公益社團法人　國土綠化推動機構

綠與水之森林基金事業補助

治山設施等巡視檢查、修補等手法之開發調查研究

2015 年度報告

2016 年 6 月

公益社團法人　森林保護、管理技術研究所

前言

本報告就森林保護、管理技術研究會 災害對應技術部門會議自 2014 年度起歷經 2 年推動治山設施巡視檢查與修補等方法開發之相關調查與研究加以彙整。

日本六、七十年代經濟高度成長期以來密集整備之基礎設施，預估不久將同時面臨劣化問題。治山設施亦不例外，完工數十年的治山設施越來越多。為維持保護森林之治山設施原有功能，針對既有設施持續適當維護管理與更新並加以有效應用，非常重要。因此，本調查研究目的在於檢討有效率的治山設施巡視檢查手法，依據巡視檢查與診斷對設施之修補或機能強化等方法。

此外，林野廳遵循中央政府 2012 年 10 月所彙整「基礎設施耐用年限延長計畫」，為確實地推動林野廳管理與所有之治山設施維護管理、更新等，除了於 2014 年 8 月擬訂「基礎設施耐用年限延長計畫（行動計畫）」之外，為協助治山設施管理者順利擬訂個別設施耐用年限延長計畫，2015 年制訂「治山設施相關個別設施計畫制訂指引」及「治山個別設施計畫制訂手冊(案）」。承此，就本調查研究，補充上述林野廳治山設施耐用年限延長相關指引類，特別是治山設施個別設施計畫制訂手冊（案）所記載之巡視檢查、健全度評估及修補、機能強化方法等，以此形式彙整高效率巡視檢查方法與材料劣化風險，修補、機能強化等方法並予以體系化，進行更具有實踐性內容之調查與研究。

本調查研究依委員會檢討實施、首先就巡視檢查者較易使用之巡視檢查調查表單設計方法，依據過去調查結果彙整、分析治山設施容易劣化、損傷之地點與部位，並進一步針對不同種類構造（混凝土、鋼製、木製）劣化形態及其主要原因，整理各自之特徵。此外，曝露於嚴苛自然環境的治山設施容易受周邊環境因素影響加速劣化與損傷，因此除了提出是否應延長治山設施耐用年限對策判斷方法亦即考量環境重要因素之方案，同時也彙整劣化與損傷形態別、選定耐用年限延長對策（修補、機能強化、更新）工法流程。然後配合上述檢討結果，彙整容易實施巡視檢查或修補等注意要點，針對容易維護管理之設施提出建言。

本報告希能就治山事業計畫之設施巡視檢查與修補等有所貢獻，是所切盼。

災害對策技術部門會議

目錄

第1章 研究目的及研究內容 1
第1節 研究目的 1
第2節 調查研究之推動方法 2
第3節 事業期間 3
第4節 研究調查時程 3
第5節 委員會召開狀況 4
第6節 報告摘要 5
第2章 本研究對象之設施等 6
第3章 治山設施巡視檢查要領及治山設施修補與補強等案例相關內容檢討 7
第1節 治山設施巡視檢查要領相關內容檢討 7
第1項 治山設施巡視檢查相關之林野廳及都道府縣動向 7
第2項 都道府縣設施災害調查手冊整備實況 9
第3項 既往治山設施巡視檢查要領 9
第4項 容易使用的巡視檢查表示意圖 11
第5項 治山巡視檢查實施人員之意見聽取 12
第6項 巡視檢查要領（手冊）及巡視檢查表之改善提案 12
第2節 治山設施修補與補強等相關資料之蒐集與整理 17
第1項 蒐集案例之趨勢 17
第2項 蒐集案例分析 17
第3項 壩體加高工法之分類【參考】 18
第4章 配合工程種類及構造的巡視檢查手法之檢討 19
第1節 上年度成果回顧 19
第1項 防災設施受災實況調查之實施結果 19
第2項 各對策工程種類的受災地點與異狀 20
第3項 防砂壩受災狀況調查 22
第2節 巡視檢查流程 23
第3節 工程種類（溪間工、坡面工）之巡視檢查手法檢討 24
第1項 溪間工之巡視檢查手法 24
第2項 坡面工之巡視檢查手法 33
第4節 構造（混凝土、鋼製、木製）巡視檢查手法檢討 50
第1項 混凝土構造物 50
第2項 鋼製構造物 60
第3項 木製構造物 66
第5章 不同構造劣化形態及其主因檢討 77
第1節 混凝土構造物 77
第1項 劣化形態之種類 78
第2項 劣化之原因與要因 83
第3項 劣化要因之推估方法 100

第2節 鋼製構造物 102
第1項 劣化形態種類 102
第2項 劣化之原因與要因 106
第3節 木製構造物 109
第1項 劣化形態種類 109
第2項 劣化之原因與要因 112
第6章 劣化風險判斷手法之檢討 113
第1節 劣化程度之臨界值及量測手法 113
第1項 混凝土構造物 113
第2項 鋼製構造物 122
第3項 木製構造物 125
第2節 考量環境要因之劣化度方法（案） 131
第7章 修補與補強等對策手法之案例彙整 134
第1節 溪間工之修補與補強等對策案例 134
第1項 混凝土構造物（加厚、加高） 134
第2項 混凝土構造物（修補） 135
第3項 鋼製構造物 137
第4項 木製構造物 139
第2節 坡面工 141
第8章 對策手法之構想及其分類 149
第1節 溪間工與擋土工（混凝土） 149
第1項 修補 149
第2項 機能強化 155
第3項 更新 160
第2節 溪間工、擋土工、落石防護柵工（鋼製） 160
第1項 修補 160
第2項 機能強化 162
第3項 更新 162
第3節 溪間工與擋土工（木製） 162
第1項 修補（更換構件） 162
第2項 機能強化 162
第3項 更新 162
第4節 坡面格框工 163
第5節 噴漿工 165
第6節 落石防護柵工 168
第9章 容易維護管理設施之建議 170
第1節 容易實施巡視檢查之設施 170
第2節 容易實施詳細調查與修補等的設施 172
第3節 構築不易損傷之設施（防範未然之對策） 173

第 1 章 研究目的及研究内容

第 1 節 研究目的

日本六、七十年代經濟高度成長期以來所密集完成整備之基礎設施，預估不久將同時面臨劣化問題。治山設施亦不例外，完工數十年的治山設施越來越多。林野廳調查顯示，目前日本完成整備的治山壩約四十四萬座，推估完工五十年的設施，在二十年後可達半數。

設施	管理者	設施數目	完工50年之比例		
			目前 (2012年底)	10年後	20年後
治山壩	中央政府	55,600座	15%	30%	49%
	都道府縣	380,000座	15%	32%	51%

出處:林野廳業務資料

※2013年3月底

※為10年後及20年後之推估，不含新完成之整備設施

為維持森林保護之治山設施既有功能針對既有設施持續適當維護管理與更新非常重要。因此，本調查研究目的在於檢討有**效率的治山設施巡視檢查手法，並研究依據巡視檢查與診斷結果實施設施修補與機能強化等的方法**。

此外，林野廳遵循中央政府 2012 年 10 月所彙整「基礎設施耐用年限延長計畫」，確實推動林野廳管理與所擁有治山設施之維護管理、更新等，制定以下指引類。未來預測各都道府縣可遵循本計畫擬定具體的手冊整備及設施耐用年限延長計畫，實施個別設施之巡視檢查與診斷。

1. 林野廳　基礎設施耐用年限延長計劃(行動計畫)　2014年8月19日
2. 治山設施相關個別設施計畫擬定指引　2016年3月28日
3. 治山設施個別設施計畫擬定手冊(案)　2018年3月

※行動計畫含林道設施之內容

承上，本研究之目的為補充上述林野廳治山設施耐用年限延長相關指引，特別是以補充**治山設施個別設施計畫制訂手冊（案）所記載之巡視檢查、健全度評估及修補、機能強化方法等內容的形式，彙整高效率巡視檢查方法或使用材料劣化風險、修補與機能強化等方法並予以體系化，針對更具有實踐性的內容進行調查與研究。**

第2節　調查研究之推動方法

調查研究依委員會檢討之後實施。

（１）委員會之設置

為檢討治山設施之巡視檢查手法及修補、補強等應有狀況，由專家學者、業界相關人士、森林領域專業人員組成的檢討委員會，接受有關課題推動之相關建言。

委員會之成員如下。

＜委員＞

	姓名	羅馬字拼音	所屬單位	出缺席
1	石川芳治	Isikawa Yoshiharu	東京農工大學 環境資源共生科學部門（教授）	
2	土 屋 智	Tuchiya Satoshi	靜岡大學 農學部森林防災工學研究室（教授）	
3	川 邊 洋	Kawabe Hiroshi	新潟大學 農學部生產環境科學科（教授）	
4	執印康裕	Syuuin Yasuhiro	宇都宮大學 農學部森林科學科（教授）	
5	淺野志穗	Asano Shiho	森林綜合研究所 治山研究室（室長）	缺席
6	河合英二	Kawai Eizi	森林暨自然環境技術者教育會（主任研究員）	
7	榎田充哉	Enokida Mitsuya	國土防災技術（股）技術本部（本部長）	

＜部會成員＞

職稱	姓名	羅馬字拼音	所屬單位
（調查主持人）	河合英二	Kawai Eizi	森林暨自然環境技術者教育會（主任研究員）
（調查副主持人）	敦賀屋研次郎	Tsurugaya kenzirou	國土防災技術（股）技術本部第一技術開發中心（課長輔佐）
部門會議成員	淺野志穗	Asano Shiho	森林綜合研究所 治山研究室（室長）
部門會議成員	土佐信一	Tosa Shinichi	國土防災技術（股）技術本部技術部情報技術課（課長）

＜委員會辦公室＞

山崎　勉　　國土防災技術（股）技術本部技術部長
中村　清美　國土防災技術（股）技術本部技術部海外協力課（承辦課長）

＜觀察員＞

弘中　義夫　　森林保全暨管理技術研究會辦公室
高橋　滋明　　森林保全暨管理技術研究會辦公室

（２）檢討事項

事業計畫2年期間之檢討事項如下。

１）治山設施等的巡視檢查手法之開發

①蒐集、彙整治山設施巡視檢查要領及修補、補強等的資料

②配合工程種類(溪間工、坡面工)及構造(混凝土、鋼製或木製)檢討巡視檢查手法

２）劣化風險之判斷手法之開發

①不同構造等形成之劣化形態及其主因之檢討

②劣化風險判斷手法之檢討

３）治山設施等的修補、修繕、補強、改建、改良與替代手法之開發

①彙整修補、補強等對策方法案例

②對策手法之思維及其分類

③容易維護的管理設施之建議

（３）總結

配合檢討委員會議之討論，彙整、製作治山設施維護管理技術現況及未來應有做法之年度成果報告。

第3節　事業期間

2014年2月～2016年6月（２年）

第4節　研究調查時程

調查項目	2014年度		2015年度	
（１）治山設施等的巡視檢查手法之開發				
①蒐集、彙整治山設施巡視檢查要領及修補、補強等資料	←	→		
②配合工程種類(溪間工、坡面工)及構造(混凝土、鋼製或木製)檢討巡視檢查手法		←	→	
（２）劣化風險判斷手法之開發				
①檢討不同構造等造成劣化形態及其主因			←	→
②劣化風險判斷方法之檢討			←	→
（３）治山設施等的修補、修繕、補強、改建、改良、替換手法之開發				
①彙整修補、補強等對策方法案例				← →
②對策手法之思維及其分類				← →
③容易維護管理設施之建議			←	← →

第5節　委員會召開狀況

委員會召開狀況如下。

○2014 年度第一次委員會

日期：2015 年4 月29 日 13:30～16:00

地點：國土防災技術（股）虎門總公司5F 會議室

委員會檢討內容：

① 治山設施巡視檢查要領與巡視檢查評估表相關內容檢討
② 治山設施修補與補強案例相關內容檢討
③ 配合工程種類(溪間工、坡面工)之巡視檢查手法檢討
④ 配合構造（混凝土、鋼製、木製）之巡視檢查手法檢討

○2015 年度第１次委員會

日期：2016年4月26日(二) 13:30～16:00

地點：國土防災技術（股）總公司會議室

出席委員：石川芳治（主任委員）、土屋 智、川邉 洋、執印康裕、淺野志穗、河合英二、榎田充哉

委員會檢討內容：

①不同構造等所引致劣化型態及其主因檢討
②劣化風險判斷方法之檢討

○2015年度第2次委員會

日期：2016年5月28日(六) 13:30～16:30　　地點：國土防災技術（股）總公司會議室

出席委員：土屋 智（主任委員）、川邉 洋、執印康裕、淺野志穗、河合英二、榎田充哉

委員會檢討內容：

① 彙整修補與補強等對策方法案例
② 對策手法之思維及其分類
③ 容易維護管理設施之建議

第6節　報告摘要

第 3 章　治山設施巡視檢查要領及治山設施修補與補強等案例相關內容檢討(2014)

彙整治山設施檢查相關之林野廳及都道府縣做法方向後，在一般能取得（網路公開、設施巡視檢查業務發包時可使用的特別規格表等）之範圍內，蒐集治山設施巡視檢查要領及巡視檢查評估表，分別整理其特質（優缺點等），然後聽取設施檢查有經驗者意見，配合委員會之委員意見，說明巡視檢查者較容易使用之調查表單設計要領。

第 4 章　配合工程種類及構造的巡視檢查方法檢討(2014)

回顧災害對應技術部門會議自行實施之調查結果，分析溪間工（節制壩、固床工）及坡面工容易劣化、損傷地點，發現與防砂設施受災實況調查結果幾乎相同，因此判斷防砂相關設施巡視檢查要領（案）之巡視檢查項目與健全度評估基準幾乎都可準用。此外，進行各種構造（混擬土、鋼製、木製）的詳細調查方法（定量掌握劣化與損傷度之手法）分類，彙整能掌握之內容或能適用之工程種類。

第 5 章　不同構造產生劣化形態及其主因檢討(2015)

就各種構造（混擬土、鋼製、木製）的劣化形態及其主因，彙整各自之特徵。一般而言，治山設施處於嚴苛自然環境下，除了材料本身所造成的主要因素（凍害、鹼粒料反應、鹽害等）之外，也包括治山設施相關環境主要因素（降雨、氣溫、地盤狀況、PH值等）為加速劣化之主要因素。

第 6 章　劣化風險判斷手法之檢討(2015)

劣化風險定義為「將環境主要因素的程度等納入未來風險考量的劣化程度」之同時，彙整劣化度（龜裂、腐蝕量等）之臨界值與量測方法，檢討考量環境主要因素之劣化程度判定方法。其結果從治山設施個別實施計畫擬定手冊（案）所說明的巡視檢查到診斷、使用年限延長對策的流程之中，以「環境主要因素分數表」評估，判斷應否實施劣化或受損設施對策之判斷想法，建議編入方法。

第 7 章　修補與補強等對策手法案例彙整(2015)

彙整各種構造（混凝土、鋼製、木製）之修補與補強方法案例。此外，治山設施較少混凝土修補案例，因此提出類似治山設施之農業水利設施（明渠）修補案例。

第 8 章　對策手法構想及其分類(2015)

治山設施耐用年限延長對策手法，依對策種類（修補、機能強化、更新）與構造（材質）之外，劣化與損傷形態別以及修補、機能強化工法選定流程予以呈現。

第 9 章　容易維護管理之設施的建議(2015)

容易維護管理之設施分成「容易巡視檢查的設施」、「容易詳細調查與修補等的設施」、「不易損傷之設施（防範未然之對策）」三種，彙整容易維護管理做法之重點。

第2章　本研究對象之設施等

⑴　對象設施

- 主要對象為以山地防災為目的的治山設施（治山登記簿所記載設施）、工程種類以溪間工與山腹工種類、混凝土、鋼製、木製構造物為對象。
- 地滑對策設施（地滑對應部會與內容重複）、海岸設施不列入對象。
- 局部施作綠化工程、綠化完成後會腐蝕而回歸自然的工程種類（木柵工或原木工等）設施不列入巡視檢查對象。

⑵　對象設施之破損與劣化現象

本研究之中，發生破提、基礎淘空等狀況而陷入機能不全、需重做的受災設施不列入對象，而以設施修補可行之「受災」、「劣化」、「損傷」（磨損、腐蝕、剝落）為對象。

⑶　檢討之巡視檢查或調查種類

本研究所檢討之巡視檢查及調查種類如下

巡視檢查與 調查種類	內　　容
目視巡視檢查	以目視巡視檢查(主要觀察外觀有無異狀)
量測	以量具等量測異狀規模（淘刷深度與龜裂寬度等），定量掌握異狀。
打音檢查	以鐵鎚等實施打音而掌握構造物內部狀況（有無空洞等）。不設置工作平台，基本上在手能觸及的範圍內實施檢查。
詳細調查	實施鑽探調查或利用岩心鑽頭取得試料，進行各種試驗、定量掌握內部異狀程度。 此外，也可利用物理探測技術，進行非破壞檢查掌握內部狀況。

第 3 章　治山設施巡視檢查要領及治山設施修補與補強等案例相關內容檢討

第 1 節　治山設施巡視檢查要領相關內容檢討

第 1 項　治山設施巡視檢查相關之林野廳及都道府縣動向

⑴　2014年8 月19 日 林野廳關鍵基礎設施耐用年限延長計劃（行動計畫）

中央政府制定「關鍵基礎設施耐用年限延長計畫」（2012.10.4）之後，林野廳為確實推動其所管理與所擁有的關鍵基礎設施之維護管理與更新等制定配合中長期方向性之推動計畫。

- 對象設施：治山設施（保安設施事業相關設施，地滑防止設施）、林道設施（橋樑、隧道等）
- 計畫期間：2014~2018年度

⑵　個別設施計畫制定指引（手冊）（暫名）

基礎設施耐用年限延長計畫（行動計畫）制定後，預定2015年度中製作完成個別設施計畫制定指引（手冊）（暫名）之目標，並提供給都道府縣等。

此外，林道設施方面，在治山設施相關對策計畫制定指引完成之前，2015年3月林野廳先行公告「林道設施相關個別設施計畫制定指引」及「林道設施耐用年限延長對策手冊（暫定版）」。

⑶　指引公布後各縣之對應

目前各縣的治山設施與巡視檢查維護管理要領及手冊幾乎都尚未整備完成，預定2014年度起提供個別設施計畫制定指引之後，各縣開始推動手冊整備與巡視檢查。

以下是北海道與新潟縣之對應方針說明。

(i) 北海道(引自「北海道基礎設施耐用年限延長計畫」（行動計畫））

ⓐ 基準等

針對從巡視檢查與診斷到修補與更新等階段之對策，未來將配合林野廳所製作之耐用年限延長計畫指引（暫名），製作下表之基準類並適用之。

對象	基準類名稱	制訂(修訂)
治山設施	治山設施巡視檢查與診斷要領	2016年度(預定)

ⓑ 巡視檢查與診斷

治山設施長期以來係以治山巡邏事業等，實施定期及降雨後掌握狀況之巡視檢查，但配合耐用年限延長使用的巡視檢查診斷方法，應依據未來林野廳所制定之指引巡視檢查診斷要領，並實施之。

設施	頻率	巡視檢查診斷方法等	實施狀況
治山設施	未定	治山設施巡視檢查與診斷要領(暫名)預定2016年度制定完成	2017~2019年度完成第一巡(預定)

⑹ 資訊的累積與應用

治山設施之巡視檢查與診斷結果或修補履歷等，依據既有之治山登記簿系統，建立治山設施各單元等的資料庫，有效率地實施維護管理與更新等。

對象	資料庫名稱	開始運用時間
治山設施	治山設施資料庫（暫名）	2018 年度（預定）

北海道配合中央政府所制定之指引，推動如下一系列對策措施（工程表）。2016年度治山設施巡視檢查與要領（暫名）制定完成後，2017年度起正式推動配合設施耐用年限延長計畫之治山設施巡視檢查工程。



(i) 新潟縣（引自「公共設施之綜合管理計畫」 2014.10新潟縣）

依據「新潟縣治山設施巡視檢查實施要領」，實施治山設施巡視檢查。此外，依緊急程度將巡視檢查結果分類為：

S：需實施緊急修繕對策

A：需有計劃地實施修繕的修繕對策設施

B：確認有輕微異常但設施機能正常，因此繼續觀察

C：無異常

又，制定「治山設施修繕計畫」，按順序有計劃地從高優先度設施開始因應，希望能讓治山設施持續發揮效果、防止山地災害等。

此外，依據林野廳制定之「關鍵基礎設施耐用年限延長計畫（行動計畫）」，預定制定新潟縣治山設施相關之「個別設施計畫」。

其他縣也採取與北海道相同的做法流程，推估 2016 年度起各縣都會陸續完成治山巡視檢查手冊之整備，全國開始正式進行治山設施巡視檢查。

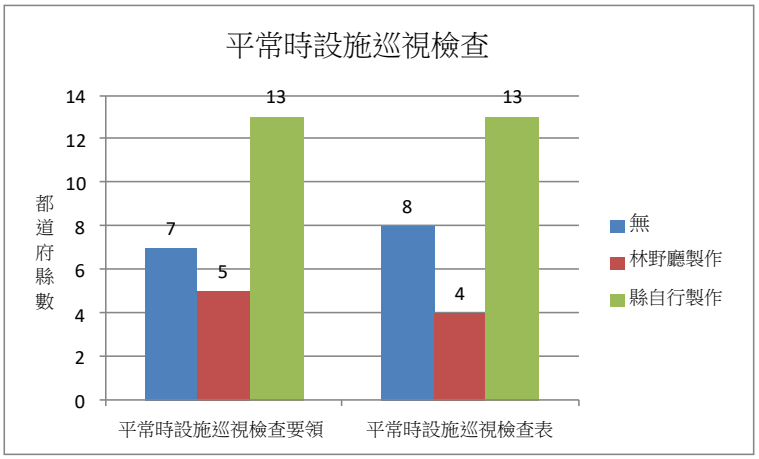
第 2 項　都道府縣設施災害調查手冊整備實況

2013年度之災害對應技術部門會議，為掌握設施巡視檢查要領與設施巡視檢查表之整備狀況而展開自行調查。以各都道府縣林務部門機關為對象之調查（詢問現役及退休官員等的口頭調查）項目如下表所示。

表 3-1 緊急調查要領等相關之 2013 年度調查提問

No.	分類	提問內容
1	平常時設施巡視檢查要領	平常時設施巡視檢查相關之調查要領係都道府縣所制定之原始內容，還是林野廳所制定的？
2	平常時設施巡視檢查表	平常時設施巡視檢查表（調查表）係都道府縣所制定之原始內容，還是林野廳所制定的？

自行調查所取得都道府縣中25個縣的資訊，結果如下圖所示



由上表可知，平常時已完成設施巡視檢查要領整備的縣有 18 個，已完成平常時設施巡視檢查表整備的縣有 17 個。

使用林野廳所製作巡視檢查要領而實施檢查的縣相比，自行製作巡視檢查要領的縣較多。但大多數都將巡視檢查要領當作內部資料而不公開。

第 3 項　既往治山設施巡視檢查要領

在一般可取得（網路公開或使用設施巡視檢查業務發包時的特別規格表等）範圍內蒐集過去的治山設施巡視檢查要領及巡視檢查表時，蒐集到林野廳所制定要領、新潟縣、兵庫縣三種巡視檢查要領（巡視檢查要領及巡視檢查表參照附件）。其特徵分別整理如下

⑴　林野廳制定要領

- 以公告方式對全縣發布，可稱為治山設施巡視檢查之共同格式化。
- 實施目視巡視檢查的同時，必要時也實施打音檢查。
- 詳細記載拍照與攝影之重點。
- 以攜帶型 GPS 掌握設施位置（緯度與經度）。
- 維護檢查表單包含現地巡視檢查表、巡視檢查整備表、狀況照片表，必要時應準備砌石調查（砌石構造時），治山壩略圖（即「示意圖」，無構造圖時可使用）。
- 巡視檢查整備表並非每一種工程種類（溪間工、坡面工等）都一一製作，且多為文字記載事項，難以資料庫化。

⑵ 新潟縣

- 巡視檢查表單採取只以目視檢查為實施對象之格式。
- 巡視檢查表單只有調查表，無照片圖冊。
- 有治山登記簿索引編號。
- 以攜帶型 GPS 掌握設施位置（經緯度），確認位置測量基準點。
- 調查表因工程種類、各種構造（溪間工，坡面工，地滑對策工，海岸構造物，雪崩對策工，落石對策工，木製構造物）而異，文字記載少、檢核項目多，比林野廳之格式化容易資料化。
- 無照片圖冊格式，照片資料係以 JPEG 形式交件為前提，有固定的文件夾構成與命名規則，交件納入後容易管理。

⑶ 兵庫縣

- 巡視檢查表單採取只以目視檢查為實施對象之格式。
- 巡視檢查表單包含治山設施巡視檢查評估表（類似新潟縣的調查表）、照片圖冊（全景、個別）。
- 有治山登記簿索引編號。
- 以攜帶型 GPS 掌握設施位置（經緯度），確認位置測量基準點。
- 調查表因工程種類、各種構造（溪間工，坡面工，落石預防工（RR 工法），木製構造物）而異，文字記載少、檢核項目多，比林野廳之格式化容易資料化。
- 進行治山設施巡視檢查的同時，也實施周邊山地巡視檢查調查（參考山地災害危險地區調查結果），規格化的綜合進行緊急程度評估（需定期實施巡視檢查之頻率）。此外，周邊山區巡視檢查調查之對象，應在圈定「與山地災害危險地區不重複之土石流危險溪流」之後加以確定。

各自的優點方面，林野廳格式化詳細記載拍照攝影要領，進行狀況拍照時比較不會發生巡視檢查者做法不一之狀況。新潟縣與兵庫縣的優點在於巡視檢查表有許多檢核項目，容易資料庫化。此外，新潟縣制定了照片數據（JPEG 形式）之歸檔規則，容易實施照片資料管理。

第4項　容易使用的巡視檢查表示意圖

以都道府縣格式為基礎，加入前述林野廳格式之優點，並考量養護與補強之實施的改良巡視檢查表（溪間工）示意圖，如下。

治山設施巡視檢查　評估表

- 溪間工（節制壩、護岸工等）

No.

		巡視檢查年月日	
現地調查者所屬單位		巡視檢查者姓名	
治山登記簿ID		計畫編號	
施工年度		事業名稱	
施工地點			
保全對象			

工程種類	巡視檢查項目	異常 有	異常 無	異常之概況	工程種類	巡視檢查項目	異常 有	異常 無	異常之概況
	種類別					種類別			
	單元					單元			
	位置資訊 GPS位置號碼	N：0° 0’ 0.0” E：0° 0’ 0.0”				位置資訊 GPS位置號碼	N：0° 0’ 0.0” E：0° 0’ 0.0”		
	治理中心線異					治理中心線異常			
	線形					線形			
	傾倒					傾倒			
No.1	淘刷					淘刷			
○節制壩	壩翼崁入					壩翼崁入			
	異常堆沙				□護岸工	混凝土異常			
○固床工	混凝土異常					框構件異常			
	框構件異常					填塞石異常			
○帶工	填塞石異常					嵌入部漏水			
	漏水					本體之破損			
	縱橫接縫					周邊土砂崩落			
	本體之破損、龜裂								
	周邊土砂崩落								
打音檢查	健全地點 異狀地點	靜音、濁音 靜音、濁音							
	土石堆積狀況	滿沙 0	未滿沙						

設施周邊的林地狀況	前方為道路，後方為森林，日照良好	
現地調查人員綜合判定（委託外部時填寫）	○ S 有緊急修繕之必要 ○ A 為修繕對策設施，有計劃的進行修繕 ○ B 為維護設設施機能，需觀察其經過 ○ C 無異常	摘要：實施詳細調查 有 無（異常之原因、預定修繕時期、修繕方法、概算工程費用、判定之理由等等） 實施詳細調查之理由
農林事務所綜合判定 確認日 2019年1月	○ S 有緊急修繕之必要 ○ A 為修繕對策設施，有計劃的進行修繕 ○ B 為維護設設施機能，需觀察其經過 ○ C 無異常 是否需災害緊急巡視檢查 ○需要 ○不需要	摘要：（異常之原因、預定修繕時期、修繕方法、概算工程費用、判定之理由等等）

定期巡視檢查計畫		摘要（左列之判斷理由）
	○ A 需巡視檢查	
	○ B 未來不需巡視檢查	
	○ C 其他	

第 5 項　治山巡視檢查實施人員之意見聽取

聽取有實施治山巡視檢查經驗者有關使用以往之巡視檢查表進行治山設施巡視檢查時產生的問題，結果如下所示。

① 治山登記簿所記載之設施多難以現地確認，相當耗時（早期製作的平面圖精度明顯偏低，因此作業效率不佳）。
② 使用GPS等進行座標量測、拍照攝影、紀錄等，在現地之作業時間意外的長（特別是陡峭地形地區）。
③ 前往早期設施之通達道路經常中斷，尋找對象設施相當耗費時間與人力物力。無法找到目標設施之案例甚多。
④ 「填寫調查表」或「製作統計表」等有各種製作格式，室內作業相當耗時。
⑤ 照片很多一一貼在照片登記簿相當耗時。
⑥ 照片等太多，希在交件時不需全部沖印出來，而只需存檔交件。

第 6 項　巡視檢查要領（手冊）及巡視檢查表之改善提案

⑴ 巡視檢查表檢附 GPS 軌跡圖

治山事業幾乎都位於山區，完工經過幾年之後設施通達道路很可能就會被樹木覆蓋，此時即使知道目標設施位置（經緯度），有時還是得費一番力氣才能抵達現場。因此建議應設計檢附 GPS 軌跡圖之格式，事先製作從初次調查時停車地點到目標設施之軌跡圖示。

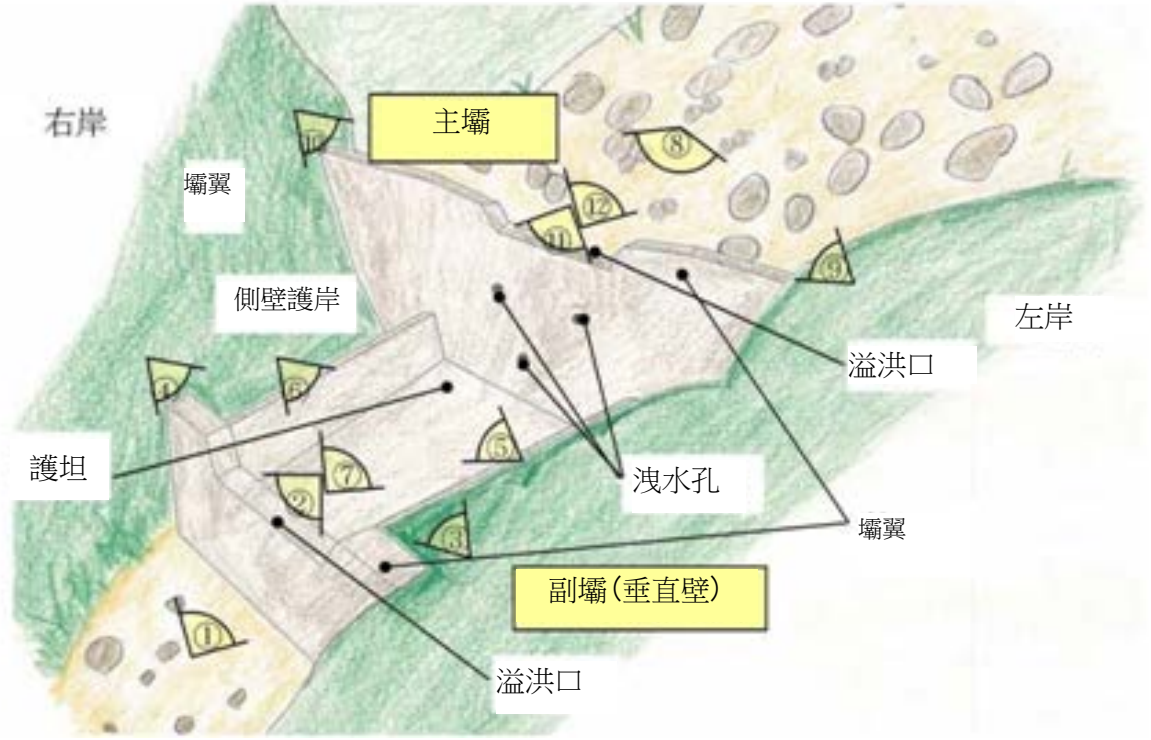


圖3-2 利用GPS軌跡圖設定到達調查地點的路線圖

⑵ 巡視檢查要領之拍照攝影重點的圖示

為減少巡視檢查人員的拍照攝影重點產生差異，且將拍照張數降到最低，建議巡視檢查要領記載說明攝影重點與角度等的概略圖。

防砂壩拍照攝影位置圖



【拍照攝影地點編號】

編號	攝影位置	攝影對象物	編號	攝影位置	攝影對象物
①	副壩*下游 *)或垂直壁	副壩下游面全景 副壩護床工	⑦	主壩下游	主壩下游面全景護坦
②	副壩上游	副壩上游面全景 副壩溢洪口	⑧	主壩上游	主壩上游面全景副壩溢洪口
③	副壩左岸壩翼	副壩右岸壩翼	⑨	主壩左岸壩翼	主壩右岸壩翼（含溢洪口端牆或壩翼上部坡面）～上游
④	副壩右岸壩翼	副壩左岸壩翼	⑩	主壩右岸壩翼	主壩左岸壩翼（含溢洪口端牆或壩翼上部坡面）～上游
⑤	左岸側壁	左岸側壁護岸	⑪	主壩溢洪口	防砂壩下游全景
⑥	右岸側壁	右岸側壁護岸	⑫	主壩溢洪口	防砂壩上游全景

【注意事項】

- 上圖為原則上的攝影位置，但若因地形或流水狀況等而可能遭遇危險的地點，也可改到能拍攝對象物的地點，實施拍照。
- 攝影位置應先填寫格式 2-3-1 表格。
- 為了能確認防砂設備等的異狀是否產生變化，不論有無損傷都必須實施定點拍照。
- 為確認破損地點狀況，必要時應實施特寫拍照。
- 相同對象物一次得拍許多張時，應於照片編號（① ②....）之後附加分支編號（-1、-2）
- 副壩超過二座或下游有垂直壁時，照片編號前分別註記「副下」、「副上」、「垂直」，加以區別。

圖 3-3 拍照位置圖（廣島縣防砂設施巡視檢查手冊）

⑶ 檢附素描圖

構造出現異狀的照片有可能經過一段時間後無法看出拍攝地點，因此建議用林野廳格式附件5之方法，檢附素描。

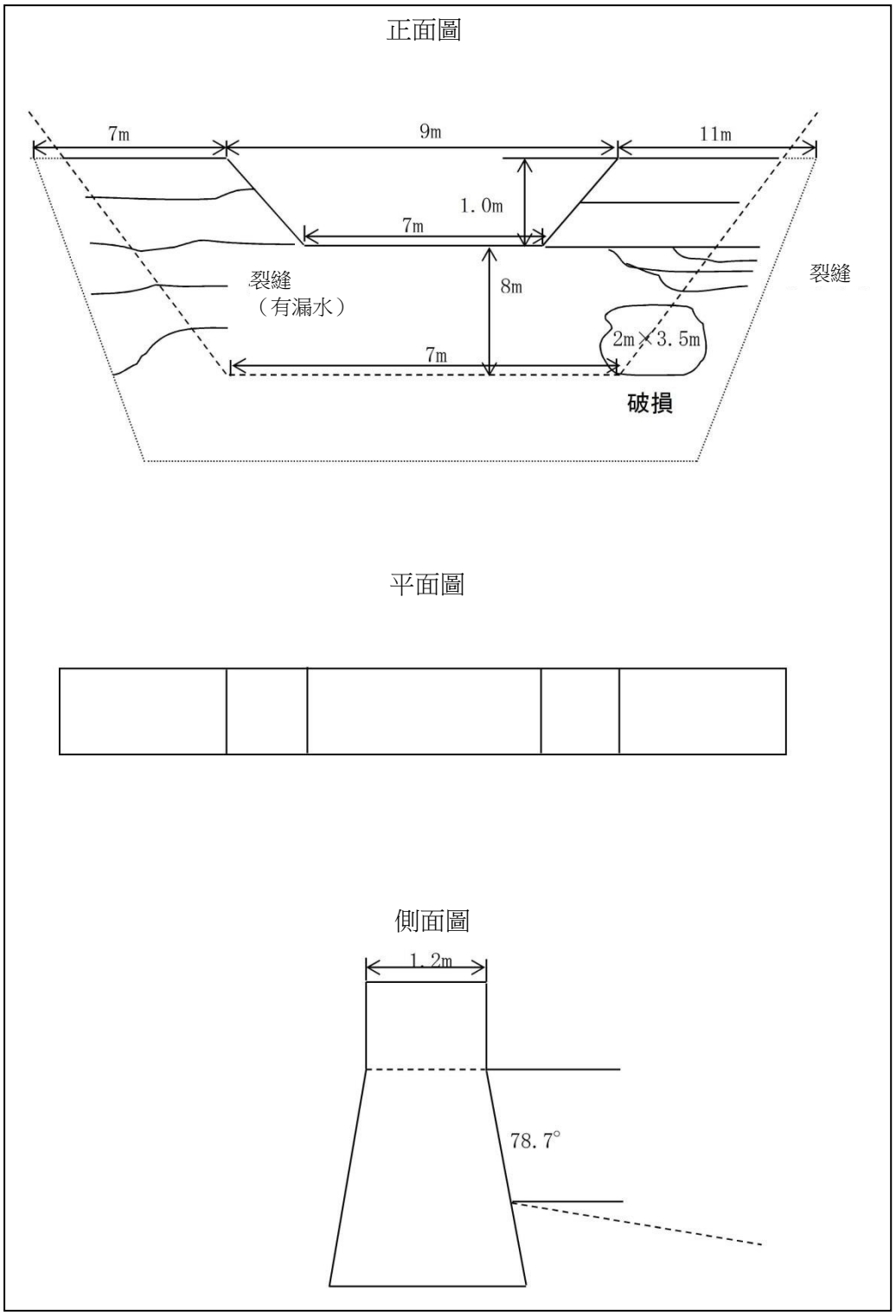


圖3-4 構造物異狀地點之素描圖

⑷ 電子數據之照片管理（室內作業效率化）

製作照片簿一一張貼非常耗時，因此只需貼全景或幾張照片（正面、側面及俯瞰照片）在照片簿上當作資料，詳細而完整的照片則建議在決定收藏規則之後以電子化建檔。

附件 2

設施巡視檢查照片整理基準

1　照片整理

現地拍攝之治山設施巡視檢查狀況，照片應依下列規則整理成電子資料。

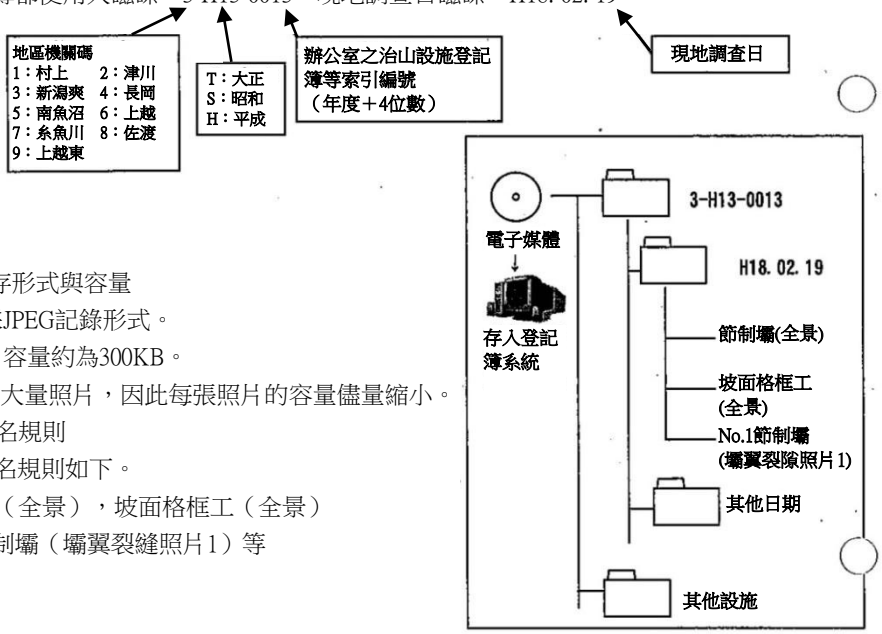
(1)　磁碟化

所拍攝之巡視檢查狀況照片在各治山登記簿（工程登記簿）各自製作的大磁碟之中，分別設定現地調查日後，將照片檔鍵入磁碟。

(2)　磁碟命名規則

磁碟命名規則如下，並採取半形英文大寫。

例）各登記簿都使用大磁碟　3-H13-0013　現地調查日磁碟　H18. 02. 19



(3)　照片檔保存形式與容量

①　照片檔採JPEG記錄形式。

②　每張照片容量約為300KB。

※需保存大量照片，因此每張照片的容量儘量縮小。

(4)　照片檔命名規則

照片檔命名規則如下。

例）節制壩（全景），坡面格框工（全景）

例）No.1節制壩（壩翼裂縫照片1）等

(5)　其他

①　利用照片編輯軟體修整或調整照片大小時，注意不可失去拍攝年月日等照片拍攝屬性。

②　以“拼接攝影”拍攝全景照片時，應儘量縮小檔案大小。且拼接前的個別照片，應先製作磁片備份另外保存。

2　保存方法

(1)　治山設施之巡視檢查狀況照片，除了應收入治山登記簿管理系統，也應原件存入電子媒體。

(2)　保存媒體為 CD-R(RW)或DVD-R(RW)。

(3)　所保存的 CD-R等需採取其他機種也能讀取之保存方式。

-373-

(23. 04. 01)

圖 3-5 照片資料整理方法案例（引自「新潟縣治山巡視檢查要領」）

⑸ 容易使用的巡視檢查評估表（案）

今年所召開的第一次檢討委員會議，針對巡視檢查評估表提出的意見如下。

・ 巡視檢查表需有記載異狀規模量測值之欄位。

・ 打音檢查應於瞭解劣化程度後實施。此時也應記載實施地點（部位）。

聽取設施巡視檢查經驗者之意見並參考委員會議委員意見，試做如下巡視檢查者容易使用的巡視檢查評估表。

表 3-2 容易使用之巡視檢查評估表（案）（紅色部份為本研究加強重點）

治山設施巡視檢查　評估表

| | | |

第2節　治山設施修補與補強等相關資料之蒐集與整理

第1項　蒐集案例之趨勢

所蒐集的治山設施修補與補強相關案例，到 2015 年 4 月底 15 個案例都是節制壩。主要是修補與補強對策發包之設計工程種類只有節制壩，坡面工（擋土工與水路工）則只實施恢復原狀之工程發包，無修補設計業務。

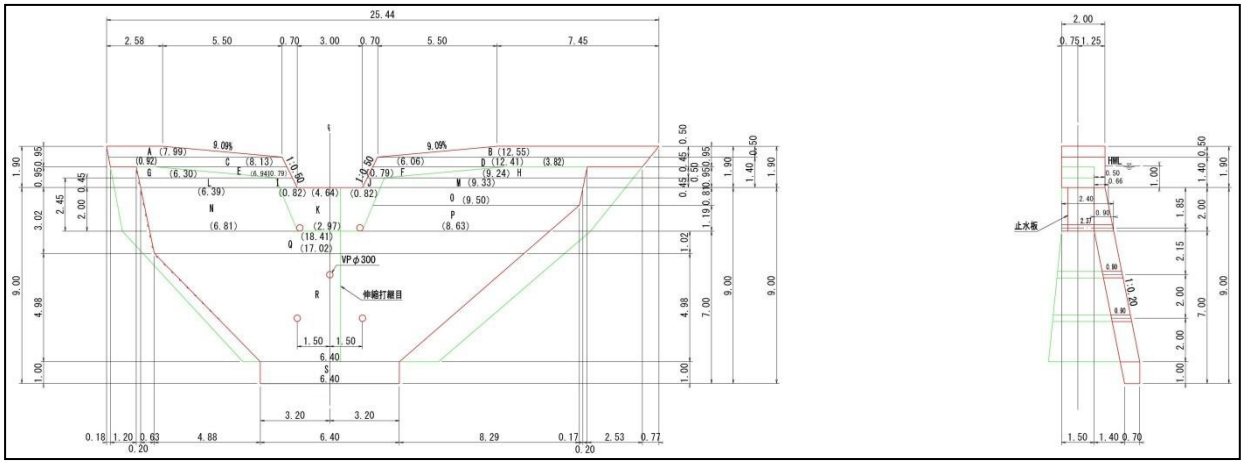


圖 3-6 蒐集案例之一（節制壩加厚、加高）

第2項　蒐集案例分析

所蒐集之 15 個案例，分析其趨勢如下。

① 加高（緊貼下游坡面）：5 件，加高（上游）：4 件，加高（只有壩翼）：1 件，坡腳強化工：2 件，副壩施工回填：1 件，新設（詳細調查後判斷難以加高）：2 件

② 加高之方法在治山相關準則並無記載，因此參考國土交通省中部地方整備局所發行之「砂防設施設計要領（案）」（為確保加高部分緊密附著既有設施，併用表面鑿碎插筋）。

③ 加高高度為 1.5 ~ 5.0 m ，以加高 2.0 m 之案例最多。

④ 坡腳強化工應依據「治山必攜（災害編）」施工。

⑤ 副壩回填容易出現坡腳淘刷，在判斷難以進一步疏浚下實施之。

⑥ 目視巡視檢查之外的詳細調查只有 3 個案例，在不瞭解河川塊石混凝土等壩體內部狀況下實施之。

⑦ 設施健全性與安定性評估所需之詳細調查，簡易實施時可進行鑽心試料調查，正式實施時應實施鑽心取樣調查與鑽孔掃瞄觀測等。

此外，本年度委員會對修補與補強等案例之彙整方法，有下列意見。

- 案例應將修補與補強分類彙整。
- 應記載加高之目的與理由等。

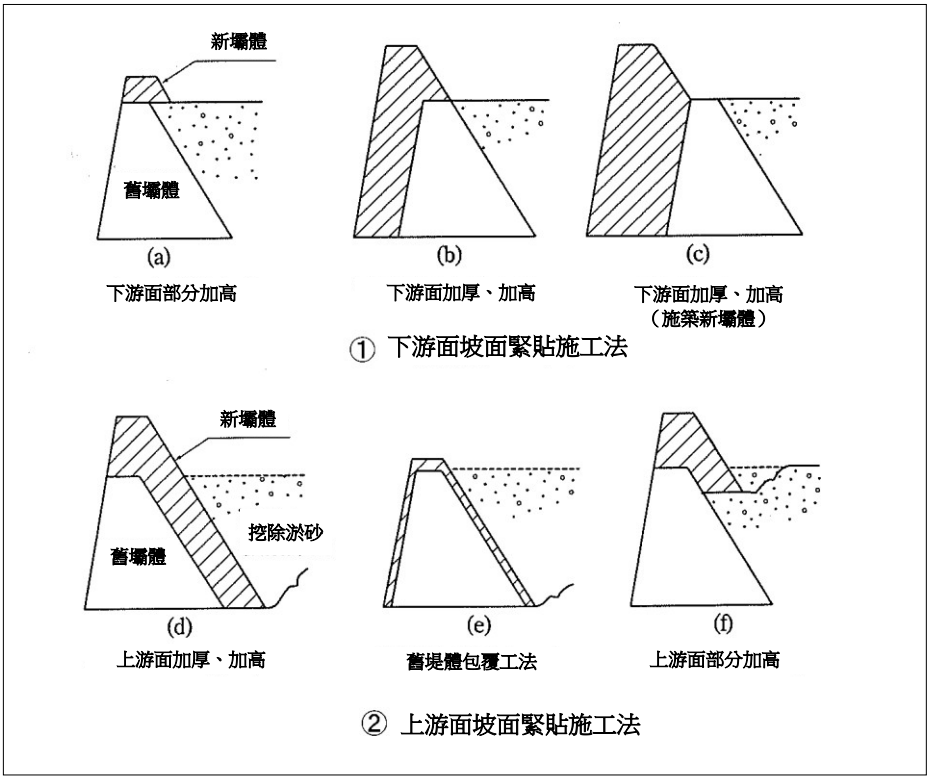
第3項　壩體加高工法之分類【參考】

壩體加高施工方法大致如圖 3-7 所示，可分類為①下游面坡面緊貼施工法、②上游面坡面緊貼施工法。二工法之特徵如下。

此外，下列內容係引自「砂防設施設計要領（案）」2004 年3 月（國土交通省 中部地方整備局）及「砂防設計指引」2008 年 3 月（愛知縣建設部）。

① 下游面坡面緊貼施工法能在壩體背後淤砂區域、維持現狀地，以簡易掏井施工，有利施工，但主應力之方向與接縫方向相同，應力可能不佳。

② 上游面坡面緊貼施工法，施工時需挖除壩體背後淤砂區域內淤積土砂（施工範圍內），為確保施工地點並需施作導流工。應力方面因主應力方向與接縫方向垂直，對下游面坡面緊貼工法有利。



上圖（a）及（f）部分加高工法之構造係以舊壩體承受加高所增加作用荷重。因此，採用這種工法之條件為，舊壩體須處於健全狀態。（b）、（c）、（d）工法則是舊壩體非處於健全狀態下同時實施補強對策之加高工法。

