

創新低碳綠建築環境科技計畫協同研究計畫(二)
建築基地保水設施經濟有效性分析架構研擬

內政部建築研究所
105 年度
資料蒐集分析報告

建築基地保水設施經濟有效性分
析架構研擬
資料蒐集分析報告

內政部建築研究所協同研究報告

中華民國 105 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)

計畫編號：10515B0002

建築基地保水設施經濟有效性分 析架構研擬 資料蒐集分析報告

研究主持人： 陳伯勳

協同主持人： 廖朝軒

研究員： 邱寶慧、林霧霆、徐虎嘯、林育新

研究助理： 黃偉民、江育銓、曹思儀

研究期程： 中華民國 105 年 2 月至 105 年 12 月

內政部建築研究所協同研究報告

中華民國 105 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	VII
摘要	XI
第一章 緒論	1
第一節 研究緣起與背景	1
第二節 研究方法與步驟	4
第三節 小結	9
第二章 文獻蒐集與分析探討	11
第一節 基地保水設施及規範	11
第二節 基地保水設施衍生效益	19
第三節 效益分析方法	26
第四節 成本估算方法	30
第三章 基地保水設施經濟有效性分析架構	33
第一節 基地保水設施效益分類	33
第二節 市場價值經濟效益分類	38
第三節 可量化效益理論計算公式	48
第四節 初擬簡易效益計算系統工具	62
第四章 基地保水設施設置成本估算分析	67
第一節 設置成本估算分析	67

第二節 成本單價分析.....	69
第三節 成本回歸分析.....	81
第五章 結論與建議	125
第一節 結論.....	125
第二節 建議.....	128
附錄一 會議記錄	131
參考書目	143

表次

表 2-1	保水項目之保水量計算及變數說明	19
表 2-2	都市綠色空間提供功能	21
表 2-3	日本雨水滲透效益表	22
表 3-1	各建築基地保水設施提供效益分類表	36
表 3-2	不同量化效益分類與定義	38
表 3-3	估算效益經濟價值步驟	40
表 3-4	水資源效益價值計算步驟	48
表 3-5	水資源市場價格	50
表 3-6	能源效益價值計算步驟	51
表 3-7	基隆、台北、台中、台南之年平均度日數	53
表 3-8	國內電價與各能源發電成本	54
表 3-9	空氣品質改善效益價值計算步驟	55
表 3-10	屋頂綠化吸收/沉積標準污染物的範圍	56
表 3-11	美國林務局公告收費標準	57
表 3-12	空氣污染防制費收費辦法	57
表 3-13	本研究計算出國內收費標準	58
表 3-14	溫室氣體減少效益價值計算步驟	59
表 3-15	植栽二氧化碳的固定量	60
表 3-16	碳封存成本與碳交易價格	61
表 4-1	被覆地、綠地、草溝成本分析表	69

表 4-2	透水混凝土磚成本分析表	71
表 4-3	透水混凝土鋪面成本分析表	72
表 4-4	多孔隙瀝青鋪面成本分析表	72
表 4-5	非連續拼接或鏤空鋪面成本分析表	73
表 4-6	粗放型屋頂綠化成本分析表	77
表 4-7	精緻型屋頂綠化成本分析表	78
表 4-8	透水車道磚直接工程成本(含包商利潤)	82
表 4-9	透水車道磚直接工程成本(含包商利潤、圍籬).....	83
表 4-10	透水車道磚直接工程成本(含包商利潤、拆除清運)	84
表 4-11	透水車道磚直接工程成本(含包商利潤、圍籬、拆除清運)	85
表 4-12	透水車道磚直接工程(含包商利潤)及間接工程成本	86
表 4-13	透水車道磚直接工程(含包商利潤、圍籬)及間接工程成本.....	87
表 4-14	透水車道磚直接工程成本(含包商利潤、拆除清運)	88
表 4-15	透水車道磚直接工程(含包商利潤、圍籬、拆除清運)及間接工程成本.....	89
表 4-16	植草磚直接工程成本(含包商利潤)	90
表 4-17	植草磚直接工程成本(含包商利潤、圍籬)	91
表 4-18	植草磚直接工程成本(含包商利潤、拆除清運).....	92
表 4-19	植草磚直接工程成本(含包商利潤、圍籬、拆除清運)	93
表 4-20	植草磚直接工程(含包商利潤)及間接工程成本.....	95

表 4-21 植草磚直接工程(含包商利潤、圍籬)及間接工程成本	96
表 4-22 植草磚直接工程成本(含包商利潤、拆除清運).....	97
表 4-23 植草磚直接工程(含包商利潤、圍籬、拆除清運)及間 接工程成本.....	98
表 4-24 水泥連鎖磚直接工程成本(含包商利潤)	99
表 4-25 水泥連鎖磚直接工程成本(含包商利潤、圍籬)....	100
表 4-26 水泥連鎖磚直接工程成本(含包商利潤、拆除清運)	101
表 4-27 水泥連鎖磚直接工程成本(含包商利潤、圍籬、拆除 清運)	102
表 4-28 水泥連鎖磚直接工程(含包商利潤)及間接工程成本	104
表 4-29 水泥連鎖磚直接工程(含包商利潤、圍籬)及間接工程 成本.....	105
表 4-30 水泥連鎖磚直接工程成本(含包商利潤、拆除清運)	106
表 4-31 水泥連鎖磚直接工程(含包商利潤、圍籬、拆除清運) 及間接工程成本.....	107
表 4-32 屋頂綠化(薄層)直接工程成本(含包商利潤).....	109
表 4-33 屋頂綠化(薄層)直接工程成本(含包商利潤、圍籬)	109
表 4-34 屋頂綠化(薄層)直接工程成本(含包商利潤、拆除清 運)	110
表 4-35 屋頂綠化(薄層)直接工程成本(含包商利潤、圍籬、 拆除清運)	111
表 4-36 屋頂綠化(薄層)直接工程(含包商利潤)及間接工程成 本.....	112

表 4-37 屋頂綠化(薄層)直接工程(含包商利潤、圍籬)及間接工程成本.....	112
表 4-38 屋頂綠化(薄層)直接工程成本(含包商利潤、拆除清運).....	113
表 4-39 屋頂綠化(薄層)直接工程(含包商利潤、圍籬、拆除清運)及間接工程成本.....	114
表 4-40 屋頂綠化(厚層)直接工程成本(含包商利潤).....	116
表 4-41 屋頂綠化(厚層)直接工程成本(含包商利潤、圍籬)	116
表 4-42 屋頂綠化(厚層)直接工程成本(含包商利潤、拆除清運).....	117
表 4-43 屋頂綠化(厚層)直接工程成本(含包商利潤、圍籬、拆除清運).....	118
表 4-44 屋頂綠化(厚層)直接工程及間接工程成本.....	120
表 4-45 屋頂綠化(厚層)直接工程(含包商利潤、圍籬)及間接工程成本.....	120
表 4-46 屋頂綠化(薄層)直接工程成本(含包商利潤、拆除清運).....	121
表 4-47 屋頂綠化(厚層)直接工程(含包商利潤、圍籬、拆除清運)及間接工程成本.....	122

圖次

圖 1-1	研究流程圖	8
圖 1-2	研究進度甘地圖	9
圖 2-1	綠地、被覆地、草溝設施實例	12
圖 2-2	國內常用之透水鋪面種類	14
圖 2-3	花園土壤雨水截留設計(屋頂綠化)實例	14
圖 2-4	貯集滲透空地或景觀貯留滲透水池實例	15
圖 2-5	地下貯留滲透設計—組合式蓄水框架實例	16
圖 2-6	滲透管實例	17
圖 2-7	滲透陰井實例	17
圖 2-8	滲透側溝實例	18
圖 3-1	估算可量化效益經濟價值理論架構	39
圖 3-2	水資源節約效益理論架構	41
圖 3-3	能源節省效益理論架構	42
圖 3-4	空氣品質改善效益理論架構	43
圖 3-5	溫室氣體減少效益理論架構	44
圖 3-6	綠地、被覆地、草溝估算模組	63
圖 3-7	透水鋪面估算模組	64
圖 3-8	屋頂綠化估算模組	65
圖 4-1	透水車道磚直接工程成本回歸(含包商利潤)	82
圖 4-2	透水車道磚直接工程成本回歸(含包商利潤、圍籬)83	

圖 4-3	透水車道磚直接工程成本回歸(含包商利潤、拆除清運).....	84
圖 4-4	透水車道磚直接工程成本回歸(含包商利潤、圍籬、拆除清運).....	85
圖 4-5	透水車道磚直接工程 (含包商利潤) 及直接工程成本回歸.....	86
圖 4-6	透水車道磚直接工程 (含包商利潤、圍籬)及直接工程成本回歸.....	87
圖 4-7	透水車道磚直接工程 (含包商利潤、拆除清運)及直接工程成本回歸.....	88
圖 4-8	透水車道磚直接工程(含包商利潤、圍籬、拆除清運)及間接工程成本回歸.....	89
圖 4-9	植草磚直接工程成本回歸(含包商利潤)	91
圖 4-10	植草磚直接工程成本回歸(含包商利潤、圍籬).....	92
圖 4-11	植草磚直接工程成本回歸(含包商利潤、拆除清運).....	93
圖 4-12	植草磚直接工程成本回歸(含包商利潤、圍籬、拆除清運)	94
圖 4-13	植草磚直接工程 (含包商利潤) 及直接工程成本回歸.....	95
圖 4-14	植草磚直接工程 (含包商利潤、圍籬)及直接工程成本回歸.....	96
圖 4-15	植草磚直接工程 (含包商利潤、拆除清運)及直接工程成本回歸.....	97
圖 4-16	植草磚直接工程(含包商利潤、圍籬、拆除清運)及間接工程成本回歸.....	98

圖 4-17	水泥連鎖磚直接工程成本回歸(含包商利潤)	100
圖 4-18	水泥連鎖磚直接工程成本回歸(含包商利潤、圍籬).....	101
圖 4-19	水泥連鎖磚直接工程成本回歸(含包商利潤、拆除清運)	102
圖 4-20	水泥連鎖磚直接工程成本回歸(含包商利潤、圍籬、拆除清運)	103
圖 4-21	水泥連鎖磚直接工程 (含包商利潤) 及直接工程成本回歸.....	104
圖 4-22	水泥連鎖磚直接工程 (含包商利潤、圍籬)及直接工程成本回歸.....	105
圖 4-23	水泥連鎖磚直接工程 (含包商利潤、拆除清運)及直接工程成本回歸.....	106
圖 4-24	水泥連鎖磚直接工程(含包商利潤、圍籬、拆除清運)及間接工程成本回歸.....	107
圖 4-25	屋頂綠化(薄層)直接工程成本回歸(含包商利潤).	109
圖 4-26	屋頂綠化(薄層)直接工程成本回歸(含包商利潤、圍籬)	110
圖 4-27	屋頂綠化(薄層)直接工程成本回歸(含包商利潤、拆除清運)	110
圖 4-28	屋頂綠化(薄層)直接工程成本回歸(含包商利潤、圍籬、拆除清運)	111
圖 4-29	屋頂綠化(薄層)直接工程 (含包商利潤) 及直接工程成本回歸.....	112
圖 4-30	屋頂綠化(薄層)直接工程 (含包商利潤、圍籬)及直接工程成本回歸.....	113

圖 4-31 屋頂綠化(薄層)直接工程 (含包商利潤、拆除清運)及直接工程成本回歸.....	114
圖 4-32 屋頂綠化(薄層)直接工程(含包商利潤、圍籬、拆除清運)及間接工程成本回歸	115
圖 4-33 屋頂綠化(厚層)直接工程成本回歸(含包商利潤)..	116
圖 4-34 屋頂綠化(厚層)直接工程成本回歸(含包商利潤、圍籬)	117
圖 4-35 屋頂綠化(厚層)直接工程成本回歸(含包商利潤、拆除清運)	118
圖 4-36 屋頂綠化(厚層)直接工程成本回歸(含包商利潤、圍籬、拆除清運)	119
圖 4-37 屋頂綠化(厚層)直接工程 (含包商利潤) 及直接工程成本回歸.....	120
圖 4-38 屋頂綠化(厚層)直接工程 (含包商利潤、圍籬)及直接工程成本回歸.....	121
圖 4-39 屋頂綠化(厚層)直接工程 (含包商利潤、拆除清運)及直接工程成本回歸.....	122
圖 4-40 屋頂綠化(厚層)直接工程(含包商利潤、圍籬、拆除清運)及間接工程成本回歸	123

摘要

關鍵詞：基地保水、效益評估、成本效益

一、研究緣起

為改善都市化問題及增加都市水循環，在內政部建築研究所於綠建築的評估體系中推動基地保水，以「基地保水指標」來定量化評估基地中雨水涵養的能力，以有效改善日漸惡化的都市水循環問題。「基地保水指標」為建築基地涵養水分及貯集滲透雨水的功能。基地的保水性能愈佳時，基地涵養雨水的功能愈好，有益於土壤內微生物的活動，進而改善土壤之有機品質並滋養植物，對生態環境有莫大助益，這是人類居住環境中不可或缺的生態指標。

《建築基地保水設計規範》可提供規劃者在規劃中選擇與設計基地保水設施，然而在規劃設計中，雖然國內有許多研究報告針對基地保水設施在建築基地的建造成本有進行分析，卻缺乏各種設施初期投資成本及其他相關之長期成本資料。同樣對基地保水設施所產生的效益評價，尤其對定量金錢價值的研究相對較缺乏，且對這些設施所衍生的效益估算較少觸及，而部分研究僅對單一效益進行評價，對綜合性的效益較少提及。

因為缺乏建築基地保水設施經濟有效性評價的方法及成本效益值，建築師或規劃師在進行基地保水設施的遴選及改善時，無法進行成本效益的分析，且在遴選建築基地保水設施或對基地進行改造時也缺乏決策依據。本研究的主要目的即在提供這方面的參考。

目前基地保水設施分為常用保水設計、特殊保水設計及其他，共八個方法，依據建研所 103 年度《建築基地保水指標檢討及透水鋪面現況評估與規劃設計》、104 年度《建築基地保水現況分析及設計技術規範檢討與修訂之研究》研究結果發現，國內較常使用的基地保水設施為：Q₁ 綠地、被覆地、草溝，Q₂ 透水鋪面，Q₃ 花園土壤(屋頂綠化)為主，故本研究以此三種基地保水設施為主要研

研究對象。擬對國內外基地保水設施經濟有效性分析、成本估算方法、效益、相關研究及計算公式等資料進行蒐集、彙整、分析比較，並進行相關探討。透過本計畫之研究探討、案例分析，除了預期完成經濟有效性分析架構、建立簡易效益評價模式及成本估算方法，進而建立簡易且可操作的計算程序，本研究之經濟有效性分析架構可供建築師或規劃師在做基地保水設施遴選或社區進行保水設施更新決策之參考。

二、研究方法及過程

研究內容初步之 6 項研究內容，研究案之工作項目如下：

1. 收集國內外有關基地保水設施經濟有效性分析文獻及研究報告。
2. 比較遴選適合國內之基地保水設施經濟有效性分析架構。
3. 比較遴選適合國內之成本估算方法或函數
4. 明確基地保水設施之直接效益及其衍生效益內容。
5. 分別建立基地保水設施所產生之效益量化計算公式包括水文效益、節能效益、空氣污染改善效益等。
6. 依據本計畫建立之效益計算公式進而建立簡易且可操作的計算程序。

然而藉由本計畫之研究探討、案例分析，除了預期完成經濟有效性分析架構、建立簡易效益評價模式及成本估算方法，進而建立簡易且可操作的計算程序，本研究之經濟有效性分析架構可供建築師或規劃師在做基地保水設施遴選或社區進行保水設施更新決策之參考。

三、重要發現

由文獻收集探討，獲知國內外基地保水設施效益探討多較偏於四大項水文效益、節能效益、環境生態效益及社會效益，並利用常見之三種經濟效益分析（市場價值法、替代市場價值法及能值分析法）評估其效益及量化，本研究彙整各效益可估計種類及公式，如：綠地、被覆地、草溝及透水鋪面在水文效益量化上可估計其減少之逕流量；環境生態效益量化可估計減少空氣污染物、減少碳排放量，減緩溫室效應。屋頂綠化在水文效益量化上可估計其減少之逕流量；節能效益量化可估計減少用電量、減少天然氣使用量；環境生態效益量化可估計減少空氣污染物、減少碳排放量，減緩溫室效應。文獻資料得知國內外有相關量化計算公式，如美國截水量簡易公式為年平均降雨量*設施面積*雨水截留率，其公式較綠建築基地保水指標計算公式簡易且參數容易取得，初步評估其效益利用經濟效益評估的方法可將其量化。

基地保水設施所提供之效益可分成兩類，可量化與不可量化，可量化為利用市場價值法用效益市場價格來估算效益的經濟價值，如水資源效益、能源效益等，不可量化為利用市場價值法通過人們的主觀判斷，評價效益的經濟價值，如社區可居住性、生物棲息地改善等。建立經濟效益理論架構得估算步驟來建立量化效益的理論公式，收集建築基地保水設施效益相關參數與市場價格數據進行估算基地保水設施效益的經濟總價值，依據已建立之量化理論公式與市場價值理論公式，初擬簡易效益計算系統架構。

成本分析方面由國內外文獻資料得知成本分析方法探討常用的可分為：靜態成本計算法、動態成本分析法及生命週期成本法。本研究以靜態成本計算法分析基地保水設施建置成本，分為建置成本單價分析及成本回歸分析；初步評估國內三項技術「被覆地、綠地、草溝」、「透水鋪面」及「屋頂綠化」等其建置成本單價分析，並以分述說明「設置成本」、「生命週期」、「維護成本」及「更新成本」三部分。初步針對「被覆地、綠地、草溝」參考諮詢各廠商所提供施作材料與工資等單價成本範圍及案例，獲取其資料平均為建置單位成本（元/m²），每平方公尺約 3,500~4,500 元左右，視材料及結構深度有所變化；一般生命週期約 25 年；維護成本每 100 平方公尺約 1,000~1,200 元；草溝部分則假設每 10 年需要更新是指植物部分（亦指假設為每平方公尺 809 元更新費）。「透水鋪面」係透水混凝土磚、透水混凝土鋪面、多孔隙瀝青鋪面及非連續拼接或鏤空鋪面等之成本分

析，每平方公尺透水鋪面約 1,800~2,500 元左右，視結構深度、材質及類型會有所變化；透水性鋪面在適當安裝和維護下，其使用壽命約可達 15~20 年；維護成本高壓水柱沖洗約每平方公尺 30 元；澆置型約 2 至 3 年需要更新一次，更新成本假設與設置成本相同；鋪磚型約 1 至 2 年需要更新一次，更新成本假設與設置成本相同。「屋頂綠化」每平方公尺綠屋頂約 3,000~9,000 元左右，視採用類型、植栽種類及材料有所變化；其使用壽命約可達 15~20 年；維護成本前 2 年應至少每季修剪及清除雜草 1 次，而後應每年進行 1 次，每次 5,000~6,000 元；每 5~8 年更換滴灌系統馬達，每次 10,000 元；每 15 年需要更新是指植物部分（亦指假設為每平方公尺 160~1,750 元更新費）。

成本回歸分析部份，本研究蒐集建築中心執行之”綠建築更新診斷與改造計畫”有關基地保水設施的相關案例做迴歸分析。蒐集之案例預算經費在估算時因材料及工費及雜項、運輸等細項不易拆開估算，故蒐集所得成本皆為含工帶料的平均概估資料，並將工程經費分為直接工程及間接工程二大項目。迴歸分析結果得知建置成本有規模效益存在，面積越大其單價越低，反之，面積越小其單價越高，成本迴歸分析結果可供推廣基地保水設施建設時之經費供預建置者參考。

四、主要建議事項

建議一

基地保水設施成本效益評估計算系統建置：立即可行建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：內政部營建署

本年度初步擬出效益計算系統架構及蒐集設施市場價格，建議後續可針對成本效益評估程序探討，建立成本效益架構、流程，以及連結相關計算模組等，進以完整建構成本效益評估計算系統，供推廣基地保水設施建設時可獲得之效益及經費供預建置者參考。

建議二

與 GIS 結合推廣基地保水設施建構案例資訊查詢平台：立即可行建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：內政部營建署

歷年來內政部建築研究所已補助完成的綠廳舍改建計畫、綠建築等，研究推廣上卻缺少案例查詢平台供民眾、建築師、設計師等參考，必要將歷年來內政部建築研究所基地保水設施相關計畫案例整合 E 化管理，結合 GIS 相關空間資訊建置基地保水設施案例資訊查詢平台推動成果，推廣基地保水設施技術普及化及制度化，方能提昇作業品質與執行成效。

第一章 緒論

第一節 研究緣起與背景

壹、研究緣起

近年來，都市土地開發利用造成不透水面積的大量增加，使都市水文循環遭到破壞，不僅蒸發散量減少，引發都市熱島效應，亦使地表入滲量減少，造成都市雨洪機會增加及地下水環境生態嚴重破壞；故如何減少不透水面積造成之負面影響，提升水文循環生態，是近年各國積極努力的目標。

建築基地保水設施的主要目的在改善工程環境、調節環境氣候、降低區域洪峰、減少洪水發生機率達到建築基地涵養雨水及貯留滲透雨水的效益。這些保水設施具有多種不同的生態，經濟及社會效益或功能，近年來在綠建築的設計中也被大量的採用，除了前述水文環境的影響外，其對能源消耗的減少、空氣品質的改善、碳足跡的削減、不動產價值、遊憩及對社區宜居性都會產生定量及社會的價值，同時基地保水設施面對氣候變遷能提供相當彈性的調適需要。

《建築基地保水設計規範》可提供規劃者在規劃中選擇與設計基地保水設施，然而在規劃設計中，雖然國內有許多研究報告針對基地保水設施在建築基地的建造成本有進行分析，卻缺乏各種設施初期投資成本及其他相關之長期成本資料。同樣對基地保水設施所產生的效益評價，尤其對定量金錢價值的研究相對較缺乏，且對這些設施所衍伸的效益估算較少觸及，而部分研究僅對單一效益進行評價，對綜合性的效益較少提及。

因為缺乏建築基地保水設施經濟有效性評價的方法及成本效益值，建築師或規劃師在進行基地保水設施的遴選及改善時，無法進行成本效益的分析，且在遴選建築基地保水設施或對基地進行改造時也缺乏決策依據。本研究的主要目的即在提供這方面的參考。

貳、研究背景

由於都市化造成都市土地開發利用增加，使得原有的自然綠地急速開發且擴張形成龐大之都會區，令都市不僅缺乏林木覆蓋及地面的截流，再因人工構造物及地表不透水層的增加，導致都市保水能力降低、氣溫上升、乾燥化與地下水位下降等問題，使原有的水文循環遭受破壞。另外，都市地區人類對水文圈的衝擊，包括改變河道、建造水庫、砍伐森林、山坡地濫作及水污染等均影響整個水文體系、干擾水平衡，遇大雨時常產生洪澇並造成人民財產損失。

目前國內大多數都市計畫對雨水的處理觀念，皆以不透水面匯流再利用排水系統快速將雨水排出，即所謂的集中「末端處理」(End-of-the-Pipe Control)的排水觀念，此種處理逕流的觀念使得都市鋪面缺乏保水機能，且易增加排水系統負擔，並缺乏考慮基地保水、滲透、滯留之排水觀念，亦不是一種維護生態的都市防洪計畫。

為改善都市化問題及增加都市水循環，在內政部建築研究所於綠建築的評估體系中推動基地保水，以「基地保水指標」來定量化評估基地中雨水涵養的能力，以有效改善日漸惡化的都市水循環問題。「基地保水指標」為建築基地涵養水分及貯集滲透雨水的功能。基地的保水性能愈佳時，基地涵養雨水的功能愈好，有益於土壤內微生物的活動，進而改善土壤之有機品質並滋養植物，對生態環境有莫大助益，這是人類居住環境中不可或缺的生態指標。

首要解決的問題即為減少不透水表面及增加基地保水能力，以提升都市水文循環生態。在內政部建築研究所於綠建築的評估體系中推動基地保水，以建築基地涵養水分與貯留滲透雨水能力為評價恢復水文循環之成效，藉此可改善日漸惡化的都市水循環問題。欲使基地開發後土地保水能力回到未開發前，基地保水之規劃，必先瞭解當地土壤滲透情形，才能進行有效的保水設計，當基地位於地下水位小於1m之低濕地時，保水功能較不顯著，因此可免除本指標之評估。在基地保水設計中分「常用保水設計」、「特殊保水設計」及「其他」三類，主要分為兩大部分，一是「直接滲透設計」，二是「貯留滲透設計」。前者利用土壤孔隙的毛細滲透原理來達成土壤涵養水分的功能，而後者為設法讓雨水暫時留置於基地

上，然後再以一定流速讓水滲透循環於大地的方法。

綠建築基地保水政策建築技術規則訂立之「建築基地保水設計技術規範」，雖然設計技術規範與指標計算方式已行之多年，且已為建築師或規劃師所接受；但因缺乏建築基地保水設施經濟有效性評價的方法及成本效益值，建築師或規劃師在進行基地保水設施的遴選及改善時，無法進行成本效益的分析，本研究計畫的主要目的是建立基地保水設施經濟有效性分析架構，所謂經濟有效性就是以最少的投資達到我們所設定之環境改善目標，或是在一定的資源下達到環境改善目標。目前國內外已有許多評估經濟有效性之方法，本研究計畫首先收集有關方法並比較各方法之計算內容及其優缺點，並遴選適合國內之基地保水設施經濟有效性分析架構。

目前基地保水設施分為常用保水設計、特殊保水設計及其他，共八個方法，依據建研所 103 年度《建築基地保水指標檢討及透水鋪面現況評估與規劃設計》、104 年度《建築基地保水現況分析及設計技術規範檢討與修訂之研究》研究結果發現，國內較常使用的基地保水設施為：Q₁ 綠地、被覆地、草溝，Q₂ 透水鋪面，Q₃ 花園土壤(屋頂綠化)為主，故本研究以此三種基地保水設施為主要研究對象。

本研究團隊針對國內較常使用的基地保水設施為：Q₁ 綠地、被覆地、草溝，Q₂ 透水鋪面，Q₃ 花園土壤(屋頂綠化)三種基地保水設施為主，擬對國內外基地保水設施經濟有效性分析、成本估算方法、效益、相關研究及計算公式等資料進行蒐集、彙整、分析比較，並進行相關探討。透過本計畫之研究探討、案例分析，除了預期完成經濟有效性分析架構、建立簡易效益評價模式及成本估算方法，進而建立簡易且可操作的計算程序，本研究之經濟有效性分析架構可供建築師或規劃師在做基地保水設施遴選或社區進行保水設施更新決策之參考。

第二節 研究方法與步驟

爰引內政部建築研究所協同研究計畫需求說明研究內容，將研究案之工作項目初擬如下：

研究內容初步之 6 項研究內容，研究案之工作項目如下：

1. 收集國內外有關基地保水設施經濟有效性分析文獻及研究報告。
2. 比較遴選適合國內之基地保水設施經濟有效性分析架構。
3. 比較遴選適合國內之成本估算方法或函數
4. 明確基地保水設施之直接效益及其衍生效益內容。
5. 分別建立基地保水設施所產生之效益量化計算公式包括水文效益、節能效益、空氣污染改善效益等。
6. 依據本計畫建立之效益計算公式進而建立簡易且可操作的計算程序。

以下則依據工作項目分述採用之研究方法：

壹、收集國內外有關基地保水設施經濟有效性分析文獻及研究報告

所謂經濟有效性就是以最少的投資達到我們所設定之環境改善目標，或是在一定的資源下達到環境改善目標。本計畫擬收集國內與研究主題基地保水設施經濟有效性分析有關之相關文獻、研究報告及案例等，並探討其使用概況、評估方式及遭遇問題等，其研究方法概述如下：

1. 文獻收集—收集基地保水設施經濟有效性分析相關架構、模式、環境改善目標、案例、研究報告、期刊、網站等相關資料。
2. 資料分析—針對蒐集資料進行初步彙整，研究並調查國內外實際案例，初步探討基地保水設施經濟有效性分析之分析架構、環境改善目標與計算理論。

3. 諮詢—針對國內相關機關構、專家等進行拜訪、諮詢。

貳、比較遴選適合國內之基地保水設施經濟有效性分析架構。

依前項收集與研究主題有關之經濟有效性分析模式及架構成果，得知目前基地保水效益評估方式主要是以設施保水量為效益指標，基地保水不只只有保水量，還有其他經濟效益如雨水逕流量、節能（省電、省天然氣、省水等）、溫度、空氣、減碳等，本計畫擬針對基地保水設施常用之 Q₁ 綠地、被覆地、草溝，Q₂ 透水鋪面，Q₃ 花園土壤(屋頂綠化) 三種設施相關模式及架構等進行比較研究分析其優缺點，進一步遴選適合國內之基地保水設施經濟有效性分析架構。其比較方法初擬概述如下：

1. 效益計算對象：綠地、被覆地、草溝、透水鋪面、花園土壤(屋頂綠化)等。
2. 環境改善目標計算功能：雨水逕流量、節能(省電、省天然氣、省水等)、溫度、空氣、減碳等。
3. 效益分析架構應用於本計畫之可行性：包括計算對象、所需效益計算功能等；並探討模式架構應用容易度（模式取得、成本、模式輸入基本參數取得，以及計算方法、操作等）。
4. 經濟有效性分析架構遴選建議：經上述模式架構比較分析後，提出適合本研究基地保水設施經濟有效性分析架構之建議。

參、比較遴選適合國內之成本估算方法或函數

本計畫擬針對其基地保水設施工程成本組成架構內容及相關估算項目作業方式進行蒐集，並對 Q₁ 綠地、被覆地、草溝，Q₂ 透水鋪面，Q₃ 花園土壤(屋頂綠化) 三種基地保水設施提供較為深入之分析，以建立適合國內之成本估算方法或函數。

就前述文獻蒐集的資料可將基地保水設施建置成本分為直接成本、間接成本

及其他成本，直接成本包含專業工程師、技術工程師、材料、建造設施等；間接成本包括行政支援及其他；其他成本包含建照取得、土地成本、水電其他設施、景觀、取樣分析、棄置等。基地保水設施建置成本估算方法，後續初擬可用下列簡易公式推估適用於國內基地保水設施之成本估算方法或函數。

$$\blacksquare \quad \text{總成本} = \text{投資成本} + \text{操作維護成本} + \text{更新成本} + (-) \text{棄置成本}$$

$$\text{投資成本} = \text{直接成本} + \text{間接成本} + \text{其他成本}$$

目前國外現有相當多的軟體工具或文獻報告，提供了較多且詳細的成本資料，包括初期成本、人工及其他長期成本資料，但這些資料大部分為外國資料，並不適合提供國內基地保水設施設計的參考依據。依前項收集與研究主題有關之不同成本的成本估算方法成果，並透過目前已完工之基地保水設施案例，進行成本、維護費用等資料收集，比較遴選適合國內之成本估算方法或函數，供不同基地保水設施不同成本之估算依據。

肆、明確基地保水設施之直接效益及其衍生效益內容

基地保水設施除了可改善都市化地區的不透水率，也以提供水資源的滲透與貯集，更可提供地面降溫、降低噪音、以及提供植栽水源等優點，若可以在都市化地區有效的施行基地保水設施，將可改善許多都市化對環境與水資源的衝擊。

除了減少污染的雨水徑流，基地保水設施的做法也產生積極影響的能源消耗，空氣質量，碳減排和碳封存，樓價，娛樂和社區的健康和活力有其他元素的貨幣或其他社會值。在氣候變遷、水資源以及能源管理逐漸成為各國關注焦點的當下，若能有效評估基地保水設施之直接及其衍生效益，將有助於作為後續水資源規劃與調適管理之依據。效益不外乎與水、能源、空氣及氣候相關，然基地保水設施經濟分析還較新，且缺乏歷史成本及效益數據，擬對水文效益、節能效益、環境生態效益及社會效益四類方向進一步的探討，建立效益內容

1. 資料分析—針對蒐集資料進行初步彙整，研究並調查國內經濟效益相關資料，雨水逕流量、節能（省電、省天然氣、省水等）、溫度、空氣、減碳等，初步探討定義、計算方法等。
2. 諮詢—針對國內相關機關構、專家等進行拜訪、諮詢。

伍、分別建立基地保水設施所產生之效益量化計算公式包括水文效益、節能效益、空氣污染改善效益等。

依前項工作定義之直接效益及其衍生效益內容及前述文獻蒐集的資料，初步擬針對水文效益、節能效益、空氣污染改善效益等探討，其研究方法初擬如下：

1. 水文效益方式計算方法—逕流量計算、保水量計算、地下水補充量等。
2. 節能效益計算方法—以市場價值法為主，替代市場價值法及能值分析法為輔。
3. 環境生態效益計算方法—以市場價值法為主，替代市場價值法及能值分析法為輔。

依據研究方法蒐集之效益量化計算方法，選擇適用之量化方法。

陸、依據本計畫建立之效益計算公式進而建立簡易且可操作的計算程序。

針對 Q₁ 綠地、被覆地、草溝，Q₂ 透水鋪面，Q₃ 花園土壤(屋頂綠化)三種基地保水設施，藉由收集與研究主題有關之水文效益、節能效益、空氣污染改善效益等相關計算公式及經濟有效性分析模式及架構成果，針對 Q₁ 綠地、被覆地、草溝，Q₂ 透水鋪面，Q₃ 花園土壤(屋頂綠化)三種基地保水設施建立簡易且可操作的計算程序。本計畫之經濟效益架構可供建築師或規劃師在做基地保水設施遴選或社區進行保水設施更新決策之參考。

依據工作項目與內容，本計畫之研究步驟如下圖 1-1 所示。

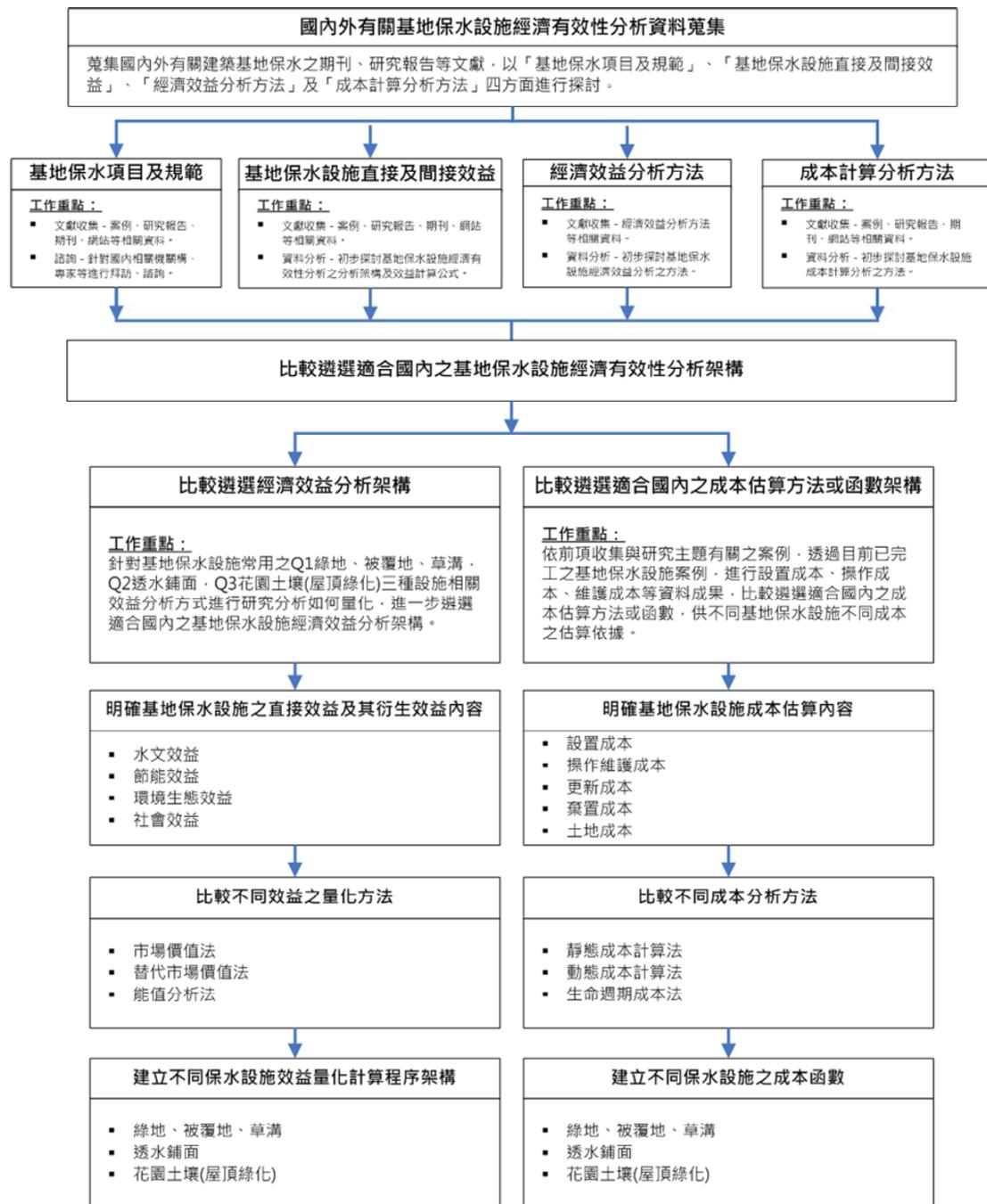


圖 1-1 研究流程圖

(資料來源：本計畫成果)

