

市區綠道路評估系統

土木工程學系\張行道

本系統用於評估綠道路及認證，為內政部營建署提出「建立市區道路之綠道路評估系統」研究計畫，由成功大學研發3年後建立，於2020年7月完成。研究過程中回顧國外綠道路評估系統、納入共通指標，經由國內市區道路案例實際參與，發展出適合臺灣市區道路使用的綠道路評估系統，用以評估道路設計與施工的永續性。

一、評估系統與指標

本綠道路評估系統與指標如圖1所示，在永續涵蓋的環境、社會及經濟面向下，包含七個類別：生態、材料與能資源、廢棄物與污染、宜居性、歷史與文化、經濟、其他創新等，共25個指標，其中包含1個必要及24個計畫自選指標。



圖1、市區道路之綠道路評估系統指標。

本評估系統於新建或整建道路都適用，新建道路使用全部25個指標，整建道路使用21個，不評估圖1中標示「*」的4個指標，包括生態類「生態影響分析」與「最佳暴雨管理做法」、材料與能資源類「長壽設計」，及社區與人文類「歷史與文化」。

七個類別與指標的配分如表1所示，各指標配分2-5分，分數越高者代表採用該指標有較大的永續效益。

首先，碳足跡為必要(Project Requirement, PR)評估指標。所建立的綠道路評估系統，以政府十多年來推

行的節能減碳政策為主軸，並設計碳足跡為必要評估指標，配分5分。每個欲申請綠道路認證的道路計畫，都需要計算計畫的碳排放量。其次生態(Ecology, EC)類指標，屬於環境面，配分15分，包含生態影響分析、綠覆率、植栽品質、最佳暴雨管理做法等4個指標。最後其他創新(Innovation, IN)類指標，配分10分，包含3個示範指標如減碳策略與方法。本類指標為評估系統保留彈性，鼓勵道路計畫設計或施工者能提出道路永續新想法，例如考量環境、社會或經濟的新做法，或因應永續政策提出方案，申請者可提出說明，獲得指標分數。

生態(EC)	配分	材料與能資源(ME)	配分	廢棄物與污染(WP)	配分
1.生態影響分析*	3	1.當地材料	5	1.廢棄物管理與再利用	3
2.綠覆率	5	2.長壽設計*	5	2.廢汙水排放處理	3
3.植栽品質	3	3.回收與重複使用	5	3.空氣與噪音防治	4
4.最佳暴雨管理做法*	4	4.施工階段用水效率	2		
		5.營運階段能源效率	5		
小計(4)	15	小計(5)	22	小計(3)	10
宜居性(LT)	配分	社區與人文(CC)	配分	經濟(CO)	配分
1.人行道與路口安全	5	1.利害關係人參與	3	1.生命週期成本分析	5
2.通用設計	4	2.景觀	4	2.資產管理	5
3.多重運輸模式	5	3.歷史與文化*	3		
4.管線設施	4				
小計(4)	18	小計(3)	10	小計(2)	10
其他創新(IN)	配分	必要(PR)	配分		
1.綠能智慧設施	3	1.碳足跡	5		
2.環境或健康產品聲明	2				
3.減碳策略與方法	3				
4.....	2				
小計(3)	10	小計(1)	5	合計(25)	100

表1：綠道路指標配分

二、認證等級

綠道路認證分為四級：銅、銀、金、鑽石級，如圖2所示。對於新建道路，滿分100分中，若達到30分可獲得銅級、40分銀級、50分金級，及70分鑽石級。

對於整建道路，滿分85分中，達到24分可獲得銅級、32分銀級、40分金級，及56分鑽石級。

				
	銅級	銀級	金級	鑽石級
新建	30分	40分	50分	70分
整建	24分	32分	40分	56分

圖2、新整建道路之綠道路認證等級。

三、評估要求與文件

綠道路評估系統編有使用手冊，說明各指標的目的、要求、所需文件、相關法規、如何達成要求，並提供檢核表列出指標配分及達成要求可獲得的分數或點數。附錄A節錄PR1碳足跡指標為例。

