

建築廢棄物之環境空間再利用—以創造河川生態為例

陳本源^{*} 談珮華^{**} 陳亮元^{***}

摘要

國內建築廢棄物再生利用之應用自 921 集集大地震以來，相關之研究與應用案例日益增多，然而相關應用範圍仍侷限於道路級配及混凝土骨材之取代。對於其他之構造物應用研究較為缺乏。

本文除採用目前應用較為標準化的回收再生程序與概念外，並進一步結合生態工法，應用於河川構造物，創造多樣性生物棲息地。研究結果顯示非剛性構造物，除降低混凝土使用量，並能因非剛性構造而減少河川管理之維護成本。

本文提出適用此條件之河川特性與構造物安定性分析，並導入永續性循環利用之概念，使混凝土主要材料之來源處，也成為廢棄混凝土的最終去處，以回歸自然循環。生態環境的永續發展與再創廢棄混凝土之價值，為本研究之目的。

關鍵字：永續發展、生態工法、建築廢棄物

^{*}陳本源：南華大學環境與藝術研究所助理教授

^{**}談珮華：國立嘉義大學史地系助理教授

^{***}陳亮元：南華大學環境與藝術研究所碩士研究生

一、前言

921 震災造成台灣地區房屋全倒五萬多戶，半倒五萬多戶，機關學校等公共設施毀損不計其數，拆除所產生之大量廢棄物，依廢棄物清理法及營建廢棄土處理方案（89 年 5 月修正為營建剩餘土石方處理方案）等相關規定，以安定掩埋為貯置原則，然因拆除之建築物多屬可再生利用之資源，環保署遂於 88 年 10 月委請財團法人台灣營建研究院辦理「921 震災建築廢棄物再生利用推動計劃」。

研究結果顯示震災建築物經分選、破碎等程序處理後，應可供應道路路堤填方、非結構性混凝土等公共工程使用。但因國內公共工程相關工程技術規範多半以定性方式敘明不得含有雜質、廢棄物，而非定量限制雜質、廢棄物百分比上限，致工程主管機關不願貿然使用。

然在今天河川砂石原料來源漸縮，許多公共工程所需之原料成本因此提高。以國內主管水利業務之經濟部水利署，因配合行政院公共工程委員會大力推動之生態工法，採用多孔隙、透水性之構造物（如：砌石護岸、石籠護岸、蛇籠、生態池、生態溝……等），需用到相當數量之卵礫石原料，在永續經營環境之理念下，本研究成果可供未來推動建築廢棄物再利用之相關公共工程參考。

二、建築廢棄物之材料特性

依據經濟部水利處第三河川局委請中華大學執行「眉溪大湍二號堤防用地範圍內營建廢棄土性質調查正式試驗結果報告書」，該場建築廢棄物組成調查結果：濕基重量比以混凝土類佔 42.89% 最高；其次磚類佔 31.42%；土類佔 23.93%；木類 0.93%；塑橡膠類 0.34%；金屬類 0.25%；玻璃 0.14%；紙類 0.10%，合計屬剩餘土石方類共佔 98.24%；屬一般廢棄物者共佔 1.76%。

另外依據工研院能資所調查報告（陳文卿、陳志恒，2000）震災建築廢棄物組成比例與特性發現，建築廢棄物回收重量比約 98% 土石資源，體積比約 90%。綜合上述調查推估建築廢棄物貯置場中屬混凝土、磚瓦等土石資源佔重量比約 95—99%，貯置場設立時間越晚，土石資源比例越高。

然本研究之使用材料範圍鎖定在混凝土塊及磚類之替代卵礫石材料使用，而可再利用之廢棄材料分類、分離方法，敘述於第三部分。經分類出符合河工構造物使用之卵礫石骨材其物理特性，相關試驗所得結果請見表一及表二。

由基本性狀及磨損率試驗得知，廢棄混凝土塊、磚塊除吸水率約為天然卵礫石 6 倍外，其餘特性相去不遠，用於河工構造物應屬可行。

表一 天然粗骨材及再生骨材之基本性質

性質 \ 材料	天然粗骨材	再生骨材
形狀		其外觀大致略為扁平並有些菱角，表面多孔隙且有水泥砂漿粘著骨材，外形介於卵石與碎石之間。
面乾內飽和比重	2.65	2.30
吸水率	1.33%	7.52%
乾搗單位重	1.50 T/M ³	1.24 T/M ³
乾比重	2.62	2.14
孔隙率	0.43	0.42