本年度研究進度甘地圖如圖 1-2 所示。

工作項目	第 1 個月	第 2 個月	第 3 個月	第 4 個月	第 5 個月	第 6 個月	第 7 個月	第 8 個月	第 9 個月	第 10 個月	第 11 個月	備註
收集國內外有關基地保水設施經濟有效性分析文獻及研究報告												
比較遴選適合國內之基地保水設施經濟有效性分析架構												
比較遴選適合國內之成本估算方法或函數												
期中報告撰寫						06月30日前提出						
明確基地保水設施之直接效益及其衍生效益內容												
分別建立基地保水設施所產生之效益量化計算公式												
依據本計畫建立之效益計算公式進而建立簡易且可操作的計算程序												
召開座談會												
期末報告撰寫			10月14日前提出									
資料蒐集分析報告修改及定稿						12月9日前提出						
預定進度 (累積數)	5%	13%	20%	31%	41%	54%	67%	79%	92%	97%	100%	

圖 1-2 研究進度甘地圖

(資料來源：本計畫成果)

第三節 小結

依據本計畫之目的及研究內容，本計畫期中完成收集計畫執行相關資料並進行分析，後續持續分析效益評估量化方法、與諮詢廠商設施、分析案例成本，內容提供未來後續做為成本分析估算架構工作參考依據。本計畫期中工作執行成果概略如下：

- 國內基地保水設施項目及規範蒐集彙整
- 國內外基地保水設施直接及間接效益相關資料蒐集彙整
- 國內外基地保水設施經濟效益分析方法相關資料蒐集彙整

建築基地保水設施經濟有效性分析架構研擬

- 國內外基地保水設施成本計算分析方法相關資料蒐集彙整
- 國內外基地保水設施直接及間接效益計算公式相關資料蒐集彙整
- 國內現有透水鋪面及屋頂綠化成本分析架構

其它詳細執行成果與報告撰寫將分列於後面諸章節說明。

第二章 文獻蒐集與分析探討

本章主要針對國內建築基地保水設施定義目的、設計簡介及保水量依據本計畫之研究背景、目的及內容，本研究初步對於相關文獻進行回顧，擬分為以「基地保水項目及規範」、「基地保水設施直接及間接效益」、「經濟效益分析方法」及「成本計算分析方法」四方面進行探討，茲分述如下：

第一節 基地保水設施及規範

壹、基地保水之定義

基地保水就是建築基地內自然土層及人工土層涵養水份及貯留雨水的功能，而藉由「基地保水手法」，如滲透、貯留等方式來提昇土壤涵養雨水的能力，以有效降低因土地利用開發而增加的逕流量，並兼顧溫度與生態的效果（林憲德，2006）。長久以來的建築基地開發常以不透水鋪面設計，造成大地減少吸水、滲透的能力，也無法藉由水分的蒸發釋放水的潛熱，造成大地無法調節氣候的功能，引發環境高溫化，促成都市熱島效應的產生。基地保水性能就是基地涵養雨水並減少地表雨水逕流量之能力，亦即當一個基地保水性能愈佳時，基地涵養雨水的能力愈好，生活環境品質才有保障。

貳、基地保水之目的與重要性

基地保水指標之目的藉由促進建築基地的透水設計並廣設貯集滲透水池的手法，以促進大地之水循環能力、改善生態環境、調節微氣候、緩和氣候高溫化現象，並進而降低都市公共排水設施負擔，減少都市洪水發生率（林憲德，2006）。都市災害防治技術的建構方面，基地保水性能的提高，能夠有效的降低地表逕流量，減低地表排水系統的負荷，減少水災的發生。洪水可由地表的滲透，使低窪地區的積水能盡快消退，降低人民生命財產的損失及整體社會成本的消耗，這些在都市災害的防治上，都具積極性的意義。

參、基地保水設計法簡介

基地保水設計主要分為「直接滲透設計」與「貯留滲透設計」，雨水利用土壤的孔隙入滲並貯存，稱為直接滲透設計；先將雨水匯集在基地上，再以適當的流速滲透，稱為貯留滲透設計，根據這兩種概念，工程上發展出八種保水設計，分為常用保水設計、特殊保水設計及其他保水設計三類，作為建築基地保水設計的基礎，大約分述如下：

一、常用保水設計

1. 綠地、被覆地、草溝設施

綠地與被覆地表面有植株、樹皮、落葉等覆蓋，有遮蔭、施肥及保水的效果，降雨經由這些生物殘骸的縫隙滲入土壤中，由於地表陽光被阻隔使水份不易蒸發，遇到連續的不下雨日能夠長期保持土壤的濕潤，濕潤的土壤及植物腐敗的有機質，能夠提供微生物良好的生存環境，進而促進土壤活性，為植物天然的肥料來源；層疊的遮蔽提供小動物躲避天敵的空間，保持生態多樣性。土壤的水份可由植物根部吸收，蒸散在空氣中，進入地表水循環。

草溝則是利用草地自然的洩水地形，作為雨水的排水道，能夠過濾上游流下帶有雜質的水，且這種宛如壁面植草的小水溝有減洪的作用，增加地表逕流入滲地下的機會，此項目的保水設計地下無人造構造物，地上無人工鋪面，皆為保留大自然的土壤地面，是最直接的雨水滲透設計。



圖 2-1 綠地、被覆地、草溝設施實例

(資料來源:本研究拍攝)

2. 透水鋪面設施

透水性鋪面係指將雨水直接透過透水性的鋪設體使之滲透到路基深入到地中的構造技術，不僅包含透水能力也能將雨水蓄留後排出之逕流流出抑制功能。其設計主要由表層、路基(碎石)，以及過濾沙層所構成，且底層不灌注水泥或設置其它粘著性材料等路面鋪設技術。雖然透水性鋪設為了能確保支撐路基的鞏固，相較前述其他入滲設施之滲透能力小；可是透水鋪面級配層等其鋪設空隙不僅具備雨水貯存功能，並能有效增進蒸發散量之副加效果。

透水鋪面分為「塊狀透水鋪面」與「整體型透水鋪面」，透水鋪面主要構造為表層與基層，雨水可透過表層構材的透水性質入滲並貯留在基層裡，故鋪面下不可為地下室或不透水層。基層中的砂石級配滲透係數應大於 10^{-4} m/s 以上，並根據路面使用方式遵照規範規定之厚度，若供行人與自行車活動，級配層應大於 10 cm，若供輕型機車使用，級配層需大於 15 cm。國內目前相關透水鋪面設計，有強調排水的多孔隙瀝青混凝土鋪面工法、應用於中低承載之透水混凝土鋪面工法、運用在人行道或公園廣場塊狀或鏤空鋪面及國人自行研發之透水鋪面工法等，如下圖 2-2 所示。

3. 花園土壤雨水截留設計

在無法透水或不易透水的區域設計綠地花園，通常使用在人工地盤、屋頂或不透水黏土層上，讓降雨透過土壤的孔隙截留雨水，再加上植物覆蓋增加區域表面摩擦係數，可以延遲暴雨逕流量，進而減緩都市洪峰，降低洪患的發生，遇到不易透水的黏土層，無法直接吸收花園滲透之雨水，只要透過加建花臺式花園的方式，小面積分散收集雨水，集合起來也有相當可觀的成效。

在屋頂上設置花園綠地時(屋頂綠化)，結構荷重與防水防根是最重要的問題。重量的來源除了土壤厚度與植栽外，還要考慮到植物成長以及土壤達到飽和含水量時的重量，以延長建築體的使用期限。



圖 2-2 國內常用之透水鋪面種類

(資料來源:內政部營建署—透水性鋪面養護工法參考手冊, 2009)



圖 2-3 花園土壤雨水截留設計(屋頂綠化)實例

(資料來源:本研究拍攝)

二、特殊保水設計

1. 貯集滲透空地或景觀貯留滲透水池設計

貯集滲透空地是將停車場、廣場、球場、遊戲場等空間設計成低於周邊路面的窪地，能夠匯集周邊雨水，地表鋪以透水性材質，此空間平時可以進行一般的活動，當暴雨來臨時，雨水自然順著地形匯集，雨天民眾較不會有戶外活動，此時空地就成了臨時的蓄水池，蓄積的水透過地表材質的透水途徑入滲至地下，蓄水池又恢復成原本的空地，如此不僅能補注地下水或地下儲水槽，還可使空地的功能多元化。

景觀貯留滲透水池與貯集滲透空地的差異，是在一般狀況下景觀貯留滲透水池中有固定的蓄水量，水池設計分成低水位及高水位兩部分，低水位以下之底床鋪以不透水材質，在都會區中做為市容美化的一部分，高水位到低水位之間以緩坡做設計，且緩坡材質為透水的自然土壤，故能將高於低水位的水量入滲至土壤中，為一項不只金玉其外也有內涵的保水設計。

基於安全上的考量，貯集滲透空地若設置在小學校中，蓄水深度不得高於 20cm，中學校則不得高於 30cm，其餘空間一般限制在 50cm 以內，且空地周圍應規劃有樓梯或者緩坡等高差漸變段，避免危險的發生。



圖 2-4 貯集滲透空地或景觀貯留滲透水池實例

(資料來源:內政部建築研究所—社區及建築基地減洪規畫手冊，2013)

2. 地下貯留滲透設計

在空地的地下建立一個儲水空間，填入礫石、廢棄混凝土骨材或者是組合式蓄水框架，可暫時貯存雨水，再慢慢自然滲透至土壤，其滲透效率依所鋪設的礫石大小而定，粒徑愈大，蓄水孔隙率愈大，若使用組合式蓄水框架，可使蓄水率高達 80% 以上，較高的蓄水率可以收集較多的雨水。

設置地下貯留滲透設施時需考慮到路面乘載的問題，且外層需以不織布包覆，避免孔隙堵塞降低蓄水功能。此種保水項目應用在不透水區域相當有效果，若廣設在空地，如操場、公園、廣場、停車場，儲存的水可以配合打水系統，做為公園澆灌、沖廁、洗車等用途。



圖 2-5 地下貯留滲透設計—組合式蓄水框架實例

(資料來源:本研究拍攝)

3. 滲透管設計

利用毛細現象，將飽和土壤無法宣洩之雨水匯集至排水管，再慢慢入滲至地表，滲透管多為多孔性材料，例如蜂巢管、網式滲透管、尼龍砂管、高密度聚乙烯滲透管等，同時有足夠的抗壓強度以及防止泥砂淤積的作用。新式的滲透網管不僅有足夠的抗壓強度，還有各式的斷面與連通接頭，不必使用碎石級配與不織布即可避免泥沙滲入造成淤積。



圖 2-6 滲透管實例

(資料來源:內政部建築研究所—社區及建築基地減洪防洪規畫手冊，2013)

4. 滲透陰井設計

為垂直式的輔助入滲設施，建立透水涵管來容納飽和土壤中過多的水，待土壤含水量降低再慢慢回滲至土壤中，此設計也可做為滲透管的連接點，加強貯水效果，還能夠存放排水過程中的污泥，方便定期清理以保持通暢，若以新型的高密度聚乙烯透水網管，則不必使用碎石或不織布也不會造成阻塞。



圖 2-7 滲透陰井實例

(資料來源:內政部建築研究所，2013)

5. 滲透側溝設計

用於收集屋頂排水或地表逕流水的排水系統，管涵的斷面積比滲透管大，以多孔隙的骨材建造，例如：透水混凝土、紅磚、水泥磚，或者是以多孔性的預鑄管涵為設計，四周以礫石、不織布利於雨水入滲。滲透側溝、渠以不鄰接牆面為佳，以防止降低滲透功能。

滲透側溝是用來收集地面的雨水再排出，故容易受到砂石、垃圾等物品阻礙排水功能，若再入流處設置滲透陰井作為初步的沉砂池，滲透側溝可以與陰井作靈活的配合，在彎折處或寬窄變化處設置滲透陰井可以幫助穩流；在地勢變化處設置陰井可以幫助滲透側溝結構的穩定。除了增設滲透陰井可以降低泥砂堵塞，將滲透側溝以滲透網管的方式暗管化，可以避免堵塞還能減少積水造成蚊蟲的孳生。



圖 2-8 滲透側溝實例

(資料來源:內政部建築研究所，2013)

基地保水技術規範依據建築技術規則建築設計施工篇第二百零七條第二項規定訂定之，提供建築基地涵養雨水及貯留滲透雨水的設計標準，以 λ 為評估指標。此基地保水評估指標考慮到各種不同保水設計的保水量、基地面積、建蔽率、不同配比與材質的基地土壤之最終入滲率及最大降雨延時等。根據綠建築評估手冊手冊，各項基地保水之保水量計算及變數說明如表 2-1 所示。

表2-1 保水項目之保水量計算及變數說明

項目	各項保水設計之保水量(m ³)	保水量計算公式	變數說明
常用保水設計	綠地、被覆地、草溝保水量 Q ₁	$Q_1 = A_1 \cdot f \cdot t$	A ₁ : 綠地、被覆地、草溝面積 (m ²), 草溝面積可算入草溝立體周邊面積。
	透水鋪面設計保水量 Q ₂	$Q_2 = 0.5 \times A_2 \cdot f \cdot t + 0.05 \cdot h \cdot A_2$ (連鎖磚型) $Q_2 = 0.5 \times A_2 \cdot f \cdot t + 0.3 \cdot h \cdot A_2$ (通氣管結構型)	A ₂ : 透水鋪面面積 (m ²) h: 透水鋪面基層厚度 (m) ≤ 0.25 (若基層為混凝土等不透水鋪面, 則 f=0)
	花園土壤雨水截留設計保水量 Q ₃	$Q_3 = 0.05 \times A_3$	A ₃ : 人工花盤土壤面積 (m ²) V ₃ : 花園土壤體積 (m ³), 最多計入深度 1m 以內土壤
特殊保水設計	貯留滲透空地或景觀貯留滲透水池設計保水量 Q ₄	$Q_4 = A_4 \cdot f \cdot t + V_4$	A ₄ : 貯留滲透空地面積或景觀貯留滲水池可透水面積 (m ²) V ₄ : 貯留滲透空地可貯留體積或景觀貯留滲透水池高低水位間之體積 (m ³)
	地下貯留滲透保水量 Q ₅	$Q_5 = (A_5 \cdot f \cdot t) + r_1 \cdot V_5$	A ₅ : 貯留設施地表面積 (m ²) V ₅ : 蓄水貯留空間體積 (m ³) r ₁ : 礫石貯留設施為 0.2, 專用蓄水貯留框架為 0.8, 但礫石貯留最大只能計入地表深度 1m 以內之體積
	滲透管設計保水量 Q ₆	$Q_6 = (8 \cdot x^{0.2} \cdot k \cdot L \cdot t) + (0.1 \cdot L)$	L: 滲透管總長度 (m) x: 為開孔率 (%) k: 基地土壤水力傳導係數 (m/s)
	滲透陰井設計保水量 Q ₇	$Q_7 = (3.0 \cdot f \cdot n \cdot t) + (0.015 \cdot n)$	n: 滲透陰井個數
	滲透側溝保水量 Q ₈	$Q_8 = (a \cdot k \cdot L \cdot t) + (0.1 \cdot L)$	L: 滲透側溝總長度[m] a: 側溝材質為透水磚或透水混凝土為 18.0, 紅磚為 15.0, 若為滲透係數為 kg (m/s) 之新滲透材質時, a=40·kg ^{0.1}
其他	由設計者提出設計圖與計算說明並經委員會認定後採用之		

(資料來源:本研究整理及綠建築評估手冊)

第二節 基地保水設施衍生效益

「建築基地保水現況分析及設計技術規範檢討與修訂之研究」(2015)中指出目前基地保水案例中施作 Q₁ 綠地、被覆地、草溝, Q₂ 透水鋪面, Q₃ 花園土壤(屋頂綠化)三種基地保水設施為居多;故本研究針對國內較常使用的基地保水設施為: Q₁ 綠地、被覆地、草溝, Q₂ 透水鋪面, Q₃ 花園土壤(屋頂綠化)三種基地保水設施為主, 收集其直接及間接效益相關文獻資料說明。

壹、綠地、被覆地、草溝效益種類

都市化是一個全球性的趨勢，但也加速產生負面影響，例如改變社會結構和破壞環境與生物多樣性功能等，在迅速擴展的都市地區，缺乏環境規劃之概念已造成當初無法預期之結果。由於在都市地區內栽種植栽、維護綠地，在早期被認為是不必要的奢侈，只有少部分大面積的公園或是林地才會被保留。在都市發展的過程中，應該對綠地保存、增加以及綠化政策有更多的考量，而不是事後的補救。

都市內的綠地、被覆地及草溝可以對整體環境的改善，例如：綠地、被覆地可以提供都市內居民良好的健康環境以及提供環境保護效益。都市綠地、被覆地除休閒遊憩機能外，更應積極扮演環境保全、生態保育、防災與景觀美化的功能，尤其是環境敏感地區的保育，以及過去因誤用、忽視而喪失地力的土地資源，應有再生、再利用之機會（鄭秀蘭，2001）。林憲德也指出都市綠地系統的生態品質不應只是單純考慮綠地面積、綠地規模，也需包含綠地分布、水陸關係與植生品質等相關因子，例如其中提到都市公園綠地系統提供開闢生態連結走廊：都市生態綠地必須由大綠面、綠塊、綠帶等多樣化的綠地構成，並需連成系統化綠網才能容納多樣化的生物棲息。尤其於水陸交界的地方是生物最豐富的區域，綠地應當劃設於都市河川兩側，一方面可作為河川滯洪區，另一方面可提供生物多樣化的水陸交界環境（林憲德，2005）。

都市中的公園綠地，提供了許多機能，例如：遊憩功能、環境保護功能、維持生態多樣性、整合不同社經條件地區等功能。而近年來都市公園的發展走向，隨著社會水準的提高，都市居民對於休閒娛樂的需求及對環境保護日漸重視，而這些需求也寄望於都市內公園綠地提供。本研究將其他研究對於公園綠地各項功能做歸納整理，以 1999 年 Tyrvaïnen 之研究為例，都市公園綠地之效益可以分為社會、景觀與建築、氣候與物理、生態、經濟五種效益，如表 2-2 所示。

表2-2 都市綠色空間提供功能

類型	說明
社會功能	提供休閒娛樂，改善家庭和工作環境，對於生理和心理健康的影響，綠色地帶的文化和歷史價值。
景觀與建築	通過植物不同的顏色、紋理、形式和密度，產生景觀的變化。樹木的生長和季節改變性質，定義開放空間、美化建築。
氣候與物理	降溫，降低風速，通過控制溫度和濕度對都市氣候的影響，減少空氣污染，降低噪音，減少眩光和反射，削減暴雨逕流，防洪和控制水土流失。
生態功能	都市環境中動植物的群落生存環境
經濟功能	經濟作物之市場價格（例如：木材、農作物等），周遭不動產值增加，增加旅遊人數

（資料來源:本研究整理。）

貳、透水鋪面效益種類

現代的都市環境大部份的車道、步道、停車場、遊戲場、廣場常使用不透水的混凝土硬質地面，阻絕了雨水滲透入土壤的機會。尤其現代都市環境的公共雨水排水設施均為密閉不透水的設計，使得雨水直衝河川，無法循環回大地來滋潤土地。水是人類不可缺少的重要資源，但都市裡鋪設了不透水的水泥、柏油阻擋了水的下滲，使得環境悶熱、都市熱島效應明顯、地下水無法補充、雨季來時容易造成洪流，因此能讓基地保水的「透水鋪面」顯得更加重要。

國外有許多透水鋪面效益相關研究，如日本為了減緩都市熱島效應，達到水資源永續的目的，更致力於雨水貯留、滲透設施鋪築之研究，於都市開發設計之初即將雨水貯留、滲透的理念納入規劃設計之中，於近幾年收到顯著之成效。其雨水透水效益包括：

1. 抑制雨水流出之效益：對逕流係數等影響及削減流出量的效果。

2. 地下水的涵養效益：確保湧水的復活、維持及河川的平時流量、緩和都市內的氣候、補充綠地的水份。詳如表 2-3。

表2-3 日本雨水滲透效益表

效益類別	內容	說明
抑制雨水流出之效益	對逕流係數等影響	對逕流係數的波及效果
		對降雨強度的波及效果
	削減流出量的效果	削減高峰的流出量
		削減浸水地區及浸水量
		削減總流出量
地下水的涵養效益	確保湧水的復活、維持及河水的平時流量	
	緩和都市內的氣候	
	補充綠地的水份	

(資料來源:本研究整理。)

德國瑞典，多孔滲瀝青混凝土是用來減少交通噪音及排水。多孔滲瀝青設計有 8 及 11mm 兩種粒徑尺寸，有 15~25%的孔隙率含量，大約 5%混合物重的瀝青含量。應用 40mm 厚的多孔滲瀝青混凝土面層，使用最大尺寸為 11mm 的粗粒料，85%得粗粒料保留在 2mm 篩子上，含有 0.5%（混合物的重量）的纖維素纖維。德國多孔滲瀝青混凝土的鋪面層費用比傳統路面貴上一倍之多。這個費用主要是用來減少因高速行駛在住宅地區附近或者通常在其中的公路上所產生之噪音。

英國 Coventry 大學建築環境學院的 C.J.Pratt 便對透水性鋪面的逕流抑制及污染防治的效果做過一系列的研究，並且相當具有代表性。首先 Pratt 針對透水性鋪面做探討，利用自行鋪設之透水性鋪面 4.6m×40m 區域做實測，證實了透水性鋪面對於降低排水量及尖峰逕流有相當顯著的效果，而且採用不一樣的基層材料，對於逕流量的減緩及水質的改善（如 SS、TP、TN）均會較以往不透水面有相當程度的功效。

經過約八年時間的長期觀察，更發現到測試區域內的逕流量會受到雨量、排出量、排出延時及臨前降雨條件的影響，並發現了由透水性鋪面所排出溢流的延時會較降雨延時來的長，證明了透水性鋪面對於尖峰逕流發生的減緩有具體的功效。

參、屋頂綠化效益種類

「屋頂綠化」是綠建築「生物多樣性指標」、「基地保水指標」的評估要項之一。「屋頂綠化」一詞許多人都耳熟能詳，其實並不新鮮。只是近年來台灣都市化嚴重、過度人工開發，使得原本的自然綠地變成了水泥叢林，許多都市問題，諸如熱島效應、都市洪水、空氣汙染等隨之而生，再加上全球氣候變遷、地球暖化等議題發酵，使得人們開始思考各種綠色設計的可能，「屋頂綠化」就是眾多綠色設計技術之一。

屋頂綠化不僅在視覺上帶來綠美化的環境，植栽能夠淨化二氧化碳、粉塵與空氣中的重金屬、減少酸沉降，也有減緩都市熱島效應、減少地表逕流、調節微氣候、增加保水性能、降低噪音、減緩優養化、減少生物毒性、增加動植物棲地/生物多樣性、增進建築節能等效益。

1. 減緩熱島效應

1998 年成大西拉雅實驗室量測都市熱島效應數據，臺中、高雄、臺南與臺北等幾個都會區的數據分別在 3.2 至 4.9°C 之間。都市熱島效應除了在白天讓民眾顯得燠熱難耐之外，對於夜間增溫更是明顯。

中研院劉紹臣博士研究 50 年以來熱島效應的影響，以夜間最低溫高過 25°C 作為要開冷氣的標準，發現以前一年只有 35 天達到開冷氣的標準，但到了 2005 年已經超過 100 天了，可見熱島效應引起的空調耗能與產生的排碳是非常嚴重的。

■ 讓植物與土壤來調節氣溫—植物轉化能量或是植物與土壤因蒸散水分來降溫。

■ 植物與土壤遮蓋「熱容量高」的水泥，不讓蓄熱與發熱而造成都市熱島

效應—臺灣地區夏季的水平日射量約是西曬的 2 倍，而因建築混凝土的熱容量高，不斷的吸熱與發熱。在夏季，屋頂混泥土地面表面溫度更可輕易達 50°C 以上。聯合國「環境研究計畫」指出，當都市屋頂綠化達到 70% 時，可減少整個城市 8 成的二氧化碳含量，並且都市熱島效應將會消失。

2. 節能減碳

臺大林炯明博士研究指出，就臺灣若以夏季 30°C 為計算基準，當氣溫每升高 1°C，就增加 60 萬千瓦的耗電量，這相當為核一廠的 1 部主機發電量。而我們若以林口發電廠與大林發電廠的燃煤機組總發電量皆為 60 萬瓩來看，可知氣溫每升高 1°C，要消耗多少能源，造成多大之排碳量。

因都市熱島效應讓城市在夏天更加燠熱，城市的溫度過高，也逼使大家得開啟空調，也疊高夏天尖峰用電需求量，就必須追蓋電廠來提供足夠的用電。換句話說，沒有 1°C 又 1°C 的增溫，就可少一座又一座的燃煤發電廠，除可減少發電排碳外，也減少買煤運來的航運耗能。此外，城市蓄積太多熱，也會產生車輛的空調耗能問題，故綠屋頂來消除熱島效應，就是節能減碳。

根據台灣綠建築 EEWB 評估標準，一平方米的屋頂綠化可吸收 20 公斤之二氧化碳，降低大氣二氧化碳濃度，減緩氣候暖化與氣候異常。

3. 增加生物多樣性及生物跳島之功能

若能以生態綠化的觀念來施作屋頂綠化，就可以營造出生物的微棲地，更健全都市的生態綠網，也是一種「生態補償」。用生態綠化的觀念或方式來營造生態綠屋頂，屋頂空間自然會成為當地一些物種的棲地，也漸能將郊區未開發區的良好生態引入城市中。故生態屋頂綠化可以成為都市與自然環境的一個連結，帶來和諧共好生活環境，可提供飛行的鳥類或昆蟲等生物，在移動的過程中有所休息的空間，有助於不同物種在都市中的移動，增加都市環境生態之豐富與生物多樣性。然瑞士巴塞爾市就是將「屋頂綠化」作為城市生物多樣性的重要策略。巴塞爾市的研究顯示，這些「微棲地」可提供 100 多種甲蟲和蜘蛛的生長環境。

4. 降低都市洪澇風險

都市化後，不透水面取代原有綠地，造成降雨逕流增加，過去常使用滯留池等設施，解決都市洪澇問題，但為減少環境影響，已逐漸朝向低衝擊開發（LID, Low Impact Development）方式進行減洪，屋頂綠化亦為 LID 項目之一。屋頂綠化可藉由其土壤與植栽之保水效果，減少降雨總流總、洪峰量及延遲洪水到達時間，降低都市排水系統負擔，對暴雨產生的淹水危害大幅降低。

5. 保護建築物

建築物防水層常因高溫日照下熱脹冷縮而產生龜裂，造成下方樓層漏水，降低建築物使用年限。屋頂綠化可保護防水層避免大幅溫差變化及紫外線的破壞，提高屋頂防水層及建築物之壽命。

6. 休閒遊憩場所

都市中民眾缺乏可休憩之場所，屋頂綠化可供民眾進行活動與放鬆心情，植栽可賞心悅目，更可紓緩都市人們心中緊繃之壓力。

7. 空氣粉塵降低

已經有很多的研究證據顯示，都會的空氣污染會嚴重影響身體健康，特別是氮化物、一氧化碳、二氧化碳、有機揮發物、汽機車廢氣等。植物能有效提升空氣品質，每一平方公尺的綠屋頂每年平均可以遲滯 0.2 公斤的塵浮粒子及有害粉塵，空氣中的硝酸鹽類與其他污染物也能藉由降雨帶進到介質層而淨化。

8. 園藝與生產

現今居住在都市的人們，想要有一塊地種植蔬果，幾乎是不可能的。然而，屋頂綠化提供住戶這樣的空間，可種植自己喜愛的蔬菜水果，若利用有機堆肥，不必使用農藥，食的健康又安心。國外亦有飯店利用屋頂綠化生產餐廳所需用之菜餚、稻米公司於屋頂上生產稻米等。

第三節 效益分析方法

根據 2015 年綠建築基地保水指標之特殊保水工法性能效益研究報告中指出，由於國內過度開發，社區過度不透水化及都市綠地明顯不足，使土地喪失涵養雨水的功能，大量都市化的結果，導致嚴重的熱島效應，進而影響了原本平衡的水文機制，使得地表逕流量增加，進而造成雨洪機率增加，然而這些災難並非不可避免，山坡地社區也並非完全不可開發，只要加強建築基地保水及透水設計就可減緩其弊害。以達到改善都市化問題及提供環境效益，如減少雨洪發生頻率、降低都市熱島效應等。

目前國內許多研究在探討有關建築基地保水設施所提供之環境效益，以下將根據 2015 年建築基地保水現況及設計技術規範檢討與修訂之研究中指出目前國內基地保水設施中以 Q1 綠地、被覆地、草溝，Q2 透水鋪面，Q3 花園土壤(屋頂綠化)這三種基地保水設施居多，故本研究文獻回顧將針對這三種設施，進行基地保水設施效益之相關研究探討。

過往已經有相關公園綠地價值衡量的研究較多是由特徵價格法、迴歸分析來進行，例如利用多筆土地交易價格資料，應用特徵價格法建立特徵價格函數，並進行迴歸分析，找出最佳迴歸模式（鄭延吉、羅紹麟，2000）。或是利用與公園綠地的距離影響房價的高低、或是不同類型的綠色空間，如鄰近農地及公園之間的差異來評估不動產價值。

估計都市公園綠地的價值有許多不同方式，傳統的方法包括了機會成本、計算維護修繕費用、生產價值等等，這些方法注重的是商品的市場價格，但利用傳統的方法去評估都市公園綠地的價值是有限的（Tyrvaainen,1999）。或是另一種方式，由都市居民做為受訪者，假設環境為市場商品，為了保存或改進都市公園綠地，他們所願意支付的價錢(Willing To Pay)，研究者在依調查結果統計其價值。

到 1990 年代後期開始出現探討尺寸較小的環境效益，並將公園綠地環境效益其轉換為經濟價值的研究，近年來也對都市內公園綠地及林地，不論是都市內或全球尺度都開始對於「自然環境生態服務功能」做經濟價值的調查衡量；並有人提出了對這些環境效益以「金錢」衡量的新面向。以下為基地保水設施環境效

益相關研究整理簡述：

基地保水設施減碳效益主要分二部分，第一部分是因可減少空調使用率及耗能，進而減少電廠排放溫室氣體 (Niu et al., 2010)，第二部分則是基地保水設施所種植的植物及使用的土壤基質所吸收的 CO₂，Niu et al. (2010) 曾將節能轉換為減碳之效益。植物及土壤吸收碳部份如 Getter et al. (2009) 所述，是因碳會存於植物的 Biomass 中，且空氣中的碳亦會隨著植物的枯枝及滲漏水存於土壤基質當中。Li et al. (2010) 曾評估周界 CO₂ 之濃度對綠屋頂之影響，該研究分為兩部分：實際量測植物對 CO₂ 的吸收及排放速率，接著用其結果評估周界 CO₂ 濃度對綠屋頂減碳效益影響，該研究發現在夏季時期，植物白天的 CO₂ 吸收速率遠大於夜間 CO₂ 排放速率，且綠屋頂減碳能力和綠屋頂植物的設置位置及周邊空氣流動等相關；另 Getter et al. (2009) 曾分析過綠屋頂常用景天科植物 (Sedum) 的儲碳能力，該研究分為兩部份探討，第一部分評估在地面上 Biomass 吸收碳的能力，最後綜合考量地面上、下 Biomass 及基質吸收碳的能力，結果顯示對於使用 Sedum 植物的綠屋頂，其吸收能力為 375g-C/m²。

行政院國家科學委員會專題研究計畫「城市綠地之冷效應」(2011) 研究顯示，實測進行了屋頂綠化與一般屋頂之溫度數據比較，分析解果顯示夏季屋頂綠化有助於降低氣溫最大效果約 1.6°C，並且平均也有 0.26 °C 的減緩效益。相對的，在希望維持溫暖的冬季，屋頂綠化並沒有顯著改變周圍氣溫的跡象，亦即在冬季屋頂綠化並沒有使周圍溫度下降的疑慮。分析結果更明確指出公園綠地的降溫功能可以達到平均 1.5°C；最大值 6.1°C 的效果。此結果亦證實小型鄰里公園便有顯著的降溫效益，並且公園內植物的綠化量與品質也會影響降溫能力。

傳統空污減量較著重於管控固定污染源，但卻無法有效減少空氣中已存在之空氣污染物 (Yang et al., 2008)，綠屋頂卻可針對目前空氣中存在之污染物進行減量，目前綠屋頂的空污減量評估方法可分為兩種：現地量測及利用乾沉降模式模擬不同空氣污染物之減量。現地量測部份，常對不同植物吸碳能力加以定量，曾針對 217 種不同植物對 NO_x 的吸收能力加以定量，Clark et al. (2008) 即利用該研究結果估算綠屋頂之空污減量效益，唯並未考慮其他常見污染物。Currie and Bass

(2005)曾利用其估算綠屋頂及綠牆對於多倫多地區的空污減量效益，在美國一研究報告中也曾利用此模組，評估在華盛頓地區不同植物種植情境的減量效果，發現如全市皆為綠屋頂時，每年可達 58 metric tons 的空污減量，

闕雅文 (2005) 提到條件評估法最早是在 1947 年由 Ciriacy-Watrup 提出實證構想，1963 年 Davis 首先應用在遊憩資源價值之效益估計上。其主要是將人們對財貨的偏好以貨幣數量表示，以嚴謹實驗設計，針對所欲研究之環境價值設計一個假想市場，讓受測者對該非市場財貨進行評估，利用問卷調查方式，詢問其願付價格 (Willingness to Pay, WTP) 或願受補償 (Willingness to Accept, WTA)，以推估某地區環境品質變化之效益、成本或資源之存在價值，利用假設之條件市場架構，以取得受訪者在真實市場中所願支付之代價，而無實際交易行為。

由於是在假想狀態下尋求消費者之願付價格，在 Randall 經濟理論觀點，認為非市場的評估方法中，條件評估法屬於「所得補償法」(income compensation approach)，即針對自然或遊憩資源增量或減量，直接找出能使消費者達到原來效用水準之補償金額。而所謂願付價格或願受補償，是就環境資源供給量增加或品質改善部分，詢問受訪者所願意付出之代價；若為供給量減少，則所願意接受之補償。在應用上因受訪者對願付價格之邊際效用小於其對願受補償之邊際效用，採用願付價格詢問方式進行實證，較為穩妥做法。

Odum (1987) 將能值分析方法用於評估密西西比河流域能量系統蒐集有關流域內之經濟流動如石油、燃料；自然資源如太陽、雨風等；及外部投入之勞力與服務等資料。繪製系統圖、製作能值分表，並加以探討變動前後的系統差異。同時也模擬分析自 1980 至 2280 密西西比河流域內資源的流通以作為政策建議。

