



**Basilisk**  
self healing concrete

羅威科技股份有限公司  
臺北市松山區民生東路 5 段 153 號 5 樓之 2  
Tel: 02-5568-6456  
sales@tigertech.com

## 專案報告

鹿特丹港蓄水槽



紀錄者：Cansu Cirak

時間：2019/6/5

# 專案報告

## 專案資料

名稱	Bluswaterbassin Rotterdam (BWR) P20180602
完成年分	2018
結構	地面型消防用水儲存槽
地點	荷蘭鹿特丹港
委託單位	鹿特丹港務局
承包商	BAM Infra

## 混凝土成分

水泥類型	CEM III/B 42,5 N 320-340 kg/m <sup>3</sup>
普通波特蘭水泥	33.3 %
水泥熟料	66.7 %
混凝土水灰比	< 0.5
自癒原劑	5 kg/m <sup>3</sup>

## 結構設計

強度等級	C30/37(劈裂抗拉強度 30Mpa、方塊試體強度 37 Mpa、彈性模數 32Gpa、抗拉強度 2.9Mpa)
環境條件(曝露等級)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 外部 XC4 (乾溼交替)</li> <li>- 內部 XF4 (凍融循環度高，會接觸除冰劑或海水)</li> </ul>

## 規格設計

隔牆厚度	300 mm
可允許裂縫寬度	0.12 mm (鋼筋配比依此參數設計)
結構高度	4900 mm
水位高度	4200 mm
滲流量	0.13 L/min (依 Poiseuille 公式計算)
結構長度	47200 mm
結構寬度	5350 mm
混凝土用量	
- 含自癒原劑	70 m <sup>3</sup>
- 不含自癒原劑	284 m <sup>3</sup>
- 總計	354 m <sup>3</sup>

## 補充說明

CEM III/B 屬於一種低波特蘭水泥(OPC)含量的重要水泥類型，根據結構技師使用規範（詳見附錄 I），最終的強度可能低於標準組混凝土，但仍可符合規定範圍。由於添加自癒原劑的關係，可容許裂縫寬度將提升為 0.27 毫米，因此可考慮減少鋼筋使用量。

### 示範性專案之原則

水槽於其北側設有未添加自癒原劑之隔牆，而南側的隔牆則添加自癒原劑。有關修補效果，請參閱附錄 II。

### 28 天養護結果

抗壓強度（立方體）	自癒性混凝土	標準組混凝土
	41.7 N/mm <sup>2</sup>	41.9 N/mm <sup>2</sup>

## 現場圖片







## 附錄 I – 結構技師使用規範

# Basilisk 自癒原劑(Healing Agent)： 結構技師使用規範

本文件是自癒原劑的使用指南，結構技師須特別注意以黑點標示的事項。

### *在混凝土拌合料添加自癒原劑時的注意事項。*

以下所述為在混凝土拌合料添加自癒原劑時的一些功能條件及關鍵注意要點。

石灰石形成的條件：

- 持續保持潮濕。細菌需要水和氧氣才能被激活。
- 若在環保等級 XA1 至 XA3（根據 EN 1992-1-1:2004）的混凝土添加自癒原劑時，必須事前和 Basilisk 研討建築物之功能與特性。
- 在混凝土表面使用抗菌藥劑將影響自癒原劑的效果。
- 每分鐘的水流量不得超過 1.4 公升，結構體之可容許裂縫寬度，可依牆壁厚度和所承受的水壓按附件 I-A 所述的 Poiseuille 公式計算。
- 水泥類型：水泥熟料含量不得低於 30%，若水泥熟料含量低於 50%，請和 Basilisk 聯絡，水泥含量會影響自癒原劑之劑量及可容許裂縫寬度。
- 激活自癒原劑所需的水溫應在攝氏 10 及 40 度之間，最佳溫度為攝氏 20 度。

