

101-54-7625

MOTC-IOT-100-H1DB003a

港灣混凝土構造物修補材料與 工法之研究(1/4)



交通部運輸研究所

中華民國 101 年 4 月

101-54-7625

MOTC-IOT-100-H1DB003a

港灣混凝土構造物修補材料與 工法之研究(1/4)

著者：陳桂清、柯正龍、葉為忠、張建智
黃 然、劉冠廷、陳韋豫

交通部運輸研究所

中華民國 101 年 4 月

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

港灣混凝土構造物修補材料與工法之研究(1/4)

/陳桂清等著.--初版.-- 臺北市：交通部運輸研究所，

民 101.04 面；公分

ISBN 978-986-03-2125-8 (平裝)

1. 混凝土 2. 生態工法

440.327

101005130

港灣混凝土構造物修補材料與工法之研究(1/4)

著 者：陳桂清、柯正龍、葉為忠、張建智、黃然、劉冠廷、陳韋豫

出版機關：交通部運輸研究所

地 址：10548 臺北市敦化北路 240 號

網 址：www.ihmt.gov.tw (中文版>中心出版品)

電 話：(04)26587176

出版年月：中華民國 101 年 4 月

印 刷 者：

版(刷)次冊數：初版一刷 90 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所港灣技術研究中心網站

定 價：200 元

展 售 處：

交通部運輸研究所運輸資訊組•電話：(02)23496880

國家書店松江門市：10485 臺北市中山區松江路 209 號 F1•電話：(02) 25180207

五南文化廣場：40042 臺中市中山路 6 號•電話：(04)22260330

GPN：1010100639

ISBN：978-986-03-2125-8 (平裝)

著作財產權人：中華民國（代表機關：交通部運輸研究所）

本著作保留所有權利，欲利用本著作全部或部分內容者，須徵求交通部運輸研究所書面授權。

港灣混凝土構造物修補材料與工法之研究
(1/4)

交通部運輸研究所

GPN: 1010100639

定價 200 元

交通部運輸研究所合作研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：港灣混凝土構造物修補材料與工法之研究(1/4)			
國際標準書號（或叢刊號） ISBN978-986-03-2125-8(平裝)	政府出版品統一編號 1010100639	運輸研究所出版品編號 101-54-7625	計畫編號 100-H1DB003a
本所主辦單位：港研中心 主管：邱永芳 計畫主持人：陳桂清 研究人員：柯正龍 聯絡電話：04-26587188 傳真號碼：04-26564418	合作研究單位：國立臺灣海洋大學 計畫主持人：葉為忠 協同主持人：黃然、張建智 研究人員：劉冠廷、陳章豫 地址：20224 基隆市中正區北寧路 2 號 聯絡電話：(02) 24622192		研究期間 自 100 年 2 月至 100 年 12 月
關鍵詞：修補砂漿；修補水泥漿；海洋環境			
摘要： 本計畫是針對海洋環境下的鋼筋混凝土修補與補強進行研究。在第一年計畫當中，是針對RC構造物之各種修補材料進行研究。這些材料可以區分為水泥基質修補材料、高分子樹脂修補材料、高分子改性水泥基修補材料。因海洋環境下之修補作業通常是垂直立面或是頂面修補，故材料本身應該具有一定之非垂流特性。除研發修補材料外，本研究也將綜整國內外資料，擬定修補手冊初稿，以利工程師進行修補時參考。 本年度工作已經完成材料選擇，共含八種材料：水泥砂漿、滲透結晶材、純環氧樹脂漿體、SBR漿體、壓克力漿體、環氧樹脂砂漿、SBR砂漿以及壓克力樹脂砂漿(液態與粉末狀)。預計針對修補的尺寸包括小尺寸(寬度0.1~0.5mm)、中尺寸(0.5~1mm)以及大尺寸(1mm以上)。針對修補材料的基本性質進行探討，這包括了施工特性(流度)、力學特性(抗壓強度、彈性模數、黏結強度)、耐久性(抗磨耗特性、水密性)、體積穩定性(乾縮)等誦驗。並且已經完成戶外誦驗設計，採用梁誦體，主要在辨明修補材料在長期曝曬下其耐候性(包括了紫外線、現地溫濕度變化之影響)，以及修補後之效能是否能夠長期維持。修補手冊目前已經參考歐盟規範及其他相關資料進行綱要編撰。			
出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
101 年 4 月	256	200	凡屬機密性出版品均不對外公開。普通性出版品，公營、公益機關團體及學校可函洽本所免費贈閱；私人及私營機關團體可按定價價購。
機密等級： ☐密 ☐機密 ☐極機密 ☐絕對機密 (解密條件：☐ 年 ☐ 月 ☐ 日解密，☐公布後解密，☐附件抽存後解密，☐工作完成或會議終了時解密，☐另行檢討後辦理解密) ☒普通			
備註：本研究之結論與建議不代表交通部之意見。			

PUBLICATION ABSTRACTS OF RESEARCH PROJECTS
INSTITUTE OF TRANSPORTATION
MINISTRY OF TRANSPORTATION AND COMMUNICATIONS

TITLE : Repairing and Strengthening the Reinforced Concrete Structures in Marine Environment (1/4)			
ISBN(OR ISSN) ISBN 978-986-03-2125-8 (pbk)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1010100639	IOT SERIAL NUMBER 101-54-7625	PROJECT NUMBER 100-H1DB003a
DIVISION : Harbor & Marine Technology Center DIVISION DIRECTOR : Yung-Fang Chiu PRINCIPAL INVESTIGATOR : Kuei-Ching Cheng PROJECT STAFF : Jeng-Long Ko PHONE : 04-26587188 FAX : 04-26564418			PROJECT PERIOD FROM: February 2011 TO : December 2011
RESEARCH AGENCY : National Taiwan Ocean university, NTOU PRINCIPAL INVESTIGATOR : Wei Chung Yeh, Ran Huang, Chien Chih Chang PROJECT STAFF : Kuan-Ting Liu, Wei-Yu Chen ADDRESS : 2 Pei-Ning Road, Keelung 20224, Taiwan, R.O.C. PHONE : +886 224622192			
KEY WORDS : Repair Materials, Repair Methods, Marine Environment			
ABSTRACT: This project focuses on the research of repair and strengthening for the reinforced concrete structure in marine environment. In the first year project, we will study the properties for repairing materials used for repairing cracks or voids for different sizes. These materials include cement-based ,repairing material, resin-based material and polymer-modified cement-based material. Since most repair works for RC structures in marine environment is vertical surface or overhead repair, non-sag property is necessary. In addition to developing repair materials, we will also write a draft for repair manual such that engineers can follow. Through one-year work, we have finished the following works: 1. We have used eight materials including ordinary Portland cement mortar, Xypex migration crystallization material, epoxy resin grout, SBR grout, acrylic resin grout, epoxy resin mortar, SBR mortar and acrylic resin mortar (liquid acrylic or powder acrylic). Intended repair cracks include small cracks (width between 0.1 to 0.5 mm), medium cracks (width between 0.5 to 1 mm) and large cracks (width larger than 1 mm). 2. We have studied the basic properties of repair materials such as the constructability (flowability), mechanical property (compressive strength, elastic modulus, bond strength), durability (capability of resisting erosion and permeability) and volumetric stability (drying shrinkage). 3. We have also made out-door exposure experiments which show whether the repair material keep its performances under exposure environments such as humidity change, temperature change and UV exposure. The outdoor specimens are beam-type specimens. 4. For the repair manual, we decided to refer to EN code and other materials and the draft has been established.			
DATE OF PUBLICATION April 2012	NUMBER OF PAGES 256	PRICE 200	CLASSIFICATION ☐ RESTRICTED ☐ CONFIDENTIAL ☐ SECRET ☐ TOP SECRET ☒ UNCLASSIFIED
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.			

港灣混凝土構造物修補材料與工法之研究(1/4)

目 錄

中文摘要	I
英文摘要	II
目 錄	III
表目錄	IX
圖目錄	XIII
第一章 緒論	1-1
1.1 計畫緣起	1-1
1.2 計畫目的與內容	1-2
1.3 重要性	1-5
1.4 工作項目完成程度與說明	1-5
第二章 文獻回顧	2-1
2.1 海洋混凝土結構物的破壞	2-1
2.1.1 重力式碼頭劣化機制	2-1
2.1.2 板樁式碼頭劣化機制	2-2
2.1.3 棧橋式碼頭劣化機制	2-3
2.2 鋼筋混凝土結構物劣化	2-4
2.2.1 鋼筋混凝土劣化原因	2-4
2.2.2 裂縫形成的原因	2-5

2.2.3 鋼筋腐蝕對混凝土安全性與耐久性之影響.....	2-5
2.2.4 鋼筋的腐蝕機理.....	2-6
2.2.5 鋼筋混凝土劣化之現象.....	2-7
2.3 鋼筋混凝土結構物修復與補強.....	2-8
2.3.1 混凝土結構物修補材料.....	2-8
2.3.2 混凝土修補材料選擇.....	2-12
2.3.3 混凝土結構物修補工法.....	2-18
2.3.4 修補之黏結面處理.....	2-18
2.3.5 補強工法.....	2-21
2.3.6 表面修補澆注工法.....	2-24
2.4 保護系統.....	2-28
2.5 電化學復健工法(Electrochemical rehabilitation methods).....	2-30
第三章 實驗計畫.....	3-1
3.1 實驗材料.....	3-1
3.2.1 修補材料所需檢驗之基本性質.....	3-5
3.2.3 戶外試體實驗變數以及對應之檢測項目.....	3-10
3.3 實驗設備.....	3-16
3.4 試驗方法.....	3-19
3.4.1 基本性質試驗.....	3-19
3.4.2 戶外曝曬試驗.....	3-30
第四章 實驗成果.....	4-1
4.1 曝曬場資料.....	4-1
4.2 修補材料漿體基本性質.....	4-5

4.3 修補材料砂漿基本性質	4-9
4.3.1 抗壓強度	4-11
4.3.2 黏結強度	4-13
4.3.3 洛杉磯磨損率	4-14
4.3.4 長度變化量	4-15
4.3.5 彈性模數	4-19
4.3.6 水泥砂漿流度	4-20
4.3.7 定水頭試驗	4-20
4.3.8 水中磨耗試驗	4-21
4.4 戶外曝曬試體基座	4-22
4.4.1 戶外曝曬試體配比設計	4-22
4.4.2 戶外曝曬試體裂縫製作過程	4-23
4.5 戶外試體實際修補結果	4-25
4.5.1 修補操作方法	4-25
4.5.2 戶外曝曬試體修補材料最終配比選擇	4-29
第五章 水下修補	5-1
5.1 簡介	5-1
5.2 到達水下修補區域之方法	5-1
5.2.1 通則	5-1
5.2.2 擋水設施(water-retaining barrier)	5-2
5.2.3 空氣潛水箱(atmospheric caisson)	5-3
5.2.4 加壓乾式棲息地(pressurized fry habitat)	5-3
5.2.5 潛水俠	5-4

5.2.6 濕式棲息地(wet habitat)	5-5
5.3 混凝土與鋼筋的準備工作	5-5
5.3.1 通則	5-5
5.3.2 表面準備	5-6
5.3.3 敲除混凝土	5-7
5.3.3.1 高壓水流	5-7
5.3.3.2 機械式切割	5-8
5.3.4 鋼筋混凝土去除	5-9
5.4 修補材料	5-11
5.4.1 材料的選擇	5-11
5.4.2 混凝土	5-13
5.4.2.1 水泥	5-13
5.4.2.2 粒料(骨材)	5-14
5.4.3 水泥砂漿與水泥漿	5-15
5.4.4 預壘混凝土(preplaced aggregate concrete)	5-16
5.4.5 樹脂砂漿以及純樹脂漿	5-17
5.5 混凝土水下修補工法	5-18
5.5.1 表面剝落修補	5-18
5.5.2 大尺寸修補(Large-scale repair)	5-21
5.5.3 預壘混凝土	5-23
5.5.4 注入法(Injection)	5-23
5.5.5 噴凝土(Gunite)	5-25
5.5.6 鋼套筒(Steel sleeve)	5-26
5.6 鋼筋的修復	5-27

5.6.1 共通的考量.....	5-27
5.6.2 搭接(Lap joints).....	5-28
5.6.3 焊接(Welding).....	5-29
5.6.4 鋼筋耦合器(Reinforcement coupler)	5-29
5.6.5 外附鋼板.....	5-30
5.6.6 修補預力鋼鍵(prestressing tendons).....	5-31
第六章 混凝土結構防護與修補材料與技術綱要手冊初稿.....	6-1
6.1 前言	6-1
6.2 術語和定義(Terms and definitions).....	6-2
6.2.1 鑑別試驗(identification test)	6-2
6.2.2 性能(performance)	6-2
6.2.3 性能要求(performance requirements)	6-2
6.2.4 性能測試(performance test)	6-2
6.2.5 產品、產物、材料(product)	6-2
6.2.6 系統(systems)	6-2
6.2.7 技術(technology).....	6-2
6.2.8 產品和系統的主要種類(Main categories of products and systems).....	6-3
6.2.9 摻料(admixtures).....	6-4
6.2.10 塗層(coating).....	6-4
6.2.11 水化結合材料(hydraulic binders)	6-4
6.2.12 水化水泥砂漿和混凝土(hydraulic mortars and hydraulic concretes, CC).....	6-4
6.2.13 疏水性表面注入處理(hydrophobic impregnation)	6-4

6.2.14 滲入(impregnation)	6-5
6.2.15 聚合物水泥砂漿或混凝土(polymer hydraulic cement mortars or concretes, PCC)	6-5
6.2.16 聚合物砂漿和聚合物混凝土(polymer mortars and polymer concretes, PC).....	6-5
6.2.17 反應性聚合物黏合劑(reactive polymer binder, P).....	6-5
6.3 混凝土結構產品和系統的保護及維修-定義，要求，品質 控 制和合格鑑定混凝土表面防護系統	6-6
6.3.1 滲入法	6-6
6.3.2 塗封	6-6
6.3.3 預期使用的性能特點	6-6
6.3.4 鑑別要求 (identification requirements)	6-9
6.3.5 性能要求	6-9
第七章 結論與建議	7-1
7.1 結論	7-1
7.2 建議	7-1
參考文獻	參-1
附錄一 期中報告審查意見處理情形表	附錄 1-1
附錄二 期末報告審查意見處理情形表	附錄 2-1
附錄三 期末報告簡報資料	附錄 3-1
附錄四 工作會議紀錄	附錄 4-1

表目錄

表 1-1 工作項目完成程度資料表.....	1-6
表 1-1 工作項目完成程度資料表.....	1-6
表 2-1 重力式碼頭各構件產生異狀列表	2-2
表 2-2 板樁式碼頭各構件產生異狀表.....	2-3
表 2-3 棧橋式碼頭各構件產生異狀表.....	2-4
表 2-6 表面層修補材料在各種環境之適用性	2-11
表 2-7 力學性質考量	2-13
表 2-8 暴露環境考量	2-14
表 2-9 體積變化考量	2-15
表 2-10 設計性質考量	2-16
表 2-11 外觀考量.....	2-16
表 2-12 外部負載考量	2-17
表 3-1 水泥 I 型之物理性質.....	3-2
表 3-2 水泥 I 型之化學性質.....	3-2
表 3-2 水泥 I 型之化學性質(續).....	3-3
表 3-3 粗粒料篩分析	3-3
表 3-4 細粒料(天然河砂)篩分析	3-4
表 3-5 細粒料(石英砂)篩分析	3-4

表 3-6 修補材料基本性質試驗表.....	3-6
表 3-7 水泥砂漿配比設計表.....	3-7
表 3-8 滲透結晶材配比設計表.....	3-7
表 3-9 乾粉狀壓克力樹脂砂漿配比設計表.....	3-8
表 3-10 液態狀壓克力樹脂砂漿配比設計表.....	3-8
表 3-12 聚丁苯乙烯橡膠樹脂(SBR)砂漿配比設計表.....	3-9
表 3-13 環氧樹脂砂漿配比設計表.....	3-10
表 3-14 環氧樹脂漿體配比設計表.....	3-10
表 3-15 GPM 儀器腐蝕電流密度與腐蝕狀態之關係.....	3-33
表 3-16 腐蝕電位對於腐蝕機率判定表.....	3-33
表 3-17 混凝土腐蝕防治最大氯離子含量規定.....	3-38
表 4-1 基隆地區五年內(2006-2010)月平均氣象資料表.....	4-1
表 4-2 修補材料漿體工作性流度資料表.....	4-5
表 4-3 修補材料漿體 28 天抗壓強度資料表.....	4-6
表 4-4 修補材料漿體黏結強度資料表.....	4-6
表 4-5 修補材料漿體磨損率資料表.....	4-8
表 4-7 修補材料漿體彈性模數資料表.....	4-9
表 4-8 修補材料砂漿體之抗壓強度.....	4-12
表 4-9 修補材料砂漿體之黏結強度.....	4-13
表 4-10 修補材料砂漿體之磨損率.....	4-14

表 4-10 修補材料砂漿體之磨損率(續).....	4-15
表 4-11 修補材料砂漿體之長度變化量.....	4-15
表 4-11 修補材料砂漿體之長度變化量(續).....	4-16
表 4-12 修補材料砂漿體之彈性模數.....	4-19
表 4-13 修補材料砂漿體之流度.....	4-20
表 4-14 修補材料砂漿體之透水係數.....	4-21
表 4-15 修補材料砂漿體之磨損體積量	4-22
表 4-16 戶外曝曬試體配比資料表.....	4-23
表 4-17 戶外曝曬試 28 天強度資料表.....	4-23
表 4-18 變性矽力康基礎物性化性表.....	4-26
表 4-19 變性矽力康表面封層材料之溫度對應初終凝時間表	4-26
表 4-20 各尺寸裂縫對應材料配比最終選擇資料表.....	4-29
表 4-21 各尺寸裂縫對應材料配比最終選擇資料表.....	4-31
表 6-1 –表面保護產品與系統的性能特徵	6-7
表 6-2 撥水性浸漬的性能要求.....	6-9
表 6-3 浸漬性能要求-1.....	6-10
表 6-4 浸漬性能要求-2.....	6-11
表 6-5 塗料的性能要求-1.....	6-12
表 6-6 塗料的性能要求-2.....	6-13
表 6-7 塗料的性能要求-3.....	6-14

表 6-8 一般及特定使用的結構及非結構修補產品之性能特徵	6-15
表 6-9 結構與非結構修復產品與系統依據準則及方法.....	6-16
表 6-9 結構與非結構修復產品與系統依據準則及方法(續).....	6-17
表 6-10 工廠生產控制之測試頻率.....	6-17
表 6-11 特殊應用的測試方法	6-18

圖目錄

圖 1.1 修補程序流程圖.....	1-7
圖 2.1 鋼筋腐蝕機理示意圖	2-7
圖 2.8 擴大斷面法示意圖	2-21
圖 2.9 複合版工法示意圖	2-22
圖 2.10 後拉預應力工法示意圖	2-22
圖 2.11 增設新接縫達到消解應力示意圖	2-23
圖 2.12 以內部澆注法修補構件裂縫之示意圖	2-23
圖 2.13 外部澆注法示意圖	2-24
圖 2.14 乾擠	2-24
圖 2.15 直接澆置	2-25
圖 2.16 預壘混凝土	2-25
圖 2.17 全深度修補	2-26
圖 2.18 汞浦機	2-26
圖 2.19 乾式噴凝土機	2-27
圖 2.20 濕式噴凝土機	2-27
圖 2.21 手工鏟抹	2-28
圖 3.1 小尺寸裂縫補綴戶外曝曬試體規劃	3-11
圖 3.2 中尺寸裂縫補綴戶外曝曬試體規劃	3-11

圖 3.3 大尺寸裂縫補綴戶外曝曬試體規劃.....	3-12
圖 3.4 自然預壓裂縫補綴戶外曝曬試體規劃	3-12
圖 3.5 外加電流加速腐蝕裂縫補綴戶外曝曬試體規劃.....	3-13
圖 3.6 戶外試體內容物鋼筋配置	3-14
圖 3.7 內容物鋼筋外觀.....	3-15
圖 3.8 混凝土組合模板外觀	3-15
圖 3.9 混凝土組合模板設計	3-16
圖 3.10 強制式雙軸式拌合機	3-17
圖 3.11 小型拌合機外觀圖.....	3-18
圖 3.12 斜剪試驗.....	3-19
圖 3.13 斜剪試驗試體尺寸	3-20
圖 3.14 乾縮模具與應變器	3-21
圖 3.15 壓力環.....	3-22
圖 3.16 萬能試驗機.....	3-23
圖 3.17 流度台及流度模殼	3-24
圖 3.18 注漿流度儀.....	3-25
圖 3.19 定水頭透水係數測定儀	3-26
圖 3.20 水中磨耗試驗機.....	3-28
圖 3.21 洛杉磯磨損試驗機	3-29
圖 3.22 反彈錘試驗數值-強度對照圖.....	3-30

圖 3.23 混凝土強度反彈錘	3-31
圖 3.24 半電池電位量測儀	3-32
圖 3.25 平衡電位圖	3-33
圖 3.26 腐蝕量測儀	3-34
圖 3.27 透水試驗法	3-35
圖 3.28 混凝土電阻係數量測示意圖	3-36
圖 3.29 四極式電阻量測儀	3-36
圖 3.30 四點式抗彎示意圖	3-37
圖 3.31 離子自動滴定儀	3-39
圖 4.2 基隆地區雨量月平均圖	4-2
圖 4.3 基隆地區相對溼度月平均圖	4-3
圖 4.4 基隆地區氣壓月平均圖	4-3
圖 4.5 基隆地區降雨日數月平均圖	4-4
圖 4.6 基隆地區日照時數月平均圖	4-4
圖 4.7 環氧樹脂洛杉磯試驗後經過篩圖	4-7
圖 4.8 壓克力樹脂改性漿體洛杉磯磨損試驗剩餘質量圖	4-7
圖 4.9 環氧樹脂砂漿嚴重析離俯視圖	4-10
圖 4.10 環氧樹脂砂漿嚴重析離剖面圖	4-10
圖 4.11 水泥砂漿長度變化量	4-16
圖 4.12 聚丁苯乙烯橡膠樹脂砂漿長度變化量	4-17

4.13 液態壓克力樹脂砂漿長度變化量	4-17
圖 4.14 乾粉狀壓克力樹脂砂漿長度變化量.....	4-18
圖 4.15 滲透結晶材砂漿長度變化量	4-18
圖 4.16 以電鑽破壞通電加速腐蝕試體圖	4-24
圖 4.17 以表面封層配合針筒注射修補工法完成圖	4-25
圖 4.18 以修補材料表面塗封工法完成圖	4-27
圖 4.19 以大面積修補填補工法完成圖	4-28
圖 5.1 到達修補區域的方法	5-2
圖 5.2 兩種典型使用的模板: (a)使用幫浦澆置用模板 (b)鳥喙形模板 ^[21]	5-20
圖 5.3 柔性模板施工的示意圖	5-21
圖 5.4 鋼製套袖修補工法	5-27
圖 5.5 預力鋼鍵修補.....	5-32
圖 6.1 表面注入法示意圖	6-6
圖 6.2 塗封的示意圖.....	6-6

第一章 緒論

1.1 計畫緣起

港灣使用的鋼筋混凝土構造物經常暴露於嚴苛的海洋或河川環境，常因物理性沖擊(erosion)造成混凝土產生磨蝕(abrasion)、開裂(cracking)、脫層(de-lamination)甚至崩落(spalling)，或因海風、飛沫等挾帶之氯鹽侵入而造成混凝土內部鋼筋發生孔蝕(pitting corrosion)，因為銹蝕的氧化物體積膨脹，除造成鋼筋有效斷面積減少，更因混凝土無法抵抗鋼材銹蝕氧化物膨脹所導致之張應力而開裂。混凝土劣化會造成鋼筋混凝土構造物的服務品質下降，且若不加以修補，最後將導致結構體無法滿足原先設計之安全需求，而須提前拆除重建。

如考量結構物生命週期成本，可採用修補(repair)、復健(rehabilitation)或補強(strengthening)的手段使受損的鋼筋混凝土構造物恢復原有之功能，除可達到延壽的目標，更可降低大量拆除鋼筋混凝土構造物，廢棄物處理造成的環境問題及新建鋼筋混凝土構造物必需的資源使用問題。因此，採取適當的策略或手段來達到節能減碳永續發展之國家目標，實為重要研發的課題。

國內隨著老劣化混凝土結構物的增加，工程界更需要面對修補或補強既有鋼筋混凝土構造物大量的需求。此不但因拆除重建的成本高，更因若要選址興建新的構造物，在土地資源越來越匱乏的今日，其困難度大增。由此可見，營建業新興工程的比例必然會降低，而維修補強的比例會上升。這與世界其他先進國家如歐、美、日等面臨的狀況是一致的。

過往國內在維修補強的研究或案例上，主要是集中在建築物耐震補強上的問題。然而，針對港灣環境下的鋼筋混凝土構造物的修補或補強，卻缺乏廣泛的研究。雖說在此環境下的混凝土修補與補強，仍然可以歸屬於廣義的混凝土修補與補強，不過對於修補或補強的成

敗，必需要針對其所面對之環境做出恰當選擇，否則可能會出現顧此失彼的可能性。緣此，港灣結構物的修補與補強，首先就要對於特殊的暴露環境，做出適當的修補材料選擇；配合材料選擇，選用適當的工法，如此修補或補強才能達成功效。

1.2 計畫目的與內容

港灣鋼筋混凝土構造因處於惡劣的服務環境，易造成材料劣化，造成無法滿足原設計目標年限之破壞。以材料的觀點而言，處於港灣環境之鋼筋混凝土構造，其所面臨的環境劣化原因不外乎以下幾點：

1. 波浪力學沖蝕
2. 海風、飛沫所挾帶之氯鹽問題
3. 海水中硫酸鹽的化學性侵害問題

前述作用，都可能造成混凝土劣化、鋼筋生鏽等情況，使構件的服務性能下降，最後終因服務性能不滿足設計之需求而宣告破壞不堪使用。發現這些問題，經由肇因分析確立原因之後，若經由生命週期成本分析確定修補程序是經濟可行的方案時，則可經由選用正確的修補材料，配合正確的修補工法，對損傷之構件進行修補，如此可恢復甚至提高構件之服務品質，達到延長服務壽命之目標。

如何使修補與補強能夠發揮應有之功效，實為關鍵所在。針對鋼筋混凝土出現損害時，首先必須要透過檢驗對病徵有所瞭解，然後再透過正確的肇因分析，明瞭是何種因素造成原有的系統失效。藉此，工程師才可以針對修補系統(包括其修補材料與修補工法)做出正確的選擇，以滿足其服務特性如安全性、美觀性、耐久性等，也同時能讓修補後之結構系統在面臨與過去相同問題時，不致劣化，保障其使用功能。有時，為使修補後之系統在面對嚴苛的環境下能夠更有保障，在進行修補的同時，工程師也可以考量適當地加入保護系統，以達到使新系統具有更強的防護能力。整個修補程序的進行，如圖 1.1 所示，

每個環節都屬於修補的一部份，只有正確執行全部環節，方能確保修補的成功。

本計畫不擬針對所有的修補程序進行研究，而擬以材料做為出發點，在決定使用何種材料來修補港灣混凝土構造上，進行研究。也就是說，本計畫主要針對如何修補混凝土構造物的劣化狀況，而並不特別考量補強的部份。此因補強乃是以改善結構受力的能力與反應為主，這不僅與材料有關，更與結構整體配置有關。理論上說，正確的補強設計一定要針對整體結構進行應力分析，瞭解補強方案採用以後，整體結構受力狀況為何，然後才能判斷出方案的適用性。換言之，補強是會因個案而有所不同，若只是單單考量增加單一構件的加勁，可能會造成顧此失彼的問題，反使得結構其他部位出現破壞。然而，若以材料觀點出發，還是有許多問題要深入瞭解：

1. 當採用取代法(replacement)將病害之混凝土敲除，再以修補材料修補時，則在市面上通用的修補材料中，到底何種材料比較適合使用來修補港灣混凝土構造物？它們的表現如何評估？
2. 針對已經劣化之混凝土(如已經被中性化之混凝土、或遭受氯鹽侵害之混凝土)，如不擬採用取代法，是否可用復健工法將其復健？如何操作之？
3. 針對修補的策略中，可採用的保護措施有哪些？它們的成效如何？最後、針對港灣環境混凝土建構物修補，是否能有標準的程序可作為設計參考。

緣此，針對以上問題擬定四年期計畫進行研究。其中第一年，將針對常用之修補材料進行研究，瞭解各修補材料是否適合使用在港灣混凝土構造物的修補上，其配合工法為何，成效又是如何。第一年的工作內容包括：

1. 國內外相關資料之蒐集，包括各種修補材料與修補工法。
2. 進行修補材料性質試驗與修補工法之研究。

3. 試體製作：包括實驗室模擬試體（至少選用 5 種不同修補材料，每種試體 3 個）以及 1 組以上之戶外曝露試驗（樑、柱）試體。
4. 試體觀測內容包括：力學行為的變化、開電路電位的變化、透水係數、腐蝕電流分布、體積穩定性、黏結強度等。
5. 不同工法之效益評估：依據試體觀測結果，進行應用於港灣鋼筋混凝土構造物之效益評估或比較分析。

延續第一年期計畫進行研究。第二年期計畫研究針對常用之修補材料配合國外規範進行後續之工作性試驗，並建立工作性與力學性之間特性之關係。第二年的工作內容包括：

1. 進行修補材料垂流特性試驗、注入性試驗、滲入型撥水劑相關試驗。
2. 諮詢修補材料相關廠商，諮詢現地常見之修補材料，連工帶料對應各材料之成本效益評估。
3. 預期與貴單位配合，進行乾溼循環水槽之樑柱現地修補。
4. 針對第一年期擬訂之港灣鋼筋混凝土構造物修復補強手冊進行修改，並召開專家座談，整合多方專家對手冊制訂之意見。

延續前幾年期計畫進行研究。第三年期計畫研究針對常用之修補材料配合國外規範進行後續之耐久性試驗，並建立耐久性與戶外曝曬試體現階段量測值之關係。第三年的工作內容包括：

1. 進行修補材料氯離子電滲試驗、吸水率試驗、抗碳化試驗、腐蝕趨勢相關試驗。
2. 針對前兩年期撰寫之港灣鋼筋混凝土構造物修復補強手冊進行修改，並召開專家座談，進行意見整合及修改。

第四年期計畫研究針對常用之修補材料配合國外規範進行混凝土相容性試驗，並建立與前幾年期力學性質結果之關係，並完成手冊完

稿。第四年的工作內容包括：

1. 進行修補材料對溫度影響之相關試驗。
2. 針對修補材料現地可能造成之火害情形，進行火害試驗。
3. 完成港灣鋼筋混凝土結構物修復補強手冊完稿。
4. 針對手冊完稿，進行業界教育訓練。

1.3 重要性

依據交通部「重建國際門戶，提升國家競爭力」及「推動永續綠運輸，符合節能減碳」等 2 大施政方向，臺灣地區主要工商港口為達現階段重建臺灣在東亞運輸樞紐地位及再造臺灣 21 世紀競爭力之目的，必須強化其港灣設施之使用效能，以提升其服務能量與品質，方能重塑國際港埠核心價值，並促進地方發展。本研究主要目的係為提升國內港灣鋼筋混凝土構造物的修復或補強技術水準，降低構造物生命週期成本。

由於土地資源的匱乏加上新興工程成本耗大，因此在面臨老化之港灣構造物上，實須瞭解如何正確選擇修補或補強策略，以達到延長服務壽命，提高服務品質，並且降低構造物生命週期。

1.4 工作項目完成程度與說明

本研究條列對應契約書完成程度說明，如表 1-1。

表 1-1 工作項目完成程度資料表

條例項目	完成說明
1. 國內外相關資料之蒐集，包括各種修補材料與修補工法。	已多方蒐集各式相關規範，並彙整完成，以上傳至貴單位伺服器。
2. 進行修補材料性質試驗與修補工法之研究。	各式力學性質試驗方法與修補材料之工法研究，第二、三章詳述。
3. 試體製作：包括實驗室模擬試體（至少 5 種不同修補材料，每種試體 3 個）以及 1 組以上戶外曝曬試體（樑、柱）試體。	室內修補材料基本性質試驗已完成 7 種修補材料，其試驗結果與分析第四章詳述。戶外曝曬試體各組別已完成。
4. 試體觀測內容包括：力學行為的變化、開路電位的變化、透水係數、腐蝕電流分布、體積穩定性、黏結強度。	室內力學性質試驗，對應修補材料基本性質試驗表之試驗需求，已完成黏結強度試驗、乾縮試驗、楊氏係數試驗、抗壓強度試驗、工作性試驗、透水係數試驗、水中磨耗試驗、洛杉磯磨損試驗。開路電位的變化、腐蝕電流分布，試體已灌製完成，須待戶外曝曬試體之曝曬齡期到達再進行。
5. 不同工法之效益評估：依據試體觀測結果，進行應用於港灣混凝土構造物之效益評估或比較分析。	完成之結果如第四章，表 4-20 各尺寸裂縫對應材料配比最終選擇資料表所示。各種材料之效益，仍需待長期觀測資料佐證之。
6. 擬訂港灣鋼筋混凝土構造物修復補強手冊初稿。	如第六章混凝土結構防護與修補材料與技術綱要手冊初稿成果所示。

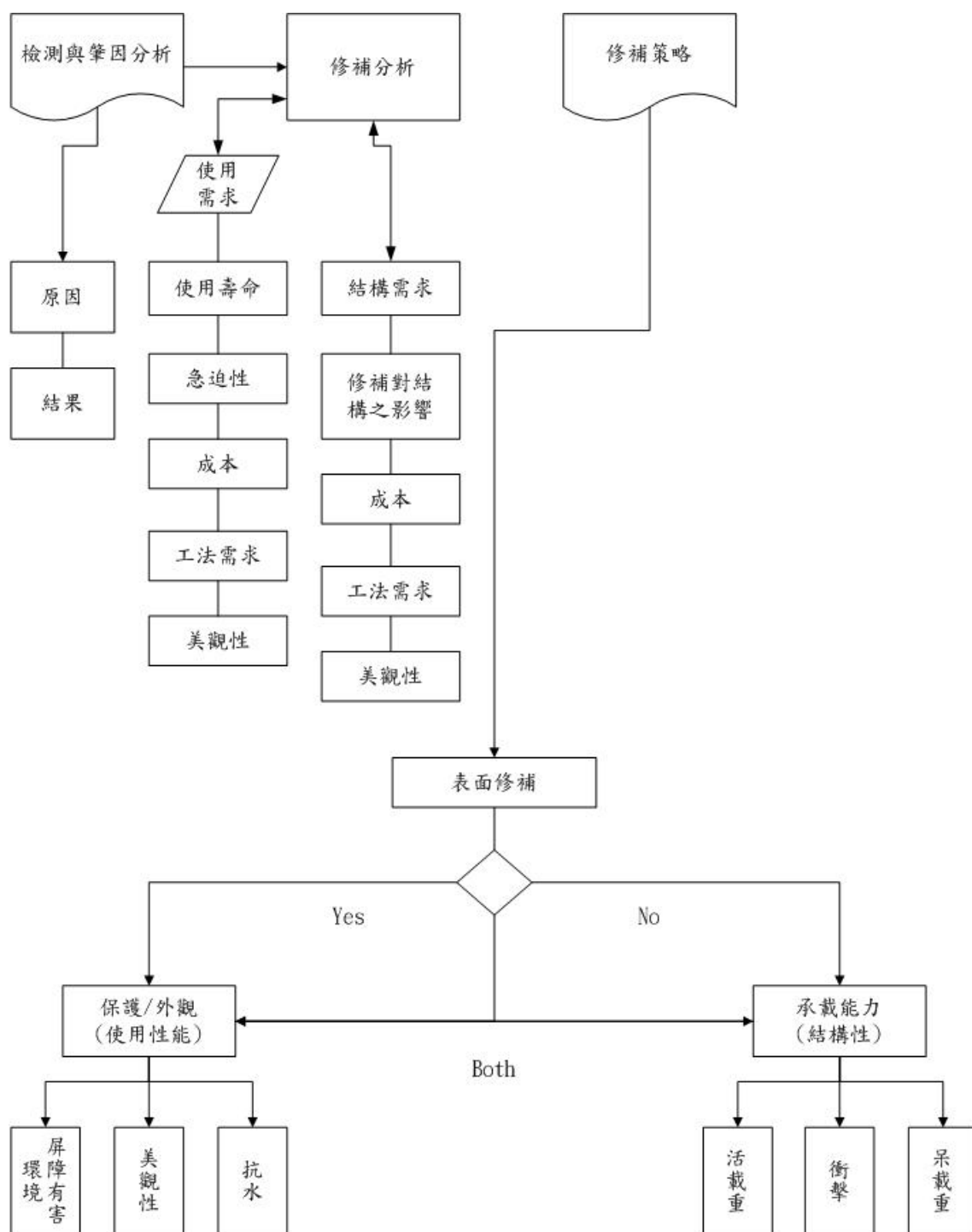


圖 1.1 修補程序流程圖

第二章 文獻回顧

2.1 海洋混凝土結構物的破壞

任何與海洋環境接觸的混凝土結構物都隸屬於海洋混凝土結構物，這包括了鑽油平臺、混凝土樁、跨海大橋、碼頭設施、防波堤等等。這些海洋結構物產生破壞不外乎是因為機械力作用包括潮浪機械力作用、船舶碰撞等，或是因為有害因子侵入混凝土之內，而對於內部的鋼筋產生銹蝕的效果，如氯離子攻擊、硫酸鹽類攻擊等等。

以碼頭結構而言，國內所常用的碼頭包括了重力式碼頭、棧橋式碼頭還有板樁式碼頭。其常見的劣化機制可以整理如下：^[1]

2.1.1 重力式碼頭劣化機制

1. 岸壁結構：因地盤下陷造成上部結構下陷或是傾斜。地震所產生的額外土壤壓力及水壓力超過了原來結構之設計強度。大型船隻碰撞或船舶前端消波球撞擊，造成岸壁產生裂縫、破損、剝落、拱起及下陷。貨碼頭結構沿法線方向產收位移、錯動及傾斜等。
2. 岸肩：因防砂板的破損造成被填土砂流失而引起岸肩的下陷，或因地震力產生破壞或變位，造成岸肩破裂、伸縮縫破損。或因基礎有液化發生造成岸肩下陷、破壞、伸縮縫破損；因波浪力造成岸肩鋪面破損而致使路基外露。
3. 背填土砂：可能的破壞模式為土壤液化產生沉陷，或因結構體的破損產生被填土砂發生漏砂及淘空的現象。
4. 碼頭基礎：可能產生液化沉陷或因波浪作用或是船舶推進器的外力而產生淘刷作用。

重力式碼頭構件會產生之劣化異狀見表 2-1 所示：

表 2-1 重力式碼頭各構件產生異狀列表^[1]

構件名稱	構件項目	異狀							
		龜裂	腐蝕	裂縫	剝落	沉陷	傾斜	位移	沖刷
土堤	岸肩	✓	✓	✓	✓	✓			
	壁體	✓	✓	✓	✓		✓	✓	
	法線						✓		
	後線					✓			
海床									✓
附屬設施	車擋	✓							
	繫船柱	✓	✓						
	防舷材	✓							
	吊車軌道		✓					✓	

2.1.2 板樁式碼頭劣化機制^[1]

1. 板樁結構：因經年累積的腐蝕造成板樁的破壞，或因地震力產生額外的土壓力及水壓力，超過了原來結構物之設計強度。大型船隻碰撞或船舶前端消波球撞擊，造成結構岸壁產生裂縫、破損、拱起或下陷。或板樁沿法線方向產生位移及傾斜。
2. 岸肩：因持續的背填料壓密下陷造成岸肩的破壞、因過度的荷重作業使得板樁鋪面產生破損而致使岸肩下陷，因地震力產生破壞或變位造成岸肩破壞；或因背填土砂液化產生岸肩下陷、破壞。
3. 背填土砂：其可能的破壞模式為土壤液化產生沉陷，或因鋼板樁的破損產生背填土砂發生漏砂及淘空現象。
4. 碼頭基礎：可能產生液化沉陷或因波浪作用或船舶推進器的外力產生淘刷現象。

有關於板樁式碼頭各構件可能發生之異狀表列於表 2-2。

表 2-2 板樁式碼頭各構件產生異狀表^[1]

構件 名稱	構件 項目	異狀								
		開孔	龜裂	腐蝕	裂縫	剝落	沉陷	傾斜	位移	沖刷
土堤	岸肩		√	√	√	√	√			
	壁體	√	√	√				√	√	
	法線							√		
	後線						√			
海床										√
附屬設施	車擋		√							
	繫船柱		√	√						
	防舷材		√							
	吊車軌道			√					√	

2.1.3 棧橋式碼頭劣化機制^[1]

1. 基樁結構：因經年累月腐蝕造成基樁的破壞、因地震力所產生的額外水準力及水壓力，超過結構原有之設計強度，造成基樁產生破損、斷裂及挫曲；或因基礎土壤滑動或大型船隻碰撞，致使基樁產生位移及側傾。
2. 上部結構：因地震力產生破壞或變位造成碼頭格梁接樁破壞，碼頭單元接樁鬆動，或因波浪作用將碼頭面掀起。
3. 碼頭基礎：可能產生液化沉陷，或因波浪力作用或船舶推進器的外力而產生淘刷作用或護坡塊石沖刷以及滑動。

針對棧橋式碼頭構件可能發生之異狀表列於表 2-3。

表 2-3 棧橋式碼頭各構件產生異狀表^[1]

構件 名稱	構件 項目	異狀									
		損 壞	防蝕 破壞	龜裂	腐蝕	裂縫	剝落	沉陷	傾斜	位移	沖刷
面版	梁			✓	✓	✓	✓				
	岸肩			✓	✓	✓	✓	✓			
	岸肩底部			✓	✓	✓	✓				
	冠牆			✓	✓	✓	✓	✓			
	法線								✓		
	後線							✓			
墩柱			✓	✓	✓	✓	✓		✓		
拋石護坡		✓									
海床											✓
附屬 設施	車擋			✓							
	繫船柱			✓	✓						
	防舷材			✓							
	吊車 軌道				✓					✓	

2.2 鋼筋混凝土結構物劣化

2.2.1 鋼筋混凝土劣化原因

鋼筋混凝土會遭受到自然界化學及物理性質等作用而產生裂化，其中又大致可分為 1.自然因素 2.環境因素 3.人為因素等，劣化原因依種類可概分如下^[2]：

1. 自然因素：

(1) 溫度效應：硬固混凝土結構如長時間受到日夜溫度變換，有可

能產生裂化之現象，而混凝土澆置時如未考慮到水化之散熱情況時，也很容易產生龜裂之情形。

- (2) 天然災害：當混凝土承受到一些而外的應力作用，因而產生撓曲、扭曲、裂縫等現象，容易造成結構物整體性的破壞。
- (3) 乾縮、預力損失及潛變：當這些現象產生時會發生內部張力變化，嚴重時會產生裂化的現象。

2. 環境因素：

- (1) 高鹽害環境：當混凝土中氯離子含量超過一定濃度之後，即使在 pH 值很高的環境中，鈍態保護膜亦可能被破壞^[3]。
- (2) 侵蝕性環境：排放具有侵蝕性化學物質，如廠房排放廢水。
- (3) 酸性環境：混凝土內水化後產物有氫氧化鈣，大約佔全部比例的 24%，而氫氧化鈣所產生的高鹼環境能使得鋼筋表面產生鈍態保護膜，但當混凝土長時間在酸性環境中，混凝土會因碳化作用逐漸轉為中性，會降低結構物的強度及鋼筋防蝕能力。

3. 人為因素：如設計不當、人為破壞、施工不良等等。

2.2.2 裂縫形成的原因

近幾年來混凝土結構物普遍使用。混凝土硬化後有可能會產生以下裂縫，如溫度裂縫、乾縮裂縫、硫酸鹽侵蝕作用和結構受外力及鹼性骨材反應產生之裂縫。而當混凝土在澆置後在凝結過程中產生的裂縫，一般稱為早期裂縫。早期裂縫大致上包括了模板變形之裂縫、沉陷收縮裂縫；荷重及震動造成之裂縫，收縮性裂縫等等^[4]。

2.2.3 鋼筋腐蝕對混凝土安全性與耐久性之影響

鋼筋具有良好的延展性、韌性及抗拉應力的特性，但缺點就是怕高溫及易氧化腐蝕。而普通混凝土係由水泥、粒料、加水拌合而成具

有良好的可塑性及包覆效果，且硬化後抗壓強度會隨時間逐漸變強，由於混凝土是屬於一種脆性材料，因此抵抗拉應力的性能相對較弱。因此鋼筋與混凝土結合為一體亦可以彌補彼此的不足，成為一種同時具備耐久性、剛性、耐震性、整體性、高強度、耐火性、可塑性等多項性能的材料^[5]。

臺灣位處亞熱帶區且四面環海，常年氣候高溫潮濕^[6]，為高腐蝕地區，混凝土劣化後會對鋼筋失去防護的能力，會讓結構物被氯離子及其他有害物質侵入導致混凝土的碳化，破壞鋼筋表面的鈍態保護膜，而鋼筋腐蝕後的體積會膨脹到 2~7 倍^[7]，嚴重者可能會導致結構物的剝落或大塊剝落的情況，嚴重影響到結構物的耐久性及安全性。

2.2.4 鋼筋的腐蝕機理

自然界中金屬大多以穩定的狀態存在，當氧化電位較高的金屬元素，為了達到穩定的平衡狀態，就會釋放出電子而與其他元素形成能量較低穩定性化合物，才能存在於自然界中，也就表是金屬腐蝕的驅動力 (driving force)；此外腐蝕作用的產生，需滿足以下五種條件^[8,9]：

1. 電解液(electrolyte)：電化學腐蝕又稱濕腐蝕(wet corrosion)，必須在潮濕或有水氣的情況下，氧化還原才會順利進行。
2. 電流(corrosion current)：腐蝕的進行要有足夠的電子束才能使反應順利進行，即需要有足夠的電動勢才能驅動電子形成電流。
3. 導電通路(conducting path)：電化學的氧化還原反應均須要有電子的轉移，因此有良好的導電通路腐蝕現象才能順利進行。
4. 陰極(cathode)：得到電子而產生還原反應的電極



5. 陽極(anode)：釋放出電子，產生氧化反應的電極



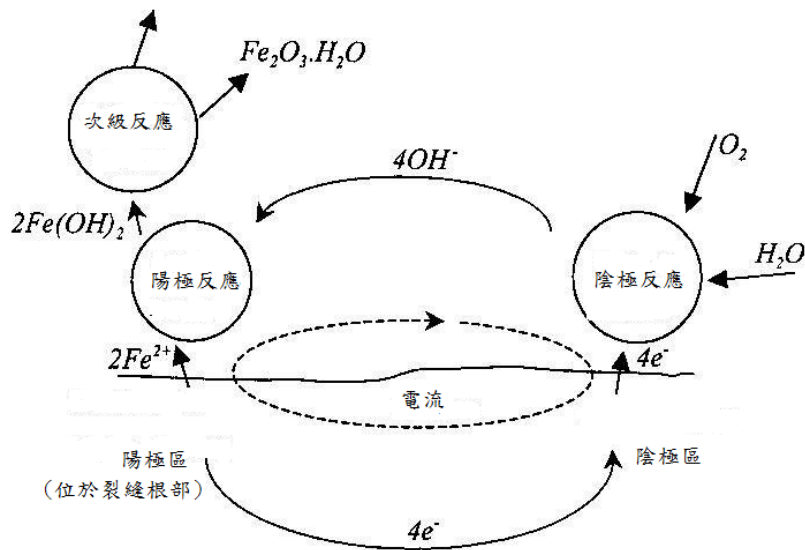


圖 2.1 鋼筋腐蝕機理示意圖^[10]

資料來源：Beeby，1978)

2.2.5 鋼筋混凝土劣化之現象

鋼筋混凝土劣化現象甚多，加上多項裂化原因交互作用下，所形成之劣化現象有以下幾項。

1. 裂縫(cracking)
2. 鋼筋鏽蝕(reinforcing steel corrosion)
3. 剝落(scaling)
4. 大面積剝落(spalling， pothole)
5. 白華(壁癌)(efflorescence)
6. 蜂窩(honeycombs)
7. 結構傾斜或位移(decline or displacement)
8. 磨蝕(abrasion)
9. 撞損(collision damage)
10. 磨損(wear)

2.3 鋼筋混凝土結構物修復與補強

2.3.1 混凝土結構物修補材料

過去提到之一般混凝土結構物劣化之受損，主要為混凝土開裂及大塊混凝土等兩類^[11]。凡修補材料具有良好的工作性，與舊材料混凝土間能有效結合，高於舊混凝土之力學行為，基本上可滿足上述 3 項條件，即認定為可做為混凝土結構物修補材料^[12]。而修補材料根據日本土木學會^[13]可概分為九大類：

1. 混凝土表面塗層材料(concrete surface coating materials)。
2. 有機裂縫注入修補材料(organic crack injecting repairing materials)。
3. 水泥質系裂縫注入修補材料(cement crack injecting repairing materials)。
4. 高分子(聚合物)改質水泥質系裂縫注入修補材料(polymer modified cement crack injecting repairing materials)。
5. 有機灌漿修復或補強材料(organic grouting repairing or strengthening materials)。
6. 表面滲透修復材料(surface penetrants for concrete structures)。
7. 補綴修復材料(patching repair materials)。
8. 高分子(聚合物)改質水泥質系灌漿修復或補強材料(polymer modified cement grouting repairing or strengthening materials)。
9. 水泥質系灌漿修復或補強材料(cement grouting repairing or strengthening materials)。

而根據文獻^[14]對於常用修補材料之性質總整如表 2-4，而依照^[14]修補材料之組成份可以包括如表 2-5 所示之材料，其效果如表中所述。使用於表面層(overlay)之修補材料依照各種不同使用性如表 2-6。

表 2-4 常用:修補材料之性質總整

材料	成份					應用要求				材料性質					註解			
	膠結材	添加物	添加劑	厚度限制 in/cm	澆注溫度 F/C	養護	乾縮	熱膨脹係 數	抗壓強度(psi/MPa)				彈性模數 (psi/MPa)	透水係數 (混凝土 =10)		抗凍融能 力	不重降品 質	效熱
									1 hr	1 Day	3 Days	28 Days						
波特蘭水 泥砂漿	波特蘭 水泥		減水劑、 輪流劑	1.5-4/ 3.8-10	40-90/5- 32	Wet 7 days	中度	與基材 相等	0	650 /4.5	2500 /17.2	5000 /34.5	3.4x10 ⁶ / 2.3x10 ⁶	9	好	中度	低	
波特蘭水 泥混凝土	波特蘭 水泥		減水劑、 輪流劑	>1.75/3. 0	40-90/5- 32	Wet 7 days	低	與基材 相等	0	650 /4.5	2500 /17.2	5000 /34.5	3.8x10 ⁶ / 2.6x10 ⁶	9	好	無數據	低	
微砂灰改性 波特蘭水 泥混凝土	波特蘭 水泥	微砂灰	高性能減 水劑、輪 流劑	>1.25/3. 0	40-90/5- 32	Wet 7 days	低	與基材 相等	0	3000 /20.7	4000 /27.6	7500 /51.7	4x10 ⁶ / 2.8x10 ⁶	6	好	好	低	
乳膠改性波特 蘭水泥混凝土	波特蘭 水泥		乳膠、 丁基橡膠 (SBR)	0.25-1.5 /0.6-3.8	45-95/7- 39	Wet 3 days	低	與基材 可相容		1500 /10.3		5000 /34.5	2.5x10 ⁶ / 1.7x10 ⁶	5	優	無數據	低	
高分子改性波 特蘭水泥砂漿 並使用非重降 填充料	波特蘭 水泥	非重降填 充料	壓克力乳 膠	>0.75/1. 0			中度	與基材 可相容								優	中度	
磷酸鹽水 泥混凝土	磷酸鹽 水泥			>3.0/7.6	50-100/1 0-40	Sheet 45 min-2day s	中度	與基材 相等	2000 /13.8	6400 /44.1	7000 /48.3	8400 /57.9	3.2x10 ⁶ / 2.2x10 ⁶	9	優	低	高	ACI 308R-23
預拌精骨 材料混凝土	波特蘭 水泥	卜作嵐材 料	塑性劑 (fluidif ier)	0.13-0.3 8/0.4-1. 2	40-90/5- 32	Wet 7 days	極低	與基材 相等	0	500 /3.4	2250 /15.5	4500 /31	3.8x10 ⁶ / 2.6x10 ⁶	10	好	無數據	低	ACI 503.4
環氧樹脂砂漿	環氧樹脂			0.25-0.5 0/0.6-1. 3	50-90/10 -32	4hrs-2 days	低	混凝土之 1.5-5 倍				12000 /82.7	2.2x10 ⁶ / 1.5x10 ⁶	1	優	中度	高	在陽照區 域，蒸氣可 能導致問題
甲基丙烯酸甲 酯(MMA) 混凝土	壓克力 樹脂			>0.5/1.3	20-120/- 6 50	1hr-6hr	中度	混凝土之 1.5 5 倍	4000 /27.6	12000 /82.7		12000 /82.7	3x10 ⁶ / 2x10 ⁶	1	優	無數據	高	
噴凝土	波特蘭 水泥	卜作嵐 材料	減水劑、 速凝劑、 乳膠		40-90/5- 32	Wet 7 days	中度	與基材 相等	0	800 /5.5	3500 /24.1	5000 /34.5	3.8x10 ⁶ / 2.6x10 ⁶	6	好	無數據	低	ACI 508R-90

