，以目視的方式確認設施有無異常，用以避免農耕、開挖等特定行為，以及影響障壁基本安全機能的情形發生，同時維持管理營運保護區域的標誌、圍籬及告示牌等。

## **2.維持處置設施基本安全機能**

在處置場封閉回填前，針對處置坑、周圍隧道和邊境的部分實施巡視與檢查，而實施的頻率為1回/週；而當處置場封閉回填後，針對周圍區域的巡視、檢查的頻率可以逐漸減少(例如1回/月)，若發生震度4以上的地震等自然災害時，則應盡可能盡速實施巡視、檢查作業。

### **(3) 品質保證方案**

#### **1.材料選擇管理方法**

日本藉由多項材料的物理、化學性質相關試驗，從土壤材料或現地土壤中選出具有長期安定性的材料，並運用於處置設施回填或覆土施工中，以確保處置設施基本安全機能的運作。

#### **2.施工品質管理方法**

實施施工品質管理的目的為確認處置設施的施工確實，而品質管理的管理基準值則將依據施工試驗所獲得之結果，以及考量變異性進行設定，用以確保處置設施能發揮預定的基本安全機能。

### **(4) 紀錄及檔案管理**

低放射性廢棄物處置相關的紀錄及檔案管理為適宜的保存必要的紀錄，用以適當的維持管理廢棄物處置場，紀錄管理同時也為維護廢棄物處置場，以及第二種廢棄物處置事業封閉後，保證處置場安全性的必要事項，而於管理期間及事業封閉時，有關應保管紀錄的項目與保存方法將規定於注意事項。

日本第二種處置規則第十三條中規定紀錄的相關項目和保存期間。但其紀錄的保存期間為一年至十年的短期間，因此並沒有規定事業封閉前的保存以及封閉之後的紀錄。為此，日本將參照 IAEA-TECDOC-1260 應保存的最重要紀錄項目，以及 IAEA-TECDOC-1398 放射性廢棄物處置事業除役時的紀錄項目，並結合原子力環境整備促進、資金管理中心有關放射性廢棄物處置的紀錄保存項目，研討各項紀錄的重要度、使用目的，重新選擇有關低放射性廢棄物處置的重要紀錄事項，接著研討各個項目的規範規定、紀錄的原本意義、並藉此判斷是否應於管理期間結束時保存，以及是否為事業封閉後仍應保存的重要紀錄，如 7.4.1 節中的表 7.3 所示，其中經重新選擇後所新增的紀錄項目包含安全審查、許可情報、一般情報、以及紀錄管理系統。

## **9.1.2 我國處置場監管計畫的精進**

我國放射性物料管理法施行細則第33條中規定放射性廢棄物最終處置設施之封閉，其經營者依本法第二十三條第二項規定擬訂之監管計畫，應載明執行單位之組織、環境輻射監測作業、場址保安作業、品質保證方案、紀錄及檔案管理、以及其他經主管機關指定之事項。因此將參考日本低放射性廢棄物處置場之相關監管計畫，逐項提出相關管理策略與建議，供我國進行進一步的設計。

### **(1) 環境輻射監測作業**

日本的低放射性廢棄物處置場於封閉前或封閉後，皆有兩層以上的監控系統進行地下水水質的長期監測，用以確認放射性物質是否有釋出的情形，並且當監測出有放射性物質釋出時，將提出對應的修復計畫與措施進行評估，因此建議我國低放射性廢棄物處置場營運

時，至少須有兩層監控系統進行長期間的監測，並當監測出有放射性物質釋出的情形時，可參考日本的修復計畫流程，提出適當的修復計畫與措施。

## (2) 場址保安作業

日本針對不同類型的低放射性廢棄物處置場，皆有詳細的說明各個階段時應巡視的場所、檢查的對象、檢查的項目和方法、檢查的頻率等。我國擬以坑道式的處置方式處置低放射性廢棄物，其處置類型相似於日本餘裕深度處置，因此可參考第五章中的表5.1評估案例進行管理，於建設、營運階段時，針對完成回填的處置坑、周圍隧道和邊境部分、以及相關監控、告示設備，運用目視的方式以1回/週的頻率確認有無異常狀態；並於封閉後階段時，持續進行監控設備、周圍監控區域和營運保護區域的巡視與檢查。

