

加勁擋土結構破壞原因之案例探討

吳淵洵¹ 唐玄蕙²

摘要

本文蒐集近年來北台灣地區 11 起加勁擋土結構破壞案例，針對其破壞原因加以定性探討。研究結果顯示，降雨為導致國內加勁擋土結構破壞之主要天然因素，而人為因素方面則工程實踐之每一環節均與案例破壞有關，然而論其要者，則以規劃與施工之疏失較具關鍵影響，且問題癥結並非在於加勁擋土結構之特殊專業分析與設計，而係傳統大地工程邊坡穩定分析與設計之專業訓練不足。依據研究成果，本文建議應強化相關工程人員於邊坡工程之在職教育與訓練且著重成功與失敗案例之經驗傳承與累積，改善填築土料施工計價與檢驗制度，以及因應臺灣加勁擋土結構之本土特色，由材料廠商結合優秀專業團隊，以統包方式承攬加勁擋土結構之施作，方可避免爾後類似破壞之再度發生。

關鍵詞：加勁擋土結構、邊坡穩定，破壞，降雨。

FRENSIC CASE STUDY OF REINFORCED SOIL STRUCTURE FAILURE

Jason Y. Wu¹ Amy H. Tang²

ABSTRACT

This paper collected eleven cases of failure for reinforced soil structures (RSS) around Taoyuan and Hsinchu area in Taiwan. Qualitative forensic studies were conducted to explore the facts that caused the structures to fail. The results of the research indicated that the intense rainfall was the primary natural factor for the RSS failure. The imperfect of each engineering practice also was relevant to the occurrence of failure. However, inadequate planning and poor construction workmanship appeared to post the worst effect. Instead of the deficient of RSS know-how, the study showed that the failures of RSS were primarily due to lack of essential trainings on the traditional slope stability analysis. To prevent further RSS failure, this paper recommends that expertise development and training should be conducted for RSS engineering professionals. Case studies should be specifically emphasized to accumulate experiences of success and failure. The construction workmanship should be improved by revised procedures for quality assurance and cost approval. Finally, to adapt to the local RSS practices, each manufacturer of the reinforced material should make his every effort to joint possible first-rate engineering firms as a team of turnkey contractor to undertake the RSS project.

Key Words: Reinforced Soil Structure, Slope Stability, Failure, Intense Rainfall.

一、前言

加勁擋土結構發展至今已逾三十年，相較於傳統混凝土擋土結構，此種工法築造之結構物具有諸多優異工程性能且兼具景觀與生態維護作用，故引進國內後已廣泛應用於各類型邊坡相關工程，工程實績累計至今已逾數千件，在維繫民生安全工程需求方面已佔有關鍵性之地位。近年來政府積極推動生態工法，益使加勁擋土結構之應用愈趨普遍，眾多坡地設施之開發、山區道路之闢建與災修均以加勁擋土結構為首要考量工法，惟因此亦導致其破壞發生率相對隨之顯著增加，除直接危害其相關設施之安全及營運外，亦間接降低相關單位對於加勁擋土結構之安全信心

與引用意願，嚴重威脅此一優良工法之推廣與發展。
俗諺：「失敗為成功之母。」大地工程之成功實踐，

正確之本土經驗影響至鉅，因此藉由失敗案例之研討，可供工程人員汲取教訓，累積經驗，體認失敗的孕育、發生、發展及消亡規律，進而採取科學、有效、適時與積極之相對策，提昇工程水準，預防失敗之發生。加勁擋土結構工法在國內外雖已行之有年且已發生不少破壞事故，惟關於失敗案例之探討並不多見。周南山(2000)及李威亨(2000)蒐集近年來臺灣加勁擋土結構成功與失敗之案例並就結構破壞原因詳予探討。歸納發現多數加勁擋土結構之破壞模式為外穩定的邊坡滑動。肇事之人為因素以規劃不當居

1. 中華大學土木工程學系副教授

2. 盟鑫工業股份有限公司業務部副理

首，而天然因素則以豪雨之影響最為嚴重；此外，強震對具有耐震功能之加勁擋土結構亦曾造成嚴重之破壞(董心茹等人, 2003; Huang et al., 2003)。

中國大陸自 80 年代推廣加勁擋土結構以來，其完成之結構體陸續亦出現不同程度的外傾、外鼓、局部坍塌，甚至路面開裂等嚴重失穩或破壞現象，其原因則多歸咎於設計及施工技術之不成熟(闕剛等人, 2001; 楊錫武等人, 2001)。加勁擋土結構之破壞在美國亦曾引起若干爭議，甚而導致主管機關一度拒絕加勁擋土結構之使用(Scarborough, 2005)。結構破壞之主要原因為加勁土體之排水不良、負載過重，以及填築土料夯實不當(Zornberg and Mitchell, 1994; Mitchell and Zornberg, 1995; Scarborough, 2005)。

鑑於加勁擋土結構之重要性與日俱增，其推廣與發展對於坡地安全具有積極意義，因此進一步探討加勁擋土結構之破壞力學機制、分析方法與失敗原因，以供工程界引以為鑑實屬必要。本文蒐集北台灣地區近年來道路加勁擋土結構 11 起實際破壞案例，並與前述文獻報導之相關資料綜合彙整，定性歸納國內加勁擋土結構常見之破壞現象與特徵，並進一步剖析與探討其破壞原因，提出改善對策，以供工程界執行相關工作之參考。

