

融入景觀與自然環境之護岸工法開發

研究預算：營運補助費（一般帳戶）

研究期間：2011~2015

負責團隊：自然共生研究中心

研究負責人：萱場祐一、藤森 琢

【摘要】

河川護岸在河川景觀與自然環境方面所應具備的環境機能，目前已有明確規範，但其機能內涵僅止於定性的說明，對於護岸的開發與選定的標準規範尚未有進展。因此，本研究係以促進實務應用為目標，確立預鑄混凝土塊護岸是否具備環境機能相關的評鑑方法，開發、展示並推廣參照該評估方法所製作的預鑄混凝土塊護岸。首先整理影響護岸施工品質的主要因素，然後針對各該要素進行試驗與驗證。

依據試驗與驗證結果，便可列舉可能導致惡化明亮度與質地等景觀主要因素的評估基準。此外，本研究將說明綠色預鑄混凝土塊的適合應用條件，致力於開發、展示與推廣參照上述評估方法所製作的預鑄混凝土塊護岸。

關鍵詞：環境機能、河川景觀、預鑄混凝土塊護岸、評估基準、綠色預鑄混凝土塊

1. 前言

2010 年 8 月「中小型河川河道計畫技術基準」修訂，隔年發行其說明書「多自然型河川營造要點手冊Ⅲ」（以下簡稱 PBⅢ）。這份手冊指出河岸與水際的規劃與設計方法，並且明確說明護岸裸露時，其所應具備河川景觀與自然環境相關的環境機能¹⁾。但其中提到的機能，大部分只停留在定性的說明，以 PBⅢ 為依據的護岸開發與選定尚未有進展。此外，災害復舊方面，雖然也常見以預鑄混凝土塊等實施災區自然河岸復舊，但未必具備充分的環境機能。因此有必要指出能讓河川工程實務人士與產品開發人士容易了解技術基準所述環境機能，並應用於開發的具體條件。

本研究旨在參考上述社會要求，期能整理出裸露護岸所應具備河川景觀與自然環境相關的具體條件方法與現有護岸改良重點，並開發、展示、推廣護岸工法的類型。

2. 影響護岸景觀的主要因素

首先，整理影響河川景觀的主要因素、以掌握河川景觀與護岸特性²⁾。所整理內容如圖 2.1 所示。這部分主要參考闡述河川景觀與護岸景觀的體系之文獻，加上專家學者訪談以及「預鑄混凝土塊護岸機能評估方法委員會」的意見(2012.12~2014.03)，將影響護岸景觀的主要因素分為「預鑄混凝土塊護岸本體所造成的主要因素」與「預鑄混

凝土塊護岸之外的主要因素」二大類，整理如下：

有關「預鑄混凝土塊護岸本體所造成的主要因素」，係考量融入景觀與自然環境的難易度與效果。將欲達成的目標水準區分為「更高質感的護岸」、「適度變化、避免太人工化、規則化感覺的護岸」、「融入周邊景觀的護岸」等三類。同時也一併整理了要達到這些目標水準所需具備的重要因素。

「預鑄混凝土塊護岸本體之外的重要因素」，係為了融入周邊景觀，而把「堤頂混凝土土塊」與「護岸端牆、洩水孔處理」列為最低限度必須考量的重要因素。至於「地域性」以及「與牆後地的銜接性」等重要因素，則因為相關分析未臻充足，仍有待今後進一步研究。

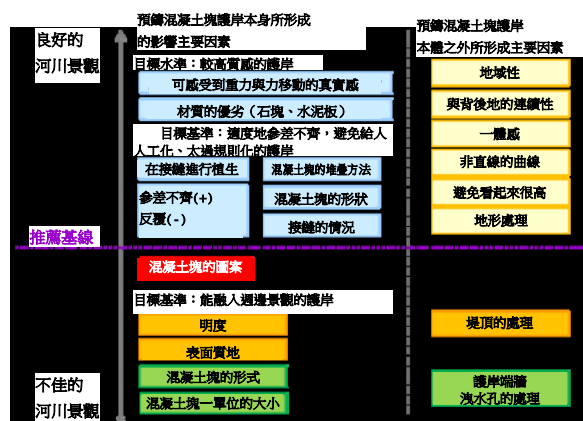


圖 2.1 影響河川景觀的主要因素整理

不過，其餘包括「地域性」與「與牆後地銜接性」

等主要因素的要素分析尚未充分完成，仍有待進一步研究與整理。

現有預鑄混凝土塊護岸雖然也有的具備高景觀機能，但大多數在鳥瞰情況下，景觀機能不高。為了提升預鑄混凝土塊護岸的景觀機能，因此設定推薦基線。首先，為了確實完成「融入周邊景觀的護岸」的目標水準，針對導致景觀惡化主要因素之預鑄混凝土塊護岸「明度」、表面質地、預鑄混凝土塊形式（綠色預鑄混凝土塊）、預鑄混凝土塊每一單位大小、預鑄混凝土塊圖案，設定依據景觀評估試驗等的評估基準。