### *混凝土添加自癒原劑後的注意事項*

- 養護：添加自癒會影響強度的養成，影響的關鍵在於水泥中的水泥熟料含量。若有不確定性或參考數據不足時，建議在施工前先測試含有自癒原劑的試體，以便確認強度養成狀況。根據現有資料，我們觀察到以下情形：
  - 水泥熟料含量在 50% 以上時 (CEM I/CEM III A)：於前 72 小時內，強度養成可能會較緩，但經 28 天養護後的最終強度將高於標準組混凝土的強度。
  - 水泥熟料含量最低在 30% 時 (CEM III B/CEM III A)：於前 72 小時內，強度養成可能較緩，而所需的最終強度有可能低於控制組混凝土的強度時。
- 乾縮裂縫：上述的因素將會影響乾縮情形，因此有時須選用不同類型的水泥來控制開裂程度。在混凝土中添加自癒原劑可輔助控制乾縮的情形。
- 裂縫寬度：石灰石所能修補的最大裂縫寬度（部分區域）會因依水泥熟料含量而定，計算出的  $W_{crit}$  代表可防止滲漏的最大裂縫寬度。通常可參考下列資訊：
  - 水泥熟料最低含量為 50% 之波特蘭水泥：可容許裂縫寬度達 0.8 毫米（包含）
  - 水泥熟料含量至少為 30% 之波特蘭水泥：可容許裂縫寬度達 0.4 毫米（包含）
- 效果：關於混凝土添加自癒原劑後可產生的效能，請施工單位參照關於上述所提之要點。

若考慮將鋼筋減量，可參考石灰石可修補的最大裂縫寬度，並請注意水泥的類型會影響修復效能。

附錄 I-A 計算水流量的 Poiseuille 公式

$$Q_{crack} = \alpha \frac{w^3 \Delta p}{\eta d} l \quad [m^3/s]$$

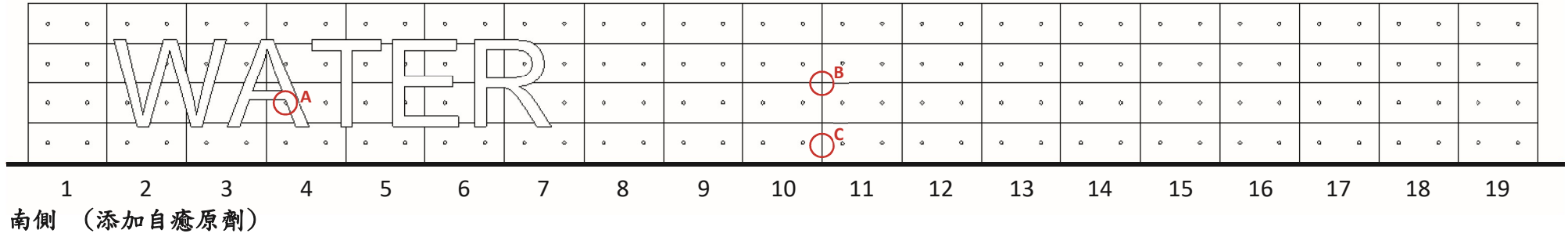
In which:

$w$	= crack width	[m]
$\Delta p$	= pressure difference	[Pa]
$l$	= crack length	[m]
$\eta$	= dynamic viscosity	[Pa.s]
$d$	= element thickness	[m]
$\alpha$	= coefficient, depending on roughness of the crackface	[-]

Maintain 0.01 for the  $\alpha$  factor and 1 meter crack length.