## (3) 品質保證方案

根據日本「低放射性廢棄物處置場回填計畫與設施管理方法：2010」彙整回填材料與覆土材料品質管理與檢查方法，日本針對回填、覆土等膨潤土系材料的品質管理方法及檢查方法主要參考日本工業規格(JIS)、日本地盤工學會(JGS)、日本膨潤土工業會(JBAS)等規定，大部分皆與土壤試驗相關，故以國內土壤試驗常用之國家標準(CNS)或美國材料試驗協會(ASTM)的試驗方法作為參考，將相似的標準與規範彙整於表9.1。

由表9.1之整理得知，層間陽離子組成、粒料的破碎率以及土壤密度試驗之RI法尚未有對應之標準可尋，然而，這些項目為膨潤土係材料的相關重要品質管理項目，建議應參照對應的日本品質管理相關辦法，作為膨潤土系材料品質管理的審視參考依據。

當近地表處置設施進行覆土的施工作業時，必須對放射性廢棄物最終處置場實施現場材料與施工管理，可考量參照表9.2日本案例的檢查頻率，局部取樣確認原料混合前與混合後的各項物化性質，用以確保原料不會因天氣或環境的變化而對覆土的製造與施工產生影響。另外，為了確保覆土的施工品質，也將於覆土輾壓前與輾壓後進行局部的取樣檢查，用以確認覆土的施工品質。

## (4) 紀錄及檔案管理

我國有關低放射性廢棄物處置事業之紀錄雖然已於規則中說明除役前應保存以及除役後應紀錄的項目，但建議仍可參考國際間有關處置場應紀錄保存之事項，並視國內處置場之情境，重新選擇處置場於各個階段應紀錄的重要事項，最後研討各個項目是否應於管理期間結束時，或於除役後仍應保存。

另外建議於審查處置事業的紀錄保存項目時，可參照IAEA紀錄階層化管理，將紀錄分為一次階級的情報、中段階級的情報、以及高段階級的情報，用以確認處置事業是否有將除役前以及除役後應紀錄的項目皆納入考量。

表 9.1 處置設施封閉階段材料品質管理方法與國內常用規範比照表

品質管理項目		日本的品質管理方法	國內常用規範
材料管理	粒徑分布	JIS A1204土的粒徑試驗方法	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CNS 11776土壤粒徑分析試驗法</li> <li>• ASTM D422土壤粒徑分析試驗法</li> </ul>
	塑性限界	JIS A1205	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CNS 5088土壤液性限度試驗、塑性限度及塑性指數試驗方法</li> <li>• ASTM D4318土壤液性限度試驗、塑性限度及塑性指數試驗方法</li> </ul>
	含水比	JIS A 1203土的含水比試驗方法	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CNS 5091實驗室土壤含水量測定法</li> <li>• ASTM D2216土壤、礫石之含水量室內試驗法</li> </ul>
	高嶺石含有率	JBAS-107粉狀膨潤土的亞甲藍吸附量測定方法	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ASTM C837黏土甲基藍指數試驗方法</li> </ul>
	層間陽離子組成	JBAS-106	—
	二次礦物	X光繞射	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CNS 13617混凝土粒料岩相分析指引</li> <li>• ASTM C295混凝土粒料岩相分析指引</li> </ul>
	混合土含水比	JIS A1203土的含水比試驗方法	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CNS 5091實驗室土壤含水量測定法</li> <li>• ASTM D2216土壤、礫石之含水量室內試驗法</li> </ul>
	粒料粒徑	JIS A1204土的粒徑試驗方法	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CNS 11776土壤粒徑分析試驗法</li> <li>• ASTM D422土壤粒徑分析試驗法</li> </ul>
	粒料的消散率	日本道路公團JHS 110岩石的消散率試驗	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ASTM D4644頁岩和軟弱岩的消散耐久性試驗方法</li> </ul>
	粒料的破碎率	日本道路公團JHS 109岩石的破碎率試驗	—
混合土礦物組成	X光繞射	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CNS 13617混凝土粒料岩相分析指引</li> <li>• ASTM C295混凝土粒料岩相分析指引</li> </ul>	
工法管理	鋪設方法	鋪設厚度、鋪設機械等規定	視實際設計狀況而定
	輾壓方法	輾壓機械、輾壓次數等規定	視實際設計狀況而定
狀態管理	乾密度	JGS 1614土壤密度試驗之RI法	—
		JIS A1214土壤密度試驗之砂置換法	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ASTM D1556砂錐法測定現場土壤密度試驗法</li> </ul>
坑道封閉性	坑道回填區完工的部分	目測	直接確認