3. 預鑄混凝土塊護岸的評估方法

3.1 明度

明度指顏色的鮮明程度，在此為護岸的明度（平均明度）。首先，整理影響預鑄混凝土塊護岸明度的主要因素，以便掌握明度係由哪些主要因素所構成，其結果如圖 3.1.1 所示。由此歸納出，主要因素乃是由「預鑄混凝土塊主要因素」、「外部主要因素」、「其他主要因素」三部份所構成。這三種主要因素分別會對明度造成多大影響，則依據預備調查結果，針對影響較大的主要因素進行確認。

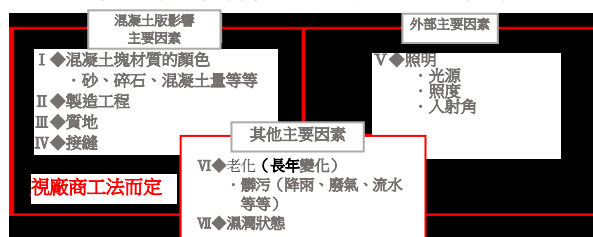


圖 3.1.1 決定預鑄混凝土塊護岸明度的主要因素

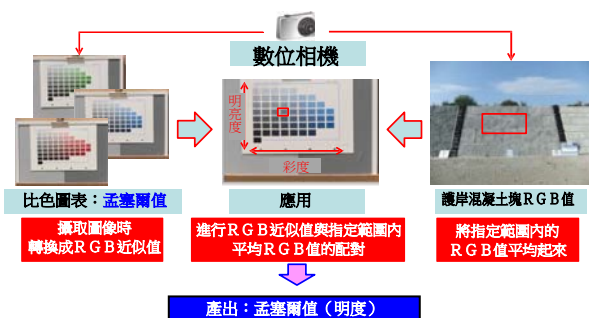


圖 3.1.2 決定明度的流程

PB III 記載「護岸的明度應為 6 以下」，但並未明確指出具體的明度量測方法。因此，本研究針對

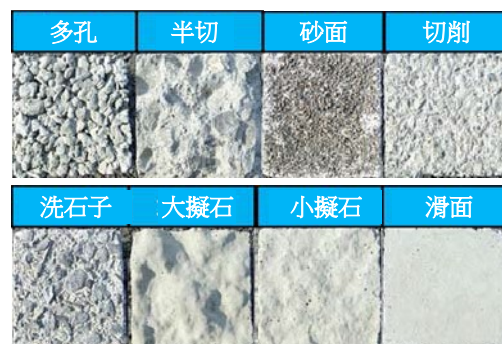
具體的明度量測方法，提出多項建議方案^{2),3),4)}。

明度量測方法的分析應用，運用了外壁材製造廠與地方政府實施景觀調查時所引進的「面積與色彩量測系統～護岸景觀版～」。

決定明度的流程如圖 3.1.2 所示。在此，先設定預鑄混凝土塊護岸的攝影方法與條件彼此相同，然後將比色圖表（顏色判定圖）的影像資料與預鑄混凝土塊護岸影像資料配對，得到預鑄混凝土塊護岸平均明度。用這種方法，就能實施相同條件下的明度量測。因為具備定量基準，已普及全國。

3.2 質地

質地係材料所具備肌理，代表材質的觸感與質感。PB III 明確規範，「護岸表面應有凹凸、陰影或粗糙不平之質感，不要有人工打造的印象」¹⁾，指出了幾個概念，卻並未明確說明怎樣的質地才能融入周邊景觀。因此，本研究從預鑄混凝土塊護岸表面起伏切入，調查主要幾種產品的質地（照片 3.2.1）偏好性（是否受歡迎），檢討具體的評估方法^{2),3),4),5)}。



照片 3.2.1 預鑄混凝土塊護岸的主要質地



照片 3.2.2 景觀試驗護岸

使用代表性質地預鑄混凝土塊護岸設置的景觀試驗護岸，如照片 3.3.2 所示。之後我們針對參與試驗民眾對該景觀試驗護岸的直覺印象，以及其

與形成質地特徵表面起伏量測定值的關連性，實施問卷調查與分析，進行驗證。

結果發現，是否融入周邊景觀方面評價低的預鑄混凝土塊護岸，除了明度高、「太亮」之外，同時有表面起伏太小、「過於平整」的特徵。因此，值得推薦的預鑄混凝土塊護岸質地，乃是滑面預鑄混凝土塊護岸之外的種類。

3.3 景觀形式

景觀形式乃是由預鑄混凝土塊護岸形狀、尺寸、堆疊方法、接縫等所形成的美感。現有預鑄混凝土塊護岸除了谷積法（斜交疊砌）與布積法（水平疊砌）等日本傳統堆疊法所呈現的景觀形式之外，近年來也出現交錯疊砌、階梯狀以及孔隙突出的景觀形式。這些預鑄混凝土塊護岸的景觀形式，讓人們對河川景觀產生各種不同的印象。

但過去預鑄混凝土塊護岸景觀形式的評估偏重視覺感受，並未實施定量性的評估。因此，針對現有代表性預鑄混凝土塊護岸對景觀形式影響評估，我們運用照片蒙太奇手法，實施了河川景觀偏好性驗證^{2),4),6)}。



