

# 綠混凝土性質與指標之研究

內政部建築研究所委託研究報告

中華民國 98 年 12 月

## 綠混凝土性質與指標之研究

受委託者：國立臺灣科技大學

研究主持人：張大鵬

協同主持人：黃兆龍

研究員：施正元 陳君弢 邱建國

研究助理：陳柏存 楊宗叡 沈伯豪

內政部建築研究所委託研究報告

中華民國 98 年 12 月

## 目次

表次	III
圖次	V
摘要	VII
第一章 緒論	1
第一節 研究緣起與背景	1
第二節 研究目的	3
第三節 研究方法與流程	3
第二章 國外之綠混凝土相關資料回顧	7
第一節 北美地區	7
第二節 歐洲地區	18
第三節 日本地區	20
第四節 中國大陸地區	26
第五節 國外綠混凝土評估	28
第三章 國內之綠混凝土相關資料回顧	29
第四章 綠混凝土評核手冊	35
第一節 綠混凝土性質	35
第二節 綠混凝土指標與評核	36
第三節 工程實務案例	40
第五章 與綠建材標章之結合	45
第六章 結論與建議	53
第一節 結論	53
第二節 建議	54
附錄一 專家學者座談之會議紀錄	57
附錄二 期中報告審查意見回覆表	79

附錄三 期末報告審查意見回覆表 .....	85
附錄四 綠混凝土評核作業手冊(草案) .....	91
參考書目 .....	131

## 表次

表 2-1 滿足 LEED 要求之混凝土使用相關評分準則	17
表 2-2 日本環境對應型混凝土之原材料與製造過程之外部成本	22
表 2-3 日本環境對應型混凝土之環境負荷與外部成本對應表	22
表 2-4 中國大陸混凝土綠色度分級驗收指標	26
表 2-5 中國大陸室內環境污染物濃度限量	28
表 3-1 綠建材之概念	30
表 3-2 非金屬材料任一部份之重金屬成份檢出值標準表	30
表 3-3 混凝土中飛灰取代水泥量之參考值	32
表 3-4 日本高爐石粉種類與適用替代率之範圍	33
表 3-5 再生粗粒料分類表	34
表 3-6 再生混凝土類別與使用範圍	34
表 4-1 國內工程實務所採用之混凝土配比	41
表 4-2 國內工程實務所採用混凝土配比之性能表現	42
表 4-3 國內工程實務所採用混凝土配比試行評核結果 (G 類綠混凝土)	43
表 4-4 國內工程實務所採用混凝土配比試行評核結果 (R 類綠混凝土)	44
表 5-1 高性能 G 類綠混凝土評估表	47
表 5-2 高性能 G 類綠混凝土評估表(續)	48
表 5-3 高性能 R 類綠混凝土評估表	49
表 5-4 高性能 R 類綠混凝土評估表(續)	50
表 5-5 高性能 G 類及 R 類綠混凝土評估表附件一	51
表 5-6 高性能 G 類及 R 類綠混凝土評估表附件二	52



## 圖次

圖 1-1 研究規劃流程圖 .....	5
圖 2-1 日本環境對應型混凝土評估範圍 .....	24
圖 2-2 日本環境對應型混凝土評估流程 .....	25
圖 2-3 中國大陸綠色高性能混凝土評估流程 .....	27
圖 4-1 G 類綠混凝土評核流程圖 .....	38
圖 4-2 R 類綠混凝土評核流程圖 .....	39
圖 5-1 高性能 G 類及 R 類綠混凝土評核流程圖 .....	46
圖 A-1 第一次專家座談會照片(I).....	63
圖 A-2 第一次專家座談會照片(II).....	63
圖 A-3 第一次專家座談會簽到單 .....	64
圖 A-4 第二次專家座談會照片(I).....	71
圖 A-5 第二次專家座談會照片(II).....	71
圖 A-6 第二次專家座談會簽到單 .....	72
圖 A-7 第三次專家座談會照片(I).....	77
圖 A-8 第三次專家座談會照片(II).....	77
圖 A-9 第三次專家座談會簽到單 .....	78





## 摘要

關鍵詞：綠混凝土、減碳、永續發展、再利用

### 一、研究緣起

由於人類的生存環境於本世紀面臨生態失衡的嚴重威脅，故於 1998 年「京都議定書」正式制定了各先進國二氧化碳排放減量的目標，「永續發展」也已成爲全球各國一致努力的目標。混凝土爲國內主要營建材料之一，使用量龐大，組成材料的生產過程中常伴隨著產生溫室氣體，因此本研究藉由蒐集國內外綠混凝土定義、性質與指標，並結合國內產官學界建議，希望建立我國綠混凝土的性質與指標，俾做爲國內混凝土科技朝向節能減碳及永續發展的重要策略。

### 二、研究方法及過程

本研究藉由蒐集國內外綠混凝土定義與性質，參考國外綠混凝土評估指標，利用專家座談等方式，聽取產官學界建議，針對國內混凝土產業環境制定綠混凝土性質與指標，希望對於國內綠混凝土發展提出依循之參考。

### 三、重要發現

根據資料蒐集與專家座談結果，制定「綠混凝土評核手冊（草案）」，確立綠混凝土之定義，並建立綠混凝土評核性質與指標，不但能達到節能減碳目標，符合國際趨勢。

### 四、主要建議事項

根據本計畫「綠混凝土性質與指標研究」之研究成果，提出立即可行建議及長期建議之建議如下：

立即可行之建議－綠混凝土性質與指標之後續研究

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：行政院公共工程委員會

因本計畫案執行時程關係，故目前僅針對綠混凝土材料生產、製造與施工階段建

立相關評估流程與指標，並配合工程實務應用之配比進行試行驗證，惟尚未擴及整個混凝土結構之完整生命週期，故建議根據本研究案之結果，後續可擴及至綠混凝土之組成材料製作運送作業、綠混凝土使用後拆除作業與重製等階段，並進一步建立國內綠混凝土全生命週期過程中所排放之二氧化碳量相關資料與計算標準。

長期性建議—舉辦綠混凝土性質與指標評核手冊內容專家座談與公聽會

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：行政院公共工程委員會

節能減碳與永續發展已為世界各國致力之目標，在 2009 年底召開的哥本哈根會議更是嚴格制訂各國之溫室氣體排放與減量標準，而本研究完成的「綠混凝土性質與指標評核手冊」便是基於環境與永續的原則下所制定完成，所建立之綠混凝土評核性質與指標，不但能達到節能減碳之目標，符合國際趨勢，亦能改善預拌混凝土產品品質與業者形象，故建議未來持續舉辦相關專家座談與公聽會討論本研究報告之附件「綠混凝土性質與指標評核手冊」，以吸取更多方面建議，修改評核項目內容，以便未來推動時以獲得業者認同。

長期性建議—將「綠混凝土」提案納入「高性能綠建材」評估項目

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：台灣建築中心

國內目前對於建築物所使用之建材依類別有建立相關綠建材標章評核制度，且目前參與申請與評核之廠商相當踴躍，實施情況相當良好。據此，為提高混凝土業者品牌形象與利潤，本研究已完成將「綠混凝土性質與指標評核手冊」中對於綠混凝土之評核性質與指標，與現行之「綠建材標章」評定流程加以結合，而提出「高性能 G 類綠混凝土評核表」與「高性能 R 類綠混凝土評核表」，做為將來主辦機關提案納入「高性能綠建材」評估項目之依據。

長期性建議－建立綠混凝土標章制度推廣獎勵措施

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：行政院公共工程委員會

建議政府工程相關單位將綠混凝土設計納入設計規範或建立相關獎勵措施，以增加混凝土業者取得混凝土標章之誘因，提高混凝土業者之申請意願與推廣。



## ABSTRACT

Keywords: Green concrete, CO<sub>2</sub> reduction, Sustainable development, Reuse

### 1. Background

The environment where people live faces serious threats from ecology unbalance in this century, therefore developed countries set a goal of carbon dioxide reduction inside Kyoto protocol in 1998, furthermore, sustain development becomes a globe target. Owing to large quantity of usage, concrete is a main construction material, during manufacturing lots of greenhouse gases emit. In this study, collecting the definitions, properties, and indices of green concrete overseas, combining suggestions of experts, establishing property and index of green concrete for domestic concrete industry as important strategies of concrete technology for energy saving, carbon dioxide reducing, and sustain development.

### 2. Methodology and Process

By way of collecting the definitions and properties of green concrete as well as referring evaluation indices, through expert meeting, finding out the suitable procedure and result for the future development of concrete industry in Taiwan.

### 3. Important Discoveries

According to data and conclusions, draft of green concrete assessment manual is finished, not only confirming the definition of green concrete, but also establishing the index of green concrete, conforming the international tendency of energy saving and carbon dioxide reducing.

### 4. Major Recommendations

Draft of green concrete assessment manual is able to be executed, let the concept of green concrete be promoted and prevailed. On the other hand, green concrete can obtain the medal of green construction material in the future, which improving the image and quality of

ready mix concrete industry, and extending the scope of entire life cycle of concrete structures.

## 第一章 緒 論

本世紀全球暖化、酸雨、森林縮減、臭氧層破壞、異常氣候等現象，人類的生存環境面臨了生態失衡的嚴重威脅，也讓人們警覺到環境保護的重要性，因而展開全面性的地球環保運動，於 1998 年所公佈的「京都議定書」更正式制定了各先進國二氧化碳排放減量的目標，顯示地球環保的問題嚴然成為超國境和超政體的國際要務。最近於 2007 年底在印尼峇里島舉行的全球氣候變遷會談(COP13)，會後各國簽署之「峇里島路線圖」協議，是繼京都議定書後成為未來各國減碳與環境發展之依據，2009 哥本哈根全球會議，將更深一層規劃「節能減碳」之決心，顯示「永續發展(Sustainable Development)」已成為人類永續生存的關鍵議題。

循此，營建工程業也有考慮共同為「節能減碳」盡些心力，先針對大量耗能且有明顯大量「碳足跡」的營建材料來著手，以其為人所詬病的混凝土為主。在國內一般建築與公共工程建設大都以混凝土為主要營建材料，使用量龐大，本研究即探討如何利用綠混凝土的性質與指標，以使混凝土由材料取得、生產、施工與使用過程中，減少溫室效應氣體的排放及減輕對環境的衝擊，以及將工業廢棄物有效地作為混凝土組成的替代膠結材料及粒料，適當有效地減少混凝土中的水泥使用量，俾做為國內混凝土科技朝向節能減碳及永續發展的重要策略。

### 第一節 研究緣起與背景

為了經濟發展及文明生活，人類大興土木，大事建設，對於環境的破壞規模，已擴大至地球的尺度，例如氣候暖化、酸雨、森林枯絕、臭氧層破壞、異常氣候等現象。所以，21 世紀的來臨，人類的生存環境面臨了生態失衡的嚴重威脅。有鑑於此，1992 年的「地球高峰會議」史無前例地聚集了 170 個國家的政府代表及 118 位的國家元首，共同商討挽救地球環境危機的對策，掀起了全球環保的熱潮。1993 年聯合國成立了「永續發展委員會」(United Nations Commission on Sustainable Development, UNCED)，從此展開全面性的地球環保運動。1995 年土耳其伊斯坦堡之「城市高峰會」提出綠色建築

都市與永續都市議題；直到 1998 年，「京都環境會議」更正式制定了各先進國二氧化碳排放減量的目標，再次顯示了地球環保問題已成為超國境、超政體的國際要務，同時也顯示「永續發展(Sustainable Development)」已成為人類最重要的課題。1998 年加拿大溫哥華之「Green Building Challenge 1998」提出綠建築之議題；2000 年荷蘭馬斯垂克之「永續建築研討會」則正式以永續建築為名舉辦國際研討會；2007 年 12 月在印尼峇里島舉行的全球氣候變遷會議，各國簽署「峇里島路線圖」協議，為繼「京都議定書」成為未來各國減碳與環境發展之依據。

至今，建築之永續考量已成為各國之重要發展政策目標，其主要考量點在於減少營建活動對地球環境的破壞，並減少資源的耗費。由於台灣的能源需求大部分仰賴進口，除了降低能源的消耗外，積極開發新能源亦勢在必行。針對上述建築之永續發展，台灣以綠建築為名展開相關之工作推動。我國於 1996 年成立永續發展委員會後，將綠建築議題納入台灣永續城鄉發展政策中，綠建築概念在台灣展開，此為綠建築議題正式進入國家政策之開端。

隨著社會經濟的快速發展，為提升居住生活機能與品質，許多私人建築與公共工程建設也隨之蓬勃發展，這些工程建設大多以混凝土為主要材料，使用量龐大，然而在混凝土材料的生產與使用過程中也同時生成許多的溫室氣體，如生產一公噸水泥約在營建工程中產生一公噸的二氧化碳氣體，如此大量的二氧化碳氣體除會對環境造成巨大的衝擊之外，且與當今環保減碳永續發展的觀念背道而馳。如何減少大量碳足跡的水泥數量及體積成為台灣共同努力的目標，1980 年代以來混凝土科學與技術的快速發展，工業廢棄物如煉鋼後所產生的爐石與燃煤發電後產生的飛灰等，都被作為混凝土組成的材料。將這些材料適當加入後，除可以減少混凝土中水泥的使用量外，直接減少二氧化碳產生量、更重要的可提升混凝土耐久性質、增加其他工業廢棄物的附加價值與可再利用性，以達到環保減碳永續發展之目標與減少自然生態環境上巨大的衝擊。在這樣的背景之下，具有環保、減碳等綠色概念特性的綠混凝土因應而生，本研究希望藉帶動混凝土科技與相關產業朝向智慧、潔淨、效能及永續之目標前進。



## 第二節 研究目的

當混凝土科技走向永續發展與資源再利用之際，正是著手規劃與建立台灣相關綠混凝土性質與指標之最佳時機，期能建立本土化指標與推廣平台，帶動混凝土科技與相關產業朝向智慧、潔淨、效能及永續之目標前進，除了水泥減量同時提升混凝土耐久性質，並增加工業廢棄物的附加價值與再利用性，以達到節能減碳永續發展之目標。本研究目的藉他山之石以攻錯外，並依國情與經驗設定評估準則，最後落實實務工作，所以可分列如下：

- (1) 比較世界主要國家有關綠混凝土之定義、種類、特性及用途，作為我國推動使用綠混凝土之參考。
- (2) 歸納綠混凝土製造技術與相關研究之發展軌跡，建立國內綠混凝土評估指標及適用範疇。
- (3) 透過綠混凝土之指標，落實善用資源之理念，節能減碳以達成環境永續發展目標。
- (4) 依據綠混凝土之指標，推廣綠混凝土應用範疇。

## 第三節 研究方法與流程

本研究最終目的在建立台灣綠混凝土性質與指標評估模式，作為未來混凝土工程界之依循，整體研究方法與流程如下：

### 1. 綠混凝土相關文獻資料比較分析

關於綠混凝土性質與指標之研究，首先要先瞭解國內外關於綠混凝土相關之定義、種類、特性及用途以及綠混凝土相關技術報告、研究成果、工程實例與審核指標，而後進行資料比較分析，確認國內外綠混凝土相關特性並加以歸納分類整理，比較分析評量實施之方式與成效，進而訂定初步符合國情的綠混凝土之效能與應用指標。

#### (1) 國外綠混凝土相關研究發展現況

針對歐洲、美加、日本、中國大陸等主要地區，蒐集綠混凝土相關文獻資料、技術報告與施工規範等，綜合歸納整理分析。

## (2)國內綠建築相關研究發展現況

以國內相關單位(內政部、環保署等)為區別，蒐集關於環境保護與綠色標章之相關規定與檢核標準資料，加以分析整理，以便作為將來綠混凝土指標之關連性參考。

## (3)現有國外綠混凝土相關檢測指標標準

針對歐洲、美、加、日本、中國大陸等主要地區，蒐集綠混凝土指標之相關檢測標準與試驗方法，綜合歸類整理分析。

## (4)現有國外綠混凝土相關工程實例

蒐集國外現有之工程實績，分析整理其混凝土設計方式與相關參數，作為綠混凝土指標訂定之相關依據。

## 2. 綠混凝土指標可行性分析：

依國外現有的綠混凝土相關指標與測試方法，選擇適合國內環境與使用的指標，再配合國內典型混凝土種類測試並調整指標參數，以符合國內之使用。

### (1)實地訪視與專家座談

實地訪視國內現有之綠建材與預拌混凝土製造廠商，瞭解產業製造流程作為將來評估之依據，並舉行產官學專家座談，提出綠混凝土評估指標，並進行沙盤推廣，使評估指標能被順利推動。

### (2)綠混凝土性質與指標之訂定

針對綠混凝土中所使用之工業廢棄物如飛灰、爐石等，以性能指標建立相關的用量規定與材料性質，與來源檢驗標準與要求，再依施工條件訂定適合之綠混凝土相關工程性質如：有毒物析出量、坍(流)度、CO<sub>2</sub>產生量、再生重複使用性、抗壓強度與耐久性(電阻、氯離子流通量、中性化)等功能性要求，建立各種功能綠混凝土評估指標。

### (3)綠混凝土指標檢驗項目

依前述所訂定之綠混凝土指標，建立指標之檢驗方法與訂定指標相關之核可標準，並配合現有規範起草綠混凝土指標檢驗規範。

本研究之研究規劃流程如圖 1-1 所示。

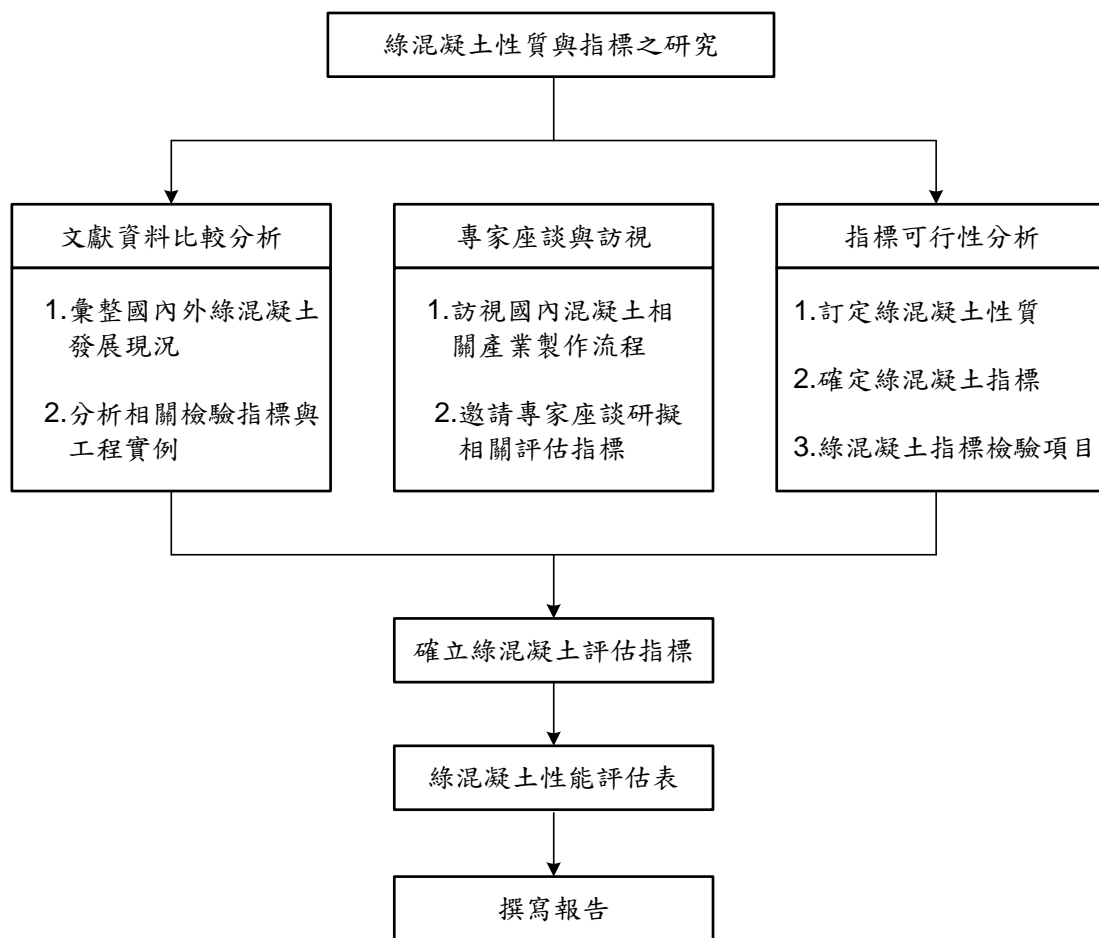


圖 1-1 研究規劃流程圖

(資料來源：國立台灣科技大學綠混凝土研究團隊繪製)



## 第二章 國外之綠混凝土相關資料回顧

### 第一節 北美地區

#### 壹、綠混凝土定義

##### 1.美國卜特蘭水泥協會<sup>[1]</sup>

美國卜特蘭水泥協會(Portland Cement Association, PCA)成立於1916年，成員的組成主要包括北美地區主要的水泥生產公司，宗旨在於促進並推廣卜特蘭水泥與混凝土。該協會基於能源暨環境先導設計評估(Leadership in Energy and Environmental Design, LEED)的精神提出綠混凝土應具備以下性質：

##### (1)促進現地永續發展(Creation of Sustainable Sites)

綠混凝土具有以下特性可促進現地之永續發展：

- (A)再發展閒置污染的土地 (Redevelopment of Brownfield)：水泥不僅可用於固化及穩定曾受污染的土地，並可降低污染物的滲流量。
- (B)保護或回復自然保留地(Protection or Restoration of Habitat)：建築物內的混凝土停車空間相對於戶外平面停車場而言，可降低對自然環境的衝擊。
- (C)最大化戶外開放空間 (Maximization of Open Space)：建築物內低樓層的混凝土停車空間可降低對自然環境的衝擊，不僅減少整體結構物所佔的面積，亦可降低戶外平面停車場、道路空間及人行步道等所需的鋪面空間。
- (D)控制暴雨逕流量 (Quantity and Quality Control of Stormwater)：使用透水混凝土可降低暴雨瞬間逕流量，同時亦可降低逕流所攜之各類污物。
- (E)降低熱島效應(Reduction of Heat Island Effect)：相對於瀝青混凝土而言，使用淺色混凝土或透水混凝土做為鋪面、屋頂材料等，由於其陽光反射指數(Solar Reflectance Index, SRI)高，故可降低熱島效應，進而節省室內空調所須的電力及增加空氣品質。

##### (2)增進能源使用效率(Enhancement of Energy Performance)

綠混凝土具有以下特性可增進能源之使用效率：

(A) 滿足最低能源效率要求 (Minimum Energy Performance)：混凝土具高熱容 (heat-storage capacity)，因此可調節建築物內室溫的變化以降低空調的要求。

(B) 達到最佳能源使用效率 (Optimization of Energy Performance)：混凝土搭配其它節能裝置可使整體結構物滿足最佳能源使用效率。

(C) 建築物再利用 (Building Reuse)：由於混凝土具耐久性，建築物於翻修時可保留混凝土結構物，如外牆、屋頂及主構件等。

(D) 營建廢棄物的再處理 (Construction Waste Management)：混凝土結構物拆除後可藉由破碎等處理而再利用，例如運用於回填、路基材料等。

### (3) 使用回收材 (Application of Recycled Materials)

綠混凝土組成成份包含回收材料，如飛灰、爐石、矽灰等卜作嵐材料與回收混凝土粒料。

### (4) 當地製造 (Local Manufacture)

綠混凝土儘可能使用附近所產之材料以節省材料運輸距離。

### (5) 可建造耐久結構 (Durable Structures)

綠混凝土本身使用卜作嵐材料而具耐久性，因此興建耐久結構物。

美國卜特蘭水泥協會基於以上精神，除了發行了與水泥及混凝土相關的出版品外，並每年頒發獎項鼓勵採取永續發展的水泥製造廠及工程案例，於最近更提出高性能建築物永續發展要求草案 (High Performance Building Requirements for Sustainability) 供各級政府立法與採用標準的參考。

## 2. 美國國家預拌混凝土協會<sup>[2]</sup>

美國國家預拌混凝土協會 (National Ready Mixed Concrete Association, NRMCA) 成立於 1930 年，主要由預拌混凝土相關業者包含材料、製作、銷售、承包等各方面，其提出綠混凝土應具備以下性質：

### (1) 耐久性 (Durability)

綠混凝土可於不同的環境下提供適當的強度與可服務性 (serviceability)，並可抵抗各種人為破壞，如火災、爆破等及各類自然災害，如地震、颶風等。

(2)當地製造(Local Production)

綠混凝土主成份包含粒料及用水多為現地附近可取得,進而降低運輸過程中對環境的衝擊。

(3)回收材料(Recycled Materials)

綠混凝土可使用工業廢棄物，如飛灰、爐石等，故可降低水泥用量,進而減少二氧化碳的排放。此外，廢棄混凝土可經由破碎等過程，將其中的粒料回收再利用，可用於新拌混凝土或回填料。

(4)暴雨控制(Stormwater Management)

透水混凝土可降低暴雨逕流量並可適當攔截污染物。

(5)節能使用(Energy Conservation)

綠混凝土可提供高隔熱性能，進而降低室內空調的要求。此外，綠混凝土硬固後表面可不需再粉飾，因而可降低興建與維護成本。

(6)高光反射率(High Albedo)

綠混凝土相對於其它常見材料而言，可提供較高的光反射率，用於屋頂與鋪面可因而降低熱島效應。此外，綠混凝土的高光反射率特性可降低建築物夜間外觀照明的需求。

(7)適合植栽屋頂(Ideal for Green Rooftops)

使用綠混凝土的低滲水特性可於屋頂植栽，進而降低熱島效應及室內空調的要求。

(8)LEED 評估得分 (LEED Credits)

使用混凝土有助於在 LEED 中取得分數。綠混凝土在以下類別有助於取得分數：

(A)現地永續發展(sustainable sites)；(B)能源與大氣(energy and atmosphere)；(C)材料資源(materials and resources)；(D)創新與設計過程(innovation and design process)。

美國國家預拌混凝土協會除持續舉辦一連串綠混凝土相關的研討會外，並針對從業人員辦理相關認證如永續混凝土專業認證(NRMCA Concrete Sustainability Professional Certification)及綠混凝土建築專業認證(Concrete Green Building Specialist Certification)等。

### 3.加拿大水泥協會<sup>[3]</sup>

加拿大水泥協會(Cement Association of Canada, CAC)成員的組成主要包括加拿大主要的水泥生產公司，其間許多亦同時是美國卜特蘭水泥協會會員，因此與卜特蘭水泥協會關係密切。該協會指出綠混凝土具有以下性質：

#### (1)促進環境利益(Environmental Benefits)

綠混凝土的以下特性可促進環境利益：

- (A)低二氧化碳排放係數(Low CO<sub>2</sub> intensity)：相對於其它營建材料，綠混凝土排放較少的二氧化碳。
- (B)高資源使用效率(Resource efficient)：綠混凝土的成份如粒料等，多存於自然界中，且易回復其自然狀態。
- (C)可使用當地資源(Local resource)：綠混凝土的成份如粒料等多可由現地附近取得。
- (D)較少營建廢棄物(Less construction waste)：綠混凝土係依據需求量所製作，故較少剩餘廢棄物。
- (E)可再利用性(Reusable)。
- (F)可為利用回收物的媒介(Recycling medium)：綠混凝土可含工業廢棄物或副產品，如飛灰、爐石等。
- (G)廢棄混凝土可重生(New life for old concrete)：綠混凝土的成份如粒料等可回收再利用。
- (H)補充含水土層(Replenishes aquifers)：綠混凝土可降低暴雨逕流量並可讓逕流回歸地下水層。

#### (2)促進經濟利益(Economic Benefits)

綠混凝土的以下特性可促進經濟利益：

- (A)具成本效益(Cost-effective)：綠混凝土相對於其它營建材料在整體生命週期而言成本較低。
- (B)建築耐久結構(Longer-lasting structures)：綠混凝土具耐久性，故可降低建築物維護及重建的成本。



(C)低運輸成本(Reduced transportation costs)：綠混凝土可當地製造。

(D)低使用成本(Lower operating costs)：綠混凝土因具高熱容，可降低室內對空調的要求。

(E)低照明花費(Lower lighting costs)：綠混凝土具高反光率，可降低建築物夜間照明的需求。

(F)表面不需粉飾(No need for additional interior or exterior finishes)：綠混凝土表面可無需粉刷。

### (3)促進社會整體利益及生活品質(Social and Quality of Life Benefits)

綠混凝土的以下特性可促進社會整體利益及生活品質：

(A)安全性(Safety)：綠混凝土可抵抗許多種類的破壞,如火災、風災、地震等。

(B)較佳室內空氣品質(Better indoor air quality)：綠混凝土相對於其它營建材料不釋出有害氣體。

(C)潔淨性(Cleanliness)：綠混凝土易清理且不易孳生黴菌。

加拿大水泥協會除了發行一些關於水泥及混凝土永續性的出版品外，並定期出版水泥工業的永續展望報告，該協會亦協助修訂水泥國家標準，期符合 LEED 的精神。

## 貳、綠混凝土評估準則

### 1.美國卜特蘭水泥協會

美國卜特蘭水泥協會針對前述綠混凝土的性質，建議可以以下條件另訂定綠混凝土的評估標準：

(1)穩定土壤能力

(2)降低滲濾污物能力：可降低污物至一定濃度以下。

(3)高滲透性：至少降低暴雨逕流量達 25%以上。

(4)降低熱島效應能力：藉由控制表面性質如顏色及平滑度等來促使陽光反射指數(Solar Reflectance Index, SRI)至少大於 29。此外，ASTM E 1980-01 內有各類材料關於陽光反射指數的計算值。

- (5)高熱容性：使用混凝土時，必須考慮建築物是否滿足 ASHRAE/IESNA Standard 90.1-2004 的規定，對於新建建築物必須可節能 10.5%至 42%，對於既存建築物則必須節能 3.5%至 35%。
- (6)使用回收材比例：至少使用總重 10%以上的回收材，或是使用少於 40%的水泥用量，或是 40%以上的水泥被其它膠結材料所取代。
- (7)使用當地材料：至少總價 10%以上的原料生產地離現地 500 英哩內。

## 2.美國國家綠建築標準<sup>[4]</sup>

美國國家綠建築標準(National Green Building Standard, NGBS)係由全美住宅建築商協會(National Association of Home Builders, NAHB)經多年研發後，於 2009 年正式被美國國家標準協會(American National Standards Institute, ANSI)所採用，將於未來做為美國綠建築興建與評估的指南之一。NAHB 成立於 1942 年，是美國重要的商會之一，於各地設有超過 800 個分支機構，約 2/3 的成員為住宅建造及修繕業者，其餘亦多為相關業者，如建築材料供應商、仲介商、房屋貸款業者等。NAHB 內部的次團體的工作包括分析當前住宅工業的相關政策議題、透過大眾媒體介紹住宅工業、監測並改善當前的住宅財務系統、分析未來經濟與消費趨勢、提供會員教育訓練與相關資訊等，可以說 NAHB 是相關行業於國會的重要遊說團體之一，影響美國政府制定相關之立法與規範等。

NGBS 其架構係以各項評分及總積分來評定建築物，依積分高低分為：(1)寶石級(emerald)；(2)金等(gold)；(3)銀等(silver)；(4)銅等(Bronze)。雖然 NGBS 是 ANSI 當中唯一採用的綠建築評分標準，但由於其制定背景，目前該標準的認證係由 NHAB 下的研究中心辦理，申請認證者多為私有住宅的建築企畫案。直到目前為止，已有超過 500 個企畫案獲得認證。NGBS 當中雖無明確定義綠混凝土,但該標準中的第六章提到資源使用效率(Resource Efficiency)，其部份條文可為綠混凝土的評估指標：

- (1)使用回收材料：依使用回收料的百分比給予分數。
- (2)可回收性：依使用材料的可回收種類數量給予分數。
- (3)使用可再生材料：可再生材料多指生物產品(biobased products)，依其所使用的種類