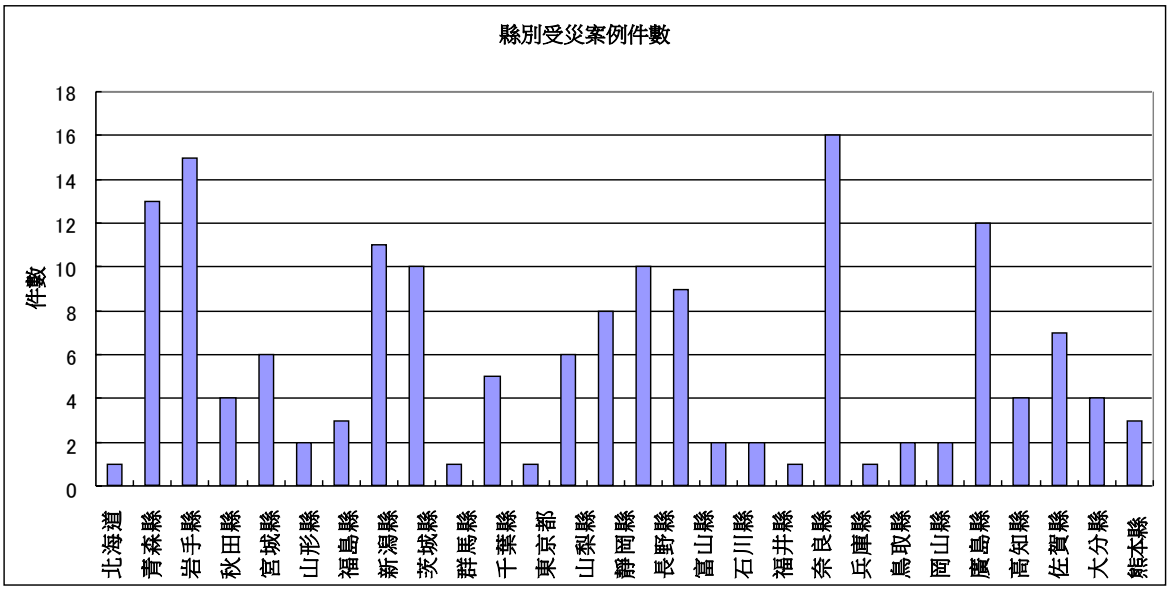
圖 3-7　壩體加高工法之種類

第4章　配合工程種類及構造的巡視檢查手法之檢討

第1節　上年度成果回顧

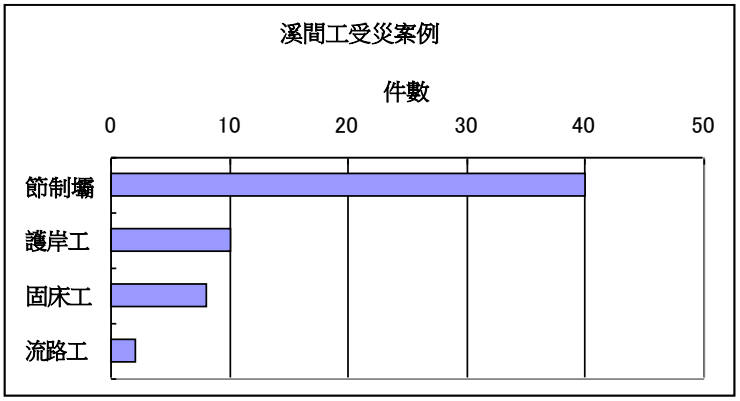
第1項　防災設施受災實況調查之實施結果

2013 年度災害對應技術部門會議自行實施之調查結果如下。受災設施案例有 28 都道府縣 176 例。各都道府縣受災案例件數如下。



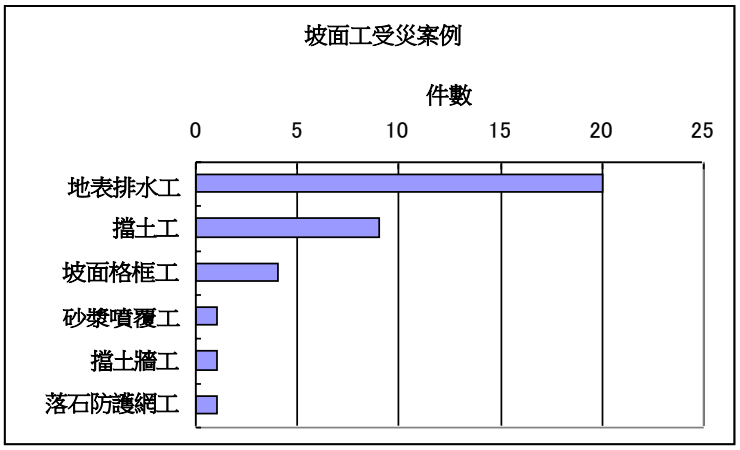
溪間工

工程種類	回答數目
節制壩	40
護岸工	10
固床工	8
流路工（固床工＋護岸）	2



坡面工

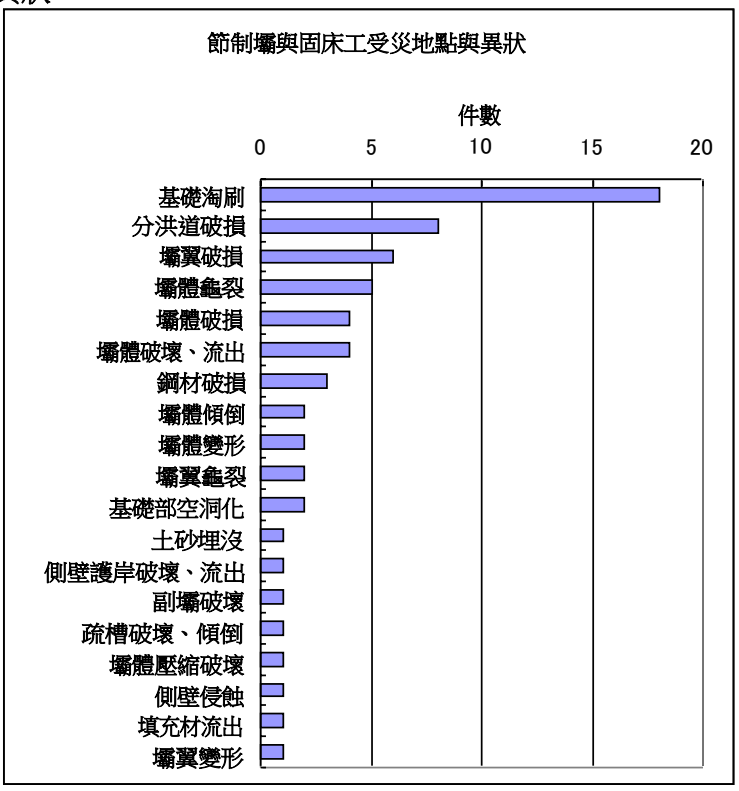
工程種類	回答數目
地表排水工	20
擋土工	9
坡面格框工	4
砂漿噴覆工	1
擋土牆工	1



第2項　各對策工程種類的受災地點與異狀

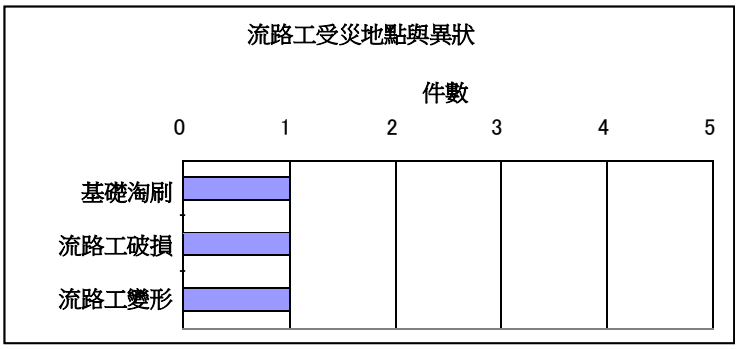
節制壩與固床工

異狀之種類	回答數目
基礎淘刷	18
分洪道破損	8
壩翼破損	6
壩體龜裂	5
壩體破損	4
壩體破壞、流出	4
鋼材破損	3
壩體傾倒	2
壩體變形	2
壩翼龜裂	2
基礎部空洞化	2
土砂埋沒	1
側壁護岸破壞、流出	1
副壩破壞	1
疏槽破壞、傾倒	1
壩體壓縮破壞	1
側壁侵蝕	1
填充材流出	1
壩翼變形	1



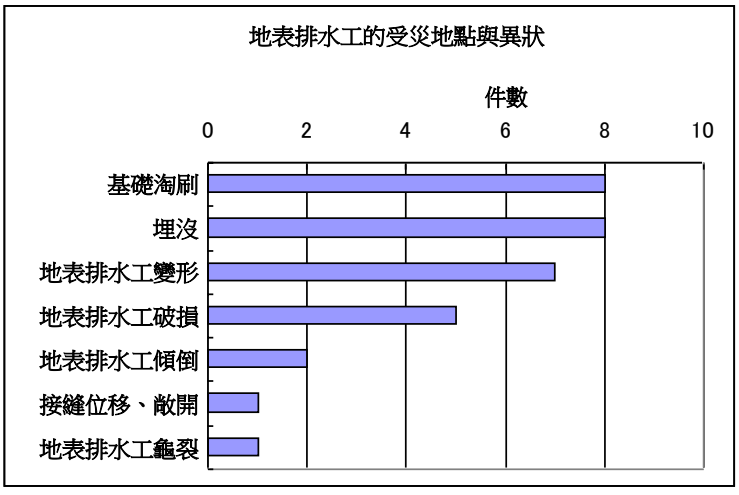
流路工（固床工＋護岸）

異狀之種類	回答數目
基礎淘刷	1
流路工破損	1
流路工變形	1



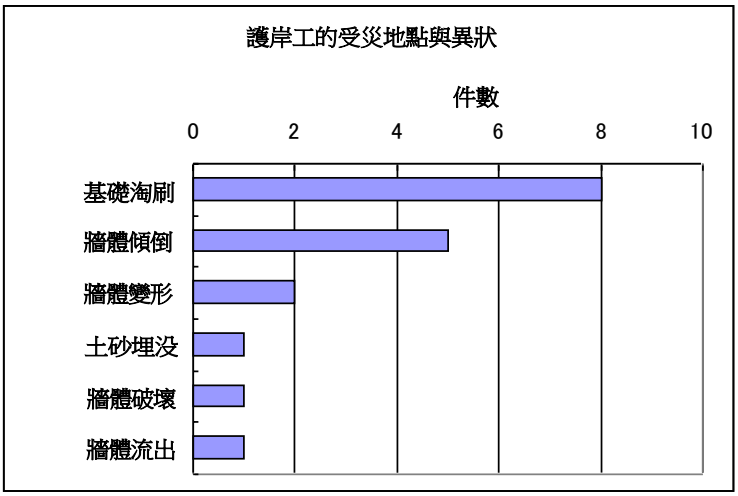
地表排水工

異狀之種類	回答數目
基礎淘刷	8
埋沒	8
地表排水工變形	7
地表排水工破損	5
地表排水工傾倒	2
接縫位移、拉開	1
地表排水工龜裂	1



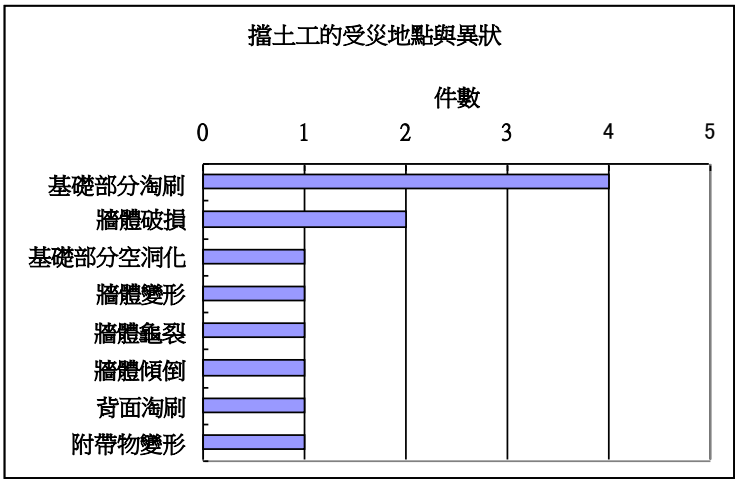
護岸工

異狀之種類	回答數目
基礎淘刷	8
牆體傾倒	5
牆體變形	2
土砂埋没	1
牆體破壞	1
牆體流出	1



擋土工

異狀之種類	回答數目
基礎部分淘刷	4
牆體破損	2
基礎部分空洞化	1
牆體變形	1
牆體龜裂	1
牆體傾倒	1
背面淘刷	1
附帶物變形	1



坡面格框工

異狀之種類	回答數目
背面淘刷與空洞化	2
坡面格框崩落	2

水泥砂漿噴覆工

異狀之種類	回答數目
砂漿龜裂	1
砂漿挫屈	1

擋土牆工

異狀之種類	回答數目
基礎淘刷	1

落石防護網工

異狀之種類	回答數目
整體崩落	1

＜受災地點與異狀之整理＞

- 各種工程種類出現的異狀，都以「基礎淘刷」比例最高。
- 節制壩與固床工最多之異狀為「基礎淘刷」，其次為「溢洪道破損」、「壩翼破損」、「壩體破損」。
- 地表排水工最多之異狀依次為「基礎淘刷」、「埋没」、「地表排水工變形」。
- 護岸工之異狀幾乎都是「基礎淘刷」與「牆體傾倒」。
- 擋土工之異狀幾乎都是「基礎淘刷」與「牆體破損」。

第3項　防砂壩受災狀況調查

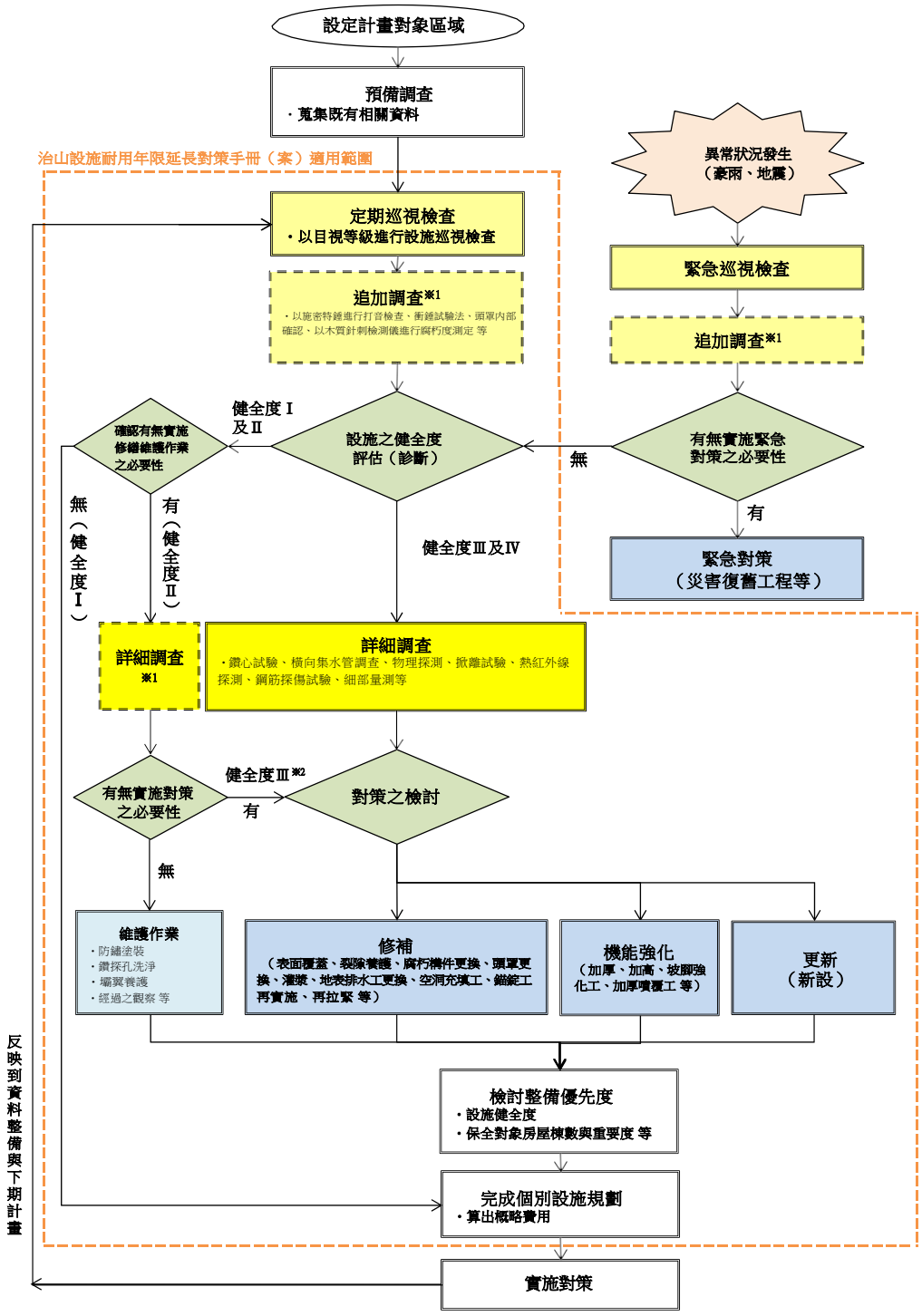
建設省土木研究所砂防研究室 1987 年 4 月實施防砂壩災害狀況調查結果顯示，防砂壩每年平均約 10 件受災，受災部位多半是下游面基礎、主壩基礎、副壩基礎、副壩下游淘刷、主壩溢洪口破損 、主壩壩翼破損，與 2013 年災害對應部門會議之溪間工受災統計結果相同。

表 4-1 防砂壩形態別災害件數（防砂壩災害實況調查 1987.4 建設省土木研究所砂防研究室）

災害形態	55～78年度（直轄）	79～85年度（直轄）
主壩溢洪口破損	38	9
〃 壩翼破損	16	8(內4件櫻島)
〃 下游坡面淘刷	10	0
〃 裂隙	3	1
〃 倒塌（部分，全倒）	3	1(櫻島)
護坦部分破損	15	1
下游面基礎或主壩基礎淘刷	58	11
側壁護岸破損	7	3
副壩破損	21	3
副壩基礎或下游淘刷	40	27
下游預鑄塊流失	5	3
主壩與銜接部分缺損破壞	9	0
漏水	0	0
魚道缺損破壞	0	0
壩翼越流	1	0
大暗渠破損	1	0
異常土砂掩埋	0	0
地滑引致防砂壩移動	0	1
計	227	68

第2節　巡視檢查流程

林野廳「治山設施個別設施規劃擬定手冊」（案）之中，針對實施巡視檢查到診斷、設施耐用年限延長對策（修繕維護作業、修補、機能強化、更新）為止的一系列個別設施規劃流程，說明如下。



※1：必要時實施
※2：對策是否有實施必要性（健全度由Ⅱ往Ⅲ降低）之判斷，應參考所實施之詳細調查。

註）即使不列入個別設施規劃對象之設施，也應利用豪雨之後等緊急巡視檢查等的機會巡視檢查設施，判斷有無實施對策之必要性。

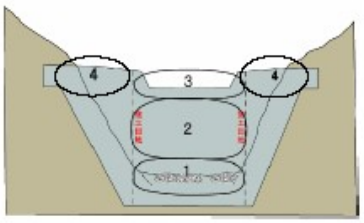
圖 4-1 個別設施規劃相關計畫之擬定到計畫實施流程

引自「治山設施個別設施規劃擬定手冊」（案） p.17

第3節　工程種類（溪間工與坡面工）之巡視檢查手法檢討

第1項　溪間工之巡視檢查手法

溪間工容易產生破損與劣化地點及主要因素、特徵等的標示方法如下。

破損與劣化地點及項目			主要因素	破損與劣化之特徵
主要的破損與劣化地點	地點編號	項　目		
	1	基礎淘刷	・水流落下 ・(脆弱之地質)	・許多為流水與土石流等外在要因所造成破損的案例，另外也有漏水等混凝土劣化所引致內在要因造成的破損案例。
	1	護坦破損	・流水及礫石落下 ・護坦厚度不足	
	2	壩體磨擦	・土石流 ・水流搬運之土砂	
	3	溢洪口磨損、侵蝕、破損	・土石流 ・水流搬運之土砂	
	4	壩翼破損	・土石流 ・一般洪水	
	全體	漏水	・混凝土劣化 ・混凝土施工縫處理不佳	
	全體	壩體變形、龜裂等	・地盤支撐力不足 ・土石流衝擊	

※「淺山地區以保存活用歷史性防砂設施活化地區之調查報告」（2003 年 3 月，(社)土木學會　(財)砂防前線整備推動機構）增添而成

⑴　目視巡視檢查

溪間工目視巡視檢查過去有許多實施案例，過去治山巡視檢查要領及巡視檢查表也都針對上述應注意部位（破損與劣化地點）標示具體檢查項目。此外，過去運用此要領及巡視檢查表所實施的巡視檢查資料已頗有規模，因此項目最好不要大幅更動。

表 4-2 林野廳治山設施現地巡視檢查表（紅框為溪間工相關項目）

附件

〈治山事業用現地巡視檢查表〉

調查日　　年　　月　　日　　調查者

施工地點 _____ 國有林 _____ 林小班　　凹谷名稱 _____

堤壩銘板（施工年度 T S H　　年度　施工業者 _____ 發包者 _____ No.）

拍照攝影　有　無　（_____）

ＧＰＳ情報　（北緯）_____　（東經）_____

工程種類 ☐ 溪間工（含護岸工）　（種別：（例）混凝土、漿砌石、鋼製等　）

防砂壩構造　頂端寬_____m　壩體有效高程（下游）_____m　溢洪道長度_____m

（附件５鳥瞰圖　有　無）　其他_____

調查內容 ☐ 基礎部淘刷　☐ 壩翼嵌入山坡處侵蝕　☐ 淤砂容量深度_____m

☐ 堤體損傷　☐ 只略見損傷

☐ 若只有微裂縫，防砂壩機能不會受影響

☐ 防砂壩部分損壞，未來須實施對策

意見 ☐ 未來有必要實施對策　☐ 應立即實施對策（具體填寫判斷欄）

工程種類 ☐ 坡面工（含落石防止設施等）

調查內容 ☐ 設施倒塌、淘刷、破損、沉陷、腐蝕、拱出、鬆弛、扭曲、變形、龜裂等

☐ 坡面崩塌、淤積、龜裂、侵蝕

☐ 集排水設施阻塞、有湧水

☐ 植生侵蝕、滑落、無法生長、多裸露地

意見 ☐ 未來有必要實施對策　☐ 應立即實施對策（具體填寫判斷欄）

工程種類 ☐ 保安林管理林道

調查內容 ☐ 設施破損　☐ 路肩破壞

☐ 坡面土砂流出　☐ 集排水設施阻塞

意見 ☐ 未來有必要實施對策　☐ 應立即實施對策（具體填寫判斷欄）

必要時應記載周邊狀況

溪流狀況 ☐ 並未完全荒野化　☐ 有溪岸或溪床侵蝕現象

☐ 溪流持續荒野化　☐ 可確認發生山坡崩塌或土石流

森林狀況 ☐ 有適當地維護管理　☐ 有的森林維護管理不足

☐ 森林持續荒野化　☐ 森林經營完全荒廢

綜合判斷（巡視檢查狀況：設施及設施周邊狀況，整備狀況：設施養護狀況等）

_____

_____

_____

註 1. 本表係使用治山設施巡視檢查整備調查的基礎資料（向監督員工提出）

2. 在該當之 ☐ 打勾

3. 治山工程地點設施圖之施工位置檢核（攜帶ＧＰＳ，進行位置量測）

4. 照片應拍攝全景或近景及產生異狀之異常地點（參照附件３之「治山設施巡視檢查整備調查拍照攝影要點」）

5. 治山登記簿未附具構造圖者，應依據附件５之治山壩鳥瞰圖，記錄防砂壩構造。

6. 砌石構造物及特殊砌石構造物應進行附件４之砌石調查

表 4-3 都道府縣所使用溪間工巡視檢查評估表

治山設施巡視檢查　評估表

附件格式1

- 溪間工（節制壩、護岸工等）

No.

		巡視檢查年月日	
現地調查者所屬單位		巡視檢查者姓名	
治山登記簿ID		計畫編號	
施　工　年　度		事業名稱	
施　工　地　點			
保全對象			

工程種類	巡視檢查項目	異常 有	異常 無	異常之概況	工程種類	巡視檢查項目	異常 有	異常 無	異常之概況
	種類別					種類別			
	單　元					單元			
	位置資訊 GPS位置號碼	N：0° 0’ 0.0” E：0° 0’ 0.0”				位置資訊 GPS位置號碼	N：0° 0’ 0.0” E：0° 0’ 0.0”		
	治理中心線異					治理中心線異常			
	線形					線形			
	傾倒					傾倒			
No.1	淘刷					淘刷			
○節制壩	壩翼崁入					壩翼崁入			
	異常堆沙				□護岸工	混凝土異常			
○固床工	混凝土異常					框構件異常			
	框構件異常					填塞石異常			
○帶工	填塞石異常					嵌入部漏水			
	漏水					本體之破損			
	縱橫接縫					周邊土砂崩落			
	本體之破損、龜裂								
	周邊土砂崩落								
	土石堆積狀況	滿沙 0	未滿沙						

設施周邊的林地狀況	前方為道路，後方為森林，日照良好		
現地調查人員綜合判定（委託外部時填寫）	○ S 有緊急修繕之必要	摘要	（異常之原因、預定修繕時期、修繕方法、概算工程費用、判定之理由等等）
	○ A 為修繕對策設施，有計劃的進行修繕		
	○ B 為維護設設施機能，需觀察其經過		
	○ C 無異常		
農林事務所綜合判定	○ S 有緊急修繕之必要	摘要	（異常之原因、預定修繕時期、修繕方法、概算工程費用、判定之理由等等）
	○ A 為修繕對策設施，有計劃的進行修繕		
	○ B 為維護設設施機能，需觀察其經過		
	○ C 無異常		
確認日 2019年1月	是否需災害緊急巡視檢查 ○需要 ○不需要		

定期巡視檢查計畫	○ A 需巡視檢查	摘要（左列之判斷理由）
	○ B 未來不需巡視檢查	
	○ C 其他	

⑵ 詳細調查

詳細調查因各種不同構造（混凝土、鋼製、木製）而實施內容不同，因此在「第4 章 第4節 各種構造（混凝土，鋼製，木製）巡視檢查方法檢討」說明。

⑶ 健全度評估（異狀等級）

林野廳及各縣配合緊急度，就治山設施修繕之必要性由現地調查人員及農林事務所員工依據下列基準判定巡視檢查結果。

S：需實施緊急修繕對策
A：實施修繕對策之設施需有計畫地進行修繕
B：確認輕微異常，但能維持設施機能，因此持續觀察
C：無異常

但巡視檢查者或辦公室員工可能判斷錯誤，因此應設定某種程度的判斷基準。

此外，「砂防相關設施巡視檢查要領（案）2014.9.24 國土交通省砂防部保全課」之中以防砂壩模式圖與照片說明異狀等級所示，治山壩異狀等級判定（健全度評估）本防砂要領也可充分準用。

圖 4-2　以模式圖說明防砂壩與固床工異狀等級評估基準之案例（砂防相關設施巡視檢查要領（案））

主要部位之異狀等級案例照片（砂防—01）

設施分類	防砂設備	設施名稱	防砂壩	評估項目	磨損
適用分類	不透過型混凝土防砂壩			部位	壩體（溢洪口頂端）
需對策時機能降低	有	需對策時性能降低	無	需對策時的環境影響	無

異狀等級	健全度評估基準	參考案例
a （輕微損傷）	【定期巡視檢查與臨時巡視檢查結果】 ○無異狀 ○輕微磨損	 防砂壩溢洪口頂端
b （有損傷，但未降低機能與性能）	【定期巡視檢查與臨時巡視檢查結果】 ○鉛直方向之磨損深度約小於一個抬高等級	 防砂壩溢洪口頂端
c （機能與性能下降）	【定期巡視檢查與臨時巡視檢查結果】 ○鉛直方向之磨損深度約大於一個抬高等級	 防砂壩溢洪口頂端

圖 4-3　異狀等級之案例照片　溢洪口磨損（砂防相關設施巡視檢查要領（案））

主要部位之異狀等級案例照片（砂防—02）

設施分類	防砂設備	設施名稱	防砂壩	評估項目	裂縫
適用分類	不透過型混凝土防砂壩			部位	壩體
需對策時機能降低	無	需對策時性能降低	有	需對策時的環境影響	無

異狀等級	健全度評估基準	參考案例
a （輕微損傷）	【定期巡視檢查與臨時巡視檢查結果】 ○無異狀 ○輕微裂痕	 防砂壩壩體
b （有損傷，但未降低機能與性能）	【定期巡視檢查與臨時巡視檢查結果】 ○水平方向裂縫都小於各預鑄塊寬約 1/2	 防砂壩壩體
c （機能與性能下降）	【定期巡視檢查與臨時巡視檢查結果】 ○水平方向裂痕都大於各預鑄塊寬約 1/2 ○裂縫貫穿上下游	 防砂壩壩體

圖 4-4　異狀等級之案例照片　壩體裂縫（砂防相關設施巡視檢查要領（案））

主要部位之異狀等級案例照片（砂防—03）

設施分類	防砂設備	設施名稱	防砂壩	評估項目	淘刷
適用分類	不透過型混凝土防砂壩			部位	壩體（基礎）
需對策時機能降低	無	需對策時性能降低	有	需對策時的環境影響	無

異狀等級	健全度評估基準	參考案例
a （輕微損傷）	【定期巡視檢查與臨時巡視檢查結果】 ○無異狀 ○輕微淘刷	 防砂壩基礎部
b （有損傷，但未降低機能與性能）	【定期巡視檢查與臨時巡視檢查結果】 ○基礎部淘刷未達防砂壩基礎面	 防砂壩基礎部
c （機能與性能下降）	【定期巡視檢查與臨時巡視檢查結果】 ○基礎部淘刷到達防砂壩基礎面	 防砂壩基礎部

圖 4-5　異狀等級之案例照片　基礎淘刷（砂防相關設施巡視檢查要領（案））

主要部位之異狀等級案例照片（砂防—04）

設施分類	防砂設備	設施名稱	防砂壩	評估項目	漏水
適用分類	不透過型混凝土防砂壩			部位	壩翼
需對策時 機能降低	無	需對策時 性能降低	有	需對策時的 環境影響	無

異狀等級	健全度評估基準	參考案例
a （輕微損傷）	【定期巡視檢查與臨時巡視檢查結果】 ○無異狀 ○輕微漏水	 防砂壩壩體
b （有損傷，但未降低機能與性能）	【定期巡視檢查與臨時巡視檢查結果】 ○部分漏水	 防砂壩壩體
c （機能與性能下降）	【定期巡視檢查與臨時巡視檢查結果】 ○防砂壩壩體大範圍漏水 ○基礎底面產生漏水 ○兩岸邊坡與防砂壩之界面漏水	 防砂壩壩體

圖 4-6　異狀等級之案例照片　壩翼漏水（砂防相關設施巡視檢查要領（案））

第2項 坡面工之巡視檢查手法

⑴ 目視巡視檢查

坡面工（特別是擋土工、水路工、坡面格框工）的目視巡視檢查方法與溪間工相同，過去實施過許多調查，既有的治山巡視檢查要領及巡視檢查表也都配合上述應注意部位（破損、劣化地點），列舉具體的檢查項目。此外，目前已累積許多以本要領及巡視檢查表實施之巡視檢查資料，因此項目最好不要大幅變更。

附件

〈治山事業用現地巡視檢查表〉

調查日　　年　　月　　日　　調查者

施工地點 _____ 國有林 _____ 林小班　　凹谷名稱 _____

堰壩銘板（施工年度 T S H 年度　施工業者 _____ 發包者 _____ No.）

拍照攝影　有　無　（_____）

ＧＰＳ情報　（北緯）_____　（東經）_____

工程種類 ☐ 溪間工（含護岸工）　（種別：（例）混凝土、漿砌石、鋼製等　）

防砂壩構造　頂端寬_____m　壩體有效高（下游）_____m　分洪道長度_____m

（附件５鳥瞰圖　有　無）　其他_____

調查內容 ☐ 基礎部淘刷　☐ 壩翼嵌入山坡處侵蝕　☐ 淤砂容量深度_____m

☐ 堤體損傷　☐ 只略見損傷

☐ 若只有微裂縫，防砂壩機能不會受影響

☐ 防砂壩部分損壞，未來需實施對策

意見 ☐ 未來有必要實施對策　☐ 應即實施對策（具體填寫判斷欄）

工程種類 ☐ 坡面工（含落石防止設施等）

調查內容 ☐ 設施倒塌、淘刷、破損、沉陷、腐蝕、拱出、鬆弛、扭曲、變形、龜裂等

☐ 坡面崩塌、淤積、龜裂、侵蝕

☐ 集排水設施阻塞、有湧水

☐ 植生侵蝕、滑落、無法生長、多裸露地

意見 ☐ 未來有必要實施對策　☐ 應立即實施對策（具體填寫判斷欄）

工程種類 ☐ 保安林管理林道

調查內容 ☐ 設施破損　☐ 路肩破壞

☐ 坡面土砂流出　☐ 集排水設施阻塞

意見 ☐ 未來有必要實施對策　☐ 應即實施對策（具體填寫判斷欄）

必要時應記載周邊狀況

溪流狀況 ☐ 並未完全荒野化　☐ 有溪岸或溪床侵蝕現象

☐ 溪流持續荒野化　☐ 可確認發生山坡崩塌或土石流

森林狀況 ☐ 有適當地維護管理　☐ 有的森林維護管理不足

☐ 森林持續荒野化　☐ 森林經營完全荒廢

綜合判斷（巡視檢查狀況：設施及設施周邊狀況，整備狀況：設施之修補狀況等）

_____

_____

_____

註1. 本表係使用治山設施巡視檢查整備調查之基礎資料（向監督員工提出）

2. 在該當之☐打勾

3. 檢核治山工程地點設施圖之施工位置（攜帶ＧＰＳ，進行位置量測）

4. 照片應拍攝全景或近景及產生異狀之異常地點（參照附件３之「治山設施巡視檢查整備調查拍照攝影要點」）

5. 治山登記簿未附具構造圖者，應依據附件５之治山壩鳥瞰圖，記錄防砂壩構造。

6. 砌石構造物及特殊砌石構造物應進行附件４之砌石調查

圖 4-7　林野廳治山設施現地巡視檢查表（紅框為坡面工相關項目）

表 4-4　都道府縣所使用坡面工巡視檢查評估表

附件格式 1

治山設施巡視檢查　評估表

●坡面工（擋土工、排水工、坡面格框工）　　No.

現地調查者所屬單位		調查年月日	
治山登記簿ＩＤ		調查人員姓名	
施工年度		工程編號	
施工地點		事業名稱	
保全對象			

工程種類	巡視檢查項目	異常 有	異常 無	異常概況
	工程種類			
	各單元			
	位置資訊(座標) N：0° 0'0.0" E：0° 0'0.0"			
No.1 ☐擋土工 預拌混凝土	中心線異常			
	變形			
	傾倒			
	埋樁、淘刷			
	頂面崁入			
	混凝土異常			
	框構件異常			
	填塞石異常			
	壩體破損			
	工程種類			
	各單元			
	位置資訊(座標) N：0° 0'0.0" GPS記憶體編號 E：0° 0'0.0"			
☐排水工（壩體）	中心線彎曲、扭曲			
	地表排水工壩體破損			
	接縫位移			
	底部吸出、側部淘刷			
	與集水井之接頭漏水			
	工程種類			
	各單元			
☐排水工（坡面截水溝）	傾倒			
	埋樁之狀況			
	壩翼崁入狀況			
	跌水			
	壩體破損			

工程種類	巡視檢查項目	異常 有	異常 無	異常概況
	工程種類			
	各單元			
	位置資訊(座標) N：0° 0'0.0" E：0° 0'0.0"			
☐坡面格框工（簡易坡面格框）（格框噴漿）	坡面格框本身往下方移動			
	框構材切斷、龜裂			
	坡面框下方坡面崩塌			
	框內噴漿材流出			
	岩栓等破損			
	背面空洞化			
	周邊土砂崩塌			
	工程種類			
	各單元			
☐水泥砂漿噴覆工	位置資訊(座標) N：0° 0'0.0" GPS記憶體編號 E：0° 0'0.0"			
	水泥砂漿龜裂			
	水泥砂漿剝落			
	噴覆工內部空洞化			
	噴覆坡面異常出水			
防護網與岩栓併用工法	工程種類			
	各單元			
	位置資訊(座標) N： GPS記憶體編號 E：			
	岩栓浮起			
	保護蓋損傷			
	鋼索損傷			

設施周邊的林地狀況	前方為道路，後方為森林，日照良好。	
現地調查人員綜合判定（委託外部時填寫）	○ S 有緊急修繕之必要。 ○ A 為修繕對策設施，有計劃的進行修繕。 ○ B 為維護設施機能，需觀察其經過。 ○ C 無異常。	（異常之原因、預定修繕時期、修繕方法、概算工程費用、判定之理由等等）。 實施詳細調查之理由：（例）掌握提體內部構造。
農林事務所綜合判定確認日 2019 年 1 月	○ S 有緊急修繕之必要。 ○ A 為修繕對策設施，有計劃的進行修繕。 ○ B 為維護設施機能，需觀察其經過。 ○ C 無異常。 是否需災害緊急巡視檢查　○需要　○不需要	（異常之原因、預定修繕時期、修繕方法、概算工程費用、判定之理由等等）。

定期巡視檢查計畫	○ A 需巡視檢查 ○ B 未來不需巡視檢查。 ○ C 其他。	摘　　要（左列之判斷理由）。

⑵ 詳細調查

詳細調查因不同構造（混凝土、鋼製、木製）而實施內容不同，因此在「第4 章 第4 節 各種構造（混凝土，鋼製，木製）巡視檢查方法檢討」說明。

⑶ 健全度評估（異狀等級）

林野廳及各縣配合緊急度，就治山設施修繕之必要性由現地調查人員及農林事務所員工依據下列基準判定巡視檢查結果。

S：需實施緊急修繕對策
A：實施修繕對策之設施需有計畫地進行修繕
B：確認輕微異常，但能維持設施機能，因此持續觀察
C：無異常

但巡視檢查者或辦公室員工可能判斷錯誤，因此應設定某種程度的判斷基準。

此外，「砂防相關設施巡視檢查要領（案）2014.9.24 國土交通省砂防部保全課」因無坡面工之案例，依格框工、噴漿工、擋土工、水路工、落石對策工之模式圖與照片顯示異狀程度。坡面工壩異狀等級（健全度評估）之判定，本防砂要領也可充分準用之。

圖4-8　以模式圖說明坡面格框工異狀等級評估基準之案例（防砂相關設施巡視檢查要領（案））

圖4-9　依據模式圖的噴漿工異狀等級評估基準案例（砂防相關設施巡視檢查要領（案））

圖4-10　以模式圖說明擋土牆工異狀等級評估基準之案例（防砂相關設施巡視檢查要領（案））

主要部位之異狀等級案例照片（地滑—15）

設施分類	地滑防止設施	設施名稱	地表排水工	評估項目	腐蝕、劣化
適用分類	地表排水工			部位	水渠、集水井、階段工
需對策時機能降低	無	需對策時性能降低	有	需對策時的環境影響	無

異狀等級	健全度評估基準	參考案例
a （輕微損傷）	【定期巡視檢查與臨時巡視檢查結果】 ○無異狀 ○輕微腐蝕、劣化	 地表排水工
b （有損傷，但未降低機能與性能）	【定期巡視檢查與臨時巡視檢查結果】 ○部分腐蝕、劣化 ○無漏水	 地表排水工
c （機能與性能下降）	【定期巡視檢查與臨時巡視檢查結果】 ○腐蝕與劣化引致漏水	 地表排水工

圖 4-11　異狀等級案例照片　地表排水工腐蝕與劣化（砂防相關設施巡視檢查要領（案））

主要部位之異狀等級案例照片（地滑—16）

設施分類	地滑防止設施	設施名稱	地表排水工	評估項目	損傷、變形
適用分類	地表排水工			部位	水渠、集水井、階段工
需對策時機能降低	有	需對策時性能降低	有	需對策時的環境影響	無

異狀等級	健全度評估基準	參考案例
a （輕微損傷）	【定期巡視檢查與臨時巡視檢查結果】 ○無異狀 ○輕微損傷與變形	 地表排水工
b （有損傷，但未降低機能與性能）	【定期巡視檢查與臨時巡視檢查結果】 ○部分損傷與變形 ○無漏水	 地表排水工
c （機能與性能下降）	【定期巡視檢查與臨時巡視檢查結果】 ○損傷與變形引致漏水	 地表排水工

圖 4-12　異狀等級案例照片　地表排水工損傷與變形（砂防相關設施巡視檢查要領（案））

主要部位之異狀等級案例照片（地滑—17）

設施分類	地滑防止設施	設施名稱	地表排水工	評估項目	土砂等淤積
適用分類	地表排水工			部位	水渠、集水井、階段工
需對策時機能降低	有	需對策時性能降低	無	需對策時的環境影響	無

異狀等級	健全度評估基準	參考案例
a （輕微損傷）	【定期巡視檢查與臨時巡視檢查結果】 ○無異狀 ○輕微的土砂等淤積	 排水工
b （有損傷，但未降低機能與性能）	【定期巡視檢查與臨時巡視檢查結果】 ○部分土砂等淤積 ○無溢水	 排水工
c （機能與性能下降）	【定期巡視檢查與臨時巡視檢查結果】 ○土砂等淤積引致溢水	 排水工

圖 4-13　異狀等級案例照片　地表排水工土砂淤積（砂防相關設施巡視檢查要領（案））

主要部位之異狀等級案例照片（陡坡—07）

設施分類	陡坡崩塌防止設施	設施名稱	坡面格框工	評估項目	破損、變形
適用分類	現場打設混凝土工			部位	坡面表面
需對策時機能降低	有	需對策時性能降低	無	需對策時的環境影響	無

異狀等級	健全度評估基準	參考案例
a （輕微損傷）	【定期巡視檢查與臨時巡視檢查結果】 〇無異狀	 坡面格框工（現場打設）
b （有損傷，但未降低機能與性能）	【定期巡視檢查與臨時巡視檢查結果】 〇框部分破損或變形（裂縫、膨拱、浮凸、沉陷等）	 坡面格框工（現場打設）
c （機能與性能下降）	【定期巡視檢查與臨時巡視檢查結果】 〇框大範圍破損或變形（裂縫、膨拱、浮凸、塌陷等） 〇裂縫貫穿樑	 坡面格框工（現場打設）

圖 4-14　異狀等級之案例照片　坡面格框工破損或變形（砂防相關設施巡視檢查要領（案））

主要部位之異狀等級案例照片（陡坡—08）

設施分類	陡坡崩塌防止設施	設施名稱	坡面格框工	評估項目	充填材流出與湧水
適用分類	現場打設混凝土工			部位	坡面表面
需對策時機能降低	有	需對策時性能降低	無	需對策時的環境影響	無

異狀等級	健全度評估基準	參考案例
a （輕微損傷）	【定期巡視檢查與臨時巡視檢查結果】 〇無異狀	 坡面格框工（現場打設）
b （有損傷，但未降低機能與性能）	【定期巡視檢查與臨時巡視檢查結果】 〇部分地點可見滲水程度之湧水與框內充填材（土砂）若干流出	 坡面格框工（現場打設）
c （機能與性能下降）	【定期巡視檢查與臨時巡視檢查結果】 〇許多地方出現明顯湧水，框內充填材（土砂）多量流出	 坡面格框工（現場打設）

圖 4-15　異狀等級之案例照片　坡面格框工充填材流出與湧水（砂防相關設施巡視檢查要領（案））

主要部位之異狀等級案例照片（陡坡—09）

設施分類	陡坡崩塌防止設施	設施名稱	噴覆工	評估項目	裂縫、剝離
適用分類	噴覆工			部位	坡面表面
需對策時機能降低	有	需對策時性能降低	有	需對策時的環境影響	無

異狀等級	健全度評估基準	參考案例
a （輕微損傷）	【定期巡視檢查與臨時巡視檢查結果】 ○無異狀 ○輕微裂縫	 噴漿工
b （有損傷，但未降低機能與性能）	【定期巡視檢查與臨時巡視檢查結果】 ○表面局部剝離（薄剝離） ○開口不大之裂縫數處隨機分布	 噴漿工
c （機能與性能下降）	【定期巡視檢查與臨時巡視檢查結果】 ○大且厚之剝離處處可見 ○出現大範圍連續之開口裂縫（裂縫處長出植生）	 噴漿工

圖 4-16　異狀等級案例照片　噴覆工裂縫與剝離（砂防相關設施巡視檢查要領（案））

主要部位之異狀等級案例照片（陡坡—10）

設施分類	陡坡崩塌防止設施	設施名稱	擋土牆工	評估項目	裂縫
適用分類	擋土牆工			部位	壁面、頂端
需對策時機能降低	有	需對策時性能降低	有	需對策時的環境影響	無

異狀等級	健全度評估基準	參考案例
a （輕微損傷）	【定期巡視檢查與臨時巡視檢查結果】 ○無異狀	 擋土牆工
b （有損傷，但未降低機能與性能）	【定期巡視檢查與臨時巡視檢查結果】 ○部分確認出現裂縫 ○裂縫未到達背面 ○背面土砂未被吸出	 擋土牆工
c （機能與性能下降）	【定期巡視檢查與臨時巡視檢查結果】 ○出現大範圍的連續裂縫 ○裂縫到達背面 ○背面土砂被吸出	 擋土牆工

圖 4-17　異狀等級案例照片　擋土牆工裂縫與剝離（砂防相關設施巡視檢查要領（案））

主要部位之異狀等級案例照片（陡坡—11）

設施分類	陡坡崩塌防止設施	設施名稱	擋土牆工	評估項目	湧水
適用分類	擋土牆工			部位	壁面、頂端
需對策時機能降低	無	需對策時性能降低	有	需對策時的環境影響	無

異狀等級	健全度評估基準	參考案例
a （輕微損傷）	【定期巡視檢查與臨時巡視檢查結果】 〇無異狀	 擋土牆工
b （有損傷，但未降低機能與性能）	【定期巡視檢查與臨時巡視檢查結果】 〇部分出現湧水 〇背面土砂未被吸出	 擋土牆工
c （機能與性能下降）	【定期巡視檢查與臨時巡視檢查結果】 〇大範圍出現湧水 〇背面土砂被吸出	無該當照片案例

圖 4-18　異狀等級案例照片　擋土牆工湧水（砂防相關設施巡視檢查要領（案））

主要部位之異狀等級案例照片（陡坡—12）

設施分類	陡坡崩塌防止設施	設施名稱	擋土牆工	評估項目	變形
適用分類	擋土牆工			部位	壁面、頂端
需對策時機能降低	無	需對策時性能降低	有	需對策時的環境影響	無

異狀等級	健全度評估基準	參考案例
a （輕微損傷）	【定期巡視檢查與臨時巡視檢查結果】 〇無異狀	 擋土牆工
b （有損傷，但未降低機能與性能）	【定期巡視檢查與臨時巡視檢查結果】 〇出現細微變形（膨拱、傾倒、接縫位移、移動等）	 擋土牆工
c （機能與性能下降）	【定期巡視檢查與臨時巡視檢查結果】 〇出現明顯變形（膨拱、傾倒、接縫位移、移動等）	 擋土牆工

圖 4-19　異狀等級案例照片　擋土牆工變形（砂防相關設施巡視檢查要領（案））

主要部位之異狀等級案例照片（陡坡—15）

設施分類	陡坡崩塌防止設施	設施名稱	落石防護工	評估項目	損傷與變形、腐蝕與劣化
適用分類	落石防護柵工			部位	支柱、鋼絲、鐵絲網
需對策時機能降低	有	需對策時性能降低	有	需對策時的環境影響	無

異狀等級	健全度評估基準	參考案例
a （輕微損傷）	【定期巡視檢查與臨時巡視檢查結果】 ○無異狀	 落石防護柵工
b （有損傷，但未降低機能與性能）		
c （機能與性能下降）	【定期巡視檢查與臨時巡視檢查結果】 ○支柱變形（曲折或扭曲） ○鋼絲或鐵絲斷掉或破裂	 落石防護柵工

圖 4-20　異狀等級案例照片　落石防護工損傷與變形、腐蝕與劣化（砂防相關設施巡視檢查要領（案））

第4節　構造（混凝土、鋼製、木製）巡視檢查手法檢討

第1項　混凝土構造物

⑴　目視巡視檢查

參考 2014 年 9 月 24 日國土交通省砂防部保全課所彙整「砂防相關設施巡視檢查要領」（案）。

砂防巡視檢查要領（案）之中，列舉防砂設備及設備周邊狀況等主要巡視檢查項目及巡視檢查注意事項如下。

表 4-5　混凝土防砂壩及周邊設施等的主要巡視檢查項目（砂防相關設施巡視檢查要領（案））

部位	應注意之損傷等	巡視檢查注意事項
【混凝土構造防砂壩】 壩體 固床工、帶工、副壩、垂直壁也相同處理 ※使用砂防用水泥土壤拌合物（強度等級Ⅲ）的防砂壩比照辦理。參照：「砂防用水泥土壤拌合物設計與施工便覽(2011 年 10 月砂防暨地滑技術中心)」	溢洪口頂端磨損	● 溢洪口部分(頂端及端牆)，一般係以塊石鋪面工、預鑄塊鋪面工、高強度混凝土保護工(膠石混凝土、仿石混凝土)、塑鋼板堤冠保護工等比壩體混凝土更高強度材料施工，但在土砂與礫石流下量較大之溪流，確認會因為磨損而容易造成損傷(鋪面塊石與鋪面預鑄塊等流失或缺損)。 ● 溢洪口部分磨損狀況(寬、長、深)等拍照記錄。特別是磨損到達溢洪口頂端上游端時，應觀察、記錄其磨損進行狀況。
	壩體的裂縫	● 確認淤砂狀況（考量作用在壩體的流體力之影響，應確認上游側之淤砂狀況。其他構造材料之防砂壩也應相同辦理)。特別是未淤滿之防砂壩會直接承受土石流與洪水的流體力與衝擊力而產生裂縫，進一步則有從混凝土施工縫開始出現損傷的危險。此外，會造成結構問題的是斜方向與水平方向裂縫。 ● 裂縫的位置、方向、規模與部位之變形方向係推測裂縫原因與施加在壩體上的力之重要手段，因此應加以確認。
	主壩基礎淘刷	● 主壩基礎前方溪床淘刷會直接影響壩體安定，因此應特別注意巡視檢查。
	漏水	● 漏水地點呈相同水平大量分布時，可能代表壩體內部有連續的水平裂縫。 ● 漏水量之變化與有無混濁係評估防砂壩健全度的有用資訊，因此應儘量加以確認。此外，確認有漏水時，最好也確認是否有邊坡龜裂、高低差之狀況。
【混凝土構造等的堰堤】壩翼 ※固床工、帶工、副壩、垂直壁等比照辦理	壩翼之裂縫等	● 壩翼應確認裂縫之位置、方向、規模，以及出問題部位之變形方向。 ● 地滑地應確認壩翼所嵌入邊坡地面是否出現裂縫。 ● 漏水與破損的問題比照主壩處理。
護坦	磨損	● 有流水時，推估難以目視確認護坦之狀況，因此最好盡可能確認護坦的磨損深度與範圍。 ● 也應瞭解護坦損傷與主壩基礎前方溪床淘刷對主壩基礎之影響。
【混凝土構造、砌石構造】側壁護岸	裂縫、破損	● 應確認是否有因為淘刷等以及堤後地盤等影響導致護岸出現剪切裂隙與變形。 ● 注意預鑄塊與砌石構造是否破損。
	淘刷	● 確認基礎部是否有淘刷。

⑵ 詳細調查

林野廳及各縣之治山設施巡視檢查要領並未針對詳細調查記載具體之調查方法。詳細調查實施目的多半主要為內部老朽化診斷（健全度判定）及安定性評估，特別是對治山登記簿之中無構造圖等、內部構造不明的早期設施（河川塊石混凝土構造物等）之內部構造的掌握，至為重要。以下列舉混凝土構造物（主要為節制壩）過去所實施的詳細調查方法。

以下說明簡易非破壞檢查手法之施密特錘試驗法。

⑻ 施密特錘表面反彈硬度調查

以土木學會基準「硬化混凝土之測試錘硬度試驗法(JSCE-G504)(2007)」所示之方法，使用施密特錘Ｎ(ＮＲ)型，測定混凝土構造物之施密特錘硬度，確認該混凝土之相當壓縮強度。但預鑄製品及混凝土預鑄塊非測定對象。

1）推估位置之選定

① 選定測定面接近模框表面均質且平滑之平面。

② 避開表面蜂窩骨材突出之部位。

③ 選擇混凝土厚度約 10 ㎝的構件，避開太薄構件。若不得已需以這種構件進行測定時，應從背後另外支撐該構件。

2）測定注意事項

測定面有凹凸或附著物者，應以砥石仔細磨平並除去粉末及其他附著物。混凝土上方有塗料層或上漆時應去除，讓混凝土外露，除去附著物之後進行測定。

測定裝置應完成校正，打擊方向通常與測定面成直角。若因構造物形狀等難以進行水平方向打擊，可利用土木學會規準（ＪＳＣＥ－Ｇ504）說明之方法，算出配合傾斜角度的補正值（誤差補償值）。

