

「建築循環設計構件材料循環度之評估研究」

內政部建築研究所委託研究報告

中華民國 111 年 12 月

(本報告內容及建議，純屬研究小組意見，不代表本機關意見)

1115G0007
PG11102-0016

「建築循環設計構件材料循環度之評估研究」

受委託者：財團法人台灣建築中心
研究主持人：王婉芝
協同主持人：黃榮堯
研究員：紀宏穎、林維欣
研究助理：陳怡安
研究期程：中華民國 111 年 1 月至 111 年 12 月
研究經費：新臺幣 98.967 萬元

內政部建築研究所委託研究報告

中華民國 111 年 12 月

(本報告內容及建議，純屬研究小組意見，不代表本機關意見)

目次

目次.....	I
表次.....	III
圖次.....	V
摘要.....	VII
ABSTRACT.....	XI
第一章 緒論.....	1
第一節 計畫緣起與目的	1
第二節 研究背景	1
第三節 研究方法與流程	4
第四節 預期成果	5
第五節 計畫執行期程	6
第二章 國內外建築構件與材料循環度評估方法	7
第一節 國內外發展現況	7
第二節 國內外循環度評估方法與計算方式	20
第三節 國內外循環建材之認證來源	40
第三章 研擬國內建築構件與材料循環度評估方法	61
第一節 循環度評估方法	61
第二節 簡易版循環度評估方法及計算	65
第三節 簡易版計算之循環建材認定來源	66
第四章 案例試算與分析.....	77
第一節 簡易版公式計算流程	77
第二節 案例試算	81
第三節 案例分析	91
第四節 完整版公式試算	97
第五節 案例試算小結	98
第六節 建築構件與材料循環度評估應用推動建議	99
第五章 專家學者諮詢會議.....	103
第一節 會議辦理程序	103
第二節 專家學者意見及回應	104

第六章 結論與建議.....	107
第一節 結論	107
第二節 建議	107
附錄一 C2C 認證產品標準 4.0 版之產品循環性要求.....	109
附錄二 歐盟循環經濟監控框架指標項目	111
附錄三 取得再生、生態綠建材、環保標章與資源再生綠色產品認定之建材產品 彙整表.....	113
附錄四 案例試算資訊表.....	127
附錄五 各審查會議意見回覆表.....	149
附錄六 專家諮詢會議紀錄.....	163
參考資料.....	168

表 次

表 1-1 計畫期程表	6
表 2-1 C2C 認證產品標準 (3.1 版) 材料循環再利用性各等級標準.....	9
表 2-2 重新分類有關建築物循環度之 KPI.....	14
表 2-3 我國國家層級指標項目	19
表 2-4 我國 100-109 年國內循環利用率.....	19
表 2-5 國內外評估方法架構彙整表(1/2)	20
表 2-5 國內外評估方法架構彙整表(2/2)	21
表 2-6 歐盟統計局 CMU 評估系統.....	23
表 2-7 循環利用量種類及計算方式	24
表 2-8 C2C 材料再利用項目定義.....	25
表 2-9 MCI 計算公式彙整表	27
表 2-10 BCI 採用之可拆解設計關鍵因子權重分數	32
表 2-11 建築物系統層級之循環度重要性指數	33
表 2-12 BCI 計算公式彙整表	33
表 2-13 歐盟 2020 年公佈之關鍵原料表	35
表 2-14 【保護環境】指標評估項目	36
表 2-15 「營建循環度指標」材料物質流平衡計算公式彙整表	38
表 2-16 環保標章-建材類之產品規格標準	41
表 2-17 「資源再生綠色產品」類別	50
表 2-18 綠建材使用比例規定	57
表 2-19 綠建材之認可	57
表 2-20 綠建材使用率計算標準	58
表 3-1 國內外循環度評估方法之評估因子彙整表	62
表 3-2 取得再生綠建材標章之廠商數統計表.....	66
表 3-3 取得生態綠建材標章之廠商數統計表.....	68
表 3-4 取得環保標章之廠商數統計表.....	69
表 3-5 取得資源再生綠色產品之廠商數統計表.....	76
表 4-1 計算原則	79
表 4-2 計算操作原則	80

表 4-3 評估案例之基本資料表	81
表 4-4 評估案例之循環建材認證建材使用情形彙整表.....	82
表 4-5 結構建材之使用統計表.....	84
表 4-6 混凝土建材之使用情境.....	84
表 4-7 裝修建材之使用統計表.....	86
表 4-8 天花板建材使用情境(此示範計算用天花板為例).....	87
表 4-9 敷地景觀建材之使用統計表	88
表 4-10 高壓混凝土磚之使用情境(此示範計算用高壓混凝土磚為例)	89
表 4-11 整體建築構件材料循環度統計表	90
表 4-12 五個案例基本資料表	91
表 4-13 五個案例基本資料表	95
表 4-14 五個案例基本資料表.....	96
表 4-15 面磚完整公式計算過程	97
表 4-16 建築構件與材料循環度評估之應用與推動比較表	101

圖 次

圖 1-1 循環經濟蝴蝶圖(左邊為生物資源循環，右邊為工業資源循環).....	2
圖 1-2 建築循環設計架構.....	3
圖 1-3 工作項目執行流程圖.....	5
圖 2-1 C2C 生物循環與工業循環示意圖.....	8
圖 2-2 C2C(3.0 版)認證之五個等級認證標章.....	9
圖 2-3 工業材料物質流及影響循環指標的變數.....	10
圖 2-4 材料系統層級.....	12
圖 2-5 建築物層級.....	12
圖 2-6 工業材料循環度評估模型.....	14
圖 2-7 歐盟循環經濟監控框架.....	15
圖 2-8 2020 年歐盟物質流(十億噸/年)示意圖.....	16
圖 2-9 行政院環保署資源回收再利用推動策略架構.....	18
圖 2-10 工業材料物質流及影響循環指標的變數.....	27
圖 2-11 材料物質流平衡示意圖：子物件的材料投入與產出流.....	37
圖 2-12 接續生命週期之物質平衡將納入未來評估方法中.....	40
圖 4-1 計算流程圖.....	78
圖 4-2 三分項循環度計算結果.....	89
圖 4-3 五個案例循環度占比圖.....	94
圖 4-4 五個案例循環度情境模擬計算結果(T=100).....	96

摘要

關鍵詞：建築構件材料循環度、循環度計算、建築循環度指標、建築循環設計、循環經濟

一、研究緣起

營建及建築產業每年耗費大量資源及原生材料，面臨地球資源耗竭、氣候變遷、生態破壞及環境污染等問題，近年先進國家積極摸索將循環經濟發展的理念導入於建築之規劃設計中，尤其歐盟包括荷蘭等國家近年來提倡"建材銀行"、"建材履歷"等概念，將建築物當作建材物資的倉庫 (Building as a material bank, BAMB)，希望將建築構件重複使用以減少天然建材資源之耗用，並帶動循環經濟的發展。荷蘭甚至訂定目標，到 2050 年建築物的新建物將不再使用任何新的天然材料(virgin materials)，故未來建築應用各類回收資源循環再利用作為建材，將在建築領域循環經濟的發展扮演關鍵的重要角色。本研究嘗試針對國內建築產業環境，研擬建築循環設計構件材料循環度評估方法，作為國內發展建築循環設計，未來訂定應用各類回收資源循環再利用作為建材的政策之有效評估與管理工具，逐步引導及提升國內建築構件與材料之循環度。

二、研究方法與過程

本研究藉由蒐集國內外文獻進行歸納、整理及分析比較，協助本研究瞭解建築構件材料循環度之計算方法、適用之評估範疇、方法限制，以及資料類型等；另輔以個案研究法，以實際數據驗證所研擬建築構件材料循環度評估方式之正確性。此外，藉由諮詢專家學者進一步探討評估方法之合理性與適用性，研擬客觀有效的評估分析方法，作為國內發展建築循環設計，未來應用各類回收資源循環再利用作為建材的評估工具。

- (一) 文獻回顧法：蒐集國內外建築構件材料循環度計算評估之相關文獻資料與案例，如中英文專書、期刊論文、研究報告等資料，分析與歸納材料循環度的計算方法，以研擬國內建築構件材料循環度評估方式，包括評估範疇、計算方式、資料來源等。
- (二) 個案研究法：針對國內建築案例進行試算，依據相關事實資料驗證所研擬建築構件材料循環度評估方式之正確性。
- (三) 專家座談法：邀集相關領域專家／建築師舉辦專家會，獲取專家們專業的實務意見及觀點，協助本研究檢視所研擬建築構件材料循環度評估方式之合理性與適用性。

三、研究成果

(一) 蒐集國內外建築構件材料循環度評估方法

本研究蒐集 2 項國家層級之資源循環使用率評估方式，及 4 項系統(產品)層級之材料循環度評估系統，涵蓋範疇包含國家材料物質流、各類生產製造的產品材料、建築物或營建工程相關領域，依評估方式及計算，需取得繁多資訊，始能評估。就我國推動建築構件材料循環度評估，尚多材料資訊仍未完備，鑒於建材使用回收材料經第三方認證制度已行之多年，結合現有認證制度能作為評估建築構件材料循環度之參考。

(二) 研擬建築構件材料循環度之評估方法

本研究建立完整版與簡易版公式以利建築循環設計構件材料循環度之評估，不但考量建築材料使用回收材料多寡，並結合國內綠建材標章(再生及生態)、環保標章、資源再生綠色產品等第三方認證機制，和參考國內市場已有認證回收材料之建材，代表建築設計能考量選定具回收材料之建材，以建築常使用回收材料之「結構」、「裝修」及「敷地景觀」為評估項目，並評估使用回收材料比例，作為建築構件材料循環度之評估方法。

(三) 蒐集案例試算結果

本次研究中五棟建築案例試算均採用簡易版公式操作，完整版公式因目前所需帶入參數的現有資料不足，仍有待進一步資料蒐集，因此只先採用面磚作為示範案例。

本研究蒐集興建階段之辦公(2 案)、集合住宅(2 案)及學校(1 案)等類型建築，共計試算 5 個案例。我國法規無規定建築設計需使用具回收材料之建材比例，因此本研究所取得建築工程材料預算書所含材料預算沒有詳列是否使用具綠建材標章(再生及生態)、環保標章、資源再生綠色產品等建材，故本研究計算分別模擬建築已使用 30%、50%、100%具有標章之建材情境下，所能獲得的建築構件材料循環度，並且將計算結果區分為「結構」、「裝修」及「敷地景觀」此三個評估項目。

經試算後建築構件材料循環度結果為，辦公 24.2%及 28%、集合住宅 16.09%及 22.4%、學校 23.55%。

(四) 評估方法正確性判讀

本研究已研擬出簡易版與完整版兩種建築循環設計構件材料循環度之評估公式，簡易版公式經案例試算結果可見能被應用至現行建築設計中，且大致上能夠正確性判讀建築循環度。而完整版公式如欲達成完整建築循環度計算仍有賴資料進一步蒐集，但本研究已呈現其所能夠被應用在計算面磚這類材料的可用性。

四、重要發現

本研究提出此兩個版本的公式，簡易版計算方式較為簡便，完整版除了可以對建築整體循環度進行評估外，也同時考量再生建材的使用壽命與使用性能等因子，具有通盤考量的優勢。透過本研究四個案例試算的過程可以發現，簡易版建築構件材料循環公式有效顯現出三大工程大項中，材料循環度的占比。完整版公式目前資料上尚缺建材產品的實際平均生命週期，其他公式上所需的項目資料則並非所有建材廠商都對外提供完善資訊。

五、主要建議事項

建議一：

延續循環議題朝可逆式工法進行相關議題研究；立即可行建議

主管機關：內政部建築研究所

協辦機關：財團法人台灣建築中心

本研究已研擬建築物採用構件與建材之循環度評估方法，即能評估建築設計至完工裝修階段皆能評估。目前國外於建築循環利用提出「可逆式建築設計」概念，其對建材完整拆卸與重覆使用之相關工法，有利於提升設計階段導入建築循環度，但能否適用於我國氣候環境特性、建築預鑄化及模組化成為可逆式設計潛力，藉由技術面、法規面及市場面初步探討可逆式建築設計於國內推廣應用的可行性與後續發展必要的配套措施，作為國家建築循環設計與永續城市發展政策策略訂定之參考。

建議二：

後續簡化公式之應用；中長期建議

主管機關：內政部建築研究所

協辦機關：財團法人台灣建築中心

簡易版循環度評估方法透過案例試算後，能簡易計算建築構件材料循環度，為推廣建築構件材料循環度，逐步提升建材產品使用回收材料程度，需訂定相關政策管理，始能達成，因此對後續未來應用方向，提出三種建議可行的方案，分別為1.納入綠建築標章之二氧化碳減量及廢棄物減量指標之評估項目、2.建立建築構件材料循環度之推動方案、3.訂定建築構件材料循環度相關規範，此三種規範都各有其優缺，並有待更進一步的研究來研擬相關細節策略。

建議三：

推廣建築構件與材料取得循環相關認證；中長期建議

主管機關：內政部建築研究所

協辦機關：財團法人台灣建築中心

為增加工程材料循環度，未來環保標章與再生、永續綠建材仍有再擴大的空間，期許增加可涵蓋的範圍，也進一步推廣並協助建材廠商取得相關認證，讓建築相關設計工作者可以在早期設計階段就可以有更佳豐富的循環建材可供選擇，進而達成循環經濟永續發展的理念。

建議四：

持續建立相關基本資料；中長期建議

主管機關：內政部建築研究所

協辦機關：財團法人台灣建築中心

為達成更嚴謹的操作規則讓循環度指標不單只是檢視循環材的使用率，且可以將材料的耐久性等其他性能都納入評估標準範圍中，因此有必要持續建立再生與循環構件材料的相關基本資料，未來朝完整版計算公式方向推動。

ABSTRACT

Keywords: circular economy, building design, recycled material, circularity index

According to statistics, as much as one third of the natural material resources of the earth was consumed by the building construction sector every year. But facing the problem of earth resource depletion, advanced countries have actively explored in recent years to introduce the concept of circular economy development into the planning and design of buildings. The idea is to use as much as possible the recycled materials in building design and construction so that the consumption of natural material resources can be reduced. The Netherlands and other countries in European Union have even set a goal that by 2050 construction of new buildings will no longer use any new natural materials (virgin materials)!

This study develops an operable method for assessing the material circularity of a building design and construction. A thorough literature review and workshop discussions with local architects and experts are conducted to formulate the assessment method. In the method, only those building materials as well as products certified by the local official authorities with labels can be recognized as circular ones. A simplified version of the developed method is then tested out on five building cases in Taiwan to calculate the material circularity of each of them. The five test cases including 2 office, 2 residential and 1 school cases. The resulted material circularity indexes range from 16.09% to 28.0%. Further comparison of the five cases and analysis are reported.

Once the developed method is tested out operable and feasible, three possible approaches to implement the method in regulations to enhance the material circularity of buildings are suggested. According to those approaches, the developed assessing method can be employed in a building's design and construction phases to calculate its material circularity in order to meet the requirement. Thus, the use of circular building materials as well as products can be facilitated. The ultimate goal is to reduce the consumption of natural material resources in building construction.

The overall research recommendations mainly include the following four points:

Suggestion 1

Study on reversible building design. (short-term (immediate) actions)

Organizer: Architecture and Building Research Institute, Ministry of the Interior

Co-organizer: Taiwan Architecture & Building Center

At present, foreign countries put forward the concept of "reversible architectural design" in the recycling of buildings. Its related construction methods for the complete disassembly and reuse of building materials are conducive to improving the introduction of building recycling in the design stage.

Suggestion 2

Application of subsequent simple formula (medium and long-term actions)

Organizer: Architecture and Building Research Institute, Ministry of the Interior

Co-organizer: Taiwan Architecture & Building Center

Three possible proposals are proposed, which are 1. Include the evaluation items of carbon dioxide reduction and waste reduction indicators in the green building label, 2. Establish a promotion plan for the recycling degree of building component materials, and 3. Establish the relevant parameters for the recycling degree of building component materials. These three specifications have their own advantages and disadvantages, and further research is needed to develop relevant detailed strategies.

Suggestion 3

Promote building components and materials to obtain circular-related certification (medium and long-term actions)

Organizer: Architecture and Building Research Institute, Ministry of the Interior

Co-organizer: Taiwan Architecture & Building Center

Increase the recycling of engineering materials. It is expected to increase the scope of coverage, and further promote and assist building material manufacturers to obtain relevant certifications.

Suggestion 4

Continue to establish relevant basic information (medium and long-term actions)

Organizer: Architecture and Building Research Institute, Ministry of the Interior

Co-organizer: Taiwan Architecture & Building Center

It is necessary to continue to establish relevant basic information on recycled and recycled component materials, and push toward the full version of the calculation formula in the future.

第一章 緒論

第一節 計畫緣起與目的

近年來我國與先進國家開始積極摸索將循環經濟發展的理念導入於建築之規劃設計中。尤其歐盟包括荷蘭等國家近年來提倡"建材銀行"、"建材履歷"等概念，將建築物當作建材物資的倉庫 (Building as a material bank, BAMB)，希望將建築構件重複使用以減少天然建材資源之耗用，並帶動循環經濟的發展。荷蘭甚至訂定目標，到 2050 年建築物的新建將不再使用任何新的天然材料(virgin materials)，故未來建築應用各類回收資源循環再利用作為建材，將在建築領域循環經濟的發展扮演關鍵的重要角色。

恢復建築物物料資源價值並回饋至經濟系統中為建築系統循環架構核心理念之一，可減少產業對天然原料的擷取，有效促進資源再利用循環。先進國家亦開始著手研究建築材料循環度(circularity)之計算與評估，例如荷蘭「2023 循環建築平台」(Platform Circular Building 2023，簡稱 CB 23 平台)將建築材料循環度評估分為材料使用數量(The Quantity of Materials Used (Input))、材料可再次循環使用數量(The Quantity of Materials Available for The Next Cycle (Output))以及材料資源損失量(The Quantity of Materials Lost (Output))等三項。其中，材料使用數量又再細分為天然料(primary materials)、二次料(secondary materials)以及稀缺材料 (scarce materials)等項目。

建立材料循環度評估方法有助於支持產品設計和材料採購與環境、社會和經濟效益之權衡，加強國內回收資源在建築產業的循環利用。本研究目的即嘗試針對國內建築產業環境，研擬建築構件材料循環度評估方法，作為國內發展建築循環設計，未來訂定應用各類回收資源循環再利用作為建材的政策之有效評估與管理工具，逐步導引及提升國內建築之材料循環度。

第二節 研究背景

在前期研究中發現，循環設計包含「物料循環」、「能源循環」、「空間循環」、「水循環」及「生物循環」共五大循環，而其中建築循環設計則有三大階段分別為「設計興建」、「維護使用」與「改造翻新」三個建築生命週期階段可導入建築循環設計策略中，而建築循環設計遭遇之主要問題可能源自於法規、技術或市場層面，再依據這些問題研擬出發展方向與研究課題。因此可能的研究方向為發展建築循環設計並有效評估產品材料之循環應用，透過研擬建材再利用率評估方法，作為未來國內訂定各類回收資源循環再利用為建材之政策有效評估與管理工具，逐步提升國內建材再利用率。

現行線性經濟模式在擷取天然原料後製成產品，產品經使用後最終往往成為廢棄物被丟棄，然而地球天然資源有限，線性經濟長期發展下來不僅產生大量廢棄物造成環境污染及生態危機，亦使得仰賴天然資源的經濟活動面臨危機。而循環經濟是一個尋求重建的可恢復及可再生系統，無論是金融、製造、人力、社會或自然資本層面（艾倫·麥克阿瑟基金會，2021），並作為各國政府達成 2050 年氣候中和目標，使經濟增長與天然資源使用脫鉤的策略路徑（歐盟執委會，2020）。

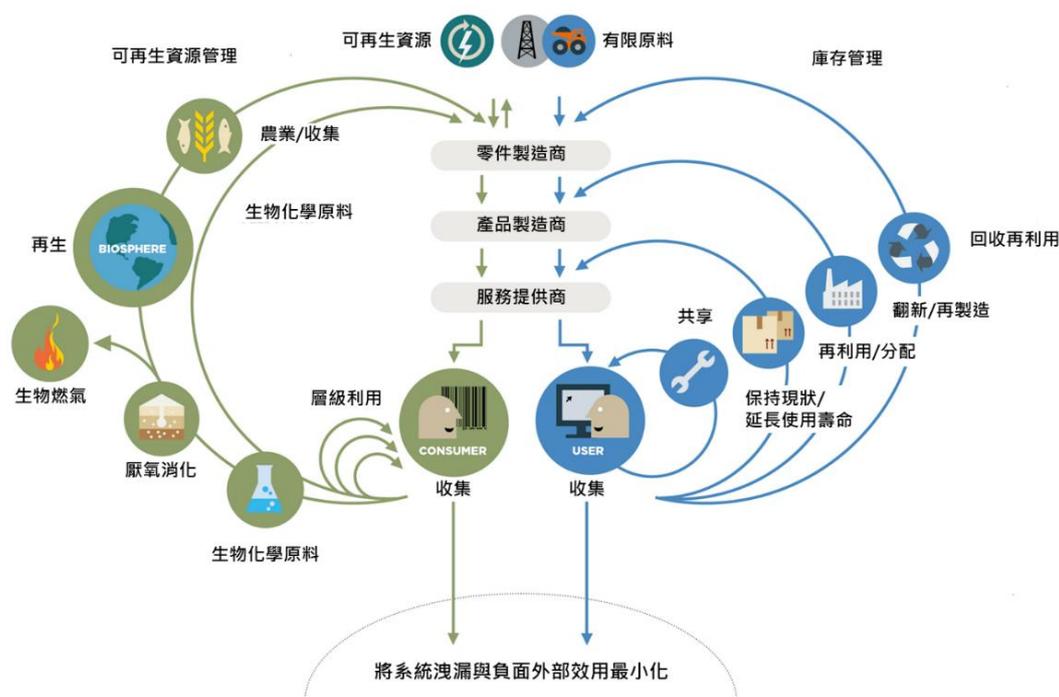


圖 1-1 循環經濟蝴蝶圖(左邊為生物資源循環，右邊為工業資源循環)
圖片來源：艾倫·麥克阿瑟基金會，財團法人臺灣營建研究院轉譯繪製

在循環經濟中，資源、材料及產品的生命週期與價值盡可能被延長和維持，以保護和降低天然原料的需求，並減少廢棄物的產生。艾倫·麥克阿瑟基金會（Ellen Macarthur Foundation，簡稱 EMF）於 2012 年提出「循環經濟蝴蝶圖」，說明了生物性資源（如木材、糧食、水資源等有機材料和產品）可透過生物循環（biological cycle）回歸自然生態系統，達到生物經濟價值再生，而其他材料、組件及產品可透過工業循環（technical cycle），採用維護、維修、再利用、翻新、再製及回收再利用等策略手法，盡可能維持其在市場中的服務價值及壽命。

透過導入循環經濟模式，不僅可減少天然資源之需求，也會為各行業領域帶來降低成本和管理風險，以及增加收入的效益。隨著建築營建產業原物料(如水泥、鋼鐵等)價格攀升，以及面臨材料供應鏈可持續性問題，在產業中導入循環經濟理念已成為現今企業持續發展的重要策略。近年各國政府、國際機構與組織積極探討可導入建築物生命週期的循環經濟模式，在建築規劃設計可採用的「建築循環設計」包括物料、能源、空間、水資源和生物性資源等範疇之循環設計策

略（圖 1-2）。

在建築物設計興建、使用及拆除過程中，物料資源耗用顯著及產生大量廢棄物。國際積極發展可提升建築物料價值利用及再循環潛力的策略，例如導入可提升建築物耐久性、調適性的設計，提倡可逆式組拆、易維修、耐久化等設計；鼓勵採用回收/再生/可回收/具再利用潛力的材料和產品、避免毒性和污染或無法解離的複合材料；以及加強物料循環的環境空間營造策略等，以維護材料的品質並確保資源可被回收再利用。



圖 1-2 建築循環設計架構

圖片來源：內政部建築研究所

越來越多企業期望透過導入循環經濟模式拓展新的契機以確保材料及產品獲得額外附加價值，並從材料供應鏈不穩定及價格波動風險中取得保障。本研究參考國內外材料循環評估方式與計算方法，依據國內建築環境特性擬訂建築構件與材料循環度評估計算方式，期望協助使用者（包含建築師、設計人員、業主、政府機關、廠商等）進一步瞭解採用之建築構件與材料循環程度，作為產品研發及材料選擇之評估工具，為提升循環材料利用、減少廢棄物的方向提供可靠資訊。

第三節 研究方法與流程

壹、研究採用之方法

一、文獻回顧法：

蒐集國內外建築構件材料循環度計算評估之相關文獻資料與案例，如中英文專書、期刊論文、研究報告等資料，分析與歸納材料循環度的計算方法，以研擬國內建築構件材料循環度評估方式，包括評估範疇、計算方式、資料來源等。

二、個案研究法：

針對國內建築案例進行試算，依據相關事實資料驗證所研擬建築構件材料循環度評估方式之正確性。

三、專家座談法：

邀集相關領域專家／建築師舉辦專家會，獲取專家們專業的實務意見及觀點，協助本研究檢視所研擬建築構件材料循環度評估方式之合理性與適用性。

貳、研究內容與流程

本研究將針對國內外建築材料的循環度評估方法進行有系統的分析彙整，以建立國內建築構件材料循環度評估方式。本研究主要工作項目執行流程如圖 1-3 所示。

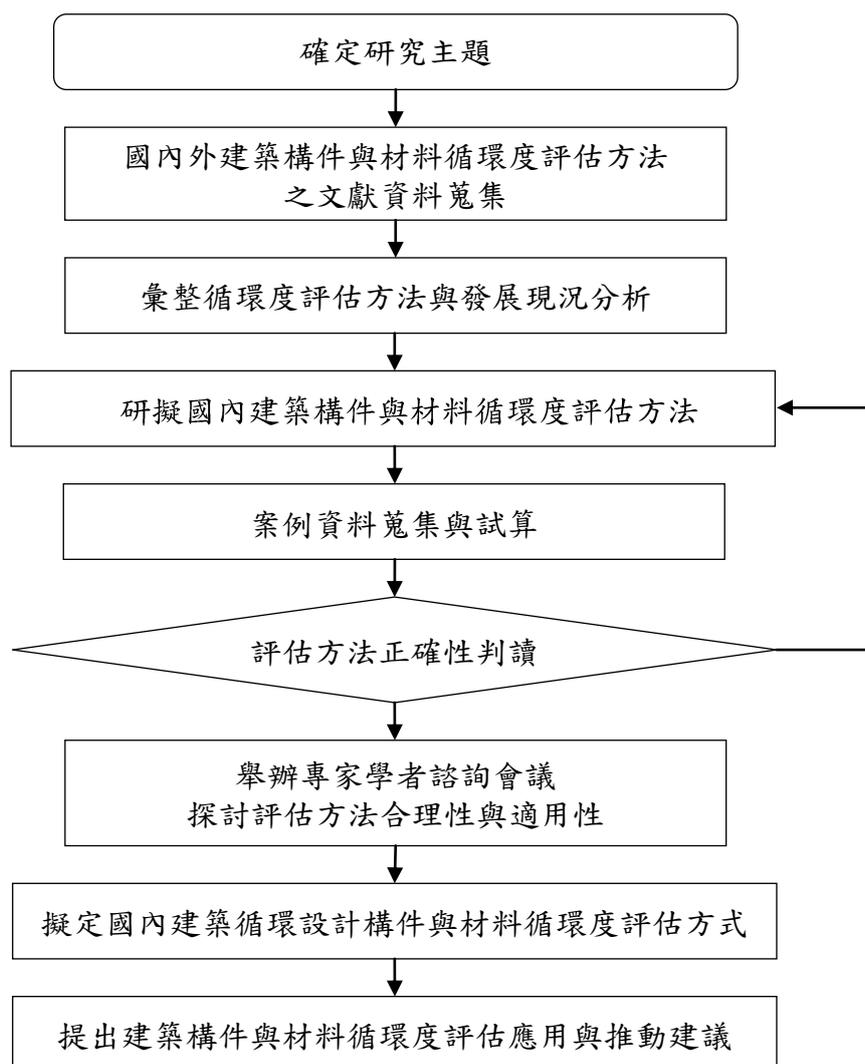


圖 1-3 工作項目執行流程圖

第四節 預期成果

本研究預期成果，說明如下：

- 一、彙整國內外建築構件材料循環度計算評估之相關文獻資料與發展現況。
- 二、研擬國內建築之材料循環度評估方式，作為國內發展建築循環設計，未來應用各類回收資源循環再利用作為建材的評估工具。
- 三、針對後續如何利用本研究材料循環度評估方式，仿照綠建材推動方式，逐步導引提升國內建築之材料循環度，提出建議。

第五節 計畫執行期程

本計畫依各項工作項目列出每月執行進度，並以甘特圖表示：

表 1-1 計畫期程表

月次 工作項目	111 年												備註
	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月	
1.確定研究主題	■												
2.國內外建築構件與材料循環度評估方法之文獻資料蒐集	■	■	■	■	■	■							
3.彙整評估方法與發展現況分析	■	■	■	■	■	■							
4.研擬國內建築構件與材料循環度評估方法			■	■	■	■	■	■					
5.案例資料蒐集與試算					■	■	■	■	■				
6.評估方法正確性判讀							■	■	■	■			
7.舉辦專家學者諮詢會議									■				
8.擬定國內建築循環設計構件與材料循環度評估方式									■	■	■		
9.提出建築構件與材料循環度評估應用與推動建議										■	■	■	
10.期中報告						●							111 年 6 月 30 日前提交
11.期末報告										●			111 年 10 月 14 日前提交
12.成果報告												●	111 年 12 月 2 日前提交
完成進度 (累積數%)	9	14	23	31	43	54	63	71	83	91	97	100	
預定進度 (累積數%)	9	14	23	31	43	54	63	71	83	91	97	100	

第二章 國內外建築構件與材料循環度評估方法

循環經濟是近年國際推動經濟發展之趨勢，有關建築物資源循環度之研究也逐步展開。本研究蒐集國內外建築構件與材料循環度計算評估相關文獻，本章節將針對國內外建築構件材料循環度評估方法進行介紹，包含目前循環度評估方法發展情形、評估架構與計算方式，以進一步瞭解國內外循環度相關評估系統之內涵，有助於本研究研擬國內建築循環設計構件與材料循環度評估方法。

第一節 國內外發展現況

為評估產業由線性經濟轉型為循環經濟的發展情形，或個別產品材料的循環程度，國內外逐步針對各層級制訂循環指標項目，期望藉由建立明確之指標系統與評估方法，量化系統之物質循環，達到有效掌握及提升物料循環再利用之目的。線性經濟轉型至循環經濟為系統性轉型，此轉型可從宏觀（macro-level）、中觀（meso-level）與微觀（micro-level）的角度與層面執行，三個層級可分別代表為產品、公司、消費者（微觀），生態工業園區（中觀）以及區域、城市、國家（宏觀）等（Kirchherr, Reike, & Hekkert, 2017）。

在宏觀層級方面，歐盟於 2018 年 1 月公佈監管歐盟及成員國既有的政策措施是否朝循環經濟目標邁進的指標系統。此指標系統包含生產與消費、廢棄物管理、二次料及競爭力與創新四大範疇，其中，歐盟在二次料層面提出用以評估國家回收循環材料佔所有使用材料比例的指標項目。而台灣亦於 2019 年建立國內物質流指標系統，其中包括計算材料資源的循環利用率，以進一步瞭解國內每單位直接物質輸入的資源循環度。此類國家層級之材料循環使用率的計算範疇包含所有材料產品進出口、廢棄物管理法令或報廢等因素，涵蓋各類材料如金屬礦石類、非金屬礦石類、生物質材料及化石能源材料等。

針對產品之微觀層級，搖籃到搖籃認證產品標準基於「材料養分永遠可再成為養分」的循環理念，於 2013 年實施 C2C 認證產品標準（3.0 版）中明確規定各級產品的材料再利用比例，以加強產品的材料循環再利用性。2015 年 EMF 與 ANSYS Granta 以評估產品材料全生命週期物質流的方式，從產品生產製造階段的原料成分、使用階段的性能表現，一直到使用階段結束後之材料去向，計算評估產品材料的整體循環度。此評估方法後被廣泛應用於各產業之材料循環評估中，而除了評估產品的循環性，此方法也可擴大應用至企業層級之循環恢復性評估。

在循環評估的品項中也包含建築構件，在此概述建築構件與建築材料之間的關係與定義，建築構件(building element)一詞又可稱為建築元素，目前本研究對建築元素一詞的定義方式源自於 Brand.S(1994)與 Frank Duffy(1970)等學者的相關論述，他們對建築構件(建築元素)的定義主要出自於他們將建築分解為六個層面元素

(建築元素)，包含：地理位置(Site)，結構(Structure)，皮層(Skin)，設備(Services)，空間規畫(Space Plan)以及家具(Stuff)。由於每個層面元素(建築元素)的生命週期不相同，所以層次設計可以根據不同週期將不同的元素維護，拆卸，分離，或更換，方便回收，再利用或再製造，而不影響整個建築物或基礎設施，而這些建築構件(建築元素)又從建築材料所組成，因此建築材料為建築組成最小的組成單位，本研究接下來的論述中所提的建築材料也泛指建築構件，不再重複贅述。

呈上所述，眾多針對不同項目及領域的循環度評估方式，惟在建築營建產業中尚缺乏一致性的評估方法。為維持建築構件與材料之高經濟與技術價值，同時間減少產業使用不可再生資源以及廢棄物產生，荷蘭恩荷芬理工大學於先於 2016 年提出建築物的循環度指標研究。此研究以 EMF 的材料循環度評估方法為基礎，另考量建築營建領域之特性，將構件材料之可拆解性、不同生命週期之建築層級等因素納入評估架構，以計算建築的整體循環度。荷蘭 CB 23 平台(Platform CB 23 (Circular Construction 2023)) 為推動建成環境實現循環經濟，於 2019 年出版《營建循環度評估指南(The Guide for Measuring Circularity in the Construction Sector)》，為評估營建領域的循環度提供核心方法。以下針對國內外有關材料循環度評估系統進行介紹，各評估系統之詳細指標內容及計算方式將在第二節進行說明。

壹、2013 年 C2C 認證產品標準(3.0 版)增訂「材料再利用」評分基準

搖籃到搖籃(Cradle to Cradle，簡稱 C2C)認證產品標準是一個國際認可的環境與永續認證，於 2005 年由 Michael Braungart 與 William McDonough 創立，其設計理念受大自然啟發，視所有物質為養分，皆可透過兩種循環系統——生物循環及工業循環，達到資源 100% 不降級回收的理想循環經濟。

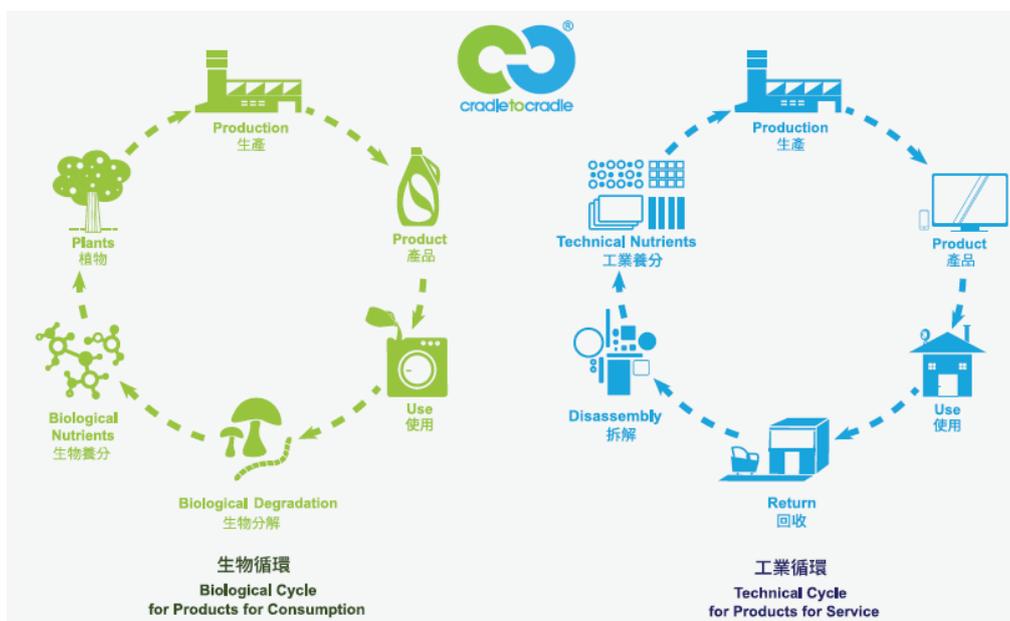


圖 2-1 C2C 生物循環與工業循環示意圖

圖片來源：C2CPII [搖籃到搖籃產品認證標準 V3.1 版]

C2C 使用統一認證產品標準審查所有產業類別的產品，2012 年起由第三方美國非營利組織「搖籃到搖籃產品創新研究院」(Cradle to Cradle Products Innovation Institute，簡稱 C2CPII) 負責管理、稽核及頒發產品認證等業務。除了物質循環以外，C2C 同樣注重無毒原料、使用再生能源、水資源管理、回收管道規劃，以及依據自然生態、當地文化、個別需求等多樣性特質重新思考、設計和發明商品。

C2C 認證產品標準 3.0 版於 2013 年實施，2016 年移除「材料健康性」與「材料循環性」項目中重複的內容，更新為 3.1 版。其評估項目包含「材料健康性」、「材料循環性」、「再生能源」、「水資源管理」及「社會公平性」，C2CPII 將根據產品在五大面向中所達等級最低階者給予產品基本級(Basic)、銅級(Bronze)、銀級(Silver)、金級(Gold)及白金級(Platinum) 5 個等級的認證。



圖 2-2 C2C(3.0 版)認證之五個等級認證標章

圖片來源：C2CPII [cradle to cradle certified product standard v3.1]

產品材料的經濟、環境與社會價值將在材料焚毀或掩埋後流失，因此為保留或提高材料的價值，C2C 認證產品標準 3.0 版在「材料循環性」項目中透過要求銅級(含)以上等級的產品之材料再利用分數 (Material Reutilization Score) 來提升材料再利用潛力。此外，金級(含)以上等級產品需擬訂養分管理方案，包含範疇、時程及預算，白金級則必須實際執行該執行方案並計算產品回收率。(表 2-1)

表 2-1 C2C 認證產品標準 (3.1 版) 材料循環再利用性各等級標準

材料循環性	基本級	銅級	銀級	金級	白金級
鑑別適合產品材料之循環系統(生物或工業循環)與訂定產品回收及循環再利用之方案	•	•	•	•	•
設計及生產可符合工業或生物循環之產品，且養分再利用分數 ≥ 35		•	•	•	•
設計及生產可符合工業或生態循環之產品，且養分再利用分數 ≥ 50			•	•	•
設計及生產可符合工業或生態循環之產品，且養分再利用分數 ≥ 65				•	•
擬定養分管理方案(包含範疇、時程及預算)，以開發產品或材料流系統及回收系統				•	•
設計及生產可符合工業或生態循環之產品，且養分再利用分數 = 100					•
產品已實際、活躍的在工業或生態循環中不斷循環再利用					•

資料來源：C2CPII [搖籃到搖籃產品認證標準 V3.1 版]

然而上述材料再利用分數的計算方式在 C2C 認證產品標準 4.0 版(2021 年 7 月 1 日起啟用)中被移除，改為提高產品使用回收及（或）可再生成分的重量比例、在預期循環路徑中材料循環（即可回收、可堆肥或可生物降解）的比例，並加強關注產品有利於再次使用的設計。本研究主要參考 C2C 認證產品標準 3.0 及 3.1 版之材料再利用分數計算方法，有關 4.0 版各等級產品循環性要求詳細資訊可參考附錄一。

貳、2015 年艾倫·麥克阿瑟基金會與 Granta Design 合作提出「材料循環度指標」

「材料循環度指標」(Material Circularity Indicator, 簡稱 MCI)是 EMF 和 Granta Design 共同合作「循環指標計畫」的一部分，此項目獲得歐盟 LIFE 補助計畫之支持，可協助企業評估其產品及材料的循環性，以及環境影響、監管和供應鏈風險等資訊。指標計算方法經企業進行實物產品測試及產業相關人員與專家審閱修訂，於 2015 年出版，當時主要針對工業循環中源自不可再生資源的材料進行循環度估算；2019 年版指標計算方法將評估範疇擴展至涵蓋生物循環材料，提供更全面、適用於所有材料的評估系統。

MCI 分析產品生命週期的物質流恢復性（圖 2-3），計算產品在生產製造時使用的材料來源（如原生材料、回收再生資源、重複使用的舊資源或可持續來源的生物性材料等）、使用階段的性能表現（如平均壽命及功能性等），以及使用壽命結束後或回收過程中所產生的廢棄物量。MCI 值介於 0-1 之間，越大的值表示其循環程度越高。“線性”產品可視為全由原生材料製成而在使用結束後以掩埋處置的產品，MCI 值為 0；反之，一個不使用原生材料，全由回收或重複使用元件組成，且其回收效率為 100%之產品，可視為“循環”產品，MCI 值為 1。

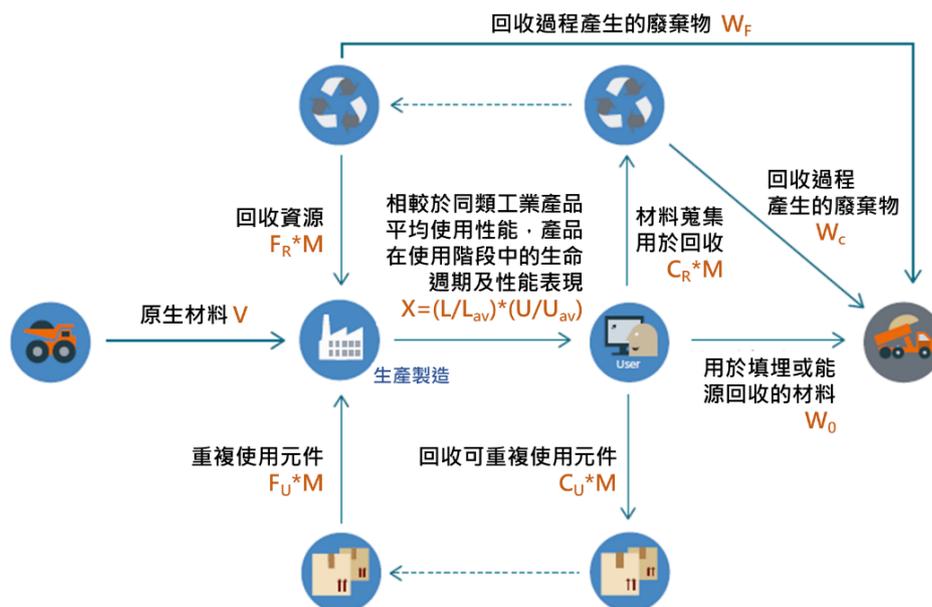


圖 2-3 工業材料物質流及影響循環指標的變數

圖片來源：EMF，本研究彙整轉譯

為打造資源有效循環的路徑，確保產品物質流的恢復性，MCI 指標發展原則如下：

1. 從可持續來源獲取生物性材料
2. 由重複使用的或回收來源取得原料
3. 延長產品使用壽命（如透過重複使用、重組、增加其耐久性等方式）
4. 產品使用壽命結束後重複使用其組件或回收其材料
5. 提高產品使用程度（如透過服務與共享模式）
6. 確保生物性材料不受污染及其生物循環性

其中為確保生物性材料循環的有效性，應確保在資源恢復能力範圍內擷取生物性材料（原則 1）及材料成分可回歸至自然環境中（原則 6）用作自然再生之營養。此外，為反映出不同循環策略所帶來的經濟價值差異，例如在工業循環策略中，重複利用產品和組件所能保留的材料價值完整性、減少隱含能源(Embodied energy)及程序複雜程度比起回收處理再利用組件來得更好及有效，因此 MCA 另將回收階段的有效性納入評估，將重複利用產品組件的回收效率預設為 100%，而回收再生材料的回收效率需另外評估。

MCI 可作為產品設計的參考依據，在產品設計階段進行評估及調整，或比較各個產品之間的循環度、設定循環度門檻指標作為採購決策等參考，進而促進產品設計改良、提高產品材料循環度和建立回收機制。

除了針對產品物質流進行循環度評估，MCI 另可透過補充指標項目——風險指標與影響指標，評估產品的潛在風險及環境影響等其他因素，以降低材料價格波動和供應鏈不穩定的風險。而此方法亦可應用至公司企業層級之循環度評估，其評估方法基本上與產品層級相同，通過在各類產品中遴選具代表性的產品進行循環度評估，匯集各項代表性產品之循環度，並加上規格化係數（如採用產品質量或收益作為循環度規格化因素）進行計算後取得公司企業層級的循環度資訊。

參、2016 年荷蘭恩荷芬理工大學「建築物循環度指標」研究

「建築物循環度指標」研究是 2016 年由荷蘭恩荷芬理工大學(Eindhoven University of Technology) Jeroen Verberne 發布的論文研究，此研究報告以 2015 年艾倫·麥克阿瑟基金會提出的「材料循環度 MCI」為基礎，進一步發展並提出適用於建築物的循環度指標——「建築物循環度指標」(Building Circularity Indicator, 簡稱 BCI)。

依據文獻研究，建築物可視為由各種材料系統層級（圖 2-4）以某些接合方式組建起來的結構。各種材料有其特性及循環度，而除了材料層面的循環度以外，在建築物構建過程中，材料和構件的接合方式也是影響其循環性的主要因素、不

同生命週期的建築層級 (Brand, 1994) (圖 2-5) 對循環度也具有不同程度的影響。

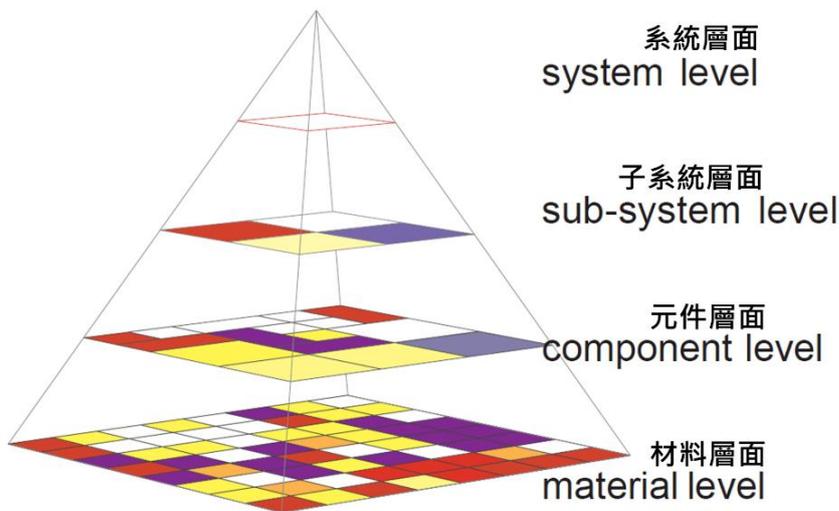


圖 2-4 材料系統層級

圖片來源：[Transformable building structures]，本研究轉譯

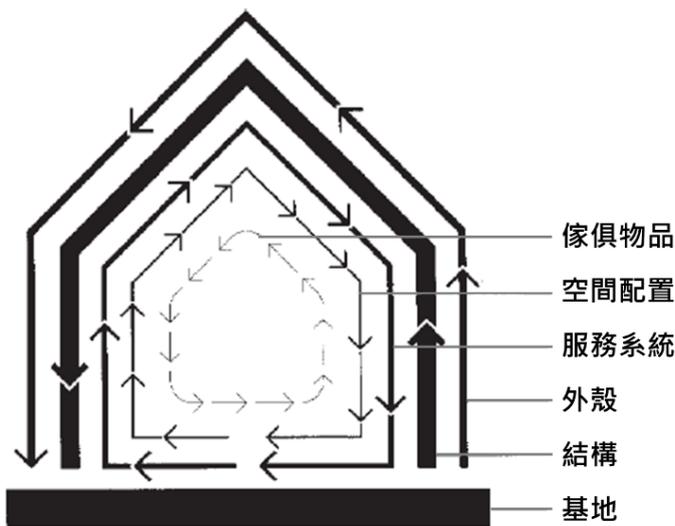


圖 2-5 建築物層級

圖片來源：[Transformable building structures]，本研究轉譯

為增進產業各層級對循環度的理解，此研究透過專家諮詢建立與建築物循環度相關之「關鍵績效指標」(Key Performance Indicator, 簡稱 KPI) (表 2-2)，並篩選與材料、產品、系統及建築物循環度最相關的因子納入到循環度計算架構中。

在工業循環中，材料、元件與產品透過維修、維護、再使用、翻新、改造或回收再生等方式保留其市場價值，而生物循環為無毒材料在生物圈中自然重生的過程。由於工業循環與生物循環的評估方式全然不同，建築物使用之產品及材料主要從屬工業循環之資源循環，因此研究僅針對工業循環材料進行評估，不考量