指標寫出要求供申請道路計畫遵守，計算能達成的指標分數，如附錄A中有4個要求，各有分數。要求中，有些指標可由提供的多種途徑中選擇一種計算分數，例如材料與能資源類之ME1當地材料，有區域採購及縮短運距兩種途徑，分別以材料所占金額及材料重量比例計算分數。

指標所需文件的訂定，若指標只有一種途徑或是要求的文件相同，則統一於檢核表最下方列出，如附錄A中檢核表所示。若要求的文件不同，會於指標檢核表中各要求下列出。若能明顯區別設計與施工文件，則於檢核表中分別列出。

各指標所列的所需文件，申請計畫若文件有不同名稱，可提送該文件。又，只需擷取其中相關內容提送，註明出處，不需整本文件提送。

各指標會列出相關法規，例如附錄A中1的溫室氣體減量與管理法(此指標於2022年修改為氣候變遷因應法)，供申請者參照或使用。

四、指標性質與得分

25個指標有9個量化與16個質化指標，如表2所示。例如，材料與能資源類之回收與重複使用，屬於量化指標。又如，廢棄物與污染類之空氣與噪音防治、社區與人文類之利害關係人參與，屬於質化指標，有些指標兼具量化與質化內容。區分原則依指標該特性較多而定，如材料與能資源類之當地材料、長壽設計等，適合以量化計算數字訂出指標要求。但如社區與人文類指標之利害關係人參與、景觀等，單憑量化數字不足以涵蓋全部要求，則以質化方式說明指標要求。

若為量化指標，依指標要求之配分，直接計算得分，如附錄A中4個要求共有5分。無論指標包含幾種途徑，只能選擇「一種」途徑計算得分。若為質化指標，要求以「點數」配置，依據達成的要求加總得點，以得點比例計算得分。

例如ME1當地材料，屬於量化指標，配分5分，分為區域採購與縮短運距兩種途徑可達成要求。若選擇途徑1區域採購，須以材料金額計算當地材料所佔比例，若當地材料達30%得2分、達70%得3分、達90%得5分。若選擇途徑2縮短運距，則需以基本材料重量及其運距來計算指標分數，重量90%的基本材料之運距小於200km得2分、小於120km得3分等。

又如社區與人文類之利害關係人參與，屬於質化指標，配分3分，有社區與公眾參與兩個要求，各有6項子要求，達成每項可得1點，達成要求1與2可得12點，獲得該指標滿分3分；若達成其中9項得9點，換算為2.25分(9/12 x 3)，四捨五入為2分。

25個指標都適合於設計或施工階段納入，其中經濟類之「資產管理」雖屬於道路營運階段工作，與後續維管的縣市政府或鄉鎮公所有關，設計階段可思考、納入。設計階段可考量23個指標、施工階段可考量12個指標。設計是達成綠道路的重要階段，於道路計畫越早階段納入指標，越有機會獲得較高的分數。

表2：量化與質化指標

生態(EC)		量化	質化	材料與能資源(ME)		量化	質化	廢棄物與污染(WP)		量化	質化
1.生態影響分析			✓	1.當地材料		✓		1.廢棄物管理與再利用			✓
2.綠覆率		✓		2.長壽設計		✓		2.廢污水排放處理			✓
3.植栽品質			✓	3.回收與重複使用		✓		3.空氣與噪音防治			✓
4.最佳暴雨管理做法		✓		4.施工階段用水效率		✓					
				5.營運階段能源效率		✓					
小計		2	2	小計		5	0	小計		0	3
宜居性(LT)		量化	質化	社區與人文(CC)		量化	質化	經濟(CO)		量化	質化
1.人行道與路口安全			✓	1.利害關係人參與			✓	1.生命週期成本分析		✓	
2.通用設計			✓	2.景觀			✓	2.資產管理			✓
3.多重運輸模式			✓	3.歷史與文化			✓				
4.管線設施			✓								
小計		0	4	小計		0	3	小計		1	1
其他創新(IN)		量化	質化	必要(PR)		量化	質化			量化	質化
1.綠能智慧設施			✓	1.碳足跡		✓					
2.環境或健康產品聲明			✓								
3.減碳策略與方法			✓								
4...											
小計		0	3	小計		1	0	合計		9	16