表 9.2 最終處置場的品質管理方法案例

時間	對象	項目	管理基準	方法	頻率	備註
—	混合土	壓實、滲透	—	—	1次/5,000 m <sup>3</sup> 原料土質變化時	製作管理基準計畫與施工開始前實施1次
混合前	原料土	含水比	—	乾燥法	2次/日	早、晚
		粒徑	—	—	1次/5,000 m <sup>3</sup> 原料土質變化時	施工開始前實施1次
		密度	—	—	1次/5,000 m <sup>3</sup> 原料土質變化時	施工開始前實施1次
		亞甲藍吸附量	—	—	1次/2,500 m <sup>3</sup> 原料土質變化時	施工開始前實施1次
	膨潤土	含水比	—	爐乾燥	1次/500 t	施工開始前實施1次
		亞甲藍吸附量	—	—	1次/500 t	施工開始前實施1次
混合後	混合土	含水比	—	乾燥法	2次/日	午前、午後
		亞甲藍吸附量	—	—	2次/日	午前、午後
輾壓前	混合土	含水比	—	爐乾燥	1點/500 m <sup>2</sup>	各層
輾壓後	混合土	壓實	95%以上	RI法	1點/500 m <sup>2</sup>	各層5點
		含水比	—			
		滲透係數	10 <sup>-8</sup> m/s以下	土塊試體	1點/1,500 m <sup>2</sup>	各層2點

## 9.2 處置場安全評估之相關建議研析

透過「餘裕深度處置之安全評價方法：2008」報告書，了解日本低放餘裕深度處置場的安全評估與處置系統的狀態設定方法，並針對我國所訂定的處置場劑量限值與安全評估導則分節提出相關考量策略與建議，供我國借鏡。

### 9.2.1 處置場劑量限值納入風險管理的考量方式

#### (1) 納入風險概念的安全限值管理

根據日本「第二種廢棄物處置事業安全審查的相關基本考量方法」(2010)，日本原子力安全委員會於1985年訂定放射性廢棄物處置的基本安全考量，要求放射性廢棄物從衰變至無害程度前，必須透過安全評估採行適切的處置方式，並運用工程障壁、天然障壁等處置系統及監控措施，有效的將放射性物質與人類生活圈隔離。當放射性廢棄物處置設施於管理的期間，對一般民眾的輻射劑量上限值為參考國際放射防護委員會的規定，每年對民眾的輻射劑量不得超過1 mSv/yr。然而在ALARA(As Low As Reasonably Achievable)的考量下，日本放射性廢棄物處置設施於管理期間的輻射劑量限值實務設計上以不超過0.05 mSv/yr為目標進行。

關於放射性廢棄物處置設施管理期間結束後，日本原子力安全委員會於 2004 年 6 月修正放射性廢棄物處置安全管制的共同重要事項，主要為處置設施的長期安全考量具有較高之不確定性，為了使放射性廢棄物處置安全評估更具有科學上的合理性，將參酌採用風險機率的概念方式，依不同發生頻率的事件之對應情節進行放射性廢棄物處置的安全評估，並分別採取不同的劑量限值：

