

取樣位置與萃取方式對鋼筋混凝土氯離子含量與檢測方法影響之研究

研究主持人：何明錦 所長

協同主持人：楊仲家 教授

研 究 員：卓世偉、林志彥

研究助理：江慶堂、翁詩涵

內政部建築研究所協同研究報告

中華民國 102 年 12 月

(本報告內容及建議，純屬研究小組意見，不代表本機關意見)

目次

目次.....	I
圖目次.....	III
表目次.....	V
摘要.....	IX
ABSTRACT.....	XIII
第一章 緒論.....	1
第一節 研究緣起與背景.....	1
第二節 研究目的.....	3
第三節 本研究計畫之重要性.....	3
第四節 國內外有關本案之研究情況.....	4
第五節 報告內容說明.....	5
第二章 文獻回顧.....	9
第一節 氯離子存在混凝土的形式.....	9
第二節 氯離子對鋼筋混凝土耐久性的影響.....	11
第三節 氯離子造成鋼筋腐蝕的門檻與含量標準.....	13
第三章 混凝土氯離子檢測方法.....	21
第四章 試驗變數設計與方法.....	27
第一節 取樣方式變數設計.....	27
第二節 混凝土配比變數設計.....	32
第三節 混凝土組成材料性質.....	33
第四節 混凝土配比設計.....	37
第五節 試驗方法.....	41
第六節 結構單元取樣位置對硬固混凝土氯離子含量結果之影響.....	47
第五章 研究成果.....	51
第一節 抗壓強度試驗結果.....	51

取樣位置與萃取方式對鋼筋混凝土氯離子含量與檢測方法影響之研究

第二節 混凝土新拌氯離子含量試驗結果.....	55
第三節 硬固混凝土酸溶法氯離子含量試驗結果.....	60
第四節 硬固混凝土水溶法氯離子含量試驗結果.....	74
第五節 試驗結果精密度分析.....	81
第六節 AASHTO 試驗法與多實驗室試驗結果探討.....	95
第七節 業界常見取樣方式對硬固混凝土氯離子含量之影響.....	100
第八節 結構單元取樣位置對硬固混凝土氯離子含量之影響.....	102
第六章 硬固混凝土氯離子檢測方法與標準手冊建立.....	109
第一節 取樣方法建議.....	109
第二節 硬固混凝土氯離子檢測方法與標準手冊草案.....	117
第七章 研究結論與發現.....	125
第一節 結論.....	125
第二節 建議.....	127
附錄一 期初審查會議紀錄與意見回應.....	129
附錄二 期中審查會議紀錄與意見回應.....	145
附錄三 期末審查會議紀錄與意見回應.....	163
附錄四 專家會議記錄.....	179
參考書目.....	183