與比例給予分數。

(4)使用再生能源製造：製造產品過程中所須能源須有一定比例來自再生資源、再生能源或廢物燃燒所得。

(5)使用當地原料生產：產品所需原料應多為當地生產。

### 3.能源暨環境先導設計評估<sup>[5]</sup>

能源暨環境先導設計評估(Leadership in Energy and Environmental Design, LEED)係由美國綠建築協會(U.S. Green Building Council, USGBC)所研發用來評估建築物永續發展之評分系統。該非營利組織成員組成廣泛，不僅涵蓋建築業者亦包括學者專家、政府代表、一般民眾及其它非營利組織等，成立目的在於改善建築物與社區的設計、建造及營運方式以實現具環境與社會責任、健康、繁榮的環境並提升生活品質。

LEED 自 1994 年發展以來，其經由不斷討論已修訂數版，內容日趨完備，近年來更廣為美國與世界各國所接受，已成為國際間認可之綠建築標章系統之一。其建立的目標在於：(1)建立評估綠建築的標準；(2)整合建築物的設計流程；(3)建立建築業界環境優先的觀念；(4)激勵綠觀念的競爭；(5)促進消費者瞭解對綠建築的益處；(5)轉變建築業的市場生態。有別於前述之美國國家綠建築標準(NGBS)，新版 LEED(v3, 2009)涵蓋範圍更廣且規定更為明細，主要內容分為三大部份：(1)綠建築設計與施工指南(Green Building Design and Construction Reference Guide)；(2)綠建築內裝設計與施工指南(Green Interior Design and Construction Reference Guide)；(3)綠建築運作與維護指南(Green Building Operations & Maintenance Reference Guide)。

LEED 係以積分形式來評估一個新建物計畫對環境的友善程度。依其各項目評分及總積分高低，最新版的 LEED 授予各計畫四級認證，分別為(1)認證通過(Certified)、(2)銀等(Silver)、(3)金等(Gold)、(4)白金等(Platinum)。該認證逐漸為美國各級政府所接受，目前已有 45 個州以立法、行政命令、政策宣導等方式獎勵建築業採取 LEED 認證，如稅收減免，以辛辛那提市(Cincinnati, Ohio)為例，新建或翻修建築物可獲得 100%的房屋稅減免。於內華達州(State of Nevada)，使用合乎 LEED 標準的營建材料即可獲當地稅的減免。以行政命令而言，更多中央政府及地方機關要求公用建築必須合乎 LEED

認證，例如：能源部(Department of Energy)提出承租或新建價值超過 500 萬美金的中央政府建築物宜獲得 LEED 金等以上認證；內政部(Department of Interior)要求所屬總價超過 200 萬美金的新建或翻修建築物必須達到 LEED 認證；環保署(Environmental Protection Agency)要求所屬面積大 2 萬平方英尺的新建建築物必須滿足 LEED 金等認證；農業部(Department of Agriculture)要由所屬之新建或翻修建築物必須達到 LEED 銀等認證。其它如政策宣示：國務院(Department of State)承諾未來 10 內於全球所新建之大使館採用 LEED 認證；工兵署(U.S. Army)承諾所有新建築達到 LEED 銀等以上認證。僅就最近半年內就有三個州政府採用不同方式鼓勵採用 LEED，如伊利諾州(State of Illinois)新法案要求新建建築物的構件必須具永續性，LEED 認證所需費用可由州稅基金(Illinois Tax Increment Fund)補貼。新建或翻修州屬建築物必須有 LEED 或其它相關認證，當面積大於 1 萬平方英尺時則必須滿足至少銀等；紐約州(State of New York)新法案要求州屬建築物滿足 LEED 或其它相關認證；田納西(State of Tennessee)新法案允許負責新建部門增加綠建築與能源效率的投資甚至於辦理 LEED 及相關認證所需之費用。其它地方政府亦有類似法案，但通常要求項目更明確如：Bothell 市(Bothell, WA)要求減少停車空間、授權使用替代營建材料、依所獲認證等級給予 10%~50%的建築執照稅減免。San Jose 市(San Jose, CA)為確保建築物進行認證，申請建築執照時必須預付保證金。Wilmington 市(Wilmington, OH)劃定特地區域，其中獲得 LEED 認證的建築物可得 50~75%執照費的減免。

LEED 內各項要點並非嚴格要求，其訂定基本上採共識決及市場導向的架構以促進產業採用。雖然其中並無針對混凝土材料使用的專章，但基於以下各點精神應可運用於綠混凝土的製作上：

- (1)促進現地永續發展 (Sustainable sites)
- (2)提升用水效率 (Water efficiency)
- (3)降低能源使用 (Energy performance)
- (4)使用再生及回收資源 (Reused, recycled materials and resources)
- (5)提升室內環境品質 (Indoor environmental quality)

(6)使用創新技術及設計流程 (Innovation and design process)

(7)地域優先性 (Regional priority)

另外，RMC 研究與教育基金會(RMC Research & Education Foundation)也整理出混凝土的使用可滿足 LEED 的要求如表 2-1 所示<sup>[6]</sup>：

#### 4. 其它學者

關於綠混凝土所應具備之性能與評估準則，美國學者們也陸續提出他們的見解。Khan 指出對於環境友善的混凝土應具備以下條件包括有<sup>[7]</sup>：(1)降低卜特蘭水泥用量並提升摻料用量；(2)以回收混凝土為粒料並提升其用量；(3)預拌混凝土廠使用回收水；(4)使用非飲用水；(5)使用提升粒料及拌合水效能的材料；(6)設計壽命可達 100 至 150 年之耐久結構物；(7)利用混凝土來從事污染控制。

Mehta 也曾在 1999-2001 年間指出可以以下指標來降低混凝土製造及使用過程中對環境的衝擊<sup>[8-10]</sup>：(1)降低水泥用量(Cement conservation)：使用工業廢棄物，如飛灰、爐石等；(2)降低粒料用量(Aggregate conservation)：使用回收粒料，並回收廢棄混凝土等；(3)降低用水量(Water conservation)：使用較佳級配、減水劑、回收水、非透水性織布養護等；(4)提升耐久性(Concrete durability)：使用工業廢棄物、較佳級配、減水劑等來降低劣縫產生及長期乾縮量。在 2009 年，Mehta 指出為降低二氧化碳的排放量，混凝土的製作方面可朝兩方向努力，包括藉由配比設計提升水泥的使用效率及藉由摻料的使用來降低熟料的使用<sup>[11]</sup>。他同時指出目前水泥工業正朝以下目標努力，期能於 2030 年前達到下列目標：(1)降低水泥用量達 30%以上；(2)熟料佔水泥的成份由 0.83 降至 0.60 以下；(3)利用生物或工業廢棄物作為熟料製造所需之能源，所佔總需能源比例提升至 20%以上。

另外，Gottfried 於 1996 年曾提到以下列兩項來評估混凝土的永續發展性，包括<sup>[12]</sup>：(1)使用資源效率(Resource-efficient options)方面，使用飛灰及爐石、使用回收及輕質粒料、提升鋼筋抗蝕及使用低廢料產生之模板等；(2)對於人類健康與環境污染影響(Health and pollution issues)方面，須考量混凝土使用摻料後所釋放出的氣味與化合物等及摻料製作本身所需原料對環境的影響。而 Penttala 於 2009 年則主張依以下各點來評估綠混

凝土<sup>[13]</sup>：(1)永續發展(Sustainable development)期望生產過程中所有材料都可被利用及回收，而無廢棄物產生；(2)生產過程中的耗能與熱釋放(Production energy and emissions)；(3)整體結構物的生命週期分析(Life span analysis)；(4)回收性(Recycling of concrete)；(5)建築物所需功能(Functional Properties of Buildings)。

表 2-1 滿足 LEED 要求之混凝土使用相關評分準則 [6]

Prereq 1	<b>Storage &amp; Collection of Recyclables</b>	Required
Credit 1.1	<i>Building Reuse, Maintain 75% of Existing Shell</i>	1
Credit 1.2	<i>Building Reuse, Maintain 100% of Shell</i>	1
Credit 1.3	<b>Building Reuse, Maintain 100% Shell &amp; 50% Non-Shell</b>	1
Credit 2.1	<b>Construction Waste Management, Divert 50% of C&amp;D waste from landfill.</b>	1
Credit 2.2	<b>Construction Waste Management, Divert 75% Divert 75% of C&amp;D waste from landfill.</b>	1
Credit 3.1	<b>Resource Reuse, Specify 5%</b> Based on material cost, this would require the project to purchase salvaged materials equal to at least 5% of the total material costs.	1
Credit 3.2	<b>Resource Reuse, Specify 10%</b>	1
Credit 4.1	<b>Recycled Content, Specify 5%.</b>	1
Credit 4.2	<b>Recycled Content, Specify 10%.</b>	1
Credit 5.1	<b>Local/Regional Materials, 20% Manufactured Locally (w/in a 500-mile radius).</b>	1
Credit 5.2	<b>Local/Regional Materials, of 20% Above, 50% Harvested Locally</b>	1
Credit 6	<b>Rapidly Renewable Materials 5% of materials from renewable resources</b>	1
Credit 7	<b>Certified Wood 50% of Wood FSC Certified</b>	1
Prereq 1	<b>Minimum IAQ Performance - ASHRAE 62-2001</b>	Required
Prereq 2	<b>Environmental Tobacco Smoke (ETS) Control</b>	Required
Credit 1	<b>Carbon Dioxide (CO<sub>2</sub>) Monitoring</b>	1
Credit 2	<b>Increase Ventilation Effectiveness - Air Exchange Effectiveness <math>\geq 0.9</math> (ASHRAE 127-1997)</b>	1
Credit 3.1	<b>Construction IAQ Management Plan, During Construction</b>	1
Credit 3.2	<b>Construction IAQ Management Plan, Before Occupancy(Flush-out)</b>	1
Credit 4.1	<i>Low-Emitting Materials, Adhesives &amp; Sealants</i>	1
Credit 4.2	<i>Low-Emitting Materials, Paints</i>	1
Credit 4.3	<i>Low-Emitting Materials, Carpet</i>	1
Credit 4.4	<b>Low-Emitting Materials, Composite Wood</b>	1
Credit 5	<b>Indoor Chemical &amp; Pollutant Source Control</b>	1
Credit 6.1	<b>Controllability of Systems, Perimeter - 1 operable window &amp; 1 lighting control/ 200 sf.</b>	1
Credit 6.2	<b>Controllability of Systems, Non-Perimeter - Individual airflow, temp, &amp; lighting control for 50% of non-perimeter occupants.</b>	1
Credit 7.1	<i>Thermal Comfort, Comply with ASHRAE 55-1992</i>	1
Credit 7.2	<b>Thermal Comfort, Permanent Monitoring System</b>	1
Credit 8.1	<b>Daylight &amp; Views, Daylight 75% of Regularly Occupied Spaces</b>	1
Credit 8.2	<b>Daylight &amp; Views, Views for 90% of Regularly Occupied Spaces</b>	1
Credit 1.1	<b>Innovation in Design: Exemplary Performance.</b>	1
Credit 1.2	<b>Innovation in Design: Site Wide VOC Reduction.</b>	1
Credit 1.3	<b>Innovation in Design: 40% Reduction in the use of Portland Cement.</b>	1
Credit 1.4	<b>Innovation in Design: Open</b>	1
Credit 2	<b>LEED™ Accredited Professional</b>	1
<b>Project Totals</b>		<b>69 Points</b>
Certified 26-32 points Silver 33-38 points Gold 39-51 points Platinum 52-69 points		

(資料來源：Ready Mixed Concrete Industry LEED Reference Guide)

## 第二節 歐洲地區

### 壹、綠混凝土定義

歐洲地區對於綠混凝土之定義如下：

1. 混凝土結構之生命周期(life cycle)所有階段中，對環境可能造成衝擊降至最低的最佳形式，包括原料的取得、組成物質的生產、混凝土的製作、運輸與興建、維修、拆除與回收<sup>[14]</sup>。
2. 環境友善(environmental-friendly)之混凝土結構<sup>[15]</sup>。
3. 資源節約(resource saving)之混凝土結構<sup>[16]</sup>。
4. 環境永續(environmental sustainable)之混凝土結構<sup>[17]</sup>。

另外，綠混凝土產製所使用之組成材料如下所列：

1. 增加傳統剩餘產物的使用，例如飛灰。
2. 使用混凝土工業的剩餘產物，例如粒料碾碎的石塵、洗滌拌合裝置的泥漿等。
3. 使用非混凝土工業的剩餘產物，例如污泥、灰渣等。
4. 使用對環境衝擊小的水泥。

### 貳、綠混凝土研究之發展<sup>[18-21]</sup>

自 1990 年開始，歐洲地區混凝土與環境相關議題由廢水與拆除混凝土之回收，進展至生命周期參數之決定。1997 年歐洲 Brite/EuRam 資助以丹麥為主結合希臘、義大利、荷蘭等歐洲國家進行為期三年混凝土生產潔淨技術之研究，而後進展成為一項金額丹麥幣 2 仟 2 佰萬元(約台幣 1 億 4 仟萬元)為期四年(1998 年 7 月~2002 年 6 月)之計畫，名稱為「生命周期混凝土產品之潔淨技術解決方案(TESCOP-Cleaner Technology Solutions in the Life Cycle of Concrete Products)」。潔淨技術包括降低混凝土製造之耗水量、使用省電之照明設備、碾製粒料之回收、使用低耗能製造之水泥、減少配比之水泥量等項目。丹麥因此項計畫成立「丹麥綠混凝土中心」(Danish Centre for Green Concrete)，研究議題如下所列：

1. 混凝土含低燒結塊狀物(Concrete with minimal clinker content)；



2. 混凝土添加綠種類膠結材料(Concrete with green types of cement and binders) ；
3. 混凝土添加無機殘留產物(Concrete with inorganic residual products) ；
4. 綠混凝土結構之效能與維護(Performance and maintenance of green concrete structures) ；
5. 綠營建技術與綠混凝土技術(Green construction technical solutions and construction technical solutions for green types of concrete) 。

此外，2001 年北歐創新中心(Nordic Innovation Center)資助丹麥技術研究院(Danish Technology Institute, DTI) 成立混凝土與環境相關平台 (<http://www.ConcreteforEnvironment.net>)。另歐盟委員會(EU Commission)亦資助丹麥技術研究院進行一項金額 34 萬歐元(約台幣 1 仟 5 百萬元) 為期三年(2003 年 12 月~2005 年 12 月)之計畫，名稱為「混凝土生命週期二氧化碳之吸收(CO<sub>2</sub> uptake during the concrete life cycle)」，探討北歐國家混凝土中性化對於環境之影響。2006 年 5 月 18~19 日於波蘭華沙舉行之「永續營建之挑戰－混凝土方法(Challenges for Sustainable Construction: the“concrete” approach)」國際研討會，綠混凝土為重要之議題，除了日本與紐西蘭，歐洲主要國家均有專家學者與會分享經驗。

另外，歐洲地區另一發展綠混凝土之組織為國際混凝土協會(fib - fédération internationale du béton)，其創立於 1998 年，係結合於 1952 年創立之歐洲混凝土協會(Comité Euro-International du Béton, CEB)與國際預力協會(Fédération Internationale de la Précontrainte, FIP)。

國際混凝土協會於 2006 年時在第八委員會「混凝土」下設立「綠混凝土」工作小組；然而 2008 年轉成在第三委員會「環境層面之設計與建造」(Environmental aspects of design and construction)下設立「混凝土結構生命週期設計之綠混凝土技術」(Green concrete technologies for life-cycle design of concrete structure)工作小組。該工作小組主席及秘書分別為隸屬丹麥技術研究院之 Glavind 和 Nielsen，成員包括日本、德國、比利時、荷蘭、瑞典、加拿大等國之專家學者。經由組織之推動，希冀建立實務取向之準則，提出混凝土結構生命週期中降低環境衝擊之最佳可得技術(BAT- Best Available

Technologies)，並配合同一委員會下「混凝土結構環境設計之應用」工作小組之發展目標。

### 第三節 日本地區

#### 壹、綠混凝土定義<sup>[22-24]</sup>

2008年於日本所舉辦之洞爺湖高峰會，「環境」為其最重要議題，且2009年美國總統歐巴馬也以「環境」為景氣回復與擴大就業之重要支柱。可知世界各國為達環境永續此一目標均持續努力，而位居亞洲領導地位之日本於1990年起即針對此一問題進行探討，並對混凝土等相關營建產業進行研究。日本混凝土工學協會之生態混凝土委員會於1994年即定義生態混凝土(Eco-concrete)及其所應具備之性能，經多年之研究與發展，將綠混凝土分為兩類型，並分別給予不同之定義，分述如下：

- 1.環境對應型混凝土：保持混凝土之基本性質，並隨時間增加而改善所使用地區之週邊環境。而基於自然環境考量之各種要求性能，如：綠化植生性能、水質淨化性能、溫熱調合性能、調濕性能、吸音遮音性能、生物多樣性能及景觀性能等。
- 2.環境思慮(或考慮)型混凝土：保持混凝土之基本性質，不產生環境負荷(有害變化產生)或能進行環境改善(有益變化產生)。基本上可分為：省資源型、省能源型、減低環境負荷型及長壽命型等。

#### 貳、環境思慮型混凝土之評估要項與方法

##### 1.環境思慮型混凝土之評估要項<sup>[22-24]</sup>

環境思慮型混凝土依下列各種類型，評估要項分述如下：

##### (1)省資源型環境思慮型混凝土

- (A)再生材料佔原材料之使用比率，及再利用可能之材料比率；
- (B)施工方法所減少之天然資源使用量；
- (C)現場施工時剩餘材料或資材之最小量。

##### (2)省能源型環境思慮型混凝土

(A) 原材料於採取、加工及製造各階段之能源使用；

(B) 材料或使用機具之運送距離或工廠位址；

(C) 施工方法及機具之能源使用。

(3) 減低環境負荷型環境思慮型混凝土

(A) 原材料於採取、加工及製造各階段之環境負荷物質(CO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、SO<sub>x</sub>等)；

(B) 施工階段及使用機具之環境負荷物質。

(4) 長壽命型環境思慮型混凝土

(A) 設計階段之長壽命型設計條件考慮；

(B) 使用年限提升之原材料選定與製造；

(C) 使用年限提升之施工規畫。

2. 環境思慮型混凝土之評估方法<sup>[25-26]</sup>

其評估方法主要係針對材料生命週期之環境負荷評估(Life-cycle impact assessment, LCIA)，意即由混凝土材料產製、運送、澆灌至最後拆除回收之過程中，計算其資源使用量或投入量與廢棄物排出量，以及上述二項對人體健康、社會資產、生物多樣性、一次生產能力等保護對象影響進行定量評估，再依據各保護對象之權重係數進行統合化之單一環境影響指標建立。統合評估結果可用數值或金錢表示。其中環境負荷所造成之成本可稱為「外部成本」(External Cost Intensity, EPI)，如表 2-3 所示，而兩者之對應關係如表 2-4 所示。

表 2-2 日本環境思慮型混凝土之原材料與製造過程之外部成本 [25-26]

投入と排出		高性能減水剤 (kg)	自來水 (kg)	陸砂 (kg)	碎石 (kg)	普通水泥 (kg)	爐石B覆水頭(kg)	飛灰B覆水頭(kg)	爐石細粉(kg)	飛灰B覆(kg)	再生骨材 (JIS1, kg)	輸送** (t·km)	拌合 (m <sup>3</sup> )	...
氣體汚染物 (g)	CO <sub>2</sub>	1.22	2.81E-01	1.87	5.68	8.56E+02	4.66E+02	-9.13	-9.13	-6.51E+01	-6.51E+01	7.83E+01	7.65E+03	...
	SO <sub>x</sub>	1.58	2.31E-04	2.50E-03	7.09E-03	9.30E-02	6.18E-02	5.74E-02	5.74E-02	6.71E-03	6.71E-03	1.05E-01	9.01	...
	NO <sub>x</sub>	2.73	3.15E-04	1.26E-02	2.94E-02	1.43	8.10E-01	-3.32E-01	-3.32E-01	-3.97E-01	-3.97E-01	1.19	3.55E+01	...
	CH <sub>4</sub>	9.41E-01	2.67E-04	2.30E-04	1.84E-03	1.34E-02	7.43E-03	5.00E-02	5.00E-02	-1.07E-02	-1.07E-02	2.41E-02	2.93	...
	N <sub>2</sub> O	3.15E-01	1.96E-06	6.82E-05	1.71E-04	3.95E-03	1.97E-03	4.73E-04	4.73E-04	6.46E-05	6.46E-05	1.40E-03	2.08E-01	...
	SPM	1.96E-01	3.83E-05	5.62E-03	4.87E-03	3.89E-02	2.32E-02	-2.04E-03	-2.04E-03	-2.86E-03	-2.86E-03	9.65E-02	3.43E-02	...
水汚染物 (g)	COD	2.93	1.12E-04	1.06E-03	1.06E-03	2.14E-01	2.04E-01	-9.30E-02	-9.30E-02	-9.30E-02	-9.30E-02	3.60E-04	3.87	...
	T-N	2.55	9.31E-05	7.09E-04	7.23E-04	7.95E-02	7.65E-02	-1.07E-02	-1.07E-02	-1.13E-02	-1.13E-02	3.39E-04	5.77	...
	TP	1.01E-02	1.03E-05	8.08E-05	8.27E-05	9.90E-02	9.50E-02	-1.21E-04	-1.21E-04	-2.00E-04	-2.00E-04	2.62E-05	3.04E-01	...
能源消耗(g)	Oil	53.20	1.31E-02	7.41E-01	1.18	18.57	11.45	2.99	2.99	2.45E-01	2.45E-01	21.90	1430	...
	Coal	50.10	2.83E-02	7.40E-03	1.61E-01	95.63	56.21	6.93	6.93	5.29E-01	5.29E-01	2.54E-03	271	...
	天燃氣	6.07	3.49E-03	8.10E-03	3.66E-05	4.50E-01	2.84E-01	8.40E-01	8.40E-01	6.67E-02	6.67E-02	3.38E-01	52.90	...
	鈾	3.73	2.10E-03	5.50E-04	1.20E-02	4.22E-01	2.55E-01	5.15E-01	5.15E-01	3.92E-02	3.92E-02	1.89E-04	20.10	...
土地環境改變 (m <sup>2</sup> )	土地利用改變	8.20E-06	3.87E-09	2.09E-05	2.09E-05	-1.84E-05	-9.34E-05	-1.18E-04	-1.18E-04	-1.00E-04	-1.00E-04	2.56E-08	4.46E-04	...
外部成本 (円)		7.04	2.99E-03	6.94E-03	2.87E-02	2.12	1.22	1.71E+03	1.11	5.73E-01	-8.42E-02	2.19E-01	4.12E+01	...

註：\* CO<sub>2</sub>、SO<sub>4</sub>、NO<sub>2</sub>.....分別表示二氧化碳、氧化硫、氧化氮、甲烷、一氧化二氮、煤塵、化學需氧量、總氮、總磷、石油、煤炭  
 \*\* 10t 卡車之輸送。

(資料來源：コンクリートの環境性能評価法と環境配慮型調合設計法の提案、環境配慮型材料設計のためのコンクリートの環境負荷性評価)

表 2-3 日本環境思慮型混凝土之環境負荷與外部成本對應表 [25-26]

EB要因分類	氣體汚染物						水汚染物			能源消耗				土地環境改變
	CO <sub>2</sub> * (g)	SO <sub>x</sub> (g)	NO <sub>x</sub> (g)	CH <sub>4</sub> (g)	N <sub>2</sub> O (g)	煤塵 (g)	COD (g)	T-N (g)	T-P (g)	石油 (g)	石炭 (g)	天燃氣 (g)	鈾 (g)	土地利用改變(m <sup>2</sup> )
外部成本 (円)	1.62 E-03	5.57 E-02	3.98 E-02	3.73 E-02	4.80 E-01	3.08 E-04	6.40 E-04	8.25 E-02	9.74 E-01	1.65 E-03	4.54 E-04	1.29 E-03	1.16 E-00	80**

\* 森林 CO<sub>2</sub> 吸收之減少量加算至材料製造及運輸等過程中。  
 \*\* 林地主要設定轉換為採石場及最終處理場之面積。

(資料來源：コンクリートの環境性能評価法と環境配慮型調合設計法の提案、環境配慮型材料設計のためのコンクリートの環境負荷性評価)

上述外部成本之計算公式如下所列：

$$EPI = \sum_i [(\sum_j E_{ij}^v - \sum_r E_{ir}^w) \times F_i] \quad (2-1)$$

其中，i = 環境負荷因子；

j = 使用資源或運送等項目；

r = 廢棄物或回收材料使用；

$F_i$  = 環境負荷因子之外部成本；

$E_{ij}^v$  = 使用資源或運送項目 j 所造成之環境負荷因子 i；

$E_{ir}^w$  = 廢棄物或回收材料 r 之使用而減少環境負荷因子 i (可減低廢棄物處理所造成之環境負荷，如燃燒或掩埋等)。

根據上述各參數定義，式(2-1)又可改寫成如式(2-2)：

$$EPI = \sum_m M_m \times S_m \quad (2-2)$$

其中，m = 混凝土製造用之原料與過程；

M = 混凝土製造用之原料與過程之量；

S = 混凝土製造用之原料與過程之外部成本。

而環境負荷因子分為下列幾項：

- (1) 氣體污染物 (生態綠建材-環境負荷)：CO<sub>2</sub>、SO<sub>x</sub>、NO<sub>x</sub>、CH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>O、煤塵(SPM)。
- (2) 水污染物 (生態綠建材-環境負荷)：COD、T-N、T-P。
- (3) 能源消耗 (生態綠建材-省能源)：石油、煤炭、天然氣、鈾。
- (4) 土壤環境改變(生態綠建材-環境負荷)：因採石或掩埋所造成之動植物棲息環境、土地利用改變等，主要利用土壤環境改變造成二氧化碳之吸收減少量予以評估。
- (5) 廢棄物或回收材料使用(再生綠建材-省資源)。

此評估準則實際應用時之評估範圍如圖 2-1 所示，主要範圍包括：

- (1) 混凝土 1 次原料，如：粘土、石灰岩、粒料等之採取。
- (2) 混凝土 2 次原料，如：水泥、粒料等製造。

- (3)原料運輸。
- (4)混凝土拌合或製造。
- (5)固體廢棄物。
- (6)混凝土輸送/施工-相同要求品質下所造成之環境荷負大致相同，因此忽略不計。
- (7)混凝土維持管理-相同要求品質下所造成之環境荷負大致相同，因此忽略不計。

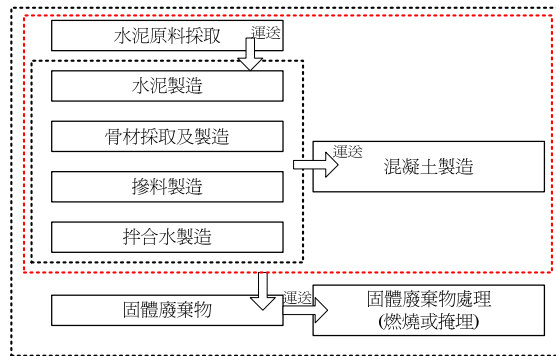


圖 2-1 日本環境思慮型混凝土評估範圍 [25-26]

(資料來源：コンクリートの環境性能評価法と環境配慮型調合設計法の提案、環境配慮型材料設計のためのコンクリートの環境負荷性評価)

此評估方法之流程如圖 2-2 所示，其中所得之配比必須經過試驗以確認該配比是否符合品質要求（用途、使用場所、抗壓強度、使用年限、施工期間之平均氣溫、抗壓強度偏差、坍度及空氣量等），並同時進行配比調整。

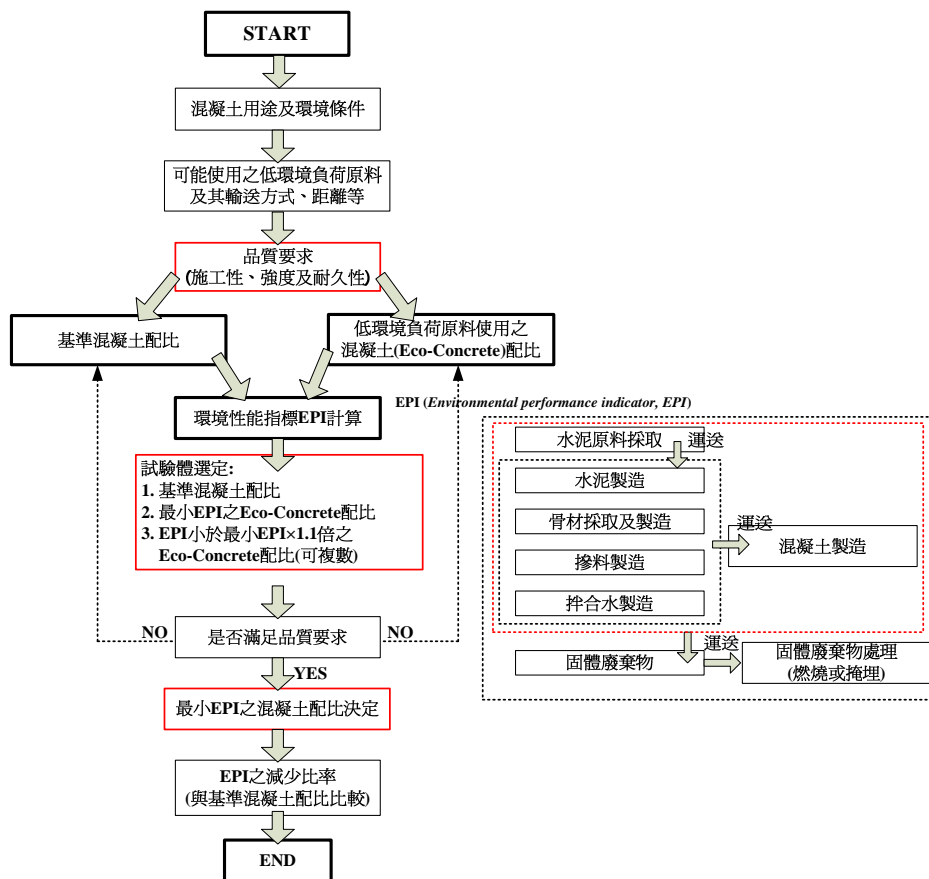


圖 2-2 日本環境思慮型混凝土評估流程 [25-26]

(資料來源：コンクリートの環境性能評価法と環境配慮型調合設計法の提案、環境配慮型材料設計のためのコンクリートの環境負荷性評価)

然而，進行混凝土設計時，除混凝土之環境負荷外，強度及耐久性等二項性質也需列入考量。據文獻[26]可知，統合性指標(UPI，如下式)為一評估方法，同時考量環境、強度與耐久性，並以混凝土環境效率為其性能表現。

$$UPI = \frac{1}{n+m} \left[ \sum_{i=1}^n \left( \frac{P_{ai}}{P_{si}} \times C_i \right) + \sum_{j=1}^m \left( \frac{P_{sj}}{P_{bj}} \times C_j \right) \right] \quad (2-3)$$

$$EE = \frac{UPI}{EPI} \quad (2-4)$$

其中，UPI=一般性能統合化指標; EPI=環境性能指數;  $P_{ai}$  及  $P_{bj}$ =混凝土 a 類(數值愈大愈好)及 b 類性能(數值愈小愈好);  $P_{si}$  及  $P_{sj}$ =各性能之基準值;  $C_i$  及  $C_j$ =各性能之統合化係數;a 類=施工性(流動性-坍度, 分離抵抗性), 結構安全性(強度-28 天抗壓強度, 耐凍性-耐久性指數);b 類=耐久性(中性化抵抗-中性化速度係數, 乾縮-乾縮率)。

