

混凝土抗滲防護摻劑之介紹

An introduction of concrete admixture for impermeability and preservation

許鎧麟¹ 洪明瑞² 袁榮宏³ 陳棟堅⁴

¹ 國立高雄第一科技大學營建工程學系助理教授, 07-60110000#2151, vichsu@ccms.nkfust.edu.tw

² 明志科技大學環安衛學系助理教授, 02-29089899#4657, mingjui@mail.mcut.edu.tw

³ 中華民國建築技術學會法規委員會委員, 02-22672556#27, peteryuan168@gmail.com

⁴ 松江實業股份有限公司執行長, 02-2523-6883#223, andy.chen@poplar.com.tw

摘要

有關混凝土之抗滲，傳統上大多為防水方面之研究，即於正水壓面覆蓋一定厚度之物理屏障，大多數材料常隨時間老化，該物理屏障失效後，則無法發揮防水功能，再者，混凝土可能因收縮、潛變、熱變形或外力..等因素，造成許多裂縫；混凝土本身因多孔隙而具有透水性，容易因水密性不足造成滲漏問題；外來化學物如：氯離子、硫酸鹽..等侵蝕，更造成嚴重損害，影響混凝土結構之耐久性。

有鑑於此，國際上已提出新式混凝土抗滲防護摻劑，即於灌漿前添加摻劑，利用水份與混凝土多孔吸附之特性，滲入混凝土孔隙，循環再生不溶於水之無機質枝蔓狀結晶體，可充填混凝土微裂縫與毛細孔隙，藉此活化並強化混凝土結構，達到防止液壓並抑制氯離子、碳化、風化與其他有害化學物質等..之劣化因素，進而增進混凝土結構耐久性之改質工法，且此類摻劑之結晶滲透機制因其顯著功效，於國際上日益受到重視。

因此如何提高混凝土之水密性，延長結構之生命週期，減少地球資源消耗，落實節能減碳，已成為我們當前亟待努力的目標。本文針對國外新科技趨勢「混凝土抗滲防護摻劑」，作一簡要的介紹與探討，以預防科學之眼光，作為治本型之解決方案參考。

關鍵字：抗滲性、摻劑、結晶滲透、預防科學

Abstract

As to the impermeability of concrete, research is traditionally focused on waterproofing. That is to cover a physical barrier on the positive side. With time most materials will be aging that the physical barrier can no more offer the waterproofing function. Further concrete may cause cracks as a result of shrinkage, creep, thermal deformation or other factors. Concrete itself is porous and permeable, which is easy to form leakage due to bad water tightness. Other corrosion from chemicals like Chloride ion and sulphate could even cause serious deterioration, affecting the durability of concrete structure.

So there has offered a new impermeability admixture of concrete in international. That is to add this admixture into concrete before grouting, with the water and the porous properties of the concrete. By concrete's absorption, it can permeate into inner pores of concrete, regenerating an insoluble,

needle-like crystals that can seal the void and micro-cracks of the concrete. This activation can strengthen the concrete structure, waterproofing, preventing unfavorable factors like chloride ion, carbonation and efflorescence. This is a good method to improve the durability of the concrete and this kind of admixture has been paid much attention internationally on account of its obvious effect.

Therefore how to increase the water tightness of concrete, to extend the life circle of structure, to reduce the resource consumption on earth, to carry out the emission reduction, has been a common goal for everybody today. In this paper we hereby offer a brief introduction and discussion on the concrete admixture of impermeability and preservation in view of preventive science, as a reference of fundamental solution.

Keywords: impermeability, admixture, crystal penetration, preventive science

一、前言

眾所皆知，混凝土是應用最廣泛之營建材料，而影響混凝土耐久性（durability）之最大因素在於其水密性（water tightness）[1]，混凝土先天上可能因熱脹冷縮、乾濕循環與外力(地震)作用而產生龜裂，後天上可能因不良施工因素而造成瑕疵，再者，混凝土本身在水化（hydraton）過程因泌水現象，造成許多孔隙與微裂縫（void and micro-cracks），如圖 1 所示[2]，此諸多因素造成混凝土之滲漏問題，因此，混凝土之防水能力與結構體內部孔隙量之多寡息息相關，故如何提高混凝土之水密性與降低孔隙含量，則為軀體防水之第一要務[3]，考量混凝土防水之整體性、一致性、材料特性、施工便利性與後續維修性，是本文「混凝土抗滲防護摻劑」寫作之宗旨，期以最廉價之成本，來達到混凝土延壽之最大邊際效益。