圖目次

圖 1-1	本計畫流程圖	7
圖 2-1	水泥質材料孔隙結構與水氣傳輸之間的關係 ¹⁶	12
圖 2-2	耐久性因子與混凝土相對濕度及腐蝕關係圖 ¹⁷	13
圖 2-3	造成鋼筋腐蝕的混凝土氯離子濃度門檻文獻整理圖	14
圖 2-4	造成鋼筋腐蝕的混凝土 Cl ⁻ /OH ⁻ 門檻文獻整理圖	18
圖 3-1	ACI 222 試驗法架構圖與索氏提取器設備	22
圖 4-1	以磨粉機進行氯離子試樣粉末取樣	29
圖 4-2	試體利用普通震動電鑽取樣後情形(直徑 2.5 cm 鑽石鑽頭).....	29
圖 4-3	試體利用普通震動電鑽取樣後情形(直徑 1 cm 鑽石鑽頭).....	30
圖 4-4	試體鑽心使用設備	31
圖 4-5	直徑 2.5 cm 與直徑 5 cm 的鑽心試體	31
圖 4-6	粗粒料級配級配分布圖	35
圖 4-7	粗砂之級配級配分布圖	36
圖 4-8	Metrohm 702 SM 型電位滴定儀.....	44
圖 4-9	滴定過程電位變化與硝酸銀加入量關係	44
圖 4-10	典型的離子層析法試驗結果	46
圖 4-11	Metrohm MIC 模組式離子層析儀.....	46
圖 4-11	過去研究已有長期曝曬混凝土(於基隆沿海 10 公尺區域曝曬)	47
圖 4-12	氯離子含量與侵入深度關係示意圖	48
圖 5-1	粒料體積量為 0.35 m ³ /m ³ 各氯離子添加量與強度關係圖.....	54
圖 5-2	不同粒料體積量配比各氯離子添加量與強度關係圖(設計強度 5000 psi)	54
圖 5-3	不同粒料體積量配比各氯離子添加量與強度關係圖(設計強度 3000 psi)	55
圖 5-4	新拌混凝土氯離子量與添加量關係圖(設計強度 5000 psi)	58
圖 5-5	新拌混凝土氯離子量與添加量關係圖(設計強度 3000 psi)	58
圖 5-6	線性關係迴歸方程式斜率與不同粒料體積量關係圖	59
圖 5-7	A 組配比硬固混凝土酸溶法氯離子量與添加量關係圖(大面積磨粉取樣)	68
圖 5-8	A 組配比硬固混凝土酸溶法氯離子量與添加量關係圖(D10cm H1cm 試 體粉碎取樣)	68
圖 5-8	B 組配比硬固混凝土酸溶法氯離子量與添加量關係圖(D10cm H1cm 試 體粉碎取樣)	69
圖 5-10	AM 組配比硬固混凝土酸溶法氯離子量與添加量關係圖(鑽心取樣)	69
圖 5-11	AM 組配比硬固混凝土酸溶法氯離子量與添加量關係圖(震動電鑽取樣)	

.....	70
圖 5-12 A 組配比混凝土氯離子試驗值除以外加氯離子量比值與不同粒料體積量關係圖（大面積磨粉取樣、D10 cm H1.2 cm 試體粉碎取樣、與新拌混凝土試驗結果比較，設計強度 5000 psi）.....	72
圖 5-13 A、B 組配比混凝土氯離子試驗值除以外加氯離子量比值關係圖（D10 cm H1.2 cm 試體粉碎取樣）.....	73
圖 5-14 AM 組配比混凝土氯離子試驗值除以外加氯離子量比值與不同取樣方式關係圖（鑽心試體粉碎取樣與新拌混凝土試驗結果比較）.....	73
圖 5-15 AM 組配比混凝土氯離子試驗值除以外加氯離子量比值與不同取樣方式關係圖（鑽心試體粉碎取樣、普通電鑽磨粉取樣、與新拌混凝土試驗結果比較）.....	74
圖 5-16 A 組配比硬固混凝土水溶法氯離子量與添加量關係圖（D10cm H1cm 試體粉碎取樣）.....	79
圖 5-17 B 組配比硬固混凝土水溶法氯離子量與添加量關係圖（D10cm H1.2cm 試體粉碎取樣）.....	79
圖 5-18 AM 組配比硬固混凝土水溶法氯離子量與添加量關係圖（震動電鑽取樣）.....	80
圖 5-19 本研究 CNS 與 AASHTO 試驗法結果關係圖.....	97
圖 5-20 AM、AH 組配比硬固混凝土酸溶法氯離子量與添加量關係圖（抗壓試體粉碎取樣）.....	101
圖 5-21 氯離子含量與深度關係圖（I-350 上部取樣）.....	105
圖 5-22 氯離子含量與深度關係圖（I-245 上部取樣）.....	105
圖 5-23 氯離子含量與深度關係圖（I-350 中間部取樣）.....	106
圖 5-24 氯離子含量與深度關係圖（I-245 中間取樣）.....	106
圖 5-25 氯離子含量與深度關係圖（I-350 底部取樣）.....	107
圖 5-26 氯離子含量與深度關係圖（I-245 底部取樣）.....	107
圖 6-1 AM 組配比硬固混凝土水溶法氯離子濃度與添加量關係圖（所有取樣法）.....	110
圖 6-2 AM 組配比硬固混凝土水溶法氯離子濃度與添加量關係圖（排除鑽心試體小於 2.5 cm 或取樣深度小於 2 cm 試驗結果）.....	111
圖 6-3 AL 組配比硬固混凝土水溶法氯離子濃度與添加量關係圖（直徑 10cm 厚度 1.2cm 取樣與抗壓試體粉碎取樣）.....	112
圖 6-4 水溶法試驗結果與外加氯離子量線性迴歸方程式斜率比較圖（直徑 10 cm 高度 1.2 cm 試體粉碎取樣）.....	113
圖 6-5 水溶法試驗結果與外加氯離子量線性迴歸方程式斜率比較圖（直徑 2.5 2 電鑽鑽心取樣）.....	113
圖 6-6 本研究硬固混凝土水溶法與酸溶法氯離子試驗結果關係圖.....	114