郭祝瑛 (2003) 在「應用能值分析方法探討水庫集水區整治策略—以德基水庫為例」研究中利用相關能值資料，針對水庫集水區中點源與非點源污染的部分進行研究，以作為整治計畫之配套，包括結構性與非結構性的設施提供管理政策上的考量。

綜合上述資料，根據生態經濟學、環境經濟學和資源經濟學的研究成果，可

將基地保水設施經濟效益評估的方法總體可分為三大類：市場價值法、替代市場價值法及能值分析法來做評估參考。以下為介紹上述所列之經濟效益評估方法。

1. 市場價值法：適用於沒有費用支出，但有市場價格的生態資產價值評估。例如沒有市場交換而在當地直接消化的生態資產，這些生態資產雖然沒有市場交換，但這些卻具有市場價格，因而可按市場價格來確定這些資產的經濟價值。市場價值先定量的評估某種生態資產的生態服務效果，再根據這些效果的市場價格來評估其經濟價值。在評價過程中主要分為以下兩類評價法：
 - 理論效果評價法：先計算該生態系統服務功能定量值，如基地保水量、二氧化碳固定量、農作物增產量等，在研究與收集生態服務功能的影子價格，如自來水價或建設水庫成本、固定二氧化碳價格等，最後計算其總經濟價值。
 - 環境損失評價法：與環境效果評價法類似的生態經濟評價方法。例如，評價土壤生態經濟價值時，利用生態系統破壞所造成的土壤侵蝕及土地退化等經濟損失來估計經濟價值。
2. 替代市場價值法：又稱為假設市場價值法，人們對某種生態資產的支付意願來表達生態資產的經濟價值。例如，人們會為選擇較佳的環境、較好之產品或為了一個優美的湖泊而願意支付費用。他能通過人們的主觀判斷，評價各種生態系統服務功能的經濟價值，包誇直接利用的價值、間接利用的價值、存在價值與選擇價值。一般財貨與勞務之價值可利用市場價格來計算，但就環境資源而言，並非所有都具有市場價值，因此並無價格資料可用，於是在估算自然環境效益與資源經濟價值上就產生困難。常用替代市場價值法主要分為以下四種。
 - 旅行成本法：是屬於環境經濟學上評估公共財產與環境財產等非市場財貨之價值間接評估法，係透過觀察消費者在相關市場行為顯現其對非市場財貨之經濟評價。
 - 特徵價格法：主要陳述某單位商品之價值是來自於該商品所包含各種特徵，因此環境財貨所提供之服務為某些市場財貨所包含特徵之

- 一，如保水量、空氣品質等，則這些環境財貨與市場財貨價格會有所關係，及可藉由觀察市場財貨之價格變化來估算環境財或改變的經濟價值。
- 特徵工資法：此方法的基本想法是職工會選擇工作環境較佳之工作，因此較佳工作勞力供給會較多，工資因而較低。在勞力市場均衡情況下，二份工作之工資差異將反映職工對工作環境的評估。
 - 生產函數法：是指在一定時間內，在技術水平不變情況下，生產中所使用各種要素的數量與所能生產的最大產量之間關係。
3. 能值分析法：能值基本定義為，生產某項產品或是服務時所需投入的直接或間接能量，為生態經濟學領域用以分析自然與經濟系統所產用之概念。生態經濟學者 Odum 首先提出能量品質之概念，認為各種能量單位可以互相變換，然而許多不同種類能量卻存在能量階層，此能量階層是由低密度太陽能匯集成為高密度能源的過程所產生，如煤礦與石油，可藉由能量品質因子，進行不同種類能源間的轉換，能值分析理論是從系統生態角度來研究分析在不同時間和空間尺度下自然與人類以在自然生態系統的能量經濟行為之方法。能值分析理論是以能值為基準，把不同種類、不同能值、不能比較的能量轉換為同一標準來衡量與進行比較分析研究，自然資源與商品等都可用能值分析理論來評估其經濟價值。

第四節 成本估算方法

成本分析方法自從 1970 年代開始，即被企業界應用作為評估或改善產品與製程對環境產生之污染負荷，發展至今已經三十幾年。近年來由於環境議題日亦備受重視，促使國際間，對成本分析方法與應用的相關研究蓬勃發展。以下為本研究彙整與成本效益分析相關研究。

成本效益分析 (Cost-Benefit Analysis, CBA) 開創於 1844 年杜比 (Jules Dupuit) 所發表的「公共工程效用測算」，而後廣泛地被運用於專案評估，和其他多種領域之運用。根據魏婉倩 (1987) 指出成本效益分析之運用應注意該法可用於評估多個方案以便選出最佳方案，亦可針對單一方案之決策。且應廣泛考慮

各種因素產生之成本與效益，又基於長期觀點，應考慮方案之計畫年限，逐年依其成本效益折算現值再作比較。

另外，成本效益分析的進行可分為五大步驟（徐仁輝，2002），首先應確認計畫目標以利建立分析基礎；而後藉觀察工作計畫產生之實質改變，估測計畫之影響，接著將該效益予以數量化，並以貨幣價值（Money values）表示；然後估算計畫成本並選擇折現率，將跨越年度之計畫成本與報酬之流量予以折算現值（discounting）；最後，將折現之成本與報酬流量利用一決策標準予以綜合，以確認計畫於經濟上是否可行，或以此結果排列多項計畫之優先順序，作為決策參考。

張欣聰（2001）在運輸工程中於空氣污染、噪音、肇事、擁擠、廢棄物、生態環境、景觀/空間阻隔、土地使用、總體經濟與公平性等運輸外部性之研究中指出，找出適宜的衡量方法及其影響程度，以供在從事運輸投資計畫經濟效益評估時之參考，以較完整與全面的角度納入運輸的真正成本及效益。此文在進行經濟效益評估時，所考慮之衡量成本（效益）的範疇為運輸時間之節省、運輸成本之節省、空氣污染之改善、噪音之改善、肇事成本之減少，以及景觀/空間阻隔影響消失等六項。

內政部建築研究所（2000）於『建築廢棄物之再生利用技術開發—廢棄物混凝土塊在利用』研究報告中顯示，在使用回收之再生骨材與天然骨材製作的產品相較之下，有些再生骨材之產品經添加增強劑後，與天然骨材之產品不分軒輊，如高壓混凝土磚，而其經濟效益與天然骨材製成之高壓混凝土磚相較之下，成本要稍高，成本估算僅針對工廠生產所需之製造成本進行分析，至於建物拆除、搬運、場地暫存、設備購置等費用則不列入評估。

行政院公共工程委員會「營建資源再利用於公共工程之研究」中（2000），對營建副產物之分類做本益分析，其分析以「總茂環保股份有限公司營建廢棄物處理場」為對象，經其調查，此處理場的投資預算為一億零四百萬，而分析出來的分類成本是 274.63 元/m³，其分類處理成本項目分為固定成本及變動成本，固定成本內容有：機器設備折舊及機器設備利息，變動成本內容包括：作業人工

費用、燃料費、操作潤滑油費、維修及耗材、保險費及管理費等。

Lopes (2003)，應用 LCA 方法在印刷與紙類的製程，以計算其環境表現，並以重燃油和天然氣作為製造過程的燃料來源，做比較評估，研究結果顯示，在紙漿與紙類的製造過程中，以天然氣替換重燃油，對環境的衝擊較小，尤其在 CO₂、SO₂ 與 NO_x 的總排放上可大幅降低。

Korones , et al (2005)，利用生命週期評估技術以辨別及定量在啤酒生產及分派過程之環境衝擊。此案例之系統包括原料收購、工業純化／精製、包裝、運輸、消費及廢棄處理。據研究結果指出，因啤酒製程所衍生之環境衝擊主要是地球毒性 (earth toxicity)、或重金屬，

葉彥宏(2012)研究提出城市推廣綠屋頂的效益有必要分析其成本，綠屋頂的成本主要包含建置、額外屋頂防水、培養基質、植物、運輸、維護、更換等經費，並依其設計及功能的不同而改變，含不同型式綠屋頂以及依照不同氣候條件下，植物種類之選取等；目前估算綠屋頂成本方法可分兩類：利用市場價格或利用實際案例之價格，唯台灣綠屋頂仍屬推廣階段，尚未建立本土綠屋頂建置成本資料，故本研究採用台灣現有薄層式綠屋頂建置案例實際資料估算綠屋頂所需成本，作為城市綠屋頂成本效益分析之依據。

行政院環保署資源回收管理基金管理委員會(1999)於電池回收處理相關所須花費全部成本之研究中指出，其成本經由整理計算後，即得回收處理廢鉛蓄電池的單位成本，亦即單位回收清除處理成本＝回收清除成本＋處理成本＝(回收清除廠商之成本＋運輸成本＋回收清除廠商之其他設備資本成本＋儲存成本－回收清除廠商之廢料售價)＋(回收清除廠商之廢料售價＋處理成本＋有害廢棄物處理成本－資源回收價值)。

第三章 基地保水設施經濟有效性分析架構

依第二章文獻回顧與研究主題有關之經濟有效性分析模式及架構成果，得知目前基地保水效益評估方式主要是以設施保水量為效益指標，基地保水不只只有保水量，還有其他經濟效益如雨水逕流量、節能（省電、省天然氣、省水等）、溫度、空氣、減碳等，本計畫擬針對基地保水設施常用之 Q1 綠地、被覆地、草溝，Q2 透水鋪面，Q3 花園土壤(屋頂綠化) 三種設施，本章提供較為深入之分析並建立適合國內之基地保水設施經濟有效性分析架構。

第一節 基地保水設施效益分類

依據前述文獻回顧與綠建築評估手冊，得知目前基地保水效益評估方式還是以設施保水量為效益指標，但基地保水設施的經濟效益不只保水量效益，如雨水逕流量、節能、空氣品質改善、減少二氧化碳等環境效益，以下利用參考建築基地保水設施規範與國內外相關研究，將建築基地保水設施所提供之效益作評估與並加以分類，並將目前國內較常使用的屋頂雨水貯集系統加入考量，雖然此設施並不屬於建築基地保水設施，但此設施也提供環境效益之經濟價值，所以本研究將一併納入考量。以下為參考相關研究所整理出國內八種基地保水設施與屋頂雨水貯集系統所提供的效益。(以下屋頂雨水貯集系統會以 Q 做代稱。)

- Q1 綠地、被覆地、草溝：提供效益有減少降雨逕流、減少傳統排水設施、改善水質、減少洪患、增加可供水量、增加地下水量、減少能源使用、減少溫室氣體(二氧化碳)、改善空氣品質、減緩熱島效應、美化社區、增加休憩場所、增加社區和諧、減少噪音汙染、改善生物棲息地、培養公共教育。
- Q2 透水鋪面：提供效益有減少降雨逕流、減少傳統排水設施、改善水質、減少洪患、增加可供水量、增加地下水量、降低能源使用、減少溫室氣體(二氧化碳)、改善空氣品質、減緩熱島效應、美化社區、增加休憩場所、培養公共教育。

- Q3 花園土壤：提供效益有減少降雨逕流、減少傳統排水設施、改善水質、減少洪患、降低能源使用、減少溫室氣體(二氧化碳)、改善空氣品質、減緩熱島效應、美化社區、增加社區和諧、改善生物棲息地、培養公共教育。
- Q4 貯集滲透空地或景觀貯集滲透水池：提供效益有減少降雨逕流、增加可供水量、增加地下水量、降低能源使用率、減少溫室氣體(二氧化碳)、改善空氣品質、減緩熱島效應、提升社區可居住性、改善生物棲息地、培養公共教育。
- Q5 地下貯集滲透：提供效益有減少降雨逕流、減少傳統排水設施、改善水質、減少洪患、增加地下水量、培養公共教育。
- Q6 滲透管設計：提供效益有減少降雨逕流、減少傳統排水設施、改善水質、減少洪患、增加地下水量、培養公共教育。
- Q7 滲透陰井設計：提供效益有減少降雨逕流、減少傳統排水設施、改善水質、減少洪患、增加地下水量、培養公共教育。
- Q8 滲透側溝：提供效益有減少降雨逕流、減少傳統排水設施、改善水質、減少洪患、增加地下水量、培養公共教育。
- Q 屋頂雨水貯集系統：提供效益有減少降雨逕流、改善水質、減少傳統排水設施、減少洪患、增加可供水量、減少能源使用、減少溫室氣體(二氧化碳)、改善空氣品質、減緩熱島效應、培養公共教育。

將上述建築基地保水設施與屋頂雨水貯集系統提供之效益歸納為以下八類環境效益。

1. 水資源節約：減少降雨逕流、改善水質、減少傳統排水設施、減少洪患、增加供水量、增加地下水量。
2. 能源節省：減少能源的使用率(減少用電量)。
3. 空氣品質改善：減少空氣中污染物。
4. 溫室氣體減少：減少二氧化碳排放量與二氧化碳固定。
5. 減緩熱島效應：降低地表溫度。
6. 社區可居住性提升：美化社區、增加休憩場所、降低噪音污染、增加

社區和諧。

7. 改善棲息地：增加與改善生物棲息地。
8. 公共教育提升：增加公共教育場所。

綜合上述資料，得知除了減少地表逕流與增加地下水補給外，基地保水設施也影響能源消耗、空氣品質、碳減排與碳封存、社區居住性等經濟效益，若能有效評估後基地保水設施提供效益，有助於後續在規劃與改善上的依據。以下為綜合上述資料與相關研究案例彙整出表 3-1。

表3-1 各建築基地保水設施提供效益分類表

基地保水設施	水資源效益						能源效益	空氣品質效益	溫室氣體效益	減緩熱島效應	社區居住性提升				改善生物棲息地	提升公共教育	
	減少降雨逕流	改善水質	減少傳統排水設施	減少洪患	增加供水量	地下水補給					美化社區	增加休憩場所	增加社區和諧	減少噪音汙染			
Q1	●	●	●	●	◎	◎	×	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
Q2	●	●	●	●	×	◎	●	●	●	●	●	●	●	×	◎	×	●
Q3	●	●	●	●	×	×	●	●	●	●	●	●	◎	●	◎	●	●
Q4	●	●	●	●	×	●	×	●	●	●	●	●	×	●	●	●	●
Q5	●	●	●	●	×	●	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	●
Q6	●	●	●	●	×	●	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	●

基地保水設施	水資源效益						能源效益	空氣品質效益	溫室氣體效益	減緩熱島效應	社區居住性提升				改善生物棲息地	提升公共教育
	減少降雨逕流	改善水質	減少傳統排水設施	減少洪患	增加供水量	地下水補給					美化社區	增加休憩場所	增加社區和諧	減少噪音汙染		
Q7	●	●	●	●	×	●	×	×	×	×	×	×	×	×	×	●
Q8	●	●	●	●	×	●	×	×	×	×	×	×	×	×	×	●
Q	●	●	●	●	●	◎	◎	◎	◎	×	×	×	×	×	×	●

●：有此效益 ◎：少量提供此效益 ×：沒有此效益

(資料來源：本研究成果。)

第二節 市場價值經濟效益分類

基地保水設施所產生效益的經濟價值中，並未所有的效益具有其市場價值，根據前述可將基地保水設施經濟效益評估方法歸納為三類，市場價值法、替代市場價值法及能值分析法，基地保水設施所提供之效益可分成兩類，可量化與不可量化，可量化為利用市場價值法用效益市場價格來估算效益的經濟價值，如水資源效益、能源效益等，不可量化為利用市場價值法通過人們的主觀判斷，評價效益的經濟價值，如社區可居住性、生物棲息地改善等，如表 3-2.所示。

表3-2 不同量化效益分類與定義

市場價值性	定義	效益項目
可量化效益	具有市場價值，且可利用效益的市場價格來評估與估算效益經濟價值，稱之可量化效益。	水資源節約 能源節省 空氣品質改善 溫室氣體減少
不可量化效益	不具有市場價值，但可通過人們的主觀判斷，評估效益的經濟價值，稱之不可量化效益。	熱島效應減緩 社區可居住性提升 生物棲息地改善 公共教育場所增加

(資料來源：本研究成果。)

利用表 3-2 的分類方式，本研究將基地保水設施所產生效益分成上述所說的二部份，可量化效益與不可量化效益。本研究主要探討具有市場價值的可量化效益部份，後面將利用前述之方法建立定量與市場價值分析可量化效益之理論架構，不具市場價值之不可量化效益本研究將以定性分析的方式描述。

壹、可量化效益

依據表 3.2 得知，可量化效益有水資源節約、能源節省、空氣品質改善、溫室氣體減少。可量化效益為具有市場價值且可估算出經濟價值的效益，所以本

研究將依據市場價值法的理論效果評價法來建立估算可量化效益經濟價值的理論架構。計算該設施環境效益的定量值，如水資源節約有減少地表逕流量與地下水補給量等效益值，在研究與收集環境效益的影子價格，如水資源節約可以收集自來水價或海水淡化成本等市場價格作為影子價格，如圖 3-1 所示。

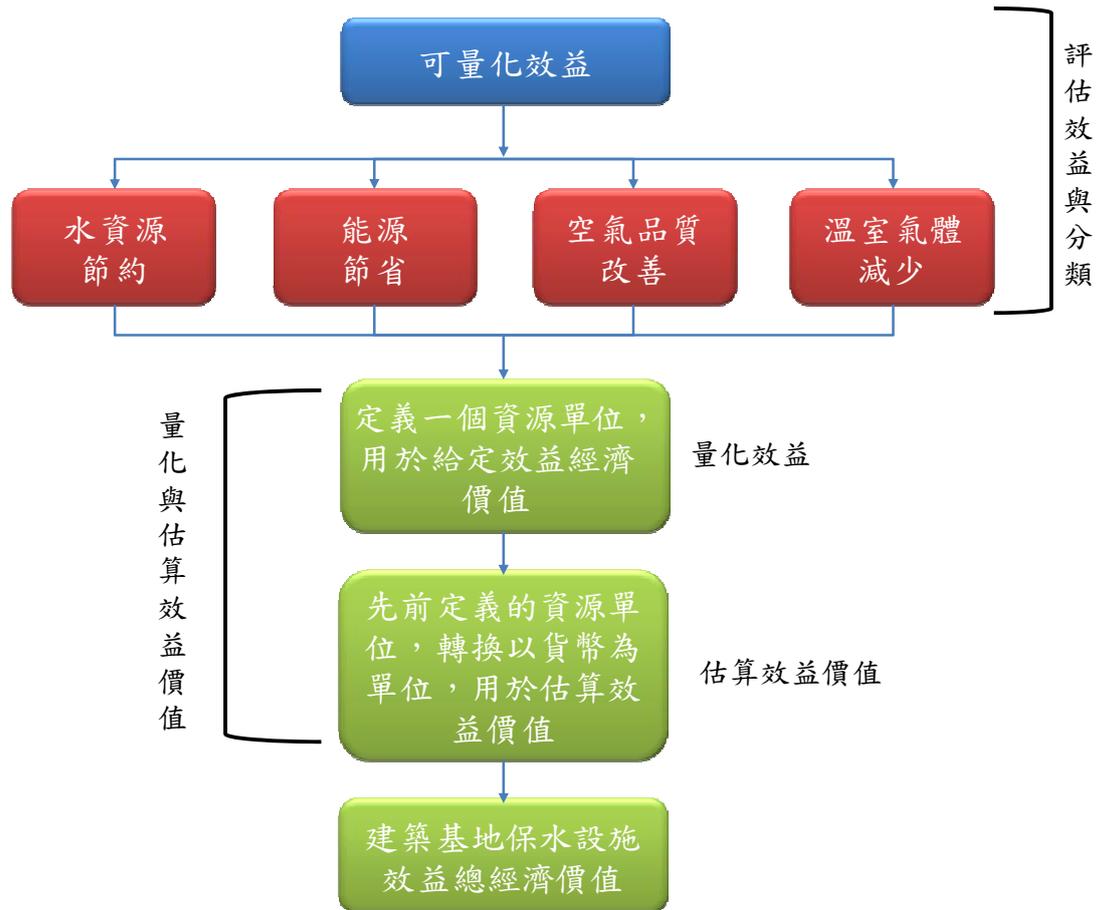


圖 3-1 估算可量化效益經濟價值理論架構

(資料來源：本研究成果。)

根據圖 3-1 所示，可量化效益經濟價值理論架構，為先例用前述之經濟價值評估方法將效益分類為兩類，可量化與不可量化，將可量化效益部分再依據市場價值法的理論效果評價法將評估效益經濟價值的方法分為兩步驟，量化效益與估

算效益價值，量化效益為將可量化效益的四項效益定義為一個資源單位，用於給定效益經濟價值，估算效益價值為將量化效益所定義出來的資源單位的值轉換以貨幣為單位的值，如表 3-3 所示。

表3-3 估算效益經濟價值步驟

估算步驟	說明
量化效益	將可量化效益的四項效益，如水資源效益、能源效益等，定義為一個資源單位，如公升、度等，用於給定效益經濟價值。
估算效益價值	將量化效益所定義出來的資源單位的值，利用影子價格轉，自來水價、電價等，換以貨幣為單位的值。

(資料來源：本研究成果。)

貳、不可量化效益

不可量化效益為根據替代價值法而定義之效益。不具有市場價值但可通過人們的主觀判斷，評價這些效益的經濟價值，稱之不可量化效益。(例如：人們會為選擇較佳的環境、較好之產品或是為了一個優美的湖泊而支付費用。)

但由於大多數的資源環境都不具有市場，因此並無價格資料可運用，於是在估算上就變有難度。所以本研究在探討不可量化效益時只利用相關研究與案例，來作定性分析與探討，不會作定量分析。

參、可量化效益之項目

根據前面提到的將可量化效益分為四個部分，水資源節約、能源節省、空氣品質改善、溫室氣體減少，以下將利用本研究所建立估算可量化效益理論架構的方式，來分別建立各可量化效益的理論架構。

一、水資源節約

依據前述水資節約效益有減少地表逕流、增加可供水量、增加地下水補給、改善水質、減少傳統排水設施、減少洪患。因數據資料取得關係，本研究將主要

計算減少地表逕流、增加地下水補給及增加可供水量，來量化與估算水資源節約效益的經濟價值。將根據基地保水社與屋頂雨水貯系統所產生之效益進行估算經濟價值，依據前述將分為二步驟的估算流程，量化效益為計算減少降雨逕流、保地下水補給等水量的方式，來定量水資源效益的資源單位，如公升、 m^3 等。估算效益價值為將定義的資源單位，利用市場價格，污水下水道使用費、自來水費、海水淡化成本等，來估算水資源效益的經濟總價值。水資源節約效益經濟價值理論架構如圖 3-2 所示。

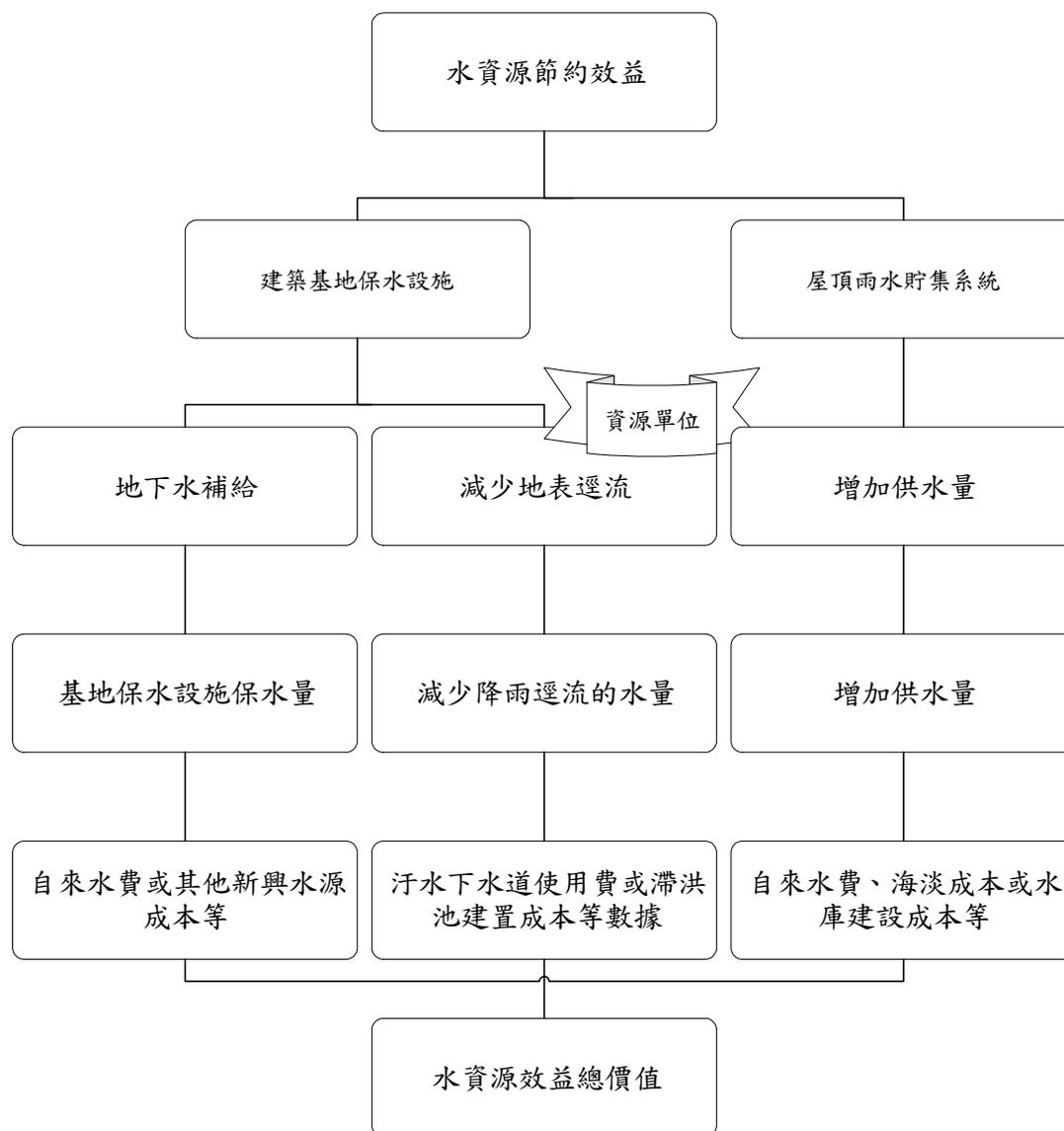


圖 3-2 水資源節約效益理論架構

(資料來源：本研究成果。)

二、能源節省

依據前述能源節省效益即為減少用電量，來量化與估算能源節省效益的經濟價值。(城市綠地之冷效應，2011) 研究顯示在夏季時屋頂綠化有助於降低氣溫，在冬季時並不會降低氣溫有助於維持屋內適當溫度。所以在估算能源節省效益經濟價值上，量化效益為計算空調或暖氣的耗能，來定量能源節省的資源單位，如度、千瓦時等。估算效益價值為將定量的資源單位，利用收集市場價格，平均電價或各能源發電成本等，來估算能源節省效益的經濟總價值。能源節省效益的經濟總價值理論架構如圖 3-3 所示。

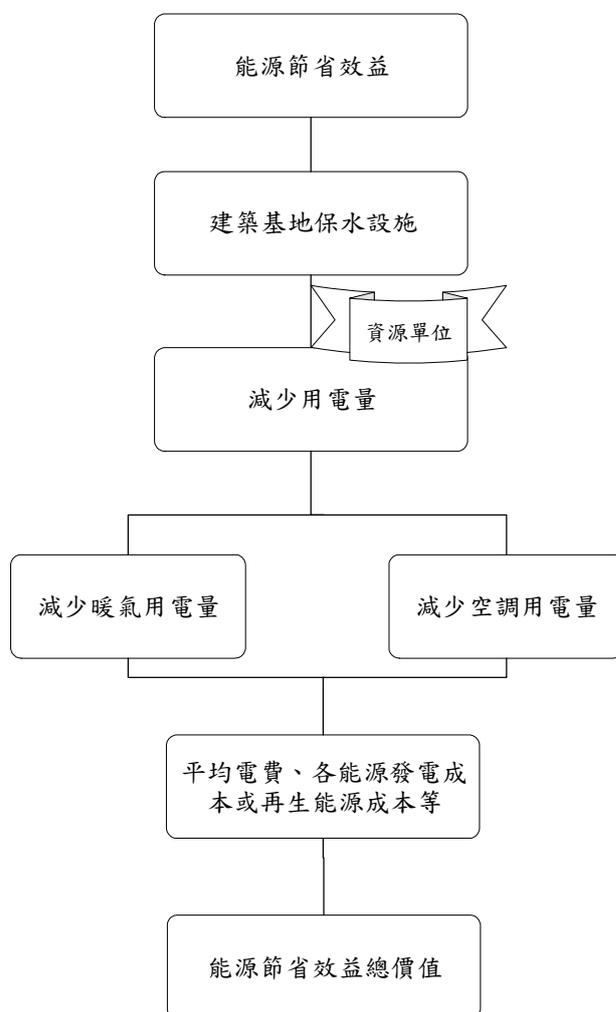


圖 3-3 能源節省效益理論架構

(資料來源：本研究成果。)

三、空氣品質改善

依據前述空氣品質改善即為減少空氣中的污染物，本研究將利用計算基地保水設施種植之植物，所吸收與沉積空氣中污染物的量，來量化與估算空氣品質改善效益的經濟價值。所以量化效益為計算植物吸收/沉積空氣中的污染物的，來定量空氣品質改善的資源單位，如 kg、g 等。估算效益價值為定量的資源單位，利用收集市場價格，空氣污染物徵費用等數據，來估算空氣品質改善效益的經濟總價值。空氣品質改善效益的經濟價值理論架構，如圖 3-4 所示。

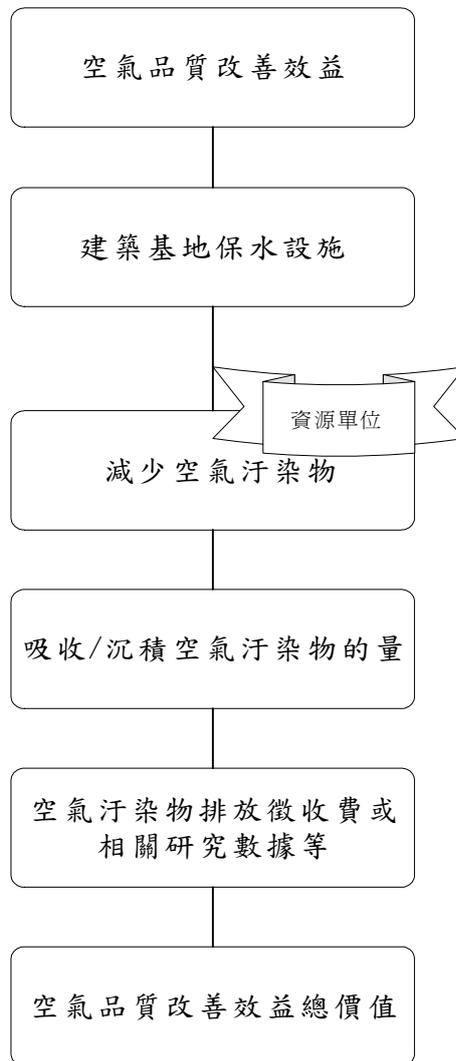


圖 3-4 空氣品質改善效益理論架構

(資料來源：本研究成果。)

四、溫室氣體減少

依據前述溫室氣體減少即為減少二氧化碳的量，本研究依據(Niu et al,2010)的研究將基地保水設施減少二氧化碳的量分為二部分，直接與間接效益，直接效益為設施種植之植物固定二氧化碳的量，間接效益為因節省電量所減少電廠的二氧化碳排放量。因此量化效益為計算二氧化碳固定量或間減少二氧化碳排放量，來定量溫室氣體效益的資源單位，如 k0g、g 等。估算效益價值為將定量的資源單位，利用收集市場價格，封存二氧化碳成本、碳交易價格等，來估算溫室氣體減少效益經濟總價值。溫室氣體減少效益經濟價值理論架構，如圖 3-5 所示。

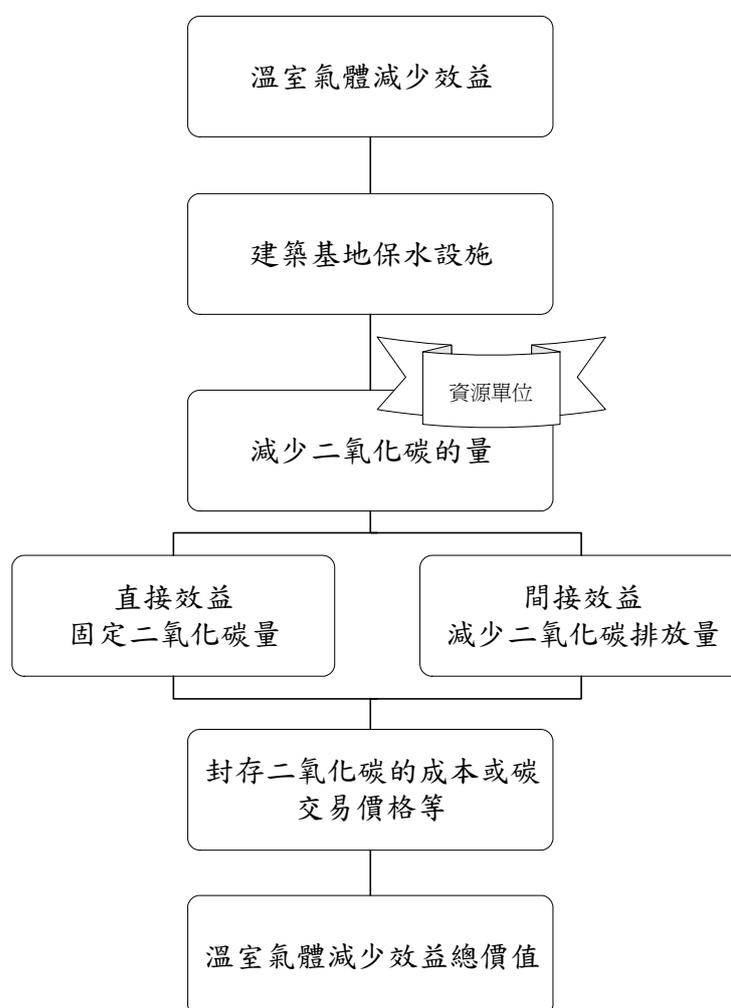


圖 3-5 溫室氣體減少效益理論架構

(資料來源：本研究成果。)

肆、不可量化效益

一、熱島效應減緩

根據美國環保局（USEPA）網站公告所描述，熱島效應形成“由於城市地區快速發展，而加速和造成熱島效應的發生。因為景觀、建築物、道路和其他基礎設施取代土地和植被。這種發展導致城市形成熱島效應-的現象，即城市地區的回暖氣溫比他們的鄉村環境還高”。

城市熱島效應不只會造成城市溫度升高，還會通過引起呼吸困難、衰竭、中暑和熱相關的死亡率升高以及危害人體健康和舒適。熱島效應還通過增加的能量需求（通過較大的空調的需求）以至於增加空氣污染物和溫室氣體的排放量，引起較高的空氣溫度。此外因熱島效應關係戶外灌溉需求加大因此增加的用水需求及其相關的能源使用。城市內的建築基地保水設施做法可以幫助緩解城市熱島效應，通過增加植被來提升空氣質量、減少地面傳導、降低地面臭氧的形成。

依據聯合國氣候跨國組（Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC）植物具有淨化空氣、調節溫度與氣候等效益，尤其近年來地球暖化問題日益嚴重，而綠色植物利用葉綠素攫取太陽能來推動光合作用可固定空氣中的二氧化碳，達到減緩都市高溫化，因此綠化無疑是可以改善都市熱島效應的。

依據（新北市水利局，2012）研究指出，透水鋪面不但可以改善都市不透水率使其減少雨洪發生機率以及設置雨水滯留設施，皆可改善都市水文循環之問題，並可以有效地減緩都市熱島效應發生。

綜合上述資料，基地保水設施是可以有效地減緩都市熱島效應的，且好處還不只有降低都市溫度升高、減少溫室氣體等效益，還具有都市人們健康和活力，這些效益目前的估價是遠不夠通過簡單量化方法和公式來進行計算的。

二、社區居住性提升

社區建立建築基地保水設施效益，除了先前提到經濟效益的部份，也包含提升生活的形態，提高生活品質與質量。儘管這部份的效益在量化效益上並不普遍和廣泛使用，鑑於很多的不確定性以至於不宜運用在量化上，以下依據前述文獻

