

加勁工法應用於坡地工程之關鍵技術探討

柳政男
盟鑫工業股份有限公司
經理

摘要

台灣之坡地維護向來在水保工作中佔較大之比重。而加勁工法在台灣之應用則已行之十數年。近年來在政府推行生態工程以及環保意識日漸抬頭下，生硬且製造過程伴隨大量二氧化碳產生之鋼筋混凝土結構物乃逐漸被其他較符合生態精神之工法所取代，而成熟之加勁工法則正符合生態與安全之理念。

加勁工法應用於坡地工程之關鍵技術乃在必須兼顧因地制宜、正確設計以及落實施工等，而施工過程中之基礎穩固處理、回填土之含水量是否恰當等亦為加勁工法是否成功之重點。本文以目前實際應用於台灣坡地工程之加勁案例為依據，並擷取部分國內相關規範及研究重點與相關學者之建議，針對加勁工法在坡地工程所能應用之範疇進行一概略性之整理，另亦針對如何落實加勁工法之施作技術以實際施作照片匯集出部分重點以作為相關應用之參考。

一、前言

台灣多山，海拔 100 公尺以上之坡地面積比例超過 60%。台灣也多雨，平均年雨量超過 2500 公釐，且多集中於 5~10 月。在地形影響下，約 72% 的雨水逕流入海，大量而集中之降雨在台灣的坡地上造成顯著之沖蝕現象，復加上台灣地質年輕而破碎，地震頻仍，更因各種觀光及農作之需求而進行坡地之人文開發，種種因素造成台灣的坡地災害時有所聞，並直接破壞環境甚至危害人民之生命財產安全。坡地之水土保持工作是以成為亟需重視之一環。

坡地之水土保持工作除了從政策上予以管控開發外，在維護工作上一般可分為植生方法與工程方法。植生方法即建立植物生育基盤後引導植生生長的方法(林俐玲、林文英，2004)，其最符合生態工程之精神，但屬緩效，一般風調雨順的氣候在台灣並不易求，因此在特殊需求的情況下以工程方法進行水土保持工作在台灣亦相當常見。當然回歸中庸之道之適度地以合宜的工程方法輔助植生應可為較宏觀與較具效率之措施。

為符合生態工程之精神，就地取材進行整治乃為較值得鼓勵之作法，因此砌石工法、土堤及土壩工法、蛇籠及格籠工法以及加勁工法等皆已成為水土保持技術規範中之標準工法。上述諸工法皆以天然材料為主要結構，間輔以鍍鋅鐵絲網或地工合成材強化其結構穩定性並延長其使用年限。安全、景觀及生態三環同時兼顧方為最佳之措施。

加勁工法之觀念始見於新石器時代之仰韶文化(中國建築簡史，1962)，完整

結構之落實則由歷時超過 2000 年之漢代長城所印證(照片 1)。其精神乃在天然土壤中加入天然或人工材料，並藉以增加原土壤之抗張及抗剪強度。近代之科學應用則於 1963 年由法國正式推展開來。台灣於 1980 年代後期引進加勁工法，因其具有經濟、美觀、施工簡易快速、易於維護、運輸輕便、可就地取材及耐震性佳等優點，特別適用於台灣此等山多坡廣之地形，因此各式加勁結構系統蓬勃發展。向以先進技術聞名於世之台灣紡織業更因此投入大量之專業技術開發出更優良之加勁材料。時至今日，台灣之加勁工程技術與應用不但最多元化，其成熟度與規模亦已臻世界之翹楚。



照片 1 歷經 2000 多年之加勁結構

加勁工法在台灣之應用極為廣泛，常可見於坡地工程、交通工程、棄土場及垃圾掩埋場工程等，廣義之加勁工法(如蛇籠固床工、地工沙腸袋及格籠護岸等)更可見於一般之河海工程中。其中以坡地工程之應用最為常見。而台灣可見之加勁結構形式以面板系統分類則有回包式、鋼柵式、景觀石式、場鑄面板式及預鑄面板式等五種。其中後三種較具剛性結構之味道，因此多運用在住宅或人文區附近。以坡地工程之運用而言一般較講究植生綠化以及施工經濟輕便，因此以回包式面板為主，偶亦可見鋼柵式及景觀石式面板系統。