- 基本情節

劑量限值為 10  $\mu\text{Sv}/\text{yr}$ ，考量在正常情況下處置設施的工程障壁，能如預期有效的將放射性廢棄物和人類生活圈隔離，地層隆起或侵蝕及氣候變遷所引起的地下水變異範圍較小。

- 變異情節

劑量限值採用為 0.3  $\text{mSv}/\text{yr}$ （國際放射防護委員會 81 號報告，對放射性廢棄物處置建議的輻射劑量），考量在正常情況下，處置設施工程障壁比預期提早發生劣化，地層隆起或侵蝕及氣候變遷所引起的地下水變異範圍較大。

- 人為或稀有事件情節

國際放射防護委員會於 81 號報告中表示，民眾闖入處置設施將會導致場址周圍的輻射劑量超過標準，因此在處置場建設階段時，就應盡可能降低民眾闖入的機率或限制其行為。基於此方面，日本原子力安全委員會建議以 10  $\text{mSv}/\text{yr}$  劑量可作為通用的參考水平，若劑量低於此水平則可以忽略其稀有事件所造成之影響；當進行較保守的條件設定時，可以 100  $\text{mSv}$  作為參考年劑量。因此，日本對人為或稀有事件情節劑量限值定為 10~100  $\text{mSv}/\text{yr}$ 。

## (2) 安全評估情節設定與分析方法

國際上在安全評估情節設定與分析方法上，一般採用 FEPs 篩選、IM 分析、設定安全分析情節，然後依據情節內容進行評估，日本基本上亦依循此方法進行。比較不同的是，日本為了導入風險管理概念，在 8.4.2 節中圖 8.5 處置系統狀態設定的具體考量流程上，加入風險分類的考量方式，另外導入要素分析圖的分析方式，作為設定情節需考量的重要因素(圖 8.6、8.7)，以及進入評估作業時，如何選定重要因素以及如何評估與應用之考量方式(圖 8.8)。

## 9.2.2 安全評估的管理建議

我國低放射性廢棄物最終處置管制技術規範的研訂方面，已公告「低放射性廢棄物最終處置設施安全分析報告導則」，供處置設施經營者申請低放射性廢棄物最終處置設施建造執照時所需提送之安全分析報告編撰參考。另亦公告「低放射性廢棄物最終處置設施安全分析報告審查導則」，目的在確保報告審查作業可符合安全管制需求。以下參考日本低放射性廢棄物處置場之安全評估管理方式，提出相關管理建議供日後管理作業規劃與執行參考。

### (1) 納入風險概念的安全限值管理建議

我國低放射性廢棄物處置設施的安全限值，依據「低放射性廢棄物最終處置及其設施安全管理規則第三章第 8 條」之規定，不得超過 0.25  $\text{mSv}/\text{yr}$ ，此與許多國際上之低放射性廢棄物處置設施的安全限值相當。

參考日本在低放射性廢棄物安全限值納入風險管理之方式，其主要方式為評估處置設施未來狀態之可能性高低加以區分，且不是直接引入該狀態之發生機率，而僅是已發生可能性概分。其中，基於處置設施狀態演化均有其依據，且不應做過度保守設定的前提下，處置設施狀態改變在「基本情節」與「變異情節」具有其關聯性。因此，可視其以「變異情節」

安全限值作為管理值，再合理提高「基本情節」之管理限值，其實務上的管理將與國際上各國之管理現狀類似。

分析日本納入風險概念之管理限值設計，應主要是將「人為、稀有事件情節」之限值訂為10~100 mSv/yr，用以評估發生外部環境條件與人類活動可能對處置設施產生之影響。此類型情節其狀態設計，通常會採用對障壁系統功能產生較大影響之設定，但在其發生時間之設定上，具有高度之不確定且此不確定又將對安全評估結果產生較大之影響。如此，可適度在安全管理上反應不確定性對於整體安全的影響。