乾縮: 低: <0.05%; 中度: 0.05%-0.1%; 高: >0.1%

註釋: 本表中數字因製造廠商會有所差異, 本表僅為比較用

表 2-5 修補材料之組合成分

成分	說明描述	效益、益處
膠結材	膠結材是一種將所有填充料聚集在一起，形成複合材料。黏結材料包括：波特蘭水泥、其它的水硬性水泥、壓克力樹脂。	波特蘭水泥用於最一般的維修工作。
細粒料	粒料用於減少膠結材的體積，提高力學行為。 細粒料也許可以另外增加較大粒境的粒料。	適當的細粒料級配可以減少膠結材用量及乾縮。 特殊粒料可以提高耐磨性。
粗粒料	粗粒料更有效的減少膠結材的總體積，比一般乾燥的細粒料更能提高力學行為。	粗粒料降低乾燥收縮。 特殊粒料用於增強耐磨性。
特殊填充料	用於填充粗細骨材的剩餘空隙。 某些填充料(如飛灰、微矽灰)以取代部分水泥。 填充料也可以增加內聚力。	微矽灰可以增加強度，降低滲透性。
高分子改性	高分子改性是用來提高修補材料的性能(質)。 乳膠(聚丁苯乙烯橡膠)是最常見的。 其他改性包括壓克力樹脂、聚乙烯醋酸鹽類(Polyvinyl Alcohol，簡稱 P.V.A.)及液態環氧樹脂。	一些高分子增強了修補材料的性能。 乳膠是用來降低滲透性，提高與基材的黏結強度，和減少彈性模數。
複合纖維	合成纖維及鋼纖維用來增強修補材料的拉伸強度及韌性。	增強纖維是為了預防控制收縮開裂。 鋼和某些塑料纖維，提高了衝擊韌性及耐磨性。
化學改性	多方面改姓是為了增加或改變修補材料的性質。 包括了:加速劑、緩凝劑、補償收縮添加劑，減水劑，流動性劑、擴張劑、輸氣劑。	使用改性允許控制一些性質和固化的未固化的材料。
修補材料	修補材料是一種混合膠結材、粒料、填充料等混合而成。	材料的設計應盡量簡單。 不要使用更多的成分超過實際需要。越複雜的材料一般會導致更多的問題。

表 2-6 表面層修補材料在各種環境之適用性

	低坍度密度混凝土 (LSDC)	低水灰比混凝土 (LW/C)	乳膠改性混凝土 (LMC)	微矽粉改性混凝土 (SFC)	波特蘭水泥橋面表層膜	高分子混凝土 Epoxy,MN A,PC)	備註
厚度: 0.125"-0.75"			✓			✓	
0.75"-2"		✓	✓				
2"-3"	✓	✓	✓	✓			
>3"	✓	✓	✓	✓	✓		
重建新坡度	✓	✓	✓	✓	✓	✓	改善排水。
磨損表面	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
混凝土及鋼筋	✓	✓	✓	✓	✓	✓	最大程度減少滲透及擴散。
橋面防水					✓		包括裂縫及施工縫。
使用(存放)於表面修補	✓	✓	✓	✓			
靜荷重結構							加強上部結構是必要的。
整體試的板	✓	✓	✓	✓		✓	現行橋面應準備適當的膠結材。
覆蓋鋼筋: 鋼筋墊	✓	✓	✓	✓	✓		對於高碰撞條件。
鋼纖維					✓		控制縮性收縮。
合成纖維	✓	✓	✓	✓		✓	
無	✓	✓	✓	✓		✓	
兼容性: 彈性模數	✓	✓	✓	✓			
滲透底層	✓	✓		✓	✓		

而中國土木水利工程學會出版的混凝土工程施工規範與解說^[15]對於修補材料之選用有以下建議：

1. 混凝土修補：較深或較大之蜂窩、露石和露筋之缺陷修補，應在不影響構造物之結構強度下，鑿去薄弱的混凝土與特別突出的骨材顆粒，然後用鋼刷、高壓空氣或壓力水清理表面，再用與原混凝土相同配比的混凝土確實填補搗實之。
2. 水泥砂漿修補：表面不平整、蜂窩、麻面、露筋或石窩等面積較小且數量不多之缺陷，可用與原混凝土相近之水泥砂漿修補；在修補前，有缺陷及其周圍之軟弱部份應予鑿除至堅實的混凝土面。
3. 修補材料：填充材料包括混凝土材料及混凝土填加材料。黏結材料包括水泥及高分子粘結劑。
4. 其他材料修補：表面缺陷亦可採用下列方式修補，但須提修補計畫經監造者認可：

(1) 高分子粘結劑修補

(2) 填塞材修補

(3) 表面塗料修補

表面缺陷亦可用高分子粘結劑以下列方式修補，但須提修補計畫經監造者認可：

(1) 表面塗敷修補

(2) 灌漿修補

2.3.2 混凝土修補材料選擇

混凝土結構物的修復與防護方法大約可概分為修補原理、正確的破壞診斷、材料性能、材料品質控制與現場施工品質控制等等。而依據材料承載性質不同有以下表示如表 2-7^[14]。依照材料暴露情況不同也

有不同的性質，大致上可分為空氣接觸、溫度條件、濕度條件等，詳細如表 2-8^[14]，若考量到體積變化的情況詳細說明如表 2-9^[14]，若考量為設計之性質詳如表 2-10^[14]，考量外觀性質請參照表 2-11^[14]，考量外部負載性質詳細說明如表 2-12^[14]。

表 2-7 力學性質考量

目的 (性能要求)	選擇錯誤材料的結果 (不良反應)	特性	應該避免
基材的 鍵結力	黏結損失 剝落 修復分離的基材	黏結拉力， 低應力	高應力造成的 熱不相容性，乾 縮
設計承 載之結 構	不如預期載重，過分 依靠基材或修復材料	彈性與基材 的彈性模數 相等	相較於基材有 著較低或高的 彈性模數
	最先承受載重，但隨 著時間，在潛變變形 之下修補遲緩	極低的壓縮 潛變	高壓縮潛變
	乾縮造成物質損失 量，降低負載抗壓能 力	乾縮極低	收縮

表 2-8 暴露環境考量

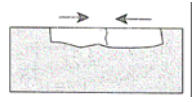
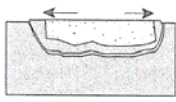
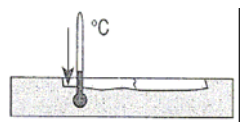
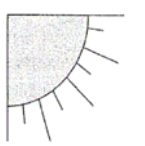
目的(性能要求)	選擇錯誤材料的結果 (不良反應)	特性	應該避免
溫度變化 	因修復材料造成收縮應力的裂縫。 	與基材相等的熱膨脹係數。	與基材不相等的熱膨脹係數。
	壓縮應力使得基材造成剝落。 	與基材相等的熱膨脹係數。	與基材不相等的熱膨脹係數。
修補材料局部的溫度變化	收縮應力造成修復材料的開裂。 	再放置與養護時較低的放熱。	再放置與養護時較高的放熱。
空氣氣體	濕度條件：鋼筋腐蝕，水泥基材分解。 	表面或內部的低滲透性，無裂紋。	高滲透性，使得修復材料的開裂。
化學接觸 	濕度條件：鋼筋腐蝕。 	低滲透性，在表面或內部無裂紋。	高滲透性，使得修復材料的開裂。
	濕度條件：水泥基材分解。 	在表面或內部的物質具有抗化學性。	缺乏耐化學性。
紫 外 線 照 射 	修補材料力學性能的變化。	表面抗高 UV。	抗低 UV。
濕度條件，飽和 	凍融循環：水泥基材。分解	表面或內部的低滲透性。	高滲透性。
濕度條件	內部水分的變化。 	低滲透，低乾縮。	高滲透，高乾縮。

表 2-9 體積變化考量

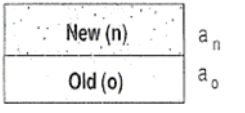
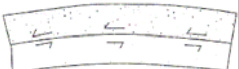
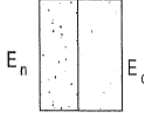
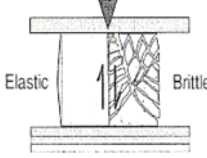
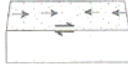
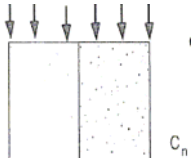
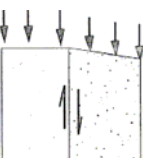
熱膨脹係數(α)：由於溫度的變化透過均勻分佈的材料，而根據新舊材料之間，使得發生下面的壓力關係。 	$\alpha_n = \alpha_o$ 沒有應力發生。 假若 $\alpha_n > \alpha_o$ 或 $\alpha_n < \alpha_o$ 剪黏結是受壓力作用的。 
彈性模數(E)：給定一個均勻分布載重，根據下列新舊材料之間，使得發生下面的壓力關係。 	假若 $E_n = E_o$ 沒有應力發生。 若 $E_n > E_o$ 或 $E_n < E_o$ 剪黏結是受壓力作用的。 
乾縮(S_n)：假設舊材料已經出現穩定的乾縮量，而新材料的乾縮將會影響到舊材料，發生下列壓力關係。 	若 $S_n = S_o$ 沒有應力發生。 若 $S_n > S_o$ 或 $S_n < S_o$ 剪黏結是受壓力作用的。 而負載使得修補減少，修補材料呈現張力。 
潛變(C_n)：假設舊材料已經有穩定的潛變量，而根據新材料的潛變會發生下列壓力。 	若 $C_n = C_o$ 沒有應力發生。 若 $C_n > C_o$ 剪黏結是受壓力作用的。 

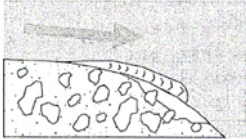
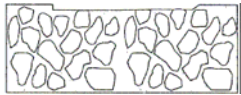
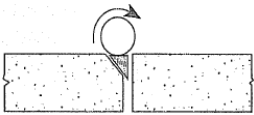
表 2-10 設計性質考量

目的(性能要求)		特性	應該避免
施工性	開始服務時間	發展修補強度	發展低強度
	流動性	高坍度	低坍度
		小粒料，圓形	大粒料，菱角形狀
	不垂流	高內聚力，高握裹力	低內聚力，低握裹力
	遺忘(人為疏失)	配方簡單	複雜配方

表 2-11 外觀考量

目的 (性能要求)	選擇錯誤材料的結果 (不良反應)	特性	應該避免
外觀	乾縮導致表面裂縫	低乾縮，表面伸縮膜	高乾縮
	塑性沉降導致表面裂縫	低放熱	高放熱
		在澆注期間減少低表面浮水	再澆注期間減少過量之表面浮水

表 2-12 外部負載考量

目的(性能要求)	選擇錯誤材料的結果(不良反應)	特性	應該避免
流動液體	表面沖蝕 	高密度	低密度
		高抗壓	低抗壓
		高抗拉伸	低抗拉伸
流動液體和懸浮固體	表面的沖蝕及磨耗	高密度	低密度
		高抗壓	低抗壓
		高抗拉伸	低抗拉伸
車輪	表面磨耗損傷 	高密度	低密度
		高抗壓強度	低抗壓強度
衝擊 	在接縫邊緣的剝落	高抗拉伸、抗壓、黏結強度	低抗拉伸、抗壓、黏結強度
	剝落	高抗拉伸強度，內部的拉伸鋼筋	低抗拉伸強度
		高抗壓強度	低抗壓強度
		低彈性係數	高彈性係數
	黏結損壞	高黏結強度，對基材的張力錨定	低黏結強度

2.3.3 混凝土結構物修補工法

關於混凝土結構之修補方式，主要有以下幾種規定與原則^[15]。

一般規定：混凝土拆模後，若表面有裂縫、麻面、蜂窩、空鼓、孔洞、露筋、石窩及不平整等表面缺陷時，承包商須採用經同意之方式，儘快完成修補；情況嚴重者須會同監造者、設計者等協商辦理。修補後之表面顏色應與原混凝土接近，修補部份不得脫落剝離或與原混凝土間產生隙縫。

修補方式：

1. 修補前準備：應在不影響構造物之結構強度下，鑿去薄弱的混凝土與特別突出的骨材顆粒，然後用鋼刷、高壓空氣或壓力水清理表面，並依照擬使用之黏結劑特性保持乾燥或濕潤。
2. 修補：將填充材料與黏結材料均勻混合直接填塞或填入填充材料後再以黏結劑注入，施工應注意施工說明書之說明。
3. 養護：填補之混凝土或水泥砂漿應濕治七日，黏結材料應依其產品說明書保養。

2.3.4 修補之黏結面處理

而新舊材料之間由於材料的使用不同，可能造成如潛變、熱膨脹係數等等的不同，會影響到新舊材料之間的穩定性，對於修補工作的成效至關重要，詳細說明如表 2-9^[14]。而一般黏結面的處理方式，主要分為化學方法及物理方法，化學方法常用的是酸浸蝕法，而物理方面常用的分為噴射處理及機械處理兩類，以下介紹工程上常用的處理方法^[16]。

1. 噴砂法：用噴射機具噴射不同直徑的鋼球或小碎石，透過控制噴射機控制噴射速度與噴射密度，可得到滿意的黏結面處理，如圖 2.2 所示^[16]，但也有機器昂貴的缺點。

2. 高壓水射法：以高壓噴水機製造出噴射水柱，水壓力在70~240MPa，藉以沖掉舊混凝土上殘餘的碎片與弱處，並使得表面有良好的粗糙度，如圖 2.3 所示^[16]。採用此法處理新舊混凝土黏結面，工作效率高，效果顯著，然而機器價格昂貴不易取得。
3. 真空噴砂法：利用真空技術，來形成一種夾雜砂礫的高壓縮空氣噴打待處理面的方法，如圖 2.4 所示^[16]。該方法設備昂貴。
4. 噴蒸汽法：向舊混凝土待處理面噴射高壓蒸汽來處理的一種方法，如圖 2.5 所示^[16]。該方法施工操作危險性較其他方法大，機器價格亦貴。
5. 噴燒法：用可燃性氣體的高壓力火焰噴蝕待處理面方法，此法危險性大，如圖 2.6 所示^[16]。
6. 鋼刷毛法：在所澆置基底混凝土初凝後、終凝前可進行鋼刷毛處理。有些混凝土在12~24h以內，可用鋼刷較容易地劃毛處理其黏結面。對已硬化的舊混凝土的表面處理，鋼刷毛法只能做到輕度的處理，如圖 2.7 所示^[16]。
7. 人工鑿毛法：使用如十字鎬、斧頭、錘等工具進行人工的處理，由於操作簡單，也最為普遍使用，但處理效果仍劣於噴射處理法。
8. 氣錘鑿毛法：使用氣動式鑿毛機械打毛待處理面。
9. 機械切削法：採用特殊機械對待處理面進行切槽打毛等加工。
10. 酸浸蝕法：此法是黏結面處理的一種化學方法，但這種方法不像其它黏結面處理方法那麼可靠，而且酸浸蝕液可能含有氯化物，這些氯化物會腐蝕鋼筋。除非無法採用其他的黏結面處理方法，一般不建議採用酸浸蝕法的。

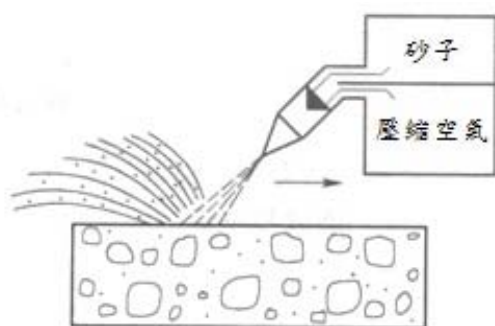


圖 2.2 噴砂法

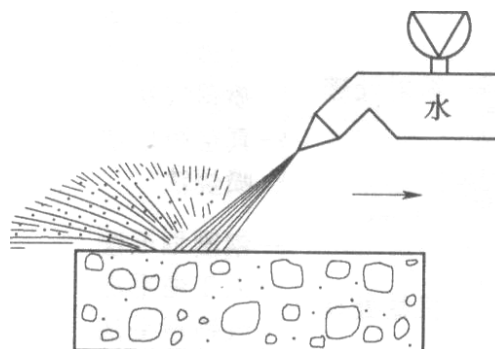


圖 2.3 高壓水射法

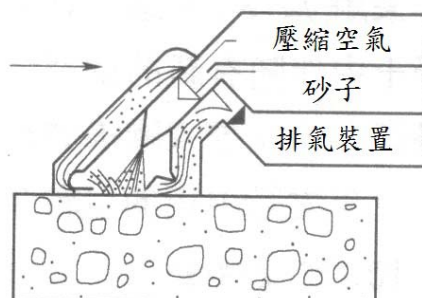


圖 2.4 真空砂噴法

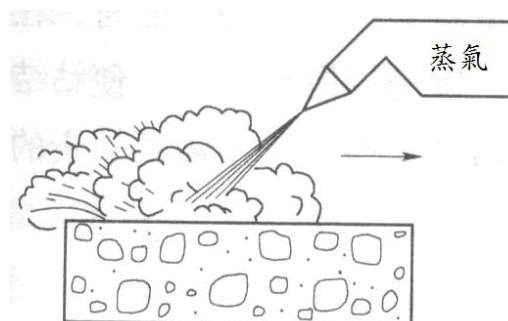


圖 2.5 噴蒸氣法

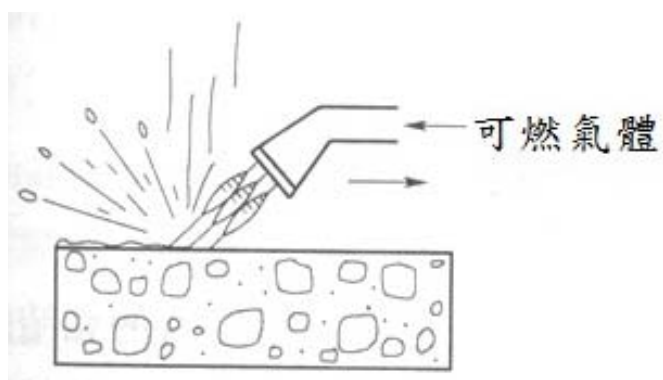


圖 2.6 噴澆法

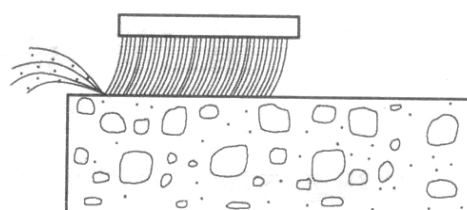


圖 2.7 鋼刷毛法

2.3.5 補強工法

補強主要的目的是透過改善構件承力能力或是增加新的構件(如斜撐)等方式以達到使結構系統內各構件滿足設計之承力行為。一般說起來，補強除了要慎選材料以外，尚須要對結構系統進行應力分析，以確保方案的正確性。以下僅針對常見之補強工法做一簡介：

1. 擴大斷面法(Enlargement)：透過擴大斷面方式，達到增加構件之勁度(stiffness)。此法在設計上應該考量原構件與新增斷面力之傳遞問題，因此常需要以植筋等方式來傳遞。圖 2.8 為擴柱工法示意圖。^[14]

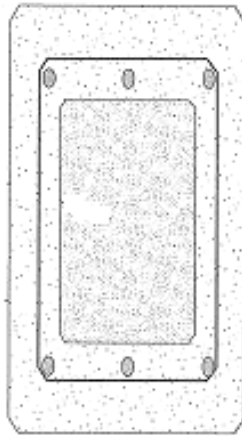


圖 2.8 擴大斷面法示意圖^[14]

資料來源： P.H. Emmons, 1993

2. 複合版工法(composite construction)：此法是以不同之材料貼覆在混凝土外側，以此來改變構件之勁度，最常見之使用材料為鋼材，現也常見使用 FRP 版來貼覆以增加抗震能力。圖 2.9 為複合版工法的示意圖。

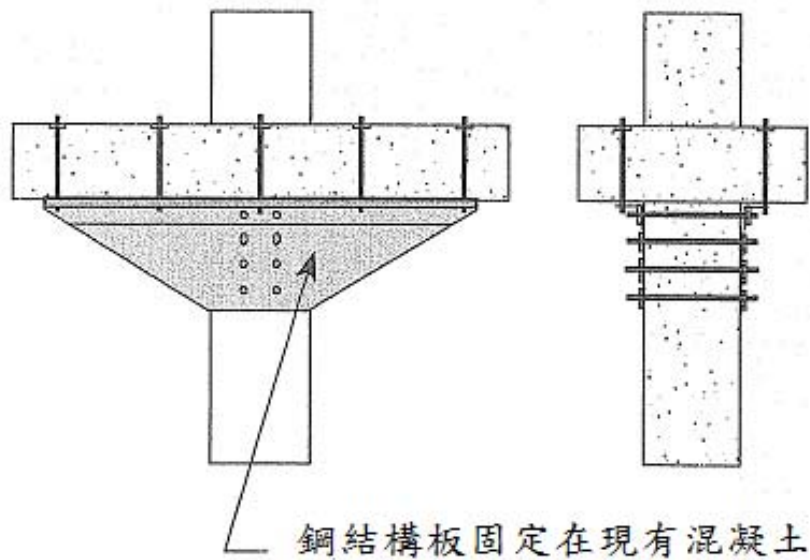


圖 2.9 複合版工法示意圖^[14]

資料來源： P.H. Emmons, 1993

3. 後拉預應力工法(post-tensioning)：此法乃是以施加預力在混凝土上的方式來達到增加構件承力能力的目的或是降低不當之位移現象。此法可以提供主動式(active)的承受力分擔。預力鋼鍵可以內置於混凝土內，或是置於混凝土之外，如圖 2.10 所示。

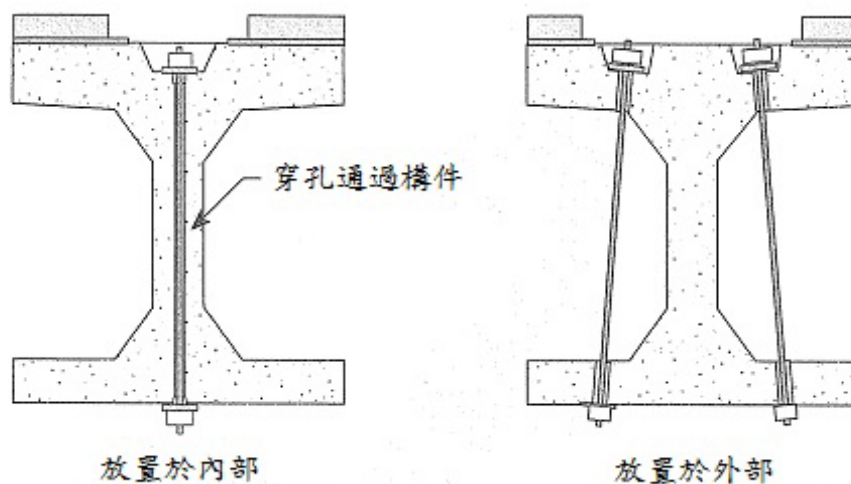


圖 2.10 後拉預應力工法示意圖^[14]

資料來源: P.H. Emmons, 1993

4. 消解應力法 (stress-reducing)：此法乃是消解構件或是結構的過大應力為目的。常見的方式有增設新的接縫(joint)、頂起錯位之構件、安設隔離墊(isolation bearing)。圖 2.11 為使用增設新接縫的方法示意圖。

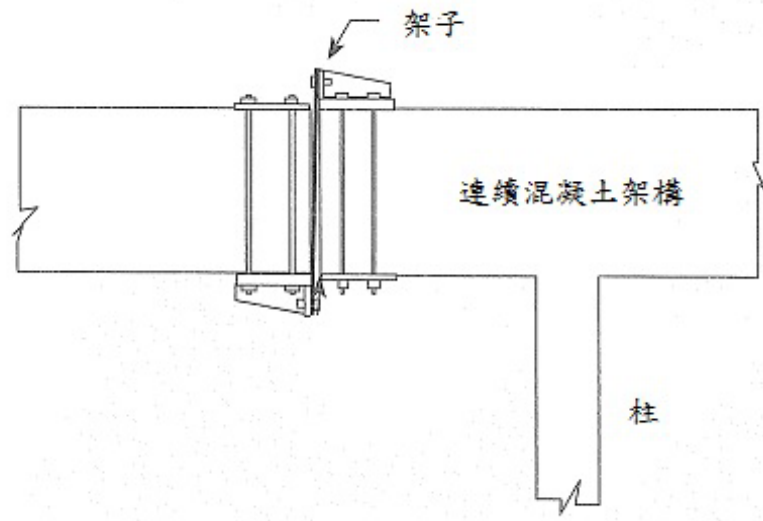


圖 2.11 增設新接縫達到消解應力示意圖^[14]

5. 內部澆注 (internal grouting)：此法是以具有流動性之修補材料灌注入混凝土內，消除不連續面(如裂縫)，達到恢復構件承載能力之目的。此法最常用的修補材料為聚合物材料(polymer)或是水硬性水泥基質材料。圖 2.12 為以內部澆注法修補構件裂縫之示意圖。

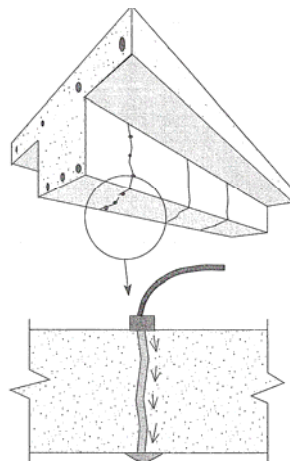


圖 2.12 以內部澆注法修補構件裂縫之示意圖^[14]

6. 外部澆注法(external grouting): 此法是以可流動性之膠體灌注在結構之外，通常是混凝土與基礎土壤間。這樣處理可以避免結構物產生不當沉陷、傾斜而造成破壞。圖 2.13 為外部澆注法之示意圖。

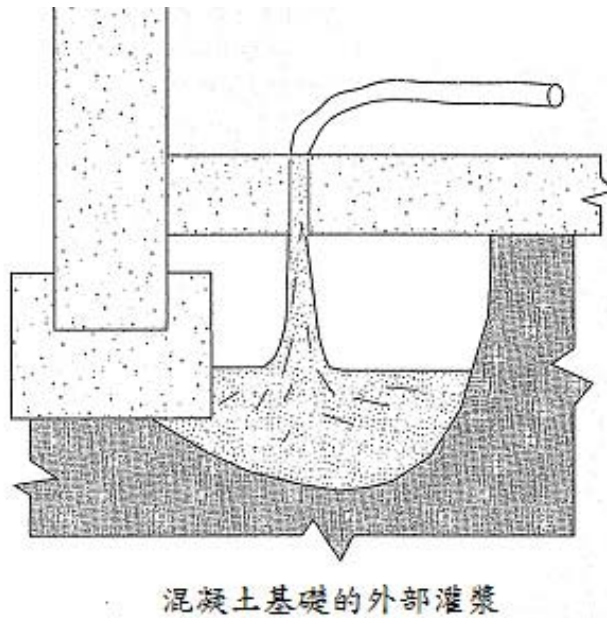


圖 2.13 外部澆注法示意圖^[14]

2.3.6 表面修補澆注工法

針對結構物表面修補澆注工法的部分，大致上可分為下列幾種：

1. 乾擠：首先固定模板，將修補料揉成球型以增加凝聚力，用堅硬物品將修補材料夯實待修補區域，如圖 2.14。

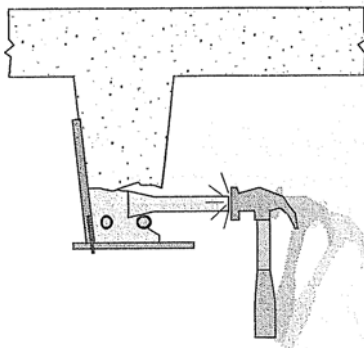


圖 2.14 乾擠^[14]

2. 直接澆置：固定模板後，直接澆置修補材料，如圖 2.15。

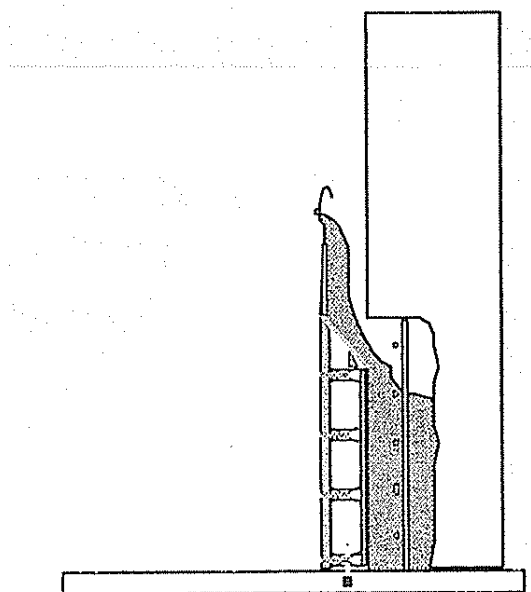


圖 2.15 直接澆置^[14]

3. 預壘混凝土：組立模板將骨材置入，將模板封閉並預留灌漿出入口後使用灌漿機灌漿，如圖 2.16。

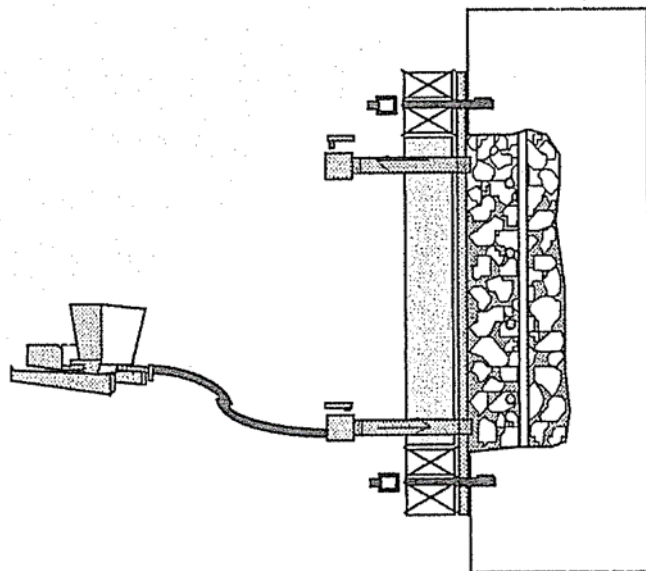


圖 2.16 預壘混凝土^[14]

4. 全深度修補：將修補砂漿澆注進入待修補區域，並使用振動機增加擾動以增加致密性，如圖 2.17。

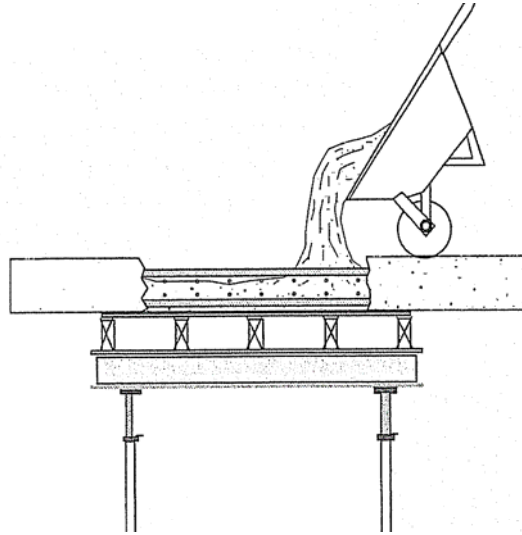


圖 2.17 全深度修補^[14]

5. 汞浦機 (pump)：以模板將待修補區域圍豎起來，並預留灌漿出入口，使用汞浦機注入修補材料，如圖 2.18。

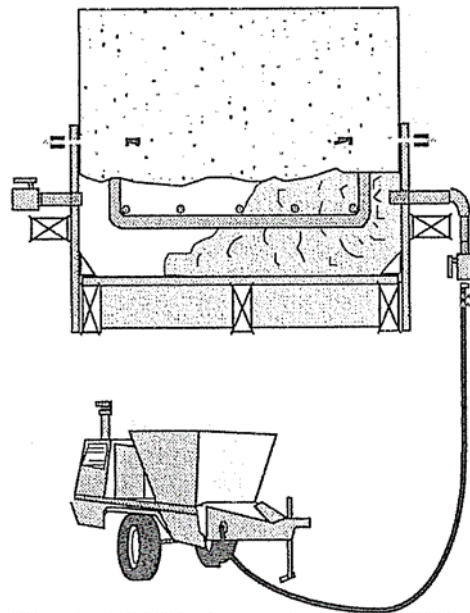


圖 2.18 汞浦機^[14]

6. 乾式噴凝土機：修補材料儲存於灌漿機內，水與修補材料交會於噴嘴處，在進行噴漿的動作，如圖 2.19。

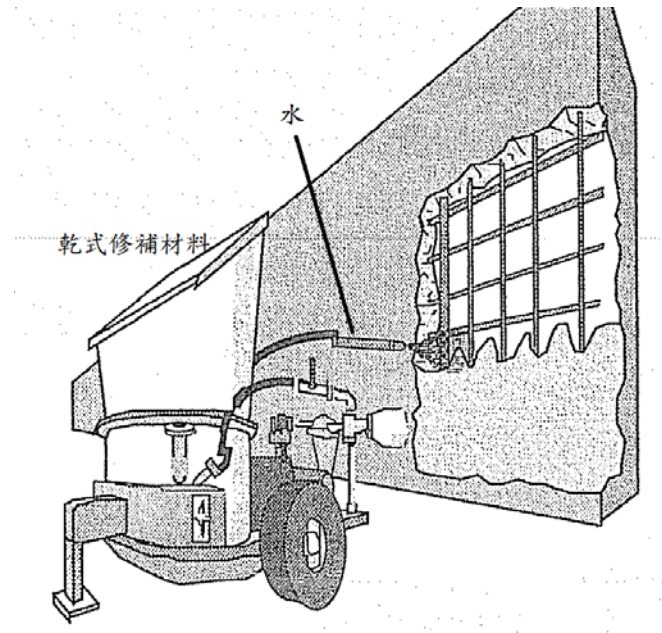


圖 2.19 乾式噴凝土機^[14]

7. 濕式噴凝土機：液態修補材料至於噴漿機內直接進行噴塗修補料的部分，如圖 2.20。

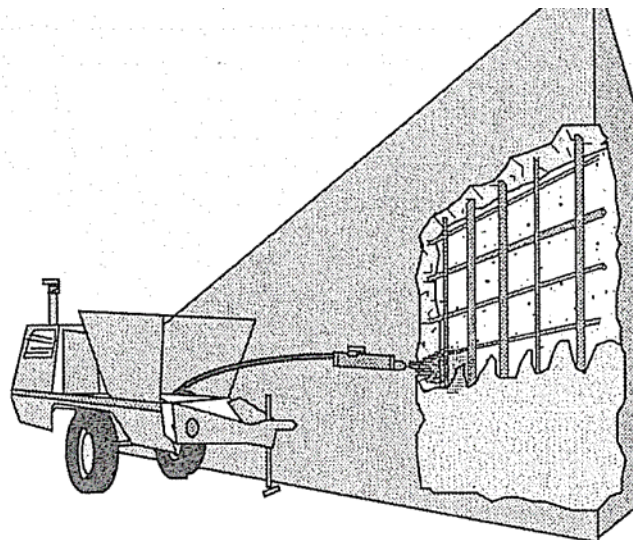


圖 2.20 濕式噴凝土機^[14]

8. 手工鏟抹：適用於較小範圍之修補區域，以鏟刀直接將修補材料填入待修補區域，如圖 2.21。

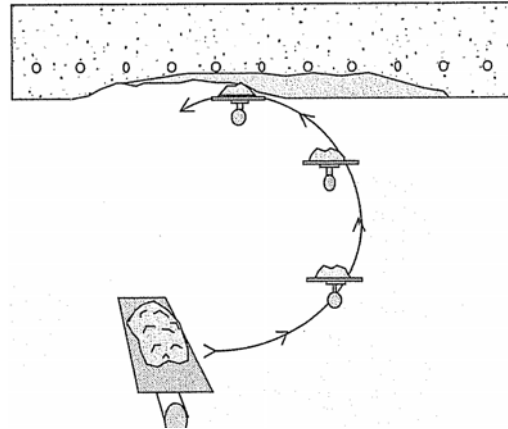


圖 2.21 手工鏟抹^[14]

2.4 保護系統

當採取修補或補強手段時，工程師可以在修補以外，另外考量採用額外的保護系統以使修補後的系統，面對嚴苛的環境作用下，不致於失敗。以下僅對保護系統的方法作一簡介：

1. 表面施作注入性材料(impregnation)：本法乃是在混凝土表面施作一層注入性材料，此等材料會滲入混凝土孔隙。此種材料有三類：
 - (1) 撥水性材料(hydrophobic)
 - (2) 部份充滿(partial filling)
 - (3) 完全充滿 (filling)

這些材料會改變混凝土表面的行為，包括水蒸氣交換(vapor transmission)與液體吸收(liquid absorption)，常見使用此等保護系統的時機為針對氯鹽侵入問題、中性化問題以及凍融問題(freeze-thaw)。

2. 表面施作塗層(coating)：本法乃是在混凝土表面施作一層成膜材料，使之屏避有害因子之侵入。可採用的塗層材料分為有機材料與無機材料。這種方法主要是設計來控制水份吸收、水蒸氣交換以及有害氣體或液體透過表面進入混凝土內。常見之使用時機包括形成氯鹽與二氧化碳障壁、凍融效應保護以及抗化學侵入等。
3. 表面層(surfacing)：在混凝土表面加覆一層較厚之材料，以達保護目標。此種方法目的在改變水氣交換、液體吸收、改善化學物質劣化效應、表面逕流、能量吸收以及表面紋理問題。常見之應用包括路面版表面層、抗化學作用地板、中性化障壁等。使用此法時，應考慮基材開裂之反射效應(reflection of substrate cracking)。
4. 彈性膜(elastomeric membrane)：在混凝土表面施作一層具有彈性之物質。此等彈性膜可以是熱凝固液體(thermal setting liquid)、聚合物養護成形材料(polymer-cured material)。使用彈性膜最主要是為了使混凝土的透水現象降到最低，因此常被使用來做為防水材料。要注意彈性膜與塗層是不同的，因為彈性膜在受力狀況下較可以容許變形而不破壞。
5. 接縫填塞(joint sealing)：此法是在混凝土開口(opening)處以材料覆蓋或是填塞，以達到控制水份交換、能量吸收以及力的傳遞之目的。這種方法在大部份的應用例上要能夠吸收運動(movement)。
6. 澆注：將澆注材料注射進入混凝土內或是在構件周遭以達到防止水份侵入。澆注材料應當予以適當養護以使其硬化，此法主要目的在於堵注水之通路。
7. 以外加電流陰極防護法或是犧牲陽極法改變電化學環境：此法乃是運用電化學方式強迫鋼筋變為陰極，從而阻止鋼筋生鏽。所使用的方法有外加電流陰極防護法以及犧牲陽極法。前者是使用一直流供電器，將鋼筋接於陰極，然後在混凝土外部鋪設陽極(鈦網或石墨材)接於陽極，如此鋼筋因電流方向被強迫成為陰極，達到保護目的。後者是使用活性大於鋼材之金屬材料以導線將它與鋼

筋耦合，如此較活性之金屬自然成為陽極，而鋼材則成為陰極。外加電流陰極防蝕法的初期安置成本較高，不過後期卻不必如犧牲陽極法需要定期更換犧牲陽極材料。

2.5 電化學復健工法(Electrochemical rehabilitation methods)

傳統修補的工法，大多是將已經劣化之混凝土敲除，然後再以修補材料填補，使之與既有材料間形成一複合材料體系。如果將混凝土結構比喻為人體，則此種方法就好比是開刀再縫合的外科手術。然而，對於某些劣化之混凝土，或許敲除並不是最好的方式。可以考慮採用非損傷性的復健工法將以經劣化之混凝土修復。目前最常見的復健工法是電化學復健工法，依其目的可以概分為以下幾類：

1. 電化學除鹽(Electrochemical chloride removal)^[17]：此工法是將鋼筋接於陰極，然後在混凝土表面佈設陽極。使用氫氧化鈣做為電解液，一方面可以增加電導度，另一方面可以降低氯離子離開混凝土後產生氯氣之濃度。選擇恰當之電流密度以及通電時間，則可以將鋼筋附近之氯離子驅離，以達到控制腐蝕之目的。
2. 再鹼化工法(Realkalisation method)^[18]：此工法一樣是將鋼筋將鋼筋接於陰極，然後在混凝土表面佈設陽極。一般使用碳酸氫鈉作為電解液，這是因為碳酸氫鈉進入混凝土內可以形成對爾後二氧化碳侵入時的陷阱(trap)，可以補捉二氧化碳。通電之後，在陰極(鋼筋)附近的電化學反應將產生大量的氫氧根離子，然後往外擴散，恢復混凝土內孔隙水溶液之鹼性。
3. 電化學沉積法(Electrochemical deposit method)^[19]：此工法將鋼筋接於陰極，然後在混凝土表面佈設陽極。使用二價金屬離子的溶液如氫氧化鈣、硫酸鋅，通電後二價金屬離子會因電場作用進入混凝土內。在電流密度越大的地方(有孔隙、裂縫等地方，因導電較好，電流密度會越大)則離子越多，最後會反應形成沉積物。鈣離

子會形成碳酸鈣，鋅離子會形成氧化鋅，鎂離子則會形成氫氧化鎂。沉積物可以堵塞混凝土內之缺陷，形成更密實之微觀結構，從而改善混凝土。此法已經被證實不但可以修補開裂到表面的裂縫，也可以用來修補內部缺陷。不過，此法在實務應用上，尚未有實際案例。

4. 電化學修補鹼骨材反應^[20]：此工法尚屬於實驗室階段。主要是先以電場將鋰離子趕入混凝土內，使之取代鈉與鉀離子，形成之膠體不具有吸水膨脹之特性，因此可以抑制鹼骨材反應繼續惡化。對於之前因為受到鹼骨材反應而產生的開裂若已經形成表面裂縫可以考慮使用傳統工法修補之，而對於僅有內部微裂縫產生時，則可以使用電化學沉積法修補之。

第三章 實驗計畫

3.1 實驗材料

試驗用材料包括水泥、水、高分子聚合物樹脂、滲透結晶材、粗細粒料、鋼筋等，其性質如下：

1. 水：自來水，符合中華民國國家標準(CNS)拌合水要求。
2. 海水：來源為基隆中正區濱海，含鹽含量 3.3%(重量百分比)，即為 0.56 mole/l 氯離子(體積莫耳濃度)。
3. 聚丁苯乙烯橡膠樹脂(SBR)：外觀為牛乳狀液體，化學成分為苯乙烯-丁二烯樹脂(Styrene Butadiene Rubber)，有效固形成份佔 50%，黏度為 1000cps，比重為 1.00。
4. 液狀壓克力樹脂：採用液狀壓克力樹脂，型號為 SA。外觀為牛乳狀液體，化學成分為苯乙烯-丙烯酸樹(Styrene Acrylic resin)，有效固形成份佔 50%，黏度 1600 cps，比重 1.00。
5. 環氧樹脂 (主劑)：外觀透明液體，化學成分為環氧樹脂(Epichlorohydrin-bisphenol A resin)，有效固形成份為 100%，黏度為 11000-15000 cps (Gardner)，比重為 1.15~1.18。
6. 環氧樹脂 (硬化劑)：外觀透明液體，化學成分為 Amid-amine resin (多胺聚醯胺樹脂)，有效固形成份佔 100%，黏度為 200-500 cps (Gardner)，比重為 1.0~1.05，建議用量主劑:硬化劑為 1:4~1:5。
7. 壓克力樹脂乾粉：採用 DM 200 樹脂乾粉，比重 1.4，建議用量為的水泥用量 3%~5%。
8. 水泥：採用臺灣水泥公司所生產的卜特蘭 Type I 水泥，其性質符合 CNS 61 第 I 型卜特蘭水泥之要求，卜特蘭水泥的物性及化性詳列於表 3-1 與表 3-2。

表 3-1 水泥 I 型之物理性質

項目		水泥 I 型
比重		3.15
細度(透氣儀試驗) m^2/kg		362
正常稠度用水量 %		25.8
假凝結 %		87.3
初凝 min		195
終凝 min		290
抗壓試驗 MPa (psi)	3 天	24.83
	7 天	40.69
	28 天	44.25
水泥砂漿空氣含量 (體積比)%		3.23

表 3-2 水泥 I 型之化學性質

項目	水泥 I 型
二氧化矽 (SiO_2) %	21.04
氧化鋁 (Al_2O_3) %	5.46
氧化鐵 (Fe_2O_3) %	2.98
氧化鈣 (CaO) %	63.56
氧化鎂 (MgO) %	2.52
三氧化硫 (SO_3) %	---

表 3-2 水泥 I 型之化學性質(續)

項 目		水泥 I 型
三氧化硫(SO ₃) %	C ₃ A ≤8%	-
	C ₃ A ≥8%	2.01
燒失量(L.O.I) %		1.38
不容殘渣%		0.1
有效鹼類		0.78
(Na ₂ +0.65K ₂ O) %		
氧化鈉 (Na ₂ O) %		0.32
氧化鉀 (K ₂ O) %		0.7
游離氧化鈣 (Free CaO) %		0.76
矽酸三鈣 (C ₃ S) %		49.08
矽酸二鈣 (C ₂ S) %		23.3
鋁酸三鈣 (C ₃ S) %		9.43
鋁鐵酸四鈣 (C ₄ AF) %		9.07

資料來源：臺灣水泥股份有限公司

9. 粗粒料：粗粒料最大粒徑為 20 mm，乾搗單位重 1540 kg/m³，比重 2.6，吸水率 2%，篩分析結果如表 3-3 所示。

表 3-3 粗粒料篩分析

篩號	各篩停留量(g)	停留百分率(%)	累積停留百分率(%)	通過百分率(%)
1"	0	0.00	0.00	100.00
3/4"	225	2.25	2.25	97.75
1/2"	2,185	21.85	24.10	75.90
3/8"	1,400	14.00	38.10	61.90
NO.4	5,075	50.75	88.85	11.15
底盤	1,110	11.10	99.95	0.05
	9,995	99.95	F.M	6.29

資料來源：本研究整理

粗粒料用量 10,000.0 (g)

混凝土基材、純水泥砂漿用細粒料：天然河砂的細度模數為 1.99，比重為 2.25，吸水率 0.3%，篩分析結果如表 3-4 所示。

表 3-4 細粒料(天然河砂)篩分析

篩號	各篩停留量(g)	停留百分率(%)	累積停留百分率(%)	通過百分率(%)
NO.4	0.00	0.00	0.00	100.00
NO.8	20.40	1.36	1.36	98.64
NO.16	67.40	4.49	5.85	92.79
NO.30	257.80	17.19	23.04	79.96
NO.50	728.70	48.58	71.62	28.38
NO.100	381.40	25.43	97.05	2.95
底盤	43.20	2.88	99.93	0.07
	1,498.90		F.M	1.99

資料來源：本研究整理

細粒料用量 1,500 (g)

11. 修補用石英砂：採用石英砂，石英砂之細度模數為 0.84，比重為 2.27，吸水率 0.15 %，篩分析結果如表 3-5 所示。

表 3-5 細粒料(石英砂)篩分析

篩號	各篩停留量(g)	停留百分率(%)	累積停留百分率(%)	通過百分率(%)
NO.4	0	0	0	100
NO.8	0	0	0	100
NO.16	0	0	0	100
NO.30	0	0	0	100
NO.50	50.5	3.38	3.38	96.62
NO.100	1158.9	77.47	80.85	15.77
底盤	286.6	19.16	100	0
	1496		F.M	0.84

資料來源：本研究整理

細粒料用量 1,500 (g)

12. 鋼筋：採用#4 竹節鋼筋，降伏強度 583.5 MPa，極限強度 831.9 MPa。

3.2 實驗變數

修補材料選用依照環境、用途、實驗變數概分為三部分：

第一部分針對混凝土結構物受破壞所產生之小裂縫修補材料進行探討。定義小裂縫其寬度超過 0.2mm，0.4mm(含)以下之間，主要採用純水泥(砂)漿對應兩種水膠比(0.45 及 0.4)，以及環氧樹脂、壓克力樹脂改性水泥漿體、滲透結晶材水泥(砂)漿，進行注射修補作業之修補材料，檢驗其基本性質(黏結能力、抗壓能力、透水性等)。

第二部分針對混凝土結構物受破壞所產生之中裂縫之修補材料進行探討。定義中裂縫其寬度超過 0.4mm，0.8mm(含)以下之間，主要採用材料為壓克力樹脂水泥(砂)漿體、環氧樹脂(砂)漿體、SBR 水泥(砂)漿體、滲透結晶材水泥(砂)漿，進行注射修補作業之修補材料，檢驗其基本性質(黏結能力、抗壓能力、透水性等)。

第三部分針對混凝土結構物受破壞所產生之大裂縫之修補材料進行探討。定義大裂縫其寬度超過 0.8mm，主要採用材料為壓克力樹脂水泥(砂)漿體、環氧樹脂(砂)漿體、SBR 水泥(砂)漿體、滲透結晶材水泥(砂)漿，進行灌漿修補作業之修補材料，檢驗其基本性質(黏結能力、抗壓能力、透水性等)。

3.2.1 修補材料所需檢驗之基本性質

修補材料之基本性質試驗見表 3-6，其實作方法將在 3.4 小節詳述。

表 3-6 修補材料基本性質試驗表

質系	材料	編號	斜剪法	乾縮	潛變	楊氏係數	溫度體積變化	抗壓強度	工作性	透水試驗	水中磨耗試驗	洛杉磯磨損試驗
水泥砂漿		1	◎	◎	◎	◎	◎	◎	流度	◎	◎	◎
高分子樹脂漿體	環氧樹脂漿	2	◎		◎	◎	◎	◎	流度	◎		◎
	壓克力樹脂水泥漿	3	◎		◎	◎	◎	◎	流度	◎		◎
高分子改性水泥砂漿	環氧樹脂改性砂漿	4	◎	◎	◎	◎	◎	◎	流度	◎	◎	◎
	壓克力樹脂砂漿(液狀)	5	◎	◎	◎	◎	◎	◎	流度	◎	◎	◎
	壓克力樹脂砂漿(乾粉狀)	6	◎	◎	◎	◎	◎	◎	流度	◎	◎	◎
	聚丁苯乙稀橡膠砂漿(SBR)	7	◎	◎	◎	◎	◎	◎	流度	◎	◎	◎
無機改性水泥砂漿	XYPEX ADMIX C1000	8	◎	◎	◎	◎	◎	◎	流度	◎	◎	◎

潛變試驗礙於儀器採購，另年度執行。

溫度體積變化將在其他年度研發。3.2.2 配比設計

本部份針對戶外曝曬試體預期裂縫之尺寸，計劃所對應修補材料之配比設計。戶外曝曬試體之設計強度為 3000psi，故修補材料之強度應大於 3500psi；根據本團隊早先之研究資料顯示，修補用砂漿適用於 0.5mm 以下之裂縫，應用流度錐必須在 32 秒以下。中尺寸以上裂縫之補綴，如位置為底面，流度 250% 為佳，應用於牆面必須小於 100%，使用於頂面必須滿足不垂流特性。

本研究所列舉進行之修補材料是參考國內外文獻以及材料廠商建議進行配比，並拉大各類變數之級距進行試驗探討。選用材料原因，

一般型水泥砂漿較其他修補材料成本低廉，環氧樹脂預期在各類力學性質表現上有良好表現。壓克力樹脂拌合完成後，形成薄膜界面，有良好之水分隔絕效果。聚丁苯乙烯橡膠樹脂(SBR)，在抗衝擊方面望有良好成果，滲透結晶材水化反應後，生長之結晶具有良好之隔水能力。固本團隊針對此研究挑選此 8 種材料。

1. 水泥砂漿配比設計：如表 3-7 所示

表 3-7 水泥砂漿配比設計表

選用材料	水灰比	重量比 (水泥:砂)	取代後 水泥用量 (g)	一般砂 (g)	水用量 (g)	流度設計 (%)	28 天強度設計 (psi)
水泥砂漿	0.4	1:2.75	515	1416	206	100%	3000psi 以上
水泥砂漿	0.45	1:2.75	502	1381	226		

2. 滲透結晶材配比設計：如表 3-8 所示

表 3-8 滲透結晶材配比設計表

選用材料	類型	水灰比	修補材 取代百分比	水泥:砂 (重量比)	取代後水 泥用量 (g)	一般 砂 (g)	修補材 料用量 (g)	水用 量 (g)	流度 設計 (%)	28 天強 度設計 (psi)
ADMI X C1000	結晶 滲透 材料	0.5	2%水 泥取代 量	1 : 2.75	490	1375	10	250	100%	3000psi 以上
ADMI X C1000	結晶 滲透 材料	0.45	5%水 泥取代 量	1 : 2.75	475	1375	25	225		
ADMI X C1000	結晶 滲透 材料	0.45	2%水 泥取代 量	1 : 2.75	490	1375	10	225		

