

綠色工程材料與工法介紹

朱蕙蘭¹

¹ 盟鑫工業股份有限公司國內業務處 工程師

摘要：

氣候變遷如今已如同脫韁野馬，難以掌控，美國國家海洋暨大氣總署在 2013 年 5 月測得，大氣中的二氧化碳濃度已經突破 400 ppm，已超過了 2009 年哥本哈根會議所期許的將增溫限度由 2°C 降至 1.5°C，即將二氧化碳排放量控制在 350 ppm 以內，加上人類的各種過度開發行為，致使近年來全球面臨複合型災害規模日益增大，此現象將對於全球社會、環境與經濟而言，都是嚴重的創傷。然而全球為永續發展和節能減碳，積極落實所謂綠色經濟，在工程方面亦開始要求「綠色內涵」，本文將說明全球未來將如何順應此綠色趨勢，並以「綠色材料與綠色工法」進行規劃思考與應用，達到結合生態景觀、減碳與減廢之綠色工程。

關鍵詞：綠色工程、綠色內涵、綠色工法、綠色材料

一. 前言

溫室效應引發氣候變遷問題及熱島效應已經不是危言聳聽的話題，而是確實發生在我們生活周遭的現象。傳統工程著重於結構強化或施工規範之作法，投入許多能源及營建材料進行傳統工程施工，這樣會造成過多二氧化碳之排放量，進而破壞地球生態環境外，同時因為未考慮整體之效益，而忽略全球社會、環境與經濟成本。

綠色產業在基于降低環境衝擊及兼顧產業發展的理念下，被全球重視及發展的新興產業。聯合國 UNEP 於 2009 年 2 月對外發表全球綠色新政報告，建議各國投入 GDP 1% (約 7,500 億美元) 資助綠色環境建設及發展，落實「綠色經濟」。

臺灣因應全球節能減碳和永續發展之共識，行政院公共工程委員會公佈「永續公共工程 - 節能減碳白皮書」與「振興經濟擴大公共建設投資計畫」，即指出各項公共建設應採用符合環保、節能減碳且融合綠色內涵相關指標（如圖 1）之設計，公共建設用於綠色內涵之經費不得低於工程預算之 10%，由此可見綠色內涵已經逐漸受到臺灣國內相關單位的重視及採用，也值得大家共同努力達成。

綠色內涵相關指標，則由綠色環境、綠色能源、綠色材料及綠色工法等四個向度所構成，由於綠色內涵可探討之內容甚多，所以本文先針對綠色材料與綠色工法各別進行說明，說明如下(行政院公共工程委員會，2010)：

四大綠色內涵指標VS定義

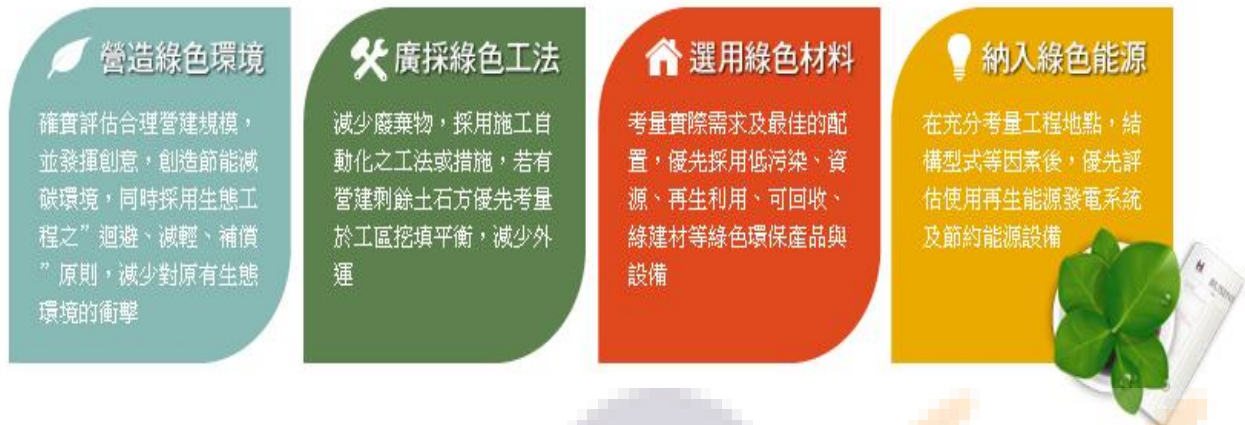


圖 1. 綠色內涵指標與定義

資料來源：行政院公共工程委員會，2010

二. 綠色材料

綠色材料應優先選用低污染、省資源、再生材料、可回收、再生利用等綠色產品。使用綠色材料目的在於資源循環再利用，並要求業者妥善處理工程產生的廢棄物，並鼓勵業者研發創新技術。綠色材料應需因地制宜使用，綠色工程選用綠色材料之具體做法可參考以下說明，依據綠色工程需求與環境特性應用(行政院公共工程委員會，2010)：