二、加勁工法於台灣坡地之應用概況

台灣坡地工程之應用工法從傳統 RC 擋土牆到掛網植生以至規模較小之土包堆砌等非常多元化。而加勁工法對工址環境之適用性及應用性彈性較大，其可就地取材及加勁材質輕巧且施工上對重機械之倚賴較輕等優點，使得加勁工法在坡地工程之應用上較具發揮之空間。

加勁工法於坡地應用之主要功能為增加邊坡物理性之穩定，並藉此提高植生被覆率以達到生態性之穩定。其應用之目的在達成棲地改善、野生保護、坡地綠化及減少土壤沖蝕等保育目標。其精神在以生態為基礎，安全為導向之理念。因加勁工法的確具有此諸多優點，因此經年來在適當的地點乃成為各業主單位及設計單位甚至私人單位所樂於選擇及採用之工法。在近年逾數千件之加勁實例中，

屢見規模高度達 20m 以上者，如淡江大學蘭陽校區、高雄佛光山、關西新桃發電廠、及投 83 線等(照片 2)，經由此等成功之加勁工程，顯見台灣工程界對加勁工法之知識與技術已達成熟之境。



照片 2 高度超過 20m 之加勁結構

加勁工法之應用較常見於坡地工程中之基礎安定工程，近年亦可見其應用於山腹工之節制結構，應用加勁工法修復原僅規劃緩坡修坡而後崩塌之坡面也已成爲國道坡面工程之實際案例。加勁工法之施工彈性極大，坡面斜率從垂直到 1(V):2(H)在台灣都已有實際成功案例可供追蹤參考。

加勁結構在施做上較不受工址環境之限制，依現地情況可選擇合適規模之施工機械並選用符合現地地貌或功能要求之加勁型式。另加勁工法在規劃設計部分目前已有許多專業之學者及單位研擬出可供參考依循之分析技術與方法，如台灣營建研究院及台北市土木技師公會所陸續出版之加勁設計與施工規範與手冊等。因此加勁工法在台灣之應用已發展為一成熟而可信之工法。目前業界亦有諸多輔助分析軟體如 STABL、MSEW、Reslope、ReSSA 等供設計單位進行更有效率之分析與設計。

三、加勁工法於台灣坡地之應用要點

台灣之坡地工程依地區與功能要求不同而可能在應用工法上有不同的考量。坡地鄰近人文開發地區可能考慮之重點為景觀與較保守之安全性；而於一般山區邊坡或崩塌地則其考量可能較偏重生態和諧與永續穩定性。本節則將依據加勁工法於台灣實際應用之經驗選擇以坡地工程應用為重點加以介紹，並針對加勁工法之施作細節摘錄部分實績紀錄加以說明。

1. 加勁工法於坡地工程之應用範圍

加勁工法於邊坡工程上大部分應用在邊坡之坡趾部分，目前亦逐漸可見加勁工法作為邊坡坡面之防護工，而面板之選擇上則以回包式面板最為普遍。

1.1 加勁工法應用於邊坡坡趾部分

邊坡滑動所引致之破壞一般規模較大，尤其是與邊坡基礎或坡趾有關之邊坡滑動常造成毀滅性之災害，因此一般設計規範與分析準則較集中在解析此類型之應用模式。加勁工法一般最常應用之結構形式為加勁擋土牆，其功能類型較近似於傳統重力式擋土牆，其乃以加勁土體本身之自重作為支撐邊坡穩定之主要機制。加勁工法通常建議應用在整治中至淺層之邊坡滑動(廖瑞堂，2002)，其加勁材料之埋置深度通常建議超過模擬破壞面至少 3m。當然在完備之結構穩定分析下可以有較經濟之配置法。

工程上需進行整治之邊坡一般包括崩塌地以及一些因人文活動而需開發之山坡地。以崩塌地而言，一般坡趾處往往存在厚度與規模不一之崩積土石，此等崩積土一方面具有穩定坡趾之功能，但一方面又極易因豪雨沖刷流失而導致整體邊坡失去穩定，因此在要求挖填平衡及坡趾結構穩定之前提下，加勁工法適可以成為極佳的應用工法，此即為崩塌地源頭處理中之於堆積地地基腳實施穩定工(吳輝龍 2004)，此種工法因需將原具穩定坡腳功能之堆積土石暫時挖除復以經過強度計算得之加勁材料重新分層夯實，因此在施工時需特別注意整體邊坡之穩定維持，必要時需設置臨時擋土工。另因人文活動而開發之坡地一般較重視用地之取得，若屬挖方邊坡時一般較常採用傳統規模較短薄之擋土結構物。加勁工法於此種類型中較常應用於開發用地之下邊坡，若能在場址內適度取得挖填平衡或有合法之借土處，則加勁工法往往用來增加用地面積，此時位於下邊坡之加勁結構物其基礎必須座落於經承载力計算過之穩定平台上，一般甚至以基樁或鋼軌樁結合 RC 基礎板等作為加勁結構之基礎設施(照片 3)。而為維持加勁基礎長久穩定，加勁牆趾前至少應有 2m 以上之穩定平台，並需設置植生或防沖刷保護工。另因牆頂之人文應用使得此等加勁結構物對沈陷量較為敏感，因此對加勁結構之勁度或施工過程中之夯實度部分將必須有較高之要求。



