

# 水庫淤泥再利用運用於公共工程實務分享講習會

## 水庫淤泥在公共工程之運用案例- 橋梁工程之應用

### 專題報告

報告人：林曜滄 總工程師

CECI  台灣世曦工程顧問股份有限公司

108年10月2日



# 報告大綱

- 一 前言
- 二 輕質骨材混凝土特性
- 三 工程案例
- 四 輕質混凝土施工
- 五 結論與展望

# 一、前言 - 開發緣起

鑑於台灣水庫淤泥淤積問題，導致水庫蓄水量減少，缺水期農業灌溉及民生用水不夠使用。水庫每年皆有淤泥浚挖，基於淤泥不易處理無處可去，再生利用為唯一途徑，有效解決淤泥與用水問題。



(a)旋轉窯

照片1 旋轉窯燒製水庫淤泥輕質骨材



(b)燒結輕質骨材



照片2 利用石門水庫淤泥燒製成的輕質骨材



照片3 輕質骨材剖面構造

# 一、前言 - 何謂輕質粒料？

## ● 輕質粒料 ( Lightweight aggregate )

指符合CNS 3691 A2046所列材料 ( 即高爐爐渣、黏土、矽藻土、頁岩、板岩、浮石、火山渣、凝灰岩或飛灰 ) 製成適於結構用混凝土之具多孔性材料 ( cellular materials ) ，其乾鬆單位重一般不超過 $1120 \text{ kg/m}^3$ 。

## ● 全輕質粒料混凝土 ( All-lightweight aggregate concrete, ALC )

指組成混凝土之粗、細粒料成份均為輕質粒料

## ● 砂與輕質粒料混凝土 ( Sand-lightweight aggregate concrete, SLC )

指組成混凝土之粗粒料成份使用輕質粒料，而細粒料成份之部份或全部使用天然砂

## 二、輕質骨材混凝土特性

- **經濟性**  
可降低結構物自重20%以上  
因而減少基樁，鋼筋的使用量，並能縮短營造工期
- **耐震性**  
降低結構物自重，地震所造成水平力亦減少，達到耐震效果
- **吸音性**  
輕質骨材混凝土內部具有不連續多孔隙之特性，可達到極佳的隔音效果
- **隔熱性**  
低熱傳導係數，有極佳之隔熱性
- **耐火性**  
以高溫燒結之多孔隙粒料，具耐火、隔熱，不燃之特性

# 環保建材

## ● 水庫浚渫

- 使用抽泥船抽取水庫底部淤泥，以管線輸送至沉澱池中經沉澱分離水分。次將淤泥從沉澱池中挖出，置於適宜場所晾乾至適當含水量，進行造粒工作。

## ● 淤泥造粒

- 取淤泥雛料攪和均勻，以機械方式製成雛粒，粒徑大小可依需求而訂。

## ● 高溫燒結

- 燒製作業分兩階段，第一階段以預熱窯進行烘乾，使其具有一定顆粒強度。之後進入燒成窯，進行第二階段高溫燒結。
- 燒結完成後的輕質骨材以氣冷方式冷卻，並輸送至堆置場儲存、包裝。