操作方法係以彈簧式之鐵錘對鋼棒徐徐加力打擊，完成測定。

3）測定時的打擊點數

一個地方的測定打擊點數，右為距離邊緣大於 30 mm 的混凝土面，取彼此間隔大於 30 mm 之 20 個點。

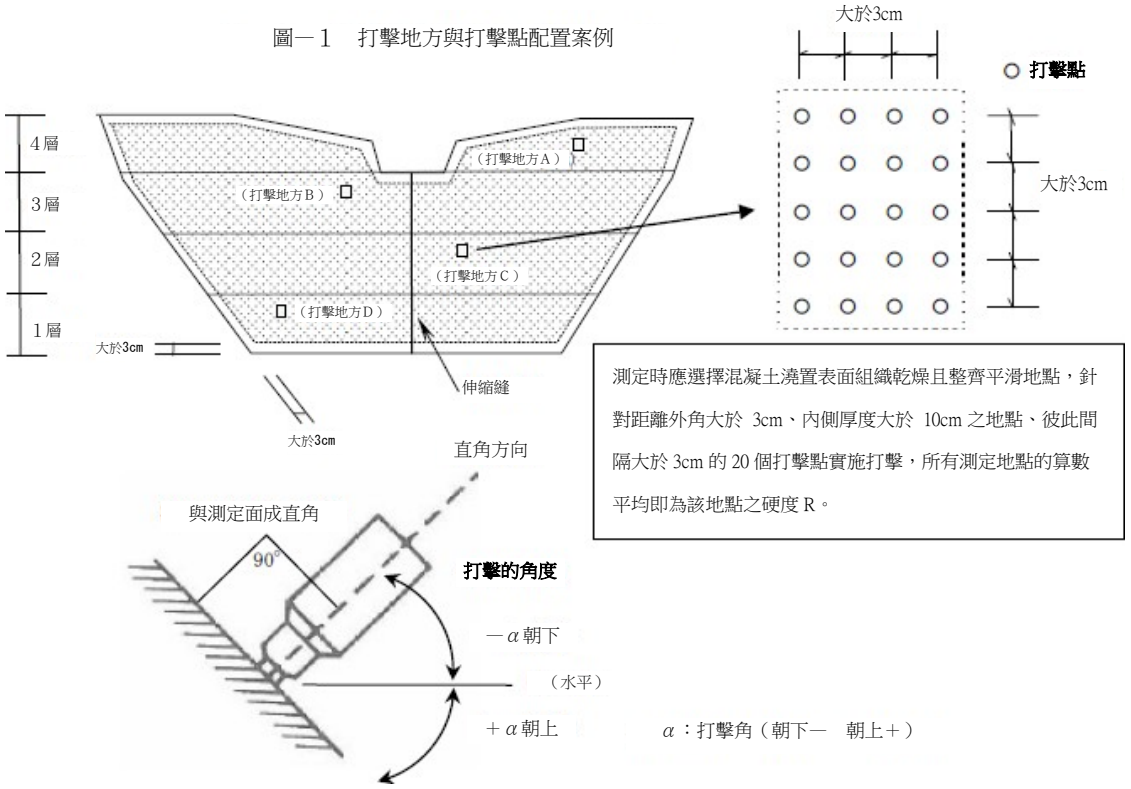


圖 4-21 施密特錘試驗法之打擊位置與打擊點配置案例

（長野縣林業土木工程施工管理基準 參考資料）

(註1)　打擊時之迴音或凹陷狀況，判斷為異常之值，或其偏差大於平均值 ±20% 之值，應捨棄該測定值，補充代替之數值。構造物之混凝土強度也可能部分出現變化，針對這部分進行測定時，可適當地設定實施打擊的一個地點範圍大小。

(註2)　以施密特錘試驗法取得的測定結果會因為各種原因而產生很大的變動，因此，為了降低不同測定方法所造成的變動或偏差，應盡可能統一使用相同的測定方法。要取得一個地方的測定值之所以必須有更多的打擊點，也是為了減少測定結果之變動。實施一次打擊的點有可能影響測定值或造成混凝土損傷，因此應避免使用。為此，測定前最好能先在混凝土面上標示打擊點的位置。此外，測定時針對超過 20 個點實施打擊，即使在整理階段出現可捨棄之測定值，也最好避免測定點數不足。為了達成足夠的測定地點數目，可區分 12 打擊點 × 2 處等的區域，實施量測。

4）強度之推估

使用日本材料學會提案(1958)之強度換算公式，推估強度。

由基準回彈度（R_0）推估試驗錘強度 F 之推估強度公式

$$F(N/mm^2) = [-18.0 + 1.27 \times (R_0 + R_1 \pm R_2)] \times \alpha$$

F：推估強度（N/mm^2）

R_0：試驗錘之回彈度（20 個打擊點平均數／水平打擊值）

R_1：測定位置濕潤，打擊痕跡呈黑點 … +3（濕潤補正）

R_1：測定位置浸濕時 … +5（濕潤補正）

R_2：角度補正值（水平打擊時不補正。當然，即使構造物有坡度，只要在混凝土面實施水平打擊，就不補正。）

α：材齡係數（只限材齡 10 日～ 27 日之間實施試驗者）

數學公式 4-1 日本材料學會提案（1958）之施密特錘強度換算公式

此外，材齡係數 α 在材齡超過 28 日的設施 $\alpha = 1$ ，10～27 日之設施則使用下列係數。

表 4-6　材齡係數 α

材齡（日）	補正係數（材齡係數：α）	材齡（日）	補正係數（材齡係數 α）
10	1.550	20	1.120
11	1.507	21	1.105
12	1.464	22	1.090
13	1.421	23	1.075
14	1.378	24	1.060
15	1.335	25	1.045
16	1.292	26	1.030
17	1.249	27	1.015
18	1.206	28	1.000
19	1.163		

5）強度推估結果之評估方法

施密特錘強度推估調查作法如下。

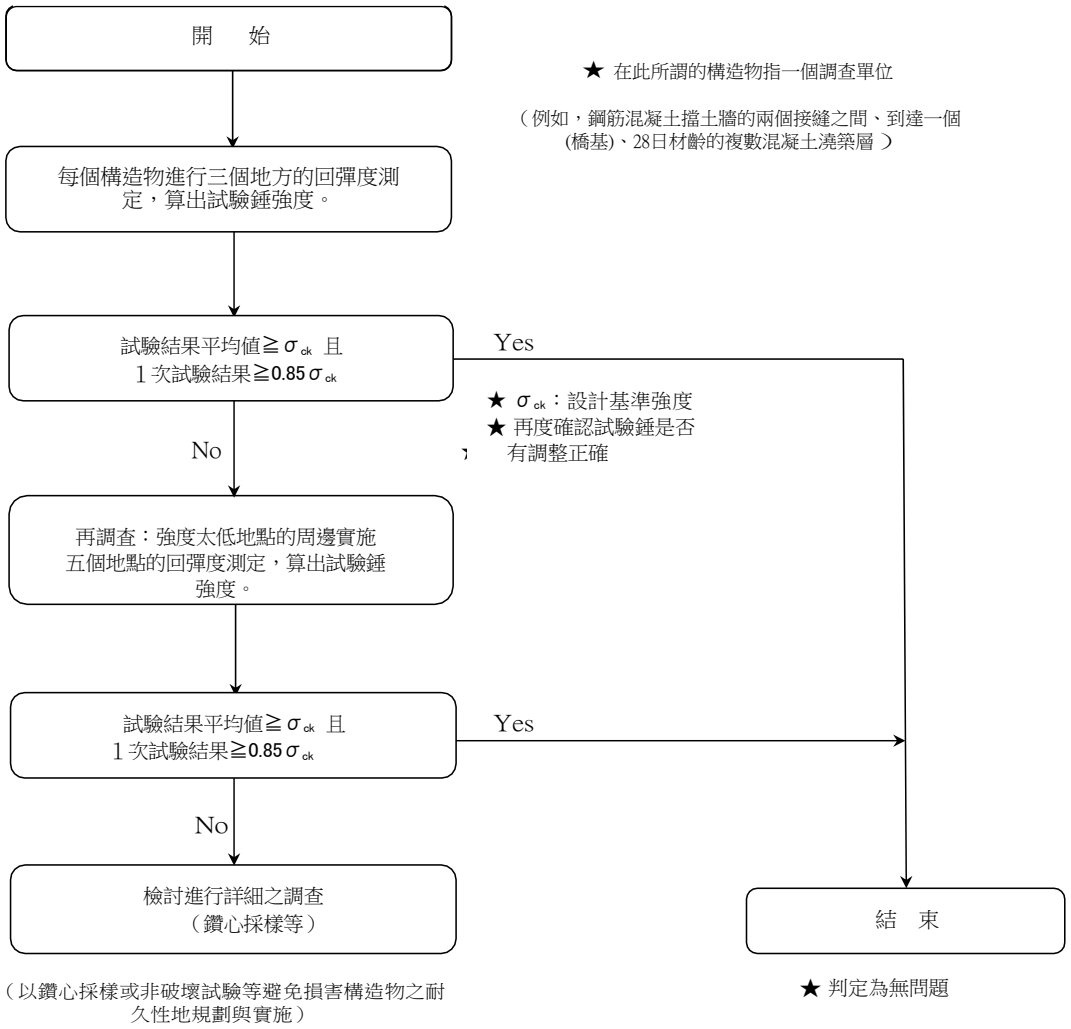


圖 4-22 施密特錘實施強度推估調查作業流程（新潟縣土木工程標準規格表之2：品質管理基準及規格值：資料：土木混凝土構造物確保品質之品質確認調查方法）

6）適用範圍

再調查之平均強度未達預定強度或有一個地點的強度低於設計強度８５%時，應進行鑽心強度試驗。

7）調查單位

以強度相同預鑄塊做為一個構造物單位，每單位實施三個地點調查強度。此外，調查結果若平均值低於設計基準強度以及有一次試驗結果低於設計基準強度８５%時，應於該地點周邊進行五個地點的再調查。

8）調查順序

每個單位各實施三個地點的調查。

調查結果若平均值低於設計基準強度以及有一次試驗結果低於設計基準強度８５%時，應於該地點周邊進行五個地點的再調查。

若再調查結果之平均強度仍未達預定強度，或有一個地點強度低於設計基準強度８５%，必要時應進行詳細調查（原位置鑽心採樣壓縮強度試驗）。

假設**設計基準強度為 18N/mm^2，低於 85％ 之（15.3N/mm^2）時，就可當做進行詳細調查之判準**。

（參考資料）
・土木學會基準（JSCE-504）「硬化混凝土之試驗錘強度試驗方法」
・（獨立行政法人）土木研究所「試驗錘強度推估調查六個要點」
・日本材料學會「施密特錘混凝土壓縮強度判定方法指引」

⑹ 混凝土鑽心試體調查

在代表地點鑽石鑽頭鑽心取樣，進行目視調查、混凝土壓縮強度試驗及混凝土密度測定等。

1）目視調查

以目視調查有無裂縫、龜裂等，確認是否有鹼・氧化矽反應之白色生成物出現，藉此瞭解內部劣化狀況。

2）混凝土強度試驗

以強度試驗量測壓縮強度與密度。

3）粒料之鹼・氧化矽反應試驗

利用JIS A 1145（鹽酸滴定法、原子吸光光度法）實施鑽心所含細粒料或粗粒料之粒料鹼・氧化矽反應性試驗。

⑹ 鑽探調查之鑽心試體診斷

1）鑽心試體軟硬分級

鑽心試體可利用施密特錘打擊判定其軟硬，結果如下表所示。

表 4-7 鑽心試體軟硬分級判定表

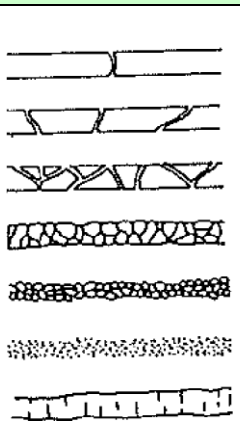
符號	軟硬分級
A	極硬，施密特錘難以敲裂。
B	硬，施密特錘敲打產生金屬聲音。
C	中硬，施密特錘很容易敲裂試體。
D	軟，施密特錘一打試體整個破裂。
E	極軟，砂質土狀、黏土狀。

（出處：鑽心柱狀圖製作要領（案）說明書 JACIC 1999 年 5 月）

2）鑽心形狀

鑽心會呈現各種破裂形狀，可依據下列判定表分級。

表 4-8 鑽心形狀分級案例（花崗岩）

分級	模式圖	鑽心形狀
Ⅰ		長度大於 50cm 之棒狀鑽心。
Ⅱ		長度 50～15cm 之棒狀鑽心。
Ⅲ		長度 15～5cm 之棒狀～片狀鑽心。
Ⅳ		長度小於 5cm 之棒狀～片狀鑽心，且有的出現在鑽心外緣。
Ⅴ		主要呈角礫形狀。
Ⅵ		主要呈砂狀。
Ⅶ		主要呈黏土狀。
Ⅷ		無法實施鑽心採樣。含有軟泥。

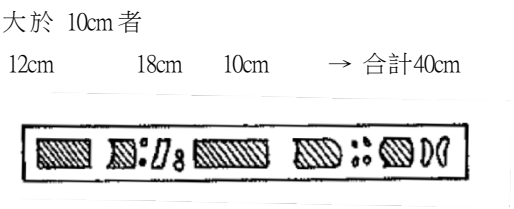
（出處：鑽心柱狀圖製作要領（案）說明書 JACIC 1999 年 5 月）

3）RQD（Rock Quality Designation）

RQD 代表岩盤良好程度，可以下式算出。

RQD=（大於 10cm 之鑽心總長度／1m 掘進長度）×100

例）



RQD=40/100×100＝40%

此外，RQD 與岩盤良好度有下列關聯性。

表 4-9　RQD 與岩盤良好度之關聯性

RQD（%）	岩盤良好度
0～25	非常差（very poor）
25～50	差(poor)
50～75	普通(fair)
75～90	良好（good）
90～100	非常良好（excellent）

（出處：鑽心柱狀圖製作要領（案）說明書 JACIC 1999 年 5 月）

4）酚酞之鹼性反應

酚酞（phenolphthalein、簡稱PP ）係分析化學所使用 pH 指示劑之一，加水稀釋的這種酸鹼指示劑可用來驗酸鹼度，驗出時呈粉紫色（粉紅色）。顏色之變化會隨構造改變，pH < 8.3 之偏酸時無色，pH > 10.0之偏鹼時呈粉紫色。此外，pH > 13.4 構造變化，呈無色。



圖 4-23 酚酞在不同pH值之下的顏色變化



圖 4-24 水與酚酞之反應案例

(d)　鑽孔掃描觀測

鑽孔掃描觀測可以求出治山壩內部之開口量、開口數與孔隙率等，由此評估壩體內部之混凝土品質。本調查可依據鑽孔掃描觀測所取得之展開圖像分析孔隙率。此外，孔隙率越大代表粗石與混凝土一體化的狀況可能已破壞、構造物品質（強度）降低。

此外，也可由混凝土之「孔隙+角礫狀」比例評估健全度，「孔隙+角礫比例大於20%」時，健全度評估為「不良」。

(e)　彈性波探測之非破壞檢查

在受振點掌握由起振點起振之波，以此彈性波測定彈性波速度之方法。彈性波速度可以屈折法算出。彈性波探測在構造物劣化中孔隙多時，或孔隙被滲透水填滿時，彈性波速度會變慢；孔隙較少的健全構造物則彈性波速度變快。利用這項特性可評估壩體內部混凝土之劣化程度。

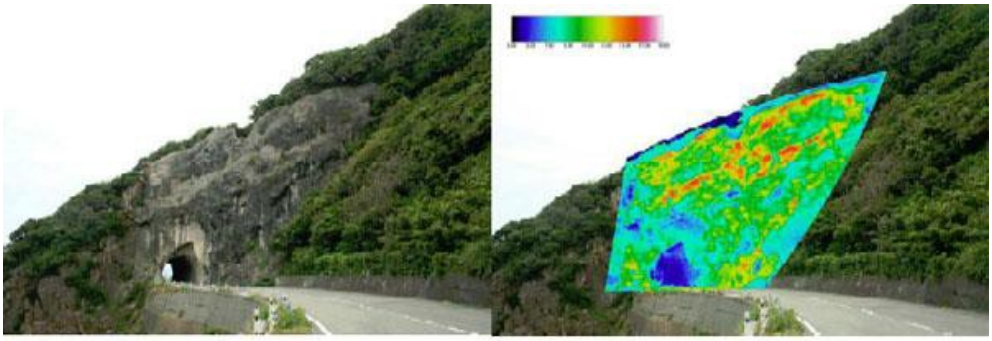
表 4-10　彈性波速度判定壩體內部混凝土劣化之基準

基準：彈性波傳播速度	小於 2000m/s	大於 2000m/s 小於 2800m/s	大於 2800m/s 小於 3300m/s	大於 3300m/s
健全度評估	不良	些微不良	大致良好	良好
混凝土狀態之推估	明顯異狀	有異狀	稍有異狀	健全
混凝土內部孔隙+角礫岩之比例推估值	大於 20%	10～20%	小於 10%	—

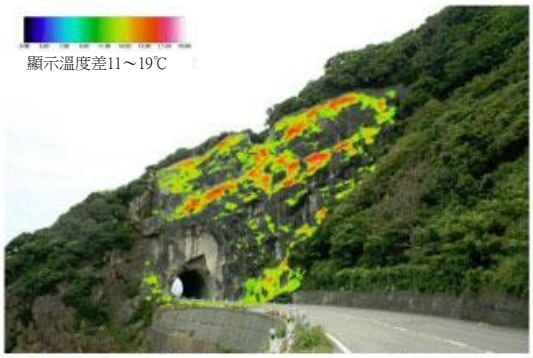
（出處：防砂設施劣化診斷與維護管理之作法，建設物價2009 年3 月）

(f) 紅外線檢測

紅外線檢測係利用紅外線熱成像技術原理實施之混凝土及砂漿噴覆坡面老朽化診斷，藉由紅外線熱影像裝置拍攝對象物，由對象物表面微細溫度差推估背面之土砂化或空洞化狀況。紅外線熱影像裝置與一般可見光影像攝影機不同，能以面的影像呈現物體之溫度。



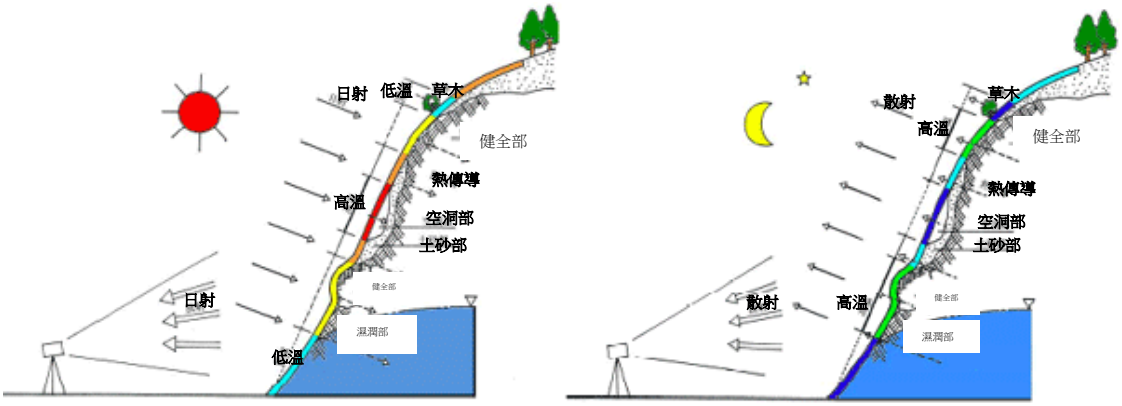
可見光影像　　熱紅外線影像



溫度差(11～19℃)圈定影像

【檢測原理】

噴覆坡面溫度白天因日射提高，入夜後則受外氣影響而冷卻。受外在影響的噴覆坡面會因為坡面異狀或湧水、噴覆坡度等比熱差異及熱傳導率差異產生熱移動差，並因噴覆砂漿背後坡面狀況而呈現幾種規則性的表面溫度分布。



噴覆坡面溫度變化模式圖

出處：以紅外線熱成像技術診斷噴覆坡面老朽化實施手冊（土木研究中心發行，1996年1月）

⑹ 混凝土構造物詳細檢測方法彙整

由上述內容彙整混凝土構造物詳細檢測之方法種類、內容及適用之工程種類等，如下。

表 4-11　混凝土構造物詳細檢測方法一覽表

調查分類		調查名稱	可掌握之內容與結果之利用	可摘要的工程種類
打音調查		打音調查	有無空洞化或範圍	全部
鑽心	強度調查	壓縮強度試驗	鑽心試體強度定量檢測	溪間工、擋土工
	性狀調查	鑽心試體判定	以目視岩心判定強度之定性地掌握、分類	溪間工、擋土工
	健全度（老朽化）調查	鹼・氧化矽反應性（ASR）試驗	掌握異常膨脹或裂縫進行程度	全部
		中性化試驗	掌握混凝土中性化進行程度	全部
	內部狀況調查	鑽孔掃瞄	內部狀況之可視化	溪間工、擋土工
非破壞檢查		熱紅外線調查	噴覆坡面背面之土砂化、空洞化	噴覆工
		彈性波（PS）探測	以彈性波傳遞方式掌握強度	溪間工、擋土工
	強度調查	施密特硬度錘	混凝土強度測定調查	全部

第2項　鋼製構造物

治山事業之鋼製構造物多半在下列條件下派上用場。

- 基礎地盤不佳時
- 需短期內完工時
- 需具備透水性時

支墩式(扶壁式)治山壩、鋼製框、落石防止壁等鋼製治山設施，係自1960 年代起開始設置，至今已歷經40~50 年之狀況。隨著各種外在條件常年變化、周邊環境狀況，腐蝕在進行，為確保設施安全性須修補或補強。

因此，針對即將進入更新期，老朽化狀況嚴重的設施，可參考以下由鋼製構造物廠商提供資料彙整的鋼製治山設施腐蝕檢測方法。

＜參考資料＞

- 鋼製治山設施腐蝕調查方法及對策（案） 日鐵住金建材股份公司

(1) 對象之工程種類

鋼製治山設施有許多工程種類如前述，本研究主要對象工程種類為有支墩式治山壩、鋼製框、落石防止壁三種。防砂事業常採用的鋼管框構造近年來較少應用於治山工程，至於近年來治山壩也有採用立體格子型（井桶型）構造與雙牆構造因完工期間尚淺，不列入本研究之對象。



支墩式治山壩　　治山壩（鋼製框）　　落石防止壁

圖 4-25　鋼製治山設施常見的三工程種類

⑵ 腐蝕調查方法

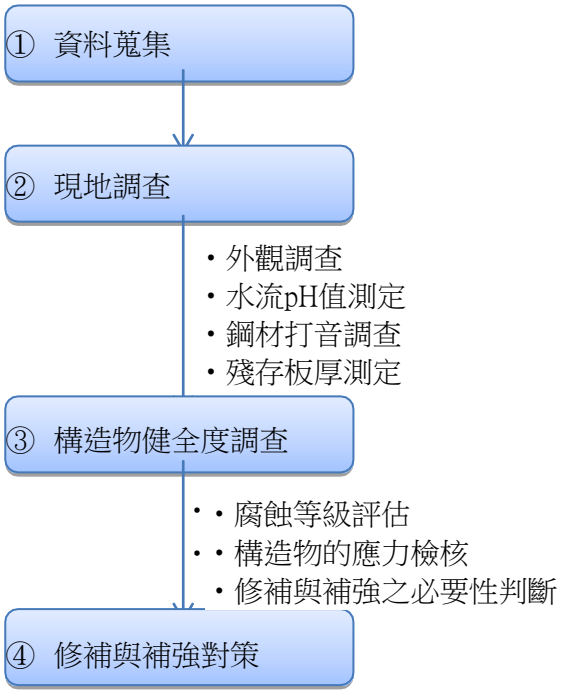


圖 4-26　腐蝕調查方法流程

⑶ 現地調查（目視調查、水流pH 測定）

(i) 外觀調查

實施鋼製設施規模等的量測及目視腐蝕狀況，確認之。

・　鋼製設施之規模：長度、高度
・　鋼製設施之形狀：形式、構件尺寸
・　鋼製設施周邊狀況：有無湧水
　　淤砂狀況
　　植生狀況　等
・　確認腐蝕狀況：目視確認腐蝕嚴重狀況

(ii) 水流pH 值測定

pH 小於 4 時腐蝕速度加快。實施構造物周邊水流pH 值測定可確認鋼材腐蝕是否水流所致。

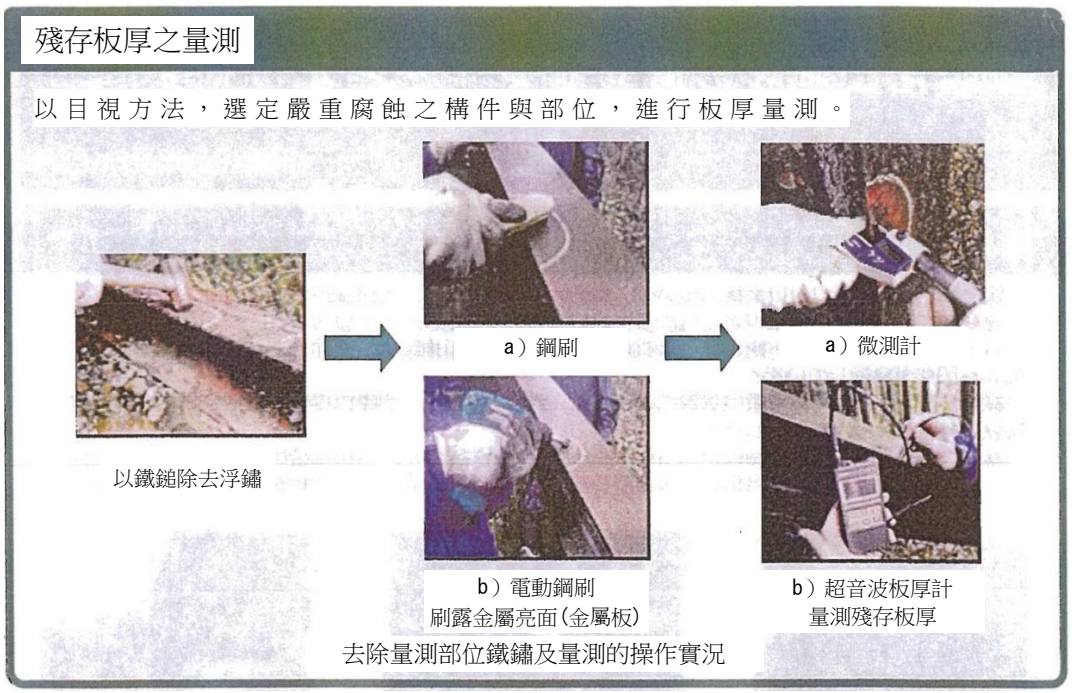
砂防巡視檢查要領（案）列舉以下鋼製不透過型構造防砂壩主要巡視檢查項目及巡視檢查注意事項。

表 4-12　鋼製不透過型防砂壩之巡視檢查項目（砂防相關設施巡視檢查要領（案））

部位	應注意之損傷等	巡視檢查注意事項
【鋼製不透過型構造防砂壩】壩體 ※使用強度等級大於Ⅱ的砂防用水泥土壤拌合物之鋼製防砂壩，比照辦理。參照：「砂防用水泥土壤拌合物設計與施工便覽(2011年10月砂防、地滑技術中心)」	變形、破損、腐蝕、磨損、充填材流失等	● 不透過型鋼製構造防砂壩包含由鋼製材料所施築的框構造、雙牆構造、立體格子型外殼加上現地產生土與礫石等填充材料所充填而成的壩體，注意是否有鋼製構件變形、破損(挫屈、壓壞、斷裂等)、腐蝕、磨損及上述狀況所伴隨產生的填充材料流失、空洞化等狀況。 ● 溢洪口頂端比照混凝土構造防砂壩之「溢洪口頂端磨損」處理。

⑷ 現地調查（殘存板厚量測）

以目視量測，選定嚴重腐蝕之構件與部位，利用超音波板厚計量測板厚。

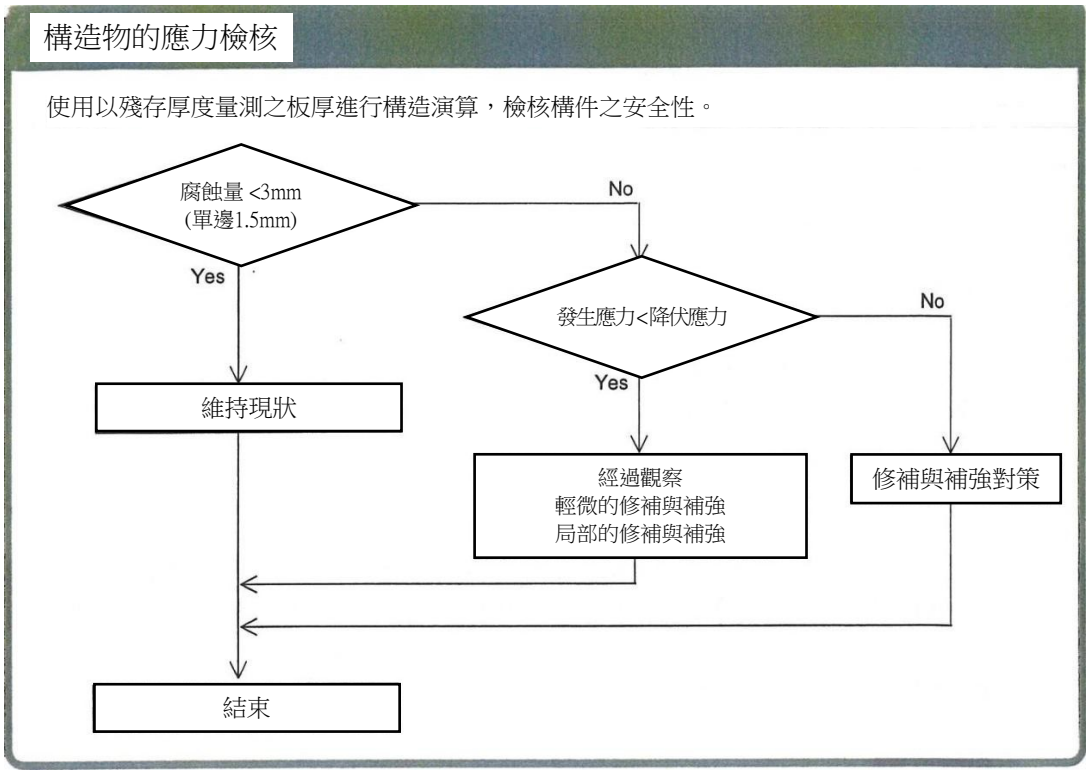


⑸ 健全度評估（構件之腐蝕等級評估）

腐蝕等級	腐蝕狀況		修補與補強對策
等級1	・沒有長期變化所產生的腐蝕。 ・仍殘留著初期塗裝、保持健全狀態。 ・接頭部分、螺絲均無腐蝕。		無修補與補強之必要
等級2	・與完工時相比，出現若干腐蝕。 ・塗膜輕微劣化，紅鏽稍微浮起。		機能及構造無安全疑慮，可重新塗裝，抑制腐蝕惡化
等級3	・局部腐蝕惡化，出現斷面缺損。 ・腳部、接頭部分出現層狀腐蝕。 ・整體的塗裝都已剝落。		實施局部修補與補強對策。 健全的構件可重新塗裝，抑制腐蝕惡化
等級4	・構造構件有的出現明顯斷面缺損。 ・以鐵鎚進行除鏽時，可看見鋼材明顯缺損。 ・設施機能及構造安全性明顯受損。		可實施修補與補強對策，確保設施整體之安全性

※等級3與等級4有必要實施詳細檢測。

⑹ 構造物的應力檢核


構造物的應力檢核
使用以殘存厚度量測之板厚進行構造演算，檢核構件之安全性。
腐蝕量 <3mm
(單邊1.5mm)
No
Yes
發生應力<降伏應力
No
Yes
維持現狀
經過觀察
輕微的修補與補強
局部的修補與補強
修補與補強對策
結束

(7) 修補與補強對策（案）

修補與補強對策（案）

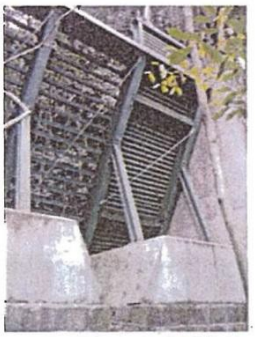
等級三之修補與補強

案例一：腳部腐蝕嚴重（局部腐蝕）

- 鋼材腳部以混凝土固樁，抑制腐蝕惡化。
- 混凝土只澆置鋼材腳部。確保水流流下地點，以改善腳部之腐蝕環境。



腳部局部腐蝕



以混凝土補強

案例二：壁材嚴重腐蝕狀態（局部腐蝕）

能去除上游淤積土砂時

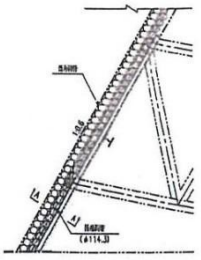
- 全面更換或只抽出不良構件而替換成新構件之對應

長期變化上游持續淤積而形成安定狀態

- 留下既存之壁材，下游側安裝新構件，以雙層壁構造對應之



上游側處於安定狀態



二重管灌漿構造(案)

修補與補強對策（案）

等級四之修補與補強

鋼製壩腐蝕而老朽化，因此需拆除撐牆（扶壁）構件等、改做成具透水性的框構造案例。



下游側



上游側

更換前



下游側



上游側

更換後

第 3 項　木製構造物

木製治山壩和混凝土製治山壩相比，具有促進木材利用、二氧化碳減排及生態系保全之效益，因此值得推廣全國。但木製壩之耐久性仍有許多疑慮，目前日本只有部分地區（北海道、秋田縣、長野縣、靜岡縣、京都府）實施。

木製治山壩施工實績從 2002 到 2006 年共施工 550 座，完工超過十年之設施將越來越多，因此需統一制定木製治山壩維護管理指引及腐朽評估手法。

針對這項問題，參考率先設置木製治山壩的京都府等之調查要領，木製治山設施腐蝕檢測方法建議方案如下。

＜參考資料＞

- 森林土木木製構造物設計等指引及解說等_林野廳
- 京都府木製治山壩腐朽度調查要領
- 秋田縣森林土木木製構造物設計等指引【2010.4.1 之後適用】秋田縣農林水產部森林整備課

⑴　工程種類之對象

- 木製治山壩（大型、人字型等）
- 大型木製護岸工
- 木製流路(排水溝)工
- 大型木製擋土工

⑵　機能確保之方法

木製構造物視必要於完工後定期實施木材劣化巡視檢查，適當地處置。

巡視檢查方法如圖 4-27 所示，大致分為概略巡視檢查與詳細檢查，並應判斷是否有必要實施修補與補強或更新等對策。

此外，概略巡視檢查應以定性方法判斷是否有必要實施詳細調查。調查結果若判定有必要實施詳細調查，應判斷定性調查之外是否需進一步實施定量調查等對策。

以下詳細說明概略巡視檢查與詳細檢查之內容

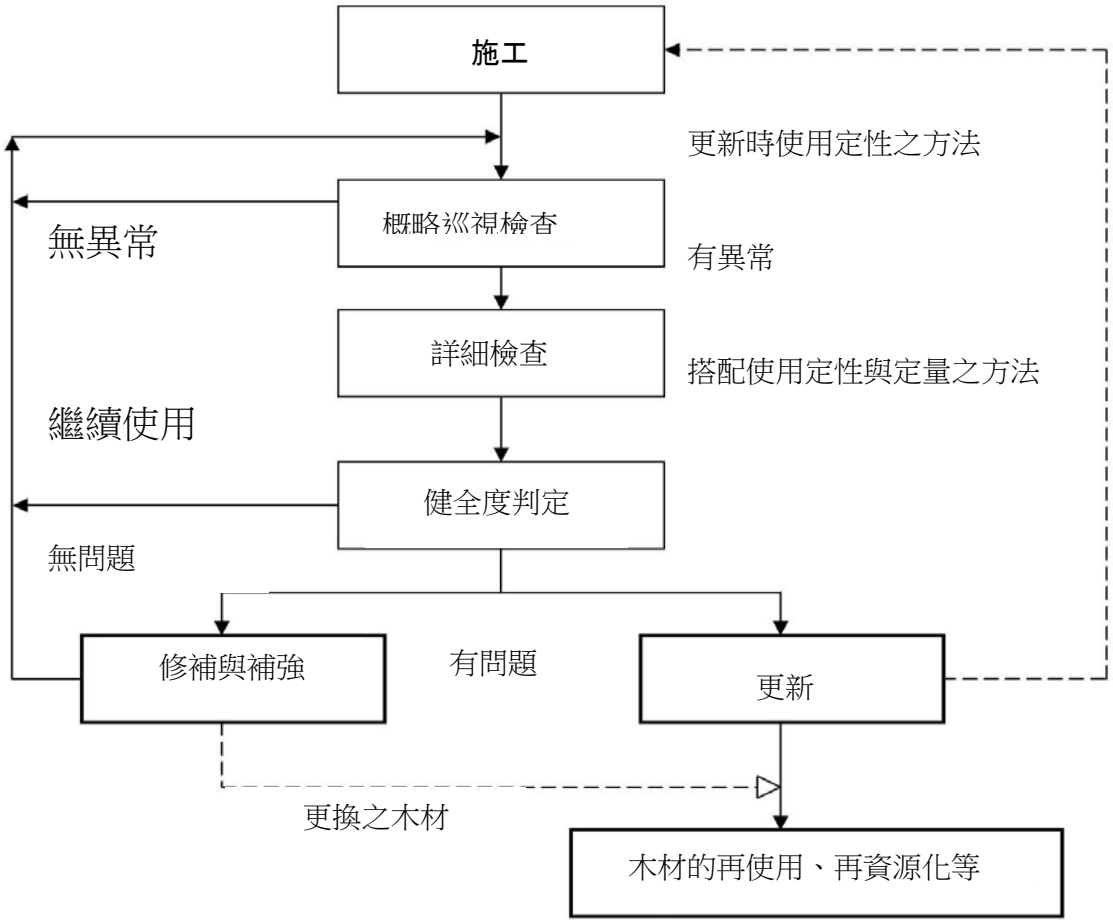


圖4-27　機能確保之概念（秋田縣森林土木木製構造物設計等指引）

⑶　概略巡視檢查

（i）概略巡視檢查的目的及方法

概略巡視檢查係施工後持續、定期以及災害發生時等為確認有無異狀，而以現地、觸診或打診等定性檢測方法，對利用木材之構造物及構件是確認木材有無劣化等降低構造物機能，判斷是否有必要實施詳細檢查。

此外，木材劣化之定性檢測方法如下。

①　目視

肉眼觀察檢測。有效掌握以下腐朽徵兆或損傷。

a 構件變色、異狀

b 構件損傷

c 菌類子實體發生

d 蟻道等行跡

②　觸診

手指觸摸檢測。若木材已腐朽，觸感會很柔軟。確認腐朽時，必要時可使用錐子或螺絲起子等實施刺診，刺穿檢測。

③　打診

鐵鎚敲打檢測。腐朽木材敲打聲音較鈍，反彈小。

(ii) 概略巡視檢查之調查地點

木材劣化概略判斷應對整體概觀或重要構件、接頭等容易腐朽部位重點調查。

⒜ 檢測表等的活用

概略巡視檢查可使用檢測表等，詳細實施巡視檢查並留下紀錄。

⒝ 概略巡視檢查之判定

確認構造物機能降低時，應儘速實施詳細檢查，適當處置。

此外，概略巡視檢查時木材劣化定性判斷基準，可以六個階段判定木材劣化程度。（下表）

⒞ 概略巡視檢查之頻率

概略巡視檢查應定期實施，但若周邊發生災害，必要時得臨時實施。

【實施案例】木材劣化之定性判定基準

觀察判定腐朽等狀況的基準，可以六個階段判定木材劣化程度。

表-1 木材劣化之定性判定基準

嚴重程度	觀　察　狀　況
0	健全
1	部分輕微腐朽等
2	全面輕微腐朽等
3	部分腐朽狀況比 2 嚴重等
4	整體嚴重腐朽等
5	腐朽等已造成構造物變形

⑷ 詳細調查

(i) 概略巡視檢查之目的及方法

詳細調查應於概略巡視檢查確認構造物機能降低而判斷有必要實施詳細調查時，實施之。做法是重新確認整體構造物概況，針對可能機能降低因子的地點實施詳細調查、判定構造物健全度，並判斷是否需實施修補、補強或更新等對策。

(ii) 詳細調查之方法等

判斷木材是否劣化之調查應搭配目視、觸診、打診等定性調查以及使用量測器具之定量調查，並應配合構造物之目的、構造物與構件重要程度與推估腐朽狀況等，選擇以下適當調查方法實施之。

⒜ 定性的方法

a 目視調查方法

b 觸診、打診等方法

(b) 定量檢測方法

a 針刺檢測（針刺檢測儀）

使用針刺檢測儀之非破壞試驗。以一定能量將特定直徑鋼針從木材表面打入，量測其打入深度（mm 單位），為比較簡易量測。

研究發現，打入深度與木材強度成反比，並與木質劣化程度成正比。這種檢測方法適合應用於腐朽厚度比較小的情況。

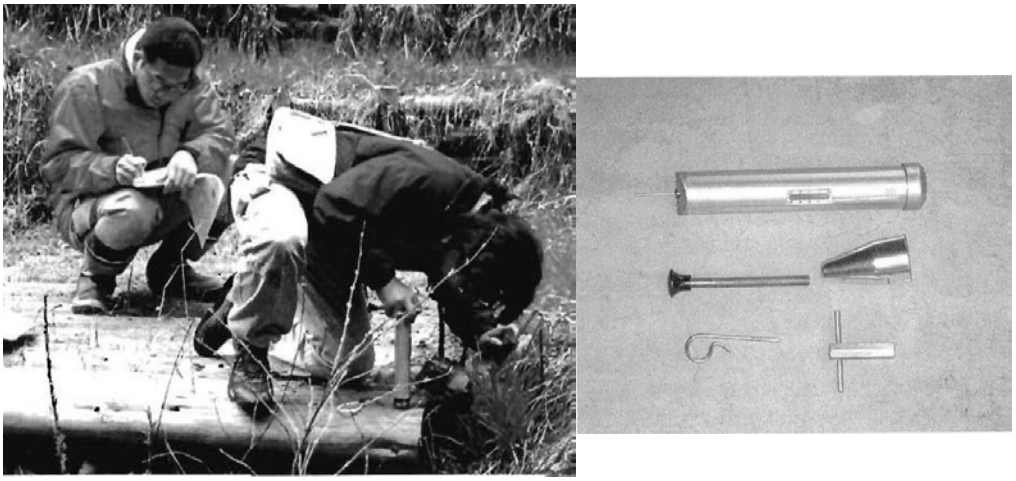


圖 4-28 以針刺檢測儀進行檢測（京都府林業試驗所 試驗研究業務月報 2003.5）

（左：京都府林業試驗所 試驗研究業務月報 2003.5、右：大分縣林試研報 15 號 土木用木製構造物耐久性研究）

此外，大分縣林試所研究顯示，以土木用木製構造物使用頻率最高之直徑 10cm 小口徑杉木原木為例，由於腐朽嚴重程度成正比的 Pdr(針刺檢測儀打入深度)，可推估木質劣化狀況。該研究假定原木內部為均質狀態，則如表 8 所示，Pdr 提高所伴隨產生的縱向壓縮強度減少率與原木斷面積成正比，當 Pdr 為 32.54mm(≒33m)時，縱向壓縮強度減少約 50%。亦即，和健全材相比，Pdr 為 33mm 時（Pdr .33）強度約只剩一半，為不能使用的木材。

此外，Pdr.33 以 70%為耐久界限，報告指出木製構造物之耐用年限，無處理材為 6.2 年，防腐處理材為 16.0 年。

表 4-13 直徑 10cm 小口徑原木之 Pdr 與縱向壓縮強度減少率之關係

(大分縣林試研報15號 土木用木製構造物耐久性研究）

Pdr (mm)	腐朽部半徑 (mm)	健全部半徑 (mm)	斷面積 (㎟)	強度減少率 (%)
18	0.1	49.9	7819	99.9
19	1.1	48.9	7508	95.6
20	2.1	47.9	7204	91.8
21	3.1	46.9	6907	88.0
22	4.1	45.9	6615	84.3
23	5.1	44.9	6330	80.6
24	6.1	43.9	6051	77.1
25	7.1	42.9	5779	73.6
26	8.1	41.9	5513	70.2
27	9.1	40.9	5253	66.9
28	10.1	39.9	4999	63.7
29	11.1	38.9	4751	60.5
30	12.1	37.9	4510	57.5
31	13.1	36.9	4275	54.5
32	14.1	35.9	4047	51.6
33	15.1	34.9	3825	48.7
34	16.1	33.9	3609	46.0
35	17.1	32.9	3399	43.3
36	18.1	31.9	3195	40.7
37	19.1	30.9	2998	38.2
38	20.1	29.9	2807	35.8
39	21.1	28.9	2623	33.4
40	22.1	27.9	2444	31.1

b 超音波傳播速度法

利用超音波試驗機的非破壞試驗。讓緊密貼在構件兩面的端子一方發出超音波訊號，另一方接收訊號，量測兩點間超音波傳播速度，但有時會因構件設置狀況而無法量測。

傳播速度與木材的抗彎強度呈正相關；木材劣化則會降低傳播速度。



圖4-29 超音波傳播速度測定法（京都府林業試驗所 試驗研究業務月報2003.5）

c 應力波檢測法

使用應力波試驗機之非破壞試驗。打擊插入木材之中的感測器，然後用安裝另一處的感測器測定此訊號而量測二點間的應力波傳播速度，但有時會因為構件設置狀況而無法量測。



圖4-30應力波檢測法（京都府木製治山壩腐朽調查要領）

d 鑽孔阻力檢測法

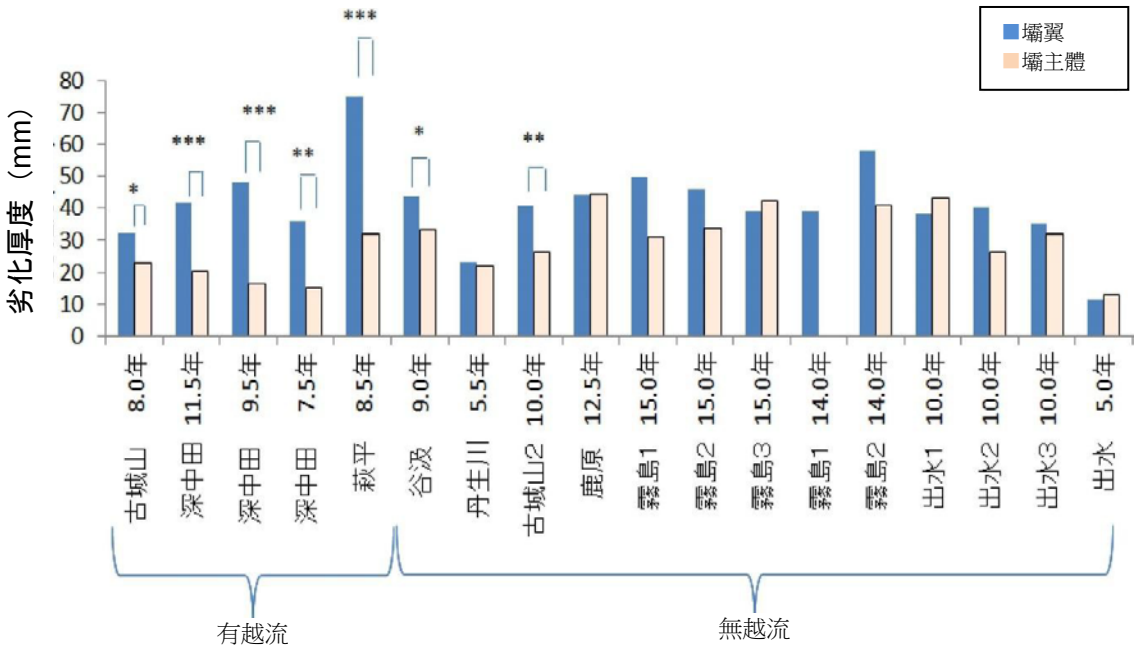
使用鑽孔阻力試驗機。鑽頭迴轉鑽入木材，量測其鑽孔阻力狀況，紀錄不同深度所產生鑽孔阻力變化波形，即可推估腐朽部分厚度。



圖 4-31 鑽孔阻力檢測

（左：京都府林業試驗所　試驗研究業務月報2003.5 右:京都府木製治山壩腐朽度調查要領）

以鑽孔阻力檢測法調查木製治山壩壩翼與治山壩主體劣化層之案例如下。



*為壩翼與壩主體劣化厚度顯著性差異*p<0.05,**p<0.01***p<0.001， U 檢測

（地點名稱上方的數字為經過年數）

圖4-32木製治山壩之平均劣化層

（木製治山壩所使用杉木材劣化狀況 岐阜縣森林研究所 和久田友宏）

由上可知，壩翼劣化層幾乎都比壩主體為厚。原因可能是有流水地點之壩主體部常浸泡水中

而與空氣隔離，因此抑制劣化進行。反之，無越流之壩翼處於空氣供給狀態，乾濕狀況反覆出現，因而持續劣化。

e 簡易鑽孔阻力檢測法法

木材預留特定大小導孔，以可量測轉矩（矩角動量）的扳手將螺絲鎖入後實施量測。

螺絲可使用木材螺絲或成長錐，在森林土木木製構造物現場檢測，適合使用較大直徑的木螺絲或成長錐（直徑 9mm）

f 其他方法

（iii）詳細調查實施地點

詳細調查應針對易腐朽地點、構造重要地點與前次巡視檢查判斷腐朽嚴重之地點，重點實施。

（iv）詳細調查結果彙整

詳細調查結果若要用來判定健全度，須彙整成圖表與照片等，並記載於巡視檢查登記簿，妥善保存。

必要時應整理木製構造物腐朽狀況，作為未來規劃與設計乃至於維護管理之基礎資料。

⑸ 健全度評估

(i) 判定之等級劃分

健全度判定應綜合判斷詳細調查結果，掌握構件及構造物整體劣化與損傷程度，預測未來的狀況與問題點，然後如下表所示判定 A~E 五個健全度等級，並決定是否繼續使用、更新或部分更新（修繕、補強）等必要之處置。

(ii) 詳細調查之頻率

健全度判定結果為 C、D、E 等級或完工後已經過一定期間，應持續實施定期詳細調查。

等級	健全度	對應
A	機能正常，無問題。	無
B	機能大致正常，幾乎無問題。	無需特別對應
C	輕度異常，機能略有問題。	應對狀態監測（一年實施一次以上之詳細調查）
D	有異常，機能出現問題。	應檢討且必要時實施相關之更新、修繕或補強。
E	嚴重異常，機能出現重大問題。	應立刻實施更新、修繕或補強。

2 巡視檢查登記簿（例）

(1) 基礎資料

構造物的工程種類		**最終處置**	**留置、拆除、更新**
構造物名稱			
溪流名稱、地名			
施工地點	町・村　　號		
溪床（坡面）坡度		集水面積	ha
構　造　物　各　單　元			
高	m	長	m
多段式整體高度與階梯數			
壩頂厚	m	壩底寬	m
木材種類		**原木之加工狀況**	
木材尺寸	**（記載主要構建之末端口徑與長度）**		
有無防腐處理	**有　　無**	**木材防腐劑種類**	**有　　無**
銜接部的種類		**填塞石（填塞土）規格**	
施工年月日	**年　月　日**	**修繕年月日**	年　月　日
巡　視　檢　查　紀　錄　表			
分類	**整理編號**	**巡視檢查年月日**	**綜合判定等**
概略巡視檢查與詳細巡視檢查			
相　關　圖　面			
附具位置圖與構造物之整體構造圖（正面圖、側面圖、平面圖）			

3 概略巡視檢查檢核表（例）

整理編號		巡視檢查方法： 基本上使用目視、觸診，必要時可用螺絲起子刺診與鐵錘打診		
巡視檢查年月日	年 月 日			
巡視檢查人員				
巡 視 檢 查 項 目				地點（編號） 判定
構造物整體	變形、位移			
	破損 、破壞			
木材構件	變色、異狀、異音			
	腐朽			
	蟻害			
	子實體發生			
	損傷 、磨損、破裂			
	掉落、破損、折斷			
接頭（金屬）	生鏽、腐蝕			
	鬆脫、位移、變形			
	缺損、掉落			
填塞石（填土）	鬆脫、塌陷、流出			
基礎部	異常侵蝕、淘刷			
淤砂區	異常土砂淤積			
概略巡視檢查之綜合判定		A・B・C・D・E		
詳細巡視檢查之必要性		無(A， B)・有(C， D， E)		
構造圖	構造物整體之構造圖（正面圖、側面圖、平面圖）之中的巡視檢查項目判定為d、c、e時，記載該地點（編號）			
照片	構造物整體之照片、巡視檢查項目判定為c、d、e時，將該部分放大攝影，黏貼在檢核表上			