3. 壓克力樹脂砂漿配比設計：如表 3-9 與表 3-10 所示

表 3-9 乾粉狀壓克力樹脂砂漿配比設計表

選用材料	類型	水灰比	修補材取代百分比	水泥:砂 (重量比)	取代後水泥用量 (g)	石英砂用量 (g)	修補材料用量 (g)	水用量 (g)	流度設計 (%)	28 天強度設計 (psi)
SA	壓克力樹脂砂漿	0.4	5%水泥取代量	1:1	805	847	42	339	100%	3,000psi 以上
SA	壓克力樹脂砂漿	0.4	5%水泥取代量	1:0.5	990	521	52	417		
SA	壓克力樹脂砂漿	0.4	10%水泥取代量	1:1	749	832	83	333		
SA	壓克力樹脂砂漿	0.5	5%水泥取代量	1:1	742	782	39	391		

表 3-10 液態狀壓克力樹脂砂漿配比設計表

選用材料	類型	水灰比	修補材取代百分比	水泥:砂 (重量比)	取代後水泥用量 (g)	石英砂用量 (g)	修補材料用量 (g)	水用量 (g)	流度設計 (%)	28 天強度設計 (psi)
SA	壓克力樹脂砂漿	0.4	5%水泥取代量	1:1	805	847	82	297	100%	3,000psi 以上
SA	壓克力樹脂砂漿	0.4	5%水泥取代量	1:0.5	990	521	102	365		
SA	壓克力樹脂砂漿	0.4	10%水泥取代量	1:1	749	832	166	250		
SA	壓克力樹脂砂漿	0.5	5%水泥取代量	1:1	742	782	78	352		

4. 壓克力樹脂水泥漿體配比設計:

選用材料	類型	水灰比	修補材取代百分比	取代後水泥用量(g)	修補材料用量(g)	外加水(g)	流度設計(sec)	28 天強度設計(psi)
SA	壓克力樹脂水泥漿	0.4	5%水泥取代量	2,850	150	1,200	流度錐 83sec 以下	3,000psi 以上
SA	壓克力樹脂水泥漿	0.4	10%水泥取代量	2,700	300	1,200		
SA	壓克力樹脂水泥漿	0.5	5%水泥取代量	2,850	150	15,00		

5. 聚丁苯乙烯橡膠樹脂(SBR)砂漿配比設計:如表 3-12 所示

表 3-12 聚丁苯乙烯橡膠樹脂(SBR)砂漿配比設計表

選用材料	類型	水灰比	修補材取代百分比	水泥:砂(重量比)	取代後水泥用量(g)	石英砂用量(g)	修補材料用量(g)	水用量(g)	流度設計(%)	28 天強度設計(psi)
聚丁苯乙烯橡膠 SBR	SBR 砂漿	0.2	5%水泥取代量	1:1	475	500	25	100	100%	3,000psi 以上
聚丁苯乙烯橡膠 SBR	SBR 砂漿	0.2	5%水泥取代量	1:0.5	475	250	25	100		
聚丁苯乙烯橡膠 SBR	SBR 砂漿	0.2	10%水泥取代量	1:1	450	500	50	100		
聚丁苯乙烯橡膠 SBR	SBR 砂漿	0.3	5%水泥取代量	1:1	475	500	25	150		

6. 環氧樹脂樹脂砂漿配比設計：如表 3-13 所示

表 3-13 環氧樹脂砂漿配比設計表

選用材料	類型	樹脂:硬化劑	水泥:砂 (重量比)	石英砂 用量(g)	樹脂 用量 (g)	硬化劑 用量(g)	流度 設計 (%)	28 天強 度設計 (psi)
裂縫修補劑	環氧樹脂砂漿	5:1	1:1	1,375	1,146	229	100%	3,000psi 以上
裂縫修補劑	環氧樹脂砂漿	5:1	1:0.5	1,375	1,146	229		
裂縫修補劑	環氧樹脂砂漿	4:1	1:1	1,375	1,100	275		

7. 環氧樹脂樹脂漿體配比設計

表 3-14 環氧樹脂漿體配比設計表

選用材料	類型	樹脂:硬化劑	水泥:砂 (重量比)	樹脂用量 (g)	硬化劑 用量 (g)	28 天強 度設計 (psi)
裂縫修補劑	環氧樹脂 + 硬化劑	5:1	1:1	2000	400	3,000psi 以上
裂縫修補劑	環氧樹脂 + 硬化劑	4:1	1:1	2000	500	

3.2.3 戶外試體實驗變數以及對應之檢測項目

本部份針對各種環境變數製作戶外曝曬試體，使用前部分所提及之修補材料，對應裂縫尺寸寬度進行修補，並檢驗其非破壞、破壞性質。小中大尺寸裂縫補綴戶外曝曬試體規劃如圖 3.1、3.2、3.3 所示。自然預壓裂縫試體及外加電流裂縫補綴戶外曝曬試體規劃如圖 3.4、3.5 所示，表中括號內之數字對應表 3-6，分別代表編號 1~8 之修補材料，以及 I II III IV 質系區分預計項目。

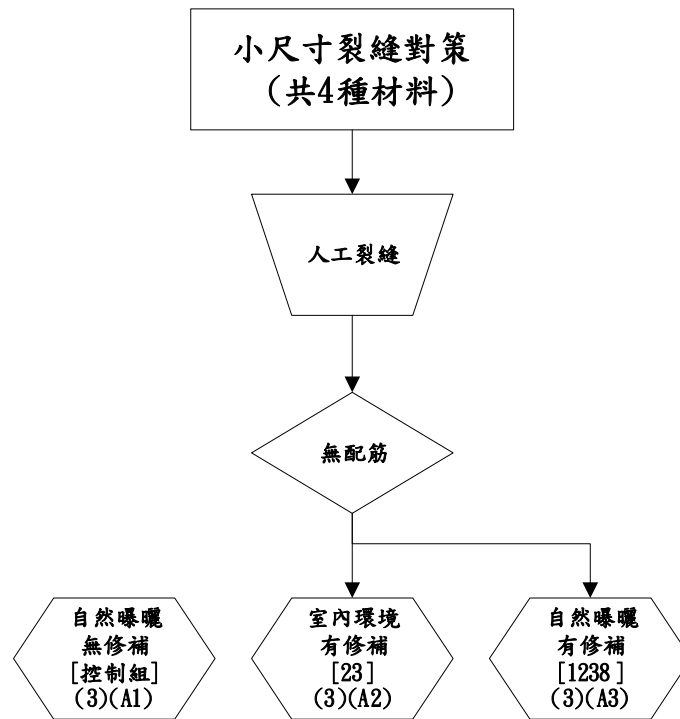


圖 3.1 小尺寸裂縫補綴戶外曝曬試體規劃

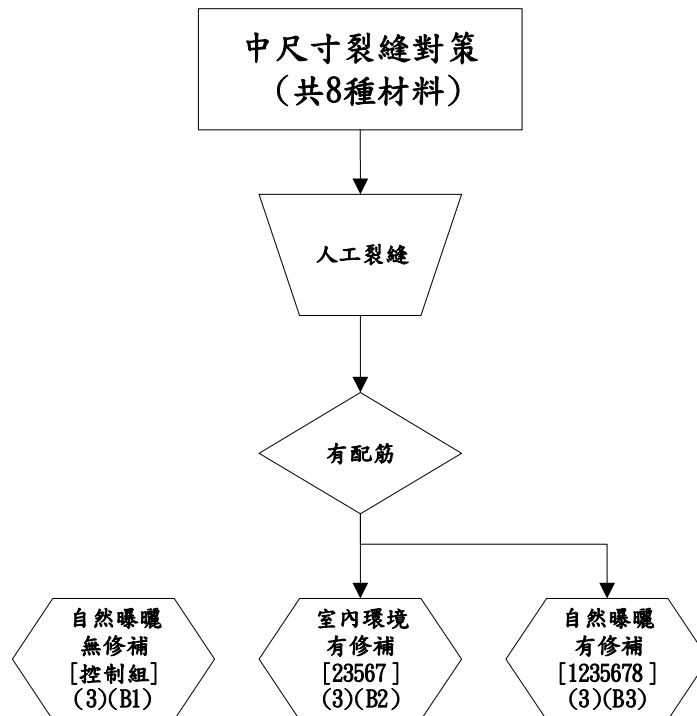


圖 3.2 中尺寸裂縫補綴戶外曝曬試體規劃

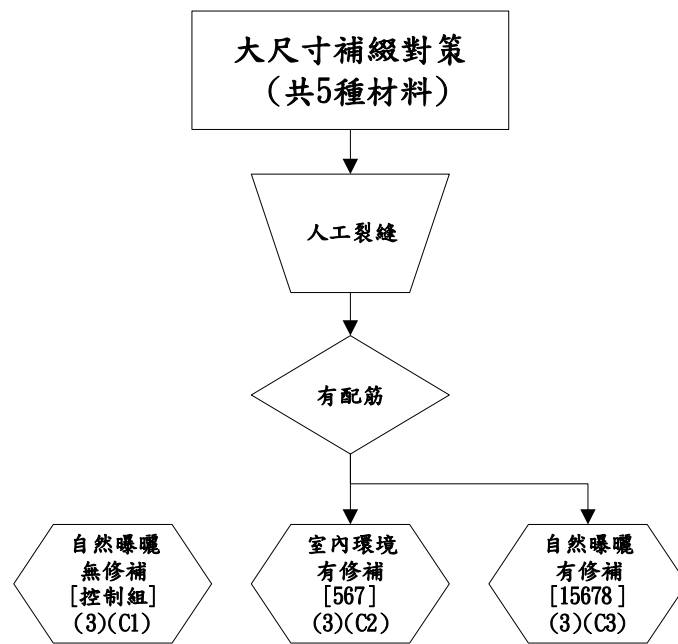


圖 3.3 大尺寸裂縫補綴戶外曝曬試體規劃

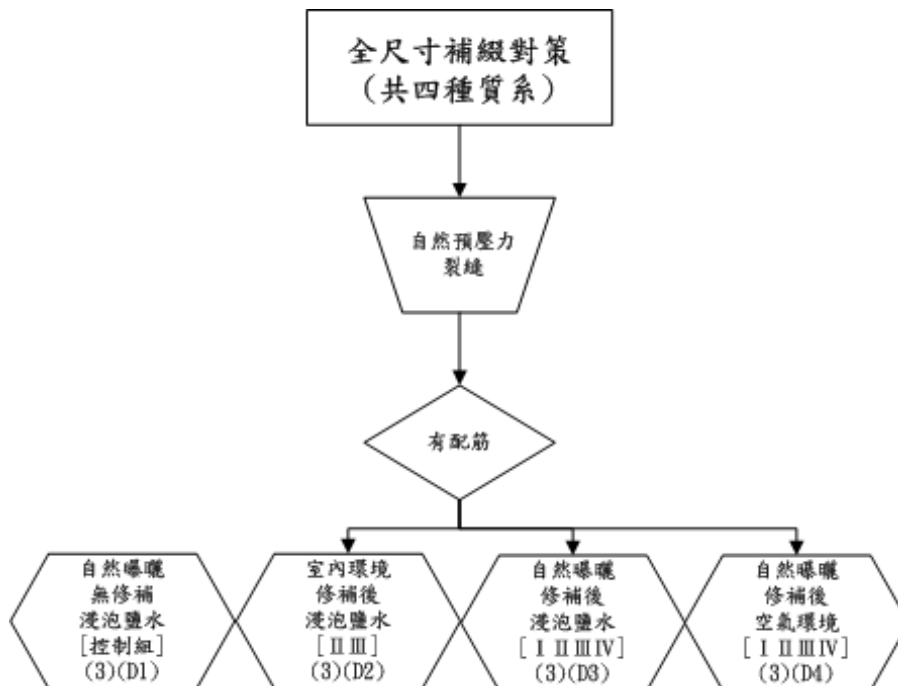


圖 3.4 自然預壓裂縫補綴戶外曝曬試體規劃

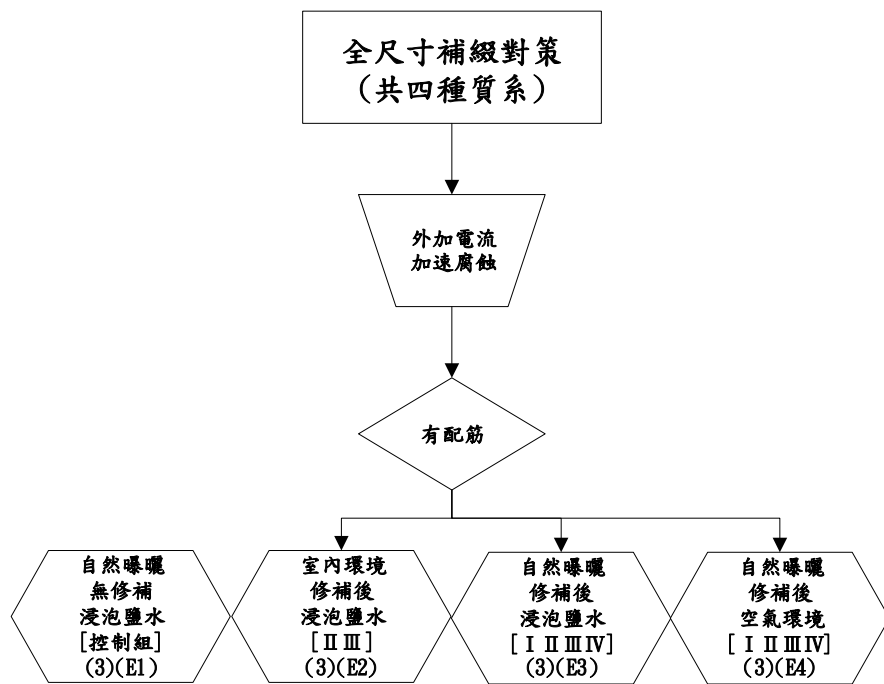


圖 3.5 外加電流加速腐蝕裂縫補綴戶外曝曬試體規劃

1. 針對小尺寸人工裂縫試體預計數量：21
2. 針對中尺寸人工裂縫試體預計數量：39
3. 針對大尺寸人工裂縫試體預計數量：27
4. 針對自然預壓力裂縫試體預計數量：33
5. 針對外加電流加速腐蝕裂縫試體預計數量：33

共計：153

曝曬試體在曝曬齡期到達規畫之時間，將進行以下之非破壞檢驗，瞭解修補材料與基材的現況：

1. 局部混凝土強度 (反彈鎚)：全部組別
2. 抗腐蝕 (半電池電位及 GPM 瞬時腐蝕速率)：B1、B2、B3、C、D1、D2、D3、E、F1、F2、F3
3. 抗紫外線老化(以目視檢測是否有粉化、老化、褪色等現象)：組別

包括 B3、C、D3、E、F3 (高分子材料)

4. 水密性 (以變水頭試驗瞭解修補部位的滲透性)：全部組別

曝曬試體在曝曬達三年後，將進行最終破壞試驗，其實驗項目包括：

(1)四點抗彎強度試驗：全部組別

(2)氯離子：全部組別

有關於戶外曝曬試體尺寸，敘述如下：欲進行曝曬之抗彎樑試體外觀尺寸規畫為 15cm x 15cm x 90cm，內容物鋼筋配置如圖 3.6 所示。鋼筋實際外觀如圖 3.7 所示。組合模板實際外觀如圖 3.8 所示。灌注混凝土組合模板設計如圖 3.9 所示。

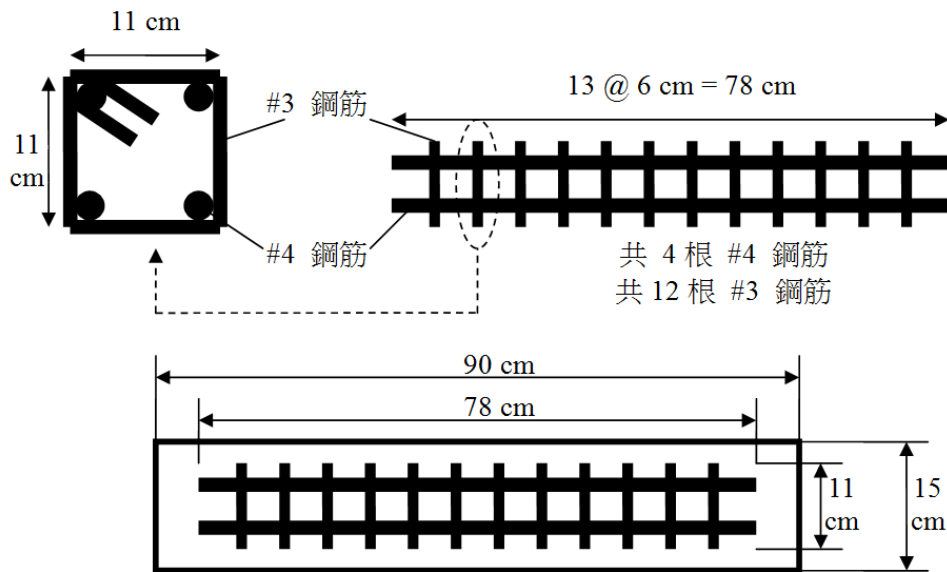


圖 3.6 戶外試體內容物鋼筋配置



圖 3.7 內容物鋼筋外觀

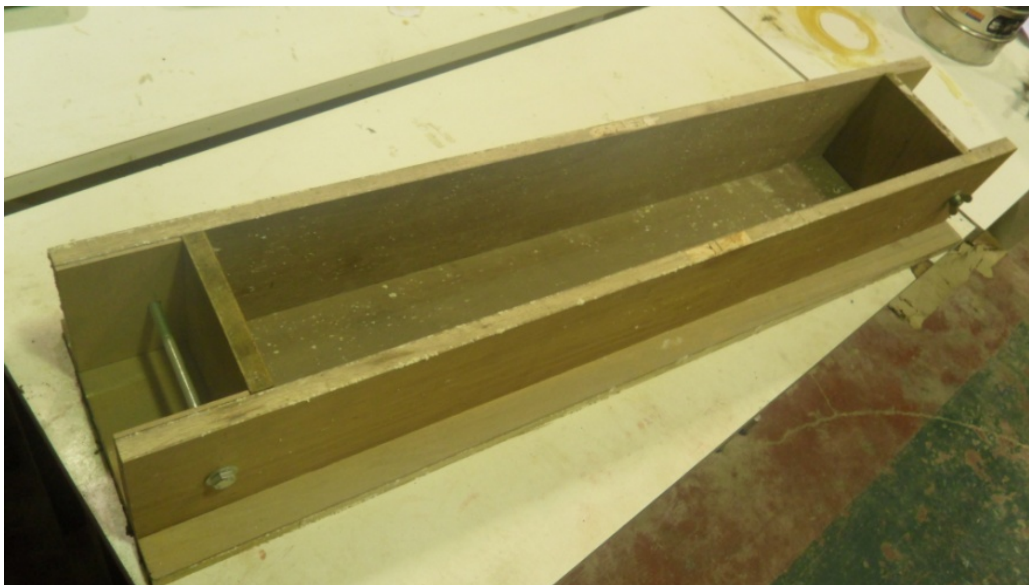


圖 3.8 混凝土組合模板外觀

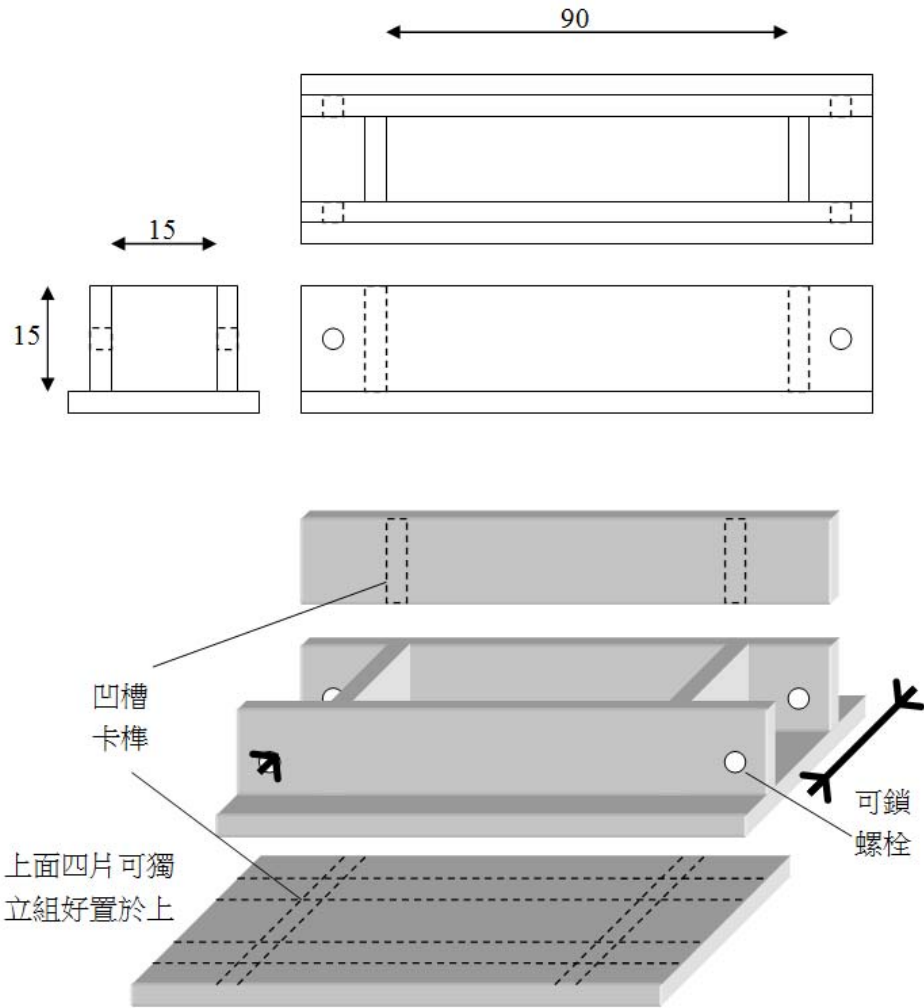


圖 3.9 混凝土組合模板設計

3.3 實驗設備

本章節將介紹主要拌合設備，其餘設備將在 3.4 節試驗方法展示。

1. 修補用混凝土基座拌合流程

修補用抗彎樑使用強制雙軸式拌合機(如圖 3.10), 流程如下:

- (1) 乾拌粉料、粒料：將水泥、粗粒料、細粒料等乾料置於拌合機內，並計時 3 分鐘，乾拌使其均勻。
- (2) 加水拌合：目測乾料拌合均勻後，將拌合水延內壁緩緩加入拌合機，並計時 2 分鐘，濕拌至與水均勻混合。

- (3) 完成拌合：目測濕拌均勻後，以強制式拌合機下方之閘門開口下料，即完成拌合。



圖 3.10 強制式雙軸式拌合機

本研究使用的強制式雙軸拌合機，建議一次最多拌合 0.6 立方米之總體積。本儀器在拌合時具有高度危險性，操作者在拌合時必須注意安全。

2. 非環氧樹脂修補材料拌合流程

非環氧樹脂材料使用小型拌合機（如圖 3.11），流程如下：

- (1) 乾拌粉料、粒料：將水泥、高分子聚合物乾粉樹脂、滲透結晶粉末、細粒料等乾料置於拌碗內，乾拌 3 分鐘使其均勻。
- (2) 加水拌合：目測乾料拌合均勻後，將拌合水、液狀樹脂緩緩加入拌碗中，並計時 2 分鐘濕拌使其均勻，即完成拌合。



圖 3.11 小型拌合機外觀圖

3. 環氧樹脂修補材料拌合流程

環氧樹脂材料拌合亦使用小型拌合機，拌合流程如下：

- (1) 混合環氧樹脂、細粒料：將環氧樹脂、細粒料置於拌碗內，拌合 5 分鐘使其均勻。
- (2) 加硬化劑拌合：目測上步驟拌合均勻後，將硬化劑緩緩加入拌碗中，並計時 2 分鐘拌合使其均勻，即完成拌合。使用至清洗完成必須在 30 分鐘內完成。

修補材料拌合、斜剪法之試體、乾縮試驗之試體、楊氏係數之試體，抗壓強度之試體、流度試驗、透水試驗之試體、水中磨耗試驗之試體，洛杉磯磨損試驗之試體，皆以小型拌合機拌合。修補用混凝土基座抗彎樑，以強制式拌合機拌合。

3.4 試驗方法

3.4.1 基本性質試驗

1. 斜剪試驗 (slant shear test)：

若是修補材為環氧樹脂類，採用 ASTM C 881、882、883、884 進行斜剪試驗。若為乳膠聚合材料，則採用 ASTM C1042、ASTM C1059 進行試驗。試驗如圖 3.12 所示。本試驗最主要是瞭解黏結強度(即修補材料與基材之間的結合狀況)。

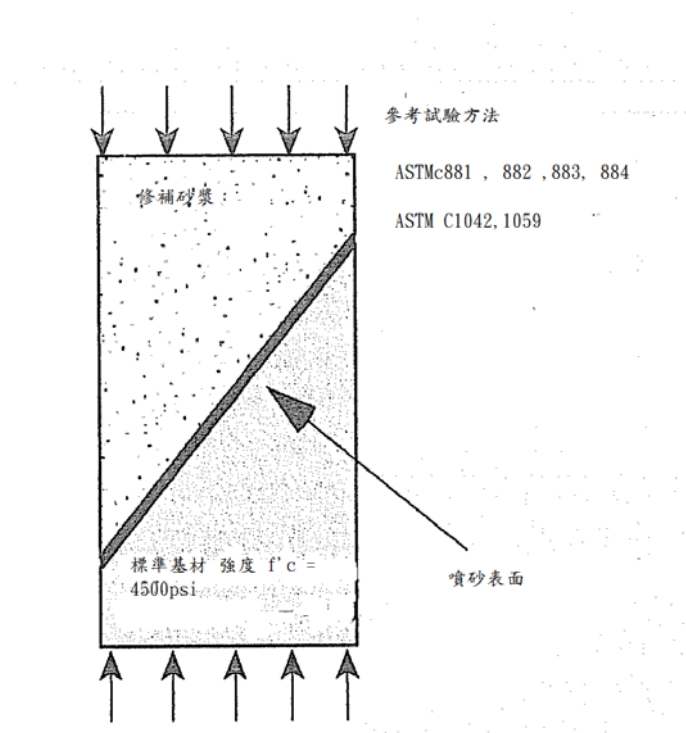


圖 3.12 斜剪試驗

- (1) 製作一設計強度至少 4500psi，切面尖角 30° ，水平夾角 60° 之混凝土基座，並經過標準養護 28 天達養護齡期後取出，放置空氣中 7 天自然風乾，並進行斜面噴砂處理，處理完畢後使用丙酮清潔傾斜面上多餘雜質。試體尺寸大小如圖 3.13 所示。

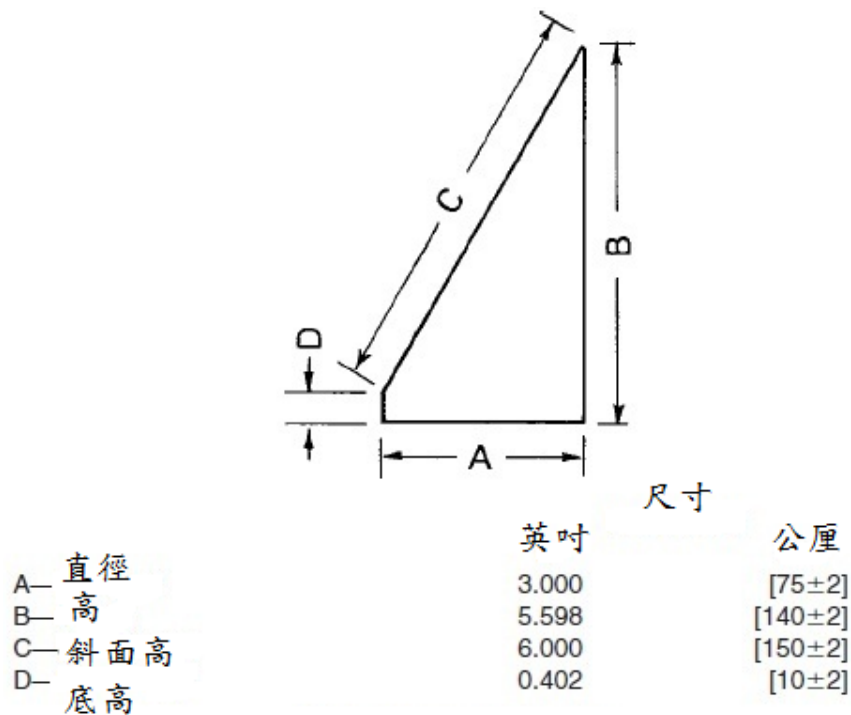


圖 3.13 斜剪試驗試體尺寸

- (2) 將基座置入紙模內，以修補材料分兩層，每層 25 下搗實之，並將頂面以保鮮膜封裝。
- (3) 24 小時後取出試體整體，並進行養護。
- (4) 達養護齡期後，將試體取出以 ASTM C39 規範進行混凝土標準抗壓試驗，記錄荷重讀數，進行換算，即為黏結強度。

2. 乾縮試驗 (drying shrinkage):

遵照 ASTM C596-09 規範進行乾縮試驗，瞭解膠體的乾縮潛勢，使用之模具與應變器如圖 3.14 所示。(本試驗可以瞭解體積穩定性)

製作試體尺寸 285x25x25(mm³)，將試驗材料灌入模具內，於 24 小時±30 分鐘時脫膜，如試體強度不足，則於 48 小時±30 分鐘時脫膜。

- (1) 放置溫度 25°C 相對溼度 80% 之恆溫恆濕櫃中養護 48 小時，如脫

膜試體齡期為 48 小時±30 分鐘時，則養護 24 小時。

(2) 試體齡期 72 小時±30 分鐘時，將試體從恆溫恆濕櫃中取出立即量測試驗值。得試體初始長度。

(3) 將試體放置空氣中，於第 4 天、第 11 天、第 18 天、第 25 天量測試驗值。經由換算可得乾燥收縮值。

計算公式如下：

$$L = \frac{L_x - L_i}{G} \times 100 \% \quad \text{..... (3-1)}$$

其中：

L: 為齡期 x 時之長度變化，單位為%。

L_x : 在試體於齡期 x 時之試驗值減去參考桿之試驗值，mm。

L_i : 初始試驗值減去同時期參考桿之試驗值，mm。

G: 試體標距，mm。



圖 3.14 乾縮模具與應變器

3. 彈性模數試驗 (elastic modulus test) :

遵照 ASTM C469 規範進行試驗，瞭解材料之彈性模數與波森比。(本試驗可以瞭解體積穩定性)

- (1) 在試體裝上壓力環 (如圖 3.15 所示)，置於萬能材料試驗機上試驗之，待試體破壞後，其最大荷重值為 fc' 。
- (2) 記錄抗壓強度為 $0.4 fc'$ 時的應變量和應變為 50×10^{-6} 時之壓力值，由此可計算出彈性模數值。

計算公式如下：

$$E_C = \frac{0.4 fc' - \sigma'}{\varepsilon_L - 50 \times 10^{-6}} \dots\dots\dots (3-2)$$

E_C ：彈性模數

ε_L ：當 $\sigma' = 0.4 fc'$ 時相對應之軸向應變 (mm/mm)

σ' ：當 $\varepsilon_L = 50 \times 10^{-6}$ 時相對應之壓應力 (MPa)



圖 3.15 壓力環

4. 抗壓強度試驗 (compressive strength test)：

遵照 CNS1010 規範方式對各齡期材料之抗壓強度進行測試，瞭解強度發展。(本試驗可以瞭解強度發展)

- (1) 於規定齡期自水槽中取出試體，拭乾表面並修飾之，使不致粘著任何砂粒或他物。
- (2) 用直尺檢查是否平面，如有可見之曲度則應磨平或棄置不用。
- (3) 置試體於萬能試驗機(如圖 3.26 所示)支座之中央，注意試體與儀器接觸之上下兩面不得使用墊板。
- (4) 加負荷於試體上。在 20-80 秒內加至 3000 磅(13.3KN) 負荷增加率於試體上。記錄其最大荷重值。
- (5) 將最大荷重除以截面積，即得到抗壓強度。



圖 3.16 萬能試驗機

5. 水泥砂漿流度試驗(flow table test)：

遵照 ASTM230-90 規範對各種配比之修補砂漿進行測試，瞭解水分含量、細粒料比例對工作性之影響。(本試驗可以瞭解修補

砂漿工作性)

- (1) 將流度台及流度模殼(如圖 3.17 所示)內層擦乾淨，並塗上一層油脂。將模殼置於流度台中央。
- (2) 依規範所定標準水泥砂漿之砂、水泥配比加入適當水量充份拌合之。
- (3) 將拌好之水泥砂漿分兩層倒入模殼內，且每層以搗棒搗實二十次，刮去多餘砂漿，將流度台上多餘水份擦淨，於搗實完成後一分鐘內將模垂直向上移開。
- (4) 轉動流度儀，控制流度儀於 15 秒內震動 25 次，每次落距 12.7mm(1/2in)。
- (5) 以每 60 度平分線之間隔量度流瀉後之砂漿直徑，其平均值，經公式 3-2 換算後即為流度值。

$$F = \frac{f_a - f}{f} \times 100\% \dots\dots\dots (3-3)$$

其中：

F：經由換算取得之流度值，%。

f_a ：試體試驗後以每 60 度之間隔測量三次直徑之平均值，cm。

L_i ：殼膜之底部直徑值，即初始試體直徑，cm。



圖 3.17 流度台及流度模殼

6. 注漿流度試驗(Flow of Grout test)：

遵照 ASTM939 規範對各種配比之修補(砂)漿體進行測試，瞭解水分含量對工作性之影響。(本試驗可以瞭解注入修補(砂)漿體工作性)

- (1) 鋁製錐形桶尺寸：上開口直徑 178mm，高 303mm，下開口不銹鋼製直徑 12.7mm，錐形桶容量 $1725\text{ml} \pm 5\text{ml}$ (如圖 3.18 所示)。
- (2) 封住下漏頭，注入試體至錐形桶頂面，洽接觸上方容積度量器。
- (3) 測量整體流完時間，對應相對之流度值。



圖 3.18 注漿流度儀

7. 透水係數 (permeability test)：

本研究透水係數測定採定水頭測定法，試驗方法為參照日本道路協會「鋪裝試驗法便覽」規定。

- (1) 本儀器(圖 3.19 所示)為測定 $\Phi 10 \times 20\text{cm}$ 之圓柱試體之軸向透水係數測定。



圖 3.19 定水頭透水係數測定儀

- (2) 首先以卡尺量測試體透水軸向長度 L 與透水面面積 A 後，將待測試體四周綑以不透水膠布並包覆一層熱縮袋，加熱使熱縮袋緊縮，再將試體置入透水儀器鐵模內，並在試體頂部與熱縮袋之間塗上凡士林，防止多餘的水進入試體與管壁之間造成試驗誤差。
- (3) 開啟水源並導入透水儀器，儀器上部有溢流口排除多餘的進水以保持一恆定水頭 H ，經過一段時間 Δt 後，下部有滲透水出水口利於蒐集滲透經過待測試體的滲透水，透水係數 K 即可以計算。

計算公式如下：

$$K = \frac{QL}{AH\Delta t} \dots\dots\dots (3-4)$$

式中 K ：透水係數(cm/sec)

Q ：流量(ml)

L ：試體厚度(cm)

A ：試體透水面面積(cm^2)

H ：水頭高(cm)

$\Delta t = t_1 - t_0$ ：測定時間(sec)

8. 水中磨耗試驗 (Abrasion Resistance in Water Test):

遵照 ASTM C1138M-05 規範進行水中磨耗試驗，以瞭解修補後抗磨耗之能力，水中磨耗試驗機如圖 3.20 所示。(本試驗可以瞭解修補材料抗沖蝕能力)

- (1) 將 $\varnothing 30 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$ 之圓柱試體，於室內常溫下完全進入飽和石灰水槽進行養護，使試體於試驗前達飽和狀態。
- (2) 達養護齡期，秤試體於面乾內飽和之空氣中重與水中重並記錄，以了解初始體積。
- (3) 將試體置入試驗桶槽，並以光滑之底面為被磨損面，放入固定大小與數目之鋼珠，加水至攪拌葉片頂端。
- (4) 啟動馬達驅使攪動葉片旋轉。每運轉 12 小時候取出試體，量測磨耗後面乾內飽和之空氣中重與水中重並記錄；重複進行試驗 48 小時。
- (5) 根據本團隊以往實驗經驗，規範規定試驗時間至少 72 小時，而大部分試體於磨損 48 小時後已可看出趨勢；若趨勢不明者，需延長時間至 72 小時。

其計算方式如下：

求磨耗損失(Abrasion Loss)

- a. 試體磨耗後體積可利用阿基米德原理求得:

$$V_t = \frac{W_{air} - W_{water}}{G_w} \dots\dots\dots (3-5)$$

式中， V_t ：試體磨耗後之體積(cm^3)

W_{air} ：試體於空氣中重量(g)

W_{water} ：試體於水中重量(g)

G_w ：水的比重

- b. 試體磨耗後損失之體積:

$$V_{loss} = V_i - V_t$$

式中， V_{loss} ：t 時間後的磨損體積量(cm^3)

V_i ：試體最初體積(cm^3)

V_t ：試體磨耗後體積(cm^3)



圖 3.20 水中磨耗試驗機

9. 洛杉磯磨損試驗 (Los Angeles abrasion test)：

本試驗係參考 ASTM C131 及 CNS 490 洛杉磯磨損試驗法。
洛杉磯磨損試驗機如圖 3.21 所示。(本試驗可以瞭解抗磨損能力)

- (1) 先將同一配比之試體兩個分別作記號並秤重。
- (2) 把兩個試體與 12 顆磨球置入洛杉磯試驗機中，並以每分鐘 30 至 33 轉之轉速，共轉 500 轉，到達 500 轉後將試樣取出。
- (3) 以 4 號標準篩過之，再依記號分別量測其篩上之試樣重，即為磨損後試樣重。

磨損率之計算如下式：

$$\text{磨損率(\%)} = \frac{A-B}{A} \times 100\% \dots\dots\dots (3-6)$$

其中 A：磨損前試體重量(g) B：磨損後試體重量(g)



圖 3.21 洛杉磯磨損試驗機

3.4.2 戶外曝曬試驗

1. 非破壞檢測項目：

(1) 局部混凝土強度 (反彈鎚)

衝錘法(Rebound Hammer Method)又稱為反彈錘法，此法係由瑞士工程師 Schmidt 於 1948 年所研發出來的，為目前較常用於測定混凝土強度的表面硬度法。根據 CNS10732 每次試驗面積，採取 10 次試驗讀數，任何兩個撞擊點，均應相距 25mm 以上，撞擊後，檢視其撞痕，發現撞擊表面有破裂現象時，其讀數應作廢不計。操作步驟如下：

- 先鬆開測針。
- 雙手緊握反彈錘。
- 將測針以固定角度緊靠待測位置。
- 施力於反彈錘，待測針壓縮至底，即可得知試錘反彈數值。
- 依據實驗室自行進行反彈錘試驗結果，繪製成對照圖(如圖 3.22)，利用其回歸曲線，求出對應強度。

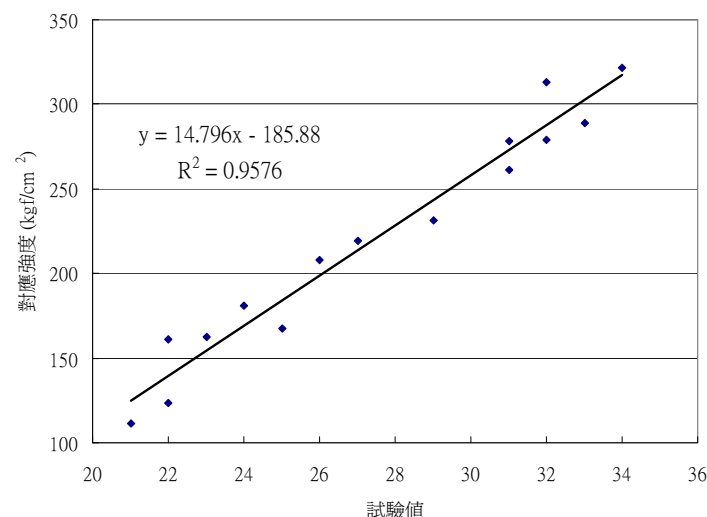


圖 3.22 反彈錘試驗數值-強度對照圖

本實驗使用之反彈錘如圖 3.23 所示，試錘本身主要是由圓形外管、活栓、衝錘、衝擊棒、主彈簧與反彈指示器等六部分所組成。



圖 3.23 混凝土強度反彈錘

(2) 半電池電位

半電池電位 (Half-Cell Potential) 試用使用銅/硫酸銅 (Cu/CuSO_4)。根據 ASTM C876^[14]規定，當量測半電池電位到得到穩定的電位時，觀察五分鐘電位值不能跳動 $\pm 20\text{mV}$ 。當電位不隨著時間改變時視為達到鋼筋之平衡電位，即腐蝕電位，最後利用半電池電位來評估鋼筋之腐蝕機率。

半電池電位量測儀參考電極為銅/硫酸銅電極 (Cu/CuSO_4)，參考電極之硫酸銅溶液必須為過飽和，半電池電位量測儀之量測範圍為 $\pm 999\text{mV}$ 。半電池電位量測儀依照 ASTM C876 規範量測混凝土內鋼筋的腐蝕機率。



圖 3.24 半電池電位量測儀

(3) GPM 瞬時腐蝕速率

當一系統未加電流前之平衡電位為 E_{corr} (如圖 3.25)，外加一固定電流後，電流通過混凝土之電阻 R_s ，電位上升到 $I \cdot R_s$ ，之後電流經過鋼筋之極化電阻測得 $I \cdot R_p$ ，最終達到一平衡電位 U_{max} ，即可測得腐蝕電位、腐蝕電流及鋼筋與儀器探頭混凝土之電阻。其操作步驟如下：

- 將待測之位置表面先預濕。
- 接著使用導線連接手持式電腦(PSION)與裸露之鋼筋。
- 將探頭連接至 PSION。
- 設定 PSION 電腦內鋼筋參數。
- 開始量測 5~10 秒，即可得知鋼筋腐蝕電位、腐蝕電流及混凝土電阻。

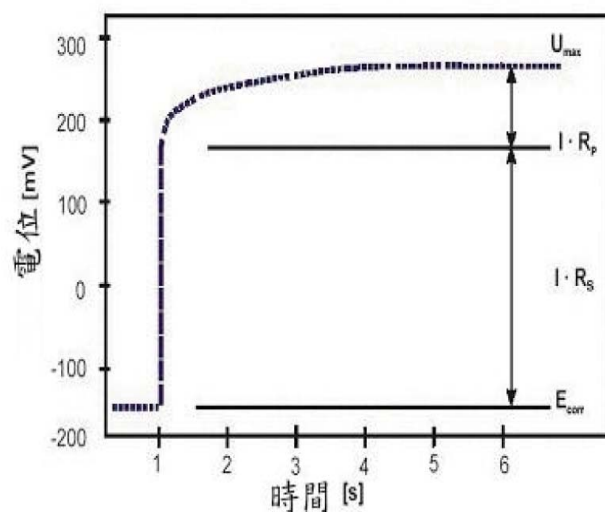


圖 3.25 平衡電位圖

其腐蝕電流密度與混凝土電阻值，依據儀器手冊內容，如表 3-15，開路電位依據 ASTM C876-91，如表 3-16，以判定腐蝕訊號量測結果。

表 3-15 GPM 儀器腐蝕電流密度與腐蝕狀態之關係

腐蝕電流密度 ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	混凝土電阻 ($\text{k}\Omega$)	鋼筋腐蝕狀況
<5	>4	鈍化狀態
5~20	1~4	低~中等腐蝕
>20	<1	高度腐蝕

表 3-16 腐蝕電位對於腐蝕機率判定表

參考電極 Cu/CuSO_4 mV	參考電極 Ag/AgCl mV	腐蝕機率
> -200	> -80	< 10%
-200 ~ -350	-80 ~ -230	10~90%
< -350	< -230	> 90%

本實驗使用之腐蝕量測儀(恆電流脈衝式)應用於混凝土結構物內待測鋼筋之腐蝕電位與腐蝕速率量測以及求得電極與筋間混凝土的電阻。本儀器由 Germann Instruments 生產，型號為 GPM-5000 型。如圖 3.26 所示。



圖 3.26 腐蝕量測儀

(4) 抗紫外線老化

測定試體以拍照方式配合不同齡期呈現之。

(5) 水密性（滲透性試驗）

本試驗是依據 JIS A 6909 之規定的方法進行滲透性試驗，試體靜置於室溫 14 天後，將試體水平放置，以樹脂類黏結材料將滲透性試驗器具黏結於試體上，靜置 48 小時以上待接著劑硬化後，於試驗器材注入 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 水頭高約 250 mm 的水，為避免蒸發所造成之誤差，注水後於玻璃管內滴入石蠟以避免蒸發，於 24 小時後再量測其水頭高，即可由下列式得到滲透係數 k ，透水試驗法如圖 3.27 所示。

$$k = \frac{aL}{A(t_1 - t_0)} \ln \frac{h_0}{h_1} \dots\dots\dots (3-7)$$

上式中，滲透係數 k (cm/s)，玻璃管截面積 $a(\text{cm}^2)$ ，試體高 $L(\text{cm})$ ，漏斗截面積 $A(\text{cm}^2)$ ， t_0 時水位為 $h_0(\text{cm})$ ， t_1 時水位為 $h_1(\text{cm})$ 。

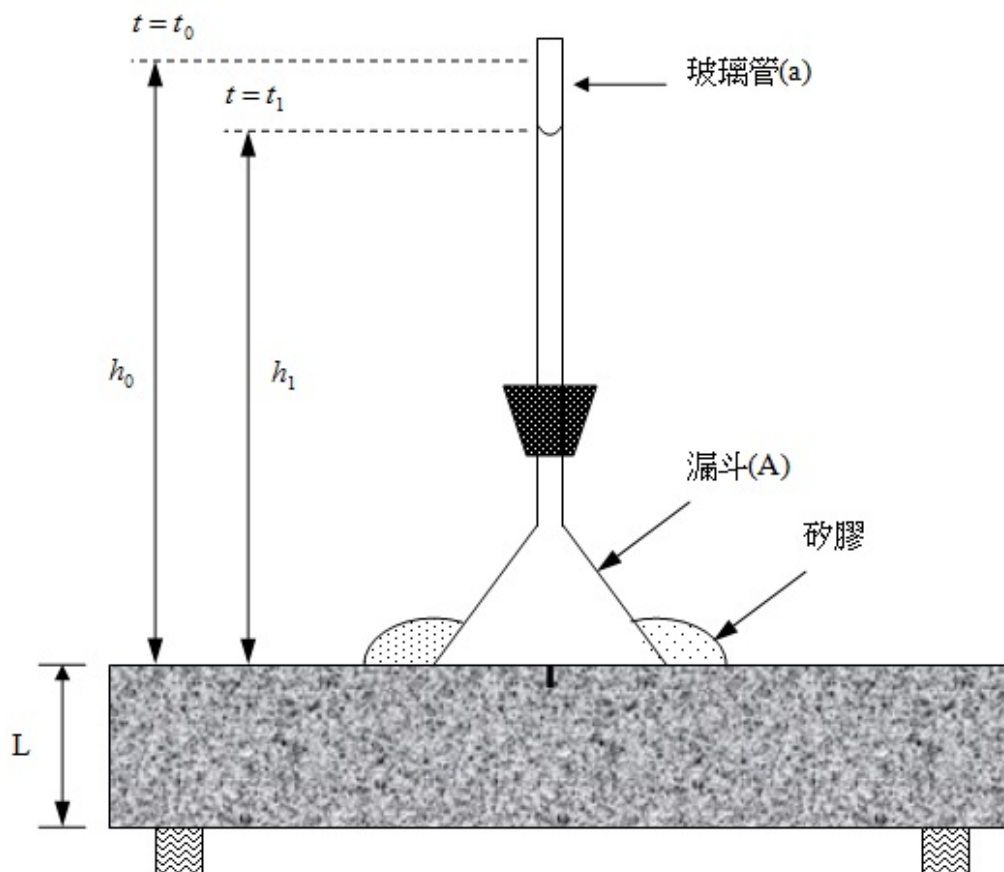


圖 3.27 透水試驗法

(6) 四極式電阻

本研究以試體養護 28 天後，將試體放置於不同濕度條件之恆溫恆濕櫃中，使用四極式電阻量測儀量測混凝土電阻係數及試體為面乾內飽和狀態之混凝土電阻係數。在量測時，四極式電阻量測儀之探針需先預濕及試體表面必須保持乾淨。四極式電阻係數量測如圖 3.28 所示。

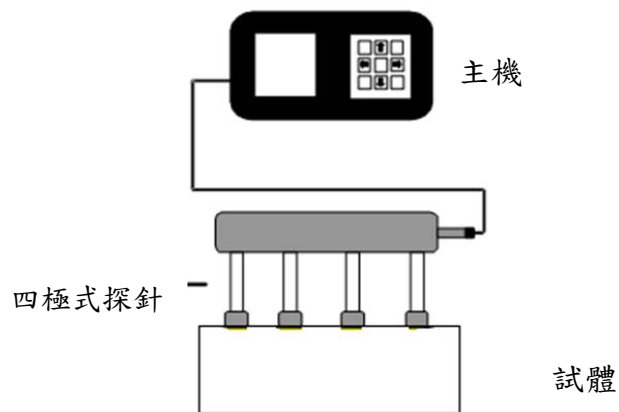


圖 3.28 混凝土電阻係數量測示意圖

本試驗所使用之混凝土四極式電阻量測儀為英國 CNS 公司製造，文昌儀器行代理，四極式電阻量測儀含顯示器及四針式感應計，顯示器數值顯示為六段式切換，量測範圍 0Ω 至 $99k\Omega \cdot \text{cm}$ ，精度為 $\pm 1\Omega \cdot \text{cm}$ 。量測混凝土之電阻值後，可對應其滲透性、電滲值，作為混凝土耐久性之評估。如圖 3.29 所示。



圖 3.29 四極式電阻量測儀

2. 最終破壞試驗項目

(1) 抗彎強度

最終破壞試驗之抗彎試驗遵照 CNS 1233 規範進行混凝土抗彎強度試驗法。

其操作步驟如下：

- 將試體置於承壓座上，並使施壓座 (Load Applying Block) 在兩支點之三分點處，與試體表面接觸。
- 載重可迅速加達破裂載重之一半，此後載重之增加率需使最外纖維應力之增加率維持在 861~1207 KPa/min，直到破裂為止，即完成抗彎試驗。

本研究中使用四點式抗彎求抗彎強度如圖 3.30，其四點式抗彎公式如下：

$$\sigma = \frac{3F(L - L_i)}{2bd^2} \dots\dots\dots (3-8)$$

F：斷裂時之負載

L：外跨度之長度

b：試體寬度

d：試體厚度

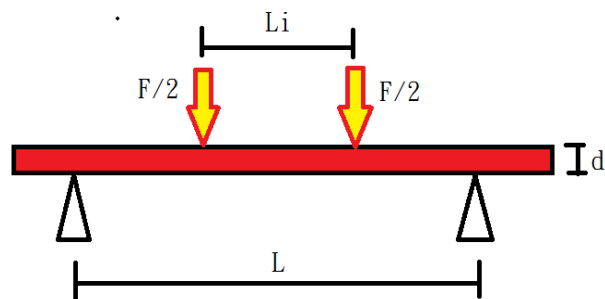


圖 3.30 四點式抗彎示意圖

(2) 氯離子濃度

氯離子含量之檢測係遵照 CNS 13407 規範，使用離子滴定儀，配合硝酸銀(AgNO_3)進行滴定，以量測混凝土中水溶性氯離子含量。

其中主要項目包括：

- a. 試樣準備。
- b. 硝酸銀溶液之配製與當量檢定。
- c. 混凝土之氯離子測定。

氯離子含量之滴定結果係參照規範 CNS 12891，如表 3-17，以判定其結構物是否已含過量的氯離子。

表 3-17 混凝土腐蝕防治最大氯離子含量規定

構件形式	最大水溶性氯離子含量 (依水溶法)
預力混凝土	0.15 kg/m^3
鋼筋混凝土 (所處環境須作耐久性者)*	0.3 kg/m^3
鋼筋混凝土 (一般)	0.6 kg/m^3

*：超過 0.3 kg/m^3 至 0.6 kg/m^3 時，鋼筋須做防銹處理

本實驗使用之氯離子含量試驗採用瑞士 Metrohm 公司生產之離子自動滴定儀，型號為 702。其功能包含氯離子、鈉鉀離子及 pH 值滴定。以上項目均由參考電極量測其反應之電位，再由所得之電位值推得出溶液內的離子含量。如圖 3.31 所示。



圖 3.31 離子自動滴定儀

第四章 實驗成果

4.1 曝曬場資料

第三章所規劃之曝曬試體擬定置放在國立臺灣海洋大學工學院校區，進行曝曬試驗。由於基隆濱海地區終日多雨潮濕，日照日數、雨量、濕度等資料與其他地區相差甚大，所以蒐集曝曬場的資訊是重要的，以供日後研究參考。下表 4-1 為本團隊蒐集基隆地區五年內每月氣象資料表(降水日數定義為日雨量 $\geq 0.1\text{mm}$ 之天數)並以五年每月之平均以圖與表顯示 (資料來源：中央氣象局)(見表 4-1 及圖 4-1 至圖 4-5。)