二、加勁擋土結構之破壞分析

加勁擋土結構之破壞分析重點主要在於檢核下列三種破壞模式之短期及長期安全係數(中華地工材料協會, 2001)：

1. 內穩定破壞：破壞面通過加勁區
2. 外穩定破壞：破壞面通過加勁區外部
3. 複合型破壞：破壞面通過加勁區及非加勁區

內穩定破壞之力學機制影響因素主要為加勁材料之強度及加勁材料與填築土料間之互制，其可能之型式包括拉斷破壞、拉出破壞、層間滑動破壞(internal sliding)、牆面接點(facing connection)破壞及層間側向鼓脹變形(inter-layer bulging)。外穩定破壞之力學分析機制則係將加勁區視為一剛性體(rigid body)，再考量區外土壤行為變化對其穩定性之影響。一般發生之破壞型式包括整體滑動、地基承载力不足，以及過量沈陷等(劉海軍, 2004; 堅尼士工程顧問公司, 2004)。

目前加勁擋土結構之破壞分析多藉由電腦程式進行，且以極限平衡法為主，採用極限破壞時之安全係數作為設計之控制要素。較通用的電腦程式包括 ReSLOPE、RSS、SLOPE/W、PCSTABL6、STEDwin、TALREN 及 UTEXAS3 等，功能考量、價格高低不一互有利弊。國內使用者以 PCSTABL6 及 STEDwin 較為普遍，二者均源自於美國 Purdue 大學，可採用 Simplified Bishop 法及 Simplified Janbu 法等多種二維極限平衡法分析加勁擋土結構之穩定，且最多可分析 40 層加勁材及 20 個不同土壤層次，惟對於局部張力破壞、拉出破壞及滑動破壞等則未能分析，對於土壤與加勁材之互制、加勁土體之側向位移及沈陷量、面牆之剛性影響、加勁邊坡之施工程序等亦無法計算。雖然極限平衡法具有若干缺點，惟因其使用較為簡易，故目前加勁邊坡之分析仍以極限平衡法為主(中華地工材料協會, 2001)。Abramson et al. (2002)則建議，電腦程式計算分析結果仍須輔以實務經驗之評估與判釋，方可確保邊坡之安全。

Zornberg et al. (1998)以離心機觀察加勁邊坡之破壞機制並考量不同加勁材間距、加勁材強度及土壤剪力強度對破壞之影響。試驗結果亦與極限平衡法之預測分析加以比較，用以驗證極限平衡法之正確性。研究結果顯示，在不同之試驗條件下，所有加勁邊坡模型均產生通過坡趾之明顯破壞面，其形狀可用圓弧、對數螺線或雙線性予以配適

(fitting)，與使用極限平衡法之分析結果近似。所不同者在於離心模型之破壞起始於邊坡中點而非極限平衡法所預測之坡趾。試驗結果亦顯示加勁材之間距對破壞面之位置並無影響，且不論填築土料之密度及加勁材之強度，破壞面之位置均差異不大。破壞時坡頂產生之沈陷則係由填築土料之性質控制與加勁材之間距及強度無關。

三、國內加勁擋土結構之本土特色

由於地域環境、工程條件與民族習性之影響，國內築造之加勁擋土結構與世界各地相較，具有下列本土特色：

1. 結構型式：國內之加勁擋土結構多應用於山坡地，且以多階之加勁邊坡為主。近年來亦逐漸應用於垃圾掩埋場及公路加勁路堤。應用之結構型式不若國外之多元化(周南山, 2000)。
2. 填築高度：一般加勁擋土結構之高度不超過 20m，然而由於國內山坡地發展之需要，臺灣歷年來加勁邊坡之高度亦迭創世界紀錄，高度超過 30m 者所在多有，且歷經強震、豪雨之考驗，尚未聞重大災損之發生。
3. 加勁材料：以加勁格網為主且產品多已本土產製，其製程與品質亦漸臻國際水準，惟廠商彼此競爭激烈，低價惡性搶標時有所聞，欠缺良好市場競爭機制與合作關係。
4. 填築土料：由於砂石資源缺乏、工程成本限制，以及棄土處理困難等因素之影響，國內加勁擋土結構之填築土料均以就地取材為主，極少取運土址外之砂質土壤。國外規範多不建議使用之土壤如黏土、粉土、頁岩甚至泥岩、灰渣等均在使用之列(黃景川等人, 1997; 周南山, 2000)。
5. 面牆型式：國內加勁擋土結構使用之面牆主要為地工格網之植生回包式，部分則為強調耐火特性之鋼柵式以及景觀功能較佳的疊塊式。
6. 工程實踐 (engineering practices)：加勁擋土結構在國內雖已行之多年，惟因其材料規格種類不一、性質複雜各異，且相關人材之教育與訓練至今仍未普及，違論工程經驗之累積與培養，故其相關工程實踐如規劃、分析、設計及監造等，一般工程師均無法勝任而常由加勁材料廠商統籌提供，此與國外注重專業分工，強調責任分治之模式不盡相同，除易衍生爭議弊病，甚而可能成為結構破壞之主因(周南山, 2000)。

