

擋土牆功能 檢視、調查及維護

徐明志／富國技術工程股份有限公司副總經理

李守原／富國技術工程股份有限公司技術經理

蔡皓川／泰興工程顧問股份有限公司工程師

江政恩／中興工程顧問股份有限公司計畫經理

黃筱卿／中興工程顧問股份有限公司工程師

謝孝維／北駿工程顧問有限公司負責人

前言

所有土木構造物於建造完成後均可能隨使用時間增加，逐漸降低其原有之設計功能；再加上台灣位處地震活躍之區域及每年受颱風或豪大雨的侵襲，故經常有構造物因「年久失修」而造成破壞的事件。因此除了於設計階段就必須適當考量及納入日後維護所需的設備及措施外，完工後使用階段之例行性檢查及必要的維護，為確保土木構造物機能及延長其使用年限的不二法門。

擋土牆為台灣地區常見的土木構造物，無論是建築、道路或護岸等工程均可見其蹤跡，一旦發生損壞常造成經濟或生命的重大損失。故工程實務上經常有針對擋土牆現況、安全、損害原因與責任進行鑑定之需要，因此中華民國大地工程技師公會囑由筆者六人組成編輯小組，進行「擋土牆鑑定手冊」之編輯作業，並於 2014 年 4 月付梓出版。該手冊內容原則性說明各類鑑定作業之程序、工作規劃與各種調查、評估所需之方法及注意事項，並提出修復補強建議。

然而目前國內對擋土牆定期檢查及維護之觀念並未普及落實，故本文首先介紹日本宅地擋土牆目視例行性檢查項目及危險度初步評估標準，供實務操作參考；然後針對經前述初步評估之危險度為中及大者，配合引用大地工程技師公會之「擋土牆鑑定手冊」中有關細部調查項目和方法、安全分析評估及修復補強之概念，提出擋土牆生命週期中有關定期初步檢視及評估、詳細調查及安全評估與維護等階段的說明，希望能引起國人對此

課題的重視，並建立相關之觀念及制度。

由於擋土牆之種類繁多，其構築方式與破壞機制亦不盡相同，本文主要介紹最常見之「剛性自重式鋼筋混凝土擋土牆」之檢視及評估方法，其他類型擋土牆可參酌其精神辦理。

擋土牆之生命週期

參考蕭秋安等人^[4]彙整相關研究成果顯示，一般土木構造物之生命週期可分為三個階段：第一階段為完工後 0~20 年、第二階段為完工後 20~50 年、第三階段為完工後 50 年以上。其中損壞機率較高者為第一階段及第三階段，第一階段之異狀主要肇因於設計與施工上之缺陷；第三階段之異狀則主要源於構造物材質之老化。

另外，日本基礎工^[6]「基礎工的維持管理」指出，土工構造物如能於適當的時間，以適當的方法進行補強維護，將可以較低的工程成本，獲得較佳的構造物機能維護及延長其工程使用年限，其觀念如圖 1 及圖 2 所示。由圖 1 可知，透過定期之事後維護可適當恢復土工構造物因損壞而減低之功能，但倘更積極地於事前採取預防性維護，甚至可略為提升維護當時構造物所保有之功能；另由圖 2 指出，不同之修補模式則會影響構造物所能回復之健全程度及所需之維護頻率，如採用最佳修補模式，將可使構造物恢復較高的健全程度及減少修補頻率，但若為一般修補模式，則所回復之健全程度較為有限，且需經常進行相關之修補及維護。

經由上述說明，建立及執行合理之檢視、調查程序及評估標準，配合於適當之時機點進行必要之修復、補強工程，應為擋土牆功能長期維護之核心工作。

初步檢視及評估

擋土牆破壞可能導因於牆體穩定破壞、整體（邊坡）穩定破壞及牆體構造損壞等模式。一般而言，倘若擋土牆功能受損或有持續變化導致破壞之可能性時，通常在牆體本身或周圍環境中均會呈現一些異常徵兆。

因此可將擋土牆之功能檢查分為 (1) 初步檢視評估與 (2) 詳細調查評估兩個階段，亦即先定期以目視或簡單量測工具對擋土牆進行例行性之檢視，如評估認為有明顯影響擋土牆功能或較重大之異常狀況，再進行全面性之詳細調查及評估，找出造成異常之原因並加以改善、修護或補強。

有關擋土牆之例行性初步檢視作業項目及評估標準，建議可參考日本國土交通省之「宅地擋土牆老朽化判定手冊（案）」之內容辦理，其評分項目及配分標準修改整理於表 1。該手冊將目視檢查評分項目分為基礎評分及變化評分兩大項，其中基礎評分 = 環境條件的最大配分值 (a) + 障礙狀況的最大配分值 (b)；變化評分 = 擋土牆變化的最大配分值 (c)，其中擋土牆老朽化的變化形態，依程度分為以下三類：

- (1) 小變化：雖然發生變化，但將該部分修補後即可回復機能（使用限度狀態）。
- (2) 中變化：已損害，但藉由修補或部分改建後可回復機能（損傷限度狀態）。
- (3) 大變化：受到致命的損害，已喪失機能，需進行整體改建才能回復功能（極限限度狀態）。

依表 1 分別完成基礎評分及變化評分後，計算擋土牆之危險度評價區分（分數的最大值）= 基礎評分 (a + b) + 變化評分 (c)，並參照表 2 分別以 5 分及 9 分為界限，將危險度評價區分為小、中、大三個等級，其評價內容及對應措施亦列於表 2 中。

依照前述之初步檢視及評估程序判定現況危險度為小的擋土牆，建議僅需定期進行例行性之檢查，持續追蹤是否有進一步異狀產生即可。但判定現況危險度為中或大的擋土牆，則宜進入第二階段之功能檢視，規劃進行全面詳細調查，以瞭解造成損壞之原因後，據以進行修復及補強工程；同時需考量施作緊急防災措施之必要性。有關詳細調查之項目及方法請參考下節之建議說明。

細部調查與檢測

經初步檢視有需要進一步深入調查及分析評估之擋土牆，其細部調查與檢測之項目及方法通常分為 (1) 既有資料蒐集與現場勘查、(2) 地形測量、(3) 土壤地質及地下水調查及 (4) 擋土牆構造調查等四項，可參酌初步檢視評估結果視需要選擇必要之項目辦理。各項內容簡要說明如後。

既有資料蒐集與現場勘查

進行擋土牆細部調查工作應先蒐集既有資料，以瞭解擋土牆設計及施工之背景條件，並作為後續現場勘查、調查、試驗與監測作業規劃之參考。既有資料應盡量蒐集完整，常用之資料項目有地形資料、區域地質資料、工址地層資料、水文及氣象資料、既有設計與施工資料等。