由資料可發現，基隆地區屬多雨，潮濕之地區。一年 12 月中降雨日數超過 15 天以上之月份共有 9 個月，在 4 月梅雨季節時，平均降雨量超過 500mm，氣溫則高於 25°C ，是最潮濕炎熱之月份，此種天氣型態最易產生腐蝕

表 4-1 基隆地區五年內(2006-2010)月平均氣象資料表

五年內平均	氣溫	雨量	相對溼度	氣壓	降雨日數	日照時數
一月	16.2	413	81	1017.8	20	51.4
二月	16.9	298.3	81.8	1015.6	18	56.1
三月	18.4	237.4	77	1013.3	16.6	89.2
四月	21.1	226.8	75.4	1010.7	16.6	77.8
五月	25	239.6	73.4	1006.8	14.2	139
六月	27	369.9	76.6	1003.8	15.8	126
七月	30	71	73	1002.8	8.2	234.4
八月	29	200.2	75	1002.6	11.6	220.3
九月	27.4	544.8	77.2	1005.1	15.8	138.6
十月	24.3	379.4	78.4	1010.7	18.2	80.3
十一月	21.1	466.1	77.8	1014.5	19.4	54
十二月	17.8	237.2	74.4	1016.2	15.8	72.4
平均	22.8	307.0	76.8	1010.0	15.9	111.6

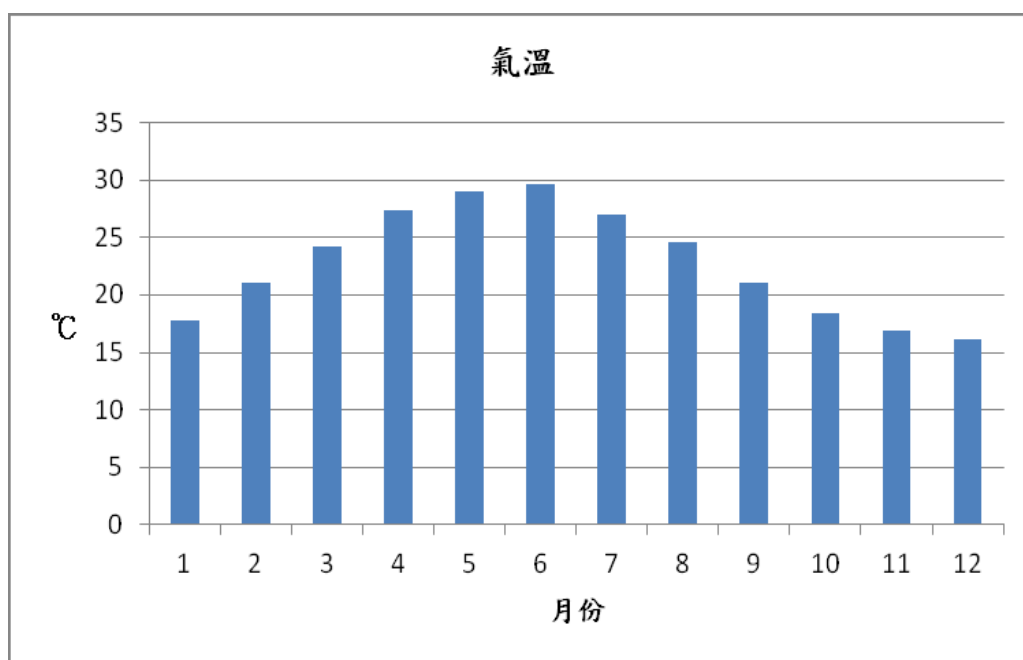


圖 4.1 基隆地區氣溫月平均圖

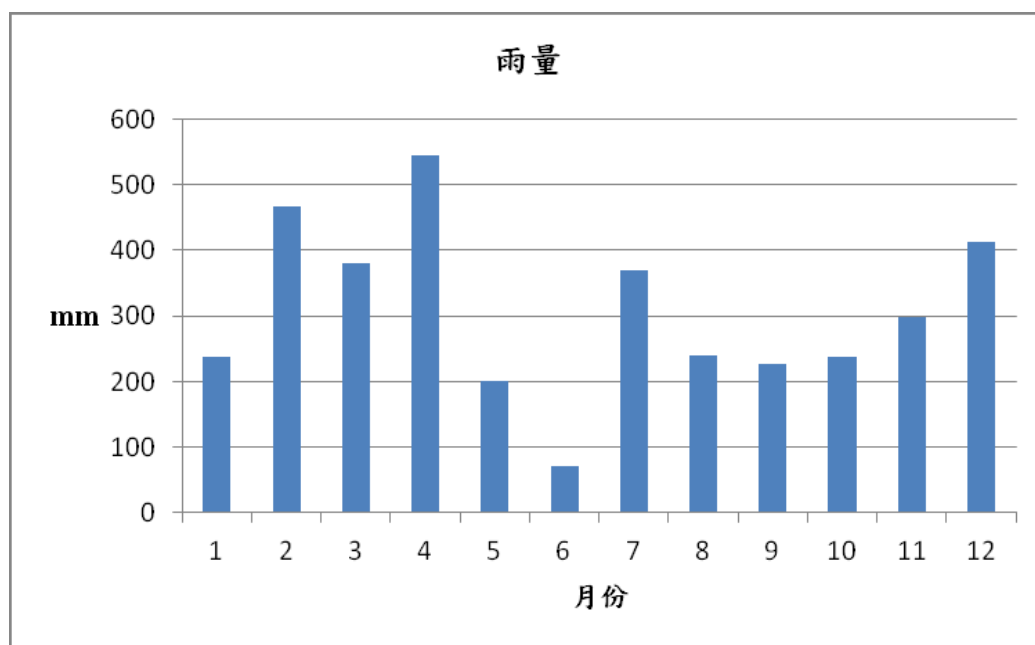


圖 4.2 基隆地區雨量月平均圖

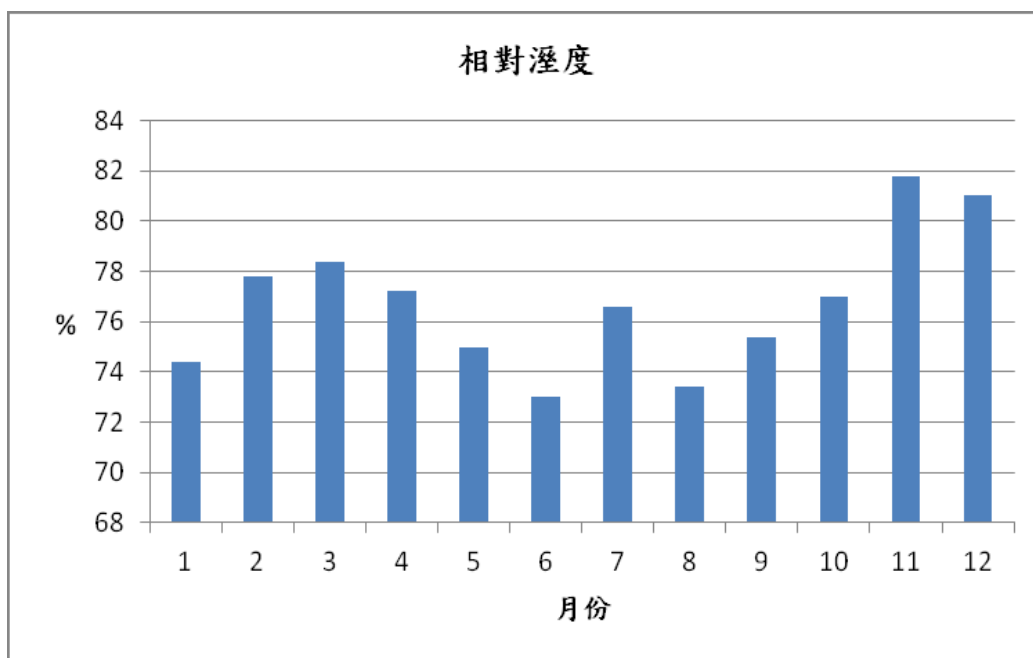


圖 4.3 基隆地區相對溼度月平均圖

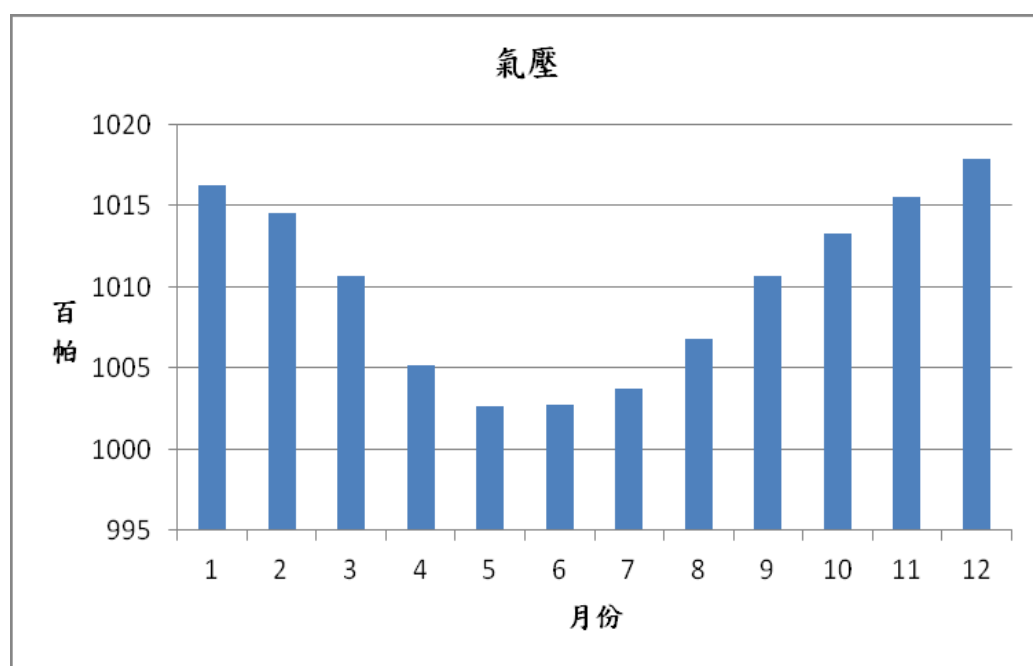


圖 4.4 基隆地區氣壓月平均圖

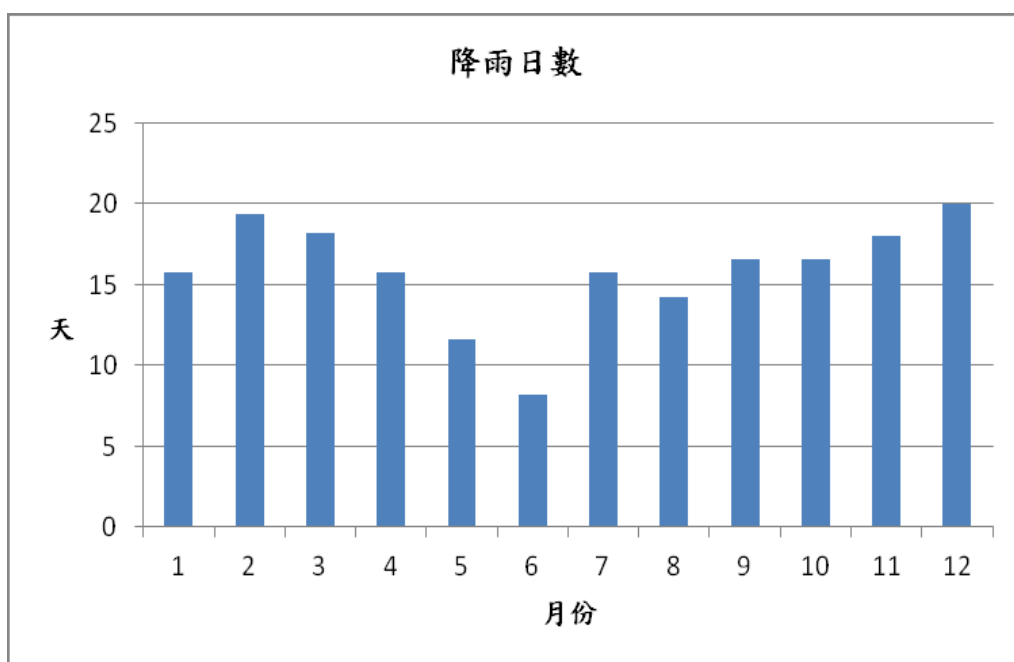


圖 4.5 基隆地區降雨日數月平均圖

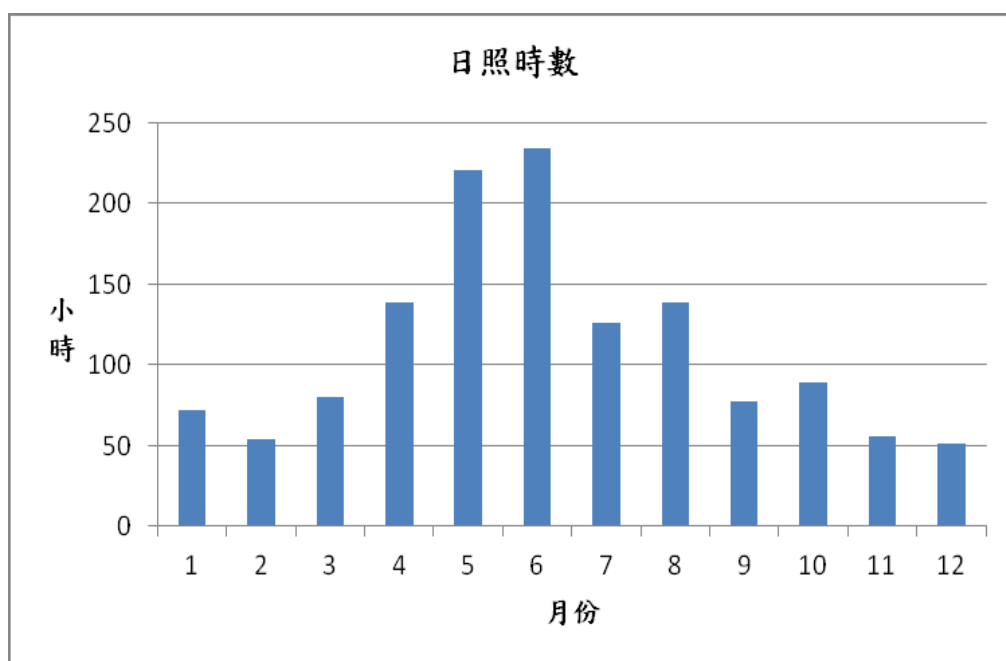


圖 4.6 基隆地區日照時數月平均圖

4.2 修補材料漿體基本性質

第三章實驗規畫表 3-6 中所提及之 8 種材料，其中漿體之部分，將在 4.2 小節，詳述基本性質之研究成果，如工作性、抗壓強度、黏結強度、乾縮、楊氏係數、透水性、水中磨耗、洛杉磯磨損等 8 種基本性質試驗，並初步討論其在力學性質表現上之性能差異。

1. 工作性試驗：修補材料漿體之工作性以通過注漿流度錐之秒數表現，時間越短代表此漿體流動性高。

表 4-2 修補材料漿體工作性流度資料表

選用材料	純水泥漿	純水泥漿	壓克力樹脂改性水泥漿	壓克力樹脂改性水泥漿	壓克力樹脂改性水泥漿	環氧樹脂	環氧樹脂
水灰比	0.4	0.5	0.4	0.4	0.5	主劑:硬化劑 4:1	主劑:硬化劑 5:1
修補材料取代水泥百分比	無	無	5%	10%	5%	無	無
注漿流度時間	20 分 15 秒 (初凝)	17 秒	12 分 (初凝)	29 秒	25 秒	134 秒	135 秒

由表 4-2 之結果得知，水灰比 0.4 之純水泥漿，及水灰比 0.4，5%水泥取代量之壓克力樹脂改性水泥漿，在使用注漿流度錐測定流度時，工作性不佳；產生了嚴重泌水以及初凝堵塞之現象，未能完成實驗。固排除此兩組配比使用之可能性。由表中趨勢可見以壓克力樹脂取代部分水泥，會導致工作性下降。環氧樹脂之兩種配比工作性略同。

2. 抗壓強度試驗：修補材料漿體之 28 天抗壓強度，需高於戶外曝曬試體基座預計設計強度 21MPa (3000 psi)。

表 4-3 修補材料漿體 28 天抗壓強度資料表

選用材料	純水泥漿	壓克力樹脂改性水泥漿	壓克力樹脂改性水泥漿	環氧樹脂	環氧樹脂
水灰比	0.5	0.4	0.5	主劑:硬化劑 4:1	主劑:硬化劑 5:1
修補材料取代水泥百分比	無	10%	5%	無	無
抗壓強度(psi)	7911	4289	4092	11699	12967
抗壓強度(MPa)	54.6	29.6	28	80.7	89.4

由表 4-3 之結果得知，以壓克力樹脂取代部分水泥大幅降低抗壓強度。相較水泥質系，環氧樹脂抗壓強度甚強，主劑比例升高，抗壓強度亦升高。

3. 斜剪試驗：本試驗可瞭解修補材料漿體與基材間之黏結強度，使用水平夾角 60° 混凝土圓柱基座，交界介面所能承受之應力越大，代表修補材料之黏結強度越高。

表 4-4 修補材料漿體黏結強度資料表

選用材料	純水泥漿	壓克力樹脂改性水泥漿	壓克力樹脂改性水泥漿	環氧樹脂	環氧樹脂
水灰比	0.5	0.4	0.5	主劑:硬化劑 4:1	主劑:硬化劑 5:1
修補材料取代水泥百分比	無	10%	5%	無	無
黏結強度(psi)	1143	593	651	2381	2472
黏結強度(MPa)	10	4.1	4.5	16.4	17

由表 4-4 之結果得知，以壓克力樹脂取代部分水泥大幅降低黏結強度。相較水泥質系，環氧樹脂黏結強度甚強，主劑比例升高，不僅抗壓強度升高，黏結強度亦升高。

4. 洛杉磯磨損試驗：修補材料漿體之抗磨損並製作圓柱試體，然後進行洛杉磯磨損試驗表現，磨損完畢殘餘質量越大，抗磨損能力越高。

由於純水泥漿體及環氧樹脂抗壓強度、但脆性也較高，經洛杉磯磨損試驗後產生部分碎片粒徑過大之現象，如圖 4.7，故應將碎裂解體之部分經過四號篩過濾後較能表現試體抗磨損趨勢。壓克力樹脂改性水泥漿試體磨損完畢如圖 4.8。



圖 4.7 環氧樹脂洛杉磯試驗後經過篩圖



圖 4.8 壓克力樹脂改性漿體洛杉磯磨損試驗剩餘質量圖

表 4-5 修補材料漿體磨損率資料表

選用材料	純水泥漿	壓克力樹脂 改性水泥漿	壓克力樹脂 改性水泥漿	環氧樹脂	環氧樹脂
水灰比	0.5	0.4	0.5	主劑:硬化劑 4:1	主劑:硬化劑 5:1
修補材料取代 水泥百分比	無	10%	5%	無	無
磨損率%	44.9%	32%	19.7%	12.7%	20.7%

由表 4-5 之結果得知，以壓克力樹脂取代部分水泥有效減少磨損率，提高耐磨性。相較水泥質系，若不論及脆性破壞，環氧樹脂在抗磨損能力也較高。主劑比例升高，抗磨損能力亦升高。

5. 透水係數：本試驗在瞭解修補材料漿體之透水係數，以瞭解其防漏能力，本試驗以定水頭透水試驗儀進行，單位時間所透過之水質量越大，防堵能力越低。

表 4-6 修補材料漿體資料表

選用材料	純水泥漿	壓克力樹脂 改性水泥漿	壓克力樹脂 改性水泥漿	環氧樹脂	環氧樹脂
水灰比	0.5	0.4	0.5	主劑:硬化劑 4:1	主劑:硬化劑 5:1
修補材料取代 水泥百分比	無	10%	5%	無	無
透水係數 cm/sec	0	0	0	0	0

經由實驗進行超過 72 小時，發覺所選用之修補材料並無透水現象，因此透水係數為 0cm/sec。因日本規範本是針對透水鋪面所制定故試體高度採 20cm，故針對不透水性材料應採取較低之試體高度。也藉此證明此類修補漿體具有一定程度之不透水性。

6. 彈性模數試驗：修補材料漿體之彈性模數為體積穩定性其一因素，其彈性模數數值越低表示此種材料受到載重，將產生較大應變。若修補材料本身彈性模數與基材相差較大時，會造成受到乘載時變形不一致之現象，因而在界面產生破壞。

表 4-7 修補材料漿體彈性模數資料表

選用材料	純水泥漿	壓克力樹脂 改性水泥漿	壓克力樹脂 改性水泥漿	環氧樹脂	環氧樹脂
水灰比	0.5	0.4	0.5	主劑:硬化劑 4:1	主劑:硬化劑 5:1
修補材料取代 水泥百分比	無	10%	5%	無	無
彈性模數 GPa	10.8	7	6.4	3.9	3.5

由於缺少粒料，修補材料漿體相較一般水泥砂漿、混凝土材料，彈性模數甚低。由表 4-7 之結果得知，以壓克力樹脂取代部分水泥具減少彈性模數之趨勢。環氧樹脂，抗壓能力、抗磨耗、透水性、黏結強度雖強，但在彈性模數表現上相對較差。受到載重相同時，所產生之應變相對較大。

4.3 修補材料砂漿基本性質

第三章實驗規畫表 3-6 中所提及之 8 種材料，其中砂漿之部分，已在 4.2 小節，詳述基本性質之研究成果，如工作性、抗壓強度、黏結強

度、乾縮、楊氏係數、透水性、水中磨耗、洛杉磯磨損等 8 種基本性質試驗，並初步討論其在力學性質表現上之性能差異。

環氧樹脂改性砂漿拌合過程中，環氧樹脂與細粒料攪拌產生大量氣泡，及環氧樹脂與粒料比重差異甚大，經 24 小時終凝後，出現嚴重析離現象，如圖 4.9 及圖 4.10，固排除此種材料使用之可能性。

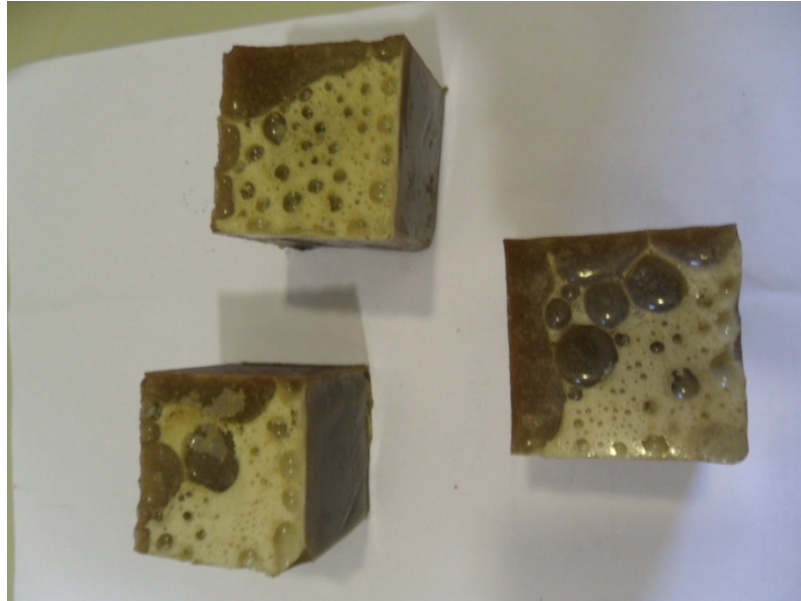
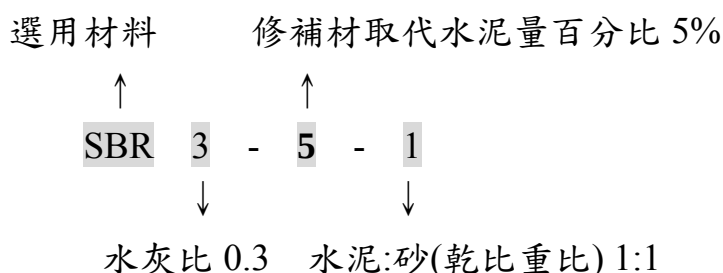


圖 4.9 環氧樹脂砂漿嚴重析離俯視圖



圖 4.10 環氧樹脂砂漿嚴重析離剖面圖

高分子改性水泥砂漿可再細分為乾粉及液態狀壓克力樹脂砂漿及聚丁苯橡膠樹脂砂漿以及作為對照的純水泥砂漿，其中以編號 SBR3-5-1 的聚丁苯橡膠樹脂砂漿配比做說明，因純水泥砂漿做為對照組僅有水灰比不同的區分，在編號上僅有選用材料與水灰比如 CM4(水泥砂漿水灰比 0.4)。



4.3.1 抗壓強度

本研究中所探討之抗壓強度試驗齡期皆為 28 天，抗壓強度試驗結果見表 4-8，可知純水泥砂漿之水灰比的提高會造成強度的降低。而聚丁苯橡膠樹脂砂漿在 0.3 水灰比、修補材取代水泥量 5%及乾比重比(水泥:砂)為 1:1 時為整個抗壓強度中強度最高，水灰比調整為 0.35 時強度有明顯的下降的趨勢，而相同水灰比及修補材取代水泥量時調整為 1:0.5 乾比重比時強度也有小幅度的下滑，其中較為明顯的是聚丁苯橡膠樹脂砂漿 0.3 水灰比、5%修補材水泥取代量、乾比重比 1:0.5 及聚丁苯橡膠樹脂砂漿 0.3 水灰比、10%修補材水泥取代量、乾比重比 1:1 其他條件相同的情況下，將修補材取代水泥量從 5%提高到 10%時，其強度降低，降低的幅度更有著相近於一倍的差異。由配比設計時所知，SSA 為乾粉狀之壓克力樹脂砂漿、LSA 為液態狀壓克力樹脂砂漿，兩者的固形成份含量相同，在其配比條件相同下液態壓克力樹脂砂漿的強度皆比乾粉狀之壓克力樹脂砂漿強度高，與聚丁苯橡膠樹脂砂漿較為不同的地方為 LSA、SSA 在其他條件相同的情況下，乾比重比 1:1 調整為 1:0.5 時的強度增加，其增加的幅度為 3 到 5 成與 SBR 的結果剛好相反。由表 4-2 之結果得知以滲透結晶材改性純水泥砂漿將小幅度降低抗壓強度，其強度趨勢主要還是由水灰比控制。

表 4-8 修補材料砂漿體之抗壓強度

編號	抗壓強度(MPa)	抗壓強度(psi)
CM4	51.8	7514
CM45	32.9	4770
SBR3-5-1	58.2	8444
SBR3-5-5	53.7	7782
SBR3-10-5	30.4	4403
SBR35-5-1	36.2	5234
LSA4-5-1	17.7	2563
LSA4-5-5	35.3	5115.
LSA4-10-1	20.4	2956
LSA5-5-1	29.7	4303
SSA4-5-1	31.0	4487
SSA4-5-5	41.7	6042
SSA4-10-1	23.0	3329
SSA5-5-1	30.2	4376
X5-2	24.2	3513
X45-5	28.6	4154
X45-2	28.3	4102

4.3.2 黏結強度

由表 4-9 可知純水泥砂漿水灰比的提高使得黏結能力的上升，而對聚丁苯乙烯橡膠樹脂砂漿而言水灰比的提高也會使得黏結力的提高，在其他相同條件下修補材取代水泥百分比的提高，能夠提高其粘結能力，就整個試驗配比，聚丁苯乙烯橡膠樹脂砂漿在 0.35 水灰比，5%的修補材水泥取代量及乾比重比 1:1 的情況下，其黏結力是最好的。液態壓克力樹脂砂漿就整體情況來說其黏結能力普遍高於乾粉狀壓克力樹脂砂漿。再由表 4-2 趨勢得知滲透結晶材需要有足夠之水灰比已進行反應，得到良好的黏結強度，及其良好之水泥取代百分比為 2~3%，過量取代將造成黏結強度降低。

表 4-9 修補材料砂漿體之黏結強度

試體編號	黏結強度(MPa)
Cm4	7.4
Cm45	7.6
SBR3-5-1	6.2
SBR3-5-5	4.7
SBR3-10-1	8.1
SBR35-5-1	8.5
LSA4-5-1	4.9
LSA4-5-5	4.5
LSA4-10-1	5.4
LSA5-5-1	5.1
SSA4-5-1	8.3
SSA4-5-5	8.2
SSA4-10-1	5.6
SSA5-5-1	5.3
X5-2	7.9
X45-5	4.1
X45-2	6.9

4.3.3 洛杉磯磨損率

依照表 4-10 可知在水泥砂漿的部分，水灰比的增加使得磨損率的增加，0.45 水灰比之水泥砂漿的磨損率為 28.46%比 0.4 水灰比之水泥砂漿高出 7.66%，而將水灰比從 0.3 提高到 0.35 的磨損率增加了 1.22%，而將修補材料取代水泥量從 5%提高到 10%的取代量也會使得磨損率的升高，這意指修補材料過多的取代水泥會使得材料本身的抗磨損能力降低。在壓克力樹脂砂漿的結果，將修補材料取代水泥量從 5%提升到 10%時，卻造成磨損率的降低，單就乾粉狀壓克力樹脂跟液態壓克力樹脂相比，其中以液態壓克力樹脂砂漿 10%修補材料取代水泥量之配比抗磨損能力最佳磨損率為 13.9%。同黏結強度，由表 4-3 趨勢得知滲透結晶材需要有足夠之水灰比進行反應，充分進行反應之滲透結晶材將提高其抗磨損性。滲透結晶材改性砂漿良好之水泥取代百分比為 2~3%，過量取代將造成抗磨損性下降降低。

表 4-10 修補材料砂漿體之磨損率

編號	磨損率 (%)
CM4	20.8
CM45	28.5
SBR3-5-1	19.9
SBR3-5-5	22.4
SBR3-10-5	27.0
SBR35-5-1	21.1
LSA4-5-1	20.6
LSA4-5-5	17.7
LSA4-10-1	13.9
LSA5-5-1	19.3
SSA4-5-1	17.9
SSA4-5-5	16.9
SSA4-10-1	14.1
SSA5-5-1	22.8

表 4-10 修補材料砂漿體之磨損率(續)

編號	磨損率 (%)
X5-2	26.0
X45-5	33.1
X45-2	27.4

4.3.4 長度變化量

由表 4-11 繪製圖 4.11 到圖 4.15，由此 5 張圖得知，聚丁苯乙烯橡膠樹脂砂漿均有著相類似的長度變化量，其中以乾粉狀壓克力樹脂砂漿 0.4 水灰比 5%修補材取代水泥量及感比重比 1:1，以及相同配比之液態壓克力樹脂砂漿的長度變化量都比較大，由此可知增高水灰比及提高修補材取代水泥量可以降低其長度變化量。由圖 4.15 趨勢得知滲透結晶材需要有足夠之水灰比已進行反應，良好的反應可穩定體積變化，及其良好之水泥取代百分比為 2~3%，過量取代將造成體積穩定度降低。

表 4-11 修補材料砂漿體之長度變化量

編號	4 天(%)	11 天(%)	18 天(%)	25 天(%)
CM4	-0.0080	-0.0216	-0.0256	-0.0288
CM45	-0.0096	-0.0368	-0.0416	-0.0416
SBR3-5-1	-0.0104	-0.0221	-0.0269	-0.0320
SBR3-5-5	-0.0331	-0.0608	-0.0739	-0.0835
SBR3-10-5	-0.0211	-0.0408	-0.0461	-0.0512
SBR35-5-1	-0.0256	-0.0488	-0.0548	-0.0604
LSA4-5-1	-0.0280	-0.0588	-0.0660	-0.0728
LSA4-5-5	-0.0420	-0.1076	-0.1240	-0.1392
LSA4-10-1	-0.0196	-0.0436	-0.0472	-0.0512
LSA5-5-1	-0.0360	-0.0685	-0.0787	-0.0856
SSA4-5-1	-0.0416	-0.0816	-0.1008	-0.1125

表 4-11 修補材料砂漿體之長度變化量(續)

編號	4 天(%)	11 天(%)	18 天(%)	25 天(%)
SSA4-5-5	-0.0301	-0.1165	-0.1624	-0.1803
SSA4-10-1	-0.0268	-0.0580	-0.0708	-0.0808
SSA5-5-1	-0.0261	-0.0680	-0.0824	-0.0952
X5-2	-0.0267	-0.0293	-0.0351	-0.0361
X45-5	-0.0438	-0.0564	-0.0568	-0.0600
X45-2	-0.0274	-0.0486	-0.0538	-0.0587

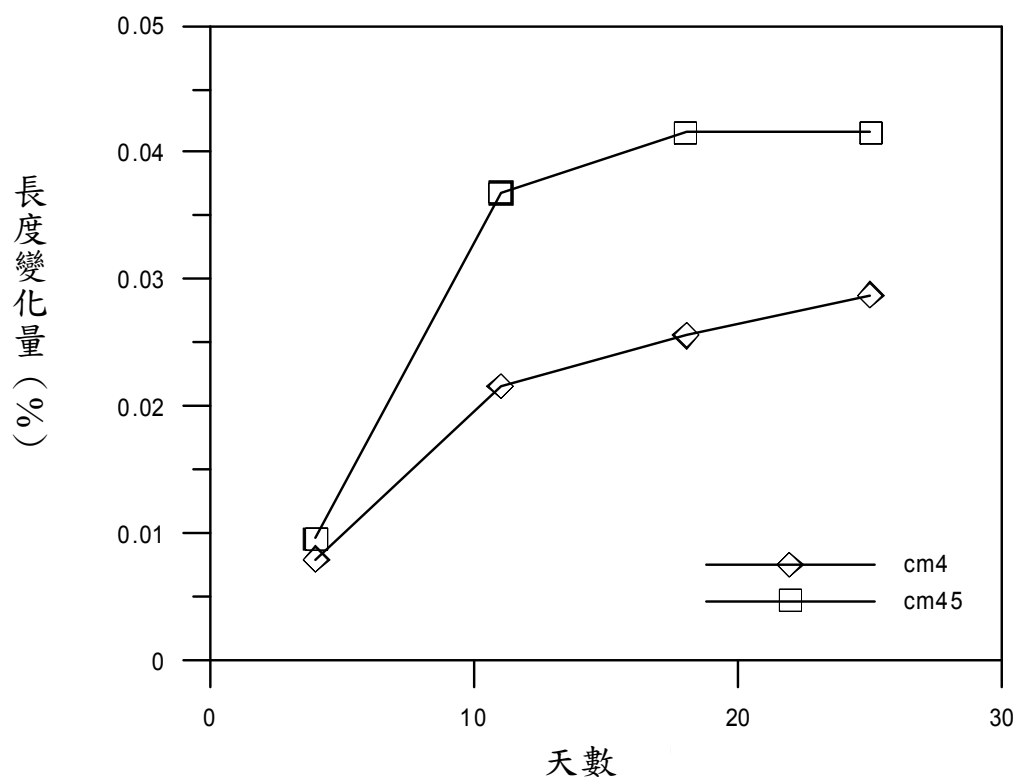


圖 4.11 水泥砂漿長度變化量

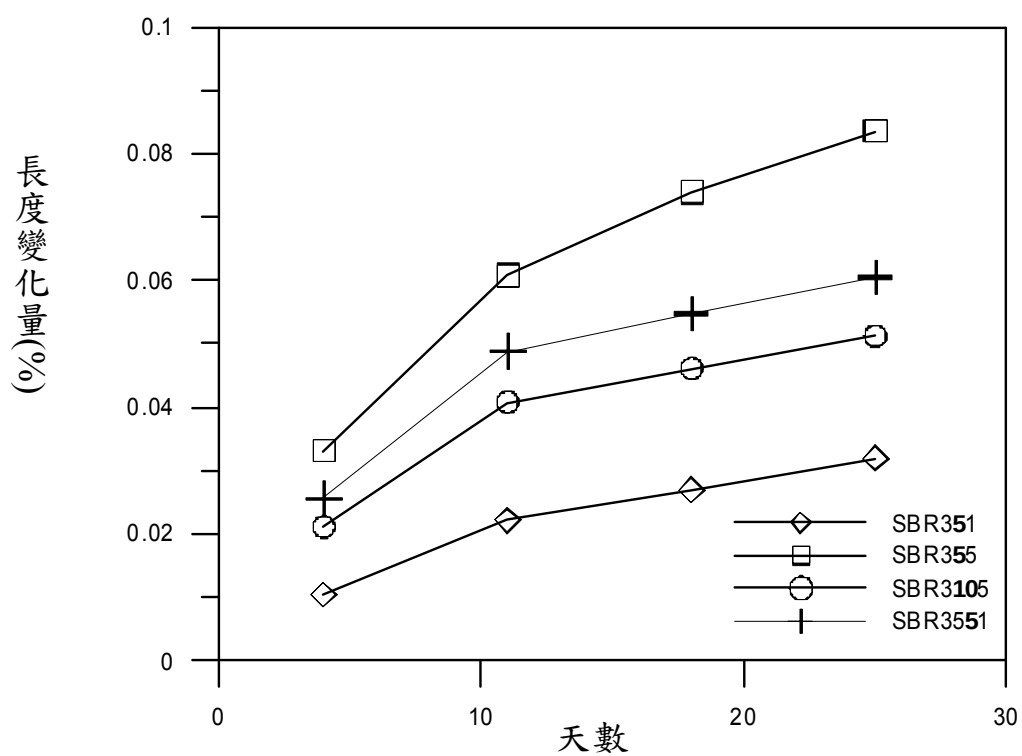


圖 4.12 聚丁苯乙烯橡膠樹脂砂漿長度變化量

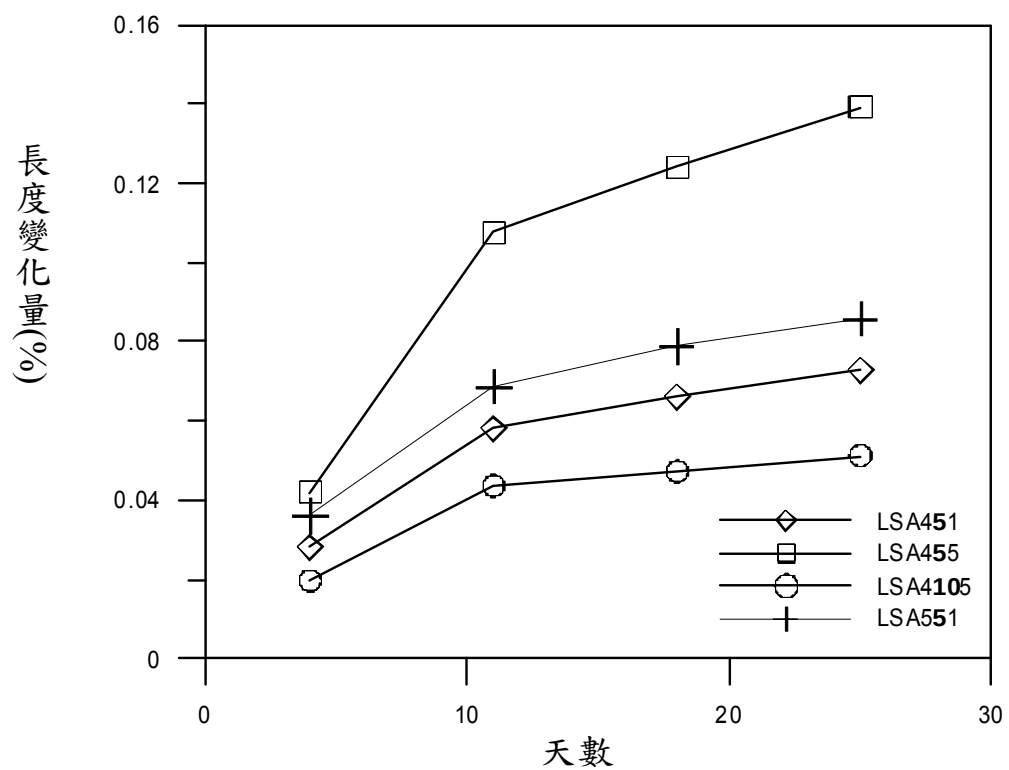


圖 4.13 液態壓克刀樹脂砂漿長度變化量

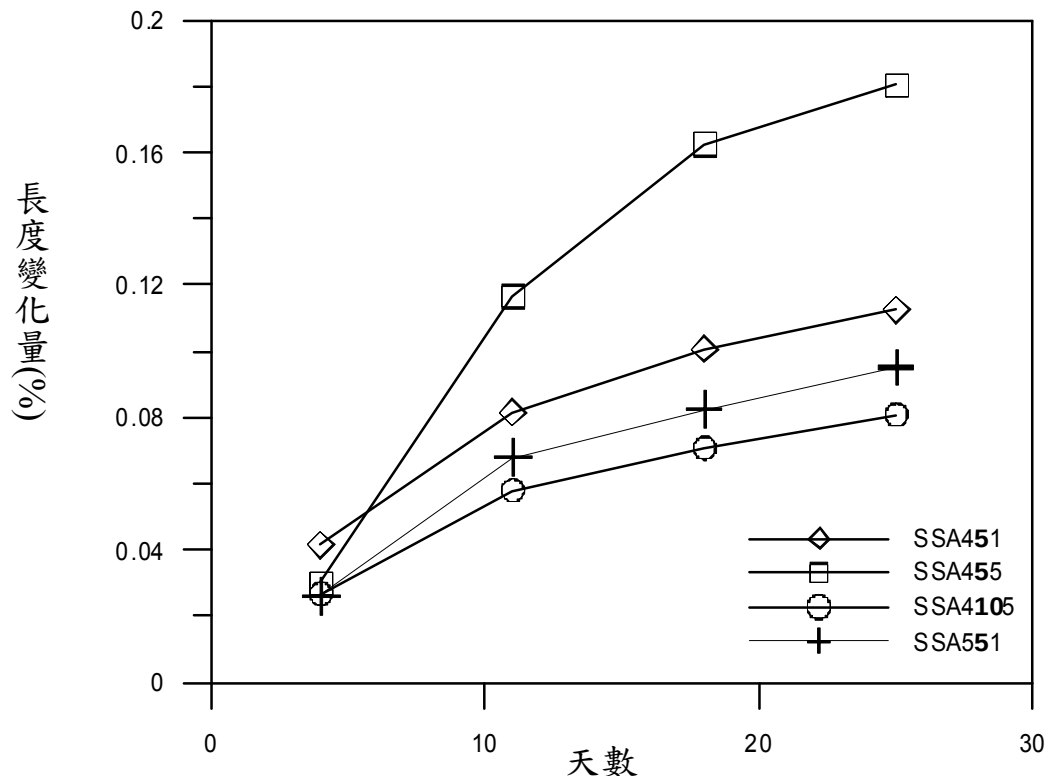


圖 4.14 乾粉狀壓克力樹脂砂漿長度變化量

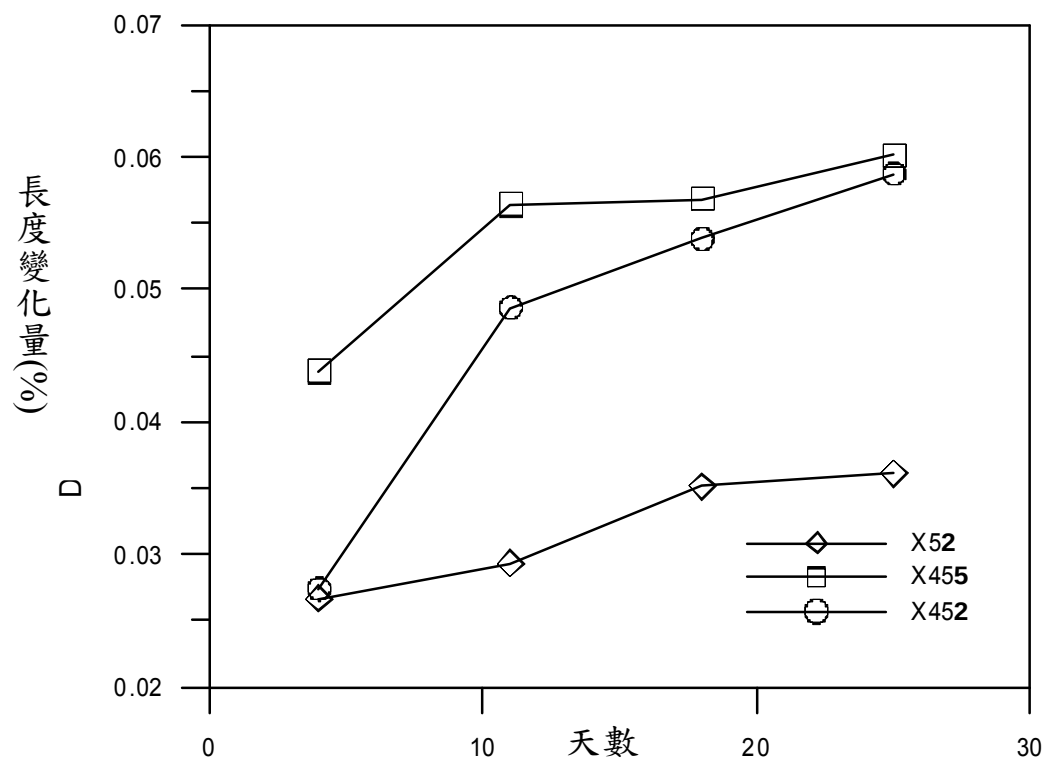


圖 4.15 滲透結晶材砂漿長度變化量

4.3.5 彈性模數

彈性模數為材料在彈性荷重範圍內抵抗變形之能力，由下表 4-12 可見 0.4 水灰比的水泥砂漿其彈性模數值有 16.3Gpa，比 0.45 水灰比之水泥砂漿高出 5.4 Gpa，而在聚丁苯乙烯橡膠樹脂砂漿以 0.3 水灰比、5%修補材料取代水泥量、乾比重比 1:1 下為最佳，而不管是增加水灰比或是改變乾比重比還是提高修補材取代水泥量都會使得彈性模數的值下降，而液態壓克力樹脂砂漿在改變乾比重比後，彈性模數下降，其餘皆為提高，而乾粉狀壓克力樹脂砂漿的結果與聚丁苯乙烯橡膠樹脂砂漿趨勢類似。而對修補材料以壓克力樹脂砂漿而言，再提高了修補材取代水泥量之後，會使得材料變得更有彈性。而滲透結晶材改性水泥砂漿，能有效提高彈性模數，改善體積穩定性。

表 4-12 修補材料砂漿體之彈性模數

試體編號	彈性模數(Gpa)
CM4	16.3
CM45	10.9
SBR3-5-1	19.7
SBR3-5-5	15.8
SBR3-10-5	15.1
SBR35-5-1	15.2
LSA4-5-1	10.1
LSA4-5-5	12.1
LSA4-10-1	7.3
LSA5-5-1	13.0
SSA4-5-1	14.6
SSA4-5-5	11.6
SSA4-10-1	8.2
SSA5-5-1	13.0
X5-2	13.4
X45-5	12.3
X45-2	14.3

4.3.6 水泥砂漿流度

依下表 4-13 可知，原始設計流度為 100%，其中水泥砂漿流度均低於設計流度，而在水泥中添加聚丁苯乙烯橡膠樹脂砂將以部分取代水泥，在流度上較為符合原本之設計需求，除流度提高外在抗壓強度的部分並無降低的趨勢，而總觀壓克力樹脂砂漿的部分，液態壓克力樹脂外觀為濃稠乳白色液體狀，其固形成份為 50%，而乾粉狀壓克力樹脂加水為溶液後為保持其固型份 50%之溶液，但其外觀上較為像水之乳白色液體，在流度結果上液態壓克力樹脂砂漿流度皆低於乾粉狀壓克力樹脂砂漿可能是因為液態壓克力樹脂在成分上有添加特殊物質以保持一般在一般情況下並不會凝固。而在乾粉狀壓克力樹脂砂漿的部分流度皆超過其設計流度，更超過流度台最高為 150%之範圍，而在抗壓強度上表現也優於乾粉狀壓克力樹脂。

表 4-13 修補材料砂漿體之流度

編號	流度(%)	編號	流度(%)
CM4	72	CM45	80
SBR3-5-1	101	SBR3-5-5	90
SBR3-10-1	105	SBR35-5-1	103
LSA4-5-1	73	LSA4-5-5	76
LSA4-10-1	113	LSA5-5-1	108
SSA4-5-1	124	SSA4-5-5	超過 150
SSA4-10-1	超過 150	SSA5-5-1	超過 150
X5-2	125	X45-5	119
X45-2	118		

4.3.7 定水頭試驗

如表 4-14，水泥砂漿本身結構緊密，本實驗過程經 24 小時之觀察，並無水流出，固在透水率上使用量測不到。這代表我們所選定這些修補材料，其本身具有良好之抗透水能力。然而，這並不代表以此修補材料來修補基材時，其複合材料一定是不透水的。這是因為當以修補材料修補基材時，其透水能力主要視修補材料與基材黏結界面的好壞

而定，如果界面無法有良好的黏結，則仍有可能有透水之可能，此點將在後續的計畫進行探討。

表 4-14 修補材料砂漿體之透水係數

編號	透水率
CM4	0(cm/sec)
CM45	0(cm/sec)
SBR3-5-1	0(cm/sec)
SBR3-5-5	0(cm/sec)
SBR3-10-1	0(cm/sec)
SBR35-5-1	0(cm/sec)
LSA4-5-1	0(cm/sec)
LSA4-5-5	0(cm/sec)
LSA4-10-1	0(cm/sec)
LSA5-5-1	0(cm/sec)
SSA4-5-1	0(cm/sec)
SSA4-5-5	0(cm/sec)
SSA4-10-1	0(cm/sec)
SSA5-5-1	0(cm/sec)
X5-2	0(cm/sec)
X45-5	0(cm/sec)
X45-2	0cm/sec)

4.3.8 水中磨耗試驗

由表 4-15 中可知聚丁苯乙烯橡膠樹脂砂漿在水灰比為 0.3、5%修補材取代水泥量、乾比重比為 1:0.5 時的磨損體積量最小只有 3cm³，而將水灰比提高到 0.35 時磨損量提高，而使用材料為乾粉狀壓克力樹脂砂漿時的體積磨損量均高於液態壓克力樹脂，其中以乾粉狀壓克力樹脂砂漿 0.5 水灰比磨損率最高為 105cm³。同洛杉磯磨損試驗，由表 4-8 趨勢得知滲透結晶材需要有足夠之水灰比進行反應，充分進行反應之滲透結晶材將提高其水中抗磨損性。

表 4-15 修補材料砂漿體之磨損體積量

編號	磨損體積量 (cm ³)
CM4	86.5
CM45	91.5
SBR3-5-1	25.5
SBR3-5-5	3.0
SBR3-10-1	9.0
SBR35-5-1	77.0
LSA4-5-1	25.0
LSA4-5-5	20.0
LSA4-10-1	72.0
LSA5-5-1	44.0
SSA4-5-1	78.5
SSA4-5-5	88.0
SSA4-10-1	95.0
SSA5-5-1	105.0
X5-2	68.7
X45-5	144.3
X45-2	279.0

4.4 戶外曝曬試體基座

4.4.1 戶外曝曬試體配比設計

曝曬試體由 ACI 211.1 的方法進行配比設計，預期設計強度為 21MPa (3000 psi)。拌合過程及灌製材料在第三章詳述，配比設計結果如表 4-16 顯示，養護 28 天強度結果如表 4-17 顯示。

表 4-16 戶外曝曬試體配比資料表

項目	水(Kg/m ³)	水泥(Kg/m ³)	粗粒料(Kg/m ³)	細粒料(Kg/m ³)
重量	15.76	31.37	82.63	47.04

表 4-17 戶外曝曬試 28 天強度資料表

試體編號	1	2	3	平均
28 天強度(MPa)	23.7	17.5	22.4	21.2
28 天強度(psi)	3437	2538	3249	3075

4.4.2 戶外曝曬試體裂縫製作過程

1. 小尺寸裂縫製造方法：將混凝土灌製入模板經均勻夯實後，在試體正中央置入一等寬金屬銅惰性薄片，所製造裂縫尺寸為 0.4cm(寬度)*1cm(深度)*15cm(長度)，待混凝土硬固後與模板一同拆除。
2. 中尺寸裂縫製造方法：將混凝土灌製入模板經均勻夯實後，在試體正中央置入一等寬金屬銅惰性薄片，所製造裂縫時為 0.8cm(寬度)*3cm(深度)*15(長度)，直到接觸正中央主筋，待混凝土硬固後與模板一同拆除。
3. 大尺寸裂縫製造方法：將混凝土灌製入模板經均勻夯實後，在試體正中央置入一截面尺寸為 5mm*5mm 正方形之惰性金屬銅條，深度為 3cm，恰接觸正中央主筋，待混凝土硬固後與模板一同拆除。
4. 預壓力裂縫製造方法：將養護 28 天之混凝土基座試體置入萬能試驗機，進行 CNS1233 抗彎試驗，至試體表面破壞產生裂縫。
 - (1) 將試體置入抗彎底座上。