## ● 適用條件

- 節能綠建築
- 高樓建築
- 大跨距橋梁及橋面板
- 抗震要求高的地區
- 天然骨材缺乏的地區
- 荷載要求嚴格的舊橋翻修
- 預鑄構件
- 海域採油平台

# 材料性質與試驗-輕質粗粒料

- 結構用輕質骨材混凝土輕質粒料應符合 CNS 3691 A2046 相關規定。





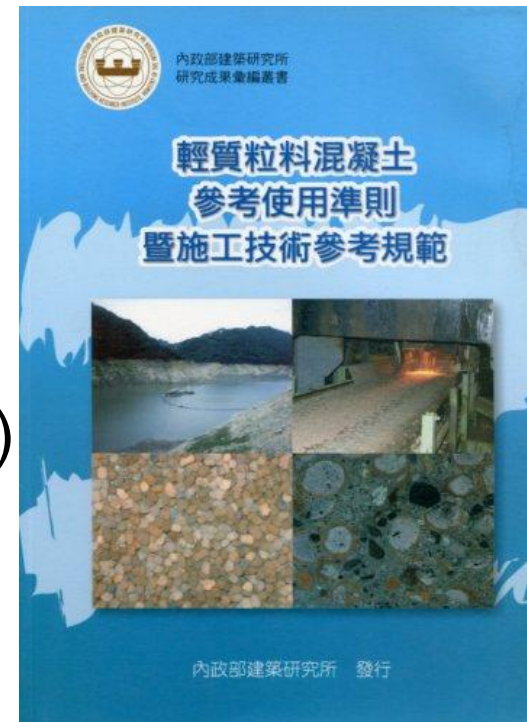
# 設計參考之相關準則

## ● 中華民國國家標準 (CNS)

- CNS 1176 A3040 混凝土坍度試驗法
- CNS 1233 A3046 混凝土抗彎強度試驗法(三分點載重法)
- CNS 1235 A3048 混凝土泌水試驗法
- CNS 3090 A2042 預拌混凝土
- CNS 3691 A2046 結構混凝土用之輕質粒料
- CNS 7333 A3122 隔熱材料之導熱係數測定法(平板直接法)
- CNS 9662 A3175 新拌混凝土空氣含量試驗法(容積法)
- CNS 13465 A3343 新拌混凝土中水溶性氯離子含量試驗法
- CNS 13618 A3354 粒料之潛在鹼質與二氧化矽反應性試驗法(化學法)
- CNS 13619 A3355 水泥與粒料之組合潛在鹼質反應性試驗法(水泥砂漿棒法)
- CNS 14446 M3208 岩石熱膨脹測定法
- CNS 14702 A3384 硬固水泥砂漿及混凝土中酸溶性氯離子含量試驗法
- CNS 14779 A3390 輕質粗粒料之顆粒筒壓強度試驗法
- CNS 14792 A3392 混凝土抗磨性試驗法(噴砂法)

# 設計參考之相關準則

- 美國混凝土協會 (ACI)
  - ACI 213R 構造物輕質粒料混凝土(Guide for Structural Lightweight-Aggregate Concrete)
- 美國材料試驗協會 (ASTM)
  - ASTM C512 受壓混凝土之潛變試驗法 (Standard Test Method for Creep of Concrete in Compression)
  - ASTM C567 結構輕質混凝土密度檢驗法 (Standard Test Method for Determining Density of Structure Lightweight Concrete)
- 內政部建築研究所
  - 輕質粒料混凝土施工技術參考規範



### 三、工程案例 - 國外案例

挪威Stolma Bridge,  
三跨懸臂施工法橋梁  
跨徑94m+301m+72m=467m  
完成於1998年



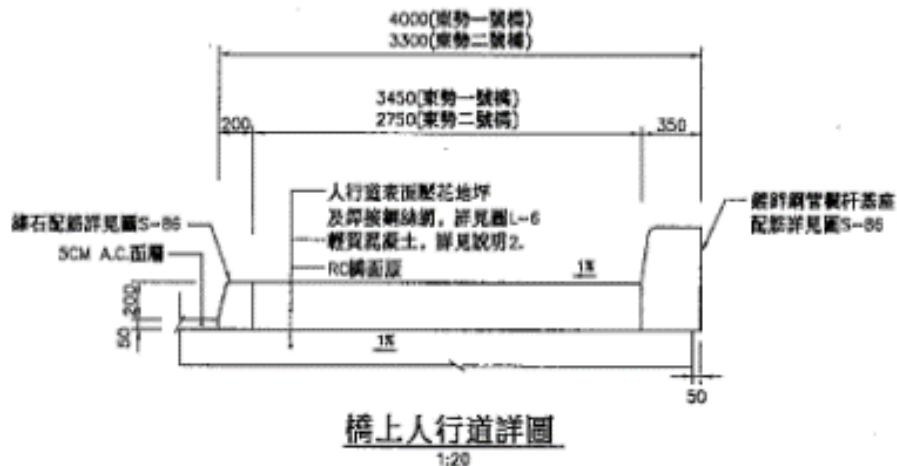
挪威Raftsundet Bridge  
四跨懸臂施工法橋梁  
跨徑86m+202m+298m+125m=711m  
完成於1998年