照片 3 結合基樁與 RC 基礎板之加勁結構

1.2 加勁工法應用於坡面穩定部分

台灣之坡地穩定工程常採取修緩坡並加以植生之方式。此等邊坡工程於整治初期為加速植生之穩定性常輔以掛網工法，其主要功乃能在植生尚未穩定前減輕坡面雨水沖蝕並穩定植生基床。惟因台灣降雨型態逐漸有極端化之

現象，尤其是降雨時期其雨量往往超過一般護坡掛網之負荷，因此逐漸有緩坡沖蝕崩塌的問題(照片 4)，一般起始於坡面淺層淘刷，逐漸深入後則其崩塌規模逐步擴大。一般在修復之處理上較常見者有石籠工法、太空包回填或打設鋼軌樁等。近年來則已可見加勁工法之採行(照片 5)。



照片 4 緩坡掛網沖蝕情形



照片 5 用以修復緩坡崩塌之加勁結構

以加勁工法進行緩坡之崩塌修復其優點頗多，主要在加勁坡度之控制較能配合原坡面地貌，而完成之加勁坡面具有更優良之防沖蝕能力，此乃因為運用於坡面之 PE 袋土包以及回包段之加勁格網對坡面土壤具較佳之束制效果，因此提高了坡面表土層之抗剪力及抗沖蝕力；而一般在整治經費之考量上，運用緩坡工程之加勁結構其目的在保護坡面表層安定性，因此對整體坡面而言非扮演“擋土牆”之功能，故其加勁材之應用在整體邊坡穩定之前提下可以有較經濟的配置。

而在大型崩塌坡地之處理上，目前亦有應用加勁工法之實際案例。因崩

塌地一般規模較大，在經濟性與實用性之考量下加勁工法一般較適合以山腹工之節制結構型態加以應用，亦即橫向連續結構物，在經過整體地形與地質調查及考量後，若該崩塌坡面容許修整成階段性之坡面及可整出具足夠承載力之穩定平台(照片 6)，則加勁結構將成為極適合應用之整治工法，其主要優點為施工及材料運送容易，且加勁結構之韌度模數高，對變形及地震之耐受性佳，如此之分段性加勁節制工不但可遏止坡面崩滑之連鎖性，更易於營造坡面景觀之整體感(照片 7)。一般因大型崩塌地之邊坡土石堆積厚度不一，因此必須先經過較完善之地質調查，而加勁結構之設計仍須盡量保持原坡面整體之坡度與地貌，避免設置太高之加勁結構以免增加坡面額外之載重。若坡面堆積層太厚，則於設置加勁基礎時亦可配合基樁或鋼軌樁之施作以增加加勁基礎之穩定性。另外此等連續性橫向結構物可能形成兩端固定而中間承受較大應力之類似”梁行為”，因此在加勁材之設計上除了滿足縱向強度要求外，更需特別針對加勁結構之橫向強度加以規範。



照片 6 崩塌地應用加勁工法所需之平台開挖



照片 7 應用於崩塌地整治之加勁結構

2. 加勁工法運用於邊坡工程之設計要點：

加勁工法之設計方面於國內外已有越來越多之專業學者及單位投入研究，並陸續發表及出版與加勁工法相關之文獻及施工規範與準則等，因此國內設計單位對加勁之設計已不陌生。從加勁材料之配套選擇及結構配置到施工監造等一般都已具有完整之規範可資依循，而各主管單位亦陸續投入研訂加勁相關規範之工作，除了經內外結構穩定計算所得之各種強度要求外，在材料試驗規範上目前國內則較常見者則多以國際通用之美國材料與試驗協會 (ASTM) 試驗規範或美國地工合成物研究協會 (Geosynthetic Research Institute, RGI) 等所訂制之規範作為相關材料之品管程序參考。另國內之加勁相關材料廠商常因業務推廣之需要，而蒐集許多與材料性質、工法設計與應用等相關之資料，這些別具本土特色之數據與實際應用圖像等資料正可作為設計單位或相關研究或學術單位之實用參考。加勁工法之設計細節則可於實際執行時參考幾臻成熟之相關規範與設計準則。