判定基準

判定	綜合判定	內 容	木材劣化之定性判定基準	
a	A	健全，正常，良好。	0	健全
b	B	大致健全，大致正常，大致良好。	1	機能幾無問題。部分輕度腐朽
c	C	有輕微損傷、異常。機能略有問題。	2	全面輕度腐朽
d	D	有損傷、異常。機能出現問題。	3	部分嚴重腐朽等
e	E	有重大損傷與異常。機能出現重大問題。	4，5	全面嚴重腐朽等腐朽等造成的形狀破壞

第5章　不同構造之劣化型態及其主因檢討

第1節　混凝土構造物

混凝土構造物所出現的代表性劣化現象如下表所示。

表5-1異狀與劣化種類（混凝土診斷技術（社團法人）混凝土工學協會）

異狀與劣化種類			異狀與劣化原因								
			初期缺陷	中性化	鹽害	ASR	凍害	化學腐蝕	疲勞	磨損、風化	構造、外力
初期缺陷	蜂窩		○								
	冷縫		○								
	內部塌陷（空洞等）		○								
	起砂		○								
	表面氣泡		○								
	非進行性裂縫 • 乾燥裂縫 • 乾燥收縮裂縫 • 溫度裂縫		○	◆ 非進行性裂縫施工期間或完工後儘速處理，就無耐久性問題。置之不理可能與其他劣化因子複合作用而造成進行性的裂縫。							
材料劣化（多為內部因子所所致※）	裂縫	鋼筋腐蝕先行型		○	○						
		裂縫先行型				○	○	○	○	○	○
	浮凸、剝落			○	○	○	○	○	△		
	滲出鏽汁			○	○	△		○	△		
	白華（壁癌）						○			○	
	變色				○	○				○	
	磨損									○	
	斷面缺損			△	○			○	○		○
構造劣化（多為外部因子所引所致※）	彎曲、剪切裂縫										○
	撓曲								○		○
	變形			△	△	○			△		○
	震動（剛性降低）			△	△	○			△		○

※材料劣化主要為內部因子所致，構造劣化多為外部因子所致。

不過，材料劣化之後有時會因為疲勞或構造外力這類外部因子，而產生裂縫等異狀與劣化，或因中性化、鹽害等引致承載力下降等內部因子，造成變形等構造劣化。

第 1 項　劣化型態之種類

(1)　初期缺陷

初期缺陷不太會造成致命之性耐久性問題，但放著不管可能與其他劣化因子複合進行性劣化，因此應儘量在發現階段實施修繕。

表 5-2 劣化之特徵（初期缺陷）※紅框為治山設施應注意狀況

異狀之種類			異狀之原因與內容	影響
蜂窩			混凝土澆置時材料分離、壓密不足、模框下方水泥漿洩漏等引致粗粒料大量集中所形成的不良部分。	孔隙變多，水密性或混凝土中性化抑制效果降低。容易誘發中性化或鹽害等。
冷縫			重複澆置混凝土的部分無法一體化而產生不連續面。	出現冷縫的部位通常強度降低。水密性降低有時會誘發中性化、鹽害與化學性腐蝕。
內部缺陷（空洞等）			混凝土與砂漿、磁磚黏貼之界面或混凝土與岩盤界面所形成空洞。構造物內部產生之空洞等有各種不同型態。原因有施工不良、地盤變形等等。	混凝土本體產生空洞有時會誘發耐力下降、中性化或鹽害等劣化因子。
起砂			加入太多凝固劑的混凝土或混凝土過度壓密硬化，都可能使得混凝土內部水分析離滲出表面，表面的細粒料露出成條狀。	
表面起泡			傾斜形模框等形成自由水與空氣泡，使得混凝土表面呈現麻臉	混凝土表層容易殘留凝固劑，使得水灰比變大，加上水密性降低，容易因此降低強度與中性化抑制效果。
裂縫	乾燥收縮裂縫		混凝土乾燥後體積減少（收縮），形成裂縫。	乾燥收縮裂縫等施工所引致之初期缺陷，不太會對混凝土品質造成不良影響，但為防止水與空氣從裂縫侵入造成鋼材腐蝕，最好儘早修補。
	溫度裂縫（熱膨脹裂縫）	硬化熱（自己收縮）	水和熱反應導致混凝土內部溫度上升、混凝土膨脹，溫度降低就會產生裂縫。水灰比越小的混凝土或軀體越厚的構件散熱效率越差，可能因此產生大範圍貫穿裂縫。	
		太陽熱	完工後持續受太陽輻射，地面溫度提高，可能造成混凝土膨脹、形成裂縫。	
	沉陷裂縫		混凝土泌水使混凝土沉陷，鋼筋附近的混凝土被拉緊，與周邊的沉陷量差距造成裂縫。	

- 蜂窩
  治山設施在山區多利用索道等施作，出現蜂窩的風險提高。
- 內部缺陷（空洞等）
  1960 年代之前完工的治山設施並無明確的混凝土施工基準等，品質多不佳，內部許多出現空洞。
- 溫度裂縫（硬化熱）
  類似溪間工這種巨積混凝土（大量混凝土）容易產生水和熱，而產生溫度裂縫。

(2) 材料劣化

混凝土材料劣化最主要是裂縫，在裂縫→浮凸→剝離→斷面缺損的過程中，混凝土構造物機能與性能會降低，因此應觀察進行性裂縫發展狀況。

表 5-3 劣化特徵（材料劣化）

※紅框為治山設施應注意狀況（點線為鋼筋混凝土構造時的應注意狀況）

異狀之種類		異狀之原因與內容		影響
裂縫	鋼筋腐蝕先行型	中性化	水灰比過大或鋼筋打設不足時，混凝土之中性化抑制效果降低，可能產生鋼筋腐蝕甚至裂縫。通常也會伴隨產生鹽害而降低品質。 1978 年規範了鋼筋打設與裂縫相關之設計強度。	屬鹼性的混凝土 pH 值降低到小於 9 的狀態，混凝土並不會因為中性化而失去強度，無鋼筋混凝土實際上不太會因此破壞。 中性化引致 OH^-減少，Cl^-（氯離子）破壞非動態皮膜（新鋼筋表面附著的藍黑色皮膜）產生鐵鏽，使得鋼筋與混凝土斷面不足因而造成耐力下降。
		鹽害	使用含鹽分材料或海水、融雪材等，鹽分飛來造成鋼筋腐蝕與裂縫。多與中性化複合發生。 1986 年實施鹽分總量管制後，材料所引起的鹽害已減少，但海岸附近或融雪材使用地區仍可見鹽害。	混凝土內部鋼筋因 Cl^-（氯離子）而生鏽，或生鏽後體積膨脹混凝土破裂（壓裂）而產生裂縫。 若混凝土繼續保持高鹼性，即使含大量 Cl^-，鋼筋也未必會生鏽。
	裂縫先行型	鹼粒料反應	混凝土所含粒料（粗粒料、細粒料）與混凝土所含鹼金屬離子反應，加水後出現的膨脹現象。 加入某種（輝石安山岩類等）反應性粒料，會發生這種現象。	西日本常見現象，但近年來反應性粒料列入管制對象，新築構造物（1968 年之後）不太有這種問題。
		凍結融解	水侵入混凝土內之毛細管或內部存在之空洞，水凍結體積膨脹引致混凝土破裂（壓裂)之現象。	寒冷地帶建築物混凝土表面無防水被覆，常出現這種現象。
		疲勞	反覆荷重使構件疲勞，產生裂縫、剝離甚至崩落的現象。常出現在橋樑、建築床板等容許撓曲設計之構造物。	與構造裂縫相同，結構上較弱的部分易產生大量裂縫，降低耐力。
		化學性腐蝕	為水泥成分引起化學反應所造成的劣化，常發生在特殊條件下的混凝土構造物。	溫泉、化學工廠或食品加工廠排放廢液等特殊條件下產生的問題。
浮凸、剝落		中性化、鹽害、凍害等引致混凝土表面附著力下降，混凝土逐漸從表面剝落。		斷面不足與鋼筋打設不足等造成構造物耐力性降低、混凝土塊掉落災害等。

5-4 劣化之特徵（材料劣化 其二）※紅框為治山設施應注意之事項（點線為鋼筋混凝土構造應注意事項）

異狀之種類	異狀之原因與內容		影響
鏽汁	中性化引致生鏽	混凝土中性化引致鋼筋的非動態皮膜破壞因而生鏽。 鏽之成分為四氧化三鐵（Fe_3O_4）、非晶態羥基氧化鐵等。鏽汁一般為黑色。	中性化殘留小於 10mm(伴隨產生鹽害時為 15mm)，鋼筋會快速腐蝕。只因中性化就生鏽的狀況很少，大多係與鹽害等其他主要因素複合材發生。
	鹽害引致之生鏽	混凝土內部鋼筋所含 Cl^-（氯離子）是生鏽原因。 鏽之成分為四氧化三鐵（Fe_3O_4）、針鐵礦（α-FeOOH）、非晶態羥基氧化鐵等，產生鏽汁為黑色、紅褐色、黃色等。 伴隨中性化時，會產生四方纖鐵礦（β-FeOOH）淡褐色鏽汁。	以鹽害為主時，即使沒有出現裂縫，鋼筋內部也可能已經腐蝕。裂縫與鏽汁同時出現代表劣化可能已經相當嚴重。
	剝離、裂縫所引致生鏽	鏽之成分為纖鐵礦、針鐵礦，產生黑~紅褐色鏽汁。伴隨出現鹽害時的四方纖鐵礦產生淡褐色鏽汁。此時可能同時產生白華現象。	水由裂縫部分等滲透進入混凝土，引起鋼筋腐蝕，通常裂縫大於 0.2mm，就可能造成鋼筋腐蝕。
	混凝土粒料生鏽	混凝土粒料含鐵礦時，有時會產生鏽汁。	只有混凝土粒料生鏽問題不大，但生鏽有可能是混凝土中性化或鹽害所致，且鋼筋同時持續腐蝕或可能開始腐蝕。
	周邊鋼材腐蝕	混凝土表面設置之鉚釘或扶手等鋼材腐蝕所形成鏽汁。需與構件內部鋼材所形成鏽汁區別	美觀受損，但鋼筋混凝土構件本身不太受影響。
白華	水泥拌合水等混凝土內部水分在混凝土表面蒸發，其中的可溶解成分（鈣）乾燥所形成通常為白色的鹽類析出物。		白華本身不太會影響混凝土品質，但白華之發生與水的移動有關，因此仍應注意裂縫與內部缺陷等其他出現劣化的可能性。
變色	混凝土變色可能係鹽害、中性化、凍害等劣化主要因素作用所致，以及火災、混凝土水和物變質所致等。		水泥之水和物所引致之變色不太會直接降低混凝土耐力，幾乎都是因為變色之根本原因（鹽害、中性化、凍害、火災等），才產生劣化。
磨損、風化	磨損	可分為水路經過水泥質摩擦脫落，變成無法支撐骨材，不久骨材剝落的磨損模式；以及衝擊力造成混凝土破裂而掉落的磨損模式。	鋼筋打設減少或斷面不足可能造成整體強度降低。 此外，打設不足也可能使鋼筋混凝土的混凝土中性化，鋼筋腐蝕。
	風化	工廠煤煙或高硬度水質所造成水泥成分溶出因而風化。	混凝土起粉，強度降低。

・ 磨損

治山設施（特別是溪間工）的流水含有許多砂礫，大粒徑砂礫（上游有崩塌地之大流域）常造成頂端磨損。

(3) 構造劣化

外力等作用引致構造物整體產生異狀的之案例。具體狀況如下表所示，多見於無鋼筋施作之混凝土構造物，通常過度外力作用少的治山設施很少出現撓曲、位移震動等狀況，但若受到落石或土石流等大於設計外力之作用而產生扭曲或剪力裂縫，多半就會造成構造物嚴重變形。

表 5-5 混凝土構造物劣化之特徵（構造劣化）

※紅框為治山設施應注意事項（虛線為鋼筋混凝土構造應注意事項）

<table>
<tr><th>異狀之種類</th><th>異狀之原因與內容</th><th>影響</th></tr>
<tr><td>構造性的裂縫
● 撓曲裂縫
● 剪切裂縫</td><td>承受大於設計之荷重或偏荷重，在彎矩佔優勢的地點幾乎與構件軸成直角，在剪應力佔優勢的地點則產生斜方向裂縫。</td><td>可能產生構造上弱點，因此應檢討其耐力性，並檢討實施修補與補強等對策。</td></tr>
<tr><td>撓曲</td><td>構造性缺陷或中性化、鹽害、凍害、化學性腐蝕、ASR、疲勞、磨損等各種劣化主要因素作用引致明顯的劣化過程中，構件韌性與剛性降低，會明顯出現撓曲擴大現象。 構造物撓曲常出現在橋樑或橋樑與床版產生構造上撓曲時。</td><td>撓曲問題最好考量下列條件，檢討對策。
撓曲與跨距比
<table><tr><td>劣化度</td><td>撓曲/跨距</td></tr><tr><td>I (無)</td><td>小於 1/300</td></tr><tr><td>II (輕度)</td><td>小於 1/200</td></tr><tr><td>III (中度)</td><td>小於 1/100</td></tr><tr><td>IV (重度)</td><td>大於 1/100</td></tr></table>裂縫
<table><tr><td>劣化度</td><td>裂縫寬</td><td>總長度</td></tr><tr><td>I (無)</td><td>小於 0.5mm</td><td>小於 6m</td></tr><tr><td>II (輕度)</td><td>小於 1.5mm</td><td>小於 15m</td></tr><tr><td>III (中度)</td><td>小於 3.0mm</td><td>小於 20m</td></tr><tr><td>IV (重度)</td><td>大於 3.0mm</td><td>大於 20m</td></tr></table>出處：「鋼筋混凝土造建築物耐久性提升技術」（國土開放技術中心：技報堂出版 1986、P.75~78）</td></tr>
<tr><td>變形</td><td>外力所引致變形與混凝土本身性質（水和熱上升引致乾燥收縮、膨脹、潛變等）之變形。</td><td>外力引致變形多同時出現撓曲裂縫與剪切裂縫。進行性的變形會形成構造上的弱點，因此須儘早實施對策。
大多係混凝土性質所引致，大部分情況是非進行性劣化，不太會惡化，但若變形太嚴重而無法確保設計耐力性，仍需儘早實施對策。</td></tr>
<tr><td>振動</td><td>構造物劣化會降低構造物剛性，固有振動頻率因此降低。
固有振動（固有振動頻率）降低，振幅變大，撓曲量加大可能因此造成混凝土破斷。</td><td>振動問題一般常出現在橋樑這類長跨距構造物。 農業水利設施則出現在 PC 水槽這類圓筒構造、水路橋、堰柱等。
振動所形成的構造物耐力性，必要時應於構造物安全檢核階段，加以詳細調查。</td></tr>
</table>

治山設施之進行性構造劣化多為土石流、地滑、落石等外力所致，常出現下列劣化與損傷案例。

- 壩體損傷（缺損）

治山設施常出現土石流、地滑、落石等外力或壩體淘刷、頂端持續磨損乃至於持續劣化所造成的壩體部分損傷(缺損)。

- 接縫開裂與傾斜

土石流、地滑與落石等外力以及基礎地盤不均勻沉陷等有時會造成接縫開裂或傾斜。治山設施（特別是擋土工）有時不得不在崩積土層等鬆軟地盤上施工，因此常因長期變化或發生豪雨等事件，造成接縫異常。

(4) 周邊之異狀

構造物本體除了材料劣化與構造劣化之外，有時治山設施周邊邊坡與基礎部也會產生異狀，具體而言如下。

- 基礎部淘刷（主要為溪間工）
- 壩翼（端部）淘刷（溪間工、擋土工）
- 背面土砂流出（砂漿噴覆工、坡面格框工）

治山設施（特別是節制壩）發生劣化與損傷等異狀案例，最常見的是基礎部淘刷，會直接危害壩體安定性，特別重要。



圖 5-1 治山設施周邊所產生異狀

（左：節制壩基礎部淘刷，中：節制壩壩翼淘刷，右：坡面格框工背面土砂流出造成空洞）

第 2 項　劣化之原因與要因

○環境劣化要因之分類

- 降雨

  治山設施幾乎都是暴露在降雨之設施，降雨堪稱為其重要風險因子。特別是前述鹼粒料反應等，當水供給引致劣化類型的材料劣化時，應掌握劣化進行程度，儘早實施對策。

- 土石流與流沙等

  溪間工等河床或河道內施作之治山設施，土石流與洪水時大量流沙是頂端磨損與壩翼損傷等劣化風險主要因素。預估會遭受土石流或流砂影響的地區，應實施頂端高強度材料打設或壩翼鋼筋補強對策。

- 低溫

  低溫係凍害與土壤結凍膨脹發生主要因素。結凍膨脹係土壤凍結形成冰層變厚而使土壤隆起之現象，乃坡面格框工與砂漿噴覆工等邊坡覆蓋型態構造物劣化風險的主要因素。因此，位於日均溫有小於 4°C 地區的噴覆工，須做成得比一般厚，或使用耐低溫混凝土與鋼筋等對策。

- 飛來鹽分

  靠近海岸地區飛來鹽分多，易增加鹽害風險，因此，沿海地區設施遭受鹽害而引致材料劣化時，應掌握劣化進行程度，儘早實施對策。

- 火山地區

  火山地區受火山氣體與酸性水影響，有時會出現混凝土明顯腐蝕（化學性浸蝕）狀況，因此，應實施表面噴覆或以耐酸性混凝土提高耐性。

- 地盤狀況

  火山周邊火山岩屑分布區域、上游明顯荒廢之大流域、或堆積層較厚地點等施作的治山設施，豪雨時基礎部與翼部（端部）遭受淘刷或設施整個被沖走等風險高，實施地盤改良或採用對超過外力具較高冗長性的構造，應提高承受損害與流失等設施之整體耐性。

- 施工年度

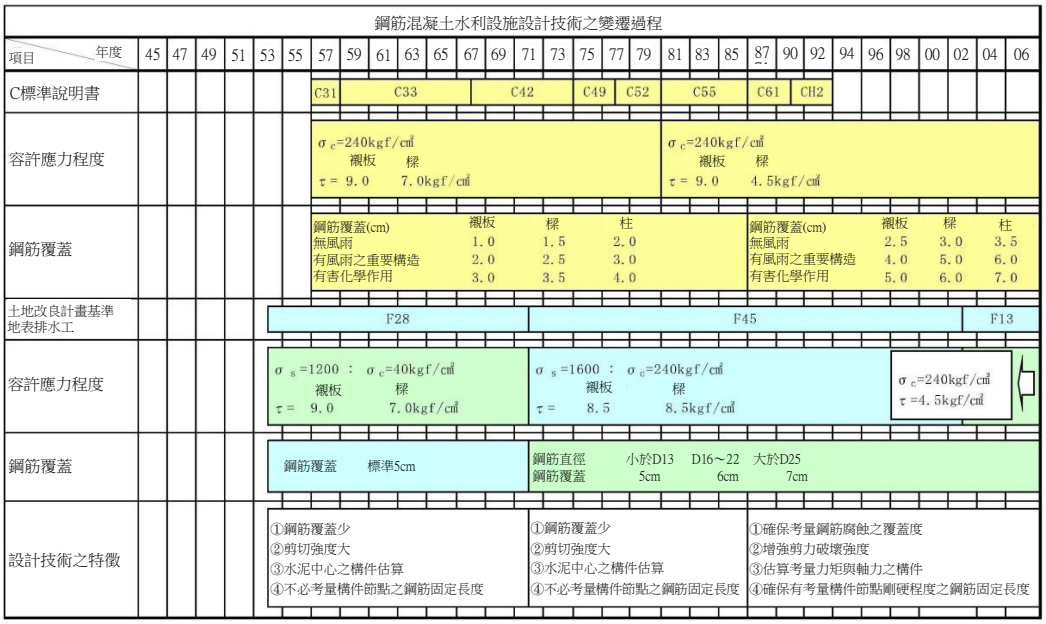
混凝土構造物不同施工年度的設計基準強度、材料配比與使用粒料等基準，可能很大不同，因此，施工年度係構造物劣化重要變數。混凝土基準相關轉向點主要有以下二個年度。

① 1978 年：鹽分總量規範之施行

1978年	建設省技術調查室長公告「土木工程相關混凝土細粒料之海砂應用」規定護套內灌漿及預力構件的鹽分總量換算成 NaCl，須低於細粒料絕對乾燥重量之 0.03%。
1978年	JISA（日本資訊產業協會）5308 「預拌混凝土」 土木用骨材之細粒料所含鹽化物容許限度，原則上換算成 NaCl須低於細粒料絕對乾燥重量之 0.1%。

② 1986 年：鹼粒料反應對策、鋼筋打設與設計基準強度之規定

1986年	建設省技術調查室公告「鹼粒料反應暫定對策」 配合建設省總合技術開發計畫「提升混凝土耐久性技術之開發」之公告示出粒料選定、低鹼性水泥、有抑制效果之混合水泥等的使用、混凝土內鹼粒料總量抑制等四項對策。同時也示出粗細粒料篩分析試驗法之中的化學法與水泥砂漿棒法等建設省暫定方案。
1986年	JIS（日本產業規格）A 5308 「預拌混凝土」 納入鹼・二氧化矽反應（ASR），本文指出對購入者有提出鹼・二氧化矽反應抑制方法之義務。 附件 1「預拌混凝土用粒料」之附件 7 化學法或附件 8 之水泥砂漿棒法進行試驗，非用判定為無害之粒料不可。但如附件 6「依水泥選定等抑制鹼粒料反應之對策方法」所示，實施使用低鹼性水泥、有抑制效果之混合水泥以及抑制混凝土內鹼粒料總量三項對策時，也可使用不會被判定為「漱口水」(水灰比太低)之粒料。



〇材料劣化要因分類

- 化學性劣化：中性化、鹽害、鹼粒料反應、化學性浸蝕
- 物理性劣化：凍害（凍結融解）、疲勞

- 鋼筋腐蝕先行型：中性化、鹽害
- 裂縫先行型：鹼粒料反應、凍害、疲勞、化學性浸蝕

治山設施除了部分坡面格框工之外，基本上大多進行無鋼筋混凝土(巨積混凝土)施工。因此，治山設施在上述分類之中，較多出現裂縫先行型劣化型態，但使用鋼筋之坡面格框工等工程種類也有此問題，因此以下彙整鹼粒料反應、凍害（凍結融解）、鹽害、中性化、化學性浸蝕之特徵。

此外，農業水利設施也有許多「凍害」引致裂縫之案例，「鹽害」、「鹼粒料反應」、「化學性腐蝕」所引致之裂縫則侷限於部分區域，中性化引致裂縫案例則為 0。

(1) 凍害 (凍結融解)

混凝土內部水份凍結膨脹所產生之現象，長期反覆凍結與融解會慢慢造成混凝土劣化。若混凝土品質不佳，會有更高的破壞風險。

劣化過程一般為潛伏期→進展期→加速期→劣化期，進展期到加速期之間會出現剝離而減少混凝土斷面，是其特徵。各階段劣化之特徵如下。

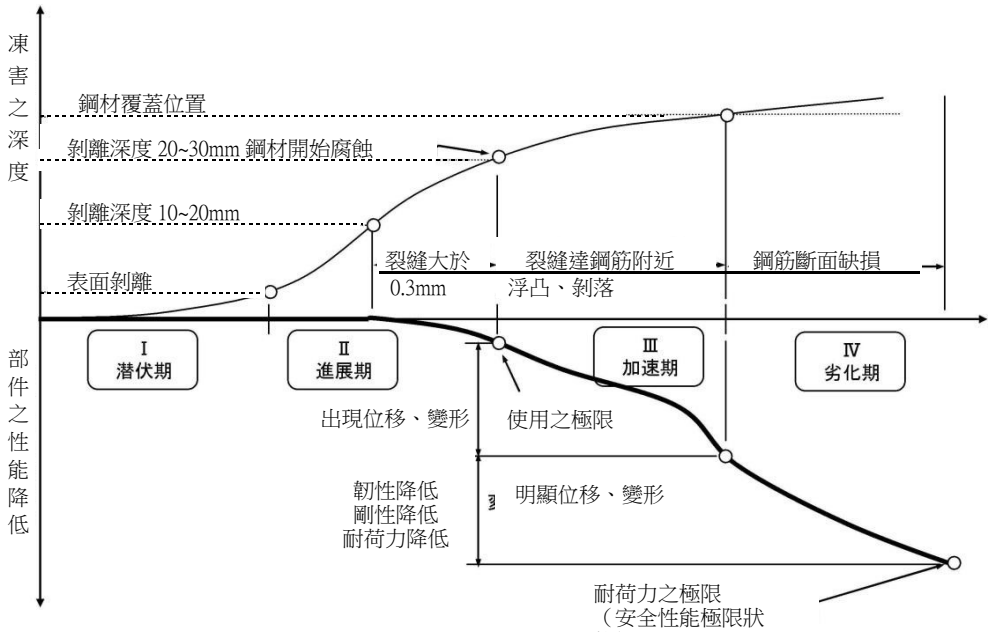


圖 5-2 凍結融解(凍害）之混凝土劣化過程

表 5-6 凍結融解(凍害）之混凝土劣化過程之特徵

劣化過程	定義	外觀 ※為依混凝土工學協會	標準機能降低		
			安全性能	使用性能	美觀景觀
I.潛伏期 （狀態 I）	受凍結溶解作用但尚未明顯劣化之時期 構件性能尚未降低，仍保有健全性。	融解水分多少滲出，但外觀並無明顯異狀。 ※小於 0.2mm 之裂縫			
II.進展期-1 （狀態 II-1）	混凝土表面劣化進行，鋼材尚未腐蝕的時期。凍害深度淺，仍保有剛性之階段。	出現水分滲出。 ※0.2~0.3mm 裂縫、脹裂、中等程度剝離（深度達 10mm 左右）			
II.進展期-2 （狀態 II-2）		※大於 0.3mm 之裂縫，嚴重剝離（深度達 20mm 左右）			
III.加速期 （狀態 III）	混凝土嚴重劣化，鋼材開始腐蝕、惡化之時期	凍害深度擴大，水分滲出嚴重、裂縫剝落現象。 ※剝離深度達 30mm 左右	耐荷力降低	剛性降低	美觀降低
IV.劣化期 （狀態 IV）	凍害所引致之混凝土劣化擴及整個被覆面，明顯降低耐荷力之時期。	混凝土浮凸，剝離嚴重。 凍害深度超過鋼材厚度，出現水分大量滲出、裂縫剝落等現象。 ※ 剝離深度大於 30mm，出現鋼筋斷面缺損。			

＜特徵＞

遭受凍害構造物一般混凝土表面會有微細裂縫、剝離、空鼓等形態的明顯劣化。微細裂縫與剝離係混凝土灰漿部分劣化，混凝土品質不佳或未帶進適當空氣泡時常發生這種狀況。另外，空鼓常在粒料品質不佳時產生。

此外，老舊治山設施（特別是溪間工）施作水泥砂漿塊砌石或河川塊石混凝土疊砌時，內部材之品質較差，混凝土剝離或空鼓造成整個治山設施結構體弱化。



【輕度】
只損失表面之水泥砂漿

【中度】
損失粗粒料之間的水泥砂漿

【強度】
失去粗粒料周邊水泥砂漿，骨材裸露

【嚴重劣化】
含粗粒料之混凝土脫落

圖 5-3 車道與步道界面路緣石剝落之進行（例）

疑似凍害構造物調查與對策指引（案）2011 年 10 月 獨立行政法人土木研究所寒地土木研究所

（裂縫形狀之特徵）

① D裂縫

與邊緣及接合部平行且有連續微細裂縫之特徵，隅角呈「D」字型內凹形狀。可能是隅角部受風等影響，溫度比周圍低，才集中發生裂縫。

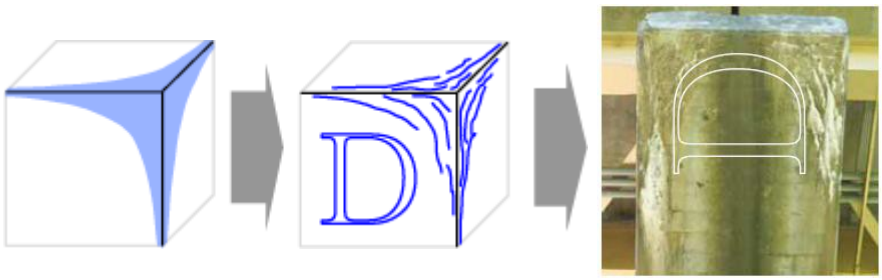
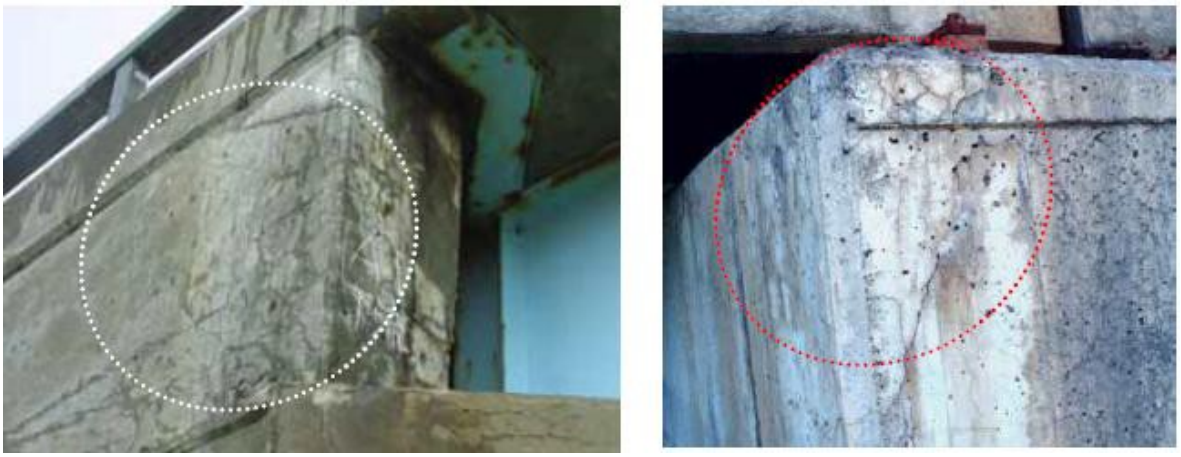


圖 5-4　D 裂縫模式圖

疑似凍害構造物之調查與對策指引（案）2011 年 10 月 獨立行政法人土木研究所寒地土木研究所

② 網狀裂縫

混凝土構造面表面的細長網狀裂縫，容易出現在相同日曬、 環境溫度、水供給等環境外力條件的面構件上。

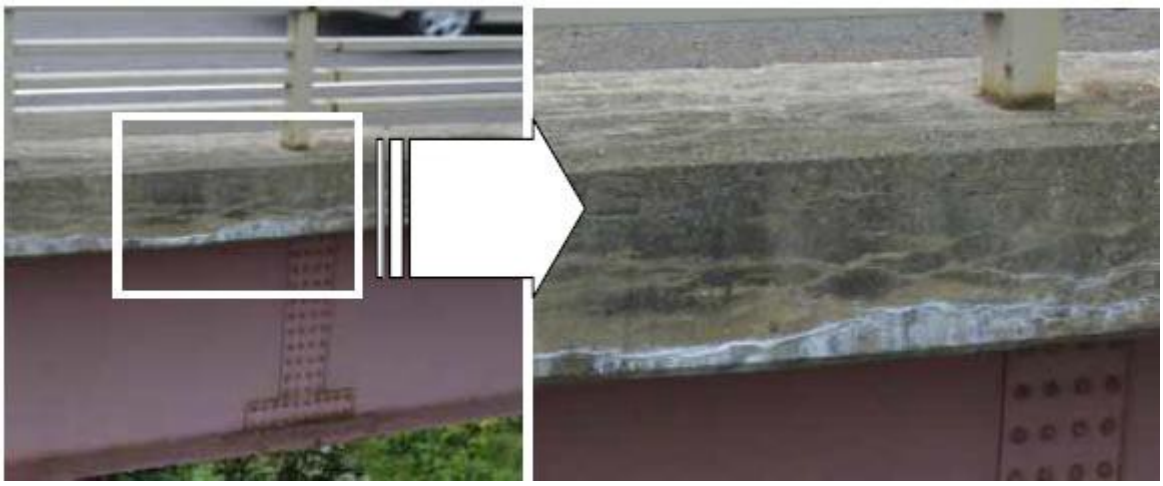


照片 5-1 道路橋網狀裂縫案例

疑似凍害構造物之調查與對策指引（案）2011 年 10 月 獨立行政法人土木研究所寒地土木研究所

③ 長向裂縫

長向裂縫係與構件長向中心線平行出現之直線裂縫，常出現在日曬、環境溫度、水供給等環境外力承受面長的地面覆蓋或柱子等。照片為橋樑地面覆蓋頂端與側面之欄杆基礎延長方向裂縫。頂端或路面側供給之水通過裂縫內部，從地面覆蓋側面下方的裂縫析出白華。



照片 5-2　地面覆蓋側面及頂端產生之長向裂縫

疑似凍害構造物之調查與對策指引（案）2011 年 10 月 獨立行政法人土木研究所寒地土木研究所

＜地域性＞

凍結時最低溫度越低凍害越嚴重。此外，每年凍結融解次數越多，凍害劣化越快出現。因此，凍害劣化之外力包含最低氣溫與凍結融解次數。

凍害危險度分布圖如下。

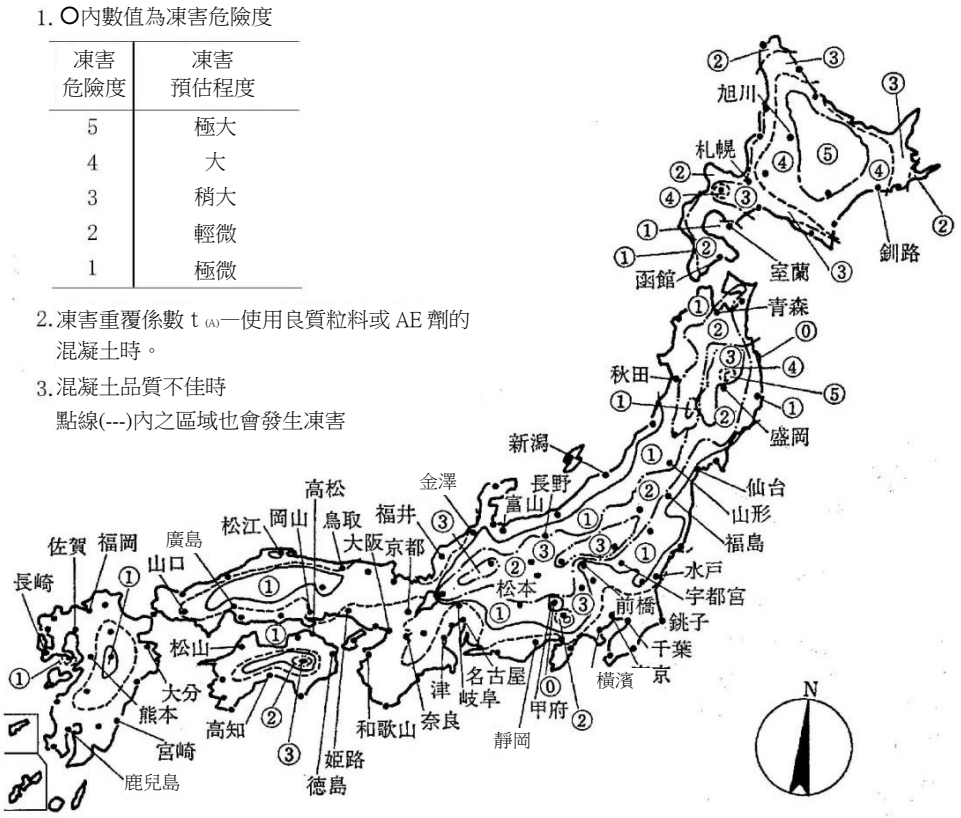


圖 5-5 凍害危險度分布圖（「混凝土診斷技術」（社）混凝土工學會 p.50）

＜治山設施之案例＞

治山設施所有混凝土構造工程種類皆有發生凍害危險性，日本北海道、東北地方、中部等高海拔地帶案例較多。



圖 5-6 凍害引致混凝土剝離現象（長野縣內之節制壩案例）

(2) 鹼粒料反應

混凝土內部的鈉與鉀等鹼金屬離子（鹼性細孔溶液）與粒料中的特定礦物（反應性粒料）產生反應出現異常膨脹，從而發生混凝土裂縫之現象。分為鹼・氧化矽反應（ASR）與鹼・碳酸鹽反應（ACR）二類。

日本最常發生的是 ASR 。此係鹼離子與氫氧基離子和粒料中所含準安定二氧化矽所產生化學反應。

劣化過程為潛伏期→進展期→加速期→劣化期，進展期之膨脹量非常大且難以修補，是其特徵。各階段特徵如下。

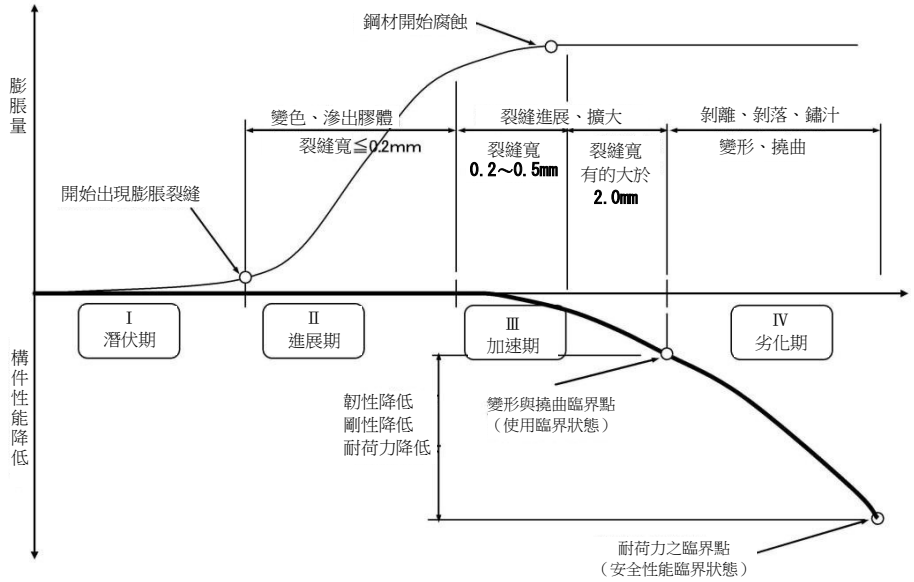


圖 5-7 鹼粒料反應之劣化過程

表 5-7 鹼粒料反應之劣化過程之特徵

劣化過程	定　　義	外　　觀 ※印為引自「鐵道總研」。	標準機能降低		
			安全性能	使用性能	美麗景觀
Ⅰ.潛伏期 （膨脹狀態Ⅰa）	ASR 持續進行，但膨脹還不明顯的時期。	外觀無異狀。			
Ⅱ.進展期 （膨脹狀態Ⅰb）	水分與鹼供應下膨脹持續成長之時期。	出現裂縫，開始變色，滲出膠體。 ※裂縫寬小於 0.2mm ※約 30% 裂縫密集		水密性降低 位移、變形	美觀降低
Ⅲ.加速期 前期、收縮期 （膨脹狀態Ⅱ）	明顯出現 ASR 所引致膨脹，膨脹速度最快時期。	裂縫持續成長。 ※裂縫寬 0.2～0.5mm ※裂縫密度小於 5個/m^2			
Ⅲ.加速期 後期、收縮期 （膨脹狀態Ⅱ）	ASR 幾乎都已收縮、膨脹速度下降時期。	出現許多裂縫。 構造物出現高低差與滑移狀態。 ※裂縫寬有的大於 2mm ※裂縫密度大於 5個/m^2	耐荷力降低 韌性降低		
Ⅳ.劣化期 結束期 （膨脹狀態Ⅲ）	ASR 收縮、殘存膨脹量幾乎 0 的時期。 出現過大膨脹時，鋼材會有降伏反應或開裂等狀況。	鋼筋覆蓋位置部分出現剝離與剝落。 出現鏽汁。 位移與變形明顯。 出現滑移與高低差。			

＜劣化形態之特徵＞

外表特徵如下。

- 出現白色膠體，整體多呈白色。
- 出現龜甲狀裂縫（不規則）
- 出現膠體、去角質凝膠狀、片層狀反應生成物（以SEM（掃瞄電子顯微鏡）觀察）

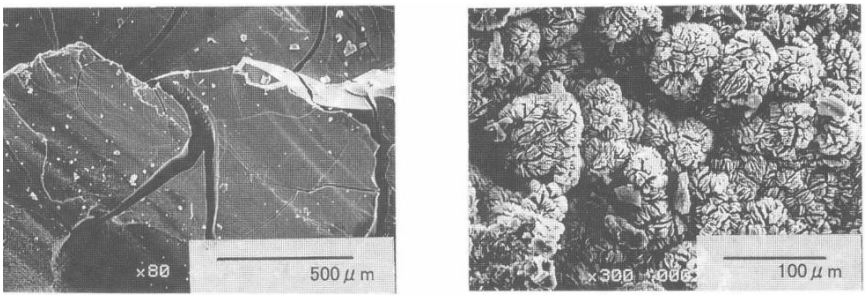


圖 5-8 掃瞄電子顯微鏡觀察結果（左：膠體狀，右：片層狀）

「出現 ASR 的混凝土構造物耐久性調查」（混凝土工學年度論文集 Vol.23, No.1 2001）

鹼粒料反應會在下列三種條件齊備時繼續進行。

- 有反應性粒料
- 存在臨界值以上的鹼
- 水分充分供給

即使出現鹼粒料反應，混凝土本身耐久性仍無本質問題，但若鹼粒料反應所產生反應生成物（鹼二氧化矽凝膠/鹼・矽膠體）吸水膨脹，就會造成混凝土劣化。其過程如下。

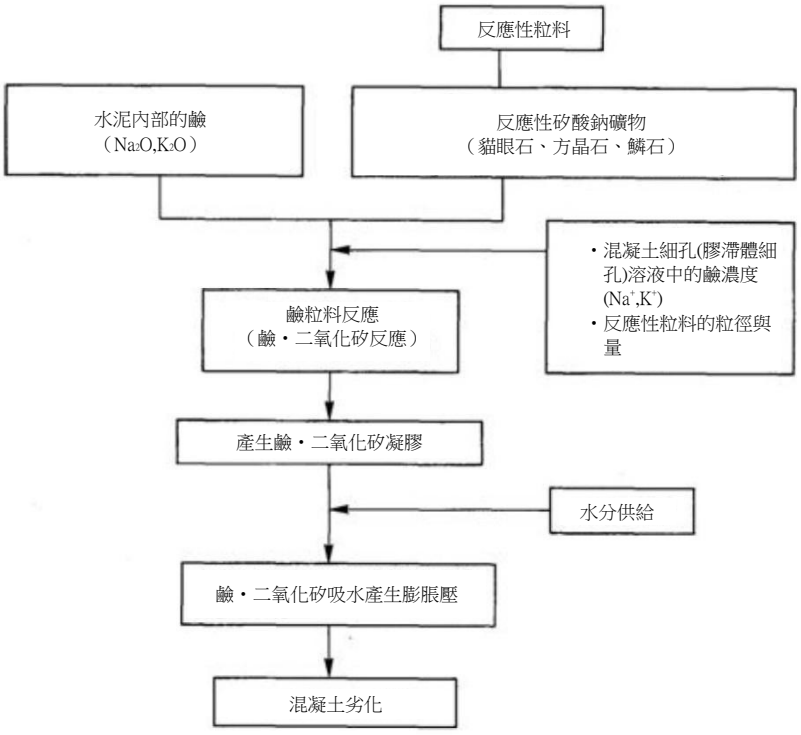


圖 5-9 鹼粒料反應引致混凝土劣化之過程

＜地區特性＞

鹼粒料反應在北陸地方、瀨戶內地方、近畿地方發生許多案例之研究報告。

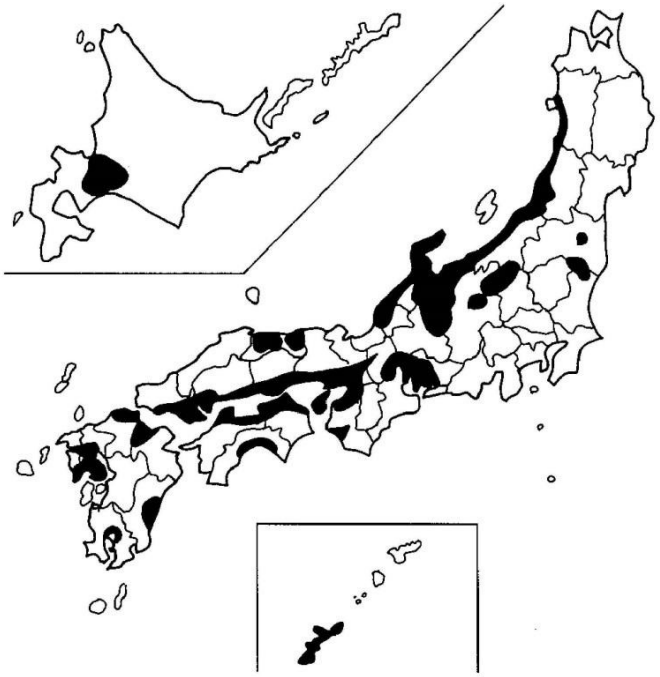


圖 5-10　有ASR引致混凝土損傷報告之地區
（「混凝土診斷技術」—14〔基礎編〕（社）混凝土工學會 p.201）

○反應性粒料

- 矽質礦物（石英、方晶石、鱗石英、貓眼石）
- 玻璃（火山玻璃）
- 矽酸鹽礦物（雲母、黏土礦物）



圖 5-11 鹼・氧化矽反應性粒料分布圖

（「混凝土耐久性提高技術之開發（土木構造物相關研究成果）（財）土木研究中心」p.294）

＜治山設施之案例＞

混凝土構造的治山設施工程都會發生鹼粒料反應，特別是北陸地方與東海地方以西之案例很多。



圖 5-12 鹼粒料反應引致治山設施劣化之案例

(3) 鹽害

鹽害係附著混凝土表面之鹽分滲透內部使得混凝土內部鋼材腐蝕、生鏽引致鋼材體積膨脹，造成混凝土產生剝離或裂縫現象。

一旦混凝土剝離或裂縫，內部鋼材曝露在大氣中，就會進一步腐蝕，帶來構造物健全性受威脅之危險。

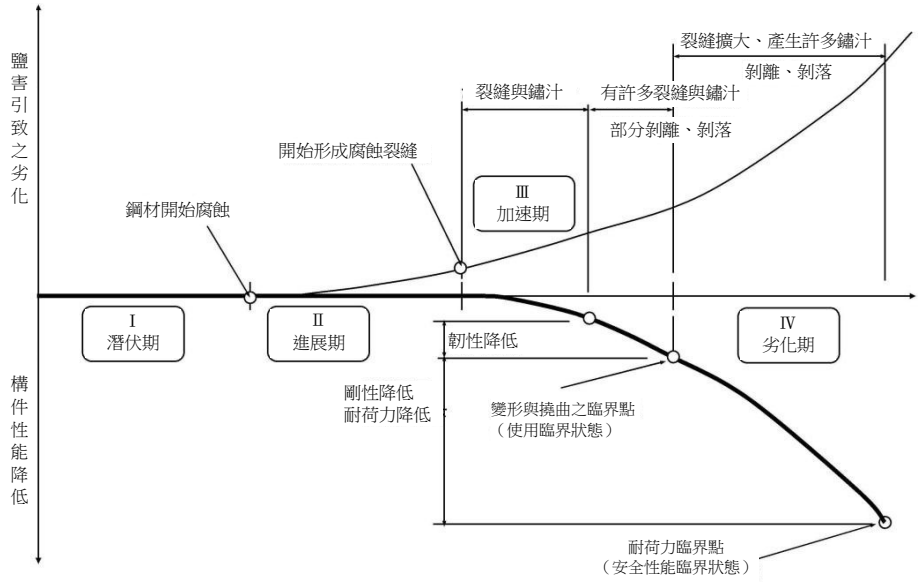


圖 5-13　混凝土鹽害劣化過程

表 5-8　混凝土鹽害劣化過程之特徵

劣化過程	定　　義	外　　觀 ※為「鐵道土木構造物之耐久性研究會」（山海堂）	標準性機能降低		
			安全性能	使用性能	美麗景觀
Ⅰ.潛伏期	鋼材打設位置的氯離子濃度尚未達腐蝕發生臨界濃度的時期。	外觀無異狀。 氯離子濃度小於腐蝕發生臨界點。			
Ⅱ.進展期	鋼材開始腐蝕到出現腐蝕裂縫的時期。	外觀無異狀。 氯離子濃度高於腐蝕發生臨界點（鋼筋開始腐蝕）。			
Ⅲ.加速期前期	出現腐蝕裂縫，而加快鋼材腐蝕速度之時期。	出現腐蝕裂縫與鏽汁。 ※裂縫寬度大於 0.35mm 時，鋼筋可能開始腐蝕（完工超過 40 年時）。			美觀降低
Ⅲ.加速期後期		出現許多腐蝕裂縫。 出現鏽汁。 局部出現剝離與剝落（鋼筋腐蝕量增加）。 ※完工超過 40 年時，可能與裂縫寬度無關，鋼筋本身已明顯腐蝕。	耐荷力降低 韌性降低	剛性降低	
Ⅳ.劣化期	鋼材腐蝕量增加，造成耐荷力明顯降低的時期。	裂縫寬度很大。 出現鏽汁。 出現剝離與剝落。 變位與撓曲明顯。			

＜特徵＞

- 鹽害裂縫之特徵主要有鹽害沿鋼筋方向進入混凝土，裂縫地點出現鏽汁。
- 有明顯的地域特性，集中發生在海面飛來鹽分影響較明顯地區。
- 近年來噴灑融雪劑也有相當大的影響（主要是道路設施）。
- 屬鋼筋腐蝕先行型裂縫，因此與治山設施劣化關聯不大，但可能複合劣化（凍害、ASR 等）造成劣化更嚴重，因此可列入沿海地區治山設施之劣化原因。

＜地區特性＞

道路橋樑鹽害對策指引（案）1984 指出需實施鹽害對策之區域，並且依據與海岸線之距離，規劃不同等級的鹽害對策。

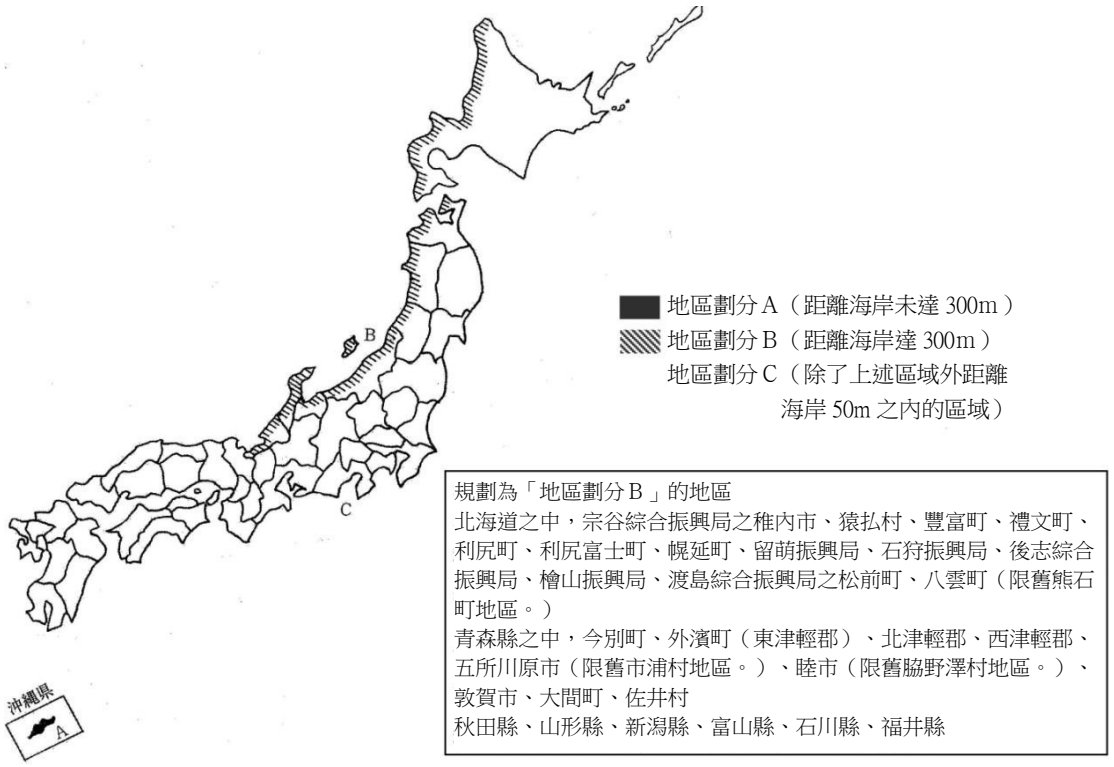


圖 5-14　鹽害範圍區域（道路橋）

（道路橋說明書與解說 I 共通編 III 混凝土橋編 2012（社）日本道路協會 p.176）

表 5-9 鹽害對策劃分（引自 道路橋樑之鹽害對策指引（案）1984）

地區	與海岸線之距離	對策劃分
沖繩縣	距離海面與海岸線 100m 內	I
	上述之外的範圍	II
附表-1所示地區	距離海面與海岸線 100m 內	I
	大於 100m 而小於 200m	II
	大於 200m 而小於 300m	III
上述之外的範圍	海面	I
	距離海岸線 100m 範圍內	II
	大於 100m 而小於 200m	III