此外與擋土牆有關之特殊歷史紀錄，諸如地震、颱風、豪雨、水災及擋土牆構造本身之損壞或補強紀錄、災害歷史及演變紀錄、緊急搶救措施內容亦須盡可能蒐集。

除前一節所介紹之初步目視檢查內容外，現場勘

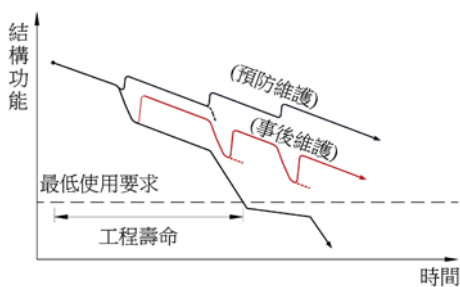


圖 1 土工構造物劣化與修補模式示意圖
(修改自基礎工, 2003)

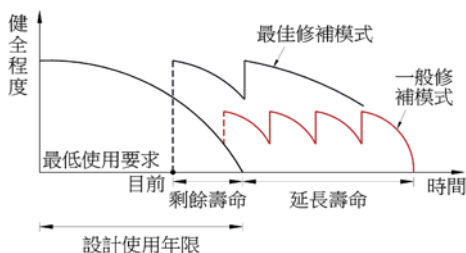


圖 2 土工構造物歷時劣化概念圖
(重繪自基礎工, 2003)

查部分則需特別注意擋土牆構造外觀、擋土牆尺寸、擋土牆牆頂及牆趾地層勘查（須特別注意觀察擋土牆牆頂及牆趾地表面是否有裂縫、沉陷、隆起等現象，以及擋土牆牆趾附近之地層有無崩滑或土石崩落堆積等狀況）、擋土牆周圍排水系統狀況、周圍地形及環

境現況，以及現況與竣工圖說是否存在差異，必要時應繪製簡圖記錄鄰近設施之相對位置。除擋土牆之牆趾附近區域外，勘查範圍應涵蓋可能產生不穩定之區域，尤其是擋土牆上、下邊坡可能有地表張力裂縫或破壞面通過之位置均應詳加勘查。

表 1 宅地擋土牆之目視檢查評分項目及配分表（修改自日本國土交通省，2014）

區分	項目	分類	評價基準	配分		
				鋼筋 混凝土	重力式 混凝土	
基礎評分	環境條件 (a)	湧水	III	擋土壁表面乾燥	0.0	0.0
			II	擋土壁表面經常呈現濕潤狀態；由接縫及洩水孔感到擋土壁背後為濕潤狀態	0.5	0.5
			I	有水滲出、流出；雖然有洩水孔，但在頂部附近有水容易滲透之狀況、或有湧水之情況	1.0	1.0
	構造特徵	排水狀況等	III	每 3 m ² 有 1 個以上、內徑大於 75 mm 的洩水孔及排水設施；或頂部附近有阻止雨水滲入地盤之情況	0.0	0.0
			II	雖然有洩水孔，但是在頂部附近有雨水滲透、或洩水孔阻塞之狀況	1.0	1.0
			I	未設置洩水孔；或未滿足每 3 m ² 有 1 個以上、內徑大於 75 mm 的洩水孔，而且有雨水容易滲入之狀況	2.0	2.0
	擋土壁高度 (H)	-	1 m < H ≤ 3 m	0.0	0.0	
		-	3 m < H ≤ 4 m	1.0	1.0	
		-	4 m < H ≤ 5 m	1.5	1.5	
	障礙狀況 (b)	排水設施的障礙	-	無異常	0.0	0.0
			障礙 A	頂部排水溝堆積土砂、雜草茂盛等，損害排水機能。甚至於排水溝接縫部分有錯移等現象，造成水侵入擋土牆背面之狀況	0.5	0.5
			障礙 B	除障礙 A 外，有擋土牆洩水孔阻塞、由擋土牆裂隙及接縫湧水、牆頂背側有小陷落等狀況	1.0	1.0
			障礙 C	除障礙 B 外，有排水溝破損、沈陷、錯移等，喪失排水功能之狀況	1.5	1.5
		劣化障礙	-	無異常	0.0	0.0
			障礙 A	全面擋土牆到處可見不規則性之裂縫；或沿擋土牆長軸方向發生細裂縫	0.5	0.5
			障礙 B	除障礙 A 外，因鹼骨材反應發生龜甲狀的裂縫；或沿擋土牆端面周邊的長軸方向出現很多裂縫	1.0	1.0
		白色生成物障礙	-	無異常	0.0	0.0
			障礙 A	擋土牆表面裂縫一部分有白色生成物析出	0.5	0.5
			障礙 B	擋土牆表面數個裂縫有白色生成物析出	1.0	1.0
	變化評分 (c)	縱向裂縫	-	無縱向裂縫	0.0	0.0
小變化			於鉛直方向不特定間隔出現裂縫	1.0	1.5	
中變化			於鉛直方向一定間隔出現裂縫	2.5	3.0	
大變化			於鉛直方向一定間隔出現裂縫、而且有銹染現象	4.0	4.5	
角隅部裂縫		-	角隅部無裂縫	0.0	0.0	
		小變化	角隅部出現斜方向之剪力裂縫	1.5	2.0	
		中變化	角隅部出現斜方向之剪力裂縫，而且有水漬	3.0	3.5	
		大變化	角隅部之斜方向剪力裂縫延伸，且產生錯移	4.5	5.0	
蜂窩 (冷縫)		-	無異常	0.0	0.0	
		小變化	局部粗骨材呈線狀出露 (蜂窩)	2.5	3.0	
		中變化	打設面 (冷縫) 呈線狀出現，而且沿該面產生裂隙	4.0	4.5	
		大變化	很多打設面 (冷縫) 呈線狀出現，而且沿該面產生裂縫	5.5	6.0	
水平移動		-	無水平移動	0.0	0.0	
		小變化	擋土牆的接縫部位可以看到大約未滿 5 mm 之錯移	2.0	2.5	
		中變化	擋土牆的接縫部位可以看到大約 5 mm 以上、未滿 2 cm 之錯移	3.5	4.0	
		大變化	擋土牆的接縫部位可以看到大約 2 cm 以上之錯移	5.0	5.5	
混凝土不均質造成之差異沉陷 (泌水・冷縫)		-	無異常	0.0	0.0	
		小變化	於擋土牆頂部附近一定間隔斷續地發生裂縫；另外，於擋土牆表面橫向斷續地發生短裂縫	3.0	3.5	
		中變化	擋土牆施工時於表面產生打設面 (冷縫)，於該處產生較上部大之裂縫	4.5	5.5	
		大變化	於擋土牆表面產生比較大的斜向裂縫；而且由裂縫析出白色生成物	6.0	6.5	
地盤造成之差異沉陷	-	無異常	0.0	0.0		
	小變化	擋土牆的接縫部位產生未滿 5 mm 之高差	3.0	3.5		
	中變化	擋土牆的接縫部位產生 5 mm 以上、未滿 2 cm 之高差	4.5	5.5		
	大變化	擋土牆的接縫部位產生 2 cm 以上之高差，亦發生前後向之錯移	6.0	6.5		
接縫之開裂 (角隅部)	-	無異常	0.0	-		
	小變化	擋土牆角隅部的接縫有未滿 5 mm 之開裂	3.0	-		
	中變化	擋土牆角隅部的接縫有 5 mm 以上、未滿 2 cm 之開裂	4.5	-		
	大變化	擋土牆角隅部的接縫有 2 cm 之開裂，而且擋土壁呈現前後或上下之錯移	6.0	-		
傾斜・折損	-	無異常	0.0	0.0		
	小變化	擋土牆面稍微地向前 (後) 傾	4.0	3.5		
	中變化	擋土牆面明顯向前 (後) 傾，藉由目視即可清楚觀察	5.5	5.5		
	大變化	擋土牆面明顯向前 (後) 傾，而且可看到中間有折損狀況	8.0	6.0		
鋼筋腐蝕 (鹽害・中性化)	-	無異常	0.0	-		
	小變化	擋土牆表面發生鉛直或水平向之短裂縫	4.5	-		
	中變化	擋土牆表面有較大範圍之鉛直、水平向短裂縫，可看見銹染	6.0	-		
	大變化	擋土牆表面有較大範圍之鉛直、水平向短裂縫，可看見銹染，而且可看到混凝土剝離、鋼筋銹蝕	8.0	-		