表目次

表 1-1 執行工作內容與期末報告對照表與完成率.....	6
表 2-1 我國混凝土氯離子含量標準.....	15
表 2-2 各國硬固混凝土氯離子含量標準（以水泥用量百分比表示）.....	16
表 2-3 各國硬固混凝土氯離子含量標準（以混凝土單位重換算方式）.....	17
表 3-1 各國酸溶檢測方法取樣量的差異性.....	23
表 3-2 各國水溶檢測方法取樣量的差異性.....	23
表 3-3 各國酸溶法萃取的差異性.....	24
表 3-4 各國水溶法檢測方法取樣量的差異性.....	25
表 4-1 本計畫取樣方式變數設計.....	28
表 4-2 本計畫混凝土配比變數設計.....	33
表 4-3 拌合水試驗結果(ppm).....	33
表 4-4 水泥之物理與化學性質.....	34
表 4-5 篩分析試驗結果.....	35
表 4-6 細粒料之篩分析試驗結果.....	36
表 4-7 本計畫混凝土配比編號設計.....	37
表 4-8 本計畫 5000 psi 混凝土配比設計.....	38
表 4-10 本計畫 3000 psi 混凝土配比設計.....	39
表 4-11 本計畫取樣方式變數設計與混凝土配比對應關係.....	40
表 4-11 過去研究已有長期曝曬混凝土配比資料.....	47
表 5-1 各配比混凝土抗壓強度試驗表（設計強度 5000 psi）.....	52
表 5-2 各配比混凝土抗壓強度試驗表（設計強度 3000 psi）.....	53
表 5-3 各配比混凝土新拌氯離子含量試驗值（設計強度 5000 psi）.....	56
表 5-4 各配比混凝土新拌氯離子含量試驗值（設計強度 3000 psi）.....	57
表 5-5 新拌混凝土氯離子試驗結果與拌合時外加氯離子量線性關係迴歸方程式	59
表 5-6 A 組配比混凝土硬固氯離子含量 CNS 酸溶法試驗值（大面積磨粉機磨粉 取樣）.....	61
表 5-7 A 組配比混凝土硬固氯離子含量 CNS 酸溶法試驗值(ψ10 cm、高度 1.2 cm 試體粉碎取樣).....	62
表 5-8 B 組配比混凝土硬固氯離子含量 CNS 酸溶法試驗值(ψ10 cm、高度 1.2 cm 試體粉碎取樣).....	63
表 5-9 混凝土硬固氯離子含量 CNS 酸溶法試驗值（ψ5 cm 高度 5 cm 鑽心試體粉 碎取樣）.....	64
表 5-10 混凝土硬固氯離子含量 CNS 酸溶法試驗值（ψ2.5 cm 高度 2.5 cm 鑽心試 體粉碎取樣）.....	64