＜治山設施案例＞

鹽害係鋼筋腐蝕先行型劣化狀態，治山設施較少相關案例，使用大量鋼筋的坡面格框工等工種之中，較靠近海岸的設施遭受鹽害風險可能大些。

（4） 中性化

混凝土中性化指原本屬強鹼性（pH值大於12）的混凝土變成接近中性（pH值8.5～10）之現象，最常見狀況是大氣中的二氧化碳侵入混凝土內部，降低混凝土孔隙中的水分的 pH值。混凝土孔隙被二氧化碳入侵且擴散內部後，混凝土從表面到內部逐漸中性化。

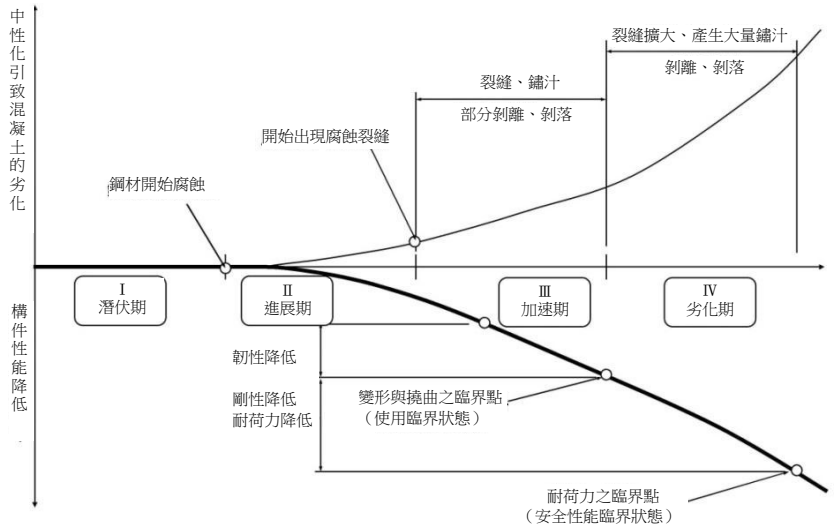


圖 5-15　中性化引致混凝土劣化之過程

圖 5-16　中性化引致混凝土劣化過程之特徵

劣化過程	定　　義	外　　觀 ※為「鐵道土木構造物之耐久性 02」（山海堂）P38	標準性機能降低		
			安全性能	使用性能	美麗景觀
Ⅰ.潛伏期	中性化深度尚未到達腐蝕臨界的時期	外觀無異狀			
Ⅱ.進展期	鋼材開始腐蝕到即將出現腐蝕裂縫的時期 仍有中性化問題，但還沒開始生鏽（鋼筋開始腐蝕）	外觀無異狀，但後期開始出現裂縫與鏽汁 ※裂縫寬大於 0.35mm ，鋼筋可能開始腐蝕（完工超過 40 年）			
Ⅲ.加速期前期	出現腐蝕裂縫、鋼材腐蝕速度提高之時期	出現腐蝕裂縫與鏽汁			美觀降低
Ⅲ.加速期後期		出現許多腐蝕裂縫與鏽汁 出現部份剝離與剝落 ※完工超過 40 年，無論有無裂縫鋼筋可能都會腐蝕		剛性降低	
Ⅳ.劣化期	鋼材腐蝕量增加，明顯降低耐荷力的期間	出現大量腐蝕裂縫且裂縫寬度很大，並且產生鏽汁 出現許多剝離與剝落 明顯位移、撓曲	耐荷力降低 韌性降低		

＜特徵＞

- 只要無漏水等供給水分，就不太有強度降低之不良影響。
- 屬鋼筋腐蝕先行型裂縫，不太會因此引致治山設施劣化，但若出現複合劣化因素（鹽害、凍害、ASR），仍有劣化嚴重化之危險。
- 混凝土澆築壓密不足引致之初期缺陷（蜂窩、冷縫）越多，大氣中的二氧化碳越容易侵入混凝土內部造成中性化。
- 混凝土表面修整時，混凝土打設厚度越大，越能減少大氣中的二氧化碳侵入，避免中性化。

表 5-10　混凝土中性化之條件

「混凝土主要劣化與特徵、劣化主要因素之推估方法」（農業水利設施之庫存　參考資料編）

容易中性化之構造物與構件	備　　註
南向	混凝土內部含水分、表面乾燥
混凝土品質不佳	水灰比大於 60%；一開始 pH值就低於良質混凝土
鋼筋打設不足	鋼筋打設小於 30mm；中性化會比較早對鋼筋造成不良影響
容易產生鹽害的環境	氯化物離子引致 pH值降低；鹽害與中性化引致之複合劣化

＜地區性與環境要因＞

混凝土劣化現象容易出現在氣溫與濕度較高地區，海邊有大量鹽分飛來的地區與噴灑融雪劑地區。中性化進行速度最容易在濕度50～60%時最大，比此等濕度愈大則成長速度降低。另外，氣溫越高中性化速度越快。

另外，氯離子會消耗混凝土內部的氫氧化鈣而降低 pH值，因此，海邊有大量飛來鹽分或噴灑融雪劑的地區，中性化速度較快。

＜治山設施案例＞

中性化與鹽害都是鋼筋腐蝕先行型劣化狀態，治山設施較少相關案例，但使用鋼筋的坡面格框工等工程種類，完工越久混凝土中性化風險越高。

(5) 化學性侵蝕（酸性侵蝕）

從外部侵入二氧化碳、鹽酸、硫酸、硝酸等，使內部之水和物分解、反應生成物溶出與伴隨反應出現膨脹等引致混凝土本身耐力降低、出現裂縫、產生溶解與剝落之現象。

治山設施主要在火山地帶有火山氣體及酸性水所引致之劣化。

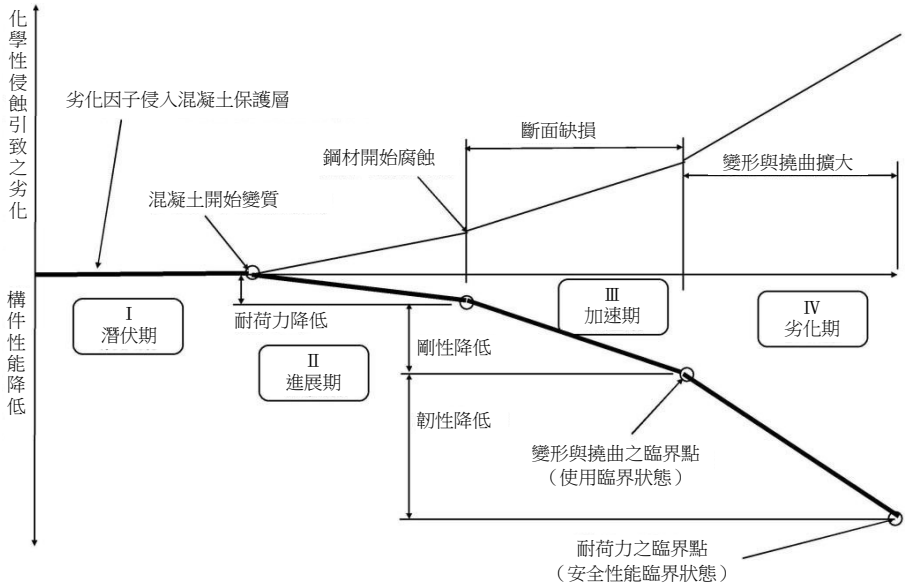


圖 5-17　化學性侵蝕的劣化過程

表 5-11 化學性侵蝕劣化過程之特徵

劣化過程	定　　義	外　　觀	標準性機能降低		
			安全性能	使用性能	美麗景觀
Ⅰ.潛伏期	混凝土變質前的時期。	外觀無異狀。 劣化因子浸入保護層，但外觀無變化。			
Ⅱ.進展期	混凝土變質達到鋼材位置的時期。	混凝土表面粗糙狀態，也可能出現裂縫。			美觀降低
Ⅲ.加速期	鋼材腐蝕進展期間。	混凝土斷面明顯缺損，骨材裸露或剝落。	耐荷力降低	剛性降低	
Ⅳ.劣化期	混凝土表面缺損，鋼材斷面減少引致耐荷力明顯降低。	嚴重變位與撓曲。 （鋼材明顯腐蝕）	耐荷力降低 韌性降低		

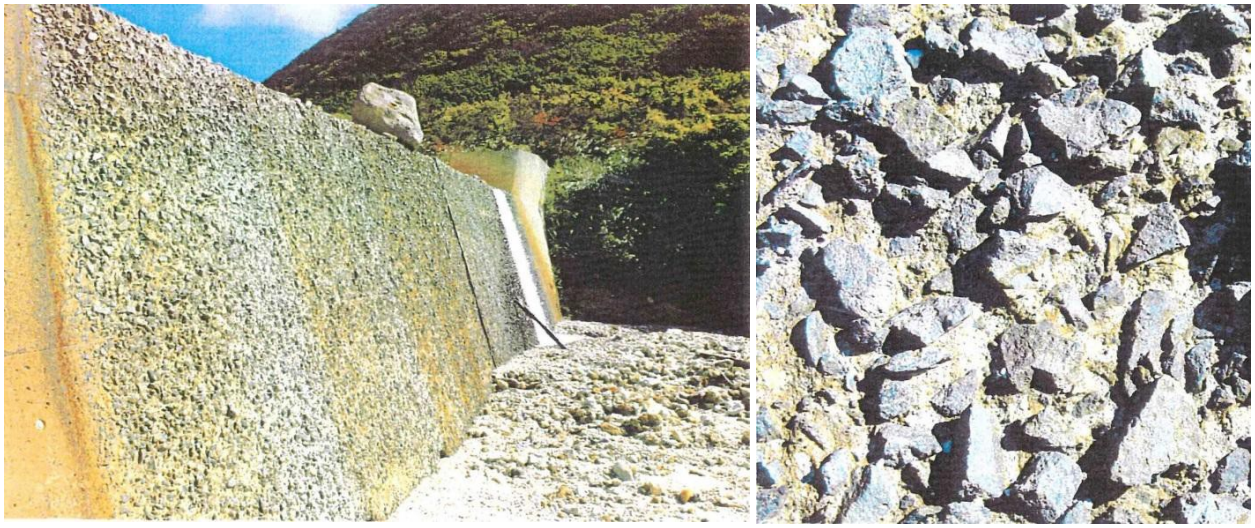


圖 5-18 酸性水引致節制壩正面劣化

（6） 施工年度

治山設施（主要為溪間工）所使用材料之演變如下所示。

表 5-12　溪間工所使用材料之演變

治山壩種類別（材料）之變遷

種類別（材料）	1912～1926年	1935年	1945年	1955年	1965年	1975年～
乾砌石	━━━	┅┅				
漿砌石		┅┅	━━━	━━━	┅┅	
河川塊石(粗石)				┅┅	━━━	┅┅
混凝土					┅┅	━━━
摻料					容積摻料	重量摻料 ━━━
預拌混凝土					現場拌和	預拌混凝土 ━━━
鋼製					┅┅	━━━

純混凝土施工作法從1965年左右開始，一開始使用現場拌和混凝土，且與目前摻料方法不同之容積配合，品質不穩定，這類完工已久的設施（特別是1970年之前的），應特別注意設施強度是否不足。

第 3 項　劣化要因之推估方法

⑴　裂縫類型與劣化要因

裂縫形狀等表面劣化症狀與劣化要因，關係如下。

表 5-13 鋼筋混凝土裂縫形狀之異狀與劣化要因之關係

「鋼筋混凝土造建築物之耐久性調查、診斷及修補指引（案）暨解説」日本建築學會

裂縫形狀 混凝土表面異狀	鋼筋腐蝕先行型		裂縫先行型			初期裂縫	外力
	中性化	鹽害	ASR	凍害	化學性腐蝕	乾燥收縮	
龜甲狀			○	○	○	○	
細微不規則裂縫				○	○	○	
與鋼筋無關之軸方向裂縫			○				
與軸力成直角的裂縫（註-1）						○	○
與軸力成斜方向的裂縫（註-1）						○	○
沿鋼筋之裂縫	○	○				註-2	
剝離				○	○		
混凝土表層軟化					○		

註-1：與軸力成直角或斜方向的裂縫會在水路壁以水平裂縫的形式出現。

註-2：覆蓋的薄構件即使乾燥收縮，也會產生沿鋼筋的裂縫。

ASR多半出現龜甲狀或與鋼筋無關之軸方向裂縫；凍害會出現細微不規則裂縫或剝離，鹽害與中性化則多出現沿鋼筋的裂縫。

⑵ 劣化要因之推估方法

農業水利設施（明渠）可用下列推估表推估劣化要因。

表 5-14 設施（明渠）設置環境與劣化要因之關聯性（劣化要因推估表）

「混凝土主要的劣化與特徵、劣化要因推估方法」（農業水利設施庫存管理　參考資料編）

劣化主要因素 / 使用與劣化環境			內部要因								外部要因					
			混凝土							鋼板						
			中性化※1	鹽害※1	ASR※2	凍害	化學性腐蝕	疲勞	磨損風化	腐蝕	土壓、後背土滑	凝固壓	地下水壓	地盤沉陷	其他 滾石衝擊等	底面侵蝕、鼓脹
使用年限	大於40年		○	○	○	○	○	○	○	◎						
	20～40年		△	△	△	△	△	△	○	○						
施工年	1986年之前			△	△											
	1978年之前		△													
鋼筋打設	t＜30mm		○	○												
地區參照圖1.1.1～圖1.1.7	①容易發生或已發生鹽害之區域		△	○	△	△										
	②容易發生或已發生ASR之區域			△	○	△										
	③容易發生或已發生凍害之環境			△	△	○						○				
	④ASR、鹽害複合劣化區域		△	○	○	△										
	⑤鹽害、凍害複合劣化區域		△	○	△	○										
	⑥凍害、ASR複合劣化區域			△	○	○										
使用環境	①面向南方的構件		△			○						○				
	②使用融雪劑與防凍劑			△		△				○						
	③接觸水時間長（常時）								△	○						
	④周邊有樹木等植生										◎					
	⑤有海水流入			○						◎						
材料	①水灰比大於60%		○	○		○										
	②使用海砂			◎												
	③使用反應性材料				○											
水質	①硫磺成份水質（溫泉）						○			◎						
	②有化學工廠、食品加工廠等廢液流入						○			◎						
	③硬度較小								○							
土壤與地盤	①腐蝕性土壤（酸性土壤）		△		△		△									
	②地下水位較高				△	△	△						○			○
	③軟弱地盤										○			○		○
	④單邊填方區間、挖填方界面										○			○		
	⑤較高透水性的邊坡										○	○	○			
地壓	反覆荷重	①汽車荷重（直接）						○			◎					
		②汽車之外的荷重						△			○					
	③遠大於設計荷重之荷重負荷										◎				○	
	④極端荷重偏量發生作用										◎					
	⑤過去曾遭受地震災害										○			○		○
磨損條件	①射流之水路								○							
	②砂礫與滾石流下								○						○	

〔關聯性：高 ←◎、○、△、無→ 低〕

※1　無鋼筋混凝土時不會成為劣化主要因素。

※2　1986年之後完工者不列入劣化因素。

※3　1978年規定鋼筋打設與設計基準強度，1986年實施鹽分總量管制與 ASR 對策規範。

第2節　鋼製構造物

第1項　劣化形態種類

⑴　公園設施之案例

公園設施耐用年限延長計畫擬定指引（案），列舉金屬類損傷種類（健全度調查項目）如下。

①　防蝕機能劣化/腐蝕

防蝕機能劣化指鋼材防蝕塗層（塗裝、鍍鋅、金屬熔射）劣化造成變色、光澤減少 、裂縫與剝落等的狀態。

腐蝕則是鋼材生鏽或生鏽造成斷面缺損狀態。

②　鬆弛、脫落

接合部分螺絲類鬆弛或脫落狀態。

③　龜 裂

外力作用在鋼材上面，造成弱點部位（熔接內部缺陷、熔接止端部、螺絲孔等應力集中部）為起點的微細龜裂狀態。

④　磨損

材料反覆與其他物體磨擦接觸，造成表面磨損、變薄的狀態。

使用鋼材的公園設施劣化案例腐蝕居多，特別是接近地面部分多有腐蝕案例。



圖 5-19　路燈健全度判定案例

（公園設施耐用年限延長計畫擬定指引（案）健全度調查暨判定案例集2012.4 國土交通省都市局公園綠地景觀課）

⑵ 道路標誌與照明設施案例

下圖為 2004 年試辦階段依據巡視檢查要領的案子，針對直轄國道路燈 711 座實施巡視檢查之損傷位置別彙整表。**<u>損傷發生位置主要是燈桿基部、接合部及燈柱開口部，其他部分亦即一般部分都無生鏽</u>**。原因是，基部、接合部與燈柱開口部等不連續部分沿燈桿流下的水容易形成滯水，造成局部腐蝕等等的形狀不整齊，因而容易受到應力集中引致疲勞龜裂等長期劣化。

另一方面，一般部位（接合部之外的部分）幾乎無損傷之報告，其原因乃基本上不論材料面還是構造面，這些部位無斷面變化等不連續狀況，因此較不受長期劣化因子影響。

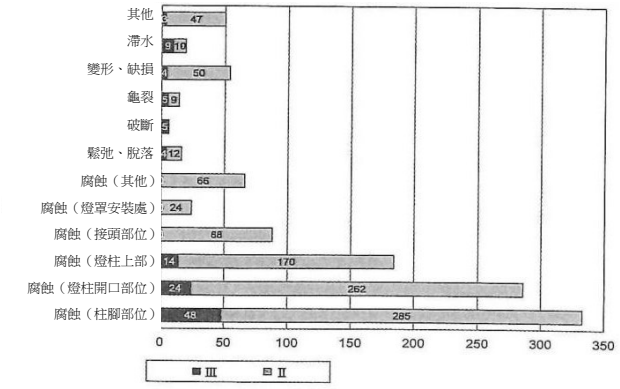


圖 5-20　不同經歷年數之損傷度比率

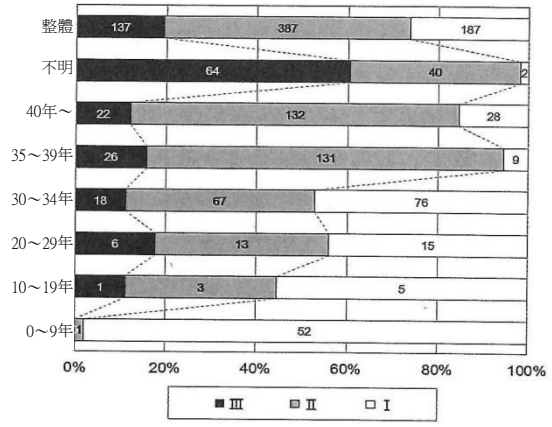


圖 5-21　損傷種類與發生部位

「道路標誌與照明設施之定期巡視檢查」土木技術資料57-8（2015）

2004 年與 2007 年各整備局分別針對道路標誌與照明設施，實施對直接造成燈柱倒塌影響之路面交界處腐蝕狀況調查。與路面交界處的燈柱外面環境分為「土砂」、「柏油」、「混凝土」三種，分別彙整其設置數年之後的腐蝕狀況圖表。雖然不同路面材料造成不同的腐蝕狀況，但由圖表可知，**<u>完工超過 20 年～30 年的地面下部位都有腐蝕現象</u>**。路面交界處之典型腐蝕狀況如下圖所示。混凝土之中，在目前為鹼性環境下鋼材不易腐蝕的情況也有，標誌、燈桿則因混凝土與支柱間的縫隙被雨水與各種腐蝕因子侵入，混凝土常無法發揮其鋼材保護機能。

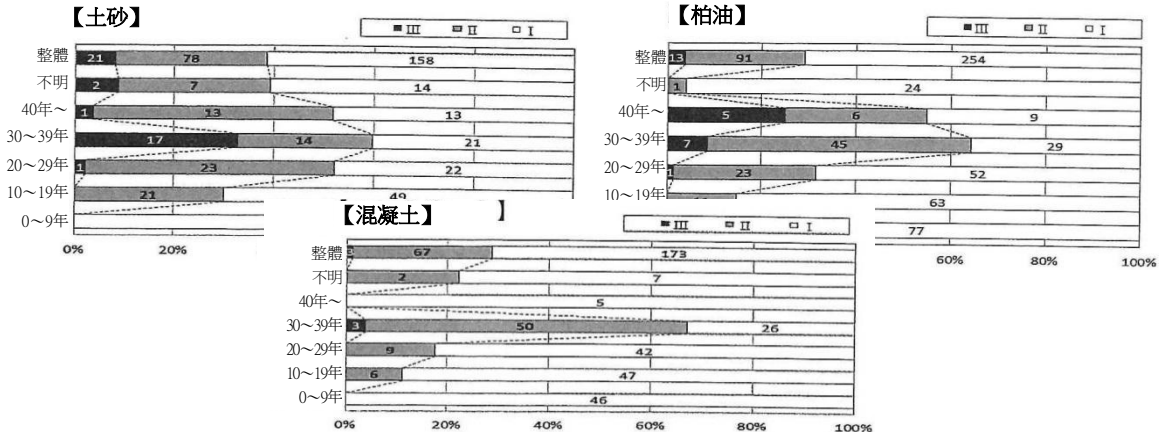


圖 5-22 路面交界處腐蝕狀態與設置年數之關係

「道路標誌與照明設施之定期巡視檢查」土木技術資料57-8（2015）

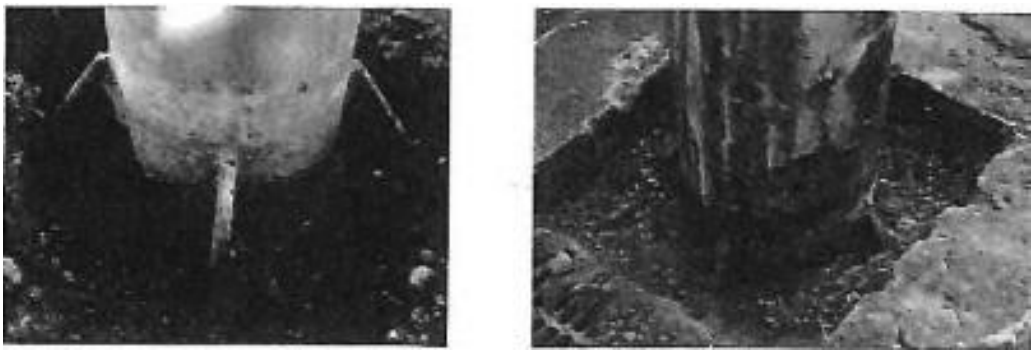


圖 5-23 路面邊界腐蝕狀態案例（左：柏油鋪面，右：混凝土鋪面）

依據以上分析結果，國土交通省國土技術政策總合研究所針對道路號誌與路燈燈桿合理之實施方法，提出下列建議提案。

① 完工不滿 10 年的道路號誌與路燈燈桿也可能損傷，或者螺釘與螺帽鬆弛、車輛碰撞造成安裝部位損傷，因此應定期實施巡視檢查。

② 為提高巡視檢查效率，**可特別注意柱基部、開口部、接縫部、顯示板與燈具安裝部等弱點部位**。這些部位除了應實施目視、確認腐蝕與龜裂狀況外，應使用器具等，直接解決螺釘與螺帽鬆弛問題。

③ **完工超過20～25 年後，應實施開挖調查，直接確認路面上的鋼製構造物腐蝕狀況，或實施非破壞檢查等，確認板厚減少量等進行詳細調查**。另一方面，完工不久的構造物若界面部分無腐蝕、滯水、混凝土裂縫等狀況，可省略開挖調查等。

（參考文獻）

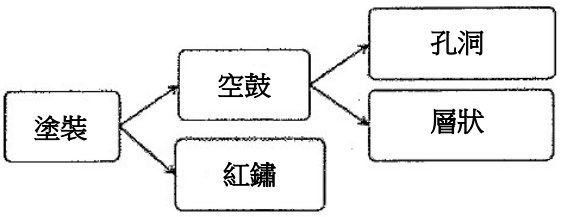
道路標誌、照明設施之定期巡視檢查　玉越隆史、白戸真大、増田安弘 土木技術資料57-8（2015）

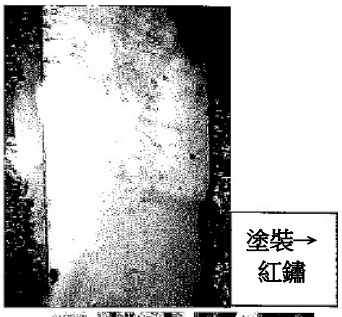
⑶ 治山設施

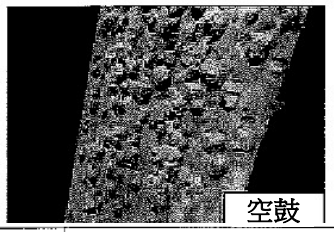
(i) 支墩壩式節制壩工之案例

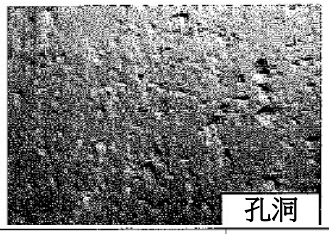
靜岡縣西部農林事務所農林局 2013 年度實施的支墩壩式節制壩調查顯示，生鏽持續惡化會造成塗裝剝落、鋼材進一步生鏽（紅鏽浮凸）、板厚逐漸減少、塗裝剝落後出現生鏽空鼓、剝離後留下空洞，也可能生鏽空鼓發生、成長後與相鄰的生鏽空鼓合體成層狀而剝落。因此可推估生鏽進展狀況如下，同時配合生鏽進展狀況設定劣化等級 1～4 ，以此分類即可評估支墩壩式節制壩劣化狀況。結果發現，24 座之中的 17 座（71%）設施，劣化達等級 4 ，判斷應實施對策。

圖-1 生鏽進展狀況概要











劣化等級	生鏽進行狀況	結果		
		2013(志太榛原)	2014(天龍)	計
1	無生鏽，塗裝維持正常	0座（0.0%）	0座（0.0%）	0座（0.0%）
2	出現紅鏽，塗裝剝落	2座（25.0%）	1座（6.3%）	3座（12.5%）
3	出現生鏽空鼓	0座（0.0%）	4座（25.0%）	4座（16.7%）
4	出現層狀鏽，鋼材與Co（混凝土）明顯破損	6座（75.0%）	11座（68.7%）	17座（70.8%）
計（調查數）		8 座	16 座	24 座

圖 5-24「支墩壩式節制壩之現狀」（2015 年度治山研究發表會摘要）

(ii) 治山鋼製設施劣化實況（陶山（1987））

(a) 鋼材材質與構造引致劣化

鋼製設施一般而言係<u>連結構件所形成之構造物，與混凝土構造物相比一體性較差</u>。因此，流砂劇烈的溪流等地點，鋼製壩一旦出現承受砂礫等的衝擊荷重，有時會從溢洪口或壩翼局部破壞，慢慢的整個壩體破壞，甚至防砂壩構件被沖毀四散的狀況。雖然類似案例不多，仍應特別檢討衝擊荷重對策，採用有效果的緩衝材並注意構造物形狀、構件連接部、熔接性與耐候性等。

⑹ 鋼材腐蝕與磨損引致劣化

鋼材一般而言耐蝕性低，治山設施則因係接觸水與土壤之構造物，容易生鏽而劣化。因此，使用鋼材需充份檢討水之pH 值等環境條件下鋼製設施適用性與防蝕對策。此外，鋼製設施斷面尺寸較小，容易受磨損影響，因此需儘速針對鋼材的餘裕厚度（腐蝕裕度）、最少板厚等磨損引致劣化，確定防止對策之基準。

（參考文獻）

- 作用在治山鋼製設施之外力與安全設計 陶山正憲 林業技術 No.548 1987.11

第2項　劣化之原因與要因

⑴ 大氣中的腐蝕

大氣中鋼材腐蝕一般受降雨、結露與濕氣、金屬表面形成極薄水膜時間（濕潤時間）之影響。濕氣所造形成水膜即使未達相對濕度快超過100%的結露狀態，鋼材表面也會附著吸濕性物質（氯化物、二氧化硫等）、灰塵或氣狀浮遊物、鏽斑等，形成微細間隙或毛細管，因而即使相對濕度即使低於50～70%狀態也會形成薄水膜。促進腐蝕進行的因子包含除了水膜造成金屬表面濕潤的時間外，氯化物與二氧化硫等物質也有影響。在含有這些物質的大氣環境下，腐蝕明顯加速。

基於各種環境下的鋼材腐蝕量調查結果，其中一個案例的平均年間腐蝕量有如下數值。

一般而言，腐蝕速度會隨時間經過逐漸減緩。這可能是鏽蝕具保護性所致。經由實驗調查已有幾個腐蝕量推估公式發表。

「陸地鋼骨構造物研究會」之腐蝕推估公式係依據連續五年腐蝕調查量歸納而成，如式（1）及下圖所示。

$$Y = A \cdot e^{\frac{B}{X}} \cdot X^{C} \quad \cdots\cdots (1)$$

在此，　Y　：腐蝕量(mm)

$A,\ B,\ C$　：常數

X　：曝露期間(年)

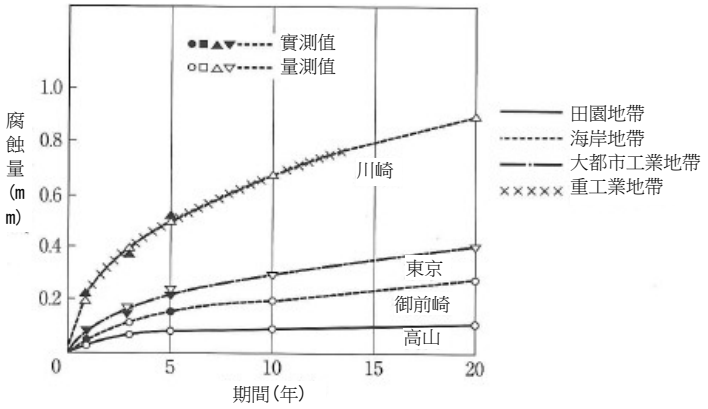


圖 5-25　腐蝕環境別的腐蝕量

⑵ pH值影響之腐蝕

軟鋼腐蝕速度與純水pH 值的關係，如下圖所示。

pH 值 5～9（中性）時腐蝕速度大概固定，但若 pH值小於 4（酸性），鏽蝕會融解而失去鐵鏽之腐蝕抑制機能，且容易產生氫氣發生型的腐蝕，加快腐蝕速度。

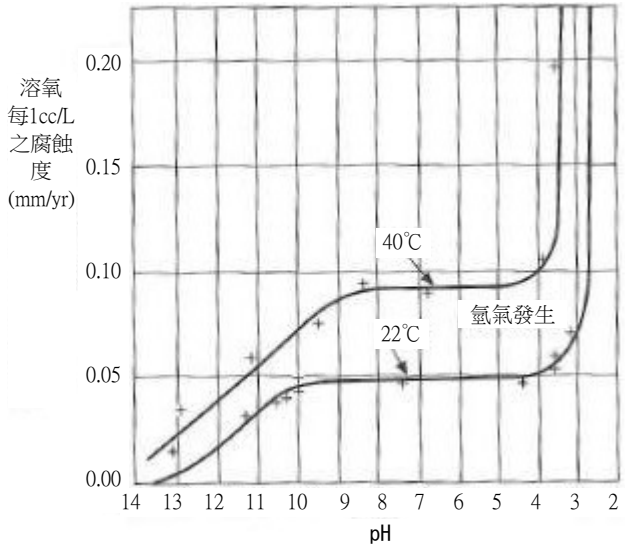


圖5-26 軟鋼腐蝕與水pH值的關聯性

（金屬防蝕技術便覽 1962 年 4 月 日本學術振興會編）

⑶ 飛來鹽分

就鋼橋考慮海鹽粒子附著為主因及非海鹽附著兩種案例，對腐蝕被確認為止的使用年數，整理如下圖。海鹽粒子附著引致之腐蝕和非海鹽腐蝕相比，到腐蝕發現之使用年數有較少之趨勢，有的完工10～15 年就出現腐蝕，可見鹽分附著係助長腐蝕重要因子。此外，有的橋樑距海岸長達數 km， 仍因鹽分附著造成鋼材表面凹凸或坑洞腐蝕現象。因此，有些橋樑即使位於相當內陸，仍得考量飛來鹽分之影響。

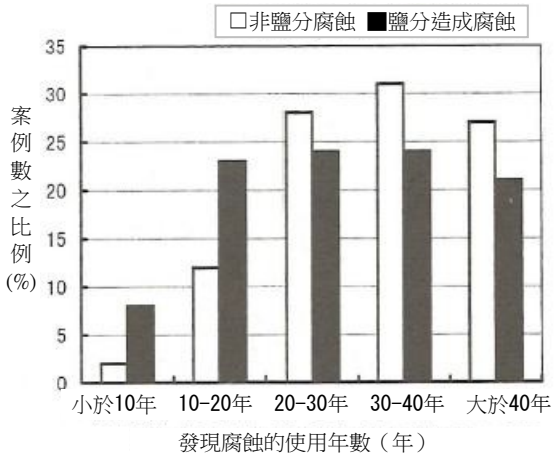


圖 5-27　發現腐蝕為止的使用年數

「鋼橋腐蝕案例及其分析」土木學會論文集 No.668 2001.1

下圖為（獨立法人）土木研究所依據實際橋樑之桁內曝露試驗結果的研究報告顯示可適用無塗裝耐候性鋼材（表面形成緻密鐵鏽而延緩腐蝕速度之鋼材）之地區。顯示耐候性鋼材可不必塗裝的是飛來鹽分量低於 0.05mdd（mg/dm2/day）的地區。日本飛來鹽分量大致依海岸距離而定，標示可能適用地區與海岸線的距離。

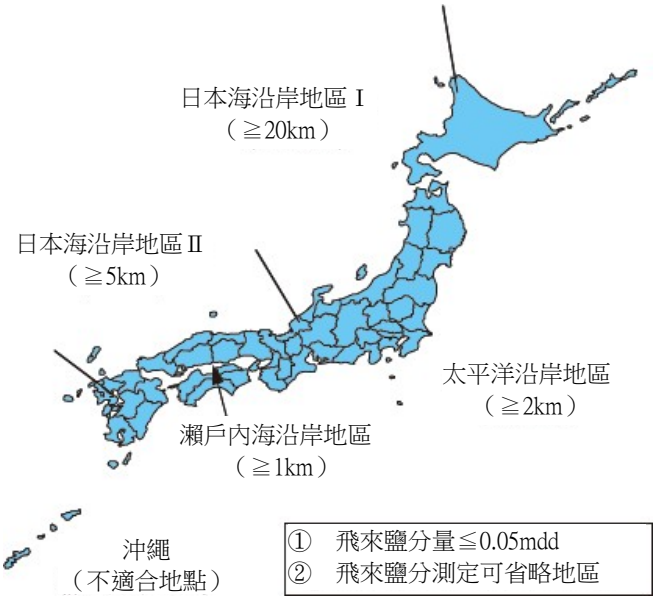


圖 5-28　無塗裝的耐候性鋼橋樑適用區域地圖

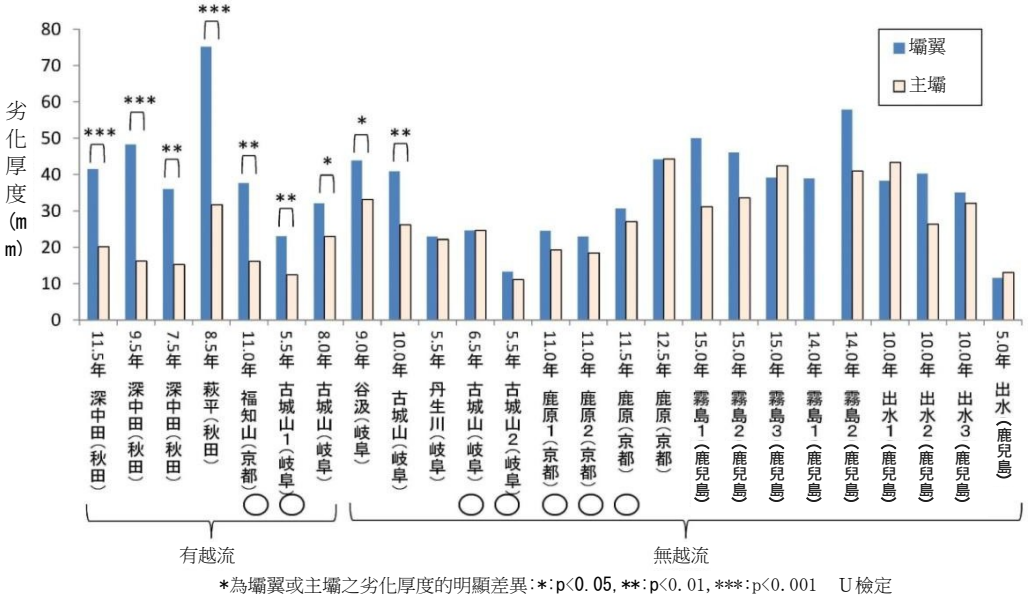
第3節　木製構造物

第1項　劣化形態種類

⑴　腐朽

木材劣化原因之一的腐朽需有氧氣供給來進行。既設木製治山壩構件之劣化厚度（※）調查結果顯示溢洪道上有表面流（越流）者（有常流水），容易碰到水流的主壩比起不易碰到水流的壩翼不易劣化。亦即，有常流水溪流之主壩較壩翼更不易劣化。因此，現地調查應掌握水流對構件有無影響，作為檢討設計及維護管理方針之參考。

※使用微鑽孔阻力儀，只測定原木中心到一邊之腐朽程度，設定穿孔抵抗（振幅）小於 1mm 部分之長度為劣化厚度。



為壩翼或主壩之劣化厚度的明顯差異：：p<0.05, **：p<0.01, ***：p<0.001　U檢定

圖 5-29 使用杉木材之治山壩壩翼與主壩劣化厚度比較（和多田等）

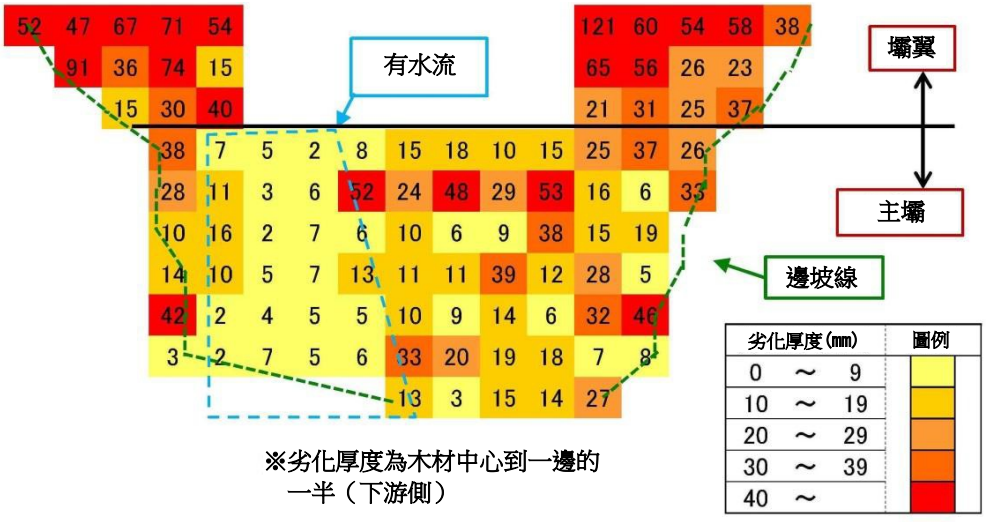


圖 5-30 使用杉木材之治山壩構件劣化案例（完工後經過9.5 年）

木製治山構造物技術指引（案）－期許發揮耐久性之木製治山構造物的設計、施工與維護管理－（2016 年2 月）

⑵ 礫石等流下之構件磨損

設置構造物地點之流域面積大或可能有大量礫石流下時，溢洪道附近木材構件可能磨損。特別是溢洪道下游面採人字型之類階梯式構造時，沿階梯流下之土砂會加速衝擊下方階梯面，越下方階梯構件磨損越大，設計及維護管理需特別注意。

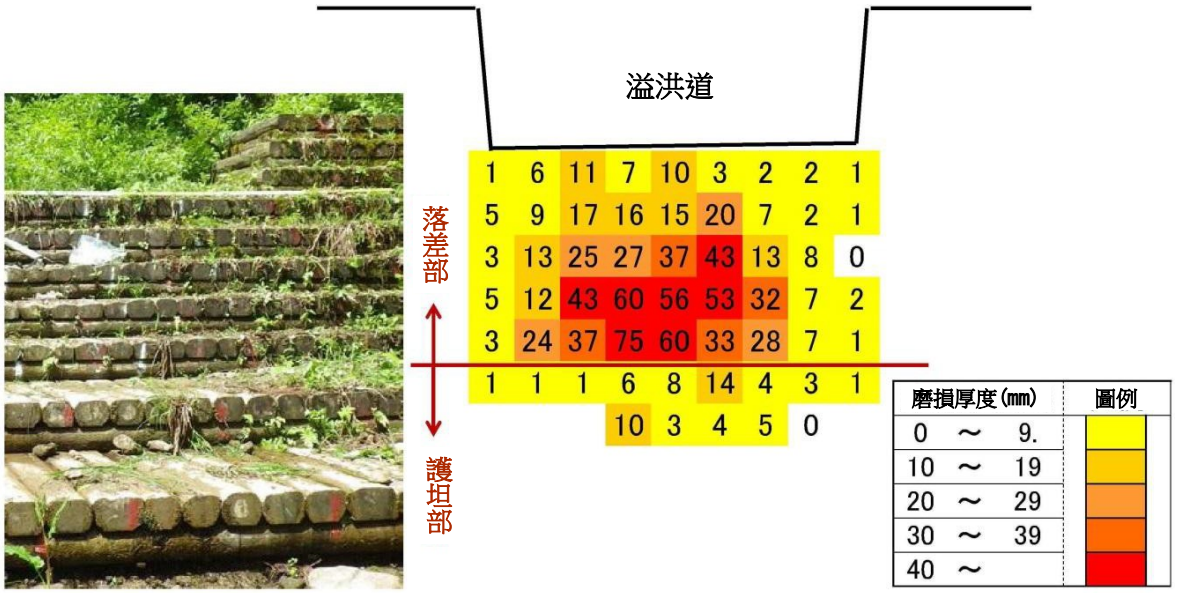


圖 5-31 杉木材做成的治山壩構件磨損案例（人字型：完工超過 9.5 年）

木製治山構造物技術指引（案）－期許發揮耐久性之木製治山構造物的設計、施工與維護管理－（2016 年2 月）



圖 5-32 落葉松材製作的帶工頂端構件磨損案例

（流心部分落葉松原木直徑（18～20cm）磨損最劇烈約消失1/2）

木製治山構造物技術指引（案）－期許發揮耐久性之木製治山構造物的設計、施工與維護管理－（2016 年2 月）



圖 5-33 構件劣化引致壩翼損壞之木製治山壩

木製治山構造物技術指引（案）－期許發揮耐久性之木製治山構造物的設計、施工與維護管理－（2016 年2 月）

⑶ 基礎部淘刷

木製治山構造物下游側做成階梯形狀時，受隨水流流下土砂直接衝擊的構件很快磨損。構造物下游側成鉛直狀態時，構件受流水與土砂衝擊磨損雖少，但落差變大，可能增大構造物下游河床淘刷量之危險性。



圖 5-34 落差變大、基礎部淘刷引致構造物裸露、損壞之案例

木製治山構造物技術指引（案）－期許發揮耐久性之木製治山構造物的設計、施工與維護管理－（2016 年2 月）

第2項 劣化之原因與要因

⑴ 腐朽

木材腐朽主要是折損、磨損或蟻害等造成木材損傷處黴菌孢子（第一次寄生菌）附著而繁殖菌類所致。腐朽菌所造成劣化多為長期進行，也**有些腐朽菌種類會造成急速劣化。此外，蟻害與蟲害一旦侵入構件，可能造成比腐朽更劇烈的劣化危險性**。因此，應確認木製治山構造物設置預定地點周邊既有木製構造物與倒木等的狀態，掌握腐朽菌種類以及有無蟻害。

⑵ 磨損

設置構造物地點流域面積大且可能有大量礫石流下時，溢洪道附近的構件可能因此磨損。特別是溢洪道下游為**人字型階梯式構造時，階梯流下之土砂會加速衝擊下方階梯面，越下方階梯構件磨損越大**，設計及維護管理時應特別注意。

⑶ 基礎部淘刷

構造物落差變大，構造物下游河床淘刷量有增加之危險性，**木製構造物埋樁多比其他工種淺（約只有0.5m ），淘刷危險性提高**。這類狀況應於下游設護坦，置放巨礫
等對策。

（參考文獻）

・木製治山構造物技術指引（案）－期許發揮耐久性之木製治山構造物的設計、施工與維護管理－木製治山構造物技術指引檢討會議（2016 年2 月）

第6章　劣化風險判斷手法之檢討

治山設施多在自然環境嚴苛地區施工，劣化狀況容易受環境因素影響，本研究定義這種劣化風險為「**環境要因嚴重程度等考量今後風險之劣化度**」。

此外，引致治山設施劣化之環境要因難以定量評估，因此不易設定臨界值等。另一方面，不同的劣化規模（裂隙寬等）可設定劣化度臨界值，因此，治山設施個別設施計畫制訂手冊（案）也以劣化度掌握個別部位健全度。在此，首先彙整劣化度之掌握手法及臨界值，提出劣化度判斷納入環境要因考量之方法。

第1節　劣化程度之臨界值及量測手法

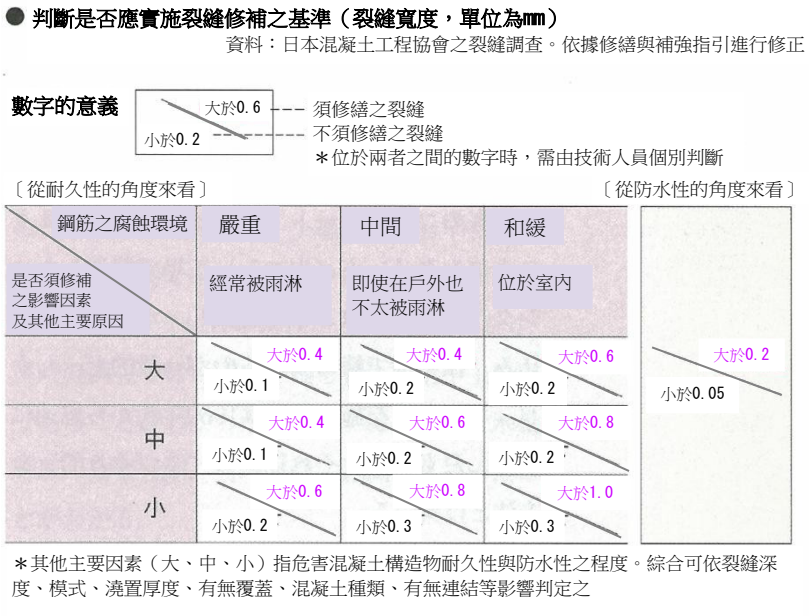
第1項　混凝土構造物

⑴　劣化度臨界值等相關基準

ⓐ　鋼筋混凝土之開裂臨界值

一般鋼筋混凝土的裂縫寬度判定基準如下。

表 6-1 裂縫是否須修補之判定基準（混凝土名人養成講座 日經BP 社）



但上表為鋼筋混凝土相關基準，除了坡面格框工的格框構件之外，治山設施多為無鋼筋混凝土，因此有必要適用無鋼筋混凝土（巨積混凝土）基準。，下頁說明無鋼筋混凝土相關基準。

⑹ 無鋼筋混凝土之裂縫臨界值

1）由裂縫寬度推估裂縫深度（防波堤胸牆）

基準書所記載混凝土臨界值幾乎都是鋼筋混凝土相關數值，為可適用於無鋼筋治山設施的嚴格基準值。以下為過去無鋼筋混凝土研究一覽表。

（參考文獻）北海道大學海岸構造物相關研究

1. 構成漁港設施之無鋼筋混凝土構造物劣化度判定基準之相關研究 北海道大學
   古谷宏一等（預鑄混凝土塊技術協會 第 20 屆研討會論文集 2011.10）
2. 依據無鋼筋混凝土海岸構造物裂縫寬度的新化度判定基準提案 北海道大學
   古谷宏一等（土木學會論文集B3（海洋開發）, Vol.68, No.2, I_360-I_365, 2012
3. 無鋼筋混凝土防波堤胸牆裂縫深度推估之統計分析
   古谷宏一等（土木學會第 67 屆年度學術演講會 2012 年 9 月）

古谷等（2011，2012）針對海岸構造物之中的無鋼筋混凝土防波堤胸牆，實施裂縫寬度、裂縫深度及胸牆尺寸測定，並檢討嚴重影響胸牆性能之裂縫深度推估手法。量測對象之裂縫係以推估為混凝土收縮等所造成之鉛直方向裂縫為對象，推估裂縫深度則使用衝擊彈性波法。

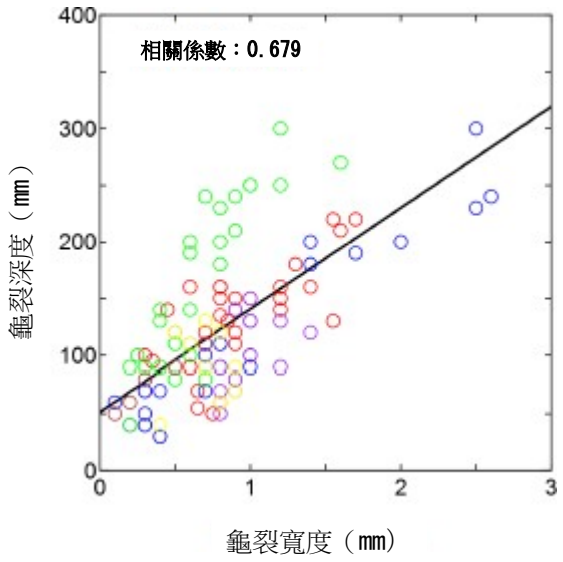


圖 6-1 裂縫寬度與裂縫深度之關係（參考文獻3）

結果顯示，裂縫寬度與裂縫深度關連性之相關係數為 0.679 ，確實有某種關聯性。但若只以裂縫寬度做為指標而推估裂縫深度，由於相關係數只有 0.7 左右，因此很可能產生相當大的推估落差。因此之故，應進一步檢討會影響裂縫深度的要因。