## 第四節 中國大陸地區

### 壹、綠混凝土定義

中國大陸近年來開放與經濟發展，各項重大建設加速混凝土之使用量，學者也察覺到混凝土使用與環境永續之衝擊，提出綠混凝土的看法。

史波在 2004 年認為綠混凝土係指能減少對地球環境的負荷，又能與自然生態系統協調共生，為人類構造舒適環境的混凝土。而其中「綠色」一詞內涵節約資源和能源、不破壞環境與可持續發展<sup>[27]</sup>。隔年，姚武則於「綠混凝土」書中對於綠混凝土定義為具有資源和能源消耗少、對環境污染少和循環再生利用率高四項特點以滿足環境協調性，與具有滿意的使用性能，能夠改善環境，具有感知、協調和修復等特性，具體作法如下<sup>[28]</sup>：

- 1.大量利用工業廢料，降低水泥用量；
- 2.比傳統混凝土有較佳之力學性能與耐久性；
- 3.減少自然環境負荷，再生資源循環利用，節省能源且有害物質零排放。
- 4.提供人類溫和、舒適、便利和安全的生存環境。

劉傳忠於 2008 年認為綠混凝土應具有比傳統混凝土更高的強度和耐久性，可以實現非再生性資源的可循環使用和有害物質的最低排放，既能減少環境污染，又能與自然生態環境系統協調共生的混凝土<sup>[29]</sup>。

### 貳、綠混凝土之評估準則

王安嶺，路來軍，韓素芳曾於 2006 年在廣東舉行的研討會中，針對綠色高性能混凝土之評估，提出混凝土綠色度分級驗收指標(D)，如表 2-5 所示，根據 D 值不同分為非綠混凝土、低綠色度混凝土、中綠色度混凝土與高綠色度混凝土等四級，評估流程如圖 2-3 所示。

表 2-4 中國大陸混凝土綠色度分級驗收指標<sup>[30]</sup>

非綠混凝土	低綠色度混凝土	中綠色度混凝土	高綠色度混凝土
$D < 0.1$	$0.1 \leq D < 0.3$	$0.3 \leq D < 0.5$	$D \geq 0.5$

(資料來源：綠色高性能混凝土評價方法的建立)



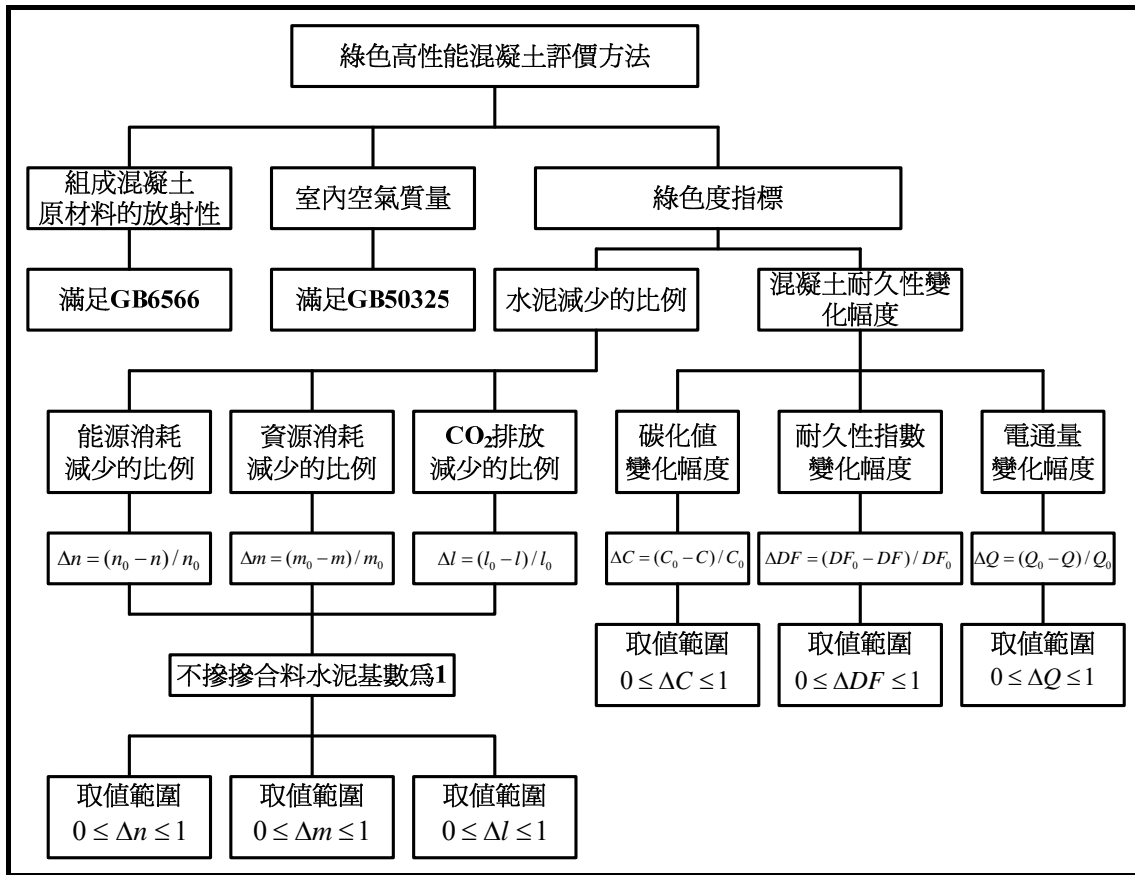


圖 2-3 中國大陸綠色高性能混凝土評估流程 [30]

(資料來源：綠色高性能混凝土評價方法的建立)

中國大陸混凝土綠色度分級驗收指標所用之計算式如下所列<sup>[30]</sup>：

$$D = \Delta n + \Delta m + \Delta l + \Delta C + \Delta DF + \Delta Q \quad (2-3)$$

其中， $\Delta n$  = 摻入摻合料後能耗減少的比例 $\Delta m$  = 摻入摻合料後資源消耗減少的比例 $\Delta l$  = 摻入摻合料後  $\text{CO}_2$  排放減少的比例。 $\Delta C$  = 摻入摻合料後碳化值變化幅度，係依照 GB J82 規範施作。 $\Delta DF$  = 摻入摻合料後耐久性指數變化幅度，係依照 GB J82 規範施作。 $\Delta Q$  = 摻入摻合料後電通量變化幅度，係依照 ASTM 1202-08 規範施作。

另外，圖 2-3 中放射性指標須滿足 GB 6566 規範之規定，即內照射指數與外照射指數兩者同時須不超過 1.0；而室內環境污染物需滿足 GB 50325 規範之規定，如表 2-6 所示。

表 2-5 中國大陸室內環境污染物濃度限量<sup>[30]</sup>

污染物	第一類 民用建築工程	第二類 民用建築工程
氡 (Bq/m <sup>3</sup> )	≤ 200	≤ 400
游離甲醛 (mg/m <sup>3</sup> )	≤ 0.08	≤ 0.12
苯 (mg/m <sup>3</sup> )	≤ 0.09	≤ 0.09
氨 (mg/m <sup>3</sup> )	≤ 0.2	≤ 0.5
TVOC (mg/m <sup>3</sup> )	≤ 0.5	≤ 0.6

(資料來源：綠色高性能混凝土評價方法的建立)

### 第五節 國外綠混凝土評估

國外綠混凝土觀念為近幾年之趨勢，尚未有實質的評估績效，若以目前僅收集到丹麥因使用綠混凝土可減少二氧化碳的排放量；丹麥綠混凝土中心之綠混凝土評估效結果，根據京都議定書，丹麥於 2012 年前應實踐減少二氧化碳之排放 21.0%，達 1990 年之標準。水泥及混凝土之二氧化碳之排放減量即扮演重要角色，丹麥使用綠混凝土後可減少二氧化碳之排放總量 0.5-1%，亦即占前述 21.0% 中之 3.0-6.0%。<sup>[31]</sup>

### 第三章 國內之綠混凝土相關資料回顧

#### 壹、綠建材標章<sup>[32]</sup>

我國「綠建材標章」於2004年7月正式公告受理申請，其標章之核給須先進行材料試驗後，併同檢驗報告書向綠建材標章審查委員會提出審查，以做為進階性及整合相關資訊之評斷，通過審查後報請內政部建築研究所核發標章。

綠建材標章之概念如表3-1所示，其特性主要為再使用(Reuse)、再循環(Recycle)、減量(Reduce)與低污染訂定(Low emission materials)。綠建材主要分為生態綠建材、健康綠建材、高性能綠建材與再生綠建材等四類，而各類之綠建材則各有其受理產品項目，並須符合通則與相關性能規定。其中，通則限制有毒及有害物質存在產品中，其規定如下：

- 1.非金屬材料任一部份之重金屬成份，依據「事業廢棄物毒性特性溶出程序(TCLP)」檢出值不得超過表3-2所示之規定。【需檢附試驗報告書】
- 2.不得含有石綿成份。【需檢附試驗報告書】
- 3.不得含有放射線【加馬等效劑量在0.2微西弗/小時以下(包括宇宙射線劑量)】。【需檢附試驗報告書】
- 4.不得含有行政院環境保護署公告之毒性化學物質。
- 5.不得含有無機鹵化物及其他蒙特婁公約管制化學品。

其主要規定的意義與目的包括：

- 1.綠建材是對環境無害的建材：應確保綠建材標章產品於生命週期各階段中不會造成環境衝擊。
- 2.綠建材的規格標準：品質應符合法規及一般功能性要求。
- 3.綠建材是對人體無毒的建材：確保對人體不會造成健康的危害。而相關性能之規定則多以CNS規範為主。

表 3-1 綠建材之概念 [32]

特性	Reuse-再使用 Recycle-再循環 Reduce-減量 Low emission materials-低污染	
使用優點	生態材料	減少化學合成材之生態負荷與能源消耗。
	回收再用	減少材料生產耗能與資源消耗。
	健康安全	使用天然材料與低揮發性有機物質的建材，可減免化學合成材所帶給人體的危害。
	材料性能	材料基本性能及特殊性能評估與管制，可確保建材使用階段時之品質。
評估項目	性能確保、環保確保性、健康性確保	

(資料來源：綠建材解說與評估手冊)

表 3-2 非金屬材料任一部份之重金屬成份檢出值標準表 [32]

成份	檢出值標準(mg/L)
總汞(T-Hg)	0.005
總鎘(Cd)	0.3
鉛(Pb)	0.3
砷(As)	0.3
六價鉻(Cr+6)	1.5
總銀(Ag)	0.05
總銅(Cu)	0.15

(資料來源：綠建材解說與評估手冊)

## 貳、建築技術規則<sup>[33]</sup>

國內「建築技術規則」係依建築法第九十七條所訂定，內容包含「總則編」、「建築構造編」、「建築設計施工編」與「建築設備編」，自民國三十四年二月由內政部發佈後，長久以來為我國建築構造物於設計施工階段主要依循法規之一，施行至今也經過五十餘次之條文修訂，其中「建築構造編」依民國九十三年三月十日內政部台內營字第 0930082325 號令增設了第十七章「綠建築基準」(第 298-323 條)，其中在第 299

條第 12 款條文中，明確定義綠建材為「經中央主管建築機關認可符合生態性、再生性、環保性、健康性及高性能之建材」，並在第 322 條中明確將綠建材材料之構成規定如下：

1. 塑橡膠類再生品：塑橡膠再生品的原料須全部為國內回收塑橡膠，而回收塑橡膠不得含有行政院環境保護署公告之毒性化學物質。
2. 建築用隔熱材料：建築用的隔熱材料其產品及製程中不得使用蒙特婁議定書之管制物質，且不得含有環保署公告之毒性化學物質。
3. 水性塗料：不得含有甲醛、鹵性溶劑、汞、鉛、鎘、六價鉻、砷及銻等重金屬，且不得使用三酚基錫 (TPT) 與三丁基錫 (TBT)。
4. 回收木材再生品：產品須為回收木材加工再生之產物。
5. 資源化磚類建材：資源化磚類建材包括陶、瓷、磚、瓦等需經窯燒之建材。其廢料混合攙配之總和使用比率須等於或超過單一廢料攙配比率。
6. 資源回收再利用建材：資源回收再利用建材係指不經窯燒而回收料摻配比率超過一定比率製成之產品。
7. 其他經中央主管建築機關認可之建材。

另外，綠建材之適用範圍則是於第 298 條第五款規定為「供公眾使用建築物及經內政部認定有必要之非供公眾使用建築物」，同時在第 321 條明確規定「建築物之室內裝修材料及樓地板面材料應採用綠建材，其使用率應達室內裝修材料及樓地板面材料總面積百分之三十以上」。

### 參、卜作嵐摻料之使用情形

根據馮炳勳於 2006 年之研究指出，統計民國 82 至 92 年間國內水泥生產過程之二氧化碳排放量約為 0.856~0.897 公噸 / 公噸水泥<sup>[34]</sup>，另一方面，在全球控制並減低排碳量的同時，鋼鐵、石化、水泥、紡織和造紙等耗能且高排碳之產業，為首要之改善目標。故若能於配比中降低水泥用量，可有效減低混凝土生產製造所造成之二氧化碳排放量，此為創造綠混凝土的重要利基。

卜作嵐材料（飛灰、爐石、矽灰、稻殼灰等）因其主要成份為氧化矽及/或氧化鋁，

可進一步與水分及水泥水化所生成的氫氧化鈣進一步反應成為 C-S-H 膠體，可增進混凝土強度，也可改善混凝土耐久性，近年來經推廣與宣導，已被國內混凝土拌和廠應用於混凝土中，已有相關使用規範與手冊可供參考<sup>[35-37]</sup>。

飛灰為火力電廠在燃燒粉煤期間，所生成之工業副產品，依鈣含量多寡可分為低鈣飛灰（F 級飛灰），即 CaO 含量小於 10%，通常是無煙煤和煙煤的燃燒產物；第二類為高鈣飛灰（C 級飛灰），其中 CaO 含量小於 10~40%，通常是褐煤或次煙煤的燃燒產物<sup>[35]</sup>。在添加量方面，公共工程委員會建議三種飛灰混凝土配比設計法：飛灰取代部份水泥之配比設計法(體積法)、飛灰取代部份細粒料之配比設計法(體積法)與飛灰同時取代部份水泥與細粒料之配比設計法(體積法)，其參考用量值如表 3-3 所示。

**表 3-3 混凝土中飛灰取代水泥量之參考值<sup>[37]</sup>**

種類	允許飛灰取代水泥之上限(以重量計)
1.混凝土(不屬(2)~(7)項者)	20%
2.預力混凝土	10%
3.版混凝土	15%
4.海邊及地下工程混凝土	25%
5.巨積混凝土	25%
6.水密性混凝土	20%
7.鋪面混凝土	20%

(資料來源：卜作嵐混凝土使用手冊)

爐石粉係為高爐煉鐵過程中之工業副產品，依冷卻方式不同而分為氣冷高爐石及水淬高爐石。將水淬高爐石研磨成粉末，即為爐石粉。爐石粉由於其成份與水泥熟料相近，具有潛在水硬性膠結能力，所以被歸類為膠結材及卜作嵐材料。國內第一型卜特蘭水泥規範，CNS 61 中已允許添加 5%以下之爐石粉、飛灰或石灰石粉。

若以爐石粉替代部分水泥添加於混凝土時，爐石粉添加量可參考表 3-4。惟建築工程之地面上結構建議使用高爐石粉之替代率應在 30%以內，其他工程則建議在 65%以內<sup>[33, 36]</sup>。

表 3-4 日本高爐石粉種類與適用替代率之範圍(%)<sup>[38]</sup>  
(建築工程地面上結構除外\*)

用 途 \ 種 類	高爐石粉 4000 級	高爐石粉 6000 級	高爐石粉 8000 級
水合熱引起溫度上昇之抑制	50~70	60~70	60~70
鹼-粒料反應之抑制	40~70	40~70	40~70
提高耐硫酸鹽	50~70	50~70	50~70
對海水之化學抵抗性(含鹽害)	45~55	45~60	45~70
高流動化	30~70	30~70	30~60
高強度化	---	30~50	30~60
註：*本表係由日本土木學會依照過去之研究成果所提供之參考值，於日本至今尚無定論，但因國內此方面資料缺乏，尚可供參考，唯不適用於建築工程之地面上結構。 建築工程之地面上結構建議使用高爐石粉之替代率在 30% 以內。			

(資料來源：高爐石粉末應用於混凝土施工指針)

矽灰為一種生產矽金屬和鐵合金過程之電弧爐內廢棄物，大多仰賴進口，單價較高，尺寸約只有水泥及飛灰尺寸的  $10^{-2}$ ，矽灰與氫氧化鈣接觸，因表面積大，具有良好的卜作嵐反應特性，但也因表面吸附水量高，會使混凝土黏性過大，建議仍須搭配強塑劑使用，故在添加量方面，通常為水泥重量的 4~15%，若為冰凍地區有撒佈卻冰鹽及海域環境，建議使用上限值為 10%<sup>[37]</sup>。

#### 肆、再生粒料與再生混凝土

混凝土建築物拆除後，經碎解與清洗所得的再生粒料其特性與原生粒料類似，但由於含有磚瓦等雜質，使用時需依據 2006 年建研所與國立台灣科技大學合作研究所擬定的「再生混凝土施工規範草案」，依照再生粒料之性質明確規範等級，如表 3-5 所示，並針對再生混凝土中粒料組成比例，規範其等級與其可使用之範圍，如表 3-6 所示，此為國內產製再生粒料與再生混凝土時之依循與參考<sup>[39]</sup>。

表 3-5 再生粗粒料分類表 [39]

	N 級 (基本級)	H 級 (高等級)
吸水率	≤ 15 %	≤ 5 %
比重 (OD)	≥ 1.5	≥ 2.2
磚、瓦及陶瓷塊含量	≤ 30 %	≤ 2 %
磨損率	≤ 60 %	≤ 50 %
總不純物含量	≤ 10 %	≤ 1 %

(資料來源：再生混凝土施工規範草案)

表 3-6 再生混凝土類別與使用範圍 [39]

	A 級 再生混凝土	B 級 再生混凝土	C 級 再生混凝土
規定抗壓強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	≥ 350	>210 <350	≤ 210
適用範圍	結構混凝土	結構混凝土	次要 結構體混凝土
H 級再生粗粒料佔 總粗粒料之比例	≤ 10 %	≤ 20 %	≤ 100 %
N 級再生粗粒料佔 總粗粒料之比例	0 %	0 %	≤ 50 %

(資料來源：再生混凝土施工規範草案)



## 第四章 綠混凝土評核手冊

經由文獻蒐集整理及收集三次專家座談會之成果後，匯整國內外前人研究精華及與會人士建言，並綜合參酌本土過去有關綠混凝土設計之經驗，草擬出「綠混凝土評核手冊」，如附件所示，其中針對綠混凝土性質、評核指標與評核作業流程要點，茲說明如下。

### 第一節 綠混凝土性質

本研究定義「綠混凝土」為自材料、生產、製造、施工、使用、維修、拆除至處置混凝土結構物生命週期之各個階段，能達到節能減碳、降低環境衝擊、實現永續發展之混凝土。

綠混凝土應包含良好施工性、強度合宜性、體積穩定性、結構耐久性、廢棄物和再生材料再利用等全部或部份性質。其中，「良好施工性」代表混凝土澆置施工時減少除泵送之能量外亦可減少額外搗實與震動等耗能設施以及噪音之污染，達到節能減碳保護環境之目的；「強度合宜性」、「體積穩定性」與「結構耐久性」則完全展現出混凝土強度外，減少混凝土裂縫之產生，延長混凝土結構使用壽命進而免除建物拆除之頻率，進一步減少營建廢棄物之產生，達到環境與生態之保護；「廢棄物和再生材料再利用」則代表混凝土材料組成中含有合乎規定之工業副產物，如此可減少砂石等資源過度耗用外，並達到環保與節能減碳之要求，符合綠混凝土之中綠之理念與內涵。

綠混凝土之性質與指標目前僅考量綠混凝土的材料、生產、製造與施工階段之相關規定；且綠混凝土並不包括砂漿類材料（即無粗粒料為成份者）；所使用之再生資源材料僅限膠結材料與粗粒料，另外，根據是否使用再生粒料，而區分為(1) G類高性能綠混凝土與(2) R類高性能綠混凝土兩類。其中，G代表一般類(General)，係指不含再生粗粒料之混凝土，該混凝土可作為結構型混凝土，R代表再生類(Recycled)，係指含有再生粗粒料之混凝土，該混凝土須參照《再生混凝土施工規範草案》相關規定。據此，綠混凝土應具有下列部份或全部性質與條件：

- 1.有害物質零排放(零污染)：綠混凝土之組成材料中不得含有石綿、毒重金屬之物質，亦不得含放射線物質，亦不得排放有毒廢氣，對人體無任何危害，確保人本健康之前提，這也是唯一排除規定，即凡不合乎有害物質排放標準之混凝土均排除為綠混凝土之可能。
- 2.高能源使用效率(節能製程)：綠混凝土於混凝土廠之產製過程中，使用再生能源發電設備，減低耗能機械設備；且綠混凝土可設計具有高流動性質，方便施工，以減少施工能耗。
- 3.廢棄物循環再利用(材料環保性)：綠混凝土採用再生資源材料，包括工農業廢棄物(如飛灰、爐石或矽灰、稻殼灰等卜作嵐摻料)或營建拆除廢棄物(如玻璃、橡膠、磚塊或廢混凝土等)，做為膠結材料或再生粗粒料，可達到廢棄物再利用，節能減碳節省資源，降低對環境衝擊。
4. 強度穩定且耐久性佳(永續性能)：綠混凝土產自軟硬體具佳之混凝土廠，在專業(有證照)從業人員操作下，嚴選材料，並應用卜作嵐材料，標準製程經過嚴謹品管作業後所產製，強度品質穩定，耐久性能佳。

## 第二節 綠混凝土指標與評核

綠混凝土為了要滿足上述之各項性質，須分別針對混凝土組成材料、產製設備與拌和廠組織、配比、混凝土之新拌、硬固與耐久性能進行指標與評核。如前節所述，本研究擬定之「綠混凝土評核作業手冊(草案)」(詳附件)主要係將綠混凝土分為G類綠混凝土(不含再生粗粒料)與R類綠混凝土(含再生粗粒料)，其檢核流程如圖4.1及圖4.2所示，其中檢核項目主要分為四個部份，茲簡述如下：

- 1.有害物質零排放：本項目為確保人體健康，所以列為首要項目，綠混凝土之組成材料須符合綠建材標章之通則規定，即不得含有人體之物質，如含量超過有害物質排放標準則排除為綠混凝土之可能。
- 2.產製設備與拌和廠組織：為確保綠混凝土產製的品質穩定可靠，須有完善之產製設備與健全之拌和廠組織，故須評核拌和廠之產製設備、原料管制、人員組織與文件紀錄，

以符合綠混凝土之強度(品質)穩定性與節能製程性質。

3. 配比設計：為減少混凝土產製所排放之二氧化碳排放量，應儘量採用國內所生產製造之材料，並且這些材料來自品質控制嚴謹的廠商，於配比中採用卜作嵐材料降低水泥用量，降低拌和水量、控制水灰比、降低水膠比、增加粒料、水泥用量與卜作嵐材料-膠結材用量比，且可採用部份再生粗粒料，而所有品質須符合安全性與耐久性之要求，以符合綠混凝土之廢棄物循環利用與品質耐久性質。
4. 綠混凝土性能評估：主要分為新拌性能與耐久性能。新拌性能係檢核混凝土之坍度、坍流度等，確保其工作度，減少泵送與機械搗實廢之能耗；而耐久性能部份，則是利用目視檢視表面狀況及檢測混凝土氯離子穿透性、表面電阻與計算 56 天水泥強度效益等，以確保耐久性，增加壽命，增進服務性，降低維修，減少品質不良、再建造所耗費之資源，以符合綠混凝土之品質耐久性與節能製程性質。

而 G 類綠混凝土（以下簡稱 G 類）與 R 類綠混凝土（以下簡稱 R 類）之評核項目當中，差別僅於 R 類綠混凝土須增填「再生粗粒料用量」並須提供「粗粒料來源產地證明」及品質資訊包括比重、吸水率及不純物含量等，請參照《再生混凝土施工規範草案》<sup>[39]</sup>相關規定。

為了方便表示評核結果，故將上述四個評核部份依選項給予不同分數，並分別加總計算，茲分述如下：

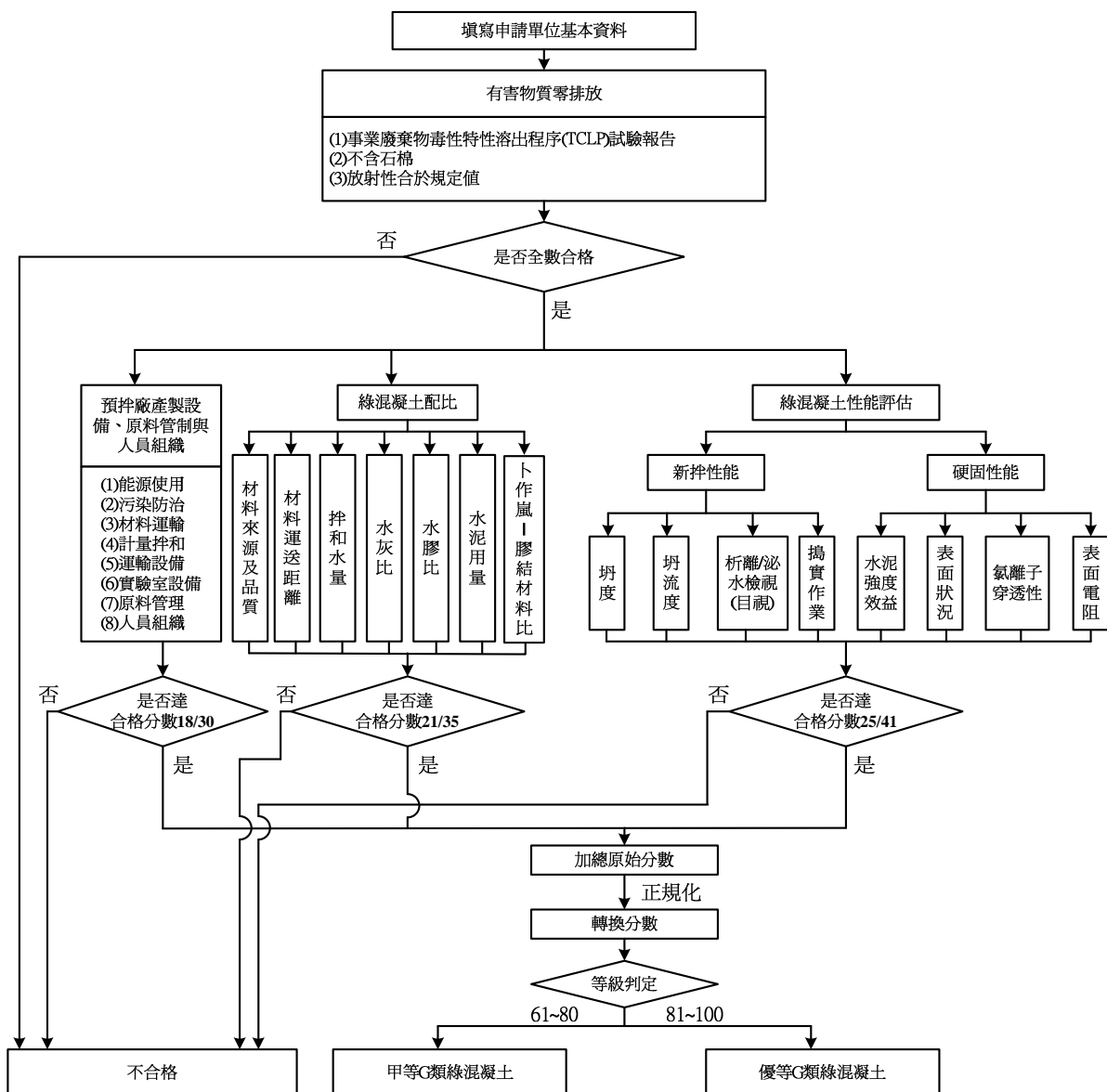


圖 4.1 G 類綠混凝土評核流程圖

(資料來源：國立台灣科技大學綠混凝土研究團隊繪製)

1. 第一部份「有害物質零排放」共計有三項評核項目，因為此一項目係檢核綠混凝土組成材料是否含有各項危害人體健康之有毒物質，須全數通過評核表相關檢測項目，如有任一項不通過，即不得進行後續評核作業。

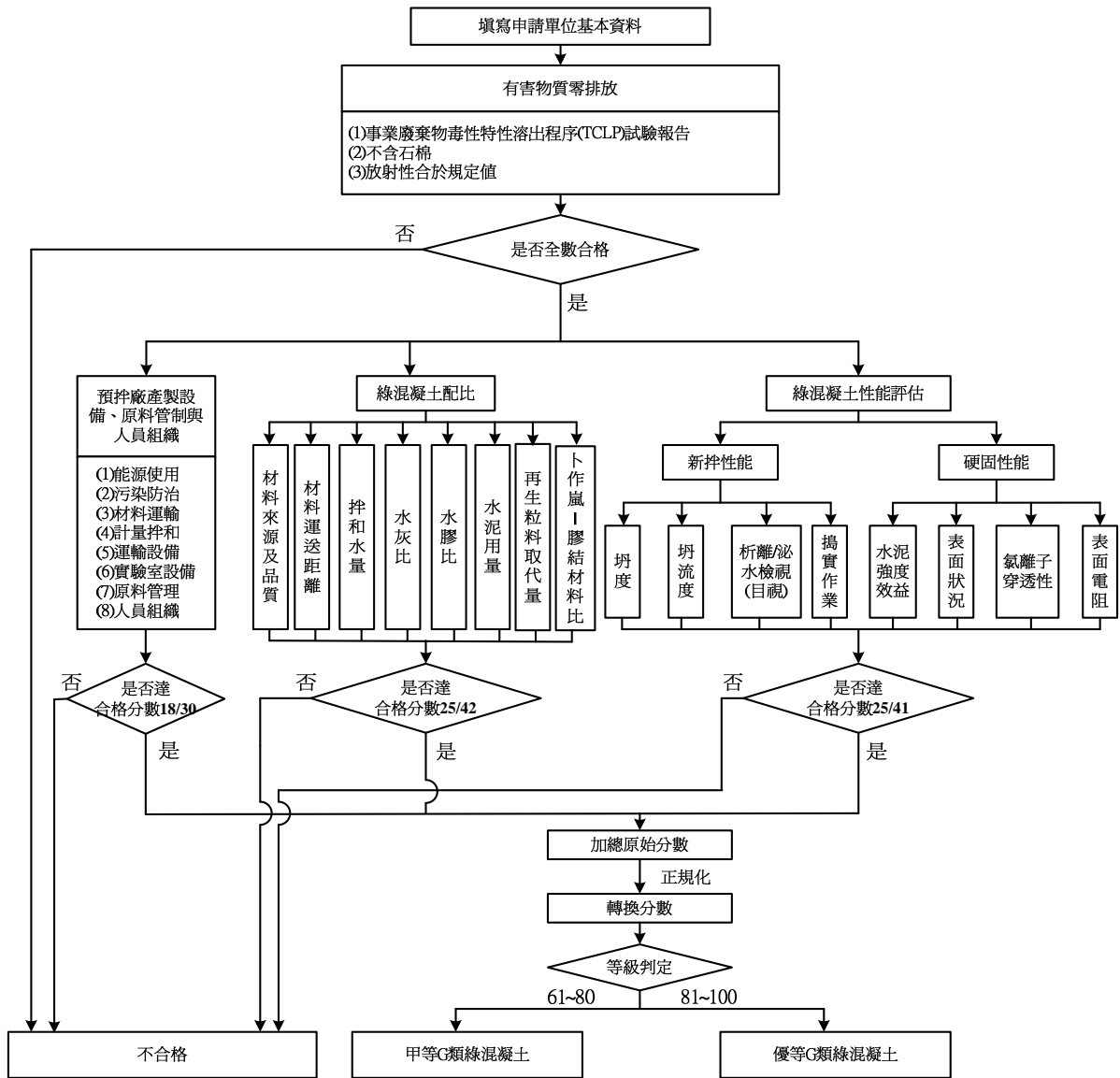


圖 4.2 R 類綠混凝土評核流程圖

(資料來源：國立台灣科技大學綠混凝土研究團隊繪製)