表 2 宅地擋土牆的危險度評價區分 (修改自日本國土交通省, 2014)

分數 最大值	危險度 評價區分	評價內容
不滿 5 分	小	進行小裂縫之修補；若能防止雨水滲透，則可視為目前無危險性之擋土牆
5 分以上 ~ 不滿 9 分	中	雖然為擋土牆變化程度較為明顯，但可以持續觀察為對應措施；若有持續變化之情況則繼續進行檢查。此外，根據變化之內容及規模，檢討發佈必要的勸告、改善命令，或進行相應防災工程的必要性
9 分以上	大	變化之程度特別地顯著，為危險的擋土牆。需檢討緊急對所有者發佈勸告、改善命令之必要，除進行防災工程，同時指導不使其影響周邊環境造成損害

地形測量

現況地形為影響擋土牆安全及穩定性之重要外在因素，通常擋土牆發生重大異狀時，地形地貌一般均會產生相應之變化。因此，必要時須重新進行地形測量，除與竣工時之地形互相比較外，並可做為後續擋土牆安全、穩定性研判、地層移動方向、移動模式，甚至滑移量評估之基本資料。如實測地形與竣工時有顯著不同，應研判造成差異之可能原因與可能產生之影響。

本項工作對於擋土設施附近崩塌邊坡範圍、地表陷落、裂縫或隆起位置、排水設施尺寸及排水方向、擋土或邊坡穩定設施尺寸、坡面裸露區域等，均須特別加以標示。

土壤地質及地下水調查

土壤地質調查部分可分為地表地質調查、鑽探調查、開挖調查及地球物理調查等項目；而地下水為影響擋土牆穩定之外在因素，亦應儘可能釐清其分布及變化狀況。

(1) 地表地質調查

地表地質調查工作重點在於地表覆蓋層材料種類、基盤之地層屬性確認，以及岩層露頭位態量測工作等，其中就地表覆蓋層而言，須詳加研判屬於人工回填土層或原狀土層。另可由植物生長狀態或構造物傾斜、裂縫發展狀況，輔助研判地層現況之穩定狀態；此外，對於如坍方、沖刷或沖蝕、地陷或隆起、泉水或伏流水、地下洞穴等動態現象亦宜加以記錄。

(2) 鑽探調查

鑽探調查則包含鑽孔與取樣，採用之設備與方法應依據調查對象、地盤種類、探查深度、需求樣品之品質與目的等決定。規劃補充調查鑽孔之數量時，應綜合考量擋土牆之長度、已取得之既有鑽孔資料之數量及品質、工址地盤之複雜程度等因素，沿擋土牆延伸方向佈設足夠數量鑽孔；若有整體穩定性分析需

求，則應於擋土牆上、下邊坡同一剖面位置進行不同深度鑽孔，以獲得所需之地層剖面及參數，且鑽孔深度需達可能潛在滑動面以下。鑽探所獲得之土樣及岩樣，可依需求進行合適之室內試驗以獲得分析參數。

(3) 開挖調查

開挖調查部分包含剝洗、槽溝、試坑、橫坑等調查方式，適用於岩盤露頭不佳、土層覆蓋而無法由地表觀察量測之岩盤調查、欲直接獲知卵礫石粒徑大小分佈，以及探測淺層地下水位等狀況。

(4) 地球物理調查

地球物理探測為量測地層之物理特性（諸如傳波速度、電阻率、密度、重力加速度、磁力等），藉由這些物理特性在地層中之變化或異常，研判地層中之界面（例如層面、不整合面、斷層、洞穴、水位等），及推估岩體及土體之工程特性。對大面積之基地而言，地球物理探測為快速經濟之調查方法，但地球物理探測屬間接方法，通常不宜單獨應用，而需與直接方法（例如鑽探、開挖、試驗室試驗及現地試驗等）之調查成果相互比對印證，但其運用可適量減少直接方法之數量。

工址調查作業中常用之地球物理探測方法包括表面波法、折射震測法、反射震測法、速度井測法、地層電阻率探測及透地雷達等，其適用性及限制視地層特性及調查目的而有不同，宜依基地特性及調查目的選擇合適之探測方式。常用之方法、原理及適用範圍摘要整理如表 3。

(5) 地下水調查

一般常利用鑽孔內埋設觀測井或水壓計進行地下水之調查，鑽孔過程中孔內水位若突然下降，此時可能鑽遇透水性高或有地下水流動之地層；但若遇受壓水層時水位可能突然升高，造成大量湧水。如擋土牆位於坡地，地下水位常呈現變化較大的狀況，針對邊坡進行整體穩定性評估時，除採水位觀測井或水壓計

表 3 各種地球物理調查法之適用性參考 (修改自日本地盤工學會, 2004)

調查方法	測定物理量	對象物理量	調查資訊	對應深度			調查效率	主要對象	備註
				-10 m	-100 m	100 m~			
折射震測法	傳播時間	彈性波速度	剖面層狀構造	○	◎	○	○	隧道、水壩、坡面等主要構造物基礎調查	岩盤分類等之力學特性評估
淺層反射震測法	彈性波動	聲波阻抗	剖面地層邊界		○	○	△	構造物周邊的基盤、斷層調查及地層分佈、性質調查	利用 S 波進行耐震評估
表面波調查	表面波	表面波速度	剖面層狀構造	◎	○		◎	構造物地盤、液化預測、堤防診斷、空洞調查	主動震源及被動震源法，單頻道或多頻道
地電阻率法	人工電場	電阻率	剖面	○	◎	○	○	地下水、地滑、隧道路線調查	電阻率特性外，自然電位法、感應極化法也可歸為地電阻探查
透地雷達	電磁波	電磁波形	剖面異常萃取	◎	△		◎	空洞、埋設管、埋設物及遺跡調查	亦有開發車輛搭載型機器
電磁調查	誘導電磁場	導電率 (電阻率)	面異常萃取	△	△	●	◎	地下水、地滑、斷層之概查	開發空中調查等多種方式