生物循環的材料。

表 2-2 重新分類有關建築物循環度之 KPI

1.技術要求	2.事先具備條件	3.驅動因素
投入與產出的類型（6R 模式）	材料健康性/毒性	材料稀缺性
技術生命週期	碳足跡/碳排放	潛在經濟價值
可拆卸性（6S 模式）	可再生能源使用	未來再利用可能性（二手交易市場）
工業循環與生物循環	環境影響	

資料來源：[Building circularity indicators]，本研究轉譯

綜合考量上述情形，本研究提出的 BCI 評估框架包括計算「材料循環度指標 MCI」、「產品循環度指標」(Product Circularity Indicator, 簡稱 PCI) 與「系統循環度指標」(System Circularity Indicator, 簡稱 SCI)，將產品拆解性、各建築物層級生命週期及重要性水平等影響建築物循環度之因素納入考量，最終計得「建築物循環度指標 BCI」。

而除了技術性指標以外，生態環境影響等指標也十分重要，因此本研究另羅列對生態有利的指標項目在“事先具備條件”中，使用者可自行評估是否將這些項目納入採購需求中。這些指標反映出產品循環度與生態環境之間的交互影響，例如材料健康（毒性及有害化學物）、生產過程使用化石燃料和可再生能源的比例、碳足跡/排放等。

經濟價值作為循環經濟主要驅動力之一，獲取材料和產品的經濟價值資訊有利於產業利益相關者評估其重要性，進而促進材料循環利用。本研究將影響材料經濟價值之潛在風險因素列為“驅動指標項目”，例如材料稀缺性、潛在經濟價值與未來再使用可能性等，有利於生產者及供應商進行評估，由上游推動材料之循環。此研究之循環度評估模型可參考圖 2-6。

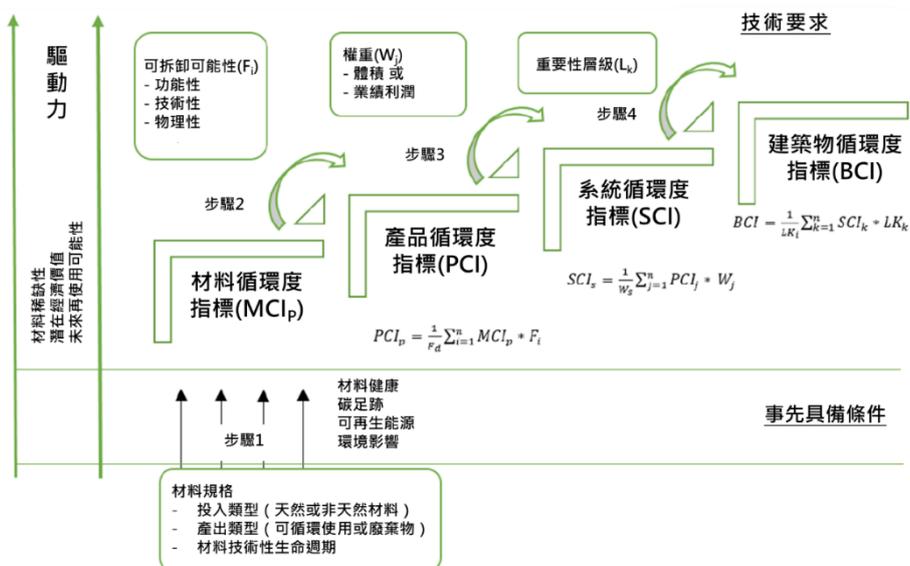


圖 2-6 工業材料循環度評估模型

圖片來源：[Building circularity indicators]，本研究轉譯

在此項研究中，有關材料與產品的功能性不包含在評估模式內。依據專家意見，有關建築物循環度議題涉及技術性與功能性（或使用者）指標。技術性指標評估產品或系統性能，屬於可評測之客觀資訊；功能性指標揭露建築物的使用程度，涉及如使用者主觀認定的建築物吸引力，例如建築物位置、設施裝置、裝修程度、建築美學、生產力和舒適度等。雖然功能性指標可能由於較具吸引力而延續生命週期，對建築物之循環度有顯著影響，然而由於其不可預測性，因此排除在研究範疇外。

肆、2018 年歐盟提出「循環經濟監控框架指標系統」之「材料循環使用率」

歐盟於 2012 年簽訂「循環經濟宣言」(Manifesto for a Resource-Efficient Europe) 宣布邁向資源可高效利用及可再生的循環經濟，2015 年 12 月歐盟執行委員會 (European commission, 簡稱歐盟執委會) 推出具體的「循環經濟配套計畫」(The Circular Economy Package)「，從生產、消費、廢棄物管理、二級原料市場、創新及投資、關鍵領域如塑料、廢棄糧食、關鍵原料、營造拆建產業、生物基材料等層面訂出推動方向與目標時間軸，以及進一步發展材料使用效率之標準、原料資訊系統與二級原料市場機制等規劃。同時間，歐盟加強廢棄物分級分類及回收措施，提案修訂四項廢棄物指令，制訂明確減少廢棄物、廢棄物填埋及增加再利用及回收使用的遠程目標，作為循環經濟轉型的配套措施之一。

為有效評估歐盟及各成員國的循環經濟進展，歐盟執委會於 2018 年 1 月公佈「循環經濟監控框架指標系統」(Circular economy monitoring framework)。考量循環經濟為涉及所有產品和服務進而影響整體經濟的系統性轉型，並不局限於特定材料或領域，且國際間並未發展出有關“循環度(circularity)”的單一指標，此指標系統共分為四大範疇「生產與消費」、「廢棄物管理」、「二次料(secondary material)」與「競爭力與創新」，包含 10 項指標（部分含子指標項目）以呈現出循環經濟轉型中各種資源、產品及服務生命週期的眾多層面及複雜性（圖 2-7）。



圖 2-7 歐盟循環經濟監控框架

圖片來源：Eurostat

此指標系統採用歐盟統計局(Eurostat)已掌握的數據，如關鍵原料供應、廢棄物管理、歐盟與非歐盟國家間的二次料交易及產品中使用的回收材料等資訊，以及其他官方資料建置而成。在二次料應用層面，歐盟統計局提出新指標「材料循環使用率」(Circular Material Use rate, 簡稱 CMU)，以評估國家的材料循環使用量(U)佔總體材料使用量(M)的比例。越高的 CMU 值代表更多的二次料替代原物料被採用，可減少開採原物料所造成的環境影響。

根據歐盟統計局 2021 年 11 月 25 日更新並公佈的 CMU 顯示，2020 年歐盟地區的平均材料循環使用率為 12.8%，從 2004 年 8.4% 提升了近 4.4%。其中金屬礦石類的材料循環使用率達 25%、非金屬礦產為 15.8%、用於食品、飼料、服裝(棉花、羊毛等)與木材等的生物質材料為 9.6%、用於生產化石燃料(如原油)或塑膠等的化石能源材料為 3.2%。而在歐盟消耗的材料中，天然原料約佔 67%(5.17Gt)，20%(1.53Gt)為進口材料(包含回收材料)，以及 13%(1.03Gt)來自回收材料及回填使用。此部分可透過歐盟物質流桑基圖(Sankey diagram)(圖 2-8)瞭解經濟體中各種材料、產品及廢棄物的進出口材料量，掌握材料的來源輸入、存量、流向及最終離開經濟系統的情形，可為提升使用循環材料作為二級材料以及減少廢棄物的努力方向提供清晰資訊。

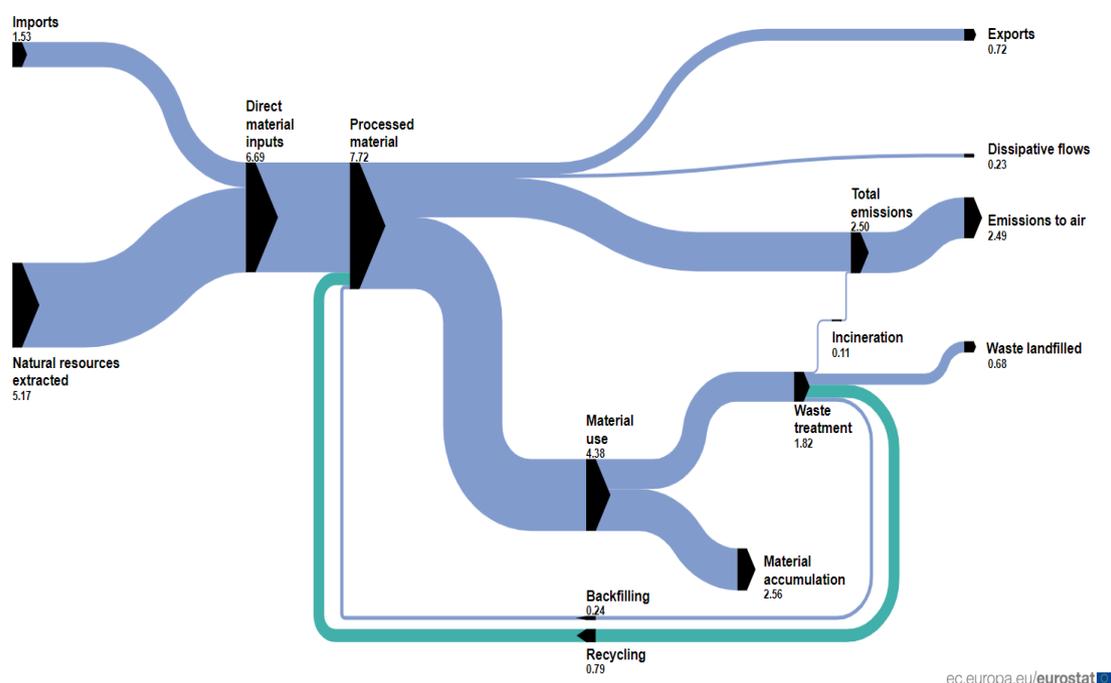


圖 2-8 2020 年歐盟物質流(十億噸/年)示意圖

圖片來源：Eurostat

伍、2019 年荷蘭 Platform CB'23 提出「營建循環度評估方法」

荷蘭目標於 2050 年前達成 100% 循環經濟，2030 年達成天然原料使用減半。2018 年荷蘭政府與科學界、業界專家組成「循環經濟過渡團隊」起草倡議《營建循環經濟過渡議程》(Transition agenda for Circular construction economy)，為荷蘭建成環境實現循環經濟制定戰略並提出具體建議，其中包含從 2023 年起達成 100% 的循環招標，加速實現建築市場所有材料可高質量再利用且不再使用化石能源。

處於循環經濟轉型初始階段，荷蘭基礎設施及水利管理局 (Rijkswaterstaat)、中央政府不動產部 (Rijkvastgoedbedrijf)，De Bouwcampus 基金會及荷蘭標準協會 (Netherlands Standardization Institute，簡稱 NEN) 於 2018 年共同創建「2023 循環建築平台」(Platform Circular Building 2023，簡稱 CB '23 平台)，目標在 2023 年之前為荷蘭建築產業 (包含住宅和非住宅建築及土木工程領域) 起草部分或全部協議，確立和引領產業的循環思維和行動。

CB '23 平台召集荷蘭政府和學術機構的建築部門代表與業界各方組成各行動小組，透過公開、透明的方式為循環建設制定各種指南，於 2019 年出版《循環建設詞典 Lexicon for Circular Construction》、《營建循環度評估方法 The Guide for Measuring Circularity in the Construction Sector》以及《營建護照指南 Passports for the Construction Sector》。此三份指南均於 2020 年補充內容發布第二版，為常用的循環建設項目提供統一清晰的定義及來源參考、發展評估循環度的核心方法、以及營建資訊之保存與交換型式等架構，協助建築部門以不同以往的方式發展建築和基礎設施。2021 年 CB '23 平台出版《循環採購指南 The Guide for Circular Procurement》和《循環設計指南 The Guide for Circular Design》，進一步協助產業更有條理地在採購和設計過程中納入循環原則。

在轉型發展中，循環度評估為決策及監管之關鍵工具，CB '23 平台行動小組參考國際倡議之標準以及荷蘭既有的評估永續及循環性的方法發展「營建循環度評估方法」，制訂一系列主要指標及評估方式，此評估方法可應用於土木水利工程 (基礎設施)、建築物、橋樑等領域，在工程生命週期任何階段用以評估任何結構層面，例如材料、工程產品或結構系統。指標內容依據荷蘭推行循環營建的三項主要目標訂定——【保存材料】、【保護環境】及【保留價值】；另由於適應能力將影響產品在使用過程中的維護或更新潛力，因此結構或產品的適應能力報告也包含在評估範疇中，協助計算物質流之投入及輸出量。

陸、2019 年臺灣提出國家層級績效評估指標「循環利用率」

我國自然資源稀缺，約 7 成物料資源仰賴國外進口，為建立資源永續利用社會於 2002 年 7 月 3 日頒布「資源回收再利用法」以及相關子法，並於 2016 年提出《五加二產業創新計畫》，推動國內產業轉型循環經濟。我國循環經濟願景之短期目標為再生料適材適所逐年減少資源開採，中程目標為使用一定比例再生料或

可再生之物質，長程目標則為 2050 年達物質全循環零廢棄。環保署於 2018 年展開「資源回收再利用推動計畫」，以循環經濟政策思維為主軸，從生產、消費、廢棄物管理及二次料市場四大面向訂單 12 項推動策略，並以塑膠、金屬、營建廢棄物、廚餘作為優先推動項目。



圖 2-9 行政院環保署資源回收再利用推動策略架構

圖片來源：行政院環境保護署-資源循環分析系統

為促進物質永續使用，環保署透過永續物料管理 (Sustainable Materials Management, SMM) 方法建立國內物質流指標，於 2019 年 10 月公佈「物質流指標計算操作手冊」，說明各類物質流之分類、範疇、數據來源及計算細節，協助國內針對總體物料消耗進行長期觀察與分析，作為政府部會溝通協商及研擬循環策略之工具。

我國參考國際常用物料指標及國內外物質流相關研究，將國家層級統計之物質分類分為生物質、金屬礦、非金屬礦及化石燃料/能源載體四大類，統計範疇包含國內開採量、不納入國內開採與進出口量，於 2013 年訂定一套物質流績效評估指標 (表 2-3)，計算有關物質投入、消耗、產出、生產效率、環境負荷及循環利用等項目，並對應環保署 2011 年 11 月擬定的「資源循環政策規劃」目標——「資源利用效率極大化」及「環境衝擊影響極小化」，以反映國家層級之物質管理及環境衝擊情形。

表 2-3 我國國家層級指標項目

目標	指標—國家層級		計算式
資源使用效率最大化	投入面	直接物質投入 Direct Material Input (DMI)	$DMI = \text{國內所有開採並使用之物質} + \text{進口物質}$
	消費面	國內物質消費 Domestic Material Consumption (DMC)	$DMC = DMI - \text{出口物質}$
	產出面	直接物質輸出 Direct Material Output (DMI)	$DMO = DPO + \text{出口物質}$
	效率面	資源生產力 Resource Productivity (RP)	$\text{資源生產力} = GDP/DMI$
環境衝擊最小化	環境負荷密度	每單位直接物質消費所產生之污染排放，簡單表示 DPO/DMC	$\text{環境負荷密度(物質消費)} = DPO/DMC$
	產出面	國內空水廢等污染排放（含溫室氣體） Domestic Processed Output (DPO)	$DPO = \text{空氣污染物} + \text{水污染物} + \text{掩埋廢棄物}$
	循環度	每單位直接物質輸入之資源循環利用率 Cyclical Use Rate (CUR)	$CUR = \text{循環利用量}/DMI$ ($\text{循環利用量} = \text{再使用量} + \text{回收再利用量}$)

資料來源：行政院環境保護署 物質流指標計算操作手冊

循環利用率 CUR 評估直接物質投入 DMI 之資源循環度，計算循環利用量之種類包含一般廢棄物、事業廢棄物、農業資材、紙類、營建剩餘土石方及煉鋼爐石回收量，其中除紙類以再利用量計算外，其餘以回收量計算。依指標公開成果顯示，2020 年國家資源循環利用率達 21.85%，較 2011 年之 17.92% 提升了近 4%。

表 2-4 我國 100-109 年國內循環利用率

年份	循環利用量（公噸）							直接物質投入(DMI)	循環利用率
	一般廢棄物	事業廢棄物	農業資材	紙類	營建剩餘土石方	煉鋼爐石	合計總量		
100年	4,485,657	15,436,469	4,565,507	1,993,032	47,670,000	1,434,595	75,585,260	346,154,876	17.92%
101年	4,610,254	14,510,850	4,552,954	2,013,082	45,285,000	1,625,973	72,598,113	341,534,551	17.53%
102年	4,427,977	14,912,871	4,328,853	1,995,010	46,365,000	1,526,067	73,555,778	344,138,726	17.61%
103年	4,812,641	15,208,068	4,606,767	2,090,699	47,160,000	1,844,895	75,723,070	352,005,878	17.70%
104年	4,860,250	15,810,837	4,360,663	2,015,723	41,775,000	1,970,234	70,792,707	341,816,269	17.16%
105年	4,939,732	14,687,364	4,347,578	1,956,129	33,870,000	1,589,294	61,390,097	334,241,690	15.52%
106年	5,400,145	15,638,092	4,530,583	1,520,891	37,575,000	1,143,051	65,807,762	336,168,947	16.37%
107年	6,131,772	16,796,321	4,837,425	1,787,749	43,950,947	1,084,981	74,589,195	336,597,382	18.14%
108年	6,278,249	16,667,858	4,632,916	1,867,184	53,490,000	1,113,669	84,049,876	325,407,869	20.53%
109年	6,663,097	16,938,318	4,703,077	1,823,736	59,730,000	1,030,009	90,888,237	325,008,331	21.85%

資料來源：行政院環境保護署-資源循環分析系統

第二節 國內外循環度評估方法與計算方式

本節以國家層級與系統(產品)層級分別介紹國內外有關循環度之評估方法與計算方式，本研究共蒐集 2 項國家層級之資源循環使用率評估方式，以及 4 項系統(產品)層級之材料循環度評估系統，所涵蓋之範疇包含針對國家材料物質流、各類生產製造的產品材料、建築物或營建工程相關領域，有利於本研究進一步瞭解循環度評估方法之基本架構、重點評估項目、評估方式、數據資料來源及計算方法。有關各項評估方法之架構可參考表 2-5，詳細說明及計算方式如後述。

表 2-5 國內外評估方法架構彙整表(1/2)

項次	(1)	(2)	(3)
評估系統/ 單位	材料循環使用率 CMU (歐盟統計局)	循環利用率 CUR (臺灣行政院環保署)	材料再利用分數 (C2C 認證產品標準 3.0 版)
層級分類	國家層級	國家層級	系統(產品)層級
評估說明	國家回收循環材料佔所有 使用材料的比例。	國家直接物質投入的資源 循環度。	包含使用回收料及可回收 之工業養分材料，以及可快 速再生料及可堆肥之生物 養分材料。
評估範疇	國家材料物質流、化石燃 料流及能源產品，不包含 水資源。	國家生物質、金屬礦、非 金屬礦及化石燃料/能源載 體物質材料。	廠商生產製造之產品。
循環性 評估項目	<ul style="list-style-type: none"> •作為再利用的國內回收廠 廢棄物回收量 •用於回收的出口廢棄物 •不包含用於回收的進口廢 棄物 	<ul style="list-style-type: none"> •一般廢棄物回收量 •事業廢棄物再利用量 •農業資材量 •紙類再利用量 •營建剩餘土石方 •煉鋼爐石再利用量 	<ul style="list-style-type: none"> •回收料 •可快速再生料 •可回收料 •可生物降解化學物或材料
總體材料項目	<ul style="list-style-type: none"> •國家材料消耗量 •循環材料量 	<ul style="list-style-type: none"> •國內物質開採量及進口量 •循環材料量 	產品使用的總體材料量
數據資料	歐盟成員國 EW-MFA 資 訊、廢棄物統計資訊、ITGS 資訊	<ul style="list-style-type: none"> •環保署廢棄物管理系統、 焚化廠營運管理資訊系 統、廢棄物申報及管理資 訊系統、環境資源資料庫- 執行機關資源回收情形 •農委會綠色國民所得帳農 業固體廢棄物歷年表 •造紙公會 •內政部營建署剩餘土石方 諮詢服務中心 •相關鋼鐵業者 	<ul style="list-style-type: none"> •物料清單 •相關測試報告

資料來源：本研究整理

表 2-5 國內外評估方法架構彙整表(2/2)

項次	(4)	(5)	(6)
評估系統/ 單位	材料循環指標 MCI (EMF)	建築物循環度指標 (荷蘭恩荷芬理工大學 Verberne)	營建循環度評估方法 (荷蘭 Platform CB'23)
層級分類	系統(產品)層級	系統(產品)層級	系統(產品)層級
評估說明	工業與生物循環產品與材 料的循環性。	針對建築物工業循環材料 之循環度評估。	在營建工程生命週期任何 階段用以評估任何結構層 面之循環度，例如材料、工 程產品或結構系統。
評估範疇	產品層級、公司企業層級	建築物材料、產品與系統組 成	土木水利工程（基礎設 施）、建築物、橋樑等領域
循環性 評估項目	<ul style="list-style-type: none"> 生產階段使用回收再生資源 生產階段使用舊資源 生產階段使用可持續來源的生物性材料 使用結束後用作回收再生的材料 使用結束後用作重複使用的材料 使用結束後用於堆肥的未污染生物性材料 使用結束後用作能源回收的可持續性生產生物性材料 產品生命週期 產品實際功能單位 	<ul style="list-style-type: none"> 生產階段使用回收再生資源 生產階段使用舊資源 使用結束後用作回收再生的材料 使用結束後用作重複使用的材料 產品生命週期 產品實際功能單位 產品可拆解設計 	<ul style="list-style-type: none"> 不可再生天然原料 可持續生產/非可持續生產之可再生天然原料 稀缺原料 社會經濟稀缺/豐足原料 生產階段使用回收再生資源 生產階段使用舊資源 使用結束後用作回收再生的材料 使用結束後用作重複使用的材料 使用結束後用作能源回收/填埋處置的材料 環境指標 建築物或結構的適應能力 材料、工程產品及元件層面的技術功能價值與經濟價值
總體材料項目	產品質量	建築物各層級所有材料及 產品	評估項目的總體材料量
數據資料	<ul style="list-style-type: none"> 物料清單 生產再生資源的回收效率 產品中用作回收再生的材料回收效率 產品的實際平均生命週期及平均功能單位 同類工業產品的平均生命週期及實際功能單位 	<ul style="list-style-type: none"> 物料清單 產品的實際平均生命週期 可拆解設計關鍵因子權重 建築物系統層級平均生命週期與循環度重要性指數 	<ul style="list-style-type: none"> 物料清單 通用數據(取自 NMD) 環境產品聲明(EPDs) ADP 方法評估材料稀缺性 CRM 評估社會經濟稀缺/豐足材料 環境影響評估(SBK 方法) TCO 及 WLC 方法評估材料經濟價值 適應能力報告

資料來源：本研究整理

壹、國家層級

一、歐盟統計局「材料循環使用率」(Circular material use rate, CMU)

歐盟統計局以宏觀經濟層級(macro economical level)在「循環經濟監控框架指標系統」二次料應用層面提出新指標「材料循環使用率」(Circular Material Use rate, 簡稱 CMU), 以評估回收循環材料佔所有使用材料的比例, 評估項目包含材料物質流、化石燃料流及能源產品, 但不包含水資源。

$$\text{材料循環使用率 CMU} = \frac{\text{材料循環使用量 } U}{\text{總體材料使用量 } M}$$

有關材料循環使用量(U)之統計, 歐盟統計局僅計算國家回收廠中作為循環再使用的回收廢棄物收件量(RCV_R), 不計入作為能源回收或填埋的廢棄物回收量, 此外考量國家具有進出口廢棄物、異地處理廢棄物及生產二次料等情形, 此項目需扣除用於回收的進口廢棄物(IMP_W), 並加上用於回收的出口廢棄物(EXP_W), 以反映國家回收廢棄物並生產二次料之貢獻。

$$\text{材料循環使用量 } U = \text{RCV}_R - \text{IMP}_W + \text{EXP}_W$$

由於僅部分歐盟成員國評估國家天然原料消耗量, 歐盟統計局因此採用國家材料消耗量(Domestic Material Consumption, 簡稱 DMC)及材料循環使用量 U 的加總作為指標之總體材料使用量 M。

$$\text{總體材料使用量 } M = \text{DMC} + U$$

此項目採用歐盟成員國既有的官方統計數據進行計算, 包含依廢棄物統計規章(Waste Statistics Regulation, 簡稱 WStatR)(EC)No 2150/2002 所統計之廢棄物生產、恢復及處置資訊; 依法規(EU)691/2011 建置之經濟體系物質流帳(Economy-wide material flow accounts, 簡稱 EW-MFA)獲取每年進入和釋出經濟體的材料總體概覽(涵蓋固體、氣體及液體材料資訊, 不包含大流量的水和空氣流資訊); 以及歐盟統計局評估歐盟成員國之間, 以及與非歐盟國之間的國際貿易貨物統計資訊(International trade in goods statistics, 簡稱 ITGS)。

另一方面, 採用官方廢棄物統計資訊計算材料循環使用量(U)將遺漏廢棄物管理系統以外的餘料循環使用量資訊, 例如直接在基地內被循環利用的材料, 或被直接循環利用的生產過程產生的副產品等, 且此類循環材料流在未來可能會因其價值增加而擴增。由於缺乏此類數據資料, 其影響雖未能在CMU指標中反映出來, 但可實際減少對天然原料的需求, 為材料循環利用之有效貢獻。

表 2-6 歐盟統計局 CMU 評估系統

評估項目	國家（宏觀經濟層級）之回收循環材料佔所有使用材料的比例	
評估範疇	國家材料物質流、化石燃料流及能源產品，不包含水資源	
數據蒐集/ 來源	1. 國家材料消耗總量 / 各成員國 EW-MFA 資訊 2. 廢棄物回收再利用量 / 各成員國廢棄物統計資訊 3. 用於回收的進出口廢棄物資訊 / 各成員國 ITGS 資訊	
計算方式	$CMU = U/M$	CMU：材料循環使用率 U：材料循環使用量 M：總體材料使用量
	$U = RCV_R - IMP_W + EXP_W$	RCV _R ：國內回收廠的廢棄物收件量中作為循環再利用的回收量 IMP _W ：用於回收的進口廢棄物 EXP _W ：用於回收的出口廢棄物
	$M = DMC + U$	DMC：國家材料消耗量(Domestic Material Consumption)

資料來源：[Circular material use rate 2018 edition]，本研究整理

二、臺灣行政院環保署「循環利用率」(Cyclical Use Rate, CUR)

臺灣國家層級資源「循環利用率 CUR」計算方式為國內循環利用量除以「直接物質投入 DMI」與循環利用量的加總：

$$\text{循環利用率 CUR} = \frac{\text{循環利用量}}{\text{DMI} + \text{循環利用量}}$$

循環利用量包含再使用量及回收再利用量，計算種類含一般廢棄物回收量、事業廢棄物再利用量、農業資材量、紙類再利用量、營建剩餘土石方及煉鋼爐石再利用量（表 2-7）。

「直接物質投入 DMI」為直接投入於社會經濟系統中的物質，是國內開採量及進口量的總和。國家層級統計數據包括生物質、金屬礦、非金屬礦及化石燃料/能源載體等四類物質，流量資料來源為關務署、農委會、礦務局及能源局相關統計資料。此項目依前述四項物質分類彙整關務署進口貨品物質，若貨品同時包含 2 至 3 種物質，則依產品平均組成比例設定不同權重以計算進口物質。

$$DMI = \text{國內所有開採並使用之物質} + \text{進口物質}$$

表 2-7 循環利用量種類及計算方式

項次	種類	計算方式	統計資料來源
1.	一般廢棄物回收量	資源回收量 + 廚餘回收量 + 巨大垃圾回收再利用量 + 底渣再利用量	•環保署廢棄物管理系統 •環保署焚化廠營運管理資訊系統
2.	事業廢棄物再利用量	-	•環保署廢棄物申報及管理資訊系統
3.	農業資材量	農業資材廢棄物 - 農業廢棄物再利用量 - 焚燒掩埋量	•農委會綠色國民所得帳 農業固體廢棄物歷年表
4.	紙類再利用量	清潔隊紙類回收 - 紙類回收量	•環保署環境資源資料庫-執行機關資源回收情形 •造紙公會
5.	營建剩餘土石方	-	•內政部營建署剩餘土石方諮詢服務中心
6.	煉鋼爐石再利用量	氣冷高爐石再利用+ 轉爐石再利用量	•相關鋼鐵業者

資料來源：[物質流指標計算操作手冊]，本研究整理

貳、系統(產品)層級

一、C2C 認證產品標準「材料再利用分數」

C2C 認證產品標準(3.0 及 3.1 版)訂定銅級(含)以上等級產品的材料再利用分數(銅級 ≥ 35 分;銀級 ≥ 50 分;金級 ≥ 65 分;白金級=100分),針對每種需要審查的均質材料,以百分比表示當中為回收料、可回收料、可快速再生、可生物降解或可堆肥的材料比例(各項材料項目說明請參考表 2-8),計算方式如下:

材料再利用分數

$$= \frac{(\text{回收料}\% + \text{可快速再生料}\%) \times 1 + (\text{可回收}\% + \text{可生物降解/可堆肥}\%) \times 2}{3}$$

基於「材料養分永遠可再成為養分」的循環理念,在計算再利用分數時,相較於使用回收料或可快速再生料,C2C 給予可回收、可生物降解或可堆肥材料的再利用分數較高的權重。另一方面,C2C 認證產品標準雖強烈建議,但不要求表 2-8 之材料須取得外部驗證;若無法確認其實際使用回收料之比例,鋼材可使用工業平均值,其他材料則假設為未使用回收料。

油漆與塗料等濕性產品被視為生物營養素,將評估其經侵蝕、洗滌、溶濾、燃燒或類似過程被釋放到生物圈的安全性及生物降解性。其生物降解性並非依據其生物降解材料的比例進行計算,而是將個別產品成分中所有可生物降解的純物質重量百分比相加,加上產品中水的重量百分比,以及表土與沉積物中常見的良性礦物質(如含鋁、鈣、鎂、錳、鈉、鉀或鋅的矽酸鹽、氧化物、碳酸鹽或磷酸鹽)的重量百分比,作為可生物降解之比例進行計算。然而當計算產品中可快速再生或回收料重量百分比時,應扣除水的重量;針對其他含水之產品,在計算材料再利用分數時亦需將水的重量扣除。

表 2-8 C2C 材料再利用項目定義

項次	項目類別	說明
1.	回收料	<ul style="list-style-type: none"> 材料經工廠端或消費端回收處理後,所產出之工業養分原料,分為工廠端料源(Post-Industrial Recycled Material)及消費端料源(Post-Consumer Recycled Material)。 消費端料源:消費者使用結束後,經回收處理機構集中並回收處理製成之原料。 工廠端料源:從工廠端廢棄後,回收處理製成的原料(來自製造商設施之外的來源)。
2.	可快速再生料	<ul style="list-style-type: none"> 生長及收成週期為 10 年以內的生物養分材料。 森林管理委員會(Forest Stewardship Council, 簡稱 FSC)認證木材及木產品雖然生長週期大於 10 年,仍可計為可快速再生料。
3.	可回收料	<ul style="list-style-type: none"> 在初始使用階段後,可至少再被循環利用一次的材料;現階段能以相同品質回收處理後再利用。 不要求產品能根據當前的基礎設施或區域達成再循環利

		<p>用。(除了金級產品需擬定材料流系統及回收系統、白金級產品需實際演示與實施循環再利用。)</p> <ul style="list-style-type: none"> • 在正常回收條件下，材料需是可分離的。 • 在評估員確認材料焚燒不會導致其他問題下，可再生來源的材料用於能源回收(如以甘蔗製成的聚乙烯)可被計為可回收料。 • 任何均質材料須被算作可回收(全部質量)或不可回收，不能為部分回收。單一均質材料產品亦同。
4.	可生物降解化學物或材料	<ul style="list-style-type: none"> • 微生物將材料或化學品分解成自然元素，而回歸自然。 • 整體材料為生物可降解才可納入計算。 • 可依據液體、凝膠、粉末或糊狀產品之個別化學成分，評估其生物降解性。 • 經濟合作暨發展組織(Organisation for Economic Cooperation and Development, 簡稱 OECD)定義了適當的生物降解性測試方法。若提出生物降解聲明的材料非一般認知的生物降解材料，應根據 OECD 所提出的或同等的方法進行測試。 • 須在材料的預期最終使用場景中考量其生物降解性。
5.	可堆肥	<ul style="list-style-type: none"> • 在生物降解過程中，以一定速率分解成二氧化碳、水、無機化合物及生物質，可作為土壤肥料並不會殘留有毒物。 • 整體材料為可堆肥，並且可與產品中其他材料分離，才可納入計算。 • 若提出可堆肥的材料非一般認知的可堆肥材料，應根據適當的 ASTM、ISO、CEN 或 DIN 標準進行測試。 • 在評估員確認材料焚燒不會導致其他問題下，可再生來源的材料用於能源回收(如木材)可被計為可堆肥。

資料來源：[C2C Product standard version 3.1]，本研究整理

二、艾倫·麥克阿瑟基金會與 Granta Design 「材料循環指標」(MCI)

MCI 評估架構基本上由三項產品資訊組成—生產製造產品所使用的原生物料量 V、使用階段的性能表現 X (如平均壽命及使用強度等)，及使用壽命結束後產生之無法恢復廢棄物量 W。藉由分析計算上述資訊，可進一步取得產品的「線性流動指數」(Linear Flow Index, 簡稱 LFI)，即以線性方式流動的材料比例—來自原生物料最終成為不可回收廢棄物的材料比例；另考量產品的使用壽命將影響其消耗原料及產生廢棄物的生命週期，以及使用性能之強度表現可作為原料是否有效利用之評估，將這兩項使用性能納入評估後，最終計得材料循環度 MCI 值。

有關產品材料物質流及影響循環指標的變數如圖 2-10 所示，計算公式如表 2-9 所示。以下簡述三項產品資訊之計算概要：

(一) 生產製造階段的原生物料量 V：

為扣除產品使用回收再生資源、重複使用舊資源及(或)可持續來源的生物性材料後的質量比例。

(二) 使用階段的性能表現 X：

產品與同類工業產品的平均實際壽命和平均實際功能單位之比率。

(三) 產品使用壽命結束後產生之無法恢復的廢棄物量 W ：

- 產品使用壽命結束後扣除用作回收再生、重複使用、生物性材料進行堆肥及（或）能量回收的質量比例，計算掩埋或能源回收的不可恢復廢棄物量。
- 分別取得回收過程及生產回收資源的回收效率，計算回收過程中產生的不可恢復廢棄物量。

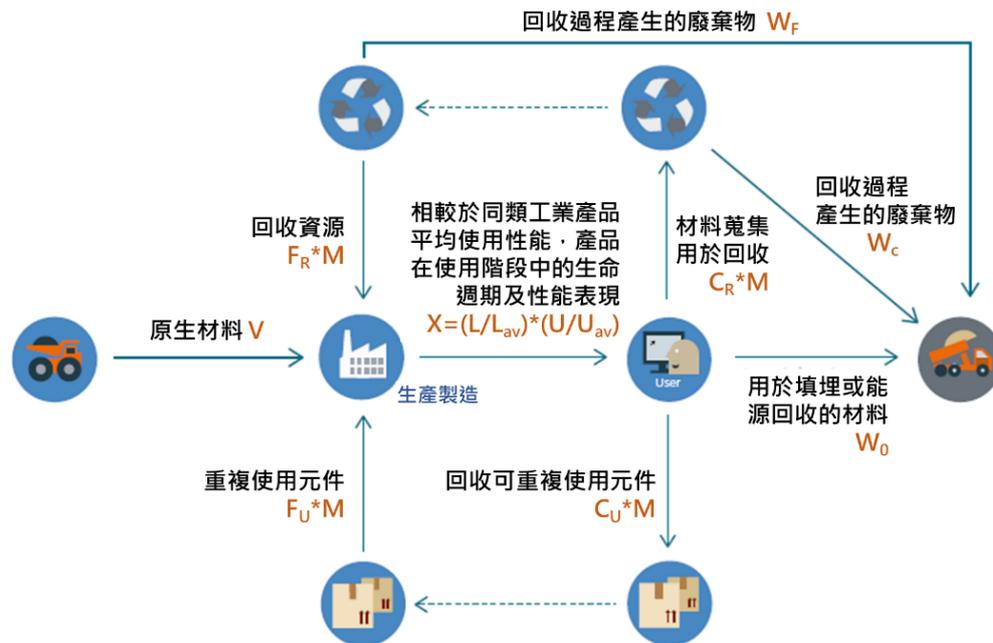


圖 2-10 工業材料物質流及影響循環指標的變數

圖片來源：EMF，本研究轉譯彙整

表 2-9 MCI 計算公式彙整表

項次	項目/公式	說明
產品層級		
1.	原生材料使用量 $V = M(1 - F_R - F_U - F_S)$	V ：非來自重複使用、回收或可持續來源生物性材料的材料 M ：產品質量 F_R ：產品使用回收再生資源的質量比例 F_U ：產品重複使用舊資源的質量比例 F_S ：產品使用可持續來源的生物性材料比例
2.	不可恢復的廢棄物量 $W = W_0 + \frac{W_F + W_C}{2}$	W ：不可恢復的廢棄物量 W_0 ：用作掩埋或能源回收的不可恢復廢棄物量 W_F ：生產回收資源中產生的不可恢復廢棄物量 W_C ：回收過程中產生的不可恢復廢棄物量 註：為避免重複計算回收過程中產生的廢棄物量，故採平均分配回收過程及生產回收資源過程所產生的廢棄物量貢獻 $(W_F + W_C)/2$ 作為計算回收過程中所產生的廢棄物量。

項次	項目/公式	說明
2.1	<p>用作掩埋或能源回收的不可恢復廢棄物量</p> $W_0 = M(1 - C_R - C_U - C_C - C_E)$	<p>C_R：用作回收再生的產品質量比例 C_U：用作重複使用的產品質量比例 C_C：未污染的生物性材料被收集進行堆肥的產品質量比例 C_E：可持續性生產的生物性材料用作能源回收的產品質量比例，$C_E=(E_E \times B_C)$。 B_C：符合要求的生物材料的碳含量。 註：經觀察發現應用於結構的大多數生物材料的典型碳含量在 40% 至 50% 之間，因此在缺乏準確數據情形下，可採用 45% 的預設值。 E_E：回收效率，$E_E=(E_R / (HHV \times M_B))$ E_R：能源回收，單位為 MJ 或 BTU HHV：高熱值，單位為 MJ 或 BTU M_B：符合要求的生物材料質量</p>
2.2	<p>生產再生資源中產生的不可恢復廢棄物量</p> $W_F = M \frac{(1 - E_F) F_R}{E_F}$	<p>E_F：用於生產再生資源的回收效率 註：在封閉循環中（從原產品中獲得生產再生資源的材料），$E_F=E_C$。</p>
2.3	<p>回收過程中產生的不可恢復廢棄物量</p> $W_C = M(1 - E_C) C_R$	<p>E_C：產品中用作回收再生的材料部分的回收效率 註：在封閉循環中（從原產品中獲得生產再生資源的材料），$E_C=E_F$。</p>
3.	<p>線性流動指數(Linear Flow Index, LFI)</p> $LFI = \frac{V + W}{2M + \frac{W_F - W_C}{2}}$	<p>計算總質量流量時，除了產品質量外，還包含生產製造階段使用的回收再生資源將產生的廢棄物量 $W_F/2$，但需另扣除不作為原產品回收材料的廢棄物量 $W_C/2$。</p>
4.	<p>產品使用性能</p> $X = \left(\frac{L}{L_{av}}\right) \times \left(\frac{U}{U_{av}}\right)$	<p>L：產品的實際平均生命週期 L_{av}：同類產品的平均生命週期 U：產品在使用階段所具備的實際使用次數(以功能單位計) U_{av}：同類產品在使用階段所具備的平均使用次數(以功能單位計)</p>
5.	<p>產品的材料循環指標</p> $MCI_P = \max(0, MCI^*_P)$ $MCI^*_P = 1 - LFI \times F(X)$	<p>設定產品使用因素 $F(X)=0.9X$。 全線性流動產品($LFI=1$)及其使用性能等同於工業平均水平($X=1$)者，其 MCI^*_P 計得為 0.1。 全線性流動產品($LFI=1$)及其使用性能低於工業平均水平($X<1$)者，其 MCI^*_P 可能為負數，因此設定 MCI_P 最小值為 0。</p>
公司企業層級		
1.	<p>正規化因數</p> $N_{D(\alpha)} = \sum_{\beta} N_{R(\alpha,\beta)}$	<p>$N_{R(\alpha,\beta)}$：α 部門中產品範圍 $R_{(\alpha,\beta)}$ 的正規化因數</p>
2.	<p>部門 MCI</p> $MCI_{D(\alpha)} = \frac{1}{N_{D(\alpha)}} \sum_{\beta} (N_{R(\alpha,\beta)} \times MCI_{P(\alpha,\beta)})$	<p>$MCI_{P(\alpha,\beta)}$：產品 $P_{(\alpha,\beta)}$ 的材料循環指標</p>
3.	<p>公司 MCI</p> $MCI_C = \frac{1}{N_C} \sum_{\beta} (N_{D(\alpha)} \times MCI_{D(\alpha)})$	<p>$N_C = \sum_{\alpha} N_{D(\alpha)}$</p>

資料來源：[Circularity indicators: an approach to measuring circularity]，

本研究整理

基於商業發展考量，MCI 評估方法另可補充如風險指標、影響指標等項目，以提供企業進一步潛在風險等資訊。例如風險指標可透過分析材料價格走勢、材料供應鏈風險、材料稀缺性及毒性等影響其製造成本、逆行物流及公眾安全的因素；影響指標為評估循環度的改變對企業造成的影響，如能源與水資源使用、溫室氣體排放、生物多樣性或土壤流失等資訊，協助企業在循環性與產品設計和採購材料的經濟、環境和社會目標之間進行權衡與決策。

有關此評估方法其他補充資訊整理如下：

(一) 生產製造過程使用的回收/重複使用材料不一定須來自原產品，也可從公開市場上取得，因此無論是否為封閉循環的產品物質流，均可使用此計算方法。(圖 2-10 材料回收過程之虛線)

(二) 生物性材料在使用結束後被用作堆肥之規範

材料需符合公認標準認為可堆肥，並對隨後引入的生態系統無毒和生物性相容，而堆肥的副產品還須具生物可利用性，以避免被用作填埋，造成有價值的營養物質無法進入生物循環。滿足以上條件的生物性材料堆肥可被視為高達 100% 的效率。

(三) 生物性材料在使用結束後被用作能源回收之規範

生物性材料須滿足以下所有條件方可用作能源回收：

1. 在材料生命週期來到終點時，除掩埋外，已無其他應用選擇(例如不可回收或堆肥)。
2. 材料須來自生物性來源。
3. 生物性材料須明確來自可持續生產來源。
4. 生物性材料須完全不受工業材料污染(包括塗料、防腐劑和填料，除非它們為惰性材料和無毒。)
5. 為優化且有效地的能源回收，以取代其他不可再生性的選項。
6. 能源回收的副產品需為生物性有益，如土壤改良劑，不能對生態系統有害。

MCI 評估方法考量自然生態具備從大氣中吸收 CO₂ 的能力，將能源回收限制於可持續生產的生物性材料，可確保生態系統吸收由此產生的 CO₂ 的能力獲得保障；另通過對殘留物的嚴格要求以及將其重新引入生物系統，可避免污染物侵害生物系統，同時保留生物循環所需之營養素。

此方案適用於無法通過堆肥自然降解、不適用於回收、如不重複使用或再製造即有污染疑慮的生物基耐久性聚合物。與其他替代方案相比，能源回收的循環貢獻較低，被視為循環中最低效的型式，故強調優先選擇其他替代方案。

(四) 產品使用性能將受工業同類產品平均水平影響，藉此鼓勵改進產品

性能表現。此外，考量輕量化可節省之材料量不如延長產品壽命及效能來得有效，且產品之類型及尺寸多樣，大多依標準質量生產，因此未納入產品使用性能之評估範疇。

- (五) 此評估方法將材料擷取過程及各式生產過程中造成之材料流失計算方法檢附於附錄中。由於在實務中此類資訊不易取得，故目前未納入主要計算方法中。
- (六) 此評估方法假設使用階段結束後回收之材料具備與原材料相似之品質。
- (七) 此評估方法假設重複利用產品材料過程中不會造成材料損失。
- (八) 此評估方法假設從生產製造到使用階段結束，產品的質量皆不會改變。
- (九) 影響回收效率的因素包含：材料類別、涉及的材料種類多寡及其純度、材料分類分級程序、時間、設備、回收技術及需求等。一般上各類材料及各種回收程序有各自特定之回收效率。
- (十) 此評估方法雖未包含有關材料降級(或升級)循環之規範，然而當回收材料進行降級再利用時，可接受輕微的污染及顏色混合，惟應確保其材料能夠透過有效且經濟可行之方式被處理和分離。除非產品材料經證實可被回收循環再利用，否則不能被視為可回收。
- (十一) 若缺乏相關產品資料或無法取得實際數據，可採用區域代表性的數據並標示數據引用來源，例如政府規定的回收率或一般通用資料。

三、荷蘭恩荷芬理工大學 Verberne 「建築物循環度指標」

Verberne 提出之「建築物循環度指標 BCI」架構經過試算驗證以及專家學者訪談與諮詢，從材料延伸至產品、系統及建築物層級，將產品可拆解性、建築物層級生命週期及重要性等因素納入整體循環度評估。以下共分四個階段說明 BCI 之計算架構，另一方面，此研究將生態環境影響與經濟價值等相關因子作為輔助資訊，供使用者評估採用。

在循環度評估計算中，第一階段以 2015 年艾倫·麥克阿瑟基金會提出的第一版「材料循環度 MCI_p」為基礎，計算產品的材料投入(天然材料與非天然材料)、產出(可循環材料與廢棄物)及使用性(技術生命週期)。此部分需要取得產品詳細部件和材料的資訊，例如物料清單(Bill of Materials, 簡稱 BOM)；而針對產品使用性，研究採用產品與對應之建築物層次的平均生命週期(參表 2-11)比值進行計算。由於 MCI 僅評估材料(物料)層面的循環，不考量構件材料界面接合等將影響未來循環性的問題，此研究將其視為產品循環度的理論值。

產品連接方式或材料的界面若以化學的或無法乾淨分離之方式接合，則無法確保未來可再被回收，因此研究第二階段將產品和材料界面及連接的方式納入考量，發展「產品循環度指標 PCI」，並將其視為產品的實際循環度。PCI 以可拆解設計 (Design for Disassembly, 簡稱 DfD) 為評估原則，其中包含功能性、技術性與物理性之解構；經評估實際可操作性及有效性後，研究採用「可拆解設計之關鍵因子」(Disassembly Determining Factor, 簡稱 DDF) 當中部分項目作為 PCI 評估項目。

表 2-10 BCI 採用之可拆解設計關鍵因子權重分數

類別	項目	關鍵因子	評估基準	權重 (F _i)	
功能性解構	功能獨立	功能分離	功能分離	1.0	
			統整相同生命週期的功能到一個元素中	0.6	
			統整不同生命週期的功能到一個元素中	0.1	
		Functional dependence 功能相依	modular zone 模組化	1.0	
			planned interpenetrating for different solutions (overcapacity)	0.8	
			planned for one solution	0.4	
			unplanned interpenetrating	0.2	
			total dependence 功能完全依賴	0.1	
技術性解構	生命週期協調	技術性生命週期/協調性	長/長，或短/短，或長/短	1.0	
			中/長	0.5	
			短/中	0.3	
			短/長	0.1	
物理性解構	界面幾何	產品形邊幾何	開放式線性	1.0	
			對稱重疊	0.8	
			單邊重疊	0.7	
			不對稱重疊	0.4	
			單邊嵌入式	0.2	
			雙邊嵌入式	0.1	
		產品邊形標準化	預製幾何	1.0	
			半標準化幾何	0.5	
			現地製造	0.1	
	連接方式	連接方式	連接方式	附件式外部連接或系統連接	1.0
				直接連接附加的固定裝置	0.8
				直接連接插入件	0.6
				直接整體連接	0.5
				附件式內部連接	0.4
				填充軟化學物連接	0.2
填充硬化學物連接				0.1	
直接化學連接				0.1	
固定與中介的可能性				無障礙	1.0
			可通過操作完成，不會造成損壞	0.8	
	可通過操作完成，造成的損害可修復	0.6			
	可通過操作完成，會造成損壞	0.4			
		無法操作，元素將全部毀損	0.1		