- (2) 由定速 2 KN/s 增加其荷重達 70KN 後減速至定速 1KN/s。
 - (3) 直至試體加載荷重達 120KN 即完成。
 - (4) 由定速 1KN/s 進行洩壓。
 - (5) 將試體取出，並使用裂縫量測卡測量表面產生裂縫之寬度，並畫記記號。
5. 外加電流加速腐蝕裂縫製造方法：將試體浸泡在天然海水當中，以外加電路通電加速腐蝕的方法，促使鏽化物膨脹撐裂混凝土表面，形成表面裂縫。

由於促使鏽化物膨脹撐裂混凝土產生裂縫所需時間過久，固統一通與定量電流 $0.5\text{A}/\text{m}^2$ 通電 48 小時，至試體表面流出鏽水止。並取出試體經由電鑽外力破壞試體正中央表面，須露出預設腐蝕之主筋，並產生一介面，供修補材料進行修補，如圖 4.16。



圖 4.16 以電鑽破壞通電加速腐蝕試體圖

4.5 戶外試體實際修補結果

4.5.1 修補操作方法

1. 表面封層配合針筒注射修補工法

本研究對應中小尺寸、預壓力裂縫所使用之表面封層材料採用臺灣西卡股份有限公司，編號臨時密封條，變性矽力康。本工法操作步驟將於本小節詳述。完成之照片以及預留孔洞如圖 4.17。

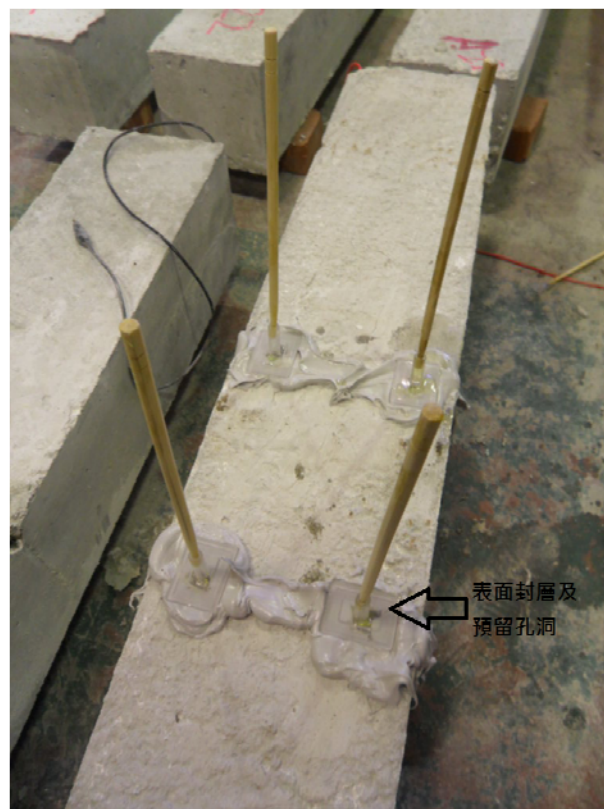


圖 4.17 以表面封層配合針筒注射修補工法完成圖

- (1) 將試體預製人工裂縫、預壓力裂縫表面處理至乾燥狀態。
- (2) 在試體頂端兩側分別預留孔洞，其餘使用變性矽力康表面封塗，並靜置 24 小時以上待其乾燥。
- (3) 24 小時後確認變性矽力康完全乾燥，由試體頂端其一預留孔洞注入修補材料，直到另一預留孔洞有修補材料流出。

(4) 使用塞蓋阻擋孔洞材料外流，本研究使用竹篾。

(5) 待修補材料硬化，將變性矽力康去除，完成本工法。

小裂縫使用表面封層配合針筒注射修補工法完成之材料組別為環氧樹脂漿體，中裂縫使用表面封層配合針筒注射修補工法完成之材料組別為環氧樹脂漿體、壓克力樹脂改性水泥漿體、預壓力裂縫使用表面封層配合針筒注射修補工法完成之材料組別為高分子樹脂漿體(環氧樹脂漿體)。

本研究所使用之變性矽力康表面封層材料之基礎物性化性如表 4-18。變性矽力康表面封層材料之溫度對應初終凝時間表如表 4-19

表 4-18 變性矽力康基礎物性化性表

試驗項目		測定值		試驗方法
比重		1.59±0.05		比重測定法
初凝時間 (分)	5℃	40±3		JIS A 1439
	23℃	10±3		JIS A 1439
黏結強度 (抗剝離強度)	混凝土表面	22.9(N/25mm)	2.3(kgf/25mm)	90 度剝離試驗法
	塗裝面	20.3(N/25mm)	2.0(kgf/25mm)	
	磁磚面	25.6(N/25mm)	2.5(kgf/25mm)	

表 4-19 變性矽力康表面封層材料之溫度對應初終凝時間表

溫度 表面特性	5℃	10℃	20℃	30℃
混凝土表面	24 小時以上		12 小時以上	
塗裝面	24 小時以上		12 小時以上	
磁磚面	48 小時以上		24 小時以上	

2. 修補材料表面塗封工法

本研究對應中小尺寸、預壓力裂縫對應表面封層配合針筒注射修補工法不適用之情況下，改用修補材料表面塗封工法。本工法操作步驟將於本小節詳述。完成之照片如圖 4.18

- (1) 將試體預製人工裂縫、預壓力產生裂縫表面處理至面乾狀態。
- (2) 將修補材料拌合均勻，不可有泌水、析離現象。
- (3) 使用軟刷漿試體裂縫部分塗上修補材料，並靜置 30 秒，待其材料流入裂縫內。
- (4) 繼續使用軟刷來回塗刷裂縫表層，直到均勻完成本工法。



圖 4.18 以修補材料表面塗封工法完成圖

小裂縫使用修補材料表面塗封工法完成之材料組別為一般水泥砂漿、壓克力樹脂漿體、滲透結晶材改性水泥砂漿，中裂縫使用表修補材料表面塗封工法完成之材料組別為一般水泥砂漿、乾粉狀壓克力改性水泥砂漿、液狀壓克力改性水泥砂漿、丁苯橡膠樹脂砂

漿(SBR) 改性水泥砂漿、滲透結晶材改性水泥砂漿，預壓力裂縫使用修補材料表面塗封工法完成之材料組別為水泥砂漿、高分子改性水泥砂漿(乾粉狀壓克力改性水泥砂漿)、滲透結晶材改性水泥砂漿。

3. 大面積修補材料填補工法

本研究對應大尺寸、外加電流加速腐蝕裂縫使用大面積修補材料填補工法。本工法操作步驟將於本小節詳述。完成之照片如圖 4.19。

- (1) 將試體需補綴之表面經過電鑽打毛、擴洞處理。
- (2) 將試體裝置模板，固定欲修補之範圍，並維持介面面乾。
- (3) 將修補材料拌合均勻，不可有泌水、析離現象。
- (4) 將修補材料置入需補綴之介面，並使用搗棒搗實。
- (5) 將修補材料表面塗抹均勻，完成本工法。



圖 4.19 以大面積修補填補工法完成圖

大裂縫使用大面積修補填補工法完成之材料組別為一般水泥砂漿、乾粉狀壓克力改性水泥砂漿、液狀壓克力改性水泥砂漿、丁苯橡膠樹脂砂漿(SBR) 改性水泥砂漿、滲透結晶材改性水泥砂漿，外加電流加速腐蝕裂縫使用大面積修補填補工法完成之材料組別為水泥砂漿、高分子改性水泥砂漿(乾粉狀壓克力改性水泥砂漿)、滲透結晶材改性水泥砂漿。

4.5.2 戶外曝曬試體修補材料最終配比選擇

一般水泥漿體考慮工作性因素，採用水灰比 0.5 組別，壓克力樹脂由於實做戶外曝曬試體僅有一組能使用表面封層配合針筒注射工法，固採用水灰比 0.5、5%水泥取代量，環氧樹脂漿體經室內試驗驗證，主劑:硬化劑為 1:5 之組別相較 1:4 有良好的力學性質，但考慮實際工作性，1:5 之組別終凝時間較不固定，固選用 1:4，滲透結晶材經由室內基本試驗研究結果，滲透結晶材須有足量水分進行反應，固選用水灰比 0.5，2%水泥取代量之組別。考慮各種工作性配合第四章所示之室內力學性質研究成果，本研究對應不同裂縫尺寸，選擇材料支配比資料表如表 4-20。

根據室內試驗之工作性以及戶外曝曬試體現場實際施工之可行性，此三種修補工法之簡易效益評估如表 4-21。

表 4-20 各尺寸裂縫對應材料配比最終選擇資料表

裂縫類別	材料項目	配比選擇	使用之修補工法
小尺寸	一般水泥砂漿	0.45 水灰比	修補材料表面塗封工法
小尺寸	環氧樹脂漿體	主劑:硬化劑 1:4	表面封層配合針筒注射 修補工法
小尺寸	壓克力樹脂改性水泥 漿體	水灰比 0.5 水泥取代量 5%	修補材料表面塗封工法
小尺寸	滲透結晶材改性水泥 砂漿	水灰比 0.5 水泥取代量 2%	修補材料表面塗封工法

裂縫類別	材料項目	配比選擇	使用之修補工法
中尺寸	一般水泥砂漿	0.45 水灰比	修補材料表面塗封工法
中尺寸	環氧樹脂漿體	主劑:硬化劑 1:4	表面封層配合針筒注射 修補工法
中尺寸	壓克力樹脂改性水泥 漿體	水灰比 0.5 水泥取代量 5%	表面封層配合針筒注射 修補工法
中尺寸	液狀壓克力樹脂改性 水泥砂漿	水灰比 0.4 水泥取代量 5% 1:0.5 乾比重比	修補材料表面塗封工法
中尺寸	乾粉狀壓克力樹脂改 性水泥砂漿	水灰比 0.4 水泥取代量 5% 1:0.5 乾比重比	修補材料表面塗封工法
中尺寸	丁苯橡膠樹脂改性水 泥砂漿	水灰比 0.3 水泥取代量 5% 1:1 乾比重比	修補材料表面塗封工法
中尺寸	滲透結晶材改性水泥 砂漿	水灰比 0.5 水泥取代量 2%	修補材料表面塗封工法
大尺寸	一般水泥砂漿	0.45 水灰比	大面積修補材料填補工 法
大尺寸	液狀壓克力樹脂改性 水泥砂漿	水灰比 0.4 水泥取代量 5% 1:0.5 乾比重比	大面積修補材料填補工 法
大尺寸	乾粉狀壓克力樹脂改 性水泥砂漿	水灰比 0.4 水泥取代量 5%、 1:0.5 乾比重比	大面積修補材料填補工 法
大尺寸	丁苯橡膠樹脂改性水 泥砂漿	水灰比 0.3 水泥取代量 5%、1: 1 乾比重比	大面積修補材料填補工 法
大尺寸	滲透結晶材改性水泥 砂漿	水灰比 0.5 水泥取代量 2%	大面積修補材料填補工 法
預壓力	I 水泥砂漿 (一般水泥砂漿)	0.45 水灰比	修補材料表面塗封工法
預壓力	II 高分子樹脂改性水 泥漿體(環氧樹脂漿體)	主劑:硬化劑 1:4	表面封層配合針筒注射 修補工法

裂縫類別	材料項目	配比選擇	使用之修補工法
預壓力	Ⅲ 高分子樹脂改性水泥砂漿(液態壓克力樹脂改姓水泥砂漿)	水灰比 0.4 水泥取代量 5%、 1:0.5 乾比重比	修補材料表面塗封工法
預壓力	Ⅳ 無機改性水泥砂漿(滲透結晶材改性水泥砂漿)	水灰比 0.5 水泥取代量 2%	修補材料表面塗封工法
通電腐蝕	Ⅰ 水泥砂漿(一般水泥砂漿)	0.45 水灰比	大面積修補材料填補工法
通電腐蝕	Ⅱ 高分子樹脂改性水泥漿體(環氧樹脂漿體)	主劑:硬化劑 1:4	大面積修補材料填補工法
通電腐蝕	Ⅲ 高分子樹脂改性水泥砂漿(液態壓克力樹脂改姓水泥砂漿)	水灰比 0.4 水泥取代量 5%、 1:0.5 乾比重比	大面積修補材料填補工法
通電腐蝕	Ⅳ 無機改性水泥砂漿(滲透結晶材改性水泥砂漿)	水灰比 0.5 水泥取代量 2%	大面積修補材料填補工法

表 4-21 各尺寸裂縫對應材料配比最終選擇資料表

項目	優點	缺點
表面封層配合針筒注射修補工法	針對中小裂縫，此工法修補材料之填補深度、完全度較佳。	考慮部分材料工作性較差，無法經由針筒注射。亦或是本身就不適合進行小尺寸之裂縫修補之情形
修補材料表面塗封工法	此工法之工作性較無強烈需求，可對應大部分之情形。	使用此法修補材料自行滲入裂縫之深度較差，故針筒注射無法實行才考慮使用此方法。
大面積修補材料填補工法	此工法針是針對大面須灌漿，或是組裝模板之情形之補綴進行修補。	打毛、擴洞作業須統一，額外需要模板等，此工法較為複雜。

第五章 水下修補

5.1 簡介

本章內容係參考文獻^[21]編撰之。

在土木工程中，有關在空氣環境下的修補，較為熟知。而許多在空氣中修補的技術，只要稍做修改，就可以使用在水下修補。然而，在修補材料方面，在空氣環境下所使用之材料其水下的表現就未必理想。水泥質系的材料，會有受水沖刷失散的問題；，樹脂基材料卻會因與水混合後，造成黏結能力喪失的問題。

在進行水下修補設計與施作時，應該諮詢有經驗之專家。在還未開始現地施作前，最好先進行實驗室驗證，以保證使用之材料與工法是恰當的。如此可以避免錯誤，而使得整體修補成本劇增。

本章將由以下幾個面向來說明水下修補：

1. 到達水下修補區域之方法。
2. 混凝土與鋼筋的準備工作
3. 修補材料。
4. 混凝土水下修補工法。
5. 鋼筋的修復。

5.2 到達水下修補區域之方法

5.2.1 通則

很顯然地，在空氣中修補要比在水中修補來得有效率多。空氣中修補容許更完整的準備工作、更容易準備模板、更多材料的選擇以及更多工法上的選擇。除此之外，在空氣中修補容許修補專家接近修補區域，反之在潮汐帶進行修補時，可以考慮使用快乾材料，在低潮位

時進行修補。如果受潮浪所造成的損失是可以接受的，有些快乾的噴凝土可以在高低潮位間施做。

當修補區域處於水下時，有兩個方案可以選擇：其一是把水排出去，其二是在水中進行修補。幾種可以到達修補區域的方式將在以下的幾節中討論，並且圖列於圖 5.1 中。

在水下修補，只能讓潛水俠接進修補區域。

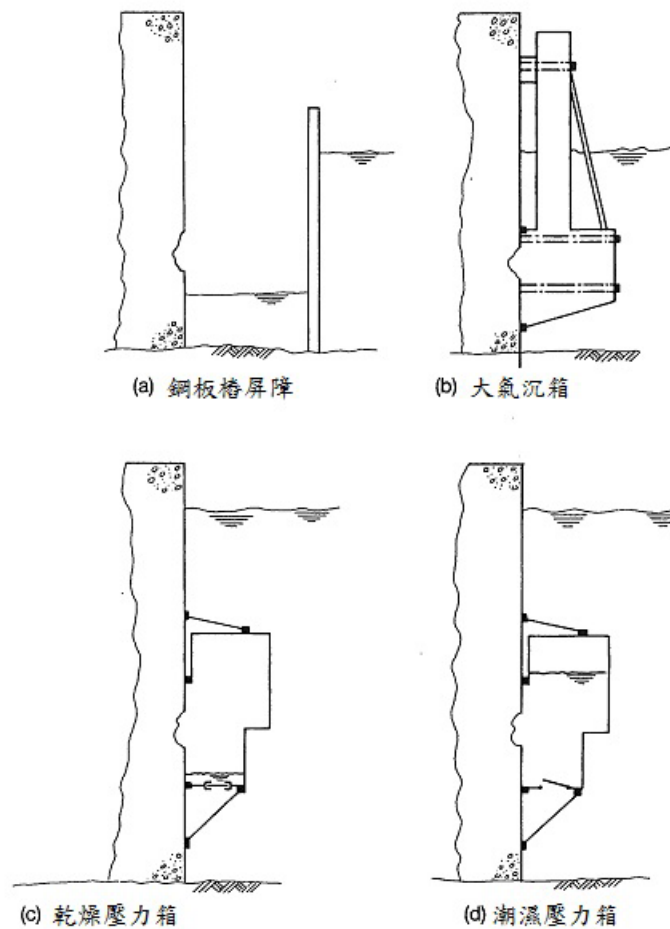


圖 5.1 到達修補區域的方法^[21]

5.2.2 擋水設施(water-retaining barrier)

在某些應用的狀況時，採用將水排出的方式最為簡單。這種方法先以樁或是土堤圍堰方式，然後將水從圍堰區域中排出，使修補區域

暴露在空氣中。因為一些特殊的理由，這種方法只能使用在水深不深的狀況，並且損傷區域為局部損傷。

當擋水設施完成後，修補則可以在空氣中進行，沒有任何限制。

5.2.3 空氣潛水箱(atmospheric caisson)

空氣潛水箱是一個以預鑄鋼箱密封於結構體上修補區域的方法。箱體上方有一個出入管露出水面以上，人員與機具則可以經由出入管進出箱體。此箱體因此可以裝備各樣的設施，包括照明設備、水動力設備、通訊設備、切斷與焊接設備。

箱體可以使用錨定螺栓或是纏帶方式固定在結構體上。至於箱體的密封，可以使用橡膠封塞環(rubber sealing ring) (有時是膨脹橡膠) 在箱體與結構體接觸周遭加以密封。

當箱體確定固定在結構體上，並且密封作業已經完成，此時就可以將箱體中的水以幫浦打出，好讓後續的修補作業可以在空氣中進行。

箱體尺寸應該盡量小，以避免受到波浪與潮流的影響；然而，箱體內要有足夠的空間，以利進行修補的工作。

空氣潛水箱的初期成本很高，因此不適用於大量修補工作，對於某些結構體也不恰當。只有當修補作業需要有專家參與，或是在潮汐帶作業潛水俠可能會有危險時，此法才會成為可考慮的方案。

5.2.4 加壓乾式棲息地(pressurized fry habitat)

此法與空氣潛水箱類似，只不過潛水俠出入口在下方處。先將棲息地固定在結構體上，並且加以密封，然後加壓將其內之水排除。

因為加壓乾式棲息地並不需要有一管路通到水面上，因此本法可以使用在深水處，如水下 200m 之修補。

加壓乾式棲息地是最為複雜的一種到達方法，因此在考量方案時

通常因其成本太高而被排除。當如何更有效進行複雜修補問題比成本問題更為重要時，或者修補區域已經超出潛水伕可以作業的區域外時，本法則成為可能解決的方案。因此，本法通常是用來修補離岸鑽油平台時使用。

5.2.5 潛水伕

在相對起來淺的區域，使用潛水伕作業是進行水下修補最常見的一種方式。相較於將水排除或是以箱體固定在結構物上的做法，潛水伕修補作業的整個程序要快速得很多。

當結構物太過複雜，以至於箱體無法固定在結構上時，潛水伕作業是很好的方案。碼頭、防波堤之修補作業含有很多的構件，還有管路的出水口處的修補作業，潛水伕作業是唯一可以使用的方式。

潛水伕從一點移動到另一點是比較容易的，這樣的彈性使得當結構物有數處需要修補時，可以簡單地使用潛水伕移動，而不必移動箱體。

潛水伕可以從事的作業受到他們所穿著的潛水裝以及海浪、潮流的狀況。在飛沫帶，潛水伕最易受傷，故只能從事小區域，短時間的修補作業。在水面下，浪流的影響相對比較不明顯，此時潛水伕可以進行較為複雜的修補作業，作業時間也可以較長。

當潛水伕可以受到保障，不受到浪流的影響時，他們可以完成以下的修補作業：

1. 使用高壓水流敲除混凝土。
2. 使用氧—電弧槍切斷鋼筋。
3. 進行植入鋼筋籠還有預力鋼鍵。
4. 組模還有拆模的工作。
5. 控制混凝土的澆注。
6. 使用施加預力的設施將預力鋼鍵施加預力。

當使用潛水伏作業時，穿著厚手套的潛水伏可以使用大型的機具工作。潛水伏的效率，隨著使用穩定的工作平台能夠提供潛水夫安全性以及提供設備、工具、照明而提高，這特別是對飛沫帶的作業更為重要。

值得一提的是，潛水伏除須具備有專業潛水之能力外，也應對於從事修補進行適當的訓練，以使修補作業順利進行，避免不必要的錯誤發生。

5.2.6 濕式棲息地(wet habitat)

當有明顯的波浪作用時，提供一個濕式棲息地給潛水伏可以增長工作時間，也可以在安全下進行複雜的修補工作。濕式棲息地是由一個箱體，將之固定在結構物上。如加壓乾式棲息地一樣，濕式棲息地也能夠提供所有的設備以及服務，不過濕式棲息地並沒有加壓把水抽出箱體。

濕式棲息地的主要功能在於提供一個穩定安全的工作平台，使潛水伏進行修補作業時，不會受到浪流的影響。為了防止浪力對箱體的影響，濕式棲息地必須要安裝在波浪通過的影響區以下。

5.3 混凝土與鋼筋的準備工作

5.3.1 通則

修補受損結構，不論是在空氣中作業或是水下作業，第一步都是確定需要修補的範圍。在水下的混凝土，或是經常浸置在水中的混凝土，常會在表面有海生物附著，這包括了海藻(sea weeds)以及海洋沉積的硬殼(marine encrustation)。除了要去除這附著物以外，對已經受損甚至開裂的混凝土也應該要移除。當鋼筋有嚴重變形或是腐蝕，也應該要切除。

在水中要敲除混凝土或切除鋼筋，存在著許多問題。當可以在潮

汐帶利用低潮位時工作或者可以圍堰排水，此時作業與在空氣下作業相同，並沒有困難。

在空氣下作業，有許多敲除或是切除工具都已經成熟發展。然而，此等工具若是要在水下使用，則需要進行主要的修改，以使工具能夠安全地在水中使用。比如說，使用電為動力的工具，必須要達到完全絕緣。然而要做到此點之改裝，所費不貲；並且最後器具的體積也會龐大無比，使得要潛水扶持此工具作業變得不切實際。因此，大部分在水下進行混凝土敲除還有清理的工具多半使用空氣動力或是水動力，這樣的工具相當安全。

CIRIA^[22]的水下工程團隊曾經對所有水下使用工具做了一個完整的回顧。

切除工法的選擇取決於工作的本質，熱矛(thermic lance)能夠同時切除混凝土以及鋼筋，而使用高壓水流則可以切除混凝土，但不會切斷鋼筋。

以下的幾節中，將說明在修補工作開始前，如何在水下對受損的混凝土進行敲除、表面準備等工作。

5.3.2 表面準備

海生物附著數量以及形態與水面下的距離以及結構物的年齡有關。移除此等附著物是很重要的，一方面如此才可以確知需要修補的範圍大小，另一方面則可以確修補材料與原材料(基材)的黏結良好。

手持式或是機械式的鋼絲刷(wire brush)、針槍(needle gun)或是整形工具(scabbling tools)都很適合用來清理局部的區域。使用水動力或是空氣動力的旋轉式鋼刷可以清除如海藻等軟的附著物，也可以用來清除鋼筋以及混凝土上像是藤壺(一種甲殼類動物)或是軟體動物等附著生物。水下針槍以及空氣動力鐵鎚可以用來去除混凝土上方表面。

當處理大面積時，可以使用高壓水流(見 5.3.3 小節)。當有硬的沉

積物要去除時，可以在水流中加入含有顆粒物的磨耗性泥漿(abrasive slurry)，這樣可以增加切除的效果。另外，也可以加入清潔劑，以清洗混凝土表面的油漬或是其他的污染物質。

在敲除受損混凝土作業、切除鋼筋作業還有準備模板作業的時間內，混凝土表面可能會有微生物附著其上。這種附著只需要僅僅幾小時就可能發生，而因此會造成修補材料與基材之間的黏結降低。因此，在澆注修補材料之前，混凝土表面仍要以清水沖洗，以去除任何菌類(或是微生物)。在許多實作的情況，要在清水中加入殺真菌劑或是其他類似的替代物以便真實地去除微生物的附著。

水下如何進行結構物之清理程序還有相關使用之機具，可以參照美國工兵署之出版物^[23]。在此參考文獻中，對於使用各種的設備其應用時機、優點、缺點還有操作方法都有綜合的整理，並且對於每種設備最佳的使用時機都有所推薦。

5.3.3 敲除混凝土

在修補鋼筋混凝土或是預力混凝土結構物時，如何只敲除受損的混凝土，而不會切斷鋼筋是很重要的。以下介紹的技術可以切除混凝土，但不傷及鋼筋；鋼筋可以在後續中加以切除或是保留。

5.3.3.1 高壓水流

高壓水流是在做水下敲除混凝土常用的工法之一，此系統可以將細小且高壓之水柱噴射到混凝土表面上。典型所使用的水壓為70MPa，最高可以用到120MPa。

當在水下使用高壓水流時，會因為週遭的水之存在，而造成水柱之斷面擴大。這樣子雖然可以增加沖刷的範圍，但是與其他有類似功能的切除方式來比，其敲除混凝土的效率是比較低的。

水流的反作用力會造成對機具有不小的作用力存在。為了要平衡這樣的反作用力，水下用之高壓水流設備，會同時產生一股大小相等

方向相反之贅流(dummy jet)與之平衡。

此種方法去除混凝土可以使用兩種方式。其一為施作在混凝土自由表面上，最終造成混凝土產生剝落現象；另一種是交叉施作在混凝土上產生溝槽，然後水壓力會將水泥漿沖出，雖然骨材並未被切除，但是隨著水泥漿體的喪失而自動被沖洗出來。

如果使用此法來敲除高強度混凝土或是也要一併切除鋼筋時，則可以在水流中加入磨耗性泥漿或是矽砂(silica sand)。磨耗物可以從水下儲料槽中汲出，混合入水流，這樣可以增加其切除的效率。當純用高壓水時，鋼筋不會切斷，但是可以達到清洗鋼筋的目的，以利爾後的施作塗封層或是澆注修補材。

5.3.3.2 機械式切割

對於小範圍或是需要精確切割的作業時，使用水動力之機械式工具如鑽石鋸片或是鑽孔機是常見的選擇。如果有需要的話，此法可以同時用來切除混凝土與鋼筋，不過切除的尺寸會受到鋸片的直徑大小影響。使用鋸片方法，切除面通常難以鋒利，這可以讓修補材料與基材的黏結增強，並且避免羽毛狀角邊出現。

對於淺水作業(小於 6m 水深)，傳統的空氣動力敲除器可以使用。水動力敲除器與空氣動力敲除器類似，不過它可以使用的作業水深要遠比空氣動力敲除器深許多。當使用機械式敲除器時，必須要小心避免損傷在修補區域臨近之健康混凝土。

5.3.3.3 劈裂工法(splitting techniques)

本方法先沿著混凝土欲破壞處鑽數個孔洞，混凝土的斷裂面的形狀以及方向可以由鑽孔位置以及傾角的適當安排達到。在孔洞內施加壓力，則附近的混凝土因承受張力而產生破裂剝落。

水動力劈裂包含兩種模式：活塞劈裂物以及楔狀狀劈裂物。活塞劈裂是以一連串類似千斤頂的方法運作。這種裝置有一中空的主體，

斷面通常為正方形，在其背面有一連串的活塞劈裂物。然後這些活塞劈裂物以 125MPa 壓力擠入內襯鋼製襯裡的洞內。如此會造成活塞劈裂物膨脹，進而對混凝土產生劈裂的效果。因為活塞劈裂物僅產生單方向的膨脹，因此只能控制開裂的方向。

楔狀狀劈裂物是鋼製的，以水動力將它擠入兩鋼製尖劈襯裡中間，當它被擠入預鑽之孔洞內，兩個尖劈襯裡會推己洞的內側，因而對混凝土產生劈裂的效果。開裂的方向可以由控制劈裂物的傾角而確定。

也可以使用膨脹水泥達到劈裂的目的。將膨脹水泥與水混合形成水泥漿體，然後放在塑膠袋內，再將塑膠袋塞入洞中。在 12-24 小時內，水泥慢慢反應膨脹，造成混凝土產生劈裂。

Cardox 系統則是以鞘狀物內裝有加壓液態的二氧化碳，將該鞘狀物塞入洞中，然後使用一種非爆破性的化學物質包在紙內充當藥引，以電弧點燃使之反應，這樣會增加二氧化碳的壓力，使之逸入孔洞內造成對孔壁的壓力，從而造成劈裂的效果。使用 Cardox 劈裂工法之後，鋼筋仍須要切割。然而有經驗的工程師，可以透過恰當的安排孔洞位置，讓小於 15mm 直徑之鋼筋因劈裂的力量而被剪斷。

5.3.4 鋼筋混凝土去除

以上所提及敲除混凝土的工法，有部份也可以同時切除鋼筋。然而，有時這些工法仍是需要配合切除鋼筋的方式進行。爆裂法應用在水下切割已經行之有年，它是以接觸式爆裂物來達成目的。如同許多的切除作業一樣，使用爆裂法必須是有經驗的廠商來執行。爆裂物的用量、安放位置都會影響到最後的成功與否。使用爆裂法所造出的斷面非常不規則，並且可能對臨近的結構產生不良影響。

當有需要進行精確切割作業時，採用『預成形』爆裂物是可考量的方案。此法是將特殊選定的爆裂物裝在以軟金屬做成的鞘狀物內。鞘狀物的斷面通常為圓錐斷面，當爆裂物被點燃之後，鞘狀金屬物質被爆裂，形成一金屬質流被爆炸之力量推向前，產生切割的效果。這

方法能夠將爆炸切割的效果限定在局部的混凝土表面。這種預成形的爆裂物相較於傳統的爆裂法，可以產生比較光滑的切割面；並且因著可以提高使用爆裂的效能，從而可以控制爆炸震波影響的範圍。

熱矛法可以用來從事厚斷面鋼筋混凝土的切割工作。熱矛管是由軟鋼所製成之管狀物，內中有鋼製的桿件疊堆。在管的末端處，因輸入的氧氣與鋼產生氧氣—鐵的氧化反應，而產生高熱。高達 2200 攝氏的高溫產生，因而可以同時切除混凝土與鋼筋。當使用熱矛來切除鋼筋混凝土時，混凝土因為高熱熔化而生成爐渣(slag)，而鋼筋則因為高熱產生氧化斷裂。

熱矛法一般只適用於淺水區作業，因為水深增加會相對的要求氧氣的壓力與輸送速率也要提高。由水中產生的氫氣與未燃燒的氧氣會造成氣爆，而對操作人員造成安全性的影響，這也是應該注意的事情。

使用爆裂法或是熱矛法是用來切除整個鋼筋混凝土斷面，因為它們都同時切斷混凝土與鋼筋。在進行修補工作前，若是考量要植筋進入，則應該再使用其它切除混凝土的方式(如高壓水流)來將切除範圍增加，以保障搭接與力的傳遞等方面可以被保證。

5.3.5 鋼筋切除

在進行修補工作前，斷裂的鋼筋或是嚴重變形的鋼筋應該要先加以切除，然後進行植筋。切除鋼筋的時候，必須要考量如何接續的問題，斷面是否可以採用藕合器或是焊接。在水下進行鋼筋切除工作最常使用的三種方式敘說如下。

5.3.5.1 機械式切割

在小規模的修補工作，通常只有少數的鋼筋須要被切除，此時使用機械式切割是最為常見的。有許多水下使用的機械式切割鋼筋器具已經發展出來，如使用鋸片切割或是鏢栓切割機(bolt croppers)。若是要切除的鋼筋尺寸很小，也可以使用手持式的切割。

5.3.5.2 氧—氫切割(Oxy-hydrogen cutting)

在空氣中進行鋼筋切割，一般是使用氧—乙炔切割，它是靠所產生的氣體火燄與碳鋼產生反應而切割。在水中則必須要以氫氣來取代乙炔，因為乙炔在水下會有不安定的問題發生。

但是氧—氫切割所產生的熱能並沒有氧—乙炔切割來得高，所以其切割效率較低。因著氧—電弧切割可以有較高的效率，並且更方便使用，氧—氫切割已經漸漸被淘汰。

5.3.5.3 氧—電弧切割(Oxy-arc cutting)

氧—電弧切割的高熱是由電弧所產生，而非由氣體火燄所產生。加壓的氧氣(5 到 8MPa)從電極管中被噴出，因電極電弧所產生的高熱，造成氧氣所接觸的鋼筋斷面產生氧化被切斷的效果。因為切割的斷面乾淨，因此有利於後續的焊接作業或是加入藕合器。氧—電弧切割設備只要將電極反接，就可以成為水下焊接的設備。

5.4 修補材料

5.4.1 材料的選擇

有許多的材料可以應用在水下修補作業上，它們可以分為兩大類：水泥基材料與樹脂基材料。

5.4.1.1 水泥基材料

水泥基材料包括了砂漿還有水泥漿，也包含了使用各式各樣的摻料達到更好性能的之材料。這些摻料可以增進其凝聚性(cohesiveness)、快速的強度發展、更高的工作性、減少在水下被沖刷流失的抗分散性、減少泌水還有減少收縮。許多的水泥基材料都是袋裝配好的材料，它們可以在水中進行澆注。

水泥基材料優於樹脂基材料的地方羅列於下：

1. 與基材之間的彈性模數還有膨脹係數的相容性較好。
2. 可使用在較厚斷面之澆注，而不會有過多的反應熱量，不必憂心熱裂縫的問題。
3. 相對來說較為便宜。
4. 在施工上以及拌合上對錯誤的容忍性較好。
5. 潛水使用起來較為安全。

5.4.1.2 樹脂基材料

樹脂基材料主要是環氧樹脂材料，種類上包括了灌注樹脂 (injection resin)、可澆注砂漿 (porable mortar) 還有手工施作油灰 (hand-applied putty)。環氧樹脂相較於水泥基材料而言，其楊氏模數較低且潛變較大，因此比較不適合使用在結構性修補。當使用環氧樹脂修補較厚斷面時，在養護期間所產生的高熱，可能導致材料受到高應力作用，而產生開裂。

環氧樹脂基材料優於水泥基材料的優點簡述如下：

1. 因為其黏滯性很低，所以可以很容易注入微細裂縫之內。
2. 高黏結強度。
3. 如果修補材料有位移考量時，環氧樹脂有很高的柔性，所以很恰當。
4. 對於水或是鹽類滲入的抗性很好。

環氧樹脂施工須要配合恰當的到達修補區域方法，其成本較高；另外模板的準備與提供都較一般水下修補的來得貴許多。最後，此類工作通常需要有專家指導，而具有這類經驗的專家為數不多。

不論選用的材料為何，通常需要透過先前的經驗或是設計的試驗來驗證該材料對於所面臨的修補狀況是有效的。這些應證性試驗應該在相似於未來要服務的環境還有溫度下進行。需要驗證的有：

1. 結構特性：強度、楊氏模數還有潛變是否能夠滿足結構需求？
2. 柔性：柔性是否能夠容忍預期的位移？隨齡期增加，材料是否會變脆？
3. 水泥沖刷問題：當水泥在水中自由落下，是否會被沖刷分散？
4. 使用壽命(pot life)/硬化速率：材料是否在一段時間內都容許可以進行澆注作業？之後的硬化速率與強度獲得是否恰當？
5. 試澆注作業：材料是否能夠緩慢但連續的泵送？材料是否可以自充填並自我整平？
6. 現場鑽心取樣：當現場強度有要求時，是否水泥的沖散效應造成頂部的強度下降？是否材料與澆注區原有之水產生內部混合，而造成強度不足？
7. 黏結強度：材料對於原始之基材的黏結強度或是材料對其它修補區域物質(如鋼筋)的黏結強度是否恰當？

5.4.2 混凝土

對於大範圍的修補，使用混凝土是較為經濟可行的方案。在水下使用的混凝土必須為可自由流動(free-flowing)、有凝聚性、並有自充填性(self-compacting)。而且修補混凝土應該減少泌水現象還有塑性收縮，此二者都會造成修補材料與基材結合面的弱化。

可泵送混凝土的特性一般說起來都會滿足水下混凝土的要求。配比中各成份的討論如下所述。

5.4.2.1 水泥

有各種水泥可以使用在水下修補，有些添加了爐石粉(gorund granulated slag)，有些則有添加爐灰(pulverized fuel ash)。為了達到恰當的凝聚性，通常水泥用量在 350 到 425 kg/m³ 之間。

5.4.2.2 粒料(骨材)

為了要達到高工作性，圓顆粒的粒料要比壓碎岩石母體所製造出來的粒料來得理想。特別是用岩石母體壓碎出來的細粒料並不恰當，一方面因為它的級配通常不好，另一方面則是因為形狀不理想。使用粗糙級配的粒料，將會增加泌水量。

5.4.2.3 摻料(admixtures)

使用摻料可以增進混凝土品質，也可以增進其澆注能力。有關於水下混凝土所使用的攪料種類以及其功用整理如下：

1. 塑化劑(Plasticizers)：使低水量的混凝土仍具有一定的工作性。如此可以增進混凝土的強度上昇、密度提高，並且降低其滲透性。對相同水量而言，使用塑化劑可以增進工作性，有利於澆注作業還有搗實。
2. 強塑劑(Superplasticizers)：使用強塑劑可以造成工作性極好但仍有一定的流動特性之混凝土。此類混凝土也可是自充填以及自我整平。因此，對於振動可以能引發出水與材料的內部混合危機可以避免。
3. 輸氣劑(Air entrainers)：使用輸氣劑可以改善混凝土的凝聚性以及工作性。當細粒料級配不良時，加入輸氣劑可以改善泌水現象；並且輸氣劑可以改善幫浦的泵送。
4. 緩凝劑 (Retarders)：緩凝劑可以減緩凝結時間，這可以避免冷縫(cold joints)的發生，並且可以延長整體澆注時間。緩凝劑經常與塑化劑或是強塑劑合併使用。
5. 高分子改性劑(Polymer modifiers)：添入高分子改性劑可以改善混凝土或是砂漿的行為，特別是黏結強度以及抗張強度，詳細說明5.4.3 小節。
6. 抗分散劑(non-dispersible agents)：加入抗分散劑可以使修補混凝土

土與周遭水接觸時水泥不會被沖刷出來。抗分散劑常包含了減水劑(water-reducing agents)還有增進黏稠性之促進劑，如乙醚纖維素(cellulose ether)還有聚氯乙稀氧化物(polyethylene oxide)。目前在修補材料市場上，有添加配好抗分散劑之水泥可以購買到。

7. 微矽灰(Microsilica)：添加微細灰(通常會與強塑劑一起使用)可以增進抗壓強度，並形成具有抗分散能力之混凝土。

5.4.3 水泥砂漿與水泥漿

當受損區域的鋼筋排筋過密，而無法使用混凝土澆注時，則可以水泥砂漿或是水泥漿。至於砂量多寡、一致性(consistency)還有級配取決於修補工作的需求。

對於小批量的修補，使用鏟平用水泥砂漿是恰當的選擇。當修補區域處於飛沫帶或是水下時，可以採用特殊配方之波特蘭水泥或是超快硬水泥，以避免可能發生的沖刷喪失問題。快硬水泥可以用於在修補裂縫的前置作業，將裂縫表面先進行封塞，然後才採取注入法將修補材料由突狀灌入口注入。較具有流動性的砂漿則可以使用在修補混凝土剝落上，可以使用幫浦澆注或是注入具有信箱狀開口之模板。

對於注入裂縫內或是小尺寸預堆積骨材工法使用時，可以使用純水泥漿。使用純水泥漿可以讓漿體有更深的滲入深度，同時也可以避免因細粒料所產生之阻塞效應。通常，純水泥漿不應該使用補較大之孔洞，因為它的發熱還有收縮問題都可能導致開裂。

水泥砂漿的性質可以透過添加高分子改性劑而得到改善。這些高分子改性劑包括了聚合單體(monomers)、樹脂(resin)還有乳膠液(latex liquids)，添加的方式是以取代水的方式加入，它們可以改善混凝土的特性包括：

1. 顯著的增加抗彎以及抗張強度。
2. 增進抗壓強度。

3. 降低滲透性、降低泌水、減少收縮。

4. 增進黏結強度，因此不需要使用黏結劑塗層。

然而，高分子改性砂漿有較低的楊氏模數，並且有較高的潛變量，因此在結構性修補上可能導致不必要的問題。選用高分子改性劑應該要小心，因為有些高分子並不適合使用在水下作業，或者在潮濕環境的作業。特別像是聚乙烯醋酸鹽類(polyvinyl acetate, PVA)或是壓克力聚高分子改性砂漿(acrylic copolymer modified mortar)並不適合使用在水下修補。在水下修補環境下，使用聚丁苯乙烯橡膠(styrene-butadiene rubber, SBR)或是聚苯乙烯—壓克力聚合體(styrene-acrylic copolymer based)改性的砂漿是最為恰當的。

以高分子改性的水泥漿可以用來塗刷在基材的表面當作黏結塗層用，這樣可以增進修補砂漿與基材的黏結性。基於高分子改性劑有其專業性，因此使用高分子改性劑最好參照原廠商的建議方法進行。

5.4.4 預壘混凝土(preplaced aggregate concrete)

預壘混凝土工法是先將骨材密實地堆積在模板所包圍的修補區域內，然後將水泥砂漿或是水泥漿灌入模板內。漿體灌入後，形成有高骨材/水泥比值之混凝土，並且骨材與骨材間存在點接觸。此法可以降低收縮量(為一般混凝土之 50%到 70%)，並且不會有粒料分離(segregation)，沉陷量低等好處。然而，當混凝土要求為嚴格時，則低滲透性配比、因水泥漿體沉降所造成之微裂縫還有骨材下方之泌水應該要加以避免，這目標可以透過水泥漿配比設計來達到。

在混凝土施工手冊^[23]所建議的事項應該遵守，以利於成功地完成預壘混凝土漿體的澆注。其要點簡述如下：

1. 粗粒料：盡可能使用大尺寸的骨材。但是骨材最大尺寸應該要小於以下兩條件中的最小者：其一為模板最小尺寸的四分之一，另一為鋼筋最小間距的 2/3。斷面尺寸小於等於 300mm 者，最小粗粒料尺寸應該為 14mm。當斷面尺寸大於 300mm

者，最小粗粒料尺寸為 19mm。

2. 細粒料：細粒料之級配須要良好，如滿足 BS 882 第三區(zone 3)的規定。但是特別重要的是，細粒料應該是均勻級配(uniformly graded)，這樣有利於幫浦運送，也可以避免塞管發生。當使用較小尺寸之粗粒料(如 10mm)，則澆注砂漿可能發生堵塞現象，指的是細粒料卡在粗粒料間。此時可以使用純水泥漿澆注，不過應該添加適當之摻料以降低其收縮量。
3. 水泥：任何標準的波特蘭水泥都可以使用。如需要考量特殊的問題(如硫酸鹽類攻擊)，則可以使用特殊用途水泥。
4. 摻料：通常會添加卜作嵐填充料(pozzolanic fillers)以增進漿體之流動性質。預袋裝好的攪料可以使用來防止泌水、增進塑性化、輸氣或是產生膨脹。速凝劑可以使用在冷水下作業，或是有提早拆模需求之作業。
5. 預袋裝水泥：市場上有許多預袋裝水泥，可以適用於水下預壘混凝土工法使用。這些預袋裝水泥有加入摻料，以降低收縮量、降低泌水以及增強抗分散能力。

5.4.5 樹脂砂漿以及純樹脂漿

正常的環氧樹脂或是高分子樹脂並不適合使用在水下作業，它們通常難與基材間形成良好的黏結，並且硬化劑本身會與水產生反應，會帶來負面的影響。

即使是水下施工用環氧樹脂，也會因為在澆注時可能有的亂流，而使得材料與水產生混合，造成其表現大打折扣的現象。一般說起來，因其黏結力不足之故，高分子樹脂並不適合使用在水下作業。

市場上存在多樣的環氧樹脂，從低黏滯性注入樹脂到充滿砂之樹脂砂漿，再到手工施作或是鏟刀施作用環氧樹脂油灰。通常調配是使用同樣的樹脂材料，然後再使用不同用量之填充料(通常是砂)，調配

出所需要的一致性。

選擇材料的考量點如下所述：

1. 一致性：取決於要填孔洞之尺寸還有澆注的工法。
2. 柔性：假設材料需要參與承載，則它必須要是高楊氏模數且低潛變。但是當材料只是當作封塞使用(sealants)，則材料應該要能容忍位移，故應使用高柔性材料。
3. 在養護期間所產生之熱：取決於硬化速率、填充料使用量以及修補區域的厚度。修補區域的厚度應加以限制，以避免產生過多的熱，而造成後續的開裂。
4. 硬化速率：材料在多長時段內仍可以保持可用的取決於溫度、澆注方法還有修補工作的複雜程度。對於某些作業，如裂縫塗封或是灌注法需要的突狀物(安置注入口)需要使用快硬的材料。許多環氧樹脂都有配方可調成快乾的或是正常硬化速率的。

基本的環氧樹脂—硬化劑系統，其密度與水接近，因此洩漏會造成在水中漂流，容易造成潛水俠的危險。即使是使用環氧樹脂砂漿或是環氧樹脂油灰，仍要注意避免污染潛水俠以及潛水設備。使用環氧樹脂，應該要注意遵照廠商的建議，以保障最後的表現。為了達到良好的品質控制，通常所使用的材料會是將環氧樹脂、硬化劑還有填充料依照比例預包裝好。

5.5 混凝土水下修補工法

5.5.1 表面剝落修補

當水下混凝土受到損害造成剝落現象，此時應該要盡快進行置換工作，以避免鋼筋腐蝕的問題發生。特別在飛沫帶，鋼筋腐蝕會迅速地將局部輕微的損壞擴大成為廣大全面性損壞。

在進行修補前，混凝土表面需如前所述進行清理，敲除軟弱的混凝土，並且清除表面附著的海生物。在剝落區域的週邊，須以鋸片切割方式依照破損區域的大小切出深度約 12-20 mm 的範圍，以避免出現羽毛狀角邊。

在飛沫帶區域，一般說起來使用鋤刀用砂漿來修補是恰當的。當受損的區域很小時，則可以使用水相容的環氧樹脂砂漿/油灰。

表面準備完成之後，在飛沫帶進行局部表面剝落修補的程序如下所述：

1. 將表面以清水徹底沖洗，並維持潮濕的狀態(除了在某些環氧樹脂要求乾燥的情況以外)
2. 在基材與修補材的接觸面上施作一層黏結塗料(bonding coat)，對於一些環氧樹脂修補材或是高分子改性砂漿並不須要施加此黏結層。
3. 在黏結塗料硬化前施作修補砂漿。
4. 在水泥質系修補材外施作養護薄膜(curing membrane)
5. 在修補材料硬化程度達到足夠前提供必要的保護，以防波浪的破壞。

至於對大範圍的飛沫帶之表面剝落修補或是水中帶的表面剝落修補，則必須使用模板讓修補材料不致散失。當然使用模板的作業會使得整個修補程序時間拉長，而造成水生物附著生長的情況變差。時程的拖延，也可能致使黏結塗料無法使用，因為修補材料須在黏結塗料尚未乾透前澆置是保障黏結成功的要素。而時間的延後可能造成黏結塗料已經硬化，此時再澆置修補材時，其界面為光滑的，而使得黏結能力大大下降。

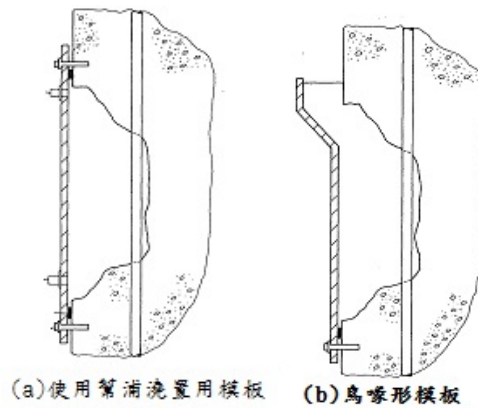


圖 5.2 兩種典型使用的模板：(a)使用幫浦澆置用模板 (b)鳥喙形模板 ^[21]

兩種典型使用的模板如圖 5.2 所示。這些模板通常是以螺栓固定在結構體上，有時也會以纏帶裹緊的方式固定。若是使用幫浦輸送修補材，則在模板上須留兩個開口。膠泥或是砂漿從底部灌入，將模板中的水向上排擠，最後當由模板上方的出口排出，當修補材從上方出口排出即完成澆置。這樣子可以讓修補材料與水的混合狀況達到最小，降低水泥被沖刷分散。如此作也可以降低在修補過程中混入非拌合水的風險。將砂漿澆置入模板內，會在混凝土(基材)表面發展剪應力，這迫使修補材料與基材間有接觸壓力，造成良好的黏結產生。

當修補材須由上方注入時，則模板纏緊在結構體之後，上方必須切除出開口，以利修補材料注入，這會形成信箱式的開口。當使用這種信箱式開口的模板，在修補材料方面則應該使用可以抵抗水泥被沖刷分散的配比。並且也應該使用自充填材料，避免使用振動器，因使用振動器會造成修補材料與模板內的餘水產生內部混合的狀況。

修補工作也可以採用柔性模板(flexible formwork)，圖 5.3 為一受損柱體以柔性模板包覆的示意圖。當澆置區域內有鋼筋存在時，則應在模板內安置間距控制(spacers)還有固定器(fixings)以控制保護層厚度，這對於處於有激烈海流作用的修補區域特別重要(因海流強烈會造成柔性模板變形，致使保護層厚度不足)。

由 Rescon 公司發展出來的一種特殊工法，是在開始的時候先將一

種乳狀的黏結劑澆注進入圖 5.3 的柔性模板內，然後再將修補砂漿澆注進入模板，置換乳狀黏結劑，如此一來在基材(混凝土)與修補材間就存在一黏結塗層，增進其黏結能力。

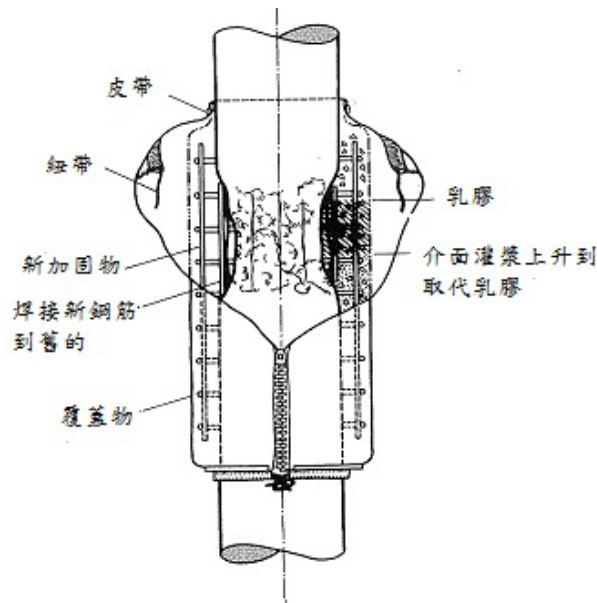


圖 5.3 柔性模板施工的示意圖^[21]

5.5.2 大尺寸修補(Large-scale repair)

通常會出現大尺寸修補的破損是因為結構有超載(overloading)、火害、船的碰撞或是鋼筋銹蝕(特別容易發生在飛沫帶)。當有大面積的修補時，選擇修補材料應該注意修補材料之收縮(shrinkage)或是泌水(bleeding)不會造成基材與修補材的界面處產生漏水路徑(leakage path)。在厚的修補區域進行修補時，有些修補材料因在硬化過程的發熱現象，可能會導致有熱裂縫(thermal cracks)的發生，即使在水下修補時週遭的水有降溫的效果，這種現象仍有可能會發生。

有些時候，除了作混凝土修補外，也須要進行鋼筋的修補，因為鋼筋有可能發生劣化或是嚴重的銹蝕。有關鋼筋的修補將於 5.6 小節中說明之。

有關於大尺寸修補的一般性原則如下所述：

1. 如 5.3 小節所述準備混凝土表面。一般說起來，需要將混凝土切除到鋼筋的背面，如此可以保障鋼筋在修補後可以免於進一步的腐蝕，並且這也可以讓修補材料與原構件緊緊地相黏結。應以鋸片切割出修補的區域，週長最少為 20mm，並能避免羽毛狀邊角出現。在破壞區的頂端，混凝土切割應呈現傾斜角度，這樣子一方面可以避免在澆注修補材時補捉了一些非拌合水的水份，另一方面也讓泌水得以離開修補區。
4. 鋼筋應該徹底的清除乾淨，如果有需要應該進行置換或是補入加勁筋。在飛沫帶的鋼筋，應該加以塗封，以保護鋼筋免於腐蝕。當然這在水中帶一般說起來是不可能的(因為鋼筋塗封用之環氧樹脂與水不相容)，不過水中帶的腐蝕狀況通常也並不嚴重。
5. 模板的選擇與擬採用的澆注工法有關。為了盡量降低泌水現象以及增進黏結能力，在混凝土硬固之前，能夠有一定的壓力施作是有益的。如此模板須為強健的，能防止漏漿，並緊附著於結構體上。當使用預壘混凝土，則模板應該為可組合式的，以便在堆積骨材的過程當中，模板可以保持直立。
6. 在將要澆注混凝土前，模板應用清水洗淨，以避免水中的鹽類附著在模板上而污染混凝土。
7. 使用幫浦是最佳澆注混凝土的工法，混凝土由模板下方的入漿口灌入，進入模板內的混凝土將模板內的水由模板上方的出漿口排出，直到漿體灌滿模板內空間，由出漿口排出為止。幫浦作用下，可以持續排出上層已經跟水產生內部混合的混凝土。為了降低混凝土與模板中水的內部混合，當混凝土灌注經過鋼筋時，應降低幫浦的速率，而振動器只能在混凝土已經完全充滿模板內之空間後，才可以施加。當上方出漿口封閉之後，再施加壓力可以避免可能出現的泌水現象，並且這壓力會促使修補材料與基材有緊密接觸，產生更好的黏結。