美國加州Martinez-Benicia Bridge  
22跨, 最大跨徑200m, 一般跨徑160m  
總長2,716m, 完成於2007年

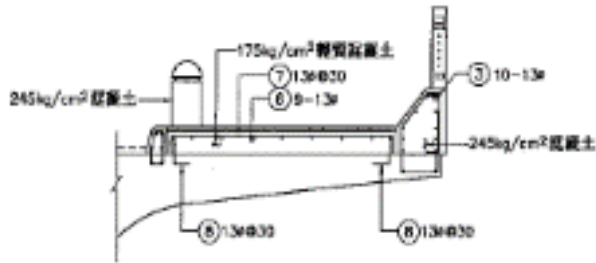


# 三、工程案例 - 台2丙東勢一、二號橋

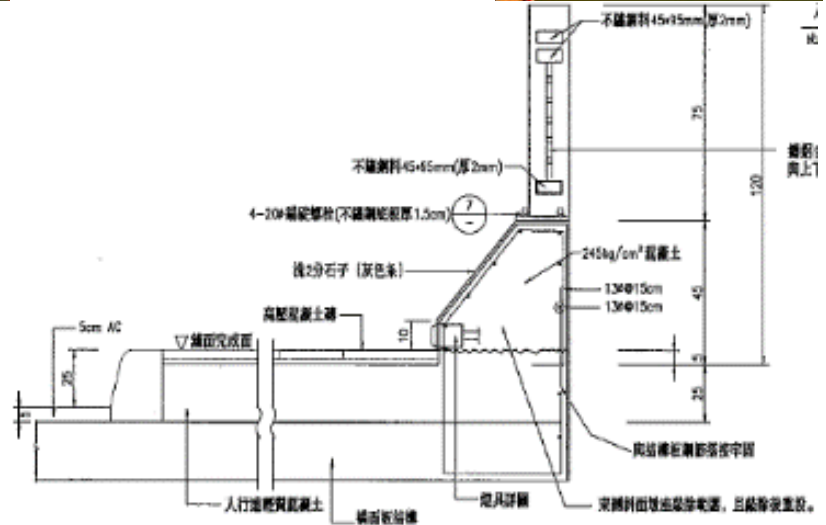
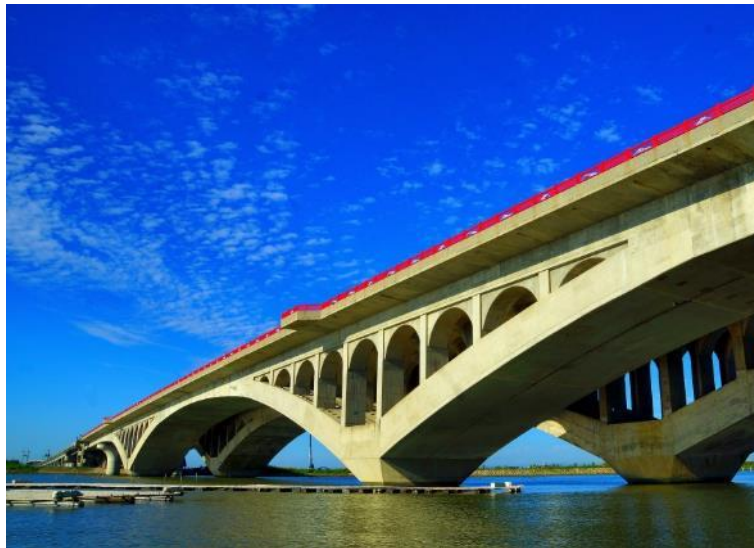


- 說明：1. 詳見圖S-14之說明。  
2. 人行道輕質混凝土要求：  
(1) 單位重 $\leq 1400\text{kg/m}^3$ 。  
(2) 抗壓強度 $f_c' \geq 70\text{kg/m}^2$ 。