資料來源：蘇南、曾郁文(2000)

表二 再生粗骨材洛杉磯磨損試驗

旋轉圈數	試樣重(g)	停留 [#] 12 重量(g)	磨損率(%)	備註
100(E)	5000	4520	9.6(E)	1/2" 試樣=2500g 3/8" 試樣=2500g
500(F)	5000	3212	35.76(F)	
硬度均勻測定值(E/F)	28.65			

資料來源：蘇南、曾郁文(2000)

三、國內外之使用狀況及回收程序

(一)、國內外再生建材之使用狀況

國內目前對於建築廢棄物之再生利用相關研究及用途，如下所列：

- 開放級配(沈美毅，2002)
- 多孔隙瀝青混凝土
- 再生混凝土(蘇南、曾郁文，2000)
- 道路填方與路堤

上述相關研究以交通工程之道路材料為主，另外再生混凝土用於公共工程之適用性亦是研究重點。鄰國日本對於再生骨材適用於各型式構造物建議如表三。

國內除交通部、營建署對於再生骨材之利用有進行相關研究及試辦工程外，在法令上並無相關明確之規定，且各單位的作法並未進行統整，呈現多頭馬車的情形。

經調查新建工程中再生骨材的利用率，日本的再利用量達 38.1%，而台灣再利用量 23.15%(陳明良，1995)，在使用上以道路級配和路堤構築為主。再生骨材進行拌合再生混凝土，利用率較低，其因係再生骨材的吸水率過高且不一致，在水灰比的控制有相當程度的困難。另外再生混凝土的抗風化性與成本考量，致使利用率無法拓展。

表三 日本再生混凝土種類及用途

再生混凝土種類	第一型混凝土	第二型混凝土	第三型混凝土
用途別	鋼筋混凝土 無筋混凝土	無筋混凝土	打底用混凝土
使用粗骨材	再生粗骨材 1 種	再生粗骨材 2 種	再生粗骨材 3 種
使用細骨材	普通骨材	普通骨材 再生細骨材 1 種	再生細骨材 2 種
合理使用強度	180~210kgf/cm ²	160~180kgf/cm ²	160kgf/cm ² 以下
適用構造物	橋樑下部工程 擋土牆 隧道襯砌	道路附屬基礎； 側溝、集水渠基礎 重力式擋土牆 重力式橋台 攔砂壩、消波塊	打底用混凝土 非結構體混凝土 堤防