## (2) 安全評估情節設定與分析方法

我國低放射性廢棄物處置場的相關安全分析導則，已納入國際上現行安全管理方式，採用情節設定，評估處置系統在不同未來可能發生狀況下之安全性。同樣也已導入 FEPs 與 IM 分析等概念，作為情節設定的主要分析流程。但由於在不同情境下，處置系統需考量之內部作用亦相當複雜且所涉技術領域廣泛，需評估溫度、水理、力學與化學等作用。雖因低放射性廢棄物之衰變熱甚低，應不至於改變處置設施所在區域溫度，但其餘作用之交互影響仍具相當複雜度。建議可於「低放射性廢棄物最終處置設施安全分析報告審查導則」中導入處置系統狀態設定的具體考量流程與要素分析圖之考量方式，以利釐清安全評估所需考量事項。

## 第十章 結論

- (1) 本項工作透過研析日本「低放射性廢棄物處置場回填計畫與設施管理方法：2010」已掌握日本針對低放射性廢棄物的處置方法與管理、監控、維護措施設計理念、安全審查、紀錄等相關資訊，供未來國內低放射性廢棄物處置場設計與管理借鏡。
- (2) 透過研析日本報告，了解日本低放射性廢棄物處置場回填材料與覆土材料的分類判別方法以及選用依據，並且從中了解處置場回填與覆土的施工方法、施工考量因素、施工品質管理方式和施工完成後的維護方式。
- (3) 本項工作研讀日本「余裕深度處置之安全評價方法：2008」，掌握日本對余裕深度處置場安全評估的設計考量方法與情節分類，並藉此了解日本處置系統的狀態設定分類依據。
- (4) 參考日本對於低放射性廢棄物處置場的各種措施實際執行案例，從中了解其設計的考量項目，供未來國內作為設計與管理參考依據。
- (5) 綜合分析二本報告書，並與我國現行管理規則進行比較，提出相關管理策略與要求之建議，供我國處置場監管計畫以及安全審查劑量限度進行更縝密的設計。



## 参考文献

- 日本原子力学会，(2008)，「余裕深度処分の安全評価手法：2008」，日本原子力学会標準，AESJ-SC-F012:2008。
- 日本原子力学会，(2010)，「低レベル放射性廃棄物の埋設地に係る埋戻し方法及び施設の管理方法」，日本原子力学会標準，AESJ-SC-F016:2010。
- 日本原燃，「六所低放射性廃棄物埋設廃棄物埋設事業変更許可申請書」，平成9年1月申請，平成9年9月一部補正。
- 地盤工学会，「土質試験の方法と解説 一第一回改訂版一」2006。
- 原子力安全委員会，(2001)，「発電用軽水型原子炉施設の安全審査における一般民衆の線量評価について」，平成元年3月27日了承，平成13年3月29日。
- 原子力安全委員会，(2001)，「発電用原子炉施設の安全解析に関する気象指針」，昭和57年1月28日決定，一部改訂平成13年3月29日。
- 原子力安全委員会放射性廃棄物廃止措置専門部会，(2010)，「第二種廃棄物埋設の事業に関する安全審査の基本的考え方」，平成22年8月5日。
- 原子力委員会原子力規制庁，(2015)，「新規規制基準の動向(トレンチ処分、ピット処分)と余裕深度処分の規制基準に関する検討状況」，バックエンド夏期セミナー，道北経済センター，平成27年8月6日。
- C. F. Baes III, R. D. Sharp, A. L. Sjoreen and R. W. Shor, "A Review and Analysis of Parameters for Assessing Transport of Environmentally Released Radionuclides through Agriculture", ORNL-5786, 1984.
- Cama, J., Ganor, J., Ayora, C. and Lasaga, C.A. : Smectite dissolution kinetics at 80°C and pH8.8, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Vol.64, No.15, pp.2701-2717, 2000.
- IAEA-TECDOC-1079, "Maintenance of records for radioactive waste disposal", 1999.
- IAEA-TECDOC-1222, "Waste inventory record keeping systems (WIRKS) for the management and disposal of radioactive waste", 2001.06.
- IAEA-TECDOC-1398, "Records for radioactive waste management up to repository closure: Managing the primary level information (PLI) set", 2004.06.
- IAEA-TECDOC-1260, "Procedures and techniques for closure of near surface disposal facilities for radioactive waste", 2001.12.
- IAEA TECDOC-401, "Exemption of Radiation Sources and Practices from Regulatory Control – INTERIM REPORT", 1987.
- IAEA Technical Report Series No.364, "Handbook of Parameter Values for the Prediction of Radionuclide Transfer in Temperate Environments", 1994.
- IAEA Safety Report Series No.19, "Generic Models for Use in Assessing the Impact of Discharges of Radioactive Substances to the Environment", 2001.
- IAEA Safety Series No.57, "Generic Models and Parameters for Assessing the Environmental Transfer of Radionuclides from Routine Releases, Exposure of Critical Groups", 1982.
- IAEA TECDOC-1000, "Clearance of materials resulting from the use of radionuclides in medicine, industry and research", 1998.
- ICRP Publication 72, "Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of