表 5-11 混凝土硬固氯離子含量 CNS 酸溶法試驗值 (ψ 1cm 鑽頭鑽取 1cm 深度)	65
表 5-12 混凝土硬固氯離子含量 CNS 酸溶法試驗值(ψ 2.5cm 鑽頭鑽取 1cm 深度)	65
表 5-13 混凝土硬固氯離子含量 CNS 酸溶法試驗值(ψ 2.5cm 鑽頭鑽取 2cm 深度)	66
表 5-14 混凝土硬固氯離子含量 CNS 酸溶法試驗值(ψ 2.5cm 鑽頭鑽取 3cm 深度)	66
表 5-15 混凝土硬固氯離子含量 CNS 酸溶法試驗值(ψ 2.5 cm 鑽頭鑽取 4 cm 深度)	67
表 5-16 硬固混凝土酸溶法氯離子試驗與拌合時外加氯離子量線性關係迴歸方程式與相關係數	71
表 5-17 A 組配比混凝土硬固氯離子含量 CNS 水溶法試驗值(ψ 10 cm、高度 1.2 cm 試體粉碎取樣)	75
表 5-18 B 組配比混凝土硬固氯離子含量 CNS 水溶法試驗值(ψ 10 cm、高度 1.2 cm 試體粉碎取樣)	76
表 5-19 混凝土硬固氯離子含量 CNS 水溶法試驗值(ψ 2.5cm 鑽頭鑽取 1cm 深度)	77
表 5-20 混凝土硬固氯離子含量 CNS 水溶法試驗值(ψ 2.5cm 鑽頭鑽取 2cm 深度)	77
表 5-21 混凝土硬固氯離子含量 CNS 水溶法試驗值(ψ 2.5cm 鑽頭鑽取 3cm 深度)	78
表 5-22 混凝土硬固氯離子含量 CNS 水溶法試驗值(ψ 2.5cm 鑽頭鑽取 4cm 深度)	78
表 5-23 硬固混凝土水溶法氯離子試驗與拌合時外加氯離子量線性關係迴歸方程式與相關係數	81
表 5-24 A 組配比混凝土硬固氯離子含量 CNS 酸溶法試驗精密度分析 (大面積磨粉機磨粉取樣)	83
表 5-25 A 組配比混凝土硬固氯離子含量 CNS 酸溶法試驗精密度分析 (ψ 10 cm、高度 1.2 cm 試體粉碎取樣)	84
表 5-26 B 組配比混凝土硬固氯離子含量 CNS 酸溶法試驗精密度分析 (ψ 10 cm、高度 1.2 cm 試體粉碎取樣)	85
表 5-27 混凝土硬固氯離子含量 CNS 酸溶法試驗精密度分析 (ψ 5 cm 高度 5 cm 鑽心試體粉碎取樣)	86
表 5-28 混凝土硬固氯離子含量 CNS 酸溶法試驗精密度分析(ψ 2.5 cm 高度 2.5 cm 鑽心試體粉碎取樣)	86
表 5-29 混凝土硬固氯離子含量 CNS 酸溶法試驗精密度分析(ψ 1cm 鑽頭鑽取 1cm 深度)	87