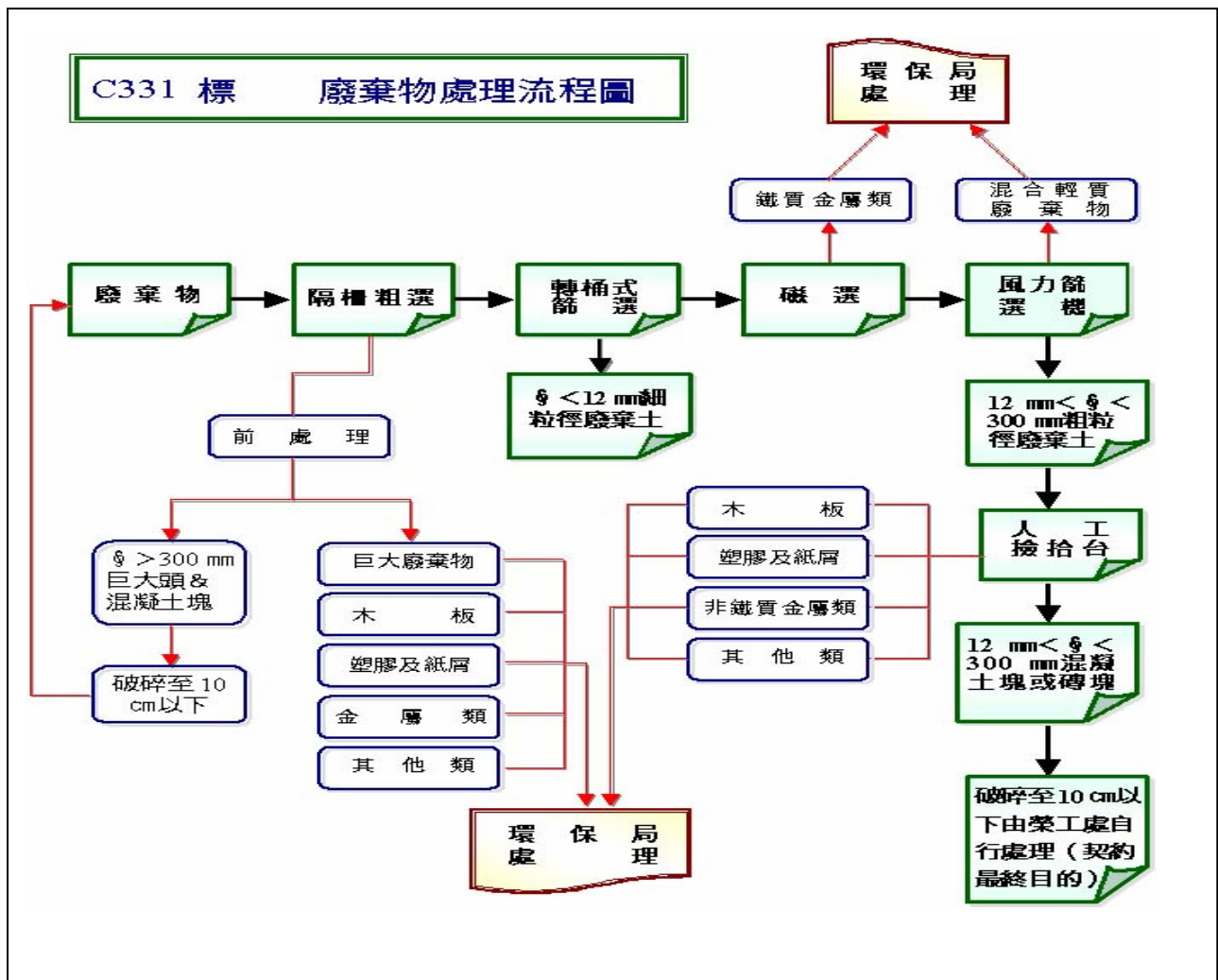
資料來源：河野廣隆(1996)

(二)、建築廢棄物之回收程序

在中二高 331 標辦理震災建築廢棄物再生處理，回收再利用的作法，係將建築廢棄物的磚瓦、混凝土塊、土石、鋼筋等將近 90%的廢料處理後再生利用，廢料經過初篩、細篩、磁選、風選、人工選別、碎解等程序（如圖一），生產出乾淨的再生骨材與細料。

其中粗骨材約 50%以上，細料約 40%以上，粗骨材經與天然土石料拌合後應用於路基底層，細石料則將作為邊坡覆土或綠帶填築，無法再利用之廢棄物則清運至焚化爐處理。

建築廢棄物回收再利用至少可產生重量比 95%以上再生粒料，部分場址更可高達 99%以上。建築廢棄物堆置場對再生利用單程運距 40 公里以內者，分類處理再生利用仍具經濟誘因，如場址之設置地點具備地區之服務區域擇定、回收的料源充足、回收機制建全，並能有良好法令進行配套，將能有效降低工程單位開發成本。