四、加勁擋土結構之破壞特徵與原因探討

本文蒐集近年來北台灣地區 11 起加勁擋土結構失敗案例並與文獻資料案例合併彙整，綜合探討國內擋土結構之破壞狀況及其致災可能原因。依據歸納結果，國內加勁擋土結構之破壞特徵及原因探討如后，各案例之細節詳見唐玄蕙(2005)，此處不予贅述。

4.1 破壞特徵

造成加勁擋土結構破壞之因素甚多，其破壞特徵亦各不相同，惟依歸納所得，其常見者可整理如后，各種特徵之發生率則示如圖 1。

4.1.1 牆面側向鼓脹(lateral bulging)、外傾、開裂

此種變形破壞多發生於牆高約 1/3 處之牆面變形外鼓(照片 1)或牆頂外傾(照片 2)，嚴重時甚至導致牆頂路面沈陷，其發生原因主要是由於加勁格網垂直間距過大或加勁區填築土料壓實度不足或過於軟弱，以致加勁土體產生較

大之側土壓力所致。調查統計結果顯示此種破壞現象之發生率高達 78.95%，代表國內加勁擋土結構之設計及施工水準亟須改善。



照片 1 牆面側向鼓脹



照片 2 牆面外傾、開裂

4.1.2 牆頂沈陷開裂

加勁擋土結構產生之沈陷包括加勁土體本身之變形、側向位移導致之牆頂局部或全部沈陷、地基承受載重而產生之不均勻沈陷、以及地基承載力不足或整體滑動而引致之沈陷(照片 3)，其中論規模與結構整體危害性則以後二者較為嚴重。致災主要原因為規劃調查不當、分析設計錯誤，以及施工壓實度控制不良(馮光樂等人，2001)。於本研究中，此種破壞之發生率高達 63.16%，且多屬危害程度較高之整體滑動沈陷，顯示國人加勁擋土結構之工程實踐確具有嚴重疏失。



照片 3 牆頂沈陷開裂

4.1.3 牆面接點破壞

此種破壞之特徵係單塊或多塊面版與加勁土體分離、滑落(照片 4)，加勁材在與面版之連接處斷裂或固定端鬆脫，其原因可能為填築土料壓實度不足所引致之加勁土體與剛性牆面間之差異沈陷、加勁材間距過大，以及地震之垂直及水平加速度過大(周南山，2000)。調查統計結果顯示此種破壞現象之發生率雖僅為 21.05%，惟此偏低之機率係因本研究探討之案例中，疊塊式加勁擋土結構僅佔 4 例之故。若以此為母體統計，則其發生率則高達 100%，代表國內疊塊式加勁擋土結構有關此種破壞之防止必須檢討。

4.1.4 加勁格網斷裂

加勁格網之拉斷破壞係由於側土壓力過大、加勁材抗拉強度不足所致。一般而言，此種破壞多發生於加勁擋土結構之縱向即最大主應力方向(照片 5)。然而本研究觀察所及之現象卻多為伴隨側向變形、沈陷或滑動所產生之格網橫向肋條斷裂(照片 6)，且此種破壞之發生率達 42.11%，顯示國內加勁擋土結構之分析與設計應針對此種破壞模式儘速提出對策。此外，加勁格網亦應避免使用玻璃纖維等脆性材質製造者，從材質之延展性切入，防止此種破壞之發生。周南山(2000)認為此種破壞之產生原因可能為加勁擋土結構承受側向力後，呈現類似長樑之效應(long beam effect)，牆面承受張力，因而導致橫向肋條斷裂。康清富(2004)以有限元素軟體 PLAXIS 3DT 針對加勁擋土結構之三維效應進行數值模擬分析。証實長樑效應確實存在，且對加勁擋土結構中間高度以下之各層加勁材料影響較大，而暴雨亦將增加長樑效應之影響。



照片 4 牆面接點破壞



照片 5 加勁格網縱向斷裂



照片 6 加勁格網橫向肋條斷裂

4.1.5 地基承載破壞(bearing failure)

加勁擋土結構為柔性結構，可容許較大變形，然而若其地基剪力強度嚴重不足，則在結構體載重作用下會發生承載力破壞，導致加勁擋土結構之整體破壞(照片 7)。此種破壞多發生於包含軟弱地層之不良地質構造，顯示工程之規劃與調查未盡週延，以致未能於設計時適時提出對策。本研究調查之案例中，此種破壞之發生率高達 63.16%，顯示國人忽視規劃與調查之陋習相當嚴重。



照片 7 地基承載破壞

4.1.6 全面坍塌(overall sliding) 破壞

此種破壞之產生係加勁擋土結構整體因自重及外力作

用，自加勁區與原地層之界面或界面後方產生滑動而形成(照片 8)。破壞原因以區域性影響為主，如加勁結構體週邊之環境與地質因素等。例如以水文地質而言，地面逕流過大或地下水豐沛均可造成加勁結構體因孔隙水壓及滲流壓力增加而破壞(堅尼士工程顧問公司，2004)。而分析失誤造成加勁材長度設計不足或未依規範施工使加勁土體未與原地層有效聯結亦可能為致災原因。由於整體滑動多造成極為嚴重之災損，且其發生率達 36.84%，顯示國內加勁擋土結構之工程水準並未隨工程數量之增加而提昇，對於加勁擋土結構之推廣已產生極為負面之影響。