回顧所提到之關於社區居住性提升的效益來做說明之。

1. 美化社區：社區內增建建築基地保水設施，可增加社區綠化量來提升社區的審美價值。建築基地保水設施會增加社區得花圃、樹木、造景等等，來提升生活的品質。
2. 社區娛樂性：社區內增建建築基地保水設施，也會添加社區內公園、綠地的種植面積、行人透水步道等，這些能增加社區娛樂的機會，如遛狗、散步或慢跑、野餐等休閒活動。
3. 減少噪音汙染：在社區內有時會有過大噪音，如火車、飛機、道路噪音等，可能會對人體健康造成風險。社區內增加建築基地保水設施，可以有效降低噪音傳遞，建築基地保水設施會增加樹木的種植和透水鋪面，這些樹木和透水鋪面具有吸收和隔絕噪音的能力，來降低社區內噪音。
4. 社區和諧：根據在伊利諾伊大學景觀和人類健康實驗室所做的一項研究發現，“置身於綠色環境的人們可以減少心理疲勞和煩躁隨之而來的感受，即使是少量的綠化，也可以幫助居民有更安全，更少暴力的生活環境。”（Kuo and Sullivan 2001）。所以建築基地保水設施，可以讓社區更好的居區環境來提升社區
5. 土地價值：依據(鄭延吉、羅紹麟，2000)研究顯示與公園綠地的距離影響附近房價高低，不同類型綠色空間，如農地或公園之差異也會影響評估不動產之值。

三、生物棲息地改善

根據生態經濟學書籍中指出，增加植被綠化量與基地保水設施，可以有效地提升與改善動植物的棲息地品質。其中雨水花園和其它有植被滲透功能的設施，在這方面具有特別的價值，因水陸交界區域是生物最為豐富之區域。提供棲息地之環境效益有兩個方面的先決條件。

- 提供了本地物種和遷徙中物種的生活空間。

■ 提供了物種從幼兒到成年的生活空間。

依據(綠廳舍學校改善補助計畫, 2002)指出, 備有綠化與植被滲透能知設施會以多樣化的土壤、植被、水文、氣候、空間來提升多樣化的棲息地品質, 以造就藏身、築巢、覓食、求偶、產卵、繁殖等功能的生物棲息環境, 並藉此恢復大自然界原本豐富的生物基盤。

其除了綠化作用之外, 擬以生態化之溼地、水池來創造高密度的水域生態, 以多孔隙環境及不受人為干擾的多層次生態綠化來創造多樣化的小生物棲息環境, 同時以原生植物、誘鳥誘蝶植物、植栽物種多樣化、表土保護來創造豐富的生物基盤, 並使該密林與溼地成為自然演替的生物棲地環境。

四、公共教育提升

根據美國國家環境教育基金會(NEEFT)提供的資料顯示, 積極推廣基地保水設施在公共教育上的好處與價值, 我認為是可以有效提升國人對水資源上治水與節水的認知, 也可以有助於提升我國對水資源上的管理。鑑於社會大眾缺乏了解節約的首要原因和解決水污染問題, 這一點尤為重要。在(NEEFT, 2005)的報告上得到了以下結論:

“美國社會大眾, 有 78%的人還是不理解現在水污染的最常見的來源, 是來自農業用地、雨水地表徑流, 將近一半的美國人民(47%)現在還認為, 大部份水污染依舊來自各行各業得廢水排放”。

雖然量化和評估公共教育的效益是很難做到的, 且也不會有人想嘗試這樣做, 但教育和告知社會大眾對水資源有效利用是可行的, 這部份是可以建立在未來更好的水資源管理決策上並提供更有價值的服務。這是一個很重要的課題, 實現廣泛採用建築基地保水設施來解決各種水資源問題的方案, 這對未來在治水與節水上會有很大的幫助。

第三節 可量化效益理論計算公式

本節主要是在探討可量效益的部份，依據前面建立之經濟效益理論架構得估算步驟來建立量化效益的理論公式，收集建築基地保水設施效益相關參數與市場價格數據進行估算基地保水設施效益的經濟總價值。

壹、水資源節約效益

依據前述本研究將水資源效益主要分為三部分，減少降雨逕流、地下水補給、增加供水量。利用前面建立估算水資源節約效益經濟價值的理論架構，分為兩部份，計算減少降逕流等來定量水資源節約效益資源單位，與收集水資源效益相關市場價格來估算效益經濟總價值，如表 3-4 所示。

表3-4 水資源效益價值計算步驟

水資源效益	計算步驟之方法
量化效益	計算減少降雨逕流、地下水補給等的方式，來定量水資源效益的資源單位(公升、m ³ 等)。
估算效益價值	將定量的資源單位(公升、m ³ 等)，利用收集市場價格，如汗水下水道使用費、自來水費等，來估算水資源效益的經濟總價值。

(資料來源：本研究成果。)

一、水資源效益

綜合上述衍生效益與相關研究，並因數據資料上取得便利性，本研究將水資源效益主要分為保水效益、截留效益、防洪效益這三部份，來量化與估算水資源效益的經濟價值。

二、量化效益理論計算公式

假設建築基地保水設施所截留之雨水量，即為減少降雨逕流的量或是地下水補給的量，本研究將利用計算基地保水設施雨水截留量，來建立量化減少降雨逕流與地下水補給的理論公式。另外量化增加可供水量理論公式，為假設屋頂雨

水貯集系統所收集下來的雨水，即為增加的可供水量。所以計算此屋頂雨水貯集系統的雨水收集量，來建立量化增加可供水量的理論公式。

■ 減少降雨逕流、地下水補給

理論公式：

$$\text{減少降雨逕流(地下水補給)} = \text{年平均降雨量} \times \text{設施面積} \times \text{雨水截留率} \quad (3-1)$$

式中：

年平均降雨量：為每年日雨量的加總，依據中央氣象局各氣象站所提供之水文資料得知。

設施面積：，依據設施大小而定。

雨水截留率：利用逕流係數 c 值所推算得出，假設雨水截留率+逕流係數 c 值=1，所以得出雨水截留率=1-逕流係數 c 值。

■ 增加可供水量

理論公式：

$$\text{增加供水量} = \text{年平均降雨量} \times \text{屋頂表面積} \times \text{雨水收集率} \dots\dots\dots(3-2)$$

式中：

年平均降雨量：為每年日雨量的加總，依據中央氣象局各氣象站所提供之水文資料得知。

屋頂表面積：為建立設施的屋頂表面積，依據案例的設施大小和現場而定。

雨水收集率：根據國內雨水貯留利用供水可靠度計算基準，雨水收集率大約為 0.75~0.95 左右。

三、市場價值理論公式

利用收集相關市場價格數據來估算效益的經濟價值，建立此理論公式。

■ 水資源節約效益經濟價值

理論公式：

$$\text{水資源效益經濟價值} = \text{定量水資源效益之值} \times \text{市場價格} \dots\dots\dots(3-3)$$

上述式中，定量水資源效益之值為量化效益計算出的值，市場價格數據可以使用前述所提到的，汙水下水道使用費或台灣自來水費用等水資源效益相關市場價格數據，如表 3-5。

表3-5 水資源市場價格

市場價格	價格	價格依據
自來水費用	12(元/度)	依據科學發展期刊海洋專題報導(張淵斯、曹知行，2009)文章得知。
海水淡化成本	30~40(元/度)	經濟部水利署網站臺灣水資源-海水淡化-單位造水成本。2016.8.14 查詢。
汙水下水道使用費	5(元/度)	自 89 年 11 月起，依據「下水道法」及「臺北市汙水下水道使用費徵收自治條例」統一規定。
開發新水庫成本	20(元/度)	依據科學發展期刊海洋專題報導(張淵斯、曹知行，2009)文章得知。

(資料來源：本研究整理)

貳、能源節省效益

依據前述之相關研究(城市綠地之冷效應，2011)，能源效益主要在計算基地保水設施所節省空調與暖氣之耗能，依據效益分類表(表 3-1)，提供能源效益的基地保水設施有屋頂綠化、透水鋪面、屋頂雨水貯集系統。但透水鋪面與屋頂雨水貯集系統節電之效益，為減少地表逕流進而減少汙水處理廠所處理之電費，為避免與水資源效益重複計算，所以在這主要就探討屋頂綠化的部份。所以依據前面建立估算能源節省效益經濟價值的理論架構，分為兩部份，計算空調與暖氣耗能來定量能源節省效益的資源單位，與收集能源效益相關市場價格來估算效益經濟總價值，如表 3-6 所示。

一、能源節省效益

所以本研究在量化與估算能源節省效益經濟價值上，為計算空調所降低的能耗。並配合各設施在水資源效益上所提供之截留與防洪效益上，所減少汙水廠能源之消耗。

表3-6 能源效益價值計算步驟

能源效益	計算步驟使用參數
量化效益	計算空調與暖氣之耗能的方式，來定量能源節省效益的資源單位(度、千瓦時等)。
估算效益價值	將定量的資源單位(度、千瓦時等)，利用收集相關市場價格，如平均電費、各能源發電之成本等，來估算能源效益的經濟總價值。

(資料來源：本研究成果。)

二、量化效益理論計算公式

引用美國在計算節電之耗能公式，在配合收集國內相關數據與資料建立此理論公式。因在計算節電耗能時會分為空調節能與暖氣節能，以下將分別建立兩組公式。

■ 屋頂綠化空調節能

理論公式：

$$\text{屋頂綠化空調節能} = \text{年平均冷卻度日} (\text{°C days}) \times 24 \text{ hrs/day} \times \Delta U (\text{傳熱係數}) \dots\dots\dots (3-4)$$

■ 屋頂綠化暖氣節能

理論公式：

$$\text{屋頂綠化暖氣節能} = \text{年平均熱度日} (\text{°C days}) \times 24 \text{ hrs/day} \times \Delta U (\text{傳熱係數}) \dots\dots\dots (3-5)$$

式中：

年平均冷卻/熱度日：為年平均度日數，其實就是一種反映能源需求狀態的熱量單位，分為年平均冷卻度日和年平均熱度日，但此參數在國內取得較不易，所以本研究利用此參數的定義與收集相關數據來進行計

算。

傳熱係數 ΔU ：傳熱係數是用來計算屋頂導熱的係數，傳熱係數 ΔU ，是指在穩定傳熱條件下，維護結構兩側空氣溫差為 1 度 (K, °C)，1 小時內通過 1 平方米面積傳遞的熱量，單位是瓦/平方米·度 (W/m²·K，此處 K 可用 °C 代替)。

$$\Delta U = \frac{1}{R1} - \frac{1}{R2} \dots\dots\dots(3-6)$$

式中：R1 為一般建築熱阻係數；R2 為屋頂綠化熱阻係數。

熱阻係數 R 值：熱阻係數是指熱量在熱流路徑上遇到的阻力，反映介質或介質間的傳熱能力的大小。(一般建築熱阻係數(R1)為 0.80 w/m²k；屋頂綠化熱阻係數(R2)為 1.2 w/m²k。)

■ 年平均冷卻/熱度日定義與計算方法：

年平均冷卻度日(Cooling degree days，CDD)：

定義：暖季用於空調製冷的能源消耗的一個定量估計。暖季一般定為每年五月至九月，因為一般這幾個月份日平均氣溫將高於基準溫度。

計算方法：將五月至九月每日平均氣溫減去基準溫度作加總的值，即為年平均冷卻度日。

年平均熱度日(Heating degree days，HDD)：

定義：冷季用於暖氣取暖的能源消耗的一個定量估計。冷季一般定為每年十月至隔年四月，因為一般這幾月份日平均氣溫將低於基準溫度。

計算方法：將基準溫度減去每年十月至隔年四月的每日平均氣溫，即為年平均熱度日。

本研究利用上述之計算方法與收集國內基隆、台北、台中、台南四個地方之每日之日平均氣溫，與基準溫度依據東吳大學(謝雯芬，2003)研究中提出的台灣最適基準溫度 23°C，因國外之基準溫度 18°C 較不符國內之特性，所以本研究使

用此研究結果，研究中是利用觀察台灣各地觀測站溫度變化差異，在與國科會所統計出的台灣平均溫度做比較，得出台灣最適基準溫度。計算出這四地之年平均度日數(年平均冷卻/熱度日)，如表 3-7 所示。

表3-7 基隆、台北、台中、台南之年平均度日數

地區	年平均冷卻度日數 (°C days)	年平均熱度日數 (°C days)
基隆	760	815.5
台北	876.1	583.80
台中	842.4	402
台南	692	311.6

(資料來源：本研究成果。)

三、市場價值理論公式

利用收集能源節省效益相關市場價格數據在量化效益計算的值來估算能源節省效益的經濟總價值，建立此理論公式。

■ 能源節省效益經濟價值

理論公式：

$$\text{能源效益價值} = \text{節省總電量} \times \text{市場價格} \dots\dots\dots(3-7)$$

上述式中，節省總電量為能源量化效益理論公式所計算出的空調節省電量或暖氣節省電量之值。能源節省效益相關市場價格可以使用，國內平均電價或各能源發電成本、再生能源發電成本等相關市場價格數據，如表 3-8。

表3-8 國內電價與各能源發電成本

項目		電價與發電成本(元/度)
國內平均電價	住宅用電	2.85
	工業用電	2.93
火力發電成本	燃油	4.35
	燃煤	1.22
	燃氣	2.68
核能發電成本		1.15
再生能源發電成本	水力	1.70
	風力	2.50
	太陽能	9.44

(資料來源：台灣電力公司網站 104 年度各種發電方式之發電成本審定決算版本，2016.8.14 查詢得知。)

參、空氣品質改善效益

依據前述效益分類所提到空氣品質改善效益為減少空氣中污染物的量，本研究利用計算設施種植之植物所以吸收/沉積空氣污染物的量，前面所建立估算空氣品質改善效益經濟價值的理論架構分為兩部份，計算基地保水設施種植之植物所吸收/沉積空氣污染物的量，在收集空氣品質效益相關市場價格來估算效益經濟總價值，如表 3-9 所示。

一、空氣品質改善效益

本研究將利用計算基地保水設施種植之植物，吸收與沉積空氣中污染物的量，來量化與估算空氣品質改善效益的經濟價值。污染物為依據環保署所公告之空氣中的標準污染物，分別為二氧化氮(NO₂)、二氧化硫(SO₂)、臭氧(O₃)、懸浮微粒(PM-10)，這四種空氣污染指標為本研究量化與估算空氣品質效益的依據。

表3-9 空氣品質改善效益價值計算步驟

空氣品質效益	計算步驟使用參數
量化效益	計算植物吸收/沉積空氣汙染物的方式，來定量空氣品質改善效益的資源單位(kg、g 等)。
估算效益價值	定量的資源單位(kg、g 等)，利用收集相關市場價格，如空氣汙染物徵收辦法等，來估算空氣品質改善效益的經濟總價值。

(資料來源：本研究成果)

二、量化效益理論計算公式

利用(Currie and Bass etc,2008) 研究所得出植物每平方公尺所能吸收/沉積汙染物的量的表格，如表 4.7，來建立此理論公式估算空氣品質效益的經濟價值。

■ 空氣品質改善效益

理論公式：

$$\text{減少空氣中汙染物} = \text{設施面積} \times \text{吸收/沉積汙染物量} \dots\dots\dots(3-8)$$

式中：

設施面積：依據設施大小而定。

植物吸收/沉積汙染物範圍：可依據現場測量或是相關文獻與研究的實驗數據得知，本研究是利用相關研究案例得知，如表 3-10。

表3-10 屋頂綠化吸收/沉積標準污染物的範圍

	低標(kg/m ²)	高標(kg/m ²)
NO ₂ (二氧化氮)	1.462×10 ⁻³	2.329×10 ⁻³
O ₃ (臭氧)	2.871×10 ⁻³	4.492×10 ⁻³
SO ₂ (二氧化硫)	1.118×10 ⁻³	1.982×10 ⁻³
PM-10(懸浮微粒)	5.56×10 ⁻⁴	6.493×10 ⁻⁴

(資料來源：Currie and Bass and Yang etc, 2008)

三、市場價值理論公式

利用收集空氣品質效益相關市場價格數據在配合量化效益所計算的值來估算空氣品質改善效益的經濟總價值，建立此理論公式。

■ 空氣品質改善效益

理論公式：

$$\text{空氣品質改善效益價值} = \text{減少空氣污染物的量} \times \text{市場價格} \dots\dots(3-9)$$

上述式中，減少空氣污染物的量為量化效益所計算出的值，市場價格可以使用前述所提到的，空氣污染物徵收費等相關市場價格數據。本研究是使用空氣污染物徵收標準，但因為國內空氣污染物徵收標準並無懸浮微粒與臭氧，本文將利用 McPherson et al. (2006), Wang and Santini (1995) (如表 3-11)再配合國內環保署於民國 96 年 11 月 30 日公告空氣污染防制費收費辦法的收費標準(如表 3-12)，按比例計算得出國內懸浮微粒與臭氧的數據，因為國內有很多收費標準是參考國外的，所以本研究利用此方法來得出數據，如表 3-13。

表3-11 美國林務局公告收費標準

空氣汙染物	收費標準(美元/磅)
二氧化氮	3.34
臭氧	3.34
二氧化硫	2.06
懸浮微粒	2.84

(資料來源：McPherson et al. (2006), Wang and Santini (1995))

表3-12 空氣汙染防制費收費辦法

汙染物種類	費率		適用之公私場所
	二級防制區	一、三級防制區	
硫氧化物	7 元/公斤	8.5 元/公斤	第一級:季排放量 > 14 公噸
	5 元/公斤	6 元/公斤	第二級:1 公噸 < 季排放量 ≤ 14 公噸
	450 元/季	450 元/季	第三級:季排放量 ≤ 1 公噸
氮氧化物	8 元/公斤	10 元/公斤	第一級:季排放量 > 24 公噸
	6 元/公斤	7.5 元/公斤	第二級:1 公噸 < 季排放量 ≤ 24 公噸
	450 元/季	450 元/季	第三級:季排放量 ≤ 1 公噸

(資料來源：環保署於民國 96 年 11 月 30 日公告)

表3-13 本研究計算出國內收費標準

汙染物種	二級防制區	一、三級防制區	
硫氧化物	7 元/公斤	8.5 元/公斤	第一級:季排放量 > 14 公噸
	5 元/公斤	6 元/公斤	第二級:1 公噸 < 季排放量 ≤ 14 公噸
	450 元/季	450 元/季	第三級:季排放量 ≤ 1 公噸
<u>懸浮微粒</u>	9.59 元/公斤	13.7 元/公斤	第一級:季排放量 > 14 公噸
	6.85 元/公斤	8.22 元/公斤	第二級:1 公噸 < 季排放量 ≤ 14 公噸
	450 元/季	450 元/季	第三級:季排放量 ≤ 1 公噸
氮氧化物	8 元/公斤	10 元/公斤	第一級:季排放量 > 24 公噸
	6 元/公斤	7.5 元/公斤	第二級:1 公噸 < 季排放量 ≤ 24 公噸
	450 元/季	450 元/季	第三級:季排放量 ≤ 1 公噸
<u>臭氧</u>	8 元/公斤	10 元/公斤	第一級:季排放量 > 24 公噸
	6 元/公斤	7.5 元/公斤	第二級:1 公噸 < 季排放量 ≤ 24 公噸
	450 元/季	450 元/季	第三級:季排放量 ≤ 1 公噸
一級防制區，指國家公園及自然保護（育）區等依法劃定之區域。 二級防制區，指一級防制區外，符合空氣品質標準區域。 三級防制區，指一級防制區外，未符合空氣品質標準區域。			

（資料來源：本研究整理）

肆、溫室氣體減少效益

溫室氣體減少效益為依據(Niu et al,2010)研究分為直接效益與間接效益二部份，依據前述所建立溫室氣體減少效益經濟價值理論架構分為兩部份，計算固碳量(直接效益)、減少碳排放量(間接效益)來定量資源單位，在收集溫室氣體效益相關市場價格，來估算溫室氣體減少效益經濟總價值。如表 3-14 所示。

表3-14 溫室氣體減少效益價值計算步驟

溫室氣體效益	計算步驟使用參數
量化效益	計算直接效益（二氧化碳固定量）和間接效益（減少二氧化碳排放量）的方式，來定量溫室氣體減少效益的資源單位（kg、g 等）。
估算效益價值	將定量的資源單位（ kg、g 等），利用收集相關市場價格，如封存二氧化碳成本、碳交易價格等，來估算溫室氣體減少效益的經濟總價值。

（資料來源：本研究成果。）

一、溫室氣體減少效益

依據前述溫室氣體減少為減少或降低二氧化碳的量，在(Niu et al,2010)的研究顯示將基地保水設施減少二氧化碳的量分為兩部分，直接效益與間接效益，直接效益為設施種植之植物固定二氧化碳的量，即為固碳量。間接效益為因節省電量所減少電廠的二氧化碳排放量，即為碳減排。因此本研究在量化與估算溫室氣體減少效益上主要分為直接效益(固碳量)與間接效益(碳減排)兩部份。

二、量化效益理論計算公式

■ 直接效益(固定二氧化碳)

理論公式：

$$\text{直接效益} = \text{設施面積} \times \text{二氧化碳固定值} \dots\dots\dots(3-10)$$

式中：

設施面積：依據設施大小而定。

植物二氧化碳固定量：依據 2015 年綠建築評估手冊基本型(EEWH-BC)

綠化量指標裡二氧化碳固定量，如表 3-15。

表3-15 植栽二氧化碳的固定量

栽種類形		CO ₂ 固定量 (kg/m ²)	覆土深度	
			屋頂、陽台、露臺	其他
喬木	大小喬木、灌木、 花草密植混種區 (喬木間距 3.5mm 以下)	1200	1.0m 以上	1.0m 以上
	闊葉大喬木	900	0.7m 以上	
	闊葉小喬木、針葉 喬木、疏葉喬木	600		
	棕梠類	400		
灌木(每 m ² 至少栽種 4 株以上)		300	0.4m 以上	0.5m 以上
多生蔓藤		100		
草花花圃、自然野草地、水生植 物、草坪		20	0.1m 以上	0.3m 以上
註：栽種於屋頂及露臺的喬木若有良好的防颱技術工法(必須檢附技術資料)，加 設特殊固定設施可給予優惠，其覆土深度得降為原來 60%。				

(資料來源：2015 年綠建築評估手冊基本型(EEWH-BC)。)

■ 間接效益(減少二氧化碳排放量)

理論公式：

$$\text{間接效益} = \text{總節省電量} \times \text{排放因子} \dots\dots\dots(3-11)$$

式中：

總節省電量：為量化能源效益理論公式所計算出的值。

排放因子：為依據 98 年度經濟部能源局所公告的數據 0.623(kg/度)來做
使用。

三、市場價值理論公式

利用收集溫室氣體效益相關市場價格數據在配合量化效益所計算的值來估算溫室氣體減少效益的經濟總價值，建立此理論公式。

■ 直接效益

理論公式：

$$\text{直接效益} = \text{二氧化碳固定量} \times \text{市場價格} \dots\dots\dots (3-12)$$

■ 間接效益

理論公式：

$$\text{間接效益} = \text{減少二氧化碳排放量} \times \text{市場價格} \dots\dots\dots (3-13)$$

上述式中，二氧化碳固定量和減少二氧化碳排放量為量化效益所計算出的值，相關市場價格可以使用前述所提到的，地質碳封存成本或碳交易等相關市場價格數據，如表 3-16 所示。

表3-16 碳封存成本與碳交易價格

	價格
地質碳封存成本	148.75 元/噸
註：地質碳封存成本為依據經濟前瞻期刊環保專欄(胡均立、林瑞珠，2010)提出臺灣中油目前採取地質封存方式來固定二氧化碳方法的成本平均值。	
國際碳排放交易價格	1400 元/噸
歐盟排放交易系統	581 元/噸
Stern's 價值管理(碳交易網站)	2975 元/噸

(資料來源：本研究整理。)

第四節 初擬簡易效益計算系統工具

本節依據本研究已建立之量化理論公式與市場價值理論公式，初擬簡易效益計算系統架構，此系統模組主要估算基地保水設施分為三個部份，依據國內較常用保水設計之設施分為， Q_1 綠地、 Q_2 透水鋪面、 Q_3 屋頂綠化三部份。

壹、簡易效益計算系統平台簡介

本研究將利用 Microsoft Excel 為背景進行撰寫本研究輔助計算模式，並依據前面所以建立之理論公式與市場價值理論公式來建置。Microsoft Excel 是 Microsoft 為使用 Windows 和 Apple Macintosh 作業系統的電腦編寫的一款試算表軟體。直觀的介面、出色的計算功能和圖表工具，再加上成功的市場行銷，使 Excel 成為最流行的個人電腦資料處理軟體。本研究擬將使用的 Microsoft Excel 2016 的版本撰寫。

貳、各設施估算操作模組

依據國內較常用保水設計之設施，將基本估算模組分為 Q_1 綠地、 Q_2 透水鋪面、 Q_3 屋頂綠化三部份。

一、綠地、被覆地、草溝估算模組 Q_1

為操作介面模組，依據本研究前面所建立各效益估算架構來建立此綠地估算模組之介面，主要分為水資源效益、能源節省效益、空氣品質改善效益、溫室氣體減少效益四個部份，如圖 3-6 示意。

基地保水設施名稱：Q1綠地					
	設施面積		m ²		填寫與選填
	設置成本		NTD		計算之值
水資源節約效益					
量 化 效 益	年平均降雨量		0	mm	
	降雨逕流係數 [◎]				
	保水效益(C)		0	m ³	
	截留效益(1-C)		0	m ³	
估 算 效 益	市場價格範圍			NTD/度	
	保水經濟效益		0	NTD	
	市場價格			NTD/度	
	截留經濟效益		0	NTD	
能源節省效益					
量 化 效 益	設施截留體積		0	m ³	
	截留耗能	汙水合併	0.27	kwh/度	
		汙水分開			
	能源效益			0	度，公升
估 算 效 益	市場價格			NTD/度	
	能源節省經濟效益			0	NTD
空氣品質改善效益					
量 化 效 益	NO ₂	0	kg	範圍	1.46E-03~2.24E-03
	SO ₂	0	kg	範圍	1.12E-03~1.98E-03
	O ₃	0	kg	範圍	2.87E-03~4.49E-03
	PM-10	0	kg	範圍	5.56E-04~6.49E-04
	空氣品質效益	0	kg		

圖 3-6 綠地、被覆地、草溝估算模組

(資料來源：本研究成果。)

二、透水鋪面估算模組 Q₂

為操作介面模組，依據本研究前面所建立各效益估算架構來建立透水鋪面估算模組之介面，主要分為水資源效益、能源節省效益、溫室氣體減少效益三個部份，如圖 3-7 示意。

基地保水設施名稱：Q2透水鋪面						
	設施面積		m ²			填寫與選填
	設置成本		NTD			計算之值
水資源節約效益						
量 化 效 益	年平均降雨量		0	mm		
	降雨逕流係數 [◎]					
	保水效益(C)		0	m ³		
	截留效益(I-C)		0	m ³		
估 算 效 益	市場價格範圍			NTD/度		
	保水經濟效益		0	NTD		
	市場價格			NTD/度		
	截留經濟效益		0	NTD		
能源節省效益						
量 化 效 益	設施截留體積		0	m ³		
	截留耗能	汙水合併	0.27	kwh/度		
		汙水分開				
	能源效益			0	度，公升	
估 算 效 益	市場價格			NTD/度		
	能源節省經濟效益			0	NTD	
溫室氣體減少效益						
量 化 效 益	植栽固碳量		0	kg		
	排放因子			0	kg	
	直接效益(固碳)		0	kg		
	間接效益(碳減排)		0	kg		
估	市場價格			0	NTD/噸	

圖 3-7 透水鋪面估算模組

(資料來源：本研究成果。)

三、屋頂綠化估算模組 Q₃

為操作介面模組，依據本研究前面所建立各效益估算架構來建立屋頂綠化估算模組之介面，主要分為水資源效益、能源節省效益、空氣品質改善效益、溫室氣體減少效益四個部份，如圖 3-8 示意。

基地保水設施名稱：Q3屋頂綠化						
	設施面積		m ²			填寫與選填
	設置成本		NTD			計算之值
水資源節約效益						
量 化 效 益	年平均降雨量		0	mm		
	降雨逕流係數 [◎]					
	保水效益(C)		0	m ³		
	截留效益(1-C)		0	m ³		
估 算 效 益	市場價格範圍			NTD/度		
	保水經濟效益		0	NTD		
	市場價格			NTD/度		
	截留經濟效益		0	NTD		
能源節省效益						
量 化 效 益	年平均冷卻度日		0	°C		
	熱阻係數	一般屋頂		W/m ² *K		(普遍使用0.8為值)
		屋頂綠化		W/m ² *K		
	傳熱係數U值		0	W/m ² *K		
	能源效益		0	度		
估 算 效 益	市場價格			NTD/度		
	能源節省經濟效益		0	NTD		
空氣品質改善效益						
量 化 效 益	NO ₂	0	kg	範圍	1.46E-03~2.24E-03	
	SO ₂	0	kg	範圍	1.12E-03~1.98E-03	
	O ₃	0	kg	範圍	2.87E-03~4.49E-03	

圖 3-8 屋頂綠化估算模組

(資料來源：本研究成果。)

參、電腦估算輔助工具初擬內容

本研究建置之簡易效益計算系統工具主要為估算建築基地保水設施所提供效益之經濟價值，利用前面所建立理論公式與收集各效益相關市場價格來估算各設施所衍生效益之經濟價值。目前並無與設置成本、維護成本....等相關成本數據進行比較與分析，只估算基地保水設施所以提供效益之經濟價值。後續可將其結

合成本效益分析使其更加完善。此估算輔助工具未可供國內建築師或規劃師在做建築基地保水設施選擇或進行建築基地保水設施改善的決策依據之參考用。

第四章 基地保水設施設置成本估算分析

本章針對其基地保水設施工程成本組成架構內容及相關估算項目作業方式進行蒐集，並對 Q₁ 綠地、被覆地、草溝，Q₂ 透水鋪面，Q₃ 花園土壤(屋頂綠化) 三種基地保水設施提供設置成本參考。

第一節 設置成本估算分析

以下為目前國內外針對基地保水設施設置成本分析相關研究彙整，如美國加州，以生命週期成本(LCC)之角度，評估永續建築的成本與效益。該研究先以加州 33 處綠建築及傳統建築成本相較，而後估算建物生命週期之經濟效益，其項目包括減少整體成本之項目：即節約耗能及用水、廢棄物處置成本、環境和排放成本與運作和維護成本；以及可增加效益之項目：如員工生產力和健康之提升。再以現值概念估算綠建築整體生命週期間產生之成本與效益的現值。結果顯示綠建築初期投入成本較傳統建築僅增加約 2%，但建築物使用之 20 年間節省之營運成本與增生效益卻可高達初期投入的十倍之多。David 及 Lucille Packard 基金會(2002)針對一個考量環境目標之 90,000 平方英尺的新辦公室進行研究，發現每增加一個級別的永續性能(包含 LEED 之級別)，雖增加短期成本，但長期成本卻是減少的。Xenergy(2000)於波特蘭(Portland)將三棟傳統建築提升為符合 USGBC LEED 認證水準，研究結果發現可節省 15%之生命週期成本，且來自能源使用效率、用水效率及廢棄材料之使用之成本節約。

Kosareo and Ries(2007)曾針對薄層型及密集型兩種型式之綠屋頂，與一般屋頂利用 Impact 2002+方法(Humbert et al., 2005)進行 LCA，其主要評估截水與水質(Storm water quantity and quality parameters)、臭氧層破壞(ozone layer depletion)、酸沉降(Acid deposition)、非生物資源之消耗(abiotic depletion)與全球暖化(global warming)等環境衝擊，

兩類型綠屋頂對環境衝擊皆較一般屋頂少，且密集型綠屋頂環境衝擊減量較薄層型綠屋頂多，各面向減少量皆在 50% 以上，並以單一級分進行評估，薄層式綠屋頂約較一般屋頂衝擊量少 50%。

高正忠、葉彥宏（2012）嘗試針對屋頂綠化設施及其對環境效益量化方式進行研究，效益部分主要評估降溫節能、減碳、空污減量及截水四項；降溫節能採用 1D-HF 法及 eQUEST 模式模擬分析綠屋頂所能減少的建築耗能；減碳部分除了節能所造成的減碳效益外，亦依植物減碳能力估算城市綠屋頂之減碳效益；空污減量則採用乾沈降模式推估綠屋頂空煙風逕流減少量氣污染減量效益；截水部分則採用綠屋頂截水效益經驗公式推估總截水量及依據綠屋頂飽和截水深度推估。各效益的經濟效益則分別依據電價、碳稅、空污防治與損害成本及可能節省的雨水系統擴充成本分別計算。

林鎮洋、林容安（2013）歸納國內建置綠屋頂之設計、建造與維護成本，藉由淨現值法、效益比法與還本年限法等評析國內建置薄層綠屋頂之成本效益；報告中另研提出量化綠屋頂四大效益方式，包括 1. 截水效益：以節水係數而言，文中指出每平方公尺可截水 0.38m^3 ，單位流量工程款約每公噸流量 0.56 元。2. 節能效益：包括單元降溫係數為每單元草本綠屋頂可使室內溫度下降 2.6 度，而都市建置 1,000 平方公尺每年約可省下空調耗電 17,032 元。3. 空污效益：包括三項空污削減係數 PM10, NO_x, SO_x 等估算，每平方公尺約可省下空氣污染防制約可達新台幣 89.28 元。4. 固碳效益：每平方公尺薄層綠屋頂每年可省下 52.29 度電量使用，植物固碳係數平均值約 0.3 公斤，而每年每平方公尺約可以省約新台幣 84.54 元。

以上皆提及以現值概念估算基地保水設施建置成本與效益的現值、市場價格單價成本計算等，本研究將以成本單價及成本回歸分析說明。

第二節 成本單價分析

本節初步評估國內三項技術「被覆地、綠地、草溝」、「透水鋪面」及「屋頂綠化」等其建置成本，並進以分述說明「設置成本」、「生命週期」、「維護成本」及「更新成本」三部分，包括：

壹、被覆地、綠地、草溝

本研究參考內政部營建署「水環境低衝擊開發設施操作手冊，2015」、「城市綠屋頂成本效益分析，2012」研究成果及諮詢各廠商，並在估算時因材料及工費及雜項、運輸等細項不易拆開估算，故蒐集所得成本皆為含工帶料的平均概估資料，可彙整如下述說明。

一、設置成本分析

被覆地、綠地、草溝之成本分析如下表 4-1 所示。每平方公尺約 3,500~4,500 元左右，視材料及結構深度有所變化。

表4-1 被覆地、綠地、草溝成本分析表

工料名稱	單位	數量	單價 (元)	複價 (元)	備註
地工織布 (TH=2mm)	m ²	1.60	25	40	
過濾貯水層，碎石級配 (TH=30cm)	m ³	0.30	900	270	
生長介質 (TH=30cm)	m ³	0.30	3500	1,050	
地被植物	m ²	5.39	150	809	草皮尺寸 43cm*43cm
技術工	工	0.50	2,500	1,250	
零星工料及損耗	式	1.00	20	20	
總價 (元/m)				3,439	
* 成本可能因材料選擇及設施尺寸不同有所差異。					

(資料來源：水環境低衝擊開發設施操作手冊，2015。)

二、生命週期

若設計和維護適當，一般的生命週期約可達 25 年。

三、維護項目、頻率與成本

1. 維護項目與頻率

(1) 檢查：對於設置時間 6 個月以下的設施，經歷初次暴雨後應立即進行檢查維護，之後應定期於每半年與重大降雨事件後立即進行檢查及維護。檢查項目包括：

- 是否有阻塞及收集問題（半年）。
- 槽體是否有沖蝕（半年）。
- 植物覆蓋率是否維持 80% 以上。
- 人車造成的結構損傷。
- 豐水期每季檢查 1 次土壤沖蝕、淤積及植被生長情形。