註：1. 對應深度 ◎：最適合 ○：適合 △：可 ●：適用於資源調查
 2. 調查效率 ◎：簡便地測定 ○：普通 △：可 ●：大規模測定

量測外，必要時可配合現場地形研判地下水流可能方向，或以地球物理探測方法進行地下水探測。

擋土牆構造調查

對擋土牆構造進行調查及檢測，並記錄其現況與損壞之狀況，為評估擋土牆構造安全性之依據，亦可藉以推估擋土牆體或邊坡破壞之模式。擋土牆構造調查項目可分為 (1) 外觀、型式及尺寸調查、(2) 牆體裂縫調查、(3) 基礎型式、尺寸及埋置深度調查、(4) 鋼筋混凝土材料檢測與 (5) 排水狀況調查等項目，各調查項目內容、檢測方法簡要以圖 3 及表 4 說明。

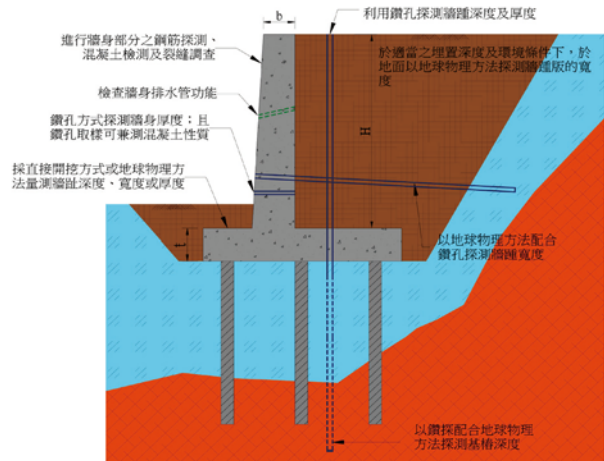


圖 3 擋土牆構造調查項目及方法示意圖

表 4 擋土牆構造調查內容及方法

項目	檢測方法	說明	
外觀、型式及尺寸調查	目視及直接量測	對外露部分以目視觀察及量測方式進行現況記錄	
	牆身鑽孔	採用牆身鑽孔方式量測擋土牆之牆身厚度	
牆體裂縫調查	目視及直接量測	記錄時應對裂縫形成原因進行初步之研判	
基礎型式、尺寸及埋置深度調查	開挖檢視調查	直接開挖檢視覆土較淺之部位 (如前趾版) 尺寸及擋土牆之型式 (如牆背有無扶壁等構造)	
	鑽孔探查	利用鑽孔探查推估覆土較深部分之底版寬度、厚度及覆土深度	
	地球物理調查	透地雷達探測	調查底版之深度、寬度；或配合鑽孔探測基樁深度
		震波測勘法	調查底版之深度、寬度；或配合鑽孔探測基樁深度
		時間域電磁法探測	配合鑽孔作業調查底版之深度、寬度或基樁深度
地電阻影像法探測		配合鑽孔，採跨孔方式探測地下構造物尺寸	
牆體材料鋼筋混凝土	鋼筋檢測	敲除保護層檢測	直接目視及量測鋼筋之尺寸、間距、排列方式與銹蝕情形，以及保護層厚度
		鋼筋探測儀檢測	檢測擋土壁體鋼筋排列、尺寸或混凝土保護層厚度
		透地雷達	探測牆身鋼筋排列間距
	混凝土檢測	鋼筋腐蝕探測	檢測鋼筋之腐蝕狀況
		鑽心取樣及抗壓強度試驗	鑽取混凝土試體，進行試驗室抗壓強度試驗
		施密特錘試驗	於現場利用施密特錘求取擋土牆表面混凝土強度
牆身排水狀況調查	目視及直接量測	目視及直接量測	

表 4 所列之擋土牆構造調查方法大多為土木工程中常用之方法，故不多贅述。但擋土牆之基礎型式及尺寸，為擋土牆之穩定性及安全評估之重要關鍵項目，然因其埋置於地層中常不易直接檢視或量測，且工程師通常較不熟悉此部分可使用之調查方法及可靠程度，故簡要整理介紹如后。

(1) 開挖檢視調查及鑽孔調查

一般擋土牆前趾版的覆土不深，可考慮採用直接開挖之方式檢視及量測擋土牆前趾覆土深度、寬度及厚度（圖 4 (a)）；而後踵版則因覆土較深，採用直接開挖調查之困難度通常較高，實務上可參考設計圖或竣工圖說之後踵版範圍（或以工程經驗，由牆高判斷），規劃適當數量、位置及深度之鑽孔，利用鑽孔探查推估後踵版的埋置深度、厚度及寬度。此外，對於擋土牆之型式，例如牆背有無扶壁等構造，可參照原設計或竣工圖說，於適當位置以怪手探挖牆背至適當深度加以確認（圖 4 (b)）。



(a) 前趾版開挖



(b) 牆背開挖

圖 4 擋土牆基礎開挖檢視調查

(2) 地球物理探測

對於不易進行開挖檢視調查，或採用鑽孔探查較難推估擋土牆基礎尺寸之狀況，可考慮採用適當之地球物理探測方式進行調查。

由於地球物理探測屬於間接調查方法，其調查結果易受到所使用儀器、方法、環境因素、信號狀況及解析能力與判釋經驗等因素所影響，宜根據擋土牆之現況、環境因素與擬調查目的詳加評估後謹慎選擇合適之方法。工程實務上曾有使用透地雷達、震波、電磁法及地電阻影像探測等方法進行基礎尺寸調查之案例，可作為選用調查方法之參考。茲簡單介紹如下：

● 透地雷達探測

透地雷達探測之原理是利用發射天線發出高頻電磁波（雷達波）穿透地層或被探測體，並在兩個不同電性介質的界面（地層層面、空洞、鋼筋與混凝土界面等）產生反射訊號，再由接收天線接收反射訊號，進而分析處理反射訊號，確認地層分佈或被探測體大小與位置。在地表上使用透地雷達檢測擋土牆前趾版寬度之案例圖 5 所示，檢測時於垂直擋土牆趾版位置掃描一條（或多條）測線，結果顯示靠近測線起點約 1.5 公尺範圍內為混凝土前趾版之反應。

另可配合鑽孔作業，以透地雷達井測法（單孔或跨孔法）檢測擋土牆基礎下方之基樁深度，當待測構造物材料與周圍地層介電常數變化越大則效果越好。圖 6 為採用單孔井測檢測基樁成果，圖中橫軸為時間軸（ns， 10^{-9} 秒），縱軸為井深（m），檢測資料顯示在時間軸為 75 ns 處有一道強反射，經判讀後，接近井口處（5 公尺