圖一 建築廢棄物再生處理流程圖

四、河工構造物適用型式探討

在小型河川及排水渠道之護岸、固床工，採用生態工法之概念進行設計時，除安全性之考量和功能之達成外，增加逕流下滲與營造生態環境是必要的考量。

(一)、蛇、石(箱)籠工法

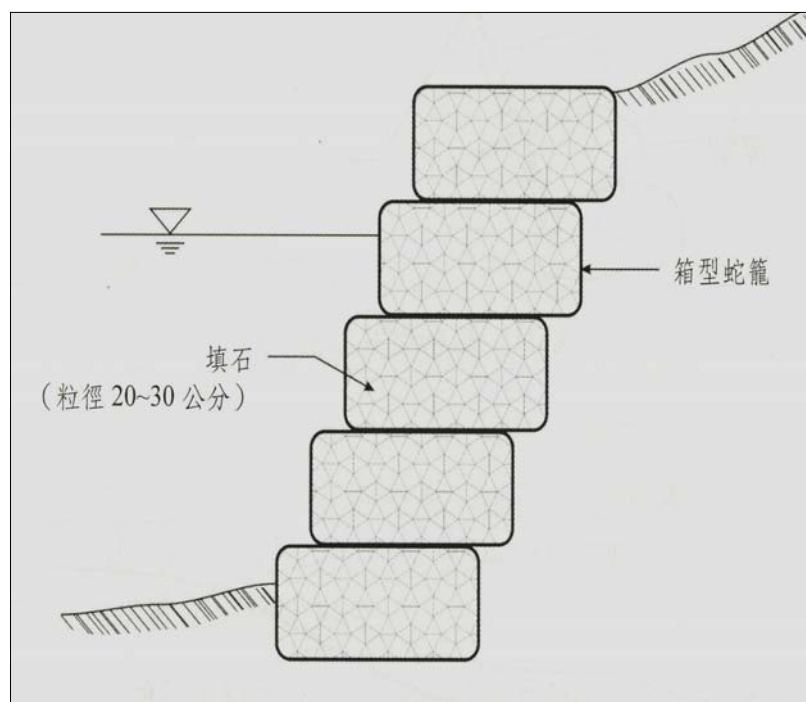
蛇、石(箱)籠工法(圖二)，是常用的護岸設計，其優點如下：

- 蛇籠富於撓曲性，當洪水將河床刷深時，蛇籠可憑藉其本身的重量而自動變位下沈，可防止水流冲刷淘深護岸基礎附近之河床。
- 若蛇籠工配置得宜，可改善水流通過的流況，甚至不至於影響正常水流。
- 相較於拋填卵石而言，蛇籠工有較佳的穩定性及整體性。
- 蛇籠工的佈置可以搭配石籠以單層或多層為之，且可因地制宜採階梯式、或因應河道坡度變化而採取較佳型式為之。
- 於枯水期時，蛇籠工與下層之拋填卵石可作為透(通)水之流路。
易於搭配其他不同的河川保護工法。

適用情況：

- 安定設計護岸高應 $\leq 3\text{ m}$ ，近岸設計流速應 $\leq 4\text{ m/sec}$
- 建議以最大掃流力 $\tau = \gamma_w RS$ 計算

其中： γ_w 為臨界掃流力，以 kgf/m^2 或 N/m^2 表示， R 為水力半徑， S 為坡度，石籠臨界掃流力為小於 $150(\text{kgf/m}^2)$ 或小於 $1471.5(\text{N/m}^2)$ 。



圖二 蛇籠工法(林鎮洋，2004)

表四 河道邊坡所受之掃流力

項目	最大掃流力		
	(河槽底寬/設計水深) 比		
	2	4	> 8
邊坡斜率 1:2	0.76τ	0.77τ	0.77τ
邊坡斜率 1:1.5	0.735τ	0.75τ	0.76τ

(二)、固床工、蛇籠帶工(單式堆疊蛇籠潛壩)

固床工(圖三)、蛇籠帶工施工簡單迅速，對於高流速或沖蝕嚴重之河道於壩體上、下游面採用適當之斜度可達有效的消能作用。屬於柔性結構，河道區之土層若有不均勻沉陷，或大量沉陷之顧慮時可運用其柔性結構的本質以抵抗大變形。表面相當粗糙化，透水性佳，允許水流通過仍可繫留特定粒徑之土石，於流速低之河道，其多孔性提供大量動物棲息所需之空間。

適用情況：

- 蛇籠單元尺寸及種類依蛇籠帶工之高度及實際情況調配。上、下游面之坡度可藉調整每層之蛇籠數來達成。帶工底部填充夯實級配碎石，以防止壩體下陷。

- 設計高度以不超過 2m 為佳，河床上下游沿線可採用多段接續之方式，以降低河床坡降，達到設計目標。

- 需注意最上層(第一層)蛇籠之穩定性，圖三表示應使每一蛇籠固定於設計位置上，同時注意蛇籠之捆結方式，務必使堆疊後之蛇籠帶工能保持固定之壩型。



圖三 石梁固床工

- 可變化每層蛇籠之數量來調整蛇籠帶工之高度及坡度，以降低水流之衝擊力。用來捆結蛇籠之鉛絲之強度，應足以抵抗水平力之衝擊而不致斷裂，造成整個帶工潰散。

五、生態系復原與融入自然循環的理念

1992 年里約熱內盧的地球高峰會議之後，生物多樣性(Biodiversity)的綜合概念如下：

- 棲地多樣性(Habitat diversity)
- 物種多樣性(Species diversity)
- 基因多樣性(Genetic diversity)