(2) 澆水：於乾枯季節視情形不定期的澆水。

(3) 植被管理

- 設計的原生花草應無割草需求，若必須需割草，視季節及現場狀況需求修剪植栽，原則約每年 1~2 次。
- 修剪維護時盡量不使用除草劑或肥料等人工化學品，使用割草機設備時應盡量使用輕型設備，避免土壤夯實。
- 當例行檢查時發現槽體植被覆蓋率不足，應進行補植。

(4) 沉積物移除：每半年進行溝內雜物及堆積物移除，但若泥砂堆積量達到原始設計容量的 25%，應立即進行移除。

(5) 修復：表土如果無法在 8~12 小時內將水分排乾，應重新進行翻耕（視現場狀況需求）。

2. 維護成本

依上述之項目實施檢查、移除沉積物、修剪及清除雜草，每 100 平方公尺約 1,000~1,200 元。

四、更新成本

草溝部分則假設每 10 年需要更新是指植物部分（亦指假設為每平方公尺 809 元更新費）。

貳、透水鋪面

本研究參考內政部營建署「水環境低衝擊開發設施操作手冊，2015」、「城市綠屋頂成本效益分析，2012」研究成果及諮詢各廠商，並在估算時因材料及工費及雜項、運輸等細項不易拆開估算，故蒐集所得成本皆為含工帶料的平均概估資料，可彙整如下述說明。

一、設置成本分析

透水混凝土磚、透水混凝土鋪面、多孔隙瀝青鋪面及非連續拼接或鏤空鋪面等之成本分析如下表 4-2~4-5 所示。每平方公尺透水鋪面約 1,700~2,700 元左右，視結構深度、材質及類型會有所變化。

表4-2 透水混凝土磚成本分析表

工料名稱	單位	數量	單價 (元)	複價 (元)	備註
挖方及回填夯實	m ³	2.00	70	140	
級配粒料底層，碎石級配	m ³	0.50	900	450	市區人行道約 45~50cm
土工織布 (TH=2mm)	m ²	2.00	25	50	
襯墊砂	m ³	0.03	1,000	30	市區人行道約 20~30cm
透水磚鋪面 (TH=6cm)	m ²	1.00	1,270	1,270	市區人行道約 6cm
技術工	工	0.12	2,500	300	
零星工料及損耗	式	1.00	20	20	
總價 (元/m ²)				2,260	
* 成本可能因材料選擇及設施尺寸不同有所差異。					

(資料來源：水環境低衝擊開發設施操作手冊，2015。)

表4-3 透水混凝土鋪面成本分析表

工料名稱	單位	數量	單價 (元)	複價 (元)	備註
挖方及回填夯實	m ³	2.00	70	140	
級配粒料底層，碎石級配	m ³	0.50	900	450	市區人行道約 45~50cm
土工織布 (TH=2mm)	m ²	2.00	25	50	
襯墊砂	m ³	0.03	1,000	30	市區人行道約 20~30cm
模板組立	m ²	0.20	400	80	
透水混凝土 (TH=6cm)	m ²	0.10	1,270	1,270	市區人行道約 6cm
鍍鋅扁鐵分割條施工	m ²	1.00	280	280	
技術工	工	0.12	2,500	300	
零星工料及損耗	式	1.00	20	20	
總價 (元/ m ²)				2,620	
* 成本可能因材料選擇及設施尺寸不同有所差異。					

(資料來源：水環境低衝擊開發設施操作手冊，2015。)

表4-4 多孔隙瀝青鋪面成本分析表

工料名稱	單位	數量	單價 (元)	複價 (元)	備註
挖方及回填夯實	m ³	2.00	70	140	
級配粒料底層，碎石級配	m ³	0.50	900	450	市區人行道 約 45~50cm
土工織布 (TH=2mm)	m ²	2.00	25	50	
襯墊砂	m ³	0.03	1,000	30	市區人行道 約 20~30cm
透水瀝青混凝土面層 (TH=8cm)	m ²	1.00	700	700	市區人行道 約 6cm
技術工	工	0.12	2,500	300	
零星工料及損耗	式	1.00	20	20	
總價 (元/ m ²)				1,690	
* 成本可能因材料選擇及設施尺寸不同有所差異。					

(資料來源：水環境低衝擊開發設施操作手冊，2015。)

表4-5 非連續拼接或鏤空鋪面成本分析表

工料名稱	單位	數量	單價 (元)	複價 (元)	備註
挖方及回填夯實	m ³	2.00	70	140	
級配粒料底層，碎石級配	m ³	0.50	900	450	市區人行道 約 45~50cm
土工織布 (TH=2mm)	m ²	2.00	25	50	
襯墊砂	m ³	0.03	1,000	30	市區人行道 約 20~30cm
非連接型鋪面 (TH=10cm)	m ²	1.00	1,120	1,120	
技術工	工	0.12	2,500	300	
零星工料及損耗	式	1.00	20	20	
總價 (元/m ²)				2,110	
* 成本可能因材料選擇及設施尺寸不同有所差異。					

(資料來源：水環境低衝擊開發設施操作手冊，2015。)

二、生命週期

透水性鋪面在適當安裝和維護下，其使用壽命約可達 15 ~ 20 年。

三、維護項目、頻率與成本

1. 維護項目

在完工及開放使用後，透水性鋪面的效用隨時間遞減，其空隙率及排水能力會隨車輛碾壓及灰塵石屑堵塞而降低，適時實行養護作業，可使鋪面維持一定服務水準並延長使用壽命。

本手冊參考公共工程會施工規範第 02794 章「透水性鋪面之一般要求」之管理與維護基準、內政部營建署民國 98 年 11 月之「透水性鋪面養護工法參考手冊」及國外相關技術手冊，就透水鋪面損壞後之修補工法及一般維護方式，分別說明如下：

(1) 透水混凝土磚及非連續拼接鋪面修補工法

■ 維修區域之劃分

透水磚鋪面維修前，需先針對維修區域進行劃分，

包括預計挖除區域及挖除延伸區域。為避免挖除時影響其餘支撐良好之透水磚區域，挖除時需向外延伸 2~3 個磚塊長度之區域，以保護其餘區域之襯墊層及級配基底層。

■ 首塊透水磚移除

劃分確定維修區域後，即可將首塊透水磚移除。移除方法：先利用小螺絲起子或刮刀清除第 1 塊需移除透水磚之接縫砂（joint sand）後，即可利用大螺絲起子將首塊透水磚移除。

■ 其餘透水磚移除

首塊透水磚移除後，其餘透水磚因喪失旁邊之支撐能力，將可輕易移除。為快速移除透水磚，可利用振動方式降低相鄰透水磚的互鎖（interlock）效應。若為大範圍透水磚鋪面移除，亦有專用之移除機械可供使用。

■ 襯墊層及級配基底層材料之移除

透水磚移除完畢後，下一層即為襯墊層，需先將襯墊層的砂耙鬆才可移除，移除的砂可再使用，惟應注意砂中若有混合其餘材料，則不可再使用，移除的砂再使用時，應先將其完全耙鬆方可再使用。挖除襯墊層時，應注意挖除範圍需距離良好透水鋪面最少 15~30 公分，以確保其餘透水鋪面之襯墊層保持不被擾動且穩定之狀態。若級配基底層材料需進行移除，可利用挖土機或是人工方式進行挖除，其挖除範圍亦如同襯墊層之範圍，須距良好透水磚鋪面最少 15~30 公分。

■ 級配基底層材料回填

級配基底層可依據組成結構設計原則中，級配基底層所要求之級配材料進行填補。

■ 襯墊層回填

襯墊層回填時，材料應為乾淨、未混合其餘材料的砂，回填時先以木板對鋪設的砂進行抹平，其回填高度應略高於原先襯墊層，抹平過後即可進行夯實。

■ 透水磚填補與接縫砂回填

襯墊層回填後，即可進行透水磚填補。依原來透水磚之排列方式逐一填補。填補完成後，在接縫處回填接縫砂 (joint sand)，確定其接縫亦保持原始設計間距相同，且利用夯實機進行震動夯實，確保透水磚及接縫砂可牢固於襯墊層，並與相接之透水磚產生互鎖效應。透水磚鋪設完成後，需確保其平整度。

(2) 透水混凝土修補工法

當透水混凝土鋪面裂縫已達重級裂縫以上時，或鋪面損壞甚鉅，無法維持鋪面之正常功能時應即翻修，宜採用部分鋪面局部打除重作工法改善。本工法是將部分鋪面移除後，在現場澆置透水混凝土予以更新。其施工順序如下：

- 鋸割鋪面與路肩之接縫或鋪面之縱向接縫及橫向接縫。
- 移除原有損壞之鋪面與不良之底層材料，惟挖除路基之級配基底層時應注意不可擾動鄰近土壤。如用機械開挖時，距開挖線處應改由人工開挖。
- 重新夯壓基層及底層，角隅或邊緣處應以夯壓機或搗固機等壓實，必要時需增加鋪面厚度。
- 澆置透水混凝土時與原有路邊結構物之縱向縫隙間應加以隔離。

(3) 多孔隙瀝青修補工法

可採刨除加鋪方式修補，此修補工法可保持路面高度不變，由於下層為級配基層，刨除面下方之粗粒料容易鬆散，

可能對設施耐久性產生不良影響，故刨除加鋪前需先針對級配層重新夯實較為妥適。

(4) 一般維護工法

透水鋪面主要維護保養多著重於鋪面的孔隙阻塞，一般多利用真空吸塵器或高壓水柱沖洗並清刷路面，避免灰塵阻塞或泥沙淤積造成透水率降低。

2. 維護頻率

(1) 鋪面完工後前 4 個月，每月檢視 1 次，往後每年檢視 3~5 次。

(2) 大雨後檢視表面是否積水，若鋪面嚴重阻塞，需清理或翻修。

(3) 鋪面應於每年雨季來臨前檢測透水性，透水性降低至一定程度，應立即清洗。

(4) 每年視鋪面阻塞狀況清理 3~5 次。較佳維護時機分別為早春（4 月）、夏季（7~8 月）及秋季落葉後（11 月），並使用真空高效吸塵，而透水混凝土及多孔隙瀝青則可配合高壓水柱沖洗。

(5) 排水管出口應不定期檢查，且每年至少 1 次。

3. 維護成本

高壓水柱沖洗之成本：30 元/平方公尺。

4. 更新成本

本研究假設一般道路約 2 至 3 年需要更新一次，更新成本假設與設置成本相同；而透水鋪面部分則需依上方使用方式，包括僅供人行或可供車輛行駛，以及依據鋪設型式（澆置型或鋪磚型）均會影響鋪面的使用年限，本研究暫假設與一般道路使用情形相同，但鋪磚型壽命較短約 1 至 2 年即需要更新一次，澆置型可假設與一般道路使用年限相當；此外，如為鋪磚型更新成本假設則僅包括上層鋪面層部分，如為澆置型，則與設

置成本相同。

參、「屋頂綠化」

本研究參考內政部營建署「水環境低衝擊開發設施操作手冊，2015」及「城市綠屋頂成本效益分析，2012」研究成果，並在估算時因材料及工費及雜項、運輸等細項不易拆開估算，故蒐集所得成本皆為含工帶料的平均概估資料，可彙整如下述說明。

一、設置成本分析

屋頂綠化成本分析如下表 4-6 ~ 4-7 所示。每平方公尺綠屋頂約 3,000 ~ 9,000 元左右，視採用類型、植栽種類及材料有所變化。

表 4-6 粗放型屋頂綠化成本分析表

工料名稱	單位	數量	單價 (元)	複價 (元)
防水毯	m ²	1.00	1,000	1,000
斷根毯	m ²	1.00	600	600
排保水板	m ²	1.00	500	500
地工織布 (TH=2mm)	m ²	1.00	25	25
輕質土 (TH=10cm)	m ³	0.10	7,000	700
植栽 (地被)	m ²	1.00	160	160
技術工	工	0.25	1,500	375
零星工料及損耗	式	1.00	10	10
總價 (元/ m ²)				3,370
註：植栽成本可能依設計有所不同。				

(資料來源：水環境低衝擊開發設施操作手冊，2015。)

表4-7 精緻型屋頂綠化成本分析表

工料名稱	單位	數量	單價 (元)	複價 (元)
防水毯	m ²	1.00	1,000	1,000
斷根毯	m ²	1.00	600	600
排水板	m ²	1.00	500	500
土工織布 (TH=2mm)	m ²	1.00	25	25
輕質土 (TH=50cm)	m ³	0.10	7,000	3,500
植栽 (地被)	m ²	1.00	160	160
植栽 (草花)	m ²	0.60	900	540
植栽 (灌木)	株	5.00	210	1,050
滴灌系統	m ²	1.00	650	650
技術工	工	0.25	1,500	375
零星工料及損耗	式	1.00	10	10
總價 (元/ m ²)				8,410
註：植栽成本可能依設計有所不同。				

(資料來源：水環境低衝擊開發設施操作手冊，2015。)

二、生命週期

以歐美國家的經驗而言，維護管理良好之的屋頂綠化，其使用壽命可達 15~20 年。

三、維護項目、頻率與成本

1. 維護項目與頻率

(1) 灌溉

- 屋頂綠化完成第一年，如果沒有足夠的降雨時，需要定期灌溉，之後在非乾旱時期可依據狀況減少灌溉量。
- 粗放型屋頂綠化只有在維持植物生存所需時才進行灌溉。當必須進行灌溉時（例如在栽種初期和乾旱時期），應讓生長介質完全飽和。

- 應根據氣候條件進行灌溉。夏季一般要在清晨或傍晚澆水，冬季一般在中午澆水。

(2) 植被管理

- 嚴格控制植栽高度、疏密度，保持適宜根冠比及水分養分平衡，保證屋頂綠化的安全性。
- 屋頂綠化完成後，前兩年的除草特別重要，應盡速清除雜草，至少每季 1 次；而後每年進行除草 1 次。項目包括：清除喬木與灌木的自生植物幼苗，避免屋頂載重增加以及木本植物根系損害防水層。植物殘骸應定期清除，保持排水系統暢通。
- 定期清除入侵的植物，以避免種植的品種被排除。除草和檢查週期應與重要園藝週期一致。
- 盡量手動除草而不使用除草劑。
- 生長基質層應保持 90% 以上的植被覆蓋率。
- 定期修剪與分枝，確保整體生長空間的密度。
- 定期檢查植物健康狀況即進行病蟲害維護。

(3) 施肥

- 施加於生長介質層的肥料，每平方公尺不應高於 5 克的營養物。
- 粗放型栽種完成後之施肥量不宜過高，可使用封裝的有機容器緩慢釋放肥料，避免水體營養素負荷過高。
- 精養型通常比粗放型更需要施肥，應依照製造商及安裝人員的建議。
- 精養型每年兩次定期施肥，粗放型則為每年一次。
- 每年一次施肥時，確認生長過程中所需之可溶性含氮量。

(4) 設施檢查維護

- A、粗放型每年至少檢查 2 次全部組件，精養型每年至少 4 次。

檢查時間應安排與維護操作及重要園藝週期重合（例如在雜草播種期前）。檢查項目包括：

- 定期檢查屋頂排水系統的通暢情況，及時清理枯枝落葉，防止排水口堵塞。
- 接面、牆壁及屋頂是否因損壞造成滲漏。
- 過強的降雨會破壞生長介質層的穩固，須定期對新設的生長介質層進行補強。

B、樹木固定措施和周邊護欄應經常檢查，防止脫落。

C、建議使用電子滲漏偵測。安裝後的起初幾個月內，應特別留意滲漏偵測。

D、每季檢查生長介質是否有必要更換，除非有特殊情況，應使用原設計。替換或調整生長介質時須注意滿足負載限制、排水要求及利於植物生長之需求。

E、該設施所有者或維護承包商應保持維護紀錄。

2. 維護成本

- 前 2 年應至少每季修剪及清除雜草 1 次，而後應每年進行 1 次，每次 5,000~6,000 元。

- 每 5~8 年更換滴灌系統馬達，每次 10,000 元。

四、更新成本

本研究假設一般屋頂部份約 10 至 20 年需要更新一次，但只限防水層以上，不含下方的結構，更新成本假設與設置成本相同；屋頂綠化部分則假設每 15 年需要更新是指植物部分（亦指假設為每平方公尺 160~1,750 元更新費），屋頂本身由於綠屋頂阻隔陽光紫外線及形成保護層降溫等影響，因此可假設較於一般屋頂壽命延長一倍。

第三節 成本回歸分析

本計畫主要蒐集建築中心執行之「綠建築更新診斷與改造計畫」有關基地保水設施的相關案例，做成本迴歸分析供建置時經費參考。目前統計有19個案例與基地保水設施相關，初步以國內三項技術「被覆地、綠地、草溝」、「透水鋪面」及「屋頂綠化」成本回歸分析。

壹、被覆地、綠地、草溝

本研究初步將案例經費在估算時因材料及工費及雜項、運輸等細項不易拆開估算，故蒐集所得成本皆為含工帶料的平均概估資料，並將工程經費分為直接工程及間接工程二大項目；初步結果被覆地、綠地、草溝直接工程每平方公尺約224元；直接工程含間接工程每平方公尺約504元。

貳、透水鋪面

初步將案例經費在估算時因材料及工費及雜項、運輸等細項不易拆開估算，故蒐集所得成本皆為含工帶料的平均概估資料，並將工程經費分為直接工程及間接工程二大項目；直接工程包含設施、圍籬、拆除清運及包商利潤等項目；間接工程包含工程管理費、委託設計監造費及空污費等項目。

1. 透水車道磚

初步結果如表4-8所示，透水車道磚直接工程成本(含包商利潤)每平方公尺約1,800~2,450元；回歸分析如圖4-1可得回歸公式 $y = -0.00396x + 2069$ 。透水車道磚直接工程成本(含包商利潤、圍籬)每平方公尺約1,850~2,500元，如表4-9所示；回歸分析如圖4-2可得回歸公式 $y = -0.0029x + 2094.2$ 。透水車道磚直接工程成本(含包商利潤、拆除清運)每平方公尺約1,930~2,600元，如表4-10所示；回歸分析如圖4-3可得回歸公式 $y = -0.0347x + 2248.8$ 。透水車道磚直接工程成本(含包商利潤、圍籬、拆除清運)每平方公尺約1,990~2,700元，如表4-11所示；回歸分析

如圖4-4可得回歸公式 $y = 0.0015x + 2274.6$ 。

表4-8 透水車道磚直接工程成本(含包商利潤)

單位	面積	元/m ²
案例 1	1260	2,050
案例 2	820	2,421
案例 3	800	1,826
案例 4	800	1,826
案例 5	300	1,882
案例 6	205	2,245

(資料來源：本研究成果。)

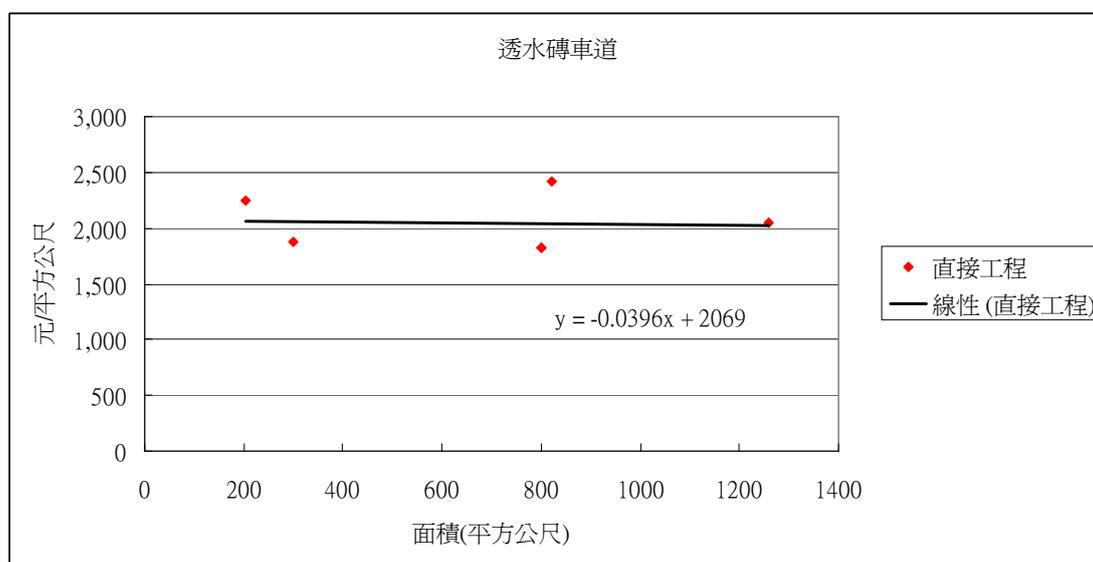


圖 4-1 透水車道磚直接工程成本回歸(含包商利潤)

(資料來源：本研究成果。)

表4-9 透水車道磚直接工程成本(含包商利潤、圍籬)

單位	面積	元/m ²
案例 1	1260	2,114
案例 2	820	2,491
案例 3	800	1,880
案例 4	800	1,880
案例 5	300	1,901
案例 6	205	2,287

(資料來源：本研究成果。)

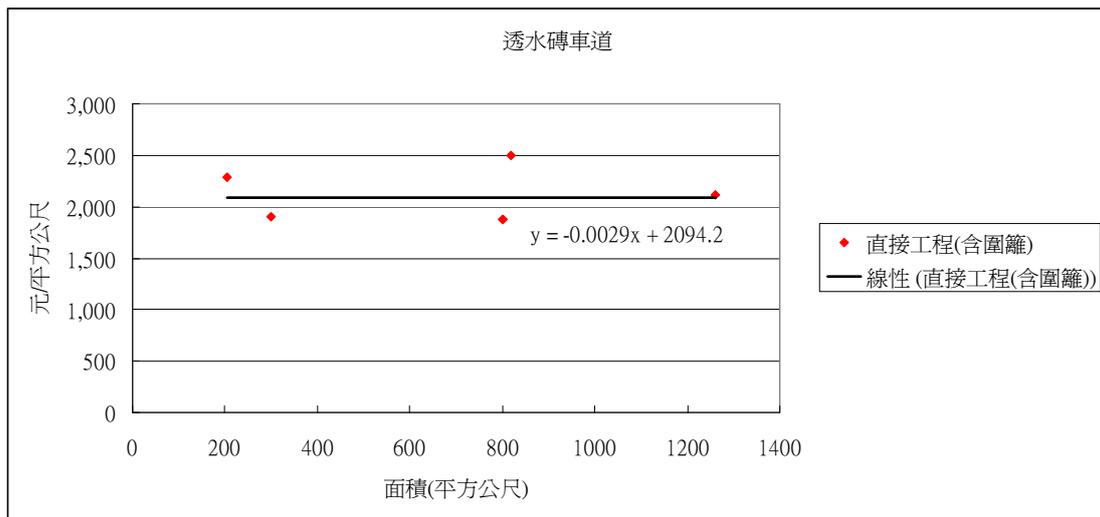


圖 4-2 透水車道磚直接工程成本回歸(含包商利潤、圍籬)

(資料來源：本研究成果。)

表4-10 透水車道磚直接工程成本(含包商利潤、拆除清運)

單位	面積	元/m ²
案例 1	1260	2,325
案例 2	820	2,601
案例 3	800	1,938
案例 4	800	1,938
案例 5	300	1,994
案例 6	205	2,552

(資料來源：本研究成果。)

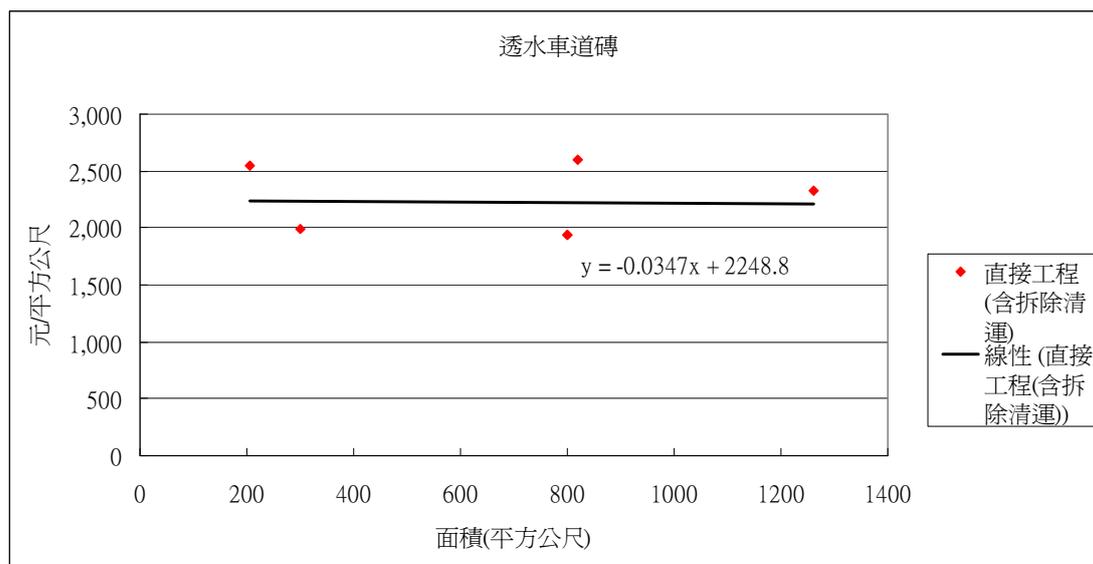


圖 4-3 透水車道磚直接工程成本回歸(含包商利潤、拆除清運)

(資料來源：本研究成果。)

表4-11 透水車道磚直接工程成本(含包商利潤、圍籬、拆除清運)

單位	面積	元/m ²
案例 1	1260	2,389
案例 2	820	2,671
案例 3	800	1,992
案例 4	800	1,992
案例 5	300	2,015
案例 6	205	2,594

(資料來源：本研究成果。)

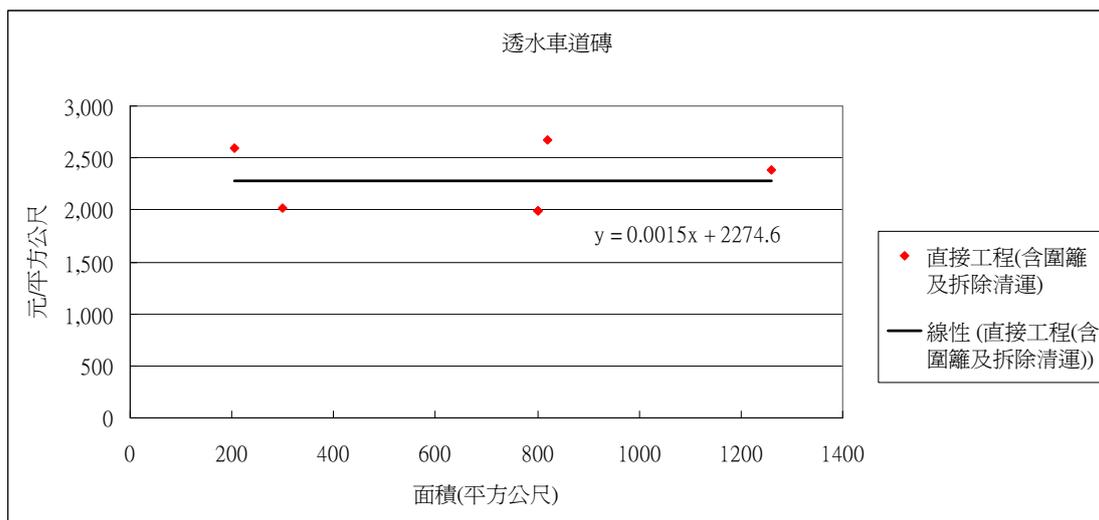


圖 4-4 透水車道磚直接工程成本回歸(含包商利潤、圍籬、拆除清運)

(資料來源：本研究成果。)

工程總經費包含直接工程及間接工程，初步結果如表4-12所示，透水車道磚直接工程成本(含包商利潤)及間接工程成本每平方公尺約2,000~2,700元；回歸分析如圖4-5可得回歸公式 $y = -0.2419x + 2462.8$ 。透水車道磚直接工程成本(含包商利潤、圍籬)及間接工程成本每平方公尺約2,050~2,800元，如表4-13所示；回歸分析如圖4-6可得回歸公式 y

= $-0.3523x + 2562.2$ 。透水車道磚直接工程成本（含包商利潤、拆除清運）及間接工程每平方公尺約2,100~2,900元，如表4-14所示；回歸分析如圖4-7可得回歸公式 $y = -0.192x + 2553.4$ 。透水車道磚直接工程成本（含包商利潤、圍籬、拆除清運）及間接工程每平方公尺約2,100~3,000元，如表4-15所示；回歸分析如圖4-8可得回歸公式 $y = -0.152x + 2581.8$ 。

表4-12 透水車道磚直接工程(含包商利潤)及間接工程成本

單位	面積	元/m ²
案例 1	1260	2,238
案例 2	820	2,670
案例 3	800	2,014
案例 4	800	2,014
案例 5	300	2,075
案例 6	205	2,753

(資料來源：本研究成果。)

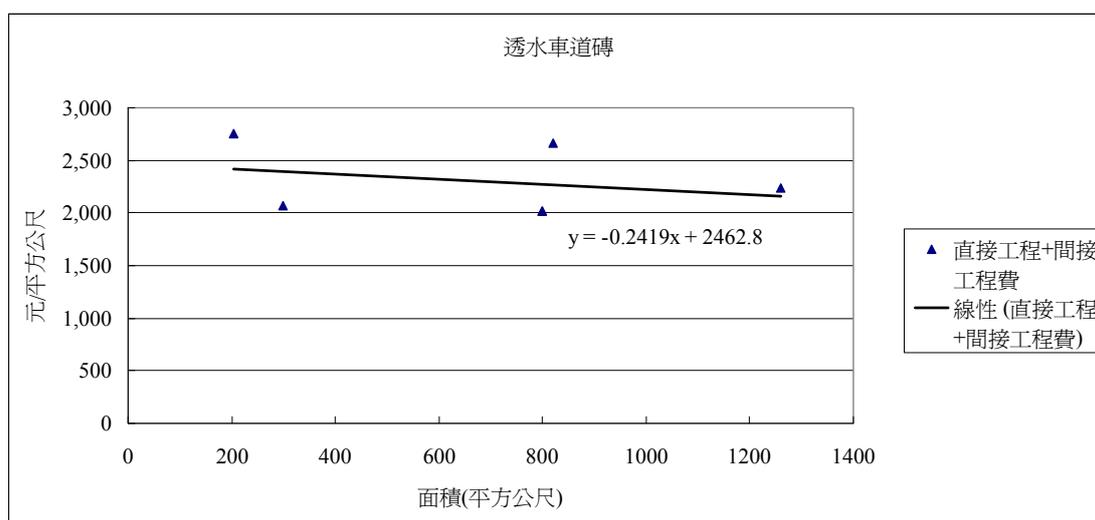


圖 4-5 透水車道磚直接工程（含包商利潤）及直接工程成本回歸

(資料來源：本研究成果。)

表4-13 透水車道磚直接工程(含包商利潤、圍籬)及間接工程成本

單位	面積	元/m ²
案例 1	1260	2,107
案例 2	820	2,748
案例 3	800	2,074
案例 4	800	2,074
案例 5	300	2,097
案例 6	205	2,799

(資料來源：本研究成果。)

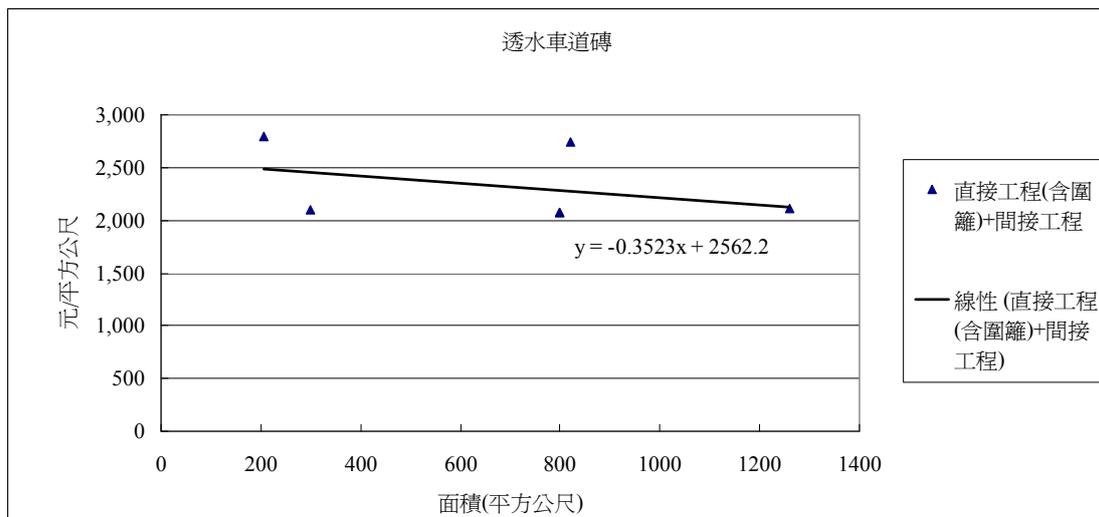


圖 4-6 透水車道磚直接工程 (含包商利潤、圍籬)及直接工程成本回歸

(資料來源：本研究成果。)

表4-14 透水車道磚直接工程成本(含包商利潤、拆除清運)

單位	面積	元/m ²
案例 1	1260	2,359
案例 2	820	2,869
案例 3	800	2,137
案例 4	800	2,137
案例 5	300	2,200
案例 6	205	2,815

(資料來源：本研究成果。)

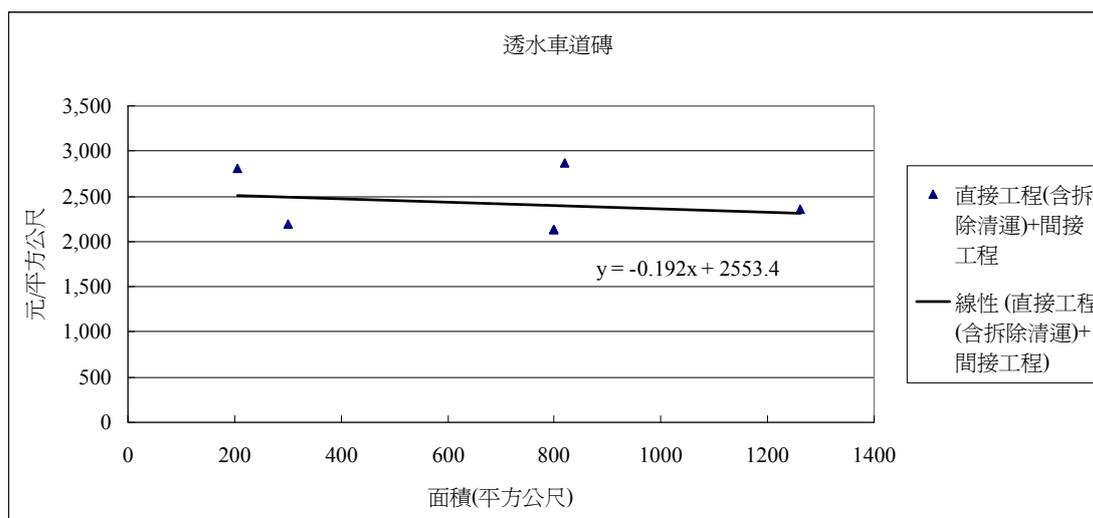


圖 4-7 透水車道磚直接工程 (含包商利潤、拆除清運)及直接工程成本回歸

(資料來源：本研究成果。)

表4-15 透水車道磚直接工程(含包商利潤、圍籬、拆除清運)及間接工程成本

單位	面積	元/m ²
案例 1	1260	2,430
案例 2	820	2,946
案例 3	800	2,198
案例 4	800	2,198
案例 5	300	2,223
案例 6	205	2,861

(資料來源：本研究成果。)