圖 3.3.1 偏好性驗證的結果



照片 3.3.1 孔隙突出的景觀形式

其偏好性驗證結果如圖 3.3.1 所示。其中，「交錯式圖案且看起來有孔隙的成品」以及「孔隙突出的成品」（照片 3.3.1），偏好性低。因此，這類景觀形式的預鑄混凝土塊護岸，不在推薦範圍內。但「孔隙突出的成品」，主要是綠色預鑄混凝土塊護

岸所呈現的景觀形式，在綠色植物生長繁茂之後就能避免景觀形式裸露，因此值得推薦。

3.4 每一單位的大小

所謂一單位大小，指預鑄混凝土塊護岸大小（外觀大小）。研究發現，對應於河川空間寬闊程度以及人體大小，預鑄混凝土塊護岸一單位太大的不受青睞，太小則無法識別其材質、給人無表情的感覺^{7),8)}。

視角概念圖，以及距離與視角大小的關係，如圖 3.4.1、3.4.2 所示。具體而言，視角大於 2 度，會給人過大的感覺。反之，視角小於 0.15 度，難以辨別材質內容。因此，就評估方法而言，應參考圖 3.4.2 所示距離與視角大小的關係，並配合周邊環境（位於岸邊的石材大小與自然河岸狀況），決定護岸材料大小。



圖 3.4.1 視角概念圖

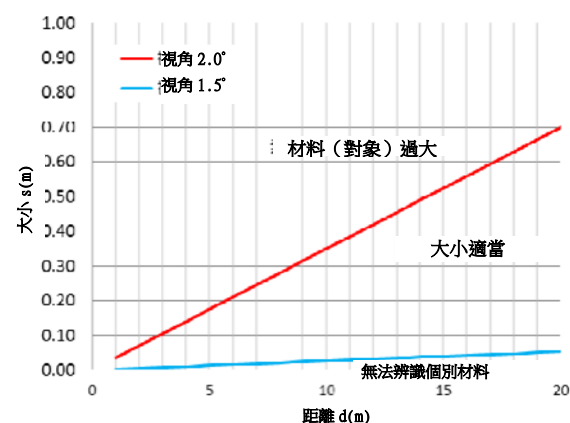


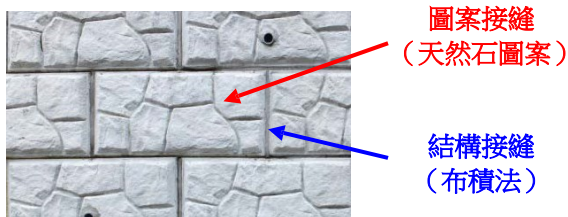
圖 3.4.2 距離與視角大小的關係

3.5 預鑄混凝土塊的圖案

預鑄混凝土塊的圖案，指規則性結構接縫之中，不同圖案接縫很顯眼的部分。結構接縫與圖案接縫如照片 3.5.1 所示。所謂結構接縫指每個預鑄混凝土塊周邊連接所形成的接縫。

此外，圖案接縫指一塊預鑄混凝土塊內部存在的接縫。若二處接縫寬與深度不同，會導致一塊預鑄混凝土塊呈現不同圖案，給人奇怪觀感²⁾（照片 3.5.2）。因此，評估時應注意結構接縫與圖案接縫

是否有明顯區別；不推薦圖案太過人工化且刺眼的產品。



照片 3.5.1 結構接縫與圖案接縫



照片 3.5.2「預鑄混凝土塊的圖案」彼此融為一體的類型

4. 自然環境

4.1 適合植物生長坡面的濕潤狀態

「中小型河川河道規劃技術基準」（以下，技術基準）之中，為了發揮環境方面應有機能，確保適合生物棲息、生長的濕潤狀態坡面，明確規範護岸的設計應具有透水性與保水性⁹⁾，但具體而言應確保怎樣的坡面濕潤狀態，並未明確說明。目前的研究尚未確認濕潤度與溫度變化對於常態棲息於護岸之非飛行生物多樣性的重要性，而只認為這些非飛行生物依賴生長在該環境下的植物維生¹⁰⁾。因此，我們選出可能會生長在護岸，以及石牆等常見、景觀功能良好的蕨類植物四種（海金沙、鳳尾蕨、全緣貫眾蕨、日本蹄蓋蕨），與河川護岸常見、莖直立而高約 1m 左右的種子植物二種（鐵掃帚、狹葉馬鞭草），三階段地（土壤體積含水量 5%、10%、15%）從春季到秋季實施土壤濕潤度操作試驗，分析植物生長所需的濕潤狀態。此外，植物的植栽方法為播種與分株。

各種植物的生存地點數目、草高與葉長的伸長量變化狀況，如圖 4.1.1~4 所示。蕨類植物的發芽無法確認是否為播種所導致。實施分株的生存地點數目之中，土壤濕潤度 5%時最少。此外，日本蹄蓋蕨與全緣貫眾蕨二種，到了夏末全部枯死。葉長

與草高的伸長量，在土壤濕潤度 5%時，相對而言看起來較小。種子植物的播種存活率以及葉長、草高的伸長量在土壤濕潤度 5%時最低。分株的存活率在土壤濕潤度 5%時看起來偏低。土壤濕潤度 5%時，鐵掃帚的葉長與草高的伸長量最低；但狹葉馬鞭草在這部分則幾乎沒有差別。