# 三、工程案例 - 西濱快速道路WH77-B標七股溪橋



人行道剖面詳圖  
1:20

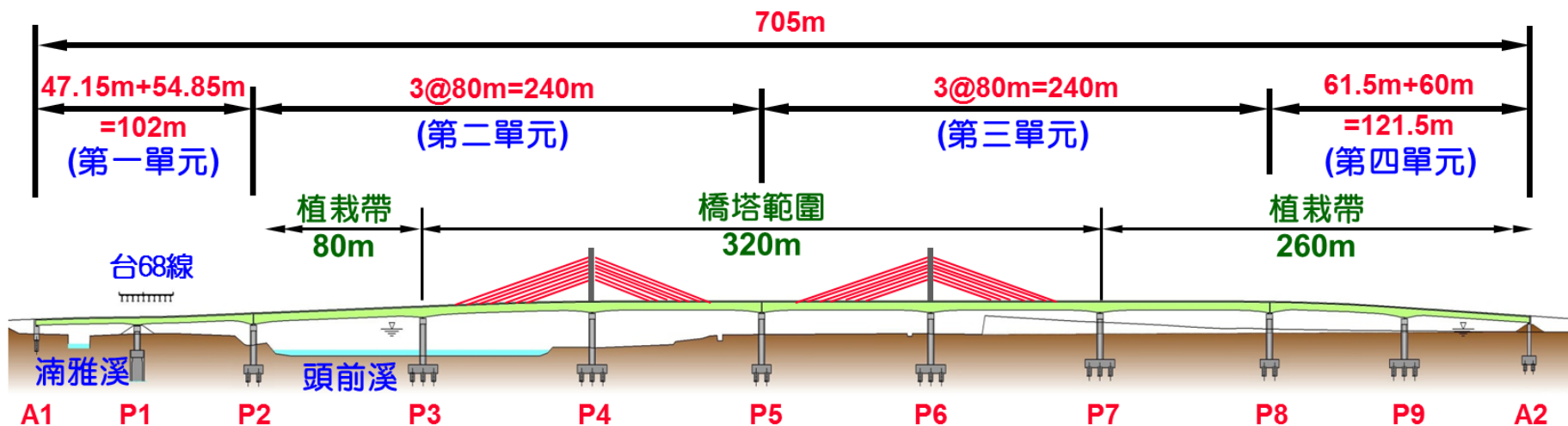


人行道欄杆剖面詳圖  
比例尺=1:10 單位:CM

# 三、工程案例 - 新竹市舊社大橋



## 橋梁配置





## 四、輕質混凝土施工

- 輕質粒料混凝土化學、物理與力學性質的檢測項目、試驗方法與允收標準，須依契約設計圖說之規定，若契約無另外規定時，得視工程需要採用下列各款全部或部份試驗方法進行檢驗。下列檢驗項目之檢驗頻率按照一般混凝土檢驗頻率酌增30%（如有非整數之情形，小數點部份一律進位至整數）：**混凝土之抗壓強度、級配、鬆單位重、含氣量、坍度、氯離子含量、耐磨耗性、混凝土單位質量**。其他檢驗項目之檢驗頻率按工程特性由契約規定。
- 混凝土之抗壓強度、分裂抗張強度、乾縮、引起爆裂之材料試驗、凍融試驗、級配、鬆單位重、粒料中黏土塊及易碎顆粒之試驗按照**CNS 3691**之試驗方法進行。



# 輕質混凝土施工-新竹市舊社大橋實際澆置



# 「輕質骨材混凝土」注意事項

- 本工程規定之「輕質骨材混凝土」，其輕質骨材須為水庫淤泥再利用製程所產生者，承包商須出示來源證明。
- 當混凝土非為水庫淤泥再利用業者之混凝土拌和場所生產者，則混凝土拌和場須出示輕質骨材之採購證明。
- 當市場上無充足之水庫淤泥再利用製程所產生之輕質骨材供承包商採購，或其價格高於一般市場上水庫淤泥再利用製程所產生輕質骨材之價格時，則承包商出示證明經工程司核可後，得以非水庫淤泥再利用製程所產生之輕質骨材替代，惟所產生、減少之價差須予以扣回。