資料來源：[Buiding circularity indicators: an approach for...]，本研究轉譯彙整

第三階段依建築物層級匯集 MCI 及 PCI，並採用產品質量作為正規化因子計算「系統循環度指標 SCI」。SCI 值同樣介於 0-1 之間，若在系統中所有產品為可完全拆解及循環，SCI 值為 1；相對的，若所有產品為線性並採用不可拆解的方式，SCI 值為 0。

依據文獻研究與專家諮詢結果顯示，循環度對生命週期較短的系統，比起生命週期長的系統來得更重要，因此研究依建築物層級訂列建築物系統之重要性指數(表 2-11)，最終將 SCI 乘積重要性指數後計得「建築物循環度指標 BCI」。

表 2-11 建築物系統層級之循環度重要性指數

建築物系統層級	平均生命週期(年)	循環度重要性指數
傢俱設備	5	1.0
空間配置	10	0.9
服務系統	15	0.8
外殼系統	20	0.7
結構系統	100	0.2
基地	500	0.1

資料來源：[Buiding circularity indicators: an approach for...]，本研究轉譯

表 2-12 BCI 計算公式彙整表

項次	項目/公式	說明
1.	原生材料使用量 $V_{(x)} = M_{(x)}(1 - NV_{RC(x)})$	$V_{(x)}$ ：每個子組件使用的天然原料 $M_{(x)}$ ：子組件的質量 $NV_{RC(x)}$ ：每個子組件使用的非天然原料比例
2.	不可恢復的廢棄物量 $W = M(1 - F_{RU})$	W ：廢棄物量 F_{RU} ：作為重複使用、翻新、再製造及再循環使用的產品比例
3.	線性流動指數 LFI $LFI = \frac{V + W}{2M}$	V ：產品天然原料使用量(加總各子組件使用的天然原料量)
4.	產品使用性能 $X_{p(\infty)} = \frac{L_p}{L_{sys}}$	L_p ：產品的實際平均生命週期 L_{sys} ：
5.	產品的材料循環指標 $MCI_{P(\infty)} = \max(0, MCI^*_{P(\infty)})$ $MCI^*_{P(\infty)} = 1 - LFI_{P(\infty)} \times F(X_{p(\infty)})$	設定產品使用因素 $F(X) = \frac{a}{X_{p(\infty)}}$ ，a 為常數，艾倫麥克阿瑟基金會設定 a 為 0.9。
6.	產品循環度指標	MCI_p ：指定產品的材料循環度指標(含 n 種材料) F_i ：可拆解關鍵因子得分

項次	項目/公式	說明
	$PCI_P = \frac{1}{F_d} \sum_{i=1}^n MCI_P \times F_i$	F_d ：每個產品可拆解可能性(F_i)最大值的加總
7.	<p>系統循環度指標</p> $SCI_{s(t)} = \frac{1}{W_s} \sum_{j=1}^n MCI_j \times W_j$ $SCI_{s(p)} = \frac{1}{W_s} \sum_{j=1}^n PCI_j \times W_j$	<p>W_s：每個產品的正規化因子(W_j)加總</p> <p>$SCI_{s(t)}$：系統循環度指標的理論值(theoretical value)</p> <p>$SCI_{s(p)}$：系統循環度指標的實際值(practical value)</p>
8.	<p>建築物循環度指標</p> $BCI_{(t)} = \frac{1}{LK_l} \sum_{k=1}^n SCI_{(t)k} \times LK_k$ $BCI_{(p)} = \frac{1}{LK_l} \sum_{k=1}^n SCI_{(p)k} \times LK_k$	<p>LK_i：每個系統的重要性水平(LK_k)加總</p> <p>$BCI_{(t)}$：建築物循環度指標的理論值</p> <p>$BCI_{(p)}$：建築物循環度指標的實際值</p>

資料來源：[Buiding circularity indicators: an approach for...]，本研究整理

四、荷蘭 Platform CB'23 「營建循環度評估方法」

CB'23 平台諮詢營建產業利益相關者有關循環營建之需求，參考如荷蘭建築質量基金會 (Stichting Bouwkwiteit) 管理的《建築物 and 土木工程環境性能測定方法》(Bepalingsmethode milieuprestatie gebouwen en GWW werken, 簡稱 SBK 方法)、生命週期評估(Life-cycle assessment, 簡稱 LCA)及 MCI 評估方法等系統發展建立「營建循環度評估方法」。

此評估指標依據推行循環營建的三項主要目標訂定，分別為【保存材料】、【保護環境】及【保留價值】，各項指標評估結果為獨立計得，目前評估結果不會導向一項總體指標或分數。另由於適應能力將影響產品的服務壽命、使用過程的更新潛力及轉型能力，因此結構或產品的適應能力報告也包含在評估範疇中。各主要指標系統評估項目彙整如下，物質流平衡示意圖及計算公式彙整詳圖 2-11 及表 2-15：

(一) 主要指標【保護既有材料存量】

指標原則為減量使用及限制材料流失。主要計算結構或物件整體生命週期中的「投入流」及「產出流」，「投入流」包含所有為製造、維修及調整所需使用的天然材料或二次料，「產出流」則包含在生命週期中或生命週期結束後所抽離的材料，如重複使用或回收材料，以及耗損流失的材料。

另一方面，由於可再生材料也容易枯竭，因此需將整個生產過程列入考量，例如考慮木材來源的森林再生能力，而不是單看一特定樹木的再生。

1. 材料使用量 (材料投入)

- (1) 天然材料量:分為可再生天然材料、不可再生天然材料、可持續性生產及可再生天然材料、非可持續性生產及可再生天然材料。
 - (2) 二次材料量:分為重複使用的及回收的二次料。
 - (3) 稀缺材料使用量:依據非生物耗竭潛力 (Abiotic depletion potential, 簡稱 ADP) 方法,反映所使用的原料在地殼的存量以及技術上及經濟可行性,被大量使用但存量少的材料被視為稀缺材料。
 - (4) 社會經濟稀缺之原材料量:依據歐盟每三年更新一次的《關鍵原材料清單》(Critical Raw Materials, 簡稱 CRM),此清單為材料之經濟重要性和供應風險設定了門檻,將具經濟重要性和高供應風險的材料框列為社會經濟稀缺原料,而其他的原料則視為豐足原料。
 - (5) 社會經濟豐足之原材料量:非 CRM 之原料。
2. 材料可再次循環使用量 (材料產出)
 - (1) 可重複使用的材料量
 - (2) 可回收的材料量
 3. 材料損失量 (材料產出)
 - (1) 用作能源回收的材料量
 - (2) 填埋處置的材料量

表 2-13 歐盟 2020 年公佈之關鍵原料表

1. 銻 Antimony	11. 鈦 Hafnium	21. 磷 Phosphorus
2. 重晶石 Baryte	12. 重稀土元素 Heavy Rare Earth Elements	22. 鈾 Scandium
3. 鈹 Beryllium	13. 輕稀土元素 Light Rare Earth Elements	23. 金屬矽 Silicon metal
4. 鉍 Bismuth	14. 銦 Indium	24. 鉭 Tantalum
5. 硼酸鹽 Borate	15. 鎂 Magnesium	25. 鎢 Tungsten
6. 鈷 Cobalt	16. 天然石墨 Natural graphite	26. 釩 Vanadium
7. 焦練煤 Coking coal	17. 天然橡膠 Natural rubber	27. 鋁土礦 Bauxite
8. 螢石 Fluorspar	18. 鈮 Niobium	28. 鋰 Lithium
9. 鎵 Gallium	19. 鉑族金屬 Platinum Group Metals	29. 鈦 Titanium
10. 鍺 Germanium	20. 磷酸鹽岩 Phosphate rock	30. 鋇 Strontium

資料來源:歐盟執委會

(https://ec.europa.eu/growth/sectors/raw-materials/areas-specific-interest/critical-raw-materials_en), 本研究轉譯

(二) 主要指標【保護環境】

此指標針對物件進行各項環境影響評估,其系統架構參考荷蘭 SBK 方法之產品系統分類,此分類由歐洲營建產業 LCA 計算方法 NEN-EN 15804 發展而來。指標共包含 19 項評估項目 (詳表 2-14)。

表 2-14 【保護環境】指標評估項目

項次	項目	項次	項目
1.	氣候變遷整體影響	11.	礦物及金屬之非生物性原料耗竭
2.	使用化石燃料的氣候變遷影響	12.	化石燃料載體之非生物性原料耗竭
3.	使用生物基材料的氣候變遷影響	13.	水資源耗竭
4.	土地使用及改變土地用途的氣候變遷影響	14.	顆粒物排放
5.	臭氧耗竭	15.	游離輻射
6.	土壤或水質酸化	16.	淡水生物之生態毒性
7.	淡水之優氧化	17.	人體毒性，致癌性
8.	海水之優氧化	18.	人體毒性，非致癌性
9.	土壤過度施肥	19.	與土地使用有關的土壤品質影響
10.	霧霾形成		

資料來源：[NEN-EN 15804]，本研究轉譯

(三) 主要指標【保留價值】

價值指標僅適用於評估材料、工程產品及元件層面。CB 23 平台行動小組創建此價值指標，將價值性分為技術功能性價值與經濟價值。技術功能性價值與物件當前價值資訊及可協助預測其未來價值的資訊有關，包含功能質量、技術質量、降級、空間與功能適應能力、技術可行之適用能力（可拆卸）等；經濟價值則採用總體擁有成本（Total Cost of Ownership，簡稱 TCO）為評估原則，並參考荷蘭標準化協會 NEN-ISO 15686-5 有關建築物和建築資產之使用壽命規劃的生命週期成本計算方法（Whole-Life Costing，簡稱 WLC）。

技術功能性價值的評估方法仍在發展中，而經濟價值需在技術功能性價值確定後進行評估，故此指標目前尚無法應用。其評估項目如下：

1. 初始價值（材料輸入）：當前狀態之技術功能性價值與經濟價值。
2. 再次循環使用價值（材料輸出）：可被應用至下一個生命週期之技術功能性價值與經濟價值。
3. 既有價值損失（材料輸出）：在生命週期中流失的技術功能性價值與經濟價值。

因結構之價值與材料或配件之價值有所不同，故材料元件的價值不可由更高層級之結構或建築物估算取得。另生命週期之現金流包含負值（成本）與正值（效益），使用者應評估生命週期各階段可能增值或減值的現金流，而不僅是初期投資現金，以下羅列應考量之成本項目：

- (1) 生產階段：包含原料提取、運輸、生產的直接與間接成本
- (2) 工程階段：包含運輸、施工過程的直接與間接成本
- (3) 使用階段：包含使用、維護、維修、汰換、更新、能源成本、水資源成本、保險成本、租金、管理成本等營運成本
- (4) 拆除與處理階段：包含拆除、運輸、廢棄物處理、最終廢棄物處置

等處置與升級成本

(5) 系統外的利益：重複使用或回收再利用的殘值

雖此指標評估可於工程期間任何階段應用，然而行動小組建議實務上最佳的兩個評估時間點為：

- (1) 生命週期開端(發展/設計階段)：主要為獲得有關結構的使用壽命、降級退化，以及在後續循環中的重複利用或回收可能性。
- (2) 在生命週期中：獲取在後續循環應用的可能性資訊，主要為獲取是否可避免降級退化、保留技術質量，以及是否能在下一個生命週期中以相同功能被使用等資訊。

(四) 適應能力報告

適應能力評估適用於建築物或結構層級，一般上可按不同適應類別(例如分為空間功能性及技術層面適應能力)、生命週期各階段的適應能力規劃、以及增進適應能力的效益等部分進行分析，內容應包含對未來情景的分析和決策方式、依據分析結果所採取的適應性措施及理由，以及可確保適應性措施的方式，例如易於維護之程度，或既有功能轉換的適應能力等資訊。

此報告依 Stewart Brand 於 1994 年提出之不同的建築層次，由同類部件的一致性、系統之彈性、建築層次關係及服務壽命等角度，提出可應用於結構或建築物之適應能力策略供使用者參考使用。

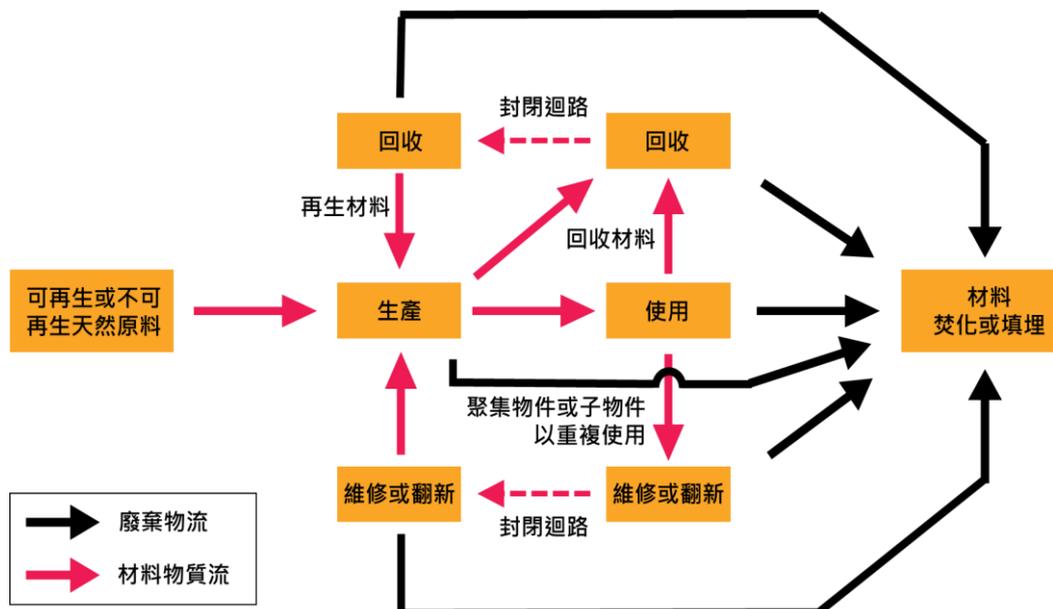


圖 2-11 材料物質流平衡示意圖：子物件的材料投入與產出流

圖片來源：Platform CB '23，本研究轉譯

表 2-15 「營建循環度指標」材料物質流平衡計算公式彙整表

項次	名稱	計算規則	計算項目
材料投入			
1.	天然原料使用量	$V_x = \frac{\sum_i(m_i \times m_{vi})}{\sum_i m_i}$	V _x :天然原料的使用佔比(%),同時應列出總量值(kg)。 m _i :物件質量(kg) m _{vi} :天然原料的質量佔比
1.1	不可再生天然原料使用量	$NH_x = \frac{\sum_i(m_i \times m_{nh})}{\sum_i m_i}$	NH _x :不可再生材料的使用佔比(%),同時應列出總量值(kg)。 m _i :物件質量(kg) m _{nh} :不可再生材料的質量佔比
1.2	可再生天然原料使用量	$H_x = \frac{\sum_i(m_i \times m_h)}{\sum_i m_i}$	H _x :可再生材料的使用佔比(%),同時應列出總量值(kg)。 m _i :物件質量(kg) m _h :可再生材料的質量佔比
1.2a	可持續性生產之可再生天然原料使用量	$N_x = \frac{\sum_i(m_i \times m_{ni})}{\sum_i m_i}$	N _x :可持續性生產之可再生的使用佔比(%),同時應列出總量值(kg)。 m _i :物件質量(kg) m _{ni} :可持續性生產之可再生材料的質量佔比
1.2b	非可持續性生產之可再生天然原料使用量	$VN_x = \frac{\sum_i(m_i \times (m_{vi} - m_{ni}))}{\sum_i m_i}$	VN _x :非可持續性生產之可再生的使用佔比(%),同時應列出總量值(kg)。 m _i :物件質量(kg) m _{vi} :天然原料的質量佔比 m _{ni} :可持續性生產之可再生材料的質量佔比
2.	二次料使用量	$S_x = \frac{\sum_i(m_i \times m_{si})}{\sum_i m_i}$	S _x :二次料的使用佔比(%),同時應列出總量值(kg)。 m _i :物件質量(kg) m _{si} :二次料的質量佔比
2.1	重複使用的二次料使用量	$H_x = \frac{\sum_i(m_i \times m_{s,hi})}{\sum_i m_i}$	H _x :重複使用材料的使用佔比(%),同時應列出總量值(kg)。 m _i :物件質量(kg) m _{s,hi} :重複使用材料的質量佔比
2.2	回收的二次料使用量	$R_x = \frac{\sum_i(m_i \times m_{s,ri})}{\sum_i m_i}$	R _x :回收材料的使用佔比(%),同時應列出總量值(kg)。 m _i :物件質量(kg) m _{s,ri} :回收材料的質量佔比
3.	稀缺原料使用量	採用非生物耗竭潛力(ADP)方法	ADP 方法反映原材料的使用量與此原材料在技術及經濟可行情形下的地殼存量比率。
4.1	社會經濟稀缺原料使用量	$K_x = \frac{\sum_i(m_i \times m_k)}{\sum_i m_i}$	K _x :社會經濟稀缺材料的使用佔比(%),同時應列出總量值(kg)。 m _i :物件質量(kg) m _k :社會經濟稀缺材料的質量佔比
4.2	社會經濟豐足原料使用量	$NK_x = \frac{\sum_i(m_i \times m_{nk})}{\sum_i m_i}$	NK _x :社會經濟豐足材料的使用佔比(%),同時應列出總量值(kg)。 m _i :物件質量(kg) m _{nk} :社會經濟豐足材料的質量佔比
材料產出			

項次	名稱	計算規則	計算項目
1.	可重複使用的材料量	$H_g = \frac{\sum_i (m_i \times m_{he})}{\sum_i m_i}$	H _g :可重複使用的材料佔比(%), 同時應列出總量值(kg)。 m _i :物件質量(kg) m _{he} :重複使用材料的質量佔比
2.	可回收的材料量	$R_e = \frac{\sum_i (m_i \times m_{re})}{\sum_i m_i}$	R _e :可回收的材料佔比(%), 同時應列出總量值(kg)。 m _i :物件質量(kg) m _{re} :回收的材料質量佔比
3.	用於能量回收的材料量	$R_e = \frac{\sum_i (m_i \times m_{ew})}{\sum_i m_i}$	R _e :用於能量回收的材料佔比(%), 同時應列出總量值(kg)。 m _i :物件質量(kg) m _{ew} :用於能量回收的材料質量佔比
4.	填埋處置的材料量	$R_s = \frac{\sum_i (m_i \times m_{st})}{\sum_i m_i}$	R _s :掩埋的材料佔比(%), 同時應列出總量值(kg)。 m _i :物件質量(kg) m _{st} :掩埋的材料質量佔比
環境指標			
1.	參考《建築物和土木工程環境性能測定方法》(SBK 方法)(Bepalingsmethode milieuprestatie gebouwen en GWW werken)		
價值指標 (針對材料、工程產品及元件層面)			
1.	技術功能價值	$VTF = TFW_i - TFW$	VTF:技術功能價值損失(%) TFW _i :初始技術功能價值(100%) TFW:現行技術功能價值 (評估方法尚在發展中)
2.	循環再使用的經濟價值	$EW_b = \frac{B_D}{K_A + K_B + K_C} \times 100\%$	EW _b : 循環再使用的經濟價值(%) B _D :物件系統以外的利益 K _A :生產與工程階段的成本 K _B :使用階段的成本 K _C :拆除與處置階段的成本
3.	經濟價值損失	$EW_v = EW_i - EW_b$	EW _v :經濟價值損失(%) EW _i :初始經濟價值(%) EW _b :下一階段循環再使用的經濟價值(%)
適應能力 (針對建築物/結構)			
1.	適應能力報告	考量因素包含空間功能性及技術性的適應能力, 或參考結構、空間及材料和元素的轉型面向。	內容應包含: •未來情形的分析與決策 •採取的適應性措施及其理由 •適應性措施的保護機制

資料來源：[Guide for measuring circularity...], 本研究整理

循環度評估方法可依據實際數據進行估算, 亦可採用預估資料估算預計之循環度。在評估方法中, 最佳情形為取得指定結構或標的物的評測資料, 然而此類資料一般無法在工程前期取得, 例如設計階段, 因而缺乏良好的數據基礎。「營建循環度評估方法」並不包含資料蒐集規範, 使用者可從荷蘭國家環境數據庫 (Dutch national environmental database, 簡稱 NMD) 取得大多數通用數據, 然而 NMD 目前不包含二次料使用及可持續性生產可再生原料等資訊, 因此使用者需自行評估此項資訊, 或取得代表性資訊。此外特定資料可從「環境產品聲明」(The Environmental Product Declarations, 簡稱 EPDs) 中取得, 或向生產者或供應商詢問。

此外，評估方法不計入有關化石燃料或其他能源載體、水資源、包裝材料等資源擷取，且目前僅考量物件首個生命週期之物質流，有關後續生命週期之物質平衡有待未來探討及納入評估範疇。在評估物件整體生命週期時，各層級的生命週期均納入考量，例如門窗需更換其配件（門鎖或鉸鏈等）的情形，因此在使用階段中，主要考量的因素為各物件的服務壽命。



圖 2-12 接續生命週期之物質平衡將納入未來評估方法中

圖片來源：Platform CB 23，本研究轉譯

第三節 國內外循環建材之認證來源

壹、環保標章

我國環保署於 81 年推動環保標章制度，其推動理念為鼓勵事業單位於產品之原料取得、製造販賣、使用及廢棄之產品生命週期過程中，能夠降低環境之污染及節省資源之消耗，促進廢棄物之減量及回收再利用，同時喚醒消費者慎選可回收、低污染、省資源之產品，以維護環境品質。(環保署全民綠生活,2022)

環保標章共有 14 項分類產品，包含資源回收產品類、(OA)辦公室用品產品類、清潔產品類、可分解產品類、資訊產品類、有機資材類、家電產品類、建材類、省水產品類、日常用品類、省電產品類、工業類、利用太陽能資源、服務類，前述 14 項皆訂定規格標準，其中建材類有規定需使用回收材料之建材產品，共計 7 項產品，如下表 2-16 所示。(環保署網站,2022)

表 2-16 環保標章-建材類之產品規格標準

分類號	規格標準	產品特性	有無規定 使用回收料
H-01	水硬性混合水泥	<ol style="list-style-type: none"> 1. 產品使用回收料種類應全部為國內產出之高爐爐渣、高爐爐石粉、煤灰。<u>產品回收料摻配重量百分比應大於40%。</u> 2. 回收料之來源應為廢棄物清理法規定可再利用之廢棄物或資源回收再利用法公告之再生資源，其再利用應分別依廢棄物清理法或資源回收再利用法相關規定辦理。 3. 產品及製程不得使用本署公告列管毒性化學物質及蒙特婁議定書管制物質。 	V
H-02	建築用隔熱材料	<ol style="list-style-type: none"> 1. 產品熱傳導係數應符合附件之管限制值。 2. 產品使用尿素樹脂、三聚氰胺樹脂、醛酚樹脂、間苯二酚醛樹脂、甲醛系防腐劑，含有羥甲基之單體，Rougalite 系 [(硫羥鹽酸，sulfoxylic hydrochloric acid); 亞硫酸氫鹽 (hydrosulfite) 與福馬林之化合物] 觸媒等製成者，甲醛逸散速率應符合管限制值。 3. 產品如使用黏著劑黏合外被材、面材或皮膜層者，總揮發性有機化合物逸散速率應符合管限制值。 4. 品如為發泡塑膠，其鎘、鉛、六價鉻、汞、多溴聯苯、多溴二苯醚及短鏈氯化石蠟 應符合管制值。 5. 產品及製程不得使用本署公告列管毒性化學物質及蒙特婁議定書管制物質。 	X
H-04	窯燒類資源化建材	<ol style="list-style-type: none"> 1. 產品使用回收料應全部為國內消費、使用、營建、製造或加工等過程產出，摻配重量百分比應符合下列規定之一<u>(1) 陶瓷熟廢胚或廢玻璃 ≥ 5%。</u> <u>(2) 陶瓷業之無機污泥(乾基) ≥ 8%。</u> <u>(3) 石材回收料或石材污泥 ≥ 30%。</u> <u>(4) 其他回收料 ≥ 50%。</u> 	V

分類號	規格標準	產品特性	有無規定 使用回收料
		<p>若採用上述回收料混合摻配時，其總和使用比率須大於單一回收料摻配比率。</p> <p>2. 產品及製程不得使用本署公告列管毒性化學物質及蒙特婁議定書管制物質。</p>	
無	自然循環式 太陽能熱水器	<p>1. 本規格標準適用於自然循環式太陽能熱水器，包括直接加熱型與間接加熱型。</p> <p>2. 依國家標準最新版試驗條件及方法，產品之一日平均系統效率(η)之實測值應為 55% (含)以上。</p> <p>3. 間接加熱型所使用之熱媒及隔熱材製造過程，均不得使用環保署公告之毒性化學物質，另熱媒不得使用鹵化有機物，隔熱材不得使用蒙特婁議定書之管制物質。</p> <p>4. 產品之適用條件、適用場所、使用限制、材質使用壽命、經濟效益評估及集熱板選用面積之規格建議表須於使用說明書或包裝上清楚註明。</p> <p>5. 標章使用者之名稱及住址須清楚記載於產品或包裝上。標章使用者若為代理商，其製造者之名稱及住址須一併記載於產品或包裝上。</p> <p>6. 產品或包裝上須標示「節省能源」。</p> <p>註：本項產品出貨時包裝之瓦楞紙箱應採用回收紙混合</p>	X
H-07	非窯燒類資 源化建材	<p>1. 產品使用回收料應全部為國內消費、使用、營建、製造或加工等過程產出；<u>水泥製品類產品回收料摻配重量百分比應大於 50%，級配粒料類、高爐石製品類、纖維及石膏板類產品回收料摻配重量百分比應大於 70%。</u></p> <p>2. 產品依毒性特性溶出程序萃出液之總汞、總鎘、總硒、六價鉻、總鉛、總鉻、總砷、總銀、總銅、總鋇含量應符合管制限值。但回收料來源全部屬經濟部事</p>	V

分類號	規格標準	產品特性	有無規定 使用回收料
		<p>業廢棄物再利用種類所定義之石材廢料(板、塊)，且其再利用用途、再利用機構資格及運作管理均符合經濟部規定者，得不需檢測。</p> <p>3. 產品及製程不得使用本署公告列管毒性化學物質及蒙特婁議定書管制物質。</p>	
H-08	塗料	<p>1. 產品不得含有汞、鉛、鎘、六價鉻、砷、鎘、三苯基錫、三丁基錫、鹵性溶劑及各項鄰苯二甲酸酯類塑化劑，其檢出含量應符合管制限值。</p> <p>2. 水性塗料產品不得含有三氯沙（二氯苯氧氣酚），其檢出含量應符合管制限值。</p> <p>3. 產品總多環芳香族碳氫化合物含量應符合管制限值。</p> <p>4. 產品置於環境控制箱中，量測甲醛及總揮發性有機化合物濃度達穩定狀態時之逸散速率應符合管制限值。</p> <p>5. 產品中不得使用化學品全球分類及標示調和制度(GHS)判定具有下列危害警告訊息或危害防範措施之有害物質：H300、H301、H310、H311、H330、H331、H334、H340、H341、H350、H351、H360、H361、H370、H372、H373、H400、H410、H411、H412。並提供申請產品各成分及各添加劑清單、比例與安全資料表以供查核。安全資料表應詳細說明其內含之化學成分、化學摘要註冊登錄號(CAS No.)與化學品全球分類及標示調和制度(GHS)判定之危害警告訊息或危害防範措施。如產品屬於聚胺酯類者，則不得使用化學品全球分類及標示調和制度(GHS)判定具有下列危害警告訊息或危害防範措施之有害物質：H300、H301、H310、H311、H340、</p>	X

分類號	規格標準	產品特性	有無規定使用回收料
		H341、H350、H360、 H361、H370、H372、H400、H410、H411、H412 6. 產品及製程不得使用本署公告列管毒性化學物質及蒙特婁議定書管制物質。	
H-09	塑膠類管材	1. 產品不得添加聚氯乙稀 (PVC) 等含氯原料，氯含量應低於管限制值。 2. 產品鄰苯二甲酸酯類塑化劑含量應低於管限制值，包括鄰苯二甲酸二(2-乙基己基)酯 (Di(2-ethylhexyl)phthalate, DEHP)、鄰苯二甲酸二辛酯 (Di-n-octyl phthalate, DNOP)、鄰苯二甲酸二甲酯 (Dimethyl phthalate, DMP)、鄰苯二甲酸二丁酯 (Dibutyl phthalate, DBP)、鄰苯二甲酸丁基苯甲酯 (Benzyl butyl phthalate, BBP)、鄰苯二甲酸二異壬酯 (Di-isononyl phthalate, DINP)、鄰苯二甲酸二異癸酯 (Di-isodecyl phthalate, DIDP)、鄰苯二甲酸二乙酯 (Diethyl phthalate, DEP)。 3. 產品鎘、鉛、汞與錫含量應低於管限制值。	X
H-10	活動隔牆	• 特性： 1. 產品耐燃性應符合 CNS 8072 規範之耐燃 1 級。 2. 產品置於環境控制箱中，量測甲醛及總揮發性有機化合物濃度達穩定狀態時之逸散速率應低於管限制值。 • 材料、附件及零組件： 1. <u>產品木製部分，應為回收木材再生品或出自人工培育林(即非原始林)之木材。</u> 2. <u>產品紙製部分，原料使用回收紙混合率應達 80% 以上，且產品使用原生紙漿纖維應完全來自取得 FSC 或 PEFC 森林驗證標章證書之永續森林。</u> 3. 產品使用紡織品之有機氯殺蟲劑、壬基酚及殘留游離甲醛量應低於管限制	V

分類號	規格標準	產品特性	有無規定 使用回收料
		<p>值，若經染色者則偶氮色料含量應低於管限制值。可遷移性螢光物質不得有螢光反應。</p> <p>4. 產品使用石膏板或矽酸鈣板需符合「資源回收再利用建材」環保標章規格標準規範。</p> <p>5. 產品表面塗裝所使用塗料之鎘、鉛、六價鉻、汞、三苯基錫(TPT)及三丁基錫(TBT)含量應低於管限制值。</p> <p>6. 產品使用黏著劑之多環芳香族碳氮化合物、鹵素溶劑、乙氧烷基酚及鄰苯二甲酸酯類塑化劑含量應低於管限制值，其中鄰苯二甲酸酯類塑化劑包含鄰苯二甲酸二(2-乙基己基)酯(Di(2-ethylhexyl)phthalate,DEHP)、鄰苯二甲酸二辛酯(Di-n-octyl phthalate,DNOP)、鄰苯二甲酸二甲酯(Dimethyl phthalate,DMP)、鄰苯二甲酸二丁酯(Dibutyl phthalate,DBP)、鄰苯二甲酸丁基苯甲酯(Benzyl butyl phthalate,BBP)、鄰苯二甲酸二異壬酯(Di-isononyl phthalate,DINP)、鄰苯二甲酸二異癸酯(Di-isodecyl phthalate,DIDP)、鄰苯二甲酸二乙酯(Diethyl phthalate,DEP)。</p> <p>7. 重量為 25 公克以上塑膠件應符合下列要求：</p> <p>(1) 鎘、鉛、六價鉻及汞含量應低於管限制值。但添加回收料或安全考量添加玻璃纖維之塑膠件，鉛含量應低於 20 mg/kg。</p> <p>(2) 下列阻火物質(flame retardants)含量應低於管限制值。</p> <p>(a) 多溴聯苯類 (polybrominated biphenyls,PBBs)</p> <p>(b) 多溴二苯醚類 (polybrominated</p>	

分類號	規格標準	產品特性	有無規定 使用回收料
		<p>diphenylethers, PBDEs)</p> <p>(c) 含 10-13 個碳原子之含氯鏈狀 烴類化合物(chloroparaffins) 且氯含量重量比為 50%以上者。</p> <p>8. 產品塑膠零組件不得使用鹵化塑膠，並 應符合 ISO 11469 規定，於重量為 25 公克以上之塑膠零組件明顯處清晰標 示塑膠材質種類。</p>	
<p>H-11</p>	<p>空氣源式熱 泵熱水器</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 特性：產品能源效率應符合經濟部能源 局「空氣源式熱泵熱水器節能標章能源 效率基準與標示方法」之規定。 • 材料、附件及零組件： <ol style="list-style-type: none"> 1. 產品表面塗裝所使用塗料不得含有 鎘、鉛、六價鉻、汞、三苯基錫及三丁 基錫，其 檢出含量應符合管限制值。 2. 產品之塑膠零組件不得使用鹵化塑 膠；其重量為 25 公克以上者，應參照 ISO 11469 規定，於明顯處清晰標示材 質種類。 3. 重量為 25 公克以上之塑膠件應符合下 列要求： <ol style="list-style-type: none"> (1)不得含有鎘、鉛、六價鉻及汞，其 檢出含量應符合管限制值。但添加 回收料或安 全考量添加玻璃纖維 之塑膠件，鉛含量應低於 20 mg/kg。 (2)不得含有下列阻燃劑，其檢出含量 應符合管限制值： <ol style="list-style-type: none"> (a)多溴聯苯類(polybrominated biphenyls, PBBs) (b)多溴二苯醚類(polybrominated diphenylethers, PBDEs) (c)含 10-13 個碳原子之含氯鏈狀 烴類化合物(chloroparaffins)且氯 含量重量比為 50% 以上者。 4. 產品使用冷媒之臭氧破壞潛勢(ODP： ozone depletion potential)應為零。 	<p>X</p>

分類號	規格標準	產品特性	有無規定 使用回收料
H-12	黏著劑	<ol style="list-style-type: none"> 1. 產品不得含有汞、鉛、鎘、六價鉻、砷、銻、三苯基錫、三丁基錫、鹵性溶劑、乙氧烷基酚及鄰苯二甲酸酯類，其檢出含量應符合管制限值。 2. 產品甲醛及總多環芳香族碳氫化合物含量應符合管制限值。 3. 產品總揮發性有機化合物逸散速率應符合管制限值。 4. 產品中不得使用化學品全球調和制度 (Globally Harmonized System, GHS) 判定具有下列危害警告訊息之物質：H300、H301、H310、H311、H330、H331、H334、H340、H341、H350、H351、H360、H361、H370、H371、H372、H373、H410、H411、H412，並提供申請產品各成分及各添加劑清單、比例與安全資料表以供查核，安全資料表應詳細說明其內含之化學成分、化學文摘社登記號碼(CAS No.)與GHS判定之危害警告訊息代碼。 5. 產品及製程不得使用本署公告列管毒性化學物質及蒙特婁議定書管制物質。 	X
H-13	門窗	<ol style="list-style-type: none"> 1. 產品使用玻璃之遮蔽係數、可見光反射率、可見光穿透率應符合內政部建築研究所「節能玻璃綠建材」之規定。 2. 產品使用木質材料部分，原料應為取得<u>FSC森林驗證標章證書或PEFC森林驗證標章證書之木材</u>，或使用混合率達<u>90%以上之回收木材再生品</u>。 3. 木質框架及門板之甲醛及總揮發性有機化合物逸散速率應符合管制限值。 4. 木質產品使用之貼皮材料不得為聚氯乙烯(PVC)材質。 5. 產品應具可拆解性。 6. 產品及製程不得使用本署公告列管毒性化學物質及蒙特婁議定書管制物質。 	V

分類號	規格標準	產品特性	有無規定 使用回收料
H-14	壁紙	<ol style="list-style-type: none"> 1. <u>產品紙製部分之回收紙摻配比率應在50%以上。</u> 2. 產品不得使用聚氯乙烯 (PVC) 等含氯塑膠，氯含量應低於管制限值。 3. 產品不得含有鎘、鉛、六價鉻、汞、三苯基錫、三丁基錫及鄰苯二甲酸酯類，其檢出含量應符合管制限值。 4. 產品甲醛及總揮發性有機化合物之逸散速率應符合管制限值。 5. 耐燃產品不得含有多溴聯苯類及多溴二苯醚類，其檢出含量應符合管制限值。 6. 產品及製程不得使用本署公告列管毒性化學物質及蒙特婁議定書管制物質。 	V
H-15	卜特蘭水泥	<p>水泥環保標章種類：</p> <ul style="list-style-type: none"> • 金級環保水泥：<u>產品回收料各月摻配重量百分比均達15%以上。</u> • 銀級環保水泥：<u>產品回收料各月摻配重量百分比均達10%以上。</u> <p>特性：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 本標準所採計之回收料種類應為國內產出。 2. 回收料之來源包含如下： <ol style="list-style-type: none"> (1) 廢棄物清理法規定可再利用之廢棄物，其再利用應依廢棄物清理法相關規定辦理。 (2) 資源回收再利用法公告之再生資源，其再利用應依資源回收再利用法相關規定辦理。 (3) 營建剩餘土石方，依內政部營建剩餘土石方處理方案規定辦理。 (4) 污染防制設備所產生之脫硫石膏。 3. 產品及製程不得使用本署公告列管毒性化學物質及蒙特婁議定書管制物質。 	V

資料來源：本研究自行彙整環保標章建材類之產品規格標準

貳、資源再生綠色產品

經濟部工業局推動「經濟部資源再生綠色產品」，係指使用一定比例以上之回收料作為物料，且其生產階段符合省能資源、少污染，具增加社會利益或減少社會成本。(資源)

經濟部工業局於 99 年 10 月 29 日依產業創新條例第 27 條第 3 項之規定發布發布「資源再生綠色產品審查認定辦法」(以下簡稱審查認定辦法)，並於 100 年 5 月起陸續受理廠商申請綠色產品認定，使國內欲申請資源再生綠色產品認定之廠商有所依循，以鼓勵廠商產製符合前開辦法規定之綠色產品，提供消費者優質之再生產品。審查認定辦法除規範資源再生綠色產品認定之審核基準、認定程序及管理規範外，並訂定 14 項資源再生綠色產品認定規格，如表 2-17 所示。其中可被納入建材的材料項目為第 8 到第 14 項，所包含建材品項為：陶瓷面磚、地磚、壁磚等磚類 建材、高壓混凝土地磚、混凝土空心磚、植草磚、圍牆 磚、花台磚、樹穴磚、緣石、透水磚、紅磚、矽酸鈣板、纖維水泥板。

表 2-17 「資源再生綠色產品」類別

項次	產品類別	項次	產品類別
1	衛生紙	8	陶瓷面磚、地磚、壁磚等磚類 建材
2	牛皮紙	9	高壓凝土地磚
3	紡織品及其製品	10	混凝土空心磚、植草磚、圍牆 磚、花台磚、樹穴磚、緣石
4	PET 服飾紡織品	11	透水磚
5	橡膠製品	12	紅磚
6	玻璃製品	13	矽酸鈣板
7	木製品	14	纖維水泥板

資料來源：111 年 10 月本研究自行彙整於資源再生綠色產品資訊區

參、綠建材標章

內政部建築研究所於 2004 年建立「綠建材標章制度」，將永續與健康的元素導入至建築材料中。至民國 109 年歷年累計核發的綠建材標章數量已超過兩千九百件，涵蓋的系列產品超過兩萬種。依綠建材解說與評估手冊將綠建材分類標章包含「生態綠建材」、「健康綠建材」、「再生綠建材」及「高性能綠建材」四大類。

(一) 四大類綠建材：

- 一、生態綠建材：係指「採用生生不息、無匱乏危機之天然材料，具易於天然分解、符合地方產業生態特性，且以低加工、低耗能等低人工處理方式製成之建材，稱為生態綠建材。」
- 二、健康綠建材：係指「該建材之特性為低毒性、低危害健康風險之建築材料。」，提高室內空氣環境品質，降低建材對於人體健康的危害程度
- 三、再生綠建材：係指「利用回收材料，經過再製程序，所製造之建材產品，並符合廢棄物減量(Reduce)、再利用(Reuse)及再循環(Recycle)等 3R 原則製成之建材。」
- 四、高性能綠建材：係指「性能有高度表現之建材、材料組件，能克服傳統建材、建材組件性能缺陷，以提升品質效能。」

其中生態綠建材的評估要項中也包含近似於再生的規範如下文所述：生態綠建材對於建材生命週期的廢棄再生階段，建材廢棄後可經由收集、處理而轉變為原物料或產品、易於廢棄再生或者是延長原有物件之使用年限，以減少廢棄物。而再生綠建材規定中也要求使用再生材料，並提出回收材料使用量及佔原料比。故由上文中針對生態綠建材與再生綠

建材此兩類綠建材規範的敘述可以得知，此兩項較符合評估建築循環度對象，以下擷取綠建材解說與評估手冊之再生綠建材評定基準表共計 27 項目，與生態綠建材評定項目共 12 項。

建材項目	可使用之回收材料	回收材料使用比率(重量百分比)	品質與性能試驗項目及方法	特殊要求或分級規定	備註說明
1.粒片板 particle boards	廢棄木材或木材工廠產生之廢棄木料等	90%以上	參照 CNS 2215 品質與性能試驗項目之規定	膠合劑等化學添加劑重量應低於 15%	應說明使用膠合劑種類
2.中密度纖維板 medium density fiber board	廢棄木材或木材工廠產生之廢棄木料等	90%以上	參照 CNS 9909 品質與性能試驗項目之規定	膠合劑等化學添加劑重量應低於 15%	應說明使用膠合劑種類
3.木製家具及課桌椅 Wooden furniture	再生粒片板、再生中密度纖維板等，或自廢棄家具或課桌椅等所拆解回收之材料等	回收材料佔木質部份組成之 60% 以上	參照 CNS 14430 品質與性能試驗項目之規定	產品及零組件不得含有 PVC 成份	應說明使用之塗料
4.再生纖維水泥板、纖維水泥板、纖維強化水泥板 Regenerated fiber cement boards	廢棄混凝土材料、無害性之無機性廢料如廢陶瓷、廢玻璃、石質下腳料等	回收材料除水泥外之比率佔 50% 以上	再生纖維水泥板參照 CNS 14890、纖維水泥板參照 CNS 3802、纖維強化水泥板參照 CNS 13777 等品質與性能試驗項目之規定	所使用水泥之重量不得高於 50%	應說明適用之類別
5.高壓混凝土磚 compressed concrete paving units	營建剩餘土石方、污泥、水庫淤泥、無害之無機性廢料如廢陶瓷、廢玻璃、爐石粉、飛灰、石質下腳料等	回收材料除水泥外之比率如下： A 級：20% 以上 B 級：30% 以上 C 級：50% 以上	參照 CNS 13295 品質與性能試驗項目之規定	抗壓強度依據 CNS 13295 分級	應說明適用等級
6.混凝土空心磚 hollow concrete blocks	營建剩餘土石方、污泥、水庫淤泥、無害之無機性廢料如廢陶瓷、廢玻璃、爐石粉、飛灰、石質下腳料等	回收材料除水泥外之比率如下： A 級磚：20% 以上 B 級磚：30% 以上 C 級磚：50% 以上	參照 CNS 8905 品質與性能試驗項目之規定	抗壓強度依據 CNS 8905 分級	應說明適用等級
7.混凝土粒料 Concrete aggregates、	營建剩餘土石方、污泥、水庫淤泥、無害之無機性廢料如廢陶瓷、廢玻璃、爐石、飛灰、石質下腳料等	回收材料之比率如下： 細粒料應佔 80% 以上 粗粒料應佔 50% 以上	混凝土粒料參照 CNS 1240 品質與性能試驗項目之規定，但其中細粒料級配之篩分析若為 CNS 1240 第 2.2.2 與第 2.2.3 節之情形者，應說明篩分析結果	粗、細粒料依 CNS 14891 之定義，粗粒料為停留於標稱孔寬 4.5mm 之試驗篩者；細粒料為通過標稱孔寬 4.75mm 試驗篩，而主要部份停留於標稱孔寬 75 μ m 試驗篩者	應說明適用之類別(粗、細粒料或混合料)

資料來源：綠建材解說與評估手冊

建材項目	可使用之回收材料	回收材料使用比率(重量百分比)	品質與性能試驗項目及方法	特殊要求或分級規定	備註說明
8.瀝青鋪面粒料 aggregate for bituminous paving mixtures	營建剩餘土石方、污泥、水庫淤泥、無害之無機性廢料如廢陶瓷、廢玻璃、爐石、飛灰、石質下腳料等	回收材料之比率如下： 細粒料應佔 80%以上 粗粒料應佔 50%以上	瀝青鋪面粒料參照粒料總類分別參照 CNS 15305~15310 品質與性能試驗項目之規定。	粗、細粒料依 CNS 14891 之定義，粗粒料為停留於標稱孔寬 4.5mm 之試驗篩者；細粒料為通過標稱孔寬 4.75mm 試驗篩，而主要部份停留於標稱孔寬 75 μ m 試驗篩者	應說明適用之類別(粗、細粒料或混合料)
9.陶瓷面磚 ceramic tile	營建剩餘土石方、污泥、水庫淤泥、無害之無機性廢料如廢陶瓷、廢玻璃、爐石粉、飛灰、石質下腳料等	依 CNS 9737 之區分，I a 與 I b 類之回收材料使用比率應 15%以上；II 類之回收材料使用比率應 15%以上；III 類之回收材料使用比率應 25%以上	參照 CNS 9737 及 CNS 3299-1 品質與性能試驗項目之規定	依 CNS 9737 之分類規定，I a 類為吸水率 0.5% 以下，I b 類為吸水率 3.0% 以下；II 類為吸水率 10.0% 以下者；III 類為吸水率 50% 以下者	應說明適用之類別等級
10.石膏板 gypsum board	使用後回收之石膏、工廠製程中無害性之石膏副產品等	回收材料乾重應佔產品中石膏重量之比率 50% 以上	參照 CNS 4458 品質與性能試驗項目之規定	包括石膏板、防潮石膏板、強化石膏板、粉刷基層石膏板、裝飾石膏板等種類	應說明適用之類別
11.普通磚 common bricks	營建剩餘土石方、污泥、水庫淤泥、無害之無機性廢料如廢陶瓷、廢玻璃、爐石粉、飛灰、石質下腳料等	回收材料乾重比率 40% 以上 (1 種磚、2 種磚、3 種磚皆同)	參照 CNS 382 品質與性能試驗項目之規定	依 CNS 382 所訂吸水率及抗壓強度進行分級	應說明適用之等級
12.輕質混凝土嵌板 lightweight concrete panels	營建剩餘土石方、污泥、水庫淤泥、無害之無機性廢料如廢陶瓷、廢玻璃、爐石粉、飛灰、石質下腳料等	回收材料除水泥外之比率佔 50% 以上	參照 CNS 8646 品質與性能試驗項目之規定	所使用水泥之重量不得高於 8%	應說明水泥使用量

資料來源：綠建材解說與評估手冊

建材項目	可使用之回收材料	回收材料使用比率(重量百分比)	品質與性能試驗項目及方法	特殊要求或分級規定	備註說明
13.水硬性混合水泥 blended hydraulic cement	廢棄高爐爐渣、高爐爐石粉、飛灰等	回收材料佔總重量 40%以上	參照 CNS 15286 品質與性能試驗項目之規定	包括卜特蘭高爐爐渣水泥 (IS 型) 及卜特蘭卜作嵐水泥 (IP 型)。各指定型別之混合水泥，其物理性質應符合 CNS 15286 第 6 節中對該型水泥適用性之規定	應說明適用之類別
14.裝飾用珠狀粒料 granulated aggregate for decoration	回收廢玻璃、陶瓷廢料等	回收材料佔總重量 70%以上	參照 CNS 1240 試驗方法試驗健康度及有機不淨物含量	表面平滑無銳角	應說明不得作為混凝土粒料之用途
15.透水性混凝土磚 permeable concrete paving blocks	營建剩餘土石方、污泥、水庫淤泥、無害之無機性廢料如廢陶瓷、廢玻璃、爐石粉、飛灰、石質下腳料等	回收材料除水泥外之比率佔 50%以上	參照 CNS 14995 品質與性能試驗項目之規定	不得以燒結方式製造，水泥用量不得高於 30%	應說明水泥用量
16.橡膠鋪面材料 Rubber paving material	回收橡膠及各種高分子材料等	回收材料佔總重量 80%以上	參照 CNS 12643 之衝擊吸收性能試驗法之性能準則	膠合劑等化學添加劑含量應低於 10% g-max 200 g 以下，HIC 1000 以下	應說明性能符合情形及使用膠合劑總類與含量
17.合成石 synthetic stone	營建剩餘土石方、污泥、水庫淤泥、無害性之無機性廢料如廢陶瓷、廢玻璃、石質等	回收材料佔總重量 60%以上	參照 CNS 11317 品質與性能試驗項目之規定	膠合劑等化學添加劑含量應低於 8%	應說明使用膠合劑種類
18.水泥瓦 concrete tile	煤灰、爐石粉、再生粒料等	回收材料佔總重量 25%以上	參照 CNS 466 品質與性能試驗項目之規定。並應具 CNS 470 之品質要求	使用水泥之重量不得高於 40%	應說明水泥用量