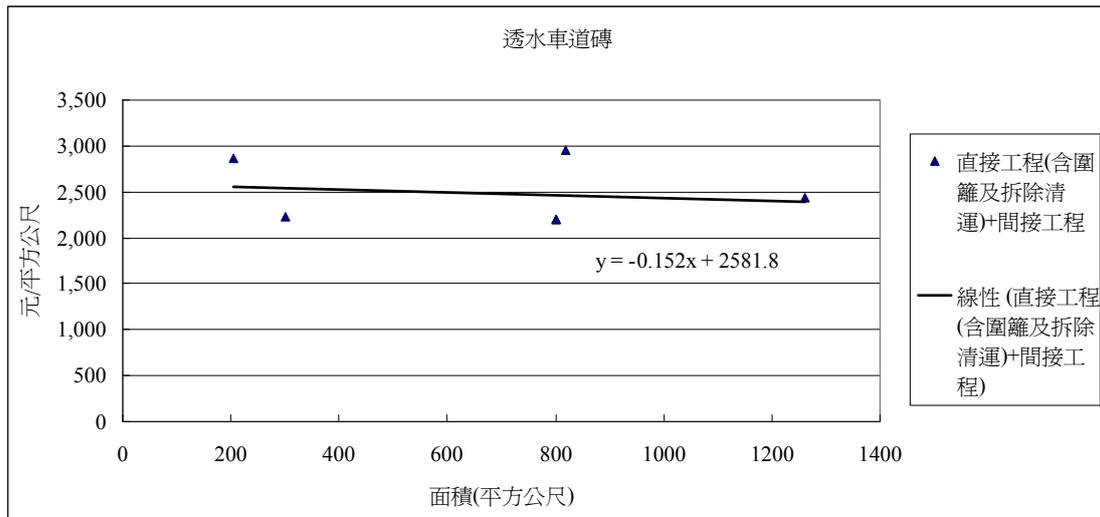


圖 4-8 透水車道磚直接工程(含包商利潤、圍籬、拆除清運)及間接工程成本回歸

(資料來源：本研究成果。)

2. 植草磚

初步結果如表4-16所示，植草磚直接工程成本(含包商利潤)每平方公尺約1,650~2,550元；回歸分析如圖4-9可得回歸公式 $y = -0.3006x + 2175.9$ 。植草磚直接工程成本（含包商利潤、圍籬）每平方公尺約1,650~2,650元，如表4-17所示；回歸分析如圖4-10可得回歸公式 $y = -0.3246x + 2246.6$ 。植草磚直接工程成本（含包商利潤、拆除清運）每平方公尺約1,700~2,750元，如表4-18所示；回歸分析如圖4-11可得回歸公式 $y = -0.2747x + 2376.9$ 。植草磚直接工程成本（含包商利潤、圍籬、拆除清運）每平方公尺約1,750~2,800元，如表4-19所示；回歸分析如圖4-12可得回歸公式 $y = -0.2936x + 2447.3$ 。

表4-16 植草磚直接工程成本(含包商利潤)

單位	面積	元/m ²
案例 1	500	2,539
案例 2	400	2,403
案例 3	360	2,228
案例 4	800	1,702
案例 5	145	1,658
案例 6	540	1,787
案例 7	790	2,110
案例 8	695	1,705
案例 9	205	1,897
案例 10	70	2,376

(資料來源：本研究成果。)

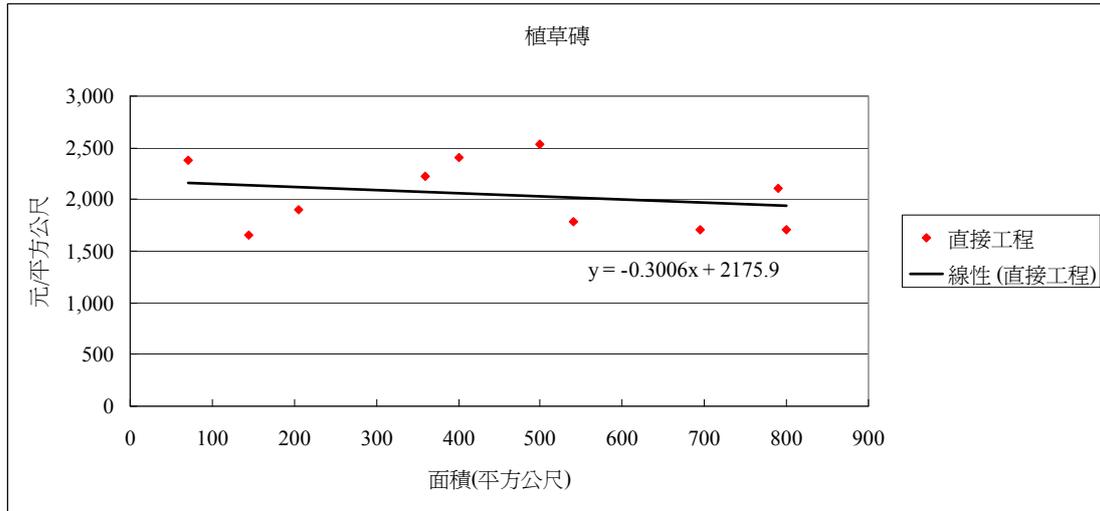


圖 4-9 植草磚直接工程成本回歸(含包商利潤)

(資料來源：本研究成果。)

表4-17 植草磚直接工程成本(含包商利潤、圍籬)

單位	面積	元/m ²
案例 1	500	2,607
案例 2	400	2,475
案例 3	360	2,294
案例 4	800	1,722
案例 5	145	1,699
案例 6	540	1,847
案例 7	790	2,181
案例 8	695	1,762
案例 9	205	1,961
案例 10	70	2,456

(資料來源：本研究成果。)

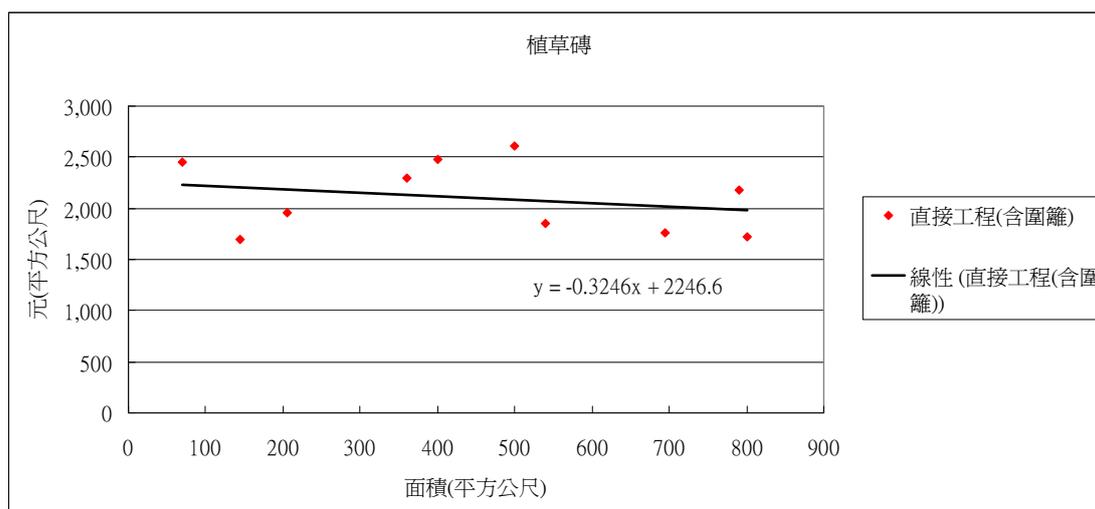


圖 4-10 植草磚直接工程成本回歸(含包商利潤、圍籬)

(資料來源：本研究成果。)

表 4-18 植草磚直接工程成本(含包商利潤、拆除清運)

單位	面積	元/m ²
案例 1	500	2,712
案例 2	400	2,687
案例 3	360	2,340
案例 4	800	1,805
案例 5	145	1,714
案例 6	540	2,067
案例 7	790	2,390
案例 8	695	1,985
案例 9	205	2,177
案例 10	70	2,656

(資料來源：本研究成果。)

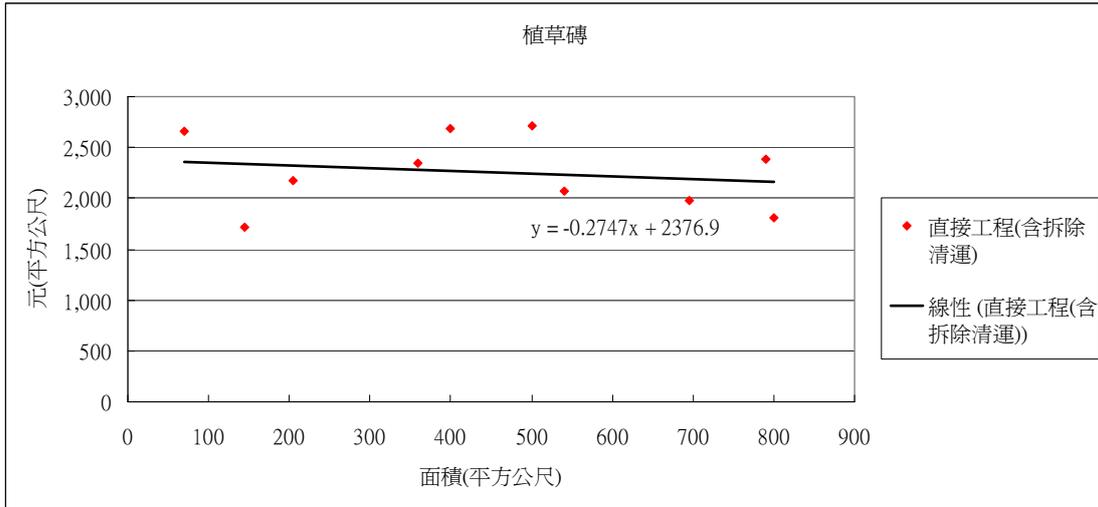


圖 4-11 植草磚直接工程成本回歸(含包商利潤、拆除清運)

(資料來源：本研究成果。)

表4-19 植草磚直接工程成本(含包商利潤、圍籬、拆除清運)

單位	面積	元/m ²
案例 1	500	2,779
案例 2	400	2,768
案例 3	360	2,406
案例 4	800	1,825
案例 5	145	1,755
案例 6	540	2,127
案例 7	790	2,471
案例 8	695	2,042
案例 9	205	2,241
案例 10	70	2,736

(資料來源：本研究成果。)

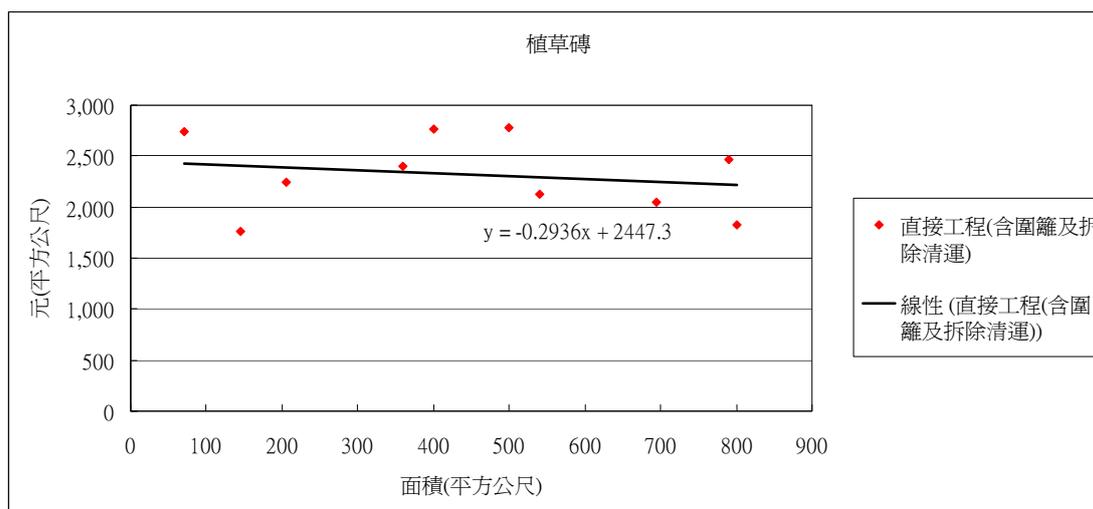


圖 4-12 植草磚直接工程成本回歸(含包商利潤、圍籬、拆除清運)

(資料來源：本研究成果。)

工程總經費包含直接工程及間接工程，初步結果如表4-20所示，植草磚直接工程成本(含包商利潤)及間接工程成本每平方公尺約1,800~2,800元；回歸分析如圖4-13可得回歸公式 $y = -0.3315x + 2400$ 。植草磚直接工程成本(含包商利潤、圍籬)及間接工程成本每平方公尺約1,850~2,900元，如表4-21所示；回歸分析如圖4-14可得回歸公式 $y = -0.3581x + 2478$ 。植草磚直接工程成本(含包商利潤、拆除清運)及間接工程每平方公尺約1,850~3,000元，如表4-22所示；回歸分析如圖4-15可得回歸公式 $y = -0.303x + 2621.7$ 。植草磚直接工程成本(含包商利潤、圍籬、拆除清運)及間接工程每平方公尺約1,900~3,100元，如表4-23所示；回歸分析如圖4-16可得回歸公式 $y = -0.3239x + 2699.3$ 。

表4-20 植草磚直接工程(含包商利潤)及間接工程成本

單位	面積	元/m ²
案例 1	500	2,801
案例 2	400	2,651
案例 3	360	2,457
案例 4	800	1,878
案例 5	145	1,828
案例 6	540	1,971
案例 7	790	2,328
案例 8	695	1,880
案例 9	205	2,093
案例 10	70	2,621

(資料來源：本研究成果。)

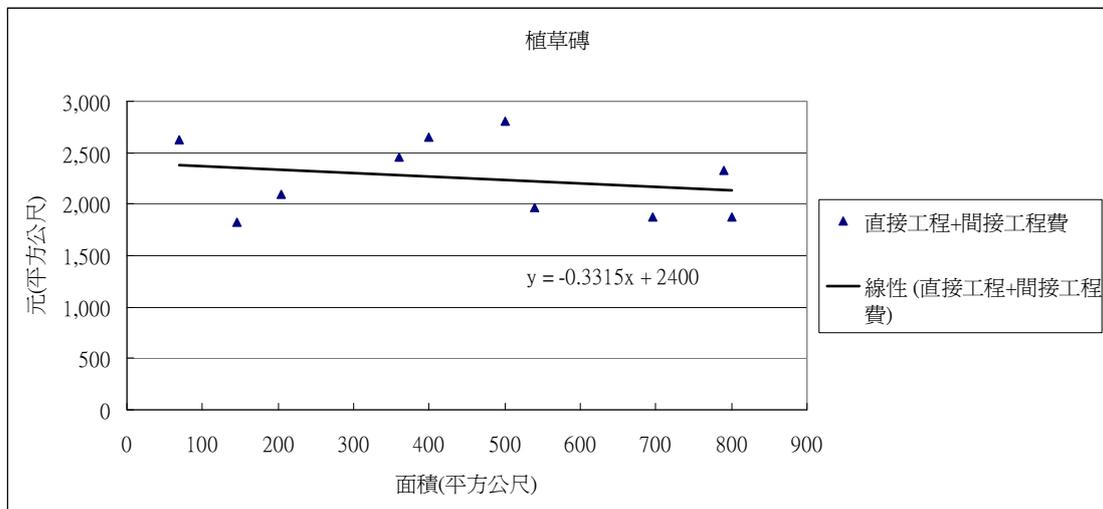


圖 4-13 植草磚直接工程 (含包商利潤) 及直接工程成本回歸

(資料來源：本研究成果。)

表4-21 植草磚直接工程(含包商利潤、圍籬)及間接工程成本

單位	面積	元/m ²
案例 1	500	2,875
案例 2	400	2,730
案例 3	360	2,531
案例 4	800	1,899
案例 5	145	1,874
案例 6	540	2,037
案例 7	790	2,406
案例 8	695	1,943
案例 9	205	2,163
案例 10	70	2,709

(資料來源：本研究成果。)

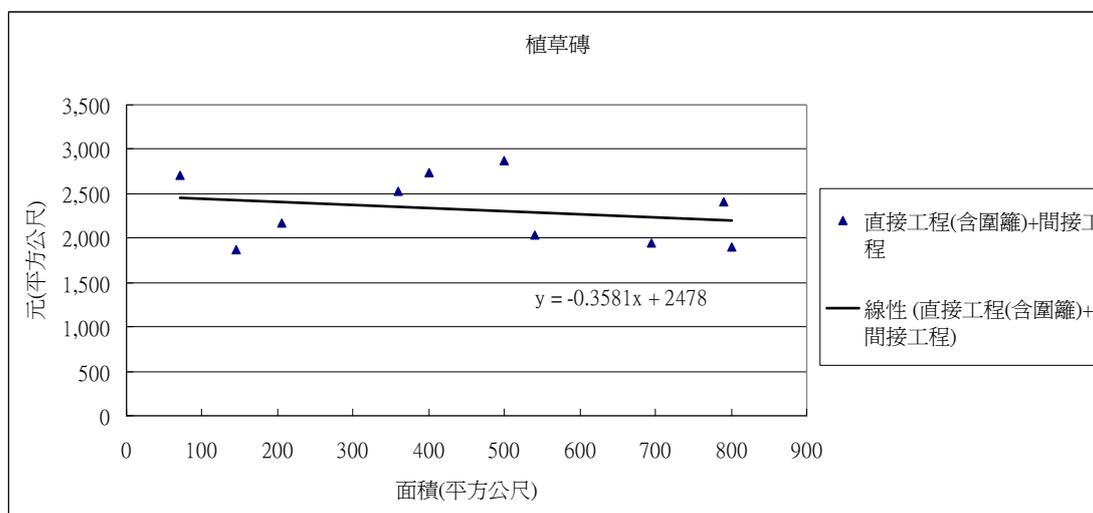


圖 4-14 植草磚直接工程 (含包商利潤、圍籬)及直接工程成本回歸

(資料來源：本研究成果。)

表4-22 植草磚直接工程成本(含包商利潤、拆除清運)

單位	面積	元/m ²
案例 1	500	2,991
案例 2	400	2,964
案例 3	360	2,581
案例 4	800	1,990
案例 5	145	1,890
案例 6	540	2,280
案例 7	790	2,636
案例 8	695	2,189
案例 9	205	2,401
案例 10	70	2,930

(資料來源：本研究成果。)

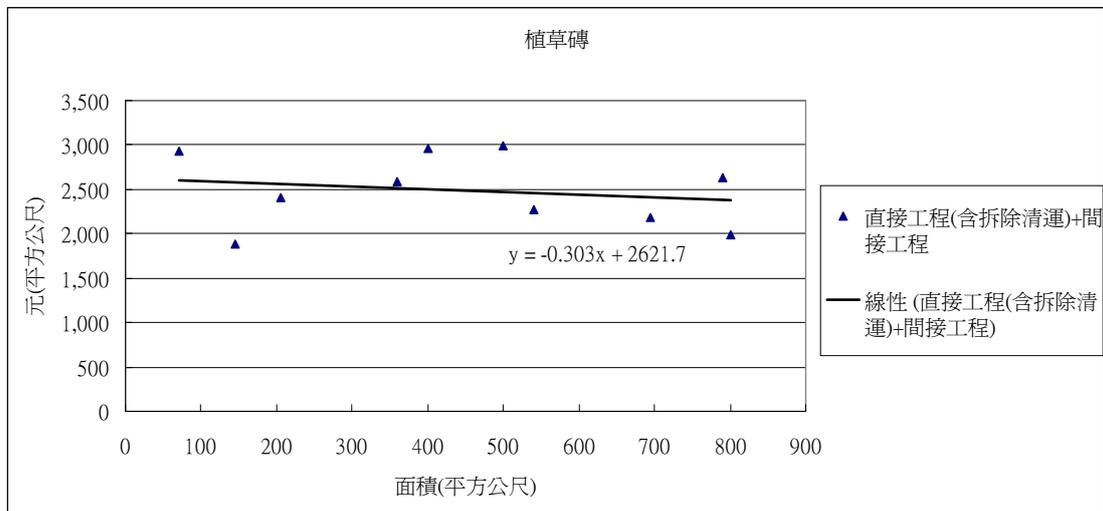


圖 4-15 植草磚直接工程 (含包商利潤、拆除清運)及直接工程成本回歸

(資料來源：本研究成果。)

表4-23 植草磚直接工程(含包商利潤、圍籬、拆除清運)及間接工程成本

單位	面積	元/m ²
案例 1	500	3,066
案例 2	400	3,053
案例 3	360	2,654
案例 4	800	2,013
案例 5	145	1,936
案例 6	540	2,346
案例 7	790	2,725
案例 8	695	2,252
案例 9	205	2,472
案例 10	70	3,018

(資料來源：本研究成果。)

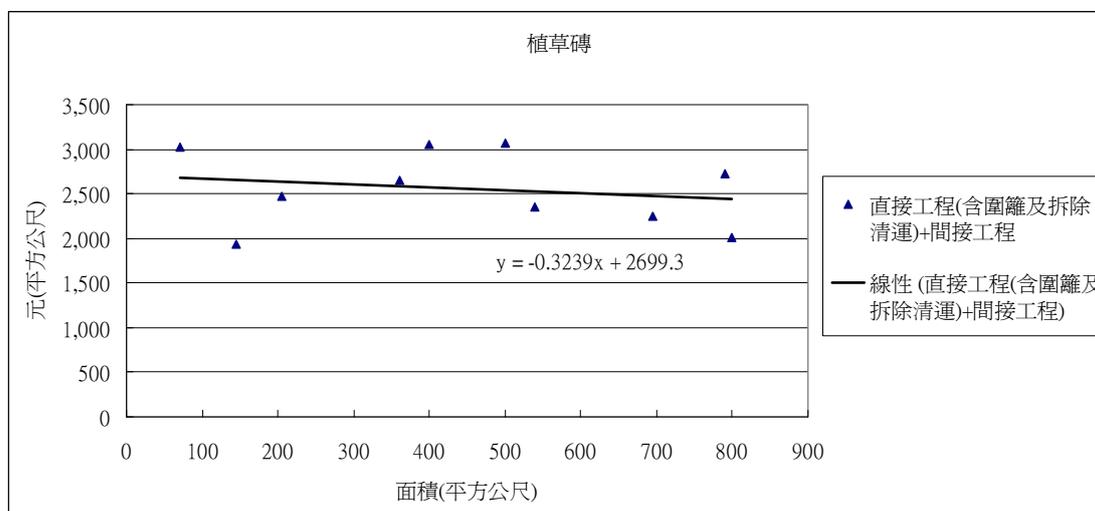


圖 4-16 植草磚直接工程(含包商利潤、圍籬、拆除清運)及間接工程成本回歸

(資料來源：本研究成果。)

3. 水泥連鎖磚

初步將案例回歸其結果如表4-24所示，水泥連鎖磚直接工程成本(含包商利潤)每平方公尺約1,400~2,200元；回歸分析如圖4-17可得回歸公式 $y = -0.9309x + 2103.2$ 。水泥連鎖磚直接工程成本(含包商利潤、圍籬)每平方公尺約1,400~2,300元，如表4-25所示；回歸分析如圖4-18可得回歸公式 $y = -0.9513x + 2166.3$ 。水泥連鎖磚直接工程成本(含包商利潤、拆除清運)每平方公尺約1,650~2,500元，如表4-26所示；回歸分析如圖4-19可得回歸公式 $y = -0.9322x + 2384.4$ 。水泥連鎖磚直接工程成本(含包商利潤、圍籬、拆除清運)每平方公尺約1,700~2,550元，如表4-27所示；回歸分析如圖4-20可得回歸公式 $y = -0.9619x + 2456$ 。

表4-24 水泥連鎖磚直接工程成本(含包商利潤)

單位	面積	元/m ²
案例 1	400	1,854
案例 2	120	2,184
案例 3	750	1,563
案例 4	605	1,400
案例 5	820	1,400
案例 6	385	1,400
案例 7	462	1,624

(資料來源：本研究成果。)

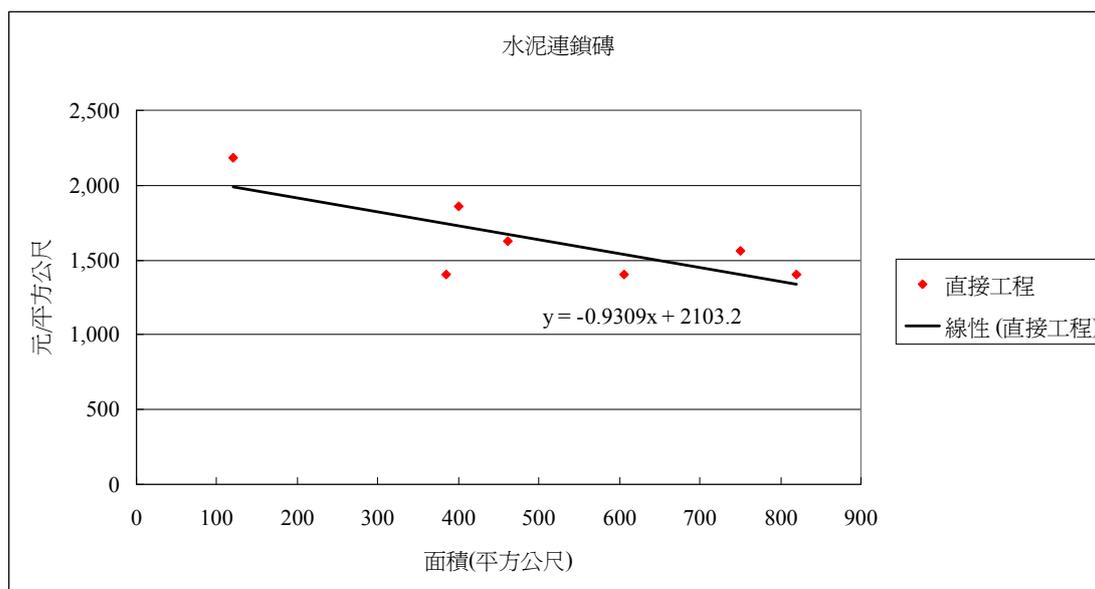


圖 4-17 水泥連鎖磚直接工程成本回歸(含包商利潤)

(資料來源：本研究成果。)

表4-25 水泥連鎖磚直接工程成本(含包商利潤、圍籬)

單位	面積	元/m ²
案例 1	400	1,910
案例 2	120	2,250
案例 3	750	1,615
案例 4	605	1,447
案例 5	820	1,447
案例 6	385	1,447
案例 7	462	1,679

(資料來源：本研究成果。)

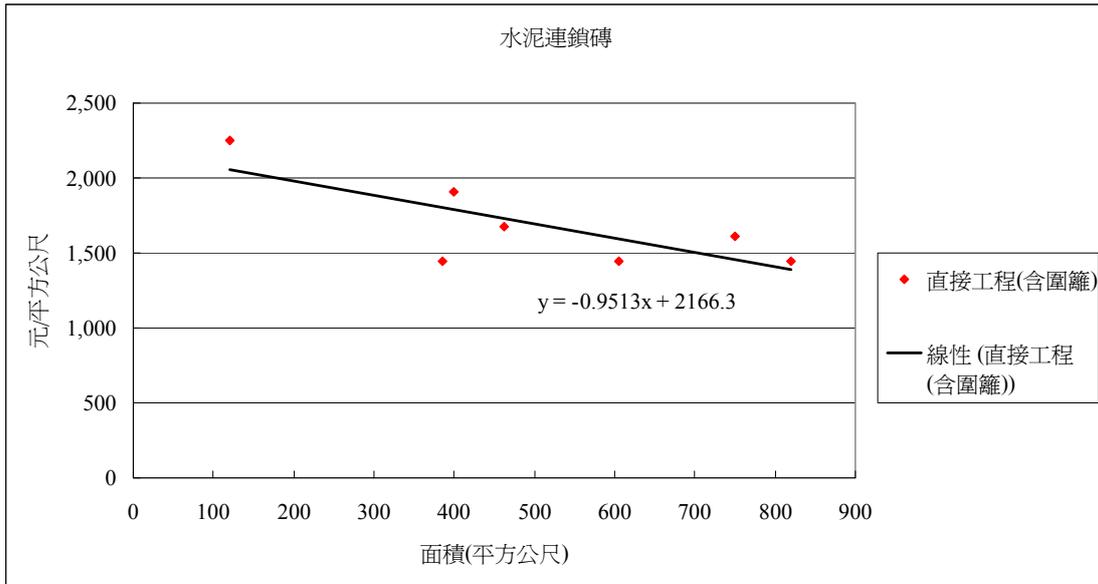


圖 4-18 水泥連鎖磚直接工程成本回歸(含包商利潤、圍籬)

(資料來源：本研究成果。)

表4-26 水泥連鎖磚直接工程成本(含包商利潤、拆除清運)

單位	面積	元/m ²
案例 1	400	2,139
案例 2	120	2,464
案例 3	750	1,843
案例 4	605	1,680
案例 5	820	1,680
案例 6	385	1,680
案例 7	462	1,904

(資料來源：本研究成果。)

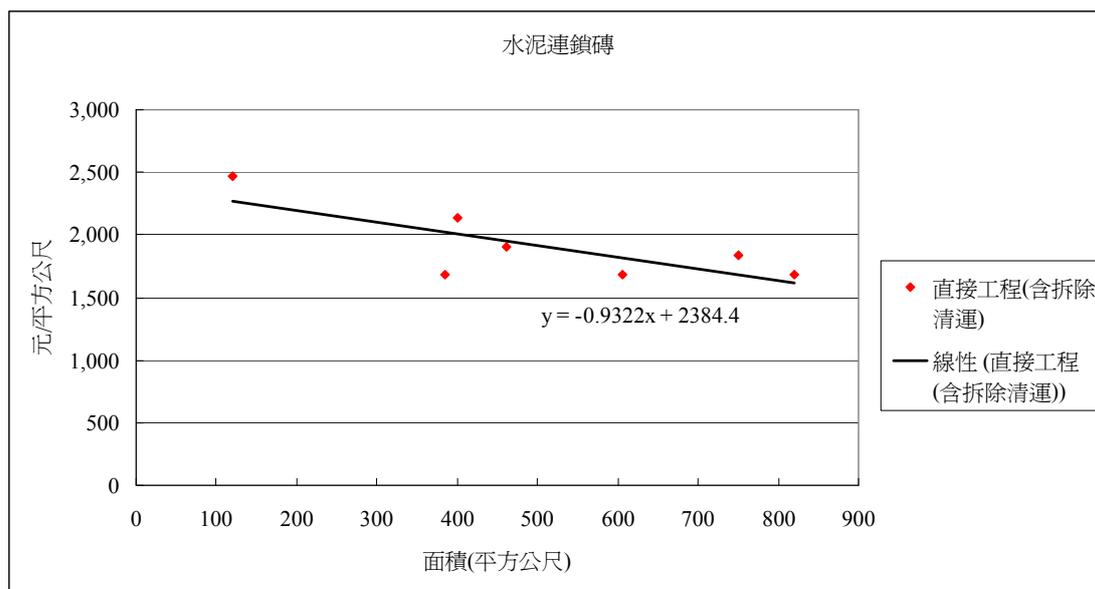


圖 4-19 水泥連鎖磚直接工程成本回歸(含包商利潤、拆除清運)

(資料來源：本研究成果。)

表4-27 水泥連鎖磚直接工程成本(含包商利潤、圍籬、拆除清運)

單位	面積	元/m ²
案例 1	400	2,203
案例 2	120	2,538
案例 3	750	1,895
案例 4	605	1,736
案例 5	820	1,727
案例 6	385	1,727
案例 7	462	1,959

(資料來源：本研究成果。)

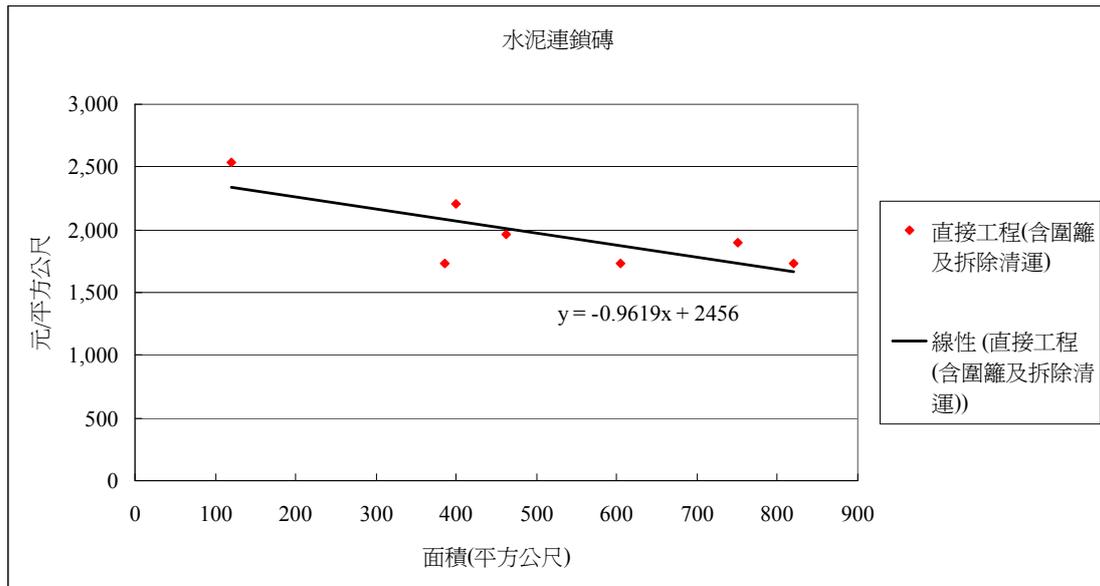


圖 4-20 水泥連鎖磚直接工程成本回歸(含包商利潤、圍籬、拆除清運)

(資料來源：本研究成果。)

工程總經費包含直接工程及間接工程，初步回歸結果如表4-28所示，水泥連鎖磚直接工程成本(含包商利潤)及間接工程成本每平方公尺約1,500~2,450元；回歸分析如圖4-21可得回歸公式 $y = -1.0268x + 2319.8$ 。水泥連鎖磚直接工程成本(含包商利潤、圍籬)及間接工程成本每平方公尺約1,550~2,500元，如表4-29所示；回歸分析如圖4-22可得回歸公式 $y = -1.0493x + 2389.4$ 。水泥連鎖磚直接工程成本(含包商利潤、拆除清運)及間接工程每平方公尺約1,850~2,750元，如表4-30所示；回歸分析如圖4-23可得回歸公式 $y = -1.0282x + 2630$ 。水泥連鎖磚直接工程成本(含包商利潤、圍籬、拆除清運)及間接工程每平方公尺約1,900~2,800元，如表4-31所示；回歸分析如圖4-24可得回歸公式 $y = -1.061x + 2709$ 。

表4-28 水泥連鎖磚直接工程(含包商利潤)及間接工程成本

單位	面積	元/m ²
案例 1	400	2,045
案例 2	120	2,409
案例 3	750	1,724
案例 4	605	1,544
案例 5	820	1,544
案例 6	385	1,544
案例 7	462	1,791

(資料來源：本研究成果。)

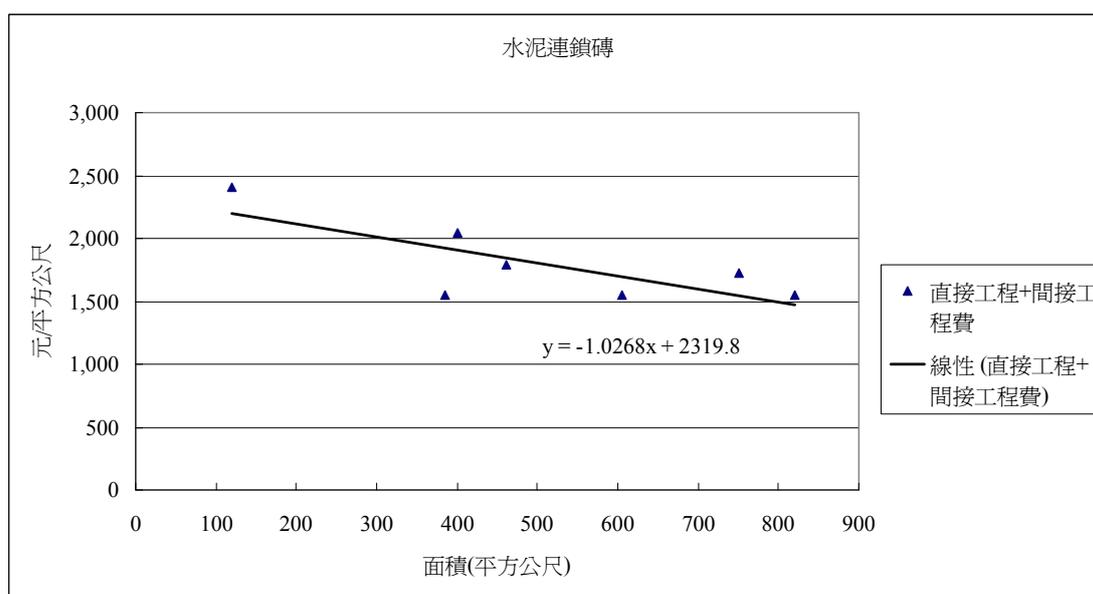


圖 4-21 水泥連鎖磚直接工程 (含包商利潤) 及直接工程成本回歸

(資料來源：本研究成果。)