- Radionuclides:Part 5 Compilation of Ingestion and Inhalation Dose Coefficients”, 1996.
- J. Ashton and T. J. Sumerling, “Biosphere Database for Assessments of Radioactive Waste Disposals (Edition 1)”, DoE/RW/88.083, 1988.
- NCRP Report No.123 I, “Screening Models for Releases of Radionuclides to Atmosphere, Surface Water, and Ground”. National Council on Radiation Protection and Measurement, 1996.
- NCRP Report No.129, “Recommended Screening Limits for Contaminated Surface Soil and Review of Factors Relevant to Site-specific Studies”, National Council on Radiation Protection and Measurement, 1999.
- S. E. Thompson, C. A. Burton, D. J. Quinn and Y. C. Ng, “Concentration Factors of Chemical Elements in Edible Aquatic Organisms”, UCRL-50564 Rev.1, 1972.

## 附錄

附錄表 1 作為餘裕深度處置檢查對象的放射性核種

No.	核種	半衰期 (a)	至 2030 年合計		300 年後的 平均濃度 (Bq/t)	超過 10 <sup>4</sup> Bq/t 的項目	TRU 第二次 評估對象
			(Bq)	(Bq/t)			
1	H-3	1.23E+01	7.0E+16	1.4E+12	6.6E+04	◎	◎
2	Be-10	1.51E+06	9.4E+10	1.9E+06	1.9E+06	◎	
3	C-14	5.73E+03	3.5E+15	7.0E+10	6.7E+10	◎	◎
4	Cl-36	3.01E+05	3.8E+12	7.6E+07	7.6E+07	◎	◎
5	Ca-41	1.03E+05	4.3E+12	8.6E+07	8.6E+07	◎	
6	Co-60	5.27E+00	4.0E+18	8.1E+13	5.9E-04	◎	◎
7	Ni-59	8.00E+04	1.3E+16	2.7E+11	2.7E+11	◎	◎
8	Ni-63	1.00E+02	1.6E+18	3.2E+13	4.0E+12	◎	◎
9	Se-79	6.50E+05	6.6E+11	1.3E+07	1.3E+07	◎	◎
10	Sr-90	2.87E+01	9.6E+13	1.9E+09	1.4E+06	◎	◎
11	Zr-93	1.53E+06	1.7E+14	3.5E+09	3.5E+09	◎	◎
12	Nb-93m	1.61E+01	5.0E+13	1.0E+09	2.5E+03		○*
13	Nb-94	2.03E+04	1.6E+14	3.3E+09	3.2E+09	◎	◎
14	Mo-93	4.00E+03	5.7E+13	1.1E+09	1.1E+09	◎	◎
15	Tc-99	2.11E+05	1.0E+13	2.1E+08	2.0E+08	◎	◎
16	Pd-107	6.50E+06	7.1E+07	1.4E+03	1.4E+03		◎
17	Ag-108m	4.18E+02	4.9E+16	9.9E+11	6.0E+11	◎	◎
18	Sn-121m	5.50E+01	7.2E+14	1.4E+10	3.3E+08	◎	
19	Sn-126	2.07E+05	1.9E+08	3.8E+03	3.8E+03		◎
20	I-129	1.57E+07	1.3E+09	2.6E+04	2.6E+04	◎	◎
21	Cs-135	2.30E+06	4.2E+08	8.4E+03	8.4E+03		◎
22	Cs-137	3.01E+01	2.3E+15	4.7E+10	4.7E+07	◎	◎
23	La-137	6.00E+04	2.6E+11	5.2E+06	5.1E+06	◎	
24	Sm-151	9.00E+01	1.3E+13	2.7E+08	2.7E+07	◎	
25	Tb-157	7.10E+01	1.1E+11	2.3E+06	2.8E+05	◎	
26	Ho-166m	1.20E+03	8.1E+12	1.6E+08	1.4E+08	◎	
27	Hf-182	9.00E+06	3.4E+11	6.8E+06	6.8E+06	◎	
28	Pt-193	5.00E+01	1.9E+11	3.9E+06	6.1E+04	◎	
29	Pb-210	2.23E+01	8.0E+03	1.6E-01	1.4E-05		○
30	Po-210	3.79E-01	1.5E+05	3.1E+00	0.0E+00		○
31	Ra-226	1.60E+03	9.6E+02	1.9E-02	1.7E-02		○
32	Ra-228	5.75E+00	5.8E+07	1.2E+03	2.3E-13		○
33	Ac-227	2.18E+01	6.8E+07	1.4E+03	9.8E-02		○
34	Th-228	1.91E+00	2.5E+10	5.0E+05	3.1E-42		○
35	Th-229	7.34E+03	6.5E+06	1.3E+02	1.3E+02		○