資料來源：綠建材解說與評估手冊

建材項目		可使用之回收材料	回收材料使用比率(重量百分比)	品質與性能試驗項目及方法	特殊要求或分級規定	備註說明
19.綠混凝土 green concrete	R類	營建剩餘土石方、污泥、水庫淤泥、無害之無機性廢料如廢陶瓷、廢玻璃、爐石粉、飛灰、石質下腳料等	回收粒料佔總粒料之比率(重量) 20%以上	抗壓強度依 CNS 1232 之方法；氯離子滲透電量試驗依 CNS 14795 之試驗方法	28 天抗壓強度大於 210kgf/cm ² ， 56 天氯離子滲透電量小於 2000 庫倫	應說明適用之類別及性能符合情形
	G類	爐石粉、飛灰及其他符合 CNS 3036 之卜作嵐攪和物等	卜作嵐材料佔膠結材料(包含水泥和添加之卜作嵐材料之總重量)之 40%以上			
	H類	爐石粉、飛灰及其他符合 CNS 3036 之卜作嵐攪和物等	卜作嵐材料佔膠結材料(包含水泥和添加之卜作嵐材料之總重量)之 50%以上		高性能綠混凝土為 56 天抗壓強度大於 420kgf/cm ² ， 56 天氯離子滲透電量小於 2000 庫倫	
20.輕質發泡混凝土磚 Lightweight Aerated Concrete Blocks		營建剩餘土石方、污泥、水庫淤泥、無害之無機性廢料如廢陶瓷、廢玻璃、爐石粉、飛灰、石質下腳料等	回收材料除水泥外之比率佔 60%以上	參照 CNS 13480 品質與性能試驗項目之規定	依 CNS 13480 對於種類與品質性能之規定分類	應說明適用之類別
21.磨石子板、磨石子地磚 Terrazzo blocks and terrazzo tiles		營建剩餘土石方、污泥、水庫淤泥、無害之無機性廢料如廢陶瓷、廢玻璃、爐石粉、飛灰、石質下腳料等	回收材料除水泥外之比率佔 50%以上	參照 CNS 3803 品質與性能試驗項目之規定	磨石子板、磨石子地磚之種類參照 CNS 3803 依用途區分	應說明適用之類別
22.木材-塑膠之再生複合材 Wood-plastic recycled composite		回收之塑膠、廢木材等	回收材料佔總重量之 50%以上	參照 CNS 15730 品質與性能試驗項目之規定	回收材料之認定及回收料含有率區分依 CNS 15730 之規定。 木質材料應佔總重量之 40%以上	應說明回收料含有率區分及木質材料之比例

資料來源：綠建材解說與評估手冊

建材項目	可使用之回收材料	回收材料使用比率(重量百分比)	品質與性能試驗項目及方法	特殊要求或分級規定	備註說明
23. 塑膠地磚 Plastic floor	回收之塑膠材料等	回收塑膠材佔總塑膠材之 30%以上	參照 CNS 8907 品質與性能試驗項目之規定	除回收材料外不得含有含氯高分子物質	應說明除回收材料外之塑膠材料皆無含氯高分子物質
24. 隔熱混凝土用輕質粒料 Lightweight Aggregates for Insulating Concrete	營建剩餘土石方、污泥、水庫淤泥、無害之無機性廢料如廢陶瓷、廢玻璃、礦石纖維等	回收材料佔總重量 50%以上	參照 CNS 14826 品質與性能試驗項目之規定	依 CNS 14826 對於種類與性能之規定，以粒料所製作之混凝土單位重量與熱傳導係數應符合。	應說明適用之類別
25. 建築用隔熱材料 Thermal insulating material for buildings	營建剩餘土石方、污泥、水庫淤泥、回收橡膠、無害之無機性廢料如廢陶瓷、廢玻璃、礦石纖維等	回收材料佔總重量 30%以上	參照 CNS 9960 品質與性能試驗項目之規定	依 CNS 9960 依基材之分類與對應性能之規定。於 23°C 之熱傳導係數應在 0.065 W/m · K 以下	應說明適用之類別及熱傳導係數
26. 屋頂隔熱磚 Roof paving of thermal resistance	回收木材、橡膠、不含氯高分子材料，及各種無害性製程廢料等	除水泥外之回收材料佔總重量 50%以上	依據 CNS 13295 測試抗壓強度及抗彎強度，並依據 CNS 7333 測試熱傳導係數	抗壓強度應在 90 kg f/cm ² 以上，抗彎強度 30 kg f/cm ² 以上；熱傳導係數應低於 0.2W/m · K 內含木質粒料時含水率應小於 16%	應說明使用之材料及性能符合情形
27. 控制性低強度材料 Control Low Strength Material	營建剩餘土石方、污泥、水庫淤泥、安定化鋼渣、旋轉窯渣、無害之無機性廢料如廢陶瓷、廢玻璃、礦石纖維等	除水泥外之回收材料佔總重量 50%以上	參照公共工程委員會施工綱要規範 03377 章 V7.0 品質項目之規定符合 CNS 草制 1040178 品質試驗之規定	1. 落沉時間 24 小時內 2. 28 天抗壓強度 90 kgf/cm ² 以下 3. 200°C 高溫及 2 MPa 高壓下 3 小時養護，無表面破裂現象	依施工綱要規範之性質要求並應說明符合情形

註：本表中《可使用之回收材料》僅為舉例，其它各種回收材料符合各目的事業主管機關所制定之再利用管理辦法規定者亦皆可納入。

資料來源：綠建材解說與評估手冊

生態綠建材評定項目

1. 木製建材	結構材	結構用集成材、結構用合板、針葉樹結構用製材、框組壁工法結構用製材、框組壁工法結構用縱接材、結構用單板層積材、結構用木質板、直交集成板(CLT)等。
	壁板材	硬質纖維板、中密度纖維板、輕質纖維板、化粧貼面裝修用集成材、裝修用集成材等。
	地板材	板條地板、複合木質地板等。
	門窗材及其他	木製門窗材、單板層積材、室內裝修材等。
2.天然植物建材	竹、麻纖維、草類纖維、籐及其他天然植物製建材。	
3.天然隔熱建材	礦纖隔熱材、木質纖維隔熱材、廢紙隔熱材、動物毛髮隔熱材及其他天然隔熱建材。	
4.非化學合成管線材	陶製雨水管、金屬類水管及其他。	
5.非化學合成衛浴	木製浴缸、搪磁浴缸、木製馬桶蓋及其他。	
6.木材染色劑	天然植物染料、天然礦石染料及其他天然木材染色劑。	
7.外殼粉刷材	瓊麻石灰粉刷、貝殼類及其他天然外殼粉刷材。	
8.塗料	亞麻仁油漆、蜂蠟漆、牛奶漆、水性環保漆及其他天然塗料。	
9.窗簾	麻、棉、絲、竹、籐及其他等天然纖維製窗簾。	
10 壁紙	木質、麻、棉、絲及其他等天然纖維製壁紙。	
11.填縫劑	天然橡膠、天然矽土纖維及其他等天然材製填縫劑。	
12.其他天然建材	以天然材料製成之建材並經審查委員會評定核可者。	

資料來源：綠建材解說與評估手冊

(二)強制新建築物之綠建材使用率

為減少建材在建築設計及施工過程中對健康安全、地球資源及生態環境之危害，帶動傳統產業升級，內政部營建署於2004年3月10日針對「建築技術規則建築設計施工編」增訂第十七章「綠建築」，其中包含增訂綠建材使用之規定，自2006年7月1日開始實施要求綠建材使用率為5%。此比例門檻逐年提高(表2-18)，2021年1月1日起，國內建築物室內裝修材料、樓地板材料及窗的室內綠建材使用率應達總面積60%以上，建築物戶外地面材料扣除特定區域之空間範圍後，其戶外綠建材使用率應達20%以上。有關認可之綠建材項目詳表2-18。

表 2-18 綠建材使用比例規定

規定實施日期	室內要求比例	室外要求比例
2006 年 7 月 1 日	5%	--
2009 年 7 月 1 日	30%	--
2012 年 7 月 1 日	45%	10%
2021 年 1 月 1 日	60%	20%

資料來源：綠建材設計技術規範，本研究整理

表 2-19 綠建材之認可

項目	綠建材		備註
1.	環保標章建材	回收玻璃再生品	建築物牆體或各種室內裝修材料（基材、表面材）、樓地板面材料之板材如屬綠建材者，均得計入綠建材使用率，但其表面使用之塗料、黏著劑或其他材料，應符合中華民國國家標準有關甲醛釋出量及揮發性有機化合物最大限量值之規定。
		窯燒類資源化建材	
		非窯燒類資源化建材	
2.	綠建材標章建材		
3.	資源再生綠色產品認定建材	窯燒磚類建材	
		非窯燒磚類建材	
		水泥類板材	
4.	其他經中央主管建築機關認定具有同等性能者		

資料來源：綠建材設計技術規範

綠建材使用率評估項目分為室內及戶外兩類，評估原則為分別計算使用之綠建材面積佔室內/戶外總表面積之比率，需提出各項目面積計算表，包含材料名稱、綠建材有效認可文件編號、綠建材尺寸和面積等資訊，其計算方法及評估標準依「綠建材設計技術規範」彙整如下：

表 2-20 綠建材使用率計算標準

項次	項目	計算方式/說明
1.	適用評估範圍	適用評估範圍： 供公眾使用之建築物 經內政部認定有必要之非供公眾使用之建築物 不適用範圍： 機房、作業廠房、非營業用倉庫 經直轄市、縣(市)主管建築機關認可之農業或研究用溫室、園藝設施、構造特殊之建築物。
室內綠建材使用率		
2.	室內空間總表面積 $A_i(m^2)$	$A_i = \sum Af \times Hf \times Lf - \sum Awj$ Af: f 樓層之總樓地板面積(m^2)。 Hf: f 樓層之樓層高度(m)，得以該樓層平均樓高計算。 Lf: f 樓層之室內表面積係數(m^2/m^3)，詳表 3。 Awj: 未使用窗類綠建材材料者所應扣除之室內表面積(m^2)，若使用窗類綠建材材料者，得令 $\sum Awj$ 為 0 即可。 免檢討面積： 非居室空間如儲藏室、機械室、停車場 建築物外牆透空二分之一以上之空間
3.	室內綠建材使用總面積 $A_{gi}(m^2)$	$A_{gi} = \sum g_{ij}$ gi1:天花板綠建材使用面積(m^2) gi2:內部牆面綠建材使用面積(m^2) gi3:高度超過 1.2 公尺固定於地板之隔屏或兼作櫥櫃使用之隔屏綠建材使用面積(m^2) gi4:樓地板面綠建材使用面積(m^2) gi5:窗綠建材使用面積(m^2)
4.	室內綠建材使用率 $R_{gi}(\%)$	$R_{gi} = \frac{\sum A_{gi}}{A_i}$ ，應 $\geq 60\%$
戶外綠建材使用率		
5.	應檢討綠建材之建築物戶外地面面積 $A_o(m^2)$	$A_o = A - \sum A_{ok}$ A:戶外地面總面積(m^2) Ao1:戶外地面車道面積(m^2) Ao2: 戶外汽車出入緩衝空間面積(m^2) Ao3: 戶外地面消防車輛救災活動空間面積(m^2) Ao4: 戶外地面無須鋪設地面材料部位面積(如綠地、裸露土壤或水池等部位) (m^2)
6.	室外綠建材使用率 $R_{go}(\%)$	$R_{go} = \frac{A_{go}}{A_o}$ ，應 $\geq 20\%$ Ago: 戶外地面綠建材使用總面積(m^2)

資料來源：綠建材設計技術規範，本研究整理

肆、C2C 認證產品標準

搖籃到搖籃認證是循環經濟的產品認證，原文名為「Cradle to Cradle」認證，或可簡稱為 C2C 認證。C2C 認證是一個國際認可的環境與永續認證，它將環境保護、資源永續循環利用及社會關懷等思維，納入認證的評分標準之中，鼓勵產品從設計製造階段，就積極思考如何讓產品在使用前、使用時、使用後都對人類和自然環境帶來正向影響。(產品綠色驗證檢索平台,2022)

2013 年實施 C2C 認證產品標準 3.0 版。2016 年移除「材料健康性」與「材料循環性」項目中重複的內容，更新為 3.1 版，驗證標準包含 5 大面向：1.材料健康性、2.材料循環再利用性、3.再生能源使用與碳管理、4.水資源管理、5.企業社會公平性。

其中材料再利用分數的計算方式在 C2C 認證產品標準 4.0 版(2021 年 7 月 1 日起啟用)中被移除，改為提高產品使用回收及（或）可再生成分的重量比例、在預期循環路徑中材料循環（即可回收、可堆肥或可生物降解）的比例，並加強關注產品有利於再次使用的設計。(C2C 認證標準,2021)

詳細計算公式與計算範疇可參考本研究計畫第二章第一節與第二節內容。

伍、SCS 回收材料驗證

SCS 是全名為全球科學驗證服務公司(Science Certified System Global Services)之簡稱，為一環境永續稽核、檢測、與標準開發的獨立第三方機構，提供驗證標章範圍。其中「SCS 回收材料成分驗證(SCS Certified Recycled Content)」主要是評估消費前或消費後廢棄物為原料的產品。SCS 驗證體系可計算出產品中的回收材料成分百分比作為準確的市場宣告。(產品綠色驗證檢索平台,2022)

自 1990 年以來 SCS 再生材料成分驗證提供製造商宣告捍衛自然資源的材料成分證明，主要目標客戶是產品製造商（包括個人，企業，組織或機構）尋求符合本標準要求的第三方驗證，及個人、企業、組織、政府機構或消費者在採購符合標準要求的產品。該標準還為材料供應商和私人標章用戶提供規範。尤其是紡織 Textile、地毯 carpet、包裝 packaging、建築 construction 和室內 indoor 等產品，透過原料追蹤程序和終端產品生產履歷標示等作法，確保再生材料來自可驗證來源。最新版本為 2014 年 7 月發布的再生材料成分驗證標準第七版(Recycled Content Certification Standard, Version 7.0)。(SCS Recycled Content V7-0 Standard,2014)

本研究目前以「SCS 回收材料成分驗證(SCS Certified Recycled Content)」第 7.0 版為例，說明規範內容如下(SCS Recycled Content V7-0 Standard,2014)：

一、回收材料資格判定

回收材料資格確認是回收材料驗證過程中重要步驟，被認定為回收成分有兩個最低門檻規範，第一是必須符合國際標準 ISO 14021 消費前或者消費後材料；第二是必須同時符合美國聯邦貿易委員會綠色指南要求。

二、取得回收成分驗證的回收成分百分比沒有最低標準規定

SCS 公司認為購買產品若僅提供回收材的百分比數值，會因為產品特性而誤導消費者。例如需要透明玻璃的窗戶，由於回收成分百分比是取決於最終產品的相對重量比，因此，一個看起來數值很小的百分比數值，可能實際上卻代表數量龐大的回收材。如玻璃材料佔最終產品-窗戶重量的最主要部分，若為使玻璃維持清晰透光，回收玻璃使用數量有限，部分玻璃框架材可能含有高百分比的回收材（表明極高的廢棄物年度轉化量），但是若從窗戶總重量來看，框架材中的回收材重量百分比遠低於玻璃，因此，SCS 回收成分驗證不一定是百分之百都是回收材最好，回收成分驗證並未有回收百分比的最低標準。

三、通過驗證產品之後的宣告方式

SCS 回收成分聲明基於原材料投入分析，明確指出回收內容百分比比例，若不確定回收成分數量產品，無法取得驗證。

四、若產品中的回收成分有波動變化時則採平均值

一般來說，將給出回收成分百分比的最小值。在多個生產場所或物流覆蓋範圍較廣的情況下，如果客戶能追蹤產品原產地，聲明將給出所有百分比的平均值。

五、在多處設施生產同一產品仍可以取得驗證

許多取得驗證的製造商本身都有多處生產設施。

六、取得驗證與美國綠建築驗證 LEED 要求無關

LEED 並未明確要求回收成分的第三方獨立驗證。

第三章 研擬國內建築構件與材料循環度評估方法

第一節 循環度評估方法

壹、分析國內外循環度評估方法

經前章節蒐集循環度評估方法相關文獻，歸納出 2 個國家層級與 4 個系統（產品）層級，就兩者評估層級因評估範疇差異性大，以致評估循環度方法及項目相差甚遠。國家層級評估方法，主要評估回收材料再利用程度，而系統（產品）層級，大部分評估方法對產品使用循環材料進行深度評估，亦評估產品於生產、使用及廢棄處理等之生命週期階段。鑑於本研究主要評估建築設計能採用建材中使用回收材料多寡，又系統（產品）層級之評估方法，主要對產品評估循環度設計程度。

分析 4 個系統（產品）層級之循環度評估方法，其中 C2C 認證「材料再利用分數」方法，主要評估廠商生產製造產品使用回收材料比例，故僅考量生產階段使用回材料情形。另艾倫·麥克阿瑟基金會「材料循環指標 MCI」、荷蘭恩荷芬理工大學「建築物循環度指標」、荷蘭「營建循環度評估方法」之 3 個系統（產品）層級評估方法，更為深度評估產品於生產、使用及結束使用廢棄物處理等之生命週期階段，成為本研究建立建築構件材料循環度之重要參考，各評估方法之考量評估因子如下說明，並詳下表 3-1 所示。

- 一、生產階段：評估產品是否有使用天然原料、非天然材料、回收再生資源、循環構建材料(建材銀行)、舊資源、可持續來源的生物性材料等因子。
- 二、使用階段：評估產品能使用壽命長短、實際使用性能(以功能單位計)、可拆解等效用因子。如艾倫·麥克阿瑟基金會「材料循環指標 MCI」、荷蘭恩荷芬理工大學「建築物循環度指標」即有考量此因子。
- 三、使用結束變廢棄物處理階段：評估產品結束使用變成廢棄物後，可否拆解設計，作為回收再生材料、循環構建材料(建材銀行)、重複使用材料或能源回收處理材料等因子。

表 3-1 國內外循環度評估方法之評估因子彙整表

層級	評估方法	評估因子
國家層級	材料循環使用率 CMU	<ul style="list-style-type: none"> • 作為再利用的國內回收廠廢棄物回收量 • 用於回收的出口廢棄物 • 不包含用於回收的進口廢棄物
	循環利用率 CUR	<ul style="list-style-type: none"> • 使用量、回收再利用量 • 一般廢棄物回收量 • 事業廢棄物再利用量 • 農業資材量 • 紙類再利用量 • 營建剩餘土石方 • 煉鋼爐石再利用量
系統 (產品) 層級	C2C 認證 材料再利用分數	<ul style="list-style-type: none"> • 回收料 • 可快速再生料 • 可回收料 • 可生物降解化學物或材料
	材料循環指標 MCI	<ul style="list-style-type: none"> • 生產階段使用回收再生資源 • 生產階段使用舊資源 • 生產階段使用可持續來源的生物性材料 • 使用結束後用作回收再生的材料 • 使用結束後用作重複使用的材料 • 使用結束後用於堆肥的未污染生物性材料 • 使用結束後用作能源回收的可持續性生產生物性材料 • 產品生命週期 • 產品實際功能單位
	建築物循環度指 標	<ul style="list-style-type: none"> • 生產階段使用回收再生資源 • 生產階段使用舊資源 • 使用結束後用作回收再生的材料 • 使用結束後用作重複使用的材料 • 產品生命週期 • 產品實際功能單位 • 產品可拆解設計
	營建循環度評估 方法	<ul style="list-style-type: none"> • 不可再生天然原料 • 可持續生產/非可持續生產之可再生天然原料 • 稀缺原料 • 社會經濟稀缺/豐足原料 • 生產階段使用回收再生資源 • 生產階段使用舊資源 • 使用結束後用作回收再生的材料 • 使用結束後用作重複使用的材料 • 使用結束後用作能源回收/填埋處置的材料 • 環境指標 • 建築物或結構的適應能力 • 材料、工程產品及元件層面的技術功能價值與經濟價值

資料來源：本研究自行彙整

貳、研擬國內循環度評估方法

綜觀國外循環度評估理念，期望我國建築設計能逐步提升循環材料使用比例，故本研究參考部份國外循環度評估方式，研擬國內建築構件材料循環度評估方法，本研究評估方法考量興建建築時，採用建材產品中使用回收材料程度、建材產品使用階段效能及建材產品使用結束後產生不可回收的廢棄物，此三項概念如下說明：

一、 建材產品使用回收材料程度

為考量建材產品使用回收材料程度，以評估建材產品中增加回收材料使用量，即能減少使用一般原始材料，因此本研究結合國內推動多年且成效佳之綠建材標章(再生綠建材系列)、環保標章之制度，此制度對部分建材有使用回收材料給予標章認證，成為本研究評估方法之依據來源，故使用回收材料越多，代表循環度越高，亦能促進廠商生產使用回收材料之建材產品。

二、 建材產品於使用階段之效能

評估建材產品之效能方向，主要評估建材產品之壽命或使用次數，亦表示建材產品之耐久度，因此建材產品之效能越高，代表循環度越高，即能間接促進廠商提升建材產品之性能。

三、 建材產品使用結束後產生不可回收的廢棄物

建材產品使用結束後，若不經回收再利用，將變成掩埋或焚化處理之不可回收的廢棄物，經評估不可回收的廢棄物量，即能得知建材產品於使用結束後之回收再利用情形，本評估能促進廠商於生產建材產品時，考量結束使用後朝向回收再利用之設計方式，以減少建材產品變成不可回收廢棄物。

本研究研擬建築構件材料循環度以前述三個概念為評估原則，藉以評估我國建築物於興建時之建築構件材料循環度，故建立下列量化計算式。

$$\text{單項建築構件材料循環度 TBCI} = \frac{V + (M - W)}{2M} \times X$$

$$\text{性能因子 } X = \left(\frac{L}{L_{av}} \right) \times \left(\frac{U}{U_{av}} \right)$$

$$\text{整體建築構件材料循環度 TBCI} = \Sigma \text{單項建築構件材料循環度 TBCI} \times \frac{P}{TC}$$

計算式參數說明：

- V： 計算該項建材產品使用回收材料之使用量。亦該項建材產品取得環保標章、再生綠建材標章等認證材料或產品之使用量
- W： 計算該項建材產品於使用結束變成不可回收廢棄物量
- M： 計算該項建材產品之總使用量
- X： 性能因子，但 X 介於 0.9~1.1 間。若 X=1 代表建材使用性能等同於平均水準，X<1 代表建材使用性能低於平均水準 10%，X>1 代表建材使用性能高於平均水準 10%。本概念參考於艾倫·麥克阿瑟基金會「材料循環指標 MCI」。
- L： 該項建材產品的實際平均生命週期
- L_{av} ： 同類建材產品的平均生命週期
- U： 該項建材產品在使用階段所具備的實際使用性能(以功能單位計)
- U_{av} ： 同類建材產品在使用階段所具備的平均實際使用性能(以功能單位計)
- P： 計算該項建材產品於工程價格
- TC： 新建工程於建築工程總經費，但不含假設工程、安全措施工程、管理費、勞工安全衛生等費用

單項 TBCI：計算該項建築構件材料循環度，數值越高，循環度越高。

整體 TBCI：將該建築所有單項建築構件材料循環度乘以占比加權(以該項建築材料經費占總工程經費之比例)後累加產生之數值，數值越高，循環度越高。

又本研究研擬建築構件材料循環度評估方法，以「結構」、「裝修」及「敷地景觀」為評估對象。由於我國建築興建完成，大部分設備或傢具未完全裝設，需經出租或出售後，並依使用者需求陸續進駐設備或傢具，故難以完整評估設備或傢具循環使用程度，故本研究不將「設備或傢具循環使用」納入評估對象。「敷地景觀」也不包含植栽的評估。

但我國推動資源循環現況顯示，未見建材產品壽命與使用次數、建材產品使用結束後不可恢復廢棄物量等資訊，增添本研究評估建築構件材料循環度之難度。故建議未來建立建材產品之循環材料資料庫，長期蒐集各式建材產品回收材料比例、壽命與使用次數、建材產品使用結束後產生不可恢復的廢棄物等資訊，有利於我國推動建築構件材料循環度。

另外，本研究研擬建築構件材料循環度評估方法具有概念簡單、操作性高、簡政便民等幾項特色，如下說明：

一、概念簡單：

本研究方法無繁瑣概念，僅考量建材產品使用回收材料程度、建材產品於

使用階段之效能、使用結束後變成廢棄物量，建築師容易理解。

二、操作性高：

本研究方法於評估項目少，並以簡化計算表示，故建築師即能於建築設計自行評估建築構件材料循環度情形。

三、簡政便民：

現行興建建築時，建築師須填報許多文件，因本研究研擬建築構件材料循環度評估項目少，需佐證文件少，亦能減輕建築師負擔，達到簡政便民目標。

第二節 簡易版循環度評估方法及計算

前節建築構件材料循環度評估方法，難以取得「建材產品壽命與使用次數」、「建材產品使用結束後不可恢復廢棄物量」等資訊，為加速建築落實循環經濟理念，期望我國興建建築時，採用建材產品能考量使用回收材料之比例，故本研究另提出「簡易版循環度評估方式」，僅考量「建材產品使用回收材料比例」，暫不考量「建材產品壽命與使用次數」、「建材產品使用結束後不可恢復廢棄物量」兩個評估項目，此版本具簡易操作性且現階段即能運作之特性，其計算式如下說明：

$$\text{單項建築構件材料循環度 TBCI} = \frac{V}{M}$$

$$\text{整體建築構件材料循環度 TBCI} = \sum \text{單項建築構件材料循環度 TBCI} \times \frac{P}{TC}$$

計算式參數說明：

V：計算該項建材產品使用回收材料之使用量。亦該項建材產品取得環保標章、再生綠建材標章等認證材料或產品之使用量。

M：計算該項建材產品之總使用量(不含假設工程、拆除打鑿、整地、挖填土方工

程、機電工程、設備工程、搗擺及櫥櫃工程、指標設施工程與景觀工程中植栽的材料使用量)。

P：計算該項建材產品於工程價格。

TC：新建工程於建築工程總構建材料經費，但不含建築工程中假設工程、安全措施工程、營造綜合保險費、勞工安全衛生費、管理費及利潤、工程營業稅5%、機電工程、設備工程、拆除打鑿、整地、挖填土方工程、搗擺及櫥櫃工程、指標設施工程、景觀工程中植栽的材料使用量等費用。

單項 TBCI：計算該項建築構件材料循環度，數值越高，循環度越高。

整體 TBCI：將該建築所有單項建築構件材料循環度乘以占比加權(以該項建築材料經費占總工程經費之比例)後累加產生之數值，數值越高，循環度越高。

第三節 簡易版計算之循環建材認定來源

建築材料是否有使用回收材料，可藉由該建築材料取得再生綠建材標章、環保標章等相關認證作為依據，亦能供建築師或營造商於興建建築之使用，本計畫彙整國內市場上取得綠建材標章(再生及生態)、環保標章與資源再生綠色產品認定等認證之使用回收材料之產品，以判別未來計算建築構件材料循環度參考。

壹、綠建材標章

一、再生綠建材

依綠建材解說與評估手冊規定，再生綠建材評定項目共計 27 項，經於綠建材資料庫統計資訊，已取得再生綠建材標章且尚於效期內之使用回收材料之產品，共計有 45 個產品，分別為水泥瓦、水硬性混合水泥、石膏板、再生纖維水泥板、高壓混凝土地磚、混凝土空心磚、混凝土粒料、透水性混凝土地磚、陶瓷面磚、普通磚、綠混凝土、磨石子地磚、瀝青鋪面粒料等 13 個評定項目，其餘 14 個評定項目現階段尚無廠商申請再生綠建材標章認證，如下表 3-2 所示。

表 3-2 取得再生綠建材標章之廠商數統計表

項目	建材產品	廠商數(間)
水泥瓦 (1 項產品)	1. 水泥瓦	2
水硬性 混合水泥 (2 項產品)	1. 水硬性混合水泥	1
	2. 水硬性混合水泥-卜特蘭高爐爐渣水泥	5
石膏板 (3 項產品)	1. 石膏板 GB-R	1
	2. 防潮石膏板 GB-S	1
	3. 強化石膏板 GB-F	1
再生纖維 水泥板 (5 項產品)	1. 矽酸鈣板(0.8FK)	1
	2. 矽酸鈣板(1.0FK)	1
	3. 普通纖維水泥板 0.8I(內裝用)	1
	4. 普通纖維水泥板 1.0I(內裝用)	1
	5. 普通再生纖維水泥板	1
高壓混凝土 地磚 (5 項產品)	1. 高壓混凝土地磚 A 級	1
	2. 高壓混凝土地磚 A 級本色	4
	3. 高壓混凝土地磚 A 級-本色	1
	4. 高壓混凝土地磚 A 級灰色	1
	5. 高壓混凝土地磚 B 級	3
混凝土 空心磚	1. 建築用混凝土空心磚 A 級	1
	2. 建築用混凝土空心磚-A 級本色	1

(5 項產品)	3. 植草磚(本色)	1
	4. 植草磚本色	1
	5. 植草磚本色	1
混凝土粒料 (6 項產品)	1. 混凝土粒料(玻璃砂細粒料)	1
	2. 混凝土粒料(陶瓷細粒料)	1
	3. 混凝土粒料(電弧爐煉鋼爐氧化渣)	2
	4. 混凝土粒料/細粒料	1
	5. 鋪面粒料(電弧爐煉鋼爐氧化渣 EAFS)	2
	6. 瀝青鋪面用粒料	4
透水性混凝土 地磚 (2 項產品)	1. 透水性混凝土地磚	1
	2. 透水性混凝土地磚本色	1
陶瓷面磚 (9 項產品)	1. 陶瓷面磚(Ia 類-外裝地磚)	7
	2. 陶瓷面磚(Ib 類-外裝壁磚)	1
	3. 陶瓷面磚(Ia 類-內裝地磚)	1
	4. 陶瓷面磚(Ib 類-內裝壁磚)	1
	5. 陶瓷面磚(II類-外裝壁磚)	1
	6. 陶瓷面磚(Ia 類-內裝地磚)	3
	7. 陶瓷面磚(II 類-內裝地磚)	2
	8. 陶瓷面磚-Ib 類-外裝地磚	5
	9. 陶瓷面磚-Ib 類外裝地磚	1
普通磚 (2 項產品)	1. 普通磚(3 種磚)	2
	2. 普通磚-3 種磚	1
綠混凝土 (2 項產品)	1. 綠混凝土(green concrete)	4
	2. 綠混凝土 H 類	5
磨石子地磚 (1 項產品)	1. 磨石子地磚	2
瀝青鋪面 粒料 (2 項產品)	1. 瀝青鋪面用粒料	3
	2. 瀝青鋪面粒料(電弧爐煉鋼爐氧化渣)	2

資料來源：111 年 6 月本研究自行彙整於台灣建築中心-綠建材資料

二、生態綠建材

生態綠建材評定項目共計 12 項，經於綠建材資料庫統計資訊，已取得生態綠建材標章且尚於效期內之僅有木製產品，共計 4 項，其餘 11 個評定項目現階段尚無廠商申請再生綠建材標章認證，如下表 3-3 所示

表 3-3 取得生態綠建材標章之廠商數統計表

項目	建材產品	廠商數(間)
1.木製產品 (4項產品)	1.闊葉樹製材品	1
	2.針葉樹裝修用壁板	1
	3.花旗松結構用集成材	1
	4.愛樂可素面合板	1
2.天然植物建材	竹、麻纖維、草類纖維、籐及其他天然植物製建材。(因無廠商申請所以不列舉廠商間數)	無
3.天然隔熱建材	礦纖隔熱材、木質纖維隔熱材、廢紙隔熱材、動物毛髮隔熱材及其他天然隔熱建材。(因無廠商申請所以不列舉廠商間數)	無
4.非化學合成管線材	陶製雨水管、金屬類水管及其他。(因無廠商申請所以不列舉)	無
5.非化學合成衛浴	木製浴缸、搪磁浴缸、木製馬桶蓋及其他。(因無廠商申請所以不列舉廠商間數)	無
6.木材染色劑	天然植物染料、天然礦石染料及其他天然木材染色劑。(因無廠商申請所以不列舉廠商間數)	無
7.外殼粉刷材	瓊麻石灰粉刷、貝殼類及其他天然外殼粉刷材。(因無廠商申請所以不列舉廠商間數)	無
8.塗料	亞麻仁油漆、蜂蠟漆、牛奶漆、水性環保漆及其他天然塗料。(因無廠商申請所以不列舉廠商間數)	無
9.窗簾	麻、棉、絲、竹、籐及其他等天然纖維製窗簾。(因無廠商申請所以不列舉廠商間數)	無
10.壁紙	木質、麻、棉、絲及其他等天然纖維製壁紙。(因無廠商申請所以不列舉廠商間數)	無
11.填縫劑	天然橡膠、天然矽土纖維及其他等天然材製填縫劑。(因無廠商申請所以不列舉廠商間數)	無
12.其他天然建材	以天然材料製成之建材並經審查委員會評定核可者。(因無廠商申請所以不列舉廠商間數)	無

資料來源：111 年 9 月本研究自行彙整於台灣建築中心-綠建材資料庫

貳、環保標章

我國環保署推動環保標章共有 164 項認定項目，其中卜特蘭水泥、木製產品、水硬性混合水泥、回收玻璃再生品、非窯燒類資源化建材、窯燒類資源化建材等 6 個項目會要求使用回收材料，經於環保標章資料庫統計資訊，已取得前述 6 個項目共計 198 項產品，如下表 3-4 所示。

表 3-4 取得環保標章之廠商數統計表

項目	建材產品	廠商數(間)
卜特蘭水泥 (4 項產品)	1. 卜特蘭水泥-II(MH)型	1
	2. 卜特蘭水泥-II 型	1
	3. 卜特蘭水泥-I 型(低溫低鹼)	1
	4. 卜特蘭水泥-第 I 型	1
木製產品 (1 項產品)	1. 低甲醛(F1)化粧粒片板	1
水硬性 混合水泥 (5 項產品)	1. 卜特蘭高爐爐渣水泥[IS(<70)(MS)]型	1
	2. 卜特蘭高爐爐渣水泥[IS(<70)]型	1
	3. 卜特蘭高爐爐渣水泥[IS(<70)]型 H1	1
	4. 卜特蘭高爐爐渣水泥[IS(<70)]型 HH1	1
	5. 新型高爐水泥	1
回收玻璃 再生品 (1 項產品)	1. 亮彩琉璃	1
非窯燒類資 源化建材 (109 項產品)	1. 高壓環保透水磚 (本、紅、黑色)	1
	2. HSC301 處理劑(地質改良劑)	1
	3. 人造崗石階梯板(灰色、黑色、紅色、黃色、白色、綠色)	1
	4. 大理石粒料	1
	5. 工程級配材料(非適用於公路、機場用碎石級配粒料，非適用於鋪面基層、底層及面層用級配料及非適用於混凝土粒料)	1
	6. 手工緣石-黑棕色,本色	1
	7. 手作木紋磚(深棕色,黃色,黑色,本色)	1
	8. 手作造型磚(本色,黃色,黑色)	1
	9. 水泥欄杆(深棕色,黃色,黑色,本色)	1
	10. 水泥欄杆-本色,黑棕色	1
	11. 生態階梯步道組-黑棕色	1
	12. 石粉	2
	13. 石膏板耐燃一級(GB-R01)	1

項目	建材產品	廠商數(間)
非窯燒 類資源 化建材 (109 項 產品)	14. 仿天然紋平板磚- 黑棕色,淺黃色,本色	1
	15. 再生高壓凝土地磚(本色)	1
	16. 再生纖維水泥板	2
	17. 防潮石膏板耐燃一級(GB-S01)	1
	18. 坡坎護坡磚(本色、紅色、黃色)	1
	19. 坦克磚	1
	20. 矽酸鈣板	4
	21. 空心磚 RC(本色、淺黑色、黑色、紅色、黃色、土黃色、米白色、咖啡色、淺咖啡色)	1
	22. 花台圍牆磚(本色、紅色、黑色)	1
	23. 花崗石粒料	1
	24. 建築用凝土地磚	1
	25. 洗石子磚(灰色、黑色、紅色、黃色、白色、綠色)	1
	26. 飛石踏板(灰色、白色、紅色、綠色)	1
	27. 飛灰爐石粉	1
	28. 高壓崗石磚(本色、紅色、黑色)	1
	29. 高壓崗石磚(灰色、黑色、紅色、黃色、白色、綠色)	1
	30. 高壓彩晶地磚(灰色、黑色、紅色、黃色、白色、綠色)	1
	31. 高壓排水磚(緣石)(本色)	1
	32. 高壓凝土地磚(本色、紅色、黃色、土黃色、白色、米色、黑色、棕色、深棕色)	1
	33. 高壓凝土地磚(紅色、淺灰色、深灰色、黃色、咖啡紅色、咖啡黑色)	1
	34. 高壓凝土地磚 RC(本色、淺黑色、黑色、紅色、黃色、土黃色、米白色、咖啡色、淺咖啡色)	1
	35. 高壓透水磚(紅色、淺灰色、深灰色、黃色)	1
	36. 高壓植草磚(本色)	1
	37. 高壓歐式庭園磚(灰色、黑色、紅色、黃色、白色、綠色)	1
38. 高壓環保磚(本、紅、黑色)	1	
39. 高壓環保磚(焚化再生粒料; 本、紅、黑、白色)	1	
40. 國浦再生纖維水泥板	1	
41. 國浦矽酸鈣板	1	
42. 國浦纖維水泥板(耐燃一級)	2	

項目	建材產品	廠商數(間)
非窯燒 類資源 化建材 (109 項 產品)	43. 強化石膏板耐燃一級(GB-F01)	1
	44. 排水磚(灰色)	1
	45. 混凝土及水泥砂漿用水淬高爐爐渣粉	1
	46. 混凝土及水泥砂漿用水淬高爐爐渣粉	1
	47. 混凝土空心磚(本色)	1
	48. 透水性混凝土磚	1
	49. 透水性混凝土磚(本色、紅色、黃色、白色、米色、黑色、棕色)	1
	50. 透水性混凝土磚 RC(本色、淺黑色、黑色、紅色、黃色、土黃色、米白色、咖啡色、淺咖啡色)	1
	51. 透水性混凝土磚-自行車道與人行步道用	1
	52. 透水磚(灰色、黑色、紅色、黃色、白色、綠色)	1
	53. 圍牆磚(灰色、黑色、紅色、黃色、白色、綠色)	1
	54. 植草磚 RC(本色、淺黑色、黑色、紅色、黃色、土黃色、米白色、咖啡色、淺咖啡色)	1
	55. 植草磚及分隔塊(本色)	1
	56. 楓葉植草磚(灰色、黑色、紅色、黃色、白色、綠色)	1
	57. 碎石	1
	58. 碎石粒料	1
	59. 預鑄 LOGO(白色、藍色)	1
	60. 預鑄水溝蓋板(灰色)	1
	61. 預鑄自行車停車架(灰色、紅色)	1
	62. 預鑄車阻(灰色)	1
	63. 預鑄車輪擋(灰色、紅色)	1
	64. 預鑄車輪擋(本色)	1
	65. 預鑄垃圾桶(灰色、白色、藍色)	1
	66. 預鑄花台(灰色、白色、紅色)	1
67. 預鑄長椅(灰色、黑色)	1	
68. 預鑄洗手台(灰色)	1	
69. 預鑄混凝土緣石(本色)	1	
70. 預鑄植栽板(灰色)	1	
71. 預鑄植草磚(灰色、白色、紅色、黃色、米黃)	1	
72. 預鑄殘障坡道(灰色、白色、藍色)	1	
73. 預鑄圓桌椅(灰色、黑色)	1	
74. 預鑄路緣石(本色)	1	

項目	建材產品	廠商數(間)
非窯燒類資源化建材(109項產品)	75. 預鑄路緣石(灰色、黑色、紅色、黃色、米黃、白色、綠色)	1
	76. 預鑄擋土牆磚(灰色、黃色)	1
	77. 預鑄樹穴(灰色、白色)	1
	78. 預鑄藝術圍牆(灰色)	1
	79. 圖騰組合磚-本色	1
	80. 歐式斬石磚(灰色、黑色、紅色、黃色、白色、綠色)	1
	81. 緣石 RC(本色、淺黑色、黑色、紅色、黃色、土黃色、米白色、咖啡色、淺咖啡色)	1
	82. 導盲磚(灰色、黃色)	1
	83. 磨石子地磚(灰色、黑色、紅色、黃色、白色、綠色)	1
	84. 磨石子地磚(黑、灰、黃、白)(廢玻璃)	1
	85. 磨石子隔熱磚(紅色、淺灰色、深灰色、黃色)	1
	86. 環保人造崗石〈本、白、紅、黃、黑及桔色〉	1
	87. 環保枕木(深棕色,黑色,本色)	1
	88. 環保空心磚(本色、紅色、黑色)	1
	89. 環保氧化矽再生級配粒料	1
	90. 環保高壓凝土地磚	1
	91. 環保高壓凝土地磚(本色、紅色、黃色、黑色及褐色)	1
	92. 環保高壓凝土地磚〈本色、紅色、黃色、黑色〉	1
	93. 環保高壓凝土地磚(本色、紅色、黑色)	1
	94. 環保高壓透水磚(本色、紅色、黑色)	1
	95. 環保透水性凝土地磚	1
	96. 環保圍牆磚(本色、紅色、黑色)	1
	97. 環保植草磚	1
	98. 環保植草磚(本、紅、黑色)	1
	99. 環保植草磚(本色、紅色、黑色)	1
	100. 環保路緣石(本、紅、黑色)	1
	101. 環保預鑄仿木欄杆(咖啡、綠色)	1
102. 環保預鑄凝土地緣石	1	
103. 環保緣石(本色、紅色、黑色)	1	
104. 環保緣石(深棕色,黃色,黑色,本色)	1	
105. 環保複合式隔熱磚	1	

項目	建材產品	廠商數(間)
	106. 環保磚 RC(本色、淺黑色、黑色、紅色、黃色、土黃色、米白色、咖啡色、淺咖啡色)	1
	107. 環保磨石子地磚〈本色、紅色、黃色、黑色〉	1
	108. 鏤空造型牆-本色,黑棕色	1
	109. 纖維水泥板	4
窯燒類資源 化建材 (78 項產品)	1. 施釉陶瓷面磚-乾式成型(Ib 類內裝壁磚)	1
	2. 施釉陶瓷面磚-乾式成型(II 類內裝地磚)	1
	3. 施釉陶瓷面磚-乾式成型(II 類內裝壁磚)	1
	4. 施釉陶瓷面磚-乾式成型(I 類內裝地磚)(含 Ia、Ib 類)	1
	5. 清水磚	1
	6. 陶瓷面磚(II 類 內裝地磚)	1
	7. 陶瓷面磚(Ia 類-內裝地磚)	1
	8. 陶瓷面磚(Ia 類-內裝地磚)瓷質地磚,瓷質拋光磚	1
	9. 陶瓷面磚(Ia 類-內裝壁磚)	1
	10. 陶瓷面磚(Ia 類-內裝壁磚)	1
	11. 陶瓷面磚(Ia 類-外裝地磚)	1
	12. 陶瓷面磚(Ia 類-外裝地磚)	1
	13. 陶瓷面磚(Ib 類-內裝地磚)	1
	14. 陶瓷面磚(Ib 類-內裝地磚)	1
	15. 陶瓷面磚(Ib 類-內裝地磚)	1
	16. 陶瓷面磚(Ib 類-內裝壁磚)	2
	17. 陶瓷面磚(Ib 類-內裝壁磚)	1
	18. 陶瓷面磚(Ib 類-外裝地磚)	3
	19. 陶瓷面磚(Ib 類-外裝地磚)	1
	20. 陶瓷面磚(Ib 類-外裝地磚)	1
	21. 陶瓷面磚(Ib 類-外裝壁磚)	2
	22. 陶瓷面磚(Ib 類-外裝壁磚)	1
	23. 陶瓷面磚(Ib 類-外裝壁磚)	1
	24. 陶瓷面磚(II 類-內裝地磚)	2
	25. 陶瓷面磚(II 類-內裝地磚)	1
	26. 陶瓷面磚(II 類-內裝壁磚)	1
	27. 陶瓷面磚(II 類-內裝壁磚)	2
	28. 陶瓷面磚(II 類外裝壁磚)	1
	29. 陶瓷面磚(II 類-外裝壁磚)	1
	30. 陶瓷面磚(III 類-內裝壁磚)	3
	31. 陶瓷面磚(III 類-內裝壁磚)	1

項目	建材產品	廠商數(間)
	32. 陶瓷面磚 (Ib 類) 外裝地磚	1
	33. 陶瓷面磚(Ib 類-內裝地磚)	7
	34. 陶瓷面磚(Ib 類-內裝壁磚)	6
	35. 陶瓷面磚(Ib 類-外裝地磚)	6
	36. 陶瓷面磚(Ib 類-外裝壁磚)	5
	37. 陶瓷面磚(II 類-外裝壁磚)	1
	38. 陶瓷面磚(III 類- 內裝壁磚)	1
	39. 陶瓷面磚(II 類- 外裝壁磚)	1
	40. 陶瓷面磚(II 類-內裝地磚)	1
	41. 陶瓷面磚(II 類-內裝壁磚)	1
	42. 陶瓷面磚(II 類-外裝地磚)	1
	43. 陶瓷面磚(II 類-外裝壁磚)	3
	44. 陶瓷面磚(I 類-外裝地磚)	1
	45. 陶瓷面磚 (內裝馬賽克壁磚)	1
	46. 陶瓷面磚 (馬賽克面磚)	1
	47. 陶瓷面磚 (馬賽克面磚-內/外裝地/壁磚均適用)	1
	48. 陶瓷面磚〈Ib 類-內裝地磚〉	1
	49. 陶瓷面磚〈Ib 類-內裝壁磚〉	1
	50. 陶瓷面磚〈II類-內裝地磚〉	1
	51. 陶瓷面磚Ib 類內裝地磚	1
	52. 陶瓷面磚Ib 類內裝壁磚	1
	53. 陶瓷面磚-Ib 類-內裝壁磚	1
	54. 陶瓷面磚Ib 類外裝地磚	1
	55. 陶瓷面磚-Ib 類-外裝壁磚	1
	56. 陶瓷面磚I類內裝地磚	1
	57. 陶瓷面磚I類外裝壁磚	1
	58. 陶瓷面磚-II類-內裝壁磚	1
	59. 陶瓷面磚II類外裝壁磚	1
	60. 陶瓷面磚-II類-外裝壁磚	1
	61. 陶瓷面磚III類內裝壁磚	1
	62. 陶瓷面磚 Ib 類內裝地磚	1
	63. 陶瓷面磚-Ib 類內裝地磚	2
	64. 陶瓷面磚 Ib 類內裝壁磚	1
	65. 陶瓷面磚-Ib 類內裝壁磚	2
	66. 陶瓷面磚 Ib 類外裝地磚	1
	67. 陶瓷面磚-Ib 類外裝地磚	2

項目	建材產品	廠商數(間)
	68. 陶瓷面磚-Ib 類外裝馬賽克壁磚	1
	69. 陶瓷面磚-Ib 類外裝壁磚	2
	70. 陶瓷面磚-II 類內裝地磚	1
	71. 陶瓷面磚-II 類內裝壁磚	1
	72. 陶瓷面磚-II 類外裝地磚	1
	73. 陶瓷面磚-II 類外裝壁磚	1
	74. 陶瓷面磚-內裝馬賽克壁磚	2
	75. 陶瓷面磚-外裝馬賽克壁磚	3
	76. 陶磚	1
	77. 無釉陶瓷面磚 I b 類 外裝壁磚	1
	78. 輕質隔戶磚	1
	79. 輕質隔間磚	1

資料來源：111 年 6 月本研究自行彙整於環保署全民綠生活平台-環保標章

參、資源再生綠色產品認定

經濟部工業局的資源再生綠色產品可認定項目共計 26 項，經統計認定項目與再生相關建材產品，並已取得資源再生綠色產品且尚於效期內共計 3 項，如下表 3-5 所示

表 3-5 取得資源再生綠色產品之廠商數統計表

項目	建材產品	廠商數(間)
窯燒磚類 建材 (3 項產品)	1.Ia 類-內裝地磚 2.Ia 類-外裝地磚 3.Ib 類-內裝壁磚 4.Ib 類-外裝壁磚 5.II 類-內裝地磚 6.II 類-外裝壁磚 7.III 類-內裝壁磚	1
	脫硫污泥紅磚、淨水污泥紅磚	2
非窯燒磚類 建材 (1 項產品)	EP 環保透水磚	1
水泥類板材 (1 項產品)	矽酸鈣板	1

資料來源：111 年 10 月本研究自行彙整於資源再生綠色產品資訊區

第四章 案例試算與分析

藉由確立計算流程、計算原則與計算操作方式，並列舉一個案例做為示範案例，顯現逐步計算過程，接著進行五個案例的分析與比較，呈現三種不同建築機能所可能的最終循環度計算結果。

第一節 簡易版公式計算流程

本研究目前主要操作簡易版計算式，在計算流程上大致分為五個計算步驟，分別為 1.取得建築工程預算書、2.刪除不計算的工程項目、3.建築工程對應三大項目分類、4.計算各分項中建築構件材料循環度與 5.計算整體建築構件材料循環度。