表 5-30 混凝土硬固氯離子含量 CNS 酸溶法試驗精密度分析 (ψ2.5cm 鑽頭鑽取 1cm 深度)	87
表 5-34 混凝土硬固氯離子含量 CNS 酸溶法試驗精密度分析 (ψ2.5cm 鑽頭鑽取 2cm 深度)	88
表 5-32 混凝土硬固氯離子含量 CNS 酸溶法試驗精密度分析 (ψ2.5cm 鑽頭鑽取 3cm 深度)	88
表 5-33 混凝土硬固氯離子含量 CNS 酸溶法試驗精密度分析 (ψ2.5 cm 鑽頭鑽取 4 cm 深度)	89
表 5-34 硬固混凝土酸溶法氯離子試驗與拌合時外加氯離子量線性迴歸方程式與精密度之間關係	90
表 5-35 A 組配比混凝土硬固氯離子含量 CNS 水溶法試驗精密度分析 (ψ10 cm、高度 1.2 cm 試體粉碎取樣)	91
表 5-36 B 組配比混凝土硬固氯離子含量 CNS 水溶法試驗精密度分析 (ψ10 cm、高度 1.2 cm 試體粉碎取樣)	92
表 5-37 混凝土硬固氯離子含量 CNS 水溶法試驗精密度分析 (ψ2.5cm 鑽頭鑽取 1cm 深度)	93
表 5-38 混凝土硬固氯離子含量 CNS 水溶法試驗精密度分析 (ψ2.5cm 鑽頭鑽取 2cm 深度)	93
表 5-39 混凝土硬固氯離子含量 CNS 水溶法試驗精密度分析 (ψ2.5cm 鑽頭鑽取 3cm 深度)	94
表 5-40 混凝土硬固氯離子含量 CNS 水溶法試驗精密度分析 (ψ2.5 cm 鑽頭鑽取 4 cm 深度)	94
表 5-41 AH 組配比混凝土硬固氯離子含量 AASHTO 水溶法試驗值 (ψ10 cm、高度 1.2 cm 試體粉碎取樣)	95
表 5-42 AM 組配比混凝土硬固氯離子含量 AASHTO 水溶法試驗值 (ψ10 cm、高度 1.2 cm 試體粉碎取樣)	96
表 5-43 AL 組配比混凝土硬固氯離子含量 AASHTO 水溶法試驗值 (ψ10 cm、高度 1.2 cm 試體粉碎取樣)	96
表 5-44 A 組配比混凝土硬固氯離子含量 AASHTO 酸溶法試驗精密度分析 (ψ10 cm、高度 1.2 cm 試體粉碎取樣)	98
表 5-45 AM 組配比多實驗室酸溶法試驗結果 (ψ2.5 cm 鑽頭鑽取 4 cm 深度)	99
表 5-46 AM 組與 AL 組配比混凝土硬固氯離子含量 CNS 酸溶法試驗值 (抗壓試體粉碎取樣)	100
表 5-47 硬固混凝土酸溶法氯離子試驗與拌合時外加氯離子量線性關係迴歸方程式與相關係數 (抗壓試體粉碎取樣)	101
表 5-48 I-350 配比各曝曬期氯離子濃度量測結果 (面海側)	102
表 5-49 I-350 配比各曝曬期氯離子濃度量測結果 (背海側)	103
表 5-50 I-245 配比各曝曬期氯離子濃度量測結果 (面海側)	103

取樣位置與萃取方式對鋼筋混凝土氯離子含量與檢測方法影響之研究

表 5-51 I-245 配比各曝曬期氯離子濃度量測結果（背海側）104

摘要

關鍵詞：硬固氯離子含量、取樣、水溶法、酸溶法、混凝土

一、研究緣起

鋼筋混凝土結構若妥善維護，往往可以使用超過原先的 50 年設計年限。因此鋼筋混凝土結構服務年限往往取決於混凝土耐久性，並非結構設計。影響混凝土耐久性的因素包含物理性與化學性。然而在我國以氯離子對鋼筋混凝土耐久性的危害最為顯著。過去工程對混凝土與其組成材料品質工作不確實，法令及相關試驗標準訂定不足，對硬固混凝土氯離子含量而言，我國雖於民國 91 年 12 月訂定硬固混凝土氯離子含量試驗方法，然而直至今日仍未有硬固混凝土氯離子含量之標準。導致目前大眾對混凝土中氯離子含量標準認知(含海砂屋氯離子含量標準)，仍以 CNS 3090 新拌混凝土的氯離子含量不可超過 0.3 kg/m^3 (鋼筋混凝土) 為標準。但此標準值為新拌混凝土之標準，並非硬固混凝土之標準。

在硬固混凝土氯離子含量試驗法方面，國內雖有 CNS 14702 酸溶法與 CNS 14703 水溶法之氯離子檢測方法，此檢測方法主要將硬固混凝土磨粉，量測其萃取出之氯離子。但其取樣方式，包含試體尺寸、數量、取樣深度均無嚴謹規定。而在萃取方式，目前國外以 AASHTO T260、ASTM C1152、與 ASTM C1128 為主，兩者在樣本大小與磨粉尺寸均有明顯不同。所以對硬固混凝土氯離子含量標準與試驗法的探討與研究，國內外有關本計畫的相關研究較為鮮少。結構單元取樣位置方面，結構體面海側與背海側，結構體距離地面的高度均有可能影響試驗結果。有鑑於此本研究將針對結構單元、取樣方式、萃取過程對建築物氯離子含量與檢測方法的影響，藉以建立適用於我國的硬固混凝土氯離子檢測方法與標準。