3. 加勁工法運用於邊坡工程之材料選擇與施工要點：

加勁工法成功之關鍵在需先考量適地適用，其次則為因地制宜之結構設計，再而則為落實設計結構之施工。台灣地區因加勁工法推行甚早，具相關經驗與完整施工機具及設備之包商甚多，因此台灣各地皆已可見成效卓著之加勁結構。而在施工之要點部分本文中則以實際之施工紀錄為參考並加以說明。

3.1 加勁材料：

早期台灣之加勁材多為進口之 HDPE 硬式格網或鋼片式等，因其網材勁度較高而顯生硬，故於國外一般皆配合預鑄面板或景觀石面板施作。台灣因重視綠化之功能，因此較常使用經編織而成之國產 PET 軟式格網，面板型式則以最經濟之回包式為主。加勁材料之選用上主要需先考量其強度是否滿足設計之需求，其重點主要有兩項，首先為加勁材之初始模數，初始模數代表維持加勁結構平時勁度之穩定，國內則常見於施工規範中要求 2% 或 5% 之應變強度 (Wu, 1992; Christopher et al., 1991)；加勁材另一強度要求重點則為長期設計強度，因加勁結構一般在設計上屬永久性結構物，因此必須考慮加勁材在應用時受環境生化侵蝕、施工損傷以及長期潛變行為等對強度之折損程度，此可由實際程序規範化之標準試驗求得對應之折減參數並經計算而得。而加勁材之其他性質重點則尚有被覆材之種類、影響土壤互制行為之橫向與結點強度以及網目開孔程度等，而加勁材較一般土壤為大之極限延伸率則可於大型天災發生時防止加勁結構體全面崩毀或爭取避難之時效，因此亦為部分學者所重視。目前國內常有學術單位研究加勁材之實際應用行為，或有學者依據加勁結構實際應用之問題而研究加勁材之改良方向，這些研究成果都將對加勁工法之成熟具極大之推力。

3.2 排水系統：

排水系統為一般擋土結構極重要之部分，加勁亦不例外。加勁結構之排水重點主要有二，其一為避免地表水或滲出水進入加勁土體，如地表攔、導水溝，其二為加速排除滲入加勁土體之水。加勁結構之排水設計較類似“護城河”之概念 (圖 1)，應用之材料則有排水級配料、不織布及排水管與排水片等，一般需視現地水文情況調整排水配置之型態。

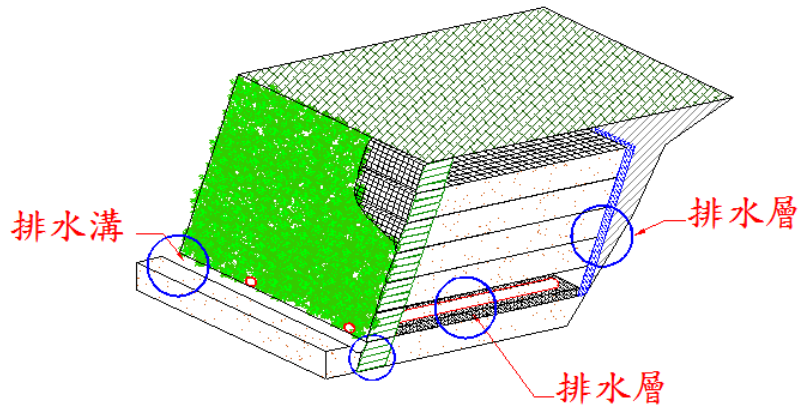
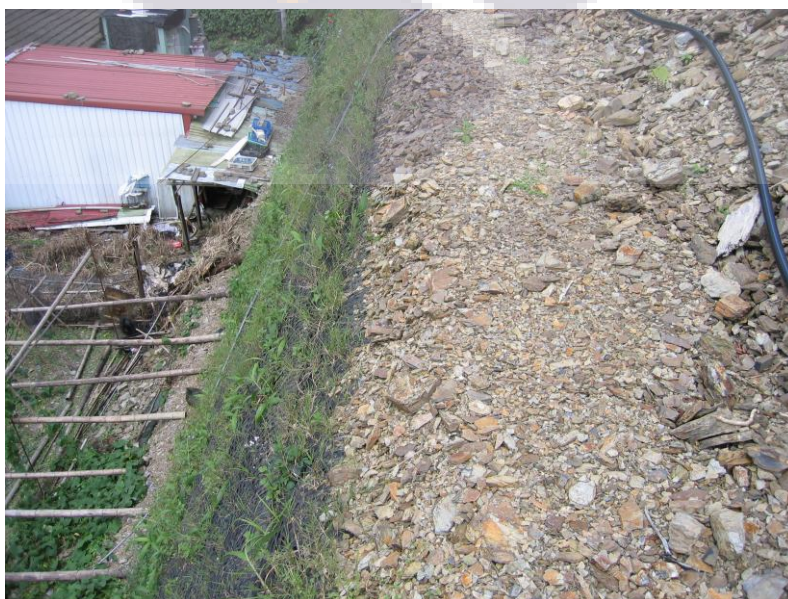