壹、計算步驟

一、取得建築工程預算書

由於計算公式中藉由材料預算淨價來計算建築構件材料循環度，因此必須取得建築工程預算書才可進行計算，計算前請先確認預算書中材料復價不含工資與機具租借金額。材料淨價可參考公共工程價格資料庫網站或公共工程經電腦估價系統 PCCES 材料淨價項目。

二、刪除不計算的工程項目

目前建築構件材料循環度計算範圍不包含假設工程、家具工程(生命週期小於 1)與弱電、水電、機電設備等，因此在計算前需先扣除這些項目。

三、建築工程對應三大項目分類

工程預算書扣除完不必計算的工程項目後，將非扣除項目分為結構、裝修與敷地景觀三大項，便於後續的統計與盤查。此分類方式參考荷蘭營建循環評 PlatformCB' 23，亦考量便利 PCCES 工項的拆解與對接。

四、計算各分項中建築構件材料循環度

將各細項材料總量與再生材使用量帶入單項建築構件材料循環度公式中進行計算，其計算公式為：

$$\text{單項建築構件材料循環度 TBCI} = \frac{V}{M}$$

V：計算該項建材產品使用回收材料之使用量。亦該項建材產品取得環保標章、再生綠建材標章、永續綠建材標章等認證材料或產品之使用量。

M：計算該項建材產品之總使用量(不含假設工程、拆除打鑿、整地、挖填土方工程、機電工程、設備工程、搗擺及櫥櫃工程、指標設施工程與景觀工程中植栽的材料使用量)。

五、計算整體建築構件材料循環度

將各單項建築構件材料循環度帶入整體建築構件材料循環度公式當中，求整體循環度，計算公式如下：

$$\text{整體建築構件材料循環度 TBCI} = \sum \text{單項建築構件材料循環度 TBCI} \times \frac{P}{TC}$$

P：計算該項建材產品於工程價格。

TC：新建工程於建築工程總材料經費，但不含建築工程中假設工程、安全措施工程、營造綜合保險費、勞工安全衛生費、管理費及利潤、工程營業稅 5%、機電工程、設備工程、拆除打鑿、整地、挖填土方工程、搗擺及櫥櫃工程、指標設施工程、景觀工程中植栽的材料使用量等費用。

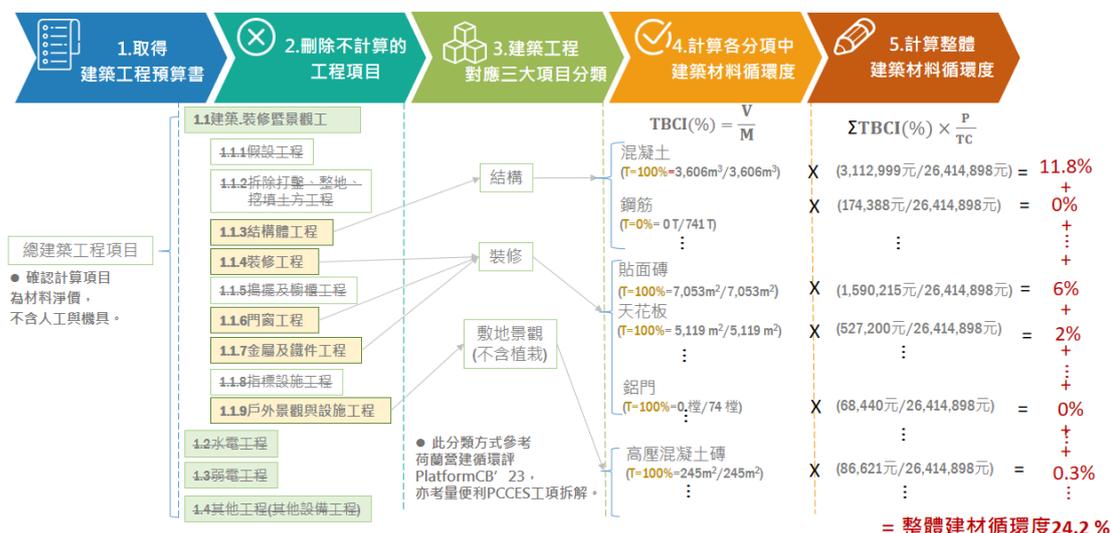


圖 4-1 計算流程圖

圖片來源：本研究自行繪製

貳、計算原則

一、計算與不計算範圍

計算流程步驟二中是否計算的工程項目，與步驟三中三大分類的依據如表 4-1 所示，其中敷地景觀項目中計算不包含植栽，即為在戶外景觀與設施工程中所有植栽的材料預算必須先行扣除。

表 4-1 計算原則

是否計算	項目	計算工程項目	舉例
算	結構	建築結構	結構體、柱、樑、外牆、樓地板。
	裝修	裝修工程 (含室內外裝修)	外殼、隔間牆(污工)
		門窗工程	門窗
		金屬與鐵件工程	電梯、手扶梯、空調、進水馬達
	敷地景觀 (不含植栽)	戶外景觀與設施工程 (不含植栽)	戶外鋪面、排水管溝、碎石級配
不算	目前計算排除的工程項目	假設工程	假設工程所需材料均排除。
		拆除打鑿、整地、挖填土方工程	護欄、施工輔助設施，施工架及輔助設施…
		擺搗與櫥櫃工程	擺搗與櫥櫃、廚具、流理臺、會議桌、家具(生命週期平均<1年)…。
		指標設施工程	工程告示牌…
		水電工程	受電箱、分電箱…
		弱電工程	照明、音響、廣播設備…
		其他設備工程	監視錄影機…

資料來源：本研究整理

二、 計算操作基本原則：

基於建築構件材料種類繁多，本研究評估方式採抓大放小為主要計算原則，為避免過於繁瑣的計算過程進而造成計算上的操作負擔，故在此列舉計算操作步驟中可能遇到以下操作問題，在此詳列操作辦法，如下表所示。

表 4-2 計算操作原則

操作準則	舉例	操作方式
相同材料如要合併計算其材料單位都要相同。	鋁門窗本体,鋁門扇及門樘 (材料單位:樘) 鋁門窗本体，鋁窗 (材料單位:樘)	相同單位可合併
材料單位有式、座的項目都一樣被列入計算範圍中。	210kg/cm ² PC+含點焊鋼絲網， 水泥混凝土 (材料單位:式) 氟碳烤漆鋁合金格柵本體含骨架 (材料單位:座)	一併列入計算
因材料項目眾多，因此只要是材料都列入計算範圍 (包含膠帶與零星工料與五金)。	造型增築填充保麗龍 (材料單位:式) 零星工料 (材料單位:式)	一併列入計算
容許計算時含蓋到部分非材料的工項，判斷一切從寬處理。	例如:玻璃工程項中有裁紙工程…等，容許人為疏忽一併列入計算中。	容許人為疏忽一併列入計算中
所有價錢的計算都採用材料淨價而非工程複價(因不計算人工與機具費用)。	吊車及運費，吊卡車 (工程單位:式) 工資 (工程單位:式)	皆不列入計算

資料來源：本研究整理

第二節 案例試算

本次研究中五棟建築案例試算均採用簡易版公式操作，完整版公式因目前所需帶入參數的現有資料不足，仍有待進一步資料蒐集，因此只先採用面磚作為示範案例。

本研究蒐集興建階段之辦公(2 案)、集合住宅(2 案)及學校(1 案)等類型建築，共計試算 5 個案例。我國法規無規定建築設計需使用具回收材料之建材比例，因此本研究所取得建築工程材料預算書所含材料預算沒有詳列是否使用具綠建材標章(再生及生態)、環保標章、資源再生綠色產品等建材，故本研究計算分別模擬建築已使用 30%、50%、100%具有標章之建材情境下，所能獲得的建築構件材料循環度，並且將計算結果區分為「結構」、「裝修」及「敷地景觀」此三個評估項目。

經試算後建築構件材料循環度結果為，辦公 24.2%及 28%、集合住宅 16.09%及 22.4%、學校 23.55%。

本研究持續蒐集試算案例，藉此了解案例於「建築構件材料循環度」試算時，於案例取得試算資訊容易程度、評估方法正確性等資訊進行分析，以檢討及評估「建築構件材料循環度」可行性及適用性，以擬訂國內「建築構件材料循環度」評估方法。

壹、基本資料

本節採用公共工程辦公樓做為示範計算案例，下列說明本案例之基本資料、分析案例使用回收材料情形及建築材料循環度設計比例。

一、基本資料

本案例新建工程位於新北市係為地下 2 層，地上 5 層辦公樓建築物，主結構為鋼筋混凝土構造，又空間用途以 1 樓為辦公與停車空間，2 樓以上為辦公空間，其餘基本資訊會彙整於下表 4-3 所示。

表 4-3 評估案例之基本資料表

項目	說明	
基本資料	建築類型	辦公樓
	建築位置	新北市
	基地面積	約 2,900 m ²
	法定建蔽率	60%
	實際建蔽率	36.11%
	法定容積率	180%

	實際容積率	97.96%
	總樓地板面積	約 3,800 m ²
	樓層數	地下 2 層，地上 5 層
	構造別	鋼筋混凝土
	建築空間用途	地下:防空避難室兼停車空間 地上一樓: 辦公/停車空間 地上二~五樓:辦公 地上六樓 :樓梯間/機房/消防水箱
材料預算		26,282,734 元

資料來源：本研究自行彙整

註 1： 建築工程(預算)包含結構體工程、外部裝修工程、內部裝修工程、門窗工程、設備工程、防水隔熱工程、鐵作及雜項工程等工程總材料預算。

但不含建築工程中假設工程、安全措施工程、營造綜合保險費、勞工安全衛生費、管理費及利潤、工程營業稅 5%、機電工程、設備工程、拆除打鑿、整地、挖填土方工程、搗擺及櫥櫃工程、指標設施工程、景觀工程中植栽的材料使用量等費用。

二、評估案例使用回收材料分析

以下簡稱已通過再生綠建材標章、生態綠建材、環保標章與經濟部工業局執行資源再生綠色產品認證之產品為「循環建材認證建材」。

依前節撰擬「建築構件材料循環度」評估方式，主要評估工程範圍包含「建築結構體工程」、「裝修工程」、「門窗工程」、「金屬及鐵件工程」與「戶外景觀及設施工程」中所使用回收材料情形，就本案例從單價分析表彙整出目前建材使用情境，因本案例在實際的建材使用情形上尚無採用任何循環材認證相關建材。

未來如要推廣「建築構件材料循環度」，本計畫比對市場上已有再生綠建材標章、生態綠建材、環保標章與經濟部工業局執行資源再生綠色產品認定之產品，為「建築循環設計」之認證產品使用，相關資料彙整於下表 4-4 所示。

表 4-4 評估案例之循環建材認證建材使用情形彙整表

大項	項目	採用循環建材 認證建材產品	市場有循環建材 認證建材產品	模擬情境試算 中是否採用
結構	140kgf/cm ² 預拌混凝土含澆置	無	可	可
	280 kgf/cm ² 預拌混凝土含澆置	無	可	可
裝修	水泥材(卜特蘭水泥)	無	可	可
	貼面磚	無	可	可
	天花板材	無	可	可
	輕質隔間牆板	無	可	可
	6mm 綠強化玻璃	無	無	無
	5mm 綠強化玻璃	無	無	無

大項	項目	採用循環建材 認證建材產品	市場有循環建材 認證建材產品	模擬情境試算 中是否採用
	塑鋼窗	無	無	無
	鋁窗	無	無	無
	木門	無	無	無
	鐵捲門	無	無	無
	鍍鋅格柵	無	無	無
	固定鐵件及五金另料	無	無	無
敷地景觀	碎石級配	無	可	可
	高壓混凝土磚	無	可	可
	混凝土	無	可	可
	瀝青	無	可	可

資料來源：本研究自行彙整

三、建築構件材料循環度之模擬情境試算

本計畫擬訂「建築構件材料循環度」評估方式，就本案例於「結構」、「裝修」與「敷地景觀」三大項目中尚無採用**循環建材認證建材產品**，則無使用循環建材認證建材產品的建材，其「建築構件材料循環度」即為0。但參照前表彙整部分產品可替換為具有環建材認證建材產品，故依此模擬情境，先計算單項建築構件材料循環度，再進行累計三項建築構件材料循環度，得到整體建築構件材料循環度。

(一) 單項建築構件材料循環度 TBCI

1. 結構

本案例原使用一般混凝土，假設將混凝土全面替換具有再生綠建材標章/環保標章之相關產品，其採用項目之數量、價格等資訊如下表 4-5 與表 4-6 所示，故評估此項建築構件材料循環度約為 100%。(P/TC 數值為四捨五入數值。)

$$\text{單項建築構件材料循環度 TBCI} = \frac{3,603}{3,603} = 100\%$$

結構項目建築構件材料循環度 T*(P/TC)(%)：

$$\text{結構建築構件材料循環度 TBCI} = 100\% \times \frac{3,112,998}{26,282,734} = 11.8\%$$

表 4-5 結構建材之使用統計表

評估項目		工程用量 (M)	單位	再生建材用量 (V)	價格(P)	循環度 (V/M) (%)	P/TC	結構建築材料循環度 T*(P/TC) (%)
結構	1.1.3 結構體工程	五金零件	95,231	式	0	786,462	0%	0.030
		鋼筋	741	T	0	5,554,848	0%	0.211
		柱鋼筋續接器	3,484	組	0	174,388	0%	0.007
		建築用混凝土	3,603	M ³	3,603	3,112,999	100%	0.118
		模板料	1,780,767	M ²	0	1,780,767	0%	0.068
		其他材料:保麗龍、鐵絲、部分木料		無	0	573,740	0%	0.022
		結構總額		無	單位不同無法累計	11,983,203	無	0.434
								11.8%

資料來源：本研究自行彙整

表 4-6 混凝土建材之使用情境

工項名稱	單位	總工程材料用量	再生建材用量 (V)	循環度 (V/M) (%)	材料價格 (P)	材料工程價格 (ΣP)	P/TC	單項循環度 T*(P/TC) (%)
140kg/cm ² 預拌混凝土	M ³	410	410	100%	297,130	3,112,998	0.118	0.118
280kg/cm ² 預拌混凝土	M ³	3,193	3,193		2,815,868			

資料來源：本研究自行彙整

2. 裝修

本案例原使用一般瀝青、卜特蘭水泥、水泥粉光、貼面磚、天花板與輕質隔間牆板，假設將這些建材全面替換具有再生綠建材標章/環保標章之相關產品，其採用項目之數量、價格等資訊如下表 4-7 與表 4-8 所示，故評估此項建築構件材料循環度約為 100%。

單項目建築構件材料循環度(天花板材為例)：

$$\text{單項建築構件材料循環度 TBCI} = \frac{5,119}{5,119} = 100\%$$

裝修項目建築構件材料循環度 T*(P/TC)(%):

裝修建築構件材料循環度 TBCI

$$\begin{aligned} &= 100\% \times \frac{19,454}{26,282,734} + 100\% \times \frac{48,042}{26,282,734} + \\ &100\% \times \frac{366,529}{26,282,734} + 100\% \times \frac{1,590,215}{26,282,734} + 100\% \times \frac{527,200}{26,282,734} + \\ &100\% \times \frac{281,634}{26,282,734} = 11\% \end{aligned}$$

門窗工程與金屬及櫥窗工程項目，涵蓋外立面金屬遮陽隔柵、樓梯扶手與門窗等金屬建材，金屬建材目前已申請環保標章與再生、永續綠建材標章的廠商佔極少數，因此即便金屬相關製品在建材使用量中佔極大的比重，但卻無法增加建築循環度的數值占比。

表 4-7 裝修建材之使用統計表

評估項目		工程 用量	單位	再生 建材 用量 (V)	價格 (P)	循環度 T(%)	P/TC	裝修建 材循環 度 T*(P/TC) (%)
裝修	1.1.4 裝修 工程	五金零件	77,386	式	0	362,895	0%	0.030
		瀝青	127	M ²	127	19,454	100%	0.001
		卜特蘭水泥	4,924	M ²	4,924	48,042	100%	0.002
		水泥粉光	13,106	M ²	13,106	366,529	100%	0.014
		金屬製品, 骨 架	1,798	M ²	0	141,305	0%	0.005
		黏著劑	22	式	0	3,162	0%	0.000
		隔熱層	1,043	M ²	0	81,763	0%	0.003
		油漆	2,503	M	0	19,592	0%	0.001
		貼面磚	7,053	M ²	7,053	1,590,215	100%	0.061
		天花板	5,119	M ²	5,119	527,200	100%	0.020
		輕質隔間牆 板	899	M ²	899	281,634	100%	0.011
		石膏磚	296	M ²	0	220,314	0%	0.008
	其他材料: 門檻、水 泥、金屬製品、黏著 劑、防潮塗料....		無	0	2,735,474	0%	0.069	
	1.1.6 門窗 工程	五金零件	95,231	式	0	786,564	0%	0.028
		玻璃	4,472.8	才	0	135,365	0%	0.005
		木門	75	樘	0	378,425	0%	0.014
		鐵捲門	63	樘	0	455,384	0%	0.016
		鋼窗	2	樘	0	4,724	0%	0.000
		鋁窗	74	樘	0	68,440	0%	0.002
		塑鋼窗	206	樘	0	642,295	0%	0.022
其他材料: 門五金、框 牆嵌縫及塞水路、台電 防火橫拉門....			無	0	400,891	0%	0.021	
1.1.7	五金零件	95,235	式	0	804,690	0%	0.029	

11%

金屬 及 櫥櫃 工程	RC 基座本體	4	座	0	2,043	0%	0.000	
	金屬製品	10	座	0	11,787	0%	0.000	
	防水閘門	2	座	0	51,327	0%	0.002	
	其他材料: 預埋基礎 螺栓、伸縮柵門軌道、 扶手及欄杆...		無	0	401,851	0%	0.015	
	裝修總額		無	單位不同 無法累計	10,541,262	無法累計	0.401	11%

資料來源：本研究自行彙整

表 4-8 天花板建材使用情境(此示範計算用天花板為例)

工項名稱	單位	總工程 材料 用量	再生 建材 用量 (V)	循環度 (V/M) (%)	材料 價格 (P)	材料 工程 價格 (ΣP)	P/TC	單項建築 材料循環 TBCI $T^*(P/TC)$ (%)
天花板材 (含梯間立面 收邊.彩色噴 漆平塗)	M ²	1,557	1,557	100%	180,587.09	527,200	0.02	0.02
平板收邊板 彩色噴漆,天 花板	M ²	1,557	1,557		122,056.34			
天花骨架及 收邊料 (含梯間立面 收邊責任)	M ²	1,557	1,557		107,109.14			
天花板材	M ²	224	224		100,841.28			
天花骨架及 收邊料,天花 板	M ²	224	224		16,605.94			

資料來源：本研究自行彙整

3. 敷地景觀

本案例原使用一般高壓混凝土磚、級配粒料與碎石級配，假設將這些建材全面替換具有再生綠建材標章/環保標章之相關產品，其採用項目之數量、價格等資訊如下表 4-9 與表 4-10 所示，故評估此項建築構件材料循環度約為 100%。

單項目建築構件材料循環度(高壓混凝土磚為例)：

$$\text{單項建築構件材料循環度 TBCI} = \frac{245}{245} = 100\%$$

敷地景觀項目建築構件材料循環度 T*(P/TC)(%):

敷地景觀建築構件材料循環度 TBCI

$$= 100\% \times \frac{86,621}{26,282,734} + 100\% \times \frac{86,621}{26,282,734} + 100\% \times \frac{6,602}{26,282,734} + 100\% \times \frac{454,319}{26,282,734} = 2\%$$

表 4-9 敷地景觀建材之使用統計表

評估項目		工程 用量	單位	再生建 材用量 (V)	價格(P)	循環度 T(%)	P/TC	敷地 景觀 TBCI (%)
敷地 景觀 (不 含植 栽)	1.1.9 戶外 景觀 與設 施工 程	五金零件	99,102	式	0	830,645	0%	0.030
		高壓混凝土磚	245	M ²	245	86,621	100%	0.003
		級配粒料	1,285	M ³	1,285	86,621	100%	0.003
		碎石級配	73.5	M ³	73.50	6,602	100%	0.0001
		瀝青混凝土	1,285	M ²	1,285	454,319	100%	0.017
		擋土牆結構	140	M	0	891,015	0%	0.032
		水泥砂漿	1,059	M ²	0	24,988	0%	0.001
		木料	9	組	0	2,829	0%	0.000
		鋼門扇	5	樁	0	18,332	0%	0.001
		抵石子料	3	式	0	10,961	0%	0.000
		其他材料:伸縮柵門收 納區及軌道基座、水 泥沙漿、填縫劑...		無	0	2,539,645	0%	0.092
		總額		無	單位不同 無法累計	7,516,539	無法累計	0.143

資料來源：本研究自行彙整

表 4-10 高壓混凝土磚之使用情境(此示範計算用高壓混凝土磚為例)

工項名稱	單位	總工程材料用量	再生建材用量 (V)	循環度 (V/M) (%)	材料價格 (P)	材料工程價格 (ΣP)	P/TC	單項建築材料循環度 TBCI
高壓混凝土磚 (磨石子面+噴砂面)，透水透水性鋪面	M ²	245	245	100%	86,621	86,621	0.003	0.003

資料來源：本研究自行彙整

(二) 整體建築構件材料循環度 TBCI

依前述四個評估項目之單項建築構件材料循環度，分別結構為 11.8%、裝修為 11%、敷地景觀為 2%，故累計三大項各自建築構件材料循環度，本案例試算之整體建築構件材料循環度共計為 24.8%，如下表 4-11 所示。

$$\text{整體建築構件材料循環度 TBCI} = \sum \text{單項建築構件材料循環度 TBCI} \times \frac{P}{TC}$$

將圖 4-2 中所有項目分子數值相加所得總數即為

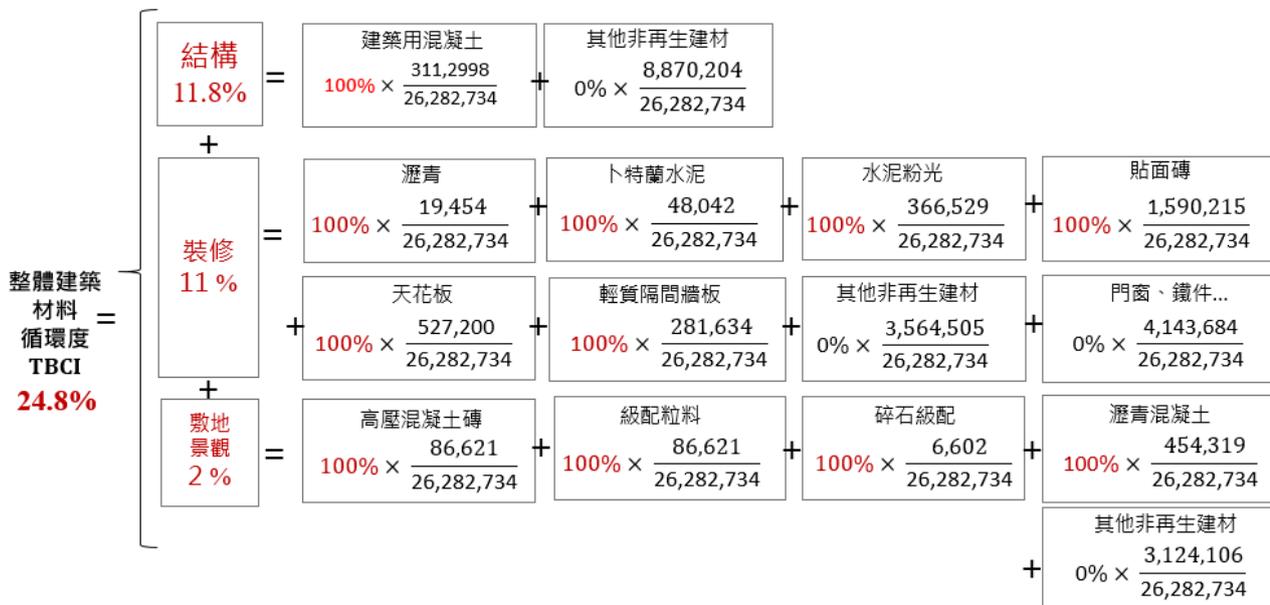


圖 4-2 三分項循環度計算結果

圖片來源：本研究自行繪製

表 4-11 整體建築構件材料循環度統計表

評估項目		循環度
單項建築構件材料 循環度 TBCI	結構材料	11.8 %
	裝修	11%
	敷地景觀	2%
整體建築構件材料循環度 TBCI		24.8%

資料來源：本研究自行彙整

第三節 案例分析

依據持續蒐集案例試算，以及透過專家諮詢會議，完成「建築構件材料循環度」評估方法，並提出應用推動之建議方向。

壹、總案例基本資料

一、五個案例基本資料

本研究總共計算五個案例，五案例基本資料如表 4-12 所示，案例中分別有兩間公共工程的辦公樓，兩間集合住宅的私人建案與一間學校類型的私人建案，三者不同建築類型的建案其各自建蔽率與容積率皆不相同，因此建築樓地板面積也不相同，進而造成建築材料預算金額也皆不同。

表 4-12 五個案例基本資料表

是否含景觀工程		預算書中含數地景觀工程		預算書中不含數地景觀工程		預算書中含數地景觀工程
建築類型		辦公樓 (公共工程)		集合住宅 (私人建案)		學校 (私人建案)
案例代號		案例 1	案例 2	案例 3	案例 4	案例 5
基本資料	建築位置	新北市	新北市	新北市	臺中中區	新北市
	基地面積	約 2,900 m ²	約 850 m ²	約 3,000 m ²	約 1,600 m ²	約 7,400 m ²
	法定建蔽率	60%	50%	50%	70%	40%
	實際建蔽率	36.11%	45.96%	42.90%	49.97%	14.87%
	法定容積率	180%	250%	360%	原法定容積:350 容積移轉後:540%	240%
	實際容積率	97.96%	234.02%	360%	540%	40%
	總樓地板面積	約 3,800 m ²	約 5,300 m ²	約 21,000 m ²	約 19,000 m ²	約 3000 m ²
	樓層數	地下 2 層， 地上 5 層	地下 2 層，地 上 5 層	地下 4 層，地 上 15 層	地下 4 層， 地上 15 層	地下 1 層， 地上 3 層
構造別	鋼筋混凝土	鋼筋混凝土	鋼筋混凝土	鋼筋混凝土	鋼筋混凝土	

	建築空間用途	<ul style="list-style-type: none"> • 地下：防空避難室兼停車空間 • 地上一樓：辦公/停車空間 • 地上二~五樓：辦公 • 地上六樓：樓梯間/機房/消防水箱 	<ul style="list-style-type: none"> • 地下一~二樓：停車 • 地上一~五樓：辦公 	<ul style="list-style-type: none"> • 一樓店鋪、二樓以上住宅 	<ul style="list-style-type: none"> • 地下一~五樓：停車空間 • 地上一樓：店鋪 • 地上二~二十二層：住宅 	<ul style="list-style-type: none"> • 地下一樓：停車 • 地上一~三樓：辦公和教室
建築材料預算	26,282,734 元	28,064,16 元	421,392,216 元	402,564,213 元	92,169,693 元	

資料來源：本研究自行彙整

貳、五個案例整體建材循環度 TBCI 占比

T 符號代指單項建築構件材料循環度 TBCI，其意指為每一材料中所使用再生材料或「循環建材認證建材」的比重，數值越高則再生循環材用量越多，圖中 T=30%、T=50%、T=100% 分別為當每一建築構件材料所用再生材料或「循環建材認證建材」的比重占單一材料使用量分別為 30%、50%、100%。將三種不同再生材料使用占比數值代入整體循環度 TBCI 公式中，求得每一個案例整體循環度 TBCI 如圖 4-2 所示。

從圖 4-2 中可以看到案例 1 與案例 2 中結構和裝修的整體 TBCI 數值接近相同，甚至在案例 2 中裝修的數值高於結構項目，由此足以證明如裝修循環材的用量足夠多時，其所能對整體循環度造成的影響將會與結構相同。

案例 3、4、5 中因裝修材至完工階段前的使用量都較結構材的使用量來的少，在這幾種案例的情境下即便所有裝修材都使用循環材，裝修項目的循環度數值佔整體循環度來說依然相對較少。此三案例中結構、裝修與敷地景觀三大項目的各自整體循環度數值都是結構>裝修>敷地景觀，其原因在於混凝土佔整體建築材料用量比重最重，而環保標章中有登入卜特蘭高爐爐渣水泥等環保建材相關產品，因此在假設模擬情境的情況下，水泥替換為「循環建材認證建材」將最有效迅速提升整體循環度。而敷地景觀項目的數值都較另外兩項整體循環度項目來的低，因敷地景觀所會使用到的建材總量與裝修和結構相較下都較少，所以敷地景觀循環度佔整體循環度比例都偏低。

依目前所蒐集的案例中顯現，循環度的數值與材料預算總值、基地面積、總樓地板面積、建築機能等條件沒有絕對正相關性，如表 4-13 與圖 4-3 所示。由此可以證明此計算公式能夠準確計算出材料循環度而不受其他因素影響計算結果。

註 2:以下簡稱已通過再生綠建材標章、生態綠建材、環保標章與經濟部工業局執行資源再生綠色產品認證之產品為「循環建材認證建材」。

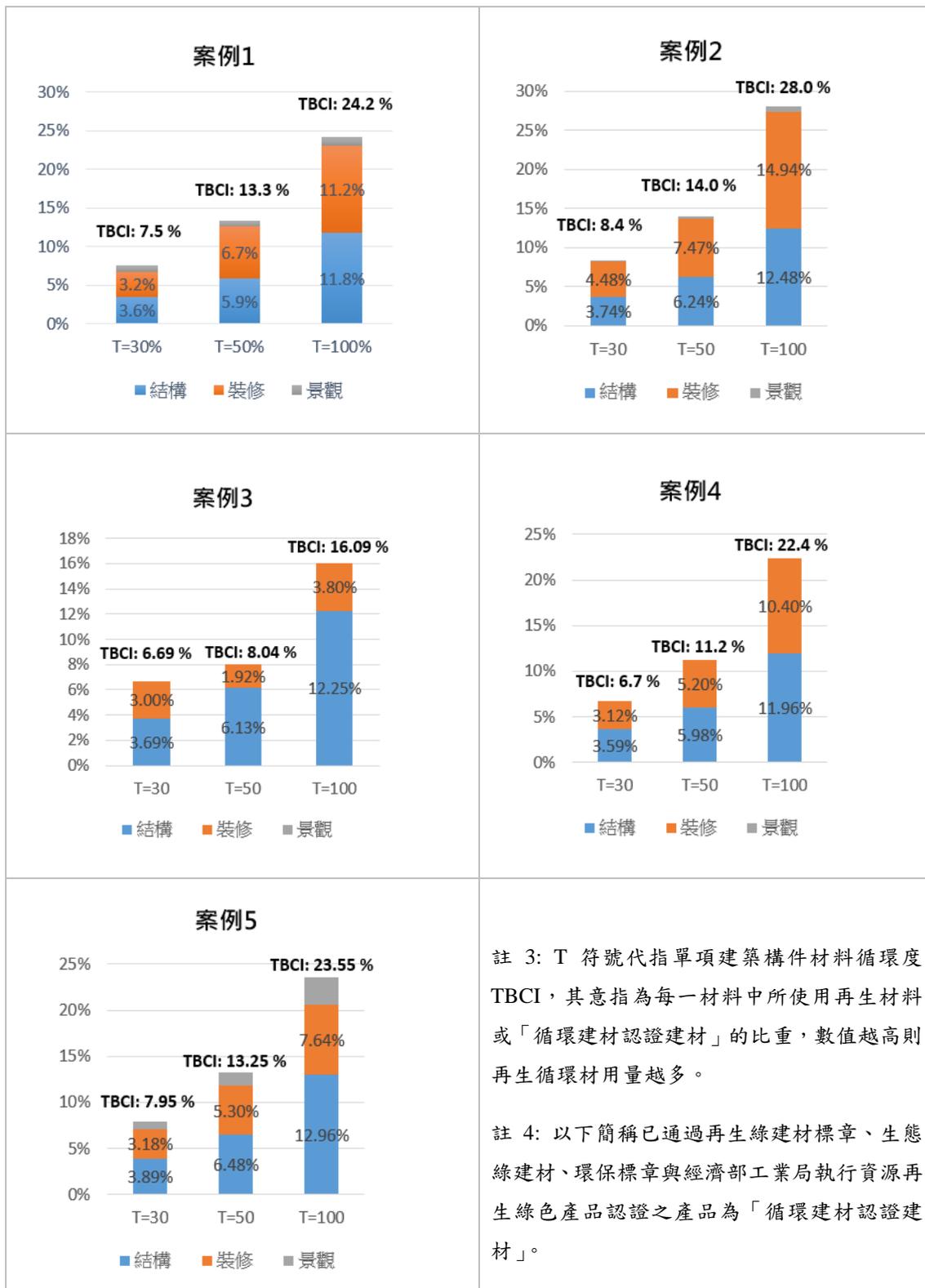


圖 4-3 五個案例循環度占比圖

圖片來源：本研究自行繪製

表 4-13 五個案例基本資料表

機能	預算書中 含敷地景觀工程		預算書中 不含敷地景觀工程		預算書中 含敷地景觀工程
	辦公樓 (公共工程)	辦公樓 (公共工程)	學校 (私人建案)	集合住宅 (私人建案)	學校 (私人建案)
基地面積	約 2,900 m ²	約 850 m ²	約 3,000 m ²	約 1,600 m ²	約 7,400 m ²
總樓地板 面積	約 3,800 m ²	約 5,300 m ²	約 21,000 m ²	約 19,000 m ²	約 3000 m ²
樓層數	地下 2 層 地上 5 層	地下 2 層 地上 5 層	地下 2 層 地上 5 層	地下 5 層 地上 22 層	地下 1 層 地上 3 層
建築材料 預算	26,414,898 元	28,064,16 元	421,392,216 元	402,564,213 元	92,169,693 元

資料來源：本研究自行彙整

參、案例整體建材循環度 TBCI 占比:五個案例(T=100)

當五個案例各材料單項循環度都為 100%，即為整棟建築所使用的建材，如有在現今市面上已存在且獲得「循環建材認證建材」的產品，則全數都替換為「循環建材認證建材」產品，則此模擬情境如下圖 4-3 所示：

案例 1 和案例 2 為公共工程辦公大樓因此裝修相對完善，其裝修建材使用量相對較高，因此裝修循環度也相對較高。案例 3 和案例 4 為私人集合住宅建案，因在預售屋使用情境下所以室內裝修量較少，裝修建材使用量較少，相對裝修循環度也較低。

案例五為學校機能，其敷地景觀項目循環度數值相對於其他案例而言相對較高，扣除因案例 3 與案例 4 預算中未涵蓋景觀預算，和案例 1 與案例 2 相比，因設計時留設的戶外空間較大因此讓景觀鋪面材料用量相對較多，造成該案例敷地景觀項目循環度較高。

案例五凸顯減法設計在此循環度計算中並無加分作用，反而因總體建材用量相對降低，進而造成其整體循環度也因其材料用量較少而下降，這樣的計算結果未來也將會列入此公式未來應用方式與範圍的考量依據。

依目前案例中所示範假設情境，使用所有現有國內標章認證的循環材料，且用量為 100%，整體循環度 TBCI 最高也只到達 28%。

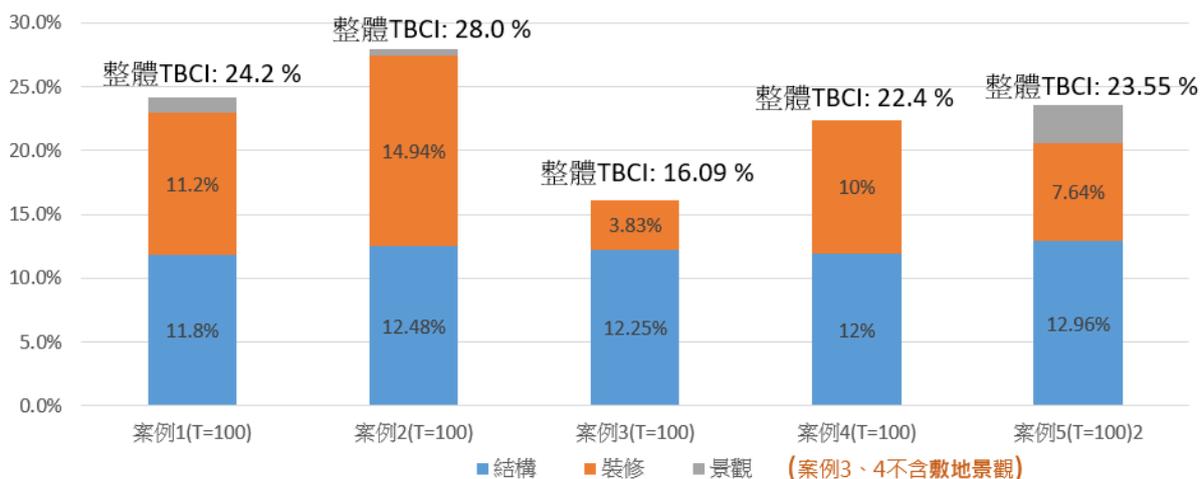


圖 4-4 五個案例循環度情境模擬計算結果(T=100)

圖片來源：本研究自行繪製

表 4-14 五個案例基本資料表

	項目	建築類型	材料預算(元)	整體 TBCI 數值
含數地景觀工程 預算書中	案例 1	辦公樓 (公共工程)	26,414,898 元	24.2%
	案例 2		28,064,161 元	28.0%
不含數地景觀工程 預算書中	案例 3	集合住宅 (私人建案)	421,392,216 元	16.09%
	案例 4		402,564,213 元	22.4%
含數地景觀工程 預算書中	案例 5	學校 (私人建案)	92,169,693 元	23.55%

資料來源：本研究自行彙整

第四節 完整版公式試算

由於目前礙於市面上建材的相關資訊並未完全公開透明，因此要採用完整版公式計算整棟建物的循環度尚有待相關資料庫的建置。因此本研究目前採用面磚作為單項材料示範完整公式的計算。

本研究採用室外面磚作為示範計算案例，因此 U 和 U_{av} 目前暫指面磚彎曲破壞載重標準，如計算的為其他類型建材則使用性能(以功能單位計)會隨著建材的性質而改變，例如面磚使用性能除了面磚彎曲破壞載重標準外也包含止滑係數、吸水率、耐磨耗性、耐藥品性與耐紬裂性等。目前本研究示範計算使用性能所採用面磚彎曲破壞載重，其基準數值出自 CNS 9737 標準，該項產品 U 數值參考三洋磁磚網站(STG,2022)，平均生命週期數值資料則出自建築產業碳足跡一書(林憲德,2018)。

表 4-15 面磚完整公式計算過程

完整公式		完整公式計算過程
1.	$TBCI = \frac{V + (M - W)}{2M} \times X$	$0.25 = \frac{2,116 + (7,053 - 5,995)}{14,106} \times 1.1$
2.	$X = \left(\frac{L}{L_{av}}\right) \times \left(\frac{U}{U_{av}}\right)$	$1.382 = \left(\frac{35}{30}\right) \times \left(\frac{640}{540}\right) \rightarrow 1.1$ (X 介於 0.9 ~1.1 間)
3.	$TBCI' = \Sigma TBCI \times \frac{P}{TC}$	$TBCI' = 0.25 \times \frac{1,590,215}{26,282,733} = 0.015$ $TBCI' = 0.015$
公式代號帶入數值		
V :	計算該項建材產品使用回收材料之使用量。亦該項建材產品取得環保標章、再生綠建材標章等認證材料或產品之使用量	2,116 M ²
W :	計算該項建材產品於使用結束變成不可回收廢棄物量	5,995 M ² (假設總量 85% 不可回收)
M :	計算該項建材產品之使總用量	7,053 M ²
X :	性能因子，但 X 介於 0.9 ~1.1 間。若 X=1 代表建材使用性能等同於平均水準， X<1 代表建材使用性能低於平均水準 10%， X>1 代表建材使用性能高於平均水準 10%。 本概念參考於艾倫·麥克阿瑟基金會「材料循環指標 MCI」。	X=1.1
L :	該項建材產品的實際平均生命週期	假設 35 年
L _{av} :	同類建材產品的平均生命週期	30 年 (參考建築產業碳

		足 p.37)
U：	該項建材產品在使用階段所具備的實際產品使用性能 (以功能單位計)	640N
Uav：	同類建材產品在使用階段所具備的平均實際產品使用性能 (以功能單位計)	540N
TBCI	計算該項建築構件材料循環度，數值越高，循環度越高。	0.25
TBCI'	將該建築所有單項建築構件材料循環度乘以占比加權(以該項建築材料經費占總工程經費之比例)後累加產生之數值，數值越高，循環度越高	0.015

資料來源：本研究自行彙整

第五節 案例試算小結

壹、案例試算小結

一、簡易版循環度公式可行

透過本研究目前五個案例計算，可得知簡易版循環度公式可行。

二、循環度占比依序為

三大分項結構、裝修與敷地景觀，由五個案例的計算結果可以得知循環度占比依序為：結構>裝修>敷地景觀。

三、個案後續使用情境上的差異造成計算結果的不同

辦公類裝修循環度大於集合住宅裝修循環度，目前主要原因在於個案後續使用情境上的差異造成計算結果的不同，例如預售屋因考量後續會再裝潢，所以完工後室內裝修量較少，進而造成預算與循環度占比的差異。

四、未來將會擴大列入計算的標章範疇

目前計算案例內所採用的循環建材僅針對取得環保標章建材與再生及永續綠建材，未來將會擴大列入計算的標章範疇。

五、部分材料的循環認證尚國內未有完整規範

部分材料的循環認證尚國內未有完整規範，例如木模板、鋼筋、石材等有循環潛力的建材尚未有相關循環或再生認證規範給予認證與獎勵措施。

六、大多數的建材尚未取得循環材相關標章

國內環保標章與再生、生態綠建材標章尚未普及，大多數的建材尚未取得循環材相關標章。在金屬方面申請的廠商尤為少數，例如：外立面金屬遮陽隔柵、金

屬樓梯扶手與門窗等金屬建材，目前已申請環保標章與再生、永續綠建材標章的廠商佔極少數，使的金屬相關建材所能得的循環度分數下降。

七、完整版計算公式有待相關基礎資料持續建立

完整版計算公式有待相關基礎資料持續建立才能達到完整可行性。

貳、評估方法正確性判讀

由以上試算小結可以證明簡算公式與完整版公式均能夠正確性判讀完整建築的循環度。

第六節 建築構件與材料循環度評估應用推動建議

簡易版循環度評估方法透過案例試算後，即能簡易計算建築構件材料循環度，為推廣建築構件材料循環度，逐步提升建材產品使用回收材料程度，需訂定相關政策管理，始能達成，可從現有制度朝向未來應用方向如下說明。以下為建築構件與材料循環度評估之應用與推動建議方式。

一、納入綠建築標章之二氧化碳減量及廢棄物減量指標之評估項目

我國綠建築標章已推動多年且成效佳，建築構件材料循環度能納入綠建築標章之二氧化碳減量及廢棄物減量指標之評估項目，有利於新建建築物及後續維修使用循環建材，未來可研究此兩個指標採取強制性評估項目或鼓勵性評估項目之適用性。

(一) 應用與推動建議方式:

將建築構件材料循環度納入綠建築標章之二氧化碳減量及廢棄物減量指標之評估項目。

(二) 初步執行方式規劃:

其納入方法為藉由目前簡算公式修正綠建築標章二氧化碳減量指標中的再生建材影響率與優待倍數或增設必要評估項目參數等方式，也可將目前本研究簡化公式併入綠建築廢棄物減量指標之中，或再進一步研究將簡化公式轉為可併入綠建築指標的優惠加分之認定制度之一。而這樣的執行方式是否可以被實踐則有待更進一步的實驗與操作來測試其可行性。

二、建立建築構件材料循環度之推動方案

我國多年積極推動綠建築，綠建築已是眾所皆知概念，有賴於政府實行「綠建築推動方案」，其規定「中央機關或受其補助達二分之一以上，且工程總造價在新台幣 5 仟萬元以上之公有新建建築物，自民國 91 年 1 月 1 日起，應先行取得候選綠建築證書，始得核發建造執照」，鑑此，由公有建築物率先實施，帶動民間企業跟進，亦能創造市場機制及環境。

(一) 應用與推動建議方式:

效仿「綠建築推動方案」的方式建置建築構件材料循環度之推動方案。

(二) 初步執行方式規劃:

為使建築物提升建築構件材料循環度，亦須建立明確推動目標及方針，綠建築推動方案亦是成功範例，故可建立建築構件材料循環度之推動方案，並規定一定查核金額以上之公共建築工程，必須達到一定比例之構件與材料循環度(例如 20%)，並實施相關獎勵措施。

三、「建築技術規則建築設計施工編」訂定建築構件材料循環度相關規範

自內政部營建署於 93 年 3 月 10 日增訂「建築技術規則建築設計施工編」第十七章綠建築基準，其中綠建材自 95 年 7 月 1 日開始實施，規定綠建材使用率為 5%，推動至今於 110 年 1 月 1 日起室內裝修材料及樓地板面材料總面積 60% 以上，戶外地面總面積 20% 以上，因強制性法令規定，使得新建建築物於綠建材使用率能大幅提升。

(一) 應用與推動建議方式:

針對建築構件材料循環材的使用修訂「建築技術規則建築設計施工編」第十七章綠建築基準中綠建材的相關規範，或建議增設對建築構件材料循環材的使用量百分比的相關標準。

(二) 初步執行方式規劃:

鑑此，本研究研擬建築構件材料循環度，未來若能納入法令規定，優先以低採用率為基準(5%~10%)，爾後視推動現況逐步提升採用率，將有利於建築產業重

視使用循環建材，加速我國落實循環經濟理念。

經由表 4-16 的比較可以看出，三種應用與推動方案各有優缺，其各自的優與缺也許可經由整合與交互參照的方式在未來擬定出較為完整的推廣與實施辦法。

表 4-16 建築構件與材料循環度評估之應用與推動比較表

項次	建議方案	優缺點比較	
一	納入綠建築標章之二氧化碳減量及廢棄物減量指標之評估項目	優點	推動成效最為全面，所有新建建築物皆須符合。
		缺點	需要修改法規，推行時間較為冗長。
二	建立建築構件材料循環度之推動方案	優點	綠建築標章已實行多年，接受度高，可以很快落實材料循環度。
		缺點	二氧化碳及廢棄物減量指標僅為綠建築標章選用指標，落實效果恐打折扣。
三	「建築技術規則建築設計施工編」訂定建築構件材料循環度相關規範	優點	1. 可讓公有建築物率先實施來帶動民間完成與落實建材循環的目標。 2. 涵蓋一定金額以上新建建築物。
		缺點	1. 有可能需要跨部會協調。 2. 需先研擬推動方案。 3. 所需推動時程較長。

第五章 專家學者諮詢會議

本計畫召開專家學者諮詢會議，邀請循環經濟發展相關應用專家與建築師擔任專家學者，針對建築循環度評估方法與計算方式進行深入探討，提出實務上可行的操作方式或法規層面可能遭遇之困難，作為未來整合循環經濟理念至既有法令政策之參考。

第一節 會議辦理程序

壹、議事說明

一、開會時間：111年09月30日(星期五)下午2時0分

二、開會地點：財團法人台灣建築中心(線上會議)

三、會議要點：

(一) 建立國內建築規劃設計導入循環經濟之範疇定義及內涵。針對建築構件材料循環度評估方式，包含評估範疇、評估項目、資料來源、數據分析、計算方式等，提出建議與修正辦法。

(二) 探討建築構件材料循環度評估方式的合理性與適用性。

四、專家學者：

建築構件材料循環度評估方法涉及實務計算及可應用推廣方面，本研究邀集法制化、建築師、循環經濟發展應用專家等人參與，探討建築構件材料循環度評估方式的合理性與適用性，期望達成國內建築師與設計人員對循環經濟理念導入建築規劃設計的討論與共識。

單位	姓名	職稱
內政部營建署建築管理組	高文婷	組長
台灣幸福健築會	江哲銘	總顧問
鄭宜平建築師事務所	鄭宜平	建築師
廖慧燕建築師事務所	廖慧燕	建築師
勝岳營造有限公司	吳宗政	主任建築師
黃漢雄建築師事務所	黃漢雄	建築師