# 試驗方法

檢測項目	試驗方法
含氣量	CNS 9662
泌水	CNS 1235
坍度	CNS 1176
潛變	ASTM C512
極限應變與等值應力塊係數	ACI 213R之4.14
熱傳導係數	CNS 7333
熱膨脹係數	CNS 14446
吸水率	參考後續投影片
氯離子含量	[CNS 13465][CNS 14702]
鹼質與粒料骨材反應	[CNS 13618][CNS 13619]
耐磨耗性	CNS 14792
[抗彎強度]	CNS 1233
混凝土單位質量	ASTM C567

# 輕質粒料混凝土吸水率試驗法

- 試體的製作及養護按依下要求進行。採用  $\phi 15 \times 30\text{cm}$  圓柱試體3個。
- 標準養護28天後，取出試體在 $105 \sim 110^\circ\text{C}$ 下烘乾至恆重。
- 試體秤重後，確定其重量平均值，次將試體浸入溫度 $20 \pm 5^\circ\text{C}$ 水中，浸水時間分0.5、1、3、6、12、24及48小時等七種；每到上述時間，將試體取出，擦乾、秤重，確定其重量平均值。之後，立即再浸入水中，48小時後，將試體取出，擦乾、秤重，確定其重量平均值。

# 輕質粒料混凝土吸水率試驗法

- 按式1及式2計算輕質粒料混凝土之吸水率

式中：

$$W_t = \frac{m_t - m_0}{m_0} \times 100\% \quad \text{式1}$$

$$W_{sat} = \frac{m_n - m_0}{m_0} \times 100\% \quad \text{式2}$$

$m_0$  = 烘乾至恆重之試體重量平均值 (g)，精確至0.5g

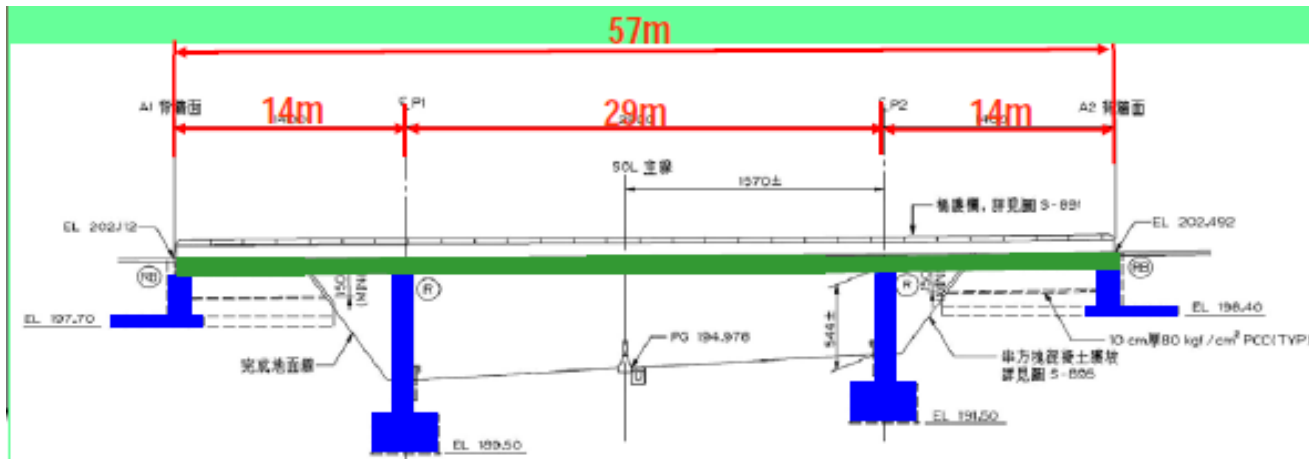
$m_t$  = 浸水時間t時間之試體重量平均值 (g)，精確至0.5g

$m_n$  = 浸水時間48小時之試體重量平均值 (g)，精確至0.5g

$W_t$  = 浸水時間t時之吸水率(%)，精確至0.1%

$W_{sat}$  = 浸水時間48小時之吸水率(%)，精確至0.1%

# 三、工程案例 - 國道六號白灼巷跨越橋



照片 4 石灼巷跨越橋完工後實景

# 輕質混凝土施工-試作(白灼巷跨越橋)



# 輕質混凝土施工-試作(白灼巷跨越橋)





# 配比設計及試拌-廠拌

- 輕質混凝土配比選用水膠比0.397進行廠拌



