

從綠色工程新思維探討崩塌地整治

Author：張珮真，鄭恆志，吳嘉文

Reference：農林學報第 60 卷第 2 期，pp.147~157(2011)

1. 前言

在環境永續發展之前提下，傳統公共工程人定勝天的舊思維觀念，純粹以施工或結構的抵抗性或補償式作法，往往輕忽社會成本與環境成本，實已無法因應當今環境之劇烈變遷。永續之綠色工程，必須以綠色內涵與全生命週期分析建構，符合安全、生態、減碳的目標，達到防災、減災及環境永續發展之新思維。2009 年行政院核定的「振興經濟擴大公共建設投資計畫」即規定各項公共建設之設計應採用符合環保、節能減碳概念之綠色工法、綠色材料、綠色設計及綠色能源之「綠色內涵」，並指出「綠色內涵」原則不低於預算 10%，使綠色工法從此有了更明確的使用規範。

坡地治理之工法既多且廣，一般邊坡坍塌整治工法包括排水、修坡、加勁、擋土、地錨、佈樁等，各種工法均有其利弊得失，廖瑞堂針對邊坡滑動深度加以分類，並建議可參考之修復工法。但面對氣候變遷之極端降雨造成超越以往經驗之大規模災害，工程的興建若缺乏整體成本效益分析及符合生態、防災、減碳的永續目標就貿然執行，不僅將排擠其他重要政策，所投入的大量能源與營建材料，反而破壞生態環境並增加二氧化碳的排放量。

本研究以台灣中部新庄地區一處嚴重崩塌地，採用符合「綠色內涵」之複合工法進行修復，並針對整治結果及各項效益探討之。

2. 研究範圍與整治理念

一、區域位置與範圍

本案位於台灣中部國道四號東向 8K 附近的大甲溪沿岸邊坡，本區因受到 921 大地震和桃芝風災等重創，造成山坡地土質鬆動，部份土石坍方流失，周遭林班地出現大面積坍塌，形成多處斷崖。本案整治規模約 1800m²，全長約 45m，最大深度約 40m，且邊坡坡度大於 70 度，因其邊坡上方有住家及工廠等保全對象，現地多年來曾採用石籠及混凝土壩等工法均未能有效阻絕崩塌，原本保全對象距離崩塌界面至少有 20m，歷經多年災害持續崩塌後已縮減至不到 5m，使邊坡上方之保全對象生命財產受到直接威脅。

二、現地調查分析

(一) 地形調查

本案位屬大肚台地東麓邊緣地帶，地表平坦但邊緣陡峭。坡面因長期受雨水侵蝕產生侵蝕溝，且受太陽照射的時間長，平均溫度高，日夜溫差大，加速其風化程度，對岩石的工程性質亦會造成影響。

(二) 地質調查

根據中央地質調查所，神岡鄉鄰近大甲溪河岸的地層屬沖積層，由礫石、砂、粉砂及黏土所組成。其最上面為紅土層，厚度約 1.2 公尺，下部的地層是礫石層，基盤是屬於頭嵙山層。紅土層係由礫石、粉砂及粘土等經風化作用而成；礫石層則由層理不明的礫石所組成；至於基盤頭嵙山層的岩層組織，包括礫岩（上）、砂岩、頁岩（中）及泥岩（下）等，這些岩層有的相互夾層，因此其層理不明，且基盤岩層與礫石層的接觸並不整合。另外，台灣位於地震頻繁地帶，地震與活動斷層造成工程災害的案例時有所聞。

若工址位於強震區或活動斷層附近，可能受此環境因素而破壞。因此地震係數之考量係依據內政部修正「建築物耐震設計規範及解說」，一工址設計水平譜加速度係數 $S_{DS} = F_a \times S_{DS}$ ，其中 F_a 為反應譜等加速度段之工址放大係數，隨地盤種類與震區短週期水平譜加速度係數 S_{DS} 而改變。並考慮擬靜態加速度 $\alpha = (1/2) \times$ 尖峰加速度。

(三) 水文調查

本案地下水位於地表下約 2.8m，且坡面上有一口直徑 1m 的排水匯流管，匯集附近地區的排放水，匯流管高度距坡趾約 25 公尺高，常於颱風豪雨之際，滿管湧出大量水流，直接沖刷邊坡坡面及坡趾，導致邊坡土石流失造成向源侵蝕及邊坡崩塌，多年來本區曾採用石籠及混凝土壩等工法，但均被大量水流及高差動能毀壞。