五、綠道路效益

經由綠道路認證過程及其作業要求，可獲得下列效益，以利未來公路機關規劃、執行永續道路之用，落實工程永續。

- (1)計算出道路從設計、施工至維護階段減少的能源、碳排放、用水量。
- (2)引導道路計畫設計與施工，提升道路永續性，落實工程人員永續觀念。
- (3)長時間累積綠道路指標資料，作為工程永續的知識庫。
- (4)綠道路作為都市基礎建設(道路、橋梁、管溝)設計、施工及維護之永續規劃指引，整合政府各項政策，啟動都市4.0升級再造。
- (5)綠道路指標與聯合國永續發展目標(Sustainable Development Goals, SDGs)連結。政府可宣傳綠道路認證結果，推廣其永續執行成果，與國際接軌。

六、結語

近年來氣候變遷對環境的衝擊加劇，許多國家為減量溫室氣體訂出於2050年達到

淨零碳排的目標，臺灣也不例外。綠道路評估系統以碳足跡為主軸，計算道路的碳排放量，鼓勵提出減碳策略與方法。

基礎建設的永續已是許多國家的主要政策，綠建築起步早，其評估於臺灣已施行多年。道路連結建築和城市，施行綠道路評估，和綠建築相輔相成，降低城市的熱島效應，也使政府的永續政策更完整。

5分

附錄A 碳足跡指標例 - PR1碳足跡

目的

調查計畫中使用之能源、材料與施工活動造成之碳排放量，建立道路工程的碳排放量基線與資料庫。

要求

道路工程碳足跡計算屬於量化指標，依達成指標要求計算得分，滿分為5分。本指標有4個要求：

- | | |
|---|----|
| 1.提供價目表中金額高的前10工項的材料種類、數量與金額。 | 1分 |
| 2.提供前述10種材料由工廠(存放處)至工地的運距及載具規格。 | 1分 |
| 3.提供耗油(電)前10高的施工、運輸機具，其種類、數量、每小時耗油(電)量，及工程期間使用時數。 | 分 |
| 4.提供工程期間的用電、用水量(分成自來水、地下水等)。 | 1分 |

所需文件

- 金額高的前10工項的材料種類、數量及金額，附工程詳細價目表、單價分析表、資源統計表。
- 前述10種材料由工廠(存放處)至工地的運距及載具規格。若有資料，提供載具單位耗能(L/km)或載具碳排係數(kgCO₂/Tkm)。
- 耗油(電)前10高的施工、運輸機具，其種類、數量、每小時耗油(電)量，及工程期間使用小時數。
- 工程期間的用電、用水量(分成自來水、地下水等)。

法規

- 溫室氣體減量及管理法。
- 交通部節能減碳規劃設計參考原則。

達成要求說明

碳足跡計算採用碳排係數法，即碳排放量=活動強度×碳排係數，其中活動強度指材料數量、機具操作時數等，碳排係數為每一單位活動的碳排放量，本指標的此等係數取自環保署、交通部、能源局、國外公告，或其他來源，將套用在申請計畫的材料、機具上。

工程生命週期碳足跡發生在六個階段：原料開採、材料生產、材料運輸、現場施工、營運維護、廢棄回收，本指標的計算邊界包含前四階段的碳排放量。前二階段的碳排放由材料的碳排放係數包含計算；材料運輸計算材料從工廠或存放地運至工地的載具耗油碳排放(此階段亦包含機具、廢棄物、人員的運輸，但因為碳排很小，且不易估算而通常忽略)；現場施工機具的耗油(電)及工地用電、用水產生的碳排；營運維護階段指完工後使用及維護的碳排；廢棄回收指道路生命結束後的處理碳排放。