圖 1 加勁結構之排水配置參考

3.3 加勁回填材料：

基本上加勁結構之主體應為回填土，加勁材之功能則為”加把勁”，因此選擇適當之回填材並確實地加以夯實當為加勁工法成功之要素之一。一般規範較常建議以粒徑分布良好、具透水性及易於壓實之無凝聚性土壤(公共工程委員會施工規範第 02839 章)，不過一般在講求就地取材之情況下，符合標準之優良回填材一般較不易求，因此在一般工程應用上仍多以現地挖填方式為主。若現地可得之回填料極差時，一般之折衷方式則可選擇可行之因應配套措施，一般有使用環保控制性低強度回填材料(CLSM)作為回填材者；亦有使用抗拉強度較計算需求值更高之加勁材以抵抗不良回填料所造成之施工損傷者(照片 8)；另在具有穩定面層保護及完善排水系統之前提下，南部普遍分佈之泥岩或泥質粉砂亦有用來作為回填料之成功案例，此乃因為加勁結構對土體膨脹之耐受性較佳，惟其上部則不建議設置人文結構物。



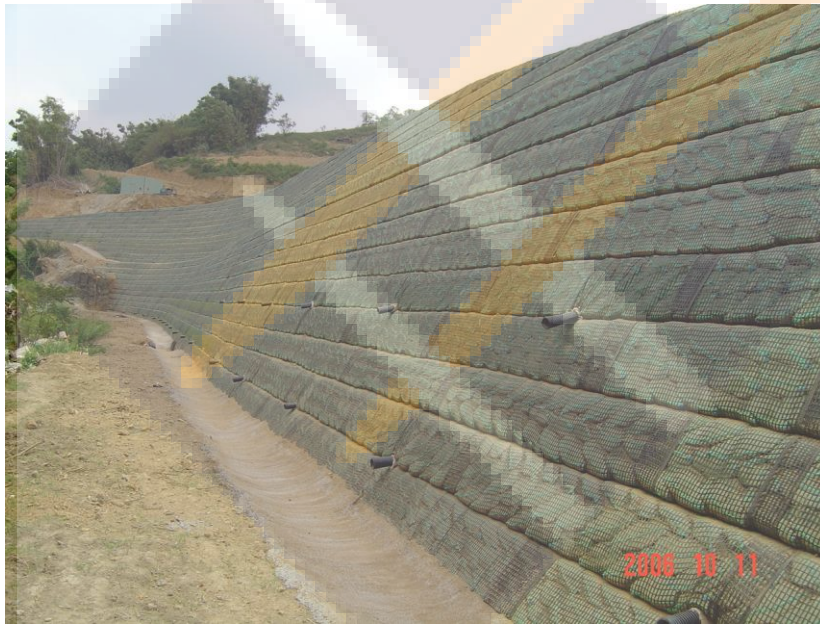
照片 8 特殊地區就地取材回填之加勁結構

3.4 牆面 PE 袋土包：

以加勁面板類型而言最適合植生之選擇為回包式加勁工法，該工法之面板乃於加勁結構坡面以遮光率約 70%之 PE 袋經裝填沃土排設而成。一般土包之排設重點有上下層交丁、袋口綁束後朝內，以及於排設後以適當工具酌於夯實等。部分案例於較差回填料如粉砂之情況下，為提高土包區之穩定性並防止沖刷，亦有於土包回填料中拌以適當比例之水泥或有機質土壤者。選擇回包式面板之目的在營造綠意盎然之坡面景觀，而植生覆蓋良好之坡面對雨水沖蝕之抵抗力較高，因此適度地配合噴植工法加速植生效率亦為常見之配套措施。