5.5.3 預疊混凝土

先將經過級配能夠達到讓填充之後空隙最小化之骨材填入模板之內，然後以振動器或是搗棒加以夯實。之後將水泥漿(或是水泥砂漿)澆注進入已經有骨材堆積的模板空間內。澆注過程中，密實的水泥漿會將模板內的水份由模板上方排除。為了讓灌注成功，模板應能夠密接於結構體上，並能防止漏漿發生。並且在模板上方要有適當出口，好讓水與空氣得以逸出。在模板上使用帕斯佩有機玻璃窗(Perspex window)可以方便觀察在澆注過程中漿體的運動狀況。

在澆注水泥漿前，骨材應以振動器振動，使其空隙被最小化，並且骨材應以清水沖洗乾徑，以避免海水以及淤泥的污染。應該要注意在模板內空間應該充滿骨材，若是有區域沒有骨材，注入水泥漿以後會造成在該處是無骨材的純水泥漿體，這會產生過量的收縮開裂的現象。之後，將水泥漿由底端的進漿口注入，持續地注入直到由出漿口排出了水泥漿為止，注意在此過程中不能夠間斷。然後，應持續注漿，以利於將那些與模板內水產生內部混合的混凝土以及那些遭水沖刷失去水泥的修補料排出，然後才將出漿口關起來。一般說起來，在澆注過程中不建議採取振動器，因為這樣子容易造成水泥被沖刷喪失的問題。

對於更大區域或是平坦區域的混凝土修補，如置換巨大混凝土管路之錨件或是澆注基礎版，在實作上使用垂直的澆注管。這種澆注管一般為直徑 20mm，並在管的中央點每隔 1.5mm 有一間隔器。確實的尺寸與間隔器間距與模板的型態還有骨材的特性有關。水泥漿藉由這種垂直管由澆注區底部灌入，並慢慢向上充滿修補區，排出其中的水。

5.5.4 注入法(Injection)

在水下修補混凝土表面出現的空洞(voids)或是裂縫，可以使用樹脂材料或是水泥漿體注入，其方法與在空氣中類似。材料的選擇則與裂縫或是空洞的尺寸有關，並且也與將來該縫的運動有關。

對於裂縫寬度達到數個釐米級的裂縫，使用水泥基材料就足以穿透滲入；然而對於更小尺寸的裂縫，如到 0.1mm 寬度的裂縫，環氧樹脂更為恰當。通常說起來當裂縫寬度小於 0.1mm，則並不須要使用注入法處理。穿透深度通常是與注射壓力的大小還有在硬固前壓力持續的時間長短有關。當有證據顯明裂縫的造成與鋼筋的腐蝕有關的時候，則應該鑿除混凝土直到鋼筋的背面露出，而不應該僅僅只是進行裂縫注入的修補。

一般進行裂縫注入的程序如下所述：

1. 沿著裂縫走向進行混凝土準備工作。
2. 沿著裂縫走向貼附檢測突狀物(inspection nipples)，此等檢測突狀物可以使用快乾水泥基材料或是樹脂油灰(resin putty)形成。突狀物的間距以及直徑取決於修補的裂縫形態還有尺寸，也與選定的修補材料有關。通常是採用 100mm~300mm 間距，直徑為 5mm 的突狀物。突狀物可以直接貼附在裂縫表面上，或是經由鑽洞至裂縫內然後將突狀物置入洞內到達位置。
8. 沿著裂縫走向，將裂縫封塞(seal)。可以沿裂縫走向，製造一凹槽(groove)，然後再注入砂漿；或是更簡單的方法，就是以砂漿鏟抹。
9. 以清水清洗裂縫，以除去污染物，並確保注入路徑的暢通。可以使用染色的水來辨別漏水點，並加以封塞。
10. 然後，由突狀物(灌入口)將水泥基材料或是樹脂由裂縫的一端灌入，然後再由接續的突狀物接續灌入，直到裂縫完全被充滿為止。當完成每個突狀物灌注後，將突狀物封塞。

灌注方法分為兩種：重力灌注(gravity feed)以及壓力灌注。使用樹脂基材料，會採用壓力灌注的方式。通常兩劑式樹脂基材料可以預先混合在一容器內，再施加壓力注入裂縫內；或者也可以使用特殊的內部拌合噴嘴，在要噴出噴嘴前才進行兩劑的混合。

要注意的是環氧樹脂的密度與水相近，因此若有任何的洩漏，將會造成材料在水中漂浮，則可能對潛水俠造成傷害。因此，應該採取必要措施，以防止任何可能的洩漏問題。

若使用剛性的環氧樹脂，則斷面的張力強度與剪力強度可以恢復。環氧樹脂系統可以多少恢復混凝土的強度，故當結構整體性是主要考量時，應採用環氧樹脂材料為宜。

若是再度面臨造成裂縫原因的環境時，會再度產生裂縫時，則最好將目前的裂縫看成移動接縫(movement joint)，以低彈性模數的材料填入，或是在裂縫表面進行封塞。具有柔性的聚氨酯(polyurethane)或是多硫化物(polysulfides)的封塞劑(sealants)能夠防止水氣以及鹽類侵入，卻仍然容許裂縫的移動。

5.5.5 噴凝土(Gunite)

當修補的面積很大或者是有梁或是柱需要重新建構時，此時或許使用噴凝土是最佳的選擇。一般是使用乾式噴凝土，先將砂與水泥在運送管內混合，然後再噴嘴處再與水混合。

雖然噴凝土並不能使用在水下，但是添加恰當的摻料，能促進其快乾的特性，從而使噴凝土得以使用在飛沫帶與潮汐帶。目前市場上已經存在商業化的產品，如 Sika Inertol 出品的 Sigunite 噴凝土，可以讓初凝在 30 秒內完成，而終凝則在 1 分鐘之內。

噴凝土的成功與否，取決於控制噴嘴的操作人員之經驗。如何控制水量、壓力以保障其厚度的均勻性是很重要的。小心的施作，可以讓噴凝土達到 30 MPa 的抗壓強度，並與基材間具有良好的黏結力，又有不錯的抗磨耗特性。

一般說起來，噴凝土的厚度控制在 50 mm 以內，若需要更厚，則應施作第二層。有關於噴凝土的詳細討論可以參考文獻^[24]與^[25]，其中文獻^[25]特別討論到使用在海洋環境下修補使用的噴凝土。

5.5.6 鋼套筒(Steel sleeve)

在修補受到鋼筋腐蝕問題的混凝土樁或是混凝土柱的過程中，需要將受損的混凝土敲除，並敲到鋼筋的背面露出。此等操作往往需要設置臨時性支撐，幫助構件卸載。

除了上述方法之外，另一個取代方案是在樁或是柱的外部套上鋼製的套筒。介於套筒以及原來混凝土樁或柱之間的空間則以混凝土或是砂漿填滿。鋼製套筒在設計上應該要能夠承受鋼筋後續的生銹以及膨脹，並且也要在鋼筋生銹損失面積太大或是已經與原來的混凝土失去握裹黏結時，有足夠的能力取代原來的鋼筋。為達到這樣的目標，套筒的厚度要夠厚，並且套筒的涵蓋區域要向上並且向下超出原來破損的區域，這樣子好讓原構件的承力透過剪力傳遞到套筒上。

套筒一般的設置如圖 5.4 所示，其程序則如下所述

1. 先將受損的混凝土做準備工作，這包括去除海生物附著還有敲除軟弱的混凝土。
11. 在受損區域的下方夾住臨時支撐系統以及封塞環。通常說起來鋼筋腐蝕受損發生在飛沫/潮汐帶，因此受損區域下，水的下方應有足夠的未受損長度之樁或是柱可以施加固定支撐系統。
12. 將兩半圓柱狀的套筒以螺栓組合在樁或是柱的外側。
13. 將修補用混凝土或是砂漿從袖套底部灌入，將套筒內的水排出。
14. 移除臨時性支撐及封塞環的系統，然後將套筒外部塗刷防銹的保護層。

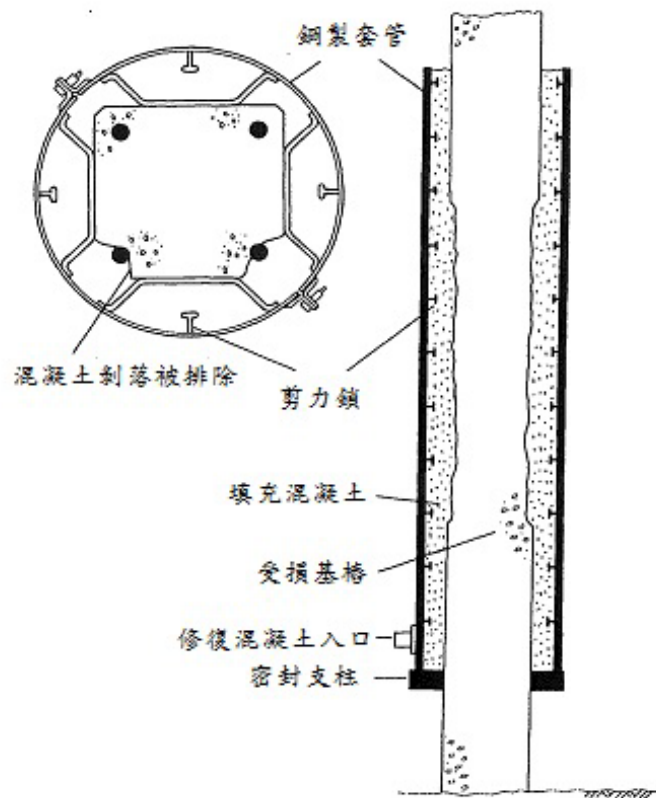


圖 5.4 鋼製套袖修補工法^[21]

5.6 鋼筋的修復

5.6.1 共通的考量

在嚴重受損的鋼筋混凝土結構物，有時會出現鋼筋斷裂或是嚴重變形的狀況。當此等損害是因為衝擊所造成的，則鋼筋的破損會發生在局部碰撞點或是在柱構件或是墩柱發生旋轉處。大部分的時候，可以將已經變形的鋼筋以外力讓它恢復到原位，然後確保被損害的混凝土部份被修復，有足夠的保護層厚度即可。

然而，當鋼筋的變形狀況太嚴重時，將鋼筋重新拉直可能會影響到鋼筋的行為。至於影響的大小，則視鋼筋的直徑以及形態而有所不同。雖然鋼筋的抗張強度不會有明顯地降低，然而破壞應變(failure strain)以及疲勞壽命卻會降低。

在飛沫帶，鋼筋可能出現全面腐蝕或是局部的痕蝕(pitting corrosion)，而出現明顯的斷面損失，此時就需要補筋。在角落處的連接用鋼筋(link reinforcement)特別容易出現這種現象。

當我們設計如何修復鋼筋的時候，應該考量以下的問題：

1. 過密的排筋可能會阻礙修補材料到達。
2. 既存的鋼筋可能是成束的。
3. 修補工作可能必須要在水下進行。
4. 到達修補區域可能只能從單側進入。

當要修補預力鋼鍵時，則不但要加入新的鋼鍵，更要注意的是如何將新的鋼鍵施加預力。

然而，只要這些問題能夠清楚認知，則還是有可能找出恰當的修補方法，不但能夠修復受損的鋼筋，同時也能保障結構的健全性。

5.6.2 搭接(Lap joints)

在每個國家的混凝土相關規範中，都有對於鋼筋搭接有所規定。如英國的 BS 8110 中就規定張力筋的搭接長度為鋼筋直徑的 37 倍(第二類鋼筋放在 30 N/mm^2 強度的混凝土內)。對直徑為 20mm 的鋼筋而言，這長度就等於 740mm。因此在修復此鋼筋的受損時，就需要敲除在受損區域周遭約 800mm 範圍的混凝土，以讓搭接長度足夠。當鋼筋的保護層很小或是鋼筋間距不大時，又或是鋼筋搭接部位交錯時，比上述更大範圍的混凝土必須要被敲除。在美國，ACI 318 中的規定必須要被滿足。

大量敲除混凝土來保障鋼筋有足夠的搭接，將使得修補代價不斐，這不僅是因著敲除的工作，也因著要取代被敲除的混凝土的材料還有整體修復的時程拖長。在已經排筋密集的混凝土斷面，植入新的

鋼筋會讓這樣的狀況更加惡化，甚至造成對修補材料運動的阻礙，使得澆置失敗。因此這種修補方法只有在受損的混凝土區域要比受損的鋼筋來得大很多時才會被考慮使用。

5.6.3 焊接(Welding)

現代的鋼筋製造技術之潮流，是盡量製造低碳當量的鋼筋，以利於焊接作業。相接處可以使用對接(butt joints)或是搭接(lap joints)等焊接的方式。在 BS 8110 中，對兩種焊接的方式都接受；但一般說起來，對接的方式，其強度只有原來強度的 80% 左右。而以搭接焊接的方式進行時，對於 20mm 直徑的鋼筋，其搭接只要 80mm。如此則可以大大降低所需要敲除的混凝土量。在 ACI 318 中，對於大尺寸鋼筋(六號筋以上)，規範允許在主要結構物中使用焊接疊接(welded splices)，不過在張力筋要求焊接所發展出來的強度，需高過降伏強度的 125%。

因此對於受損區域的鋼筋，焊接新的補強筋是可以考慮的一種方法。需要注意的是，焊接對於抗疲勞性質有負面的效果，因此對於某些特殊目的之鋼筋，不得採用焊接方式補筋。

在進行主要的修補作業前，應該對水下焊接進行試焊，並準備試樣對焊接後的行為進行測試。

5.6.4 鋼筋耦合器(Reinforcement coupler)

鋼筋耦合器可以是機械式的或是樹脂式的。機械式的鋼筋耦合器，是以套管(無縫管)罩在要相接的兩鋼筋的相接端。然後以水壓力的方式鍛造套管，使之與鋼筋契合。BS8110 與 ACI 318 都允許使用機械式鋼筋耦合器，不過需以同樣尺寸形式之鋼筋以此鋼筋耦合器相接，然後進行測試，瞭解其受力之後的變形，並觀察其終極強度(ultimate strength)。

然而，本法在於鋼筋排筋密集處無法使用，因為用以鍛造套管的

水壓力鍛造設備難以進入該區域。如果機械式鋼筋耦合器的方式可以使用時，將形成緊密的接頭，對 20mm 直徑的鋼筋而言，通常長度為 150mm。因為此法主要是靠套管與鋼筋之間的機械卡榫力，故此法在現地實務上可以應用在許多的案例中，而不會受到溫度、鋼筋表面狀況或是是否有水存在的影響。

樹脂灌漿耦合器與機械式耦合器類似，都是在相接的鋼筋相接端以套管套住。然後套管兩端封住，再以快乾樹脂注入套管中，密合的樹脂扮演將力由鋼筋傳遞到套管的角色。傳遞力的能力取決於樹脂本身以及樹脂與套管還有樹脂與鋼筋間的黏結/機械卡榫力。此類耦合器的長度與機械式耦合器的長度一般說起來類似。

樹脂式耦合器可以容許鋼筋有小量的變形，並且在設計上可以容許多筋相接。然而樹脂式耦合器的問題在於當有高應力作用時，其潛變效應值得堪憂。然而，如果鋼筋在初始狀態是處於未受應力狀態時，則潛變效應相較於其他因子較為不重要。

5.6.5 外附鋼板

在很多修理的狀況，並不會將鋼筋相接，而是採用在外部以螺栓或是膠合的方式把鋼板貼附在混凝土表面，達到加勁之目的。

在過往，有大量關於貼附鋼板使用來強化梁構件與橋梁系統的研究，而在離岸結構物上的修補應用，重點整理如下：

1. 在同樣的承載下，貼附鋼板會讓裂縫寬度的開展降低，並且增加最大彎矩(特別對於使用剛性環氧樹脂膠合劑的狀況)。
2. 雖然在使用環氧樹脂膠合劑時，超過 2mm 厚度並無法更有效的增加膠合後的行為；膠合厚度仍不能太低，特別低於 1mm 反而是有害的。當鋼板貼附在不平整的混凝土表面時，則需要注意此時的膠合厚度會隨著混凝土表面的狀況而有所不同。
3. 有研究報告顯示，在混凝土與膠合樹脂發現極微細的裂縫，這使

得腐蝕性物質得以接觸到鋼板內面，造成腐蝕。有研究顯示，有曝曬兩年時間內，就發現鋼板開始腐蝕的情況，雖然此等腐蝕並未影響到整體結構的行為，但仍值得注意。

4. 長期將環氧樹脂膠合劑浸置在海水裡，將導致其黏結力以及剪力下降。

因此，雖然已經有許多使用貼附鋼板強化結構的經驗，使用樹脂基膠合劑仍需要更長期的資料來證明其恰當性。除了使用環氧樹脂膠合劑以外，建議仍要輔以將鋼板以螺栓固定在混凝土上或是使用對穿式螺栓把鋼板固定在混凝土。

在多數的修補狀況，貼附鋼板是用來強化未受損的結構。當結構物受損時，則貼附鋼板的設計必須要考量提供加勁材料的連續性以及修補中承受混凝土壓力。

對於修復樁或是柱構件，則可以使用預鑄鋼套管加附在構件之外的方式。此法在 5.5.6 小節已經敘述。

5.6.6 修補預力鋼鍵)

當預力鋼鍵出現破損甚至斷裂的時候，除了修復鋼鍵之外，也要重新將該區域施加預力。這會對於修補材料的混凝土給予壓力，以避免在反覆載重下(cyclic loading)出現後續的裂縫。取決於破損的狀況，有許多方式可以進行重施預力。在圖 5.5 中為其中的三種方式：

1. 平坦千斤頂修補法(flat-jack repair)：當沒有預力鋼鍵存在或是預力鋼鍵並未破損時，可以使用平坦千斤頂對修補區域的混凝土施加壓力。
2. 間接鋼鍵相接(indirect tendon linking)：在受損區域的上端以及下端相接鄰的未受損區以螺栓將鋼拖架固定在結構體上，然後在上

下拖架中使用 Macalloy 鋼棒施加預力。

3. 鋼鍵延續(tendon extension): 將斷裂之鋼鍵以 Macalloy 鋼棒延續，然後露出修補區域(通常局部會增大斷面)，再施予預力。

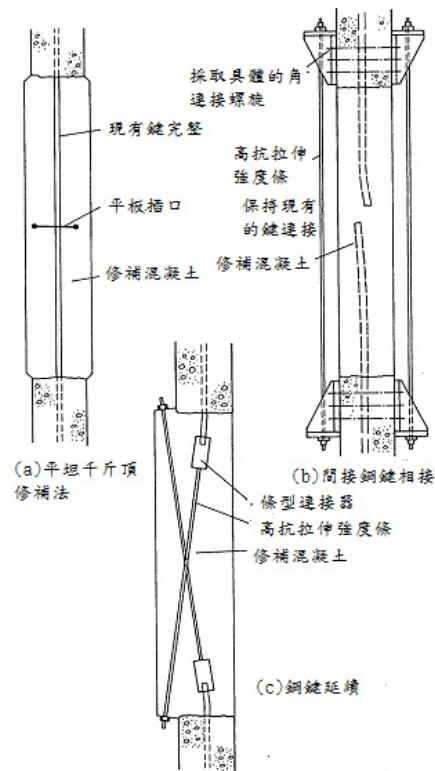


圖 5.5 預力鋼鍵修補^[21]

第六章 混凝土結構防護與修補材料與技術綱要手冊

初稿

6.1 前言

本手冊係參考 EN 1504-2005 所編制，主要內容涵括混凝土結構產品和系統的保護和維修-定義，要求，品質控制和合格鑑定，可作為處理有關“混凝土結構系統的保護和維修”的參考資料，其分項內容包括：

1. 術語和定義 (Terms and definitions)；
2. 混凝土結構產品和系統的保護及維修-定義，要求，品質控制和合格鑑定混凝土表面保護系統；
3. 混凝土結構產品和系統的保護及維修-定義，要求，品質控制和合格鑑定結構和非結構維修；
4. 混凝土結構產品和系統的保護及維修-定義，要求，品質控制和合格鑑定-結構性的黏接；
5. 混凝土結構產品和系統的保護及維修-定義，要求，品質控制和合格鑑定-混凝土灌注；
6. 混凝土結構產品和系統的保護及維修-定義，要求，品質控制和合格鑑定-錨固鋼筋；
7. 混凝土結構產品和系統的保護及維修-定義，要求，品質控制和合格鑑定-鋼筋腐蝕防護；
8. 混凝土結構產品和系統的保護及維修-定義，要求，品質控制和合格鑑定-品質控制和合格鑑定；
9. 混凝土結構產品和系統的保護和維修-定義，要求，品質控制和合格鑑定-產品和系統使用的一般原則。

6.2 術語和定義(Terms and definitions)

6.2.1 鑑別試驗(identification test)

進行檢/試驗證以鑑別產品成分或品質一致性。如試驗結果在允許誤差範圍內，可保證受試驗的產品或系統具有原來的特性。

6.2.2 性能(performance)

產品或系統能提供有效和持久的維護或保護能力，對原有的結構、其他建築、現場操作人員、使用者和環境均不會有不良的影響。

6.2.3 性能要求(performance requirements)

產品或系統需要具有機械、物理和化學性質，可提供修復混凝土和結構體的耐久性和穩定性。

6.2.4 性能測試(performance test)

在使用前或使用中依據指定性能，藉由試驗來證明產品或系統的需求或標示價值，以確保產品或系統符合其規定的特性。

6.2.5 產品、產物、材料(product)

依據配比拌製作為混凝土結構維修或保護的膠凝或膠結產品。

6.2.6 系統(systems)

兩個或兩個以上的產品並用，或連續進行混凝土結構維修或保護。

6.2.7 技術(technology)

特定的設備或方法應用於產品或系統（例如裂縫澆注）。

6.2.8 產品和系統的主要種類(Main categories of products and systems)

1. 錨固產品和系統(anchoring products and systems)
 - (1) 錨鑲入混凝土增加強度給予足夠的結構性能。
 - (2) 填補孔隙以確保鋼材與混凝土構件的連續性。
2. 灌注物和系統(injection products and systems)

適當的使用灌注物或系統，可恢復結構的完整性及/或耐久性。
3. 非結構修理產品和系統(non-structural repair products and systems)

使用產品或系統，可恢復結構外觀或美觀。
4. 增強保護產品和系統(reinforcement protection products and systems)

產品或系統作為防護使用，如加強提供防腐蝕保護。
5. 結構粘接的產品和系統(structural bonding products and systems)

產品或系統提供一個持久的結構粘接以增加材料的應用。
6. 維構修復產品和系統(structural repair products and systems)

產品和系統替換破損的混凝土，以恢復結構的完整性和耐久性。
7. 表面保護產品和系統(surface protection products and systems)

產品和系統可提高混凝土和鋼筋混凝土結構的耐久性。
8. 保護和修復產品和系統的主要成分(Main chemical types and constituents of protection and repair products and systems)

- (1) 添加物(additions)

無機粉料，可添加於維修產品中以改善性能或或獲致特殊功能。可分為惰性的添加物及火山灰或潛在的膠凝添加物。

(2) 水化膠結材料添加劑(additives for hydraulic binders)

添加劑不包括外加劑和前節添加物。

(3) 高分子添加劑(additives for reactive polymer)

一般的添加劑例如塑化劑 (plasticizers) 、速凝劑 (accelerators) 、緩凝劑 (retarders) 、增黏劑 (materials which regulate the rheology) 、顏料 (pigments) 及填充料 (fillers) 等。

6.2.9 摻料 (admixtures)

在拌製混凝土過程中加入的摻料，一般不超過水泥質量的 5%。

6.2.10 塗層 (coating)

混凝土表面經處理後，產生的連續保護(膜)層。一般厚度約為 0.1mm 至 5.0mm，。特殊需要時，厚度可大於 5mm。結合材可能是有機聚合物，有機聚合物與水泥混合或改質水泥。

6.2.11 水化結合材料 (hydraulic binders)

無機材料與水發生反應，生成的固體材料。

6.2.12 水化水泥砂漿和混凝土 (hydraulic mortars and hydraulic concretes, CC)

砂漿及混凝土利用水化水泥將粒料黏接，包含外加劑 (admixtures) 與添加物 (additions)，當與水混合因水化反應生成固體的材料。

6.2.13 疏水性表面注入處理 (hydrophobic impregnation)

混凝土經表面浸漬處理，毛細孔產生撥水塗層，產生防水功能；但混凝土表面孔隙並未被填滿，外觀沒有改變，如使用矽烷或矽氧烷處理。

6.2.14 滲入(impregnation)

混凝土經表面注入處理，減少混凝土表面的孔隙並強化表面。孔隙部分或全部被填滿。這種處理通常會導致不連續性的薄膜在混凝土表面形成。可能使用有機聚合物。

6.2.15 聚合物水泥砂漿或混凝土(polymer hydraulic cement mortars or concretes, PCC)

藉由聚合物加入，使砂漿或混凝土改質，一般使用的聚合物包括：

1. 丙烯酸、甲基丙烯酸或更改性質的丙烯酸樹脂，可再分散粉末或水分散體
2. 乙烯基單聚合物(vinyl mono-polymer)，作為可再分散粉末或水分散體
3. 苯乙烯丁二烯共聚物，一般為水分散體；
4. 天然橡膠膠乳及
5. 環氧樹脂。

6.2.16 聚合物砂漿和聚合物混凝土(polymer mortars and polymer concretes, PC)

利用聚合物的聚合反應結合粒料形成固體。

6.2.17 反應性聚合物黏合劑(reactive polymer binder, P)

黏合劑一般由兩個部分組成，一是反應聚合物基，另一是固化劑或催化劑，在室溫下固化的樹脂也可加入其他添加劑。在某些系統中，環境濕氣可作為硬化劑/催化劑，一般的聚合物黏合劑包括環氧樹脂、不飽和聚酯、交聯丙烯酸樹脂、一個或兩個成分的聚氨酯。

6.3 混凝土結構產品和系統的保護及維修-定義，要求，品質控制和合格鑑定混凝土表面防護系統

本節規定用於混凝土表面保護的產品和系統其安全性與合格評定的要求，其目的在於增加混凝土、鋼筋混凝土結構維護和修復工作的品質與耐久性。表面防護方法包括：注入(撥水)、注入(部份或全部孔隙被充滿)及塗封。

6.3.1 滲入法

使材料滲入混凝土表面孔隙內，以控制水分進入混凝土中，注入法應先將混凝土表面清潔乾淨。可以使用撥水性材料(silane 與 siloxane 是最常被使用的)與混凝土中的矽酸基材料進行化學反應，使毛細孔表面具有撥水效能，阻水進入，但氣體傳輸仍可發生。有些化合物會造成部份填滿或全部填滿，包括(1)與水泥基材反應(如矽酸鈉)或如有機聚合物可自生反應並有自癒效能。

6.3.2 塗封

可控制水的吸收，氣體的傳輸及氣體或液體的擴散。



圖 6.1 表面注入法示意圖



圖 6.2 塗封的示意圖

6.3.3 預期使用的性能特點

表 6-1 列出表面保護產品和系統的性能特點，其被要求“全部預期使用”或“部分預期使用”，性能特點若被要求對於“全部預期使用”則標為■。若標為□，則被要求對於“部分預期使用”。(資料來源：EN1504)

表 6-1 –表面保護產品與系統的性能特徵

編號	試驗方法	原則	1.滲入防護			2.濕度控制		5.物理性抵抗		6.化學性抵抗	8.增加電阻	
			1.1 (H)	1.2 (I)	1.3 (C)	2.1 (H)	2.2 (C)	5.1(C)	5.2(I)	6.1 (C)	8.1 (H)	8.2 (C)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	EN 12617-1	線性收縮			□		□	□		□		□
2	EN 12190	抗壓強度						□		□		
3	EN 1770	熱膨脹係數			□		□	□		□		□
4	EN ISO 5470-1	耐磨性						■	■			
5	EN ISO 2409	剪切測試黏著力			□		□	□		□		□
6	EN 1062-6	CO ₂ 滲透率			■							
7	EN ISO 7783-1 EN ISO 7783-2	水氣滲透率		□	■		■					■
8	EN 1062-3	毛細吸收和水的滲透性		■	■		■	■	■	□		■
9		熱兼容性下附著力										
	EN 13687-1	凍融循環(除冰鹽浸泡)		□	□		□	□	□	□		□
	EN 13687-2	雷震動循環(熱衝擊)		□	□		□	□	□	□		□
	EN 13687-3	熱循環(無除冰鹽的影響)		□	□		□	□	□	□		□
	EN 1062-11: 2002	4.1 老化(7天, 70 °C)		□	□		□	□	□	□		□
10	EN 13687-5	熱衝擊的抵抗性			□			□		□		
11	EN ISO 2812-1	抗化學性		□	□							
12	EN 13529	對嚴重化學侵蝕的抵抗性								■		
13	EN 1062-7	橋接裂縫能力			□		□	□		□		□

		原則	1.滲入防護			2.濕度控制		5.物理性抵抗		6.化學性抵抗	8.增加電阻	
14	EN ISO 6272-1	抗衝擊性						■	■			
15	EN 1542	黏結強度(拉脫試驗法)		□	■		■	■	■	■		■
16	EN 13501-1	建築產品和建築構件的防火等級 - 第1部分：使用防火測試的測試數據分類		□	□		□	□	□	□		□
17	EN 13581	滲透撥水混凝土抵抗凍融除冰鹽應力（質量損失的測定）	□			□					□	
18	EN 13036-4	防滑動/滑行		□	□		□	□	□	□		□
19	見 Table 3	穿透深度	■	■		■			■		■	
20	EN 1062-11: 2002	4.2：人工風化的行為			□		□	□		□		□
21	EN 1081	抗靜電行為			□		□	□		□		□
22	EN 13578	濕混凝土的粘結力			□		□	□		□		
23	EN 13580	吸水率和撥水浸漬抗鹼性	■			■					■	
24	EN 13579	撥水浸漬乾燥率	■			■					■	
25	根據國家標準和國家法規	氯離子擴散	□	□	□							
H: 撥水浸漬 ■ 所有用途上須具有的特性 I: 浸漬 □ 某些用途上(ENV 1504-9:1997的範圍內) 須具有的特性 C: 塗封												

6.3.4 鑑別要求 (identification requirements)

廠商應參考表 6-2 對產品或系統進行初步鑑別試驗，以確認產品符合規定，允許誤差如表 6-2 所示。

表 6-2 撥水性浸漬的性能要求

表 6-1 的編號	性能特點	試驗方法	需求
1	2	3	4
17	經過除冰鹽威脅後的質量損失 此測試僅適用於結構可能會在接觸除冰鹽。	EN 13581	浸漬標本的表面質量的損失，必須進行至少 20 次循環後與未浸漬標本比較。
19	滲透深度測量 100 毫米的混凝土測試多維數據集 C (0,70) 根據 EN 1766 (而不是 C (0,45) EN 13579)。經過 28 天的固化根據 EN 1766，樣品應存放乾燥過程在 EN 1766 所描述。憎水劑的治療，應按照 EN 13579。	穿透深度是 0.5 毫米的精度測量砸開處理後的標本，並噴灑水的斷裂面(使用水代替酚酞酚酞測試方法) 根據 prEN 14630。乾旱區的深度是採取有效的疏水性浸漬深度。	等級 I: < 10 mm 等級 II: ≥ 10 mm
23	吸水率和耐強鹼性	EN 13580	未經處理的試樣吸收率 < 7.5% (在鹼溶液中浸泡後) 吸收率 < 10%。
24	乾燥速率係數	EN 13579	等級 I: > 30 % 等級 II: > 10 %
25	氯離子的擴散 a	受國家標準和國家法規所訂	
a 當毛細血管吸收水 < 0.01 kg/m ² H ₀ ，5 氯離子的擴散是不被預期的。			

6.3.5 性能要求

表面防護系統的性能要求如表 6-3 至表 6-7 所示，廠商應根據表中規定負責表面保護產品和系統的初步性能測試，確認產品符合要求。(資料來源：EN1504)

表 6-3 浸漬性能要求-1

表 6-1 的編號	性能特點	試驗方法	需求
1	2	3	4
4	耐磨性（泰伯測試） 10 毫米測片 100 毫米 浸漬混凝土立方試體 （0,70），根據 EN 1766 注意 根據 EN13813 的試驗方法在地板系 統中也可接受	EN ISO 5470-1	研磨輪，H22 /旋轉 1 000 次/負載 1 000 克至少改善 30%的耐磨性與非浸漬的 樣品相比
7	水蒸氣滲透率	EN ISO 7783-1 EN ISO 7783-2	等級 I $s_D < 5 \text{ m}$ (水蒸氣 可滲透) 等級 II $5 \text{ m} \leq s_D \leq 50 \text{ m}$ (不 密實抵抗水蒸氣且水蒸氣 不可滲透) 等級 III $s_D > 50 \text{ m}$ (密實 抵抗水蒸汽)
8	毛細管吸收和水的滲透性，	EN 1062-3	$w < 0,1 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{h}^{0,5}$
9	熱兼容性參考基板黏 合後：C（0,70）根據 EN1766 除冰鹽影響的外部應 用：凍融與除冰鹽浸 泡循環（20 ×） 熱衝擊循環（10 ×） 除冰鹽影響的外部應 用：無除冰鹽影響的 熱循環（20 ×）	EN 13687-1 EN 13687-2 EN 13687-3	熱循環 ACC。由 EN 13687-1 和 EN 13687-2 對 同一樣品，開始進行熱衝 擊循環。熱循環後 A) 無氣泡，裂紋和分層 B) 拉脫試驗 應用/載重 平均$[\text{N/mm}^2]$ 垂直 $\geq 0,8 (0,5)^b$ 水平無機械載重 $\geq 1,0 (0,7)^b$ 水平有機械載重 $\geq 1,5 (1,0)^b$
11	耐化學性（吸水媒介法）	EN ISO 2812-1	抵抗有關環境的影響，應在 EN 206-1 定義，在 30 天曝光後，沒有視覺上的缺陷
14	根據 EN 1766，測定 有塗層的混凝土樣品 MC（0,40）耐衝擊性 注：厚度和預期的衝 擊負荷的影響之類的 選擇。	EN ISO 6272-1	加載後無裂紋和分層 等級 I: $\geq 4 \text{ Nm}$ 等級II: $\geq 10 \text{ Nm}$ 等級 III: $\geq 20 \text{ Nm}$

表 6-4 浸漬性能要求-2

表 6-1 的編號	性能特點	試驗方法	需求
1	2	3	4
15	拉脫參考基材：C (0,70) ACC。 據 EN 1766 的養護 7 天，在 70°C 下 7 天，並與非浸漬標本做比較	EN 1542	應用/載重 平均[N/mm ²] 垂直 ≥0,8 (0,5) ^b 水平無遷移 ≥1,0 (0,7) ^b 水平有遷移 ≥1,5 (1,0) ^b
16	燃燒反應後的應用	EN 13501-1	歐洲等級
18	防滑	EN 13036-4	等級I: ≥40單位濕測試(潮濕表面中) 等級II: ≥40 單位乾測試(乾燥表面中) 等級III: ≥55單位濕測試(外面)或ACC 據國家標準
19	滲透深度測量 100 毫米的混凝土測試多維數據集 C (0,70) 根據 EN 1766 (而不是 C (0,45) EN 13579)。經過 28 天的固化根據 EN 1766，樣品應存放乾燥過程在 EN 1766 所描述。應遵循製造商的指示	砸開處理後的標本，並噴灑水的斷裂面(使用水代替酚酞測試方法) 根據 prEN 14630 穿透深度是指用 0.5 毫米的精確度。乾燥區域的深度是採取有效的浸漬深度	≥5 mm.
25	氯離子的擴散 a	受國家標準和國家法規所訂	
a 當毛細血管吸收水<0.01 kg/m ² H ₀ ，5 氯離子的擴散是不被預期的。 b. 括號內的數值是最低的可接受值。			

表 6-5 塗料的性能要求-1

表 6-1 的編號	性能特點	試驗方法	需求
1	2	3	4
1	線性收縮只適合剛性系統且可應用的厚度 ≥ 3 mm	EN 12617-1	$\leq 0.3 \%$
2	抗壓強度	EN12190	等級 I: ≥ 35 N/mm ² 等級 II: ≥ 50 N/mm ²
3	熱膨脹係數 只有對塗層厚度 ≥ 1 毫米	EN 1770	剛性系統 ^b 對於外部應用: $\alpha_T \leq 30 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$
4	耐磨性 (泰伯測試) 10 毫米測片 100 毫米浸漬混凝土立方試體 (0,70), 根據 EN 1766 注意 根據 EN13813 的試驗方法在地板系統中也可接受	EN ISO 5470-1	重量損失不少於 3 000 毫克打磨輪 H22/ 旋轉 1 000 次/負載 1 000 克
5	根據 EN 1766 利用十字切割試驗測試上塗層的混凝土樣品 MC (0,40) 此測試僅適用於薄光滑的薄膜 0.5 毫米總乾厚度。 注: 測試是進行此外在基本測試的拉脫試驗。因此, 現場的橫切性能試驗可能取代拉脫試驗。	EN ISO 2409 切割寬度: 4 mm	十字切割值: $\leq \text{GT } 2$
6	CO2 滲透率	EN 1062-6 (樣品測試前, 應根據 PREN 1062-11:2002,4.3)	CO2 的滲透率 $s_D > 50 \text{ m}$
7	水蒸氣的滲透率	EN ISO 7783-1 EN ISO 7783-2	等級 I $s_D < 5 \text{ m}$ (水蒸氣可滲透) 等級 II $5 \text{ m} \leq s_D \leq 50 \text{ m}$ 等級 III $s_D > 50 \text{ m}$ (水蒸汽不可滲透)
8	毛細管吸收和水的滲透性	EN 1062-3	$w < 0,1 \text{ kg/m}^2 \text{ h}^{0,5}$

表 6-6 塗料的性能要求-2

表 6-1 的編號	性能特點	試驗方法	需求
1	2	3	4
9	在熱兼容性的黏附力 參照 CC(0,40)根據 EN1766 對於外部應用除冰鹽的影響：凍結鹽除冰鹽浸泡循環 (50x)及熱衝擊循環 (10x) 對於外部應用無除冰鹽的影響：熱衝擊循環無除冰鹽影響(20X) 對於內部應用：在 70°C 下 7 天	EN 13687-1 EN 13687-2 EN 13687-3 EN 1062-11	熱循環 ACC。由 EN 13687-1 和 EN 13687-2 對同一樣品，開始進行熱衝擊循環。熱循環後 A) 無氣泡，裂紋和分層 B) 拉脫試驗 平均[N/mm2] 裂紋橋接或剛性系統 無遷移 $\geq 0,8$ (0,5) ^b $\geq 1,0$ (0,7) ^b 有遷移 $\geq 1,5$ (1,0) ^b $\geq 2,0$ (1,5) ^b
10	對熱衝擊的抵抗力(1X)	EN 13687-5	
11	耐化學性（吸水媒介法）	EN ISO 2812-1	抵抗有關環境的影響，應在 EN 206-1 定義，在 30 天曝光後，沒有視覺上的缺陷
12	抗嚴重的化學侵襲 等級 1: 3d 無壓 等級 2: 28d 無壓 等級 3: 28 有壓 建議在 EN 13529 給出的 20 類，涵蓋所有類型一般化學品使用的測試液體。	EN 13529	硬固低於 50% 當根據 Buchholz 法, EN ISO 2815, or Shore法 EN ISO 868 測量.在試體從浸泡液拿出且塗層被移除後 24小時
13	根據 EN 1062-11:2002，4.1 裂縫橋接的能力 4.1- 7 天，在 70 ° C 的活性樹脂系統 4.2 - 紫外線輻射和濕度分散系統	EN 1062-7	所需的裂縫架橋能力，應由設計師選擇與尊重當地的條件（氣候，裂縫寬度和裂縫運動）。
14	根據 EN 1766，測定有塗層的混凝土樣品 MC (0,40) 耐衝擊性 註：厚度和預期的衝擊負荷的影響之類的選擇。	EN ISO 6272-1	加載後無裂紋和分層 等級 I: ≥ 4 Nm 等級II: ≥ 10 Nm 等級 III: ≥ 20 Nm

表 6-7 塗料的性能要求-3

表 6-1 的編號	性能特點	試驗方法	需求
1	2	3	4
15	拉脫參考基材：C (0,70) ACC。 據 EN 1766 的養護 7 天，在 70°C 下 7 天，並與非浸漬標本做比較	EN 1542	平均[N/mm ²] 裂紋橋接或剛性系統 無遷移 $\geq 0,8 (0,5)^b \geq 1,0 (0,7)^b$ 有遷移 $\geq 1,5 (1,0)^b \geq 2,0 (1,5)^b$
16	燃燒反應後的應用	EN 13501-1	歐洲等級
18	防滑	EN 13036-4	等級I: ≥ 40 單位濕測試(潮濕表面中) 等級II: ≥ 40 單位乾測試(乾燥表面中) 等級III: ≥ 55 單位濕測試(外面) 或ACC 據國家標準
20	人工風化 根據 EN 1062-11:2002, 4.2 (UV 紫外線和濕度) 在外部的應用，應被測試的只有白色和 RAL 7030。	EN 1062-11	在 2000 小時的人工風化後 無起泡 根據 EN ISO 4628-2 無裂紋 根據 EN ISO 4628-4 無剝落 根據 EN ISO 4628-5 輕微的顏色變化，失去光澤和粉化，可能會接受表，但應當說明。
21	抗靜電行為	EN 1081	等級 I: $>10^4$ and $<10^6 \Omega$ (具爆炸性的物質) 等級 II: $>10^6$ and $<10^8 \Omega$ (爆炸危險物質)
22	濕混凝土的粘附能力 (基材：MC (0,40))	EN 13578	在施加載重後 a) 無起泡 根據 EN ISO 4628-2 無裂紋 根據 EN ISO 4628-4 無剝落 根據 EN ISO 4628-5 b) 拉脫強度 $\geq 1.5 \text{ N/mm}^2$ ，破壞應發生在混凝土破裂 $> 50\%$
25	氯離子的擴散 a	受國家標準和國家法規所訂	
a 當毛細血管吸收水 $< 0.01 \text{ kg/m}^2 \text{ H}_2\text{O}$，5 氯離子的擴散是不被預期的。 b. 括號內的數值是最低的可接受值。 c. 剛性塗料是塗料對於岸上(shre) $D \geq 60$ 根據 EN ISO 868。			

1. 結構與非結構修復產品與系統

結構與非結構修復產品與系統依據準則及方法，按照一般使用與特殊使用的區別，應符合的下表 6-8 到 6-11 所列特性。

表 6-8 一般及特定使用的結構及非結構修補產品之性能特徵

性能特徵	修補原則			
	3	4	7	
	修補方法			
	3.1,3.2	3.3 ^a	4.4	7.1,7.2
抗壓強度	○	○	○	○
氯離子含量 ^b	○	○	○	○
黏結強度	○	○	○	○
束制時的收縮/膨脹 ^c	○	○	○	○
耐久性 a) 抗碳化 ^{bd}	○	○	○	○
耐久性 b) 熱相容 ^e	□	□	□	□
彈性模數	□	□	○	□
抗滑動 ^f	□		□	□
熱膨脹係數 ^g	□	□	□	□
毛細吸附(透水性) ^{gh}	□	□	□	□
修補方法詳如 ENV 1504-9:1997 3.1 用手工工具塗抹砂漿修復混凝土。 3.2 鑄模澆置修復混凝土。 3.3 利用噴塗砂漿或混凝土修復混凝土。 4.4 增加砂漿或混凝土強化結構。 7.1 使用額外的水泥砂漿或混凝土增保護層厚度。 7.2 置換受汙染或碳化的混凝土。 ○ 一般使用 □ 特定使用				
a 由於應用方法的性質不同，有些測試方法可參考 EN14487-1 修改。 b 這項規定不適用於無筋混凝土。 c 如果進行熱循環，本試驗不須執行。 d 如果修補系統包括一已經驗證的抗碳化保護層表面(EN1504-2)或砂漿層，本試驗不須執行。 e 依據暴露環境條件而定。 f 只需在交通區域進行。 g 僅適用於水泥質系材料。 h 抗蝕性與氯離子含量和透水性有關。				

表 6-9 結構與非結構修復產品與系統依據準則及方法

項目 號數	性能特徵	參考基材	測試方法	需求			
				結構性		非結構性	
				R4 級	R3 級	R2 級	R1 級
1	抗壓強度	無	EN 12190	≥45 MPa	≥25 MPa	≥15 MPa	≥10 MPa
2	氯離子含量	無	EN 1015-17	≤0.05%		≤0.05%	
3	黏結強度	MC(0,40)	EN 1542	≥ 2.0 MPa	≥1.5MPa	≥0.8 MPa ^a	
4	束制收縮/膨脹 ^{bc}	MC(0,40)	EN 12617-4	試驗後的黏結強度			無要求
				≥ 2.0 MPa	≥1.5MPa	≥ 0.8MPa ^a	
5	抗碳化性 ^f	無	EN 13295	d _k ≤控制混凝土 Mc(0,45)		無要求 ^g	
6	彈性模數	無	EN 13412	≥ 20 Gpa	≥15Gpa	無要求	
7	熱相容性 th 凍融	MC(0,40)	EN 13687-1	50 次循環後的黏結強度 ^{dc}			50 次循環 後目視檢 查 ^e
				≥2.0 MPa	≥1.5 MPa	≥0.8 MPa	
8	熱相容性 th 雷陣雨	MC(0,40)	EN 13687-2	30 次循環後的黏結強度 ^{dc}			30 次循環 後目視檢 查 ^e
				≥2.0 MPa	≥1.5 MPa	≥0.8 MPa	
9	熱相容性 th 乾燥循環	MC(0,40)	EN 13687-4	30 次循環後的黏結強度 ^{dc}			30 次循環 後目視檢 查 ^e
				≥2.0 MPa	≥1.5 MPa	≥0.8 MPa	
10	抗滑動性	無	EN 13063-4	類型 I: >40 單元濕測試 類型 II: >40 單元乾測試 類型 III: > 55 單元濕測試		類型 I: >40 單元濕測試 類型 II: >40 單元乾測試 類型 III: >55 單元濕測試	
11	熱膨脹係數	無	EN 1770	如已完成 7,8,9 項試驗，不需進行本試驗		如已完成 7,8,9 項試驗，不需進行本試驗	
12	毛細吸附	無	EN 13057	≤ 0.5kgm ⁻² h ^{-0.5}		≤ 0.5kgm ⁻² h ^{-0.5}	無要求

表 6-9 結構與非結構修復產品與系統依據準則及方法(續)

修補原則 3.4.7 的要求: 3.1 用手工具塗抹砂漿修復混凝土。 3.2 鑄模澆置修復混凝土。 3.3 利用噴塗砂漿或混凝土修復混凝土。 4.4 增加砂漿或混凝土強化結構。 7.1 使用額外的水泥砂漿或混凝土增保護層厚度。 7.2 置換受汙染或碳化的混凝土。
a 如果凝聚力破壞於修補材料，不需要滿足 0.8MPa。如果發生黏結破壞發，則最低抗拉強度要求 0.5MPa。 b 修補方法 3.3 不要求 c 如進行熱循環不需要此試驗。 d 沒有單一值或平均值低於 75%的最低值。 e 最大允許平均裂縫寬度$\leq 0.05\text{mm}$，無任何單一裂縫寬度$\geq 0.1\text{mm}$，且無剝層破壞。 f 耐久性目的。 g 不適用於抗碳化防護，除非有抗碳化的保護層（見 EN 1504-2）。 h 方法的選擇取決於暴露條件，當一個產品滿足第一部分則視為滿足 2 和 4 部分。

表 6-10 工廠生產控制之測試頻率

辨識特徵/性質	水泥基產品	環氧樹脂
組成部分辨識		
外觀和顏色	A	A
乾料粒徑分析	B	B
紅外線分析 ^{ab}	D	C
環氧當量 ^b	—	C
胺材作用 ^b	—	C
液體成分中揮發性/非揮發性物質	B	B
新拌的混合物或硬固試體辨識		
硬固時間		
工作性（二選一）	B	B
鍋使用壽命	—	A
抗壓強度與密度	B	B
A 每批次(詳如EN 1504-8) B 每10批次，每兩周或每1000 ton，依照先達到的時間為準 C 一年兩次 a 所有含有機成分的產品. D 一年一次 b 原料供應商提供的文件應符合此需求		

表 6-11 特殊應用的測試方法

性質	測試方法	參考混凝土	意見
氯離子侵入	EN 13396		宣稱值(當已確定使用表面保護系統不須此試驗)
受壓潛變 ^a	EN 13584		宣稱值
抗化學性	EN 13529 或 ISO 2812-1		宣稱值(當已確定使用表面保護系統不須此試驗)
頂板施工(如維修 橋梁拱腹)	EN 13395-4	MC (0,40)	黏結強度應符合 表 3 規定
a 使用水泥質修補砂漿於結構中，通常不需要進行本試驗，如果使用 60% 的 28 天抗壓強度作為設計標準。			

第七章 結論與建議

7.1 結論

根據本研究第一年期進行之修補材料力學性質展開探討。

1. 如果預修補裂縫尺寸類屬中小尺寸裂縫，主要考量工作性，次要考慮它項基本力學性質，此時環氧樹脂漿體，主劑:硬化劑 = 4:1 表現最為良好，但用於大體積修補，或有力學性質考量時，環氧樹脂漿體將有體積變化之隱憂。
2. 對於大體積之補綴，使用含有細粒料之修補材料砂漿，如需考量到具有良好的水中耐磨損性以聚丁苯乙烯橡膠 0.3 水灰比、5%修補材料取代水泥量、乾比重比 1:0.5 為佳，若考量到體積變化則以聚丁苯乙烯橡膠砂漿 0.3 水灰比、5%修補材料取代水泥量、乾比重比 1:0.5 表現較好。

7.2 建議

延續本年度之力學性質試驗結果，進行修補材料垂流特性試驗、注入性試驗、滲入型撥水劑相關試驗等可建立更完善之工作性特性。考量實際成本可行性，應評估各材料之成本效益評估。如機會許可，渴望與貴單位合作，進行乾溼循環水槽之樑柱現地修補。為得知修補材料之耐久性特性，氯離子電滲試驗、吸水率試驗、碳化試驗、腐蝕趨勢相關試驗。相容性在複合材料性質中占有相當重要，故預計進行溫度影響試驗。其他如火害試驗也相當重要。

參考文獻

1. 張嘉峰、簡臣佑等，”基隆港西 2 至西 4 號碼頭結構檢測評估及維護管理系統建置之研究”，交通部運輸研究所港灣技術研究中心報告，2008。
2. 李有豐、林安彥，”橋梁檢測評估與補強”，拳華科技圖書股份有限公司，2000。
3. 鄭讚慶，“防蝕塗層效能評估及鋼筋腐蝕對握裹強度影響之研究”國立臺灣海洋大學河海工程學系，碩士論文，2001。
4. 林平全，“混凝土施工”，徐氏基金會出版，1998。
5. 彭添富，“鋼筋混凝土學”，大中國圖書公司印行，2001。
6. 陳保成，“矽灰與纖維砂漿作為修補材料抗撞擊行為之探討”，國立嘉義大學土木與水資源工程研究所，碩士論文，2008。
7. P. K. Mehta and M. Paulo, “Concrete : Structure, Properties, and Materials,”2nd Ed., *Prentice Hall*, 1992 ,pp.160-171.
8. H. H. Uhlig and R. W. Revie, “Corrosion and Corrosion Control”,3rd Edition, Wiley Interscience, N. Y., 1985, pp.28-35.
9. 汪士鈞，“鋼筋在高性能混凝土內腐蝕特性”，國立成功大學土木工程研究所，碩士論文，1999。
10. K. K. Creatsil and F. P. Glasser., “Analysis of the Steel : Concrete Interface,” Proc. of Conf. on Corrosion of Reinforcement in Concrete, UK, 1990, pp. 74-86.
11. 汪士鈞，“鋼筋在高性能混凝土內腐蝕特性”，國立成功大學土