五、會議過程照片

- (1) 高文婷組長 (2) 江哲銘總顧問 (3) 鄭宜平建築師
 (4) 廖慧燕建築師 (5) 吳宗政主任建築師 (6) 黃漢雄建築師



第二節 專家學者意見及回應

本次專諮會由六位專家學者提供寶貴意見，本研究綜整各專家學者之意見，其回應說明如下所示。

項次	專家學者意見	承辦單位回應
1	建議提出適當之簡化計算公式，建立循環認證指標、基準、再生及循環構件資料庫及認證流程，並訂出建築物各單項(如結構、裝修、敷地)之「材料循環度」基準，以便判斷如何改善或增減其「材料循環度」的技術。	感謝專家意見，將納入本研究規劃未來研究課題時參考。
2	在循環建材的界定方法層面，是否考慮將原生、天然與永續材料(例如:原木、竹構與鋼結構...等)，此類無取得綠建材標章或是相關認證的建材，納入循環建材的認定範疇中，並納入計分。	感謝專家建議，有關循環建材計算納入天然材料(石材、木材、鋼等)，因目前較難以從產品名稱直接判定是否使用天然材料，(例如:是否使用天然礦砂的鋼胚或者是使用回收鋼胚去製造)，因此仍然採用第三方認證較為公正，本研究也將持續蒐集相關資料尋求解決辦法。

項次	專家學者意見	承辦單位回應
3	加強說明「材料循環度」與「建築物循環度」二者異同之處。完整版公式示範案例的性能因子如何計算並不清楚，建議加強完整版公式的說明。	感謝專家建議，會再進行說明與呈現方式的修正。
4	可否將建築物以類別來分類，因辦公室或住宅其「材料循環度」，應該是不同，如一起比較，可能有失公允。集合住宅的專有部分，是未來申請循環回收利用率認證所不易掌握的部份，如何評估私有住宅的循環利用率未來可納入研究。	感謝專家回饋，有關建築物以類別來分類評估與如何評估私有住宅的循環利用率等問題將納入未來研究方向之參考。
5	減法設計使用較少的材料達到同樣的空間效益，也是有效減少資源耗用的重要方法，是否亦宜納入考慮，建請再酌。	感謝專家建議，將納入本研究規劃未來研究課題時參考。
6	使用回收材料除以造價金額來判斷其「材料循環度」，可否有其他方式如使用個數、使用面積及使用體積來判斷其「材料循環度」。	感謝專家建議，將納入本研究未來研究方向之參考。
7	建議增列「管材」為回收再利用的循環度計算項目。	感謝專家回饋，將納入未來研究項目之參考。
8	計算過程參考國外方法並修正為符合我國國內規範，研究成果值得肯定。建議呈現台灣建築目前的循環利用率與各國現況的比較，並列舉未來需要努力的空間和方向，可在研究中敘述，做為推動政策的參考。	感謝專家肯定，關於循環利用率比較的列舉已在文獻回顧的部分進行簡述，如有敘述不夠明確之處會再進行說明與呈現方式的修正。
9	簡報除「使用回收材料」有較詳細說明外，針對「使用階段效能」及「不可回收的廢棄物」兩大領域亦應加強說明。基於環保署已建立營建廢棄物的定義與範疇，並有相關法律規範，因此針對本研究中「不可回收的廢棄物」等相關名詞的定義期望可以給予更明確的解釋，並與台灣現行相關法律規範接軌。	感謝專家回饋，將納入本研究規劃未來研究課題時參考。
10	針對大型建築工程或是公共工程有裝修工程發包等問題，其預算表所涵蓋的材料資訊將不完備，也將間接影響整體循環度計算結果。	感謝專家回饋，將納入本研究彙整現行遭遇問題之參考。
11	提高建材取得相關回收材料標章的認證，建材回收比例認證機制應用範圍的擴大，及循環度計算併入室內裝修綠建材比率等相關規範，可提升循環利用率，相關的課題未來可納入研究。	感謝專家建議，將納入本研究規劃未來研究課題時參考。

項次	專家學者意見	承辦單位回應
12	贊成研究結論，評估宜採容易執行之方式，在操作容易且易於推廣的考量下採用簡算公式，因為加強資源循環再利用，降低資源消耗確實很重要；但就評估之觀點，僅是去衡量執行落實之程度，所以宜抓大放小、簡單易執行，將力量放在落實推動勿將重心放在做一份好的評估計算報告。	感謝專家肯定。
13	本研究案執行單位蒐集國內外資料相當完整，並經分析歸納後提出後續執行建議，研究成果豐碩值得肯定。	感謝專家肯定。
14	免疊床架屋，造成業界花費過多時間在相關的評估工作，建議將循環度之評估納入綠建築標章之項目，不要再增設標章或認證等規定。	感謝專家建議，將納入本研究考量。

第六章 結論與建議

第一節 結論

透過本計畫研究內容可彙整為以下三點結論，並且證明評估方法正確：

壹、本研究提出完整版與簡易版公式

本研究提出此完整版與簡易版建築循環設計構件材料循環度兩個版本的公式，簡易版計算方式較為簡便，完整版除了可以對建築整體循環度進行評估外，也同時考量再生建材的使用壽命與使用性能等因子，具有通盤考量的優勢。

貳、透過案例試算簡易版公式可行

透過本研究四個案例試算的過程可以發現，簡易版建築構件材料循環度公式有效顯現出三大工程大項中，材料循環度的占比。

參、完整版公式仍有待相關基礎資料建立

完整版建築循環設計構件材料循環度公式目前資料上尚缺建材產品的實際平均生命週期，其他公式上所需的項目資料則並非所有建材廠商都對外提供完善資訊。

第二節 建議

後續簡化公式之應用與推廣仍有努力的空間，完善完整版公式資料庫也仍需相關基本資料的蒐集與彙整，因此總體研究建議主要有以下四點論述：

建議一：

延續循環議題朝可逆式工法進行相關議題研究；立即可行建議

主管機關：內政部建築研究所

協辦機關：財團法人台灣建築中心

本研究已研擬建築物採用構件與建材之循環度評估方法，即能評估建築設計至完工裝修階段皆能評估。目前國外於建築循環利用提出「可逆式建築設計」概念，其對建材完整拆卸與重覆使用之相關工法，有利於提升設計階段導入建築循環度，但能否適用於我國氣候環境特性、建築預鑄化及模組化成為可逆式設計潛力，藉由技術面、法規面及市場面初步探討可逆式建築設計於國內推廣應用的可行性與後續發展必要的配套措施，作為國家建築循環設計與永續城市發展政策策略訂定之參考。

建議二：

後續簡化公式之應用；中長期建議

主管機關：內政部建築研究所

協辦機關：財團法人台灣建築中心

簡易版循環度評估方法透過案例試算後，能簡易計算建築構件材料循環度，為推廣建築構件材料循環度，逐步提升建材產品使用回收材料程度，需訂定相關政策管理，始能達成，因此對後續未來應用方向，提出三種建議可行的方案，分別為1.納入綠建築標章之二氧化碳減量及廢棄物減量指標之評估項目、2.建立建築構件材料循環度之推動方案、3.訂定建築構件材料循環度相關規範，此三種規範都有其優缺，並有待更進一步的研究來研擬相關細節策略。

建議三：

推廣建築構件與材料取得循環相關認證；中長期建議

主管機關：內政部建築研究所

協辦機關：財團法人台灣建築中心

為增加工程材料循環度，未來環保標章與再生、永續綠建材仍有再擴大的空間，期許增加可涵蓋的範圍，也進一步推廣並協助建材廠商取得相關認證，讓建築相關設計工作者可以在早期設計階段就可以有更佳豐富的循環建材可供選擇，進而達成循環經濟永續發展的理念。

建議四：

持續建立相關基本資料；中長期建議

主管機關：內政部建築研究所

協辦機關：財團法人台灣建築中心

為達成更嚴謹的操作規則讓循環度指標不單只是檢視循環材的使用率，且可以將材料的耐久性等其他性能都納入評估標準範圍中，因此有必要持續建立再生與循環構件材料的相關基本資料，未來朝完整版計算公式方向推動。

附錄一 C2C 認證產品標準4.0版之產品循環性要求

C2C 認證產品標準 4.0 版於 2021 年 3 月 14 日推出，7 月 1 日起啟用，評估項目修訂為「材料健康性」、「產品循環性」、「潔淨空氣與氣候保護」、「水資源管理」及「社會公平性」，並將認證等級修改為銅級(Bronze)、銀級 (Silver)、金級 (Gold) 及白金級 (Platinum) 4 個等級的認證。

C2C 認證產品標準 (4.0 版) 產品循環性要求各等級標準

等級	產品循環性要求
銅級	申請人參與循環教育計畫，以了解相關循環基礎設施發展。
	定義產品及材料的預期循環路徑。
	在產品首次使用結束時，已針對循環基礎設施制訂計畫，並確定了潛在循環合作夥伴。
	選擇含回收及(或)可再生成分的產品與材料類型。若無法達成此項要求，須公開報告妨礙實現此要求的原因和限制。
	按重量計算， $\geq 50\%$ 的材料與預期循環路徑兼容(即可回收、可堆肥或可生物降解)。
	公開循環數據及說明。
銀級	產品循環(回收與處理)的合作關係已啟動。若產品預計透過市政系統進行循環，材料須與市政系統相容。
	產品使用的回收及(或)可再生成分之重量比例等同於或高於行業平均水平，並符合慣例。若無法達成此項要求，須公開報告妨礙實現此要求的原因和限制。
	按重量計算， $\geq 70\%$ 的材料與預期循環路徑兼容(即可回收、可堆肥或可生物降解)。
	制訂改善產品循環性的策略，包含： <ul style="list-style-type: none"> • 增加消費端料源(Post-Consumer Recycled Material)及(或)負責任來源的可再生材料含量。 • 實施促進循環的機會或創新方案 • 改進相關產品的拆卸設計
金級	產品使用的回收及(或)可再生成分之重量比例與行業領先者針對該產品類型所達成的水平一致。若無法達成此項要求，須公開報告妨礙實現此要求的原因和限制。
	按重量計算， $\geq 90\%$ 的材料與預期循環路徑兼容(即可回收、可堆肥或可生物降解)並支持高價值循環，即材料的品質上乘，並有望保留其價值供後續使用；如相關，包含此類材料的部件為易拆解設計。
	實施以下策略： <ul style="list-style-type: none"> • 增加與產品類型相關之消費端料源及(或)負責任來源的可再生材料含量。若無法達成此項要求，須公開報告妨礙實現此要求的原

	<p>因和限制。</p> <ul style="list-style-type: none"> • 增加產品循環性的循環機會或創新方案。
	<p>產品使用結束後進行主動循環（回收和處理），及（或）實施提高產品材料循環率或質量的計畫。（針對使用週期短的產品，需要達成上述兩項要求；使用週期長的產品僅需達成一項。）對於選擇的一次性塑料產品，至少達到 50% 的循環率。</p>
白金級	<p>為產品及其材料至少規劃兩項循環路徑。</p>
	<p>產品使用的回收及（或）可再生成分之重量比例達到技術可行之上限。</p>
	<p>按重量計算，$\geq 99\%$ 的材料與預期循環路徑兼容（即可回收、可堆肥或可生物降解）；如相關，包含此類材料的部件為易拆解設計。</p>
	<p>產品在使用結束後，以與使用階段一致的量進行主動循環（使用週期越短，產品需循環的比例越高），並需實施可提高產品材料循環率或質量的計畫。</p>
	<p>經過一段時間監測產品材料循環率及品質，並證明累計循環率或品質的提升。</p>

資料來源：C2CPII [搖籃到搖籃產品認證標準 V3.1 版]

四大層面	指標項目	說明	最新公佈數據 (截至 2021/12/22)
		$= \text{電氣和電子設備收集率} \times \text{回收及再利用率}$ $= \frac{\text{電氣和電子設備收集量}}{\text{前三年投放市場之平均量}} \times \frac{\text{回收及再利用率}}{\text{所有個別回收量}}$ <p>依據歐盟廢棄電氣和電子設備指令 (Waste from Electrical and Electronic Equipment (WEEE)) 規定計算收集率及回收再利用率，包含如計算機，電視，冰箱和手機等設備。</p>	(2018 年)
		(6e) 人均回收的生物廢棄物 $= \frac{\text{進行堆肥或甲烷化的城市垃圾}}{\text{總人口數}}$	90kg/人 (2020 年)
		(6f) 營建與拆除廢棄物的恢復率 $= \frac{\text{投入再利用、回收或材料恢復(如回填)的建築和拆除廢棄物}}{\text{經法規 EC 2150/2002 處理過的建築和拆除廢棄物}}$	88% (2018 年)
二次料	(7) 應用回收材料替代原料需求	(7a) 廢棄物回收投入率 (EOL-RIR) $= \frac{\text{二級材料生產(廢料)}}{\text{初級材料生產} + \text{進口材料} + \text{二級材料生產(廢料)}}$ <ul style="list-style-type: none"> • 二級材料生產 (廢料) 包含在歐盟進行功能性回收及處理，以及生產製造的二級材料。(功能性回收：回收材料具有與初級材料同等品質並且可用於相同或相似應用) • 初級材料生產包含在歐盟生產和加工處理的主要產品，以及製造的副產品。 • 進口材料包含歐盟進口之初級、二級和加工材料。 	12.3% (2019 年)
		(7b) 材料循環使用率 $= \frac{\text{材料循環使用量}}{\text{材料總使用量}}$	12.8% (2020 年)
	(8) 可回收原料之貿易 可回收原料包含塑膠、紙和紙板、貴金屬、鋼鐵、銅、鋁和鎳。	(8a) 自非歐盟國家進口之可回收原料	8,282,207 噸 (2020 年)
		(8b) 出口至非歐盟國家之可回收原料	27,490,340 噸 (2020 年)
(8c) 歐盟成員國間貿易		46,850,227 噸 (2020 年)	
競爭力與創新	(9) 私人投資、工作機會及總附加價值	(9a) 有形商品的總投資 當年度內對所有有形商品的投資，包括新的和既有的有形資本貨物，無論是從第三方購買還是為自用而生產，其使用壽命超過一年，包括土地等非生產的有形貨物。無形資產和金融資產的投資不包括在內。	0.12% GDP (2018 年)
		(9b) 聘僱人數 在評估單位工作的總人數，以及在單位外工作並支付報酬的人。	1.71% (2018 年)
		(9c) 按要點成本計算的增值 調整營運模式後的總收入，可包含如營業額、資本化生產、其他營業收入、降低庫存的獲利、其他與生產相關的稅收等。	0.97% GDP (2018 年)
	(10) 專利	與回收及二級原料有關的專利數量。	269.14 (2016 年)

資料來源：eurostat

(<https://ec.europa.eu/eurostat/web/circular-economy/indicators/monitoring-frame-work>)，本研究轉譯整理

**附錄三 取得再生、生態綠建材、環保標章與資源再生綠色產品
認定之建材產品彙整表**

取得再生綠建材標章之建材產品

項目	建材產品	廠商
水泥瓦	水泥瓦	信義建材股份有限公司
	水泥瓦	信義建材股份有限公司
水硬性 混合水泥	水硬性混合水泥	民峰實業股份有限公司
	水硬性混合水泥-卜特蘭高爐爐渣水泥	中聯資源股份有限公司
	水硬性混合水泥-卜特蘭高爐爐渣水泥	中聯資源股份有限公司
	水硬性混合水泥-卜特蘭高爐爐渣水泥	中聯資源股份有限公司
	水硬性混合水泥-卜特蘭高爐爐渣水泥	東南水泥股份有限公司
	水硬性混合水泥-卜特蘭高爐爐渣水泥	東南水泥股份有限公司
石膏板	防潮石膏板 GB-S	環球水泥股份有限公司
	石膏板 GB-R	環球水泥股份有限公司
	強化石膏板 GB-F	環球水泥股份有限公司
再生纖維 水泥板	矽酸鈣板(0.8FK)	佳大建材工業股份有限公司
	矽酸鈣板(1.0FK)	佳大建材工業股份有限公司
	普通纖維水泥板 0.8I(內裝用)	佳大建材工業股份有限公司
	普通纖維水泥板 1.0I(內裝用)	佳大建材工業股份有限公司
	普通再生纖維水泥板	大倡國際商務股份有限公司
高壓混凝土 地磚	高壓凝土地磚 A 級本色	台富水泥製品股份有限公司
	高壓凝土地磚 B 級	艾錕企業股份有限公司
	高壓凝土地磚 A 級本色	亞麥開發股份有限公司
	高壓凝土地磚 A 級灰色	尚美實業股份有限公司
	高壓凝土地磚 A 級本色	天九興業股份有限公司
	高壓凝土地磚 B 級	利澤建材工業有限公司
	高壓凝土地磚 B 級	健源有限公司
	高壓凝土地磚 A 級本色	民峰實業股份有限公司
	高壓凝土地磚 A 級-本色	羅德應用材料股份有限公司
	高壓凝土地磚 A 級	聚昱實業股份有限公司
	植草磚本色	台富水泥製品股份有限公司

項目	建材產品	廠商
混凝土 空心磚	植草磚本色	天九興業股份有限公司
	植草磚(本色)	羅德應用材料股份有限公司
	建築用混凝土空心磚 A 級	美莊股份有限公司
	建築用混凝土空心磚-A 級本色	羅德應用材料股份有限公司
混凝土粒料	鋪面粒料(電弧爐煉鋼爐氧化渣 EAFS)	立順興資源科技股份有限公司
	鋪面粒料(電弧爐煉鋼爐氧化渣 EAFS)	立順興資源科技股份有限公司
	混凝土粒料(陶瓷細粒料)	立順興資源科技股份有限公司
	瀝青鋪面用粒料	中聯資源股份有限公司
	混凝土粒料/細粒料	程豐環境科技股份有限公司
	混凝土粒料(玻璃砂細粒料)	台寶玻璃工業股份有限公司
	混凝土粒料(電弧爐煉鋼爐氧化渣)	樺勝環保事業股份有限公司
	混凝土粒料(電弧爐煉鋼爐氧化渣)	樺勝環保事業股份有限公司
	瀝青鋪面用粒料	中聯資源股份有限公司
	瀝青鋪面用粒料	中聯資源股份有限公司
	瀝青鋪面用粒料	中聯資源股份有限公司
透水性 混凝土磚	透水性混凝土磚本色	天九興業股份有限公司
	透水性混凝土磚	聚昱實業股份有限公司
陶瓷面磚	陶瓷面磚(Ia 類-外裝地磚)	冠軍建材股份有限公司
	陶瓷面磚(Ia 類-外裝地磚)	冠軍建材股份有限公司
	陶瓷面磚(Ib 類-內裝壁磚)	冠軍建材股份有限公司
	陶瓷面磚(Ia 類-內裝地磚)	冠軍建材股份有限公司
	陶瓷面磚(II 類-內裝地磚)	冠軍建材股份有限公司
	陶瓷面磚(Ia 類-外裝地磚)	冠軍建材股份有限公司
	陶瓷面磚(Ib 類-外裝壁磚)	冠軍建材股份有限公司
	陶瓷面磚(II類-外裝壁磚)	冠軍建材股份有限公司
	陶瓷面磚(Ia 類-內裝地磚)	冠軍建材股份有限公司
	陶瓷面磚-Ib 類外裝地磚	全盛興資源科技股份有限公司
	陶瓷面磚(Ia 類-內裝地磚)	冠軍建材股份有限公司
	陶瓷面磚(Ia 類-外裝地磚)	冠軍建材股份有限公司
	陶瓷面磚-Ib 類-外裝地磚	昌達陶瓷股份有限公司
	陶瓷面磚-Ib 類-外裝地磚	昌達陶瓷股份有限公司

項目	建材產品	廠商
	陶瓷面磚-Ib類-外裝地磚	昌達陶瓷股份有限公司
	陶瓷面磚-Ib類-外裝地磚	昌達陶瓷股份有限公司
	陶瓷面磚-Ib類-外裝地磚	昌達陶瓷股份有限公司
	陶瓷面磚(Ia類-外裝地磚)	冠軍建材股份有限公司
	陶瓷面磚(Ia類-外裝地磚)	冠軍建材股份有限公司
	陶瓷面磚(II類-內裝地磚)	弘松窯業股份有限公司
	陶瓷面磚(Ia類-內裝地磚)	冠軍建材股份有限公司
	陶瓷面磚(Ia類-外裝地磚)	冠軍建材股份有限公司
普通磚	普通磚(3種磚)	大勝磚廠股份有限公司
	普通磚(3種磚)	立昌窯業股份有限公司
	普通磚-3種磚	明春窯業股份有限公司
綠混凝土	綠混凝土(green concrete)	國產建材實業股份有限公司
	綠混凝土 H類	亞東預拌混凝土股份有限公司
磨石子地磚	磨石子地磚	晶泰水泥加工廠股份有限公司
	磨石子地磚	旭峰水泥工業股份有限公司
瀝青鋪面粒料	瀝青鋪面用粒料	中聯資源股份有限公司
	瀝青鋪面用粒料	中聯資源股份有限公司
	瀝青鋪面用粒料	中聯資源股份有限公司
	瀝青鋪面粒料(電弧爐煉鋼爐氧化渣)	樺勝環保事業股份有限公司
	瀝青鋪面粒料(電弧爐煉鋼爐氧化渣)	樺勝環保事業股份有限公司

資料來源：111年6月本研究自行彙整於台灣建築中心-綠建材資料庫

取得生態綠建材標章之建材產品

項目	建材產品	廠商
木製產品	闊葉樹製材品	昆晉實業股份有限公司
	針葉樹裝修用壁板	國立臺灣大學生物資源暨農學院實驗林管理處
	花旗松結構用集成材	德豐木業股份有限公司
	愛樂可素面合板	益材木業有限公司

資料來源：111 年 6 月本研究自行彙整於台灣建築中心-綠建材資料庫

取得經濟部工業局資源再生綠色產品認定之建材產品

項目	建材產品	廠商
窯燒磚類 建材	1.Ia 類-內裝地磚 2.Ia 類-外裝地磚 3.Ib 類-內裝壁磚 4.Ib 類-外裝壁磚 5.II 類-內裝地磚 6.II 類-外裝壁磚 7.III 類-內裝壁磚	冠軍建材股份有限公司
	脫硫污泥紅磚、淨水污泥紅磚	豐興磚廠股份有限公司 嘉品窯業股份有限公司
非窯燒磚類 建材	EP 環保透水磚	尚美實業股份有限公司
水泥類板材	矽酸鈣板	佳大建材工業股份有限公司

資料來源：111 年 10 月本研究自行彙整於資源再生綠色產品資訊區

取得環保標章之建材產品

項目	建材產品	廠商
卜特蘭水泥	卜特蘭水泥-II(MH)型	臺灣水泥股份有限公司
	卜特蘭水泥-II 型	臺灣水泥股份有限公司
	卜特蘭水泥-I 型(低溫低鹼)	臺灣水泥股份有限公司
	卜特蘭水泥-第 I 型	臺灣水泥股份有限公司
木製產品	低甲醛(F1)化粧粒片板	龍疆國際企業股份有限公司
水硬性混合水泥	卜特蘭高爐爐渣水泥[IS(<70)(MS)]型	中聯資源股份有限公司
	卜特蘭高爐爐渣水泥[IS(<70)]型	中聯資源股份有限公司
	卜特蘭高爐爐渣水泥[IS(<70)]型 H1	中聯資源股份有限公司
	卜特蘭高爐爐渣水泥[IS(<70)]型 HH1	中聯資源股份有限公司
	新型高爐水泥	中聯資源股份有限公司
回收玻璃再生品	亮彩琉璃	台寶玻璃工業股份有限公司
非窯燒類資源化建材	高壓環保透水磚(本、紅、黑色)	聚昱實業股份有限公司
	HSC301 處理劑(地質改良劑)	中聯資源股份有限公司
	人造崗石階梯板(灰色、黑色、紅色、黃色、白色、綠色)	尚美實業股份有限公司
	大理石粒料	尚美實業股份有限公司
	工程級配材料(非適用於公路、機場用碎石級配粒料，非適用於鋪面基層、底層及面層用級配料及非適用於混凝土粒料)	花蓮區石材資源化處理股份有限公司
	手工緣石-黑棕色,本色	三惠製材所有限公司
	手作木紋磚(深棕色,黃色,黑色,本色)	協新豐環境工程有限公司
	手作造型磚(本色,黃色,黑色)	協新豐環境工程有限公司
	水泥欄杆(深棕色,黃色,黑色,本色)	協新豐環境工程有限公司
	水泥欄杆-本色,黑棕色	三惠製材所有限公司
	生態階梯步道組-黑棕色	三惠製材所有限公司
	石粉	花蓮區石材資源化處理股份有限公司
	石粉	尚美實業股份有限公司
	石膏板耐燃一級(GB-R01)	環球水泥股份有限公司
	仿天然紋平板磚- 黑棕色,淺黃色,本色	三惠製材所有限公司
	再生高壓混凝土地磚(本色)	羅德應用材料股份有限公司
	再生纖維水泥板	大倡國際商務股份有限公司
	再生纖維水泥板	大倡國際商務股份有限公司

項目	建材產品	廠商
非窯燒類資 源化建材	防潮石膏板耐燃一級(GB-S01)	環球水泥股份有限公司
	坡坎護坡磚(本色、紅色、黃色)	天九興業股份有限公司
	坦克磚	民峰實業股份有限公司
	矽酸鈣板	佳大建材工業股份有限公司
	矽酸鈣板	佳大建材工業股份有限公司
	矽酸鈣板	大倡國際商務股份有限公司
	矽酸鈣板	大倡國際商務股份有限公司
	空心磚 RC(本色、淺黑色、黑色、紅色、黃色、土黃色、米白色、咖啡色、淺咖啡色)	中美水泥製品股份有限公司
	花台圍牆磚(本色、紅色、黑色)	天九興業股份有限公司
	花崗石粒料	尚美實業股份有限公司
	建築用混凝土空心磚	羅德應用材料股份有限公司
	洗石子磚(灰色、黑色、紅色、黃色、白色、綠色)	尚美實業股份有限公司
	飛石踏板(灰色、白色、紅色、綠色)	尚美實業股份有限公司
	飛灰爐石粉	中聯資源股份有限公司
	高壓崗石磚(本色、紅色、黑色)	台富水泥製品股份有限公司
	高壓崗石磚(灰色、黑色、紅色、黃色、白色、綠色)	尚美實業股份有限公司
	高壓彩晶地磚(灰色、黑色、紅色、黃色、白色、綠色)	尚美實業股份有限公司
	高壓排水磚(緣石)(本色)	羅德應用材料股份有限公司
	高壓凝土地磚(本色、紅色、黃色、土黃色、白色、米色、黑色、棕色、深棕色)	天九興業股份有限公司
	高壓凝土地磚(紅色、淺灰色、深灰色、黃色、咖啡紅色、咖啡黑色)	晶泰水泥加工廠股份有限公司
	高壓凝土地磚 RC(本色、淺黑色、黑色、紅色、黃色、土黃色、米白色、咖啡色、淺咖啡色)	中美水泥製品股份有限公司
	高壓透水磚(紅色、淺灰色、深灰色、黃色)	晶泰水泥加工廠股份有限公司
	高壓植草磚(本色)	羅德應用材料股份有限公司
高壓歐式庭園磚(灰色、黑色、紅色、黃色、白色、綠色)	尚美實業股份有限公司	

項目	建材產品	廠商
非窯燒類資 源化建材	高壓環保磚(本、紅、黑色)	聚昱實業股份有限公司
	高壓環保磚(焚化再生粒料;本、紅、黑、白色)	聚昱實業股份有限公司
	國浦再生纖維水泥板	惠普股份有限公司
	國浦矽酸鈣板	惠普股份有限公司
	國浦纖維水泥板(耐燃一級)	惠普股份有限公司
	國浦纖維水泥板(耐燃一級)	惠普股份有限公司
	強化石膏板耐燃一級(GB-F01)	環球水泥股份有限公司
	排水磚(灰色)	尚美實業股份有限公司
	混凝土及水泥砂漿用水淬高爐爐渣粉	永觀工業股份有限公司
	混凝土及水泥砂漿用水淬高爐爐渣粉	中聯資源股份有限公司
	混凝土空心磚(本色)	天九興業股份有限公司
	透水性混凝土磚	羅德應用材料股份有限公司
	透水性混凝土磚(本色、紅色、黃色、白色、米色、黑色、棕色)	天九興業股份有限公司
	透水性混凝土磚 RC(本色、淺黑色、黑色、紅色、黃色、土黃色、米白色、咖啡色、淺咖啡色)	中美水泥製品股份有限公司
	透水性混凝土磚-自行車道與人行步道用	廣興水泥製品有限公司
	透水磚(灰色、黑色、紅色、黃色、白色、綠色)	尚美實業股份有限公司
	圍牆磚(灰色、黑色、紅色、黃色、白色、綠色)	尚美實業股份有限公司
	植草磚 RC(本色、淺黑色、黑色、紅色、黃色、土黃色、米白色、咖啡色、淺咖啡色)	中美水泥製品股份有限公司
	植草磚及分隔塊(本色)	天九興業股份有限公司
	楓葉植草磚(灰色、黑色、紅色、黃色、白色、綠色)	尚美實業股份有限公司
	碎石	花蓮區石材資源化處理股份有限公司
	碎石粒料	尚美實業股份有限公司
	預鑄 LOGO(白色、藍色)	尚美實業股份有限公司
預鑄水溝蓋板(灰色)	尚美實業股份有限公司	
預鑄自行車停車架(灰色、紅色)	尚美實業股份有限公司	

項目	建材產品	廠商
非窯燒類資源化建材	預鑄車阻(灰色)	尚美實業股份有限公司
	預鑄車輪擋(灰色、紅色)	尚美實業股份有限公司
	預鑄車輪擋(本色)	羅德應用材料股份有限公司
	預鑄垃圾桶(灰色、白色、藍色)	尚美實業股份有限公司
	預鑄花台(灰色、白色、紅色)	尚美實業股份有限公司
	預鑄長椅(灰色、黑色)	尚美實業股份有限公司
	預鑄洗手台(灰色)	尚美實業股份有限公司
	預鑄混凝土緣石(本色)	天九興業股份有限公司
	預鑄植栽板(灰色)	尚美實業股份有限公司
	預鑄植草磚(灰色、白色、紅色、黃色、米黃)	尚美實業股份有限公司
	預鑄殘障坡道(灰色、白色、藍色)	尚美實業股份有限公司
	預鑄圓桌椅(灰色、黑色)	尚美實業股份有限公司
	預鑄路緣石(本色)	羅德應用材料股份有限公司
	預鑄路緣石(灰色、黑色、紅色、黃色、米黃、白色、綠色)	尚美實業股份有限公司
	預鑄擋土牆磚(灰色、黃色)	尚美實業股份有限公司
	預鑄樹穴(灰色、白色)	尚美實業股份有限公司
	預鑄藝術圍牆(灰色)	尚美實業股份有限公司
	圖騰組合磚-本色	三惠製材所有限公司
	歐式斬石磚(灰色、黑色、紅色、黃色、白色、綠色)	尚美實業股份有限公司
	緣石 RC(本色、淺黑色、黑色、紅色、黃色、土黃色、米白色、咖啡色、淺咖啡色)	中美水泥製品股份有限公司
	導盲磚(灰色、黃色)	尚美實業股份有限公司
	磨石子地磚(灰色、黑色、紅色、黃色、白色、綠色)	尚美實業股份有限公司
	磨石子地磚(黑、灰、黃、白)(廢玻璃)	旭峰水泥工業股份有限公司
	磨石子隔熱磚(紅色、淺灰色、深灰色、黃色)	晶泰水泥加工廠股份有限公司
	環保人造崗石〈本、白、紅、黃、黑及桔色〉	國力混凝土工業股份有限公司
	環保枕木(深棕色,黑色,本色)	協新豐環境工程有限公司
	環保空心磚(本色、紅色、黑色)	台富水泥製品股份有限公司
	環保氧化渣再生級配粒料	天九興業股份有限公司

項目	建材產品	廠商
非窯燒類資源化建材	環保高壓混凝土地磚	新豐混凝土事業股份有限公司
	環保高壓混凝土地磚(本色、紅色、黃色、黑色及褐色)	羅德應用材料股份有限公司
	環保高壓混凝土地磚〈本色、紅色、黃色、黑色〉	國力混凝土工業股份有限公司
	環保高壓混凝土地磚(本色、紅色、黑色)	台富水泥製品股份有限公司
	環保高壓透水磚(本色、紅色、黑色)	台富水泥製品股份有限公司
	環保透水性混凝土地磚	新豐混凝土事業股份有限公司
	環保圍牆磚(本色、紅色、黑色)	台富水泥製品股份有限公司
	環保植草磚	新豐混凝土事業股份有限公司
	環保植草磚(本、紅、黑色)	聚昱實業股份有限公司
	環保植草磚(本色、紅色、黑色)	台富水泥製品股份有限公司
	環保路緣石(本、紅、黑色)	聚昱實業股份有限公司
	環保預鑄仿木欄杆(咖啡、綠色)	尚美實業股份有限公司
	環保預鑄混凝土緣石	新豐混凝土事業股份有限公司
	環保緣石(本色、紅色、黑色)	台富水泥製品股份有限公司
	環保緣石(深棕色,黃色,黑色,本色)	協新豐環境工程有限公司
	環保複合式隔熱磚	山石地磚工業有限公司
	環保磚 RC(本色、淺黑色、黑色、紅色、黃色、土黃色、米白色、咖啡色、淺咖啡色)	中美水泥製品股份有限公司
	環保磨石子地磚〈本色、紅色、黃色、黑色〉	國力混凝土工業股份有限公司
	鏤空造型牆-本色,黑棕色	三惠製材所有限公司
	纖維水泥板	佳大建材工業股份有限公司
纖維水泥板	大倡國際商務股份有限公司	
纖維水泥板	佳大建材工業股份有限公司	
纖維水泥板	大倡國際商務股份有限公司	
窯燒類資源化建材	施釉陶瓷面磚-乾式成型(Ib 類內裝壁磚)	三洋窯業股份有限公司
	施釉陶瓷面磚-乾式成型(II 類內裝地磚)	三洋窯業股份有限公司
	施釉陶瓷面磚-乾式成型(II 類內裝壁磚)	三洋窯業股份有限公司

項目	建材產品	廠商
窯燒類資源 化建材	施釉陶瓷面磚-乾式成型(I類內裝地磚)(含 Ia、Ib 類)	三洋窯業股份有限公司
	清水磚	大合順磚廠股份有限公司
	陶瓷面磚 (II類 內裝地磚)	金陶窯業股份有限公司
	陶瓷面磚 (Ia類-內裝地磚)	白馬窯業股份有限公司
	陶瓷面磚 (Ia類-內裝地磚)瓷質地磚,瓷質拋光磚	冠軍建材股份有限公司
	陶瓷面磚 (Ia類-內裝壁磚)	精工陶瓷股份有限公司
	陶瓷面磚 (Ia類-內裝壁磚)	白馬窯業股份有限公司
	陶瓷面磚 (Ia類-外裝地磚)	冠軍建材股份有限公司
	陶瓷面磚 (Ia類-外裝地磚)	精工陶瓷股份有限公司
	陶瓷面磚 (Ib類-內裝地磚)	精工陶瓷股份有限公司
	陶瓷面磚 (Ib類-內裝地磚)	白馬窯業股份有限公司
	陶瓷面磚 (Ib類-內裝地磚)	國信窯業股份有限公司
	陶瓷面磚 (Ib類-內裝壁磚)	冠軍建材股份有限公司
	陶瓷面磚 (Ib類-內裝壁磚)	國信窯業股份有限公司
	陶瓷面磚 (Ib類-內裝壁磚)	白馬窯業股份有限公司
	陶瓷面磚 (Ib類-外裝地磚)	國信窯業股份有限公司
	陶瓷面磚 (Ib類-外裝地磚)	福誠股份有限公司
	陶瓷面磚 (Ib類-外裝地磚)	全盛興資源科技股份有限公司
	陶瓷面磚 (Ib類-外裝地磚)	大同磁器股份有限公司
	陶瓷面磚 (Ib類-外裝地磚)	白馬窯業股份有限公司
	陶瓷面磚 (Ib類-外裝壁磚)	福誠股份有限公司
	陶瓷面磚 (Ib類-外裝壁磚)	全盛興資源科技股份有限公司
	陶瓷面磚 (Ib類-外裝壁磚)	大同磁器股份有限公司
	陶瓷面磚 (Ib類-外裝壁磚)	白馬窯業股份有限公司
	陶瓷面磚 (II類-內裝地磚)	冠軍建材股份有限公司
	陶瓷面磚 (II類-內裝地磚)	弘松窯業股份有限公司
	陶瓷面磚 (II類-內裝地磚)	白馬窯業股份有限公司
	陶瓷面磚 (II類-內裝壁磚)	弘松窯業股份有限公司
	陶瓷面磚 (II類-內裝壁磚)	優加力實業有限公司
	陶瓷面磚 (II類-內裝壁磚)	白馬窯業股份有限公司
陶瓷面磚 (II類外裝壁磚)	華泰窯業股份有限公司	
陶瓷面磚 (II類-外裝壁磚)	白馬窯業股份有限公司	

項目	建材產品	廠商
窯燒類資源 化建材	陶瓷面磚 (III類-內裝壁磚)	冠軍建材股份有限公司
	陶瓷面磚 (III類-內裝壁磚)	弘松窯業股份有限公司
	陶瓷面磚 (III類-內裝壁磚)	宏洲窯業股份有限公司
	陶瓷面磚 (III類-內裝壁磚)	白馬窯業股份有限公司
	陶瓷面磚 (Ib類) 外裝地磚	立唐陶藝有限公司
	陶瓷面磚 (Ib類-內裝地磚)	弘松窯業股份有限公司
	陶瓷面磚 (Ib類-內裝地磚)	源生陶瓷股份有限公司
	陶瓷面磚 (Ib類-內裝地磚)	宏洲窯業股份有限公司
	陶瓷面磚 (Ib類-內裝地磚)	裕邦窯業股份有限公司
	陶瓷面磚 (Ib類-內裝地磚)	國聯窯業股份有限公司
	陶瓷面磚 (Ib類-內裝地磚)	統帥窯業股份有限公司
	陶瓷面磚 (Ib類-內裝地磚)	協裕窯業股份有限公司
	陶瓷面磚 (Ib類-內裝壁磚)	弘松窯業股份有限公司
	陶瓷面磚 (Ib類-內裝壁磚)	源生陶瓷股份有限公司
	陶瓷面磚 (Ib類-內裝壁磚)	宏洲窯業股份有限公司
	陶瓷面磚 (Ib類-內裝壁磚)	國聯窯業股份有限公司
	陶瓷面磚 (Ib類-內裝壁磚)	統帥窯業股份有限公司
	陶瓷面磚 (Ib類-內裝壁磚)	協裕窯業股份有限公司
	陶瓷面磚 (Ib類-外裝地磚)	源生陶瓷股份有限公司
	陶瓷面磚 (Ib類-外裝地磚)	宏洲窯業股份有限公司
	陶瓷面磚 (Ib類-外裝地磚)	佳達陶瓷股份有限公司
	陶瓷面磚 (Ib類-外裝地磚)	國聯窯業股份有限公司
	陶瓷面磚 (Ib類-外裝地磚)	協裕窯業股份有限公司
	陶瓷面磚 (Ib類-外裝地磚)	弘松窯業股份有限公司
	陶瓷面磚 (Ib類-外裝壁磚)	冠軍建材股份有限公司
	陶瓷面磚 (Ib類-外裝壁磚)	三洋窯業股份有限公司
	陶瓷面磚 (Ib類-外裝壁磚)	佳達陶瓷股份有限公司
	陶瓷面磚 (Ib類-外裝壁磚)	國聯窯業股份有限公司
	陶瓷面磚 (Ib類-外裝壁磚)	新藝陶瓷有限公司
	陶瓷面磚 (II類-外裝壁磚)	福誠股份有限公司
	陶瓷面磚 (III類-內裝壁磚)	三洋窯業股份有限公司
	陶瓷面磚 (II類-外裝壁磚)	三洋窯業股份有限公司
	陶瓷面磚 (II類-內裝地磚)	協裕窯業股份有限公司
陶瓷面磚 (II類-內裝壁磚)	協裕窯業股份有限公司	
陶瓷面磚 (II類-外裝地磚)	協裕窯業股份有限公司	
陶瓷面磚 (II類-外裝壁磚)	冠軍建材股份有限公司	

項目	建材產品	廠商
窯燒類資源 化建材	陶瓷面磚 (II類-外裝壁磚)	裕邦窯業股份有限公司
	陶瓷面磚 (II類-外裝壁磚)	協裕窯業股份有限公司
	陶瓷面磚 (I類-外裝地磚)	三洋窯業股份有限公司
	陶瓷面磚 (內裝馬賽克壁磚)	優加力實業有限公司
	陶瓷面磚 (馬賽克面磚)	新藝陶瓷有限公司
	陶瓷面磚 (馬賽克面磚-內/外裝地/壁磚均適用)	立唐陶藝有限公司
	陶瓷面磚 (Ib類-內裝地磚)	福誠股份有限公司
	陶瓷面磚 (Ib類-內裝壁磚)	福誠股份有限公司
	陶瓷面磚 (II類-內裝地磚)	福誠股份有限公司
	陶瓷面磚Ib類內裝地磚	昇元窯業股份有限公司
	陶瓷面磚Ib類內裝壁磚	昇元窯業股份有限公司
	陶瓷面磚-Ib類-內裝壁磚	晉大陶瓷股份有限公司
	陶瓷面磚Ib類外裝地磚	昇元窯業股份有限公司
	陶瓷面磚-Ib類-外裝壁磚	晉大陶瓷股份有限公司
	陶瓷面磚I類內裝地磚	昇元窯業股份有限公司
	陶瓷面磚I類外裝壁磚	昇元窯業股份有限公司
	陶瓷面磚-II類-內裝壁磚	晉大陶瓷股份有限公司
	陶瓷面磚II類外裝壁磚	昇元窯業股份有限公司
	陶瓷面磚-II類-外裝壁磚	晉大陶瓷股份有限公司
	陶瓷面磚III類內裝壁磚	昇元窯業股份有限公司
	陶瓷面磚 Ib類內裝地磚	昌達陶瓷股份有限公司
	陶瓷面磚-Ib類內裝地磚	永晟實業股份有限公司
	陶瓷面磚-Ib類內裝地磚	永鈺窯業股份有限公司
	陶瓷面磚 Ib類內裝壁磚	昌達陶瓷股份有限公司
	陶瓷面磚-Ib類內裝壁磚	永晟實業股份有限公司
	陶瓷面磚-Ib類內裝壁磚	永鈺窯業股份有限公司
	陶瓷面磚 Ib類外裝地磚	昌達陶瓷股份有限公司
	陶瓷面磚-Ib類外裝地磚	永晟實業股份有限公司
	陶瓷面磚-Ib類外裝地磚	永鈺窯業股份有限公司
	陶瓷面磚-Ib類外裝馬賽克壁磚	永鈺窯業股份有限公司
	陶瓷面磚-Ib類外裝壁磚	永晟實業股份有限公司
	陶瓷面磚-Ib類外裝壁磚	永鈺窯業股份有限公司
陶瓷面磚-II類內裝地磚	永晟實業股份有限公司	
陶瓷面磚-II類內裝壁磚	永晟實業股份有限公司	
陶瓷面磚-II類外裝地磚	永晟實業股份有限公司	

項目	建材產品	廠商
窯燒類資源 化建材	陶瓷面磚-II類外裝壁磚	永晟實業股份有限公司
	陶瓷面磚-內裝馬賽克壁磚	晉大陶瓷股份有限公司
	陶瓷面磚-內裝馬賽克壁磚	元泰窯業股份有限公司
	陶瓷面磚-外裝馬賽克壁磚	永晟實業股份有限公司
	陶瓷面磚-外裝馬賽克壁磚	晉大陶瓷股份有限公司
	陶瓷面磚-外裝馬賽克壁磚	元泰窯業股份有限公司
	陶磚	大合順磚廠股份有限公司
	無釉陶瓷面磚 I b 類 外裝壁磚	六志工業股份有限公司
	輕質隔戶磚	立昌窯業股份有限公司
	輕質隔間磚	大勝磚廠股份有限公司

資料來源：111年6月本研究自行彙整於環保署全民綠生活平台-環保標章

附錄四 案例試算資訊表

● 案例一：

循環度 T(30%) 試算資料：

評估項目		工程用量	單位	具再生建 材用量 (V)(30%)	價格(P)	循環度 T(%)	P/TC	T*(P/TC)	TBCI占 比(%)		
結構	1.1.3結構體工程	01一般要求	五金零件	95,231	式	0.00	786,462	0%	0.030	0.000	4%
		03混凝土	鋼筋	741	T	0.00	5,554,848	0%	0.211	0.000	
			柱鋼筋續接器	3,484	組	0.00	174,388	0%	0.007	0.000	
			建築用混凝土	3,603	M3	1080.9	3,112,999	30%	0.118	0.036	
		06木作及塑膠	模板料	16,573	M2	0.00	1,780,767	0%	0.068	0.000	
其他材料:保麗龍、鐵絲、部分木料			無	0.00	573,740	0%	0.022	0.000			
裝修	1.1.4裝修工程	01一般要求	五金零件	77,386	式	0.00	362,895	0%	0.014	0.000	3%
		02現場工作	瀝青	127	M2	38.10	19,454	30%	0.001	0.000	
		03混凝土	卜特蘭水泥	4,924	M2	1477.20	48,042	30%	0.002	0.001	
		04污工	水泥粉光	13,106	M2	3932	366,529	30%	0.014	0.004	
		05金屬	金屬製品，骨架	1,798	M2	0.00	141,305	0%	0.005	0.000	
		06木作及塑膠	黏著劑	22	式	0.00	3,162	0%	0.000	0.000	
		07隔熱及防潮	隔熱層	1,043	M2	0.00	81,763	0%	0.003	0.000	
		09裝修	油漆	2,503	M	0.00	19,592	0%	0.001	0.000	
			貼面磚	7,053	M2	2116	1,590,215	30%	0.061	0.018	
		10特殊設施	天花板	5,119	M2	1536	527,200	30%	0.020	0.006	
	輕質隔間牆板		899	M2	270	281,634	30%	0.011	0.003		
	石膏磚		296	M2	0.00	220,314	0%	0.008	0.000		
	其他材料:門檻、水泥、金屬製品、黏著劑、防潮塗料...			無	0.00	2,735,475	0%	0.104	0.000		
	1.1.6門窗工程	01一般要求	五金零件	95,231	式	0.00	786,462	0%	0.030	0.000	
		08門窗	玻璃	4,473	才	0.00	135,365	0%	0.005	0.000	
			木門	75	樘	0.00	378,425	0%	0.014	0.000	
			鐵捲門	63	樘	0.00	455,384	0%	0.017	0.000	
			鋼窗	2	樘	0.00	4,724	0%	0.000	0.000	
			鋁窗	74	樘	0.00	68,440	0%	0.003	0.000	
		塑鋼窗	206	樘	0.00	642,295	0%	0.024	0.000		
其他材料:門五金、框牆嵌縫及塞水路、台電防火橫拉門...			無	0.00	400,891	0%	0.015	0.000			
1.1.7金屬及櫥櫃工程		01一般要求	五金零件	95,235	式	0.00	804,690	0%	0.031	0.000	
		03混凝土	RC基座本體	4	座	0.00	2,043	0%	0.000	0.000	
	05金屬	金屬製品	10	座	0.00	11,787	0%	0.000	0.000		
	08門窗	防水開門	2	座	0.00	51,327	0%	0.002	0.000		
其他材料:預埋基礎螺栓、伸縮柵門軌道、扶手及欄杆...			無	0.00	401,851	0%	0.015	0.000			
景觀工程 (不含植栽)	1.1.9戶外景觀 與設施工程	01一般要求	五金零件	99,102	式	0.00	830,645	0%	0.032	0.000	1%
		02現場工作	高壓混凝土磚	245	M2	73.50	86,621	30%	0.003	0.001	
			級配粒料	1,285	M3	385.50	86,621	30%	0.003	0.001	
			碎石級配	74	M3	22.05	6,602	30%	0.000	0.000	
			瀝青混凝土	1,285	M2	385.50	454,319	30%	0.017	0.005	
	03混凝土	擋土牆結構	140	M	0.00	891,015	0%	0.034	0.000		
	04污工	水泥砂漿	1,059	M2	0.00	24,988	0%	0.001	0.000		
	06木作及塑膠	木料	9	組	0.00	2,829	0%	0.000	0.000		
	08門窗	鋼門扇	5	樘	0.00	18,332	0%	0.001	0.000		
	09裝修	抵石子料	3	式	0.00	10,961	0%	0.000	0.000		
其他材料:伸縮柵門收納區及軌道基座、水泥沙漿、填縫劑...			無	0.00	1,345,336	0%	0.051	0.000			
整體建築材料循環度 TBCI(%)		8%									
整體建築材料預算額 TC(台幣)		26,282,733.86									