2. 第二部份「產製設備與拌和廠組織」共計有九項評核項目，總分 30 分，主要採勾選方式，若未能符合 60%以上之要求（即分數未滿 18 分），即視為不合格。
3. 第三部份「配比設計」中，G 類共有五項評核項目，R 類則有六項評核項目，每個評核項目結果依符合綠混凝土設計精神之契合度，而有不同得分，G 類在此部份最高為 35 分，R 類最高為 42 分，若未能符合 60%以上之要求（即 G 類分數未滿 21 分或 R 類未滿 25 分），即視為不合格。
4. 第四部份「綠混凝土性能評估」中，共有八項評核項目，每個評核項目結果依符合綠混凝土設計精神之契合度，而有不同得分，總分最高為 41 分，若未能符合 60%以上之要求（即分數未滿 25 分），即視為不合格。

上述各部分中除第一部分有害物零排放需全部達到要求外，其餘第二、三、四部分合格標準為該部分評核項目分數需為該部分評核項目總分之 60%以上，此部分才通算過評核，以確保混凝土性質有達到綠混凝土之基本要求。

當上述四個部份皆合格時，並加總分數（稱為「原始分數」），為了方便實務評合應用方便，經正規化後得到「轉換分數」，此時轉換分數皆會介於 60 分至 100 分，依轉換分數落於 61~80 分與 81~100 分之區間者，分別給與「甲等」與「優等」兩種不同級等，「甲等」即表示所接受評核之綠混凝土有達到本評核手冊各部分之基本性能要求；「優等」即表示所接受評核之綠混凝土除達到本評核手冊各部分之基本性能要求外，並於各部份評核皆有優異之表現，亦即綠混凝土依其是否具有再生粗粒料與評核結果，將被區分為「優等 G 類綠混凝土」、「甲等 G 類綠混凝土」、「優等 R 類綠混凝土」與「甲等 R 類綠混凝土」。

### 第三節 工程實務案例

為了解綠混凝土評核手冊之適用性，本研究蒐集已應用於國內工程實務之混凝土配比及其性能資料，共計 12 組，列於表 4-1，其中配比 1 至配比 8 採用天然粗粒料，為常重混凝土配比，配比 9 至配比 12 採用再生粒料，為再生混凝土配比。

在表 4-1 中，配比 1 與配比 2 係依照 ACI 配比設計法（ACI 221.1）所計算而得，

其組成材料僅為水、水泥與天然粗細粒料，水膠比(W/C)分別為 0.30 與 0.40，且不使用高性能減水劑。配比 3 來自於國內某超高層大樓興建工程，其水膠比(W/C)為 0.32，其中同時使用爐石與飛灰做為膠結材料，用以替代部份水泥使用量。配比 4 至配比 6 來自於國內公共工程，其 W/C 分別為 0.34、0.40 與 0.32，其中配比 4 與配比 5 僅同時使用水泥與飛灰做為膠結材料，配比 6 則同時使用水泥、爐石與飛灰。配比 7 與配比 8 來自於國內交通工程所使用之預鑄混凝土構件，為達到高強度之要求，W/C 分別為 0.24 與 0.28，除了水泥、爐石與飛灰之外，還添加了由國外進口之矽灰材料。配比 9 至配比 12 來自於國內行政機關興建工程，W/C 為 0.28，其中配比 10 至配比 12 除了使用由國外進口之矽灰材料，在粗粒料部份完全使用國內製作再生粒料。

表 4-1 國內工程實務所採用之混凝土配比

配比 編號	W/B	組成材料 (kg/m <sup>3</sup> )						再生粒料 取代量 (%)	是否使用高 性能減水劑
		水	水泥	爐石	飛灰	矽灰	再生 粒料		
1	0.30	135	450	0	0	0	0	0	否
2	0.40	219	548	0	0	0	0	0	否
3	0.32	156	355	20	94	0	0	0	是
4	0.34	154	290	0	118	0	0	0	是
5	0.40	157	206	0	164	0	0	0	是
6	0.37	163	230	110	110	0	0	0	是
7	0.24	119	305	102	95	33	0	0	是
8	0.28	135	278	93	95	33	0	0	是
9	0.28	155	411	22	125	0	0	0	是
10	0.28	145	381	20	116	145	819	100	是
11	0.28	154	420	22	112	154	792	100	是
12	0.28	163	457	24	109	163	767	100	是

(資料來源：國立台灣科技大學綠混凝土研究團隊整理)

表 4-2 為整理上述 12 組配比之坍度、坍流度、56 天齡期抗壓強度、強度效益、表面電阻與電滲試驗值等。從表中可明顯看出，配比 1 及配比 2 依照 ACI 配比設計法所計算得到之配比坍度與坍流度較低，意即工作性不佳，雖然 56 天抗壓強度與其它配比

結果相當，但強度效益不高，主要係採用大量水泥所致，在耐久性質方面，表面電阻和電滲試驗值與其它配比性能相較之下，也比較偏低。

配比 3 至配比 9 因使用適量之高性能減水劑，故提高了其工作性，坍度值約為 230-270 mm，坍流度值約為 470-700 mm，也因為採用卜作嵐材料取代部份水泥，故強度效益值皆大於 1.5 以上，耐久性能方面也表現相當良好，表面電阻值為 28.3-73 kΩ-cm，電滲試驗值為 800-1415 庫倫。

另外，配比 10 至配比 12 雖然使用再生粒料，但仍具有良好工作性，56 天抗壓強度表現與其它配比結果相當，但也因為水泥用量較高，其強度效益偏低，此點與配比 1 及配比 2 相同。然而配比 9 至配比 12 採用了爐石、飛灰及矽灰等卜作嵐材料，故在耐久性能指標（表面電阻和電滲試驗值）方面反而優於配比 1 及配比 2。

表 4-2 國內工程實務所採用混凝土配比之性能表現

配比編號	坍度 (mm)	坍流度 (mm)	56 天齡期 抗壓強度 (kg/cm <sup>3</sup> )	強度效益 ((kg/cm <sup>3</sup> )/kg)	表面電阻 (kΩ-cm)	電滲試驗 (庫倫)
1	150	0	540	1.20	26	2278
2	150	0	548	1.00	10	7827
3	260	550	612	1.72	43	1032
4	230	500	496	1.70	38.5	1415
5	230~270	500~700	415	2.00	28.3	1219
6	230~270	600~700	500	2.17	32.8	1200
7	240	480	970	3.18	73	800
8	235	470	857	3.08	62	800
9	265	650	740	1.80	46	1000
10	260	660	580	1.52	36	1600
11	260	690	570	1.36	32	1800
12	265	625	570	1.25	31	2100

(資料來源：國立台灣科技大學綠混凝土研究團隊整理)

前述提到綠混凝土依使用天然或再生粗粒料而分為 G 類與 R 類兩種綠混凝土，故



配比 1 至配比 9 採用 G 類綠混凝土評核流程（圖 4-1），而配比 10 至配比 12 採用 R 類綠混凝土評核流程（圖 4-2）。

評核項目中「有害物質零排放」與「產製設備與拌和廠組織」兩個部份，由於所蒐集到的配比資料中，欠缺相關資料，故在本試行評核作業中，假設 12 組配比之組成材料皆未含有人體物質，且生產製造之預拌混凝土廠也已通過營建研究院 GRMC 之認證，故在第一部份與第二部份分別皆給予合格與 30 分滿分。

第三部份中，首先評核項目 3.1 至 3.7 係有關膠結料、粒料、再生粗粒料與化學摻劑之使用種類、來源與運送距離，各配比所使用之組成材料種類已列於表 4-1，而在材料來源與運送距離部份，則依照本研究團隊經驗判斷給予合理分數，評核項目 3.8 至 3.13 則根據表 4-1 所列進行評分，試行評核結果分別如表 4-3 與表 4-4 所示。

從表 4-3 與表 4-4 可得知，在第三部份即不合格的有配比 1、2、4、9 與 12。其中配比 1 與配比 2 採用 ACI 配比設計法，組成材料中未含有爐石、飛灰與矽灰等卜作嵐材料與減水劑，故無法取得相關材料使用之分數，再加上高水泥用量及高用水量，致使在此部份無法合格。配比 4 與配比 9 主要係因卜作嵐材料用量不夠，且配比 9 之水泥用量偏高，導致無法獲得合格分數。配比 12 同樣也是因為高水泥用量及高用水量，導致分數未達合格。

表 4-3 國內工程實務所採用混凝土配比試行評核結果（G 類綠混凝土）

配比編號	第一部分*	第二部分*	第三部分	第四部分	原始分數	轉換分數	評核結果
1	合格	30	15**	19***	—	—	不合格
2	合格	30	9**	16***	—	—	不合格
3	合格	30	22	29	81	76	甲等 G 類
4	合格	30	20**	25	—	—	不合格
5	合格	30	23	29	82	77	甲等 G 類
6	合格	30	22	31	83	78	甲等 G 類
7	合格	30	24	30	84	79	甲等 G 類
8	合格	30	25	30	85	80	優等 G 類
9	合格	30	18**	33	—	—	不合格

註：\* 資料不足，假設均能符合。

\*\* 未達 G 類混凝土第三部份合格分數之要求(21 分)

\*\*\* 未達 G 類混凝土第四部份合格分數之要求(25 分)

(資料來源：國立台灣科技大學綠混凝土研究團隊整理)

大多數配比皆能符合第四部份要求，僅有配比 1 與配比 2 不合格，主要原因如前述提到，根據表 4-2 所示，此兩組配比工作性不好，強度效益過低，再加上耐久性能不佳，致使分數未達合格。

表 4-4 國內工程實務所採用混凝土配比試行評核結果 (R 類綠混凝土)

配 比 編 號	第一部分*	第二部分*	第三部分	第四部分	原始 分數	轉換 分數	評核 結果
10	合格	30	26	32	88	78	甲等 R 類
11	合格	30	25	31	86	76	甲等 R 類
12	合格	30	24**	29	—	—	不合格

註：\* 資料不足，假設均能符合。

\*\* 未達 R 類混凝土第三部份合格分數之要求(25 分)

(資料來源：國立台灣科技大學綠混凝土研究團隊整理)

綜觀以上各組混凝土配比評核結果顯示，大部分通過評核分數都為甲等類別，再進一步分析各部分分數得分情況，要通過綠混凝土之評核除在無污染與產製部分合格外，在配比部分有低拌和水量、低水膠比、低水泥量與高卜作嵐使用量之特點；在性能評估方面，則要有高流動性、高強度效益比、低氯離子穿透與高表面電阻之特性。

## 第五章 與綠建材標章之結合

為拓廣未來綠混凝土之推廣應用，建立混凝土產業之良好形象，故本研究將前一節「綠混凝土評核作業手冊(草案)」評核內容項目與綠建材標章相互結合，並擬歸類於「高性能綠建材」，即新增「高性能 G 類綠混凝土」與「高性能 R 類綠混凝土」兩種評定項目。評核所需表格與流程完全依照目前的綠建材標章申請程序，如圖 5.1 所示，評核項目結合狀況分述如下：

- 1.申請單位：主要由預拌混凝土廠提出申請，於「綠建材標章審查評定申請書」須詳細填寫公司名稱、聯絡人、電話及通訊地址，並依照規定填寫基本資料表。
- 2.綠建材通則評估表：此一項目主要分為「一般要求」與「限制要求」，其中「限制要求」評估項目即包括各種有害人體物質之管制，與前述「綠混凝土評核作業手冊(草案)」之第一部份評核相同。另外，若預拌混凝土廠在申請文件中若無附上已通過 GRMC 認證之證明文件，則依綠建材通則評估表之第四部份「現場查核及追加測試」，審查委員會得以至預拌廠廠區進行「產製設備與拌和廠組織」之評核。
- 3.綠建材分項評估表：此一項目主要針對不同綠建材材料組成與性能要求，進行評核，「綠混凝土評核作業手冊(草案)」之第三部份及第四部份相同。本研究設計之「高性能 G 類綠混凝土評核表」與「高性能 R 類綠混凝土評核表」如表 5.1 至表 5.4 所示。其中根據表 5.1 及 5.2 中的材料來源與性能測試尚需部份附件，如表 5.5 與表 5.6 所示。

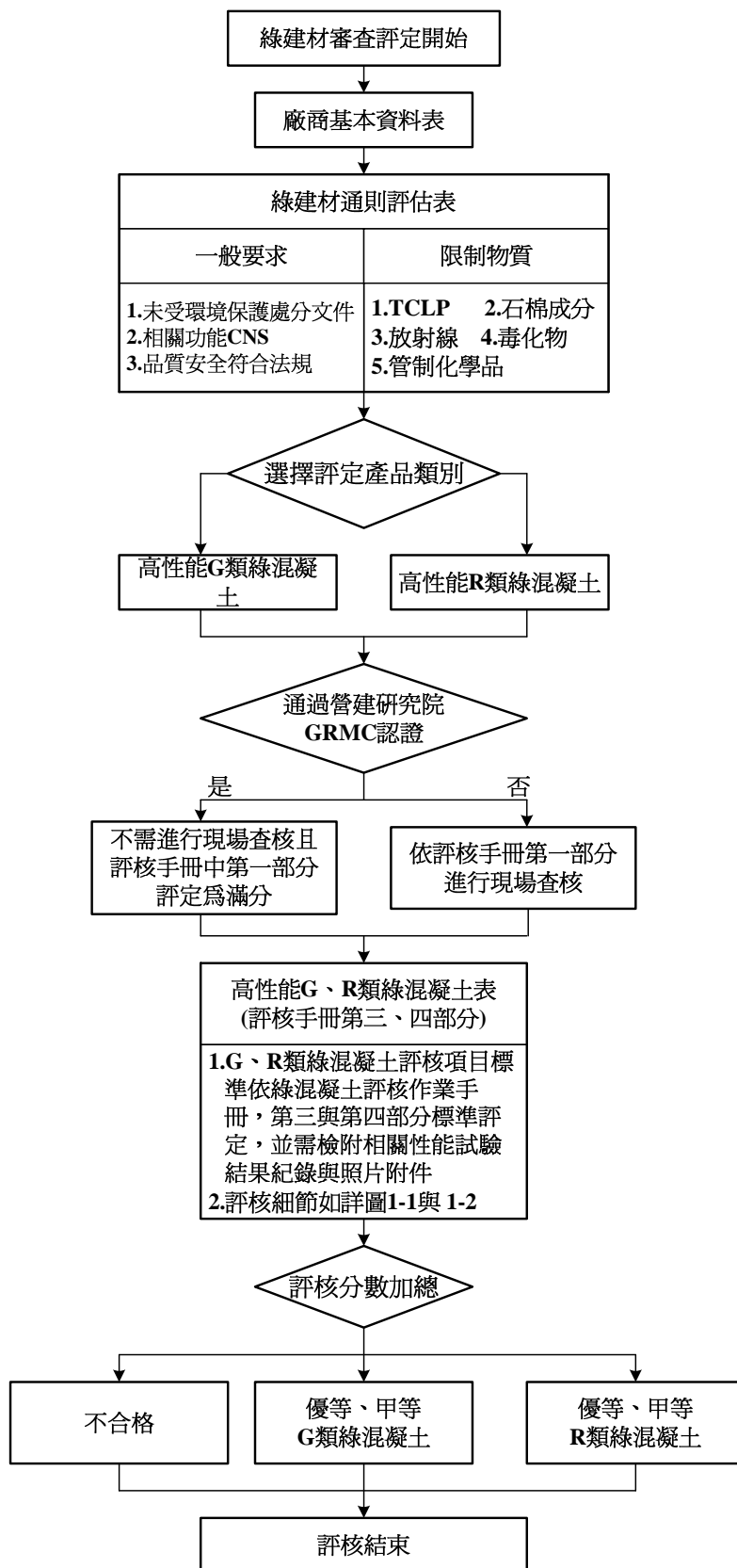


圖 5.1 高性能 G 類及 R 類綠混凝土評核流程圖

(資料來源：國立台灣科技大學綠混凝土研究團隊繪製)

表 5.1 高性能 G 類綠混凝土評估表

7.高性能 G 類綠混凝土評估表：		<input type="checkbox"/> 新申請 <input type="checkbox"/> 延續申請	日期	年 月 日	收件 標號			
審查程序	本案件之審查依「綠建材標章推動使用作業要點」之規定召開				審查 時間	年 月 日 時至 時		
一、建材產品及檢測資料(由廠商填寫)								
產品名稱				試驗 單位				
產品型號				收樣 時間	本試件收件時狀況依標準測試法之需求，經檢查無誤： 月 日 時			
試驗 採取時間	本試件之採取依標章規定，確認無誤： 月 日 時至 月 日 時			試驗報告書 有效時間	至 年 月 日			
二、高性能 G 類綠混凝土試驗(由廠商填寫)					廠商負責人章	三、高性能 G 類綠 混凝土評定(由承 辦人填寫)：		
本試驗案依據「綠建材標章－高性能 G 類綠混凝土」所規定之 標準測試法試驗無誤，其試驗值如下列：								
類別	性能	評核項目	資料附件	分 數	評核基準	符合	不符	綜合 評論
綠 混 凝 土	材料組成 摻配比率	1.膠結材料來源 2.粒料來源 3.化學摻劑 4.膠結材粒運送距離 5.粗細粒料運送距離 6.減水劑材料運送距離 7.拌和水量 8.使用水灰比 9.使用水膠比 10.水泥用量 11.卜作嵐-膠結料重量比	1.配比表		此部分合格標準 依評核手冊應為 21 分以上。  評核分數：			
	工作與耐久 性能	新 拌 性 質	1.坍度試驗 2.坍流度試驗 3.析離/泌水檢視 4.搗實作業	1.試驗結果 記錄表 2.照片		此部分合格標準 依評核手冊應為 25 分以上。  評核分數：		
		硬 固 性 質	1.水泥強度效益 2.表面狀況 3.氯離子穿透 4.潮濕混凝土表面電 阻	1.試驗結果 記錄表 2.試驗報告 書				
	安全性 (抗壓強度)	申請混凝土強度( )kgf/cm <sup>2</sup> 抗壓強度應符合申請之混凝土強度		抗壓試驗結果報告 ( )kgf/cm <sup>2</sup>				

(資料來源：國立台灣科技大學綠混凝土研究團隊繪製)

表 5.2 高性能 G 類綠混凝土評估表(續)

委員會定性評估及現場查核(由廠商填寫)		(由承辦人依綠建材標章分類委員會決議寫)				
以下依據本公司申請產品之原料、製程與最終產品確實填寫無誤，並附證明文件如下：		<input type="checkbox"/> 依綠建材標章分類委員會決議之文件審核結果，需進行現場查核，請參照綠建材通則評估表「四-1.現場查核項目」。 定性評估及現場查核結果評核分數： <input type="checkbox"/> 通過 <input type="checkbox"/> 不通過				
1. <input type="checkbox"/> 附件( ) 混凝土配比表。	2. <input type="checkbox"/> 附件( ) 新拌試驗結果紀錄與照片。					
3. <input type="checkbox"/> 附件( ) 硬固試驗結果紀錄與照片。	4. <input type="checkbox"/> 附件( ) 抗壓試驗結果報告。					
5. <input type="checkbox"/> 附件( ) 其他相關文件						
五、高性能G類綠混凝土評訂結果 (以下由承辦人依綠建材標章分類委員會決議寫 )						
結果 註記	評核分數：	第一部分：	第二部分：	第三部分：	第四部分：	總計：
	<input type="checkbox"/>	通過 <input type="checkbox"/> 優等 <input type="checkbox"/> 甲等				
	<input type="checkbox"/>	不通過				

(資料來源：國立台灣科技大學綠混凝土研究團隊繪製)

表 5.3 高性能 R 類綠混凝土評估表

8.高性能 R 類綠混凝土評估表：		<input type="checkbox"/> 新申請 <input type="checkbox"/> 延續申請	日期	年 月 日	收件 標號					
審查程序	本案件之審查依「綠建材標章推動使用作業要點」之規定召開				審查 時間	年 月 日 時至 時				
一、建材產品及檢測資料(由廠商填寫)										
產品名稱				試驗 單位						
產品型號				收樣 時間	本試件收件時狀況依標準測試法之需求，經檢查無誤： 月 日 時					
試驗 採取時間	本試件之採取依標章規定，確認無誤： 月 日 時至 月 日 時			試驗報告書 有效時間	至 年 月 日					
二、高性能 R 類綠混凝土試驗(由廠商填寫)					廠商負責人章	三、高性能 R 類綠 混凝土評定(由承 辦人填寫)：				
本試驗案依據「綠建材標章－高性能 R 類綠混凝土」所規定之 標準測試法試驗無誤，其試驗值如下列：										
類別	性能	評核項目		資料附件	分數	評核基準	符合	不符	綜合 評論	
綠 混 凝 土	材料組成 摻配比率	1.膠結材料來源 2.粒料來源 3.化學摻劑 4.再生粒料來源 5.膠結材粒運送距離 6.粗細粒料運送距離 7.減水劑材料運送距離 8.拌和水量 9.使用水灰比 10.使用水膠比 11.水泥用量 12.卜作嵐-膠結料重量比 13.再生粒料使用量		1.配比表		此部分合格標準 依評核手冊應為 25 分以上。  評核分數：				
	工作與耐久 性能	新 拌 性 質	1.坍度試驗 2.坍流度試驗 3.析離/泌水檢視 4.搗實作業		1.試驗結果 記錄表 2.照片		此部分合格標準 依評核手冊應為 25 分以上。  評核分數：			
		硬 固 性 質	1.水泥強度效益 2.表面狀況 3.氯離子穿透 4.潮濕混凝土表面電 阻		1.試驗結果 記錄表 2.試驗報告 書					
	安全性 (抗壓強度)	申請混凝土強度( )kgf/cm <sup>2</sup> 抗壓強度應符合申請之混凝土強度			抗壓試驗結果報告 ( )kgf/cm <sup>2</sup>					

(資料來源：國立台灣科技大學綠混凝土研究團隊繪製)

表 5.4 高性能 R 類綠混凝土評估表(續)

四、委員會定性評估及現場查核(由廠商填寫)		(由承辦人依綠建材標章分類委員會決議寫)				
以下依據本公司申請產品之原料、製程與最終產品確實填寫無誤，並附證明文件如下：		<input type="checkbox"/> 依綠建材標章分類委員會決議之文件審核結果，需進行現場查核，請參照綠建材通則評估表「四-1.現場查核項目」。 定性評估及現場查核結果 評核分數： <input type="checkbox"/> 通過 <input type="checkbox"/> 不通過				
1. <input type="checkbox"/> 附件( ) 混凝土配比表。	2. <input type="checkbox"/> 附件( ) 新拌試驗結果紀錄與照片。					
3. <input type="checkbox"/> 附件( ) 硬固試驗結果紀錄與照片。	4. <input type="checkbox"/> 附件( ) 抗壓試驗結果報告。					
5. <input type="checkbox"/> 附件( ) 其他相關文件						
五、高性能R類綠混凝土評訂結果 (以下由承辦人依綠建材標章分類委員會決議寫 )						
結果 註記	評核分數：	第一部分：	第二部分：	第三部分：	第四部分：	總計：
	<input type="checkbox"/>	通過 <input type="checkbox"/> 優等 <input type="checkbox"/> 甲等				
	<input type="checkbox"/>	不通過				

(資料來源：國立台灣科技大學綠混凝土研究團隊繪製)



表 5.5 高性能 G 類及 R 類綠混凝土評估表附件一

附件( ) 綠混凝土評核硬固試驗結果紀錄表			
1.試驗結果表格：			
試驗日期：		地點：	
配比編號：			
1.抗壓強度結果(56 天) *附檢驗報告			
(1)	(2)	(3)	平均：
2.水泥強度效益 56 天抗壓強度(kgf/cm <sup>2</sup> ) / 水泥使用量 (kg)			
(1)	(2)	(3)	平均：
3.氯離子穿透結果(通過電荷量) 單位：庫倫 *附檢驗報告			
(1)	(2)	(3)	平均：
4.潮濕混凝土表面電阻 單位：Ω-cm *附檢驗報告			
(1)	(2)	(3)	平均：
*依 CNS 相關規定量測			
2.試驗結果照片：			
(拆模後表面情況照片共三張)			

(資料來源：國立台灣科技大學綠混凝土研究團隊繪製)

表 5.6 高性能 G 類及 R 類綠混凝土評估表附件二

附件( ) 綠混凝土評核新拌試驗結果紀錄表

1.試驗結果表格：

試驗日期：		地點：		
配比編號：				
坍度試驗結果	單位：mm	(1)	(2)	平均：
坍流度試驗結果	單位：mm	(1)	(2)	平均：
坍流時間	單位：sec	(1)	(2)	平均：

\*依 CNS 相關規定量測

2.試驗結果照片：

2.1 配比坍度試驗照片(每組一張照片，至少兩組)

2.2 配比坍流度試驗照片(每組一張照片，至少兩組)

(資料來源：國立台灣科技大學綠混凝土研究團隊繪製)

## 第六章 結論與建議

### 第一節 結論

1. 美國卜特蘭水泥協會基於能源暨環境先導設計評估(LEED)之精神，提出綠混凝土應具有促進現地永續發展、增進能源使用效率、使用回收材、當地製造與可建造耐久結構等性質。而美國國家預拌混凝土協會則認為須具備有耐久性、當地製造、回收材料、暴雨控制、節能使用、高光反射率、適合植栽屋頂且有助於取得 LEED 評估分數。
2. 加拿大水泥協會指出綠混凝土須能促進環境利益、促進經濟利益與促進社會整體利益及生活品質。
3. 歐洲地區對於綠混凝土之定義為混凝土結構之生命週期(life cycle)所有階段中，對環境可能造成衝擊降至最低的最佳形式，包括原料的取得、組成物質的生產、混凝土的製作、運輸與興建、維修、拆除與回收，並具有環境友善、資源節約與環境永續之特性。
4. 日本將綠混凝土分為「環境對應型混凝土」與「環境思慮(或考慮)型混凝土」等兩種類型，前者保持混凝土之基本性質，並隨時間增加而改善所使用地區之週邊環境，後者則是不產生環境負荷(有害變化產生)或能進行環境改善(有益變化產生)，分有省資源型、省能源型、減低環境負荷型及長壽命型等。
5. 中國大陸認為綠混凝土應具有資源和能源消耗少、對環境污染少和循環再生利用率高四項特點以滿足環境協調性，與具有滿意的使用性能，能夠改善環境，具有感知、協調和修復等特性，並以綠混凝土組成材料、室內空氣影響與綠色度指標進行評估，其中綠色度指標係指水泥減少比例與混凝土耐久性。
6. 本研究定義「綠混凝土」為混凝土結構物生命週期之各個階段(自材料、生產、製造、施工、使用、維修、拆除至處置)，能達到節能減碳、降低環境衝擊、實現永續發展之混凝土。其中須包含良好施工性、強度合宜性、體積穩定性、結構耐久性、廢棄物和再生材料再利用等全部或部份性質。

- 7.本研究擬定之「綠混凝土評核作業手冊(草案)」中，係將綠混凝土分為 G 類高性能綠混凝土(不含再生粗粒料)與 R 類高性能綠混凝土(含再生粗粒料)，並依正規化後之分數分為「優等 G 類綠混凝土」、「甲等 G 類綠混凝土」、「優等 R 類綠混凝土」、「甲等 R 類綠混凝土」。
- 8.在「綠混凝土評核作業手冊(草案)」中，綠混凝土的評核指標主要分為「有害物質零排放」、「產製設備與拌和廠組織」、「配比設計」與「綠混凝土性能評估」等四個部份，其中「有害物質零排放」係確保綠混凝土之組成材料不得含有害人體之物質；「產製設備與拌和廠組織」主要規定綠混凝土須由產製設備與組織健全之拌和廠製作；「配比設計」係考量材料來源與品質不但要能夠減少混凝土產製作業所排放之二氧化碳排放量，且能符合安全性與耐久性之要求；「綠混凝土性能評估」則用以評估綠混凝土之工作性、強度與耐久性。

## 第二節 建議

### 建議一

綠混凝土性質與指標之後續研究：立即可行建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：行政院公共工程委員會

因本計畫案執行時程關係，故目前僅針對綠混凝土材料生產、製造與施工階段建立相關評估流程與指標，並配合工程實務應用之配比進行試行驗證，唯尚未擴及整個混凝土結構之完整生命周期，故建議根據本研究案之結果，後續可擴及至綠混凝土之組成材料製作運送作業、綠混凝土使用後拆除作業與重製等階段，並進一步建立國內綠混凝土全生命周期過程中所排放之二氧化碳量相關資料與計算標準。

## 建議二

綠混凝土性質與指標評核手冊內容專家座談與公聽會：中長期建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：行政院公共工程委員會

節能減碳與永續發展已為世界各國致力之目標，在 2009 年底召開的哥本哈根會議更是嚴格制訂各國之溫室氣體排放與減量標準，而本研究完成的「綠混凝土性質與指標評核手冊」便是基於環境與永續的原則下所制定完成，所建立之綠混凝土評核性質與指標，不但能達到節能減碳之目標，符合國際趨勢，亦能改善預拌混凝土產品品質與業者形象，故建議未來持續舉辦相關專家座談與公聽會討論本研究報告之附件「綠混凝土性質與指標評核手冊」，以吸取更多方面建議，修改評核項目內容，以便未來推動時以獲得業者認同。

## 建議三

將「綠混凝土」提案納入「高性能綠建材」評估項目：中長期建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：台灣建築中心

國內目前對於建築物所使用之建材依類別有建立相關綠建材標章評核制度，且目前參與申請與評核之廠商相當踴躍，實施情況相當良好。據此，為提高混凝土業者品牌形象與利潤，本研究已完成將「綠混凝土性質與指標評核手冊」中對於綠混凝土之評核性質與指標，與現行之「綠建材標章」評定流程加以結合，而提出「高性能 G 類綠混凝土評核表」與「高性能 R 類綠混凝土評核表」，做為將來主辦機關提案納入「高性能綠建材」評估項目之依據。

#### 建議四

建立綠混凝土標章制度推廣獎勵措施：中長期建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：行政院公共工程委員會

建議政府工程相關單位將綠混凝土設計納入設計規範或建立相關獎勵措施，以增加混凝土業者取得混凝土標章之誘因，提高混凝土業者之申請意願與推廣。

## 附錄一 專家學者座談之會議紀錄

### 「綠混凝土性質與指標之研究」第一次專家座談之會議紀錄

會議記錄：沈伯豪

- 一、開會時間：中華民國 98 年 6 月 17 日 上午 9:00
- 二、開會地點：台北市 106 大安區基隆路 4 段 43 號
- 三、會議主席：國立台灣科技大學 張大鵬教授、國立台灣科技大學 黃兆龍教授
- 四、出席人員：台灣區預拌混凝土工業同業公會 董水湧 總幹事、台灣建築中心 林杰宏 副執行長、財團法人環境與發展基金會陳文卿 副總經理、台灣世曦 陳聰榮 經理、中興工程顧問社廖同柏 副總經理、國道新建工程局廖肇昌 組長、台灣營建研究院鄭瑞濱 組長、台灣區水泥製品工業同業公會鐘建一 理事長、國立台灣科技大學 邱建國研究員、國立台灣科技大學 陳君弢研究員、明志科技大學 施正元研究員、國立台灣科技大學 陳柏存 研究員、國立台灣科技大學 楊宗叡 研究員、台灣科技大學 沈伯豪 研究生。

#### 五、主持人說明摘要：

國立台灣科技大學營建工程系基於提升國內預拌混凝土之產製品質、改善預拌混凝土業者形象與符合永續環保潮流之前提，於本年度執行內政部建築研究所「綠混凝土性質與指標之研究」委託案，本案執行期間預計將舉行三次專家座談會，本會議為第一場專家座談會，會議目的係希冀透過座談方式集思廣益，並借重在座各位工程先進與專家學者之豐富實務經驗，針對本評核手冊中不妥之處，提出寶貴之建言，以供本研究團隊進行修改之參考，使本研究更具完整性及實用性。因此，本會議討論範圍主要將針對本評核手冊全文各章節內之架構，與評核表之內容適宜性及其他相關事項，請各位不吝給予建議與指教。