本指標的碳排放量中，材料的碳排佔八成以上，而材料資料顯示於價目表及資源統計表中，材料運輸與機具使用也會出現在單價分析表中，但設計者通常沒有運距或機具使用時數等數字，而必須先估計，施工後承包商可有實際數字填寫。

請繼續詳讀後方

案例說明

(一)要求1

案例道路提出15工項材料種類、數量及金額如表PR1.1所示，滿足要求，得1分。此等材料數量將乘上材料碳排係數，得到材料碳排放量。

表PR1.1 主要工項材料、數量及金額

材料	主要工項 材料用量 單位	(一)橋 梁	(二) 路工/交通	(三)排 水	(四) 大地	(五) 公路照明	(六) 隧道照明	數量合計	金額(千元)
1.碎石級配	m ³		177,597					177,597	79,919
2.瀝青混凝土									
粗粒料	噸		72,384					72,384	151,283
密集配	噸	9,480	49,231					58,711	117,128
小計		9,480	121,615	0	0	0	0	131,095	268,411
...					15	小計(5)	22	小計(3)	10
金額合計 (占合約金額40.8%)									1,982,497

(二)要求2

需提供10種材料由工廠(存放處)至工地的運距及載具型號，及載具運輸係數及單位耗油量，如表PR1.2所示，案例資料滿足要求，得1分。

運輸每噸貨物一公里所排放的碳量，計算式如下，運輸碳排放係數單位為kgCO₂e /Tkm，T×km為延噸公里：

$$\sum \sum (\text{材料數量}/\text{載具載重}) \times \text{往返運輸距離} \times \text{運具載重} \times \text{載具碳排放係數} - (1)$$

由公式(1)，43噸聯結車(計算碎石級配)：

$$\frac{468,856}{20 \times 2} \times 25 \times 0.0512 (\text{運輸碳排放係數, kgCO}_2/\text{Tkm}) = 960 \text{ TCO}_2$$

表PR1.2彙整大項材料之運輸碳排，並計算其運輸排放，得案例工程材料運輸之碳排放量為6,922 TCO₂e，其中預拌混凝土佔74.9%最多，因使用量最大。

表PR1.2 材料運輸碳排放

材料		材料總重(T)	運距(km)	載具 型號	載重能力(T)	運輸係數	碳排放 (TCO ₂ e)	比例(%)
碎石級配		468,856	20.0	43T 聯結車	25	0.0512 (kgCO ₂ e/Tkm)	960	13.9
鋼筋	40%	22,004	78.6				177	2.6
	60%	33,005	36.2				122	1.8
瀝青混凝土		131,095	32.0				430	6.2
預力鋼腱		2,685	150.0				41	0.6
預拌混凝土		752,548	32.5	預拌車	10	0.4 (L/km)	5,185	74.9
合計							6,922	100.0

(三)要求3

案例施工機具資料如表PR1.3，滿足要求，得2分。

表PR1.3 施工機具資料

機具設備(型號)	數量	用途	單位耗油 (L/hr)	操作時數	油耗(L)
膠輪壓路機 20T	1台	AC 鋪設壓實	10.7	80	856
瀝青混凝土鋪築機	1台	AC 鋪設	23.3	80	1,864
灑水車 8T	1台	AC 鋪設冷卻、級配回填	21.5	80	1,720
...					...
工期預估：50天					總油耗：29,848

PR1碳足跡檢核表

目的		調查計畫中使用之能源、材料與施工活動造成之碳排放量，建立道路工程的碳排放量基線與資料庫		配分：5分	
		分數	得分		
要求	1.提供價目表中金額高的前10工項的材料種類、數量與金額。	1	1		
	2.提供前述10種材料由工廠(存放處)至工地的運距及載具規格。	1	1		
	3....				
	合計	5	5		
文件	1.金額高的前10工項的材料種類、數量及金額，附工程詳細價目表、單價分析表、資源統計表。			✓	
	2.前述10種材料由工廠(存放處)至工地的運距及載具規格。若有，提供載具單位耗能(L/km)或載具碳排放係數(kgCO ₂ /Tkm)。			✓	
	3....				