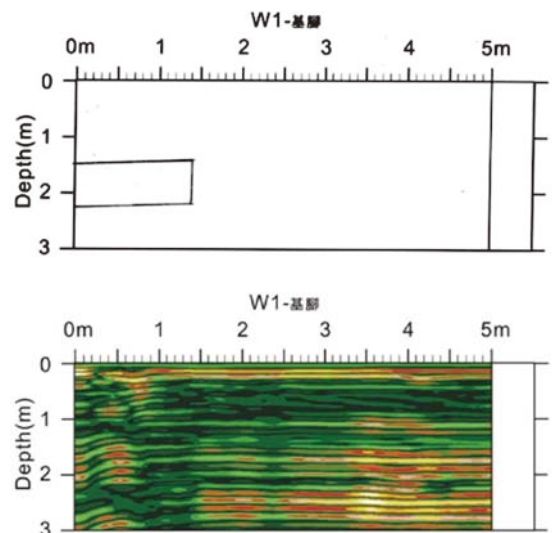


圖 5 透地雷達擋土牆前趾版寬度案例

內)，有許多雜訊，判斷是淺層地表人工構造物干擾所致，一道強反射由井口持續延伸至井深 8.9 公尺處，研判為基樁之深度。

● 震波測勘法

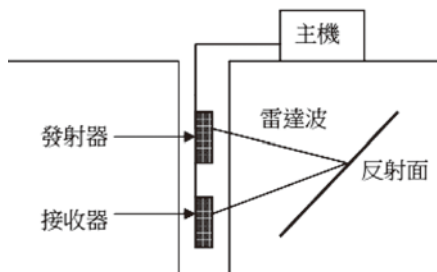
利用擋土牆混凝土之震波波速與周圍地層波速差異特性，經特殊安排的人造震源及受波器（檢波器）陣列組合也可用於擋土牆尺寸檢測，檢測示意如圖 7。其中圖 7 (a) 係於懸臂式擋土牆面裝設接收器，然後以重錘敲擊牆頂產生人工震波，利用「超震法」原理檢測牆身高度（或以震源、接收器互易方式施作）；以距頂部 3.2 公尺之波線訊號為例，所接收直達波及反射波到達時間分別為 2.0 ms 及 6.25 ms，用其時間差值之 1/2 乘以沿壁面傳遞之波列速度（表面波），可推估該接收器距牆底之距離約 3.0 公尺，故估計牆高約為 6.2 公尺。此外，圖 7 (b) 及圖 7 (c) 則是運用「平行震測法」原理，分別將接收器設置於懸臂式擋土牆牆背及牆前側之地表面，再以重錘敲擊牆面產生人工震波，圖中波列串之接收訊號顯示，距牆背側 3.0 m 及牆前側 1.0 m 左右分別

有較明顯之繞射波形（或波傳經不同材料介面），推估為擋土牆後踵版及前趾版之寬度（實務操作時，各檢測成果宜與設計尺寸對應單元相互檢核）。

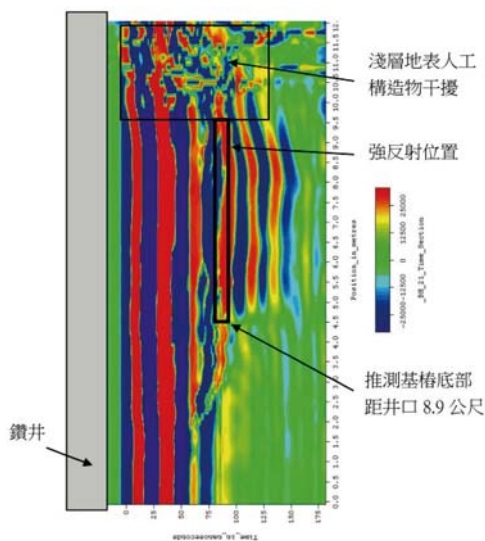
配合鑽孔作業也可使用垂直、水平方向或其他任意方向之平行震測法檢測擋土牆基礎；圖 8 為配合垂直鑽孔，使用平行震測法檢測橋梁基樁長度之案例，圖中橫軸為時間軸，縱軸為井深，圖中震波波列、頻率或視速度與對應基礎介面以不同顏色區分，可研判樁底之深度。

● 電磁法探測

時間域電磁法又稱為暫態電磁法或瞬變電磁法，係利用電磁場探測地下導體。其原理為瞬間切斷地面上線圈內的電流，導致原本由線圈電流所產生的磁場（稱為一次磁場）消失，使地下導體依據法拉第（Faraday's Induction Law）定律以及冷次定律（Lenz's law）感應產生感應電位與渦電流進而產生磁場（導體感應所產生的磁場稱為二次磁場），藉由量測此二次磁場的強度與極性以獲得地下導體的位置與深度等參數。

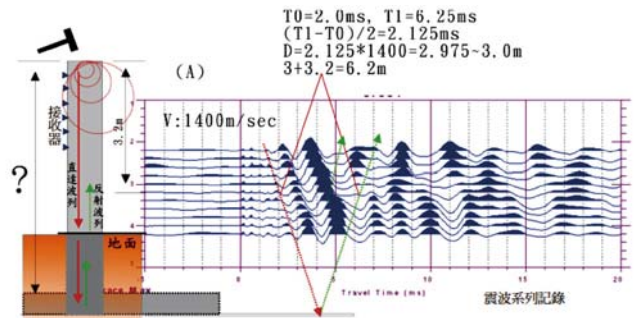


(a) 單孔井測法示意圖

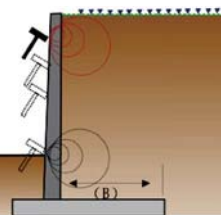
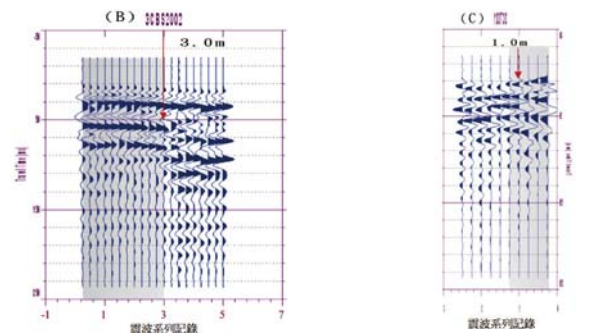