三、致災原因分析與探討

工程之破壞原因一般可就天然因素與人為因素兩方面加以探討，因本案無明顯人為破壞，故僅針對天然破壞因素加以探討。本案天然破壞因素主要為 921 地震造成邊坡崩塌及解壓。另根據中央氣象局資料統計，自 921 大地震後，台中區有感地震總計約 1000 次，不但使邊坡持續鬆動不穩定，對之前整治的工程都有可能直接或間接造成破壞。

本案第二個天然破壞因素為邊坡地勢陡峭。由於該區坡度大於 70 度、地勢落差約 40 公尺，且自 921 大地震後，邊坡因解壓而處於不穩定狀態。另一天然破壞因素主要為大量降雨入滲。此會造成地下水水位上升，使靜態水壓增加，有效應力降低，伴隨著剪力強度遞減；且在垂直裂縫（開口節理或張力裂縫）的水壓力，容易因水的側向壓力增加，將土坡推向下方，造成邊坡破壞。且因既有排水設施損壞，上邊坡匯集之水流直接沖刷邊坡坡面，致邊坡土石持續流失，加速原本已風化表土崩落。

四、工程整治理念

工程整治需進行通盤考量，傳統單純以剛性工法之整治方式已不符合生態、減碳及綠色工法整體思維；針對山坡地災害治理，國際趨勢已漸漸由綠色工法取代或結合部分傳統 RC 構造物，其中又以加勁結構物最常見。加勁結構主要由加勁材、面板系統及排水系統等組合而成，其結構原理乃藉由加勁材層層鋪設握裹回填土料，並以內穩定模式確保加勁土體之穩定，再以加勁土體整體作為類似重力式擋土牆之功能以抵抗加勁土體內側之土壓力以及上部之荷重。

加勁工法應用於崩塌地工程時，可利用現地崩塌土方加以結構化，避免大挖大填的方式，減少對原有穩定土層的破壞；而完工後牆面的植生不但減少雨水沖刷，亦使工區充分融於當地自然景觀，恢復當地原有的地貌；並提供生物遷徙及棲息之場所，減少對生態環境之衝擊。再者，加勁工法本身是屬於柔性工法，耐震能力佳，能大幅改善土壤抗剪力不足的特性，符合本案地震頻繁之需求。

(一) 設計理念

本區崩塌持續發生之原因主要為鬆動的土石、過量的水，以及陡峭的坡度，故整治設計重點應為穩固的基礎及適當的擋土結構，並有效的引導水流並消彌水流動能，最後應還原本區原有生態植生環境。經以綠色內涵為原則評估後，本案治理方式採用複合工法，首先以 12m 基樁及 8m 混凝土壩穩固基礎後，上方採回包式加勁擋土牆其埋置深度為 3m-16m，加勁格網縱向長期容許設計強度分別為 60kN/m、120kN/m，牆面坡度 (V:H) 為 1:0.3，牆高 29.5m，分 11 階施工。

為有效解決排水不良問題，加勁結構中並設有完整之內外部排水系統，其回填材料選用最大粒徑不得大於 15cm，且通過 200 號篩之重量百分比不得超過 25%，且不得含有機物質及其他有害物質，做為回填，另於加勁擋土牆中分層設置間隔 2m 之 10cm 直徑 HDPE 排水管其深度最深達 16m，來強化邊坡整體穩定性。

另本區上邊坡有一管徑 1m 之既有排水匯流管於汛期有大量排水流下，故於匯流管下方施設 2m×2m 的排水明溝，將水量匯集導入入溪。而坡腳前方腹地因有大量崩積土石及風化土堆疊，因此於崩塌基腳施設石籠擋牆，防止因基腳不穩致使崩塌延續擴大，並就地取材減少棄土外運成本，除可防止底層沖刷，亦可將多餘水量排入溪流中，而二者配合處理，則有互輔之功能。坡面部份則在蝕溝處配置縱洩溝，並於加勁擋土結構物退階處設立橫向排水溝，加強坡面排水提高邊坡穩定性，最後於本工程坡面進行全面之植生綠化。