1. 使用耐久性材料

綠色工程於自然環境低度干擾的情況下，採用耐久性材料，進而減少未來維護管理作業，如：耐久性管材、雨水回收槽...等（如圖 2）。

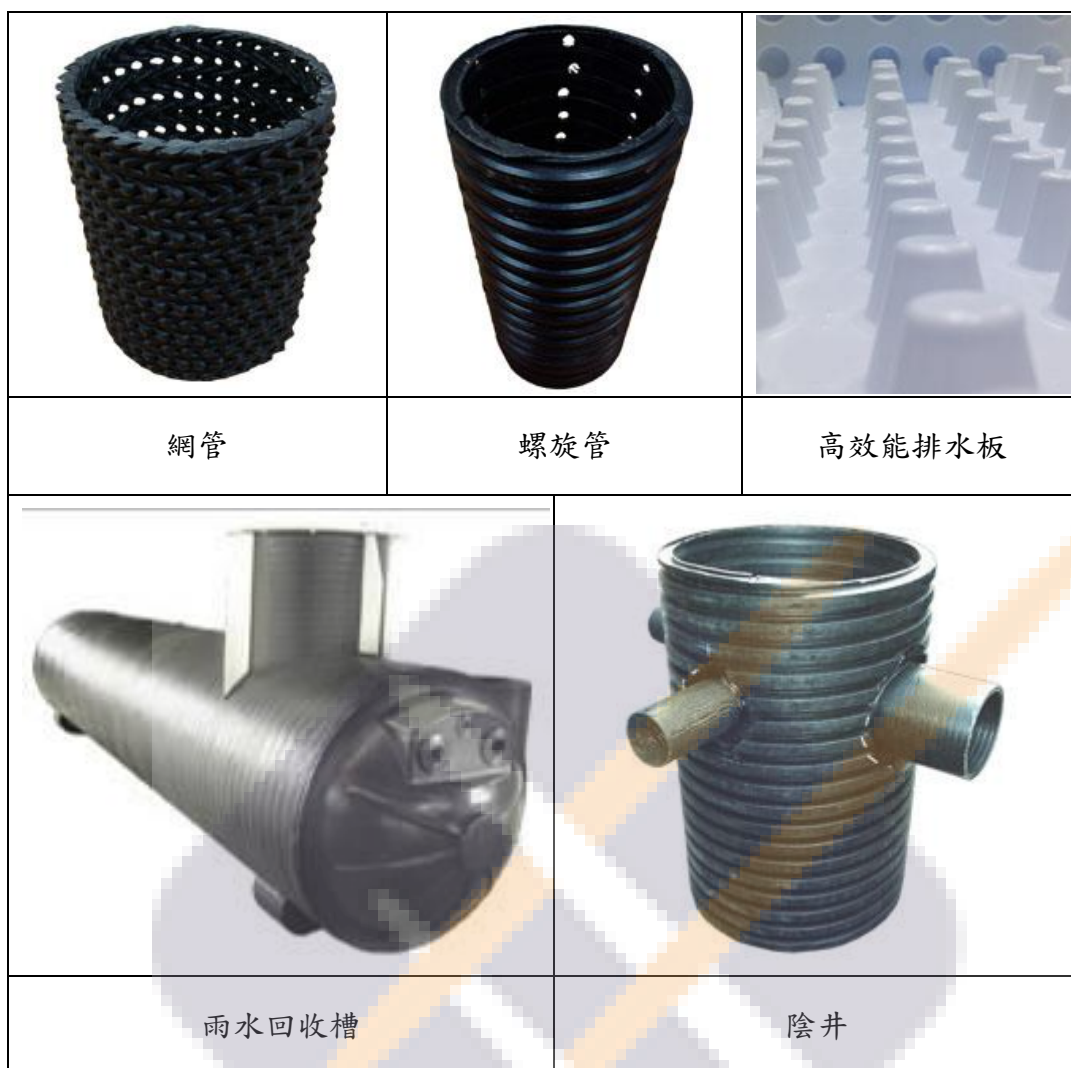


圖 2. 耐久性材料

2. 高效能材料與自然材料

綠色工程採用高效能混凝土或鋼筋、預鑄構件等材料，提高材料效率，減少結構尺寸，降低營建材料使用量，或在兼顧安全下採用石材、木材等自然材料，皆能有效降低二氧化碳之排放量。

3. 採用再生材料

綠色工程採用再生混凝土、再生瀝青，添加工業副產品（爐石粉、飛灰）之再生材料，以減少水泥使用量，達到營建資材再生利用。

4. 採用現地材料

綠色工程採用現地材料，例如取現地土石（如圖 3）施作加勁擋土結構、石籠護岸或地工沙腸袋...等，進行綠色工程與整治，除可降低對原有自然環境影響之外，也可降低材料運輸過程產生之排放汙染。