本工程研究所，碩士論文，1999。

12. Beeby., “Corrosion of Reinforcement Steel in Concrete and its Relation to Cracking”, The Structural Engineer, No.3, Vol.56A, March, 1978.
13. S. W. Tsai and H. T. Hahn, “Introduction to Composite Materials”, Technomic Publishing Co., Inc. Westport, 1980.
14. Peter H Emmons, “Concrete Repair and Maintenance Illustrated”, R. S. Means Inc., 1993.
15. “混凝土工程施工規範與解說”，中國土木水利工程學會，混凝土工程委員會，1999。
16. 趙志方、周厚貴、袁群、馬金剛，“新老混凝土黏結機理研究與工程應用”，中國水利水電出版社，2003。
17. W. Yeih, J. J. Chang, and C. C. Hung, C. C., “Selecting an Adequate Procedure for the Electrochemical Chloride Removal”, Cement and Concrete Research, Vol. 36, No. 3, pp.562-570, 2006. 18
18. W. Yeih and J. J. Chang, “A Study on the Efficiency of Electrochemical Realkalisation of Carbonated Concrete”, Journal of Construction and Building Materials, Vol. 19, No. 7, pp.516-524,2005. 19
19. W. Yeih, H. -M. Hsu, J. J. Chang, C. C. Hung and R. Huang, “A Study on Repairing Internal Defects inside Concrete Using the Electrochemical Deposition method”, Journal of Marine Science and Engineering, Vol. 18, No. 3, pp. 424-429, 2009. 20
20. W. Yeih and J. J. Chang, “Preliminary Study of Electrochemical Treatment for Repairing Mortars Subjected to Alkali-Silica Reaction”,

The 4th Asia Conference Federation International Conference, Taipei, 2010. 21

21. Andrew McLeish, “Underwater Concreting and Repair”, Elsevier Ltd., London,1994. 22
22. UEG, “Handbook of Underwater Tools”, Report No.UR18, Underwater Engineering Group, CIRIA, London,1983. 23
23. C. A. Keeney, “Procedures and Devices for Underwater Cleaning of Civil Works Structures”, Technical Report REMR-CS-8, US Army Engineer Waterways Experiment Stations, Vicksburg, MS,1987. 24
24. Concrete Society, “Assessment of Fire Damaged Concrete Structures and Repairs”, Concrete. Working Party Report No. 15, Concrete Society, London,1978. 25
25. J. I. Heneghan, “Shotcrete Repairs of Concrete Structures in Marine Environments”,ACI Publication SP65-28, American Concrete Institute, Detroit, MI,1965 . 26

附錄一

期中報告審查意見處理情形表

交通部運輸研究所合作研究計畫（具委託性質）

☒期中 ☐期末報告審查意見處理情形表

計畫編號：MOTC-IOT-100-H1DB003a

計畫名稱：港灣混凝土構造物修補材料與工法之研究(1/4)

執行單位：國立臺灣海洋大學

審查日期：100 年 7 月 12 日

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
清雲科技大學土木工程系 許書王助理教授		
1.第六章港灣混凝土構造物修補材料與技術綱要規範，其中『技術』二字，是否改為工法，是否更能符合主題？	本章參考歐盟規範，所以用技術二字而非使用工法二字，是因為在歐盟規範中是針對各類修補原理，在採用材料上應進行何種試驗進行驗證，並沒有特殊針對工法進行考量。而本研究所涉及之各類工法，均在歐盟所規類之各類修補原理中。	同意辦理方式，請臺灣海洋大學確實辦理。
2.第六章港灣混凝土構造物修補材料與技術綱要規範，因為規範之位階尚需經過初審及複審過程，目前建議加註草案二字。	遵照辦理。	同意辦理方式。
3.第六章港灣混凝土構造物修補材料與技術綱要規範，所附表件，建議中文化。	將在期末告中進行全面中文化，感謝委員指正。	同意辦理方式，請臺灣海洋大學確實辦理。
4.第六章 6.1.2 混凝土結構產品和系統的保護和維修，和是否改為及，本條文與 6.3 文字應一致，例如合格鑑定與合格評定，	感謝委員指正，將在期末報告中更正。	同意辦理方式，請臺灣海洋大學確實辦理。

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
5. 6.2.1 鑑別試驗與 6.3.4 辨識需求及 6.3.4 內文之辨識試驗，三者是否應一致？	感謝委員指正，將在期末報告中更正。	同意辦理方式，請臺灣海洋大學確實辦理。
6. 6.3.4 辨識需求 (identification requirements)，是否將需求改為要求為佳。如 6.2.3 性能要求。	感謝委員指正，將在期末報告中更正。	同意辦理方式，請臺灣海洋大學確實辦理。
7. 6.4 結構接合與 6.1 4 結構的黏接，是否應統一用詞。	感謝委員指正，將在期末報告中更正。	同意辦理方式，請臺灣海洋大學確實辦理。
8. 6.4 節下文直接跳到 3？沒有 1 和 2？且內文有寫一半的情形如 (1) 和 (2)。	感謝委員指正，將在期末報告中更正。	同意辦理方式，請臺灣海洋大學確實辦理。
9.建議第六章應再全面審視。	第六章為部份結果，將在期末報告中提供較完整之版本。	同意辦理方式，請臺灣海洋大學確實辦理。
10. 5.5.3 預堆積骨材？沒聽過！預壘？	感謝委員指正，將在期末報告中更正。	同意辦理方式，請臺灣海洋大學確實辦理。
11.第五章 5.1 之 1 與 5.1 之 6 重複。	感謝委員指正，將在期末報告中更正。	同意辦理方式，請臺灣海洋大學確實辦理。
12.建議 5.1 之 1-5 與內文標題應一致	感謝委員指正，將在期末報告中更正。	同意辦理方式，請臺灣海洋大學確實辦理。

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
13.5.2.5 潛水俠乙節內文應敘述對於水下施工之技術訓練，以利工程品質。	同意委員意見，將在期末報告中補述。	同意辦理方式，請臺灣海洋大學確實辦理。
14.第四章試驗成果僅有氣象資料，是否應補充與試驗成果相符資料或文字說明為何沒有實驗成果。	試驗之試體正在進行中，成果將在期末報告呈現。	同意辦理方式。
15.建議應說明與合約進度應辦事項等是否相符以及工作計畫概要。	將在期末報告中列表說明合約應辦事項之進行狀況。	同意辦理方式，請臺灣海洋大學確實辦理。
16.建議加強蒐集先進國家對港灣結構物修補之相關文獻、案例，以供參考。	將盡量蒐集。	同意辦理方式，請臺灣海洋大學確實辦理。
17.維修材料之物理及化學性質其與欲修補結構之相互性質文獻，宜加強蒐集。	感謝委員意見，將加強蒐集。	同意辦理方式，請臺灣海洋大學確實辦理。
國立中央大學土木工程系 李 釗教授（書面審查）		
1. 本計畫擬實際進行，有關修補港灣鋼筋混凝土構造物的材料和工法的試驗研究，計畫內容有研究價值。	感謝委員肯定。	同意辦理方式。
2. 於計畫初期，建議二合作單位釐清計畫的細節內容。	感謝委員建議。	同意辦理方式。
3.建議擬定較詳細的研究流程圖。	感謝委員建議，將在期末報告中補正。	同意辦理方式。
4.建議擬定各項研究的觀察指標，以利評估修補成效。	本研究主要分為室內試驗與戶外試驗。室內試驗主要辨明修	同意辦理方式，請臺灣海洋大學確實

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
	補材料之工作性、體積穩定性、與基材黏結力學行為等基本行為。戶外試驗主要為辨明修補材料的耐候性、抗腐蝕性。	辦理。
5. 選擇修補材料的關鍵在修補材料和原混凝土基材的相容性，若修室外的混凝土，因需面對四季的溫度變化，因此不宜省略有關溫度變化的評估。	目前礙於研究單位的實驗設備，無法進行溫度變化影響的研究。是否在未來後續的計畫中補做，將與主辦單位商洽。	同意辦理方式。
6. 混凝土修補可概分為裂縫修補、破洞補綻修補、和加鋪修補等，目前報告內容，在說明部份著重在小、中、大裂縫修補，在修補材料部份著重在砂漿材料的試驗，而砂漿材料不適合用於修補裂縫，建議考量針對不同的修補對象，擬定適當的試驗方法與評估指標。	本研究除砂漿外，也使用高分子樹脂修補材料，其流動性甚好，可以用來修補小尺寸與中尺寸的裂縫。本計畫中透過試驗，希望能夠瞭解不同尺寸的裂縫或破洞，哪種修補材料較為恰當。	同意辦理方式。
7. 表 3-17 為老資料，建議更新。	感謝委員意見，將更新。	同意辦理方式，請臺灣海洋大學確實辦理，其他表單或參考文獻亦請重新檢視其出版年份。
8. 建議檢查參考文獻的格式與內容。	感謝委員意見，在期末報告中將會仔細檢查。	同意辦理方式，請臺灣海洋大學確實辦理。
國立臺灣科技大學營建工程系 沈得縣教授（書面審查）		
1. 期中報告摘要中提及本計畫係針對海洋環境之 RC 結構物修	本期研究針對材料的適宜性為主題。補強工法必須要進行	同意辦理方式。

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
補與補強進行研究，但期中報告針對 RC 補強課題探討卻著墨甚少。	結構力學分析，才能保障有效。本研究對補強工法先做文獻蒐集，至於是否進行試驗驗證，將考量在未來後續計畫中進行。	
2. 本計畫為四年期研究計畫之第一期，為能使四年期之研究能前後呼應，內容完整，並利於計畫之審查，建議能於第一章緒論中規劃出四年之研究流程。	感謝委員意見，將在期末報告中補述。	同意辦理方式。
3. 期中報告應提供研究計畫之預定進度表及目前執行進度表以供查核。	感謝委員指正，在期末報告中將會列表說明。	同意辦理方式，請臺灣海洋大學確實辦理。
4. 本計畫摘要中提及在第一年計畫係針對各種尺寸的修補材料進行研究，似乎不妥。應修正為係針對 RC 構造物之各種修補材料進行研究。	感謝委員指正。	同意辦理方式，請臺灣海洋大學仍應針對委員意見，於後續研究列入檢討。
5. 本計畫除探討修補材料之性質外，建議能針對結構物之修補技術。修補原理及修補材料之品質標準及施工規範進行探討。	感謝委員意見。有關結構物修補技術，將在期末報告中列於文獻回顧中，修補原理及修補材料之品質標準及施工規範將於第六章修補規範草案中說明。	同意辦理方式，請臺灣海洋大學確實辦理。
6. 期中報告第 41 頁提及修補材料選用依照環境用途及實驗變數概分為四部份，但說明中卻在探討混凝土結構物之小裂	感謝委員意見，將在期末報告中補正。	同意辦理方式，請臺灣海洋大學確實辦理。

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
縫、中裂縫及大裂縫三部份， 前後文似乎不一致，請修正。		
義守大學土木與生態工程系 林登峰教授（書面審查）		
本案承攬團隊之研究成果十分豐碩，值得肯定，建議通過本期中報告。個人以下意見是提供未來參考：	感謝委員肯定。	同意辦理方式。
1. 本案為多年期計畫，且本次為第一年期中報告；能否有 4 年期各項工作目標，以及各期驗收之查核項目。	感謝委員意見，將在期末報告中補述。	同意辦理方式，請臺灣海洋大學確實辦理。
2. 本報告之混凝土修補材料彙整表較屬研究性，能否提供市面調查之修補材料基本資料及分析，包含市場材料屬性、專利性、經濟性、自創性(如由計畫團隊所研發)及初步認知之成效性，作為各執行單位選用之參考。	感謝委員意見，研究團隊會嘗試蒐集相關資料。	同意辦理方式。
3. 建立選用材料及工法之流程圖，以利基層單位能依結構物損壞情況，挑選適當修補工法及修補材料。	希望在四年期計畫完成之後，能夠建立。	同意辦理方式。
4. 建議各年期期中報告增加後續工作項目，以預測未來之研究成果。	感謝委員意見，爾後將遵照辦理。	同意辦理方式。
5. 表 3.9-3.14，請強化說明為何選這些配比之原因及理由。	感謝委員意見，將在期末報告中補述。	同意辦理方式，請臺灣海洋大學確實辦理。

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
6. 若可以，建議港研中心於第二年計畫時，增列”探討臺灣過去港灣混凝土構造物修補材料維護成效”之研究要項，這包含修補材料、修補工法、結構體損壞情況..等。	感謝委員意見，將與主辦單位洽談決定。	同意辦理方式。
港灣技術研究中心 陳桂清研究員		
1. 第六章“修補材料與工法規範”，其各章節〈大綱〉內容及文字敘述等，建議再做適當的編排及內容說明，以利參考。	感謝委員意見，遵照辦理。	同意辦理方式，請臺灣海洋大學確實辦理。
2. p43~p47，許多表中之流度設計單位不一致，請說明之。	砂漿部份是使用流度臺試驗，樹脂則採用流度錐，此二者都說明修補材料之工作性。	同意辦理方式
3. 國外有關“修補材料....規範”之參考文獻資料，略顯不足，建議再多方蒐集，以充實未來本計畫規範草案編寫之完整性。	感謝委員意見，會再多方蒐集。	同意辦理方式，請臺灣海洋大學確實辦理。

附錄二

期末報告審查意見處理情形表

交通部運輸研究所合作研究計畫（具委託性質）
□期中☑期末報告審查意見處理情形表

計畫編號：MOTC-IOT-100-H1DB003a

計畫名稱：港灣混凝土構造物修補材料與工法之研究(1/4)

執行單位：國立臺灣海洋大學同意

審查日期：100 年 11 月 16 日

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
國立嘉義大學土木及水資源工程系 林裕淵教授		
1. P106 曝曬試體由 ACI 進行設計？何意？	感謝委員指正，此段乃是說明配比設計遵照 ACI 211.1 中所述方法進行，在期末報告定稿中將修正。	同意辦理方式，請臺灣海洋大學確實辦理。
2. 106 人工裂縫太理想，後續計畫可否增加真實裂縫之修補。	人工裂縫是為了要有相同的變數控制，以便從事比較。在戶外曝曬試體中，有以預壓破壞產生裂縫試體以及使用加速腐蝕模擬生銹破壞之試體，此兩類試體均屬於接近真實裂縫之試體，因此其修補也就接近真實裂縫之修補。	同意辦理方式。
3. P114 以何指標來決定那種修補材料效果最好？	各種修補材料之配比最後選擇，其原則詳見表 4-20。基本上是根據有良好工作性、良好力學行為為主要考量。	同意辦理方式。
4. 溫度對混凝土材料裂縫之影響不能忽視。	同意委員看法，現已經規畫在第四年度執行有關試驗。至於確實將在何年度執行，將與委託單位商量確定之。	同意辦理方式。
5. P106 人工裂縫長度？	人工裂縫貫穿梁的底部，故裂縫長度為 15 cm，將在期末報告定稿中補正。	同意辦理方式。

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
6. P166 透水試驗試體厚 20cm，似乎不易量到滲透。而且吾人較關心者為使用修補材料修補後構件之透水性。	同意委員看法，有關透水特性以鋪面的定水頭試驗，似乎並不恰當。此點將在後續年度尋找更恰當的方法來表示修補材料之抗透水行為。修補後之透水行為，將以變水頭試驗從事之，將在未來的戶外曝曬試體之持續觀測資料中顯現。	同意辦理方式。
清雲科技大學土木工程系 許書王教授		
1. P56，圖 3.6，3.7，對照 P108 頁有關鋼筋配置，有 4 根 4 號及 12 根 3 號鋼筋，請研究團隊再確認鋼筋號數是否正確，以免影響實驗結果及分析之正確性。	已經確任無誤，感謝委員提醒。	同意辦理方式。
2. P97 表 4-11 修補材料長度變化量部分，由於砂漿棒存在裂縫後，其長度變化將不同，建議應針對量測時試體之狀況做一描述，明顯裂縫部分亦可加強說明。	感謝委員指正，本表中表示應以負值才是正確，所測得之長度變化為收縮，並非膨脹。又在本研究中所使用觀測長度變化用之砂漿棒至目前為止，尚未有表面開裂之現象發生。	同意辦理方式。
3. 以 P85 表 4-2 為例，表頭文字排列方向建議統一，以方便閱讀。	感謝委員指正，將在期末報告定稿中更正。	同意辦理方式。
4. P81 蒐集了氣象局基隆地區氣象資料，供作研究參考，請說明本項資料在研究報告分析中	因本研究曝曬試體將在基隆進行長期觀測，故在研究報告中先行蒐集近五年的氣象資料，瞭解曝曬場之天氣概況。	同意辦理方式，請臺灣海洋大學確實辦理。

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
做哪些參考？	有關基隆氣象獨特之處，在期末報告中已經以文字加以說明。	
5.第五章是否較屬文獻回顧，若屬文獻回顧則請註記出處，同時文中翻譯之語一建議再酌（例如 5-1 簡介第 2 段）以及 P119 頁最後一行。	第五章內容主要參考文獻 [22]，感謝委員提醒，已在期末報告定稿中，在第五章開始，將出處註明。第五章文字語句，已在期末報告定稿中修訂。	同意辦理方式，請臺灣海洋大學確實辦理。
6.P159 表 6-1 若有續頁，續頁部分應具表頭以利閱讀，另該表內符號配置請考慮修正。	感謝委員指正，將在期末報告定稿中補正。	同意辦理方式，請臺灣海洋大學確實辦理。
7.P164 表 6-4 有些文字表達建議再酌	感謝委員指正，文字乾旱區應為乾燥區域，在期末報告定稿中已修正。	同意辦理方式，請臺灣海洋大學確實辦理。
8.P174 表 7-1，6.，擬定...手冊初稿，完成說明欄卻是完成規範草案，請再酌。	感謝委員指正，將在期末報告定稿中修正。	同意辦理方式，請臺灣海洋大學確實辦理。
9.第 7 章 7-2 結論只針對表現好的組別做說明，對於其施工方法並未做描述甚為可惜。	感謝委員指正，因為本研究修補工法所採用的僅有裂縫注入法與表面塗封法兩種，故並未比較，以免誤導讀者。而有關於修補工法的探討，可見第二章文獻回顧，有關水下修補之工法可見第五章。	同意辦理方式，請臺灣海洋大學確實辦理。
10.本研究對於較大數量之維修似乎未進行探討研究，是否符合臺灣構造物之維修特性，可能有	感謝委員指正，限於經費，本研究目前僅能針對瞭解修補材料之材料特性，而無法進行大數量維修實務操演。第二年	同意辦理方式。

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
討論空間。	預計針對在海濱地區已受腐蝕破壞之鋼筋混凝土梁進行修補實務操演。	
11.相關名詞如水中帶、飛沫帶、乾旱區、、、若屬相同意思建議應統一。	感謝委員指正。水中帶、飛沫帶等名詞並非同義。	同意辦理方式。
12.第六章之規範名稱，是否有再討論空間？	感謝委員指正，第六章應為手冊初稿。	同意辦理方式。
13.第六章規範草案之格式，建議應參考目前港研中心相關規範之格式，以利未來併冊。	感謝委員指正，第六章應為手冊非為規範。格式將於第四年確定完稿時，與港研中心確定手冊之格式。	同意辦理方式。
國立臺灣科技大學營建工程系 沈得縣教授（書面審查）		
1. 期末報告內容豐富值得肯定，但在結論與建議中並未呼應計畫目的，具體呈現各種修補材料應用港灣混凝土構造物之成效或效益，請補充。	感謝委員指正。本研究所使用修補材料，其配比選用原則為工作性與力學行為。在結論中已經說明在各種材料中較佳之配比。至於使用在港灣混凝土構造物修補之成效或效益，必須等待長期曝曬試體之量測資料，才可以有綜合之判斷。	同意辦理方式。
2. 期末報告摘要提及本計畫第一年是針對 RC 構造物之各種修補材料進行研究，並綜整國內外資料，擬定港灣混凝土構造物修補手冊初稿，但期末報告並未提出此項修改修補手冊初	感謝委員指正。手冊在第六章呈現。第六章主要參照歐盟規範，明列出各種不同目的之修補材料應滿足的性能標準。其他修補手冊方面所需資料，將在後續年度補齊。	同意辦理方式。

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
稿，請說明。		
3. 期末報告已完成 8 種修補材料之試驗研究，應對這 8 種修補材料研擬材料品質標準及修補工法，甚至研擬修補手冊以利推廣應用。	感謝委員指正。目前僅完成修補材料基本特性試驗，針對修補材料應用在修補以及相關之工法，應再配合第六章手冊所述及之各種試驗驗證再行定論。	同意辦理方式，請臺灣海洋大學確實辦理。
4. 期末報告第 3 頁提到本計畫係以材料作出發點，目的在決定何種材料適合用來修補港灣混凝土構造物，而不涉及修補程序及補強工程。但修補程序及補強績效乃是驗證修補材料適用性之評估基準，研究時應作全面性規劃。	感謝委員指正。修補程序與修補工法確實重要，然因本研究範圍若過大，人力與財力上實無法完成。或許這些部份應該另外以其他計畫執行，以完成一完整研究之內涵。	同意辦理方式。
5. 期末報告第五章蒐集甚有關水下修補之材料及工法值得肯定，但水下修補時材料如何選購，品質如何控制，工程績效如評估，本計畫 8 種修補材料適用如何，請補充說明。	有關修補材料選擇時應如何控制品質，建議參考第六章手冊所述方法。本研究目前所使用之八種材料，將在後續年度瞭解是否能夠滿足歐盟的相關規範所提及之試驗要求。	同意辦理方式，請臺灣海洋大學確實辦理。
正修科技大學土木工程系江慶堂教授（書面審查）		
1. 本期末報告已將本案多年期研究工作內容之架構作完整規劃，並完成第一年期作為內容，所獲得成果碩。	感謝委員肯定。	同意辦理方式。

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
2. 第 42-43 頁敘述使用天然河砂及石英砂之比重與一般常重粒料比較偏低，吸水率偏高良多，以吸水率 14.63% 作為修補材料量不適合，建議查明是否為筆誤。	感謝委員指正，石英砂的吸水率為筆誤，將在期末報告中補正。	同意辦理方式，請臺灣海洋大學確實辦理。
3. 表 3-7~表 3-14 列出各種砂漿之配比，流度及強度等設施等設計值，其中流度是修補材料重要性質，建議附各配比實測之流度值，另表 3-7 中 $w/c=0.4$ 之配比，其流度值恐無法達到 100%，表 3-9 及表 3-10 用水量似有錯誤。使用 $w/c=0.2$ 之配比，建議須考慮水泥水化之水量是否夠？	感謝委員指正。確實在表 3-7 中 $w/c=0.4$ 與 $w/c=0.5$ 之砂漿並無法達到設計流度 100%，其真實流度見表 4-13 中 CM4 與 CM45 之流度值。表 3-9 與 3-10 中用水量為扣除液態壓克力水含量後之用水，表中 $w/c=0.2$ 等為筆誤，將在期末報告定稿中修正之。	同意辦理方式，請臺灣海洋大學確實辦理。
4. 第 63 頁混凝土靜彈性模數試驗依據之規範為 ASTM C469 非 ASTM C467；另敘述以本試驗來瞭解材料之體積穩定性，似與一般認知乾縮潛變及溫度等所產生體積穩定性觀念不協調；另在第 101 頁提及以彈性模數高低判定是否脆性，因材料溫度、材質不同，其應力-應變行為也不同，建議以其應變值來判定較為合理。	感謝委員指正，將在期末報告定稿中修正為 ASTM C469。修補材料之彈性模數若與基材相差過大，會在承受承載時，出現應變不一致情況，若有束限存在，則會發展錯置應力(mismatch stress)，產生破壞。因此彈性模數不一致，也被歸類為一種體積穩定性，詳見表 2-9 所示。第 101 頁所述文字不當，已經在定稿中移除。	同意辦理方式，請臺灣海洋大學確實辦理。

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
5. 第 64-65 頁試驗依據規範 ASTM C230 及 ASTM C939；另流度試驗(5)流度值非直接量測試驗後直徑之估，應為試驗前後直徑差之百分比。	感謝委員指正，已經於定稿中修正。	同意辦理方式。
6. 建議列出一張試驗結果(或評估)總表，比較各配比各種性質特點，如能明確選定適合之修補材料。	目前僅知道此八種修補材料基本特性，並未完整從事其他在第六章所述及之修補相關試驗，故擬在四年完成後，再進行完整敘述。	同意辦理方式。
港灣技術研究中心 陳桂清研究員		
1. 請說明選定之修補材料之理由，並彙整成一表，列出其材料性質，適用環境條件優缺點及其它性質，以便於閱讀比較。	目前僅知道此八種修補材料基本特性，並未完整從事其他在第六章所述及之修補相關試驗，故擬在四年完成後，再進行完整敘述。	同意辦理方式。
2. 修補材料與工法等規範，為何選擇 EN 版本，理由為何？是否適用於國內海洋環境下之維修。	選用 EN 之版本，原因在於 EN 之規定最為完備，其他如美國或日本的規定較為鬆散。EN 的規範中，針對海洋環境下使用，則應考量氯鹽問題、沖蝕問題、抗腐蝕耐久性問題，在 EN 中已有相關之檢定標準，應可以適用於國內海洋環境下之修補。	同意辦理方式，但後續如有相關研究，仍應蒐集並彙整各國相關規範或標準為宜請。
3. 修補材料之膨脹率、乾縮潛變等，仍是選用必須考量重點，建議試驗說明中仍須執行以了	感謝委員指正，規畫在其他年度執行。	同意辦理方式。

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
解修補，新舊介面材料之相容性。		
4. 參考文獻不足，無近年的文獻，缺乏其它國定的修補規範(諸如 ACI,中國土木水，日本...等)	感謝委員指正，在未來年度將持續蒐集匯整。	同意辦理方式。
5. 第六章之規範草案，僅為對修補材料原則的分類及修補方法的建議，細節部份仍然相當含糊，以此單一規範未草擬未來的草案，似乎不夠嚴謹。	感謝委員指正，將在後續年度中完善之。	同意辦理方式，請臺灣海洋大學確實辦理。
6. 報告內容，許多中英文對照之名詞，重複出現甚多。	感謝委員指正，將在定稿中修正。	同意辦理方式。
7. P.90 表 4-6 P104 表 4-14 建議刪除。	該二表均為實驗數據，雖量測不到，將修改為 0 cm/sec，而不以空白表達。該二表仍須保留。	同意辦理方式，但請臺灣海洋大學再加強陳述可能原因，透水試驗仍應以較長之試驗時間所得數據較具說服力。
8. 文中就試體編碼不一請更正(大小寫英文字母)，諸如 P93..文中很多均重新書寫訂正。	感謝委員指正，將在定稿中修正。	同意辦理方式，請臺灣海洋大學確實辦理。
9. 第七章 7.1 節，建議置於第一章，7.2 節建議以條文式的描述較佳。	感謝委員指正，將在定稿中做修改。	同意辦理方式。

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
港灣技術研究中心 陳桂清研究員		
1. 第六章“修補材料與工法規範”，其各章節〈大綱〉內容及文字敘述等，建議再做適當的編排及內容說明，以利參考。	將在未來年度繼續修改補正。	同意辦理方式，請臺灣海洋大學確實依據委員意見辦理。
2. p43~p47，許多表中之流度設計單位不一致，請說明之。	已在定稿中修正，凡使用砂漿流度臺試驗之工作性以流度值表達，凡使用流度錐試驗表達漿體之工作性者，統一使用錐流度表達。	同意辦理方式。
3. 國外有關“修補材料....規範”之參考文獻資料，略顯不足，建議再多方蒐集，以充實未來本計畫規範草案編寫之完整性。	感謝委員指正，在未來年度將持續蒐集匯整。	同意辦理方式。

附錄三

期末報告簡報資料



國立臺灣海洋大學
National Taiwan Ocean University



港灣混凝土構造物修補材料與 工法之研究(1/4)

• MOTC-IOT-100-H1DB003a (期末報告)

DATE : 2011-07-12

LOCATION : Harbor & Marine Technology Center

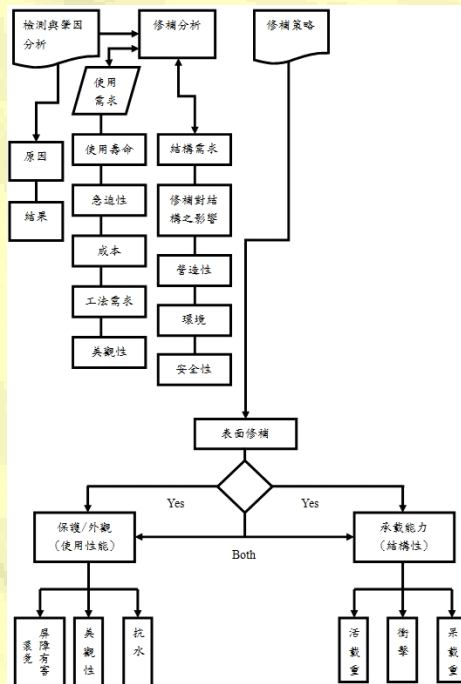
REPORTER : 葉為忠博士



緒論



修補程序流程圖



第二年期計畫研究

第二年期計畫研究針對常用之修補材料配合國外規範進行後續之工作性試驗，並建立工作性與力學性之間特性之關係。

第二年的工作內容包括：

1. 進行修補材料垂流特性試驗、注入性試驗、滲入型撥水劑相關試驗。
2. 諮詢修補材料相關廠商，諮詢現地常見之修補材料，連本帶料對應各材料之成本效益評估。
3. 預期與貴單位配合，進行乾溼循環水槽之樑柱現地修補。
4. 針對第一年期擬訂之港灣鋼筋混凝土構造物修復補強手冊進行修改，並召開專家座談，整合多方專家，對手冊制訂之意見。

第三年期計畫研究

計畫研究針對常用之修補材料配合國外規範進行後續之耐久性試驗，並建立耐久性與戶外曝曬試體現階段量測值之關係。

第三年的工作內容包括：

1. 進行修補材料氯離子電滲試驗、吸水率試驗、碳化試驗、腐蝕趨勢相關試驗。
2. 針對前兩年期撰寫之港灣鋼筋混凝土構造物修復補強手冊進行修改，並召開專家座談，進行意見整合及修改。



第四年期計畫研究

針對常用之修補材料配合國外規範進行混凝土相容性試驗，並建立與前幾年期力學性質結果之關係，並完成手冊完稿。

第四年的工作內容包括：

1. 進行修補材料對溫度影響之相關試驗。
2. 針對修補材料現地可能造成之火害情形，進行火害試驗。
3. 完成港灣鋼筋混凝土結構物修復補強手冊完稿。
4. 針對手冊完稿，進行業界教育訓練。



文獻回顧

重力式碼頭各構件產生異狀列表

構件名稱	構件項目	異狀							
		龜裂	腐蝕	裂縫	剝落	沉陷	傾斜	位移	沖刷
土堤	岸肩	✓	✓	✓	✓	✓			
	壁體	✓	✓	✓	✓		✓	✓	
	法線						✓		
	後線					✓			
海床									✓
附屬設施	車擋	✓							
	繫船柱	✓	✓						
	防舷材	✓							
	吊車軌道		✓					✓	

板樁式碼頭各構件產生異狀表

構件名稱	構件項目	異狀								
		開孔	龜裂	腐蝕	裂縫	剝落	沉陷	傾斜	位移	沖刷
土堤	岸肩		√	√	√	√	√			
	壁體	√	√	√				√	√	
	法線							√		
	後線						√			
海床										√
附屬設施	車擋		√							
	繫船柱		√	√						
	防舷材		√							
	吊車軌道			√					√	

棧橋式碼頭各構件產生異狀表

構件名稱	構件項目	異狀									
		損壞	防蝕破壞	龜裂	腐蝕	裂縫	剝落	沉陷	傾斜	位移	沖刷
面版	梁			√	√	√	√				
	岸肩			√	√	√	√	√			
	岸肩底部			√	√	√	√				
	冠牆			√	√	√	√	√			
	法線								√		
	後線							√			
墩柱			√	√	√	√	√		√		
拋石護坡		√									
海床											√
附屬設施	車擋			√							
	繫船柱			√	√						
	防舷材			√							
	吊車軌道				√					√	

常用修補材料之性質總整

材料	成份								應用要求				材料性質				註解	
	膠結材	添加物	添加劑	厚度限制 in/cm	流注溫度 F/C	養護	乾縮	熱膨脹係 數	抗壓強度(psi/MPa)				彈性模數 (psi/MPa)	透水係數 (混凝土 =10)	抗凍融能 力	不重障品 質		收熱
									1 Hr	1 Day	3 Days	28 Days						
波特蘭水泥 砂漿	波特蘭 水泥		減水劑、 膨脹劑	1.5-4/ 3.8-10	40-90/5- 32	Wet 7 days	中度	與基材 相等	0	650 /4.5	2500 /17.2	5000 /34.5	3.4x10 ⁷ / 2.3x10 ⁷	9	好	中度	低	
波特蘭水泥 混凝土	波特蘭 水泥		膨脹劑	>1.75/3	40-90/5- 32	Wet 7 days	低	與基材 相等	0	650 /4.5	2500 /17.2	5000 /34.5	3.8x10 ⁷ / 2.6x10 ⁷	9	好	無數據	低	
微砂灰改性 波特蘭水泥 混凝土	波特蘭 水泥	微砂灰	花樣能減 水劑、膨 脹劑	>1.25/3	40-90/5- 32	Wet 7 days	低	與基材 相等	0	3000 /20.7	4000 /27.6	7500 /51.7	4x10 ⁷ / 2.8x10 ⁷	6	好	好	低	
乳膠改性波特 蘭水泥混凝土	波特蘭 水泥		乳膠、 丁基橡膠 (SBR)	0.25-1.5 /0.6-3.8	45-95/7- 39	Wet 3 days	低	與基材 可相容				5000 /34.5	2.5x10 ⁷ / 1.7x10 ⁷	5	差	無數據	低	
高分子改性波 特蘭水泥砂漿 並使用非重障 障填充料	波特蘭 水泥	非重障障 填充料	膠克力乳 膠	>0.75/1			中度	與基材 可相容		1500 /10.3		3000 /20.7	2.5x10 ⁷ / 1.7x10 ⁷	5	差	差	中度	
硫磺水泥 混凝土	硫磺水泥			>3.0/7.6	50-100/10-40	Sheet 45 min-2days	中度	與基材 相等	2000 /13.8	6400 /44.1	7000 /48.3	8400 /57.9	3.2x10 ⁷ / 2.2x10 ⁷	9	差	低	高	ACI 308-23
纖維纖維 材料混凝土	波特蘭 水泥	卜作風材 料	纖維劑 (Fibridifier)	0.13-0.3 8/0.4-1.2	40-90/5-32	Wet 7 days	無效	與基材 相等	0	500 /3.4	2250 /15.5	4500 /31	3.8x10 ⁷ / 2.6x10 ⁷	10	好	無數據	低	ACI 503.4
環氧樹脂砂漿	環氧樹脂			0.25-0.5 0/0.6-1.3	50-90/10-32	4hrs-2 days	低	混凝土之 1.5-5倍				12000 /82.7	2.2x10 ⁷ / 1.5x10 ⁷	1	差	中度	高	在兩層區域，其可能導致問題
甲基丙烯酸甲 酯(MMA) 混凝土	壓克力 樹脂			>0.5/1.3	70-120/-6-50	1hr-6hr	中度	混凝土之 1.5-5倍	4000 /27.6	12000 /82.7		12000 /82.7	3x10 ⁷ / 2x10 ⁷	1	差	無數據	高	
噴塗法	波特蘭 水泥	卜作風 材料	減水劑、 膨脹劑、 乳膠		40-90/5-32	Wet 7 days	中度	與基材 相等	0	800 /5.5	3500 /24.1	5000 /34.5	3.8x10 ⁷ / 2.6x10 ⁷	6	好	無數據	低	ACI 508R-90

乾縮: 低 <3.0%; 中度: 0.05%-0.1%; 高: >0.1%

註解: 表中數字因製法廠商會有所差異, 本表僅為比較用

修補材料之組合成分

成分	說明描述	效益、益處
膠結材	膠結材是一種將所有填充料聚集在一起，形成複合材料。黏結材料包括: 波特蘭水泥、其它的水硬性水泥、壓克力樹脂。	波特蘭水泥用於最一般的維修工作
細粒料	粒料用於減少膠結材的體積，提高力學行為。細粒料也許可以另外增加較大粒徑的粒料。	適當的細粒料級配可以減少膠結材用量及乾縮。 特殊粒料可以提高耐磨性。
粗粒料	粗粒料更有效的減少膠結材的總體積，比一般乾燥的細粒料更能提高力學行為。	粗粒料降低乾燥收縮。 特殊粒料用於增強耐磨性。
特殊填充料	用於填充粗細骨材的剩餘空隙。 某些填充料(如飛灰、微砂灰)以取代部分水泥。 填充料也可以增加內聚力。	微砂灰可以增加強度，降低滲透性
高分子改性	高分子改性是用來提高修補材料的性能(質)。乳膠(聚丁苯乙烯橡膠)是最常見的。其他改性包括壓克力樹脂、聚乙稀醋酸鹽類(Polyvinyl Alcohol，簡稱P.V.A.)及液態環氧樹脂。	一些高分子增強了修補材料的性能 乳膠是用來降低滲透性，提高與基材的黏結強度，和減少彈性模數。
複合纖維	合成纖維及鋼纖維用來增強修補材料的拉伸強度及韌性。	增強纖維是為了預防控制收縮開裂 鋼和某些塑料纖維，提高了衝擊韌性及耐磨性。
化學改性	多方面改姓是為了增加或改變修補材料的性質包括了: 加速劑、緩凝劑、補償收縮添加劑，減水劑，流動性劑、擴張劑、輸氣劑。	使用改性允許控制一些性質和固化的未固化的材料。
修補材料	修補材料是一種混合膠結材、粒料、填充料等混合而成。	材料的設計應盡量簡單。 不要使用更多的成分超過實際需要 越複雜的材料一般會導致更多的問題

表面層修補材料在各種環境之適用性

	低坍度 密度混 凝土 (LSDC)	低水灰 比混凝 土 (LW/C)	乳膠改 性混凝 土 (LMC)	微砂 粉改 性混 凝土 (SFC)	波特蘭 水泥 橋面表 層膜	高分子混凝土 (Epoxy, MNA, PC)	備註
厚度: 0.125" -0.75"			✓			✓	
0.75" -2"		✓	✓				
2" -3"	✓	✓	✓	✓			
>3"	✓	✓	✓	✓	✓		
重建新坡度	✓	✓	✓	✓	✓	✓	改善排水。
磨損表面	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
混凝土及鋼筋	✓	✓	✓	✓	✓	✓	最大程度減 少滲透及擴 散。
橋面防水					✓		包括裂縫及 施工縫。
使用(存板)於表 面修補	✓	✓	✓	✓			
靜荷重結構							加強上部結 構是必要的。
整體試的板	✓	✓	✓	✓		✓	現行橋面應 準備適當的 膠結材。
覆蓋鋼筋: 鋼筋墊	✓	✓	✓	✓	✓		對於高碰撞 條件。
鋼纖維					✓		控制縮性收 縮。
合成纖維	✓	✓	✓	✓		✓	
無	✓	✓	✓	✓		✓	
兼容性: 彈性模	✓	✓	✓	✓			
滲透底層	✓	✓		✓	✓		

混凝土修補材料選擇

目的(性能要求)	選擇錯誤材料的結果(不良反應)	特性	應該避免
基材的鍵結力	黏結損失 剝落 修復分離的基材	黏結拉力， 低應力	高應力造成的 熱不相容性，乾 縮
設計承載之結構	不如預期載重，過分依靠基材或 修復材料	彈性與基材的 彈性模數相等	相較於基材有 著較低或高的彈 性模數
	最先承受載重，但隨著時間，在 潛變變形之下修補遲緩	極低的壓縮潛 變	高壓縮潛變
	乾縮造成物質損失量，降低負載 抗壓能力	乾縮極低	收縮

力學性質考量

目的(性能要求)	特性	應該避免
施工性	開始服務時間	發展低強度
	流動性	低坍度
	小粒料，圓形	大粒料，菱角形 狀
	不垂流	低內聚力，低握 裹力
	遺忘(人為疏失)	複雜配方

設計性質考量

目的(性能要求)	選擇錯誤材料的結果(不良反應)	特性	應該避免
外觀	乾縮導致表面裂縫	低乾縮，表面伸縮膜	高乾縮
	塑性沉降導致表面裂 縫	低放熱	高放熱
		再澆注期間減少低表面水	再澆注期間 減少高表面水

外觀考量

暴露環境考量

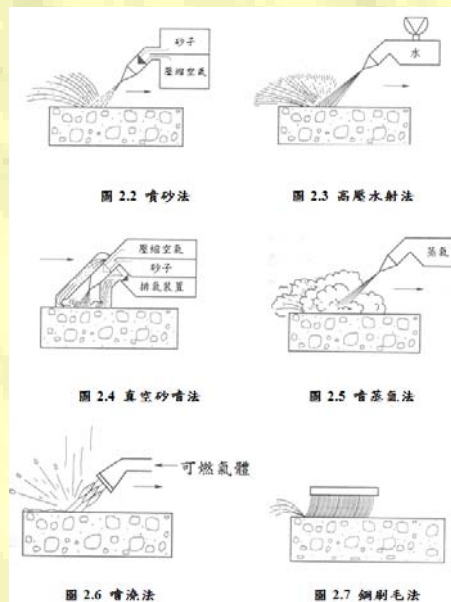
目的(性能要求)	選擇錯誤材料的結果 (不良反應)	特性	應該避免
溫度變化 	因修復材料造成收縮應力的裂縫。 	與基材相等的熱膨脹係數。	與基材不相等的熱膨脹係數。
	壓縮應力使得基材造成剝落。 	與基材相等的熱膨脹係數。	與基材不相等的熱膨脹係數。
修補材料局部的溫度變化	收縮應力造成修復材料的開裂。 	再放置與養護時較低的放熱。	再放置與養護時較高的放熱。
空氣氣體	溫度條件：鋼筋腐蝕，水泥基材分解。 	表面或內部的低滲透性，無裂紋。	高滲透性，使得修復材料的開裂。
化學接觸 	溫度條件：鋼筋腐蝕。 溫度條件：水泥基材分解。	低滲透性，在表面或內部無裂紋。 在表面或內部的物質具有抗化學性。	高滲透性，使得修復材料的開裂。 缺乏耐化學性。
紫外線照射 	修補材料力學性能的变化。	表面抗UV。	抗低UV。
溫度條件：飽和 	凍融循環：水泥基材。分解。	表面或內部的低滲透性。	高滲透性。
溫度條件	內部水分的變化。 	低滲透，低乾縮。	高滲透，高乾縮。

體積變化考量

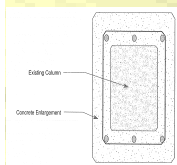
熱膨脹係數(α): 由於溫度的變化造成均勻分佈的材料，而根據新舊材料之間，使得發生下面的壓力關係。 	$\alpha_n = \alpha_o$ 沒有應力發生。 If $\alpha_n > \alpha_o$ or $\alpha_n < \alpha_o$ 剪黏結是受壓力作用的。 
彈性模數(E): 給定一個均勻分布載重，根據下列新舊材料之間，使得發生下面的壓力關係。 	If $E_n = 0$ 沒有應力發生。 If $E_n > E_o$ or $E_n < E_o$ 剪黏結是受壓力作用的。 
乾縮(S_n): 假設舊材料已經出現穩定的乾縮量，而新材料的乾縮將會影響到舊材料，發生下列壓力關係。 	If $S_n = 0$ 沒有應力發生。 If $S_n > S_o$ or $S_n < S_o$ 剪黏結是受壓力作用的。 而負載使得修補減少，修補材料呈現張力。 
潛變(C_n): 假設舊材料已經有穩定的潛變量，而根據新材料的潛變會發生下列壓力。 	If $C_n = 0$ 沒有應力發生。 If $C_n > C_o$ 剪黏結是受壓力作用的。 

修補之黏結面處理

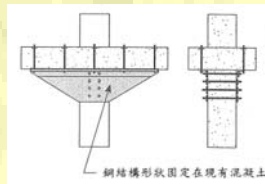
- 噴砂法
- 高壓水射法
- 真空噴砂法
- 噴蒸汽法
- 噴燒法
- 鋼刷毛法
- 人工鑿毛法
- 氣錘鑿毛法
- 機械切削法
- 酸浸蝕法



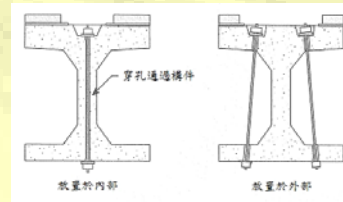
補強工法



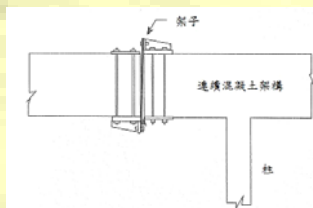
擴大斷面法示意圖



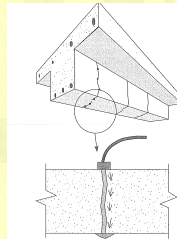
複合版工法示意圖



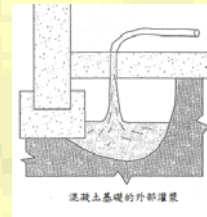
後拉預應力工法示意圖



增設新接縫達到消解應力示意圖

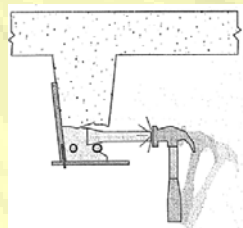


以內部灌注法修補構件裂縫之示意圖

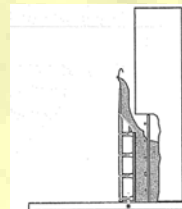


外部灌注法示意圖

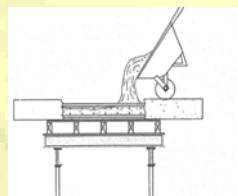
結構物補強工法



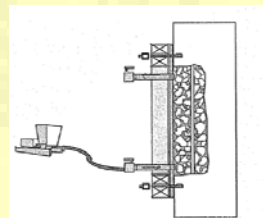
乾擠



直接澆置

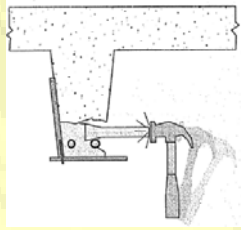


全深度修補

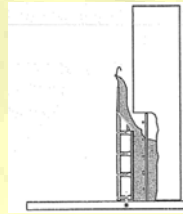


預置骨材灌漿

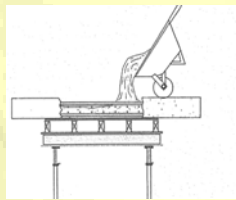
結構物補強工法



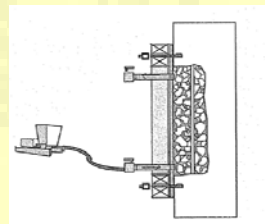
乾擠



直接澆置



全深度修補



預置骨材灌漿

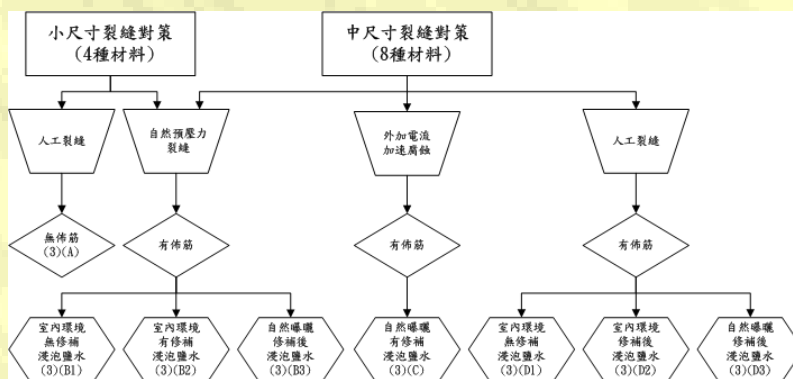
實驗計畫

修補材基本性質試驗預定項目

質系	材料	編號	斜剪法	乾縮	潛變	楊氏係數	溫度體積變化	抗壓強度	工作性	透水試驗	水中磨耗試驗	洛杉磯磨損試驗
水泥砂漿		1	◎	◎	◎	◎		◎	流動	◎	◎	◎
高分子樹脂漿體	環氧樹脂漿	2	◎		◎	◎		◎	流動	◎		◎
	壓克力樹脂水泥漿	3	◎		◎	◎		◎	流動	◎		◎
高分子改性水泥砂漿	環氧樹脂改性砂漿	4	◎	◎	◎	◎		◎	流動	◎	◎	◎
	壓克力樹脂砂漿(液狀)	5	◎	◎	◎	◎		◎	流動	◎	◎	◎
	壓克力樹脂砂漿(乾粉狀)	6	◎	◎	◎	◎		◎	流動	◎	◎	◎
	丁苯橡膠樹脂砂漿(SBR)	7	◎	◎	◎	◎		◎	流動	◎	◎	◎
無機改性水泥砂漿	XYPEX ADMIX C1000	8	◎	◎	◎	◎		◎	流動	◎	◎	◎

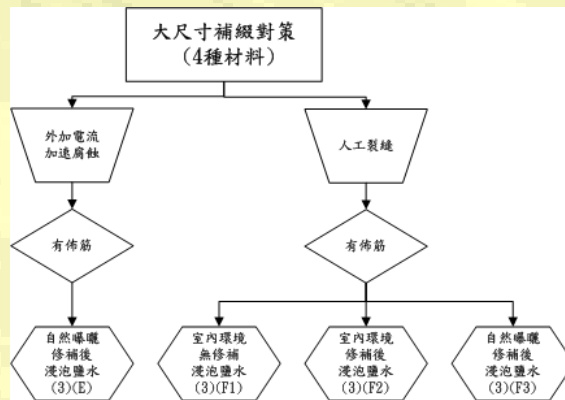
潛變試驗擬於儀器採購，另年度執行
溫度體積變化考慮實驗室環境、儀器使用，不進行

針對中小尺寸裂縫曝曬試體設計



非破壞檢測項目：
局部混凝土強度(反彈錘):全
抗腐蝕(半電池電位及GPM 瞬時腐蝕速率):B1、B2、B3、C、D1、D2、D3、E、F1、F2、F3
抗紫外線老化:B3、C、D3、E、F3(高分子材料)
水密性(滲透性試驗):全
最終破壞試驗項目：
抗彎強度:全
氯離子:全

針對大尺寸補綴曝曬試體設計



非破壞檢測項目：
 局部混凝土強度 (反彈鎚):全
 抗腐蝕 (半電池電位及GPM 瞬時腐蝕速率):B1、B2、B3、C、D1、D2、D3、E、F1、F2、F3
 抗紫外線老化:B3、C、D3、E、F3 (高分子材料)
 水密性 (滲透性試驗):全
 最終破壞試驗項目：
 抗彎強度:全
 氯離子:全

NTOU
National Taiwan Ocean University

水泥砂漿配比設計表

選用材料	水灰比	重量比 (水泥:砂)	取代後 水泥用量 (g)	一般砂 (g)	水用量 (g)	流度設計 (%)	28天強度設計 (psi)
水泥砂漿	0.4	1:2.75	515	1416	206	100%	3000psi以上
水泥砂漿	0.45	1:2.75	502	1381	226		

滲透結晶材配比設計表

選用材料	類型	水灰比	修補材 取代百分比	水泥:砂 (重量比)	取代後水 泥用量 (g)	一般砂 (g)	修補材料 用量 (g)	水用量 (g)	流度設計 (%)	28天強度 設計(psi)
ADMIX C1000	結晶滲透材料	0.5	2%水泥 取代量	1 : 2.75	490	1375	10	250	100%	3000psi以上
ADMIX C1000	結晶滲透材料	0.45	5%水泥 取代量	1 : 2.75	475	1375	25	225		
ADMIX C1000	結晶滲透材料	0.45	2%水泥 取代量	1 : 2.75	490	1375	10	225		

NTOU
National Taiwan Ocean University

乾粉狀壓克力樹脂砂漿配比設計表

選用材料	類型	水灰比	修補材取代百分比	水泥:砂(重量比)	取代後水泥用量(g)	石英砂用量(g)	修補材料用量(g)	水用量(g)	流度設計(%)	28天強度設計(psi)
SA	壓克力樹脂砂漿	0.2	5%水泥取代量	1:1	805	847	42	339	100%	3000psi以上
SA	壓克力樹脂砂漿	0.2	5%水泥取代量	1:0.5	990	521	52	147		
SA	壓克力樹脂砂漿	0.2	10%水泥取代量	1:1	749	832	83	333		
SA	壓克力樹脂砂漿	0.3	5%水泥取代量	1:1	742	782	39	391		

液態狀壓克力樹脂砂漿配比設計表

選用材料	類型	水灰比	修補材取代百分比	水泥:砂(重量比)	取代後水泥用量(g)	石英砂用量(g)	修補材料用量(g)	水用量(g)	流度設計(%)	28天強度設計(psi)
SA	壓克力樹脂砂漿	0.2	5%水泥取代量	1:1	805	847	82	297	100%	3000psi以上
SA	壓克力樹脂砂漿	0.2	5%水泥取代量	1:0.5	990	521	102	365		
SA	壓克力樹脂砂漿	0.2	10%水泥取代量	1:1	749	832	166	250		
SA	壓克力樹脂砂漿	0.3	5%水泥取代量	1:1	742	782	78	352		