(二) 工程綠色內涵

依據行政院公共工程委員會所要求之綠色內涵，由於加勁工法可於坡面植生綠化（綠色環境），並運用現地土壤回填成加勁擋土結構物之主體，減少土方外運對原有生態環境的衝擊（綠色工法）；且加勁工法所運用的材料均屬質輕、易於施工，減低運送及施工時機具所產生的污染（綠色材料）；另外加勁工法可較傳統 RC 工法減少大量 CO₂ 排放量，係為節約能源的型態之一（綠色能源）。綜合上述探討，本案使用加勁複合工法符合綠色內涵之四大原則。

3. 結果

針對本案例依安全性、施工便利性、景觀性、生態性、經濟性及節能減碳方面做評估：

一、安全性：

本案主體結構採予複合式加勁擋土結構物作為治理工法，以極限平衡分析針對加勁結構物總體穩定性（包含內穩定與外穩定）進行分析。其分析結果均符合建築技術規範之建築物基礎構造設計規範之規定，於長期載重狀況之安全係數要求。自完工歷經多次颱風及地震侵襲，並無任何問題產生，成功保護附近民眾及確保結構物之安全。

二、施工便利性：

加勁工法之材料主要係採用現地土料，此可減少廢棄土清運。施工方面不但施工程序簡單快速，且不需太多大型施工機具；施工人員不需具有特殊技術與經驗。與其他工法比較，施工前的工地整備要求較少，結構物前方的運作空間需求亦較少，除加速施工之時效性，亦大大提昇施工便利性。

三、景觀性：

傳統 RC 工法在景觀上最為詬病的就是無法融入當地邊坡景觀形態，造成工程完成後有相當突兀的景象，而加勁工法由於本身植生效果良好，使用低維護草種如百慕達種子或其他適當地型氣候之混合草種，對於融入原有當地景觀的功效上有很大的幫助，也減少大規模工程結構物對於當地生態環境之劇烈衝擊。

四、生態性：

加勁工法可營造植生環境，本工程於完工數個月後因周邊強勢植生種入侵，使牆面之植生與周遭完全一致，並可回復原有生物棲息空間，與 RC 工法相比較，本案加勁工法可增加約 1100m² 植生面積，同時提供生物活動空間。

五、經濟性：

由於本案崩塌地深度規模極大且地質條件惡劣，若以傳統工法整治則須極高額之經費。而加勁工法的特性在於高度增加亦不會使得單位成本增加幅度過大，於牆高 10m 時，營建成本僅為懸臂式 RC 擋土牆營建成本之 70%，且就地取材並將以結構化，不但增加結構安全，亦著實節省龐大經費開支。

六、節能減碳：

依據財團法人成大研究發展基金會針對景觀加勁擋土牆之生命週期減碳研究，其將景觀加勁擋土牆、重力式混凝土擋土牆與懸臂式 RC 擋土牆之 50 年生命週期 CO₂ 排放量統計後比較，景觀加勁擋土牆之 CO₂ 排放量均優於其他兩者。且依該研究建議之方法，計算本案複合式結構物之碳排放量，以 50 年生命週期來看，本工程完工後，可增加約 1100m² 植生面積，此植生綠化的部分另可吸收 82,500kg 之碳排放量，此係為傳統混凝土擋土牆所不及之處。

4. 結論

本研究結果顯示加勁複合法不論是規劃、設計、分析與施工階段，皆經相關法規謹慎評估、檢核及逐層確實施工，安全無虞。因強震之後加上暖化效應的衝擊，台灣近年來災害反有越趨嚴重之勢，且災後單純之傳統工法之嚴重損害令人悚目驚心。

本案採用加勁複合傳統工法整治崩塌地，於民國 98 年竣工，至今歷經八八風災及多個颱風侵襲，目前結構穩定，植生良好，並增加土地利用面積，而根據財團法人成大研究發展基金會針對景觀加勁擋土牆之生命週期減碳研究，提到依相同高度而言，RC 工法生命週期中碳排放量為加勁工法的 5~8 倍以上，另本案以 50 年生命週期計算，於本工程完工後，其坡面植生綠化的部分又可吸收 82,500kg 之碳排放量，此部分佔整個工程碳排放量的 8.78%，又為本工程帶來更進一步的減碳效果，充分符合行政院公共工程委員會所要求之綠色內涵。因此當地民眾接受度頗高，故此案例可供作為以綠色工程在崩塌地修復工程之參考。