4.1.7 表面局部沖蝕流失

加勁擋土結構表面若植生不良，導致覆蓋率不足即可能產生此種缺失(照片 9)。植物根系對加勁擋土結構之整體穩定性雖無明顯助益，惟其具有防止紫外線照射、減少雨水入滲與沖蝕，以及提昇景觀綠化效果，故就長期安全而言，仍應避免此種缺失之存在。調查統計結果顯示此種破壞現象之甚為輕微，代表國內加勁擋土結構主要使用之植生回包式面牆，在此種缺失之防止方面表現良好。



照片 8 全面坍塌破壞



照片 9 表面局部沖蝕流失

4.1.8 表面焚毀

國內加勁擋土結構之面牆多採用植生回包式，此種方式雖具有優異景觀綠化效果，然亦因此較易遭致人為破壞，表面野火焚毀即為一例(照片 10)，所幸此種破壞尚不多見，且植物復育迅速，故對加勁結構體之力學穩定多無影響。



照片 10 表面焚毀

4.2 破壞原因之歸納與分析

依據蒐集案例現場勘察與相關工程實踐之探討，國內加勁擋土結構之破壞原因可分成自然因素與人為因素二方面加以檢討，並就各分項原因致災之影響依權重分級，藉以釐清破壞原因主次之別。分析結果討論如下並摘要整理如表 1 所示，破壞原因之影響權重與發生率之統計結果則示如圖 2。

4.2.1 自然因素

1. 降雨

研究結果顯示，89.47%之破壞案例皆與降雨有關，其中降雨可能為致災主因(影響權重 ≥ 4)之比例更高達 63.15%。臺灣雨多且不均，故因降雨而導致之邊坡破壞罄竹難書，位於山坡地之加勁擋土結構自亦不易倖免。造成破壞之原因係由於地表逕流之沖刷、侵蝕、地下水浸潤所增加土體之自重與飽和度，以及孔隙水壓上升或滲流壓力增加等作用所降低之土壤剪力強度(Abramson et al., 2002)。

2. 地震

文獻案例中因地震而產生之加勁擋土結構破壞僅佔 2 例(周南山, 2000)，且均為 921 集集地震所引致者，此後雖然全台均曾發生規模不等的地震，惟均未聞任何加勁擋土結構發生顯著破壞。本研究蒐集探討之破壞案例亦無一與地震顯著相關。相較於降雨所肇致之高破壞發生率，相對顯現加勁擋土結構之耐震優異性能。

4.2.2 人為因素

1. 規劃

使用加勁擋土結構之前應就工址特性詳予規劃，確認使用之目的、相關工程設施性質、型式、地質條件、週邊環境相容性及整體力學平衡條件與機制等，用以評估加勁擋土結構之適用性與安全性。為獲致上述工作所需之資料，除應進行必要之現場勘察外，對於工址之地質、地下水及週邊環境尤應執行相關調查工作，以獲取必要之分析參數。審視蒐集案例之規劃工作並比對破壞特徵，結果顯示，各案例之規劃均有未盡週延之處，且以忽視地質與環境調查為甚，導致規劃因素成為致災主因之比例達 52.63%，其後果輕則產生路面沈陷、開裂，重則造成全面坍塌嚴重災損。

2. 分析與設計

分析與設計為完成加勁擋土結構之必要程序且其正確性悠關結構之穩定與安全。分析與設計時除應參考中華地

工材料協會(2001)或相關文獻依標準步驟循序執行外，對於所使用之參數、方法及工具亦應有正確的認知，務必充分了解其限制或適用性，對於特殊的環境或地質因素亦應進行針對性之考量與分析。依據上述原則檢討破壞案例，可知多數案例之分析與設計皆於個案考量，流於套用標準設計圖說，忽視個案各種條件差異之特殊影響。分析時取用之參數或方法亦未充分了解其合理性，由此使得分析與設計成為破壞主要原因之比例約為 36.85%。

加勁擋土結構之穩定分析除加勁材的特殊斟酌外，其分析如同一般邊坡，另應考量短期與長期土壤強度參數之差異及地下水位、水壓之變化。而以電腦程式如 STEDwin 分析時亦應考量填方區與原地層界面之破壞可能性，以及如岩土界面或順向坡等特殊地質構造之影響，而非單純的圓弧破壞自動蒐尋。此外，暴雨時之穩定為加勁擋土結構安全分析之標準流程，因此降雨引致破壞之高發生率足以反証目前國內加勁擋土結構有關此一方面之分析與設計普遍欠缺週延。暴雨分析除應考量地下水位之上升外，另應計算因地表逕流滲水所形成之浸潤帶深度及其因此對土壤不飽和強度參數所造成之折減(堅尼士工程顧問公司，2004；Cho and Lee, 2002)。