(b) 基樁長度檢測成果

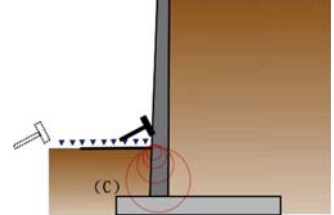
圖 6 透地雷達檢測基樁深度（單孔井測）示意圖



(a) 牆身高度檢測

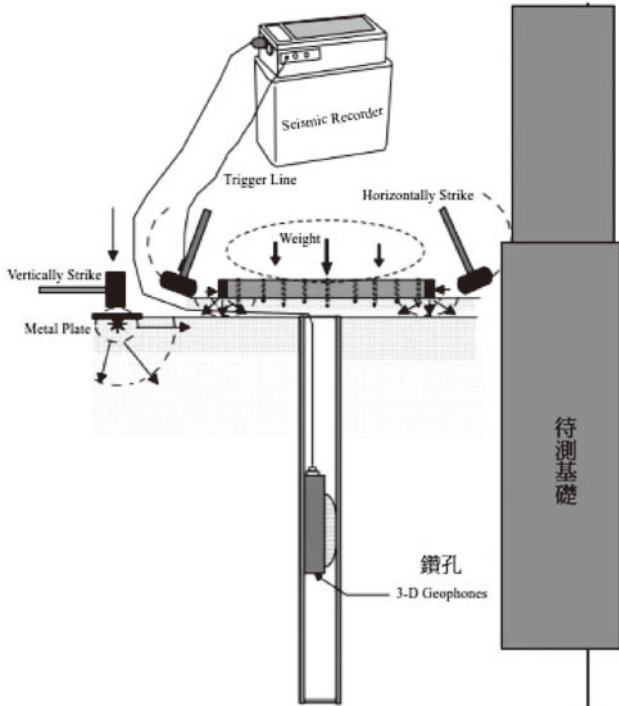


(b) 後踵版長度檢測

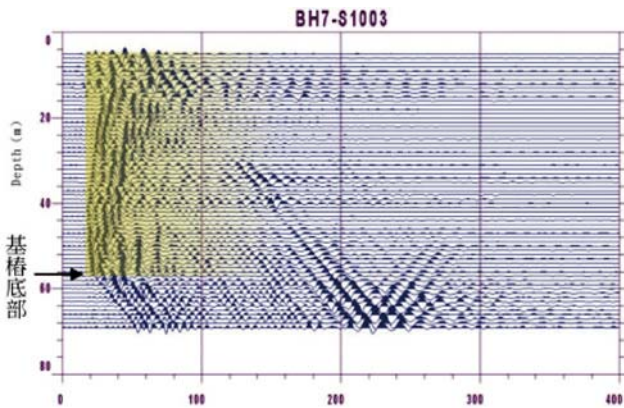


(c) 前趾版長度檢測

圖 7 震測法檢測懸臂式擋土牆尺寸示意圖



(a) 平行震測法施測示意圖

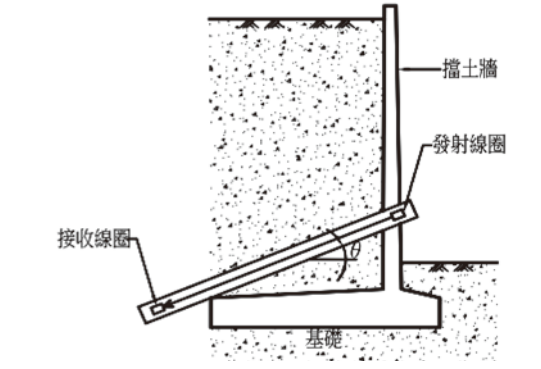


(b) 平行震測深度系列震波紀錄

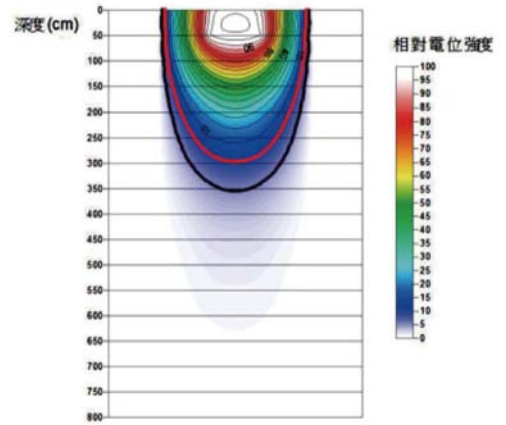
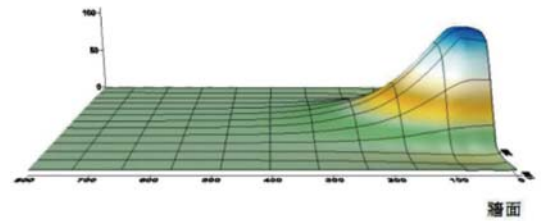
圖 8 平行震測法檢測基樁長度示意圖

利用本法探測前先於欲探測之區域佈置線圈，再於適當地點鑽孔後埋設 PVC 管，將感應器置入孔內進行探測。曾有案例於擋土牆牆身鑽設長度超過後踵版寬度之斜孔（與水平夾 20 度角），然於其內埋設 PVC 管，據以探測牆踵基礎埋置深度及寬度（見圖 9），其較強訊號（相對電位強度）約延伸到 3.5 公尺附近（餘弦值為 3.3 公尺）；故研判後踵版水平寬度距牆面約 3.3 公尺。

如欲進行擋土牆基礎下方之基樁深度探測，鑽孔深度須超過基樁之可能深度。圖 10 係於既有排樁附近鑽設垂直鑽孔，並將發射線圈放置於排樁頂部，較強訊號約延伸到 14 公尺，研判該位置為排樁底部深度。



(a) 現場施測示意圖



(b) 擋土牆底版尺寸判釋

圖 9 時間域電磁法探測懸壁式擋土牆底版尺寸案例

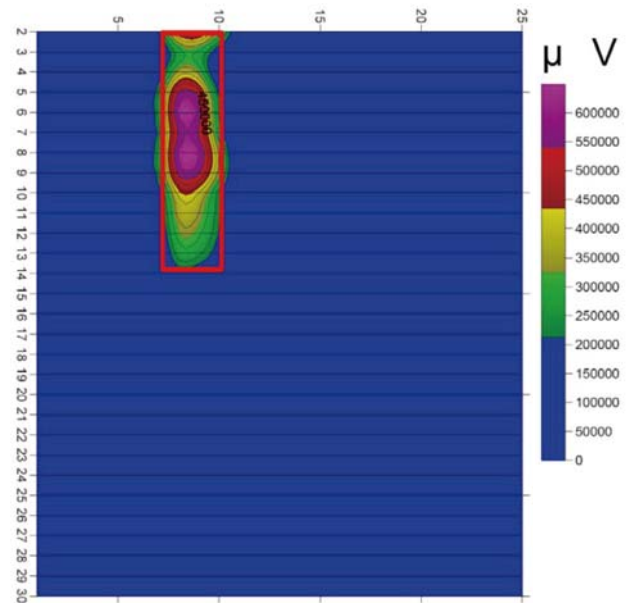


圖 10 時間域電磁法探測基樁長度案例

● 跨孔式地電阻率影像法探測

跨孔式地電阻影像探測是先以直流或低頻交替直流電流經孔內之一對電極（稱為電流偶極），當電流流經地層建立電場後，在孔內用另一對電極（稱為電位偶極）測得其間的電位差再換算成電阻率進行判釋，此電位差與電流強度、電極間的相對位置及各地層的導電性有關。適用於待測結構基礎之電導特性與週遭地層所組成之材料有較大差異之情形。