六、綜合討論：

**【鄭瑞濱組長】：**

1. GMRC 查核表總共約 200 多項指標，主要依據為 CNS 3090；GMRC 將「優質」混凝土品質規定拆解分為三大項：(1)一般要求 (2)一般觀察事項 (3)須注意事項(以數字表示)，符合 GRMC 即為滿足 CNS 3090 規定的基本下限。
2. 綠混凝土的定義可從人、機、料三方面來思考，建議綠混凝土評估手冊可針對下述三方面進行相關評估指標之增減：
  - (1)人-綠混凝土作業人員若對機器的功效與操作完整性不了解，將對混凝土產製品質有所影響，因此，操作人員最好有證照訓練，但不一定完全是混凝土方面的證照，其它如品質管理或勞工安全衛生等領域之證照也有幫助，建議可將混凝土相關作業人員素質訂定評估指標。
  - (2)機-在 GRMC 有列出拌和廠相關機具設備等硬體設施之規定，綠混凝土可依評估項目規定以勾選及查對方式認定是否符合規定。
  - (3)料-綠混凝土之材料以取得容易且成本便宜為使用原則，如使用進口材料(如爐石、飛灰等)，將增加成本，難以達到節能減碳的目標，綠混凝土的原料輸入與混凝土的輸出最佳距離為方圓 50 公里以內，超過此距離則不符合經濟效益，材料取得部分必須考慮是否在運送上有達到節能減碳效果
3. 第 10 頁 2.15 節建議增列再生粒料須加以驗證且滿足工程需求；第 11 頁 2.1 8 節內容增列原料採購資料須完整保存(包含混凝土生產廠商之原物料驗證無害文件)；建議將 3.2 節的成品管制表移到 2.1 原料管制之開始階段。

**【廖同柏組長】：**

1. 綠混凝土的評核目的為頒布業者『標章』還是納入綠建築指標內，宜先釐清。
2. 綠混凝土申請單位(業主、建築師、施工包商或拌合廠)及綠混凝土標章適用範圍(申請單位、某項工程或某項配比)宜先釐清。



3. 評估表 3.6.3 與 3.6.4 裂縫寬度太大，數字部分應再查詢是否正確。
4. 由於卜作嵐材料普遍使用，水泥強度效益以 56 天強度為基準是正確的作法。
5. 各評估項目宜有不同的權重分配，以突顯評估指標間之重要性。
6. 評估項目不宜過於侷限或偏重自充填混凝土(SCC)，以免阻礙綠混凝土發展。

**【鐘建一理事長】：**

1. 過去經驗顯示：水泥製品公會之部份會員曾申請過認證綠建材，但驗證越多，檢驗項目也變多，成本越高，反而增加業者麻煩；且得到認證標章的材料，就目前法規而言，反而需加強檢驗，增加業者負荷，終端產品的價格並無加值作用，對工會與會員的利益並未明顯加大，因此，申請意願不高。
2. 此手冊規定如亦適用於水泥製品，宜考量如何對水泥製品有加分功能的配套措施，如政府訂規範時，對於使用綠混凝土之水泥成品應有鼓勵措施，對於再利用材料之使用範圍宜明確說明，以免錯用等。

**【陳聰榮經理】：**

1. 目前大部分拌合廠都是將污水匯集處理後再利用或進行排放，因此，第 6 頁 2.4 節宜規定污染防治設備須將生產綠混凝土所造成的污水再利用或達到”標準”後再排放。
2. 第 25 頁 1.2.2 也宜修改成達標準後再排放。

**【陳文卿副總經理】：**

1. 使用廢棄物所製作之產品，應該是降低製品價格且提升產品之性質，所以在推廣與利用上應該是很容易的，但是以現今法規面來說，採用廢棄物製作之產品反需加強檢驗，因此減低生產者使用之意願。
2. 雖說目前採購法中有可允許可用較高約 10%之價格購買廢棄物再生之產品，雖有美意但各單位可動支的預算固定，因此各單位採購人員多花錢買再生產

品之意願並不高。

3. 為了提高再生產品之使用與普及率，建議應從法規面著手強制規定使用再生材料產品。
4. 評核手冊中對於有毒物部分有提出檢測項目與說明，對此非常肯定，因使用混凝土材料中有害物存在時即不可稱為綠混凝土，且此規定依循目前綠建材標章部分，如此將來可以綠建材標章相連結。
5. 再生粒料部分有特別提出另一等級之評分，這與目前綠建材通則中無差別原則部分有點相違背，建議評核手冊中是否可取消再生粒料分類。
6. 評核手冊 1.2 節說明中第 3 點部分，低能源使用效率因為高能源使用效率，且是否可加入低碳或減碳說明，如減少使用一噸水泥可減少 0.89 噸二氧化碳排放量等量化說明，讓使用者了解減碳之效益。
7. 評核手冊 1.2 節說明中第 2 點部分，強度穩定及耐久性佳說明中是否可提出量化說明，讓使用者有一評估之基準什麼是強度穩定，什麼是耐久性佳。

**【林杰宏副執行長】：**

1. 目前綠建材產品主要為室內材料，針對使用空間，有依使用面積訂定最少使用比率，以增加綠建材之使用範圍與數量，混凝土與綠建材在使用性質上有所差別，如日後有規劃推廣使用綠混凝土，可考慮依綠建材推廣使用方式，依工程整體所需混凝土數量訂定綠混凝土最少使用比率
2. 綠混凝土使用範圍很廣，從室外到室內都可使用，室內綠混凝土會與人體長期接觸，使用上是否須有特別規定，請再考量。
3. 綠混凝土著重於節能減碳，因此，對於所使用之材料運送距離與方式是宜考慮納入評核手冊中，如鄭瑞濱組長所提之目前飛灰運送距離與運送方式等，均列入評核手冊中。
4. 綠混凝土如能納入或與建築技術規則相結合，則可增加綠混凝土之使用範圍與使用率。

**【廖肇昌組長】：**

1. 評核表 1.2 節中，有關綠混凝土定義方式，含括生命週期及永續目標，應為理想的範疇
2. 評核表 1.2 節中，綠混凝土的性質，建議撰寫如下「綠混凝土仍應維持與普通混凝土具相同或等值的性質，若有需其他或改變之性質，應加以說明」
3. 評核表 1.3 節中，綠混凝土分類以是否含再生粒料為分類方式，可在考量。
4. 評核表 1.4 節中，適用規定與 1.2 節的生命週期不相呼應；1.5 節為與 1.2 節之定義相呼應。
5. 第 2、3 及 4 章所列條款與現行 GRMC 驗證或施工綱要規範內容頗多類似，是否有重覆必要或應以提出其要配合綠混凝土的工作項目、期望等，另其內容是否亦應與 1.2 節定義相連結，請再審酌。
6. 有關第 5 章的評核，各項評核項目及條文內容與給予分數，應逐項說明評核項目選擇依據，其與綠工程的關係(如 SCC 的試驗與綠混凝土之關係)，分數的給與有 0-6 不同等級，原因為何?(及格分數所代表的意義?)
7. 請提出現有評核方是在實務上進行評分結果的模擬，以了解其運用的可行性。
8. 在推動綠工程宜依混凝土生命週期分成不同的評核表，目前的評核係著重在拌和廠的產製，在業主面又如何能在設計時將綠混凝土納入，在施工階段?在營運階段?拆除階段?
9. 為便於應用與即時推廣，建議在目前以綠混凝土的組成成分及比例為優先探討的項目，較為可行即具體明白。至於拌和廠如何產製，各家拌和廠條件不一，難以具體化，且拌和廠管理是否與綠混凝土本身有連結關係?綠混凝土與將來的使用者連結，較易、快、能為各界所採納。
10. 混凝土在未來被拆除後如何處理，應與綠混凝土相關聯性不大，其以走向營建剩餘土石方再利用的領域。

**【董水湧總幹事】：**

1. 對於本研究訂定出綠混凝土指標相當支持，有助於拌和廠在施工上有個標準的依據，使拌和廠出廠產品品質有正面的形象。
2. 在工會的立場上對於能提升拌和廠品質與形象政策予以大力協助，希望能將綠混凝土指標建立為行政命令或相關法規，如此政府就能因此將綠混凝土推動於各拌和廠，以達到雙贏之局面。
3. 在民間成立相關委員會共同推動，使綠混凝土指標除政府單位外，另有民間團體共同推動。
4. 再生混凝土與綠混凝土的定義是否會造成重疊，需要釐清。



圖 A.1 第一次專家座談會照片(I)

(資料來源：國立台灣科技大學綠混凝土研究團隊拍攝)



圖 A.2 第一次專家座談會照片(II)

(資料來源：國立台灣科技大學綠混凝土研究團隊拍攝)

內政部建築研究所委託研究計畫

『綠混凝土性質與指標之研究』

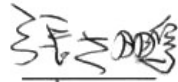
第一次專家座談簽到單

一、開會時間：中華民國 98 年 06 月 17 日上午 9:00

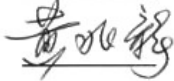
二、開會地點：台灣科技大學 工程二館 E2-222

三、主持人：

張大鵬 教授



黃兆龍 教授



四、出席人員：

林光陽 理事長



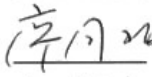
趙文成 教授



\*柯志忠 理事長



廖同柏 副總經理



\*徐文志 董事長



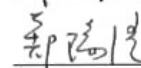
廖肇昌 組長



陳文卿 副總經理



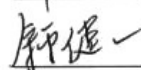
鄭瑞濱 組長




陳式毅 所長



鐘建一 理事長



陳聰榮 經理



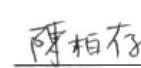
(依姓名筆劃排序)

五、記錄人員：

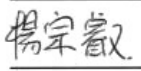
施正元



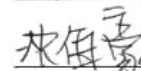
陳柏存



楊宗觀



沈伯豪



\* 註：柯志忠、理事長、徐文志、董事長因有要事，無法出席，有先向計畫主持人說明後，同意由董水濱、林杰宏代為出席。

張大鵬 2008-6-17

圖 A.3 第一次專家座談會簽到單

(資料來源：國立台灣科技大學綠混凝土研究團隊)

## 「綠混凝土性質與指標之研究」第二次專家座談之會議紀錄

會議記錄：沈伯豪

- 一、開會時間：中華民國98年08月24日 下午 14:00
- 二、開會地點：中興大學土木環工大樓206會議室(台中市402南區國光路250號)
- 三、會議主席：國立台灣科技大學 張大鵬教授、國立台灣科技大學 黃兆龍教授
- 四、出席人員：國立中興大學混凝土試驗研究中心 江鈞平 經理、彰鹿預拌混凝土股份有限公司 施世雄 總經理、長生預拌混凝土股份有限公司 柯志忠 總經理、國立中興大學 土木工程學系 黃玉麟 教授、良全預拌混凝土股份有限公司 陳敏聰 總經理、國產實業建設股份有限公司大肚分廠 陳聰澤 主任、國產實業建設股份有限公司大肚分廠 趙明良 股長、台灣水泥股份有限公司 賴振隆 經理、順基企業有限公司 于靖國 副總經理、久連預拌混凝土有限公司 梁坤煌 總經理、興威股份有限公司 謝源賜 總廠長、福宏實業股份有限公司 賴瑞星 總經理、國立台灣科技大學 邱建國 研究員、國立台灣科技大學 陳君弢 研究員、明志科技大學 施正元研究員、國立台灣科技大學 陳柏存 研究員、國立台灣科技大學 楊宗叡 研究員、台灣科技大學 沈伯豪 研究生。

### 五、主持人說明摘要：

國立台灣科技大學營建工程系基於提升國內預拌混凝土之產製品質、改善預拌混凝土業者形象與符合永續環保潮流之前提，於本年度執行內政部建築研究所「綠混凝土性質與指標之研究」委託案，本案執行期間預計將舉行三次專家座談會，本會議為第二場專家座談會，會議目的係希冀透過座談方式集思廣益，並借重在座各位工程先進與專家學者之豐富實務經驗，針對本評核手冊中不妥之處，提出寶貴之建言，以供本研究團隊進行修改之參考，使本研究更具完整性及實用性。因此，本會議討論範圍主要將針對本評核手冊全文各章節內之架構，與評核表之內容適宜性及其他相關事項，請各位不吝給予建議與指教。

六、綜合討論：

【柯志忠 理事長】：

1. 綠混凝土拌製中會使用到物理性摻料如飛灰、爐石等，這對於減少環境衝擊是有幫助的，民間工程所使用的混凝土有添加這類之摻料，但政府之公共工程對於摻料之使用仍不普及，故建議如能增加公共工程之使用量，則對於後續之推廣使用有極大之助益。
2. 由綠混凝土評估表中了解到綠混凝土需有良好之流動工作性，以減少需震動之機會，進而減少能源之消耗，這與目前節能之觀念相符合。
3. 建議未來研究中可加入混凝土品質查核之責任歸屬，對於混凝土品質管控之責任，應屬預拌廠、泵送車或是現場負責。
4. 再生粒料之使用情況並不普及，目前多用於 CLSM 或是低功能之結構物，實為可惜，若能於評核表中加入評核，則可增加再生粒料之使用範圍。

【黃玉麟 教授】：

1. 非常贊同此計畫，計畫目標與目前全球趨勢相同，且研究團隊足以勝任此研究工作；由計畫文獻回顧中了解國外於 1990 年即開始此方面之研究，到目前為止將近 20 多年，相對於國外情況國內目前處於起步階段，建議主管單位應規劃長期研究與執行計畫，利用執行之成果資料回饋評核系統再進行修改以符合國內產業情況。
2. 評核表 P.22 與 P.31 中之評核分數建議正規化，以利使用者容易了解。
3. 評核表 P.23 中之聯絡人建議加註聯絡人職稱。
4. 評核表 P.24 中之關於有害物質檢測部分非常贊同。
5. 建議可否於評核表中加入分數與 CO<sub>2</sub> 排放量之對照。

【江均平 經理】：

1. 依目前評核表模式，綠混凝土之申請單位似乎為預拌廠，建議可於評核表中



明確說明單位。

2. 水泥膠結料種類部分，可否增加環保水泥種類。
3. 綠混凝土所使用之卜作嵐材料部分，建議限定為國內所生產之產品。

關於綠混凝土組成材料評核部分，建議可加入運送距離之評定。

**【陳敏聰 經理】：**

1. 綠混凝土中可使用再生粒料為其組成材料，關於再生粒料之提供廠商資格與品質如何認定，建議可增加於評核表中。
2. 評核表中有關於預拌廠使用綠能源之評定，因目前綠能源設置成本過高，如預拌廠使用綠能源時，政府部門是否有相關之補助，以提高綠能源之使用。
3. 評核表中關於綠混凝土之硬固性質皆採用 56 天齡期測試為主，其因為和?這與目前現場常使用之 28 天齡期不相同。
4. 依綠混凝土之定義，綠混凝土之製作應減少水泥使用量，但目前一般大眾對於減少水泥使用量等於降低混凝土性質，故建議政府應適當教育民眾減少水泥量並不等於降低混凝土性質。
5. 評核表中 P.24 之 2-2-4 與 2-4-5 中，關於化學清洗劑部分，目前預拌廠於清洗材料儲存槽時並無使用化學清洗劑，故此化學清洗劑用途為何，請加註說明。

**【施世雄 總經理】：**

1. 評核手冊中對於綠混凝土設計方面很注重，但對於執行之單位與稽核流程是否也應加入說明。
2. 對於新的混凝土(綠混凝土、SCC、HPC)設計觀念因多多推廣給一般民眾理解，以免民眾對於所使用產生誤解而造成糾紛。

因目前綠能源仍屬於開發階段，使用效率還未達成一般使用階段，且預拌廠之電力需求龐大，所以目前要達成此項標準仍有差距，建議是否暫不列入評核項目。

**【陳聰澤 主任】：**

1. 許多政府機關(公共工程與公路局等)之施工規範皆無法跟上現實之情況，所以雖然施工廠商有綠混凝土之設計觀念，但會與業主之施工規範相互衝突。
2. 為減少上述之情況發生，建議研究團隊可否於後續研究中對此現象向政府機關提出建言，使綠混凝土之設計與使用觀念能落實。
3. 使用綠混凝土設計有可能會增加混凝土產製成本減少使用數量，因此需要由政府相關部門推動，否則業者難以負荷。
4. CLSM 也應為綠混凝土之一，但現在有些不肖廠商於製造 CLSM 時加入爐渣，因爐渣為有毒物品，會對環境造成衝擊，反而與綠混凝土定義相違背。

**【趙明良 股長】：**

1. 評核表中關於卜作嵐材料之使用量有相關評核依據，但目前各公部門施工現場所使用之規範並無統一標準且老舊，常無法與現實技術發展相符合，造成施工單位困擾，建議研究團隊於設計此評核項目時，應多加考量目前之使用接受度。
2. 除公部門外，相關之設計顧問公司於工程設計時也常有無法跟上現實技術之情況，造成施工問題與浪費材料之情況，故相關政府工程機關能多多推廣此新設計觀念，以達綠混凝土理念能落實。

**【賴瑞星 總經理】：**

1. 綠混凝土因會使用到再生粒料部分，但再生粒料來源複雜，易影響混凝土品質，建議於評核手冊中加入再生粒料之來源認證與粒料性質試驗方式。
2. 建議對評核手冊中之評核項目加入實施之標準作業程序。

**【梁坤煌 總經理】：**

1. 都市管溝開挖後回填大部分都採用 CLSM 為主要施作材料，且 CLSM 之製程

也符合綠混凝土之定義，故建議評核手冊中可加入 CLSM 之性質評核項目。

**【于靖國 副經理】：**

1. 雖然 CLSM 之使用量龐大，但目前對於 CLSM 並無較嚴謹之規定造成成品之品質不一而影響後續之使用。
2. 綠混凝土要能普及還是要靠政府之力量來推動，希望本評核手冊能成為一明確的之規則，讓預拌業者有所追尋。
3. 評核手冊之相關評核項目，在確保混凝土品質符合使用之條件下，可以將評定分數提高，以提升門檻值保障優良預拌混凝土廠商。
4. 目前對於 CLSM 只有功能性之規定，但對於機具與製程無所規範，建議研究團隊可否於訂定 CLSM 評核項目時可提出相關 CLSM 規範文件。
5. 評核手冊中 P.24 2-2-2 中，可否將排放移除，因目前預拌廠已將污水處理後回收再利用，並無排放之情況。

**【賴振隆 經理】：**

1. 此評核手冊未來推行與查核單位應有明確規定(如：建研所、營建研究院等)，讓廠商有所追尋，另因為業者大部分對新事物皆為被動心態，需要專責之負責單位來推廣與實踐。
2. 希望相關單位能向民眾與工程單位推行綠混凝土之設計概念，讓大家了解綠混凝土之設計理念，有消費者有需要之誘因，業者才會生產。
3. 除消費者外，為保有綠混凝土之性質不受現場監造人員之變化，因此對於現場監造人員之教育訓練也因考量進去。
4. 評核手冊中 P.24 中，計量設備之檢核為 6 個月一次，但標準局之規定為 1 年 1 次，建議是否可將檢驗時間調整為一致，減少規定衝突。
5. 評核手冊 P.29 中，關於耐久性之檢測中，除氯離子與電阻檢測之外，是否還有其他簡單快速之耐久性檢測方式。

6. 預拌廠之品管人員對於混凝土之品質優劣有相當程度之影響，建議評核手冊中可加入預拌廠品管人員之評核。



圖 A.4 第二次專家座談會照片(I)

(資料來源：國立台灣科技大學綠混凝土研究團隊拍攝)



圖 A.5 第二次專家座談會照片(II)

(資料來源：國立台灣科技大學綠混凝土研究團隊拍攝)

內政部建築研究所委託研究計畫

『綠混凝土性質與指標之研究』

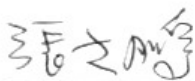
第二次專家座談簽到單

一、開會時間：中華民國 98 年 08 月 24 日 下午 2:00

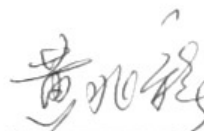
二、開會地點：中興大學 土木環工大樓 206 會議室

三、主持人：

張大鵬 教授



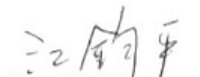
黃兆龍 教授



四、出席人員：

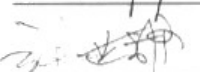
國立中興大學混凝土試驗研究中心

江鈞平 經理



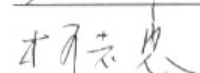
彰鹿預拌混凝土股份有限公司

施世雄 總經理



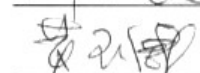
長生預拌混凝土股份有限公司

柯志忠 總經理



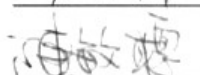
國立中興大學 土木工程學系

黃玉麟 教授



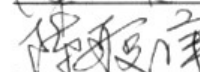
良全預拌混凝土股份有限公司

陳敏聰 總經理



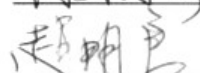
國產實業建設股份有限公司大肚分廠

陳聰澤 主任



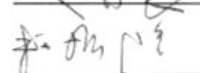
國產實業建設股份有限公司大肚分廠

趙明良 股長



台灣水泥股份有限公司

賴振隆 經理



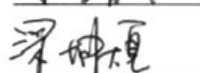
順基企業有限公司

于靖國 副總



久連預拌混凝土有限公司

梁坤煌 總經理



興威股份有限公司

謝源賜 總廠長



福宏實業股份有限公司

賴瑞星 總經理



圖 A.6 第二次專家座談會簽到單

(資料來源：國立台灣科技大學綠混凝土研究團隊)

## 「綠混凝土性質與指標之研究」第三次專家座談之會議紀錄

會議記錄：沈伯豪

- 一、開會時間：中華民國98年08月25日 下午 14:00
- 二、開會地點：高雄應用科技大學土木二館2F會議室  
(高雄市三民區建工路415號)
- 三、會議主席：國立台灣科技大學 張大鵬教授、國立台灣科技大學 黃兆龍教授
- 四、出席人員：高雄應用科技大學 土木工程學系 王和源 教授、國產實業建設股份有限公司高雄廠 陳文輝 課長、台灣水泥股份有限公司鼓山水泥製品廠 陳福清 副經理、高雄市土木技師公會 侯武彰 理事、中興工程顧問公司 黃模立 經理、太爺企業股份有限公司 潘茂榕 副總經理、高雄市政府工務局工程企劃處 楊正元 課長、國立台灣科技大學 邱建國 研究員、國立台灣科技大學 陳君弢 研究員、明志科技大學 施正元 研究員、國立台灣科技大學 陳柏存 研究員、國立台灣科技大學 楊宗叡 研究員、台灣科技大學 沈伯豪 研究生。

### 五、主持人說明摘要：

國立台灣科技大學營建工程系基於提升國內預拌混凝土之產製品質、改善預拌混凝土業者形象與符合永續環保潮流之前提，於本年度執行內政部建築研究所「綠混凝土性質與指標之研究」委託案，本案執行期間預計將舉行三次專家座談會，本會議為第三場專家座談會，會議目的係希冀透過座談方式集思廣益，並借重在座各位工程先進與專家學者之豐富實務經驗，針對本評核手冊中不妥之處，提出寶貴之建言，以供本研究團隊進行修改之參考，使本研究更具完整性及實用性。因此，本會議討論範圍主要將針對本評核手冊全文各章節內之架構，與評核表之內容適宜性及其他相關事項，請各位不吝給予建議與指教。

### 六、綜合討論：

【王和源 教授】：

1. 於 2.5.1，水泥、飛灰、矽灰及水淬.....及其他膠結材料.....，建議能考慮到其他膠結材。
2. 建議加入，2.13.1 中，水泥膠結料應符合下列規定，5.其他：玻璃粉、底灰、下水道污泥其他具特殊性能之再生資源化材料。
3. 於 2.15 中再生粗粒料部分，加入符合 CNS3691 結構混凝土用輕質粒料。
4. 表 R2.15.1 表內之%移到前面。
5. 參考文獻 2.4 與 3.7 為同一篇，但是年代不一樣。
6. 第四章綠混凝土性質，考量『熱傳導率指標』是指???
7. 第四章部分無參考文獻標註。
8. 第 28 頁及 29 頁的 4.3、4.4 及 4.6 無『分數與勾選』。

【陳福清 副經理】：

1. 回收來源少，價錢成本高。
2. 回收粒料供應商必須認證通過。
3. 綠混凝土的使用，政府必須加強宣導他的好處與特性。
4. 公共工程必須於施工規範強制規定卜作嵐材料添加比例。
5. 綠混凝土的養護溫度是否重新制定標準(例  $26^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$ )
6. 泵送車的泵送能力驗證能建立。
7. 公共工程有使用回收再生粒料亦應規定使用規範。
8. 有害物檢驗、氯離子穿透試驗、表面電阻測試應委外試驗較有公信力。
9. 公共工程皆以最低標承攬，造成品質低落，一些優良廠商無法得標。

【陳文輝 課長】：

1. 客戶需求主導泵送業者，泵送業者著重在施工性，所以混凝土技術提升朝高坍流、高工作性發展，可與綠混凝土相結合。



2. 卜作嵐用量的提升，仍需公共工程配合執行與推廣。
3. 可否另行規定：如(1).飛灰+爐石粉+矽灰總量規定。(2).拌和用水 PH 每日檢測之必要性??
4. 於 P.28 中之 4.2 坍流度試驗部分，範圍過小(30 mm)。
5. 目前工程常態使用坍度 15~18 cm，在工程應用上實難符合工作性要求，還是要朝高坍流方向以符合現況，以避免泵送車加水影響工程品質。

【楊正元 課長】：

1. 研發、設計者(學界、業界)→生產者、供應商(預拌廠)→使用者(納入契約，接受度)；在使用公部門的角度，哪些材料經納入 CNS 後採用，惟材料如何試驗，檢驗標準為何??等均需納入契約規定，故設計者(顧問公司、建築師等)及監造單位(監工)，包含承包商都需有教育訓練，以落實監造工程之品質控制。
2. 混凝土廠是否需要區分再生及新製廠，並定期到場查核以利執行，同時價格部分亦須一併考量，如屬政策，政府應予補助。
3. 混凝土材料使用地方(如：橋梁、河海堤)與一般市區應做其他考量(如：防蝕、強度、耐用性等)。另鋼筋使用(鍍鋅...等)亦請一併考量。

【陳沛興】：

1. 何謂省能耗機械??再生能源不適合動力電源。
2. 水的 PH 值，實際量測為 PH 9~11，能否增加使用寬限。
3. 坍度訂定，分區應減少，坍流度分區應減少。
4. 表面蜂窩，應定義蜂窩大小、尺寸以上蜂窩。
5. 應加入混凝土泵車檢查內容。

【洪明信】：

1. 混凝土種類很多種，綠混凝土之認證屬於何種方式，單一或是多項??
2. 於 P.25 中，建議丙級技術士之認證可加入強制規定。

**【黃模立 經理】：**

1. 作業手冊所列之評核表未將設計問題納入考量，而設計階段對混凝土支水泥用量及廢棄物的循環利用具有決定性的影響，所以綠混凝土的堆動應從設計階段著手。
2. 混凝土的供料必須將預拌廠與泵送車結合，才能確保混凝土之品質。
3. 於 P.27 中，3.4 水泥用量應與混凝土設強度一併考量。
4. 混凝土材料是土木工程的最佳基本材料，但一直無法確保供料品質，應徹底解決才能找回土木人的尊嚴。

**【侯武彰 理事】：**

1. 廢棄混凝土如何加強回收??(1).政府付費由廢棄混凝土廠回收廢棄混凝土。(2).新混凝土每立方加收廢棄物處理費，補助回收廠。
2. 如何減少混凝土之用量??(1).儘量使用高強度混凝土與鋼筋，減少結構物之斷面與尺寸。
3. 如何使預拌廠及施工包商(混凝土搗實工)結合成一個專業混凝土商，以確保混凝土造物的品質。
4. 加強混凝土泵送車每年泵送力量檢驗，確保混凝土施工的品質。



圖 A.7 第三次專家座談會照片(I)

(資料來源：國立台灣科技大學綠混凝土研究團隊拍攝)



圖 A.8 第三次專家座談會照片(II)

(資料來源：國立台灣科技大學綠混凝土研究團隊拍攝)

內政部建築研究所委託研究計畫

『綠混凝土性質與指標之研究』

第三次專家座談簽到單

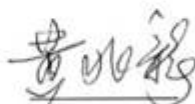
一、開會時間：中華民國 98 年 08 月 25 日 下午 2:00

二、開會地點：高雄應用科技大學 土木館二館 2 樓會議室

三、主持人：

張大鵬 教授 \_\_\_\_\_

黃兆龍 教授



四、出席人員：

高雄應用科技大學 土木工程學系

王和源 教授



亞東預拌混凝土股份有限公司

朱玩泰 廠長 \_\_\_\_\_

✓天誠混凝土實業股份有限公司

陳永華 副理 \_\_\_\_\_

天誠混凝土實業股份有限公司

林資源 品管 \_\_\_\_\_

國產實業建設股份有限公司高雄廠

陳文輝 課長



台灣水泥股份有限公司鼓山水泥製品廠

陳福清 副理



✓高雄混凝土工業股份有限公司

林石崑 品管 \_\_\_\_\_

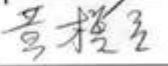
高雄市土木技師公會

侯武彰 理事



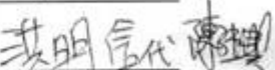
中興工程顧問公司

黃模立 經理



太爺企業股份有限公司

潘茂榕 副總



高雄市政府工務局工程企劃處

楊正元 課長

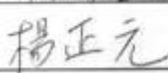


圖 A.9 第三次專家座談會簽到單

(資料來源：國立台灣科技大學綠混凝土研究團隊)

附錄二 期中報告審查意見回覆表

民國 98 年綠混凝土性質與指標之研究  
期中報告審查意見回覆表

期中報告審查意見及答覆		
發言人	審查意見	答覆
中華民國建築師公會全國聯合會 [林建築師平昇]	1 關於綠混凝土之實行推廣，能否配合建築技術規則之綠建築專章規定，而進入實用階段？又綠混凝土指標可否以階段性方案實施？請於本研究報告內略加說明。	感謝委員建議。 研究團隊會在未來研究中會將綠混凝土與建築技術規則相連結，以便推廣。另外關於綠混凝土之實施方式，會於期末報告中之提出建議。
台灣區綜合營造工程工業同業公會 [王總幹事榮吉]	1 有關綠混凝土性質與指標，由簡報內容及國際與國內資料得知，目前僅止於研究階段，建議未來針對傳統混凝土與綠混凝土（或再使用循環型混凝土）之原料、配比、節能減碳成效等面向，宜多作比較分析。	感謝委員建議。 目前所訂定之評核手冊為初步設計，未來將會蒐集國內相關工程所使用混凝土配比，進行相關指標適用性與節能減碳效益比較分析。
	2 建議往後舉行專家座談會議，盡可能邀請國產、台泥、亞泥及各主要水泥製造商，以達產、官、學、研共同參與之目的。	感謝委員建議。 本研究未來將會舉行第二次專家會議，將邀請各預拌產業針對評核表提出修改建議，以增加評核手冊之實用性。
	3 有關綠混凝土之研究，未來是否有實物（或實體）組成測試，並就其材料性能、檢測與傳統混凝土比較？	感謝委員建議。 本研究將於後續指標可行性分析中，會對傳統混凝土與綠混凝土進行指標比較分析。
徐副教授輝明	1 建議本案考慮如何將綠混凝土納入建築技術規則內，以利推行，以及如何由現行工程查核系統	感謝委員建議。 研究團隊會在未來研究中將會考量如何將綠混凝土與建築技術規則與目前工程查核