圖 3. 綠色工法大量採用現地材料施作

5. 使用國家認證之環保、節能材料

綠色工程使用取得國家認證之環保材料或設備，國內目前針對材料與設備已有相關認證標章，如：綠建材標章、省水標章、環保標章、節能標章(如表 1)。

表 1 綠色標章一覽表

	節能標章	環保標章	省水標章	綠建材標章
圖示				
機關	經濟部 能源委員會	行政院 環境保護署	經濟部 水利署	內政部 建築研究所

資料來源: 行政院公共工程委員會, 2010

6. 天然材料應用

天然材料應用是營造自然環境的一種作法,可避免過多人工結構物的施作,透過大自然中各種天然材料,如在坡面植生採用花草樹木或土石等應用,可降低非天然材料之衝擊。

7. 植生披覆材料

綠色工程所使用植生披覆材料,係指以具滲透性之天然纖維、土工合成材料之地工格網類、土工織物類、土工網毯類或土工土包袋類等素材,結合了土工合成材料、岩石、土壤,或其他與植生工程相關之材料,而形成整體人工結構物的一部份。更明確地以功能性來描述,即是以披覆材料製成之具有強化、複合、隔離、過濾、排水和阻水功能之產品,目前全世界植生相關工程應用領域均包含上述之功能,而植生披覆材料種類與特性如下(行政院公共工程委員會,2010):

(1) 地工格網類

地工合成紡織品在植生工程之使用，於台灣發展較快的為地工格網（如圖4），其定義：由具有張力元件所組成之規則性網狀結構，並具有足夠之網目使周圍的土壤、岩石或其他植生技術有關之材料貫穿其間，達到錨定加勁之作用，已被應用於加勁擋土牆、加勁邊坡、軟弱土層加勁...等加勁工程。

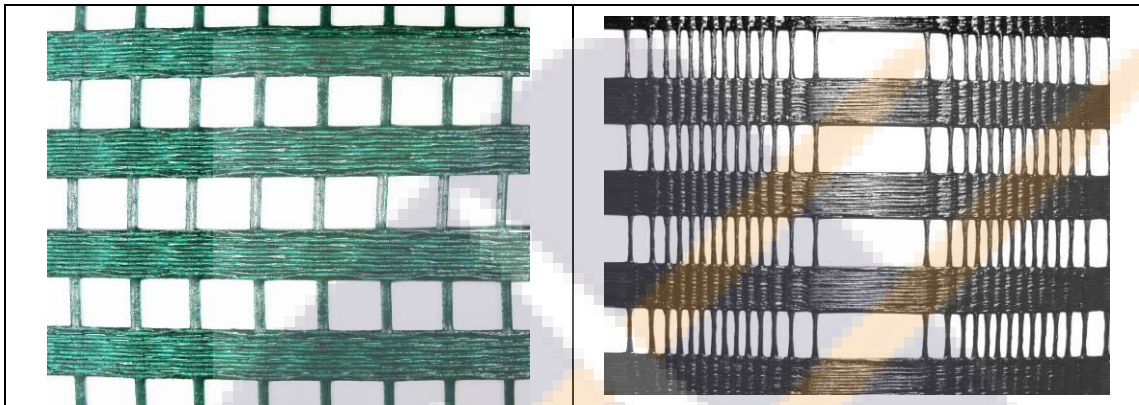


圖 4 地工格網類

(2) 地工織物類

地工織物（如圖5）以單絲或複絲，以梭織、針織或其他方式織造之地工織物，開孔呈規則狀。是一種具有透水性之織物，用於土壤、岩石、地表或其他與植生工程技術有關之材料，做為人造產品、結構或系統之一部份。

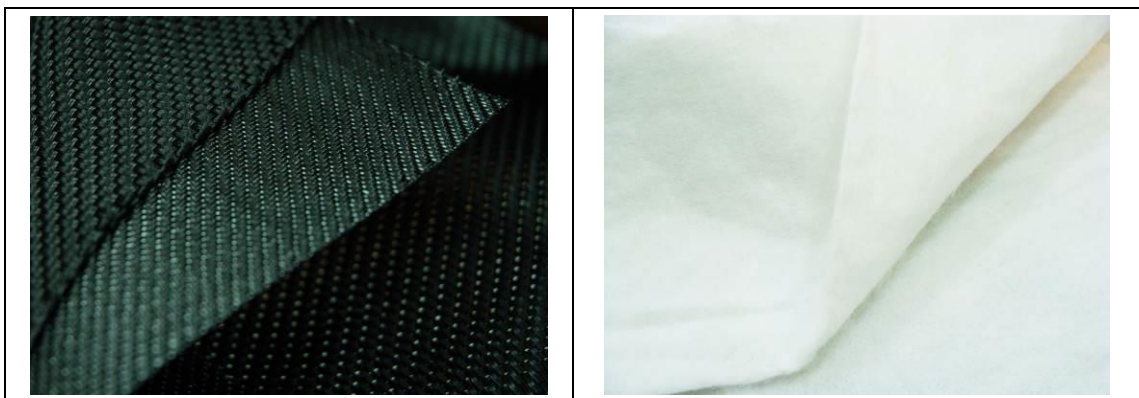


圖 5 地工織物類

(3) 地工網毯類

地工網毯（如圖 6）用於邊坡綠化植生，以防止土壤遭沖刷流失，供為水土保持用。早期作法係於疊棉或針軋前將草籽撒入棉網中，因製程中草籽易損傷或放置過久而壞死，若儲存環境過溼可能發芽，所以有許多問題，現在採用鋪設地工網毯搭配噴覆草籽之方法，此法植生效果較佳且均勻。