進行跨孔式地電阻影像探測時，將電極以等間距排列且固定在 PVC 管外側；然後將其置於鑽孔內，並將孔壁與電極間之空隙以水泥漿或砂土回填，使孔內電極與孔壁有良好接觸，以確保地下水面上探測資料的可靠度（若以裸孔施作，需注意井況）。圖 11 為 3D 跨孔式地電阻影像探測現地配置及成果示意，由圖中待測基礎（鋼筋混凝土）呈低電阻反應（寒色系）與周圍土體（相對較高電阻反應，暖色系）之比較，研判基礎深度約 20 公尺左右。

擋土牆之安全分析評估

進行擋土牆安全分析評估之首要工作為依據詳細調查之結果，辨識出擋土牆之破壞模式，並進一步評估其破壞機制及原因。

擋土牆之破壞模式大致可分為牆體滑動破壞、牆體傾覆破壞、基礎承载力不足、沉陷量過大、整體穩定破壞及牆體構造破壞等幾類；造成前述各種破壞之機制則有 (1) 擋土牆所受側向壓力過大、(2) 擋土牆之抵抗側向力不足、(3) 土壤工程性質不良與 (4) 其他因素（如牆體強度不足、整體穩定性破壞）等，其發生原因詳表 5 所示。

造成擋土牆破壞之原因甚多，其中同一種原因可能因為其他外在條件之不同，而引致不同之單一破壞模式，亦有可能引致不同之破壞模式同時發生，亦或單一破壞模式有可能為不同破壞原因組合造成。因此調查時須針對各破壞模式及可能破壞機制和原因詳加探討。

破壞模式及機制原因確定後之安全分析評估工作，原則上建議依現行之規範進行檢討，目前國內最常依循的規範為內政部於民國 90 年所頒佈之「建築物基礎構造設計規範」，其中第七章針對擋土牆設計時之作用力、穩定性分析必須考慮的因素，及材料設計之考量均有詳細之規定。此外，評估時須注意不同單位

之規範（如交通部主管之公路與橋梁設計規範），不一定有相同的安全標準。因此，在執行安全分析評估工作時，應考慮設計之時空背景及適用法規，才能有較合理之判斷。

一般進行擋土牆安全評估所需進行之項目如下，惟仍應視標的物之狀況，依專業經驗研判調整相關內容：

擋土牆牆體穩定分析

包括牆體滑動、牆體傾覆及基礎承载力檢核。其中應注意部份擋土牆可能因特殊用途、地權限制…等因素，而須設置在邊坡上或邊坡附近，此時受斜坡效

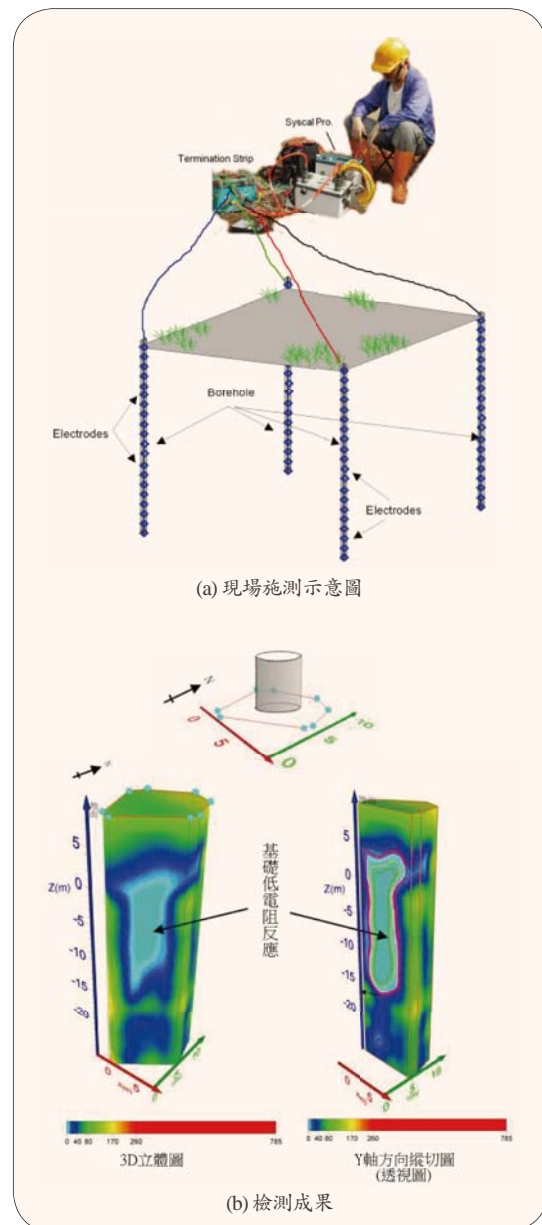


圖 11 3D 跨孔式地電阻影像探測地下構造示意圖

應影響，基礎承载力不應再以水平地面之條件進行估算。此外，若牆體以樁基礎承載時，尚需進行樁基礎承载力、拉拔力、水平抵抗力及樁體強度檢核，評估基礎之配置、數量及長度是否符合安全所需。

整體穩定分析

除牆體本身穩定分析外，當擋土牆座落於邊坡時，亦須配合邊坡現況條件，進行邊坡整體穩定分析。

沉陷量及角變量檢核

擋土牆基礎總沉陷量及差異沉陷量均應在符合擋土牆功能要求之容許限度內。惟目前尚無對擋土牆沉陷量及角變量之統一檢核標準，但若經現場目視或儀器量測發現該擋土牆之角變量已超出一定量，或研判擋土牆具沉陷變位有持續增加趨勢，且鄰近區域有重要保全對象時，應持續進行擋土牆之沉陷變位量測，並密切注意保全對象之可能變形狀況。

牆體構造安全評估

經由擋土牆構造調查獲得牆體尺寸、裂縫狀況及材料強度，並分析評估應考慮之作用力後，即可進行牆體安全評估，各項檢核可依據相關學理及規範進行。

擋土牆之修復與補強

當擋土牆構造產生損壞時，除損壞狀況十分嚴重必須拆除重建外，其餘之處理方式大致可分成「修復」與「補強」兩種。「修復」係指在擋土牆構造現況為安全穩定情況下，復原受損壞之部分，通常需進行裂縫修復，但無法提昇整體構造強度；「補強」則指擋土牆經評估有安全破壞疑慮時，為提昇牆體構造強度

或擋土牆穩定性，避免擋土牆再次受損為目的之行為。

擋土牆之修復與補強可分為 (1) 擋土牆穩定性之補強改善與 (2) 牆體構造修復及補強兩類，其原則如下：

擋土牆穩定性之補強改善

對應各項造成破壞之機制，包括側向壓力過大、側向抵抗不足、土壤工程性質不良及邊坡有潛在滑動面等，與擋土牆穩定性有關的破壞原因及常用之改善對策與工法整理如表 5 所示。