表4-29 水泥連鎖磚直接工程(含包商利潤、圍籬)及間接工程成本

單位	面積	元/m ²
案例 1	400	2,107
案例 2	120	2,481
案例 3	750	1,782
案例 4	605	1,596
案例 5	820	1,596
案例 6	385	1,596
案例 7	462	1,851

(資料來源：本研究成果。)

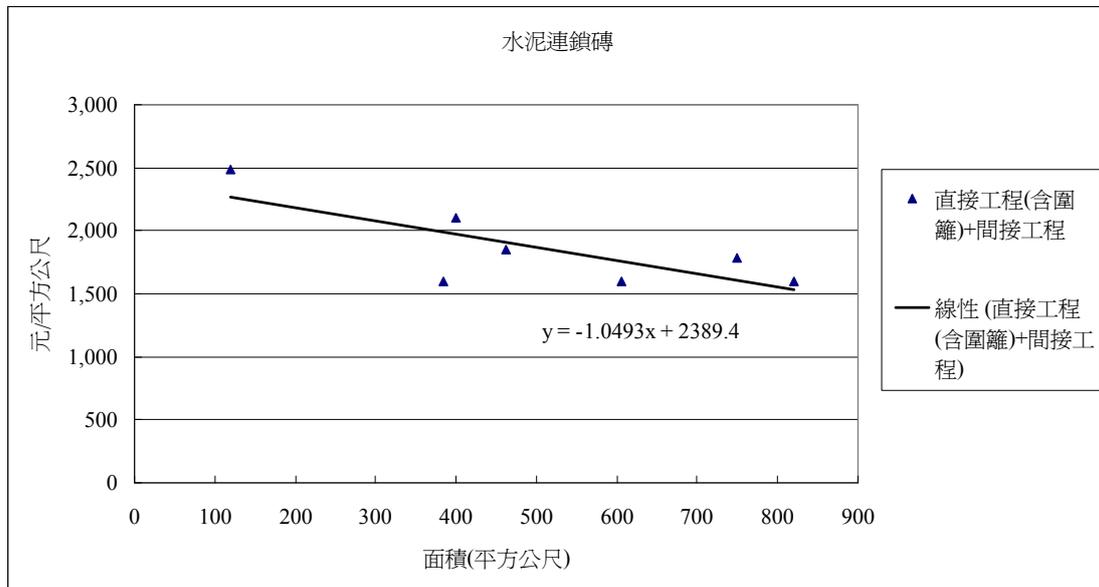


圖 4-22 水泥連鎖磚直接工程 (含包商利潤、圍籬)及直接工程成本回歸

(資料來源：本研究成果。)

表4-30 水泥連鎖磚直接工程成本(含包商利潤、拆除清運)

單位	面積	元/m ²
案例 1	400	2,359
案例 2	120	2,718
案例 3	750	2,033
案例 4	605	1,853
案例 5	820	1,853
案例 6	385	1,853
案例 7	462	2,100

(資料來源：本研究成果。)

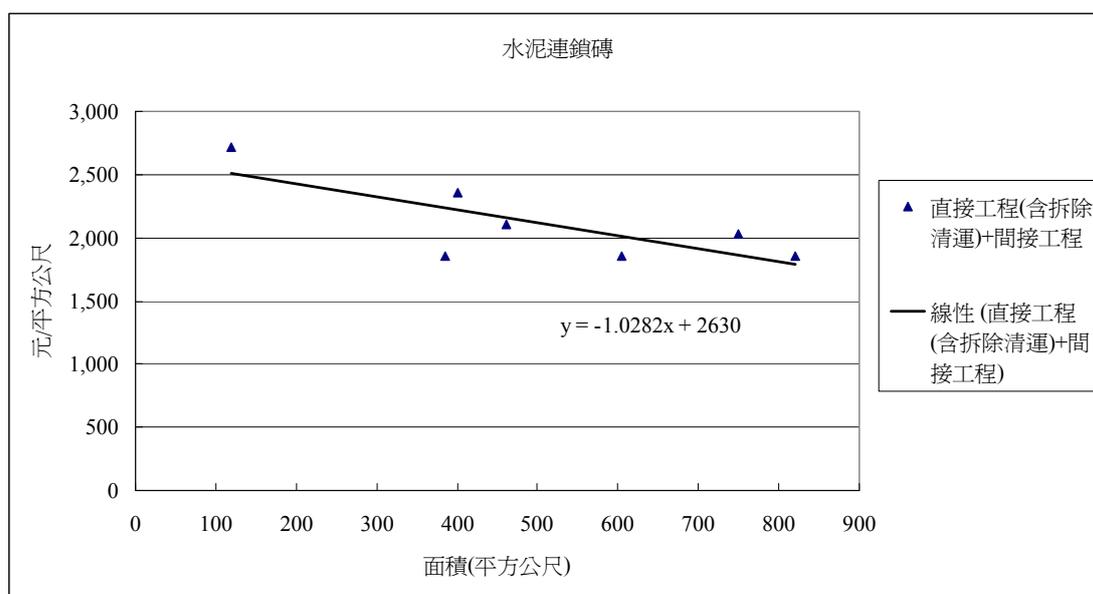


圖 4-23 水泥連鎖磚直接工程 (含包商利潤、拆除清運)及直接工程成本回歸

(資料來源：本研究成果。)

表4-31 水泥連鎖磚直接工程(含包商利潤、圍籬、拆除清運)及間接工程成本

單位	面積	元/m ²
案例 1	400	2,430
案例 2	120	2,799
案例 3	750	2,091
案例 4	605	1,915
案例 5	820	1,905
案例 6	385	1,905
案例 7	462	2,160

(資料來源：本研究成果。)

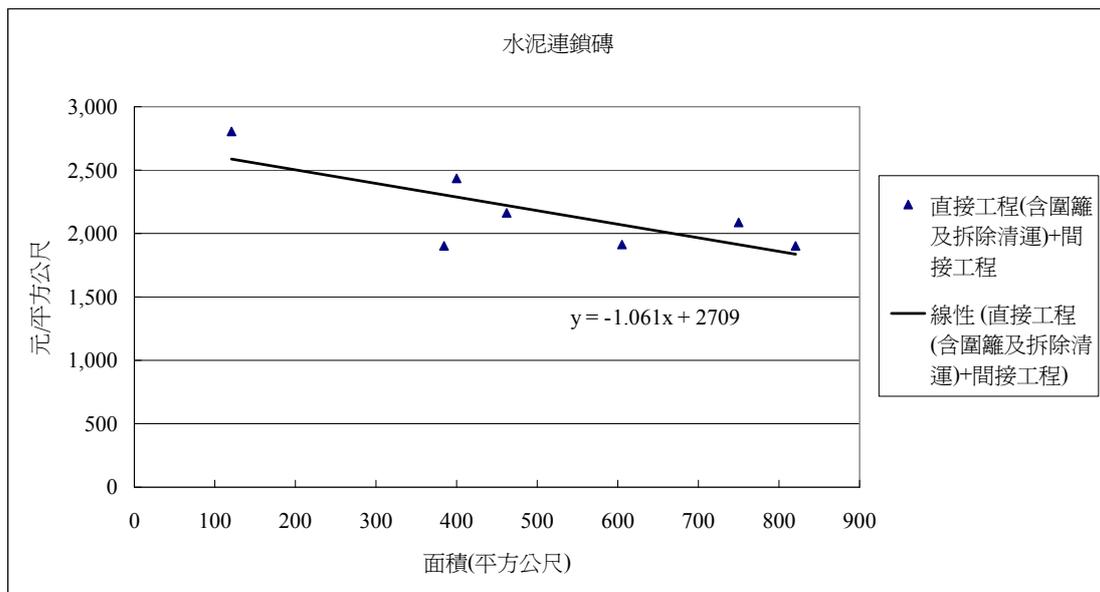


圖 4-24 水泥連鎖磚直接工程(含包商利潤、圍籬、拆除清運)及間接工程成本回歸

(資料來源：本研究成果。)

4. 結構性空調導水鋪面

初步將案例經費在估算時因材料及工費及雜項、運輸等細項不易拆開估算，故蒐集所得成本皆為含工帶料的平均概估資料，並將工程經費分為直接工程及間接工程二大項目；初步結果結構性空調導水鋪面直接工程(含包商利潤)每平方公尺約2,005元；直接工程成本(含包商利潤、圍籬)每平方公尺約2,024元；直接工程成本(含包商利潤、拆除清運)每平方公尺約2,125元；直接工程成本(含包商利潤、圍籬、拆除清運)每平方公尺約2,146元

工程總經費包含直接工程及間接工程，初步回歸結果直接工程成本(含包商利潤)及間接工程成本每平方公尺約2,211元；直接工程成本(含包商利潤、圍籬)及間接工程成本每平方公尺約2,233元；直接工程成本(含包商利潤、拆除清運)及間接工程每平方公尺約2,344元；直接工程成本(含包商利潤、圍籬、拆除清運)及間接工程每平方公尺約2,367元。

參、屋頂綠化

初步將案例經費在估算時因材料及工費及雜項、運輸等細項不易拆開估算，故蒐集所得成本皆為含工帶料的平均概估資料，並將工程經費分為直接工程及間接工程二大項目；直接工程包含設施、圍籬、拆除清運及包商利潤等項目；間接工程包含工程管理費、委託設計監造費及空污費等項目。

1. 屋頂綠化-薄層

案例經費初步回歸結果如表4-32所示，屋頂綠化(薄層)直接工程成本(含包商利潤)每平方公尺約1,500~3,900元；回歸分析如圖4-25可得回歸公式 $y = -14.942x + 4640.1$ 。屋頂綠化(薄層)直接工程成本(含包商利潤、圍籬)每平方公尺約1,500~4,000元，如表4-33所示；回歸分析如圖4-26可得回歸公式 $y = -15.025x + 4698.2$ 。屋頂綠化(薄層)直接工程成本(含包商利潤、拆除清運)每平方公尺約1,550~4,150元，如表4-34所示；回

歸分析如圖4-27可得回歸公式 $y = -15.985x + 4928.1$ 。屋頂綠化(薄層)直接工程成本(含包商利潤、圍籬、拆除清運)每平方公尺約1,600~4,200元,如表4-35所示;回歸分析如圖4-28可得回歸公式 $y = -16.068x + 4986.1$ 。

表4-32 屋頂綠化(薄層)直接工程成本(含包商利潤)

單位	面積	元/m ²
案例 1	50	3,893
案例 2	210	1,502

(資料來源：本研究成果。)

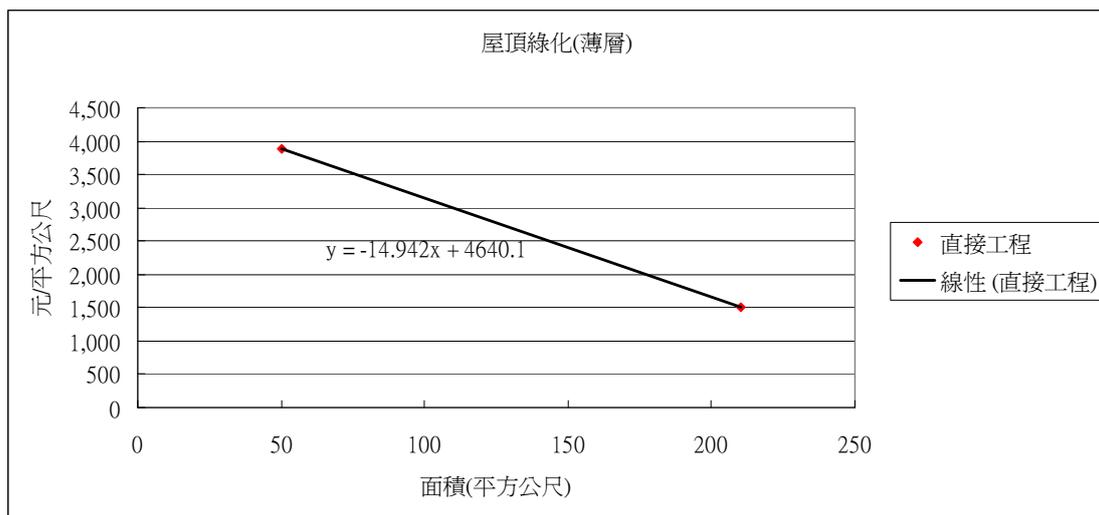


圖 4-25 屋頂綠化(薄層)直接工程成本回歸(含包商利潤)

(資料來源：本研究成果。)

表4-33 屋頂綠化(薄層)直接工程成本(含包商利潤、圍籬)

單位	面積	元/m ²
案例 1	50	3,947
案例 2	210	1,543

(資料來源：本研究成果。)

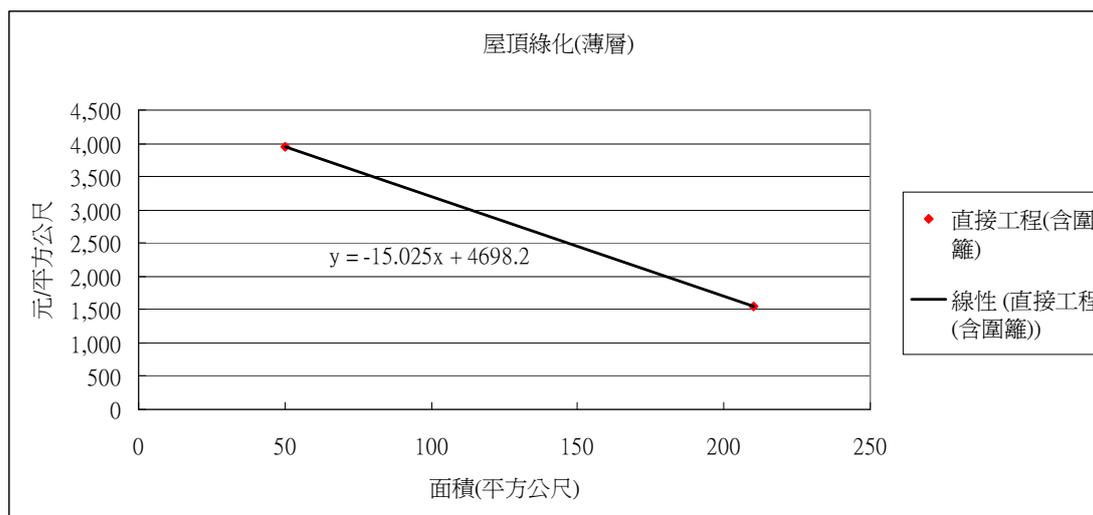


圖 4-26 屋頂綠化(薄層)直接工程成本回歸(含包商利潤、圍籬)

(資料來源：本研究成果。)

表4-34 屋頂綠化(薄層)直接工程成本(含包商利潤、拆除清運)

單位	面積	元/m ²
案例 1	50	4,129
案例 2	210	1,571

(資料來源：本研究成果。)

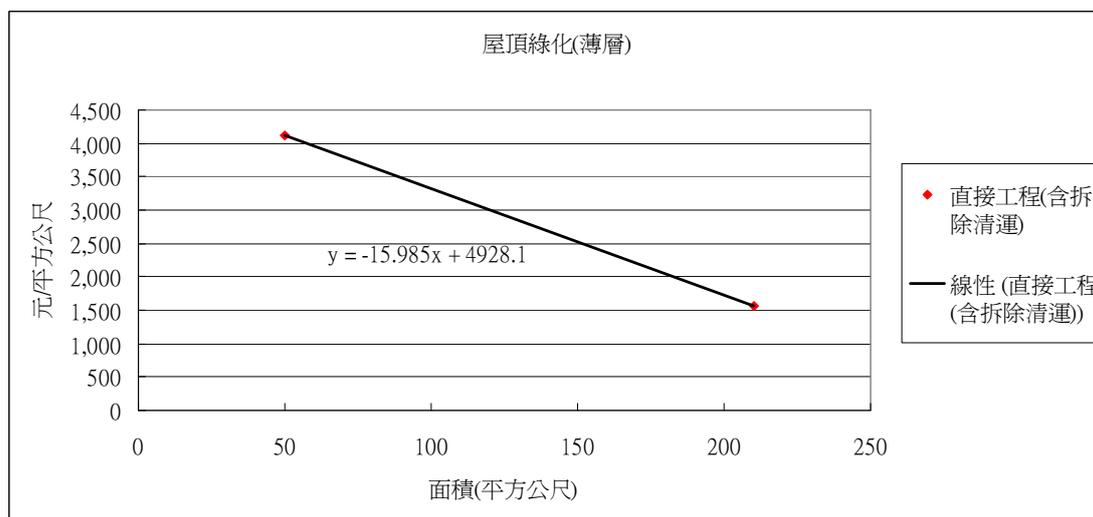


圖 4-27 屋頂綠化(薄層)直接工程成本回歸(含包商利潤、拆除清運)

(資料來源：本研究成果。)

表4-35 屋頂綠化(薄層)直接工程成本(含包商利潤、圍籬、拆除清運)

單位	面積	元/m ²
案例 1	50	4,183
案例 2	210	1,612

(資料來源：本研究成果。)

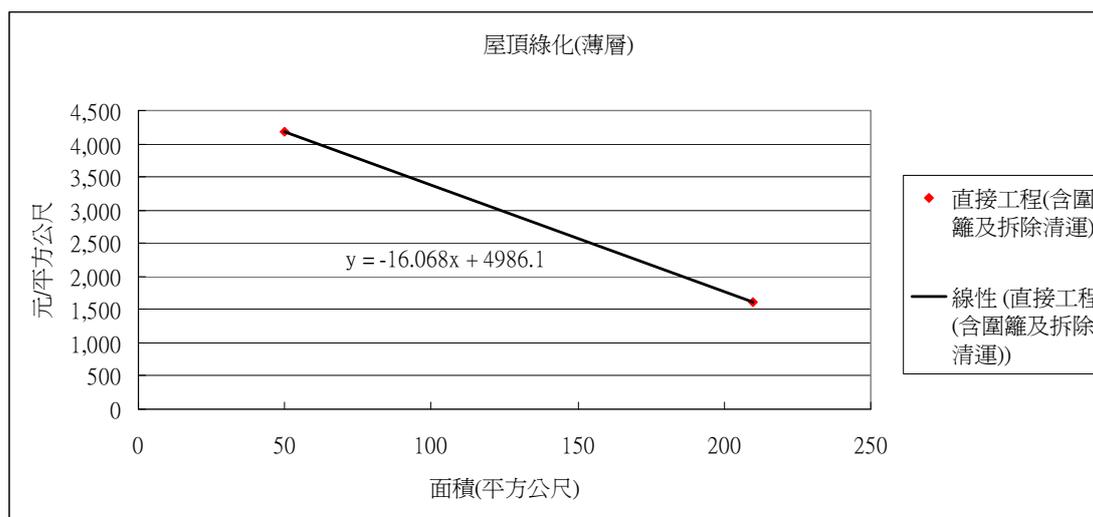


圖 4-28 屋頂綠化(薄層)直接工程成本回歸(含包商利潤、圍籬、拆除清運)

(資料來源：本研究成果。)

工程總經費包含直接工程及間接工程，初步結果如表4-36所示，屋頂綠化(薄層)直接工程成本(含包商利潤)及間接工程成本每平方公尺約1,650~4,300元；回歸分析如圖4-29可得回歸公式 $y = -16.481x + 5118.1$ 。屋頂綠化(薄層)直接工程成本(含包商利潤、圍籬)及間接工程成本每平方公尺約1,700~4,400元，如表4-37所示；回歸分析如圖4-30可得回歸公式 $y = -16.572x + 5182.1$ 。屋頂綠化(薄層)直接工程成本(含包商利潤、拆除清運)及間接工程每平方公尺約1,700~4,600元，如表4-38所示；回歸分析如圖4-31可得回歸公式 $y = -17.631x + 5435.6$ 。屋頂綠化(薄層)直接工程成本(含包商利潤、圍籬、拆除清運)及間接工程每平方公尺約

1,750~4,650元，如表4-39所示；回歸分析如圖4-32可得回歸公式 $y = -17.723x + 5499.7$ 。

表4-36 屋頂綠化(薄層)直接工程(含包商利潤)及間接工程成本

單位	面積	元/m ²
案例 1	50	4,294
案例 2	210	1,657

(資料來源：本研究成果。)

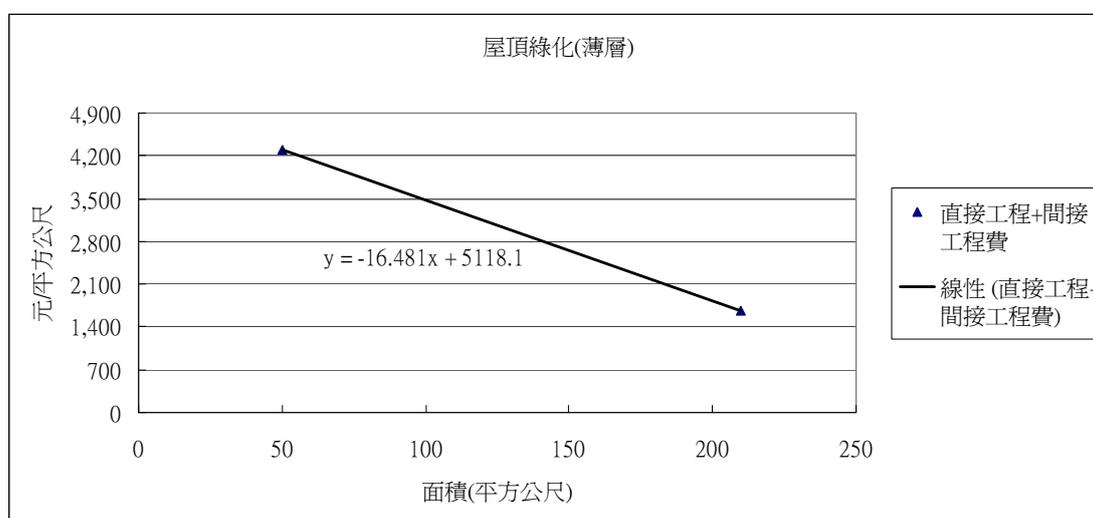


圖 4-29 屋頂綠化(薄層)直接工程 (含包商利潤) 及直接工程成本回歸

(資料來源：本研究成果。)

表4-37 屋頂綠化(薄層)直接工程(含包商利潤、圍籬)及間接工程成本

單位	面積	元/m ²
案例 1	50	4,354
案例 2	210	1,702

(資料來源：本研究成果。)

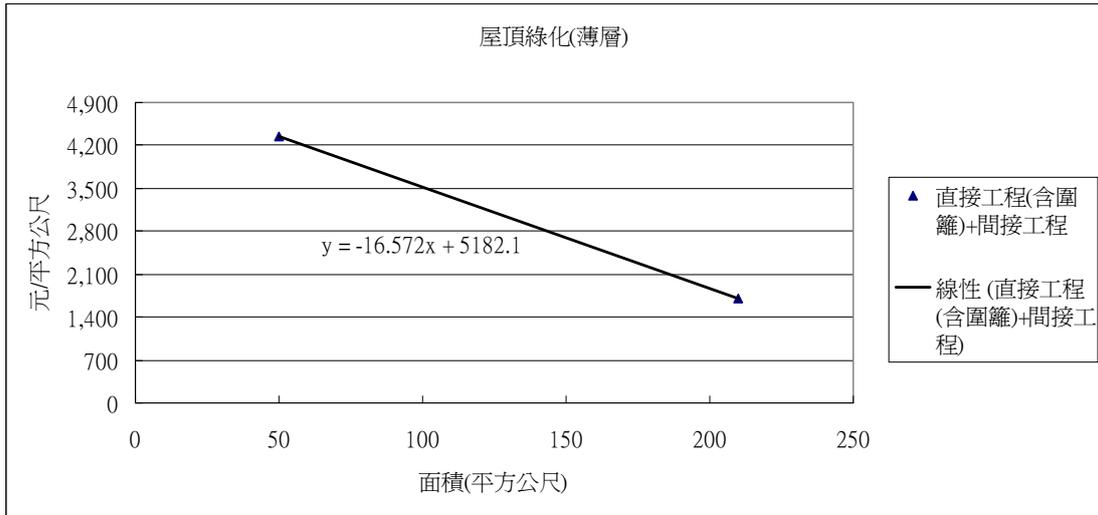


圖 4-30 屋頂綠化(薄層)直接工程 (含包商利潤、圍籬)及直接工程成本回歸

(資料來源：本研究成果。)

表4-38 屋頂綠化(薄層)直接工程成本(含包商利潤、拆除清運)

單位	面積	元/m ²
案例 1	50	4,554
案例 2	210	1,733

(資料來源：本研究成果。)

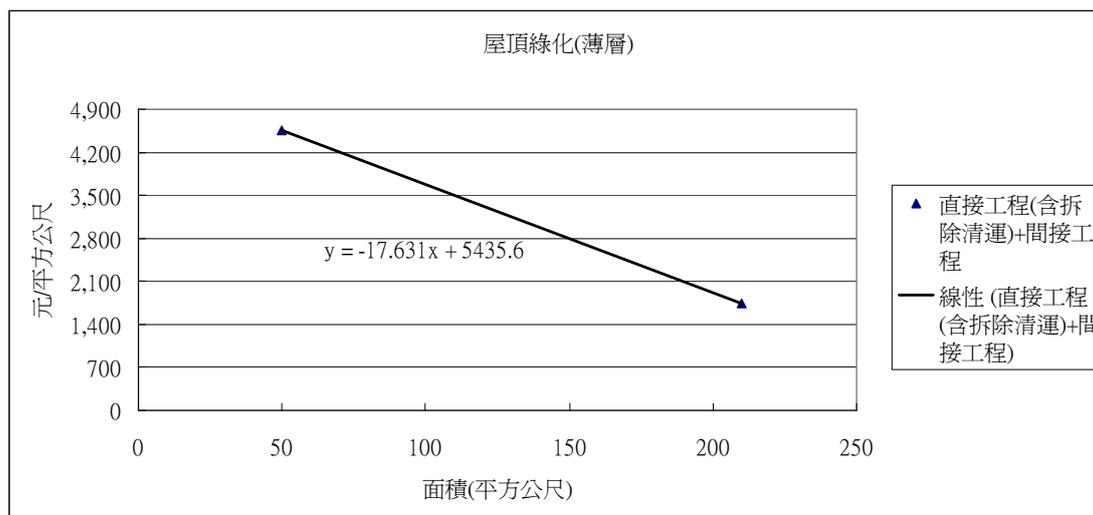


圖 4-31 屋頂綠化(薄層)直接工程 (含包商利潤、拆除清運)及直接工程成本回歸

(資料來源：本研究成果。)

表 4-39 屋頂綠化(薄層)直接工程(含包商利潤、圍籬、拆除清運)及間接工程成本

單位	面積	元/m ²
案例 1	50	4,614
案例 2	210	1,778

(資料來源：本研究成果。)

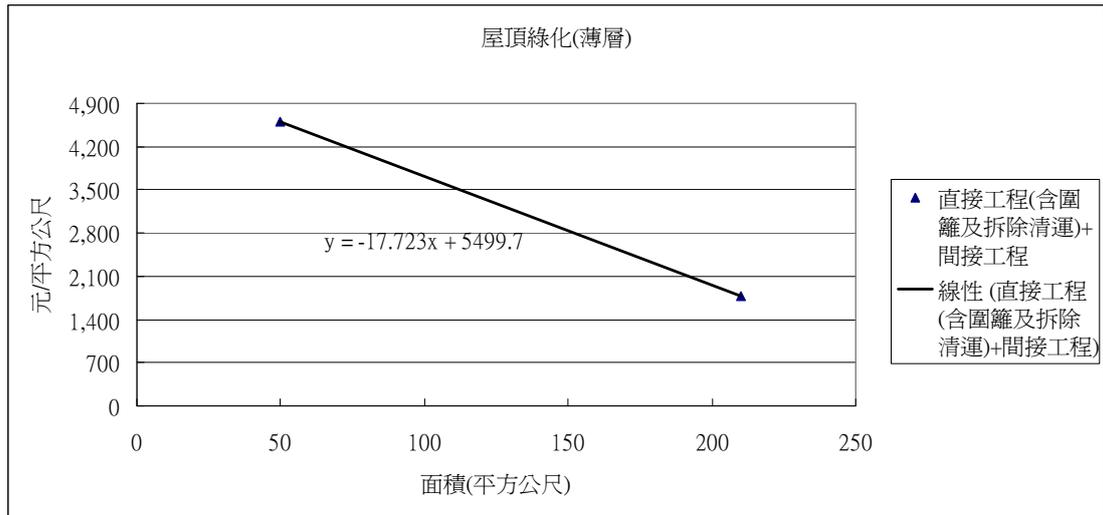


圖 4-32 屋頂綠化(薄層)直接工程(含包商利潤、圍籬、拆除清運)及間接工程成本回歸

(資料來源：本研究成果。)

2. 屋頂綠化-厚層

案例經費初步回歸結果如表4-40所示，屋頂綠化(厚層)直接工程成本(含包商利潤)每平方公尺約3,800~6,200元；回歸分析如圖4-33可得回歸公式 $y = -12.338x + 6206.1$ 。屋頂綠化(厚層)直接工程成本(含包商利潤、圍籬)每平方公尺約3,850~6,350元，如表4-41所示；回歸分析如圖4-34可得回歸公式 $y = -12.908x + 6386.4$ 。屋頂綠化(厚層)直接工程成本(含包商利潤、拆除清運)每平方公尺約3,850~6,550元，如表4-42所示；回歸分析如圖4-35可得回歸公式 $y = -12.825x + 6508.3$ 。屋頂綠化(厚層)直接工程成本(含包商利潤、圍籬、拆除清運)每平方公尺約3,950~6,750元，如表4-43所示；回歸分析如圖4-36可得回歸公式 $y = -13.395x + 6688.6$ 。

表4-40 屋頂綠化(厚層)直接工程成本(含包商利潤)

單位	面積	元/m ²
案例 1	160	4,564
案例 2	220	3,669
案例 3	40	6,160
案例 4	115	3,830

(資料來源：本研究成果。)

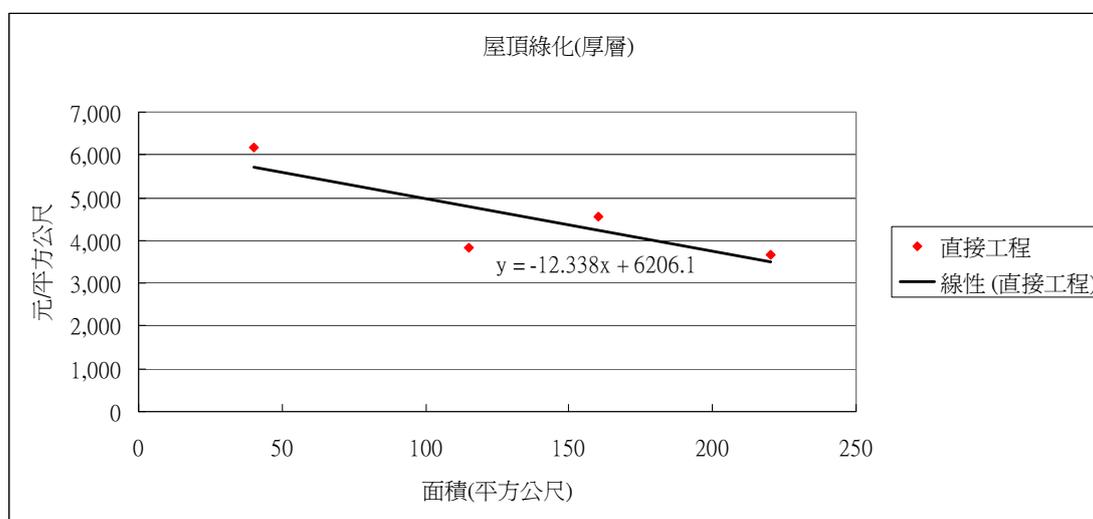


圖 4-33 屋頂綠化(厚層)直接工程成本回歸(含包商利潤)

(資料來源：本研究成果。)

表4-41 屋頂綠化(厚層)直接工程成本(含包商利潤、圍籬)

單位	面積	元/m ²
案例 1	160	4,701
案例 2	220	3,723
案例 3	40	6,345
案例 4	115	3,871

(資料來源：本研究成果。)

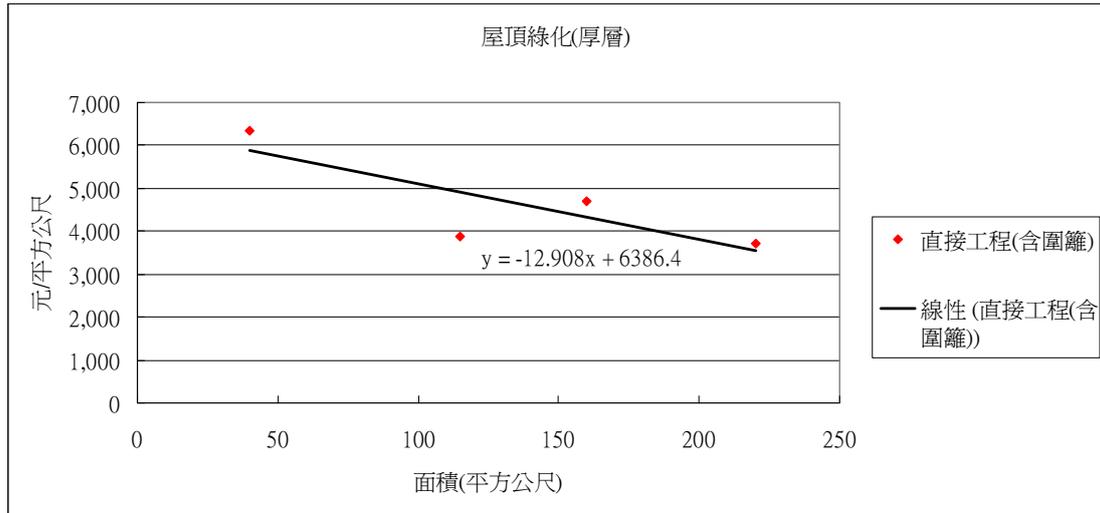


圖 4-34 屋頂綠化(厚層)直接工程成本回歸(含包商利潤、圍籬)

(資料來源：本研究成果。)

表4-42 屋頂綠化(厚層)直接工程成本(含包商利潤、拆除清運)

單位	面積	元/m ²
案例 1	160	4,838
案例 2	220	3,905
案例 3	40	6,530
案例 4	115	3,899

(資料來源：本研究成果。)