		之查核表加以規範，以提高未來實際推行時之可及性。	系統相連結，以便推廣綠混凝土觀念與可及性。
廖組長肇昌	1	本案規劃之綠混凝土指標及評估似為導向預拌廠的驗證，內容亦偏向目前公共工程對預拌廠的驗證方式。然而最後的評分結果，是否係指預拌廠具有供應「綠混凝土」的能力？在應用方向上是否有所侷限？	感謝委員建議。 因目前混凝土之產製主要來源是預拌廠，為確保綠混凝土之來源與品質，故本評核手冊目前的定位在混凝土預拌廠的檢驗部分，未來是否會成為業主或施工單位申請，本研究團隊將於後續研究中納入考量。
	2	有關綠混凝土之推動，或可考量分層次建構其定義，包括願景、目標、功能等內容，以引導政府及民間業者（尤其是業主）從各自的角度及位階朝此等方向進行。	感謝委員建議。 計畫後續研究中考量委員意見，提出政府與民間業者之實施方向建議。
	3	建請檢視現行混凝土規範中（如：高性能低強度回填材料 CLSM、爐石飛灰取代水泥之混凝土等），是否有已達綠混凝土指標之水準者，期符接近現況。	感謝委員建議。 研究團隊於後續研究中會針對現有之工程配比進行指標可行性分析，以調整指標範圍達現實與實用之目標。
	4	有關評核表之內容，可否以混凝土從業者、供應及使用者角度個別設計，以符實際需要？	感謝委員建議。 目前評核表是從業者者之角度設計，關於使用者與業者角度部分，於後續研究中納入考量。
沈總務長進發	1	本研究案對於世界各國綠混凝土之定義及指標資料，蒐集相當完整。	感謝委員審查評語。
	2	各國對綠混凝土及指標定義各異，但基本原則是一致的。建議研究團隊針對我國之本土性，妥善訂	感謝委員建議。 目前評核指標之內容即是針對國內產業情況所訂定，在後續研究中會再舉行業界專

		定指標，並對每一指標詳列評核項目及執行要點。	家座談，以修改評核表達可實用之目標。
沈總務長進發	3	本研究所訂之綠混凝土評核表，主要針對組成材料、產製設備與預拌廠組織、配比、新拌性能及耐久性能等大項。建議在配比方面嚴格要求強度—水泥量指數，以降低水泥量以節能減碳；另對施工品質加以重視，防止施工不當製出劣質混凝土，反而不符環保減碳，並增加耗能。	感謝委員建議。 目前評核表中已有水泥強度效益比指標，以了解水泥使用效益，另外還有水泥量之指標用以控制水泥使用量。關於施工品質方面，目前評核表中有析離/泌水檢視與表面狀況等簡易評核，是否增加其他品質評核指標，研究團隊會於後續研究中加入考量。
陳教授豪吉	1	文獻蒐集相當完善，可提供未來綠混凝土指標訂定之參考。	感謝委員審查評語。
	2	按綠混凝土評估，目前僅考慮其本身之材料配比、新拌混凝土性能及硬化後之耐久性能，而對混凝土之功能性評估較少著墨（如：綠化植生性、調溼性能、省資源型及省能源型等），建議考慮將綠混凝土依綠建材方式先行分類再評估之。	感謝委員建議。 目前評核手冊中已將綠混凝土依材料組成分為兩類，是否再將依其功能性分類，研究團隊將會於後續研究中納入考量，但最後目標希望是能與綠建材觀念相連結。
	3	按本研究報告對綠混凝土之定義：「自生產、製造、...生命週期各階段，能達到節能減碳、降低環境衝擊...」，對一般混凝土而言較難達成「各階段」皆能滿足，建議再予檢討。	感謝委員建議。 產品生命週期各階段中能達到節能減碳降低環境衝擊是最理想的目標但也不易滿足，研究團隊會針對此再進行調整，但於評核表 1.2.2 節有說明滿足全部或部分性質即可之補充說明。
沈教授得縣	1	期中報告大致上符合預定進度，文獻蒐集完整且	感謝委員審查評語。 摘要部分將會於期末報告中

		報告內容豐富，值得肯定。建議補充本研究摘要。	補上。
沈教授得縣	2	建請針對綠混凝土與綠建材、綠建築之差異及相關性進行分析比較。	感謝委員建議。 本質上綠混凝土可以為綠建材之一種，也為綠建築之組成之一，故其與綠建材與綠建築有很大之關聯性，研究團隊會於後續研究中將綠混凝土與綠建築與綠建材之相關性與差異進行比較分析。
	3	建請參考綠建築九大評估指標及綠建材四大評估指標。綠混凝土除應建立明確之評估指標外，並應確立評估範圍、評估項目及評估基準。	感謝委員建議。 研究團隊會於後續研究報告中納入委員之建議。
	4	綠混凝土標章之申請，首先要確立標章之主管機關及申請單位，其次訂定綠混凝土標章申請資格或通則作為第一道關卡，使獲得綠混凝土標章之產品，先通過國家標準且不具有害物質。例如評核作業手冊第四部分應全部合格，使綠混凝土具有基本之安全性及功能性。	感謝委員建議。 關於綠混凝土標章之主管機關部分，這需要建研所核定；另外標章申請單位部分，目前規劃讓預拌廠申請。 另外關於有害物部分，依評核流程圖顯示，綠混凝土與綠建材一樣必須先通過有害物檢測，如有害物部分沒通過則無法通過評核，以確保使用人之安全。
	5	欲使綠混凝土標章能達成，應首先要有評估指標；欲使指標具可行性，應成立推動委員會，以研擬相關法規及規範。	感謝委員建議。 目前研究案只針對綠混凝土之性質指標訂定，關於推動委員會部分，將於後續研究報告中提出建議。
	1	有關本次會議兩案之通案性意見，期末報告書之繳交期程為 10 月 30 日，請計畫團隊注意期程，另	感謝委員建議。 研究案之期末報告會於 10 月 30 日前提出，且格式會依「內政部委託研究計畫作業
林組長建宏			



		外報告書格式部分，例如頁眉、頁碼與中英文摘要，請依「內政部委託研究計畫作業規定」辦理相關規定辦理。	規定」之格式撰寫。
林組長建宏	2	有關綠建築係從推廣與標章開始，進而納入法規中，而綠混凝土亦可參考綠建築的方式，以明確訂定計畫之方向與目標。	感謝委員建議。 研究團隊會於後續研究報告中納入委員之建議。
	3	綠混凝土之評估方式，可將綠建築、綠建材之評估方式納入參考（例如相關指標、操作性、可靠度等），並探討二者間之關連性，以及相關整合問題，同時所採用之名稱與名詞應注意一致性，以利未來長期規劃與推動。	感謝委員建議。 研究團隊會在後續研究中針對綠混凝土與綠建材、綠建築之間做一相互連結，以利將來推廣與應用。



附錄三 期末報告審查意見回覆表

民國 98 年綠混凝土性質與指標之研究  
 期末報告審查意見回覆表

期末報告審查意見及答覆		
發言人	審查意見	答覆
沈教授得 縣	1 期末報告文獻蒐集完整，報告內容豐富，值得肯定；但對於國外實施綠混凝土評估之績效則著墨較少，宜多補充。	感謝委員的肯定。由於國外提出綠混凝土觀念為近幾年之趨勢，尚未有實質的評估績效，目前僅收集到丹麥在此方面使用綠混凝土可減少二氧化碳的估算量，已在本研究第二章第五節補充。
	2 綠混凝土評核表中分為有害物質、拌合廠產製、配比及性能等四項，但此四項之積分代表之意義不明確，建議宜呼應本文標榜之評估指標，包括廢棄物再利用、強度穩定具耐久性、低能源使用效率及有害物質零排放等，作為規劃。	有關四項評估項目目標配分及代表意義，在原有報告中第四章第二節中已有明確說明。其中規劃已包括廢棄物再利用、強度穩定具耐久性、低能源使用效率及有害物質零排放等項目。
	3 有關綠混凝土評核表及評估指標，建議舉辦公聽會以獲得業者認同。綠混凝土與綠建材之相關性值得深入探討。又綠混凝土與綠建材成品之品管及製程不同，宜應另給標章。	有關於公聽會規劃、綠混凝土與綠建材之相關性、綠混凝土與綠建材成品之品管及製程等相關事宜不在本研究範圍。
	4 欲使綠混凝土具可行性，應頒發綠混凝土標章；但取得綠混凝土標章對業者有何種誘因，值得探討，尤其政府政策之配合，亦非常重要。	有關頒發綠混凝土標章、取得綠混凝土標章對業者之誘因及政府政策之配合等相關事宜非本研究範圍。
	5 綠混凝土除應建立明確之評估指標外，並應確立評估範圍、評估項目及評估基準，其中尤以評估基準應先確立始容易評估。	綠混凝土之評估範圍、評估項目及評估基準說明已於第四章及綠混凝土評核手冊之「第一章 總則」明述。

	6	本案使用「評核表」一詞，其定義宜先釐清。建議用「評估表」，與綠建材使用之名詞一致。	綠建材使用「評估表」內容與方式與本研究所使用「評核表」之內容與意義完全不同，故仍以「評核表」較為適宜。
沈總務長 進發	1	本研究依利用再生粒料與否，將綠混凝土區分為 G 類與 R 類，甚具創意。	感謝委員意見。
	2	將綠混凝土（G 類與 R 類）均以 60~79 分、80~100 分，區分為優等與甲等，是否具有明確性質之意義？其性質上有何差異？建請於研究報告中加強說明	感謝委員建議。目前評核分數之分級是參考 LEED 之分級，其設定是總評核分數之 60% 為及格標準，再將及格分數至滿分區間再進行評定優等與甲等，兩者性質差異已於報告中第四章第二節加強說明。
	3	本案所提之評核表中，其第一部分「有害物質零排放」僅占 3 分，建請再考量。	感謝委員建議。第一部分「有害物質零排放」，分數予以移除，但此項目仍列為評核之首要門檻，如未能通過此項目規定則不得進行後續評核作業。
	4	有關綠混凝土之評核，是否宜先認定是否為綠混凝土，再區分所屬等級。對於不合綠建築之產品應以法令禁止生產。	感謝委員建議。混凝土是否為綠混凝土需經過本研究之評估才可加以確認。另外對於不合綠建築之產品是否應以法令禁止之事宜，非本研究範圍。
	5	本研究計畫在很短的期間內能研訂出一相當完整的系統架構，若能進一步對其內容（各評估）項目做合理之考慮研討，必可成為一極具應用價值之研究。	感謝委員建議。各評估項目做合理之考慮，是本研究擬定評估手冊草案時之採用方法與目標，係根據文獻、專家學者與業界座談結論建議修改而成，惟研究時間有限，必然有不足之處，有待後續進行精確定量之研究。
廖組長 肇昌	1	對應至綠建材之定義：「...符合生態性、再生性、環保性、健康性及高性能之建材」。目前本研究評核作業手冊中所述綠混凝土之定義：「包含良好施工性、強度合宜性...性質」，似不	感謝委員建議。有關「包含良好施工性、強度合宜性...性質」與「綠混凝土」之綠理念及內涵之連結性，已於第四章第一節補充說明。

		易彰顯其與「綠」之理念的連結性，或從其定義看出綠色內涵的強烈表徵。	
	2	有關本研究報告列出綠混凝土之四項性質，其中「有害物質零排放」及「強度穩定且耐久性佳」，應可歸為「性質」；但「廢棄物循環再利用」及「低能源使用效率」屬於使用材料及製程，是否宜歸屬為「性質」，建請考量。	感謝委員建議。已於第四章第一節中將「性質」擴充為「性質與條件」。
	3	綠混凝土之「指標」為本案之研究項目之一，而「指標」之名稱宜與「綠」色或綠內涵加強連結（如 G 類優等綠混凝土所代表之意義）。可否依各指標目前的意義，尋求社會大眾易懂之名稱，例如：指標一為「零污染」、指標二為「綠色製程」、指標三為「材料環保性」。	感謝委員寶貴意見。 已在本報告中第四章第一節中加入社會大眾較易懂之名稱如「材料環保性」、「永續性能」、「節能製程」與「零污染」等。
高名譽 教授健章	1	混凝土種類甚多，有建築用混凝土、基礎用混凝土、巨積混凝土、壓重混凝土...等等。因此，評估需依類別訂出評估量化指標，例如建築混凝土之坍度愈大，評分愈大；但對巨積壩工混凝土，坍度均在 5 公分左右，是以強振動來施工，在配比上可節省大量的水泥，故不宜以同一指標來評量。	感謝委員建議。 不管混凝土為何種類型，節能減碳為使用綠混凝土之最終目的，本研究系依此目的原則之下訂定各項指標並連結綠理念及內涵，並適用常用之混凝土。若欲針對其他類型混凝土訂定其他指標，仍需符合「節能減碳」之最終目的。
陳教授 豪吉	1	本研究報告第 41 頁中，表 4-2 之單位有誤。另強度效益建議置入單位，以方便比較。	感謝委員建議。已於結案報告修正。
	2	依簡報所示，以國內 12 項工程案例試作評估，其中 7 項之分數大於 76 分。若 60 分以上者即頒與綠混凝土，是否太鬆？	感謝委員建議。國內 12 項工程案例之評核結果為採用本研究所訂之評核方式所計算，此為本研究之成果表現，欲達到 60 分標準並不容易，為求綠混

		土日後順利推動，目前仍以 60 分作為區分點。
	3	研究主旨為綠混凝土性質與指標，但評估表中皆置入「高性能」三字，是否僅限高性質混凝土方可申請綠混凝土？
	4	本研究報告第 119 頁之評核表中，第 3.5 項至第 3.7 項「運送距離」標示至公里下小數點二位，宜取整數為佳；另一般來說，減水劑用量甚少（與其他材料相較），已有國內外選項評分應已足夠，故其「運送距離」評分是否可考慮取消。
	5	本研究並未考慮混凝土之功能性（即環境對應型混凝土），如多孔混凝土、輕質粒料混凝土等特殊混凝土將無法申請本指標，期望後續研究能納入。
鄭教授 紹材	1	本案歸納國外與國內文獻對於綠混凝土之研究思維，並且結合國內業界之專家座談，做出「綠混凝土評核作業手冊」，內容豐富周延，成果豐碩。
	2	本研究報告第 37 頁提及再生粗粒料須提供「品質資訊」，建請進一步說明。
	3	評估指標中對於預拌廠產製能力之指標結合 GRMC 驗證制度，構想十分良好，建議將文字列入手冊內容中
	4	建議將「優等」、「甲等」之評
		感謝委員意見。目前綠建材標章僅受理「生態綠建材」、「健康綠建材」、「高性能綠建材」、「再生綠建材」四種，本綠混凝土亦與綠建材原有標章相結合，故於名稱上以「高性能」為名。
		感謝委員意見。關於手冊中使用原料運送距離部分，是參考成功大學張又生博士論文之研究成果訂定之，其原始數據即計算至小數下兩位，在尊重其研究成果考量下，手冊所使用數據採用原始數據，另外減水劑雖使用量少，但為節能減碳之整體考量，仍宜將運送距離予以保留。
		感謝委員意見。針對多孔混凝土、輕質粒料混凝土等特殊混凝土之功能性指標訂定，將建議於後續研究中納入。
		感謝委員意見。
		感謝委員建議。已於結案報告中第四章第二節中針對相委員所建議之再生粗粒料的品質資訊方面加入說明。
		感謝委員建議。針對預拌廠產製能力之指標結合 GRMC 驗證制度將會補充已於手冊第二章說明中加入。
		感謝委員建議。「優等」與「甲

		核等級，在產品產製、行銷與工程應用，再予補充說明。	等」係考量整體節能減碳之程度加以區分，在產品產製、行銷與工程應用方面並無太大相異之處。
台灣省建築建材商業同業公會聯合會	1	綠混凝土應建立相關之使用規範及檢測（驗）基準，且資源回收材料應以國內在地化之資源回收材料為主。	本研究所建議之規範皆以國內現有規範為基準，而資源回收材料亦均以國內在地化之資源回收材料為主。
	2	建請評（推）估國內資源回收材料之總量，且國內的分布量及每年之總量，以作為國內公共工程欲推動綠混凝土之策略及發展方案。	本項非本研究研究範疇，建請另案辦理調查評估。
	3	綠混凝土之評估基準是否可更具體化（例如碳足跡）？又綠混凝土之「綠色內涵」（指與一般混凝土之差異）是否可賦予更清楚之定義？	有關於碳足跡等已以運輸距離及本土材料加以考量，另外「綠色內涵」部分已於報告中第四章第一節說明。
	4	飛灰、爐石運用於混凝土中，屬「廢棄物循環再利用」，是否在「綠混凝土」中亦扮演重要角色？	飛灰與爐石之運用在綠混凝土中是有相當重要之角色，已於本報告中詳細說明。
林組長 建宏	1	有關本次會議兩案之通案性意見，請計畫團隊注意期程，依照合約要求如期繳交成果報告書，另外報告書格式部分，請依「內政部委託研究計畫作業規定」辦理。	遵照辦理。
	2	兩案後續發展部分，建議在成果報告書中，將後續研究內容、可再進行之研究課題加以說明，提供本所未來發展方向之研擬，使研究內容之成果更加完整。	遵照辦理。
陳副所長 瑞鈴	1	由於砂石之盜採、濫採，造成環境嚴重改變、引發災難，故	本研究為了降低混凝土的使用量，進而減少砂石開採與對環

	對於如何降低混凝土的使用量，進而減少砂石開採與對環境衝擊，值得重視及深思。	境衝擊，故認為綠混凝土需具有「永續性」性質與條件，請參閱第四章第一節。
2	有關評核手冊「四大部分」，宜呼應研究報告所提之綠混凝土「四大指標」。	已於報告中補充說明。
3	關於綠混凝土之前提要件，建議多予考量：a.符合 CNS 國家標準；b.在「四大指標」中，必須有突出表現；c.評核作業手冊之各評核要項，宜與四大指標相呼應。	謝謝指導，本研究中已考量： a.所有相關規範均需符合 CNS 國家標準；b「四大指標」中，有突出表現之項目均給予高分肯定；c.評核作業手冊之各評核要項，均與四大指標相呼應，請參閱本報告中第四章第二節內容。



附錄四

# 綠混凝土評核作業手冊

## (草案)

日期：民國九十八年十二月

## 第一章 總則

### 1.1 一般規定

本章旨在詮釋「綠混凝土」定義、性質、種類與適用範圍。

### 1.2 綠混凝土定義與性質

1.2.1 「綠混凝土」定義為自生產、製造、施工、使用、維修、拆除至處置之混凝土結構生命週期各階段，能達到節能減碳、降低環境衝擊、實現永續發展之混凝土。

1.2.2 「綠混凝土」可包含良好施工性、強度合宜性、體積穩定性、結構耐久性、廢棄物和再生材料再利用等部份或全部性質與條件。

[說明]

- 1.本作業規定目前僅考量綠混凝土的生產、製造與施工階段之相關規定。
- 2.本手冊所適用之綠混凝土不包括砂漿類材料（即不含粗粒料）。使用一種以上之再生資源材料，僅能做為膠結材料與粗粒料，暫不包括細粒料。
- 3.綠混凝土宜有下列全部或部份性質：
  - (1) 有害物質零排放(零污染)：綠混凝土所採用之再生資源不含石棉、有毒重金屬之成份，亦不含放射線物質，不會排放有毒廢氣，對人體無任何危害。
  - (2) 高能源使用效率(節能製程)：綠混凝土於混凝土拌和廠之產製過程中，使用再生能源發電設備，減低耗能機械設備；且綠混凝土可設計具有高流動性質，以減少施工能源。
  - (3) 廢棄物循環再利用(材料環保性)：綠混凝土採用再生資源材料，包括工業廢棄物（如飛灰、爐石或矽灰等卜作嵐摻料等）或營建拆除廢棄物（如玻璃、橡膠粉、磚塊或廢混凝土等），以做為膠結材料、再生細粒料或再生粗粒料，不但達到廢棄物再利用，也節能減廢節省資源，降低環境衝擊。
  - (4) 強度穩定且耐久性佳(永續性能)：綠混凝土產自軟硬體具佳之優質混凝土拌和廠，並在專業（有證照）從業人員操作下，嚴選材料，並應用卜作嵐材料，經過嚴格品管作業後所產製，故強度品質穩定且耐久性能佳。
- 4.歐洲各國對綠混凝土之定義：
  - (1)混凝土結構生命週期(life cycle)所有階段中，對環境衝擊降至最低的混凝土，包括原料的取得、組成物質的生產、混凝土的製作、輸送與施工、維修、拆除與回收<sup>[1.1]</sup>。
  - (2)環境友善(environmental-friendly)的結構混凝土<sup>[1.2]</sup>。
  - (3)資源節約(resource saving)的結構混凝土<sup>[1.3]</sup>。
  - (4)環境永續(environmental sustainable)的結構混凝土<sup>[1.4]</sup>。
- 5.美國對綠混凝土之定義：
  - (1)卜特蘭水泥協會（Portland Cement Association, PCA）基於 LEED 的精神,認為綠混凝土須符合促進現地永續發展、增進能源使用效率、使用回收材、當地

製造、可建造耐久結構等特性<sup>[1.5]</sup>。

(2)預拌混凝土協會（National Ready Mixed Concrete Association）認為綠混凝土應具備耐久性、當地製造、使用回收材、暴雨控制、節能使用、高光反照率、適合植栽屋頂<sup>[1.6]</sup>。

6.日本對綠混凝土之定義<sup>[1.7-1.9]</sup>：

(1)環境對應型混凝土：保持混凝土之基本性質，並隨時間增加而改善所使用地區之週邊環境。而基於自然環境考量之各種要求性能，如：綠化植生性能、水質淨化性能、熱調合性能、調濕性能、吸音遮音性能、生物多樣性能及景觀性能等。

(2)環境思慮(或考慮)型混凝土：保持混凝土之基本性質，並能不產生環境荷負(有害變化產生)或能進行環境改善(有益變化產化)。基本上可分為：省資源型、省能源型、減低環境負荷型及長壽命型等。

7.中國大陸對綠混凝土之定義：

(1)能減少對地球環境的負荷，又能與自然生態系統協調共生，為人類構造舒適環境的混凝土。其中「綠色」一詞內涵節約資源和能源、不破壞環境與可持續發展<sup>[1.10]</sup>。

(2)應具有比傳統混凝土更高的強度和耐久性，可以實現非再生性資源的可循環使用和有害物質的最低排放，既能減少環境污染，又能與自然生態環境系統協調共生的混凝土<sup>[1.11]</sup>。

(3)應有兩項特點：同時並定義綠混凝土具有資源和能源消耗少、對環境污染少和循環再生利用率高四項特點以滿足環境協調性，與具有滿意的使用性能，能夠改善環境，具有感知、協調和修復等特性，其具體作法如下<sup>[1.12]</sup>：

(A)大量利用工業廢料，降低水泥用量；

(B)比傳統混凝土有較佳之力學性能與耐久性；

(C)減少自然環境負荷，再生資源循環利用，節省能源且有害物質零排放。

(D)提供人類溫和、舒適、便利和安全的生存環境。

### 1.3 綠混凝土種類

本手冊是否使用再生粒料，區分為下列兩類：

(1) G 類綠混凝土（不含再生粗粒料）。

(2) R 類綠混凝土（含再生粗粒料）。

[說明]

1.本手冊所稱之「G 類綠混凝土」，G 代表一般(General)，係指不含再生粗粒料，該混凝土可作為結構型混凝土。

2.本手冊所稱之「R 類綠混凝土」，R 代表再生(Recycled)，係指含再生粗粒料，該混凝土須參照《再生混凝土施工規範草案》相關規定。

#### 1.4 適用規定

「綠混凝土」須經過拌和廠設施、混凝土配比及工程性質等驗證程序，且其品質均能符合設計及施工之需求後，方可歸類為 G 類或 R 類綠混凝土。

[說明]

1. 拌和廠設施驗證程序，包括硬體設備、節能設施及精確度與穩定性、軟體設備合宜性、操作人員證照（混凝土技術士）與訓練文件完整性等。
2. 混凝土配比驗證程序包括材料取得、材料性能、配比設計、工作性、安全性和環境耐久性等的設計計畫。
3. 工程性質驗證程序，包括工作性、強度與耐久性等之均勻性及穩定性。
4. 綠混凝土因含有大量再生資源，而使其新拌、硬固與耐久性質有所不同，故應收集相關資訊，建立性質資料庫，並經試拌驗證品質之合宜性。

#### 1.5 內容說明

本手冊包括以下五個章節及附錄

第一章 總則

第二章 拌和廠產製設備、原料管制與人員組織

第三章 綠混凝土配比

第四章 綠混凝土性質

第五章 綠混凝土評核

附錄一：綠混凝土評核表

附錄二：評核流程圖

### 1.6 主要參考規範及標準

本手冊參酌國內外相關規範及標準制定而成，如表 R.1.6.1。

表 R.1.6.1 國內外相關規範及標準表

國名	發行單位	名稱	出版年份
美國	U.S. Green Building Council (USGBC)	The Leadership in Energy and Environmental Design (LEED) Version 3	2009
美國	American National Standards Institute(ANSI)	National Green Building Standard	2008
日本	土木學會	CONCRETE ENGINEERING SERIES	2004
加拿大	READY MIXED CONCRETE ASSOCIATION OF ONTARIO	ECO Certified Concrete Facility-AUDIT and CHECK LIST	2009
中華民國	行政院公共工程委員會	公共工程高爐石混凝土使用手冊	1999
中華民國	行政院公共工程委員會	公共工程飛灰混凝土使用手冊	1999
中華民國	內政部營建署	結構混凝土施工規範	2002
中華民國	行政院公共工程委員會	公共工程施工綱要規範	2005
中華民國	內政部建築研究所	再生混凝土施工規範草案	2006
中華民國	中國土木水利學會	混凝土工程施工規範與解說 (土木 402-94)	2006
中華民國	財團法人臺灣營建研究院	中華民國預拌混凝土廠驗證手冊	2007
中華民國	財團法人臺灣營建研究院	自充填混凝土(SCC)驗證手冊	2007
中華民國	內政部建築研究所	綠建材解說與評估手冊	2007
中華民國	科技圖書	卜作嵐混凝土使用手冊	2008

說明：

本手冊參酌國內外相關規範及標準制定而成，表 R.1.6.1 顯示相關規範及標準之國名、名稱、標題及制定年份。

## 參考文獻

- 1.1. J.S. Damtoft, J. Lukasik, D. Herfort, D. Sorrentino and E.M. Gartner, “Sustainable development and climate change initiatives”, Cement and Concrete Research, Vol. 38, 2008, 115-127.
- 1.2. Glavind, M., Munch-Petersen, Chr., Berrig, A. and Petersen, Erik Steen, Concrete Centre, Danish Technological Institute, Damtoft, Jesper S., Aalborg-Portland A/S, ‘Green Concrete for the Future’, in compilation of the papers from CANMET/ACI International Symposium on Sustainable Development of the Cement and Concrete Industry, October 1998.
- 1.3. Munch-Petersen, Chr., Concrete Centre, ‘Resource Saving Concrete Structures-the need for New Technology’, published in conference proceedings from the Nordic Concrete Research XVIIth Symposium, Reykjavik, August 1999.
- 1.4. Edvardsen, C., COWI, and Tølløse, K., “Environmental Green Concrete Structure”, published in proceedings from FIB symposium "Concrete and Environment, Berlin, October 3-5, 2001.
- 1.5. Portland Cement Association (PCA), “Building Green with Concrete”, [http://www.cement.org/buildings/green\\_leeed.asp](http://www.cement.org/buildings/green_leeed.asp)
- 1.6. National Ready Mixed Concrete Association, “Concrete: Meeting today’s needs without compromising the future”, <http://www.greenconcrete.info>
- 1.7. 日本建築學會 (AIJ), 鉄筋コンクリート造建築物の環境配慮施工指針 (案)、同解説, (2008)。
- 1.8. 日本混凝土工學協會(JCI), 環境対応型コンクリートの環境影響評価手法の構築, (2007)。
- 1.9. 土木學會 (JSCS), コンクリート構造物の環境性能照査指針(試案), 2005。
- 1.10. 史波, 綠色混凝土及其工程應用, 建築技術, 2004。
- 1.11. 劉傳忠, 綠色混凝土的發展及應用, 國外建材科技, 2008。
- 1.12. 姚武, 綠色混凝土, 化學工業出版社, 2005。

## 第二章 拌和廠產製設備、原料管制與人員組織

### 2.1 一般規定

本章旨在規定(1) 產製設備、(2) 原料管制、(3)人員組織、(4)文件及紀錄管制。

[說明]

1. 產製設備在 2.2-2.10 節說明。
2. 原料管制在 2.11-2.18 節說明。
3. 人員組織在 2.19 節說明。
4. 文件及紀錄管制在 2.20 節說明。

### 2.2 產製設備一般規定

綠混凝土之產製應以低能耗設備及標準作業程序，達到符合品質穩定及長期耐久之混凝土。

[說明]

本章係爲了確保「綠混凝土」產製能耗降低，而且強度與耐久性品質維持穩定，因此針對拌和廠設備、人員與作業程序加以規範。了解於混凝土製造過程中是否符合 CNS 3090 預拌混凝土中之相關規定，並於永續發展與節能減碳之觀念下，建立符合綠混凝土義涵之製程，主要檢驗根據文獻[2.1-2.4]之說明與規定。如預拌廠已通過營建研究院所建立之「中華民國預拌混凝土廠驗證優質混凝土 (GRMC)驗證」，則於評核時可跳過本章，直接進入「綠混凝土配比」之評核。

### 2.3 能源供給設備

綠混凝土之產製以減少能源消耗爲優先考量。

[說明]

根據「再生能源發展條例」中再生能源定義爲太陽能、生質能、地熱、海洋能、風力、水力（不含抽蓄水力）或其他經中央主管機關認定可永續利用之能源。廣義上拌和廠宜採用再生能源爲電力來源或產製設備以省能機構以產製混凝土，使能減少石化能源之消耗。

### 2.4 污染防治設備

廠內應設置洗車池，以清洗及回收預拌車拌和鼓內之餘料，並設置污水沉澱池，匯集處理後再利用或達排放標準再進行排放，以避免造成環境污染。

[說明]

1. 產製「綠混凝土」之拌和廠其餘料處理設備及處理方式，除了可再利用外，應不造成二次環境污染。

## 2.5 水泥膠結料進料及儲存設備

2.5.1 水泥、飛灰、矽灰及水淬高爐爐渣粉等膠結材料應分別進料及儲存，且明顯標示膠結料名稱及型別，避免混用。

2.5.2 各類膠結材料儲存設備應設置集塵設備，防止空氣污染。

[說明]

1. 水泥膠結料進料時應分開儲存且明確標示，並設置集塵設備，避免空氣污染情形。
2. 有關膠結料儲存設備設置集塵設備，須符合空氣污染防制法第二十條所規定之「公私場所固定污染源排放空氣污染物，應符合排放標準」。
3. 飛灰係指燃煤火力發電廠所生產之粉煤灰，並不包括焚化廠所生產有毒之焚化飛灰。
4. 所使用之各類膠結材均需有材料供應購買證明文件，以備查核。

## 2.6 粒料進料及儲存設備

2.6.1 外部粒料進料時，應設置隔柵刪除過大之粒料，且設有進料控制室，配合監控設施，即時掌握進料狀況及儲存設備存量。

2.6.2 不同料源及粒徑之粒料應分別儲放，儲存設備應乾淨，並設置遮蔽設施以防止受到污染。

2.6.3 粒料輸入拌和鼓之設備應設置遮蔽設施以防止污染。

[說明]

1. 為確保「綠混凝土」品質均勻穩定，粒料進料及儲存設備應分開儲存並明確標示，設置遮蔽設備，以避免空氣污染。

## 2.7 液態材料進料及儲存設備

2.7.1 拌和水槽應具有遮蔽設施，避免受到污染或受到環境不良影響，且應具有降溫設備。

2.7.2 不同廠牌型別之化學摻料應分別儲放於乾淨之密閉儲存設備，內設攪拌系統，明顯標示其廠牌及進料日期，並定期檢視，避免材質變化或混用。

[說明]