牆體構造修復及補強

關於擋土牆牆體構造破壞之修復與補強問題，可歸納為裂縫之填補修復與牆體構造之斷面補強兩方面。

● 裂縫修復工法

進行擋土牆構造的裂縫修復時，必須先研判裂縫之種類以及造成裂縫發生之原因，並移除不利於擋土牆構造安全之有害因素，才能控制構造型裂縫之繼續發展，如由穩定性問題誘發之擋土牆構造裂縫，必須先設法解決穩定性破壞問題，才能控制裂縫之發生。在移除構造型裂縫的誘發因素之後，最後再對於已發生之裂縫進行修復工作，抑止既有裂縫之擴大、繼續侵蝕。

擋土牆裂縫的修復乃為防止裂縫造成之劣化影響，維持擋土牆構造之強度與正常機能；其修復工法、填補材料之採用主要依據裂縫之寬度或規模而定，常用之修復工法及特性整理如表 6。

● 斷面補強工法

可用於擋土牆斷面強度提昇之補強工法包括：混凝土斷面補強工法、鋼板斷面補強工法與纖維強化高分子複合材料補強工法，基於擋土構造補強的經濟性

表 5 擋土牆破壞原因與補強對策

造成破壞原因		改善對策		適用補強工法
側向壓力過大	側向土壓力過大	降低側向壓力	降低側向土壓力	削坡、土壤改良、輕質背填土置換 排水工法 削坡、移除地表載重
	水壓力過大		降低水壓力	
	牆頂載重		減少牆頂地表之超載	
側向抵抗不足	牆身自重或牆底版寬度不足	增加側向抵抗力	增加擋土牆的厚度及重量	增加斷面、堆置重石、蛇籠 擋土牆基底設置止滑樁或樁 地錨、抗滑樁、土釘
	牆前覆土深度不足		增加基礎深度	
	基礎底面與土壤間摩擦抵抗不足		增設穩定構件	
土壤工程性質不良	基礎土壤壓縮性過大、差異沉陷、 剪力強度與承载力不足	改善土壤工程性質	基礎土壤改良	灌漿工法、土壤加勁工法 排水工法 基樁、微型樁工法 地錨、抗滑樁、土釘 排水工法
			加強邊坡排水措施	
			變更基礎型式	
邊坡有潛在滑動面		增設整體穩定設施		地錨、抗滑樁、土釘 排水工法
		加強邊坡排水措施		

與重要性之考量，目前仍多採用傳統的混凝土斷面補強工法進行。進行混凝土斷面補強後，不僅加強擋土設施之構造強度，也可增加擋土構造之厚度與自重，提高擋土設施之穩定性。

表 6 裂縫修復工法種類及特性

修補工法		適用裂縫規模	修補材料種類
表面修補	塗刷工法	表面輕微龜裂 裂縫寬度小於 0.2 mm	水泥砂漿 塗料 化學藥劑
	視面工法	表面發生劣化 裂縫深度較深者	聚合系水泥 樹脂砂漿 FRC-FRP
	噴塗工法	裂縫深度淺面積較大 大面積厚度小之龜裂	水泥砂漿 聚合水泥
填注修補	注入工法	裂縫寬度 0.2 ~ 5 mm 間	高分子環氧樹脂
	充填工法	裂縫寬度 5 mm 以上 鋼筋混凝土浮起脹裂	樹脂砂漿 無收縮砂漿 可撓性環氧樹脂

擋土設施經詳細分析設計後，對斷面不足之部分重新設計，經由模版組立、配筋及澆置混凝土程序，完成斷面補強之效果。澆置材料除一般混凝土外，亦常見無收縮混凝土、樹脂砂漿等。本工法施做時，應特別注意新舊混凝土之接著性、配筋之應力傳遞及各種構材之接頭處理，期能確保其補強效果。

結語

對於既有擋土牆進行定期之檢查與維護，可延長擋土牆之使用年限，並減少意外災害之發生。尤其是透過平時之例行性檢查，如能提早發現擋土牆之小障礙，例如排水孔阻塞、牆背排水溝淤積或擋土牆牆趾淘刷現象等狀況，就可及早進行排水孔清洗、排水溝清洗及回填淘刷區域等簡易之維護動作；此種早期維護作業所需之人力及經費均甚為輕微，但對於維持擋土牆之正常機能經常可收到極大的效果。此外，經由前述之例行性檢查，亦可及早發現與針對呈現較顯著問題之部位進行詳細調查及評估，及必要之修復與補強作業，以確保擋土牆之安全性及延長其使用年限。

希望藉由本文所提供之擋土牆檢視、調查與維護之觀念，強化國人對相關作業及程序之重視，使擋土牆能發揮其正常機能，確保周遭民眾生命及財產之安全。

謝誌

本文撰寫時承蒙中華民國大地技師公會周功台理事長提供宅地擋土牆老朽化判定手冊之日文資料，

陳佩玉小姐協助彩圖之繪製；俞清瀚、陳江淮、沈銘閩、郭晉榮與周揚國等技師於「擋土牆鑑定手冊」編輯期間提供許多寶貴意見及協助審視；李正兆博士及胡志昕先生對地球物理探勘方法之諮詢及建議，在此一併表示謝意。

參考資料

1. 大地工程技師公會 (2002), 「大地工程鑑定手冊」。
2. 中華民國大地工程技師公會 (2014), 「擋土牆鑑定手冊」。
3. 內政部 (2001), 「建築物基礎構造設計規範」。
4. 蕭秋安、吳瑞龍、周功台 (2008), 「土工結構物之維護管理」, 中華技術, 第 77 期, 第 72-85 頁。
5. 日本地盤工學會 (2004), 「地盤調查的方法と解説」。
6. 日本基礎工 (2003), 「基礎工の維持管理における技術開發」, Vol. 31, No. 6, pp. 5-7。
7. 日本國土交通省 (2014), 「宅地擁壁老朽化判定マニュアル (案)」, 網頁資料 (http://www.mlit.go.jp/crd/city/plan/kaihatu_kyoka/takuchi_gaiyo)。

源隆 技術顧問有限公司
Yuan Long technologic consultant CO., LTD

● 雲林縣斗六市鎮東里大同路300-17號
● TEL: 05-5332585
● FAX: 05-5332507

專業 · 效率 · 服務

公司簡介
源隆成立於民國90年8月，目前團隊人員共35人，其中包括2位土木技師、1位水利技師、2位水土保持技師及多位景觀專業工程人員，對道路、橋樑、水利、水保及景觀工程之規劃設計監造具有相當之專業與經驗。

營業項目
業務範圍包括：從事土木、水利、水保及景觀工程之調查、規劃、設計、研究、分析、監造、支撐設計及鑑定等業務。

榮獲 99-102 年度優良農建獎工程

實績