降雨成為加勁擋土結構致災主因的另一重要禍端即為排水系統之分析與設計不當，造成排水能力不足或失效，無法及時渲洩地面逕流與地下滲流，造成土體強度折減、破壞之發生。國內加勁擋土結構關於排水系統之設計少有專業之滲流分析與排水選材考量，多數皆直接套用標準圖說。然而地下水體之移動常因水文地質構造之影響，其流向、流量與滲流壓力均具有高度不確定性，因此依照標準間距設置之排水系統其截排水效果往往有限，遑論所使用之土工排水材尚可能因選材不當產生堵塞、遮蔽等缺失。

3. 材料

任何結構體之安全均源自於構體材料之穩定，因此加勁材之選材必須依加勁擋土結構之功能、設計年限及工址環境等背景條件審慎考量。國內加勁材料之使用係以加勁格網為主，由於材料種類與規格眾多、製程與材質各異，因此其性質之檢驗較一般土建材料複雜，亦常因此引起工程實踐上若干爭議，惟本研究之觀察結果顯示各案例之加勁材雖有不同，對破壞之影響亦各有異，然整體而言多非致災之主因(嚴重影響之發生率為 5.26%)。進一步探討加勁材材質與結構體破壞之關係，結果說明其中以玻璃纖維格網之影響較為顯著。此種材料由於延展性不足，實不適用於「以形制力」之加勁擋土結構。

歸納填築土料對加勁擋土結構破壞之影響，研究發現填築土料成為致災主因之比例高達 31.58%，顯示國人忽視填築土料品質之程度極為嚴重，陷入加勁擋土結構的主要材料僅為加勁材料的迷思。實則填築土料始為加勁擋土結構之本，加勁材料僅具輔助功能而已。由前述可知，臺灣加勁擋土結構填築土料之本土特色即為就地取材，此係因為國情、環境特殊所致，然則設計者仍應以安全為要，依據相關文獻或規範(堅尼士工程顧問公司，2004；Jones, 1996)之建議，考量工址地質材料種類與特性，以及結構需求與重要性等決定加勁擋土結構之使用與否，而非昧於安全事實盲目採用。

4. 監造與施工

國內加勁擋土結構之類型以回包式及疊塊式為主，二者施工方式雖略有差異，惟施工重點均在於填築土料之品質控制。由於國人工程陋習使然，國內填土工程之品質表現向為人所詬病，因此而導致之路面沈陷或工程損傷事件罄竹難書(吳淵洵等人，2002)。加勁擋土結構之填築施工亦

復如此，規範要求之夯實方式，如昇層(lift)厚度、含水量範圍控制、夯實程序等對施工廠商而言往往形同具文，而監造單位對於夯實度之檢測亦未嚴格要求。部分重型夯實機械不可運作或難以觸及之地區如牆面、界面、轉角等亦未要求以小型夯實機械補強，形成結構弱面。此外，臺灣地區雨多且不均，惟施工廠商對於降雨及因此而產生土料含水量過高的問題，通常亦未予以有效之防範與處理，導致工期延宕及工程品質低劣。由於監造與施工的執行成效不佳，因此使得此一項目成為致災主因之比例達 44.44%。由此顯示加勁擋土結構工程品質提昇根本之道還在於如何改進施工廠商之工程水準。

5. 使用與維護

研究案例中因使用與維護失當而產生破壞之比例為 15.79%，說明加勁擋土結構之安全除與其興建過程中之工程實踐水準有關外，亦可能因完工後長期使用及維護不當而導致災害之發生。具體而明顯的事証即為使用者超限使用，例如施加之荷重超過加勁擋土結構原規劃及設計之範圍。又若結構體已出現失穩徵兆，例如沈陷、鼓脹等現象，而使用者仍未予積極有效處置，任令災害擴大，終於導致整體破壞之發生等，均屬於應注意、可注意而未注意之使用與維護疏失。

4.3 破壞原因之防治對策

依據破壞原因之案例探討，降雨為導致加勁擋土結構破壞之主要天然因素，而人為因素方面，則工程實踐之每一環節均與案例破壞有所關聯，惟論其要者，則以規劃及施工之疏失最具關鍵性。進一步探討其中各分項工程實踐之影響，則以疏漏地質與環境之調查、忽略排水系統之功能，以及漠視填築土料夯實之品質為最。由此可知，國內加勁擋土結構之破壞徵結係以人為因素為主，且關鍵並非在於加勁擋土結構之特殊專業分析與設計，而係傳統大地工程邊坡穩定分析與設計之專業訓練不足，以及土方工程承攬廠商之施工品質低落。

鑑於加勁擋土結構之推廣有益於臺灣本土特殊的複雜坡地環境，為避免爾後加勁擋土結構破壞重複發生，其治本之道應為強化相關工程人員之在職教育與訓練，且著重降雨等環境因素引致邊坡破壞機制之探討，對於成功與失敗案例之經驗傳承與累積尤應建立制度，從而提昇加勁擋土結構工程人員之專業素養。土方工程之施工品質則可自改善計價與監造制度著手，由業主要求設置獨立第三者檢驗夯實品質，並依檢驗數量控制土方計價。藉由上述方式改善加勁擋土結構工程實踐之水準，方可避免爾後類似破壞再度發生。