已經成為世界各國從事生態保育的指標，大家逐漸地瞭解到即使運用圈養的方式將少數物種保存下來，然而失去了適合生存的棲地，它們終其一生也無法回到屬於它們的地方，因此保育成效十分有限。唯有提供適合生存的棲地環境，地球上的物種才得以生生不息，維護生物的多樣性與維護棲地多樣性是當前倍受關注的課題。

復原生態學(Restoration Ecology)主要目的在於希望透過有目標化的人為經營模式，使已遭受或正遭受破壞的生態系盡量恢復至具有原本生態功能的狀況。由於各生態系的生物與環境因子

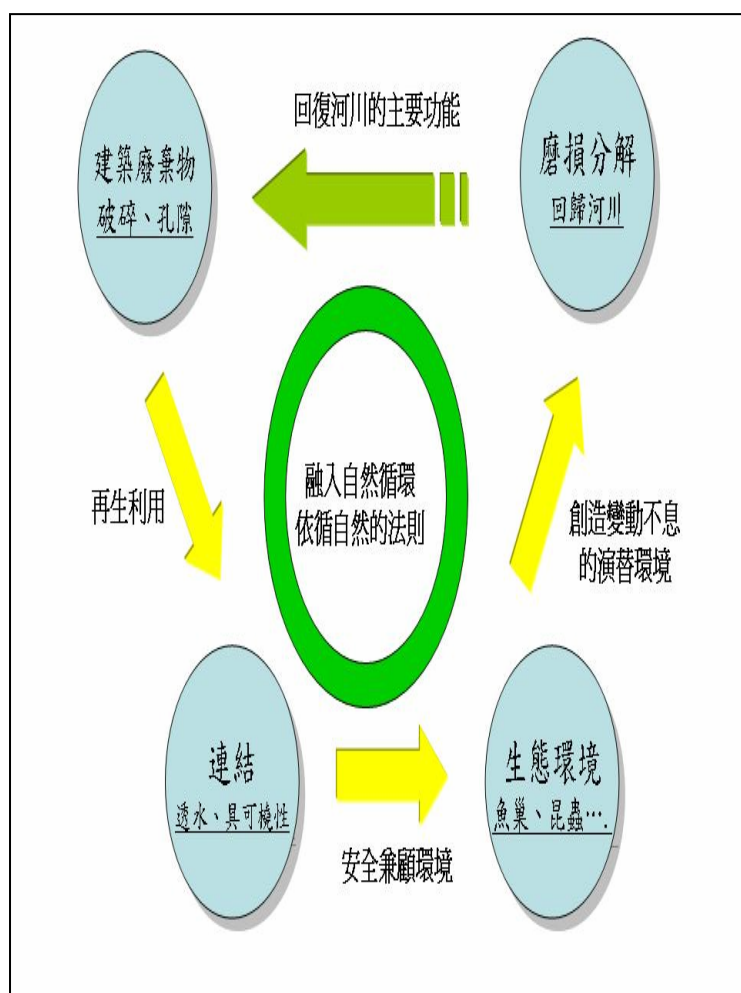
各具特性，受干擾的程度不一，加上復育的目標不同，往往必須採取不同的策略來執行生態系重建的工作。一般採取的方式有以下幾種(呂光洋，1999)：

- 不干擾(No action)－以長時間的自然消長方式讓生態系自行復原。
- 復建(Rehabilitation)－對於受干擾嚴重的地區，積極地以人為經營的方式，來使生態系重新恢復到原來的狀態。
- 取代(Replacement)－根據訂定好的目標，藉由人工積極的介入，創造出一個新的生態系取代原來的生態系。

以廢棄混凝土回收所生產出之再生骨材，應用結合蛇、石(箱)籠護岸、蛇籠帶工、砌石(廢棄混凝土塊)等工法，營造多樣性棲地，增進水生植物及昆蟲復育，進而形成生態系中食物鏈的重塑，再加上自然界的自然演替，回復原有河岸之原生生態與景觀，是吾人可以預期的。

在上述工法的實際案例中(以天然卵礫石施作)觀察發現，人為的環境營造，事實上只需使用成本不高的工程方法，引導出基本的生態條件，自然界的復原能力是極為驚人的。在工程施作完成後，一次的梅雨或颱風，就會讓河川環境條件自然平衡。泥沙的沖淤、灘岸的形成，都為生態的復育做好準備。在朴子溪水系牛稠溪某堤段，在工程施作一年多後，因為灘岸形成而吸引鄰近的留鳥與候鳥進駐，泥沙的淤積也使得相關工程設施，被水草與原生雜草漫漶。