二、研究方法及過程

本計畫研究目的探討硬固混凝土氯離子檢測方法與標準，並整合研究成果，以現有 CNS 14702 酸溶法與 CNS 14703 水溶法之氯離子檢測方法為基礎建立適用於我國的硬固混凝土氯離子檢測方法與標準。相關研究方法主要藉由試驗研究分析，探討取樣方式、樣本大小、與磨粉尺寸對硬固氯離子含量標準的影響，並

取樣位置與萃取方式對鋼筋混凝土氯離子含量與檢測方法影響之研究

藉由統計方法分析標準所需的律定相關取樣流程規定。另一部分利用放置沿海六年以上的大型梁試體進行各深度硬固氯離子含量試驗，探討結構單元取樣位置對硬固混凝土氯離子含量結果影響。

三、重要發現

由試驗結果發現本計畫混凝土配比的抗壓強度受到粒料體積量的影響遠大於混凝土內添加氯離子量的影響。由新拌混凝土氯離子含量試驗可以發現當混凝土未添加氯化鈉時，各配比無論粒料含量為何均有粒料含量背景值。高轉速旋轉磨粉機磨粉取樣與直徑 10 cm、高度 1.2 cm 試體粉碎的硬固氯離子試驗結果均可符合 CNS 精密度要求。在鑽心試體方面直徑 5 cm 高度 5 cm 鑽心試體的硬固氯離子試驗結果亦符合標準的精密度要求，但直徑 2.5 cm 高度 2.5 cm。硬固氯離子試驗結果部分配比不符合標準精密度要求。在電鑽鑽粉取樣方面，鑽頭尺寸 2.5 cm，深度大於 3cm 的取樣方式可以符合標準精密度要求。

由 AASHTO 標準試驗發現，其標準差會大於 CNS，顯示試驗粉樣重量可能影響試驗精密度。且多實驗室試驗結果發現，電鑽鑽粉取樣於多實驗室進行時均可以符合 CNS 標準精密度要求。以目前常用的由鑽心試體抗壓後粉碎隨機取樣，由本研究試驗結果發現有數值偏高情形，有可能抗壓後粉碎料已與粗粒料脫離導致試驗結果受到影響。在結構單元取樣位置方面，本計畫利用放置沿海區域達六年之梁試體進行試驗，發現底部的硬固氯離子含量試驗結果略高於頂部。其中面海側底部與頂部最大差異為 1.27 倍，平均為 1.04 倍；背海側底部與頂部最大差異為 1.07 倍，平均為 1.02 倍，差異並不大。並由相關試驗結果，建立硬固混凝土氯離子檢測方法與標準手冊草案。

四、主要建議事項

本研究針對實驗結果發現，提出下列建議，說明如下。

立即可行之建議—

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：經濟部標準局

1. 建議可將研究成果運用於 CNS 14702、CNS 14703 的條文增修中。於相關辦法中訂定鑽心取樣最小尺寸、深度、與數量。
2. 建議所上依手冊開辦相關硬固混凝土氯離子檢測訓練課程，以提升所內研究能量。

長期性建議—

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：內政部營建署、經濟部標準局

1. 建議可於相關規定中訂定混凝土試驗取樣人員資格認定方式，以減少相關爭議。
2. 建議未來可擴充硬固混凝土氯離子檢測方法與標準手冊草案。結合各種以氯離子評估混凝土耐久性試驗方法介紹。除可完整說明混凝土於新拌時便含有氯離子對建築物的影響；也可說明舊有混凝土在海域環境下耐久性的評估方式。
3. 建議可整理長期相關氯離子研究與海砂屋試驗結果，以訂定我國硬固混凝土氯離子含量標準。
4. 建議未來可進行含氯量對鋼筋混凝土構材長期劣化之研究。

ABSTRACT

Keywords: chloride content in hardened concrete, sampling, water soluble method, acid soluble method, concrete

In terms of testing method for chloride ion content in hardened concrete, CNS 14,702 water soluble method and 14,703 acid soluble method were used for test methods. Those methods are primarily measuring the chloride ion content from the milling powder of hardened concrete. But in the sampling procedure, including specimen size, quantity, and sampling depth is not a strict requirement. And in the extraction process, both the size of the sample size and the mills were significantly different. Research is rarely associated with the test. At the sampling location, the structure is located overlooking the sea and back off the ground height affect the test results. In view of this research will focus on the chloride ion content effect on sampling location of structure, sampling, extraction process, in order to establish the hardened concrete chloride ion detection methods.