國內加勁擋土結構之興建過程中，加勁材料廠商於銷售材料之餘，通常提供規劃、分析、設計乃至於監造等多元化之服務。此與國外講求專業分工、責任分治之模式截然不同，堪稱國內加勁擋土結構工程實踐之本土特色，且甚至因此為人詬病，成為加勁擋土結構破壞之主因(周南山, 2000)，惟自工程使用與安全之觀點而言，一項工程設施之完成過程固然十分重要，然而完成後是否得以長治久安方為最終目的，因此國內加勁材料廠商若能提昇自身的專業技術能力或結合信譽良好之設計與施工廠商組成優秀專業團隊，以統包方式承攬加勁擋土結構之施作則不但符合權責一致的原則，同時長期而言，亦有助於國內加勁擋土結構工程實踐之競合機制與專業水準之提昇。

五、結論與建議

本研究蒐集桃竹地區近年來 11 起關於加勁擋土結構之

實際破壞案例，執行現場勘察與相關工程實踐之探討，並與文獻報導之相關資料綜合彙整，定性歸納國內加勁擋土結構常見之破壞特徵，推演破壞之可能原因，歸納各項影響因素，以期釐清工程失敗之關鍵，研擬建議防治對策，以供相關工程界之參考。依據研究所得，可獲致以下之結論與建議：

1. 國內加勁擋土結構之主要破壞特徵以牆面變形(78.95%)、牆頂沈陷(63.16%)及地基承載破壞(63.16%)之發生率最高，全面坍塌的發生率則為 36.84%。依據破壞特徵推論致災原因之結果，顯示國內加勁擋土結構之工程水準並未隨近年來工程數量之增加而提昇，對於加勁擋土結構之推廣已產生極為負面之影響。
2. 降雨為導致加勁擋土結構破壞之主要天然因素，而人為因素方面，則工程實踐之每一環節均與案例破壞有所關聯，惟論其要者，則以規劃及施工之疏失較具有關鍵影響，且問題癥結並非在於加勁擋土結構之特殊專業分析與設計，而係傳統大地工程邊坡穩定分析與設計之專業訓練不足。
3. 加勁擋土結構為一符合大地與環境相容需求的近自然工法，其推廣有益於臺灣本土特殊的複雜坡地環境。為避免爾後加勁擋土結構破壞的重複發生，本文建議應強化相關工程人員之在職教育與訓練且著重成功與失敗案例之經驗傳承與累積，改善填築土料施工計價與檢驗制度，以及因應臺灣加勁擋土結構之本土特色，由材料廠商結合優秀專業團隊，以統包方式承攬加勁擋土結構之施作。此種方式不惟符合專業權責一致的原則，同時長期而言，亦有助於國內加勁擋土結構工程實踐之競合機制與專業水準之提昇。

參考文獻

- [1] 周南山，「加勁擋土結構在臺灣的最新發展」，加勁擋土結構之最新發展研討會論文集，臺北，第 26-45 頁(2000)。
- [2] 李咸亨，「國內近年來加勁擋土結構之破壞案例探討」，加勁擋土結構之最新發展研討會論文集，臺北，第 46-52 頁(2000)。
- [3] 董心茹、周南山、李咸亨，「暨南大學聯外道路九二一地震邊坡崩塌復建工程」，第十屆大地工程學術研討會論文集，三峽，第 871-874 頁(2003)。
- [4] Huang, C. C., Chou, L. H., and Tatsuoaka, F., "Seismic displacements of geosynthetic-reinforced soil modular block walls," *Geosynthetics International*, Vol. 10, No. 1, pp.2-23 (2003).
- [5] 關剛、吳衍地、張慧清，「加筋擋土牆維修加固的研究」，雲南交通科技，第 17 卷，第 3 期，第 36-38 頁(2001)。
- [6] 楊錫武、曾德榮、吳國雄、歐陽仲春，「加筋擋土牆病害及其處治方法」，重慶交通學院學報，第 20 卷，增刊，第 83-85 頁(2001)
- [7] Scarborough, J. A., "A tale of two walls: case histories of failed MSE walls," *Slopes and Retaining Structures under Seismic and Static conditions*, Geotechnical Special Publication 140, ASCE, CD-ROM (2005).
- [8] Zornberg, J.G. and Mitchell, J. K., "Reinforced soil structures with poorly draining backfills. Part I: Reinforcement interactions and functions," *Geosynthetics International*, Vol. 1, No. 2, pp. 103-148 (1994).
- [9] Mitchell, J. K. and Zornberg, J. G., "Reinforced soil structures with poorly draining backfills. Part II: Case