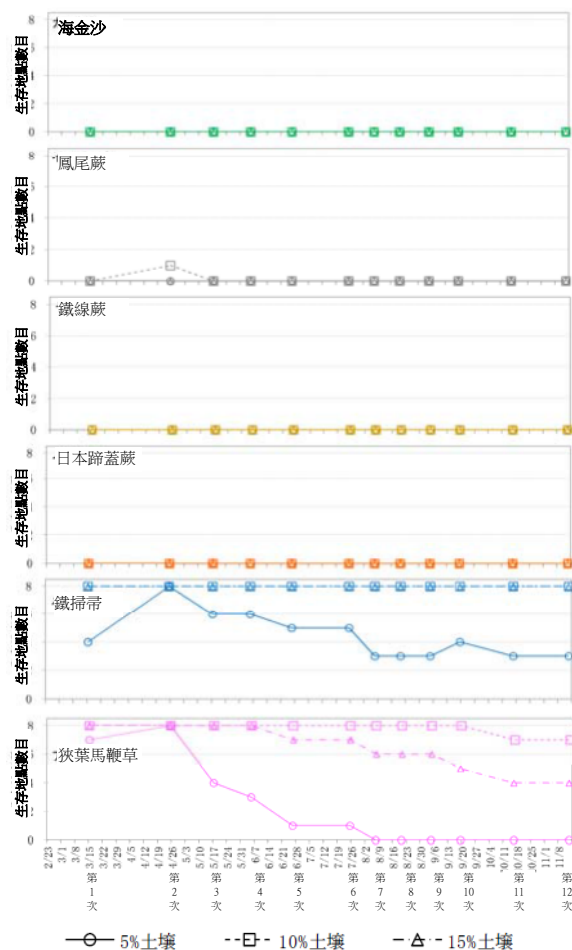


圖 4.4.1 生存地點數目的變化狀況（播種）

由上可知，土壤濕潤度 5%並非適合植物生長的環境。土壤濕潤度 10%、15%環境下，不喜乾燥的蕨類植物難以用播種方式繁殖，即使以分株方式，也只有一些品種能存活，因此需實施避高溫在內的防乾燥對策。另外，耐旱的種子植物不論播種或分株，都能存活。但耐旱的外來種等品種可能容易變成優勢種，因此仍需擬定防乾燥對策。具體的防乾燥對策主要是提高植生生育基盤的土層厚度。此外，應避免選擇無日蔭、午後陽光直射會導致坡度溫度上升之面南或面西之坡面。