● 案例一：

循環度 T(50%) 試算資料：

評估項目			工程用量	單位	具再生建材用量 (V)(50%)	價格(P)	循環度 T(%)	P/TC	T*(P/TC)	TBCI占 比 (%)		
結構	1.1.3結構體工程	01一般要求	五金零件	95,231	式	0.00	786,462	0%	0.030	0.000	6%	
		03混凝土	鋼筋	741	T	0.00	5,554,848	0%	0.211	0.000		
			柱鋼筋續接器	3,484	組	0.00	174,388	0%	0.007	0.000		
			建築用混凝土	3,603	M3	1801.5	3,112,999	50%	0.118	0.059		
			06木作及塑膠	模板料	16,573	M2	0.00	1,780,767	0%	0.068		0.000
		其他材料:保麗龍、鐵絲、部分木料				無	0.00	573,740	0%	0.022		0.000
裝修	1.1.4裝修工程	01一般要求	五金零件	77,386	式	0.00	362,895	0%	0.014	0.000	7%	
		02現場工作	瀝青	127	M2	63.50	19,454	50%	0.001	0.000		
		03混凝土	卜特蘭水泥	4,924	M2	2462.00	48,042	50%	0.002	0.001		
		04污工	水泥粉光	13,106	M2	6553	366,529	50%	0.014	0.007		
		05金屬	金屬製品, 骨架	1,798	M2	0.00	141,305	0%	0.005	0.000		
		06木作及塑膠	黏著劑	22	式	0.00	3,162	0%	0.000	0.000		
		07隔熱及防潮	隔熱層	1,043	M2	0.00	81,763	0%	0.003	0.000		
		09裝修	油漆	2,503	M	0.00	19,592	0%	0.001	0.000		
			貼面磚	7,053	M2	3527	1,590,215	50%	0.061	0.030		
			天花板	5,119	M2	2560	527,200	50%	0.020	0.010		
		10特殊設施	輕質隔間牆板	899	M2	450	281,634	50%	0.011	0.005		
			石膏磚	296	M2	449.50	220,314	152%	0.008	0.013		
		其他材料:門檻、水泥、金屬製品、黏著劑、防潮塗料...				無	0.00	2,735,475	0%	0.104		0.000
		1.1.6門窗工程	01一般要求	五金零件	95,231	式	0.00	786,462	0%	0.030		0.000
	08門窗		玻璃	4,473	才	0.00	135,365	0%	0.005	0.000		
			木門	75	樘	0.00	378,425	0%	0.014	0.000		
			鐵捲門	63	樘	0.00	455,384	0%	0.017	0.000		
			鋼窗	2	樘	0.00	4,724	0%	0.000	0.000		
			鋁窗	74	樘	0.00	68,440	0%	0.003	0.000		
			塑鋼窗	206	樘	0.00	642,295	0%	0.024	0.000		
	其他材料:門五金、框牆嵌縫及塞水路、台電防火橫拉門...				無	0.00	400,891	0%	0.015	0.000		
	1.1.7金屬及櫥櫃工程		01一般要求	五金零件	95,235	式	0.00	804,690	0%	0.031	0.000	
			03混凝土	RC基座本體	4	座	0.00	2,043	0%	0.000	0.000	
			05金屬	金屬製品	10	座	0.00	11,787	0%	0.000	0.000	
08門窗			防水閘門	2	座	0.00	51,327	0%	0.002	0.000		
其他材料:預埋基礎螺栓、伸縮柵門軌道、扶手及欄杆...				無	0.00	401,851	0%	0.015	0.000			
景觀工程 (不含植栽)	1.1.9戶外景觀 與設施工程		01一般要求	五金零件	99,102	式	0.00	830,645	0%	0.032	0.000	1%
		02現場工作	高壓混凝土磚	245	M2	122.50	86,621	50%	0.003	0.002		
			級配粒料	1,285	M3	642.50	86,621	50%	0.003	0.002		
			碎石級配	74	M3	642.50	6,602	874%	0.000	0.002		
			瀝青混凝土	1,285	M2	122.50	454,319	10%	0.017	0.002		
		03混凝土	擋土牆結構	140	M	0.00	891,015	0%	0.034	0.000		
		04污工	水泥砂漿	1,059	M2	0.00	24,988	0%	0.001	0.000		
		06木作及塑膠	木料	9	組	0.00	2,829	0%	0.000	0.000		
		08門窗	鋼門扇	5	樘	0.00	18,332	0%	0.001	0.000		
		09裝修	抵石子料	3	式	0.00	10,961	0%	0.000	0.000		
		其他材料:伸縮柵門收納區及軌道基座、水泥沙漿、填縫劑				無	0.00	1,345,336	0%	0.051	0.000	
整體建築材料循環度 TBCI(%)		13%										
整體建築材料預算額 TC(台幣)		26,282,734										

● 案例一：

循環度 T(100%) 試算資料：

評估項目				工程用量	單位	具再生建材用量 (V)(100%)	價格(P)	循環度 T(%)	P/TC	T*(P/TC)	TBCI占 比(%)	
結構	1.1.3結構體工程	01一般要求	五金零件	95,231	式	-	786,462	0%	0.030	0.000	11.8%	
		03混凝土	鋼筋	741	T	-	5,554,848	0%	0.211	0.000		
			柱鋼筋續接器	3,484	組	-	174,388	0%	0.007	0.000		
			建築用混凝土	3,603	M3	3,603	3,112,999	100%	0.118	0.118		
		06木作及塑膠	模板料	16,573	M2	-	1,780,767	0%	0.068	0.000		
		其他材料:保麗龍、鐵絲、部分木料				無	-	573,740	0%	0.022		0.000
裝修	1.1.4裝修工程	01一般要求	五金零件	77,386	式	-	362,895	0%	0.014	0.000	11%	
		02現場工作	瀝青	127	M2	127	19,454	100%	0.001	0.001		
		03混凝土	卜特蘭水泥	4,924	M2	4,924	48,042	100%	0.002	0.002		
		04污工	水泥粉光	13,106	M2	13,106	366,529	100%	0.014	0.014		
		05金屬	金屬製品, 骨架	1,798	M2	-	141,305	0%	0.005	0.000		
		06木作及塑膠	黏著劑	22	式	-	3,162	0%	0.000	0.000		
		07隔熱及防潮	隔熱層	1,043	M2	-	81,763	0%	0.003	0.000		
			油漆	油漆	2,503	M	-	19,592	0%	0.001		0.000
				貼面磚	7,053	M2	7,053	1,590,215	100%	0.061		0.061
		09裝修	天花板	5,119	M2	5,119	527,200	100%	0.020	0.020		
			10特殊設施	輕質隔間牆板	899	M2	899	281,634	100%	0.011		0.011
		石膏磚		296	M2	-	220,314	0%	0.008	0.000		
	其他材料:門檻、水泥、金屬製品、黏著劑、防潮塗料...				無	-	2,735,475	0%	0.104	0.000		
	1.1.6門窗工程	01一般要求	五金零件	95,231	式	-	786,462	0%	0.030	0.000	0%	
		08門窗	玻璃	4,473	才	-	135,365	0%	0.005	0.000		
			木門	75	樘	-	378,425	0%	0.014	0.000		
			鐵捲門	63	樘	-	455,384	0%	0.017	0.000		
			鋼窗	2	樘	-	4,724	0%	0.000	0.000		
			鋁窗	74	樘	-	68,440	0%	0.003	0.000		
			塑鋼窗	206	樘	-	642,295	0%	0.024	0.000		
		其他材料:門五金、框牆嵌縫及塞水路、台電防火橫拉門...				無	-	400,891	0%	0.015		0.000
		1.1.7金屬及櫥櫃工程	01一般要求	五金零件	95,235	式	-	804,690	0%	0.031		0.000
			03混凝土	RC基座本體	4	座	-	2,043	0%	0.000		0.000
			05金屬	金屬製品	10	座	-	11,787	0%	0.000		0.000
08門窗			防水閘門	2	座	-	51,327	0%	0.002	0.000		
其他材料:預埋基礎螺栓、伸縮柵門軌道、扶手及欄杆...				無	-	401,851	0%	0.015	0.000			
敷地景觀 (不含植栽)	1.1.9戶外景觀 與設施工程	01一般要求	五金零件	99,102	式	-	830,645	0%	0.032	0.000	2%	
		02現場工作	高壓混凝土磚	245	M2	245	86,621	100%	0.003	0.003		
			級配粒料	1,285	M3	1,285	86,621	100%	0.003	0.003		
			碎石級配	74	M3	74	6,602	100%	0.000	0.000		
			瀝青混凝土	1,285	M2	1,285	454,319	100%	0.017	0.017		
		03混凝土	擋土牆結構	140	M	-	891,015	0%	0.034	0.000		
		04污工	水泥砂漿	1,059	M2	-	24,988	0%	0.001	0.000		
		06木作及塑膠	木料	9	組	-	2,829	0%	0.000	0.000		
		08門窗	鋼門扇	5	樘	-	18,332	0%	0.001	0.000		
		09裝修	抵石子料	3	式	-	10,961	0%	0.000	0.000		
		其他材料:伸縮柵門收納區及軌道基座、水泥沙漿、填縫劑				無	-	1,345,336	0%	0.051		0.000
整體建築材料循環度 TBCI(%)		24.8%										
整體建築材料預算額 TC(台幣)		26,282,734										

● 案例二：

循環度 T(30%) 試算資料：

評估項目				工程用量	單位	具再生建材 用量 (V)(30%)	價格(P)	循環度 T(%)	P/TC	T*(P/TC)	TBCI占 比(%)
結構	1.1.3結構體工程	01一般要求	五金零件	161,303	式	0	367,930	0%	0.013	0.000	3.74%
		03混凝土	鋼筋	921	T	0	5,729,645	0%	0.204	0.000	
			柱鋼筋續接器	4,124	組	0	231,160	0%	0.008	0.000	
			建築用混凝土	4,144	M3	1,243	3,503,030	30%	0.125	0.037	
		06木作及塑膠	模板料	19,470	M2	0	2,136,338	0%	0.076	0.000	
		其他材料:五金另料、固定鐵件、防護網及帆布...			無	0	59,878	0%	0.002	0.000	
裝修	1.1.4裝修工程	01一般要求	零星工料	166,064	式	0	376,608	0%	0.013	0.000	4.48%
		02現場工作	瀝青混凝土	100	M2	30	15,599	30%	0.001	0.000	
		03混凝土	卜特蘭水泥	1,723	M2	517	10,338	30%	0.000	0.000	
		04污工	水泥砂漿材	13,483	M2	4,045	389,474	30%	0.014	0.004	
		05金屬	金屬製品, 骨架	5,079	M2	0	540,545	0%	0.019	0.000	
		06木作及塑膠	鐵件	5,079	M2	0	73,512	0%	0.003	0.000	
			黏著劑	7,770	M2	0	118,290	0%	0.004	0.000	
		07隔熱及防潮	防潮塗佈	649	M2	0	93,451	0%	0.003	0.000	
		08門窗	明鏡	130	才	0	3,900	0%	0.000	0.000	
		09裝修	油漆	13,801	M2	0	686,475	0%	0.024	0.000	
			貼面磚	7,770	M2	2,331	2,143,559	30%	0.076	0.023	
		天花板	3,642	M2	1,093	882,442	30%	0.031	0.009		
	10特殊設施	輕質隔間牆	2,221	M2	666	752,383	30%	0.027	0.008		
	其他材料:五金零件、模板、環氧樹脂...			無	0	3,323,984	0%	0.118	0.000		
	1.1.6門窗工程	01一般要求	五金零件	161,303	式	0	367,930	0%	0.013	0.000	0%
		08門窗	玻璃	4,354	才	0	137,921	0%	0.005	0.000	
鐵捲門			50	樘	0	270,036	0%	0.010	0.000		
鋼窗			2	樘	0	4,810	0%	0.000	0.000		
防火鋼門			33	樘	0	190,831	0%	0.007	0.000		
塑鋼窗			133	樘	0	111,904	0%	0.004	0.000		
其他材料:門五金、框牆嵌縫及塞水路、木門...			無	0	2,707,115	0%	0.096	0.000			
1.1.7金屬及櫥櫃工程		01一般要求	五金零件	161,303	式	0	367,930	0%	0.013	0.000	
		05金屬	金屬格柵	4	座	0	53,598	0%	0.002	0.000	
		其他材料:鐵件、扶手欄杆			無	0	931,383	0%	0.033	0.000	
景觀工程 (不含植栽)		1.1.9戶外景觀 與設施工程	01一般要求	五金零件	8	式	0	321	0%	0.000	
	02現場工作		高壓混凝土磚	447	M2	134	160,913	30%	0.006	0.002	
	03混凝土		RC排水溝	39	M	0	29,405	0%	0.001	0.000	
	04污工		水泥砂漿	3	式	0	29,405	0%	0.001	0.000	
	05金屬		鋁製收邊板	139	式	0	834	0%	0.000	0.000	
	06木作及塑膠		木料	22	組	0	7,040	0%	0.000	0.000	
	09裝修		碎石級配基層	8	M	2	2,560	30%	0.000	0.000	
			振石子料	3	式	0	27,899	0%	0.001	0.000	
	其他材料:預鑄洗石子溝蓋本體、水泥砂漿、填縫劑...			無	0	1,223,787	0%	0.044	0.000		
整體建築材料循環度TBCI(%)				8.4%							
整體建築材料預算額TC(台幣)				28,064,161							

● 案例二：

循環度 T(50%)試算資料：

評估項目				工程用量	單位	具再生建材 用量 (V)(50%)	價格(P)	循環度 T(%)	P/TC	T*(P/TC)	TBCI占 比(%)
結構	1.1.3結構體工程	01一般要求	五金零件	161,303	式	0	367,930	0%	0.013	0.000	6.24%
		03混凝土	鋼筋	921	T	0	5,729,645	0%	0.204	0.000	
			柱鋼筋續接器	4,124	組	0	231,160	0%	0.008	0.000	
			建築用混凝土	4,144	M3	2,072	3,503,030	50%	0.125	0.062	
		06木作及塑膠	模板料	19,470	M2	0	2,136,338	0%	0.076	0.000	
		其他材料:五金另料、固定鐵件、防護網及帆布...			無	0	59,878	0%	0.002	0.000	
裝修	1.1.4裝修工程	01一般要求	零星工料	166,064	式	0	376,608	0%	0.013	0.000	7.47%
		02現場工作	瀝青混凝土	100	M2	50	15,599	50%	0.001	0.000	
		03混凝土	卜特蘭水泥	1,723	M2	862	10,338	50%	0.000	0.000	
		04污工	水泥砂漿材	13,483	M2	6,742	389,474	50%	0.014	0.007	
		05金屬	金屬製品，骨架	5,079	M2	0	540,545	0%	0.019	0.000	
		06木作及塑膠	鐵件	5,079	M2	0	73,512	0%	0.003	0.000	
			黏著劑	7,770	M2	0	118,290	0%	0.004	0.000	
		07隔熱及防潮	防潮塗佈	649	M2	0	93,451	0%	0.003	0.000	
		08門窗	明鏡	130	才	0	3,900	0%	0.000	0.000	
		09裝修	油漆	13,801	M2	0	686,475	0%	0.024	0.000	
			貼面磚	7,770	M2	3,885	2,143,559	50%	0.076	0.038	
			天花板	3,642	M2	1,821	882,442	50%	0.031	0.016	
		10特殊設施	輕質隔間牆	2,221	M2	1,111	752,383	50%	0.027	0.013	
		其他材料:五金零件、模板、環氧樹脂...			無	0	3,323,984	0%	0.118	0.000	
		裝修	1.1.6門窗工程	01一般要求	五金零件	161,303	式	0	367,930	0%	
08門窗	玻璃			4,354	才	0	137,921	0%	0.005	0.000	
	鐵捲門			50	樘	0	270,036	0%	0.010	0.000	
	鋼窗			2	樘	0	4,810	0%	0.000	0.000	
	防火鋼門			33	樘	0	190,831	0%	0.007	0.000	
	塑鋼窗			133	樘	0	111,904	0%	0.004	0.000	
其他材料:門五金、框牆嵌縫及塞水路、木門...			無	0	2,707,115	0%	0.096	0.000			
1.1.7金屬及櫥櫃工程	01一般要求		五金零件	161,303	式	0	367,930	0%	0.013	0.000	
	05金屬		金屬格柵	4	座	0	53,598	0%	0.002	0.000	
	其他材料:鐵件、扶手欄杆			無	0	931,383	0%	0.033	0.000		
景觀工程 (不含植栽)	1.1.9戶外景觀 與設施工程		01一般要求	五金零件	8	式	0	321	0%	0.000	0.000
		02現場工作	高壓混凝土磚	447	M2	224	160,913	50%	0.006	0.003	
		03混凝土	RC排水溝	39	M	0	29,405	0%	0.001	0.000	
		04污工	水泥砂漿	3	式	0	29,405	0%	0.001	0.000	
		05金屬	鋁製收邊板	139	式	0	834	0%	0.000	0.000	
		06木作及塑膠	木料	22	組	0	7,040	0%	0.000	0.000	
		09裝修	碎石級配基層	8	M	4	2,560	50%	0.000	0.000	
			抵石子料	3	式	0	27,899	0%	0.001	0.000	
		其他材料:預鑄洗石子溝蓋本體、水泥砂漿、填縫劑...			無	0	1,223,787	0%	0.044	0.000	
整體建築材料循環度TBCI(%)		14%									
整體建築材料預算額TC(台幣)		28,064,161									

● 案例二：

循環度 T(100%)試算資料：

評估項目				工程用量	單位	具再生建材 用量 (V)(100%)	價格(P)	循環度 T(%)	P/TC	T*(P/TC)	TBCI占 比(%)
結構	1.1.3結構體工程	01一般要求	五金零件	161,303	式	0	367,930	0%	0.013	0.000	12.48%
			鋼筋	921	T	0	5,729,645	0%	0.204	0.000	
		03混凝土	柱鋼筋續接器	4,124	組	0	231,160	0%	0.008	0.000	
			建築用混凝土	4,144	M3	4,144	3,503,030	100%	0.125	0.125	
		06木作及塑膠	模板料	19,470	M2	0	2,136,338	0%	0.076	0.000	
		其他材料:五金另料、固定鐵件、防護網及帆布...			無	0	59,878	0%	0.002	0.000	
裝修	1.1.4裝修工程	01一般要求	零星工料	166,064	式	0	376,608	0%	0.013	0.000	14.94%
		02現場工作	瀝青混凝土	100	M2	100	15,599	100%	0.001	0.001	
		03混凝土	卜特蘭水泥	1,723	M2	1,723	10,338	100%	0.000	0.000	
		04污工	水泥砂漿材	13,483	M2	13,483	389,474	100%	0.014	0.014	
		05金屬	金屬製品，骨架	5,079	M2	0	540,545	0%	0.019	0.000	
		06木作及塑膠	鐵件	5,079	M2	0	73,512	0%	0.003	0.000	
			黏著劑	7,770	M2	0	118,290	0%	0.004	0.000	
		07隔熱及防潮	防潮塗佈	649	M2	0	93,451	0%	0.003	0.000	
		08門窗	明鏡	130	才	0	3,900	0%	0.000	0.000	
			油漆	13,801	M2	0	686,475	0%	0.024	0.000	
	09裝修	貼面磚	7,770	M2	7,770	2,143,559	100%	0.076	0.076		
		天花板	3,642	M2	3,642	882,442	100%	0.031	0.031		
	10特殊設施	輕質隔間牆	2,221	M2	2,221	752,383	100%	0.027	0.027		
		其他材料:五金零件、模板、環氧樹脂...			無	0	3,323,984	0%	0.118	0.000	
	1.1.6門窗工程	01一般要求	五金零件	161,303	式	0	367,930	0%	0.013	0.000	0%
		玻璃	4,354	才	0	137,921	0%	0.005	0.000		
08門窗		鐵捲門	50	樘	0	270,036	0%	0.010	0.000		
		鋼窗	2	樘	0	4,810	0%	0.000	0.000		
		防火鋼門	33	樘	0	190,831	0%	0.007	0.000		
		塑鋼窗	133	樘	0	111,904	0%	0.004	0.000		
其他材料:門五金、框牆嵌縫及塞水路、木門...			無	0	2,707,115	0%	0.096	0.000			
1.1.7金屬及櫥櫃工程		01一般要求	五金零件	161,303	式	0	367,930	0%	0.013	0.000	
		05金屬	金屬格柵	4	座	0	53,598	0%	0.002	0.000	
		其他材料:鐵件、扶手欄杆			無	0	931,383	0%	0.033	0.000	
景觀工程 (不含植栽)	1.1.9戶外景觀 與設施工程	01一般要求	五金零件	8	式	0	321	0%	0.000	0.000	1%
		02現場工作	高壓混凝土磚	447	M2	447	160,913	100%	0.006	0.006	
		03混凝土	RC排水溝	39	M	0	29,405	0%	0.001	0.000	
		04污工	水泥砂漿	3	式	0	29,405	0%	0.001	0.000	
		05金屬	鋁製收邊板	139	式	0	834	0%	0.000		
		06木作及塑膠	木料	22	組	0	7,040	0%	0.000	0.000	
		09裝修	碎石級配基層	8	M	8	2,560	100%	0.000		
			振石子料	3	式	0	27,899	0%	0.001	0.000	
其他材料:預鑄洗石子溝蓋本體、水泥沙漿、填縫劑...			無	0	1,223,787	0%	0.044	0.000			
整體建築材料循環度TBCI(%)		28%									
整體建築材料預算額TC(台幣)		28,064,161									

● 案例三：

循環度 T(30%) 試算資料：

評估項目		工程用量	單位	具再生建材用量 (V)(30%)	價格(P)	循環度 T(%)	P/TC	T*(P/TC)	TBCI占比 (%)	
結構	1.3結構體工程	普通模板夾板	105,102	m ²	0	54,078,450	0%	0.128	0.000	3.69%
		鋼筋	3,751	噸	0	89,797,000	0%	0.213	0.000	
		鋼筋接續器	14,063	組	0	1,631,320	0%	0.004	0.000	
		混凝土	19,868	M3	5,960	51,774,850	30%	0.123	0.037	
		防護網、填縫混凝土…		m ²	0	8,717,480	0%	0.021	0.000	
裝修	1.4外部裝修工程	刷石子	4,335	m ²	0	5,202,000	0%	0.012	0.000	3.00%
		丁掛磚	15,918	m ²	0	21,489,300	0%	0.051	0.000	
		石材	4,610	m ²	0	25,355,000	0%	0.060	0.000	
		外牆1:2防水水泥 砂漿粉光	47,078	m ²	0	19,419,600	0%	0.046	0.000	
		金屬包版		m ²	0	7,644,000	0%	0.018	0.000	
		乾式輕隔間	11,256	m ²	3,377	12,381,600	30%	0.029	0.009	
	1.5內部裝修工程	矽酸鈣板天花板	3,660	m ²	1,098	6,093,540	30%	0.014	0.004	
		面磚	4,857	m ²	1,457	23,668,800	30%	0.056	0.017	
		水泥砂漿粉刷、粉光、水泥漆…		無	0	38,098,150	0%	0.090	0.000	
	1.8防水隔熱工程	防水材	10,109	m ²	0	3,825,091	0%	0.009	0.000	
		隔熱材	1,127	m ²	0	2,253,600	0%	0.005	0.000	
		結構體EPOXY補強止漏、截水溝		無	0	2,078,606	0%	0.005	0.000	
	1.6門窗工程	百葉窗	27	樘	0	196,780	0%	0.000	0.000	
		上推窗	200	樘	0	2,394,380	0%	0.006	0.000	
		單推窗	162	樘	0	3,918,480	0%	0.009	0.000	
		排煙室門	29	樘	0	1,005,000	0%	0.002	0.000	
		玻璃門、公設門、防水閘門…		無	0	26,881,050	0%	0.064	0.000	
	1.9鐵作及雜項工程	裝飾格柵	1,164	m ²	0	7,575,100	0%	0.018	0.000	
		欄杆、扶手	1,981	m	0	4,225,340	0%	0.010	0.000	
		雨遮、人孔蓋、不銹鋼爬梯…		無	0	1,687,700	0%	0.004	0.000	
	景觀工程 (不含植栽)	1.12戶外景觀與設施 工程	無		無	0	-	0%	0.000	
無				無	0	-	0%	0.000	0.000	
整體建築材料循環度TBCI(%)		7%								
整體建築材料預算額TC(台幣)		421,392,216								

● 案例三：

循環度 T(50%) 試算資料：

評估項目		工程用量	單位	具再生建材用量 (V)(30%)	價格(P)	循環度 T(%)	P/TC	T*(P/TC)	TBCI占比 (%)	
結構	1.3結構體工程	普通模板夾板	105,102	m ²	0	54,078,450	0%	0.128	0.000	6%
		鋼筋	3,751	噸	0	89,797,000	0%	0.213	0.000	
		鋼筋接續器	14,063	組	0	1,631,320	0%	0.004	0.000	
		混凝土	19,868	M3	9,934	51,774,850	50%	0.123	0.061	
		防護網、填縫混凝土…		m ²	0	8,717,480	0%	0.021	0.000	
裝修	1.4外部裝修工程	刷石子	4,335	m ²	0	5,202,000	0%	0.012	0.000	2%
		丁掛磚	15,918	m ²	0	21,489,300	0%	0.051	0.000	
		石材	4,610	m ²	0	25,355,000	0%	0.060	0.000	
		外牆1:2防水水泥 砂漿粉光	47,078	m ²	0	98,529,500	0%	0.234	0.000	
		金屬包版		m ²	0	7,644,000	0%	0.018	0.000	
		乾式輕隔間	11,255.700	m ²	5,628	12,381,600	50%	0.029	0.015	
	1.5內部裝修工程	硫酸鈣板天花板	3,659.590	m ²	1,830	386,640	50%	0.001	0.000	
		面磚	4,857.000	m ²	2,429	3,436,400	50%	0.008	0.004	
		水泥砂漿粉刷、粉光、水泥漆…		無	0	116,183,790	0%	0.276	0.000	
		1.8防水隔熱工程	防水材	10,109.060	m ²	0	3,825,091	0%	0.009	
		隔熱材	1,126.800	m ²	0	2,253,600	0%	0.005	0.000	
		結構體EPOXY補強止漏、截水溝		無	0	2,078,606	0%	0.005	0.000	
	1.6門窗工程	百葉窗	27.000	樘	0	196,780	0%	0.000	0.000	
		上推窗	200.000	樘	0	2,394,380	0%	0.006	0.000	
		單推窗	162.000	樘	0	3,918,480	0%	0.009	0.000	
		排煙室門	29.000	樘	0	1,005,000	0%	0.002	0.000	
		玻璃門、公設門、防水閘門…		無	0	26,881,050	0%	0.064	0.000	
	1.9鐵作及雜項工程	裝飾格柵	1,164.330	m ²	0	7,575,100	0%	0.018	0.000	
		欄杆、扶手	1,981.350	m	0	4,225,340	0%	0.010	0.000	
		雨遮、人孔蓋、不銹鋼爬梯…		無	0	1,687,700	0%	0.004	0.000	
景觀工程(不含植栽)	1.12戶外景觀與設施 工程	無		無	0	-	0%	0.000	0.000	
		無		無	0	-	0%	0.000	0.000	
整體建築材料循環度TBCI(%)		8%								
整體建築材料預算額TC(台幣)		421,392,216.00								

● 案例三：

循環度 T(100%) 試算資料：

評估項目			工程用量	單位	具再生建材用量 (V)(30%)	價格(P)	循環度 T(%)	P/TC	T*(P/TC)	TBCI占比 (%)
結構	1.3結構體工程	普通模板夾板	105,102	m ²	0	54,078,450	0%	0.128	0.000	12%
		鋼筋	3,751	噸	0	89,797,000	0%	0.213	0.000	
		鋼筋接續器	14,063	組	0	1,631,320	0%	0.004	0.000	
		混凝土	19,868	M3	19,868	51,774,850	100%	0.123	0.123	
		防護網、填縫混凝土…		m ²	0	8,717,480	0%	0.021	0.000	
裝修	1.4外部裝修工程	刷石子	4,335	m ²	0	5,202,000	0%	0.012	0.000	3.83%
		丁掛磚	15,918	m ²	0	21,489,300	0%	0.051	0.000	
		石材	4,610	m ²	0	25,355,000	0%	0.060	0.000	
		外牆1:2 防水水泥 砂漿粉光	47,078	m ²	0	98,529,500	0%	0.234	0.000	
		金屬包版		m ²	0	7,644,000	0%	0.018	0.000	
	1.5內部裝修工程	乾式輕隔間	11,256	m ²	11,256	12,381,600	100%	0.029	0.029	
		矽酸鈣板天花板	3,660	m ²	3,660	386,640	100%	0.001	0.001	
		面磚	4,857	m ²	4,857	3,436,400	100%	0.008	0.008	
		水泥砂漿粉刷、粉光、水泥漆…		無	0	116,183,790	0%	0.276	0.000	
	1.8防水隔熱工程	防水材	10,109	m ²	0	3,825,091	0%	0.009	0.000	
		隔熱材	1,127	m ²	0	2,253,600	0%	0.005	0.000	
		結構體EPOXY補強止漏、截水溝		無	0	2,078,606	0%	0.005	0.000	
	1.6門窗工程	百葉窗	27	樘	0	196,780	0%	0.000	0.000	
		上推窗	200	樘	0	2,394,380	0%	0.006	0.000	
		單推窗	162	樘	0	3,918,480	0%	0.009	0.000	
		排煙室門	29	樘	0	1,005,000	0%	0.002	0.000	
		玻璃門、公設門、防水閘門…		無	0	26,881,050	0%	0.064	0.000	
	1.9鐵作及雜項工程	裝飾格柵	1,164	m ²	0	7,575,100	0%	0.018	0.000	
		欄杆、扶手	1,981	m	0	4,225,340	0%	0.010	0.000	
		雨遮、人孔蓋、不銹鋼爬梯…		無	0	1,687,700	0%	0.004	0.000	
景觀工程 (不含植栽)	1.12戶外景觀與設施 工程	無		無	0	-	0%	0.000	0.000	0
		無		無	0	-	0%	0.000	0.000	0
整體建築材料循環度TBCI(%)		16%								
整體建築材料預算額TC(台幣)		421,392,216								

● 案例四：

循環度 T(30%)試算資料：

評估項目		工程用量	單位	具再生建 材用量 (V)(30%)	價格(P)	循環度 T(%)	P/TC	T*(P/TC)	TBCI占比 (%)	
結構	1.1.3結構體工程	五金零件	16,720	M3	0	6,353,600	0%	0.016	0.000	4%
		鋼筋	3,490	T	0	111,614,000	0%	0.277	0.000	
		柱鋼筋續接器	15,169	支	0	1,875,645	0%	0.005	0.000	
		建築用混凝土	19,159	M3	5,748	48,155,550	30%	0.120	0.036	
		模板料	5,987	建坪	0	68,850,500	0%	0.171	0.000	
		防護網、填縫混凝土...		無	0	10,945,070	0%	0.027	0.000	
裝修	1.1.4裝修工程	外牆鐵件	232	M	0	4,324,200	0%	0.011	0.000	3%
		防水材	448	M2	0	591,360	0%	0.001	0.000	
		地坪EPOXY	5,290	M2	0	2,332,500	0%	0.006	0.000	
		維絲板	6,191	M2	0	8,142,100	0%	0.020	0.000	
		批土	14,827	M2	0	3,490,445	0%	0.009	0.000	
		水泥漆	36,146	M2	0	16,899,910	0%	0.042	0.000	
		熱浸鍍鋅鋼構	44	支	0	3,440,000	0%	0.009	0.000	
		耐磨木地板	8,043	M2	0	10,616,760	0%	0.026	0.000	
		地坪貼地磚	2,898	M2	869	37,130,568	30%	0.092	0.028	
		臥室輕隔間牆石膏板	3,218	M2	965	989,000	30%	0.002	0.001	
		矽酸鈣天花板	1,150	M2	345	3,754,000	30%	0.009	0.003	
		外牆二丁掛	26,286	M2	7,886	7,886	30%	0.000	0.000	
	外牆貼石材、防水粉刷、鋁包板、貼磚、石材蓋		無	0	18,852,583	0%	0.047	0.000		
	1.1.6門窗工程	防火門	318	樘	0	1,402,920	0%	0.003	0.000	0%
		木門	684	樘	0	1,022,099	0%	0.003	0.000	
		鋁門	824	樘	0	510,500	0%	0.001	0.000	
		不鏽鋼烤漆門窗	7	樘	0	789,339	0%	0.002	0.000	
		不鏽鋼門窗	8	樘	0	219,104	0%	0.001	0.000	
		強化玻璃	30,571	樘	0	2,844,600	0%	0.007	0.000	
		防水閘門	5	樘	0	195,000	0%	0.000	0.000	
		鋁百葉窗、玻璃門、鋁捲門...		無	0	8,220,161	0%	0.020	0.000	
1.1.7雜項工程	玻璃欄杆	580	M	0	4,377,600	0%	0.011	0.000	0%	
	金屬水平格柵	30	組	0	254,000	0%	0.001	0.000		
	爬梯	29	組	0	204,200	0%	0.001	0.000		
	不鏽鋼透空格柵	30	組	0	254,000	0%	0.001	0.000		
	外牆LOGO、大理石門檻、....		無	0	7,930,800	0%	0.020	0.000		
景觀工 程 (不含 植栽)	1.1.9戶外景觀與設施 工程	無	無	無	0	無	0%	0.000	0.000	0%
		無	無	無	0	無	0%	0.000	0.000	
		無	無	無	0	無	0%	0.000	0.000	
整體建築材料循環度TBCI(%)		7%								
整體建築材料預算額TC(台幣)		402,564,213								

● 案例四：

循環度 T(50%) 試算資料：

評估項目		工程用量	單位	具再生建 材用量 (V)(50%)	價格(P)	循環度 T(%)	P/TC	T*(P/TC)	TBCI 占比 (%)	
結構	1.1.3結構體工程	五金零件	16,720	M3	0	6,353,600	0%	0.016	0.000	0%
		鋼筋	3,490	T	0	111,614,000	0%	0.277	0.000	
		柱鋼筋續接器	15,169	支	0	1,875,645	0%	0.005	0.000	
		建築用混凝土	19,159	M3	9,580	9,580	50%	0.000	0.000	
		模板料	5,987	建坪	0	68,850,500	0%	0.171	0.000	
		防護網、填縫混凝土...		無	0	59,091,041	0%	0.147	0.000	
裝修	1.1.4裝修工程	外牆鐵件	232	M	0	4,324,200	0%	0.011	0.000	5%
		防水材	448	M2	0	591,360	0%	0.001	0.000	
		地坪EPOXY	5,290	M2	0	2,332,500	0%	0.006	0.000	
		維絲板	6,191	M2	0	8,142,100	0%	0.020	0.000	
		批土	14,827	M2	0	3,490,445	0%	0.009	0.000	
		水泥漆	36,146	M2	0	16,899,910	0%	0.042	0.000	
		熱浸鍍鋅鋼構	44	支	0	3,440,000	0%	0.009	0.000	
		耐磨木地板	8,043	M2	0	10,616,760	0%	0.026	0.000	
		地坪貼地磚	2,898	M2	1,449	37,130,568	50%	0.092	0.046	
		臥室輕隔間牆石膏板	3,218	M2	1,609	989,000	50%	0.002	0.001	
		矽酸鈣天花板	1,150	M2	575	3,754,000	50%	0.009	0.005	
		外牆二丁掛	26,286	M2	13,143	7,886	50%	0.000	0.000	
	外牆貼石材、防水粉刷、鋁包板、貼磚、石材蓋		無	0	18,852,583	0%	0.047	0.000		
	1.1.6門窗工程	防火門	318	樘	0	1,402,920	0%	0.003	0.000	0%
		木門	684	樘	0	1,022,099	0%	0.003	0.000	
		鋁門	824	樘	0	510,500	0%	0.001	0.000	
		不鏽鋼烤漆門窗	7	樘	0	789,339	0%	0.002	0.000	
		不鏽鋼門窗	8	樘	0	219,104	0%	0.001	0.000	
		強化玻璃	30,571	樘	0	2,844,600	0%	0.007	0.000	
		防水閘門	5	樘	0	195,000	0%	0.000	0.000	
		鋁百葉窗、玻璃門、鋁捲門...		無	0	8,220,161	0%	0.020	0.000	
	1.1.7雜項工程	玻璃欄杆	580	M	0	4,377,600	0%	0.011	0.000	0%
金屬水平格柵		30	組	0	254,000	0%	0.001	0.000		
爬梯		29	組	0	204,200	0%	0.001	0.000		
不鏽鋼透空格柵		30	組	0	254,000	0%	0.001	0.000		
外牆LOGO、大理石門檻、....			無	0	7,930,800	0%	0.020	0.000		
景觀工程 (不含植栽)	1.1.9戶外景觀與設施 工程	無	無	無	0	無	0%	0.000	0.000	0%
		無	無	無	0	無	0%	0.000	0.000	
		無	無	無	0	無	0%	0.000	0.000	
整體建築材料循環度TBCI(%)		5%								
整體建築材料預算額TC(台幣)		402,564,213								

● 案例四：

循環度 T(100%)試算資料：

評估項目		工程用量	單位	具再生建 材用量 (V)(30%)	價格(P)	循環度 T(%)	P/TC	T*(P/TC)	TBCI占比 (%)	
結構	1.1.3結構體工程	五金零件	16,720	M3	0	6,353,600	0%	0.016	0.000	12%
		鋼筋	3,490	T	0	111,614,000	0%	0.277	0.000	
		柱鋼筋續接器	15,169	支	0	1,875,645	0%	0.005	0.000	
		建築用混凝土	19,159	M3	19,159	48,155,550	100%	0.120	0.120	
		模板料	5,987	建坪	0	68,850,500	0%	0.171	0.000	
		防護網、填縫混凝土...		無	0	10,945,070	0%	0.027	0.000	
裝修	1.1.4裝修工程	外牆鐵件	232	M	0	4,324,200	0%	0.011	0.000	10%
		防水材	448	M2	0	591,360	0%	0.001	0.000	
		地坪EPOXY	5,290	M2	0	2,332,500	0%	0.006	0.000	
		維絲板	6,191	M2	0	8,142,100	0%	0.020	0.000	
		批土	14,827	M2	0	3,490,445	0%	0.009	0.000	
		水泥漆	36,146	M2	0	16,899,910	0%	0.042	0.000	
		熱浸鍍鋅鋼構	44	支	0	3,440,000	0%	0.009	0.000	
		耐磨木地板	8,043	M2	0	10,616,760	0%	0.026	0.000	
		地坪貼地磚	2,898	M2	2,898	37,130,568	100%	0.092	0.092	
		臥室輕隔間牆石膏板	3,218	M2	3,218	989,000	100%	0.002	0.002	
		矽酸鈣天花板	1,150	M2	1,150	3,754,000	100%	0.009	0.009	
		外牆二丁掛	26,286	M2	26,286	7,886	100%	0.000	0.000	
	外牆貼石材、防水粉刷、鋁包板、貼磚、石材蓋		無	0	18,852,583	0%	0.047	0.000		
	1.1.6門窗工程	防火門	318	樘	0	1,402,920	0%	0.003	0.000	0%
		木門	684	樘	0	1,022,099	0%	0.003	0.000	
		鋁門	824	樘	0	510,500	0%	0.001	0.000	
		不鏽鋼烤漆門窗	7	樘	0	789,339	0%	0.002	0.000	
		不鏽鋼門窗	8	樘	0	219,104	0%	0.001	0.000	
		強化玻璃	30,571	樘	0	2,844,600	0%	0.007	0.000	
		防水閘門	5	樘	0	195,000	0%	0.000	0.000	
鋁百葉窗、玻璃門、鋁捲門...			無	0	8,220,161	0%	0.020	0.000		
1.1.7雜項工程	玻璃欄杆	580	M	0	4,377,600	0%	0.011	0.000	0%	
	金屬水平格柵	30	組	0	254,000	0%	0.001	0.000		
	爬梯	29	組	0	204,200	0%	0.001	0.000		
	不鏽鋼透空格柵	30	組	0	254,000	0%	0.001	0.000		
	外牆LOGO、大理石門檻、....		無	0	7,930,800	0%	0.020	0.000		
景觀 工程 (不含 植栽)	1.1.9戶外景觀與 設施工程	無	無	無	0	無	0%	0.000	0%	
		無	無	無	0	無	0%	0.000		
		無	無	無	0	無	0%	0.000		
整體建築材料循環度TBCI		22.4%								
整體建築材料預算額TC(台)		402,564,213								

● 案例五：
循環度 T(30%) 試算資料：

評估項目		工程用量	單位	具再生建 材用量 (V)(30%)	價格(P)	循環度 T(%)	P/TC	T*(P/TC)	TBCI占比 (%)		
結構	1.1.3結構體工程	混凝土	3,623	M3	1087	11,941,220	30%	0.130	0.039	3.89%	
		鋼筋	620	T	0	14,316,700	0%	0.155	0.000		
		模板	19,119	M2	0	15,677,580	0%	0.170	0.000		
裝修	1.1.4裝修工程	輕質灌漿牆	780	M2	234	1,544,400	30%	0.017	0.005	3.18%	
		二丁掛	240	M2	72	338,400	30%	0.004	0.001		
		仿石漆	3,079	M2	0	3,965,752	0%	0.043	0.000		
		抿石子	310	M2	0	319,300	0%	0.003	0.000		
		金屬格柵	75	M2	0	1,716,000	0%	0.019	0.000		
		水泥漆	6,650	M2	0	671,650	0%	0.007	0.000		
		EPOXY	1,650	支	0	709,500	0%	0.008	0.000		
		天花板	230	M2	69	149,500	30%	0.002	0.000		
		石英磚	2,295	M2	974	4,008,450	30%	0.043	0.016		
		面磚	10,592	M2	3178	2,732,757	30%	0.030	0.009		
		水泥粉光、車道磚、防水...		無	0	10,585,800	0%	0.115	0.000		
		1.1.6門窗工程	烤漆鋼板門	37	樘	0	52,000	0%	0.001		0.000
			木門	1	樘	0	10,560	0%	0.000		0.000
			鋁門窗	22	樘	0	705,235	0%	0.008		0.000
			鋁窗	42	樘	0	839,453	0%	0.009		0.000
防火閘門	2		樘	0	9,900	0%	0.000	0.000			
進排風百葉	2		樘	0	42,000	0%	0.000	0.000			
防火遮煙捲簾、配電室拉門...			無	0	1,040,118	0%	0.011	0.000			
1.1.7雜項工程	不銹鋼管欄杆	183	M	0	412,016	0%	0.004	0.000			
	鑄鐵人孔蓋	1	組	0	10,560	0%	0.000	0.000			
	車道柱防撞護角	14	支	0	8,400	0%	0.000	0.000			
	門扇標誌	2	組	0	3,000	0%	0.000	0.000			
	引導標誌、廣角鏡...		無	0	4,511,001	0%	0.049	0.000			
景觀工程 (不含植栽)	1.1.9戶外景觀與 設施工程	透水磚	1896.97	M2	569	2727402	30%	0.030	0.0089	0.89%	
		預鑄路緣石、腳踏車車架、...		無	0	13,352,261	0%	0.145	0.000		
整體建築材料循環度TBCI(%)		8%									
整體建築材料預算額TC(台幣)		92,169,693									

● 案例五：

循環度 T(50%) 試算資料：

評估項目		工程用量	單位	具再生建 材用量 (V)(50%)	價格(P)	循環度 T(%)	P/TC	T*(P/TC)	TBCI占比 (%)		
結構	1.1.3結構體工程	混凝土	3,623	M3	1812	11,941,220	50%	0.130	0.065	6.48%	
		鋼筋	620	T	0	14,316,700	0%	0.155	0.000		
		模板	19,119	M2	0	15,677,580	0%	0.170	0.000		
裝修	1.1.4裝修工程	輕質灌漿牆	780	M2	390	1,544,400	50%	0.017	0.008	5.30%	
		二丁掛	240	M2	120	338,400	50%	0.004	0.002		
		仿石漆	3,079	M2	0	3,965,752	0%	0.043	0.000		
		抿石子	310	M2	0	319,300	0%	0.003	0.000		
		金屬格柵	75	M2	0	1,716,000	0%	0.019	0.000		
		水泥漆	6,650	M2	0	671,650	0%	0.007	0.000		
		EPOXY	1,650	支	0	709,500	0%	0.008	0.000		
		天花板	230	M2	115	149,500	50%	0.002	0.001		
		石英磚	2,295	M2	1623	4,008,450	50%	0.043	0.027		
		面磚	10,592	M2	5296	1,958,729	50%	0.030	0.015		
		水泥粉光、車道磚、防水...		無	0	10,585,800	0%	0.115	0.000		
		1.1.6門窗工程	烤漆鋼板門	37	樘	0	52,000	0%	0.001		0.000
			木門	1	樘	0	10,560	0%	0.000		0.000
			鋁門窗	22	樘	0	705,235	0%	0.008		0.000
			鋁窗	42	樘	0	839,453	0%	0.009		0.000
防火閘門	2		樘	0	9,900	0%	0.000	0.000			
進排風百葉	2		樘	0	42,000	0%	0.000	0.000			
防火遮煙捲簾、配電室拉門...			無	0	1,040,118	0%	0.011	0.000			
1.1.7雜項工程	不銹鋼管欄杆	183	M	0	412,016	0%	0.004	0.000			
	鑄鐵人孔蓋	1	組	0	10,560	0%	0.000	0.000			
	車道柱防撞護角	14	支	0	8,400	0%	0.000	0.000			
	門扇標誌	2	組	0	3,000	0%	0.000	0.000			
	引導標誌、廣角鏡...		無	0	4,511,001	0%	0.049	0.000			
景觀工程 (不含植栽)	1.1.9戶外景觀與 設施工程	透水磚	1896.97	M2	948	2727402	50%	0.030	0.015	1.48%	
		預鑄路緣石、腳踏車車架、...		無	0	13,352,261	0%	0.145	0.000		
整體建築材料循環度TBCI(%)		13%									
整體建築材料預算額TC(台幣)		92,169,693									

● 案例五：

循環度 T(100%)試算資料：

評估項目			工程用量	單位	具再生建 材用量 (V)(100%)	價格(P)	循環度 T(%)	P/TC	T*(P/TC)	TBCI占比 (%)	
結構	1.1.3結構體工程	混凝土	3,623	M3	3623	11,941,220	100%	0.13	0.13	13%	
		鋼筋	620	T	0	14,316,700	0%	0.16	0.00		
		模板	19,119	M2	0	15,677,580	0%	0.17	0.00		
裝修	1.1.4裝修工程	輕質灌漿牆	780	M2	780	1,544,400	100%	0.02	0.02	7.6%	
		二丁掛	240	M2	240	338,400	100%	0.00	0.00		
		仿石漆	3,079	M2	0	3,965,752	0%	0.04	0.00		
		抿石子	310	M2	0	319,300	0%	0.00	0.00		
		金屬格柵	75	M2	0	1,716,000	0%	0.02	0.00		
		水泥漆	6,650	M2	0	671,650	0%	0.01	0.00		
		EPOXY	1,650	支	0	709,500	0%	0.01	0.00		
		天花板	230	M2	230	149,500	100%	0.00	0.00		
		石英磚	2,295	M2	3245	4,008,450	100%	0.04	0.04		
		面磚	10,592	M2	10592	10,365,846	100%	0.03	0.03		
		水泥粉光、車道磚、防水...		無	0	10,585,800	0%	0.11	0.00		
		1.1.6門窗工程	烤漆鋼板門	37	樁	0	52,000	0%	0.00		0.00
			木門	1	樁	0	10,560	0%	0.00		0.00
			鋁門窗	22	樁	0	705,235	0%	0.01		0.00
			鋁窗	42	樁	0	839,453	0%	0.01		0.00
防火閘門	2		樁	0	9,900	0%	0.00	0.00			
進排風百葉	2		樁	0	42,000	0%	0.00	0.00			
防火遮煙捲簾、配電室拉門...			無	0	1,040,118	0%	0.01	0.00			
1.1.7雜項工程	不銹鋼管欄杆	183	M	0	412,016	0%	0.00	0.00			
	鑄鐵人孔蓋	1	組	0	10,560	0%	0.00	0.00			
	車道柱防撞護角	14	支	0	8,400	0%	0.00	0.00			
	門扇標誌	2	組	0	3,000	0%	0.00	0.00			
	引導標誌、廣角鏡....		無	0	4,511,001	0%	0.05	0.00			
景觀工程 (不含植栽)	1.1.9戶外景觀與 設施工程	透水磚	1896.97	M2	1897	2727402	100%	0.03	0.03	3%	
		預鑄路緣石、腳踏車車架、...		無	0	13,352,261	0%	0.14	0.00		
整體建築材料循環度TBCI(%)		24%									
整體建築材料預算額TC(台幣)		92,169,693									