3.5 加勁施工技術：

加勁工法在施工上除了確實落實設計理念及遵循施工規範並應用適當施工機具外，加勁結構之美感亦為極受重視之一環。為力求加勁結構之扎實度，一般在加勁材鋪設後即需酌於施加拉力使加勁材繃緊，如此加勁材之初始抗拉模數亦方能表現；而為營造加勁牆面之平順質感，除以適當機具適度壓實土包區外，人力之拍打修飾亦為常見之措施，另外於加勁材回包段設置錨定溝並於回包段稍行覆土後施加適當拉力亦為保持加勁牆面緊實平順之技巧之一(照片 9)。



照片9 外觀平順緊實之加勁結構

四、結論與建議

台灣之坡地保育為水土保持工作中面積最大之一環，而坡地保育講究生態和諧以及永續發展，因此如何以最符合自然的方式進行台灣坡地於必要時之整治工作乃成為吾等所應思考與投入之課題。

加勁工法目前已成為一成熟之工法，其特色因相當符合生態工程之精神，是以逐漸成為在台灣坡地工程常見之工法之一。凡需以挖填平衡進行考量或需以生

態營造進行考量或一般傳統工法難以整治之邊坡工程等皆可將加勁工法列為應用工法之選項之一。目前加勁工法在台灣之應用型式逐漸多元化，從最早期之加勁擋土牆到目前可見之加勁護坡、加勁路堤、土石流攔石土堤或防衝撞土堤等，另更有與傳統 RC 結合或與石籠結合之複合式護岸工等複合式工法，甚至為克服因腹地不足而有加勁結合土釘或岩栓等工法之發明，這些都說明加勁工法乃為一極具彈性與相容性之優良工法。

惟部分地方之加勁工程仍可見其未竟全功之處，或有外觀缺失者，或有穩定性不足者。凡任何工程型式皆需用心加以投入，少部分營造者或以為加勁工程為一般之土方工程，或將加勁材之功用過度放大，或忽略加勁基礎所扮演之重要性，而在施作時以不足之設備或不成熟之技術進行之，因而導致原設計者之理念未能完全落實，此乃極大之缺憾；而部分工程於施作時可能適逢雨水淋襲，若未即時以防水布覆蓋工區、或未適當設置臨時導水措施、或忽略回填土過多之含水量，則倉促而成之加勁結構乃仍不免有可慮之處。所幸目前加勁工程日益普遍，落實加勁工法之關鍵技術亦逐漸成為普及之知識，逐日增加之專業包商群互相砥礪之良性競爭正快速提升國內加勁工法之水準。

目前台灣之坡地整治仍為一深重之課題，為恢復綠色寶島之理想，如何靈活運用適當之工法為下一代營造永續之自然環境乃為吾等所應肩負之責任。

六、參考文獻

1. 行政院農業委員會，(2000)，「水土保持技術規範」。
2. 吳淵洵、周南山、唐玄蕙，(2006)「台灣加勁擋土結構破壞案例與致災原因探討」。
3. 吳輝龍「水土保持植生工程之研究與發展」，2004水土保持植生工程研討會論文集，台中，第1~16頁(2004)。
4. 謝瑞麟、林鎮洋，(2003)「河溪生態工法案例圖集」。
5. 林信輝、張俊彥，(2005)「景觀生態與植生工程規劃設計」。
6. 江火獅，「嘉義縣竹崎鄉忠義橋下方護坡工程」，台灣地區自然生態工法個案圖說彙編，第115~121頁(2003)。
7. 行政院公共工程委員會，(2006)，「台灣地區山區道路規劃設計參考手冊」。
8. 行政院公共工程委員會，(2005)，「生態工法材料使用調查、評估及替代材料開發之研究(第二期)」。
9. 台灣營建研究院，(2004)，「生態與景觀式加勁擋土牆-設計與施工實務」。
10. 台北市土木技師公會，(2004)，「結合生態與景觀之加勁擋土結構設計及施工規範」。