36	Th-230	7.54E+04	3.5E+05	7.0E+00	6.9E+00		○
37	Th-232	1.41E+10	2.5E+06	5.0E+01	5.0E+01		○
38	Pa-231	3.28E+04	1.6E+08	3.2E+03	3.1E+03		○
39	Pa-233	7.38E-02	6.7E+06	1.4E+02	0.0E+00		○
40	U-232	6.89E+01	2.7E+10	5.5E+05	2.7E+04	◎	
41	U-233	1.59E+05	9.2E+09	1.9E+05	1.9E+05	◎	◎
42	U-234	2.46E+05	3.6E+09	7.3E+04	7.3E+04	◎	◎
43	U-235	7.04E+08	3.8E+08	7.7E+03	7.7E+03		◎
44	U-236	2.34E+07	1.7E+09	3.5E+04	3.5E+04	◎	◎
45	U-238	4.47E+09	3.5E+09	7.1E+04	7.1E+04	◎	◎
46	Np-237	2.14E+06	4.5E+09	9.1E+04	9.1E+04	◎	◎
47	Pu-238	8.77E+01	3.7E+12	7.5E+07	7.0E+06	◎	◎
48	Pu-239	2.41E+04	3.0E+12	6.1E+07	6.0E+07	◎	◎
49	Pu-240	6.56E+03	2.6E+12	5.3E+07	5.1E+07	◎	◎
50	Pu-241	1.44E+01	5.0E+14	1.0E+10	5.1E+03		◎
51	Pu-242	3.73E+05	3.0E+09	6.1E+04	6.1E+04	◎	◎
52	Am-241	4.32E+02	5.2E+11	1.1E+07	6.5E+06	◎	◎
53	Am-242m	1.41E+02	2.0E+10	4.1E+05	9.3E+04	◎	◎
54	Am-234	7.37E+03	1.7E+10	3.4E+05	3.3E+05	◎	◎
55	Cm-244	1.81E+01	1.1E+12	2.3E+07	2.3E+02		◎
56	Cm-245	8.50E+03	3.4E+07	6.9E+02	6.8E+02	◎	◎

註\*：由於未顯示輻射能，因此以母核種進行評估