Experimental results show that the compressive strength of the concrete affected by the volume of aggregate in the concrete is greater than the amount of added chloride ions. From the results of the chloride ion content in hardened concrete, high-speed rotary mill with a diameter milling sampling 10 cm, take core samples diameter 10 cm height 1.2 cm, take core samples diameter 5 cm height 5 cm can meet the accuracy CNS requirements. Coring specimen height 2.5 cm 2.5 cm in diameter, ratio of test results section does not meet the standard precision requirements. Drill sampling, the bit size of 2.5 cm, depth greater than 3cm sampling method can meet the standard precision requirements. By the AASHTO standard test found that the standard deviation would be greater than CNS. And more laboratory tests found that the drill cuttings samples were carried out in the multi-laboratory when the precision can meet the CNS standard requirements. By the relevant test results, methods and standards established hardened concrete chloride ion detection draft manual.

第一章 緒論

第一節 研究緣起與背景

鋼筋混凝土結構若妥善維護，往往可以使用超過原先的 50 年設計年限。因此鋼筋混凝土結構服務年限往往取決於混凝土耐久性，並非結構設計。影響混凝土耐久性的因素包含物理性與化學性。然而在我國以氯離子對鋼筋混凝土耐久性的危害最為顯著。氯離子的危害大多發生於海域環境結構物上，因海域環境大氣中的氯鹽量極高，根據最近的研究，台灣北部距海 1200 公尺內空氣中仍具有一定的氯鹽量，某些地區甚至達到 2000 公尺範圍¹。而實際工程上，如澎湖舊跨海大橋於在民國 59 年完工後，僅通車 20 年及面臨拆除的命運。近年來也有氯離子危害常發生於非座落於海域環境的建築物上，即所謂的「海砂屋」。主要係 70 年代我國經濟起飛，建築業蓬勃發展，導致砂石嚴重匱乏，某些不肖業者盜採海砂供工程使用所引起。加上過去工程對混凝土與其組成材料品質工作不確實，法令及相關試驗標準訂定不足，如我國 CNS 3090 於民國 83 年才訂定新拌混凝土氯離子含量標準²，民國 84 年才有相關試驗方法³，導致近年來海砂屋案件層出不窮，一般非官方的統計，海砂屋的使用壽命僅 6 至 10 年。去年 2012 年，更有花蓮縣砂石同業公會對中國砂石提出海砂的質疑，同時間經濟部標檢局亦於「土木工程及建築國家標準技術委員會會議」中取得共識，擬將「混凝土粒料」國家標準對於水溶性氯離子含量的最大許可容量統一為 120 ppm。但對硬固混凝土氯離子含量而言，我國雖於民國 91 年 12 月訂定硬固混凝土氯離子含量試驗方法^{4,5}，然而直至今日仍未有硬固混凝土氯離子含量之標準。導致目前大眾對混凝土中氯離子含量標準認知(含海砂屋氯離子含量標準)，仍以 CNS 3090 新拌混凝土的氯離子含量不可超過 0.3 kg/m³ (鋼筋混凝土) 為標準。

¹ 詹穎雯、陳振川、吳建國、楊仲家、許鎧麟、卓世偉、陳育聖、張永昌，“台灣苗栗以北地區大氣中氯鹽與橋樑腐蝕劣化環境之研究”，交通部公路總局委託研究案報告，2010。