附錄五 各審查會議意見回覆表

評選審查意見回覆表

委員	審查委員意見（依發言順序）	廠商回應
一	<p>(一) 蒐集之先進國家評估方法分析其特色比較，擷取可參考引用之資料作為有效評估與管理工具。</p> <p>(二) 對計畫之瞭解，未針對成果與效益提出具體數量化之說明。</p> <p>(三) 涉及「關鍵詞」之闡釋在未來研究計畫中提出說明。</p>	<p>(一) 本案將進一步蒐集及分析各國評估方法之特色及重點整理，作為研擬國內循環度評估法之參考。</p> <p>(二) 本案將依據國內建築環境特性，提出可行之材料循環度計算方式，並針對後續發展提供中長期推動方向及策略。</p> <p>(三) 略。 感謝委員意見，將於計畫內容補充關鍵詞之闡釋。</p>
二	<p>(一) pg17 個案研究試算，所述依相關事實資料，由於目前廢棄價格高，是否針對目前營建廢棄物進行調查研究。</p> <p>(二) 以循環經濟原則，是否可以編列出產業上下游可回收利用材料種類及其計算（循環度利用率）。</p>	<p>(一) 本案針對建築循環設計研擬建築構件及材料之循環度評估方法，有關營建廢棄物之調查非本研究之範疇。</p> <p>(二) 本案針對建築設計階段所採用之材料來源進行分析評估，計算其循環度。有關彙整產業上下游可回收利用材料種類及計算考量，建議可納入未來研究成果擴大應用與推動時參考。</p>
三	<p>(一) 簡報 16、17 頁「台灣材料循環利用率」21.85%，優於「歐盟地區平均材料循環利用率」12.8%，可能其定義不用，請加說明，亦請注意勿過分迷失於數字，並請建議加強實際營建過程之每一環節其各式材料、廢棄物之來源及去處，以作量與質之比較。</p> <p>(二) 較。 案例試算時如何選擇案例請注意其代表性。</p>	<p>(一) 簡報所述之「材料循環利用率」為國家層級之材料循環使用率，歐盟與台灣之定義範疇有其異同，無法直接進行比較，詳細評估資訊可參考 eurostat 及「物質流指標計算操作手冊」。本案針對建築設計階段所採用之材料來源進行循環度分析評估，有關營建過程各式材料、廢棄物之來源及去處，並非本研究之範疇。</p> <p>(二) 感謝委員提醒，將納入本案考量。</p>
四	<p>(一) 服務建議書對應本案需求說明研究內容與預期成果要求，並未提出預(期)定辦理工作事項的量化目標，包括：案例蒐集計算及建築構件、材料的分析項目數、預</p>	<p>(一) 本案預計蒐集3個建築工程案例進行評估法試算，由於建築工程工項繁雜，有關建築構件與材料的分析項目，有待本案進一步研究探討，初步規劃以較具影響力之大宗材料進行估算，提升評估方法之可行性及有效</p>

委員	審查委員意見（依發言順序）	廠商回應
	<p>定產出成果的量化說明。</p> <p>(二) 本案規劃的階段成果座談會僅提列 1 場次 6 人次的經費，是否能夠對應相關機關、業界團體或產業意見的需求，請補充說明擬辦理時程，討論主題與規劃參與座談的對象。</p> <p>(三) 本案產出之循環度評估方法的適用對象及應用方式，請補充說明推動依據的配套構想。</p>	<p>性。</p> <p>(二) 本案規劃於 9 月辦理專家學者諮詢會議，邀請對象為相關領域之專家與建築師，討論主題為建築構件材料循環度評估方式，探討其合理性與適用性。本案預算雖僅提列 6 人次經費，</p> <p>(三) 然可視需求增加場次或專家人次辦理。</p> <p>循環度評估方法可供建築師、設計人員或建築相關機關單位人員應用，作為設計階段或政策推行之評估工具，並可仿效國內綠建材使用率評估方法納入法令規定，逐漸引導提升國內建築構件與材料循環度，推動建築循環設計並協助產業循環經濟轉型。</p>
五	<p>(一) 依據政府循環經濟政策目標，請問建築部門在建築設計階段如何導入循環設計理念？</p> <p>(二) 為鼓勵建築循環設計，請問在建築師選用建築材料時，如何評估材料的循環利用度？</p> <p>(三) 請補充說明簡報所提材料循環利用率之範圍為何？與建築材料的關聯為何？</p>	<p>(一) 在建築設計階段，建築師及設計人員可於構件或材料選擇中評估採用循環度較高之材料，以及可提高材料恢復性之設計策略，減少廢棄物之產生。本案即為此目的來研擬建築構件及材料循環度之評估方法，協助產業人員進行評估，改善產品材料設計，逐步提高材料循環度。</p> <p>(二) 本研究將提出建築構件與材料循環度評估方式，可協助建築師在選用建築材料時評估材料循環度。</p> <p>(三) 簡報所述之「材料循環利用率」為國家層級之材料循環使用率，其計算範疇包含材料產品進出口、廢棄物管理法令或報廢等因素，涵蓋各類材料如金屬礦石類、非金屬礦石類、生物質材料及化石能源材料等。而本案則是針對個案建築工程所設計使用之構件與材料之循環度建立評估計算方式，將只會針對建築相關建材進行評估計算。</p>

期中審查會議意見回覆表

項次	審查委員意見	廠商回應
審查委員：江教授哲銘		
1	本案已陸續完成國內外建築構件與材料循環度計算評估之相關文獻彙整及初步之發展現況分析，並於第三章提出單項建築材料及整體建築材料等國內循環度評估方法之初擬。建議下階段持續蒐集試算案例，檢討評估方法之正確性與可行性，同時提出臺灣現況之限制與適用範圍。	感謝委員建議，本研究將再蒐集 2 個試算案例，並與原案例進行比對分析。 詳 P.75~P.96
審查委員：張建築師矩墉		
1	報告書第 7 頁宏觀、微觀的英文皆誤繕為 micro-level；第 50 頁第 3 段研究誤繕為「言就」，請修正。	感謝委員指正，誤繕處已修正。 詳 P.7、P.62
2	本案名稱為建築循環設計構件材料循環度之評估研究，但就目前研究內容尚無「構件」部分，建議補充說明或予以更正。	感謝委員建議，本研究範疇含括建築構件及材料循環利用，已更正用詞。 詳 P.61~P.63
3	請補充說明材料循環度的執行者與評估時機，並明確說明評估成果的檢核方式。	感謝委員建議，循環度執行時機建議以建築物設計完成即能進行評估。
4	本案循環度採用工程價格作為比例計算，但市場價格是浮動的，需待整體工程結算時才会有正確數字，請考量該部分是否仍可符合實際。	感謝委員建議，本研究循環度評估主要是以數量作為計算，經費部分僅用於計算各單項材料或構件佔工程總材料費用的權重，以利進行整體建築循環度的計算，故評估結果應不致於受到市場材料單價波動之影響太大。
5	目前仍有許多公部門之發包文件限制使用循環材料，建議多加宣導改正觀念。	感謝委員建議。
審查委員：陳專門委員威成		
1	建議補充國外是否已將建築物循環度作為強制性法規之相關資料，或是否已有資料庫可直接引用，並針對國外產品提	感謝委員建議，建議納入未來研究課題中。

項次	審查委員意見	廠商回應
	出材料循環指標，以供參考。	
2	請說明循環材料是否包括「經濟部資源再生產品」。	感謝委員建議，本研究已新增「經濟部資源再生產品」相關資訊。 詳 P.47、P.74
3	本案建議之簡易版循環度評估中，若混凝土中採用再生骨材或環保標章水泥任一項，是否可認定為循環材料？請補充說明。	感謝委員建議，本研究循環材料以取得再生綠建材標章或環保標章等第三方認證建材產品為認定對象。
4	有關建築構件材料之循環度，建議可考量先納入綠建築標章試行後，再評估納入法規之可行性。	感謝委員建議，本研究已敘明未來應用方向。 詳 P.97~P.99
審查委員：陳建築師顯明		
1	本案蒐集國內外各種建材循環度評估方法與計算方式，歸納成果豐富，且已依此建構可行之循環度評估方法，完成 1 案例之分析，值得肯定。	感謝委員肯定。
2	<p>本案預計蒐集 3 個建築工程案例進行評估方法試算，目前已完成 1 案例為高層集合住宅 RC 案：</p> <p>(1) 請問未來 2 案之選擇原則為何？建議宜考量具代表性之不同類型建築。</p> <p>(2) 此案例計算分析方法採用簡易版，未來是否考慮進一步採用非簡易版分析？</p> <p>(3) 此案例未採用再生綠建材或環保標章建材，且尚未進行「性能因子分析（第 49 頁）」，請說明是否會進行該分析。</p> <p>(4) 建議針對現階段建材市場之環境條件，分析出最大「單項建築材料循環度」及「整體建築材料循環度」，以供後續研究參考。</p>	<p>感謝委員建議，回覆意見如下：</p> <p>(1) 本研究規劃以常見建築類型如辦公類及學校類為例，共蒐集分析 5 個案例。詳 P.89</p> <p>(2) 案例採用非簡易版評估方式，受限於我國統計資訊有限，現階段難以評估。</p> <p>(3) 有關性能因子分析，受限於我國統計資訊有限，現階段難以評估，但本研究完整版進行試算說明。詳 P.95。</p> <p>(4) 建材市場之環境條件分析出最大「單項建築構件材料循環度」及「整體建築構件材料循環度」，建議納入未來研究課題中。</p>
3	有關循環度評估析方法內容，對於「回收材料之使用量」，目前定義為採用環保標章、再生綠建材標章等認證材料或產品，意即有上述標章或認證者則該材料	感謝委員建議，受限取得再生綠建材、環保標章之各類建材產品，尚未完整公布使用回收材料比例，故現階段難以採用回收材料比例進行估算。

項次	審查委員意見	廠商回應
	或產品定義為 100% 回收建材，而無者為非回收建材，似可能造成較事實偏高之回收率，以建研所 110 年委託研究案「綠建材循環經濟產業結推廣計畫」之調查研究成果觀察，以再生纖維水泥板為案例，經詢受訪廠商其回收料占比為 60%，建議此部分差異可進一步提出修正方案，以使各項建材之回收率推估能更精確合理。	
4	請補充說明報告書第 50 頁「W 使用結束後成為不可回收廢棄物量」是如何估算，若是屬於數十年後才會發生之狀況，現階段如何分析判斷？	感謝委員建議，尚需建材製造商或回收商提出不可回收廢棄物量。
審查委員：林教授子平		
1	本案已完成相關文獻資料彙整與發展現況分析，亦針對評估方式進行分析，研究成果良好	感謝委員肯定。
2	關於建築構件與材料循環度的應用及推動，建議可補充可能的誘因或阻力，以有助於後續的推動	感謝委員建議，本研究透過案例試算，發現部分難題，例如部分材料的循環認證尚國內未有完整規範、大多數的建材尚未取得循環材相關標章等情形，提升推動難度。 詳 P.96
審查委員：廖建築師慧燕		
1	本案之前期研究為「建築規劃設計導入循環經濟發展理念之初步研究」，其中探討國內外對於循環經濟之作法與評估方式，建議宜在報告第一章第二節研究背景中簡要說明前期研究發現，並說明選擇「構件材料循環度之評估」作為後續研究重點之緣由。	感謝委員建議，本研究將前期研究發現納入期末報告。 詳 P.1
2	目前建築技術規則要求綠建材使用量，多數設計者反應其計算方式相當繁雜，增加很多工作量，本案提出之計算式較	感謝委員肯定。

項次	審查委員意見	廠商回應
	為簡單，其方向給予肯定。	
3	本案計算方式為針對材料採用再生材料量之比例，但是材料統計表（表 3-6 至表 3-10）中均列出材料單價及複價，不知其價格意義為何，請補充說明。	感謝委員建議，本研究循環度評估主要是以數量作為計算，經費部分僅用於計算各單項材料或構件佔工程總材料費用的權重，以利進行整體建築循環度的計算。
4	本案所選之建築案例完全未採用再生材料，建議除本案外應另擇較適當之案例；另表 3-4 評估案例基本表中有關面積之填寫方式為「約 3000 多 m ² 」，建議刪除「多」字，修正為「約 3000m ² 」或較接近實際面積之數字。	感謝委員指正，本研究將再蒐集兩個試算案例，另面積資訊已修正。 詳 P.89
5	本案評估方式在現有綠建材標章架構上，確實是較易執行，惟目前的綠建材計算方式並未特別強調再生建材類，建議後續宜探討如何強化該類之使用，例如每棟建築應採用 5% 以上的再生建材等。	感謝委員建議，本研究初步建議未來建築構件材料循環度應用方式。 詳 P.97~P.99
審查委員：中華民國全國建築師公會（張建築師文瑞）		
1	報告書第四章建議加強撰寫，並應清楚敘述後續工作或建議，例如：將本研究成果改編成為作業手冊、舉辦宣導活動或教育訓練或與相關網路平台連結、擴大宣導等。	感謝委員建議，本研究已強化建議內容。 詳 P.105~P.106
2	報告書第 54~62 頁有關建築材料使用回收材料及相關標章之產品，都是正面列舉性質，產品很多，其實都是大家很熟悉的材料，建議可考量負面列舉方式，提出尚未符合循環使用的建築材料，以作為警示或提醒。	感謝委員建議，建築使用構件及材料眾多，以負面列舉方式難完整羅列，本研究仍建議以正面列舉為主，其餘未列之建材或構件代表未取得再生綠建材或環保標章，較易認定。

項次	審查委員意見	廠商回應
3	報告書第 51~66 頁統計方式，建議可進一步說明計算的原則及公式，並提供價位表格，以利提升可讀性。	感謝委員建議，本研究透過案例試算強化說明計算原則。 詳 P.59~P.96
4	報告書第 66 頁未來應用方向提及「仿照我國綠建材標章制度，規定新建築物採用建材中需有回收材料比例」，是否考量納入綠建築標章中？	感謝委員建議，未來建築構件材料循環度運用方式，已考量納入綠建築標章中。 詳 P.97~P.99
審查委員：台灣省建築材料商業同業公會聯合會(王總幹事榮吉)		
1	本案符合期中預期成果。	感謝委員肯定。
2	本案循環度計算，建築材料建議分類、分項，並減少一次性材料之使用。	感謝委員建議，建築材料種類眾多，本研究將盡力將材料進行分類。
內政部建築研究所：呂簡任研究員文弘代理		
1	本案循環度的案例計算結果以百分比呈現，建議考量轉換成民眾易了解的呈現方式，以利未來推廣。	感謝呂簡任研究員建議，本研究已採用百分比呈現。 詳 P.92
2	本案提及法制化部分，請執行單位預為準備未來在專家諮詢或公開閱覽階段所需要之相關說明資料，以利推動參考。	感謝呂簡任研究員建議，本年度以建立循環度計算方法、可操作性評估等方面，法制化方面已納入未來發展方向與研究課題中。
3	請執行單位補充說明有關減碳工法如何於循環度中呈現。	感謝呂簡任研究員建議，材料循環再利用本就具減碳效益，未來可擴大將已揭露碳足跡之低碳建材產品納入循環建材做為評估計算。

期末審查會議意見回覆表

項次	審查委員意見	廠商回應
審查委員：江教授哲銘		
1	本研究有系統的完成國內外建築構件及材料循環度計算評估之相關文獻資料彙整並詳細分析，符合預期成果，值得肯定。	感謝委員肯定。
2	本案完成簡易版及完整版之建築構件與材料循環度之評估方法，請補充說明如何訂定物質流計算之規格化。	感謝委員建議，目前本年度研究主要針對建築構建循環度提出計算上的評估標準，訂定物質流計算之規格化仍有待進一步研究。
3	建議本案循環度計算方法可納入綠建築標章之二氧化碳減量或廢棄物減量指標，並考量建立建築構件材料循環度之推動方案之可行性。	感謝委員建議，已補述內容。詳 P.97~P.99
審查委員：陳建築師顯明：		
1	本研究蒐集國內外各種建材循環度評估方法與計算方式，歸納出豐富成果，且已建構具體可行之循環度科學評估方法，並完成 5 案例之分析，值得嘉許。	感謝委員肯定。
2	<p>針對報告書第四章案例試算與分析，提出以下幾點建議供研究團隊參酌：</p> <p>(1) 報告書第 78 頁，建議深化「表 4-2 計算操作原則」，本表目前列出 5 項準則作為各項材料之計算依據，但因建築構材種類繁多，執行上恐不足以清楚釐清，特別是以「式」為單位之計算方式。</p> <p>(2) 案例計算是以工程預算書來計算，組合型建材(如天花、輕隔牆、櫥櫃等)之計算方式，國內部分廠商慣例將安裝工料費已加於單價內，若能再深化相關計算準則，想必有利於各基層執行單位的運作。</p> <p>(3) 報告書第 81~86 頁，評估案例分析</p>	<p>感謝委員建議與指正，回覆意見如下：</p> <p>(1) 建築材料種類繁多，本研究採用抓大放小的原則，達成簡化計算操作目標，因為循環度為百分比的計算，因主要以使用循環材占比為主，與單位可能無絕對的關係。</p> <p>(2) 此分項依據參考公共工程技術資料庫所擬定的公共工程細目碼編訂說明的分項規則來進行操作，已排除。</p> <p>(3) 已修正完畢感謝委員指正。詳 P.81~ P.86</p> <p>(4) 此問題主要的原因在於所採用的是預算書做為計算依據，預算書為建築材料用量的概估值，因此在估算上較難以做精細的佔比呈現，要考</p>

項次	審查委員意見	廠商回應
	<p>係將該案區分為結構建材(表 4-5)、裝修建材(表 4-7)及敷地景觀建材(表 4-9)，但三者之價格或價格比率加總，並非總價(26,282,734 元)或是 100，且單項加總之總額亦不相符。</p> <p>(4) 另報告書第 86 頁，整體建築構件材料循環度 TBCI 之計算式內數值與表 4-5 及表 4-9 不符，請釐清係為筆誤或另有原因並予以修正或說明。</p> <p>(4) 報告書第 84 頁表 4-8 係以天花板為例進行分析，以目前之分析方式各種組合材料(板材、骨架收邊料、噴漆)在計算上視為比例均等，但在實務上，板材無論體積、重量或價格都遠大於噴漆，建議考量更接近實務之合理比率，並忽略極細微之材料(如本案例之天花板面之噴漆、骨架及收邊料之表面烤漆料等)。</p> <p>(5) 報告書第 88~89 頁說明 TBCI 佔比依序為結構>裝修>景觀，與圖 4-2 不符，請釐清。</p>	<p>慮所有材料在實務之合理比率怕也會造成計算過於繁瑣，進而成為此計算規範在未來推行時的一大阻力。</p> <p>(5) 已修正，感謝委員指正。</p> <p>案例 1 與案例 2 中結構和裝修的整體 TBCI 數值接近相同，甚至在案例 2 中裝修的數值高於結構項目，由此足以證明如裝修循環材的用量足夠多時，其所能對整體循環度造成的影響將會與結構相同。</p> <p>案例 3、4、5 中因裝修材至完工階段前的使用量都較結構材的使用量來的少，在這幾種案例的情境下即便所有裝修材都使用循環材，裝修項目的循環度數值佔整體循環度來說依然相對較少。此三案例中結構、裝修與敷地景觀三大項目的各自整體循環度數值都是結構>裝修>敷地景觀。詳 P.86~91</p>
<p>審查委員：張建築師矩墉</p>		
1	<p>本研究資料豐富，內容扎實，值得肯定。</p>	<p>感謝委員肯定。</p>
2	<p>本案題目包含建築「構件」與「材料」，但內容似僅有材料，請釐清並補充界定基準。</p>	<p>感謝委員建議，已在第二章第一節補述建築「構件」與「材料」兩個名詞的界定標準，並且在第二章第一節第三點荷蘭恩荷芬理工大學「建築物循環度指標」研究中也採用此觀點與界定標準，並有更細節的解釋。</p> <p>詳 P.7、P.8、P.12、P.13</p>
3	<p>循環度的評估法中，只要是具再生建材標章或環保標章者，都同樣可獲得認可，但實際上這二者對於再生料的比例要求並不相同，是否該作權重調整？</p>	<p>感謝委員建議，權重調整研究仍需有待進一步的研究來整合各標章的權重比例問題，將會成為下一步研究的參考方向。</p>
4	<p>請補充說明材料循環度的評估，是應用</p>	<p>感謝委員建議，關於應用方法的詳細細</p>

項次	審查委員意見	廠商回應
	在取代綠建築標章二氧化碳減量指標中的再生建材比例，還是用以訂定綠建材使用率相關規範。	則仍在研擬中，有待進一步研究才可建構相關規範來判別是否取代綠建築標章二氧化碳減量指標中的再生建材比例，還是用以訂定綠建材使用率相關規範。
5	綠建材表面積使用比例，常使許多材料造成評估上的困難，而循環度是以工程材料費用的比例來計算，較易於評估，且綠建材中的健康應該是普世基本價值，而再生是目前政策與永續生活所強調，因此綠建材使用率與建材循環度不建議同時並存，建議可考量以建材循環度取代綠建材之可行性。	感謝委員建議與肯定，綠建材使用率與建材循環度不建議同時並存此點也仍需更深入的研究才可提出進一步修正方法，兩者並存有一定的相斥性，但也許修正綠建材表面積使用比例的計算方式方能使兩者善意核心理念並存。
6	請補充說明金屬材料為何未列入可再生循環使用之材料。另模板材料若可供多次重複使用，建議可列入循環材。	感謝委員建議，本研究目前以已獲得認證之建材無主，避免有失公平性，如能提供材料的循環證明則也可被納入循環建材計算範圍中。
7	報告書第 83 頁表 4-7 中「水泥粉光」與「貼面磚」，應屬「動作」而非材料，建議修改用語。	感謝委員建議，其項目名稱與分類依據公共工程委會當中公共工程技術資料庫來作為命名。
審查委員：陳專門委員威成（視訊）		
1	報告書第 48 頁末段說明再生綠建材較符合評估循環度對象，但第 54 頁卻是放生態綠建材評定項目，請釐清。另第 49~53 頁所附的表格模糊且無標題，請調整修正。	感謝委員建議，已修正。 詳 P.48~54
2	報告書第 66 頁第 3 行提及廠商無申請再生綠建材，與標題二及表 3-3 之生態綠建材不符，請釐清是否誤繕並修正。	感謝委員指正，第 66 頁第 3 行與標題二及表 3-3 之生態綠建材非誤繕，是生態綠建材總共有 12 個項目可供申請，目前只有一個項目有被申請，其餘 11 個項目因無廠商申請所以沒有被表列，已增列出所有項目。
3	報告書第 100 頁內容提及建築技術規則設計施工「篇」，應修正為「編」；另建議建築構件材料循環度可先於綠建築標	感謝委員指正，誤繕處已進行修正。 感謝委員建議，將會再進一步研究並研擬出在綠建築標章中試行的可能。

項次	審查委員意見	廠商回應
	章中試行。	
4	本案案例計算中，混凝土為複合性材料，請說明是否水泥、骨材或摻料其中一項為循環材，即可視整體混凝土為循環構件。	感謝委員建議，目前國內環保標章中含有水泥與碎石粒料的項目可供申請，也確實有廠商申請，因此混凝土的循環評估也許是可行的，假設採取都必須取得循環材認證的嚴苛標準也許可以進一步帶動國內此類材料再生循環的風氣。
5	報告書第 81 頁有關案例計算數據有以下疑義： (1) 單向構件 $TBCI=3,606/3,606$ ，其分子是否應為 3,603？ (2) 結構建築構件材料循環度 $TBCI=100 \times 3,112,998/26,282,734$ ，請說明其中 26,282,734 數字如何得來？ (3) 表 4-5 中價格(P)及循環度(V/M)之總額列錯誤，請釐清修正。	感謝委員指正： (1) 經確認已修正本項數據為 3,603。 (2) 圖 4-2 中所有項目分子(材料淨價)相加其所得總數即為 26,282,734 (四捨五入後計算結果)，詳 P.87。 (3) 已進行修正。
6	報告書第 86 頁表 4-11 之循環度總額數字請再釐清修正。	感謝委員指正，已進行修正。
審查委員：台灣省建築材料商業同業公會聯合會（王總幹事榮吉）		
1	本案建議可針對國內建築構件之循環材料的使用年限(耐久性)、生命週期進行盤點，並說明現況。	感謝委員建議，納入未來的研究方向與內容中。
2	建議可蒐集日、韓、新加坡等國之建築構件循環材料，俾供未來研究參考。	感謝委員建議，本研究係參考荷蘭與英國艾倫麥克阿瑟基金會等評估方法，進行建築設計之循環度評估計算，今年度以研究中所列舉的項目範圍來尋找相對應的國家策略規範進行評估，未來將再納入其他國家的規範加以進行比較，並建議分階段進行研究，以利研擬出更貼合國情的策略。
3	建議未來可針對再生建材、循環建材之 ESG 發展進行精進調查與研究。	感謝委員建議，未來將逐步努力朝向與 ESG 此世界共同議題接軌的方向邁進。
審查委員：中華民國全國建築師公會（張建築師文瑞）（視訊）		
1	有關改編作業手冊擴大宣導、進一步說明計算原則及考量納入綠建材標章等期	感謝委員建議，完整版公式有賴於相關資料庫的健全，因此目前暫且無法完全

項次	審查委員意見	廠商回應
	中審查意見，均已補充說明，惟強化建築回收材料之負面列舉部分，因難以完整羅列而未能採納，略有遺憾。	被採用確實是遺憾，但未來依舊有健全的可能，仍有賴進一步的研究統計結果。
2	專家學者座談會之會議結論，建議可比照期中審查逐項回應，以利收斂整合。另會議所邀請之 8 位專家學者同質性高，建議未來除產、官、學外，能額外增加「使用者」身分的委員或專家，更能提升說服力。	感謝委員建議，將會考慮在未來的專家學者座談會中邀請回收業者或是再生建材商等專家，提升說服力。
內政部建築研究所—主席（羅組長時麒）：		
1	本案屬前瞻性研究，主要應著重於建築物規劃設計階段導入建築循環設計，而非取代再生綠建材，請補充未來建築物若採循環設計如何進行評估與設計，以供業界參考。	感謝組長建議，從本研究第四章的推擬足以證實，目前的循環度簡化公式可被應用在建築生命週期的設計、施工與維修，而可能會對建築設計上所造成的影響主要在材料的選用上，為達到一定標準的循環度，將會讓設計師需選擇適洽的循環材，也因此需更進一步研究與蒐集各類循環材更細節的清單，此目標有賴更進一步的研究探討。
2	本案應提出建築構件與材料循環度評估之應用與推動建議，請補充說明。	感謝組長建議，已補充說明建築構件與材料循環度評估之應用與推動建議。 詳 P.97~P.99

附錄六 專家諮詢會議紀錄

「建築循環設計構件材料循環度之評估研究」 委託研究計畫專家諮詢會議會議紀錄

- 一、開會時間：111年09月30日(星期五)下午2時0分
- 二、開會地點：財團法人台灣建築中心（線上會議）
- 三、主持人：財團法人台灣建築中心 王副執行長婉芝
財團法人臺灣營建研究院營建
循環經濟推動辦公室 黃執行長榮堯 共同主持
- 四、出席人員：詳簽到單
- 五、紀錄：鄭卉妤（代）
- 六、主席致詞：(略)
- 七、承辦單位計畫說明：(略)
- 八、討論事項：(依發言順序摘錄)

(一) 台灣幸福建築協會 - 江哲銘總顧問

本研究之研究方法，階段性內容已有明確成果，下階段有下列幾點建議：

1. 考慮經可操作之檢驗，提出適當之簡化計算公式。
2. 循環認證之指標、基準及認證流程之建立。
3. 再生及循環構件資料庫之建立。

(二) 內政部營建署管理組 - 高文婷組長

1. 建議增列「管材」為回收再利用的循環度計算項目。
2. 詳細計算方式無意見。
3. 如欲納入建築技術規則綠建築專章成為申請新建的強制規定並納入建築師簽證項目，請考量計算式中部分比例或條款於申請建照之初能否確認，以利執行。

(三) 鄭宜平建築師事務所 - 鄭宜平建築師

1. 加強說明「材料循環度」與「建築物循環度」二者異同之處。
2. 簡報除「使用回收材料」有較詳細說明外，針對「使用階段效能」及「不可回收的廢棄物」兩大領域亦應加強說明。
3. 使用回收材料除以造價金額來判斷其「材料循環度」，可否有其他方式如使用個數、使用面積及使用體積來判斷其「材料循環度」。
4. 可否將建築物以類別來分類，因辦公室或住宅其「材料循環度」，應該是不同，如一起比較，可能有失公允。
5. 可否訂出建築物評估基準，來檢視建築循環度是否達標。
6. 可否訂出建築物各單項(如結構、裝修、敷地)之「材料循環度」基準，以便判斷如何改善或增減其「材料循環度」的技術。
7. 加強完整版技術的說明。

(四) 廖慧燕建築師事務所 - 廖慧燕建築師

1. 本研究案執行單位蒐集國內外資料相當完整，並經分析歸納後提出後續執行建議，研究成果豐碩值得肯定。
2. 贊成研究結論，評估宜採容易執行之方式，因為加強資源循環再利用，降低資源消耗確實很重要；但是就評估之觀點，僅是去衡量執行落實之程度，所以宜抓大放小、簡單易執行，將力量放在落實推動勿將重心放在做一份好的評估計算報告。
3. 研究案提出之評估方式，係以建築物採用再生材料之比例來計算其循環度，惟對於採用鋼結構等可循環再利用極佳及原木、竹構等符合生態之材料，是否宜納入計分；減法設計使用較少的材料達到同樣的空間效益，也是有效減少資源耗用的重要方法，是否亦宜納入考慮，建請再酌。
4. 免疊床架屋，造成業界花費過多時間在相關的評估工作，建議將循環度之評估納入綠建築標章之項目，不要再增設標章或認證等規定。

(五) 勝岳營造有限公司 - 吳宗政主任建築師

1. 在操作容易且易於推廣的考量下，建議採用簡算公式。
2. 示範案例的性能因子如何計算並不清楚，建議再做說明。
3. 提高建材取得相關回收材料標章的認證，及建材回收比例認證機制應用範圍的擴大，可提升循環利用率，相關的課題未來可納入研究。
4. 集合住宅的專有部分，是未來申請循環回收利用率認證所不易掌握的部份，如何評估私有住宅的循環利用率未來可納入研究。
5. 台灣建築目前的循環利用率，在與各國現況的比較中，相對水準如何，未來需要努力的空間有多大，可在研究中敘述，做為推動政策的參考。

(六) 黃漢雄建築師事務所- 黃漢雄建築師

1. 基於環保署已建立營建廢棄物的定義與範疇，並有相關法律規範，因此針對本研究中「不可回收的廢棄物」等相關名詞的定義期望可以給予更明確的解釋，並與台灣現行相關法律規範接軌。
2. 針對大型建築工程或是公共工程有裝修工程發包等問題，其預算表所涵蓋的材料資訊將不完備，也將間接影響整體循環度計算結果。
3. 循環度計算併入室內裝修綠建材比率等相關規範，有機率能減少現今綠建材都採用油漆為主的現象。
4. 可回收綠建材比率建議訂定明確範疇與基準。
5. 原生木材與部分台灣本土再生建材無取得綠建材標章，即便興建建築採用相關建材，卻無法取得相關認證或是達成法律上所要求的綠建材規範。

八、結論

感謝各位專家學者的建議與經驗分享，本研究將參採以上意見進行後續文獻回顧與計算方法之修正。

九、散會 (15時50分)

「建築循環設計構件材料循環度之評估研究」委託研究計畫
專家學者諮詢會議簽到單

壹、會議時間：2022年9月30日 下午2時00分

貳、會議地點：內政部建築研究所13樓簡報室

參、主持人：財團法人台灣建築中心 王婉芝 副執行長 王婉芝

財團法人臺灣營建研究院

營建循環經濟推動辦公室 黃榮堯 執行長/教授 黃榮堯

肆、紀錄：鄭卉婷 (代)

伍、出席人員：

內政部建築研究所 羅時麒組長		廖慧燕建築師事務所 廖慧燕建築師	
內政部建築研究所 王家瑩副研究員	<u>王家瑩</u>	鄭宜平建築師事務所 鄭宜平建築師	<u>鄭宜平</u>
內政部營建署管理組 高文婷組長	<u>高文婷</u>	財團法人台灣建築中心 侯雅壺經理	<u>侯雅壺</u>
台灣幸福建築會 江哲銘總顧問	<u>江哲銘</u>	財團法人台灣建築中心	
勝岳營造有限公司 吳宗政主任建築師	<u>吳宗政</u>	<u>廖慧燕</u>	
黃漢雄建築師事務所 黃漢雄建築師	<u>黃漢雄</u>		

「建築循環設計構件材料循環度之評估研究」

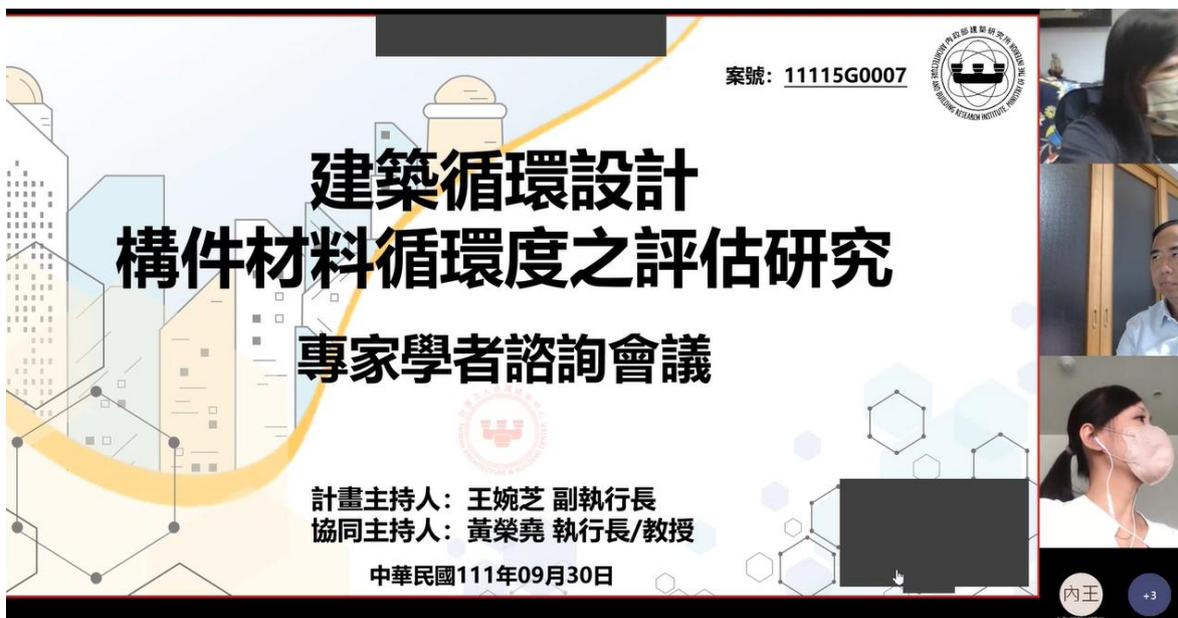
專家學者諮詢會議

線上視訊會議紀錄

會議時間：2022年09月30日 下午2時

專家學者名單：(1) 高文婷組長 (2) 江哲銘總顧問 (3) 鄭宜平建築師

(4) 廖慧燕建築師 (5) 吳宗政主任建築師 (6) 黃漢雄建築師



參考資料

中文文獻

- [1] 台灣建築報導雜誌社 (2019)。綠建築 (58 期)。
- [2] 江哲銘 (2004)。永續建築導論 Introduction to sustainable building。建築情報季刊雜誌社。
- [3] 吳振華 (2018 年 9 月)。考察國際循環經濟週 Holland Circular Economy Week(HCEW)活動，參訪荷蘭與德國設計相關單位。經濟部工業局出國報告書。
- [4] 呂良正、林玟慧、張芸翠 (2019)。建立新建築循環設計之策略。營建知訊，(441)，6-19。
- [5] 財團法人環境與發展基金會 (2018 年 12 月)。綠建材循環經濟產業鏈結推廣計畫。內政部建築研究所業務委託計畫成果報告。
- [6] 馬鴻文、張添晉、鄭兆凱、劉柏定、廖孟儀、施秀靜、陳必晟、鄭光利、李昀晟、侯乃華、江佳芸、陳立衡、陳起鳳、卓瑜玉、蕭明瑜、黃思瑋、吳積承、洪毅翔、徐佳駿、.....、黃玠然 (2018)。循環經濟系列叢書。財團法人中技社。
- [7] 國立臺灣大學土木工程學系(2021)。第 25 屆營建工程與管理學術研討會暨國際會議手冊。
- [8] 張子敬、賴瑩瑩、林淑鈴、何春玲、盧秀卿、湯鎔毓、王瑞鎰、游惇蓉 (2020 年 2 月 12 日)。參加「2019 臺歐盟循環經濟研討會暨參訪交流」。行政院環境保護署出國報告書。
- [9] 荷蘭貿易暨投資辦事處、財團法人臺灣營建研究院 (2019)。荷謂循環：從花博荷蘭館看臺灣營建業。
- [10] 黃育徵、陳惠琳 (2021)。循環台灣。天下雜誌股份有限公司。
- [11] 黃榮堯 (2017)。營建產業在國家循環經濟發展的角色與推動思維。混凝土科技，十一(四)。
- [12] 臺北市政府 (2020)。臺北市循環城市 2.0 白皮書。臺北市政府產業發展局。
- [13] 羅開元 (2020)。臺北市政府循環經濟推動策略與方向 (簡報)。BIM 資訊管理與循環營建之推動實務研討會。

英文文獻

- [14] Ben Kubbinga, Aglaia Fischer, Elisa Achterberg, Shyaam Ramkumar, Marc de Wit (Circle Economy), Petran van Heel, Bram van Amerongen, Madeline Buijs, Hein Brekelmans (ABN AMRO). (2017). *A Future-Proof Built Environment*. ABN AMRO & Circle Economy.
- [15] Ben Kubbinga, Max Bamberger, Edwin van Noort, Dirk van den Reek, Merlijn Blok, Gerard Roemers, Justin Hoek, Kees Faes. (2018).

- A-Framework-For-Circular-Buildings: indicators for possible inclusion in BREEAM*. Circle Economy, DGBC, Metabolic, SGS Search and Redevco Foundation.
- [16]Christine Ruiz Durán, Dr. Christine Lemaitre, Dr. Anna Braune, Ulrike von Gemmingen, Manuel Schwarz, Felix Jansen, Cornelius Würfel, Katrin Fischer, Raphael Montigel. (2019). *Circular Economy: Closing loops means being fit for the future*, DGNB.
- [17]Ellen Macarthur Foundation & Arup. (2018). *The Circular Economy Opportunity For Urban & Industrial Innovation In China*, Ellen Macarthur Foundation & Arup. 循環經濟：中國城市與工業的創新機遇(中文報告)。
- [18]Ellen Macarthur Foundation & Arup. (2019). *Circular economy in cities: Urban buildings system summary*.
- [19]Elma Durmisevic. (2019). *Circular economy in construction: Design strategies for reversible buildings*. BAMB document.
- [20]European Commission. (2012). *Manifesto for a Resource-Efficient Europe*.
- [21]European Commission. (2015). *Closing the loop – An EU action plan for the Circular Economy*.
- [22]European Parliament. (2018). *Circular economy package (Four legislative proposals on waste)*.
- [23]European Commission. (2020). *A new Circular Economy Action Plan For a cleaner and more competitive Europe*.
- [24]European Commission. (2020). *Circular Economy – Principles for Building design*.
- [25]Guglielmo Carra & Nitesh Magdani. (2017). *Circular economy business models for the Built Environment*. Arup & BAM.
- [26]International Resource Panel (2020). *Resource Efficiency and Climate Change: Material Efficiency Strategies for a Low-Carbon Future*. Hertwich, E., Lifset, R., Pauliuk, S., Heeren, N. A report of the International Resource Panel. United Nations Environment Programme, Nairobi, Kenya.
- [27]United Nations Environment Programme. (2019). *2019 Global Status Report for Buildings and Construction*.
- [28] communication from the commission to the european parliament, the council, the european economic and social committee and the committee of the regions on a monitoring framework for the circular economy, COM/2018/029, final. [Online]. [Accessed 07 Dec 2021] Available from:<https://eur-lex.europa.eu/>

網路資料

1. 台糖循環聚落。2021年11月19日，檢自：
<https://bioarchbaf.wixsite.com/circular-village-cn>
2. 行政院環境保護署廢管處（2019年12月10日）。「2019年臺歐盟循環經濟研討會」隆重登場。2021年3月5日，檢自：
<https://enews.epa.gov.tw/Page/3B3C62C78849F32F/427dd786-ab25-41c6-ad66-4fadce19fc15>
3. 李翰林（2017）。你真的做到「循環經濟」了嗎？。2021年1月8日，檢自：
<https://www.cet-taiwan.org/publication/issue/content/2969> (Jan. 8, 2021)
4. 荷蘭國家館：綠城阿梅爾網頁。2021年5月13日，檢自：
<http://holland-pavilion.ntio.org.tw/>
5. 經濟部循環經濟推動辦公室。2021年1月4日，檢自：<https://cepo.org.tw/>
6. 緊急部署檢疫醫院原型設計 QurE。2021年7月7日，檢自：
<https://qure.gs.ncku.edu.tw/>
7. 臺灣搖籃到搖籃平台 C2CTW。【荷蘭】【建築。景觀規劃】搖籃到搖籃社區共同體 - Park 20|20 永續園區。2021年1月4日，檢自：
<https://www.c2cplatform.tw/>
8. 環保署全民綠生活
<https://greenlife.epa.gov.tw/greenLabel/GreenMarkIntroHistory>
9. 產品綠色驗證檢索平台
<https://cogp.greentrade.org.tw/%E9%A9%97%E8%AD%89%E4%B8%80%E8%A6%BD/109>
10. SCS 官網
<https://zh.scsglobalservices.com/services/recycled-content-certification>
11. Nikkei 日本經濟新聞（2020年9月29日）。三井不動産と竹中工務店、日本橋にて木造賃貸オフィスビル計画検討に着手。2021年2月25日，檢自：
https://www.nikkei.com/article/DGXLRSP540942_Z20C20A9000000/
12. Amp capital office & logistics. Quay Quarter Sydney. Retrieved Oct 7, 2021, from <https://www.quayquartersydney.com.au/workplaces/quay-quarter-tower>
13. Archello. Park 20 | 20: Buildings are only as good as the products you make them. Retrieved Mar 10, 2021, from <https://archello.com/project/park-2020-2>
14. Architizer. City Hall Venlo // Kraaijvanger Architects. Retrieved Sep 12, 2021, from <https://architizer.com/blog/projects/stadskantoor-venlo/>
15. Bureau SLA, People's Pavilion. Retrieved Sep 22, 2021, from <https://www.bureausla.nl/project/peoples-pavilion/>
16. C2Cvenlo. City Hall Venlo. Retrieved Sep 9, 2021, from <http://c2cvenlo.nl/en/home/>
17. Circl. About circl. Retrieved Jan 7, 2021, from <https://circl.nl/>

18. Cie. Circl : practical circular philosophy. Retrieved Jan 7, 2021, from <https://cie.nl/circl?lang=nl>
19. Cradle to Cradle. Maison du projet de la Lainière. Retrieved Apr 13, 2021, from <https://c2c-buildings.net/projects/maison-du-projet-de-la-lainiere/>
20. De Ceuvel. What is De Ceuvel? Retrieved Mar 16, 2021, from <https://deceuvel.nl/nl/>
21. GXN. Quay Quarter Tower: How do we humanize the high-rise?. Retrieved Oct 8, 2021, from <https://3xn.com/project/quay-quarter-tower-2>
22. Kaden+Lager. SKAIO – das höchste Haus Deutschlands in Holzbauweise. Retrieved May 14, 2021, from <http://www.kadenundlager.de/projects/skaio/>
23. Lacaton & Vassal. Transformation de 530 logements, bâtiments G, H, I, quartier du Grand Parc - Lacaton & Vassal, Druot, Hutin Transformation of 530 dwellings, block G, H, I. Retrieved May 7, 2021, from <https://www.lacatonvassal.com/index.php?idp=80>
24. Lendager (2018, Sep 17) . UN17 village. Retrieved Apr 22, 2021, from <https://lendager.com/en/>
25. Lucy Wang(2018, Apr 10). Sustainable ‘circular economy’ principles inform Amsterdam’s flexible Circl pavilion. Retrieved Jan 11, 2021, from <https://inhabitat.com/sustainable-circular-economy-principles-inform-amsterdam-s-flexible-circl-pavilion/>
26. Moringa GmbH. Moringa Hamburg. Retrieved Mar 25, 2021, from <https://moringa.eco/>
27. RISE & WIN Brewing co. BBQ & General Store. Retrieved Sep 14, 2021, from <https://www.kamikatz.jp/en/toppage.html>
28. Wermer Sobek, Dirk E. Hebel, Felix Heisel. (2018). Urban Mining and Recycling. Retrieved May 24, 2021, from <http://nest-umar.net/>
29. William McDonough+Partners. First Circular Economy Development. Retrieved Aug 10, 2021, from <https://mcdonoughpartners.com/projects/park-2020-master-plan/>
30. World Green Building Council. William McDonough’s ICEhouse constructed for fifth time at World Economic Forum Meeting in Davos. Retrieved Sep 15, 2021, from <https://www.worldgbc.org/news-media/william-mcdonough%E2%80%99s-icehouse-constructed-fifth-time-world-economic-forum-meeting-davos>
31. ZÜ BLIN Timber. SKAIO Residential Building, Heilbronn. Retrieved Jul 17, 2021, from <https://www.zueblin-timber.com/en/references/multi-storey-construction/skaio-residential-building-heilbronn.html>

32. .Retrieved Dec 22, 2021,
from <https://ec.europa.eu/eurostat/web/circular-economy/indicators/monitoring-framework>
33. 2021/12/24
<https://proj.ftis.org.tw/isdn/Message/MessageView?id=1308&mid=57>
34. Brand, S. (1994). *How buildings learn: What happens after they're built*. New York: Penguin.
35. 姚志廷、許智勝 (2019 年 12 月)。國內外循環綠建材推動策略之探討。內政部建築研究所自行研究報告。

CB'23Platform. (2020). *Guide for measuring circularity: working agreements for circular construction version 2.0*. Platform CB'23.

Cottafava, D., & Ritzen, M. (2021). *Circularity indicator for residential buildings: Addressing the gap between embodied impacts and design aspects*. *Resources, Conservation & Recycling*(164).
doi:<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105120>

Cradle to Cradle Products Innovation Institute. (2016). *Cradle to cradle certified product standard*(Version 3.1).

Cradle to Cradle Products Innovation Institute. (2016). *搖籃到搖籃產品認證標準* (V3.1 版)(中文版本).

Cradle to Cradle Products Innovation Institute. (2021). *Cradle to cradle certified product standard*(Version 4.0).

Ellen MacArthur Foundation. (2012). *Towards the Circular Economy 1: Economic and Business Rationale for an Accelerated Transition*. Retrieved from <https://ellenmacarthurfoundation.org/towards-the-circular-economy-vol-1-an-economic-and-business-rationale-for-an>

Ellen MacArthur Foundation. (n.d.). *Circular economy diagram*. Retrieved from Ellen MacArthur Foundation:
<https://ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy-diagram>

Ellen MacArthur Foundation, & ANSYS Granta. (2019). *Circularity indicators methodology: an approach to measuring circularity*.

Elma DURMISEVIC. (2006). *Transformable building structures: Design for disassembly as a way to introduce sustainable engineering to building design & construction*.

eurostat. (2021 年 12 月 22 日).

<https://ec.europa.eu/eurostat/web/circular-economy/indicators/monitoring-framework>.

- GonzalezArнау, SendraCristina, HerenaAntoni, RosquillasMonica, & VazDiana. (2021). Methodology to assess the circularity in building construction and refurbishment activities. *Resources, Conservation & Recycling Advances*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rcradv.2021.200051>
- HanQi, ZhangNuo, & de VriesBauke. (無日期). Building Circularity Assessment in the Architecture, Engineering, and Construction Industry: A New Framework. KirchherrJulian, ReikeDenise, & HekkertMarko. (2017 年 9 月 15 日). Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation & Recycling*, 頁 221-232. doi:<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005>
- Rigamonti, L., & Mancini, E. (2021, 9 7). Life cycle assessment and circularity indicators. *The international Journal of Life Cycle Assessment*. doi:<https://doi.org/10.1007/s11367-021-01966-2>
- SchaikvanC.W. (2019). Circular building foundations: A structural exploration of the possibilities for making building foundations contribute to a circular economy. Delft University of Technology.
- UnionEuropean. (2018). Circular material use rate: calculation method. Luxembourg: Publications office of the european union. doi:10.2785/132630
- 行政院環保署. (2022 年 2 月 23 日). 國家層級物質流指標公開成果. 擷取自 資源循環分析系統: <https://smmdb.epa.gov.tw/SMM/WebPage/enter.aspx>
- 行政院環境保護署. (2019). 物質流指標計算操作手冊.

建築循環設計構件材料循環度之評估研究

出版機關：內政部建築研究所

電話：(02) 89127890

地址：新北市新店區北新路3段200號13樓

網址：<http://www.abri.gov.tw>

編者：王婉芝、黃榮堯、紀宏穎、林維欣、陳怡安

出版年月：111年12月

版次：第1版

ISBN：978-626-7138-45-8(平裝)