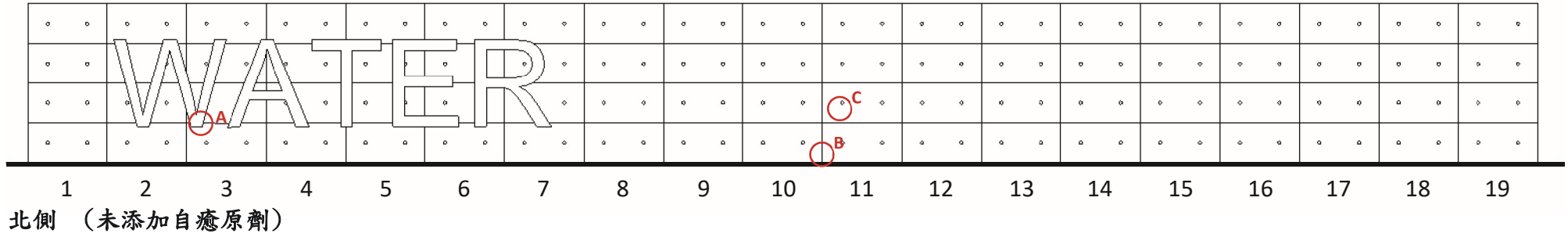
## 附錄 II – 觀察結果

觀察時間：2018/12/19





觀察時間：2018/12/19









施工流程：

首先，分別在兩側區域 1 至 9 及 11 至 19 澆置混凝土，待隔牆定型後（收縮及膨脹）後，再澆置第 10 區的混凝土。這樣的施工方式是便於之後比較區域 10 及 9 以及 10 及 11 之間冷縫的滲水情形。

南側（添加自癒原劑）

- 2019 年 4 月 25 日的觀察可發現，於冷縫中間高程的 10B 處已有形成明顯的碳酸鈣(石灰石)修補痕跡，這部分在 2018 年 12 月 19 日的監測中亦已有觀察到相似狀態，而此處裂縫周圍的大黑斑，可能是由於施工期間的各種條件（脫模油使用過量、在脫模時造成殘留等）所造成表面的色差現象，並非因滲水所造成之顏色，因為此處壁體表面實已乾透。在北側(未添加自癒原劑)圖約略相同位置的 10D 處，則可觀察到潮濕與黑斑所造成的不同色差，在此處可以明顯看出冷縫是呈現潮濕狀態，但由於色差的緣故，在右側出現一個黑斑。
- 在南側的 10C 處(冷縫接近地表的高程處)則表面呈現完全乾燥，但此處於 2018 年 12 月 19 日的監檢結果顯示此裂縫於之前是為潮濕狀態，在 5 個月後之自癒修復實已達到止滲的效果。

北側（未添加自癒原劑）

- 2019 年 4 月 25 日於北側 10B 處的觀察可發現，冷縫的表面仍然是（明顯）潮濕狀態，顯示混凝土雖亦可自然形成石灰石，但是此作用係因為新拌混凝土在剛開始的一至二週內產生卜作嵐反應的自我修復效果(即白華)，但由於水槽底部冷縫處較寬且水壓較大（水壓約 5 米高程），則混凝土自然生成之石灰石量並不足以修補該裂縫。
- 在 2019 年 4 月 25 日的 10D 處其垂直裂縫的表面仍然是潮濕狀態，觀察其表面並未產生卜作嵐反應，顯示混凝土無法自我修復。雖然此高度的水壓遠低於結構底部的水壓，但裂縫（冷縫）的寬度可能導致無法產生卜作嵐反應。
- 在 11C 部分，自 12 月 19 日開始監視以來，此裂縫處並未產生任何變化且表面可清楚看到因自我修復的石灰石痕跡，此高度的水壓也低於結構底部之水壓（圖 10B）。雖然此高度等於 10D 裂縫處之高度，但裂縫寬度則僅為 0.1 毫米，由此對照 10D 之現象可以說明混凝土雖然可形成石灰石以自我修復，但當裂縫寬度大於 0.1 毫米以上者，則可能該自我修補的機制並無法完全填充裂縫，至使裂縫滲水之問題將持續發生。



本項結構之設計非常完美，因此可在設計（水泥類型、鋼筋）及施工（施工及灌漿順序）方面防止形成裂縫，同時也添加了自癒原劑作為額外補強措施。這說明了任何一側均無發現新的裂縫。