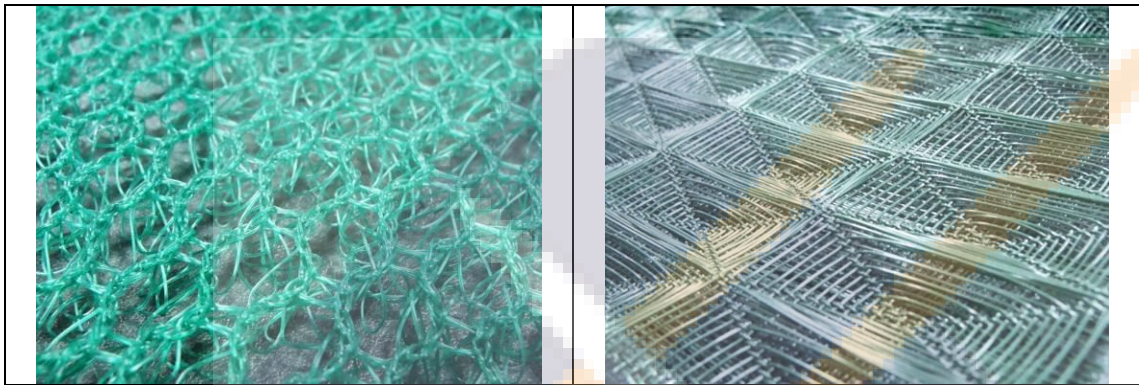


圖 6 地工織物類

(4) 地工土包袋類

地工土包袋（如圖 7）係於強酸鹼性土、硬質土、礫石層或構築固定框基礎工程之坡面上，以內置土壤等之土包袋客土，藉以改善現地土質條件。地工土包袋可用地工織物縫成適當大小之長形包，內含種子、土壤、肥料。



圖 7 地工土包袋類

三. 綠色工法

綠色工法係在工程施工過程中，採取對自然生態產生所破壞較小的施工方法，同時依據整體環境特性及工程規模，來抉擇適當之綠色工法。由於傳統工程的施工過程，對整體環境造成不同程度的直接或間接的影響。例如傳統工程所需的人力、材料與能源等（在工區或生產工廠等），除了會消耗大量資源外，也會增加二氧化碳的排放，加上廢棄物的處理（如廢土棄置、污水排放）與粉塵的飄散等也會影響到工區以外的環境。如何在施工過程提升各種資源的使用效率，降低廢棄物及污染的產生，是綠色工法執行階段落實節能減碳的重要課題(行政院公共工程委員會，2010)。

1. 近自然工法

因地制宜使用自然材料之施工方法，降低對於環境衝擊、增加使用者及環境的舒適度，如加勁工法可搭配回包式面板施作（如圖 8），除可有效符合結構安全要求外，每施作一表面米之加勁結構即可有效創造一表面米之天然綠化植生面積；地工沙腸袋工法採用的地工沙腸袋係由地工織物所製成，由於織物具有一定孔隙空間，除具有透水效果外，對於植生亦有一定功效，完全近乎原自然環境，確實符合綠色工法『近自然』的原則要求。由屏東路基修復案例（如圖 9）及沙洲破口修復（如圖 10）我們可以感受到加勁工法與地工沙腸袋工法所能達到的近自然效果，如沒有特地去觀察或知曉此工程的人，相信大家經過時也難以發現此處的工程結構物！