二、材料介紹

混凝土抗滲防護摻劑（admixture）屬於化學改質之觀念，與傳統防水膜之物理屏障（physical barrier）之觀念大大不同，係強化混凝土之水化作用，將未水化或水化不完全部分再度活化，形成緻密之結晶體（crystallization），如圖 2 所示[4]；該結晶體不溶於水，可循環再生，可謂混凝土抗滲防水之治本方法，因為在灌漿時添加即可達到防水效果，不但減少施工界面，對於整體施工之彈性很有幫助，尤其可以克服地下結構正水壓面無法施作防水之問題，又因屬軀體防水，對於混凝土二次澆置之冷縫介面防水，亦有所幫助，茲將更多說明分述於后。

2.1 名詞釋疑（正負水壓面防水如圖 3）

混凝土抗滲防護摻劑（admixture）如前所述，是利用化學改質之結晶特性，來強化混凝土之孔隙密度，進而改善混凝土之水密性，屬軀體防水，除正壓防水外，也可應用於負壓（negative）防水；而 CNS 3763 A2047 規範的建築用水泥防水添加劑（waterproofer or additive）[5]，類同於物理包覆防水，屬面防水，只能應用於正壓（positive）防水。

2.2 混凝土抗滲防護摻劑型態

按市場現況，混凝土抗滲防護摻劑可大致區分為二種型態，如表 1：[6]

- (1) 斥水型 (Hydrophobic)：多為液態，不屬於化學作用。
- (2) 親水型 (Hydrophilic)：多為粉末固態，屬於化學作用。

表 1 混凝土抗滲防護摻劑型態[6]

特色	親水型 (結晶體)	斥水型 (孔隙封阻)
添加率/M ³ 混凝土	0.8 to 2 % of cement	5.0 to 30 litres
耐久性	無機質不老化	有機質會老化, 水解
防水關鍵能力	整體結晶生長/軀體	表面孔隙阻塞/潑水劑
裂縫自癒能力	可	否
綠色環保標章	Yes	No

在實務上之演繹，目前屬於化學作用的親水型產品，已漸漸成為市場主流，除了長期有效之外（某些國外超過 10 年應用案例，並無發生滲漏問題），另因獨特的裂縫自癒 (self-heal) 機制，使該類產品脫穎而出。

2.3 施工方法

混凝土抗滲防護摻劑根據投料廠本身的營運設備及現場實際狀況，採行適當模式如下：

- (1) 預拌廠：依照「混凝土基本材料及施工方法」，準備好該批混凝土材料，再添加所需的抗滲防護摻劑，混拌 2-5 分鐘，確保摻劑粉末可以均勻地分佈在每一批混凝土拌和料中，灌漿可於 10 分鐘後進行，建議灌漿前再以高速運轉 1 分鐘。
- (2) 預拌車：依照標準混凝土投料實務，預拌車到達現場後，先將混凝土抗滲防護摻劑與清水分別依重量 1:2 之比例，混合攪拌成薄漿，再倒入所需數量的薄漿於拌和車中，並至少拌和 5 分鐘以確保同質均勻分佈。
- (3) 預鑄廠：添加混凝土抗滲防護摻劑於級配中並徹底攪拌 2-3 分鐘，再加入水泥、水，混凝土預鑄元件依照「混凝土基本材料及施工方法」拌和。

混凝土抗滲防護摻劑屬固體乾燥粉末，是由波特蘭水泥、細砂和多種特殊的活性化學物質，所組成的灰色粉末狀無機材料，直接添加於潮濕之混凝土時，可能產生結塊現象，應依預拌車模式，先將混凝土抗滲防護摻劑與清水混合攪拌成薄漿，再倒入該批混凝土中徹底攪拌，以確保同質均勻分佈；某些先進國家業者，混凝土抗滲防護摻劑之包裝為可溶性 (soluble) 紙袋，是可以直接添加於潮濕之混凝土中，並不會產生結塊現象，且因坍度提高，可以取代部分的輸氣劑。