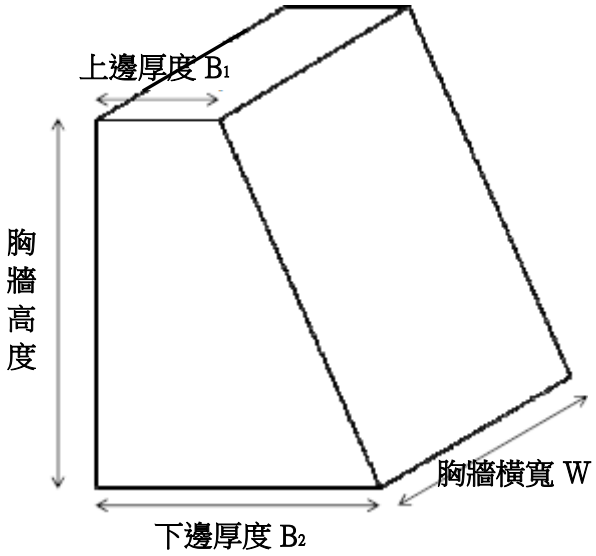


圖 6-2 防波堤胸牆尺寸之定義（參考文獻3）

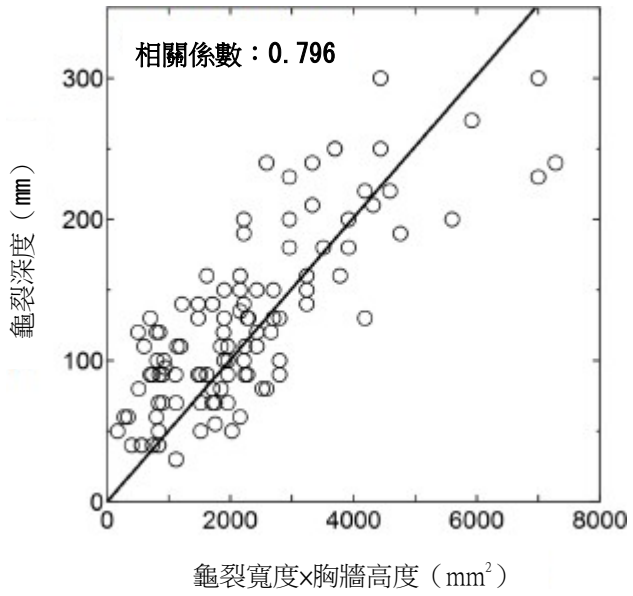


圖 6-3 龜裂寬x胸牆高與龜裂深之關係

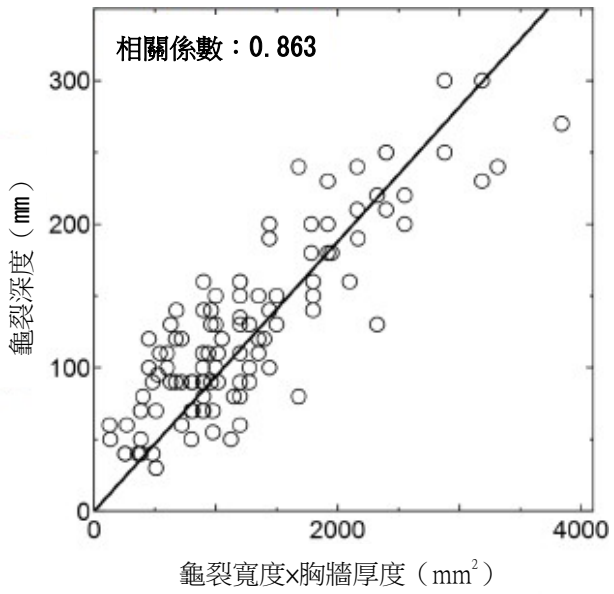


圖 6-4 龜裂寬x胸牆厚與龜裂深之關係

（參考文獻 3 ）

如上述，相對於裂縫寬度 x 胸牆厚度對裂縫深度的相關係數 0.863 高大，因此建議以裂縫寬度 x 胸牆厚度推估裂縫深度之公式如下。

$$D = A(w \cdot B)$$

在此，D：裂縫深度（mm），A：迴歸係數（0.0938），B：胸牆厚度（mm），w：裂縫寬度（mm）

此外，古谷等（2011）說明了初期裂縫為 0mm 時耐力設定為 1.0 所算出之耐力比初期裂縫寬度之關係（下圖）。在此，當初期裂縫為 1mm 時，X 及 Y 方向之耐力並未降低。X 方向隨著初期裂縫寬度增加，出現些微耐力降低狀況，超過 10mm 之後，出現劇烈的耐力降低。Y 方向隨著初期裂縫寬度增加，出現同比例耐力降低狀況。此時耐力降低之斜率較 X 方向陡，**當初期裂縫寬度為 7mm 時，耐力大致變成1/2**。Z 方向在初期裂縫寬度達到 3mm 之前無法確認有耐力降低狀況，初期裂縫寬度來到 5mm 時，耐力劇烈降低。

楊氏係數 (N/mm^2)	31000
柏松比	0.15
拉伸軟化開始應力 f_t (N/mm^2)	2.5
極限(終值)應變 ε_u	0.000311
剪切保持係數 β	0.2

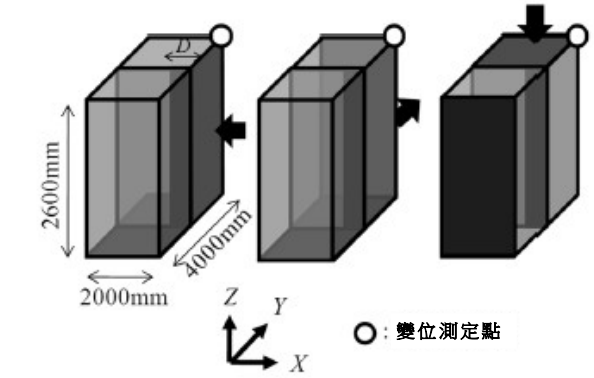


圖 6-5 材料物理性值與分析模型概要（參考文獻1）

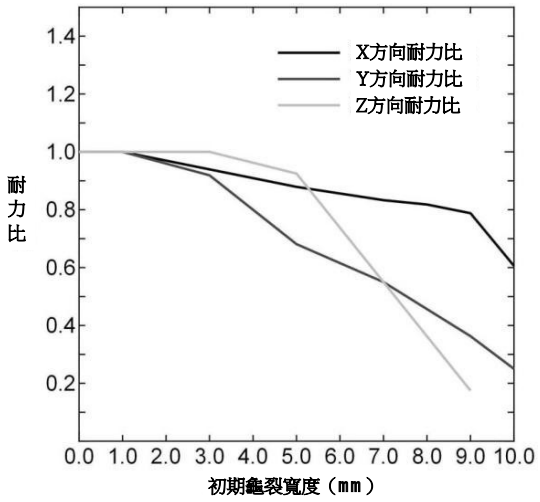


圖 6-6　初期裂縫寬度與耐力比之關係（參考文獻1）

依據上述結果提出以下裂縫劣化度判定基準。

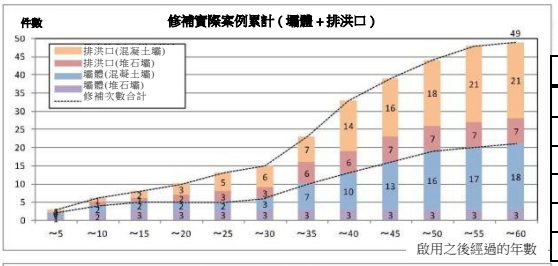
表 6-2 裂縫劣化度判定基準（參考文獻1）

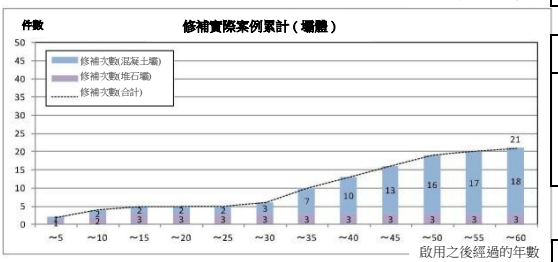
判定	評估基準
a	產生有可能貫通之龜裂
	龜裂寬度大於7mm
b	龜裂寬度大於4mm，小於7mm
c	龜裂寬度大於1mm，小於4mm
d	龜裂寬度小於1mm

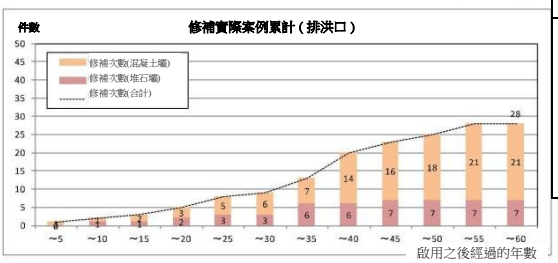
漁港設施方面有上述裂縫臨界值類似研究成果，但和治山設施的設施厚度等不同，因此治山設施希能作相同的研究，取得臨界值。

2）耐用年限（水壩）

分析國土交通省直屬管轄水壩與水資源機構水壩之修補案例顯示，大約開始管理後約 30 年就會出現規模不大，但修補案例愈來愈多之趨勢。







開始管理之後約經過30年修補案例增加

工程種類	案例數	實施養護之主要異狀
壩體	21	裂隙、漏水、混凝土剝離
排洪口	28	排水口與消能工混凝土裂隙、剝離、漏水
基礎岩盤	0	
蓄水池周邊坡面	10	銜接部產生裂隙與空洞化、滑落
取水與放流設備	1	噴射閥下游導流壁磨損劣化
周邊構造物	7	管理用道路與操作室混凝土裂隙、漏水

○壩體的異狀案例

經過年數	壩名	形式	工程種類	異狀地點	經過年數	異狀概要
大於30年	A壩	混凝土拱壩	壩體	下游面	31	壩體下游面產生龜裂與剝離
	B壩	混凝土拱壩	壩體	下游面	41	凍結融解引致混凝土劣化，造成壩體下游面出現細裂縫、凸出、混凝土局部剝離。
	C壩	混凝土重力壩	壩體	下游面	43	骨材中的濁沸石因為反覆乾溼而反覆膨脹收縮，使混凝土表面劣化。

○排洪口的主要異狀案例

經過年數	壩名	形式	工程種類	異狀地點	經過年數	異狀概要
30年以上	B壩	混凝土拱壩	排洪口	越流部	41	排洪口橋墩損傷、劣化
	D壩	混凝土拱壩	排洪口	越流部	52	隧道排洪口支撐工程混凝土劣化、漏水
	E壩	土質截水壁型堆石壩	排洪口	導流部	32	導流部確認推估為施工不良所引致的混凝土剝離與起鱗片，起泡
	F壩	混凝土重力壩	排洪口	越流部	35	橋墩及水壩越流之洪水流造成混凝土磨損與淘刷
	G壩	土質截水壁型堆石壩	排洪口	導流部	31	排洪口導流壁等出現龜・二氧化矽反應引致形成之龜裂

※就國土交通省直屬管轄水壩及水資源機構水壩（2012年4月管理中的118壩）所提出報告之中開始管理後的49個修補案例，彙整其開始管理之後經過幾年進行了修補

圖 6-7 實施修補水壩管理年數與修補實際狀況之變化

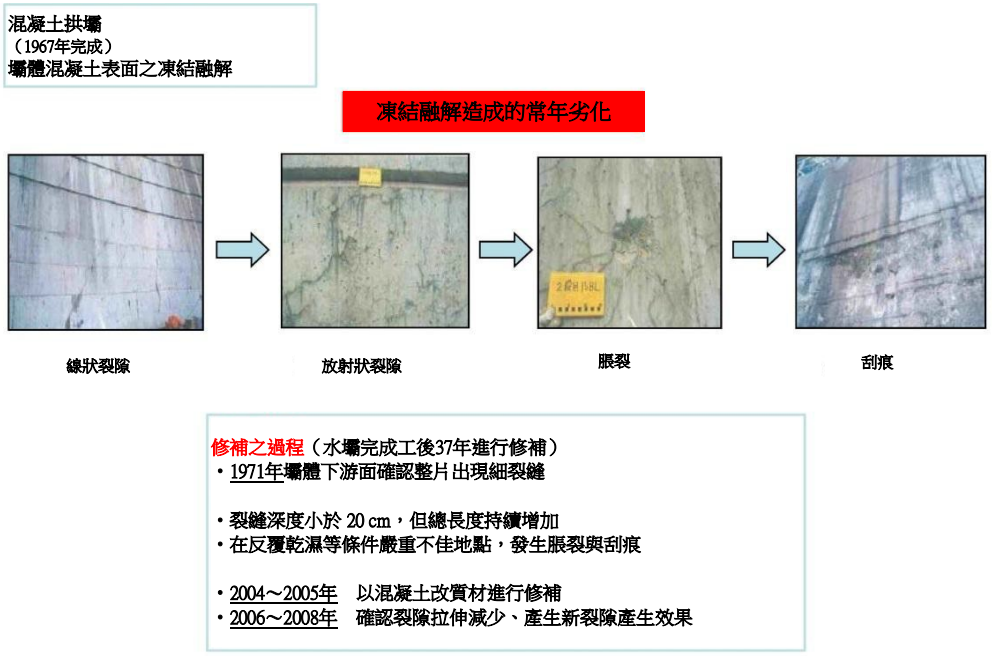


圖 6-8 修補對象凍結融解造成裂隙拉長之案例

<參考文獻>

・水壩綜合巡視檢查實施要領暨解說（2013.10 國土交通省 水管理暨國土保全局 河川環境課）

○水所引致之混凝土成分溶解

混凝土成分溶解係混凝土之水泥灰漿（砂漿）溶解於周圍的水、整個組織變成鬆散的狀態與劣化現象。下圖為混凝土壩壩體上部與底部強度比之長期變化（變動），顯示越常接觸到蓄水的底部，其強度長期變化越大。

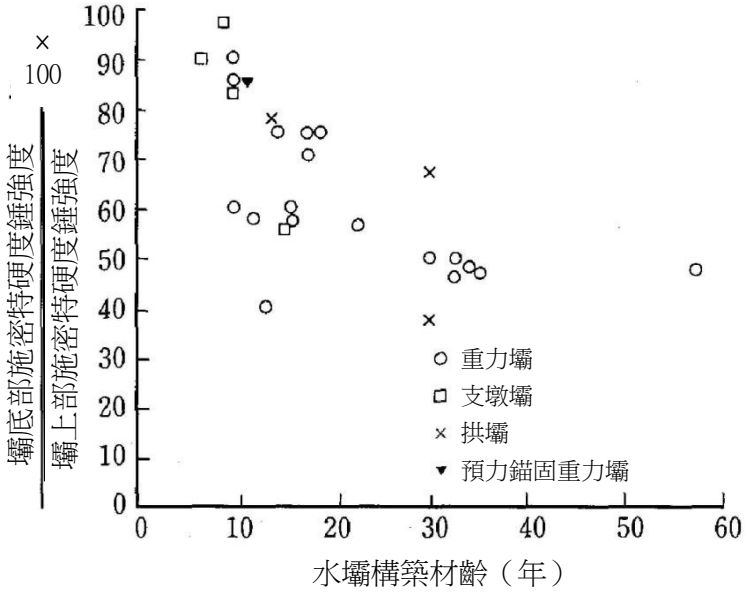


圖 6-9　壩體強度推估值

（蘇格蘭的案例－「混凝土診斷技術’14〔基礎編〕（社）日本混凝土工學會」p.62）

混凝土之概略強度很容易以施密特硬度錘等簡易調查加以判斷，混凝土強度降低原因是否為成分溶出，應與接觸水時間較少部位相對比較，判斷之。

⑵ 基礎淘刷之預測方法

＜淘刷機制＞

大河內（1960）研究指出，會造成水路構造物下游側嚴重淘刷的原因乃是渦流，如下圖所示，越流水侵入水脈，其上部為表面渦（負渦：A），下部為底面渦（正渦：B）。

淘刷初期只會產生負渦，造成下游底質淘刷與移動，並在下游側堆積形成沙洲。沙洲逐漸擴大後淘刷穴跟著變大，產生底面渦（正渦）之後，淘刷穴底部土砂以 Y 點為分界往上下游移動。另一方面，表面渦會捲起底質，以 X 點為交界而往上下游移動之土砂使初期產生之沙洲擴大，將土砂逐漸往下游搬運。此時以 Y 點為界限而移動的底質會保持水中安定坡度，但負渦捲動能量範圍內形成的底質坡度大於水中安定坡度。從水理構造物基礎安定度的角度來看，往下游移動之正渦從 Y 點開始不斷將土砂推向構造物，因此不會崩塌，但在退水時水量減少，距離接近構造物，之前正渦帶來的砂礫會有逐漸被捲起的危險狀態。

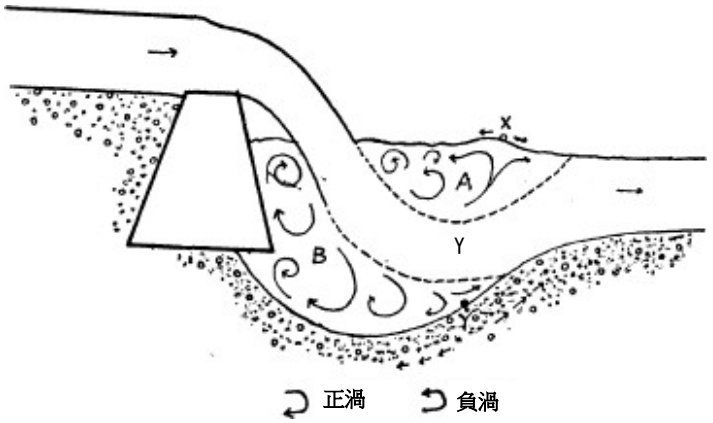


圖 6-10 淘刷發達時的渦流狀態（參考文獻1）

御子柴（1984）針對常願寺川主流中游段及支流構築的砂礫基礎防砂壩，蒐集立山砂防事務所從 1950 年以及 1954 年起每年量測一次的河床變動資料與既有防砂壩下游淘刷調查（1980 年 10 月）之結果，探討防砂壩下游河床變動與淘刷深度（深潭深度）之關係。

淘刷深度如下圖所示，就主壩之淘刷深度（深潭深度）與副壩（複數時採最下游端者）之淘刷深度，探討淘刷深度與落下高度之關係。

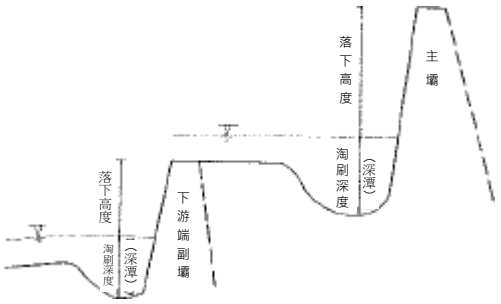


圖 6-11 淘刷深度（深潭深度）與落下高度（參考文獻2）

① 主壩正下游之淘刷深度（深潭深度）

有副壩的主壩正下游淘刷深度（深潭深度）與落下高度（水壩溢洪口頂端到下方水面為止的高度差）之相關圖如下圖所示，幾乎呈直線之關係。

相關公式如下式所示，相關係數也高達 0.87 。

$$h = 0.0855H_o + 0.58 \fallingdotseq 0.09H_o + 0.6(n = 14)$$

相關係數 $r_o = 0.872 > r\,(12\,;\,0.01) = 0.661$ （h；**深潭深度** H_o **落下高度**）

式中之 0.58（0.6）若考慮副壩之越流水深，則<u>有副壩之主壩下游淘刷深度，大約為落下高度之10%左右</u>。

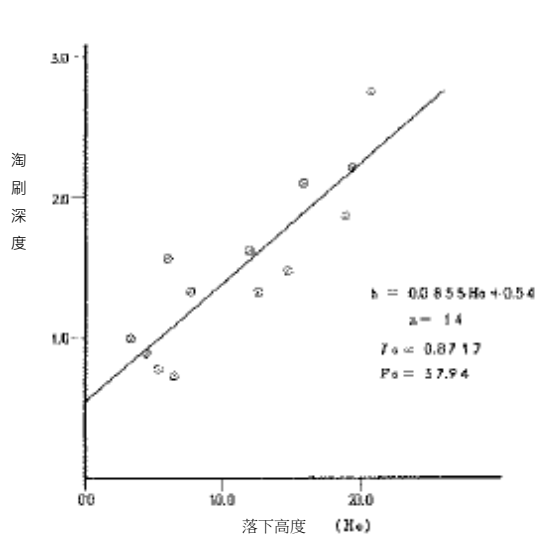
② 下游端副壩正下游淘刷深度

下游端副壩正下游淘刷深度與落下高度之相關如下圖所示，呈現幾乎直線性的相關性。

相關係數為 0.78 ，上下變動相當大，整體而言相關係數為高。

$$h = 0.196H_o + 0.62 \fallingdotseq 0.2H_o + 0.6(n = 8)$$
$$r_o = 0.78 > r\,(6\,;\,0.05) = 0.71$$

式中 0.62（0.6）若考慮副壩下游水深，<u>下游端副壩正下游淘刷深度約為落下高度20%左右</u>，與前述有副壩之主壩情況相比，可看出淘刷深度約變成 2 倍。



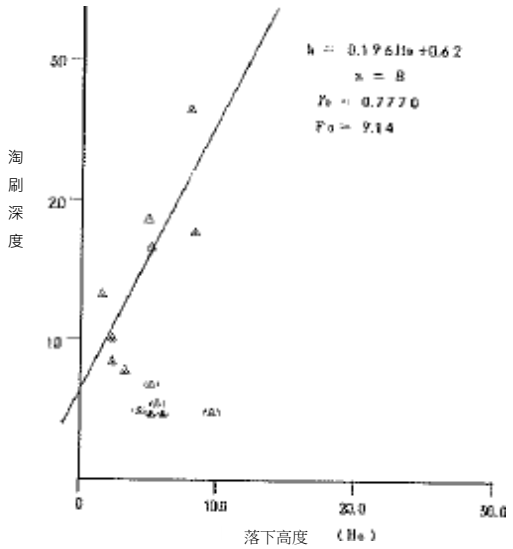


圖 6-12　淘刷深度與落下高度關係圖（主壩）　圖 6-13　淘刷深度與落下高度關係圖（下游端副壩）

（參考文獻）

1. 砂防ダム前庭部洗掘試験について（防砂壩下游面淘刷試驗）大河内禎二 建設省日光砂防工事事務所 新砂防 Vol. 12 (1959-1960) No. 4 P 1-11
2. 砂防ダム下流の洗掘、河床低下に関する考察（防砂壩下游淘刷與河床降低之考察）御子柴三男（國土防災技術（股）名古屋支店） 1984 年砂防學會研究發表會概要集

⑶　劣化度定量量測方法

就混凝土構造物之詳細檢測種類及內容、可適用之工程種類等，2014 年度該部門會議報告彙整成如下之表格。

表 6-3　混凝土構造物詳細檢測方法一覽表

調查分類		調查名稱	可掌握之內容與結果的利用	完成摘要的工程種類
打音調查		打音調查	有無空洞化及範圍	全部
鑽心	強度調查	壓縮強度試驗	鑽心採樣強度定量檢測	溪間工、擋土工
	性狀調查	鑽心試體判定	以目視岩心判定，定性地掌握、分類其強度	溪間工、擋土工
	健全度（老朽化）調查	鹼・二氧化矽反應（ASR）試驗	掌握異常膨脹與裂縫進行程度	全部
		中性化試驗	掌握混凝土中性化進行程度	全部
	內部狀況調查	鑽孔掃瞄	內部狀況之可視化	溪間工、擋土工
非破壞檢查		熱紅外線調查	噴覆坡面背面之土砂化與空洞化	噴覆工
		彈性波（PS）探測	以彈性波傳遞方式瞭解強度	溪間工、擋土工
	強度調查	施密特硬度錘	混凝土強度測定調查	全部

相關實施方法與判斷方法，彙整在本報告 4. 4　「各種構造（混凝土、鋼製、木製）之巡視檢查手法檢討」之中。

第2項　鋼製構造物

⑴ 劣化度臨界值之基準

（a）經過年數

1）其他管轄設施之案例

耐用年限約20～30 年（公園設施與道路標識、照明構造物之案例）

2）治山設施之案例

〇鹿兒島縣北薩地區振興局所管轄落石防護柵工的巡視檢查與評估判定

鹿兒島縣北薩地區振興局轄區 1975 年度起，在 21 個地區實施落石對策工程，其中落石防護工包括λ型、I 型、環形落石防護網及落石防護柵。

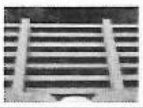
上述設施皆針對設施周邊環境狀況與構造物狀況實施下列項目的巡視檢查。

環境狀況：坡面方向、設施周邊植生茂密狀況、地表流水、落石、土砂淤積狀況、保全對象

構造物 ：鋼材部分、接合部分、緩衝部分、基礎部分之生鏽與破損等狀況

設施巡視檢查結果依據鋼材腐蝕狀況等，危險度高低分為 1～5 級，然後針對鋼材部分、接合部分、緩衝部分及基礎部分實施分級評估。

表 6-4 落石防護柵評估判定分級表（出處：2014 年度治山研究發表會摘要）

等級	狀　況	判斷照片			
		鋼材部分		接合部分	緩衝部分
		外觀	支柱與壁材		
1	・鋼材部（支柱、壁材）無塗裝剝落鏽蝕 ・接合部無塗裝剝落鏽蝕 ・緩衝部無生鏽或腐蝕 ・基礎部無異常				
2	・鋼材部（支柱、壁材）有塗裝剝落鏽蝕 ・接合部有塗裝剝落鏽蝕 ・緩衝部有生鏽 ・基礎部有侵蝕				
3	・鋼材部（支柱、壁材）部分腐蝕 ・接合部部分腐蝕 ・緩衝部破損及部分腐蝕 ・基礎部裂痕、破裂				
4	・鋼材部（支柱、壁材）整體腐蝕 ・接合部整體腐蝕 ・緩衝部掉落或整體出現腐蝕 ・基礎部傾斜				
5	・整體腐蝕，無法維持原型 ・基礎部傾倒				

【調查結果】

- 8 個地區之中 7 個地區為需修補等級 2 以上之狀況。
- **鋼材部分與接合部分完工 20 年，出現腐蝕造成的剖面缺損，危險度提高**。
- 緩衝部分以木材為緩衝材之地區，施工後 12 年出現腐蝕；以舊輪胎為緩衝材具，**距離海岸小於 100 公尺的地區，鋼絲綁線很快腐蝕**。
- 基礎部分經過幾年仍無變化。
- 整體來看，完工 20 年危險度提高，應重點實施巡視檢查。

3）腐蝕量（減厚量）之目標

曝露空氣中的鋼材腐蝕量標準值，目前採用單面 1.5 mm（鍍鋅防蝕材則為 0.5 mm）與土中平均年間腐蝕量 0.01～0.15（mm/年）之值域。

因此，防砂設施施作鋼製構造物而使用構件時需設置如下表之預留腐蝕空間（預留腐蝕餘量）。治山設施（鋼製框壩等）多準用這項防砂基準實施設計。

4）水流之pH 值

如前述，**pH值 小於 4 （酸性區域）鐵鏽會融解，失去鐵鏽抑制腐蝕機能**，且會產生氫氣發生型的腐蝕，因此，pH值小於 4 之溪流施築鋼製構造物，應實施重度防蝕處理等對策。

⑵ 劣化風險之判斷手法（量測方法）

⑻ 板厚量測

使用游標卡尺或超音波板厚計等，確認預留腐蝕空間（預留腐蝕餘量）板厚之減少是否大於 3 mm（單邊1.5mm）。

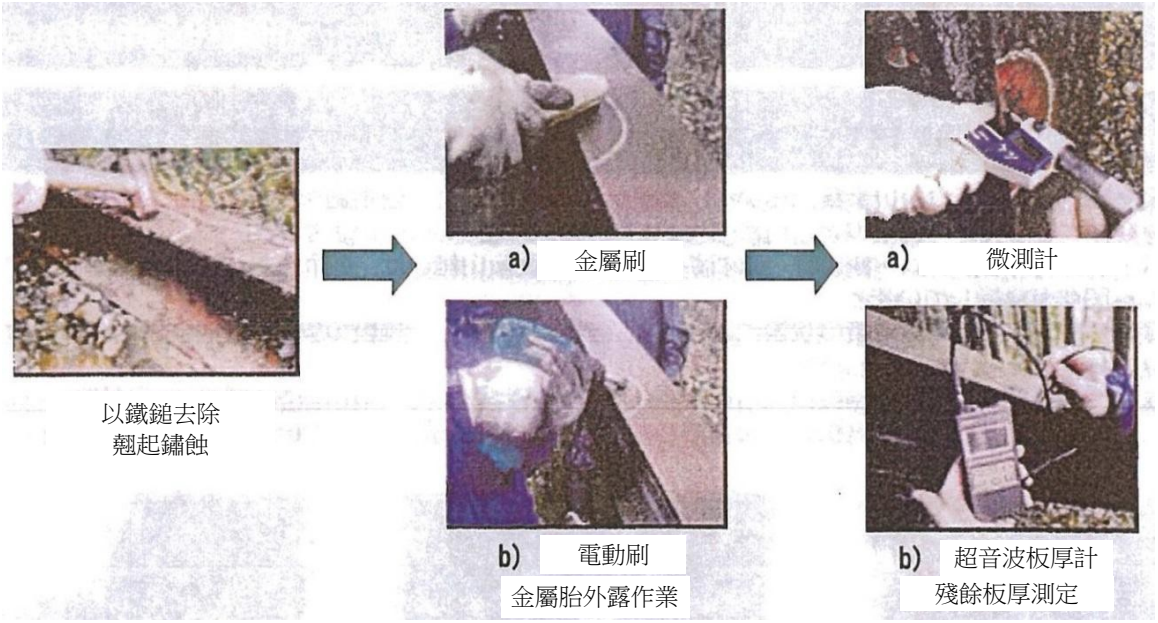


圖 6-14　測定地點除鏽及量測

「鋼製治山設施腐蝕調查方法及對策（案）」日鐵住金建材（股）資料

利用量測板厚所取得殘存板厚值進行構造演算，檢核構件之安定性。

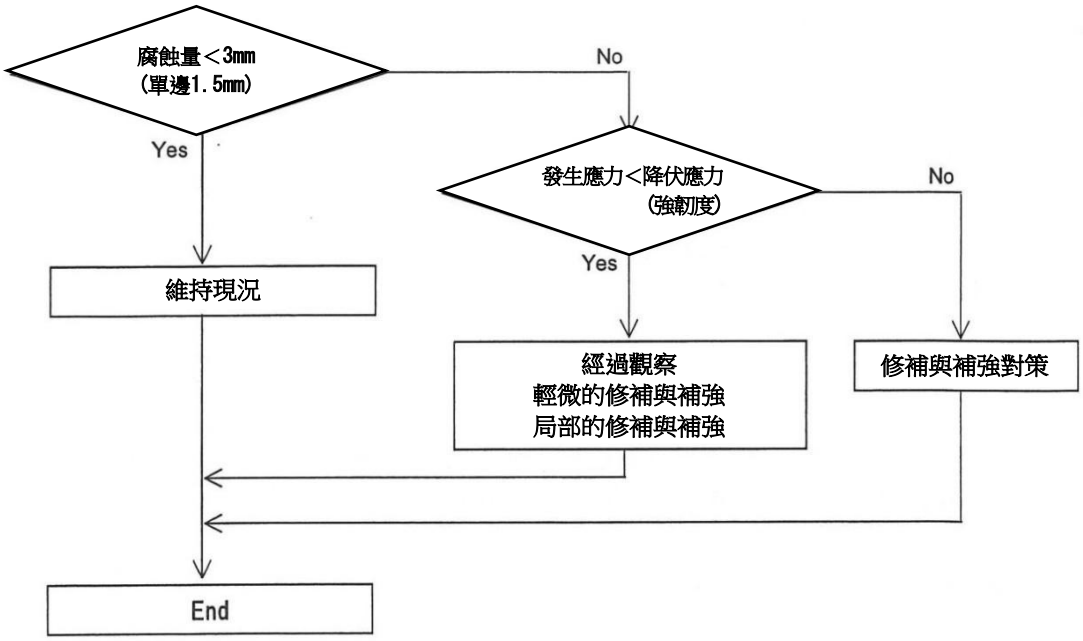


圖 6-15　鋼製構造物應力檢核流程

「鋼製治山設施腐蝕調查方法及對策（案）」日鐵住金建材（股）資料

第3項　木製構造物

(1)　劣化風險之判斷手法（檢測方法）

(a)　木質針刺檢測（木質針刺檢測儀）

使用木質針刺檢測儀之非破壞試驗。以一定能量將特定直徑鋼針從木材表面打入，量測其打入深度（mm 單位），即可完成簡易量測。

研究發現，打入深度與木材強度成反比，並與木質劣化程度成正比。這種檢測方法適合應用於腐朽厚度小的情況。



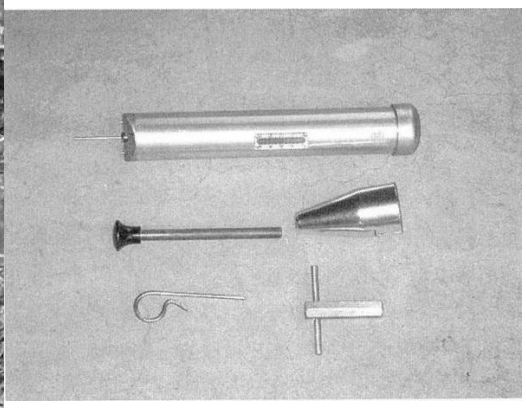


圖 6-16　以木質針刺檢測儀進行檢測（京都府林業試驗所 試驗研究業務月報 2003.5）

（左：京都府林業試驗所 試驗研究業務月報 2003.5、右：大分縣林試研報 15 號 土木用木製構造物耐久性研究）

此外，大分縣林試所研究顯示，以土木用木製構造物使用頻率最高之直徑 10cm 小口徑杉木原木為例，以腐朽進行程度成正比的 Pdr(木質針刺檢測儀打入深度)，檢討木質強度劣化狀況。該研究假定原木內部為均質狀態，則如表 8 所示，Pdr 增大所伴縱向壓縮強度減少率與原木斷面積成正比，當 Pdr 為 32.54mm(≒33m)時，縱向壓縮強度減少約 50%。亦即，和健全材相比，Pdr 為 33mm 時（Pdr .33）強度約只剩一半，可歸類為廢材。

此外，Pdr.33 以 70%為耐久界限，報告指出木製構造物之耐用年 限，無處理材為 6.2 年，防腐處理材為 16.0 年。

依上述，Pdr≧33mm 可作為判斷修補（構件更換）或更新的標準。

表 6-5 直徑 10cm 小口徑原木之 Pdr 與縱向壓縮強度減少率之關係

(大分縣林試研報15號 土木用木製構造物耐久性研究）

Pdr (mm)	腐朽部半徑 (mm)	健全部半徑 (mm)	斷面積 (㎟)	強度減少率 (%)
18	0.1	49.9	7819	99.9
19	1.1	48.9	7508	95.6
20	2.1	47.9	7204	91.8
21	3.1	46.9	6907	88.0
22	4.1	45.9	6615	84.3
23	5.1	44.9	6330	80.6
24	6.1	43.9	6051	77.1
25	7.1	42.9	5779	73.6
26	8.1	41.9	5513	70.2
27	9.1	40.9	5253	66.9
28	10.1	39.9	4999	63.7
29	11.1	38.9	4751	60.5
30	12.1	37.9	4510	57.5
31	13.1	36.9	4275	54.5
32	14.1	35.9	4047	51.6
33	15.1	34.9	3825	48.7
34	16.1	33.9	3609	46.0
35	17.1	32.9	3399	43.3
36	18.1	31.9	3195	40.7
37	19.1	30.9	2998	38.2
38	20.1	29.9	2807	35.8
39	21.1	28.9	2623	33.4
40	22.1	27.9	2444	31.1

⑹ 一字型螺絲起子

較大構件之構造物劣化簡便診斷，方法之一是用一字型螺絲起子搭配荷重測定儀，簡單量測劣化（腐朽等）厚度。

（使用之工具）

測力計（1.0kN）先端之鑽頭安裝一字型螺絲起子（DIN 規格，軸徑 3mm）。因軸長大於15cm會產生偏心（離心）；荷重增加可能挫屈，因此軸長取 10cm 左右。



圖 6-17 量測儀器案例（左：測力計　右：用來讀取穿入深度的橡膠環（墊片）裝置狀況）
「木製治山構造物技術指引（案）」2016 年 2 月 木製治山構造物技術指引檢討會

（檢測方法）

① 材面上讓一字型螺絲起子的一字部分與纖維平行而朝向芯，避免產生後作力地輕輕壓著。（一般而言，劣化（腐朽等）部分較柔軟，起子容易戳進去，但到達健全部就無法繼續鑽深）

② 起子鑽進深度用拇指指甲等按住，一面拔出起子，用尺量鑽入深度，以 mm 為單位記錄。（材面若有脫落部分應補上脫落部分的值。）如圖-32 所示，起子軸裝上橡膠環，能更有效率量測穿入深度。

（腐朽厚度的妥當性）

石川等（2003）比較木質針刺檢測、微鑽孔阻力檢測及應力波傳播法等腐朽度試驗方法，發現微鑽孔阻力儀最能精確掌握腐朽厚度。微鑽孔阻力儀係以先端寬 3mm 細針（軸徑 1.5mm）迴轉鑽入木材，然後在紀錄紙上記錄不同鑽入深度時細針承受多大迴轉阻力

下表為完工 7 年到 13 年之 11 座木製壩之微鑽孔阻力試驗。下圖為微鑽孔阻力儀檢測之腐朽厚度與一字型螺絲起子檢測之穿入深度的檢測值相互關係。荷重 200N 時可獲得較高的決定係數 0.65，應是適當的腐朽厚度簡易檢測方法。

表１　腐朽厚度調查對象設施概要

施工年度	施工地點	資料數 母數＝	構件種類
2002	長野縣	86	落葉松
2003	長野縣	83	落葉松
2004	長野縣	54	落葉松
2007	長野縣	93	落葉松
2007	長野縣	158	落葉松
2008	長野縣	127	落葉松
2004	岐阜縣	76	杉木
2007	岐阜縣	146	杉木
2008	岐阜縣	66	杉木
2003	京都府	31	杉木
2004	京都府	65	杉木

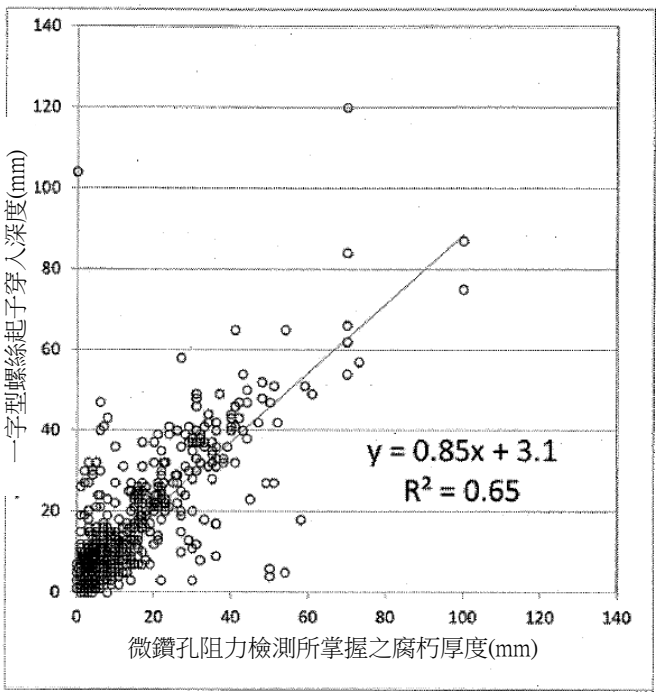


圖 6-18 微鑽孔阻力檢測腐朽厚度與一字型螺絲起子穿入深度之關係（荷重200N）

木製治山壩之維護管理方法—簡便有效之腐朽厚度檢測—（2015 年度砂防學會研究發表會概要集）

木製壩係結合構件、壩體內填入充填材等，藉其重量確保安定性及重力式之構造，需進行翻倒、滑動、地盤支撐力以及立體格子型構造之安定性檢核。因此，即使長期劣化（磨損、腐朽）減少一定量的材徑，只要構件殘留必要斷面且填充材無流出等異狀而能確保構造體安全性，就可判斷該設施仍確保其機能。就此而言，巡視檢查時為具體掌握異狀影響設施機能之程度，針對①構件磨損與損傷，②構件腐朽狀態，③連結部狀態，④填充材狀態，⑤基礎部與銜接部狀態五個項目，分別設定判定基準（下表）。

表 6-6 木製壩健全度判定基準表

木製治山壩維護管理方法—簡便有效的腐朽厚度檢測—（2015 年度砂防學會研究發表會概要集）

巡視檢查項目 / 分級	構件磨損與損傷	構件腐朽狀態	連結部狀態	填充材狀態	基礎部與銜接部狀態
a	整體出現嚴重磨損與損傷	整體嚴重腐朽	整體連結鬆脫	填充材整體流出	整體嚴重侵蝕、淘刷
b	部分嚴重磨損、損傷	部分嚴重腐朽	部分連結鬆脫	部分填充材流出	部分嚴重侵蝕、淘刷
c	輕度磨損、損傷	輕度腐朽	連結部鬆弛	出現填充材流出徵兆	輕度侵蝕與淘刷
d	無異狀	無異狀	無異狀	無異狀	無異狀
調查方法	目視	目視、觸診、打診、刺診	目視、觸診	目視	目視

⑵ 耐用年限（劣化速度）預測方法

木製治山構造物耐用年限可從木材作為構造物構件所需強度與長期劣化木材強度降低的關係進行預測。此外，**木材長期劣化明顯受水流影響。因此，木製治山壩等設在溪流的木製治山構造物，實施長期劣化預測最好針對構造物本體與壩翼一一檢討**。

為能適當設計及維護管理木製治山構造物其必要之構造物耐用年限，可依據構件劣化速度及現地環境條件推估其劣化厚度，從算出之劣化厚度推估健全部直徑及健全部強度，然後預測滿足構造物安全必要強度之年數。

⑷ 落葉松材劣化預測

完工 5～28 年的長野縣內落葉松製治山壩木製構件以微鑽孔阻力儀劣化厚度調查結果，發現原木及鋸材的劣化厚度明顯受邊材厚度參差不齊影響，難以算出完工年數與環境因子之明確關係。（圖6-19）。

但圓材加工材或角材等邊材薄（心材占大部分）之構件，劣化速度明顯較慢，劣化速度也較少參差不齊（圖 6-19，山內等，2015）。此外，高程等環境因子影響較小，劣化厚度與完工年數之簡單線性回歸有較高之相關。因此，受流水影響之主壩與不易受影響之壩翼可分別以式(1)與式(2)計算其劣化厚度（山內等，2015）。

【劣化厚度之推估公式（落葉松圓材加工材、角材）】
※完工經過年數：適用於完工約 5～15 年，可從原木中心算出其一邊的值

主壩劣化厚度（mm）＝0.97Ｘ－2.79　　・・・・・（1）
　　Ｘ：完工年數（年）

壩翼劣化厚度（mm）＝1.74Ｘ－7.69　　・・・・・（2）
　　Ｘ：完工年數（年）

⑸ 杉木材之劣化預測

完工 5～15 年左右木製治山壩（秋田縣、岐阜縣、京都府、鹿兒島縣）之構材以微鑽孔阻力儀調查，以劣化厚度與環境要因之關係進行複迴歸分析。結果發現，**容易受流水影響的主壩部分，構件劣化進行明顯受「完工年數」與「乾燥指數（AI）」影響**。此外，**不易受流水影響之壩翼，構件劣化進行明顯受「完工年數」與「年降水量」影響**（圖 6-19）。

因此，受到水流影響的主壩部分和不易受影響的壩翼分別以式(3)與式(4)計算，即可分別算出各自的劣化厚度。

【劣化厚度之推估公式（杉木材）】※完工年數：適用於完工 5～15 年
※可從原木中心算出其一邊的劣化厚度值

主壩劣化厚度（mm）＝2.618X_1－0.389X_2＋36.555 ・・・・・（3）
　　X_1：完工年數（年）、X_2：乾燥指數（AI）

壩翼劣化厚度（mm）＝3.714X_1－0.026X_2＋56.638　　・・・・・（4）
　　X_1：完工年數（年）、X_2：年降水量（mm）
　　此外， 乾燥指數（AI）可由公式(5)算出。

AI = P／T＋10　　・・・・・（5）
在此，P：年降水量(mm)， T：（1到12月之月平均氣溫為正的月份之合計）÷12（℃）

【參考】壓縮加壓注入保存劑木材之利用

提升木製治山構造物耐久性的方法之一是進行木材保存處理，提高防腐防蟻效率。木材保存處理方法包含塗刷處理、浸漬處理與加壓注入保存劑等，其中更具有長期耐久性的適當方法是以加壓注入保存劑處理。作法是將木材放入注藥罐中，加壓讓藥劑滲入木材表面 1cm 左右。JIS K 1570（木材防腐劑）登錄之銅、烷基銨化合物(ACQ)類木材防腐劑 MITREX(品牌) ACQ，就製材 JAS （日本農林規格）相當於保存性能分級 K4 處理，估計即使放在戶外 24 年木材仍能保持健全（久保等，2012）。若能適當地進行加壓注入保存劑處理，即使木材放在戶外仍具充分耐久性。

另一方面，即使已完成加壓注入木材保存劑處理之木製治山構造物，若木製構造物設在靠近土壤表面地點或埋設環境不佳，仍會很快腐朽或遭受白蟻害等引致生物性劣化。其原因為藥劑浸潤不足，亦即注入前乾燥不足，在邊材外緣部藥劑未浸潤，使該部分生物性劣化、造成短期間劣化狀況。因此，為提升木材耐久性，能形成均勻處理層的保存處理技術是必要的。

因此，以木材高耐久性保存處理為目的之壓縮處理技術被開發，該技術在圓材加工材加壓注入處理前進行壓縮處理，讓藥劑滲透途徑之木材細胞之壁孔破壞、變形，大幅提高藥劑滲透性（西岡等，2000）。目前日本實施壓縮處理及木材保存劑加壓式注入處理(以下稱為「壓縮加壓注入處理」)之圓材加工材木製治山構造物，越來越多。

設置 5～15 年壓縮加壓注入處理材（高耐久性處理材）製作的校倉式構造物（固床工、護岸工、擋土工），其經過年數與劣化厚度的關係如圖 6-19 所示。此外，圖 6-19 中壓縮加壓注入處理材（高耐久性處理材）劣化厚度隨經過年數增加而減少的原因，推估經過 5～9 年的構造物多設於寒冷地帶，應係受凍結融解影響（吉田等，2015）。

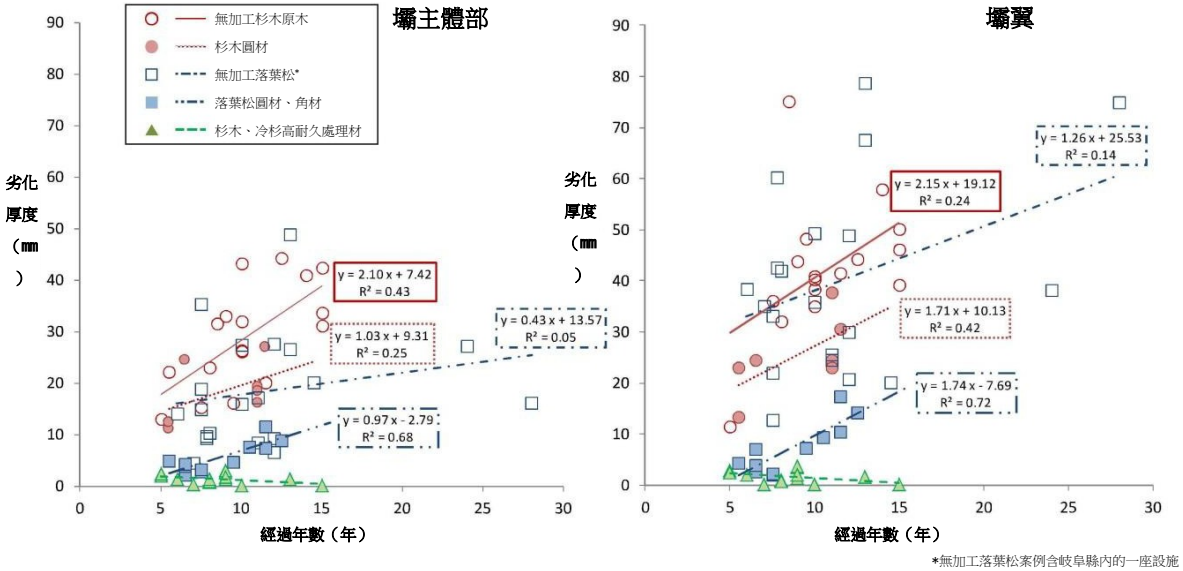
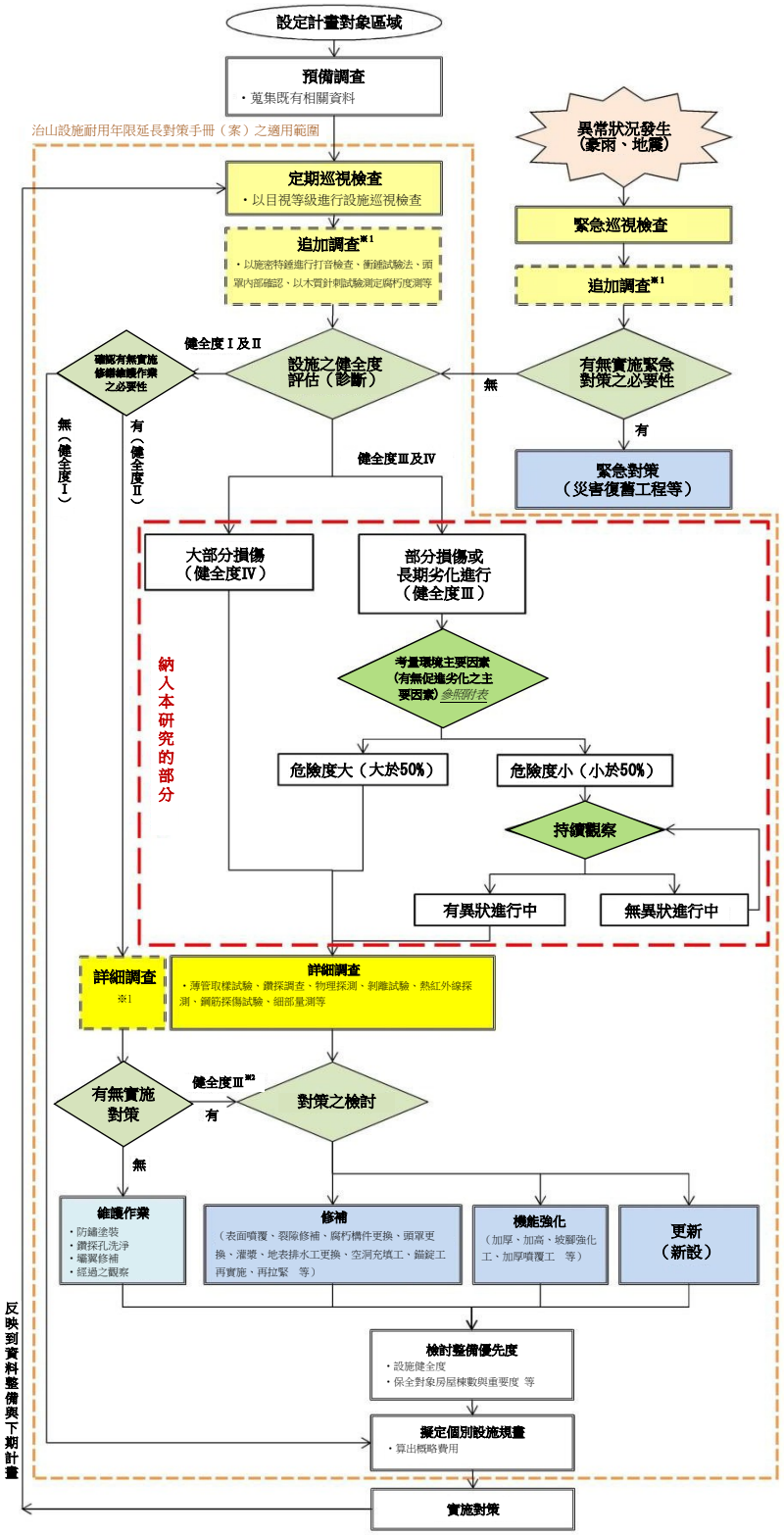