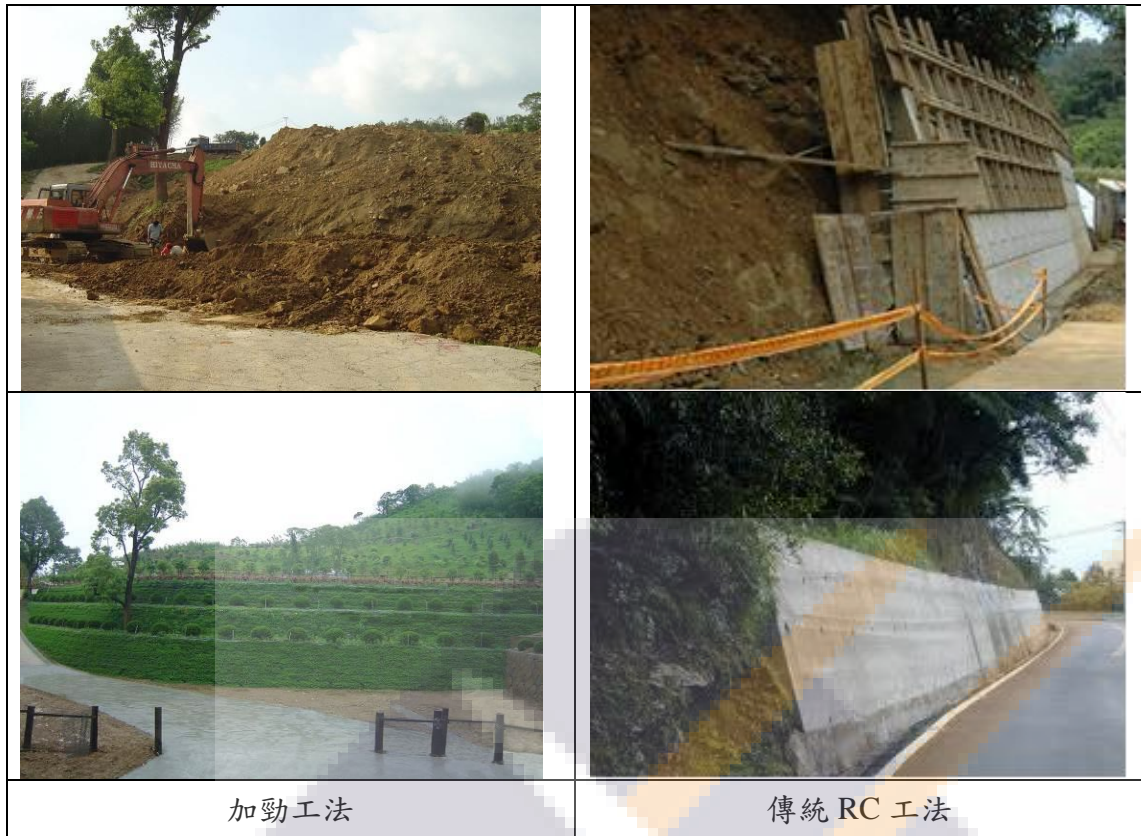


圖 8 加勁工法與傳統工法近自然功效比較

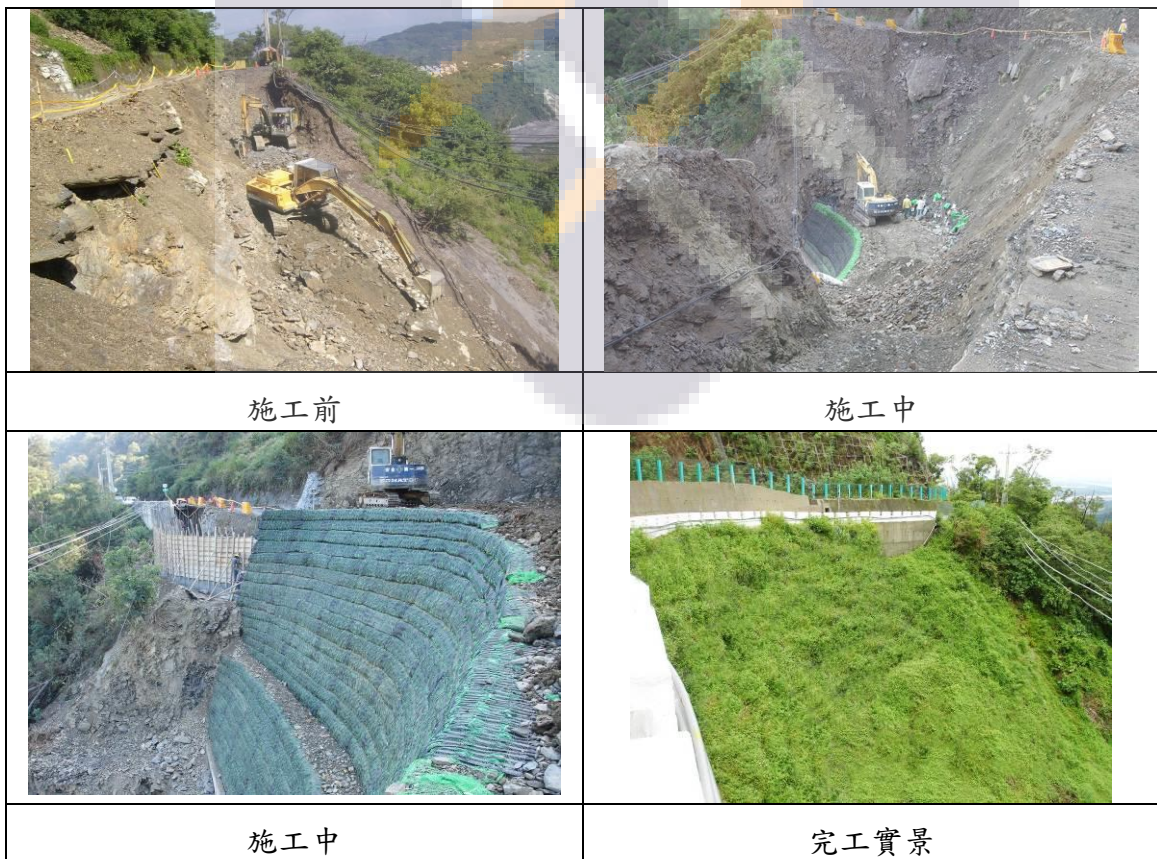


圖 9 屏東路基缺口修復

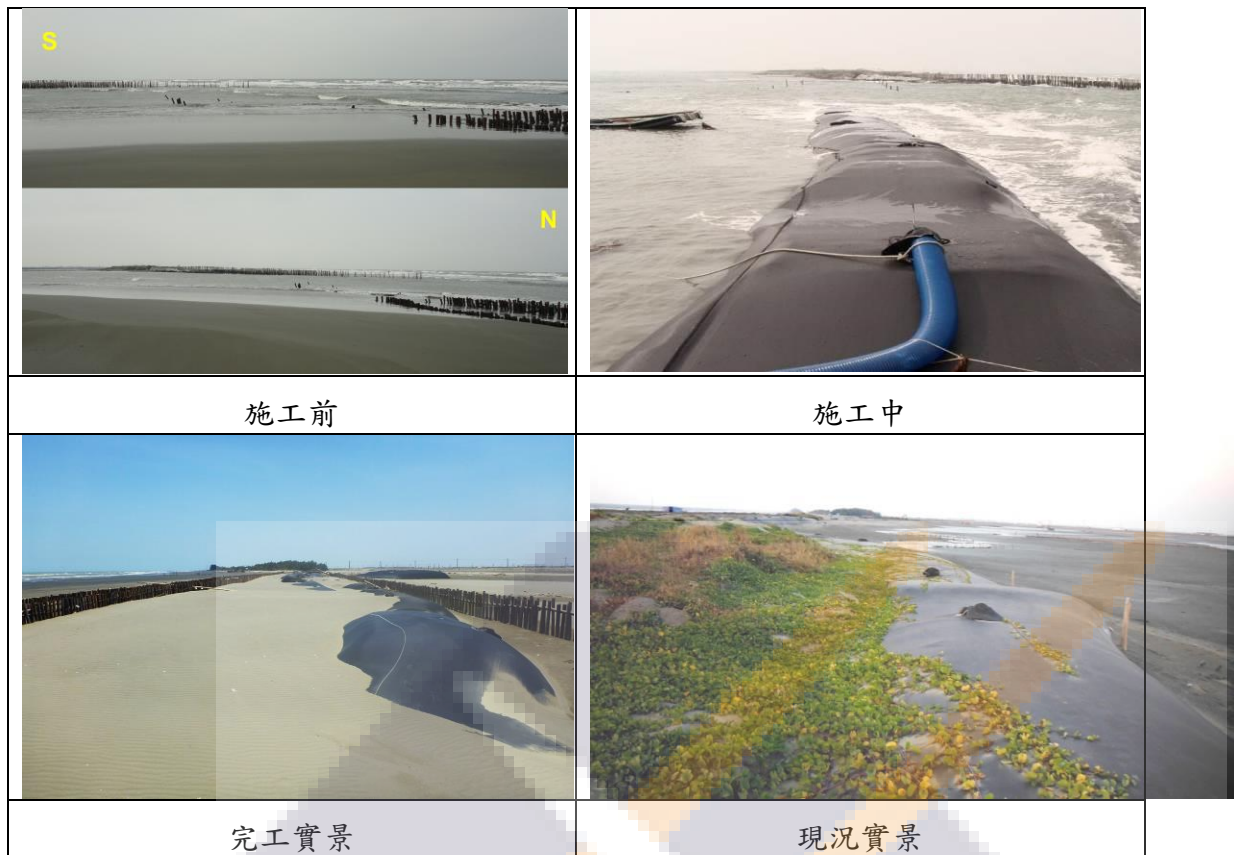


圖 10 砂洲破口修復

2. 減少工程廢棄物

工程廢棄物指工程施工及日後拆除過程中所產生之營建廢棄物及其他對週遭生態與人體健康足以造成影響之污染物。如能在工區現地減量減廢，並在工區內妥善處理、再利用，不但能減少運輸所消耗的能源，減少二氧化碳排放。包括在設計規劃階段，妥善評估營建材料的使用量，由源頭減少廢棄物的產生；其次是廢棄物產生後的回收與再利用；最後才是對於無法再利用之廢棄物的處理，具體做法如下：

(1) 工區土方平衡與營建剩餘土方再利用

工區需考慮地形地貌變化設計與工程開挖時，透過工程土石交換，減少土方開挖量，若有營建剩餘土石方優先考量於工區挖填平衡，降低棄土量，減少外運過程因運輸增加之車輛機具排放污染與能源的消耗，也降低二氧化碳之排放量。採用填海造陸、土石方再利用等作法，解決河道、水庫與港灣清淤之問題，並可避免環境被污染破壞。

(2) 廢棄物減量與減廢

施工期間之廢棄物回收、水資源回收利用、廢材再利用，以及採用可回收鋼材（含鋼模版等）等。如加勁工法構築過程中無須使用混凝土及鋼筋等材料及其衍生之相關加工材料如模板等消耗材料，可有效降低工程中之工程廢棄物產生，確實符合綠色工法『減廢』的原則要求（如圖 11）；加勁工法構築過程中主要材料為現地土料再配合少量輕質地工合成材料，就整體工程而言確實有效降低傳統高耗能工程材料如鋼筋水泥與混凝土材料使用，有效降低工程中之非天然材料用量，確實符合綠色工法『減量』的原則要求（如圖 12）。