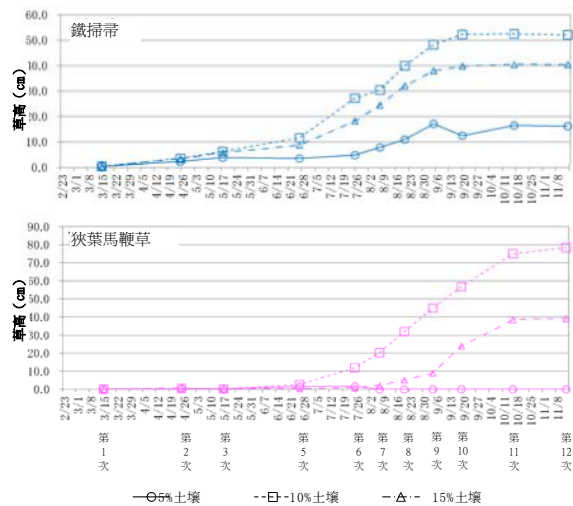


圖 4.1.2 草高、葉長的變化（播種）

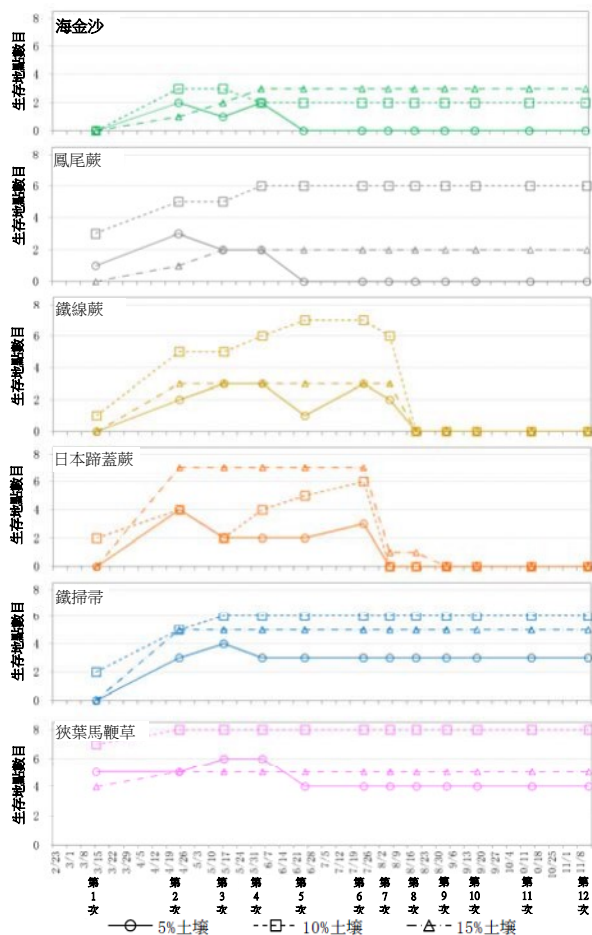


圖 4.1.3 生存地點數目的變化狀況（分株）

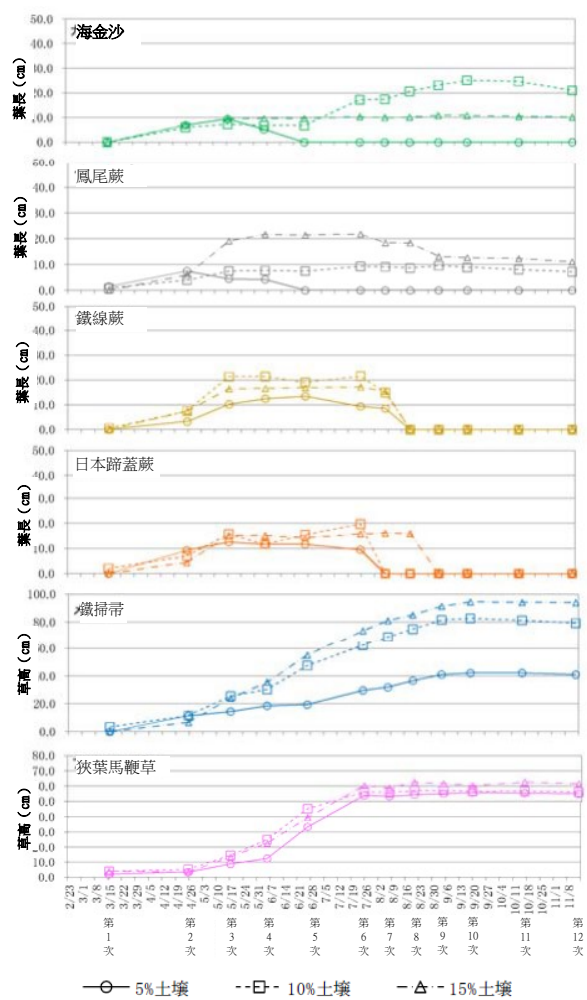


圖 4.1.4 草高、葉長的變化（分株）

4.2 綠色預鑄混凝土塊所需的植被率

綠色預鑄混凝土塊雖有助於植物繁茂，但景觀面仍有待解決之課題。如第 3 章景觀形式所述，綠色預鑄混凝土塊這種「孔隙突出的預鑄混凝土塊」，不易融入周邊景觀、偏好性明顯偏低。因此，我們也探討了綠色預鑄混凝土塊上面覆蓋多少植物，可融入周邊景觀¹¹⁾。

綠色預鑄混凝土塊所呈現的代表性景觀形式，如圖 4.2.1 所示。我們針對這些綠色預鑄混凝土塊製作同植被率狀態下的照片蒙太奇手法(照片 4.2.2)，實施其是否融入周邊景觀的問卷調查與分析。

依景觀形式別將標示植被率與是否融入周邊景觀的評分高低狀態標示出來，如圖 4.2.1 所示。結果發現，植被率高於 70%時，較容易融入護岸周邊景觀。此外，不同景觀形式所得到的評分高低不

同。其中，正面觀看護岸時，孔隙不明顯的階梯型預鑄混凝土塊，得到較高評分，即使植被率只有60%時，看起來也能融入周邊景觀。因此，今後選用綠色預鑄混凝土塊時，有必要先認識綠色預鑄混凝土塊的類型，注意能確保融入周邊景觀的植被率。

4.3 應用綠色預鑄混凝土塊時的注意事項

依據 4.2 調查結果發現，一般綠色預鑄混凝土塊植被率 60%以上或 70%以上時，大致上能融入周邊景觀。不過，綠色預鑄混凝土塊會影響植被率



照片 4.2.1 檢討對象的景觀形式
(左：大量孔隙 中：大量交錯式孔隙 右：階梯狀)



照片 4.2.1 照片蒙太奇手法舉例
左：植被率(30%) 右：植被率(70%)

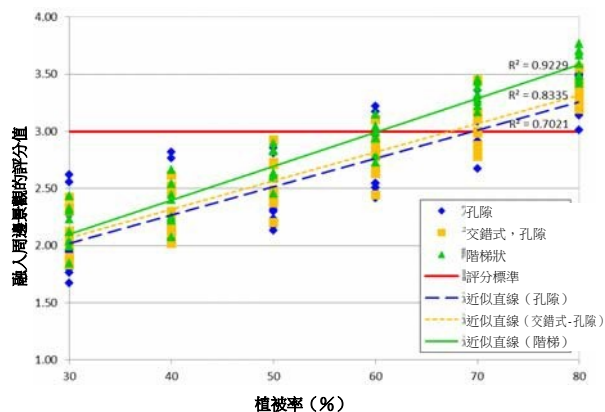


圖 4.2.1 植被率與融入景觀評分值的關係

目的變數	・植被率
說明變數	外部要素 ・施工年數 ・河床材料 ・護岸的方向 ・岸邊構造 ・區域 ・氣象條件(降水量・氣溫・風速・日照時間) ・標高 ・背後地 ・河床寬度 ・河道線形 ・河床地形
	預鑄混凝土塊要素 ・開口部的形狀 ・構造 ・護岸的高度 ・堤頂工形狀
	複合要素 ・填充材料 ・填充量 ・填充厚度