# 配比設計及試拌-廠拌(續)

- 單位重及含氣量試驗



# 配比設計及試拌-廠拌(續)

- 骨材析離試驗1



# 配比設計及試拌-廠拌(續)

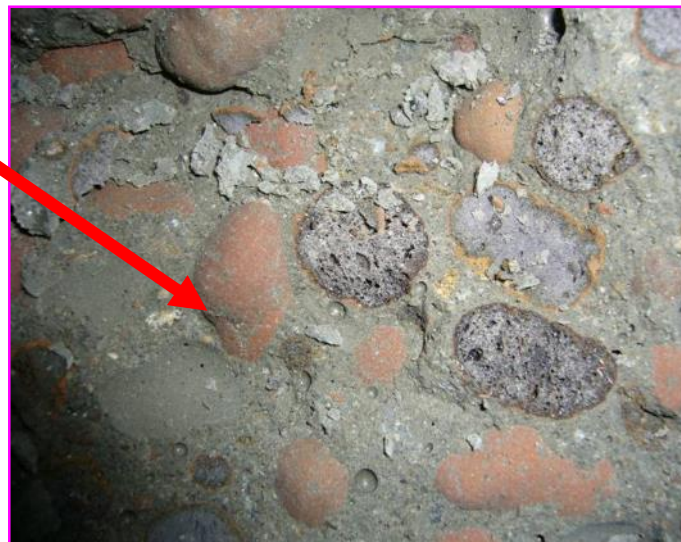
- 骨材析離試驗2



# 配比設計及試拌-廠拌(續)

- 受力輕質混凝土之破裂形式  
- 抗壓齡期-1天

粒料強度 > 漿體強度 → 應力沿著漿體破裂



# 配比設計及試拌-廠拌(續)

- 受力輕質混凝土之破裂形式  
- 抗壓齡期-5天

粒料強度 < 漿體強度 → 應力穿過粒料破裂



# 配比設計及試拌-廠拌(續)

## • 氣乾單位重

烘乾72H		ASTM C567※	
烘乾單位重kg/m <sup>3</sup>	平均	氣乾單位重kg/m <sup>3</sup>	平均
1769	1775	1819	1825
1780		1830	
1776		1826	

※依ASTM C567：氣乾單位重＝烘乾單位重+50 kg/m<sup>3</sup>

# 配比設計及試拌-廠拌(續)

- 氣乾單位重

試驗項目	試驗齡期	試驗結果		規範
		單一試體	平均	
氣乾單位重 kg/m <sup>3</sup>	90天	1870	1879	1750~1900 kg/m <sup>3</sup>
		1884		
		1883		



# 輕質混凝土施工-實際澆置

- 泵送車
  - 水平佈置
  - 將彎管減至最少



# 輕質混凝土施工-實際澆置(續)

- 以吊桶澆置



- 擷平及完成面



# 五、結論與展望

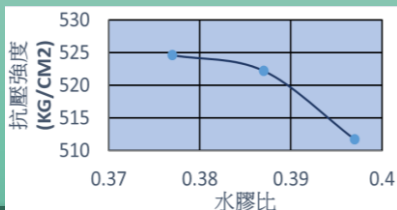


輕質骨材生產技術

開工後立即訪查國內輕質骨材生產廠商

收集掌握材料供應情況

確認材料性質滿足CNS 3691或ASTM C330規定



混凝土配比設計

以不同水膠比進行配比設計確認採用配比

考量輕質粒料使用比例

避免漿體過少影響混凝土工作度

乾縮與潛變控制

養護工作須確實或以蒸氣養護控制乾縮潛變



現場泵送澆置作業

粒料預濕處理，避免粒料過輕造成上浮析離

避免粒料吸水率過高導致泵送困難

泵送車管路儘量水平佈置，減少彎管

先於排水等次要結構物辦理試作確認

報告完畢  
敬請指教