(3) 工程管理

透過管理手段，對營建材料的供應、裝卸動線及倉儲配置等進行妥善規劃，提升裝卸效率、降低工區內營建材料儲放時的耗損與污染。



圖 11 傳統 RC 結構使用到的大量模板

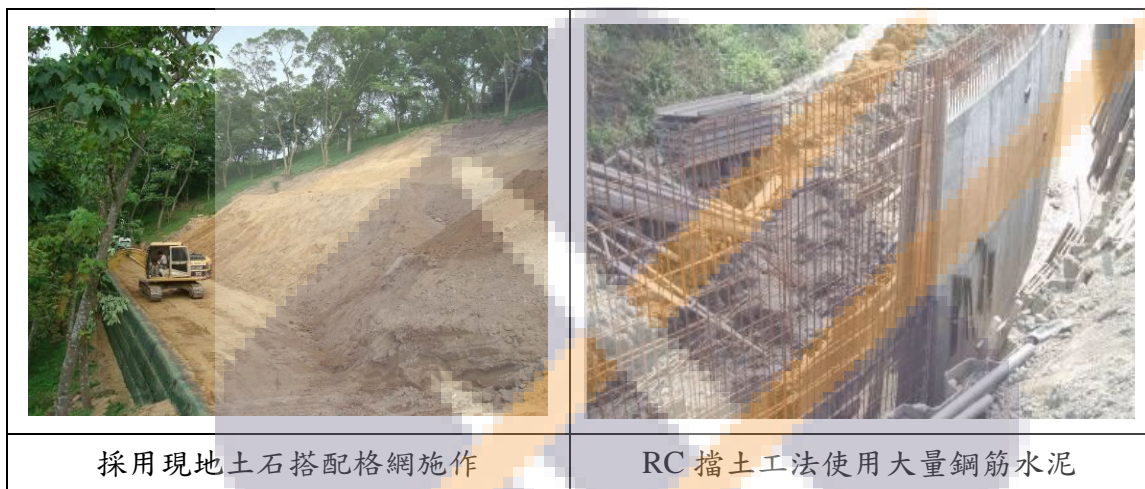


圖 12 高耗能工程材料減量效果

3. 採用高效能的營建材料

水泥在生產過程中會消耗大量的能源，產生大量的二氧化碳排放（生產每噸水泥約排放 409.57 公斤的二氧化碳），遑論後續運輸及使用過程中的耗能與污染。為有效降低二氧化碳之排放量，降低混凝土之使用量實為重要手段。作法為提高材料效率，如提升混凝土的強度，縮小結構尺寸，來降低對混凝土的需求或使用替代性材料，綠色工法如織物模板工法（如圖 13）或格框式擋土牆以減少混凝土的使用，皆有效降低材料生產過程與工程施工過程中二氧化碳的排放量。



圖 13 織物模板工法

4. 植栽綠化

植栽綠化（如圖 14）具有許多自然環境改善、生活居住環境改善及園藝生產之效益，以下介紹綠化為何如此充滿魅力。

(1) 增加生物跳島與生物多樣性

植栽綠化可供菊科及禾本科植物其種子上的羽毛狀附屬物，乘風飛行相當長的距離落地發芽；可提供飛行的昆蟲或鳥類等生物，在移動的過程中，有休息的空間。有助於不同物種的移動，增加自然生態之豐富與生物多樣性，並且植栽綠化增加了綠地，使得各式生物有更多棲息之地。

(2) 減緩熱島效應

熱島效應主因為傳統工程大多以混凝土與水泥建構，缺乏植栽與土壤，造成氣溫升高，加上施工機具與汽機車廢熱等，使得溫度更加升高。

藉由植栽綠化可改善熱島效應情況。

(3) 降低洪澇風險

藉由其土壤與植栽之保水效果，減少降雨總流總、洪峰量及延遲洪水到達時間，降低排水系統負擔，對暴雨產生的淹水危害大幅降低。

(4) 減少二氧化碳之排碳量

能降低二氧化碳的排放，植物每年吸收二氧化碳如表 2 所示。

表 2 各種植栽單位面積二 CO₂ 固定量 Gi (kg/m²)

植栽類型		Gi (kg/m ²)	覆土深度
生態複層	大小喬木、灌木、花草密植混種區 (喬木間距 3.0m 以下)	1200	1.0m 以上
喬木	闊葉大喬木	900	
	闊葉小喬木、針葉喬木、疏葉喬木	600	
	棕櫚類	400	
灌木 (m ² 至少栽植 4 株以上)		300	0.5m 以上
多年生蔓藤		100	
草花花圃、自然草地、草坪、水生植物		20	0.3m 以上

資料來源:內政部建築研究所，2009



圖 14 植栽綠化

資料來源:盟鑫永續綠色教育園區，2013

5. 雨水回收、基地保水、人工湖及濕地

利用雨水回收系統，收集並處理適當區域的雨水做為綠化灌溉用水及清掃道路用水，節約水資源；排水系統考量降低下游水路逕流之負荷，並提升含氧量，作法如：滯洪池、地下儲留設施、山坡地採用重力式排水設施等；人工湖及濕地能改善周邊生態環境，調節區域氣候，降低熱島效應，提供生物棲息地。例如台中生態公園興建案例(如圖 15)，是人工湖的綠地景觀公園，具有滯洪、排水功能，休閒、景觀、生態池等多項功能。