- histories and applications,” *Geosynthetic International*, Vol. 2, No. 1, pp. 265-307 (1995).
- [10] 中華地工材料協會，「地土合成材料加勁擋土結構設計與施工手冊」(2001)。
- [11] 劉海軍，「土土合成材料加筋擋土牆失穩分析」，鐵道建築，第七期，第 53-54 頁(2004)。
- [12] 堅尼士工程顧問公司，「結合生態與景觀之加勁擋土結構設計及施工規範」，臺北市土木技師公會研究報告，臺北(2004)。
- [13] Abramson L. W., Lee, T. S., Sharma, S., and Boyce, G. M. , “ Slope Stability and Stabilization Methods,” 2nd Edition, John Wiley & Sons, Inc., New York (2002).
- [14] Zornberg, J. G., Sitar, N., and Mitchell, J. K., “Performance of geosynthetic reinforced slopes at failure,” *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, ASCE, Vol. 124, No. 8, pp.670-683 (1998).
- [15] 黃景川、呂安立、黃博男、孟繁羽，「以黏土質沈泥為背填土之加筋擋土大型試驗」，第七屆大地工程學術研討會論文集，臺北，第 743-750 頁(1997)。
- [16] 唐玄蕙，「加勁擋土結構破壞之案例探討」，碩士論文，中華大學土木與資訊工程系，新竹 (2005)。
- [17] 馮光樂、許志鴻、凌天清，「加筋擋土牆變形控制初探」，華東公路，第 1 期，第 13-16 頁(2001)。
- [18] 康清富，「谷地地形加勁擋土結構之三維效應研究」，碩士論文，國立高雄第一科技大學營建工程系(2004)。
- [19] Abramson L. W., Lee, T. S., Sharma, S., and Boyce, G. M., “Slope Stability and Stabilization Methods,” 2nd Edition, John Wiley & Sons, Inc., New York (2002).
- [20] Cho, S. E. and Lee, S. R., “Evaluation of surficial stability for homogeneous slopes considering rainfall characteristics,” *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol 128, No. 9, pp.756-763 (2002).
- [21] Jones, C. J. F. P., “Chapter 5, Materials,” *Earth reinforcement & soil structures*, Thomas Telford Publishing, New York, pp. 97-106 (1996).
- [22] 吳淵洵、李銘哲、陳雨音，「棄土拌和 CLSM 之工程性質」，高性能回填材料(CLSM) 產製研討會論文集，臺灣營建研究院，第 17-31 頁(2002)