圖 6-19 設置 5～15 年的木製治山構造物（主要為固床工）壩主體與壩翼構件種類別經過年數與劣化厚度之全國實況調查結果 （山內等，2015；吉田等，2015）

第2節　考量環境要因之劣化度方法（案）

治山設施個別設施計畫制定手冊（案）從巡視檢查到診斷、設施使用年限延長對策（維護作業、修補、機能強化、更新）之一連串流程，將該流程納入本研究「環境要因之考量」的構想，製作如下流程圖（紅框部分）。



※1：必要時實施。
※2：是否有實施對策之必要性（健全度Ⅱ往Ⅲ降低）之判斷，應依據所實施之詳細調查。

註）即使不列入個別設施規劃對象之設施，也應利用豪雨之後等的緊急巡視檢查等機會巡視檢查設施，判斷有無實施對策之必要性。

圖　6-20　考量劣化環境要因而制定個別設施計畫之流程（案）

此外，圖中「環境要因考量」的條件判斷，可依據下表所示「環境要因分數表」合計分數劃分為「危險性大」（大於最高得分之 50%）、「危險性小」（小於最高得分之 50%）。

表 6-7 治山設施所處環境與劣化要因之關聯性（環境要因分數表）

劣化要因 / 使用與劣化環境		內部要因								外部要因			
		混凝土						鋼材	木材				
		中性化 ※1	鹽害 ※2	ASR	凍害	化學性侵蝕	磨損	腐蝕	腐朽	基礎部淘刷	土壓、背面土滑動	地盤沉陷	滾石等衝擊
使用年數	大於40年	○	○	○	○	○	○	◎	◎				
	20～40年（可只選一種）	△	△	△	△	△	○	○	◎				
完工年	1986年以前		△	△									
	1978年以前	△											
鋼筋打設	t＜30mm	○	○										
地區（參考各分布圖）	①容易產生鹽害（已產生）之地區	△	○										
	②容易產生ASR（已產生）之地區			○									
	③容易產生凍害（已產生）之環境				○								
使用環境	①反覆遭受乾濕之變化（位於水邊或山腳下等）				△			○	◎				
	②劣化部分持續有流水、湧水供給			○	○								
	③周邊有樹木等植生										◎		
水質	①硫磺成分水質（溫泉）小於pH4					○		◎	○				
土壤與地盤	①腐蝕性土壤（酸性土壤）小於 pH4	△		△		△							
	②火山渣層大於3m（火山地區）									◎		○	
	③堆積層大於3m									◎		○	
流域狀況	①流域面積大於5km²，流量大						○			○			○
	②多崩塌地（崩塌面積比率大於 1.0%）						◎						◎
	③上游側有未淤滿之攔砂壩等，阻斷土砂輸送									◎			
地壓	①遠超過設計荷重之荷重負荷（土石流、落石等）										◎		◎
	②極端側向荷重產生作用										◎		
	③過去有地震災害										○	○	
磨損條件	①有射流（溪床坡度大於10°）						○						○
	②有礫石流下（礫徑大於 1m）						◎						◎
分數表	最高得分	8	8	9	8	6	14	10	11	11	11	6	13
◎…3分	劣化進行之危險性小（小於50%）	0～3	0～3	0～4	0～4	0～2	0～6	0～4	0～5	0～5	0～5	0～2	0～6
○…2分	劣化進行之危險性大（大於50%）	4～8	4～8	5～9	5～8	3～6	7～14	5～10	6～11	6～11	6～11	3～6	7～13

△…1分 【關聯性：高←◎・○・△・無→低】

※1 使用無鋼筋混凝土時不列入劣化要因項目。

※2 1986年之後完工者不列入劣化要因項目。

※3 1978年實施鋼筋打設與設計基準強度規範，1986年實施鹽分總量管制、ASR對策規範。

下頁為分數設定之案例，分別列舉「高海拔地區之節制壩」與「海岸地區之坡面格框工」的環境要因分數表。

表 6-8　高海拔地區之節制壩環境要因分數表

使用與劣化環境 ＼ 劣化要因		內部要因								外部要因			
		混凝土						鋼材	木材				
		中性化 ※1	鹽害 ※2	ASR	凍害	化學性侵蝕	風化磨損	腐蝕	腐朽	基礎部淘刷	土壓、背面土滑動	地盤沉陷	滾石等衝擊
使用年數	大於40年（可只選一種）	○	○	○	○	○	○	◎	◎				
	20～40年												
完工年	1986年以前		△	△									
	1978年以前	△											
鋼筋打設	t ＜30mm												
地區（參考各分布圖）	①容易產生鹽害（已產生）之地區												
	②容易產生ASR（已產生）之地區												
	③容易產生凍害（已產生）之環境				○								
使用環境	①反覆遭受乾濕之變化（位於水邊或山腳下等）				△			○	◎				
	②劣化部分持續有流水、湧水供給			○	○								
	③周邊有樹木等植生										◎		
水質	①硫磺成分水質（溫泉）小於 pH4												
土壤與地盤	①腐蝕性土壤（酸性土壤）小於 pH4												
	②火山渣層大於3m（火山地區）												
	③堆積層大於3m												
流域狀況	①流域面積大於5km^2，流量大						○			○			○
	②多崩塌地（崩塌面積比率大於 1.0%）												
	③上游側有未淤滿之攔砂壩等，阻斷土砂輸送												
地壓	①遠超過設計荷重之荷重的負荷（土石流、落石等）												
	②極端側向荷重產生作用												
	③過去有地震災害												
磨損條件	①有射流（溪床坡度大於10°）						○						○
	②有礫石流下（礫徑大於 1m）						◎						◎
分數表	得分	3	3	5	7	2	9	5	6	2	3	0	7
◎…3分	最高得分	8	8	9	8	6	14	10	11	11	11	6	13
○…2分	劣化進行之危險性小（小於50%）	0～3	0～3	0～4	0～4	0～2	0～6	0～4	0～5	0～5	0～5	0～2	0～6
△…1分	劣化進行的危險性大（50%以上）	4～8	4～8	5～9	5～8	3～6	7～14	5～10	6～11	6～11	6～11	3～6	7～13

【關聯性：高←◎・○・△・無→低】

※1 使用無鋼筋混凝土時不列入劣化要因項目。

※2 1986年之後完工者不列入劣化要因項目。

※3 1978年實施鋼筋打設與設計基準強度規範，1986年實施鹽分總量管制、ASR對策規範。

表 6-9 海岸地區之坡面格框工環境要因分數表

使用與劣化環境 ＼ 劣化要因		內部要因								外部要因			
		混凝土						鋼材	木材				
		中性化 ※1	鹽害 ※2	ASR	凍害	化學性侵蝕	風化磨損	腐蝕	腐朽	基礎部淘刷	土壓、背面土滑動	地盤沉陷	滾石等衝擊
使用年數	大於40年												
	20～40年（可只選一種）	△	△	△	△	△	○	○	◎				
完工年	1986年以前		△	△									
	1978年以前												
鋼筋打設	t ＜30mm	○	○										
地區（參考各分布圖）	①容易產生鹽害（已產生）之地區	△	○										
	②容易產生ASR（已產生）之地區			○									
	③容易產生凍害（已產生）之環境												
使用環境	①反覆遭受乾濕之變化（位於水邊或山腳下等）												
	②劣化部分持續有流水、湧水供給			○	○								
	③周邊有樹木等植生										◎		
水質	①硫磺成分水質（溫泉）小於 pH4												
土壤與地盤	①腐蝕性土壤（酸性土壤）小於 pH4												
	②火山渣層大於3m（火山地區）												
	③堆積層大於3m												
流域狀況	①流域面積大於5km^2，流量大												
	②多崩塌地（崩塌面積比率大於 1.0%）												
	③上游側有未淤滿之攔砂壩等，阻斷土砂輸送												
地壓	①遠超過設計荷重之荷重的負荷（土石流、落石等）												
	②極端側向荷重產生作用												
	③過去有地震災害										○	○	
磨損條件	①有射流（溪床坡度大於10°）												
	②有礫石流下（礫徑大於 1m）												
分數表	得分	4	6	6	3	1	2	2	3	0	5	2	0
◎…3分	最高得分	8	8	9	8	6	14	10	11	11	11	6	13
○…2分	劣化進行之危險性小（小於50%）	0～3	0～3	0～4	0～4	0～2	0～6	0～4	0～5	0～5	0～5	0～2	0～6
△…1分	劣化進行之危險性大（大於50%）	4～8	4～8	5～9	5～8	3～6	7～14	5～10	6～11	6～11	6～11	3～6	7～13

【關聯性：高←◎・○・△・無→低】

※1 使用無鋼筋混凝土時不列入劣化要因項目。

※2 1986年之後完工者不列入劣化要因項目。

※3 1978年實施鋼筋打設與設計基準強度規範，1986年實施鹽分總量管制、ASR對策規範。

第7章　修補與補強等對策手法之案例彙整

第1節　溪間工之修補與補強等對策案例

第1項　混凝土構造物（加厚、加高）

所蒐集之治山設施修補與補強相關案例 15 件，都是節制壩相關機能強化案例（加厚、加高、坡腳強化、副壩）。主要是因為大部分情況下所發包的修補與補強對策設計業務，工程種類只有節制壩，而坡面工（擋土工與地表排水工）則只是以恢復原狀工程發包，因此無修補設計之業務。

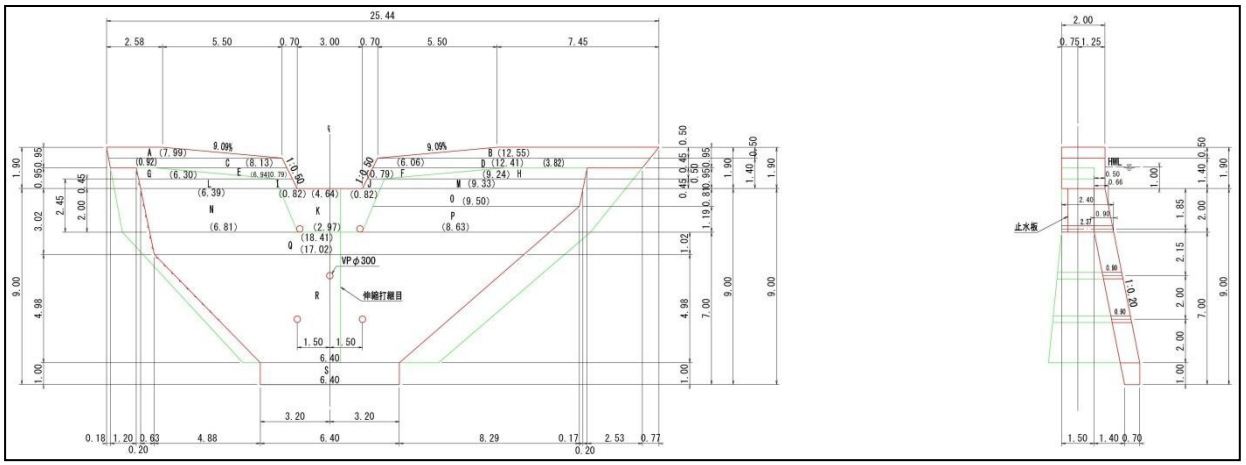


圖 7-1　蒐集案例之一（節制壩加厚與加高）【二度刊載】

（1）蒐集案例之分析

分析所蒐集之 15 個案例特性，結果如下。

⑧ 加高（下游坡面加寬）：5 件，加高（上游）：4 件，加高（只有壩翼）：1 件，坡腳強化工實施：2 件，副壩施工回填：1 件，新設（依據詳細調查結果，判斷難以加高）：2 件

⑨ 加高方法無記載相關治山基準，因此依據國土交通省中部地方整備局所發行之「砂防設施設計要領（案）」（為讓加高、加厚部分確實附著於既有設施，同時實施表面敲碎、插筋）。

⑩ 加高高度為 1.5~5.0m，加高高度最多之案例為 2.0m。

⑪ 坡腳強化工係依據「治山必攜（災害編）」實施。

⑫ 副壩回填係因坡腳淘刷嚴重，判斷難以進一步挖深因而實施。

⑬ 目視巡視檢查之外的詳細調查只有 3 個實施案例，係於無法瞭解河川塊石混凝土等壩體內部狀況時為之。

⑭ 為評估設施健全性與安全性所實施的詳細調查，簡單做法有薄管取樣調查，正式實施可進行鑽心資料調查與鑽孔掃瞄儀觀測等。

第2項　混凝土構造物（修補）

治山設施修補案例公開的很少，以下為類似治山設施之農業水利設施（明渠）修補案例。

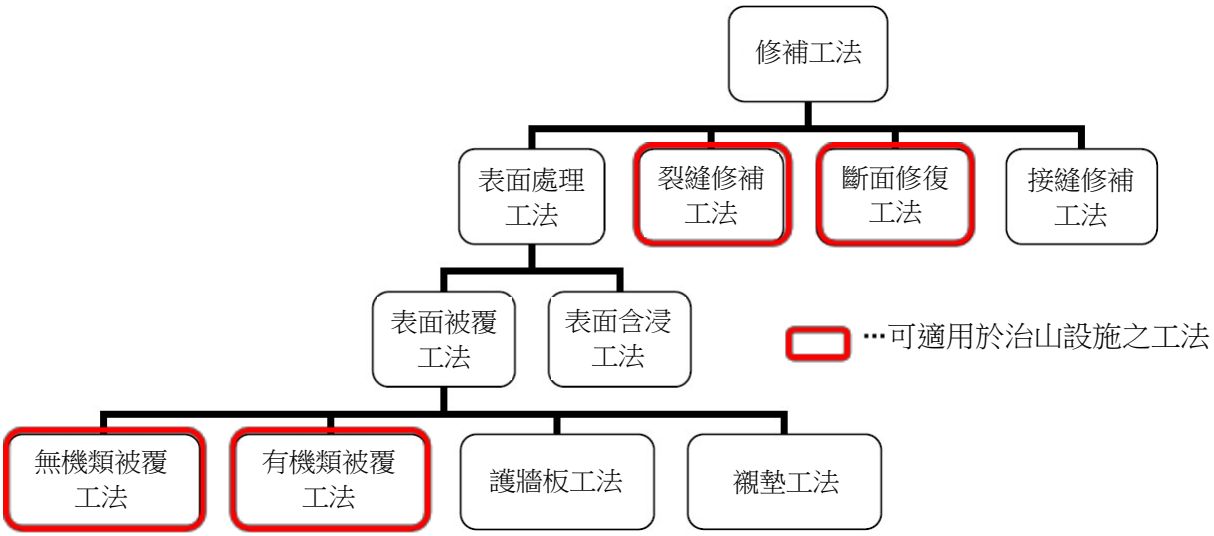


圖 7-2 混凝土構造物修補工法之分類

（農業水利設施修補與補強工程手冊【明渠修補編】（案））

⑴　表面被覆工法

混凝土表面被覆砂漿或塗覆有機類塗膜、防止構造物外部水分侵入構造物中之修補工法。分為無機類（水泥砂漿）與有機類（環氧樹脂、乙烯基酯、聚脂、聚亞胺酯-PU等）。此外，必要時可併用裂縫修補工法、斷面修復工法或湧水導水對策。標準施工順序如下。

⑴ 準備工

⑵ 基礎處理工

⑶ 補土批土工（凹凸抹平工，必要時）

(4))表面被覆工（含底漆工，水泥砂漿塗覆工或二道鏝抹、第三道防水漆塗布、修整）

(5)養護工



照片 2.2.1.1-1
無機類被覆工法（水泥匠工法）施工狀況



照片 2.2.1.2-1
有機類被覆工法（塗刷型）施工狀況

圖 7-3　表面被覆工施工狀況（農業水利設施修補與補強工程手冊【明渠修補編】（案））

⑵ 裂縫修補工法（注入工法與充填工法）

為抑制劣化因子二氧化碳、氯離子、水分、硫化氫等侵入，裂縫部位注入環氧樹脂或水泥砂漿類材料之修補工法。細分有使用橡膠或彈簧並以加壓專用工具將修補材料注入裂縫之注入工法，以及裂縫表面實施凹切（做凹槽）然後充填的充填工法。為確實對特定裂縫注入充填材，對已有某種程度發展的裂縫進行才有效。

①裂縫注入工法施工順序

⑴ 準備工
⑵ 清掃
⑶ 設置注入用器具
⑷ 實施裂縫表面密封
⑸ 注入
⑹ 養護
⑺ 撤除注入用器具
⑻ 表面修整

②裂縫充填工法之施工順序

(1)準備工
(2)裂縫表面實施凹切（做凹槽）
(3)清掃
(4)塗底漆
(5)充填
(6)養護



照片4.2.2-2　設置注入用之墊圈與裂縫表面密封狀況



照片4.2.2-3　以注入用器具進行注入



照片4.2.2-4　實施凹切



圖4.2.2-2　塗底漆

圖 7-4　裂縫修復工施工狀況（農業水利設施修補與補強工程手冊【明渠修補編】（案））

⑶ 斷面修復工法

劣化之混凝土打掉，該部分替換成新混凝土的修補工法。適用於有浮凸、剝離或蜂窩現象等的地點，以及整片出現深裂縫的位置。做法有水泥匠工法、噴覆工法與充填工法。



照片4.2.1-1　斷面修復材充填



照片4.2.1-2　斷面修復完成

圖 7-5 斷面修復工施工狀況（農業水利設施修補與補強工程手冊【明渠修補編】（案））

第3項 鋼製構造物

治山設施鋼製構造物之代表工程種類為扶壁式治山壩、鋼製框、落石防護壁三種，皆 1965 年左右開始設置，許多都已完工 40~50 年。其中有些設施受周邊環境狀況影響嚴重腐蝕，顯然需要修補與補強，確保設施安定性。

一般而言，鋼製構造物多整體更換而非部分修補、補強，但鋼製治山設施多位於深山施工條件惡劣地點，常被迫採不挖除淤積土砂而補強鋼材之工法。鋼製治山設施修補與補強對策案例（案）如下。



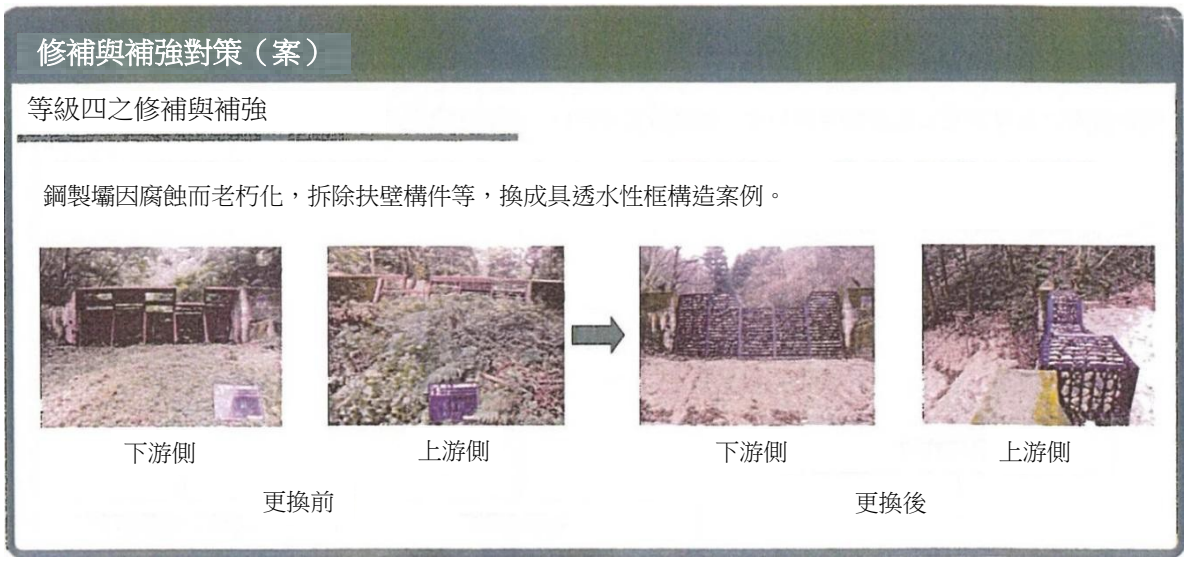


圖 7-6 鋼製治山設施修補與補強對策（案）
「鋼製治山設施腐蝕調查方法及對策（案）」日鐵住金建材股份公司



圖7-7支墩壩式節制壩之修補案例(主鋼材:除鏽作業後再塗裝，壁材:更換成新材)



圖7-8鋼製框固工之加厚、加高案例(壩高5m→8m)

第4項 木製構造物

木製治山構造物(治山壩)之修補、更新與改建(機能強化)選擇案例，如圖7-9所示。基本方法為更換構件(修補)，難以以更換整個構造物構件對應時，可更新既有埋設構造物。然後，須融入景觀等狀況時，可選擇加厚補強(改建)(明石等，2015)

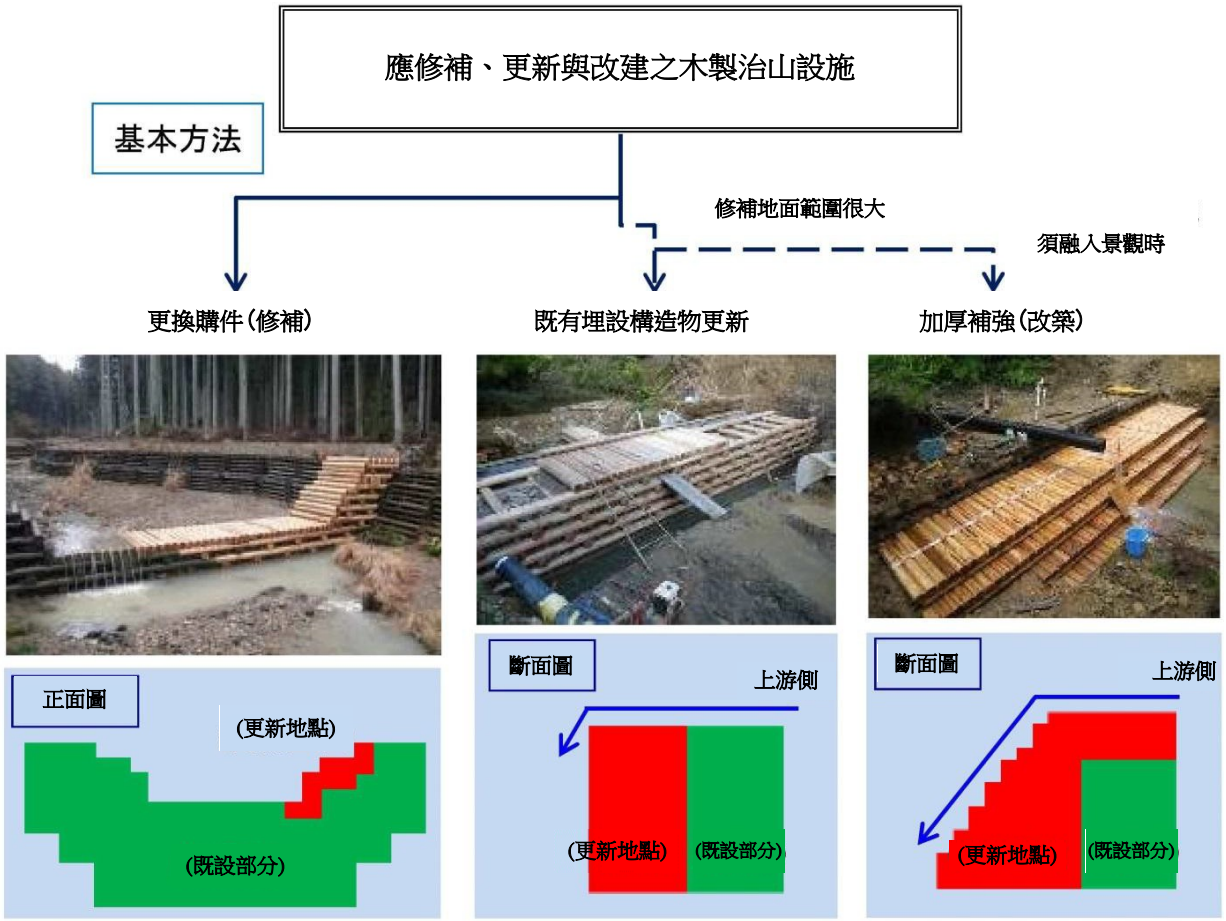


圖 7-9 木製治山壩之修補、更新與改建方法案例（明石等、2015 部分修改）



1. 紅線內為構件更換範圍



2. 木材構件、充填石材之拆除



3. 撤除完畢



4. 組裝、充填(充填石材可再利用)



5. 組裝、充填(充填石材可再利用)



6. 部件更換完畢

圖7-10 木製治山壩構件更換案例（檢討工法之試驗施工案例）

第2節　坡面工

土木領域已開發許多坡地對策相關設施之修補與補強工法。治山坡面工構造與坡地防災設施幾乎相同，因此可能可以準用，最好調查劣化與損傷原因，瞭解計畫之經濟性與施工性等，選擇最適當工法。

坡面對策工法於 NETIS（新技術資訊提供系統）登錄有修補、補強相關技術，且有施工實績之工法如下一覽表。

表 7-1坡面防災設施修補與補強對策工法一覽表（1）

坡面、斜面適當巡視檢查方法指引與修補、補強工法選定資料（一社）建設顧問協會近畿分會

整理組號	對策工法分類	對象構造物等	對象異狀	工法名稱	NETIS　編號	實績
A- 1	A：空洞充填	擋土牆工	裂隙、缺損	注入充填工法	KT-090052-A	有
A- 2	A：空洞充填	砂漿噴覆工	剝離、空隙	老朽砂漿修補補強工法	QS-990023-A	有
B- 1	B：邊坡補強土工	打椿背面邊坡	邊坡周邊地盤與構造物異狀	Radish Anchor工法(邊坡補強土工Rational Dilated Short Anchor)	KK-990020-A	有
B- 2	B：邊坡補強土工	擋土牆工	裂隙、沉陷	網狀鋼筋插入工(EP Root Pile工法)	KT-000007	有
B- 3	B：邊坡補強土工	挖方斜面構造物	強度不足	高強度防護網坡面安定工法(Power Net工法)	KT-080009-A	有
B- 4	B：邊坡補強土工	挖方斜面構造物	強度不足	蜘蛛巢網坡面補強工法	KT-020056-V	有
B- 5	B：邊坡補強土工	既設預鑄塊疊砌等	擋土牆異狀	前端擴大型補強材錨錠坡面補強工法	KT-990162-V	有
B- 6	B：邊坡補強土工	擋土牆、挖方坡面	老朽化之砌石與預鑄塊疊砌異狀	PAN WALL工法(陡坡坡面安定工法)	CB-980093-A	有
B- 7	B：邊坡補強土工	擋土牆、挖方坡面	老朽化之擋土牆、噴覆坡面異狀	ERP格框受壓板挖方補強土工法	CG-010007-V	有
C- 1	C：坡面格框工	坡面	表層崩塌	水泥砂漿土壤拌合物工法	CB-980023-V	有
D- 1	D：錨錠工	水泥砂漿噴覆、斜面格框、擋土牆等	崩塌與地滑、既設構造物之安定	EHD永久錨錠工法	KT-040039-V	有
D- 2	D：錨錠工	水泥砂漿噴覆、斜面格框、擋土牆等	地滑與陡坡崩塌對策、擋土牆與橋樑等的耐震補強	SEEE永久灌漿地錨工法鋼纜錨U型	KT-990309-V	有
D- 3	D：錨錠工	水泥砂漿噴覆、斜面格框、擋土牆等	地滑與陡坡崩塌對策、擋土牆與橋樑等的耐震補強	KTB、拉伸型SC錨錠工法	KT-990247-V	有
D- 4	D：錨錠工	水泥砂漿噴覆、斜面格框、擋土牆等	地滑與陡坡崩塌對策	荷重分散式支壓型灌漿地錨工法	CG-050001-V	有
D- 5	D：錨錠工	水泥砂漿噴覆、斜面格框、擋土牆補強	地滑與陡坡崩塌對策、擋土牆補強	NM灌漿地錨工法	CG-980012-A	有
D- 6	D：錨錠工	水泥砂漿噴覆、斜面格框、擋土牆等	地滑與陡坡崩塌對策、擋土牆補強	SSL永久錨錠工法	HR-990015-A	有
D- 7	D：錨錠工	水泥砂漿噴覆、斜面格框、擋土牆等	地滑與陡坡崩塌對策、擋土牆補強	RSL灌漿地錨工法	KT-030024-A	有
D- 8	D：錨錠工	水泥砂漿噴覆、斜面格框、擋土牆等	地滑與陡坡崩塌對策、擋土牆補強	超級錨錠(螺旋補強壓縮型永久錨錠)	KT-990314-A	有
D- 9	D：錨錠工	水泥砂漿噴覆、斜面格框、擋土牆等	地滑與陡坡崩塌對策、擋土牆補強	荷重分散型KTB永久錨錠工法	KT-990136-A	有
D- 10	D：錨錠工	水泥砂漿噴覆、斜面格框、擋土牆等	地滑與陡坡崩塌對策、擋土牆補強與連續擋土壁	SEEE永久灌漿地錨工法鋼纜錨A型	KT-990071-A	有

表 7-2坡坡防災設施修補與補強對策工法一覽表（2）

坡面、斜面適當巡視檢查方法之指引與修補、補強工法選定資料（一社）建設顧問協會近畿分會

整理組號	對策工法分類	對象構造物等	對象異狀	工法名稱	NETIS 編號	實績
D- 11	D：錨錠工	砂漿噴覆、坡面格框、擋土牆等	地滑、陡坡崩塌對策、擋土牆補強	KTB、剪應力束縮型Cms錨錠工法	TH-010005-A	有
D- 12	D：錨錠工	砂漿噴覆、坡面格框、擋土牆等	軟弱地盤	Balloon Body Anchor	QS-980069-A	有
D- 13	D：錨錠工(受壓板)	砂漿噴覆、坡面格框、擋土牆等	崩塌、地滑、既設構造物之安定	KTB超級框錨錠工法	KT-000115-V	有
D- 14	D：錨錠工(受壓板)	砂漿噴覆、坡面格框、擋土牆等	崩塌、地滑、既設構造物之安定	SEEE/KIT受壓板	QS-040016-V	有
D- 15	D：錨錠工(受壓板)	砂漿噴覆、坡面格框、	地滑、坡面保護	PUC受壓板工法	KT-010006-V	有
D- 16	D：錨錠工(受壓板)	砂漿噴覆、坡面格框、擋土牆等	地滑、陡坡崩塌對策	GET受壓板工法	CG-050001-V	有
D- 17	D：錨錠工(受壓板)	砂漿噴覆、坡面格框、擋土牆等	地滑、陡坡崩塌對策	ES工法	KT-040080-V	
D- 18	D：錨錠工(受壓板)	砂漿噴覆、坡面格框、擋土牆等	地滑、陡坡崩塌對策、擋土牆補強	適框(tiframe)工法	KT-980611-V	有
D - 19	D：錨錠工(受壓板)	砂漿噴覆、坡面格框、擋土牆等	地滑、陡坡崩塌對策、擋土牆補強	D&S錨錠工法	KT-070066-A	有
D- 20	D：錨錠工(受壓板)	砂漿噴覆、坡面格框、擋土牆等	地滑、陡坡崩塌對策、擋土牆補強	PC框工法	KT-990350-A	有
D- 21	D：錨錠工(受壓板)	砂漿噴覆、坡面格框、擋土牆等	地滑、陡坡崩塌對策	TFC受壓體工法	QS-090028-A	有
E- 1	E：斷面修復	擋土牆工	擋土牆異狀	無溶劑型果凍狀矽烷類表面含侵材	KT-070047-V	有
E- 2	E：斷面修復	混凝土構造物	混凝土構造物損傷	IPH系統內壓充填接合補強工法	CG-070007-A	有
E- 3	E：斷面修復	混凝土構造物	混凝土構造物劣化	奈米黏土工法	HK-090009-A	有
E- 4	E：斷面修復	混凝土構造物	混凝土構造物劣化	鹼・二氧化矽反應(ASR)鋰工法	KK-010026-A	有
H- 1	H：打樁工程	地樁背面邊坡	地樁周邊地盤與構造物異狀	小口徑打樁基礎補強材工法	CB-050045-A	有
H- 2	H：打樁工程	地樁背面邊坡	地樁周邊地盤與構造物異狀	ST小口徑鋼張力鋼管高壓噴射攪良體合成鋼管樁工法	HR-030012-V	有
H- 3	H：打樁工程	地樁背面邊坡	地樁周邊地盤與構造物異狀	前端鑽頭鋼管自走式迴轉壓入工法	KT-060020-A	有
I- 1	I：橫向排水工程	擋土牆、坡面格框、挖方坡面等	擋土牆、坡面格框、挖方坡面異狀	永久性排水補強管	KT-040081-A	有
I- 2	I：橫向排水工程	集水工	地滑	永久性橫向集水孔管	KK-030021-V	有

表 7-3坡地防災設施修補與補強對策工法一覽表（3）

坡面、斜面適當巡視檢查方法之指引與修補、補強工法選定資料（一社）建設顧問協會近畿分會

整理組號	對策工法分類	對象構造物等	對象異狀	工法名稱	NETIS 編號	實績
I-3	I：排水集水管工	集水工	地滑	ST集排水工法	HR-990020-V	有
I-4	I：排水集水管工	集水工	地滑	MT管之橫向集水管工法	SK-990017-V	有
J-1	J：裂隙修補	混凝土構造物	混凝土構造物裂隙	HP灌漿工法	TH-010011-A	有
J-2	J：裂隙修補	混凝土構造物	龜裂、裂縫	噴嘴型壓力調整注入工法	TH-110003-A	有
J-3	J：裂隙修補	混凝土構造物	裂縫、剝離	土木用外壁複合整修構體工法(C2)	TH-030013-A	有
J-4	J：裂隙修補	混凝土構造物	裂縫、剝離	高機能材料ADUANTAGE薄膜工法	KK-050004-A	有
J-5	J：裂隙修補	混凝土構造物	注入工	矽酸塩類含侵混凝土保護材	KT-080005-V	有
J-6	J：裂隙修補	混凝土構造物	纖維補強工	二方向芳族聚酰胺纖維布修補與補強工法	KT-070047-V	有
J-7	J：裂隙修補	混凝土構造物	注入工	橡膠管樹脂注入工法	QS-990009-V	有
P-1	P：植生工	坡面	侵蝕	侵蝕防止布工	QS-020022-V	有
P-2	P：植生工	坡面	表層崩塌	長纖維混入補強土一體工法	QS-000021-V	有
P-3	P：植生工	坡面	表層崩塌	多功能濾網	CG-980018-V	有
P-4	P：植生工	坡面	表層崩塌	防止侵蝕墊BONTERA	TH-990064-V	有
P-5	P：植生工	坡面	表層崩塌	自生種恢復綠化工法	CG-080004-V	有
P-6	P：植生工	坡面	表層崩塌	環境復原綠化工法(循環噴覆)	HK-090013-A	有
P-7	P：植生工	坡面	表層崩塌	補強短纖維植生基盤噴覆工法(地盤改良綠色工法)	KT-040082-A	有
P-8	P：植生工	種子噴覆工、厚層基材噴覆工等	植物生長不足、裸露地化	地工纖維工法	KT-980183-V	有
P-9	P：植生工	種子噴覆工、厚層基材噴覆工等	植物生長不足、裸露地化	EMN 厚層基材噴覆工	QS-020013-V	有
P-10	P：植生工	種子噴覆工、厚層基材噴覆工等	植物生長不足、裸露地化	生物多接觸種子噴覆工	HK-060010-A	有
P-11	P：植生工	坡面	植生枯萎	動物食害防護網工法	CB-110023-A	有

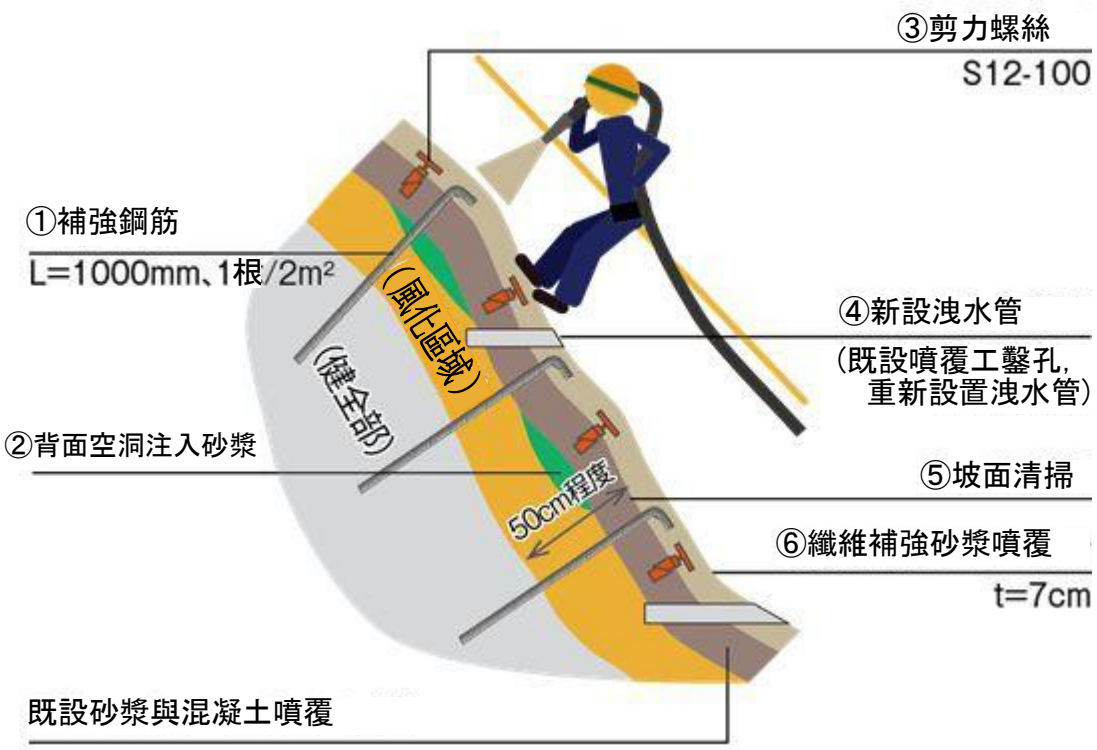
表 7-4坡地防災設施修補與補強對策工法一覽表（４）

坡面、斜面適當巡視檢查方法之指引與修補、補強工法選定資料（一社）建設顧問協會近畿分會

整理組號	對策工法分類	對象構造物等	對象異狀	工法名稱	NETIS 編號	實績
M-1	M：石籠工	坡面	表層崩塌、擋土牆異狀	KS-PACKAGE(KS-嵌板方箱石籠)	KT-000040-V	有
噴-1	其他 （噴覆工）	坡面	表層崩塌	長距離高揚程材料壓送工法(UNIRAP)	KT-980565-V	有
噴-2	其他 （噴覆工）	砂漿、混凝土噴覆工	裂縫、剝離	岩盤接著工法(Just shot)	KK-050074-A	有
噴-3	其他 （噴覆工）	砂漿、混凝土噴覆工	剝離、空隙	坡面砂漿補強用聚乙烯纖維	CG-070010-V	
噴-4	其他 （噴覆工）	砂漿、混凝土噴覆工	裂縫、剝離	ReSP工法(水泥砂漿噴覆工養護工法)	KT-980212-V	有
噴-5	其他 （噴覆工）	砂漿、混凝土噴覆工	裂縫、剝離	新ReSP工法	QS-110014-A	有
噴-6	其他 （噴覆工）	砂漿、混凝土噴覆工	裂縫、剝離	纖維格柵坡面補強工	HR-060032-A	有
落-1	其他 （落石防護網裝置工）	落石防護網	落石防護網之修補、修復	RC防護網工法	HR-990117-A	有
落-2	其他 （落石防護網裝置工）	擋土牆工	落石防護網之修補、修復	NETONE(高能量吸收型落石防護網工)	HR-070004-A	有
落-3	其他 （落石防護網裝置工）	擋土牆工	擋土牆異狀	QK WALL工法(崩塌土砂防護補強土壁)	CB-090036-A	有
他-1	其他 （地盤改良工）	擋土牆工	裂隙、沉陷	滲透式耐久灌漿材「Grand ACE」	CB-060026-A	有
他-2	其他 （地表排水工）	混凝土構造物	混凝土構造物裂隙	FE工法(非破壞修補工法)	QS-060007-A	有
他-3	其他 （埋設型框工）	擋土牆、噴覆坡面工等	老朽化擋土牆、噴覆坡面工異狀	DECOMESH工法(飾面永久性模板工)	KT-070100-V	有
他-4	其他 （預鑄塊擋土牆工）	擋土牆、預鑄塊疊砌	擋土牆異狀	地錨嵌壁工法	CB-990007-A	有
他-5	其他 （混凝土擋土牆工）	擋土牆、預鑄塊疊砌	擋土牆異狀	自立式垂直擋土牆工法(ASW工法)	CB-030033-A	有

（1） 加厚噴覆工之案例：混凝土噴覆坡面補強工法（NETIS 登錄編號 QS-110014-V 設計比較對象技術）

混凝土噴覆坡面補強工法不需針對既設之噴覆混凝土實施鑿削，只需搭配幾種重要技術即可有效補強既設之噴覆坡面。



【特徵】

- 不需實施既設噴覆混凝土鑿削作業，或風化邊坡整形作業時，只用簡易防護柵即可完成施工
- 可配合風化的不同邊坡區域，選擇不同的對策實施模式。
- 噴覆玻璃纖維強化水泥可讓實施對策對象之坡面恢復高護坡性能
- 纖維補強砂漿噴覆所使用之纖維係為噴覆專業用途所開發之纖維“BC 纖維”。砂漿中添加 1vol% BC 纖維，可提高韌性，防止裂縫擴大，提高剝落防止性能。
- 玻璃纖維強化水泥可用一般濕式噴覆方式施工

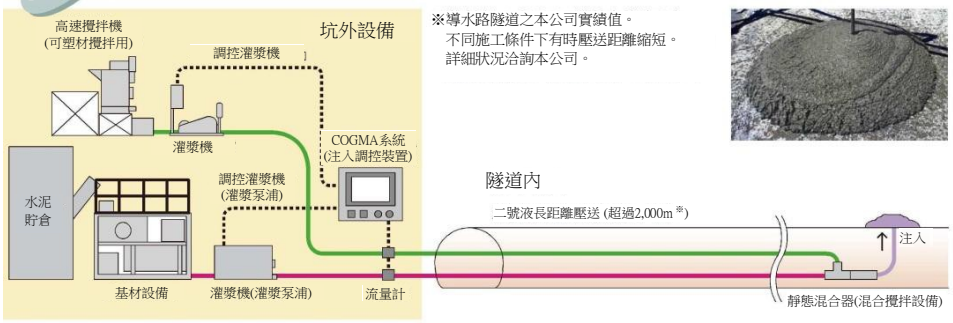
【施工實績】110 件（2015.3）

（2） 空洞充填工法之案例：「完美灌漿」注入工法（NETIS 登錄編號 KT-090052-V）

完美灌漿注入工法係搭配使用砂漿充填材「完美灌漿」與注入調控裝置「COGMA 系統」的空洞與空隙充填工法，可配合構造物與基礎地盤之空洞與空隙、施工條件及環境，適當地充填工法。



■施工系統案例



【特徵】

- **具可塑性**
- **具有優異之水中不分離性**
- **具有優異的非收縮性**
- **可配製成不同的灌漿材**
  1 號（長距離配方），2 號（輕量配方），3 號（高強度配方），4 號（加氣砂漿配方）。也可進行特殊配方之對應

【施工實績】101 件（2012.3）

（3） 裂隙修補工法案例：纖維布補強工法

纖維布補強工法係以含浸接著樹脂將纖維布接著在既設的混凝土構建下面或側面，同時以含浸接著樹脂結合纖維間、形成玻璃纖維強化塑膠（FRP）而取得與增加鋼筋量相同效果之工法。

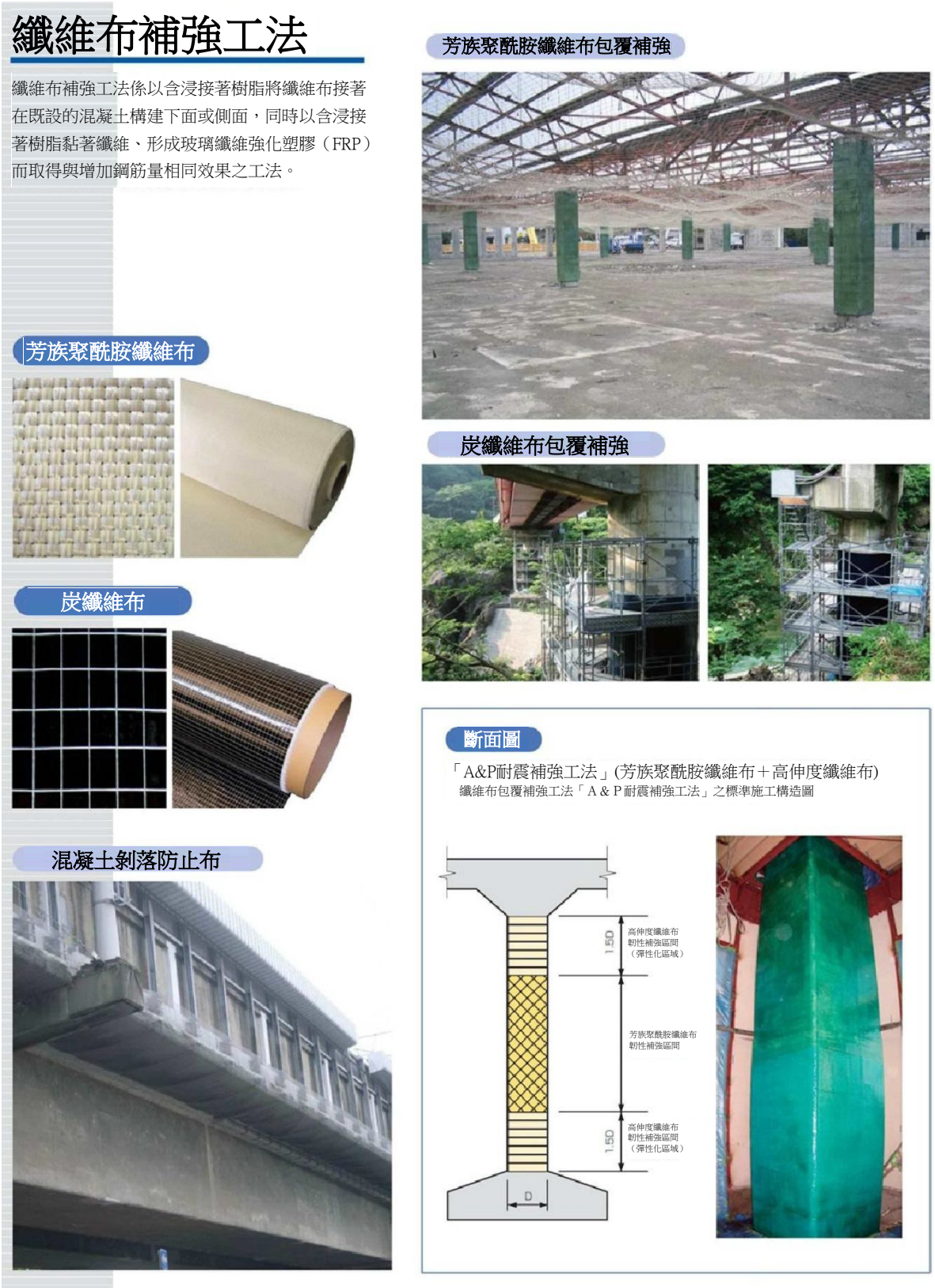


圖 7-11 纖維布補強之案例（前田工纖（股）資料 引自「災害應急復舊對策用工法暨資材」）

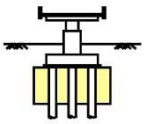
（4） 地盤改良工法案例：GRANDACE（滲透性耐久灌漿材）（NETIS 登錄編號 CB-060026-A）

GRANDACE　港灣設施之復舊（土壤液化對策）⇒ 滲透性耐久灌漿材

具優異耐久性與滲透性之灌漿材。與傳統水玻璃類不同的無機類、懸濁型灌漿材，注入後與地盤成分反應而固化，不破壞現況地盤而補強地盤。特別是適用於強化液態化之地盤。具有優異的材料調和性、作業性及注入施工性，且材料之中的六價鉻未達檢出之臨界值。

概要圖

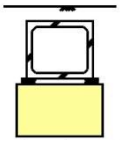
NETIS編號：CB-060026-A



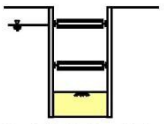
橋腳耐震補強



既有筒槽基礎地盤補強



箱涵基礎補強



立椿底盤之改良

特徵

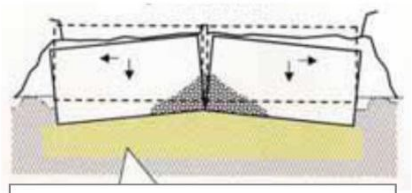
- 高耐久性
- 優異的滲透性
- 安定的壓縮強度
- 環境適合性
- 可攜式設備

用途

- 橋腳、筒槽、房屋箱涵等基礎強化
- 港灣與河川護岸強化
- 應具有耐久性的止水設施
- 防止土壤液化

新潟中越地震復舊案例：國道８號線　箱涵下部土壤液化防止工程

工法：二重管管井過濾工法複相型　　對象土質：細砂～中砂　　改良範圍：GL－1.0～ －6.5m

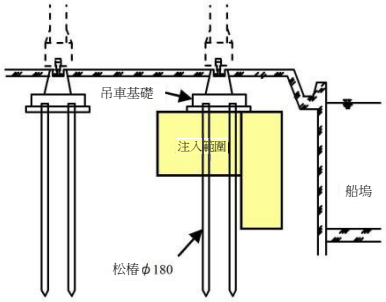


震災之後，發現土壤液化造成土壤不均勻沉陷、側向移動、接縫擴大等現象，因此以 GRANEACE 實施地盤改良。



修補案例：船塢、吊車基礎地盤對策工程　護岸背面地盤吸出引致基礎地盤沉陷對策

工法：二重管管井過濾工法複相型　　對象土質：細砂　　改良範圍：GL－1.6～ －11m





東日本大地震報告⑥　～復舊案例～

地點：茨城縣臨海部　施工：2011年5月

狀況：土壤液化引致土壤側向流動，出現護岸凸出與構造物基礎沉陷，因此實施地盤改良。

工法：二重管管井過濾工法複相型

對象土質：細砂　　改良範圍：GL－0.5～ －2.5m

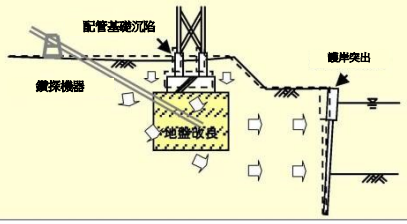




圖 7-12 以耐滲透灌漿材改良地盤案例（引自三井化學產資料（股）「災害復舊與防災資料」）

第8章　對策手法之構想及其分類

治山設施延年對策手法，因劣化與損傷形態有不同種類，可依據對策之種類（修補、機能強化、更新）與構造（材質）分類如下。

表 8-1 治山設施延年對策手法之分類

構造（材料）	延年化對策之種類			
	修補		機能強化（主要為溪間工）	更新（新設）
混凝土	裂縫對策	表面被覆工法	・加厚（下游坡面、上游坡面） ・加高 ・淘刷對策（設置坡腳強化工、副壩、護坦）	・在既設構造物相同位置重新設置 ・在既設構造物下游側重新設置 ・以相同材料實施更新 ・以不同材料實施更新
		裂隙修補工法		
		斷面修補工法		
	內部劣化對策	灌漿 等		
	磨損對策	巨石舖面工		
		多灰混凝土 等		
	漏水對策	灌漿等		
	接縫修補	地盤改良工法 等		
鋼製	腐蝕對策	除鏽、重新塗裝		
	變形、破損、腐蝕、磨損對策	構件之修補與更換		
		充填材之充填		
木製	變形、破損、腐蝕、磨損對策	構件更換		
		充填材充填		