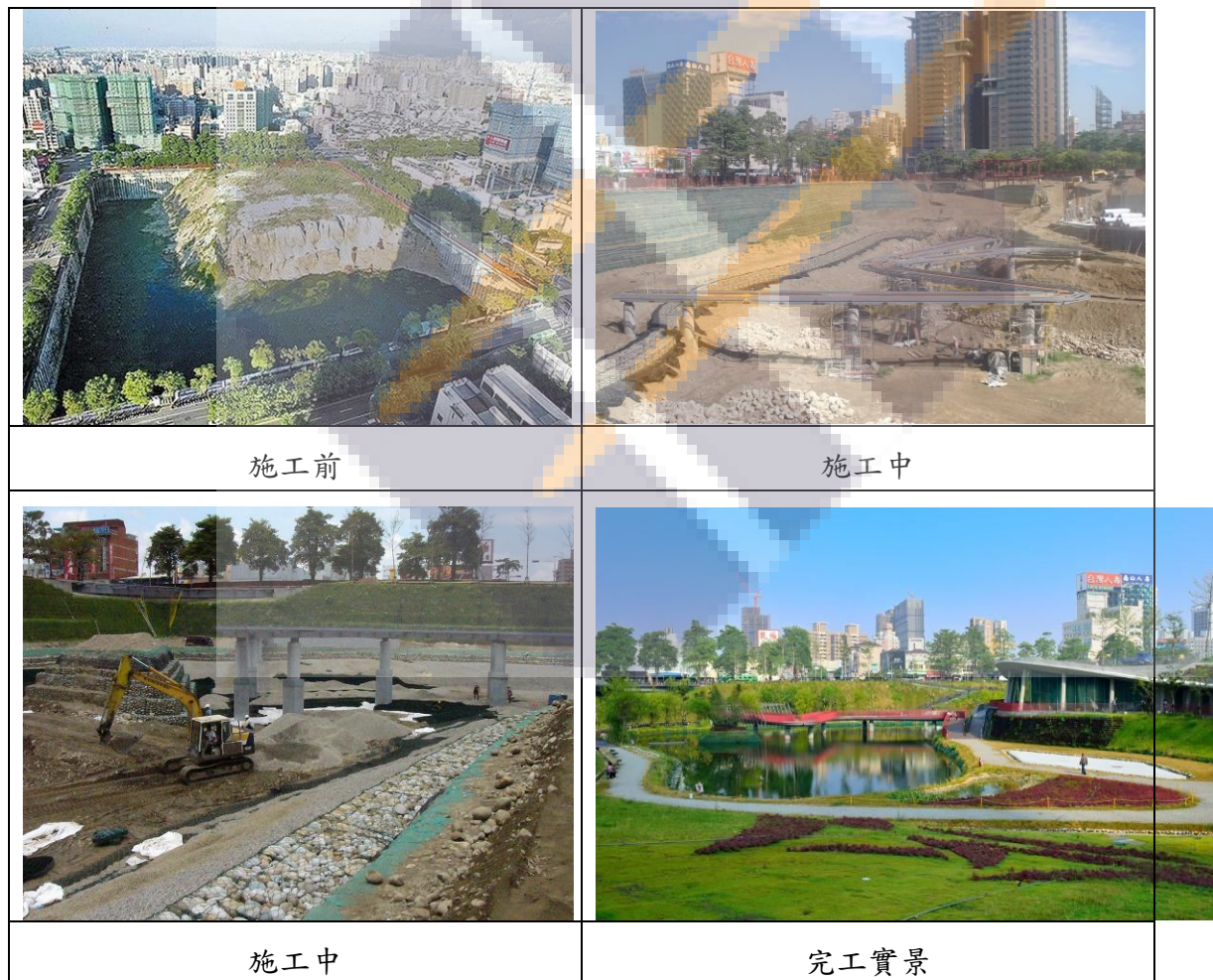


圖 15 台中生態公園興建案例

四. 結論

工程建設於環境、社會及經濟發展上扮演重要角色，各國於工程營建產業之發展上，節能減碳與氣候變遷調適儼然成為當前重要之課題。綠色工程除了考量工程原有的功能與安全外，必須再加上環境、生態與景觀等，來促使綠色工程建設與整體環境相融合，達到維護生物多樣性、減少環境生態的影響與降低大自然的反撲等目標。為達到此目標，綠色工程將「綠色內涵」納為永續綠色工程新思維，希冀營造永續低碳環境、加速低碳綠色材料研發與發展低碳綠色工法。

參考文獻

1. 內政部(2009),「公共污水下水道系統節能減碳規劃設計參考原則(草案)」。
2. 內政部(2009),「建築工程節能減碳規劃設計參考原則(草案)」。
3. 內政部建築研究所(2007),「綠建築解說與評估手冊」內政部建築研究所。
4. 行政院公共工程委員會(2001),「公共建設永續經營管理維護制度之研究」, 研究單位財團法人台灣營建研究院。
5. 行政院公共工程委員會(2010),「公共建設之永續思維與作法-從綠色內涵到節能減碳」。
6. 林信輝(2005),「生態工程材料使用調查、評估及替代材料開發之研究(第二期)」, 行政院公共工程委員會委託研究。
7. 國家政策研究基金會(2001),「營建廢棄物資源再利用之推動」, 國政分析。