ITOU
n Ocean University

聚丁苯乙烯橡膠樹脂(SBR)砂漿配比設計表

選用材料	類型	水灰比	修補材取代百分比	水泥:砂(重量比)	取代後水泥用量(g)	石英砂用量(g)	修補材料用量(g)	水用量(g)	流度設計(%)	28天強度設計(psi)
聚丁苯 乙烯橡 膠 SBR	SBR砂漿	0.2	5%水泥取代量	1:1	475	500	25	100	100%	3000psi以上
聚丁苯 乙烯橡 膠 SBR	SBR砂漿	0.2	5%水泥取代量	1:0.5	475	250	25	100		
聚丁苯 乙烯橡 膠 SBR	SBR砂漿	0.2	10%水泥取代量	1:1	450	500	50	100		
聚丁苯 乙烯橡 膠 SBR	SBR砂漿	0.3	5%水泥取代量	1:1	475	500	25	150		

環氧樹脂漿體配比設計表

選用材料	類型	樹脂:硬化劑	水泥:砂(重量比)	樹脂用量(g)	硬化劑用量(g)	流度設計(%)	28天強度設計(psi)
裂縫修補劑	環氧樹脂+硬化劑	5:1	1:1	2000	400	流度錐 83 sec	3000psi以上
裂縫修補劑	環氧樹脂+硬化劑	4:1	1:1	2000	500		

ITOU
n Ocean University

實驗成果

工作性試驗

修補材料漿體基本性質

修補材料漿體工作性流度資料表

選用材料	純水泥漿	純水泥漿	壓克力樹脂改性水泥漿	壓克力樹脂改性水泥漿	壓克力樹脂改性水泥漿	環氧樹脂	環氧樹脂
水灰比	0.4	0.5	0.4	0.4	0.5	主劑:硬化劑 4:1	主劑:硬化劑 5:1
修補材料取代水泥百分比			5%	10%	5%		
注漿流度時間	20分 15秒 (初凝)	17秒	12分 (初凝)	29秒	25秒	134秒	135秒

壓克力樹脂取代部分水泥，會導致工作性下降。

環氧樹脂之兩種配比工作性略同。

工作性試驗

修補材料漿體基本性質

修補材料漿體工作性流度資料表

選用材料	純水泥漿	純水泥漿	壓克力樹脂改性水泥漿	壓克力樹脂改性水泥漿	壓克力樹脂改性水泥漿	環氧樹脂	環氧樹脂
水灰比	0.4	0.5	0.4	0.4	0.5	主劑:硬化劑 4:1	主劑:硬化劑 5:1
修補材料取代水泥百分比			5%	10%	5%		
注漿流度時間	20分 15秒 (初凝)	17秒	12分 (初凝)	29秒	25秒	134秒	135秒

壓克力樹脂取代部分水泥，會導致工作性下降。

環氧樹脂之兩種配比工作性略同。

斜剪試驗

修補材料漿體黏結強度資料表

選用材料	純水泥漿	壓克力樹脂改性水泥漿	壓克力樹脂改性水泥漿	環氧樹脂	環氧樹脂
水灰比	0.5	0.4	0.5	主劑:硬化劑 4:1	主劑:硬化劑 5:1
修補材料取代水泥百分比		10%	5%		
黏結強度(psi)	1143	593	651	2381	2472
黏結強度(MPa)	10	4.1	4.5	16.4	17

以壓克力樹脂取代部分水泥大幅降低黏結強度。

相較水泥質系，環氧樹脂黏結強度甚強，主劑比例升高，不僅抗壓強度升高，黏結強度亦升高。

洛杉磯磨損試驗

以壓克力樹脂取代部分水泥有效減少磨損率，提高耐磨性。

相較水泥質系，不論脆性破壞，環氧樹脂在抗磨損能力也較高。

主劑比例升高，抗磨損能力亦升高。

修補材料漿體磨損率資料表

選用材料	純水泥漿	壓克力樹脂 改性水泥漿	壓克力樹脂 改性水泥漿	環氧樹脂	環氧樹脂
水灰比	0.5	0.4	0.5	主劑:硬化劑 4:1	主劑:硬化劑 5:1
修補材料取代 水泥百分比		10%	5%		
磨損率%	44.9%	32%	19.7%	12.7%	20.7%

透水係數

實驗進行超過72小時，證明此類漿體無足夠孔隙以利定水頭試驗儀提供之水壓造成透水，故無法量測。也藉此證明此類修補漿體具有一定程度之不透水性。

修補材料漿體資料表

選用材料	純水泥漿	壓克力樹脂 改性水泥漿	壓克力樹脂 改性水泥漿	環氧樹脂	環氧樹脂
水灰比	0.5	0.4	0.5	主劑:硬化劑 4:1	主劑:硬化劑 5:1
修補材料 取代水泥 百分比		10%	5%		
透水係數 cm/sec					

彈性模數試驗

修補材料漿體彈性模數資料表

由於缺少粒料，修補材料漿體相較一般水泥砂漿、混凝土材料，彈性模數甚低。

以壓克力樹脂取代部分水泥具減少彈性模數之趨勢。

環氧樹脂，抗壓能力、抗磨耗、透水性、黏結強度雖強，但在彈性模數表現上相對較差。

選用材料	純水泥漿	壓克力樹脂 改性水泥漿	壓克力樹脂 改性水泥漿	環氧樹脂	環氧樹脂
水灰比	0.5	0.4	0.5	主劑:硬化 劑 4:1	主劑:硬化 劑 5:1
修補材料取代 水泥百分比		10%	5%		
彈性模數GPa	10.8	7	6.4	3.9	3.5

配比編號說明

修補材料砂漿基本性質

選用材料 修補材取代水泥量百分比5%

↑ ↑
SBR 3 5 1

↓ ↓
水灰比0.3 水泥:砂(乾比重比) 1:1

聚丁苯乙烯橡膠樹脂：SBR

液態壓克力樹脂：LSA

乾粉狀壓克力樹脂：SSA

滲透結晶材：X

純水泥砂漿：CM

工作性試驗

固型份相同的情況下，乾粉狀壓克力樹脂的流度比液態要好

在水泥中添加聚丁苯乙烯橡膠樹脂砂將以部分取代水泥，在流度上較為符合原本之設計需求

修補材料砂漿體之流度

編號	流度(%)	編號	流度(%)
CM4	72	CM45	80
SBR351	101	SBR355	90
SBR3101	105	SBR3551	103
LSA451	73	LSA455	76

LSA4101	113	LSA551	108
SSA451	124	SSA455	超過150
SSA4101	超過150	SSA551	超過150
X52	125	X455	119
X452	118		

抗壓強度試驗

在其配比條件相同下液態壓克力樹脂砂漿的強度皆比乾粉狀之壓克力樹脂砂漿强度高

滲透結晶材改性純水泥砂漿將小幅度降低抗壓強度，其強度趨勢主要還是由水灰比控制。

純水泥砂漿之水灰比的提高會造成強度的降低。

修補材料砂漿體之抗壓強度

編號	抗壓強度(Mpa)	抗壓強度(Psi)
CM4	51.8	7514
CM45	32.9	4770
SBR351	58.2	8444
SBR355	53.7	7782
SBR3105	30.4	4403
SBR3551	36.2	5234
LSA451	17.7	2563
LSA455	35.3	5115
LSA4101	20.4	2956
LSA551	29.7	4303
SSA451	31.0	4487
SSA455	41.7	6042
SSA4101	23.0	3329
SSA551	30.2	4376
X52	24.2	3513
X455	28.6	4154
X452	28.3	4102

斜剪試驗

純水泥砂漿水灰比的提高使得黏結能力的上升。

液態壓克力樹脂砂漿就整體情況來說其黏結能力普遍高於乾粉狀壓克力樹脂砂漿。

滲透結晶材需要有足夠之水灰比已進行反應，得到良好的黏結強度，及其良好之水泥取代百分比為2~3%，過量取代將造成黏結強度降低。

試體編號	黏結強度(Mpa)
Cm4	7.4
Cm45	7.6
SBR351	6.2
SBR355	4.7
SBR3101	8.1
SBR3551	8.5
LSA451	4.9
LSA455	4.5
LSA4101	5.4
LSA551	5.1
SSA451	8.3
SSA455	8.2
SSA4101	5.6
SSA551	5.3
X52	7.9
X455	4.1
X452	6.9

NTOU
National Taiwan Ocean University

修補材料砂漿體之磨損率

洛杉磯磨損試驗

純水泥砂漿水灰比的增加使得磨損率的增加。

壓克力樹脂砂漿的結果，將修補材料取代水泥量從5%提升到10%時，造成磨損率的降低。

透結晶材需要有足夠之水灰比進行反應，充分進行反應之滲透結晶材將提高其抗磨損性。

滲透結晶材改性砂漿良好之水泥取代百分比為2~3%，過量取代將造成抗磨損性下降降低。

編號	磨損率 (%)
CM4	20.8
CM45	28.5
SBR351	19.9
SBR355	22.4
SBR3105	27.0
SBR3551	21.1
LSA451	20.6
LSA455	17.7
LSA4101	13.9
LSA551	19.3
SSA451	17.9
SSA455	16.9
SSA4101	14.1
SSA551	22.8
X52	26.0
X455	33.1
X452	27.4

NTOU
National Taiwan Ocean University

透水係數

水泥砂漿本身結構緊密，本實驗過程經24小時之觀察，並無水流出，固在透水率上使用量測不到。

這代表我們所選定這些修補材料，其本身具有良好之抗透水能力。

這並不代表以此修補材料來修補基材時，其複合材料一定是不透水的。這是因為當以修補材料修補基材時，其透水能力主要視修補材料與基材黏結界面的好壞而定，如果界面無法有良好的黏結，則仍有可能有透水之可能，此點將在後續的計畫進行探討。

修補材料砂漿體之透水係數

編號	透水率(%)
CM4	量測不到
CM45	量測不到
SBR351	量測不到
SBR355	量測不到
SBR3101	量測不到
SBR3551	量測不到
LSA451	量測不到
LSA455	量測不到
LSA4101	量測不到
LSA551	量測不到
SSA451	量測不到
SSA455	量測不到
SSA4101	量測不到
SSA551	量測不到
X52	量測不到
X455	量測不到
X452	量測不到

彈性模數試驗

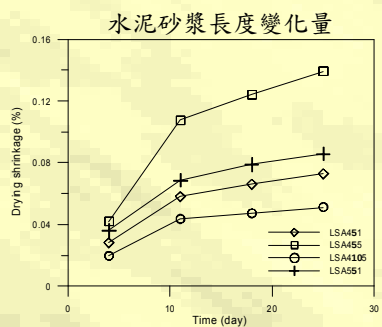
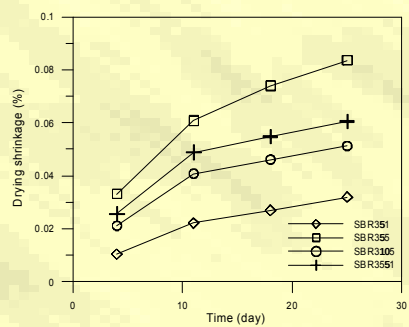
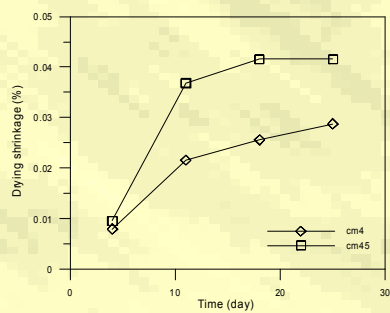
就SBR而言，提高修補材取代水泥量可以降低其長度變化量。

乾粉狀壓克力樹脂砂漿0.4水灰比5%修補材取代水泥量及感比重比1:1，以及相同配比之液態壓克力樹脂砂漿的長度變化量都比較大。

滲透結晶材需要有足夠之水灰比已進行反應，良好的反應可穩定體積變化，及其良好之水泥取代百分比為2~3%，過量取代將造成體積穩定度降低。

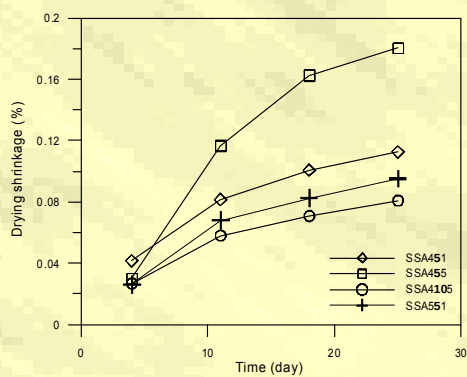
修補材料砂漿體之長度變化量

編號	4天(%)	11天(%)	18天(%)	25天(%)
CM4	0.0080	0.0216	0.0256	0.0288
CM45	0.0096	0.0368	0.0416	0.0416
SBR351	0.0104	0.0221	0.0269	0.0320
SBR355	0.0331	0.0608	0.0739	0.0835
SBR3105	0.0211	0.0408	0.0461	0.0512
SBR3551	0.0256	0.0488	0.0548	0.0604
LSA451	0.0280	0.0588	0.0660	0.0728
LSA455	0.0420	0.1076	0.1240	0.1392
LSA4101	0.0196	0.0436	0.0472	0.0512
LSA551	0.0360	0.0685	0.0787	0.0856
SSA451	0.0416	0.0816	0.1008	0.1125
SSA455	0.0301	0.1165	0.1624	0.1803
SSA4101	0.0268	0.0580	0.0708	0.0808
SSA551	0.0261	0.0680	0.0824	0.0952
X52	0.0267	0.0293	0.0351	0.0361
X455	0.0438	0.0564	0.0568	0.0600
X452	0.0274	0.0486	0.0538	0.0587

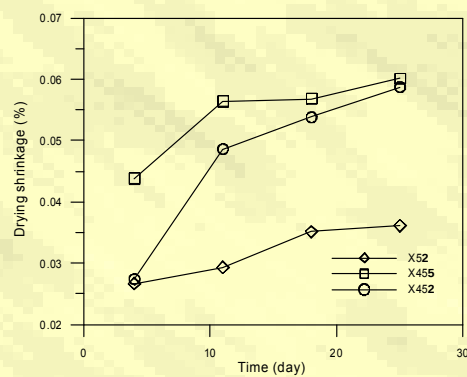


聚丁苯乙烯橡膠樹脂砂漿長度變化量

液態壓克力樹脂砂漿長度變化量



乾粉狀壓克力樹脂砂漿長度變化量



滲透結晶材砂漿長度變化量

戶外曝曬試體基座

戶外曝曬試體配比資料表

項目	水(Kg)	水泥(Kg)	粗粒料(Kg)	細粒料(Kg)
重量	15.76	31.37	82.63	47.04

曝曬試體由ACI進行設計，預期設計強度為21MPa (3000 psi)。

戶外曝曬試28天強度資料表

試體編號	1	2	3	平均
28天強度(MPa)	23.7	17.5	22.4	21.2
28天強度(psi)	3437	2538	3249	3075

戶外曝曬試體裂縫製作過程

小尺寸裂縫製造方法：將混凝土灌製入模板經均勻夯實後，在試體正中央置入一等寬金屬銅惰性薄片，其厚度為0.4mm，置入深度為1cm，待混凝土硬化後與模板一同拆除。

中尺寸裂縫製造方法：將混凝土灌製入模板經均勻夯實後，在試體正中央置入一等寬金屬銅惰性薄片，其厚度為0.8mm，置入深度為3cm，沿接觸正中央主筋，待混凝土硬化後與模板一同拆除。

大尺寸裂縫製造方法：將混凝土灌製入模板經均勻夯實後，在試體正中央置入一截面尺寸為5mm*5mm正方形之惰性金屬銅條，置入深度為3cm，沿接觸正中央主筋，待混凝土硬化後與模板一同拆除。

預壓力裂縫製造方法：將養護28天之混凝土基座試體置入萬能試驗機，進行4點式抗彎至試體表面破壞產生裂縫。

外加電流加速腐蝕裂縫製造方法：將試體浸泡在天然海水當中，以外加電路通電加速腐蝕的方法，促使鏽化物膨脹撐裂混凝土表面，形成表面裂縫。



以電鑽破壞通電加速腐蝕試體圖

由於促使鏽化物膨脹撐裂混凝土產生裂縫所需時間過久，故統一通與定量電流 $0.5A/m^2$ 通電48小時，至試體表面流出鏽水止。

修補操作方法

1. 表面封層配合針筒注射修補工法

對應中小尺寸、預壓力裂縫所使用之表面封層材料採用台灣西卡股份有限公司，編號臨時密封條，變性矽力康本工法操作步驟如下：

1. 將試體預製人工裂縫、預壓力產生裂縫表面處理至乾燥狀態。

2. 在試體頂端兩側分別預留孔洞，其餘使用變性矽力康表面封塗，並靜置24小時以上待其乾燥。

3. 24小時後確認變性矽力康完全乾燥，由試體頂端其一預留孔洞注入修補材料，直到由另一預留孔洞有修補材料流出。

4. 使用塞蓋阻擋孔洞材料外流，本研究使用竹筷。

5. 待修補材料硬化，將變性矽力康去除，完成本工法。

戶外試體實際修補結果



以表面封層配合針筒注射修補工法完成圖

變性矽力康基礎物性化性表

試驗項目		測定值		試驗方法
比重		1.59±0.05		比重測定法
初凝時間(分)	5℃	40±3		JIS A 1439
	23℃	10±3		JIS A 1439
黏結強度 (抗剝離強度)	混凝土表面	22.9(N/25mm)	2.3(kgf/25mm)	90度剝離試驗法
	塗裝面	20.3(N/25mm)	2.0(kgf/25mm)	
	磁磚面	25.6(N/25mm)	2.5(kgf/25mm)	

變性矽力康表面封層材料之溫度對應初終凝時間表

表 面 溫 度	5℃	10℃	20℃	30℃
混凝土表面	24小時以上		12小時以上	
塗裝面	24小時以上		12小時以上	
磁磚面	48小時以上		24小時以上	

修補操作方法



2.修補材料表面塗封工法

本研究對應中小尺寸、預壓力裂縫對應表面封層配合針筒注射修補工法不適用之情況下，改用修補材料表面塗封工法。操作步驟如下：

- 1.將試體預製人工裂縫、預壓力產生裂縫表面處理至面乾狀態。
- 2.將修補材料拌合均勻，不可有泌水、析離現象。

3.使用軟刷漿試體裂縫部分塗上修補材料，並靜置30秒，待其材料流入裂縫內。

4.繼續使用軟刷來回塗刷裂縫表層，直到均勻完成本工法。



以修補材料表面塗封工法完成圖

小裂縫使用修補材料表面塗封工法完成之材料組別為



一般水泥砂漿

壓克力樹脂漿體

滲透結晶材改性水泥砂漿

中裂縫使用表修補材料表面塗封工法完成之材料組別為



一般水泥砂漿

乾粉狀壓克力改性水泥砂漿

滲透結晶材改性水泥砂漿

液狀壓克力改性水泥砂漿

丁苯橡膠樹脂砂漿(SBR) 改性水泥砂漿

預壓力裂縫使用修補材料表面塗封工法完成之材料組別為



一般水泥砂漿

滲透結晶材改性水泥砂漿

高分子改性水泥砂漿(乾粉狀壓克力改性水泥砂漿)

NTOU

National Taiwan Ocean University

修補操作方法



3.大面積修補材料填補工法

本研究對應大尺寸、外加電流加速腐蝕裂縫使用大面積修補材料填補工法。本工法操作步驟如下：

- 1.將試體需補綴之表面經過電鑽打毛、擴洞處理。
- 2.將試體裝置模板，固定欲修補之範圍，並維持介面面乾。
- 3.將修補材料拌合均勻，不可有泌水、析離現象。
- 4.將修補材料置入需補綴之介面，並使用搗棒搗實。
- 5.將修補材料表面塗抹均勻，完成本工法。

戶外試體實際修補結果



以大面積修補填補工法完成圖

NTOU
National Taiwan Ocean University

大裂縫使用大面積修補填補工法完成之材料組別為



一般水泥砂漿 乾粉狀壓克力改性水泥砂漿 液狀壓克力改性水泥砂漿

丁苯橡膠樹脂砂漿(SBR) 改性水泥砂漿 滲透結晶材改性水泥砂漿

外加電流加速腐蝕裂縫使用大面積修補填補工法完成之材料組別為



水泥砂漿

滲透結晶材改性水泥砂漿

高分子改性水泥砂漿(乾粉狀壓克力改性水泥砂漿)

戶外曝曬試體修補最終配比選擇

裂縫類別	材料項目	配比選擇	使用之修補工法
小尺寸	一般水泥砂漿	0.45水灰比	修補材料表面塗封工法
小尺寸	環氧樹脂漿體	主劑:硬化劑 1:4	表面封層配合針筒注射修補工法
小尺寸	壓克力樹脂改性水泥漿體	水灰比0.5 水泥取代量5%	修補材料表面塗封工法
小尺寸	滲透結晶材改性水泥砂漿	水灰比0.5 水泥取代量2%	修補材料表面塗封工法

中尺寸	一般水泥砂漿	0.45水灰比	修補材料表面塗封工法
中尺寸	環氧樹脂漿體	主劑:硬化劑 1:4	表面封層配合針筒注射修補工法
中尺寸	壓克力樹脂改性水泥漿體	水灰比0.5 水泥取代量5%	表面封層配合針筒注射修補工法
中尺寸	液狀壓克力樹脂改性水泥砂漿	水灰比0.4 水泥取代量5% 1:0.5乾比重比	修補材料表面塗封工法
中尺寸	乾粉狀壓克力樹脂改性水泥砂漿	水灰比0.4 水泥取代量5% 1:0.5乾比重比	修補材料表面塗封工法
中尺寸	丁苯橡膠樹脂改性水泥砂漿	水灰比0.3 水泥取代量5% 1:1乾比重比	修補材料表面塗封工法
中尺寸	滲透結晶材改性水泥砂漿	水灰比0.5 水泥取代量2%	修補材料表面塗封工法

National Taiwan Ocean University

大尺寸	一般水泥砂漿	0.45水灰比	大面積修補材料填補工法
大尺寸	液狀壓克力樹脂改性水泥砂漿	水灰比0.4 水泥取代量5% 1:0.5乾比重比	大面積修補材料填補工法
大尺寸	乾粉狀壓克力樹脂改性水泥砂漿	水灰比0.4 水泥取代量5%、1:0.5乾比重比	大面積修補材料填補工法
大尺寸	丁苯橡膠樹脂改性水泥砂漿	水灰比0.3 水泥取代量5%、1:1乾比重比	大面積修補材料填補工法
大尺寸	滲透結晶材改性水泥砂漿	水灰比0.5 水泥取代量2%	大面積修補材料填補工法

NTOU
National Taiwan Ocean University

預壓力	I 水泥砂漿(一般水泥砂漿)	0.45水灰比	修補材料表面塗封工法
預壓力	II 高分子樹脂改性水泥漿體(環氧樹脂漿體)	主劑:硬化劑 1:4	表面封層配合針筒注射修補工法
預壓力	III 高分子樹脂改性水泥砂漿(液態壓克力樹脂改姓水泥砂漿)	水灰比0.4 水泥取代量5%、 1:0.5乾比重比	修補材料表面塗封工法
預壓力	IV 無機改性水泥砂漿(滲透結晶材改性水泥砂漿)	水灰比0.5 水泥取代量2%	修補材料表面塗封工法

通電腐蝕	I 水泥砂漿(一般水泥砂漿)	0.45水灰比	大面積修補材料填補工法
通電腐蝕	II 高分子樹脂改性水泥漿體(環氧樹脂漿體)	主劑:硬化劑 1:4	大面積修補材料填補工法
通電腐蝕	III 高分子樹脂改性水泥砂漿(液態壓克力樹脂改姓水泥砂漿)	水灰比0.4 水泥取代量5%、 1:0.5乾比重比	大面積修補材料填補工法
通電腐蝕	IV 無機改性水泥砂漿(滲透結晶材改性水泥砂漿)	水灰比0.5 水泥取代量2%	大面積修補材料填補工法

各尺寸裂縫對應材料 配比最終選擇資料表

項目	優點	缺點
表面封層配合針筒注射修補工法	針對中小裂縫，此工法修補材料之填補深度、完全度較佳。	考慮部分材料工作性較差無法經由針筒注射。亦或是本身就不適合進行小尺寸之裂縫修補之情形
修補材料表面塗封工法	此工法之工作性較無強烈需求，可對應大部分之情形。	使用此法修補材料自行滲入裂縫之深度較差，故針筒注射無法實行才考慮使用此方法。
大面積修補材料填補工法	此工法針是針對大面須灌漿，或是組裝模板之情形之補綴進行修補。	打毛、擴洞作業須統一，額外需要模板等，此工法較為複雜。

混凝土結構防護與修補材料與技術 綱要規範草案

表面保護產品與系統的性能特徵

編號	試驗方法	原則 方法 性能特徵	1. 滲入防護			2. 濕度控制			5. 物理性抵抗	6. 化學性抵抗	8. 增加電阻	
			1.1 (H)	1.2 (I)	1.3 (C)	2.1 (H)	2.2 (C)	5.1 (C)	5.2 (I)	6.1 (C)	8.1 (H)	8.2 (C)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	EN 12617-1	線性收縮			□		□	□		□		□
2	EN 12190	抗壓強度						□		□		
3	EN 1770	熱膨脹係數			□		□	□		□		□
4	EN ISO 5470-1	耐磨性						■	■			
5	EN ISO 2409	橫切測試黏著力			□		□	□		□		□
6	EN 1062-6	CO ₂ 滲透率			■							
7	EN ISO 7783-1 EN ISO 7783-2	水氣滲透率		□	■		■					■
8	EN 1062-3	毛細吸收和水的滲透性		■	■		■	■	■	□		■

表面保護產品與系統的性能特徵 (續)

9		熱兼容性下附著力										
	EN 13687-1	凍融循環(除冰鹽浸泡)		□	□		□	□	□	□		□
	EN 13687-2	雷震動循環(熱衝擊)		□	□		□	□	□	□		□
	EN 13687-3	熱循環(無除冰鹽的影響)		□	□		□	□	□	□		□
	EN 1062-11:2002	4.1老化(7天, 70 °C)		□	□		□	□	□	□		□
10	EN 13687-5	熱衝擊的抵抗性			□			□		□		
11	EN ISO 2812-1	抗化學性		□	□							
12	EN 13529	對嚴重化學侵蝕的抵抗性								■		
13	EN 1062-7	橋接裂縫能力			□		□	□		□		□
14	EN ISO 6272-1	抗衝擊性						■	■			
15	EN 1542	黏結強度(拉脫試驗法)		□	■		■	■	■	■		■
16	EN 13501-1	建築產品和建築構件的防火等級 - 第1部分: 使用防火測試的測試數據分類		□	□		□	□	□	□		□

表面保護產品與系統的性能特徵 (續)

17	EN 13581	滲透疏水混凝土抵抗凍融除冰鹽應力 (質量損失的測定)	☐			☐					☐	
18	EN 13036-4	防滑動/滑行		☐	☐		☐	☐	☐	☐		☐
19	見Table 3	穿透深度	■	■		■			■		■	
20	EN 1062-11:2002	4.2 : 人工風化的行為			☐		☐	☐		☐		☐
21	EN 1081	抗靜電行為			☐		☐	☐		☐		☐
22	EN 13578	濕混凝土的粘結力			☐		☐	☐		☐		
23	EN 13580	吸水率和疏水浸漬抗鹼性	■			■					■	
24	EN 13579	疏水浸漬乾燥率	■			■					■	
25	根據國家標準和國家法規	氯離子擴散	☐	☐	☐							

H: 疏水浸漬 ■ 所有用途上須具有的特性
I: 浸漬 ☐ 某些用途上(ENV 1504-9:1997的範圍內) 須具有的特性
C: 塗封

疏水性浸漬的性能要求

表1的編號	性能特點	試驗方法	需求
1	2	3	4
17	經過除冰鹽威脅後的質量損失 此測試僅適用於結構可能會在接觸除冰鹽。	EN 13581	浸漬標本的表面質量的損失，必須進行至少20次循環後與未浸漬標本比較。
19	滲透深度測量 100毫米的混凝土測試多維數據集C (0,70) 根據 EN 1766 (而不是C (0,45) EN 13579)。經過 28天的固化根據 EN 1766，樣品應存放乾燥過程在 EN 1766所描述。憎水劑的治療，應按照EN 13579。	穿透深度是0.5毫米的精度測量砸開處理後的標本，並噴灑水的斷裂面 (使用水代替酚酞酞酞測試方法) 根據 prEN 14630 乾旱區的深度是採取有效的疏水性浸漬深度。	等級 I: < 10 mm 等級 II: ≥ 10 mm
23	吸水率和耐強鹼性	EN 13580	未經處理的試樣吸收率<7.5% (在鹼溶液中浸泡後) 吸收率<10%。
24	乾燥速率係數	EN 13579	等級 I: > 30 % 等級 II: > 10 %
25	氯離子的擴散a	受國家標準和國家法規所訂	

a當毛細血管吸收水<0.01 kg/m²·h₀，5氯離子的擴散是不被預期的。

浸漬性能要求-1

表1的編號	性能特點	試驗方法	需求
1	2	3	4
4	耐磨性（泰伯測試）10毫米測片100毫米浸漬混凝土立方試體（0,70），根據 EN 1766 注意根據EN13813的試驗方法在地板系統中也可接受	EN ISO 5470-1	研磨輪，H22 /旋轉 1 000次/負載 1 000克至少改善30 %的耐磨性與非浸漬的樣品相比
7	水蒸氣滲透率	EN ISO 7783-1 EN ISO 7783-2	等級I $s_D < 5$ m (水蒸氣可滲透) 等級II $5 \text{ m} \leq s_D \leq 50 \text{ m}$ (不密實抵抗水蒸氣且水蒸氣不可滲透 例如們畫) 等級III $s_D > 50 \text{ m}$ (密實抵抗水蒸氣)
8	毛細管吸收和水的滲透性，	EN 1062-3	$w < 0,1 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{h}^{0,5}$
9	熱兼容性參考基板黏合後：C（0,70）根據 EN1766 除冰鹽影響的外部應用：凍融與除冰鹽浸泡循環（20 × 熱衝擊循環（10 ×） 除冰鹽影響的外部應用：無除冰鹽影響的熱循環（20 ×	EN 13687-1 EN 13687-2 EN 13687-3	熱循環 ACC。由 EN 13687-1和EN 13687-2對同一樣品，開始進行熱衝擊循環。熱循環後 A. 無氣泡，裂紋和分層 B. 拉脫試驗 應用/載重 平均[N/mm ²] 垂直 $\geq 0,8 (0,5)^b$ 水平無機械載重 $\geq 1,0 (0,7)^b$ 水平有機械載重 $\geq 1,5 (1,0)^b$
11	耐化學性（吸水媒介法）	EN ISO 2812-1	抵抗有關環境的影響，應在EN 206-1定義，在30天曝光後，沒有視覺上的缺陷
14	根據 EN 1766，測定有塗層的混凝土樣品 MC（0,40）耐衝擊性 注：厚度和預期的衝擊負荷的影響之類的選擇。	EN ISO 6272-1	加載後無裂紋和分層 等級I: $\geq 4 \text{ Nm}$ 等級II: $\geq 10 \text{ Nm}$ 等級III: $\geq 20 \text{ Nm}$

浸漬性能要求-2

表1的編號	性能特點	試驗方法	需求
1	2	3	4
15	拉脫參考基材：C（0,70）ACC。 據EN 1766的養護7天，在70°C下7天，並與非浸漬標本做比較	EN 1542	應用/載重 平均[N/mm ²] 垂直 $\geq 0,8 (0,5)^b$ 水平無邊移 $\geq 1,0 (0,7)^b$ 水平有邊移 $\geq 1,5 (1,0)^b$
16	燃燒反應後的應用	EN 13501-1	歐洲等級
18	防滑	EN 13036-4	等級I: ≥ 40 單位濕測試(潮濕表面中) 等級II: ≥ 40 單位乾測試(乾燥表面中) 等級III: ≥ 55 單位濕測試(外面) 或ACC 據國家標準
19	滲透深度測量 100毫米的混凝土測試多維數據集 C（0,70）根據 EN 1766（而不是C（0,45）EN 13579）經過 28天的固化根據 EN 1766，樣品應存放乾燥過程在EN 1766所描述。應遵循製造商的指示	砸開處理後的標本，並噴灑水的斷裂面（使用水代替酚酞酞酞測試方法）根據 prEN 14630穿透深度是指用0.5毫米的精確度。乾旱區的深度是採取有效的浸漬深度	$\geq 5 \text{ mm}$.
25	氯離子的擴散a	受國家標準和國家法規所訂	

a 當毛細管吸收水 $< 0.01 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{h}^{0.5}$ ，5氯離子的擴散是不被預期的。

b. 括號內的數值是最低的可接受值。

塗料的性能要求-1

表1的編號	性能特點	試驗方法	需求
1	2	3	4
1	線性收縮只適合剛性系統且可應用的厚度 ≥ 3 mm	EN 12617-1	$\leq 0,3\%$
2	抗壓強度	EN12190	等級I: ≥ 35 N/mm ² 等級II: ≥ 50 N/mm ²
3	熱膨脹係數 只有對塗層厚度 ≥ 1 毫米	EN 1770	剛性系統 ^b 對於外部應用: $\alpha_T \leq 30 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$
4	耐磨性 (泰伯測試) 10毫米測片100毫米浸漬混凝土立方試體 (0,70) 根據 EN 1766 注意 根據EN13813的試驗方法在地板系統中也可接受	EN ISO 5470-1	重量損失不少於 3 000毫克打磨輪 H22/旋轉 1 000次/負載 1 000 克
5	根據 EN 1766利用十字切割試驗測試上塗層的混凝土樣品 MC (0,40) 此測試僅適用於薄光滑的薄膜0.5毫米總乾厚度。 注: 測試是進行此外在基本測試的拉脫試驗。因此, 現場的橫切性能試驗可能取代拉脫試驗。	EN ISO 2409 切割寬度: 4 mm	十字切割值: $\leq \text{GT } 2$
6	CO ₂ 滲透率	EN 1062-6 (樣品測試前, 應根據 PREN 1062-11:2002,4.3)	CO ₂ 的滲透率 $s_D > 50$ m
7	水蒸氣的滲透率	EN ISO 7783-1 EN ISO 7783-2	等級I $s_D < 5$ m (水蒸氣可滲透) 等級II $5 \text{ m} \leq s_D \leq 50$ m 等級III $s_D > 50$ m (水蒸氣不可滲透)
8	毛細管吸收和水的滲透性	EN 1062-3	$w < 0,1 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{h}^{0,5}$

塗料的性能要求-2

表1的編號	性能特點	試驗方法	需求
1	2	3	4
9	在熱兼容性的黏附力 參照CC(0,40)根據EN1766 對於外部應用除冰鹽的影響: 凍結鹽除冰鹽浸泡循環 (50x) 及熱衝擊循環 (10x) 對於外部應用無除冰鹽的影響: 熱衝擊循環無除冰鹽影響(20X) 對於內部應用: 在70 °C下7天	EN 13687-1 EN 13687-2 EN 13687-3 EN 1062-11	熱循環 ACC。由 EN 13687-1 和 EN 13687-2對同一樣品, 開始進行熱衝擊循環。熱循環後 A) 無氣泡, 裂紋和分層 B) 拉脫試驗 平均[N/mm2] 裂紋橋接或剛性系統 無遷移 $\geq 0,8$ (0,5) ^b $\geq 1,0$ (0,7) ^b 有遷移 $\geq 1,5$ (1,0) ^b $\geq 2,0$ (1,5) ^b
10	對熱衝擊的抵抗力(1X)	EN 13687-5	有遷移 $\geq 1,5$ (1,0) ^b $\geq 2,0$ (1,5) ^b
11	耐化學性 (吸水媒介法)	EN ISO 2812-1	抵抗有關環境的影響, 應在EN 206-1定義, 在30天曝光後, 沒有視覺上的缺陷
12	抗嚴重的化學侵襲 等級1: 3d無壓 等級2: 28d無壓 等級3: 28有壓 建議在EN 13529給出的20類, 涵蓋所有類型一般化學品使用的測試液體。	EN 13529	硬固低於50%當根據Buchholz 法, EN ISO 2815, or Shore法 EN ISO 868 測量. 在試體從浸泡液拿出且塗層被移除後24小時
13	根據 EN 1062-11:2002, 4.1裂縫橋接的能力 4.1- 7天, 在70 °C的活性樹脂系統 4.2- 紫外線輻射和溫度分散系統	EN 1062-7	所需的裂縫架橋能力, 應由設計師選擇與尊重當地的條件 (氣候, 裂縫寬度和裂縫運動)。
14	根據 EN 1766, 測定有塗層的混凝土樣品 MC (0,40) 耐衝擊性 注: 厚度和預期的衝擊負荷的影響之類的選擇。	EN ISO 6272-1	加載後無裂紋和分層 等級I: ≥ 4 Nm 等級II: ≥ 10 Nm 等級III: ≥ 20 Nm

塗料的性能要求-3			
表1的編號	性能特點	試驗方法	需求
1	2	3	4
15	拉脫參考基材：C (0,70) ACC。 據EN 1766的養護7天，在70°C下7天，並與非浸漬標本做比較	EN 1542	平均[N/mm2] 裂紋橋接或剛性系統 無遷移 $\geq 0,8$ (0,5) ^b $\geq 1,0$ (0,7) ^b 有遷移 $\geq 1,5$ (1,0) ^b $\geq 2,0$ (1,5) ^b
16	燃燒反應後的應用	EN 13501-1	歐洲等級
18	防滑	EN 13036-4	等級I: ≥ 40 單位濕測試(潮濕表面中) 等級II: ≥ 40 單位乾測試(乾燥表面中) 等級III: ≥ 55 單位濕測試(外面) 或ACC 據國家標準
20	人工風化根據 EN 1062-11:2002，4.2 (UV紫外線和濕度) 在外部的應用，應被測試的只有白色和RAL 7030。	EN 1062-11	在2000小時的人工風化後 無起泡 根據 EN ISO 4628-2 無裂紋 根據 EN ISO 4628-4 無剝落 根據 EN ISO 4628-5 輕微的顏色變化，失去光澤和粉化，可能會接受表，但應當說明。
21	抗靜電行為	EN 1081	等級I: $>10^4$ and $<10^6 \Omega$ (具爆炸性的物質) 等級II: $>10^6$ and $<10^8 \Omega$ (爆炸危險物質)
22	濕混凝土的粘附能力 (基材：MC (0,40	EN 13578	在施加载重後 a) 無起泡 根據 EN ISO 4628-2 無裂紋 根據 EN ISO 4628-4 無剝落 根據 EN ISO 4628-5 b) 拉脫強度 $\geq 1.5 \text{ N/mm}^2$ ，破壞應發生在混凝土破裂 $> 50\%$
25	氯離子的擴散 ^a	受國家標準和國家法規所訂	
^a 當毛細血管吸收水 $<0.01 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{H}_0$ ，5氯離子的擴散是不被預期的。 ^b 括號內的數值是最低的可接受值。 ^c 剛性塗料是塗料對於岸上(shre)D ≥ 60 根據 EN ISO 868。			

National Taiwan Ocean University

一般及特定使用的結構及非結構修補產品之性能特徵				
性能特徵	修補原則			
	3		4	7
	修補方法			
	3.1,3.2		4.4	7.1,7.2
抗壓強度	☐	☐	☐	☐
氯離子含量 ^b	☐	☐	☐	☐
黏結強度	☐	☐	☐	☐
束制時的收縮/膨脹 ^c	☐	☐	☐	☐
耐久性a)抗碳化 ^{bd}	☐	☐	☐	☐
耐久性b)熱相容 ^e	☐	☐	☐	☐
彈性模數	☐	☐	☐	☐
抗滑動 ^f	☐	☐	☐	☐
熱膨脹係數 ^g	☐	☐	☐	☐
毛細吸附(透水性) ^h	☐	☐	☐	☐
修補方法詳如ENV 1504-9:1997 3.1 用手工工具塗抹砂漿修復混凝土。 3.2 鑄模澆置修復混凝土。 3.3 利用噴塗砂漿或混凝土修復混凝土。 ☐ 一般使用 ☐ 特定使用 4.4 增加砂漿或混凝土強化結構。 7.1 使用額外的水泥砂漿或混凝土增保護層厚度。 7.2 置換受汙染或碳化的混凝土。				
^a 由於應用方法的性質不同，有些測試方法可參考EN14487-1修改。 ^b 這項規定不適用於無筋混凝土。 ^c 如果進行熱循環，本試驗不須執行。 ^d 如果修補系統包括一已經驗證的抗碳化保護層表面(EN1504-2)或砂漿層，本試驗不須執行。 ^e 依據暴露環境條件而定。 ^f 只需在交通區域進行。 ^g 僅適用於水泥質系材料。 ^h 抗蝕性與氯離子含量和透水性有關				

NTOU
National Taiwan Ocean University

結構與非結構修復產品與系統依據準則及方法

項目號數	性能特徵	參考基材	測試方法	需求				
				結構性		非結構性		
				R4級	R3級	R2級	R1級	
1	抗壓強度	無	EN 12190	≥45 MPa	≥25 MPa	≥15 MPa	≥10 MPa	
2	氯離子含量	無	EN 1015-17	≤0.05%		≤0.05%		
3	黏結強度	MC(0,40)	EN 1542	≥ 2.0 MPa	≥Pa	≥0.8 MPa ^a		
4	束制收縮/膨脹 ^{bc}	MC(0,40)	EN 12617-4	試驗後的黏結強度			無要求	
				≥ 2.0 MPa	≥Pa	≥Pa ^a		
5	抗碳化性 ^f	無	EN 13295	d _k ≤控制混凝土Mc(0,45)			無要求 ^g	
6	彈性模數	無	EN 13412	≥ 20 Gpa	≥pa	無要求		
7	熱相容性 ^h 凍融	MC(0,40)	EN 13687-1	50次循環後的黏結強度 ^{dc}			50次循環後目 視檢查 ^c	
				≥2.0 MPa	≥1.5 MPa	≥0.8 MPa		
8	熱相容性 ^h 雷陣雨	MC(0,40)	EN 13687-2	30次循環後的黏結強度 ^{dc}			30次循環後目 視檢查 ^c	
				≥2.0 MPa	≥1.5 MPa	≥0.8 MPa		
9	熱相容性 ^h 乾燥循環	MC(0,40)	EN 13687-4	30次循環後的黏結強度 ^{dc}			30次循環後目 視檢查 ^c	
				≥2.0 MPa	≥1.5 MPa	≥0.8 MPa		
10	抗滑動性	無	EN 13063-4	類型I: >40單元濕測試			類型I: >40單元濕測試	
				類型II: >40單元乾測試			類型II: >40單元乾測試	
				類型III: >55單元濕測試			類型III: >55單元濕測試	
11	熱膨脹係數	無	EN 1770	如已完成7,8,9項試驗，不需進行本試驗			如已完成7,8,9項試驗，不需進行本試驗	
12	毛細吸附	無	EN 13057	≤ 0.5kgm ⁻² h ^{0.5}			≤0.5kgm ⁻² h ^{0.5} 0.5	無要求

結構與非結構修復產品與系統依據準則及方法(續)

修補原則的要求:

- 3.1 用手工具塗抹砂漿修復混凝土。
- 3.2 鑄模澆置修復混凝土。
- 3.3 利用噴塗砂漿或混凝土修復混凝土。
- 4.4 增加砂漿或混凝土強化結構。
- 7.1 使用額外的水泥砂漿或混凝土增保護層厚度。
- 7.2 置換受汙染或碳化的混凝土。

a如果凝聚力破壞於修補材料，不需要滿足0.8MPa。如果發生黏結破壞發，則最低抗拉強度要求0.5MPa。

b修補方法3.3不要求

c 如進行熱循環不需要此試驗。

d沒有單一值或平均值低於75%的最低值。

e 最大允許平均裂縫寬度≤，無任何單一裂縫寬度≥，且無剝層破壞。

f 耐久性目的。

g不適用於抗碳化防護，除非有抗碳化的保護層（見EN 1504-2）。

h 方法的選擇取決於暴露條件，當一個產品滿足第一部分則視為滿足2和4部分。

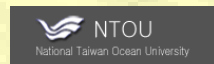
工廠生產控制之測試頻率

辨識特徵/性質	水泥基產品	環氧樹脂
組成部分辨識		
外觀和顏色	A	A
乾料粒徑分析	B	B
紅外線分析 ^{ab}	D	C
環氧當量 ^b	—	C
胺材作用 ^b	—	C
液體成分中揮發性/非揮發性物質	B	B
新拌的混合物或硬化試體辨識		
硬化時間		
工作性 (二選一)	B	B
鍋使用壽命	—	A
抗壓強度與密度	B	B
A 每批次(詳如EN 1504-8) B 每10批次，每兩周或每1000 ton，依照先達到的時間為準 C 一年兩次 a 所有含有機成分的產品。 D 一年一次 b 原料供應商提供的文件應符合此需求		

特殊應用的測試方法

性質	測試方法	參考混凝土	意見
氯離子侵入	EN 13396		宣稱值(當已確定使用表面保護系統不須此試驗)
受壓潛變 ^a	EN 13584		宣稱值
抗化學性	EN 13529 或 ISO 2812-1		宣稱值(當已確定使用表面保護系統不須此試驗)
頂板施工(如維修橋梁拱腹)	EN 13395-4	MC (0,40)	黏結強度應符合表3規定
^a 使用水泥質修補砂漿於結構中，通常不需要進行本試驗，如果使用60%的28天抗壓強度作為設計標準。			

第七章 結論與建議



本研究條列對應契約書完成程度說明

工作項目完成程度資料表

條列項目	完成說明
1. 國內外相關資料之蒐集，包括各種修補材料與修補工法。	已多方蒐集各式相關規範，並彙整完成，以上傳至貴單位伺服器。
2. 進行修補材料性質試驗與修補工法之研究。	各式力學性質試驗方法與修補材料之工法研究，第二章詳述。
3. 試體製作：包括實驗室模擬試體(至少5種不同修補材料，每種試體3個)以及1組以上戶外曝曬試體(樑、柱)試體。	室內修補材料基本性質試驗已完成7種修補材料，其試驗結果與分析第四章詳述。戶外曝曬試體各組別已完成。
4. 試體觀測內容包括：力學行為的變化、開路電位的變化、透水係數、腐蝕電流分布、體積穩定性、黏結強度。	室內力學性質試驗，對應修補材料基本性質試驗表之試驗需求，已完成黏結強度試驗、乾縮試驗、楊氏係數試驗、抗壓強度試驗、工作性試驗、透水係數試驗、水中磨耗試驗、洛杉磯磨損試驗。開路電位的變化、腐蝕電流分布，試體已灌製完成，須待戶外曝曬試體之曝曬齡期到達再進行。
5. 不同工法之效益評估：依據試體觀測結果，進行應用於港灣混凝土構造物之效益評估或比較分析。	完成之結果如第四章，表4-20各尺寸裂縫對應材料配比最終選擇資料表所示。
6. 擬訂港灣鋼筋混凝土構造物修復補強手冊初稿。	如第六章混凝土結構防護與修補材料與技術綱要規範草案成果所示。



結論

如果預修補裂縫尺寸類屬中小尺寸裂縫，主要考量工作性，次要考慮它項基本力學性質，此時環氧樹脂漿體，主劑:硬化劑=4:1表現最為良好，但用於大體積修補，或有力學性質考量時，環氧樹脂漿體將有體積變化之隱憂。

對於大體積之補綴，使用含有細粒料之修補材料砂漿，如需考量到具有良好的水中耐磨損性以聚丁苯乙烯橡膠0.3水灰比、5%修補材料取代水泥量、乾比重比1:0.5為佳，若考量到體積變化則以聚丁苯乙烯橡膠砂漿0.3水灰比、5%修補材料取代水泥量、乾比重比1:0.5 表現較好。

建議

延續本年度之力學性質試驗結果，進行修補材料垂流特性試驗、注入性試驗、滲入型撥水劑相關試驗等可建立更完善之工作性特性。考量實際成本可行性，應評估各材料之成本效益評估。

如機會許可，渴望與貴單位合作，進行乾溼循環水槽之樑柱現地修補。為得知修補材料之耐久性特性，氯離子電滲試驗、吸水率試驗、碳化試驗、腐蝕趨勢相關試驗。相容性在複合材料性質中占有相當重要，固預計進行溫度影響試驗。其他如火害試驗也相當重要。



附錄四

工作會議紀錄

第一季工作會議記錄

採購案編號：MOTC-IOT-100-H1DB03a

採購案名稱：港灣混凝土構造物修補材料與工法之研究(1/4)

時 間：中華民國 100 年 3 月 17 日（星期四）下午 1：30

地 點：港研中心 5 樓會議室

出席者：港研中心：謝科長明志、陳研究員桂清、柯研究員正龍、

張研究員道光、林玲煥助理研究員、童佩怡

國立臺灣海洋大學：葉為忠教授、官志恆先生、劉冠廷先生

記 錄：童佩怡助理

討論議題

第一季工作內容說明及進度報告。

主要結論

- 1.整體工作進度、實驗架構規畫，請儘速完成，避免後續進度落後。
- 2.修補材料種類及選用標準，應詳細說明，請儘速補充。
- 3.修補工法之補修對象需包含純混凝土及鋼筋混凝土。
- 4.建議部份試驗執行期程，應考慮提前完成，並請規劃後續長期試驗試體可增加數量。
- 5.研究團隊召開之研究會議，討論議題與時間，請提前通知本所。
- 6.請加強港灣構造物損壞情形之文獻蒐集。
- 7.修補材料需進行耐久性評估。

8.文獻蒐集部份，請加強納入新工法、新觀念之相關文獻。

9.計畫執行請與貴校相關研究計畫資料，互相佐證驗證。

交通部運輸研究所（港研中心）

MOTC-IOT-100-H1DB03a 港灣混凝土構造物修補材料與工法之

研究(1/4)第一季工作會議簽到冊

一、時間：100 年 3 月 17 日（星期四）下午 1 時 30 分

二、地點：港研中心 5 樓會議室

三、主席：謝科長明志

記錄：童佩怡

四、出席單位及人員：

本所港研中心：

陳松清、謝明志
張道光 林玲煒
趙子仁

執行單位：（國立臺灣海洋大學）

曾為良 霍志強
鍾冠廷

列席單位：

第二季工作會議記錄

採購案編號：MOTC-IOT-100-H1DB003a

採購案名稱：港灣混凝土結構物修補材料與工法之研究(1/4)

時間：中華民國 100 年 6 月 2 日（星期四）下午 1：30

地點：港研中心 5 樓會議室

出席者：謝明志科長、陳桂清研究員、柯正龍研究員、童佩怡助理

國立臺灣海洋大學葉為忠教授、劉冠廷助理、官志恆助理

記錄：童佩怡助理、劉冠廷助理

討論議題

第二季工作內容說明及進度報告。（國立臺灣海洋大學葉為忠教授簡報）

主要結論

- 1.本研究製作之試體，請研究團隊應於報告內加強敘述其各項試驗材料、試驗規範或方法選用之依據及考量重點。（例如：漿體流度、預裂縫、修補材料進入裂縫深度……等）
- 2.本研究所蒐集國內外相關規範或文獻等，請研究團隊提供給港研中心參考。
- 3.針對自然環境暴露試驗之變數，如通電腐蝕等，請研究團隊加強說明或考量其可行性，必要時，建議試體可考慮放置於日曬較為嚴重地區或本所港研中心之試驗場地。
- 4.試體製作選用材料及其配比設計，應經由資料收集與材料供應廠商多方討論後訂定。

交通部運輸研究所（港研中心）

MOTC-IOT-100-H1DB03a 港灣混凝土構造物修補材料與工法之

研究(1/4) 第二季工作會議簽到冊

一、時間：100 年 6 月 2 日（星期四）下午 1 時 30 分

二、地點：港研中心 5 樓會議室

三、主席：謝科長明志

記錄：童佩怡

四、出席單位及人員：

本所港研中心：

陳松清 柯正鄧
童佩怡 謝明志

執行單位：（國立臺灣海洋大學）

李力忠 官志強
鍾冠廷
王詩顯

列席單位：

第三季工作會議記錄

採購案編號：MOTC-IOT-100-H1DB003a

採購案名稱：港灣混凝土結構物修補材料與工法之研究(1/4)

時間：中華民國 100 年 09 月 27 日（星期二）下午 1：30

地點：港研中心 5 樓會議室

出席者：謝明志科長、陳桂清研究員、柯正龍研究員、童佩怡助理

國立臺灣海洋大學葉為忠教授、劉冠廷助理、官志恆助理

記錄：童佩怡助理、劉冠廷助理

討論議題

第三季工作內容說明及進度報告。（國立臺灣海洋大學葉為忠教授簡報）

主要結論

1. 本計畫 GRB 表格請案時上網填答繳交。
2. 期末書面資料 10/28 繳交，格式注意事項。
3. 本計畫數據資料之有效位數整齊劃一。
4. 規範視大小決定是否獨立出冊附件。
5. 戶外試體烈封深度：小尺寸試體 1cm、中尺寸試體 2~3cm

交通部運輸研究所（港研中心）

MOTC-IOT-100-H1DB003a 港灣混凝土構造物修補材料與工法
之研究(1/4) 第三季工作會議簽到冊

一、時間：100 年 9 月 27 日（星期二）下午 1 時 30 分

二、地點：港研中心 5 樓會議室

三、主席：謝科長明志

記錄：童佩怡

四、出席單位及人員：

本所港研中心：

陳松濤、柯正都、謝明志

執行單位：（國立臺灣海洋大學）

李俊中 劉冠廷 王詩恩

列席單位：