表 4.3.1 調查項目

的現場因素仍不明。因此，我們針對全國河川常設置的三種綠色預鑄混凝土塊（中空型、壺型、階梯型），調查了植被率與物理環境要素，指出確保高植被率所需的現場條件。

物理環境要素的調查項目如表 4.3.1 所示。調查地點之中，區段 1（扇狀地與谷地平原等）約占 7 成，礫石河床占半數以上。植被率在施工期達數年、河床材料細、護岸接近面北、岸邊有沙洲、填充材料細等條件下，多半偏高（圖 4.3.1-5）。

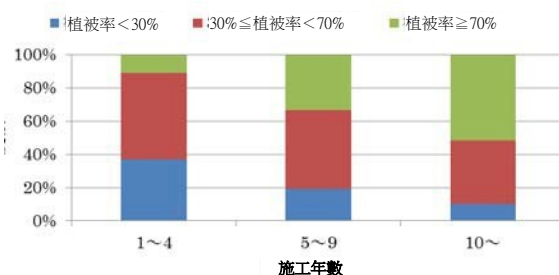


圖 4.3.1 施工年數別的植被率分布比例

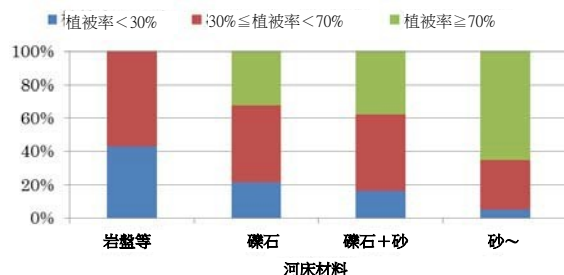


圖 4.3.2 河床材料別的植被率分布比例

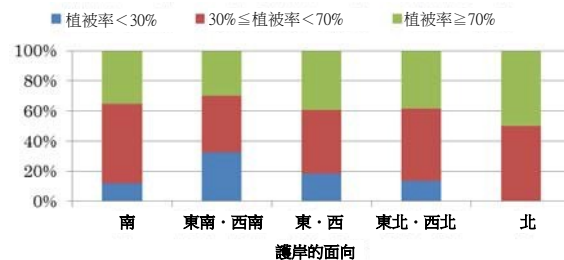


圖 4.3.3 護岸面向別的植被率分布比例

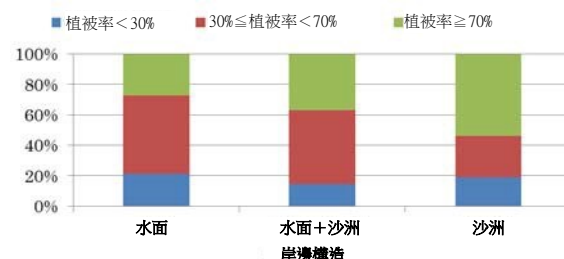


圖 4.3.4 護岸岸邊構造別的植被率分布比例

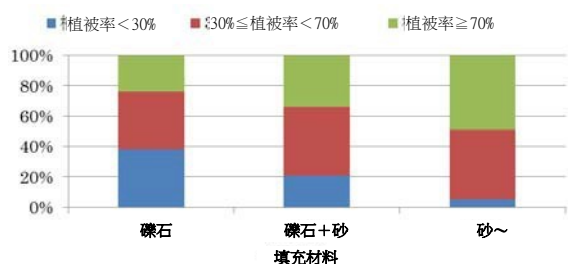


圖 4.3.5 填充材料別的植被率分布比例

此外，中空型綠色預鑄混凝土塊的植被率參差不齊狀況較其他種類預鑄混凝土塊大，植被率則較低（圖 4.3.6）。原因之一可能是，填充材料的細顆粒成分流出所致。細顆粒成分流出後，透水性提高，但保水性降低，植物無法取得生根與生長所需水分，導致植生生育基盤機能降低。中空型綠色預鑄混凝土塊，通常混凝土塊前面有開口，其構造比其他類型預鑄混凝土塊更容易因為逕流水等導致填充材料細顆粒成分流出。因此可以了解，中空型綠色預鑄混凝土塊基本上容易因為填充材料細顆粒成分流出，導致降低其植生生育基盤的機能。

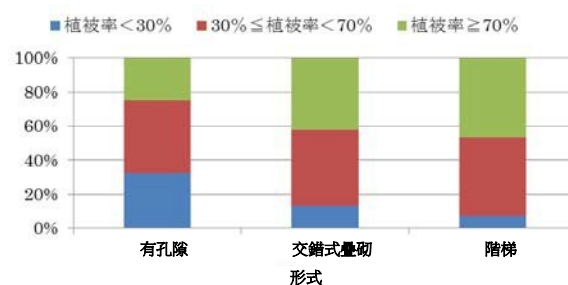


圖 4.3.6 形式別的植被率分布比例

由上可知，護岸現場應用綠色預鑄混凝土塊時，需注意下列事項：

- 河床材料為岩盤等時，應避免應用這種混凝土塊。
- 濱水植物應有茂盛生長。
- 避免只使用粒徑較粗的材料作為填充材料。
- 使用中空型綠色預鑄混凝土塊，應避免填充材料的細顆粒成分被吸出。