2.4 系統檢驗規範之要求

混凝土抗滲防護摻劑係改質混凝土之抗滲性，應以不影響混凝土之一般特性為原則，請參

以下規範要求：

- (1) 工作性 (workability): 坍度試驗依 CNS 1176 A3040 進行，試驗頻率可比照抗壓強度；另可依 ASTM C143-Standard Test Method for Slump of Hydraulic Cement Concrete，試驗結論應不低於混凝土之改質前數值。
- (2) 抗壓強度：依 CNS 1232 A3045 混凝土圓柱試體抗壓強度檢驗法，試驗結論應不低於混凝土之改質前數值。
- (3) 抗滲性 (permeability): 可依 DIN 1048 part5-Permeability of Hardened Concrete，28 天試體以 0.5 MPa 靜水壓力持續 72 小時，量測其透水深度，試驗儀器設備如圖 4。試驗結論應不高於混凝土之改質前透水深度數值。
- (4) 晶相試驗：EDS (Energy Dispersive Spectrometer) 能量散佈光譜儀，屬元素定性分析，綜合 SEM (Scanning Electron Microscope) 掃描式電子顯微鏡之晶相照片以佐證結晶效果。
- (5) 抗化學性：依 ASTM C267 試驗方法，將對照組 (Treated) 試體與控制組 (Untreated) 試體分別浸置於酸性之化學溶液中，30 天後進行試體目測檢視與抗壓強度試驗，試驗結論應不低於混凝土之改質前抗壓強度數值。
- (6) 二次抗滲：參照 GB18445-2001，試體應養護 28 天後，將試體施加定水壓力 (正水壓) 0.5 MPa 達 72 小時，接著將已加壓透水試體繼續養護 28 天，唯試體應達養護 56 天齡期後執行，56 天試體再以 0.5 MPa 靜水壓力持續 72 小時，量測其透水深度，試驗結論應顯示 56 天大於 28 天之改質效果，以佐證長期抗滲性及裂縫自愈性。
- (7) 快速氯離子滲透試驗 (Rapid Chloride Permeability) [7]: 藉由量測電導數 (庫倫) 來推論混凝土中之氯離子滲透程度，數值越低表示抗滲性能越佳，試驗方法可參照 CNS 14795 抗氯離子穿透能力試驗法；試驗結論應不高於混凝土之改質前氯離子滲透電量。

2.5 抗滲防護摻劑防水機制簡介

由於抗滲防護摻劑之防水機制，與國內軀體防水工法所長期倡導之混凝土深層滲透塗封劑 [8-11] CDPS (Concrete Deep Penetration Sealer)，皆係出水泥系結晶滲透防水材料之防水原理，皆是源自藉由多種活性 (Activeness) 化學物質所組成之結晶粉狀物與水泥水化產物所生化學作用，利用水泥混凝土本身的化學特性及多孔性，以水做載體，借助滲透作用在混凝土毛細管中傳輸、並催化混凝土內的微粒和未完全水化的成份再次發生水化作用。此過程將產生一無法溶解的枝蔓狀水合物結晶體充塞於混凝土孔隙，進而膠結成為混凝土之一部分，使得從任何方向之水份或液體均無法滲透，達到永久性防水、保護鋼筋以及增強混凝土強度之目的。

由於抗滲防護摻劑之反應機制係反復進行，故具有裂縫及孔隙自我修補癒合的能力，加上乃係預先拌和於混凝土中，具有良好均質性，一般使用經驗亦顯示其功效優於同類型之結晶滲透防水塗佈材；且其與混凝土膨脹性相當，相容性高，對於混凝土處於正或負水壓面，均可達成同等的結晶滲透防水效果。

2.6 國內案例



案 名：台北市羅斯福路地下室防水工程[12]

施作工法：混凝土抗滲防護摻劑防水

完工日期：2013 年 9 月

案例說明：

1. 位於羅斯福路之新建工程，地下共 4 層樓，因地下水壓大，除連續壁，另增設複牆。
2. 考量防水施工之整體性，於複牆系統採用混凝土抗滲防護摻劑防水，於灌漿時同步達到防水功能。
3. 本工法材料為無機質，不會老化水解，其親水特性，非常適合應用於經常潮溼之地下結構。
4. 本工法為化學改質型軀體防水，效果與時俱增，經改質之結構部位，明顯呈現乾燥狀態，也減少日後滲漏之風險。

2.7 國際案例 1



The largest Louis Vuitton store in the world, is located at Marina Bay Sands in Singapore.