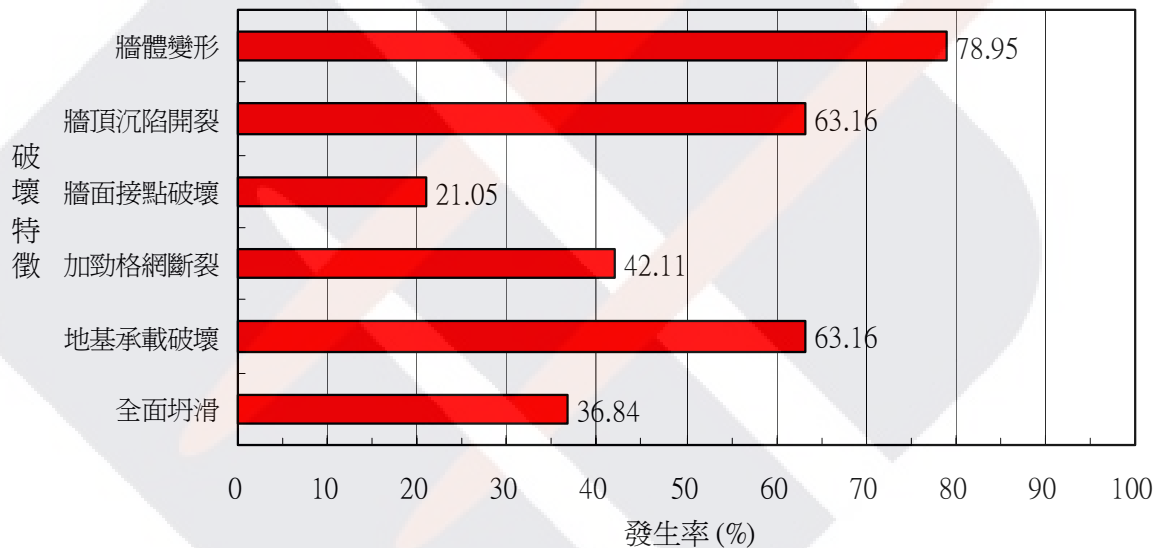


圖 1 國內加勁擋土結構常見之破壞特徵及其發生率

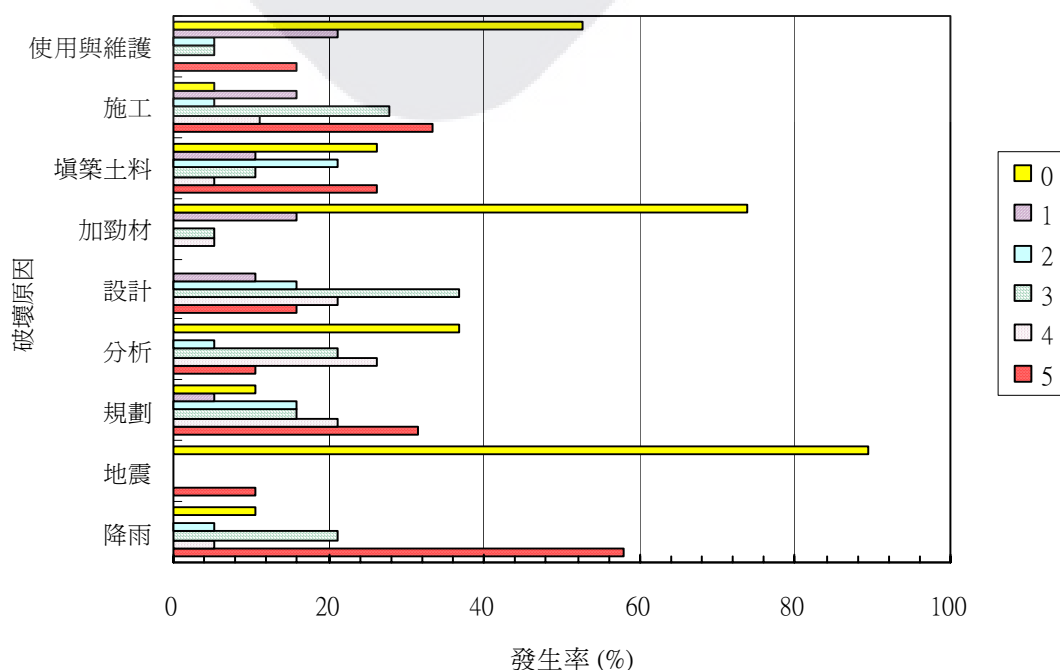


表 1 國內加勁擋土結構破壞案例推論破壞原因及致災影響權重

案例編號	案名	破壞狀況簡述	破壞原因與影響權重								
			天然因素		人為因素						
			降雨	地震	規劃	分析	設計	材料		監造	使用
					加勁材	填築料	施工	維護			
1	新竹縣北埔鄉某道路邊坡崩塌	破壞長度約 80m，連續豪雨後路面不均勻沉陷多次，繼而整體坍塌，破壞外形呈圈椅狀之圓弧滑動。	5	0	5	0	3	1	3	3	0
2	新竹縣寶山鄉某道路邊坡崩塌	總長度約 70m 之加勁邊坡約 60m 坍塌滑落山谷，路面沉陷開裂，道路僅餘單線通車。	5	0	5	4	4	0	2	-	0
3	新竹縣峨嵋鄉某道路邊坡沉陷	連續豪雨後，邊坡坡頂多次沉陷，最嚴重者下陷約 6m；牆面鼓脹變形，有整體滑動現象。	5	0	4	4	4	0	1	5	1
4	新竹縣關西鎮某農路修復	尚未施工完成牆體即產生不均勻沉陷，牆面鼓脹變形，底層基礎滑動，加勁格網橫向肋條斷裂。	5	0	3	4	4	3	5	4	0
5	新竹縣寶山鄉某社區道路沉陷	路面沉陷開裂約 25cm，路燈及護欄傾斜。	5	0	2	0	2	0	0	1	1
6	桃園縣復興鄉崩場地整治	路基軟化，牆體沉陷並有滑動現象，牆面鼓脹變形。	5	0	2	3	3	0	5	5	0
7	新竹縣竹東鎮某道路邊坡拓寬	底層石籠網斷裂，路面嚴重沉陷，路燈及護欄傾斜。	3	0	3	0	3	0	1	5	1
8	新竹縣竹東鎮某寺廟旁擋土牆滑動	牆體滑動，擠裂牆趾排水溝之混凝土邊牆，牆面鼓脹變形。	2	0	2	0	2	0	2	4	3
9	苗栗縣頭屋鄉明德水庫旁道路路面開裂	牆體外傾，路面開裂近 1m 寬。	3	0	4	0	3	0	0	3	1
10	台北縣某溪流排水改善工程	部分區段景觀石擋土牆倒塌，面牆與加勁材脫離，牆體不均勻沉陷。	5	0	3	0	0	0	5	5	0
11	新竹縣峨嵋鄉某道路邊坡崩塌	完工後一年因上方傾倒高達 10m 之廢棄土，牆體無法負荷載重而崩塌，玻璃纖維格網發生脆性斷裂	3	0	0	0	0	4	0	0	5
12	暨南大學(周南山，2000)	921 地震時上邊坡(自然邊坡)及下邊坡(加勁邊坡)整體下滑，坡體開裂。	0	5	5	3	3	0	0	1	0
13	中山大學十八王公廟旁邊坡(周南山，2000)	加勁邊坡位移，形成大肚現象。	5	0	0	4	3	0	2	3	0
14	台中大坑附近疊塊式加勁擋土牆破壞(周南山，2000)	921 地震引起加勁牆破壞，面牆與加勁土壤區分離。	0	5	1	3	3	0	0	1	0
15	五股鄉登林路垃圾掩埋場加勁路堤破壞(周南山，2000)	因蓄水造成巨大水壓力，下邊坡加勁擋土牆向下滑動。	5	0	5	5	5	1	5	2	5
16	三芝鄉龍巖建設墓園棄土場土石流(周南山，2000)	雨水滲入加勁邊坡，造成整體邊坡下滑，並形成土石流。	5	0	5	5	5	1	5	5	5
17	中和某山坡地設區加勁擋土牆破壞(周南山，2000)	加勁擋土牆產生不均勻沉陷隨即傾倒。	4	0	4	2	2	0	2	5	2
18	高雄某大學新校區加勁擋土牆破壞(周南山，2000)	因沖蝕而局部破壞	5	0	4	4	4	0	4	3	0
19	林口某社區附近加勁邊坡破壞(周南山，2000)	加勁邊坡滑動	3	0	5	3	5	0	3	3	0

註 - 致災影響權重等級指標說明：0 無影響；1 極輕微；2 輕微；3 中等；4 嚴重；5 極嚴重