5. 現有預鑄混凝土塊護岸的課題與改善方法

參照第 3 章所述預鑄混凝土塊護岸的評估方法，整理出具備現有石塊疊砌系統護岸工法的預鑄混凝土塊的各種要素（明度、質地、景觀形式、混

凝土塊圖案）、評分在推薦基線之上的預鑄混凝土塊。

推薦基線的設定流程如圖 5.1 所示。該圖顯示，預鑄混凝土塊無法取得推薦基線以上分數的主要原因，乃是形式之中的「預鑄混凝土塊圖案」。此外，全國預鑄混凝土塊類型別的實際調查也發現，無法取得超過推薦基線評分的原因，約 33% 是「混凝土塊圖案」，因此，改善「混凝土塊圖案」，可能就能提高全國各地評分超過推薦基線的預鑄混凝土塊數量。

因此，如 3.5 所明確指出的，最好預鑄混凝土塊採取結構接縫與圖案接縫外觀差別不大的構造，實施改善。改善方法舉例，則如圖 5.2、圖 5.3 所示。在此應注意，結構接縫與圖案接縫寬度與深度等，應有搭配「混凝土塊圖案」的設計細節，以及大型堆疊預鑄混凝土塊分割成小塊後外觀大小的感覺。

疊砌類混凝土塊的母數(N=60)

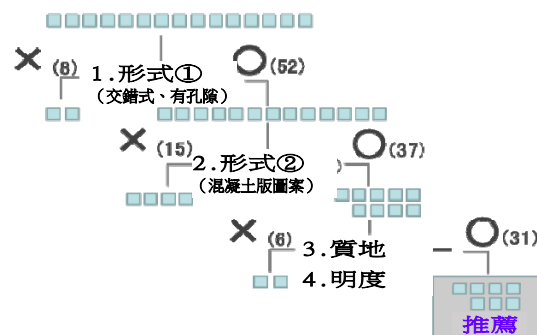


圖 5.1 推薦基線設定流程

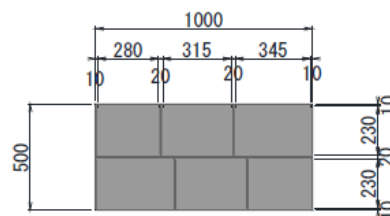


圖 5.2 預鑄混凝土塊規格圖例



圖 5.3 預鑄混凝土塊分割舉例

6. 融入景觀的預鑄混凝土塊護岸的展示與推廣

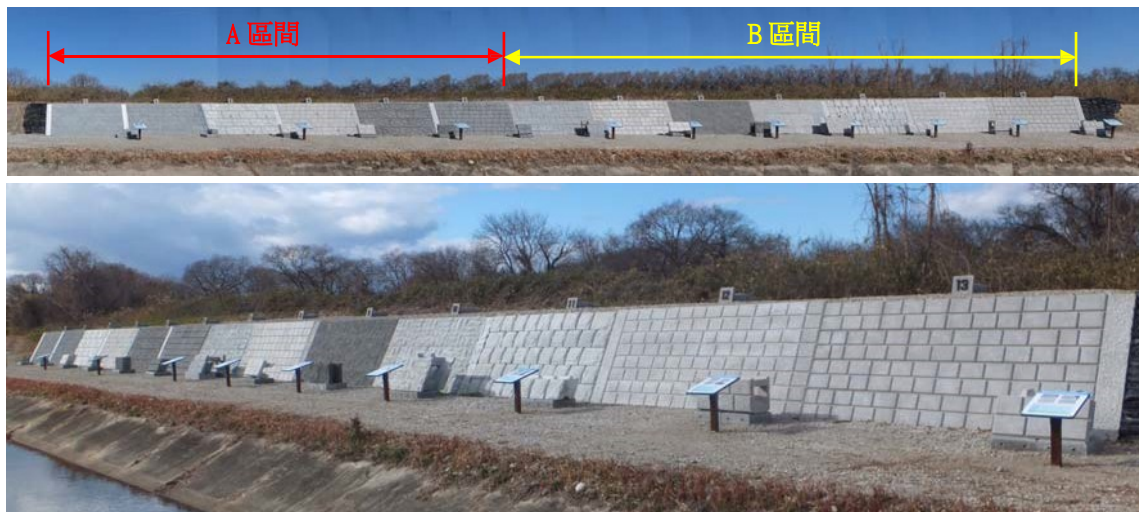
依據前章所述的改善方法，（國研）土木研究所自然共生研究中心與（公社）全國土木預鑄混凝土塊協會進行了共同研究，其中一個項目是開發能符合第 3 章所列舉預鑄混凝土塊本體評估推薦基線要素（明度、質地、景觀形式、每一單位大小、混凝土塊圖案）的預鑄混凝土塊護岸之樣板。