1. 為確保「綠混凝土」品質穩定，拌和用水須保持溫度穩定，且避免受到污染；化學摻料儲存桶應分開儲存且明確標示，並設置遮蔽設備，以避免污染情形。

## 2.8 計量設備

2.8.1 水泥膠結料應具有專用計量設備、計量待料槽，依膠結料之種類分開設置或加以隔倉，避免混合計量。

2.8.2 不同廠牌及型別之化學摻料應分別在不同量筒內計量。

2.8.3 拌和用水計量槽之水閥應能完全緊閉，且通往拌和機的輸水管路不會發生漏水及堵塞情形。



2.8.4 秤量設備於使用前應先檢查其準確度，每六個月須至少校正一次，計量設備之精確度應在各秤量裝置容量之 $\pm 0.4\%$ 內，靈敏度應低於標稱容量之 $0.1\%$ 。

[說明]

1. 膠結料計量待料槽及槽秤之數量應能滿足廠內所使用不同型別之水泥、飛灰、矽灰及水淬高爐爐渣粉等膠結料，且各槽秤不相互連通。
2. 飛灰、矽灰及水淬高爐爐渣粉等膠結料之槽秤可以累計計量方式共用。
3. 計量用之量筒數應滿足不同廠牌及型別之化學摻料，且應設有防止化學摻料計量過量之設施。
4. 使用回收水作為部份拌和用水時，應注意其計量槽不得有殘留物及管路堵塞情形發生，計量須採單獨計量方式。
5. 拌和廠之計量裝置可採用適當的電子式或機械式載重計。當使用機械載重計時，指針活動範圍之上下限應大於計量器使用範圍之 $5\%$ ，並應備有足夠數量符合度量衡檢驗單位驗證合格用之校正用標準砝碼，在規定有效期內依標準作業程序校驗計量裝置之準確度。

## 2.9 拌和設備

- 2.9.1 拌和設備應為全自動控制操作，並具有計時及警示裝置，使未達指定拌和時間之拌料無法進行卸料。
- 2.9.2 拌和設備應考量低耗能裝置，具有節能減碳之功能。
- 2.9.3 拌和設備於計量拌和時，須能即時顯示及列印下述資料：
  1. 日期及時間。
  2. 配比編號。
  3. 標註所使用之水泥膠結料及化學摻料種類。
  4. 批次混凝土之設定量及計量值。
  5. 批次混凝土計量之殘留值及誤差值。

[說明]

計量拌和設備生產紀錄之電腦報表應於拌和完成後同步列印。並於混凝土產製時，觀察操作台面板上之讀數、螢幕及報表之一致性。

## 2.10 輸送及運輸設備

- 2.10.1 輸送設備於使用前，必須清除內部殘留混凝土或雜質，且與混凝土接觸部位之材質不得為鋁質或鋁合金。
- 2.10.2 預拌車外觀應整潔，無鏽蝕或油漆剝落情形，進料口應備有帆布套或其他防止雨水滲入之裝置，且出廠前應保持輪胎清潔，避免造成路面污染。

[說明]

新拌混凝土直接接觸之輸送設備表面若含有鋁金屬材質，會產生膨脹反應，造成混凝土硬化後體積異常膨脹與強度減低等不良後果。

## 2.11 實驗室設備

2.11.1 廠內實驗室應至少具有下列儀器設備，以進行經常性品質管制作業：

1. 抗壓試驗機。
2. 圓柱試體模。
3. 試體養護水槽。
4. 坍度錐。
5. 氯離子含量測定器。
6. 粗細粒料搖篩機及篩網。
7. 水洗篩。
8. 電子秤。
9. 溫度計。
10. 烘箱。
11. 比重計。
12. pH 計。
13. 捲尺。
14. 游標卡尺。
15. 空氣含量測定器。
16. 標準砝碼(20 kg 標準砝碼)。

2.11.2 廠內實驗室應依相關國家標準制定下列各項試驗程序：

1. 粒料：篩分析、含水量、細度模數、氯離子含量及小於試驗篩 75 $\mu$ m (# 200 篩) 之物質試驗。
2. 化學摻料：比重、pH 值試驗。
3. 拌和用水：pH 值、氯離子含量試驗。
4. 新拌混凝土：坍度、氯離子含量、圓柱試體製作、試體養護、抗壓強度及空氣含量等試驗。

2.11.3 廠內實驗室應依相關國家標準制訂下列各項試驗程序：

1. 混凝土坍度及坍流度試驗。
2. 混凝土障礙通過性試驗。
3. 混凝土流下性試驗 (需流動化混凝土)。
4. 混凝土圓柱試體製作及空氣含量試驗。
5. 氯離子滲透性試驗。
6. 表面電阻量測試驗。

[說明]

1. 試體養護水槽應具有自動升降溫設備，確保水溫控制於 23 $\pm$ 2  $^{\circ}$ C。
2. 廠方提供之試驗手冊或混凝土生產品質計畫書，其內容應與最新版次之各項試驗規範相符。
3. 試驗程序常見錯誤如下：
  - (1) 細度模數計算不正確。
  - (2) 小於試驗篩 75 $\mu$ m (# 200 篩) 之物質試驗未依規定使用水洗法。
  - (3) 氯離子含量試驗及儀器校正之操作方法與儀器商之操作手冊不符。
  - (4) 坍度試驗時各層混凝土高度、搗實次數及提起模具時間與規定不符。
  - (5) 抗壓試驗之試驗速率與規範不符。
  - (6) 空氣含量測定器未制訂使用前校正程序。

## 2.12 混凝土原料品質管制一般規定

2.12.1 各項混凝土原料應制訂檢驗項目、頻率、方法及允收標準。

2.12.2 各項原料應依 CNS 標準所要求之完整物性及化性試驗報告，且應加註規

範值或允收標準，並妥善保存。

2.12.3 原料採購合約內之採購規格、供應商原廠試驗報告中的規範值、拌和廠進料檢驗標準及 CNS 標準對該材料之規定，以上四者不應相互矛盾。

2.12.4 原料不可含有害人體之物質。

[說明]

- 1.應明確制訂自辦試驗及委外試驗之項目及頻率。
- 2.各項原料之標準如下： (1)水泥：CNS 61 (2)高爐水泥：CNS 3654 (3)水淬高爐爐渣粉：CNS 12549 (4)飛灰：CNS 3036 (5)矽灰：CNS 10896 (5)粒料：CNS 1240 (6)化學摻料：CNS 12283 (7)拌合用水：CNS 13961。
- 3.文獻[2.4]於評估通則中，針對綠建材所含有害物質之相關規定分述如下：
  - (1)非金屬材料任一部份之重金屬成份，依據「事業廢棄物毒性特性溶出程序 (TCLP)」檢出值不得超過表 R.2.12.1 之規定。
  - (2)不得含有石棉成份。
  - (3)不得含有放射線【加馬等效劑量在 0.2 微西弗/小時以下(包括宇宙射線劑量)】。
  - (4)不得含有行政院環境保護署公告之毒性化學物質。
  - (5)不得含有無機鹵化物及其他蒙特婁公約管制化學品。

表 R.2.13.1 非金屬材料任一部份之重金屬成份檢出值標準表<sup>[2.4]</sup>

成份	檢出值標準(mg/L)
總汞(T-Hg)	0.005
總鎘(Cd)	0.3
鉛(Pb)	0.3
砷(As)	0.3
六價鉻(Cr <sup>+6</sup> )	1.5
總銀(Ag)	0.05
總銅(Cu)	0.15

**2.13 水泥膠結料**

2.13.1 水泥膠結料應符合下列規定：

- 1.水泥：CNS 各類型水泥。
- 2.水淬高爐爐渣粉：CNS 12549。
- 3.飛灰：CNS 3036。
- 4.矽灰：CNS 10896

2.13.2 供應商應定期檢附試驗報告，且拌和廠應定期取樣保存。

[說明]

各廠牌及型別之膠結料皆應檢附試驗報告（含原廠試驗報告）。

## 2.14 天然與機製粒料

2.14.1 天然與機製粒料應符合下列規定：

- 1.粗粒料與細粒料：CNS 1240 [混凝土粒料]。
- 2.細粒料細度模數應控制於 2.3~3.1，且不得偏離基準細度模數超過 0.2。
- 3.細粒料之水溶性氯離子含量，一般混凝土應低於 0.024%，預力混凝土應低於 0.012%。

2.14.2 天然與機製粒料應至少依下列規定頻率辦理檢驗：

- 1.每日試驗：級配分析（篩分析）、表面含水率、氯離子含量。
- 2.每週試驗：小於試驗篩 75 $\mu\text{m}$ （# 200 篩）之物質含量。

[說明]

- 1.天然粒料係指直接取自於天然河川的粗細粒料，而機製粒料指或以天然礦石機製後之粗細粒料。
- 2.查核採購合約、進料單及每年辦理物、化性試驗報告。基準細度模數係以配比設計時所依據之細度模數為準。

## 2.15 再生粗粒料

2.15.1 再生粗粒料供應商應定期檢附「H 級（高等級）再生粗粒料出廠檢驗及產品規格單」或「N 級（基本級）再生粗粒料出廠檢驗及產品規格單」，並且拌和廠應定期取樣保存。

2.15.2 再生粗粒料檢核項目應包括吸水率、比重、磚、瓦及陶瓷塊含量、磨損率、總不純物含量與級配等試驗。

2.15.3 再生粒料須加以驗證且滿足工程需求。

[說明]

依據「再生混凝土施工規範草案」<sup>[2.5]</sup>第二章規定將再生粗粒料分為 H 級與 N 級，如表 R.2.15.1 所列。

表 R.2.15.1 再生粗粒料性質標準分類表 <sup>[2.5]</sup>

性質 \ 級別	N 級 (基本級)	H 級 (高等級)
吸水率 (%)	≤ 15	≤ 5
比重 (OD)	≥ 1.5	≥ 2.2
磚、瓦及陶瓷塊含量 (%)	≤ 30	≤ 2
磨損率 (%)	≤ 60	≤ 50
總不純物含量 (%)	≤ 10	≤ 1

## 2.16 化學摻料

2.16.1 化學摻料應符合 CNS 12283 [混凝土用化學摻料] 與 CNS 12833 [流動化

## 混凝土

用化學摻料] 規定。

2.16.2 供應商應隨貨檢附試驗報告，項目應至少包含 pH 值、比重、固含量及氯離子含量。

2.16.3 每批化學摻料進廠時應依批號進行取樣試驗，項目應至少包含 pH 值及比重試驗，每批進貨均檢驗。

### [說明]

1.查核採購合約、進料單、供應商提送之試驗報告及每年辦理之完整物化性試驗報告，應符合 CNS 12283 與 CNS12833 規定。

2.各廠牌及型別之化學摻料皆應檢附試驗報告。

## 2.17 拌和用水

2.17.1 拌和水可使用自來水或其它水源，但使用回收水時，應經沈澱處理須符合 CNS 13961 [混凝土拌和用水] 之規定。

2.17.2 拌和用水之氯離子含量 ( $\text{Cl}^-$ ) 與酸鹼度 (pH) 應每日檢測，作成紀錄，須符合 CNS 13961 [混凝土拌和用水] 之規定。

### [說明]

其它水源係指河川水、湖池水、井水、地下水及工業用水等非自來水，但沖洗水除外。

## 2.18 原料採購、進料及儲存管理

原料採購文件應明確訂定其品質要求，且原料採購資料須完整保存(包含混凝土生產廠商之原物料驗證無害文件)，並建立完整之入出庫管理紀錄，制訂及管制保存期限。

### [說明]

參照「中華民國預拌混凝土廠驗證制度」相關規定查核辦理。

## 2.19 品管組織及職掌

品管人員組織及職掌應確實，並能滿足混凝土工程品質保證之需求。

### [說明]

品管人員應具備「混凝土技術士」證照或參與混凝土品質訓練而有證書並實際參與品質保證工作者。

## 2.20 文件及紀錄管制

2.20.1 廠內應建立品管系統及文件，以規範各項作業流程及執行權責，並依程序保存文件。

2.20.2 廠內應備有混凝土產製及品管之 CNS 標準及相關規範。

[說明]

- 1.品管系統及文件應至少包含下列作業程序：「原料檢驗」、「原料採購、進料及儲存管理」、「組織與職掌」、「文件及紀錄管制」、「合約審查」、「配比設計與管制」、「製程管制」、「產品檢驗」、「生產設備之維護」、「檢驗、量測與測試設備之管制」、「搬運、防護及交貨」、「顧客抱怨、不合格品管制與矯正措施」、「訓練」、「統計分析」、「內部稽核」。
- 2.文件管制程序應包含發行、審查、更新、識別，文件管制範圍應包含法規、CNS 標準等外來文件管理。
- 3.紀錄管制程序應包含鑑別、儲存、保護、取用、保存期限及銷毀，其中各項紀錄之保存期限至少為三年。
- 4.廠內應至少有 CNS 3090、CNS 12891、CNS 61、CNS 1240、CNS 13961、CNS 3036、CNS 12223、自辦試驗項目及各原料取樣方法(包含粒料：CNS 485、水泥：CNS 784、化學摻料：CNS 12283、新拌混凝土：CNS 1174 等 CNS 標準。

## 參考文獻

- 2.1. 中國國家標準，CNS 3090「預拌混凝土」，經濟部標準檢驗局，1998。
- 2.2. 財團法人臺灣營建研究院，「中華民國預拌混凝土廠驗證制度」。  
[http://www.tcri.org.tw/chtv2/grmc/\\_notes/dowN1.doc](http://www.tcri.org.tw/chtv2/grmc/_notes/dowN1.doc)
- 2.3. 中國土木水利學會，「混凝土工程施工規範與解說(土木 402-94)」，科技圖書，2006。
- 2.4. 內政部建築研究所，「綠建材解說與評估手冊」，2007。
- 2.5. 內政部建築研究所，「再生混凝土施工規範草案」，2006。

## 第三章 綠混凝土配比

### 3.1 一般規定

本章旨在說明綠混凝土組成材料與配比之相關規定，以達成綠混凝土的指標。

### 3.2 有害物質零排放

綠混凝土不可含有害人體之物質。

[說明]

同第 2.12 節之說明第 3 點。

### 3.3 使用材料來源

製作綠混凝土之料源應以國內所生產為主。

[說明]

- 1.綠混凝土中所使用之粒料或卜作嵐摻料應以國內所生產為主要使用來源，使用國內所生產之料源可減少材料運送距離之能耗外，並可立即將國內工業廢棄物所製成之卜作嵐材料摻入使用，減少環境衝擊並提升廢棄物再循環之使用性。
- 2.綠混凝土拌製所使用之材料均需備有相關供應購買文件，於評核時附於評核目錄上以供備查。

### 3.4 組成材料運送距離

綠混凝土之產製所需材料運送以減少能源消耗為優先考量。

[說明]

- 1.為達成綠混凝土節能減碳與永續發展之目標，因此製造綠混凝土所需之材料取得距離應以離預拌廠最近的料源供應點為優先考量，以減少料源運送之能源消耗。
- 2.依據文獻[3.1]指出，國內砂石平均運輸距離為 39.98 km，國內水泥平均運輸距離為 52.72 km，化學材料平均運輸距離為 58.24 km。

### 3.5 卜作嵐之使用

3.5.1 卜作嵐之使用應依據不同工程性質、功能需求與施工條件，經由配比設計及試拌驗證後，方可使用，配比決定後，非經許可，不可變動。

3.5.2 卜作嵐為膠結材料之一部分，須納入水膠比之計算。

[說明]

- 1.文獻[3.2]於第六章內文中提到，若以爐石粉替代部分水泥添加於混凝土時，爐石粉添加量可參考表 R.3.5.1。惟建築工程之地面上結構建議使用高爐石粉之替代率應在 30%以內，其他工程則建議在 65%以內。



表 R.3.5.1 日本高爐石粉種類與適用替代率之範圍(%)<sup>[3.3]</sup>  
(建築工程地面上結構除外\*)

種類	高爐石粉 4000 級	高爐石粉 6000 級	高爐石粉 8000 級
用途			
水合熱引起溫度上昇之抑制	50~70	60~70	60~70
鹼-骨材反應之抑制	40~70	40~70	40~70
提高耐硫酸鹽	50~70	50~70	50~70
對海水之化學抵抗性(含鹽害)	45~55	45~60	45~70
高流動化	30~70	30~70	30~60
高強度化	---	30~50	30~60
註：*本表係由日本土木學會依照過去之研究成果所提供之參考值，於日本至今尚無定論，但因國內此方面資料缺乏，尚可供參考，唯不適用於建築工程之地面上結構。 建築工程之地面上結構建議使用高爐石粉之替代率在 30%以內。			

- 文獻[3.4]於第四章內文中建議三種飛灰混凝土配比設計法：飛灰取代部份水泥之配比設計法(體積法)、飛灰取代部份細粒料之配比設計法(體積法)與飛灰同時取代部份水泥與細粒料之配比設計法(體積法)。
- 文獻[3.4]於第四章內文中建議混凝土中飛灰取代水泥量之參考值如表 R.3.5.2 所示。

R.3.5.2 混凝土中飛灰取代水泥量之參考值<sup>[3.4]</sup>

種類	允許飛灰取代水泥之上限(以重量計)(%)
1.混凝土(不屬(2)~(7)項者)	20
2.預力混凝土	10
3.版混凝土	15
4.海邊及地下工程混凝土	25
5.巨積混凝土	25
6.水密性混凝土	20
7.鋪面混凝土	20

- 文獻[3.5]建議矽灰使用量為 10%。
- 綠混凝土之卜作嵐添加量原則上仍須進行設計及試拌之驗證程序，以確認多項品質符合工程設計之要求[3.5-3.7]。

### 3.6 化學摻料之使用

3.6.1 化學摻料之使用依據不同工程性質、功能需求與施工條件，經由配比設計及試拌驗證後，非經許可，不可變動。

3.6.2 化學摻料中所含之水分應視為混凝土拌和水之一部分。

[說明]

配比設計前須了解摻料之性能，例如類型、用量、添加方式、使用時機等，且經過試辦驗證後，不宜任意更改。

### 3.7 再生粗粒料之使用

3.7.1 綠混凝土使用再生粗粒料時，依規定為 R 類綠混凝土。

3.7.2 使用再生粒料之綠混凝土依據不同工程性質、功能需求與施工條件，經由配比設計及試拌驗證後，非經許可，不可變動。

[說明]

文獻[3.8]規定再生混凝土類別與使用範圍如表 R.3.7.1 所示。

表 R.3.7.1 再生混凝土類別與使用範圍<sup>[3.8]</sup>

	A 級 再生混凝土	B 級 再生混凝土	C 級 再生混凝土
規定抗壓強度(kgf/cm <sup>2</sup> )	≥ 350	>210 <350	≤ 210
適用範圍	結構混凝土	結構混凝土	次要結構體 混凝土
H 級再生粗粒料佔總 粗粒料之比例(%)	≤ 10	≤ 20	≤ 100
N 級再生粗粒料佔總 粗粒料之比例(%)	0	0	≤ 50

### 3.8 配比設計

3.8.1 「綠混凝土」應採用適當水膠比，達到同時滿足強度與耐久性之需求，並避免出現自體乾縮之現象。

3.8.2 「綠混凝土」應儘量減少水泥用量，以利混凝土之耐久性，且能減少生產時之二氧化碳排放量。

3.8.3 「綠混凝土」應儘量減少拌和水用量，以維持混凝土之體積穩定性。

[說明]

1. 文獻[3.9-3.11]考量水泥完全水化之因素，建議水灰比應控制大於 0.42 左右，以避免自體乾縮情形。

2. 綠混凝土水膠比依混凝土強度品質及耐久性需求而決定。卜作嵐材料無論添加方式為何，均作為計算水膠比中之膠結料。

3. 文獻[3.9]指出水泥用量過多，不利於混凝土之耐久性。另外，文獻[3.12]指出在

民國 82 至 92 年間，國內水泥生產之二氧化碳排放量約為 0.856~0.897 公噸 / 公噸水泥，故降低水泥用量，可有效減低混凝土生產製造所造成之二氧化碳排放量，創造綠混凝土的重要利基。

4. 文獻[3.9-3.11]指出拌和水用量過多，會造成混凝土體積穩定性不佳，不利於混凝土之耐久性，而減少水量也可在固定水灰比、水膠比下間接降低水泥用量，均對綠混凝土永續與壽命有益。

## 參考文獻

- 3.1. 張又生，「建築物生命週期二氧化碳減量評估」，博士論文，成功大學建築研究所，2002。
- 3.2. 行政院公共工程委員會，「公共工程高爐石混凝土使用手冊」，1999。  
[http://www.pcc.gov.tw/upload/article/g\\_2.doc](http://www.pcc.gov.tw/upload/article/g_2.doc)
- 3.3. 日本土木學會，「高爐石粉末應用於混凝土施工指針」，1996。
- 3.4. 行政院公共工程委員會，「公共工程飛灰混凝土使用手冊」，1999。  
[http://www.pcc.gov.tw/pccap2/BIZSfront/upload/article/g\\_5.doc](http://www.pcc.gov.tw/pccap2/BIZSfront/upload/article/g_5.doc)
- 3.5. 黃兆龍，「卜作嵐混凝土使用手冊」，科技圖書股份有限公司，2007。
- 3.6. Malhotra, V. M. and P. K. Mehta, High-Performance, High-Volume Fly Ash Concrete, 2<sup>nd</sup> edition, 2005.
- 3.7. Aitcin, P. C. and A. Neville, “High Performance Concrete Demystified,” ACI Concrete International, Vol. 15, No. 1, pp.21-26, 1993.
- 3.8. 內政部建築研究所，「再生混凝土施工規範草案」，2007。
- 3.9. 黃兆龍，「混凝土品質控制」，詹氏書局，2002。
- 3.10. Neville, A. M., “Water and Concrete: A Love-Hate Relationship,” Concrete International, Vol. 22, No.12, pp. 34~38 (2000).
- 3.11. Dhir, R. K., P. A. J. Title and M. J. McCarthy, “Role of Cement Content in Specifications for Durability of Concrete : a Review,” Concrete, Vol. 34, No. 10, pp.68-76, 2000.
- 3.12. 馮炳勳，「台灣水泥業因應二氧化碳排放減量策略之研究」，博士論文，國立成功大學資源工程研究所，2006。

## 第四章 綠混凝土性質

### 4.1新拌綠混凝土性質

- 4.1.1 綠混凝土應具有適當工作性以滿足工程之需求。
- 4.1.2 綠混凝土應無泌水及粒料析離之情形。
- 4.1.3 綠混凝土之工作性須以坍度或坍流度評量。
- 4.1.4 綠混凝土應儘量減少搗實作業。

[說明]

1. 基於節能減碳之原則，綠混凝土澆置時除必要之泵送設備外，應儘無額外搗實與振動設備等耗能設施，應視工程性質及部位針對混凝土設計適當之工作性(坍度與坍流度)。
2. 「混凝土坍度試驗法」係依照CNS 1176執行。坍度試驗首測結果在許可差規定內，即無須重測；若坍度試驗首測結果在許可差規定外，同一批試樣可再重測坍度試驗，惟試驗時間需符合CNS 1174「新拌混凝土取樣法」。
3. 「混凝土坍流度試驗法」係依照CNS 14842執行，過程中應同時檢視粗粒料應能與漿體均勻流動擴散至外緣，無漿體析離、粒料堆積等現象。

### 4.2水泥強度效益

「綠混凝土」在抗壓強度發展上須達到適當之水泥強度效益，以確保水泥發揮較佳之強度，保障結構安全性。

[說明]

1. 水泥強度效益係指每單位水泥用量所產生之 56 天抗壓強度，計算如下式所示：  

$$\text{水泥強度效益} = \text{混凝土56天齡期抗壓強度}(\text{kgf/cm}^2) / \text{水泥用量}(\text{kg/m}^3)$$
2. 一般混凝土水泥強度效益為0.7 kgf/cm<sup>2</sup>，綠混凝土要求至少1.4 kgf/cm<sup>2</sup>，如此可節省水泥量，但不危及結構安全性。

### 4.3表面狀況

「綠混凝土」於拆模後色澤均勻，表面平整，且無目視蜂窩。

[說明]

1. 拆模後表面應平整，無爆模、突起現象。表面不得有超過 100 mm 長或 0.2 mm 寬之裂縫。
2. 為減少因表面修飾而增加材料與能源之消耗，故「綠混凝土」於拆模後，應無大量修補痕跡（不超過檢查點面積 10%），並宜設計為清水混凝土，避免設計貼覆磁磚。

#### 4.4耐久性質

- 4.3.1 綠混凝土應有良好之耐久性能，避免有害物質入侵及混凝土中可溶出物質滲出，造成內部鋼筋鏽蝕與混凝土材料劣化。
- 4.3.2 綠混凝土耐久性以氯離子滲透性（通過電荷量表示法）與表面電阻量測等試驗驗證。

[說明]

- 1.文獻[4.1]指出混凝土構造物中鋼筋有腐蝕之虞者，亦常以其氯離子滲透性評估之，主要係依據 CNS 14795 (ASTM C1202) [混凝土抵抗氯離子滲透試驗法]評估氯離子滲透性，評估標準依 ASTM C1202 之標準，另依 AASHTO T277 電阻快速測定法測量，氯離子電滲與電阻。
- 2.氯離子滲透性試驗（通過電荷量表示法）係依照 CNS 14795 執行，依據通過電荷量進行評估氯離子滲透性，如表 R.4.3.1 所示。

表 R.4.3.1 依據通過電荷量評估氯離子穿透性 [資料來源：CNS 14795]

通過電荷量（庫倫）	氯離子穿透性
>4000	高
2000-4000	中
1000-2000	低
100-1000	甚低
<100	可忽略

- 3.表面電阻量測試係依照 AASHTO T277 執行。混凝土電阻係數與鋼筋腐蝕關係，如圖 R.4.3.1 所示。

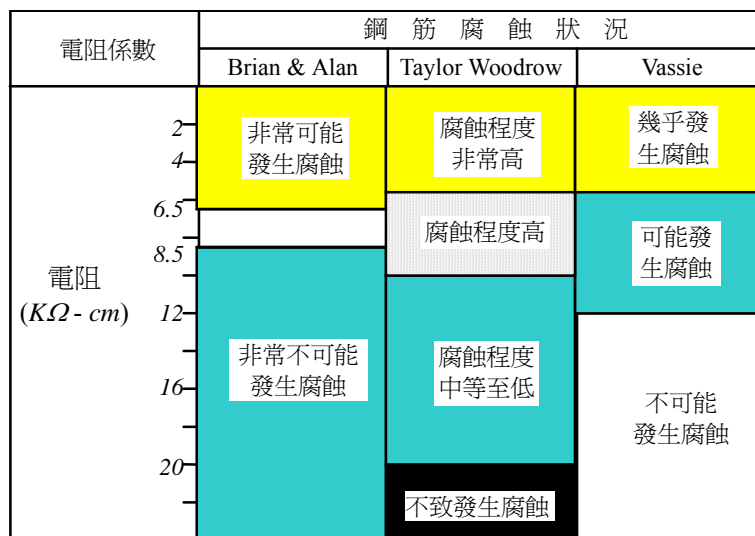


圖 R.4.3.1 混凝土電阻係數與鋼筋腐蝕關係<sup>[4.2]</sup>

參考文獻

- 4.1 內政部營建署編輯委員會，「結構混凝土施工規範」，2002。
- 4.2 黃兆龍、勘淵源、廖東昇，「污水處理廠防漏混凝土設計及施工驗證」，高性能混凝土設計及應用研討會，1992。

## 第五章 綠混凝土評核

### 5.1 一般規定

本章旨在說明綠混凝土評核準則。

### 5.2 評核表

綠混凝土之評核範圍主要分為(1)有害物質零排放；(2)拌和廠產製設備、原料管制與人員組織；(3)混凝土配比；(4)性能評估。

[說明]

綠混凝土之評核表如附錄一所示，可分為底下幾個項目：

- 1.基本資料：填寫申請驗證廠商基本資料與欲申請項目；
- 2.有害物質零排放：須檢附有環保署認可指定之實驗室試驗報告。
- 3.拌和廠產製設備、原料管制與人員組織：此部份為廠商自評填寫，如已通過「中華民國預拌混凝土廠驗證優質混凝土(GRMC)驗證」者須檢附證明，品管人員則須提出「混凝土技術士」証照和混凝土品管訓練證明書。
- 4.混凝土配比：此部份為廠商自評填寫，主要為配比中所使用材料之產地與成分性質等證明文件與採用之水灰比、水膠比、水量、水泥量、卜作嵐含量(P/B)、水泥強度效益計算結果。
- 5.性能評估：此部份分為混凝土新拌性質與硬固性質。
  - (1)新拌性質試驗須檢附有現場監驗人員簽章之證明及試驗照片。
  - (2)硬固性質試驗須檢附有相關實驗室試驗報告及試驗照片。

### 5.3 綠混凝土種類與級等

查核表中不得有任一部份未達合格，並依據各部份所得之分數加總，分為優等與甲等兩種級等。

- 1.綠混凝土查核表共有四部份之評分：
  - (1)有害物質零排放：需全數通過評核表相關檢測項目，如有任一項不通過，即不得進行後續評核作業。
  - (2)拌和廠產製設備、原料管制與人員組織：總分 30 分，及格分數 18 分。
  - (3)綠混凝土配比：
    - (A)申請 G 級綠混凝土者，總分 35 分，及格分數 21 分。
    - (B)申請 R 級綠混凝土者，總分 42 分，及格分數 25 分。
  - (4)綠混凝土性能評估：總分 41 分，及格分數 25 分。
- 2.將各部份所得之分數加總，查詢評核分數正規劃量尺，將正規劃分數依表 R.5.3.1 再分為優等與甲等綠混凝土



表 R.5.3.1 各種類與級等之綠混凝土

	等級	分數
G 類綠混凝土	優等	81~100
	甲等	60~80
R 類綠混凝土	優等	80~100
	甲等	60~79

#### 5.4 廠區設備與相關紀錄複查

為確保綠混凝土之品質穩定，提出驗證之廠商於申請書提出後，須備齊相關作業紀錄以供複查。

## 綠混凝土評核表

申請日期：民國 年 月 日

欲申請項目：G 類綠混凝土 R 類綠混凝土（含再生粗粒料）

公司名稱：\_\_\_\_\_ 公司電話：\_\_\_\_\_

公司傳真：\_\_\_\_\_

公司地址：\_\_\_\_\_

申請驗證廠負責人：\_\_\_\_\_

申請驗證廠聯絡人：\_\_\_\_\_

聯絡人職稱：\_\_\_\_\_ 聯絡電話：\_\_\_\_\_

## 第一部份 有害物質零排放

混凝土材料大量用於日常建築物中，易與人體長時間接觸，為提供使用者一安全無害之使用環境，故依循內政部建築研究所公佈之綠建材通則中之「限制物質評估」規定，檢核綠混凝土所使用材料中之有害物含量是否超出危及環境及人體，以確保使用空間之安全健康及維護生態環境。

- 1.1 「事業廢棄物毒性特性溶出程序 (TCLP)」試驗報告中  
 檢出值未超過規定值? 是 否
- 1.2 不含石棉? 是 否
- 1.3 放射線合於規定值? 是 否

## 第二部份 拌和廠產製設備、原料管制與人員組織

廠驗部分評核項目是為了解預拌廠於混凝土製造過程中是否符合 CNS 3090 預拌混凝土中之相關規定，並於永續發展與節能減碳之觀念下，將再生能源觀念導入混凝土製程中，建立符合綠混凝土義涵之製程。

如預拌廠已通過營建研究院所建立之「中華民國預拌混凝土廠驗證優質混凝土 (GRMC) 驗證」，則此部分於評核時可跳過，直接進入「綠混凝土配比」之評核。

### 2.1 能源使用

- 混凝土產製過程是否使用再生能源? 是 否  
 再生能來源：\_\_\_\_\_

### 2.2 污染防治

- 2.2.1 是否設置洗車池，以清洗及回收預拌車拌和鼓內之  
 餘料? 是 否  
 請說明其處理過程：\_\_\_\_\_
- 2.2.2 是否設置污水沉澱池匯集處理或達標準後再進行  
 排放? 是 否  
 請提供廢水排放證明：\_\_\_\_\_
- 2.2.3 經回收之水是否可在重新利用製程中? 是 否  
 請說明其處理過程：\_\_\_\_\_
- 2.2.4 是否設置化學清洗廢溶液收集槽? 是 否
- 2.2.5 化學清洗劑是否對自然友善的? 是 否  
 請提出化學成分檢驗：\_\_\_\_\_