在永續發展的理念下，低成本與低耗能、低污染是必要的條件，以建築廢棄物替代天然卵礫石施作河工構造物，除符合永續理念(圖四)，並且在分解風化後，回歸成為河川的砂石，也符合河川的重要功能－輸砂。



圖四 建築廢棄物運用於河工構造物之思考方向

混凝土之材料取自河川，在成為廢棄物後，轉化成為維護安全的構造物，並能營造生態環境，分解後再成為河川的一部份，即是自然界生生不息的循環運作。

六、結論

綜觀建築廢棄物之環境空間再利用，本研究對其創造河川生態環境方面可得如下結論，供各界參考。

1. 『建築廢棄物回收再生場』之設置，擇定適當地點設置建築廢棄物之儲存場，進行分類、篩選等資源化處理，再由此處運輸至再生利用之地點(類似砂石場之性質)。目前內政部營建署有辦理類似營建廢棄土方通報系統(土方銀行)的推廣方案，也委託工業研究院建置通報網站。然而與環保署的聯繫尚未建立，且國內各辦理公共工程相關單位，通報機制也尚在建立中。然此一做法，係由中央部門觀點出發，各縣市政府無從插手，致使地方政府的優勢無法發揮。若『建築廢棄物回收再生場』能類似各地砂石業者，提供更多銷售管道，由各地方政府統籌管理業者，才能逐漸推廣到各個適用層面。
2. 為建立建築廢棄物再生利用體系，中央營建主管機關(內政部營建署)積極辦理研訂剩餘土石及建築廢棄物再生利用國家標準與規範，供各工程單位依循參考，並就建築廢棄物處理體系及末端去處建立配套措施，輔導工程業界使用廢棄物經再生處理之材料，以實現資源永續利用之目標。
3. 蛇、石(箱)籠工法與建築廢棄物再生利用結合並非難事，且具高度可行性，應用設計時除考慮河川特性與安定性分析後，應無實施之困難。在基隆河治理計畫中，採用大量石(箱)籠工法，且護岸高度大於建議高度 3 公尺以上，其河段位於感潮河段，流速低並受潮汐力影響，故運用此工法有良好之成效。
4. 水利工程應用區域極廣，小至中型排水、野溪，大至中央管理河川，皆可依需要採用適合之工法，廢棄混凝土塊依粒徑大小，可用以替代卵礫石、級配、拋石、塊石等用途，應用之範圍更可拓展到邊坡工程等。
5. 目前國內雖然有高工局構築路堤之案例，但在未經分析及驗證前，仍不建議於河川堤防使用，其主要原因係河川堤防之應用考量與路堤完全不同。河川堤防有單向側壓力大、滲流……等問題，仍需予以詳加驗證。
6. 永續的生態環境經營，完善的考量運用方法，並善加利用自然的力量，尊重自然與人的共存，才是工程師必備的學養。

參考文獻

1. 呂光洋、1999、「生態系重建及棲地復原」、生物多樣性訓練保育論文集、pp. 111-117。
2. 沈美毅、2002、「廢棄混凝土再利用於開放級配與多孔隙瀝青混凝土之研究」、碩士論文、淡江大學土木工程研究所、臺北。
3. 河野廣隆、1996、再生骨材。
4. 林鎮洋編、2004、「生態工法技術參考手冊」、明文書局、臺北。
5. 陳明良、1996、「建築產業廢棄物再利用之研究」、碩士論文、國立台灣科技大學工程技術研究所、臺北。
6. 陳文卿、陳志恒、2000、「建築廢棄物之再利用技術開發－廢棄混凝土塊再利用」、工研院能資所研究報告。
7. 蘇南、曾郁文、2000、「廢棄混凝土塊的再利用」、中國土木水利半月集、第二集、台北。
8. 水利規劃試驗所、2003、「區域排水生態工法之研究及排水情勢調查」
9. 行政院農委會特有生物研究保育中心生態工法、<http://ecotech.tesri.gov.tw/html/ecotech.htm>
水環境研究中心、http://www.cc.ntut.edu.tw/~wwwwec/chinese_vresion.htm