此外，這項共同研究在「明度」方面進行了定量性的評估。因此能提高參與時的內容了解度，但其他注意事項，可能也是因為只有定性方面的事項說明，仍不易了解其內容。因此，（國研）土木研究所自然共生研究中心內的試驗河川，為了提高各界對這方面問題的了解，進行了充分完成河川景觀注意事項的預鑄混凝土塊樣板與護岸端牆的展示（照片 6.1）。

展示內容如照片 6.1 所示，分為 A 區間與 B 區間。A 區間進行傳統預鑄混凝土塊護岸以及完成注意事項的預鑄混凝土塊護岸之比較展示，B 區間則只展示完成注意事項的預鑄混凝土塊護岸。此外，護岸對岸側，設置展示內容概要說明的告示板（照片 6.2）；護岸前面設置說明各預鑄混凝土塊應如何配置等詳細做法的告示板。



照片 6.2 概略說明用告示板的設置



照片 6.1 試驗河川內的展示狀況（全景）（上：從正面看 下：從上流看）

7. 結語

本研究旨在針對護岸裸露時其所應具備環境機能的河川景觀與自然環境進行檢討，希望能釐清應用預鑄混凝土塊護岸時的評估方法，以及具體的符合推薦基線之條件。研究成果如下。

- ① 除了整理會影響護岸景觀的要素之外，也針對導致景觀惡化主因的混凝土塊「明度」、「表面質地」、「混凝土塊形式（綠色預鑄混凝土塊）」、「混凝土塊每一單位大小」、「混凝土塊圖案」等，明訂評估基準。
- ② 整理影響護岸明度的要素，建立具體的明度量測方法，以便能在相同條件下進行明度量測。
- ③ 植生生育基盤方面重要的濕潤度顯示，土壤濕潤度 5% 時，不適合植物着根、生長。
- ④ 綠色預鑄混凝土塊植被率大於 70%，較容易融入護岸周邊景觀。此外，景觀形式不同，所得到的評分高低也不同，其中的階梯狀混凝土塊，即使植被率只有 60%，看起來仍能融入周邊景觀。
- ⑤ 列舉護岸現場應用綠色預鑄混凝土塊的注意事項（河川材料、護岸方位、填充材料等）。
- ⑥ 將這套評估方法套用在現有的預鑄混凝土塊，整理之後發現，現有的預鑄混凝土塊護岸問題點主要是「混凝土塊圖案」。改善方法是採用能讓結構接縫與圖案接縫分不出來的構造物。

- ⑦ 為了提高各界對於河川景觀相關注意項（明度、質地、景觀形式、每一單位大小、預鑄混凝土塊圖案）的了解，進行完成這些注意事項的預鑄混凝土塊樣板的展示。

如前面各章所述，雖然《要點手冊》與〈守護美麗山河的災害復建基礎方針〉已列舉護岸裸露時所應具備河川景觀與自然環境方面的環境機能，但實際上很多發包單位與設計者、施工業者尚未周知這些規範。今後應致力於舉辦研討會，推廣河川景觀注意事項 Q&A、推出學習課程等等，讓更多人了解相關內容。此外，影響河川景觀要素的「預鑄混凝土塊護岸本體之外的重要要素」的要素分析尚未充分，今後仍有待進一步研究，加以釐清。

參考文獻：

- 1) 公益社団法人日本河川協会：財団法人リバーフロント整備センター編：多自然川づくりポイントブックⅢ，2011
- 2) (独)土木研究所自然共生研究センター：河川護岸ブロックの景觀性能評価に関する技術資料，土木研究所資料第 4282 号，2014
- 3) 櫻井玄紀，原田守啓，森照貴，尾崎正樹，萱場祐一：中小河川における積み護岸の明度・テクスチャーに対する定量的評価手法の確立，河川技術論文集，vol.19，pp.117-122，2013.
- 4) 公益社団法人全国防災協会：美しい山河を守る災害復旧基本方針，2014
- 5) 尾崎正樹，大石哲也，森照貴，萱場祐一：中小河川における護岸ブロックの表面テクスチャーの感覚的評価と物理的評価，河川技術論文集，vol.18，pp.417-422，2012
- 6) 藤森琢，尾崎正樹，櫻井玄紀：護岸の景觀パターンを選ぶ際の留意点を教えてください，自然共生研究センター活動レポート，pp.8-9，2013
- 7) 山海堂：財団法人リバーフロント整備センター編：川の風景を考える(景觀設計ガイドライン(護岸))，1993
- 8) 島谷幸宏：河川風景デザイン，1994
- 9) 中小河川に関する河道計画の技術基準
- 10) 尾崎正樹，相川隆生，萱場祐一，佐川志朗：河岸における湿潤度及び温度変動の違いが生物の多様性に与える影響，応用生態工学会第 15 回研究発表会
- 11) 藤森琢，大石哲也，小野田幸生，尾崎正樹，萱場祐一：緑化ブロックの特性が護岸周囲の景觀との調和に及ぼす影響，土木学会論文集 G(環境)，vol.71，No.6，pp.117-124，2015

編譯：水土保持局技術研究發展小組

Research and Technology Development Team, SWCB, COA

December 2018

本文件之翻譯及轉載，均符合日本著作權法相關規定。