以下說明各種構造（材質）及劣化損傷形態對策方法的選定流程與構想。

第1節　溪間工與擋土工（混凝土）

混凝土溪間工與擋土工之修補主要應用於壩體裂縫對策、漏水對策、溢洪道頂端磨損對策。

第1項　修補

（1）裂縫與剝離修補

發生裂縫與剝離時選定修補工法的流程如下。

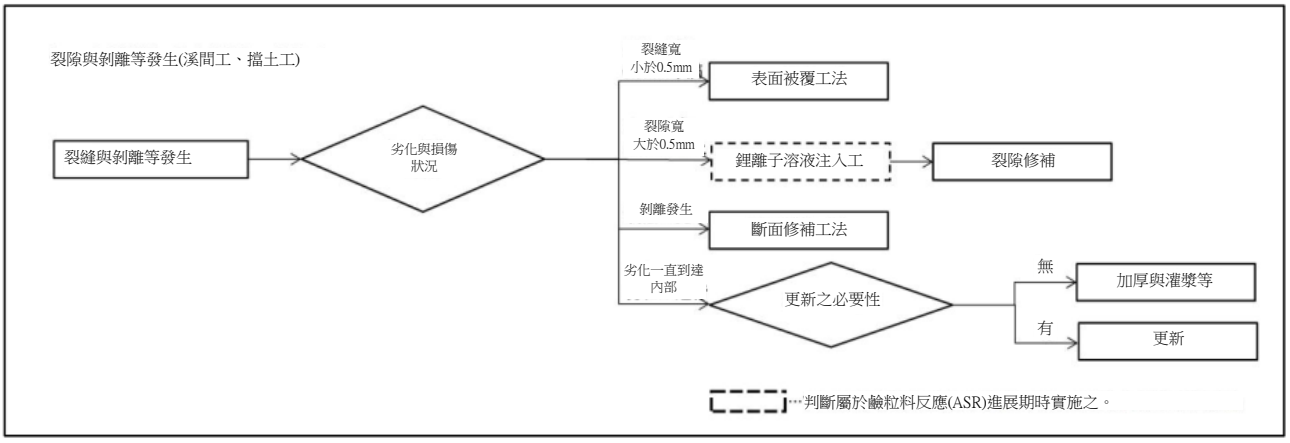


圖 8-1 混凝土構造物（溪間工與擋土工）裂隙與剝離發生時的對策工法選定流程

（i）表面被覆工法

出現大範圍輕度裂隙（龜裂寬小於 0.5mm ）時，以水泥砂漿或環氧類樹脂被覆表面。

（ii）裂隙修補

裂隙之龜裂寬度大於0.5mm 時，可針對每條裂隙實施壓入修補材等的對策。

（iii）斷面修復工法

裂隙擴大可能發生剝離等現象，若出現斷面缺損應修復斷面。1960 年代之前完工的治山設施（特別是溪間工）多使用河川塊石混凝土，剝離之後內部構材可能脫落，應儘早修復斷面或加厚。

（iv）加厚、灌漿

裂隙與剝離持續進行連構造物內部都開始劣化時，很難只靠裂隙修補與斷面修補解決問題，此時有必要實施加厚或壩體灌漿。

（v）其他

抑制鹼粒料反應進行，可壓入亞硝酸鋰水溶液等。若能找出裂縫產生原因，也可使用特別針對該原因的修補方法。

（2）漏水對策

漏水發生時修補工法之選定流程如下。

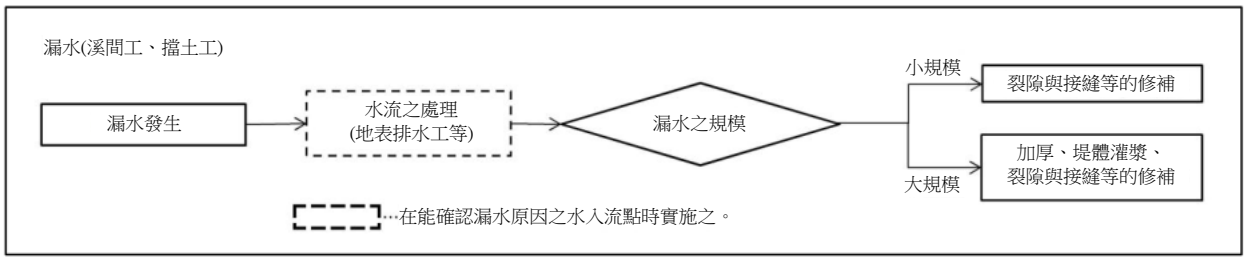


圖 8-2 混凝土構造物（溪間工與擋土工）漏水時的修補工法選定流程

漏水多因裂隙貫穿或接縫敞開而發生，置之不理可能造成凍害或更嚴重的 ASR。因此應實施裂隙與接縫修補，進行止水。若漏水規模太大，應實施加厚或灌漿等對策。此外，若能找出漏水原因之水侵入地點，應排水、鋪設排水水渠或追加施作洩水孔等。

堤體明顯損傷而以下游側坡面加厚的方式進行修復時，應特別注意水的處理。



圖 8-3 2008年岩手與宮城內陸地震時以節制壩加厚實施之災害復舊案例
（引自治山Vol.58 ,No.8　2014）

（3）接縫部位之修補

接縫部位開裂修補工法之選定流程如下。

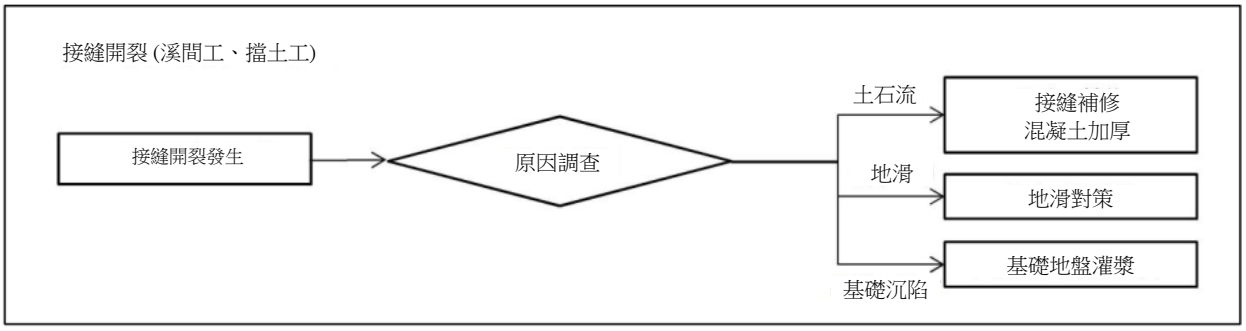


圖 8-4　混凝土構造物（溪間工、擋土工）接縫部位開裂修補工法之選定流程

接縫開裂多因土石流衝擊或地滑之側壓等外力，或基礎不均勻沉陷（沉降）所致。因此，不可只修補接縫裂開部位，還須針對原因（外力或基礎沉陷）進行對應。

此外，基礎不均勻沉陷引致接縫開裂之對策，可以滲透性耐久灌漿材等進行改良地盤，但小規模擋土工等，進行工程更新（重新設置或改用鋼製框等材料）有時較便宜，因此應選擇較具經濟性的工法。

（4）溢洪道頂端之磨損對策

溢洪道頂端磨損修補工法之選定流程如下。

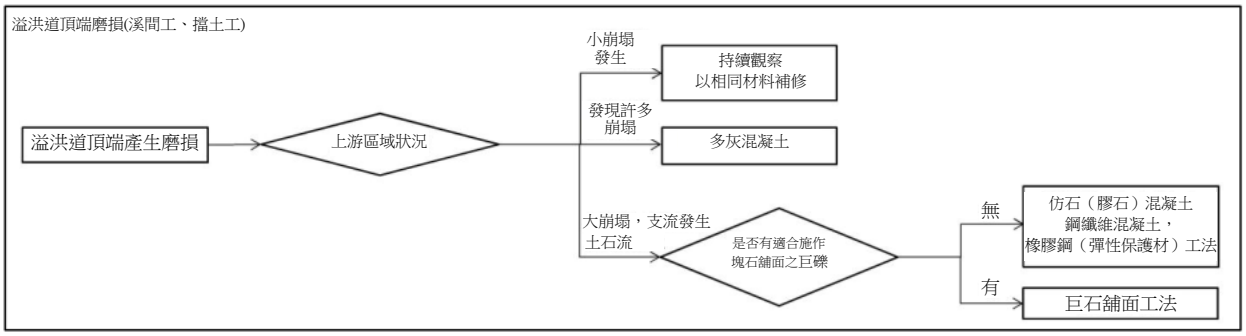


圖 8-5　混凝土構造物（溪間工）溢洪道頂端磨損修補工法選定流程

溪間工溢洪道頂端磨損，右靜岡縣大井川流域或石川縣手取川流域等，在上游土砂生產或流出活躍流域為多。靜岡縣大井川流域雖由大井川治山中心實施巨石鋪面磨損對策，但若現場無法取得適合施作塊石鋪面的大直徑（50~80cm）塊石，施工性與經濟性就會降低，因此能適用之地點有限。

混凝土磨損修補工法除了恢復原狀（以普通混凝土修補）之外，很多情況是施作多灰混凝土或橡膠鋼工法等高強度材料替換作業。

○溢洪道頂端磨損時的修補工法（以高強度材料更換設備）

- 巨石鋪面工（塊石直徑50～80cm）
  →治山工程常使用之工法，有助於縮減LCC（生命週期成本）。但只限工程現場有符合要求直徑之巨石及四角石塊疊砌作業熟練技術人員，才能使用這種工法。
- 鋼板鋪設工
  →多應用於大滾石流下之溪流，近年來施工案例較少。
- 多灰混凝土（單位水泥量約500kg/m^3（為一般混凝土的1.7 倍左右））
  →治山工程常使用。具有優異的經濟與施工性。
- 仿石（膠石）混凝土（以粗礫料為主體之超硬砂漿混凝土）
  →防砂工程常使用。雖具高強度，但施工性有相當的難度。
- 鋼纖維混凝土（價格高但具有優異的耐磨損性與施工性。）
- 橡膠鋼工法（價格高，但具有最優異之耐磨損性。）

上述工法之磨損速度的研究成果很多，因此，最好從初期費用與推估磨損速度的角度來比較普通混凝土施工及 LCC 施工之差別，並考量施工性而選擇具最大優點之工法。

＜巨石鋪面之頂端磨損對策案例＞

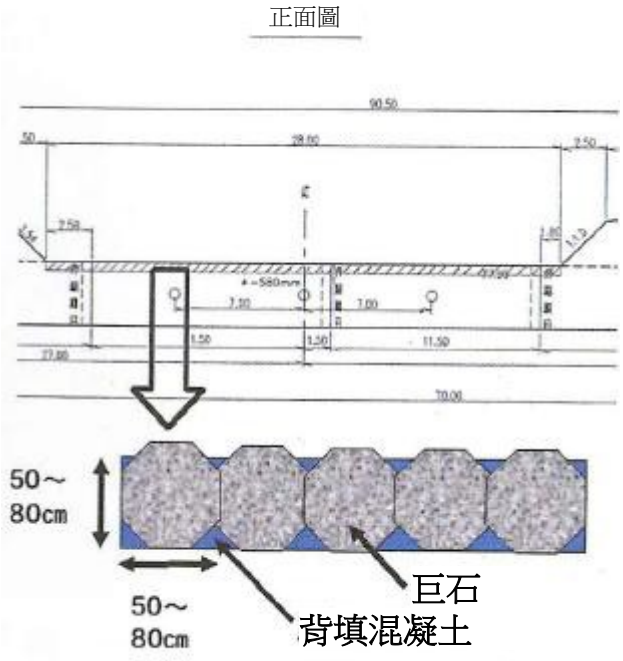


圖2　巨石漿砌鋪石溢洪道橫斷面標準圖



圖 8-6　巨石施築之漿砌石溢洪道（大井川治山中心） 治山_2008.11（Vol.53 No.7）

第2項　機能強化

機能強化主要是因應上游區域若發生新的崩塌而出現比預估更強大之外力作用在設施上時，強化機能及性能所實施之加厚、加高、施築坡腳強化工與副壩等。此外，機能強化的場合幾乎都在溪間工，坡面工劣化或損傷的場合，幾乎都以恢復現狀（修補或更新），很少進行機能強化。

（1）加厚

溪間工斷面明顯缺損或現行基準無法確保安全性（現行基準尚未整合）之設施，必要時應一併施作加高工程或坡腳強化工程。加高厚度從施工性等的角度來看，一般多加高 1.0～1.5m 左右。

【接縫的處理】

實施加厚得先進行表面碎化等接縫部分表面處理，提高新澆置混凝土與舊壩體之黏結力。但表面碎化各設計手冊有不同的處理深度與凹凸處理密度等目標值，實務界做法尚未統一。另一方面，近年來有人開發出以纖維聚合類接著劑取代碎化工程的接著方法。

（2）加高

上游區域發生崩塌等出現比最初預估還強大外力作用在設施上時，工程費用比新設溪間工還便宜或無適當地點新設溪間工，就必須加高。實務上幾乎為了解決現行基準尚未整合的問題，都同時進行加厚。

加高高度一般為 2m左右為多。

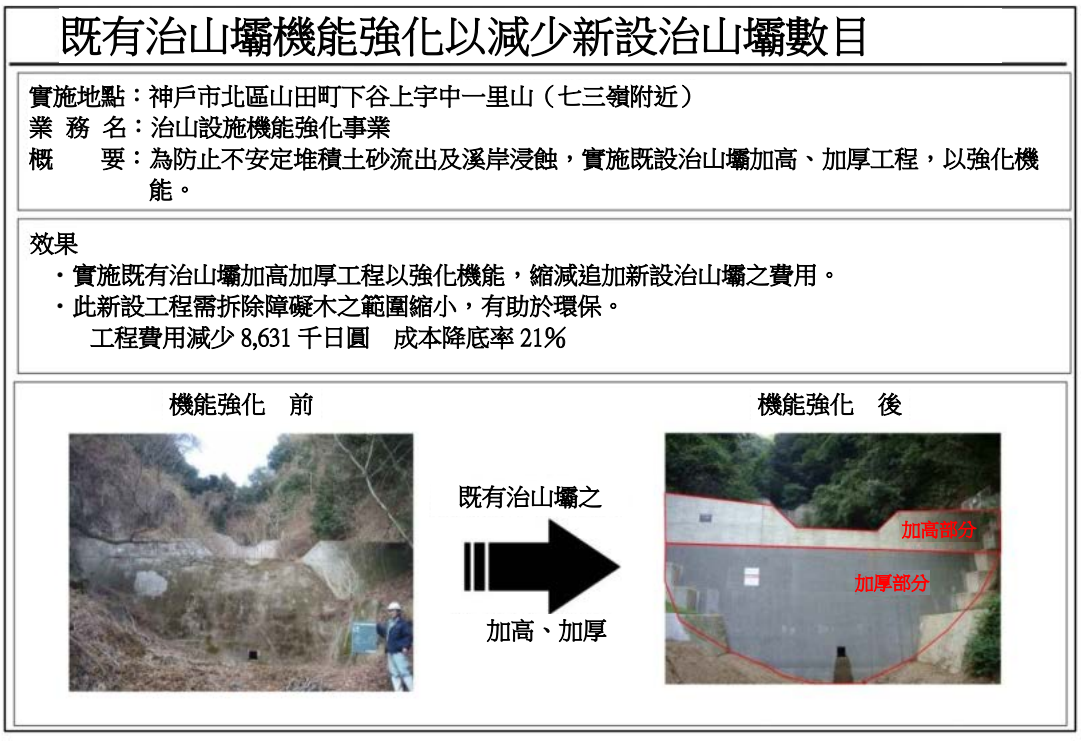


圖 8-7 兵庫縣六甲治山事務所之加厚、加高實施案例（引自兵庫縣HP）

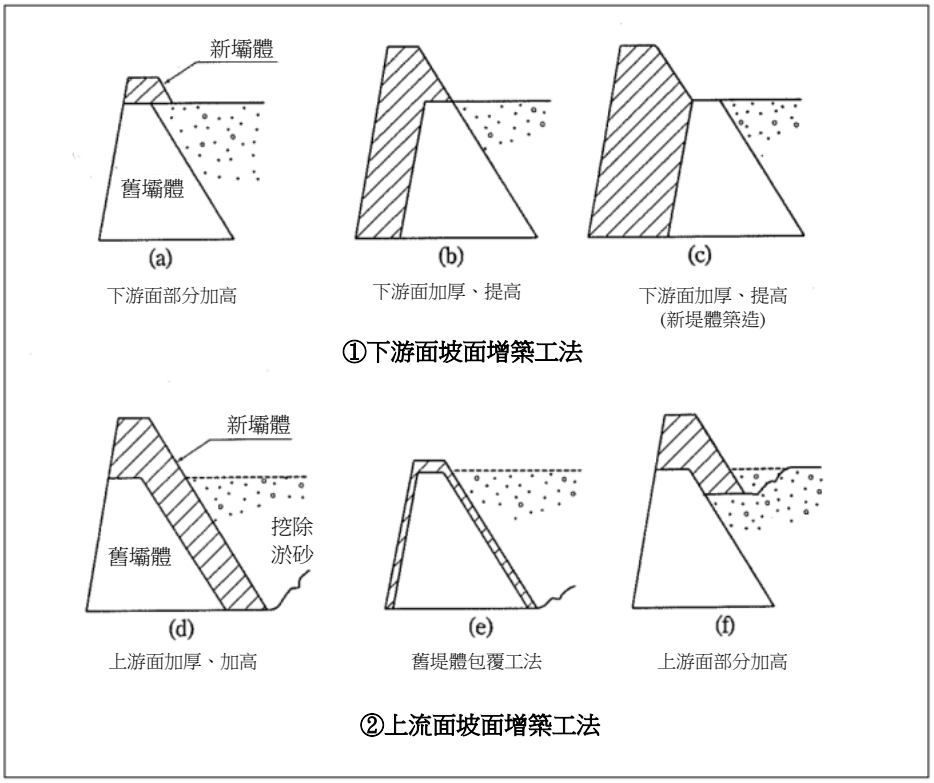
【壩體加高工法之分類】

壩體加高工法如圖 3-7 所示，大致分為①下游面坡面施築工法與②上游面坡面增築工法。二工法之特徵如下。

此外，下列內容係參考「砂防設施設計要領（案）」2004 年3 月（國土交通省 中部地方整備局）及「砂防設計指引」2008 年3 月（愛知縣建設部）。

③ 下游面坡面增築工法可讓壩體背後淤砂區域維持現狀，只實施簡易導水路改道即可，相當方便。但主應力方向與接縫同向，應力並非最佳。

④ 上游面坡面增築工法施工須先挖除堤體背後囚砂區之淤積土砂（施工所需範圍），且須實施導流工，確保施工地點為可施工狀態。應力方面因主應力方向與接縫方向直交，施作下游面坡面加厚工法較有別。



上圖之（a）及（f）部分加高工法**係以舊壩體承受加高所增加作用荷重之構造。**因此，採用這種增築型式**須以舊壩體處於健全狀態為前提。**（b）、（c）、（d）工法則是舊壩體並非處於健全狀態時，同時實施補強對策之加高工法。

圖 8-8　壩體加高工法之種類

（3）淘刷對策（坡腳強化工、副壩（護坦）之設置）

溪間工基礎部淘刷發生之對策工法選定流程如下。

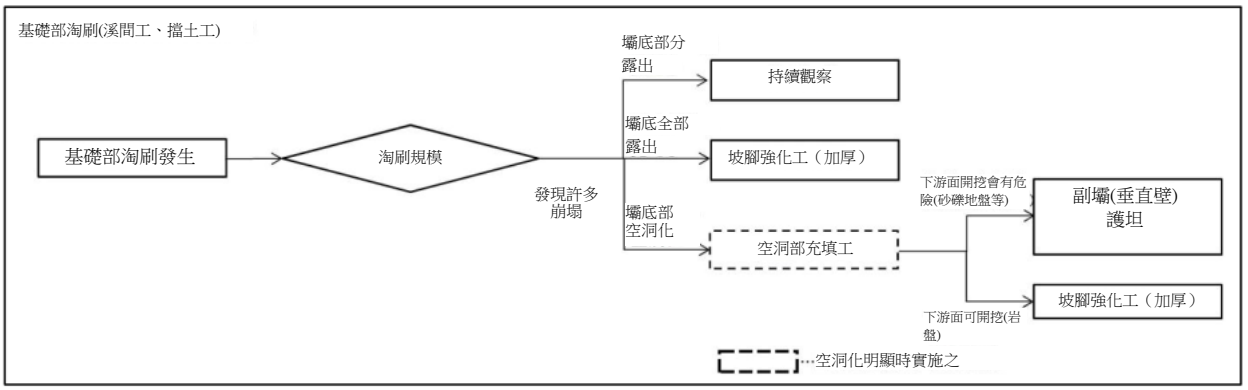


圖 8-9 混凝土構造物（溪間工）基礎部淘刷發生之對策工法選定流程

溪間工基礎部淘刷大多數案例為損傷形態，因此很多施作強化機能之坡腳強化工。但一般並非單獨施作坡腳強化工，在現行基準尚未整合狀況下，一併施作前述加厚與加高工程。

坡腳強化工實施多依據「治山必攜」等所刊載下列基準，坡腳強化工寬度以1.0～1.5m，主壩增築高度以0.5m為多。

（c） 施築前壩作為坡腳強化工
(淘刷明顯且溪床嚴重降低、主壩處於非常危險狀態時)

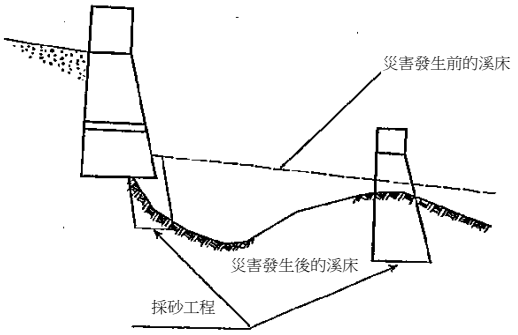


圖 8-10 坡腳強化工與副壩之施工構想「2007 治山必攜（災害編）摘要」

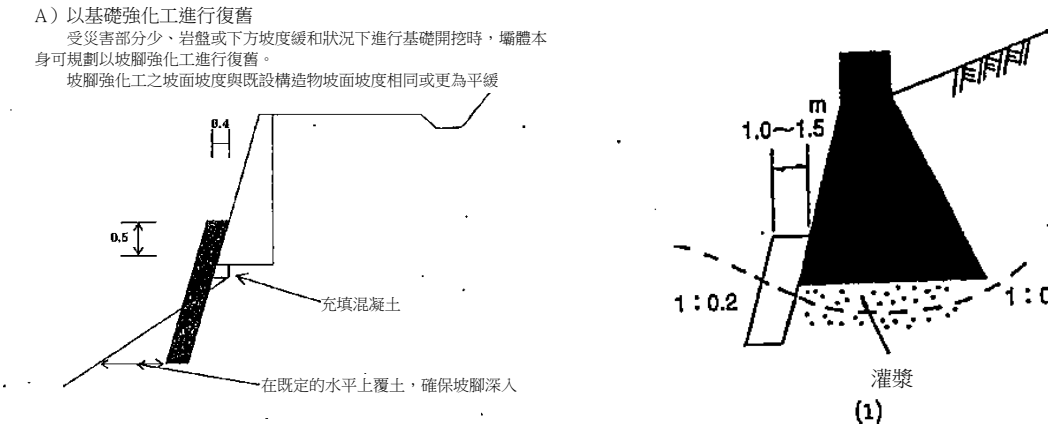


圖 8-11　坡腳強化工之基準值

（左：岐阜縣林道設計指引（災害編）2012 年度版 林政部森林整備課）

右：公共土木設施「災害復舊技術講習教材」（2005年6 月 社團法人全國防災協會））

＜淘刷對策之案例＞

- 工程名稱：預防治山事業
- 施工地點 ：千葉縣君津市大野台地區
- 施工年度：2005 年～2007 年（2007 年追加實施森林整備，推動奧地保安林保全緊急對策事業）
- 工程費用 ：87,300,000日元
- 主要工程種類：節制壩工（護坦工）7 座、木製流路工 353.1m
- 內容：本地區為抑止土砂流出與固定溪岸坡腳而於1972～1973 年度施作節制壩工，但多年來因為受到水流侵蝕，垂直壁下游端部被淘刷產生空洞，壩體及護坦部分受損。因此，除了在壩體下部實施混凝土充填並施作新的護坦工之外，同時施作防止溪岸侵蝕的流路工。流路工在溪流常流水少、不太會浸水引致局部腐朽，且在利用縣產間伐材及維護景觀的考量下，決定施作原木構築之木製流路工。此外，流路工上段栽種欅木與夜叉立倍子，希望未來以植生安定溪岸。



施工前



施工後

圖 8-12　淘刷對策實施案例（千葉縣君津市大野台地區） 治山_2007.10（Vol.52 No.6）

第3項　更新

土石流等外力而造成構造物整體嚴重損傷等情況，可在比修補或其他既有設施機能強化使用經費更少時實施之。

第2節　溪間工、擋土工、落石防護柵工（鋼製）

第1項　修補

鋼製構造物發生腐蝕之修補工法選定流程如下。

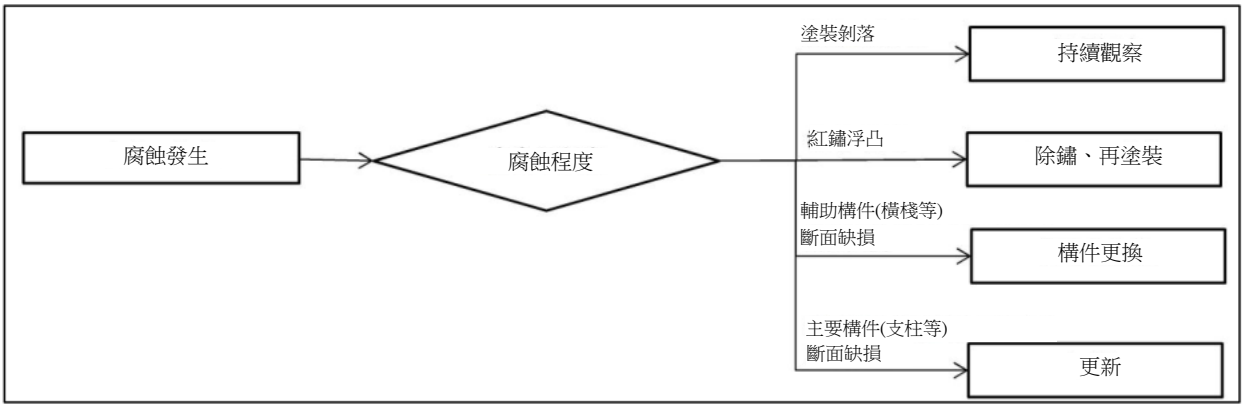


圖 8-13 鋼製構造物（溪間工、擋土工、落石防護柵工）腐蝕之對策工法分類

(1) 除鏽、再塗裝

產生紅鏽、塗裝剝落時應進行除鏽（刮除鏽蝕，進行鑿毛等質地調整），然後重新塗裝。除鏽之等級分類如下，橋樑與船舶等需重度防蝕，屬第一種（須搭配實施粉塵對策），鐵塔等鋼骨構造物屬於第二種，一般住宅修補通常實施第三種。

表 8-2　質地調整之程度（參照「鋼道路橋塗裝暨防蝕便覽」）

質地調整程度	鏽蝕面積	塗膜異常面積	作業內容	作業方法
第1種	-	-	除去鏽蝕與舊塗膜，使鋼材亮面裸露。	噴砂法（珠擊法）
第2種	大於30%	-	除去鏽蝕與舊塗裝，使鋼材亮面裸露。 但鏽蝕面積小於30%舊塗膜為B、b塗裝類時，可留下底漆或富鋅漆，其他舊塗膜則全部除去。	並用水泥地面磨平機、砂輪等電動工具與手工具以及噴砂法
第3種A	15%～30%	大於30%	留下活膜，除去之外的不良部分（生鏽、破裂、膨漲）。	同上
第3種B	5%～15%	15%～30%	同上	同上
第3種C	小於5%	5%～15%	同上	同上
第4種	-	小於5%	除去粉化物與髒污等	同上

此外，近年來有些廠商開發出具防鏽效能之防蝕塗料，因此也可省略除鏽作業（圖 8-14）。但這種塗料比一般塗料貴，因此應先比較與除鏽＋再塗裝之成本，再做選擇。



圖8-14 防蝕塗料（商品名：Sabi-Killer-PRO）之塗裝案例（引自股份公司BAN-ZI HP）

(2) 更換構件

腐蝕惡化後可能造成構件斷面缺損，若價格比再塗裝便宜，可實施構件更換。但支墩式治山壩等背面土砂淤積時，會有須先移動土砂才能施工等的困難。此時可在下游側施作鋼管壁，採取二重管構造等對策。

第2項　機能強化

鋼製構造物實施案例較少，但如ｐ.138 所示，可針對框構造之溪間工或擋土工實施加厚與加高工程。

第3項　更新

構造物整體嚴重腐蝕或非預期之土石流、落石等造成機能嚴重受損時，可在比修補還省經費的情況下實施之。

鋼製構造物承受土石流等外力作用常造成整個構造受損，因此與其修補，大多選擇更新。

第3節　溪間工與擋土工（木製）

第1項　修補（更換構件）

木製構造物修補幾乎都更換構件。和其他材料相比強度較差、容易腐朽，木製構造物更換頻率較高。最好一開始就設計構件容易更換之構造。

第2項　機能強化

木製構造物幾乎無實施機能強化之案例，鋼製構造物之溪間工與擋土工則可實施加厚或加高工程。

第3項　更新

鋼製構造物整體嚴重腐蝕，或因非預期之土石流、落石等致機能嚴重受損時，可在比修補還省經費的情況下實施之。

第4節　坡面格框工

坡面格框工之劣化、破損原因與對應方法如下。

劣化或破損主要原因有地滑活動、外力等引致物理作用與風化等化學作用等三類。各種具體原因之對策如下。

表 8-3 坡面格框工劣化、破損原因與對應方針

坡面防災對策技術協會（未定稿）：坡面對策工維持管理實施要領，第7 章第11 節

原因	說明	對應方針
地滑活動	坡面格框工設計對象之坡面變動或地滑活動引致坡面格框或錨錠工產生之變形超過容許值時，坡面格框與錨錠工會產生劣化或破損。	＜未達容許應力之變形：分級１＞ ・正常、不須對應 ＜超過容許應力＆小於破壞應力：分級２＞ ・坡面格框修補 ・錨錠工之荷重除荷 ・錨錠工追加施工 ・追加其他地滑對策工 ＜超過或破壞應力：分級３＞ ・坡面格框修補 ・錨錠工追加施工 ・追加其他地滑對策工
外力等所引致之物理性作用	部分崩塌或地盤變形所引致坡面格框變形或破損	・坡面格框修補 ・錨錠工追加施工
	發生部分崩塌或地盤變形引致錨錠工超過荷重或破損	・錨錠工追加施工 ・錨錠工之荷重除荷
	坡面格框工裏面淘刷造成空洞化	・背面空洞充填 ・追加實施背面地下水與表層水之排水處理
	凍害引致坡面格框劣化或格框表面化剝離	・坡面格框修補
	乾燥收縮等伴隨產生之坡面格框龜裂	・坡面格框修補
	地震等引致錨錠頭部破損	・錨錠工頭部修補
	蜂窩、冷縫、內部缺陷(空洞等)所引致坡面格框機能不全	・坡面格框修補
風化等化學性作用	溫泉地帶等的坡面格框劣化	＜施工前＞ ・使用高耐力混凝土等 ＜施工後＞ ・修補坡面格框
	中性化、鹽害、化學性腐蝕等所造成坡面格框長期劣化(老朽化)	＜施工前＞ ・使用高耐力混凝土等 ＜施工後＞ ・修補坡面格框
	錨錠材與錨錠體劣化	＜施工前＞ ・採用高耐候性錨錠材 ＜施工後＞ ・定期實施頭部維修(上油等) ・錨錠工改用高耐候性錨錠

選定異狀對策工應充分考量異狀現象、異狀原因與環境條件等，有效率地擬定計畫。基於異狀現象而選定對策工之標準構想如下。

表 8-4 坡面格框工異狀現象對策工法

坡面防災對策技術協會（未定稿）：坡面對策工維持管理實施要領，第7 章第11 節

異狀現象	對策工法	選定條件
坡面格框品質降低	使用高耐力混凝土等	・位於冷暖差劇烈地點時 ・鹽害等環境負荷很大時
	坡面格框之修補與補強	・坡面格框本身嚴重劣化時
錨錠工或插筋工程品質降低	採用高耐候性錨錠材	・設置之地點環境負荷較大時
	定期頭部維修(上油等)	・一般錨錠常有頭部水密性不足問題，因此使用期間內須定期維修
	更換成為高耐候性錨錠	・鹽害等環境負荷較大時
坡面格框機能降低	背面空洞充填	・背面發生空洞化時
	背面追加實施地下水與表層水排水處理	・背面確認產生大量地下水或地表水時
	坡面格框修補與補強	・確認坡面格框變形或劣化時
	追加施作錨錠工或插筋工程	・坡面格框嚴重變形或龜裂時
	追加施作其他地滑對策工	其他方法無法恢復機能時，檢討追加施作其他的地滑對策工
錨錠工或插筋工程機能降低	追加施作錨錠工或插筋工程	・部分崩塌或地盤變形引致破損或超過錨錠之荷重 ・地滑位移等造成錨錠工或插筋工程破裂時
	錨錠之荷重除荷	・超過荷重時
	坡面格框修補與補強	・坡面格框變形或劣化時
	錨錠頭部修補	・頭部破損或劣化時
	追加施作其他地滑對策工	其他方法無法恢復機能時，檢討追加施作其他的地滑對策工

第5節　噴漿工

噴漿工劣化及破損原因主要有以下三個項目。

噴漿工係讓噴覆之砂漿緊密黏著坡面、發揮性能之構造物，因此，以二者界面劣化為原因進行分類。

表 8-5　砂漿坡面劣化、破損原因及其對應

坡面防災對策技術協會（未定稿）：坡面對策工維持管理實施要領，第7 章第12 節

原因劃分	說明	對應
地滑活動	• 地滑活動伴隨產生邊坡移動，使得噴覆之砂漿鼓脹或膨拱、噴覆面出現裂縫、劣化、破損或背面產生空洞	• 噴覆加厚或砂漿噴覆坡面格框工補強 • 實施表面覆蓋工、裂縫修補工 • 以砂漿注入地盤或空洞充填工實施補強工
外力所形成之物理作用	• 邊坡與噴覆之砂漿不再緊密黏著，出現堤肩等局部崩塌、滑動而產生裂縫、破損。 • 湧水引致背面土砂流出造成空洞化或裂縫 • 植物侵入裂縫或龜裂部分，噴覆工浮凸或裂縫擴大 • 溫度變化伴隨產生伸縮應力，造成噴覆工損傷、剝離	• 實施挖方或噴漿工打掉重做之更新 • 以鋼筋補強工或坡面補強土工補強 • 施作表面噴漿工或裂縫修補之修補工 • 流入水防止對策 • 以砂漿注入地盤或空洞充填工實施補強工
風化等化學性的作用	• 噴覆材料老朽化、劣化成長形成裂縫，劣化擴大或連成一片、造成破損 • 噴覆材料硬化後、乾燥收縮等造成裂縫 • 凍害與鹽害引致表面劣化或表面剝離 • 水從噴覆工之裂縫流入，或坡面背面產生湧水使強風化部位土砂流出、背面產生空洞	• 確認裂縫之狀態，實施裂縫修補之修補工 • 砂漿打掉重做等的更新 • 以噴漿工加高加厚或坡面格框工進行補強 • 以砂漿注入地盤或空洞充填工實施補強工 • 防止水流入等的排水工 • 施作表面覆蓋工或修補裂縫之修補工

表 8-6 砂漿坡面之對策與期待之機能

坡面防災對策技術協會（未定稿）：坡面對策工維持管理實施要領，第7 章第12 節

(「砂漿坡面診斷與修補補強指引」坡面診斷與修補補強研究會，2013補充修正)

分類	目的與性能 / 工程種類	砂漿工本身的劣化對策			噴漿與邊坡之密著性降低			
		風化與侵蝕防止性能之恢復			坡面安全性能之恢復			
		截水性	耐火性	防止剝離	抑制風化進行	提升密著性	充填空洞	小規模崩塌
修補	表面被覆工	◎	○	◎	△			
	裂縫修補工	◎			△			
補強	噴漿加厚工	◎	◎	◎	△			
	鋼筋補強工					◎		○
	空洞充填工				△	○	◎	
	邊坡補強土工					○		◎

◎：主要目的，△：有效果、有間接效果

砂漿劣化或背面邊坡風化引致密着性與強度降低之對策工規劃，配合噴漿本身劣化之原因與機制、劣化進行狀況（健全度高低）、背面邊坡安定度等，選定工程種類。

劣化、破損之噴漿坡面多以複數異狀或劣化現象複合型態出現，因此，應搭配使用複數補強與修補工法。

此外，有關單位已開發新技術工法並獲得採用。基於異狀現象而選定對策工之標準構想如下。

表 8-7　噴漿工異狀現象之對策工法

坡面防災對策技術協會（未定稿）：坡面對策工維持管理實施要領，第7 章第12 節

異狀現象	對策工法	選定條件
噴漿本身劣化	表面噴覆工	・背面邊坡所產生、非伴隨土壓作用所形成裂縫之裂縫密集出現在噴覆工表面時 ・表面剝離持續進行時
	裂縫修補工	・裂縫貫穿達到背面時 ・裂縫成長而有必要抑制其擴大時
噴漿工本身劣化 噴漿工與邊坡密著度降低	玻璃纖維強化水泥與鋼筋補強工併用	・噴漿工本身劣化，嚴重風化引致背面邊坡風化區域之風化深度大致小於 0.5m 時
噴漿工與邊坡之密著性、背面邊坡強度降低	邊坡補強土工	・噴漿工本身劣化，嚴重風化引致背面邊坡風化區域之風化深度大於 0.5m 時
	坡面補強土工與噴覆坡面格框工併用	・風化持續進行到深處、背面邊坡所產生之土壓很大時
背面有空洞	空洞充填工	・有空洞，但背面邊坡風化未持續惡化時
背面空洞受湧水的影響	空洞充填工與排水工併用	・空洞之形成受背面湧水影響時
	空洞充填工與噴漿坡面格框工併用	・背面存在脆弱透水層時

第6節　落石防護柵工

防護柵除了巡視檢查是否有落石造成變形與破損之外，也應巡視檢查鋼索扭曲程度與索端金屬狀態，發現有鬆弛狀況應斟酌加以拉緊。此外，應確認鋼材構件是否有腐蝕、防鏽塗裝是否正常，必要時進行修補。

防護柵之坡面側淤積太多土砂時，應予以挖除。鐵絲網破損或安裝之構件變形、缺損，予以更換。

土砂袋長期放置時，可能被邊坡土砂、落石堆積埋沒。土砂袋具避免落石直接撞擊擋土牆與防護柵造成損傷之功能，也能有效防止落石掉落道路。因此，應定期實施土砂清淤。

落石防護柵工劣化、破損原因與對應方法如下。

表 8-8 落石防護柵工劣化及破損原因及對應方法

坡面防災對策技術協會（未定稿）：坡面對策工維持管理實施要領，第7 章第14 節

原因	說明	對應
落石與坡面崩塌	• 落石與崩落土砂淤積，變成無法確保可阻擋落石跳躍之高度	• 清除背面淤積土砂 • 檢討是否實施落石與崩落土砂流出防止對策等的發生源對策
外力造成的物理性作用	• 落石與雪崩衝擊造成H型鋼、鋼索與鐵絲網破損、扭曲與變形等狀況 • 塗裝剝離	• 鋼索再拉緊，修補鎖緊器具與安裝之構件 • 修補或更換鐵絲網 • 重新設置H型鋼 • 剝離的塗裝重新塗裝 • 破損的基礎部（混凝土）重新澆置 • 新設防護柵工 • 更換防護柵工構件
風化等化學性的作用	• 構件鋼材本身受鹽害影響產生鏽蝕或劣化 • 紫外線等造成塗裝劣化與腐蝕	• 更換劣化嚴重之鐵絲網或鋼索 • 防鏽塗裝剝落部分進行修補

落石對策工選定時，應充分考量發生源狀況、發生原因與環境條件等，擬定有效率的計畫方案。依據異狀現象選定對策工之標準構想如下。

表 8-9 落石防護柵工異狀現象對策工法

坡面防災對策技術協會（未定稿）：坡面對策工維持管理實施要領，第7 章第14 節

異狀現象	對策工法	選定條件
構件品質降低	使用耐腐蝕性構件	需防止支柱或鐵絲網材質劣化時
	使用耐候性塗裝	需防止支柱或鐵絲網材質劣化時
落石防護柵本體機能降低	清淤	清除落石與崩落土砂可減少太空包砂石袋囚砂容量不足問題， 恢復支柱與鐵絲網耐力
	重新施作防護柵工（提高落石容許能量）	有地點可重新施工時 能以設計演算滿足支柱與鐵絲網設計演算條件時
	追加其他對策工	無法只靠防護柵工完成對應時，檢討發生源對策等

第9章　容易維護管理設施之建議

第1節　容易實施巡視檢查之設施

（1）巡視檢查用通路之設置

與車道有點距離的治山設施要提高巡視檢查效率，最好預先設置巡視檢查用通路。陡坡設通路應先設置可當做扶手的繩索，除了確保巡視檢查時安全之外，也可做為通路標誌。此外，山區未舖設之通路久了會被雜草等覆蓋而難以找到，因此，初次巡視檢查最好製作GPS 軌跡圖（從車道到設施之路線圖）。

（2）階蹬踏板之設置

大規模節制壩等無法接近而目視壩體上部狀況，最好在壩體或充填部預先設置巡視檢查用的階蹬踏板。

（3）頂端混凝土打設

鋼製框構造之溪間工等有些設施頂端多縫隙，久了容易長滿草本與木本植物，妨礙巡視檢查。因此，設施頂端最好打設混凝土等，防止雜草侵入。

（4）錨錠工頭部及荷重變動之視覺監測

已開發完成、可視覺簡單確認錨錠頭部與地錨狀況之技術。適用之地錨僅限新完成工程與特定工法，但因能清楚看出荷重變動與頭部背面充填狀況，而可進行常時監測。

地錨巡視檢查時，應目視確認頭部與頭部背面防鏽油充填或劣化狀況，背面止水具之狀態以及顯示顏色之變化，記錄並拍照。

表 9-1 頭部、頭部背面與荷重變動之可視化技術

名稱	KP地錨	看得到的地錨
特徵	・可目視確認防鏽油充填及劣化狀況	・以顯示板顏色變化顯示荷重變動 ・可一目瞭然加以確認
構造	・使用部分透明、有視窗之螺帽 ・使用透明、有視窗之止水具（可使用於無束縛型帶）	・錨錠材沿無束縛鋼索配置，一端固定在固定物體上，另一端經由齒輪安裝在看得到的地錨彈簧上
判定	・可依防鏽油是否變色、變質或減少，確認劣化程度 ・確認背面止水具之狀態	・著色顯示板指針位置從地錨固定時的藍色轉成暖色系時，代表荷重增加；轉成寒色系則可判定為荷重降低

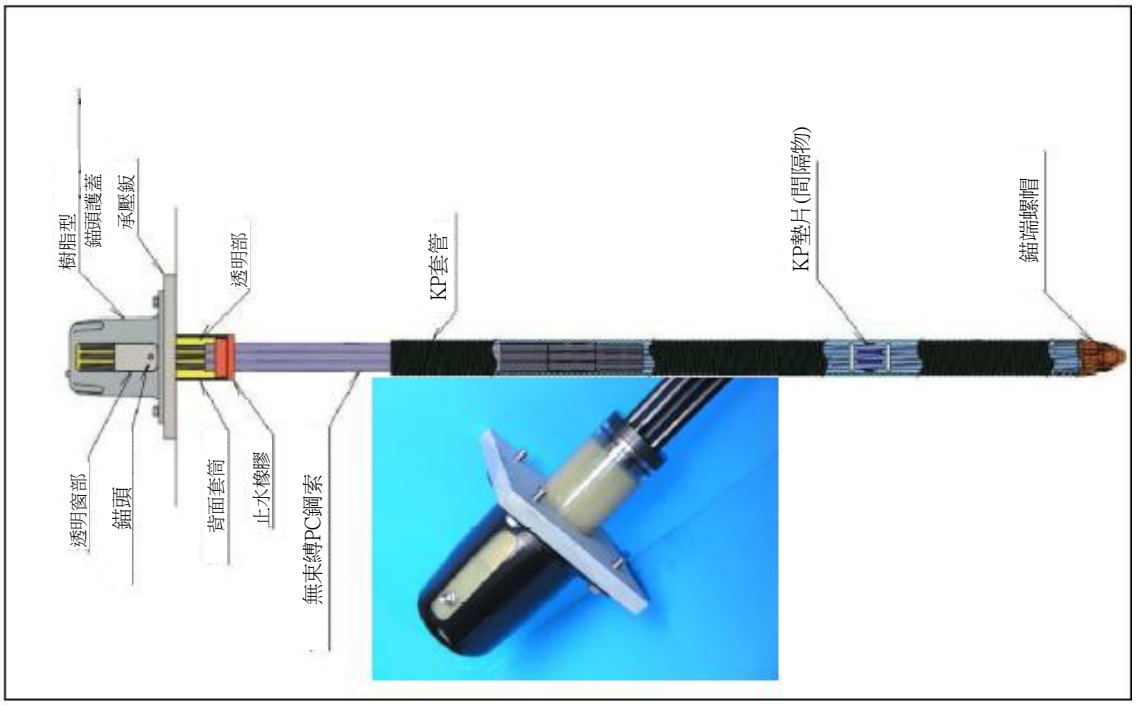


圖 9-1　KP 地錨（護套包覆地錨）構造圖

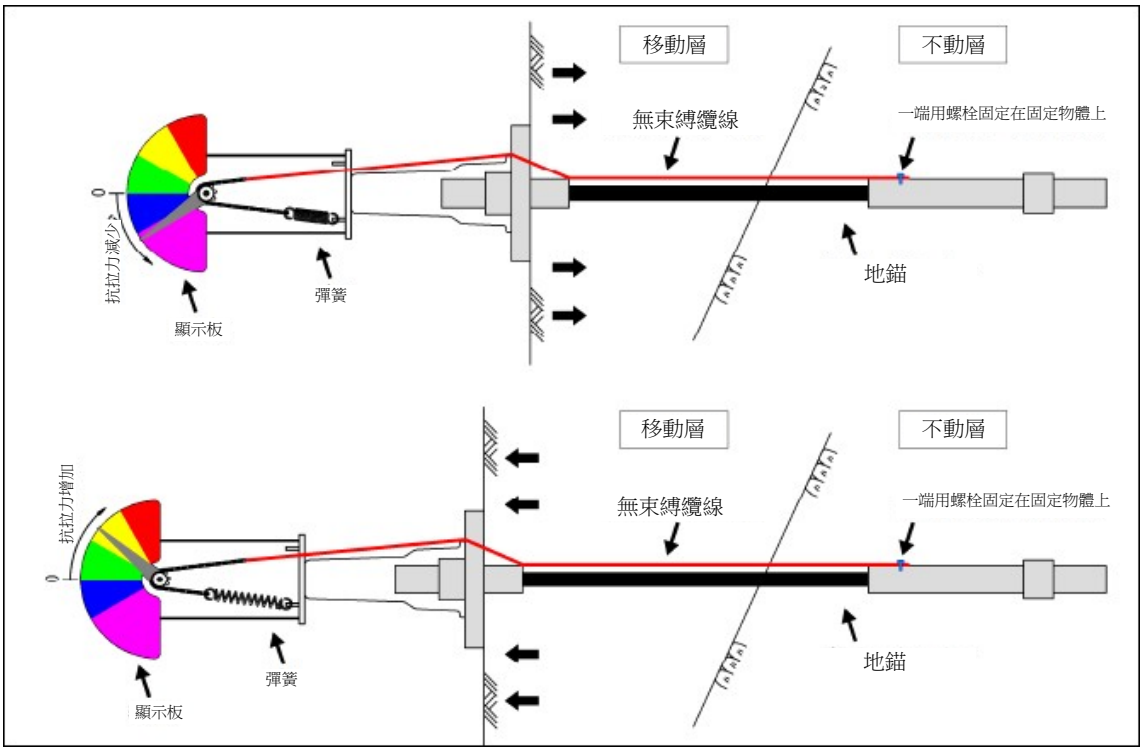


圖 9-2　可目視之地錨概念圖

<參考文獻>

・弘和產業(股)KJS 工程(股)(2012)：KP 地錨設計與施工手冊
・(股) SEC (2014)：看得到的地錨規劃與施工手冊(案)

第2節　容易實施詳細調查與修補等的設施

（1）確保鷹架設置空間

陡峭坡面工（特別是坡面格框工、砂漿噴覆工與錨錠工等）實施詳細巡視檢查或修補等對策時，有時須架設臨時鷹架。因此，設施下方最好事先確保可作為架設鷹架地基之空間。

（2）設置管理用道路

用來攔阻土石流之節制壩須於淤滿時清淤。此外，強化節制壩機能（上游側加厚、加高）時，也有必要清淤。因此，土砂生產活躍流域等推估未來須清淤或加高等時，設施施工時最好預留重機具與傾卸卡車等通行之管理用道路。

（3）容易更換的螺栓構造（鋼製與木製時）

鋼製與木製設施構件腐蝕、腐朽時須更換。特別是木製設施所使用木材長期難免腐朽引致劣化，因此工程設計應注意須容易構件巡視檢查、修補與更換等木製治山構造物之進行維護管理。

圖 9-3 為螺栓接合型木製治山構造物，更換木製構件時為了容易鬆開生鏽螺栓（防止同向轉動（空轉）），螺帽頭部做成方便以活動扳手挾起之突出狀。



圖 9-3更換木製構件時容易從一邊鬆開生鏽螺栓、螺栓頭部做成突起之做法

木製治山構造物技術指引（案）（期待耐久性木製治山構造物之設計、施工與維護管理）２０１６年２月 木製治山構造物技術指引檢討會

第3節　構築不易損傷之設施（防範未然之對策）

治山設施多於自然條件嚴苛地點施工，因此應先預估完工後劣化風險、採用具更高耐久性之構造物，儘量減少日後所需之修補（修補）。

舉例如下。

① 節制壩可設置副壩與下游面止水壁（止水工，cutoff）（預防基礎部淘刷）
② 節制壩溢洪道頂端以高強度材料施築（預防頂端磨損）
③ 節制壩壩翼設緩衝材（填方）
④ 鋼製設施使用防鏽熱浸鍍鋅產品
⑤ 坡面格框鋼筋使用防鏽劑（預防鹽害等引致腐蝕）
⑥ 坡面格框工使用高強度混凝土（預防凍害與鹽害等）

編譯：水土保持局技術研究發展小組

Research and Technology Development Team, SWCB, COA

December 2020

本文件之翻譯及轉載，均符合日本著作權法相關規定。