Avalon nightclub at the Crystal Pavilions.

Project name: Crystal Pavilion at Marina Bay Sands[12]

Location: Singapore

Date：2011

施作工法：混凝土抗滲防護摻劑防水

案例說明：

1. 水晶建築物為新加坡濱海灣之著名地標，設計獨特，宛如浮在水面之上。
2. 考量應用海事環境，有氯離子與硫酸鹽之侵蝕問題，必須提高混凝土自身之水密性，遂採用混凝土抗滲防護摻劑來對混凝土防水與保護。
3. 混凝土抗滲防護摻劑應用於水晶建物基礎，約改質 6000 M³ 混凝土。
4. 混凝土抗滲防護摻劑可對混凝土化學改質，封閉混凝土中之微裂縫與孔隙，阻止水份之入侵，延長結構之生命週期。
5. 本案使用混凝土抗滲防護摻劑，解決了傳統無法施作負壓防水之問題，材料本身屬無機質，耐久性是另一優勢所在。
6. 本案完成迄今之防水效果仍令業主滿意。
7. 本案附近之著名地標-金沙酒店，亦使用混凝土抗滲防護摻劑來作為防水工法。

8. 混凝土抗滲防護摻劑因效果肯定、節省施工時程與成本優勢... 等有利因素，已漸成為國際上之主流防水工法。

2.8 國際案例 2



Project name: Evonik 蛋氨酸工廠@Jurong Island [4]

Location: Singapore

Date：在建中

施作工法：混凝土抗滲防護摻劑防水

案例說明：

1. Evonik，專業化工公司，計劃於新加坡、Jurong 島、Babyan 大道，興建他們第一座世界級之廠務設施；蛋氨酸是用作家禽、家畜之營養物，可促進生長、縮短飼養週期與提昇肉品質量；預估廠房全部投資約 5 億歐元，迄今，是該公司最大的化學工廠投資案件。
2. 鑒於數座石化廠也位於 Jurong 島之敏感性，本計畫特別要求採用不具危險與不易燃之安全產品；因此，基於安全需求，混凝土抗滲防護摻劑於本案作為主要防水系統，優點為灌漿即達防水功能，不似傳統防水工法，需要事後施工動火。
3. 混凝土抗滲防護摻劑屬親水系防水系統，環保無毒，國際上普遍認證為永續建材。

2.9 國際案例 3



Project name: Riversound 集合住宅@Buangkok [4]

Location: Singapore

Date：在建中

施作工法：混凝土抗滲防護摻劑防水

案例說明：

1. Riversound 集合住宅為高樓層組屋，位於 Senkang、Hougang 與 Punggol 交界；6 棟樓，每棟 18 樓，共 590 戶，地基 10,549 M²。

1. 規劃地下 2 層停車場，約需 20,000 立方米混凝土，考量過去建案之地下結構經常漏水經驗，決定嘗試性使用水密性混凝土觀念，即軀體防水觀念。
2. 開發商 QingJiang 集團，評估防水系統之耐久性、施工簡易性與有效性後，在地下結構範圍，採用混凝土抗滲防護摻劑，來作為地下防水之解決方案。

3. 混凝土抗滲防護摻劑，於混凝土灌漿時即達防水功能，事後不需任何保護層處理。
4. 混凝土抗滲防護摻劑是先進之防水觀念，其獨特的自癒性質，可追蹤並封堵滲漏路徑，除效果肯定，更縮短工期，堪稱「預防科學」與「價值工程」之典範。

三、結論與建議

3.1 結論

經由以上之簡介，我們知道混凝土抗滲防護摻劑著眼於結構物整體均質之防水觀念，在強化混凝土體質之前提，自然可以減少後續之維修問題，同理於人的體質改善，則病痛遠離，不需額外靠打針吃藥來輔助一樣，茲摘要以下結論：