### 2.3 材料儲存

- 2.3.1 廠內不同種類之水泥膠結料、粒料與化學摻料是否  
 分別設置儲存槽? 是 否

2.3.2 廠內各水泥膠結料與粒料儲存槽是否設置有防止粉塵污染之設施? 是 否

## 2.4 計量拌和

2.4.1 計量設備一年定期執行校正程序? 是 否

2.4.2 拌和設備為全自動控制操作，且具有計時及警示裝置? 是 否

2.4.3 拌和設備於計量拌和時，是否會同步顯示日期及時間、配比編號、所使用之各種膠結材料及化學摻料種類、各材料之設定用量值、實際計量值、殘留值與誤差值? 是 否

2.4.4 拌和設備是否考慮省能耗機械 是 否

## 2.5 運輸設備

2.5.1 輸送設備於使用前，是否清除內部殘留混凝土或雜質? 是 否

2.5.2 輸送設備與混凝土接觸面之材質是否為非鋁質或鋁合金? 是 否

## 2.6 實驗室設備

2.6.1 拌和廠內是否設置有實驗室? 是 否

2.6.2 廠內實驗室是否皆制訂了高流動性混凝土坍流度試驗法、混凝土障礙通過性試驗法、混凝土流下性試驗法及混凝土圓柱試體製作及空氣含量試驗等各項試驗程序? 是 否

## 2.7 原料管制

2.7.1 各項混凝土原料是否制訂檢驗項目、頻率、方法及允收標準? 是 否

2.7.2 各項混凝土原料是否保留供應商檢附之試驗報告? 是 否

2.7.3 各項混凝土原料是否具備完整之入出庫管理紀錄? 是 否

## 2.8 人員組織

2.8.1 廠內是否建立品質管理系統文件，以規範各項作業流程及執行權責? 是 否

2.8.2 廠內是否備有預拌混凝土產製及品管之 CNS 標準及相關規範? 是 否

2.8.3 廠內人員是否定期參與混凝土相關講習課程? 是 否

- 2.8.4 廠內品管人員是否領有丙級以上混凝土技術士證照? 是 否
- 2.8.5 產製之廠區是否已通過「中華民國預拌混凝土廠驗證優質混凝土(GRMC)驗證」? 是 否

### 第三部份 綠混凝土配比

為達成綠混凝土之定義與性質，其配比組成扮演著相當大角色，透過配比的設計達到節能減碳、降低環境衝擊與永續發展之目標；另外並有施工容易、強度合宜、體積穩定、結構耐久與廢棄物和再生材料再利用等性質。

配比編號：\_\_\_\_\_

水灰比 (W/C)	水膠比 (W/B)	拌和 水量 (kg/m <sup>3</sup> )	膠結料 (B)					卜作嵐-膠結料 重量比 (P/B)
			水泥 (C) (kg/m <sup>3</sup> )	卜作嵐摻料 (P)				
				矽灰 (kg/m <sup>3</sup> )	爐石粉 (kg/m <sup>3</sup> )	飛灰 (kg/m <sup>3</sup> )	其他 (kg/m <sup>3</sup> )	

細粒料 (kg/m <sup>3</sup> )	天然 粗粒料 (kg/m <sup>3</sup> )	再生粗粒料 (kg/m <sup>3</sup> )		強塑劑 (kg/m <sup>3</sup> )	其它 化學摻料 (kg/m <sup>3</sup> )
		N 級 再生粗粒料	H 級 再生粗粒料		

3.1 膠結材料來源(請檢附產地來源與相關材料成分性質檢驗文件) 國內 國外  
(勾選“國內”即得1分，“國外”即0分，此項目最多3分)

- 3.1.1 水泥膠結材。  國內  國外
- 3.1.2 飛灰膠結材。  國內  國外
- 3.1.3 爐石膠結材。  國內  國外
- 3.1.4 矽灰膠結材。  國內  國外
- 3.1.5 其他 \_\_\_\_\_ 膠結材。  國內  國外

3.2 粒料來源(請檢附產地來源與相關材料成分性質檢驗文件) 國內 國外  
(勾選“國內”即得1分，“國外”即0分，此項目最多2分)

- 3.2.1 天然粗粒料。  國內  國外
- 3.2.2 人造粗粒料。  國內  國外
- 3.2.3 天然細粒料。  國內  國外

3.3 再生粗粒料來源(附產地來源與相關材料成分性質檢驗文件) 國內 國外  
(勾選“國內”即得1分，“國外”即0分，申請G類綠混凝土免填)

- 3.3.1 再生粗粒料。  國內  國外

3.4 化學摻劑(請檢附產地來源與相關材料成分性質檢驗文件) (勾選“國內”即得1分,“國外”即0分)	國內	國外
3.4.1 減水劑	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3.5 膠結材料(水泥、飛灰、爐石、矽灰及其他)運送距離	分數	勾選
3.5.1 所有膠結材料運送距離未滿 52.72 km。	1	<input type="checkbox"/>
3.5.2 任一膠結材料運送距離超過 52.72 km。	0	<input type="checkbox"/>
3.6 粗細粒料運送距離	分數	勾選
3.6.1 所有粗細粒料運送距離未滿 38.98 km。	1	<input type="checkbox"/>
3.6.1 任一粗細粒料運送距離超過 38.98 km。	0	<input type="checkbox"/>
3.7 減水劑材料運送距離	分數	勾選
3.7.1 減水劑材料運送距離未滿 58.24 km。	1	<input type="checkbox"/>
3.7.1 減水劑材料運送距離未滿 58.24 km。	0	<input type="checkbox"/>
3.8 拌和水量	分數	勾選
3.8.1 拌和水量未滿 130kg/m <sup>3</sup> 。	6	<input type="checkbox"/>
3.8.2 拌和水量 131kg/m <sup>3</sup> 至 140kg/m <sup>3</sup> 。	5	<input type="checkbox"/>
3.8.3 拌和水量 141kg/m <sup>3</sup> 至 150kg/m <sup>3</sup> 。	4	<input type="checkbox"/>
3.8.4 拌和水量 151kg/m <sup>3</sup> 至 160kg/m <sup>3</sup> 。	3	<input type="checkbox"/>
3.8.4 拌和水量 161kg/m <sup>3</sup> 至 170kg/m <sup>3</sup> 。	2	<input type="checkbox"/>
3.8.4 拌和水量 171kg/m <sup>3</sup> 以上。	1	<input type="checkbox"/>
3.9 使用水灰比(W/C)	分數	勾選
3.9.1 水灰比 0.51 以上。	3	<input type="checkbox"/>
3.9.2 水灰比 0.43 至 0.50。	2	<input type="checkbox"/>
3.9.3 水灰比低於 0.42。	1	<input type="checkbox"/>
3.10 使用水膠比(W/B)	分數	勾選
3.10.1 水膠比低於 0.30。	5	<input type="checkbox"/>
3.10.2 水膠比 0.31 至 0.35。	4	<input type="checkbox"/>
3.10.2 水膠比 0.36 至 0.40。	3	<input type="checkbox"/>
3.10.3 水膠比 0.41 至 0.45。	2	<input type="checkbox"/>
3.10.4 水膠比 0.46 以上	1	<input type="checkbox"/>
3.11 水泥用量	分數	勾選
3.11.1 水泥用量未滿 150 kg/m <sup>3</sup> 。	6	<input type="checkbox"/>

3.11.2 水泥用量 151 kg/m <sup>3</sup> 至 200 kg/m <sup>3</sup> 。	5	<input type="checkbox"/>
3.11.3 水泥用量 201 kg/m <sup>3</sup> 至 250 kg/m <sup>3</sup> 。	4	<input type="checkbox"/>
3.11.4 水泥用量 251 kg/m <sup>3</sup> 至 300 kg/m <sup>3</sup> 。	3	<input type="checkbox"/>
3.11.5 水泥用量 301 kg/m <sup>3</sup> 至 350 kg/m <sup>3</sup> 。	2	<input type="checkbox"/>
3.11.6 水泥用量 351 kg/m <sup>3</sup> 以上。	1	<input type="checkbox"/>
3.12 卜作嵐-膠結料重量比(P/B)	分數	勾選
3.12.1 卜作嵐-膠結料重量比 0.51 以上。	6	<input type="checkbox"/>
3.12.2 卜作嵐-膠結料重量比 0.41 至 0.5。	5	<input type="checkbox"/>
3.12.3 卜作嵐-膠結料重量比 0.31 至 0.4	4	<input type="checkbox"/>
3.12.4 卜作嵐-膠結料重量比 0.21 至 0.3。	3	<input type="checkbox"/>
3.12.5 卜作嵐-膠結料重量比 0.11 至 0.2。	2	<input type="checkbox"/>
3.12.6 卜作嵐-膠結料重量比未滿 0.1。	1	<input type="checkbox"/>
3.13 再生粗粒料用量 (申請 G 類綠混凝土免填)	分數	勾選
3.13.1 取代 91%以上之天然粗粒料重量。	6	<input type="checkbox"/>
3.13.2 取代 71%至 90%之一般粗粒料重量。	5	<input type="checkbox"/>
3.13.3 取代 51%至 70%之一般粗粒料重量。	4	<input type="checkbox"/>
3.13.4 取代 31%至 50%之一般粗粒料重量。	3	<input type="checkbox"/>
3.13.5 取代 11%至 30%之一般粗粒料重量。	2	<input type="checkbox"/>
3.13.6 取代一般粗粒料重量不足 10%。	1	<input type="checkbox"/>



## 第四部份 綠混凝土性能評估

為檢核依前部分配比所製造之混凝土能達到綠混凝土相關性質要求，故進行下列新拌與硬固性質檢驗，另外因配比中採用卜作嵐材料，為驗證其長期性質，所以硬固試驗結果皆採用 56 天齡期為主。

- (1).新拌部分：坍度、坍流度、泌水析離與搗實作業  
 (2).硬固部分：抗壓強度、水泥強度效益、表面狀況、氯離子穿透與表面電阻

### (I) 新拌性質

4.1 坍度試驗	分數	勾選
4.1.1 坍度達 281 mm 以上。	8	<input type="checkbox"/>
4.1.2 坍度達 251 mm 至 280 mm。	7	<input type="checkbox"/>
4.1.3 坍度達 221 mm 至 250 mm。	6	<input type="checkbox"/>
4.1.4 坍度達 191 mm 至 220 mm。	5	<input type="checkbox"/>
4.1.5 坍度達 161 mm 至 190 mm。	4	<input type="checkbox"/>
4.1.6 坍度達 131 mm 至 160 mm。	3	<input type="checkbox"/>
4.1.7 坍度達 101 mm 至 130 mm。	2	<input type="checkbox"/>
4.1.8 坍度達 100 mm 以下。	1	<input type="checkbox"/>
4.2 坍流度試驗	分數	勾選
4.2.1 坍流度達 651 mm 以上。	7	<input type="checkbox"/>
4.2.2 坍流度達 621 mm 至 650 mm。	6	<input type="checkbox"/>
4.2.3 坍流度達 591 mm 至 620 mm。	5	<input type="checkbox"/>
4.2.4 坍流度達 561 mm 至 590 mm。	4	<input type="checkbox"/>
4.2.5 坍流度達 531 mm 至 560 mm。	3	<input type="checkbox"/>
4.2.6 坍流度達 501 mm 至 530 mm。	2	<input type="checkbox"/>
4.2.7 坍流度 500 mm 以下。	1	<input type="checkbox"/>
4.3 析離 / 泌水檢視 (目視法)	分數	勾選
4.3.1 沒有任何析離 / 泌水情形。	1	<input type="checkbox"/>
4.3.2 有明顯析離 / 泌水情形。	0	<input type="checkbox"/>
4.4 搗實作業	分數	勾選
4.4.1 不須搗實或在現場僅進行輕微搗實。	1	<input type="checkbox"/>
4.4.2 須依 ACI 309R-05 規範進行搗實。	0	<input type="checkbox"/>

(II) 硬固性質 (56 天齡期為基準)

4.5 水泥強度效益 (56 天抗壓強度(kgf/cm <sup>2</sup> )/ 水泥使用量 (kg)) 分數		勾選
4.5.1 水泥強度效益達 4.21 以上。	7	<input type="checkbox"/>
4.5.2 水泥強度效益達 3.6 至 4.2。	6	<input type="checkbox"/>
4.5.3 水泥強度效益達 2.9 至 3.5。	5	<input type="checkbox"/>
4.5.4 水泥強度效益達 2.2 至 2.8。	4	<input type="checkbox"/>
4.5.5 水泥強度效益達 1.5 至 2.1。	3	<input type="checkbox"/>
4.5.6 水泥強度效益達 0.8 至 1.4。	2	<input type="checkbox"/>
4.5.7 水泥強度效益低於 0.7。	1	<input type="checkbox"/>
4.6 表面狀況 (勾選“是”即得 1 分)	分數	勾選
4.6.1 拆模後表面無蜂窩或空洞。	1	<input type="checkbox"/>
4.6.2 拆模後表面有蜂窩或空洞。	0	<input type="checkbox"/>
4.6.3 拆模後表面無粉灰或泥灰浮於表面。	1	<input type="checkbox"/>
4.6.4 拆模後表面有粉灰或泥灰浮於表面。	0	<input type="checkbox"/>
4.6.5 拆模後表面裂縫寬不超過 0.2 mm。	1	<input type="checkbox"/>
4.6.6 拆模後表面裂縫寬超過 0.2 mm。	0	<input type="checkbox"/>
4.6.7 拆模後表面裂縫長不超過 100 mm?	1	<input type="checkbox"/>
4.6.8 拆模後表面裂縫長超過 100 mm?	0	<input type="checkbox"/>
4.6.9 表面平整無爆模突起現象?	1	<input type="checkbox"/>
4.6.10 表面平整是有爆模突起現象?	0	<input type="checkbox"/>
4.6.11 表面無大量修補痕跡 (不超過檢查點面積 10%)	1	<input type="checkbox"/>
4.6.12 表面大量修補痕跡 (超過檢查點面積 10%)	0	<input type="checkbox"/>
4.6.13 拆模後表面可不再貼覆磁磚?	1	<input type="checkbox"/>
4.6.14 拆模後表面需貼覆磁磚?	0	<input type="checkbox"/>
4.7 氯離子穿透性 (通過電荷量表示法)	分數	勾選
4.7.1 通過電荷量未滿 100 庫倫。	5	<input type="checkbox"/>
4.7.2 通過電荷量 101 庫倫至 1000 庫倫。	4	<input type="checkbox"/>
4.7.3 通過電荷量 1001 庫倫至 2000 庫倫。	3	<input type="checkbox"/>
4.7.4 通過電荷量 2001 庫倫至 4000 庫倫。	2	<input type="checkbox"/>
4.7.5 通過電荷量超過 4001 庫倫。	1	<input type="checkbox"/>
4.8 潮濕混凝土表面電阻	分數	勾選
4.8.1 表面電阻值 61kΩ-cm 以上	5	<input type="checkbox"/>
4.8.2 表面電阻值 41kΩ-cm 至 60kΩ-cm	4	<input type="checkbox"/>
4.8.3 表面電阻值 21kΩ-cm 至 40kΩ-cm	3	<input type="checkbox"/>

- 4.8.4 表面電阻值 11kΩ-cm 至 20kΩ-cm 2
- 4.8.5 表面電阻值超過 10kΩ-cm 以下 1

各部分評分合格標準：(一格“是”即一分)

各評核部份	分數	評核結果	
第一部份 需完全通過評核項目	無	<input type="checkbox"/> 合格	<input type="checkbox"/> 不合格
第二部份 共 30 分 (合格分數：18 分)	_____	<input type="checkbox"/> 合格	<input type="checkbox"/> 不合格
第三部份 申請 G 級綠混凝土 共 35 分 (合格分數：21 分)	_____	<input type="checkbox"/> 合格	<input type="checkbox"/> 不合格
申請 R 級綠混凝土 共 42 分 (合格分數：25 分)	_____	<input type="checkbox"/> 合格	<input type="checkbox"/> 不合格
第四部份 共 41 分 (合格分數：25 分)	_____	<input type="checkbox"/> 合格	<input type="checkbox"/> 不合格
分數小計	_____		

依上述各部分評核分數小計結果，查詢評核分數正規劃量尺，將各類綠混凝土分為以下等級分類：

種類	等地	分數
G 類綠混凝土	優等	80~100
	甲等	60~79
R 類綠混凝土	優等	80~100
	甲等	60~79

總評核分數為：\_\_\_\_\_

據此結果評定應為：

<input type="checkbox"/> 優等	G 類綠混凝土
<input type="checkbox"/> 甲等	
<input type="checkbox"/> 優等	R 類綠混凝土
<input type="checkbox"/> 甲等	

高性能 G 類綠混凝土評核分數轉換表

種類	原始分數	轉換分數
優等高性能 G 類混凝土	86~106	81~100
甲等高性能 G 類混凝土	64~85	60~80

甲等

原始分數	轉換分數
64	60
65	61
66	62
67	63
68	64
69	65
70	66
71	67
72	68
73	69
74	70
75	70
76	71
77	72
78	73
79	74
80	75
81	76
82	77
83	78
84	79
85	80

優等

原始分數	轉換分數
86	81
87	82
88	83
89	84
90	85
91	86
92	87
93	88
94	89
95	89
96	90
97	91
98	92
99	93
100	94
101	95
102	96
103	97
104	98
105	99
106	100

高性能 R 類綠混凝土評核分數轉換表

種類	原始分數	轉換分數
優等高性能 R 類混凝土	91~113	80~100
甲等高性能 R 類混凝土	68~90	60~79

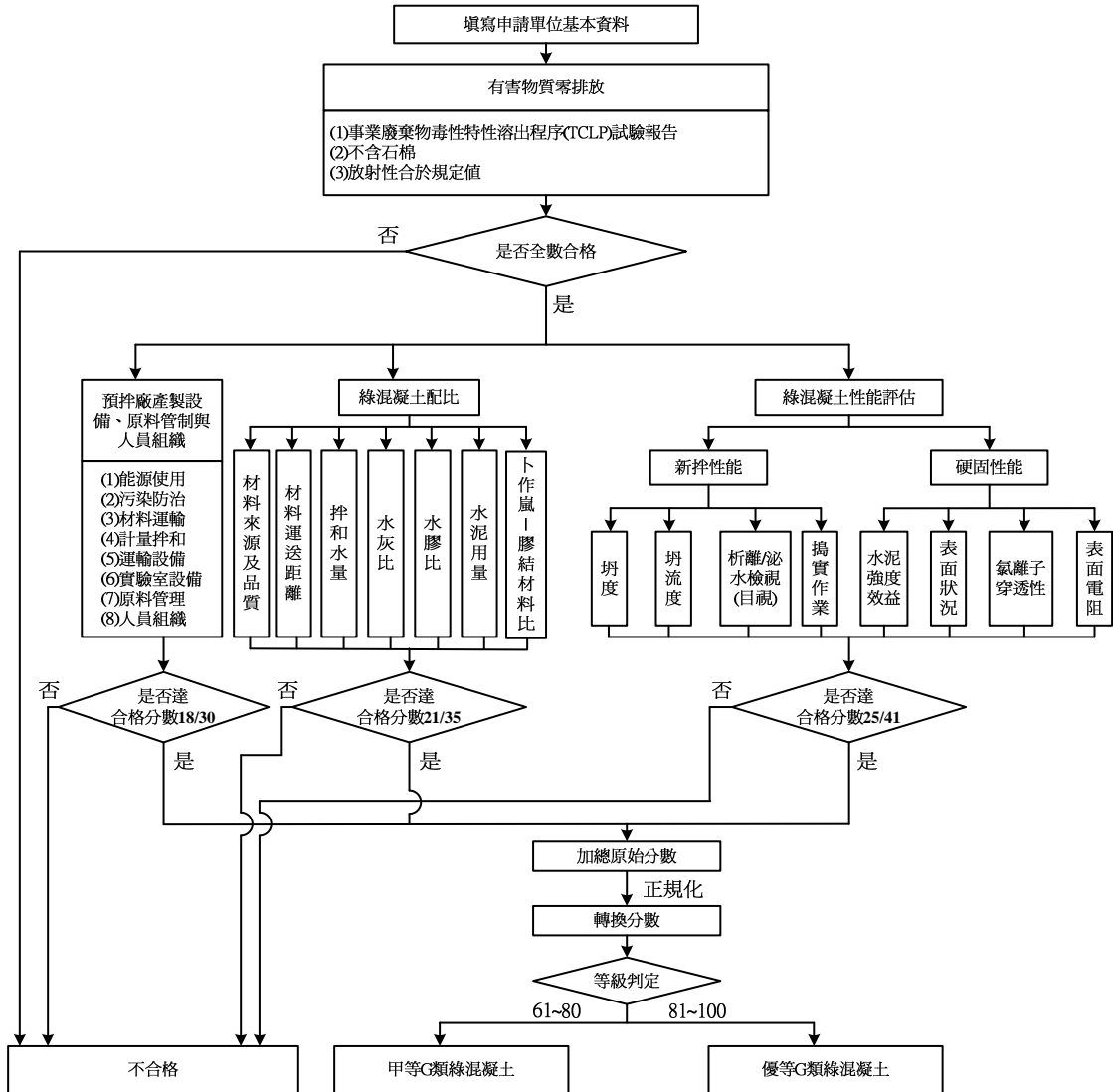
甲等

原始分數	轉換分數
68	60
69	61
70	62
71	63
72	64
73	65
74	65
75	66
76	67
77	68
78	69
79	70
80	71
81	72
82	73
83	73
84	74
85	75
86	76
87	77
88	78
89	79
90	79

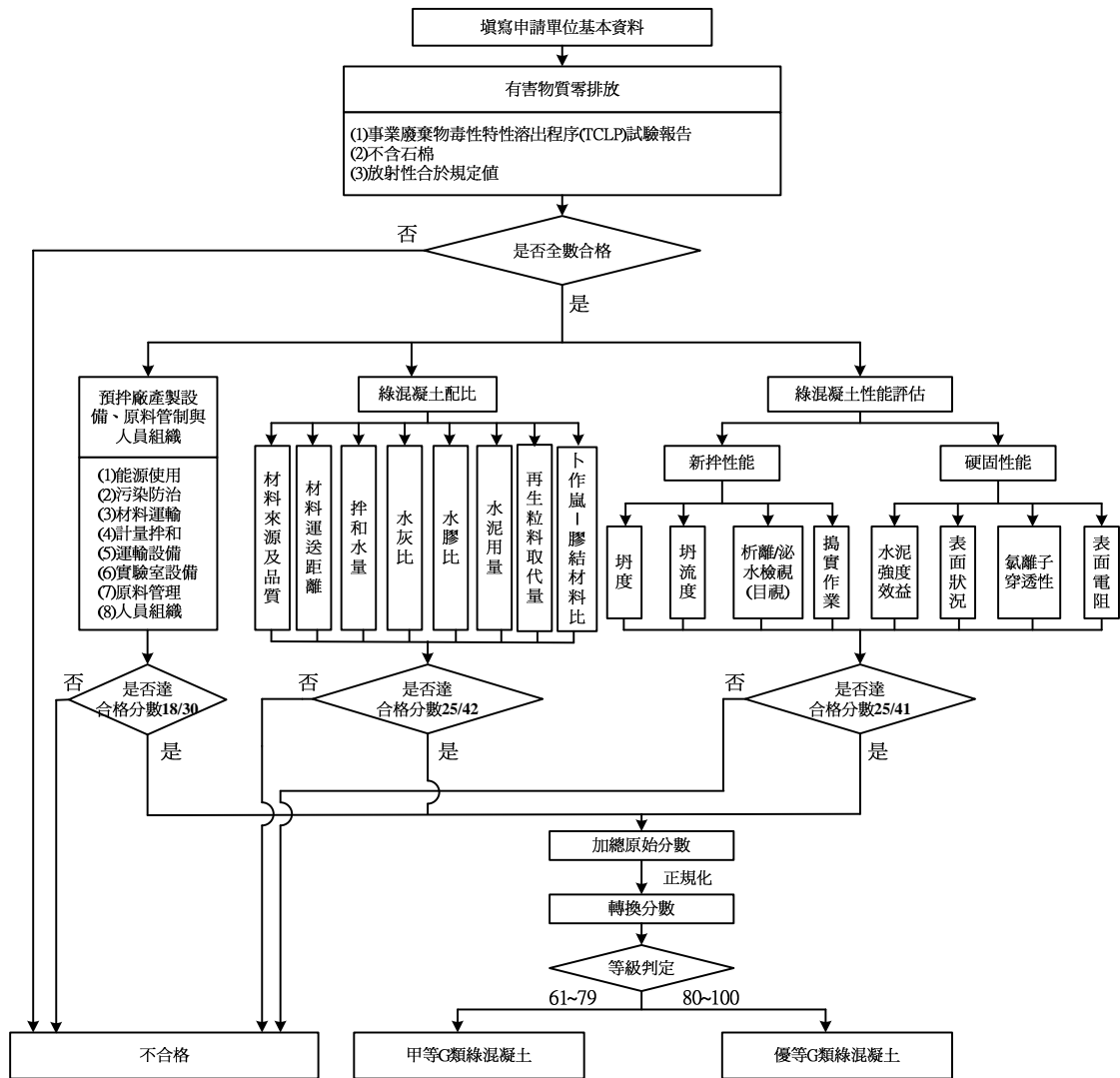
優等

原始分數	轉換分數
91	80
92	81
93	82
94	83
95	84
96	85
97	86
98	87
99	88
100	88
101	89
102	90
103	91
104	92
105	93
106	94
107	95
108	96
109	96
110	97
111	98
112	99
113	100

評核流程圖



附錄圖 2.1 G 類綠混凝土評核流程圖



附錄圖 2.2 R 類綠混凝土評核流程圖





## 參考書目

1. Portland Cement Association (PCA), “Building Green with Concrete”,  
<[http://www.cement.org/buildings/green\\_leed.asp](http://www.cement.org/buildings/green_leed.asp)>
2. National Ready Mixed Concrete Association, “Concrete: Meeting today’s needs without compromising the future”, <<http://www.greenconcrete.info>>
3. Cement Association of Canada, “Concrete: The Sustainable Construction Material”,  
<[http://www.cement.ca/index.php/en/Concrete\\_Applications/Concrete\\_Applications.html](http://www.cement.ca/index.php/en/Concrete_Applications/Concrete_Applications.html)>
4. National Association of Home Builders (NAHB), American National Standards Institute (ANSI), and International Code Council (ICC), “ICC 700-2008 National Green Building Standard”, 2009.
5. U.S. Green Building Council (USGBC), “LEED Reference Guide for Green Building Design and Construction”, 2009.
6. RMC Research Foundation, “Ready Mixed Concrete Industry LEED Reference Guide”, 2009, <[http://www.rmc-foundation.org/Env\\_Health\\_Safety\\_Track.htm](http://www.rmc-foundation.org/Env_Health_Safety_Track.htm)>
7. M. S. Khan, “Environment-Friendly Concrete (EFC) for Green Highways”,  
<<http://www.greenhighways.org/Template.cfm?FrontID=5060>>
8. P. K. Mehta, “Reducing the Environmental Impact of Concrete”, Concrete International, Vol. 23, No.10, p 61-66, 2001.
9. P. K. Mehta, “Concrete Technology for Sustainable Development”, Concrete International, Vol.21, No.11, p 47-53, 1999.
10. P. K. Mehta, “Making Concrete Greener with Fly Ash”, Concrete International, Vol.21, No.05, p 61-66, 1999.
11. P. K. Mehta, “Global Concrete Industry Sustainability”, Concrete International, Vol.31, No.02, p 45-48, 2009.

12. D. A. Gottfried, “Sustainable Building Technical Manual”, Public Technology, Inc., 1996
13. V. Penttala, “Concrete and Sustainable Development”, ACI Materials, Vol.94,No.05, p 409-416, 2009.
14. J.S. Damtoft, J. Lukasik, D. Herfort, D. Sorrentino and E.M. Gartner, “Sustainable development and climate change initiatives”, Cement and Concrete Research, Vol. 38, p 115-127, 2008.
15. Glavind, M., Munch-Petersen,Chr., Berrig, A. and Petersen, Erik Steen, Damtoft, Jesper S.,“Green Concrete for the Future”, CANMET/ACI International Symposium on Sustainable Development of the Cement and Concrete Industry, 1998.
16. Munch-Petersen, Chr., “Resource Saving Concrete Structures- the need for New Technology”, Nordic Concrete Research 17th Symposium,1999.
17. Edvardsen, C., COWI, and Tølløse, K., “Environmental Green Concrete Structure”, FIB symposium Concrete and Environment, 2001.
18. Glavind, Mette, and Mathiesen, Dorthe, Danish Technological Institute, published in proceedings from XVIIIth Nordic Concrete Research Symposium, Hels, 2002.
19. Claus Vestergaard Nielsen and Mette Glavind, “Danish Experiences with a Decade of Green Concrete”, Journal of Advanced Concrete Technology, Vol. 5, No. 1, p 3-12, 2007.
20. Claus Pade and Maria Guimaraes, “The CO2 uptake of concrete in a 100 year perspective”, Cement and Concrete Research, Vol. 37, p1348-1356, 2007.
21. fédération internationale du béton < <http://fib.epfl.ch>>
22. コンクリートの環境負荷評価研究小委員会：コンクリートの環境負荷評価，コンクリート技術シリーズ，No.44，(社) 土木学会，2002

23. 環境対応型コンクリートの環境影響手法の構築研究委員会報告書，日本コンクリート工学協会，2007
24. 鉄筋コンクリート造建築物の環境配慮施工指針（案）・同解説，日本建築学会，2008
25. コンクリートの環境性能評価法と環境配慮型調合設計法の提案，コンクリート工学年次論文集，Vol.28, No.1, 2006
26. 環境配慮型材料設計のためのコンクリートの環境負荷性評価，コンクリート工学年次論文集，Vol.29, No.1, 2007
27. 史波，綠色混凝土及其工程應用，建築技術，2004。
28. 姚武，綠色混凝土，化學工業出版社，2005。
29. 劉傳忠，綠色混凝土的發展及應用，國外建材科技，2008。
30. 王安嶺，路來軍，韓素芳，綠色高性能混凝土評價方法的建立，全國高性能混凝土和礦物摻合料的研究與工程應用技術交流會論文集，p.145-148，廣東珠海，2006。
31. Glavind, M. and Munch-Petersen, Chr., Concrete Centre, Danish Technological Institute, "Green concrete in Denmark", published in Structural Concrete, Journal of the fib, Volume 1, No. 1, March 2000, page 19-25.
32. 內政部建築研究所，綠建材解說與評估手冊，2007。
33. 詹氏書局，建築技術規則，2009。
34. 馮炳勳，台灣水泥業因應二氧化碳排放減量策略之研究，博士論文，國立成功大學資源工程研究所，2006。
35. 行政院公共工程委員會，公共工程高爐石混凝土使用手冊，1999。  
<[http://www.pcc.gov.tw/upload/article/g\\_2.doc](http://www.pcc.gov.tw/upload/article/g_2.doc)>
36. 行政院公共工程委員會，公共工程飛灰混凝土使用手冊，1999。  
<[http://www.pcc.gov.tw/pccap2/BIZSfront/upload/article/g\\_5.doc](http://www.pcc.gov.tw/pccap2/BIZSfront/upload/article/g_5.doc)>
37. 黃兆龍，卜作嵐混凝土使用手冊，詹氏書局，2007。

38. 日本土木學會，高爐石粉末應用於混凝土施工指針，平成 8 年。
39. 內政部建築研究所，再生混凝土施工規範草案，2006。

綠混凝土性質與指標之研究

出版機關：內政部建築研究所

電話：(02)8912-7890

地址：台北縣新店市北新路三段 200 號 13 樓

網址：<http://www.abri.gov.tw>

編者：張大鵬、黃兆龍、施正元、陳君弢、邱建國、陳柏存、  
楊宗叡、沈伯豪

出版年月：98 年 12 月

版次：初版

ISBN: 978-986-02-1564-9