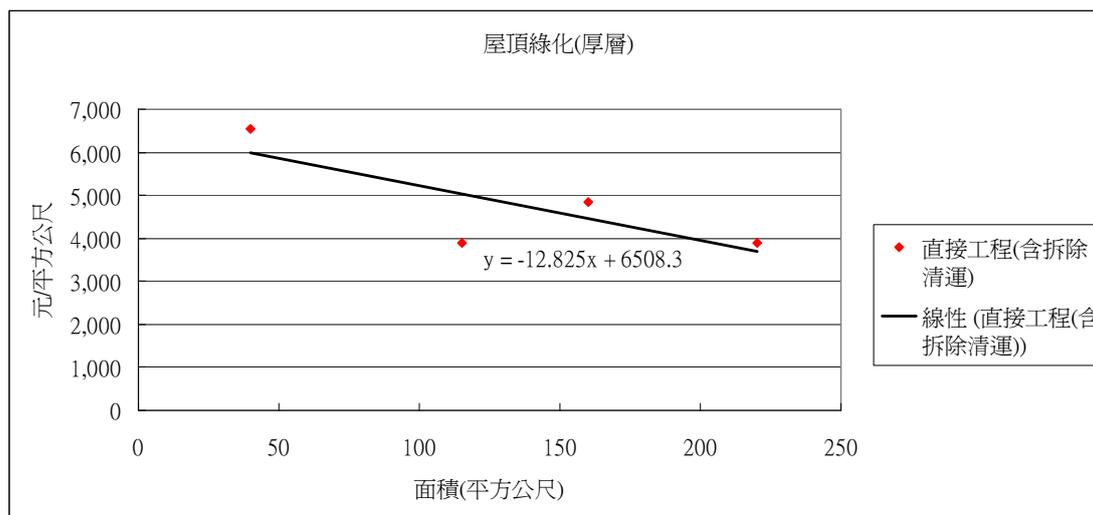


圖 4-35 屋頂綠化(厚層)直接工程成本回歸(含包商利潤、拆除清運)

(資料來源：本研究成果。)

表 4-43 屋頂綠化(厚層)直接工程成本(含包商利潤、圍籬、拆除清運)

單位	面積	元/m ²
案例 1	160	4,975
案例 2	220	3,959
案例 3	40	6,714
案例 4	115	3,940

(資料來源：本研究成果。)

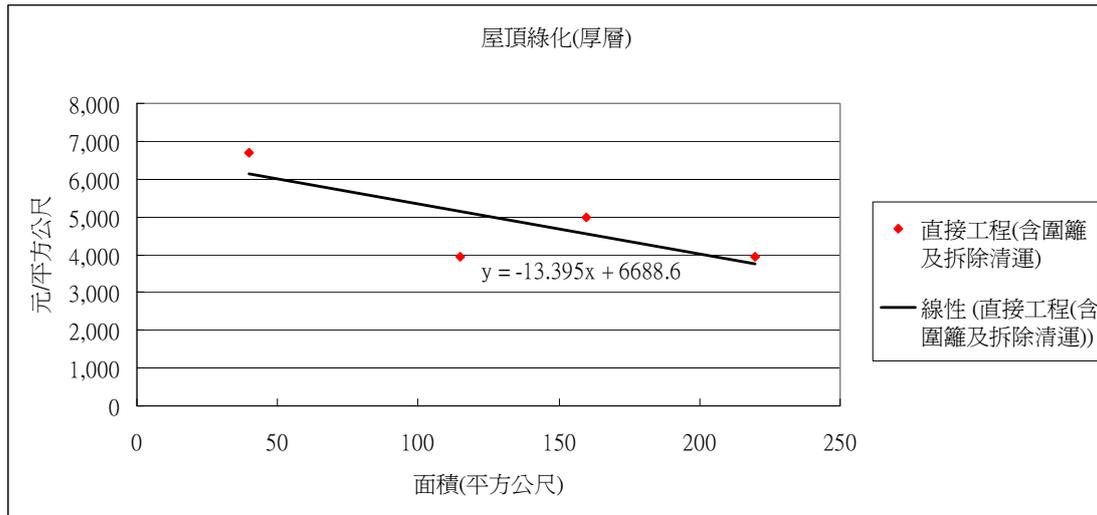


圖 4-36 屋頂綠化(厚層)直接工程成本回歸(含包商利潤、圍籬、拆除清運)

(資料來源：本研究成果。)

工程總經費包含直接工程及間接工程，初步結果如表4-44所示，屋頂綠化(厚層)直接工程成本(含包商利潤)及間接工程成本每平方公尺約4,000~6,800元；回歸分析如圖4-37可得回歸公式 $y = -13.609x + 6845.3$ 。屋頂綠化(厚層)直接工程成本(含包商利潤、圍籬)及間接工程成本每平方公尺約4,100~7,000元，如表4-45所示；回歸分析如圖4-38可得回歸公式 $y = -14.237x + 7044.2$ 。屋頂綠化(厚層)直接工程成本(含包商利潤、拆除清運)及間接工程每平方公尺約4,300~7,250元，如表4-46所示；回歸分析如圖4-39可得回歸公式 $y = -14.146x + 7178.7$ 。屋頂綠化(厚層)直接工程成本(含包商利潤、圍籬、拆除清運)及間接工程每平方公尺約4,300~7,450元，如表4-47所示；回歸分析如圖4-40可得回歸公式 $y = -14.775x + 7377.6$ 。

表4-44 屋頂綠化(厚層)直接工程及間接工程成本

單位	面積	元/m ²
案例 1	160	5,034
案例 2	220	4,047
案例 3	40	6,794
案例 4	115	4,225

(資料來源：本研究成果。)

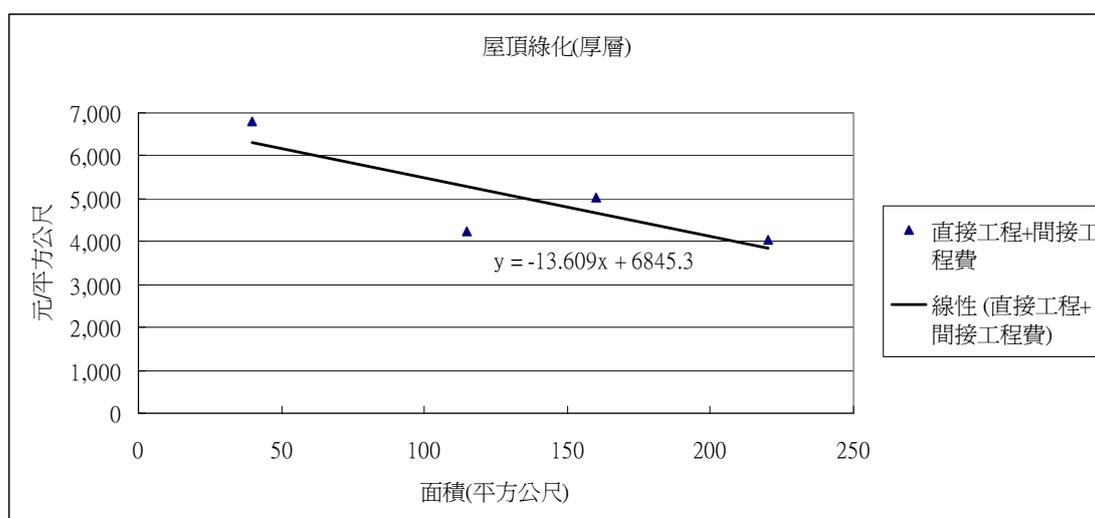


圖 4-37 屋頂綠化(厚層)直接工程 (含包商利潤) 及直接工程成本回歸

(資料來源：本研究成果。)

表4-45 屋頂綠化(厚層)直接工程(含包商利潤、圍籬)及間接工程成本

單位	面積	元/m ²
案例 1	160	5,185
案例 2	220	4,106
案例 3	40	6,998
案例 4	115	4,270

(資料來源：本研究成果。)

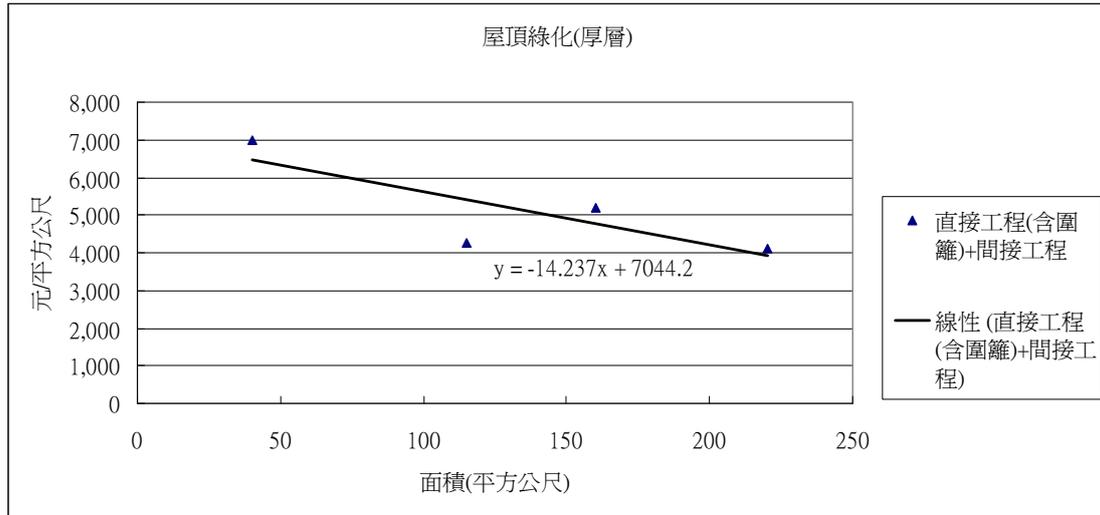


圖 4-38 屋頂綠化(厚層)直接工程 (含包商利潤、圍籬)及直接工程成本回歸

(資料來源：本研究成果。)

表4-46 屋頂綠化(薄層)直接工程成本(含包商利潤、拆除清運)

單位	面積	元/m ²
案例 1	160	5,336
案例 2	220	4,307
案例 3	40	7,202
案例 4	115	4,301

(資料來源：本研究成果。)

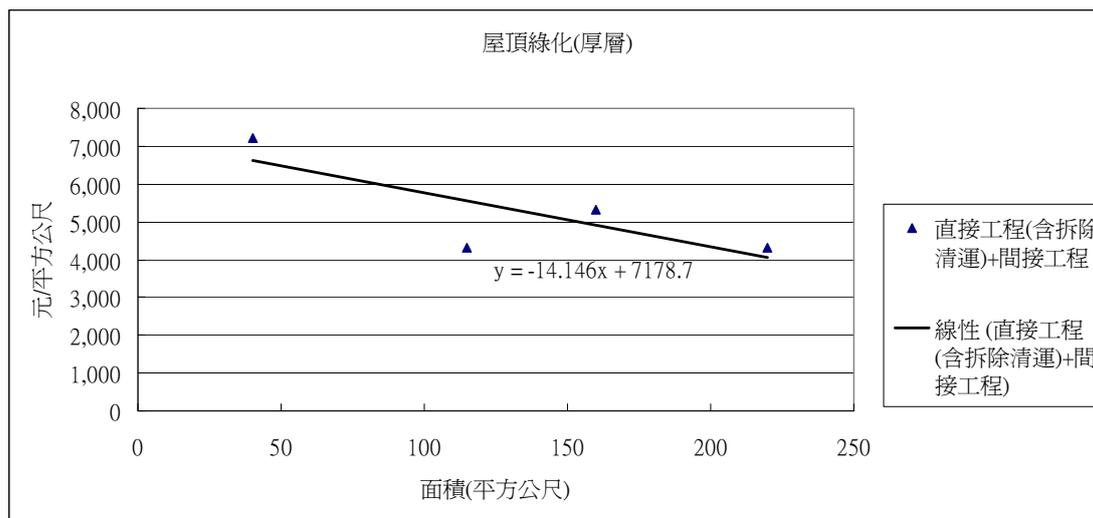


圖 4-39 屋頂綠化(厚層)直接工程 (含包商利潤、拆除清運)及直接工程成本回歸

(資料來源：本研究成果。)

表 4-47 屋頂綠化(厚層)直接工程(含包商利潤、圍籬、拆除清運)及間接工程成本

單位	面積	元/m ²
案例 1	160	5,487
案例 2	220	4,367
案例 3	40	7,406
案例 4	115	4,346

(資料來源：本研究成果。)

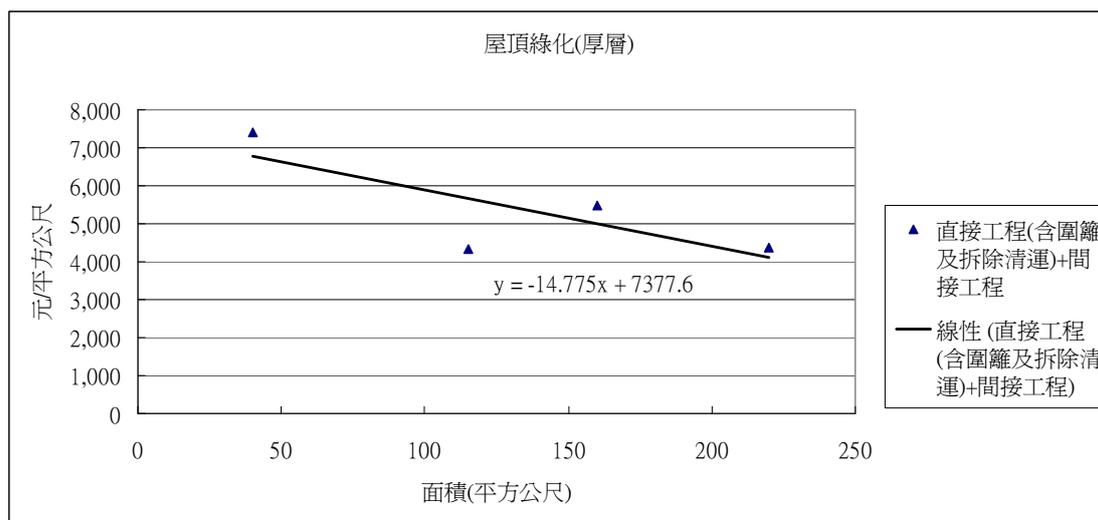


圖 4-40 屋頂綠化(厚層)直接工程(含包商利潤、圍籬、拆除清運)及間接工程成本回歸

(資料來源：本研究成果。)

第五章 結論與建議

本計畫主要針對建築基地保水設施經濟有效性分析架構研擬相關課題進行探討及內容編撰。迄至期中，計畫初步成果與建議之後續工作項目說明如后。

第一節 結論

本計畫所獲致之重要成果概列如下：

壹、基地保水設施衍生效益

- 由蒐集的文獻資料得知綠地、被覆地、草溝在都市中的公園，歸內出其都市環境上提供了七效益，例如：生態效益、環境保護效益、景觀效益、生產效益、社會人文效益、休閒遊憩效益及環境教育效益；透水鋪面效益則有削減逕流量、減少熱島效益、地下水的涵養、水體淨化等；屋頂綠化效益為減緩熱島效應、節能減碳、增加生物多樣性及生物跳島之功能、空氣粉塵降低、提升空氣品質、增加建築美觀等功能。效益不外乎與水、能源、空氣及氣候相關，將其歸類為四大項水文效益、節能效益、環境生態效益及社會效益。

貳、基地保水設施經濟效益分析

- 文獻資料得知根據生態經濟學、環境經濟學和資源經濟學的研究成果，可將基地保水設施經濟效益評估的方法總體可分為三大類：市場價值法、替代市場價值法及能值分析法，將

水文效益、節能效益、環境生態效益及社會效益量化。

- 文獻資料得知國內外有相關量化計算公式，如美國截水量簡易公式為年平均降雨量*設施面積*雨水截留率，其公式較綠建築基地保水指標計算公式簡易且參數容易取得，初步評估其效益利用經濟效益評估的方法可將其量化。
- 基地保水設施所提供之效益可分成兩類，可量化與不可量化，可量化為利用市場價值法用效益市場價格來估算效益的經濟價值，如水資源效益、能源效益等，不可量化為利用市場價值法通過人們的主觀判斷，評價效益的經濟價值，如社區可居住性、生物棲息地改善等。建立經濟效益理論架構得估算步驟來建立量化效益的理論公式，收集建築基地保水設施效益相關參數與市場價格數據進行估算基地保水設施效益的經濟總價值，依據已建立之量化理論公式與市場價值理論公式，初擬簡易效益計算系統架構。

參、基地保水設施成本分析架構

- 文獻資料得知成本分析方法常用的可分為：靜態成本計算法、動態成本分析法及生命週期成本法。
- 文獻資料得知屋頂綠化的成本主要包含建置、額外屋頂防水、培養基質、植物、運輸、維護、更換等經費，並依其設計及功能的不同而改變，含不同型式綠屋頂以及依照不同氣候條件下，植物種類之選取等；目前估算屋頂綠化成本方法可分兩類：利用市場價格或利用實際案例之價格。
- 成本分析方面由國內外文獻資料得知成本分析方法探討常用的可分為：靜態成本計算法、動態成本分析法及生命週期成

本法。故可將基地保水設施建置成本分為建置成本單價分析及成本回歸分析。

- 初步針對「被覆地、綠地、草溝」參考諮詢各廠商所提供施作材料與工資等單價成本範圍及案例，獲取其資料平均為建置單位成本（元/m²），每平方公尺約 3,500~4,500 元左右，視材料及結構深度有所變化；一般生命週期約 25 年；維護成本每 100 平方公尺約 1,000~1,200 元；草溝部分則假設每 10 年需要更新是指植物部分（亦指假設為每平方公尺 809 元更新費）。
- 「透水鋪面」係透水混凝土磚、透水混凝土鋪面、多孔隙瀝青鋪面及非連續拼接或鏤空鋪面等之成本分析，每平方公尺透水鋪面約 1,800 ~ 2,500 元左右，視結構深度、材質及類型會有所變化；透水性鋪面在適當安裝和維護下，其使用壽命約可達 15 ~ 20 年；維護成本高壓水柱沖洗約每平方公尺 30 元；澆置型約 2 至 3 年需要更新一次，更新成本假設與設置成本相同；鋪磚型約 1 至 2 年需要更新一次，更新成本假設與設置成本相同。「屋頂綠化」每平方公尺綠屋頂約 3,000 ~ 9,000 元左右，視採用類型、植栽種類及材料有所變化；其使用壽命約可達 15~20 年；維護成本前 2 年應至少每季修剪及清除雜草 1 次，而後應每年進行 1 次，每次 5,000~6,000 元；每 5~8 年更換滴灌系統馬達，每次 10,000 元；每 15 年需要更新是指植物部分（亦指假設為每平方公尺 160 ~1,750 元更新費）。
- 成本回歸分析部份，本研究蒐集建築中心執行之”綠建築更新診斷與改造計畫”有關基地保水設施的相關案例做迴歸分

析。蒐集之案例預算經費在估算時因材料及工費及雜項、運輸等細項不易拆開估算，故蒐集所得成本皆為含工帶料的平均概估資料，並將工程經費分為直接工程及間接工程二大項目。迴歸分析結果得知建置成本有規模效益存在，面積越大其單價越低，反之，面積越小其單價越高，成本迴歸分析結果可供推廣基地保水設施建設時之經費供預建置者參考。

第二節 建議

建議一

基地保水設施成本效益評估計算系統建置：立即可行建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：內政部營建署

本年度初步擬出效益計算系統架構及蒐集設施市場價格，建議後續可針對成本效益評估程序探討，建立成本效益架構、流程，以及連結相關計算模組等，進以完整建構成本效益評估計算系統，供推廣基地保水設施建設時可獲得之效益及經費供預建置者參考。

建議二

與 GIS 結合推廣基地保水設施建構案例資訊查詢平台：立即可行建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：內政部營建署

歷年來內政部建築研究所已補助完成的綠廳舍改建計畫、綠建築等，研究推廣上卻缺少案例查詢平台供民眾、建築師、設計師等參考，必要將歷年來內政部建築研究所基地保水設施相關計畫案例整合 E 化管理，結合 GIS 相關空間資訊建置基地保水設施案例資訊查詢平台推動成果，推廣基地保水設施技術普及化及制度化，方能提昇作業品質與執行成效。

附錄一 會議記錄

內政部建築研究所 105 年度「創新低碳綠建築環境科技計畫」
 協同研究計畫(二)第 2 案「建築基地保水設施經濟有效性分
 析架構研擬」

評選委員發言單及廠商回應一覽表

項次	評選意見	廠商回應
1	簡報中直接、衍生效益及對相關施政助益之描述均極可貴，希望研究成果卻能達成推廣。	感謝委員肯定。
2	個別基地及整體都市環境之保水，排水系統之建立及關係請多加考量。	感謝委員建議，執行計畫時會納入考量。
3	透水材料及工法之施工、經濟實用、效益性，如何長期維護成本等因素亦請多加考量。	感謝委員建議，執行計畫時會納入考量。
4	基地保水設施 Q ₁ 綠地、被覆地、草溝，Q ₂ 透水鋪面，Q ₃ 花園土壤為主，有關透水鋪面工法請舉例說明。	透水鋪面工法有下列各種不同型式：單元高壓磚透水鋪面、單元透水磚透水鋪面、現場澆制硬式透水鋪面、現場澆制軟式透水鋪面及其他(包括紙磚透水鋪面、JW 工法、綠地、木棧道等)。
5	目前申請建照對於基地保水設計之要求，有一定之規範，但對於基地保水設計所產生的效益評價，案者甚至規劃者均不太了解，透過本研究是否能對	感謝委員建議。

	綜合性的效益，提供意見給案 者及規劃者參考。	
6	基地保設施效益可否以量化呈 現，已使用明確得知具體效益。	後續執行盡量朝向量化考 量。
7	目前市區保水均以地下水箱做 為貯水池為有效之保水，更可 再利用，請說明和第六頁簡報 Q ₁ 、Q ₂ 、Q ₃ 有何差異。	Q ₁ 綠地、被覆地、草溝， Q ₂ 透水鋪面，Q ₃ 花園土壤 其主要目的為增加雨水入 滲涵養地下水資源，並改善 生態環境、降低熱島效應、 降低逕流洪峰及體積，地下 水箱僅收集滲透土壤之雨 水進行貯存使用，對保水並 無助益，但對降低逕流洪峰 及防洪有其功能存在。
8	請說明本計劃將進行多少案例 樣本數？	成本函數建立部分本研究 將透過台灣建築中心蒐集 具綠建築標章之完工案 例、私人廠商及其他公部門 案例進行分析，為能滿足進 度需求原則上不同工法盡 可能蒐集約 20 個以上之案 例進行分析，其他成本部分 如國內無相關資料則擬參 考國外資料進行分析。

9	服務建議書把研究進度期末報告初稿請刪除「初稿」文字，最後提出之報告名稱應為資料收集報告請配合修正。	服務建議書提出之報告名稱誤植等，將遵照委員意見修正。
---	---	----------------------------

內政部建築研究所 105 年度「創新低碳綠建築環境科技計畫」
 協同研究計畫(二)第 2 案「建築基地保水設施經濟有效性分
 析架構研擬」

期中審查廠商回應一覽表

評選意見	廠商回應
<p>林簡任技正之瑛：</p> <p>1.本案研提建築基地保水設施相關經濟有效性分析及成本效益評估，建立簡易計算程式，作為保水設施規則設計決策參考，符合實務需求，原則可行。</p> <p>2.保水設施除水文效益、節能效益及空污改善效益外，建請將其效能、使用年限、構造合理與建築物相容等需求納入考量，提供因地制宜之建議。</p> <p>3.財物效益方面，請考量提供機能相當之最低成本替代方案作為選項，已達節省經費效果。</p>	<p>1.感謝委員肯定。</p> <p>2.感謝委員建議，本研究目前無納入分析，委員建議將提供主辦單位作為後續研究參考。</p> <p>3.財務分析較複雜及涉及資料龐大本研究目前無納入分析。本研究主要以經濟分析為主，鎖定提供給建築師設計需要多少成本及可能有多少效益之參考，有關量化資料將進一步收集探討。</p>
<p>李調查專員榮泰：</p> <p>1.成本效益分析法包括靜態成本計算法和動態成本計算法（益本比法，B/C、淨效益法 NPV、內部回收率法 IRR、投資回收年限法），是否融合比例判斷，建議補充說明。</p> <p>2.生命週期成本效益估算方式</p>	<p>1.財務分析較複雜及涉及資料龐大本研究目前無納入分析。本研究主要以經濟分析為主，鎖定提供給建築師設計需要多少成本。</p> <p>2.本研究後續將已收集之既有案例成本做回歸建置成本函數。</p> <p>3.補充說明於第三章。</p>

<p>(類土地開發分析法), 補充建置成本函數 $y=a+bx$。</p> <p>3. 請補充說明基地保水設施效益可清楚表達效益?</p>	
<p>張建築師矩墉：</p> <p>1. 保水指標的保水量若直接視為截流量，是否高估？因為取得的降雨延遲是 24 小時，而實務現況難維持一定範圍 24 小時滲透。</p> <p>2. 綠屋頂的效益並非恆定，因綠化植栽會成長、衰老與更替等特性，是活動性，說明本案是否考量該因素。</p> <p>3. 直接的設置成本或許較易量化，惟價格隨市場波動，建議可採價格區間或均價呈現，另目前尚未納入更新維護成本，建議後續納入討論。</p> <p>4. 請說明簡報 P.17 工法草溝及透水鋪面仍有透水管因素，此作法與目前手冊規範不同。</p> <p>5. 報告書 P.61，表 4-5、表 4-6 透水鋪面工法單價分析表為何含有回填泥土、種子與單位為 m^2，建議補充說明。</p>	<p>1. 感謝委員建議，本計畫建立簡易計算方法計算效益。</p> <p>2. 感謝委員建議，本計畫目前無將其納入考量，委員建議將提供主辦單位作為後續研究參考。</p> <p>3. 感謝委員建議，後續將其納入考量。</p> <p>4. 感謝委員提醒，已於報告書中修正。</p> <p>5. 感謝委員提醒，已於報告書中修正。</p>
<p>張建築師國章：</p> <p>1. 報告書 P.20 第二章第二節，有關保水手法效益綜述，建議參考 BMPs 控制技術，加強保</p>	<p>1. 感謝委員建議，本研究目前只針對基地保水效益探討，未來可參考納入。</p> <p>2. 感謝委員提醒，已於報告書中修</p>

<p>護生態環境的效益論述。</p> <p>2.報告書 P.61 表 4-5 透水鋪面澆置型建置成本，整體澆置為一體之鋪面手法，通常不再回填沃土及草子，建議仔細研議</p>	<p>正。</p>
<p>鄭教授政利：</p> <p>1.本案有關採用工法之經濟效益或成本分析，建議回歸建置設計者或投資業者提供有益資訊，協助綠建築保水指標推廣。</p> <p>2.經濟效益或成本分析建議納入一般容易理解之評估指標為宜，如：回收年限或各工法之成本效益量化比較等，作為協助推廣之誘因。</p>	<p>1.感謝委員建議，本計畫於第四章 P.83 針對蒐集之案例成本回歸分析。</p> <p>2.感謝委員建議，本計畫於第四章 P.69 成本單價分析，有針對設施使用年限及維護管理等說明。</p>
<p>陳副所長瑞鈴：</p> <p>1.本所前期研究顯示雨水儲集槽利用，降雨時約減緩地表逕流 30 分鐘等量化數據，建議本研究案評估草溝、透水鋪面及綠屋頂等設施之效益計算除定性資料外，納入可量化資料。</p> <p>2.本案提出多項有關生態基地保水成本效益估算方法，是否所有效益均納入計算評估，建議詳加考量。</p>	<p>1.後續執行盡量朝向量化考量。</p> <p>2.感謝委員建議。</p>

<p>陳組長伯勳：</p> <p>1.有關建置成本分析之案例，建議標示案例地點區域如都市或偏鄉。另目前評估皆為既有建築改善案例，建議納入綠建築標章案例評估其成本效益。</p>	<p>1.有關成本價格標示所在區域北、中、南等，本研究後續執行較多案例蒐集後，將採取分區進行分析。</p>
---	---

內政部建築研究所 105 年度「創新低碳綠建築環境科技計畫」
 協同研究計畫(二)第 2 案「建築基地保水設施經濟有效性分
 析架構研擬」

期末審查廠商回應一覽表

評選意見	廠商回應
<p>李調查員榮泰</p> <p>1.本計畫內容切實可行，邏輯清楚。</p> <p>2.本計畫提出之保水設施成本估算單價，可做為推廣參考。</p> <p>3.基地保水設施「量化效益」清楚可行，可估算設置後產生之節電市場價格，建議後續持續研究。</p>	<p>1.感謝委員肯定。</p> <p>2.感謝委員肯定。</p> <p>3.感謝委員建議，委員建議將提供主辦單位作為後續研究參考。</p>
<p>張建築師國章</p> <p>1.保水設施的成本回歸分析具有實務上意義(如規模效應)。</p> <p>2.成本分析如含「生命週期」的維護、拆除成本分析比例，未來可做為各公務機構編列「長期維護計畫」參考。</p> <p>3.屋頂綠化(薄層)回歸分析其案例僅 2 件，是否太少。</p> <p>4.報告書 P.71 透水混凝土磚成本分析及報告書 P.72 多孔滲瀝青鋪面成本分析，表中級配 0.7m³ 之數值，建請確認檢視是否有誤。</p>	<p>1.感謝委員肯定。</p> <p>2.感謝委員肯定。</p> <p>3.執行時間有限且資料較不易收集，委員建議將提供主辦單位作為後續研究參考。</p> <p>4.感謝委員建議，感謝委員建議，成本會因材料選擇及設施尺寸不同有所差異。</p>

<p>鄭教授政利</p> <p>1.關於經濟效益面向廣義分析結論，建議以對象目的區分，如以政策推動為目的之效益說帖，及以設計者評估為目的之技術成本參考資訊，分別論述為宜。</p> <p>2.規模與單價之相關分析，其項目多，個別項目樣本數偏少，影響統計效度，建議整併項目、簡化歸納有意義之項目關係，俾未來應用及政策參考。</p> <p>3.維護成本及生命週期成本不在研究範圍，其屬關鍵課題，建議適度納入探討為宜。</p>	<p>1.感謝委員建議，計畫中有關效益方向，政府及建築師兩者標的不同，政府單位常以總體效益為考量；而建築師則以經費來考量，不考量其效益好壞，本團隊提供之成本分析皆可供參考。</p> <p>2.感謝委員建議。</p> <p>3.感謝委員建議。</p>
<p>中華民國全國建築師公會（張建築師矩墉）</p> <p>報告書 P.19 表 2-1，Q3 公式目前版本已修正為 $Q3=0.05 \times V3$，表上呈現為前一本版（2012 版）公式，建議以最新版本為主。</p> <p>2.計算能源節省效益時，引用美國計算節電之耗能公式應注意（1）美國一般不分用途是採用 24 小時全空調，和臺灣則不全然相同。（2）美國一般空調為冷、暖雙效，但臺灣大部分僅冷氣無暖氣，綜上引用此公</p>	<p>1.感謝委員提醒，已於報告書 P.19 中將誤繕部分修正。</p> <p>2.感謝委員建議，能源效益算法重新檢視，並將委員建議提供主辦單位作為後續研究參考。</p> <p>3.感謝委員提醒，已於報告書 P.60、P.65 中將誤繕部分修正。</p> <p>4.感謝委員建議，成本會因材料選擇及設施尺寸不同有所差異。</p>

<p>式是否妥適。</p> <p>3.報告書 P.60 表 3-15，闊葉小喬、針葉喬木、疏葉型喬木部分之 CO₂ 固定量應為 600kg/m²，報告書 P.65 圖 3-8 之表頭文字誤植，建請修正。</p> <p>4.報告書 P.69 表 4-1 單價分析表數量建議再檢核，其後透水鋪面之級配層厚度達 70cm，挖方達 1m 深，標準偏高與一般人行步道不同，另表 4-1 綠地分析之地被植物數量有過量之虞，建請一併檢視。</p>	
<p>王副所長安強</p> <p>1.綠建築方面相關經濟效益評估缺乏，本研究成果助於未來政府公共工程編列預算，有關成本分析回歸評估，詳加考量案件數較少，其回歸結果是否具有代表意義。</p> <p>2.本計畫進行經濟有效性分析架構研擬，是否後續研究項目建請補充說明。</p>	<p>1.執行時間有限且資料較不易收集，委員建議將提供主辦單位作為後續研究參考。</p> <p>2.今年度著重於效益，建議主辦單位後續可將進一步針對成本經費部分研究。</p>

參考書目

- 內政部建築研究所，建築廢棄物之再生利用技術開發-廢棄物混凝土塊在利用，2000。
- 內政部營建署，透水性鋪面養護工法參考手冊，2009。
- 內政部建築研究所，社區及建築基地減洪技術與防洪規畫手冊研擬，2013。
- 內政部建築研究所，社區及建築基地減洪防洪規畫手冊，2013。
- 內政部建築研究所，建築基地保水現況分析及設計技術規範檢討與修訂之研究，2015。
- 內政部建築研究所，綠建築評估手冊－基本型（EEWH-BC），2015。
- 內政部營建署，水環境低衝擊開發設施操作手冊，2015。
- 行政院環保署資源回收管理基金管理委員會，國內廢鉛蓄電池回收處理體系架構之研究與成本分析，1999。
- 行政院公共工程委員會，營建資源再利用於公共工程之研究，2000。
- 行政院國家科學委員會，城市綠地之冷效應，專題研究計畫，2011。
- 林憲德，城鄉生態，詹氏書局，2005。
- 徐仁輝，公共財務管理－公共預算與財務行政，智勝文化事業有限公司，2002。

- 郭祝瑛，應用能值分析方法探討水庫集水區整治策略－以德基水庫為例，國立台北大學資源管理研究所碩士論文，2003。
- 張欣聰，以高雄臨港線鐵路發展成輕軌捷運為例進行社會成本效益的分析，國立成功大學交通管理科學研究所碩士論文，2001。
- 葉彥宏，城市綠屋頂成本效益分析，國立交通大學環境工程研究所碩士論文，2012。
- 鄭秀蘭，都市郊丘綠地資源利用的時空變遷－以台北四獸山市民森林為例，國立師範大學地理學研究所碩士論文，2001
- 鄭延吉、羅紹麟，特徵價格理論應用於都市林效益評估之研究－以台中市為例，林業研究季刊，第 22 卷，第 1 期，p.1-p.10 頁，2000。
- 魏婉倩，成本效益分析之研究，審計季刊，第 7 卷，第 2 期，p.20-p.23，1987。
- 闕雅文，自然資源之經濟效益評估法及條件評估法，區域人文社會學報 8：p.105-p.126，2005。

英文部分：

- Corrie, B.A. and Bass, B., 2005,. “Estimate of air pollution mitigation with green plants and green roofs using the UFORE model.” Proceedings of Third Annual Greening Rooftops for Sustainable Communities Conference, Washington, DC, USA, May 4-6.
- Clark, C., Adriaens, P., and Talbot, F.B., 2008, “Green Roof

Valuation: A Probabilistic Economic Analysis of Environmental Benefits.” *Environmental Science*, 42, pp. 2155-2161.

- David and Lucille Packard Foundation, “Building for Sustainability : Six Scenarios for the David and Lucille Packard Foundation Los Altos Project,”, October 2002 .
- Getter, K.L., Rowe, D.B., Robbertson, G.P., Gregg, B.M., and Andresen, J.A. , 2009, “Carbon Sequestration Potential of extensive Green Roofs.” *Environmental Science Technology*, 43, pp. 7564-7570.
- Li, J.F., Wai, O.W.H., Li, Y.S., Zhan, J.M., Ho, Y.A., Li, J., and Lam, E., 2010, “Effect of green roof on ambient CO₂ concentration.” *Building and Environment*, 45, pp. 2644-2651.
- Niu, H., Clarkm C., Zhou, J., and Adriaens, P. , 2010 , “Scaling of Economic Benefits from Green Roof Implementation in Washington, DC.” *Environment Science Technology*, 44, pp. 4302-4308.
- Odum H.T., Craig, D. and Brown, M.T., 1987, *Energy Systems Overview of the Mississippi River Basin*, Gainesville, Florida : Center of Wetlands, University of Florida.
- Tyrvainen L, 1999, “Monetary valuation of urban forest amenities in Finland. Academic dissertation.” Finnish Forest Research Institute, Research papers 739. Finnish Forest Research Institute, Vantaa.
- Xenergy, “Green City Buildings: Applying the LEED Rating System,”, Inc and SERA Architects, June 18, 2000 .

- Yang, J., Yu, Q., and Gong, P., 2008, “Quantifying air pollution removal by green roofs in Chicago.” *Atmospheric Environment*, 42, pp. 7266-7273.

建築基地保水設施經濟有效性分析架構研擬

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：陳伯勳、廖朝軒、邱寶慧、林霧霆、徐虎嘯、
林育新、黃偉民、江育銓、曹思儀

出版年月：105年12月

版次：第1版

ISBN：978-986-05-0835-2 (平裝)

ISBN : 978-986-05-0835-2 (平装)