- (1) 防水性能提升：整體均質之觀念，勝於局部的補強與改善。
- (2) 節省成本：施工上可減少施工界面，材料上亦具競爭優勢，以目前筆者群之經驗值而言，相較市場他類防水產品，若採用混凝土抗滲防護摻劑，整體施作成本可減少 20%~30%。此外，從混凝土長期使用觀點來看，以目前一般平均混凝土每年需投入經驗值約 2% 的施工成本，若能如業界所倡防水保固 10 年之保證，至少就能再減少未來佔 20% 施工成本之維護成本，更明顯看出該類產品之邊際效益。
- (3) 耐久性：混凝土抗滲防護摻劑為無機質，耐久性勝於傳統高分子材料。
- (4) 後續維修性：混凝土抗滲防護摻劑為化學改質，獨特的裂縫自癒機制，只要有水滲透，就可產生化學作用，循環再生結晶體並封堵混凝土之裂縫孔隙，大大減少日後維修保固問題。
- (5) 價值工程 (value engineering)：混凝土抗滲防護摻劑於灌漿時添加改質，可縮短整體施工時程，尤其應用地下結構不必施作複牆 (double wall)，可最大化空間利用，綜合以上，譽為防水領域之價值工程典範。

3.2 建議

混凝土抗滲防護摻劑，在國內尚屬萌芽階段，觀念新穎實用，然而施工執行細節仍需注意若干事項，以期知行合一；此外在應用之發展上，亦提出可能方向，期望讀者有所迴響，共同提升工程品質。

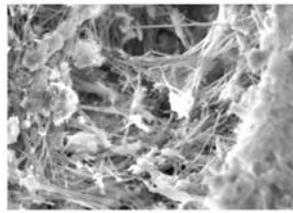
- (1) 混凝土抗滲防護摻劑有多種添加模式，施工前應就計畫規模、灌漿執行重點與混凝土業者之設備規模，考量最適合的添加模式，並製作合宜的品管表格，確實執行，以收預期之成效。
- (2) 實務上混凝土業者之混凝土添加物稍有不同，化學摻劑如減水劑、強塑劑、輸氣劑..等，另取代水泥部分之礦物摻料如卜特蘭材料..等配方亦有所出入，故灌漿前應先執行試驗，決定混凝土抗滲防護摻劑之最佳添加率，並了解與其它添加物之交互作用，才能達到設計上之混凝土品質。
- (3) 混凝土抗滲防護摻劑為親水性，於經常潮溼環境下愈顯功效，因此應用於深開挖之地下結構之高靜水壓力防水應是不錯的選擇，如連續壁、隧道襯砌與豎井..等。
- (4) 混凝土抗滲防護摻劑可改善混凝土塑性收縮，因此應用於解決巨積混凝土之大量收縮

裂縫，也是很好的施工方法。

- (5) 混凝土抗滲防護摻劑專與水泥作用而結晶，應用於噴凝土 (shotcrete) 防水，應是另一值得開發的方向。
- (6) 基於景觀外貌之防水或耐久性需求，如清水模飾面或古蹟工程，混凝土抗滲防護摻劑也是不錯的解決方案。



圖 1 混凝土內部孔隙圖[2]



Scanning Electron Microscope Photograph, at 2000 x Magnification

圖 2 摻劑結晶示意圖[4]



圖 4 抗滲試驗儀器

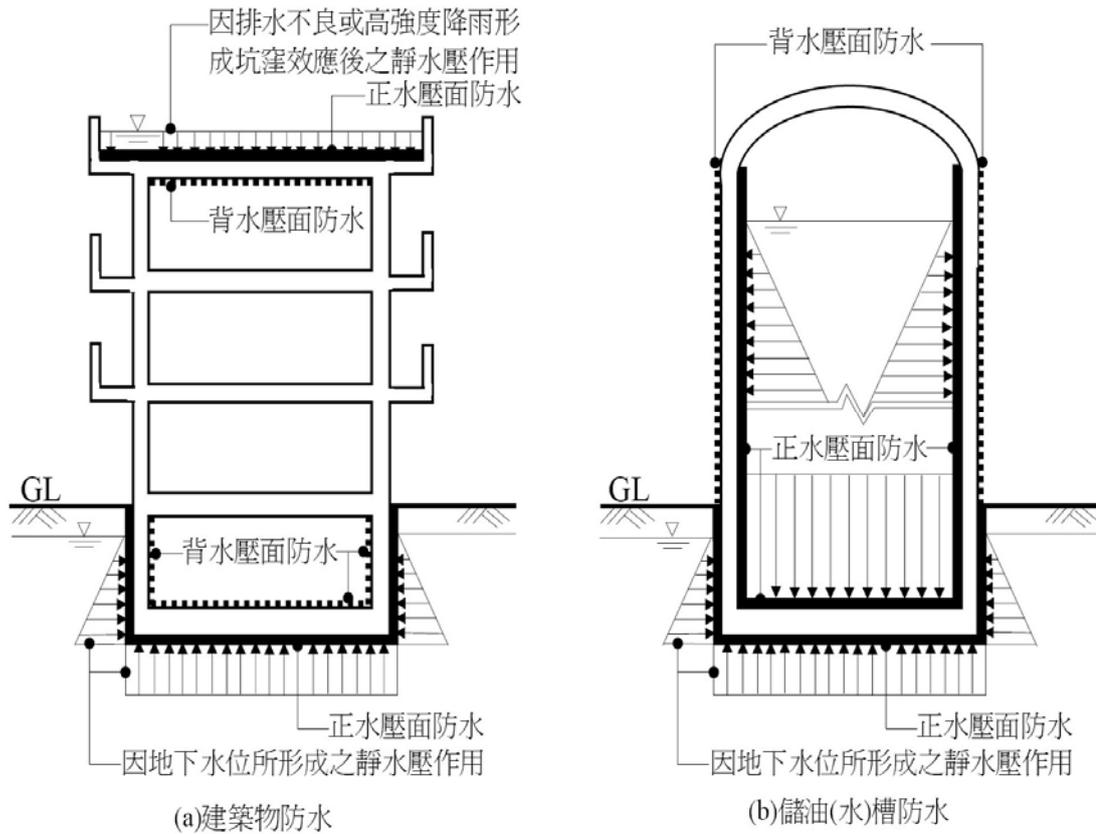


圖 3 正負水壓面防水示意圖

四、參考文獻

- [1] 冶金建築研究院，防水混凝土及其應用，中國建築工業出版社，北京，第 1-56 頁（2000）。
- [2] XYPEX（賽柏斯）滲透結晶型混凝土防水材料，XYPEX 簡報資料，北京城榮防水材料有限公司（2007）。
- [3] 袁榮宏、洪明瑞、陳世欣、黃崇仁，「以結晶滲透型防水材處理地下工程防水成效之介紹」，第九屆大地工程學術研討會論文集，論文編號：E014，第 3 頁（2001）。
- [4] 混凝土結晶防水添加劑，CWA 簡報資料，ParexDavco Pte Ltd，Singapore（2013）。
- [5] 王正龍，「地下室防水工法之研究」，第三十八屆碩士論文，國立成功大學建築研究所，第 2-22 頁（2007）。
- [6] 混凝土結晶防水摻劑，ConMix 簡報資料，馳發實業有限公司（2013）。
- [7] KRYTON，Concrete Waterproofing brochure，PP. 46，Kryton International Inc，Canada（2010）。
- [8] 洪明瑞、袁榮宏、蘇洋、詹勳次、謝鎮財、張惠文，「地下工程先進之防水觀念與施工技術」，現代營建第 270 - 272 期（2002）。
- [9] 劉瑞春、陳建宏、洪明瑞、黃然，「矽酸質塗封劑使用於表面處理對混凝土性質影響之研究」，兩岸營建環境及永續經營研討會（2003）。
- [10] 洪明瑞、劉瑞春、陳建宏、范慧中、黃然、袁榮宏，「結晶滲透材料在地下工程防水上之應用」，10th Conference On Current Researches in Geotechnical Engineering In Taiwan（2003）。
- [11] 洪明瑞、袁榮宏、葉清松、施正元、張惠文、郭來松，「地下工程防水科技與施工案例之探討」，海峽兩岸岩土工程/地工技術交流研討會（2002）。
- [12] KRYTON KIM，凱頓簡報資料，松江實業股份有限公司（2013）。