² CNS 3090，“預拌混凝土”，中國國家標準，1994。

³ CNS 13465，“新拌混凝土中水溶性氯離子含量試驗法”，1995。

⁴ CNS 14702，“硬固水泥砂漿及混凝土中酸溶性氯離子含量試驗法”，2002。

⁵ CNS 14703，“硬固水泥砂漿及混凝土中水溶性氯離子含量試驗法”，2002。

但此標準值為新拌混凝土之標準，並非硬固混凝土之標準。

由上述可得知，自從民國 83 年 CNS 3090「預拌混凝土」標準訂定後，國內建管單位與公共工程主管機關均會嚴格要求預拌混凝土製造廠商於施工時提出粒料、拌合水、與新拌混凝土氯離子含量檢測報告，否則無法進行驗收與發放使用執照。因此近 20 年來，國內外並無相關混凝土氯離子含量標準與試驗法相關研究，原因在於官方利用材料生產端來進行管控。

在試驗法方面，硬固混凝土氯離子含量試驗法國內雖有 CNS 14702 酸溶法與 CNS 14703 水溶法之氯離子檢測方法，此檢測方法主要將硬固混凝土磨粉，量測其萃取出之氯離子。但其取樣方式，包含試體尺寸、數量、取樣深度均無嚴謹規定。而在萃取方式，目前國外以 AASHTO T260⁶、ASTM C1152⁷、與 ASTM C1128⁸為主，兩者在樣本大小與磨粉尺寸均有明顯不同，而其對試驗結果的影響，對實驗法探討方面，則有 Climent 等人探討酸溶法滴定濾液取得過程與滴定法進行中可能產生的人為誤差⁹。Muralidharan 等人¹⁰探討不同濾液萃取方式對氯離子含量量測結果的影響。所以對硬固混凝土氯離子含量標準與試驗法的探討與研究，國內外有關本計畫的相關研究較為鮮少。結構單元取樣位置方面，結構體面海側與背海側，結構體距離地面的高度均有可能影響試驗結果。有鑑於此本研究將針對結構單元、取樣方式、萃取過程對建築物氯離子含量與檢測方法的影響，藉以建立適用於我國的硬固混凝土氯離子檢測方法與標準。

6 AASHTO T260, "Sampling and Testing for Chloride Ion in Concrete and Concrete Raw Materials", American Association of State Highway and Transportation Officials, 2009.

7 ASTM C1218, "Standard Test Method for Water-Soluble Chloride in Mortar and Concrete", American Society for Testing and Materials, 2008.

8 ASTM C1152, "Standard Test Method for Acid-Soluble Chloride in Mortar and Concrete", American Society for Testing and Materials, 2004.

9 Miguel A. Climent, Guillem de Vera, Estanislao Viqueira, M. M. López-Atalaya, "Generalization of the possibility of eliminating the filtration step in the determination of acid-soluble chloride content in cement and concrete by potentiometric titration", Cement and Concrete Research, Vol 34, 2004, pp. 2291-2295.

10 Muralidharan, S., Vedalakshmi, R., Saraswathi, V., and Palaniswamy, J. N., "Studies on the aspects of chloride ion determination in different types of concrete under macro-cell corrosion conditions", Building and Environment, Vol. 40, 2005, pp. 1275-1281.

第二節 研究目的

本計畫研究目的擬探討硬固混凝土氯離子檢測方法與標準，並整合研究成果，以現有 CNS 14702 酸溶法與 CNS 14703 水溶法之氯離子檢測方法為基礎建立適用於我國的硬固混凝土氯離子檢測方法與標準。相關研究方法主要藉由試驗研究分析，探討取樣方式、樣本大小、與磨粉尺寸對硬固氯離子含量標準的影響，並藉由統計方法分析標準所需的律定相關取樣流程規定。另一部分利用放置沿海六年以上的大型梁試體進行各深度硬固氯離子含量試驗，探討結構單元取樣位置對硬固混凝土氯離子含量結果影響，除此之外，亦擬設計多實驗室進行量測，以達到試驗法的合理性與精密度之目標，圖 1-1 為本計畫研究流程圖。

。下述為其研究目標項目：

1. 各國硬固混凝土氯離子含量標準與檢測方法蒐集與整理。
2. 取樣方式對硬固混凝土氯離子含量結果之影響。
3. 取樣之統計意義及結果評估的建立。
4. 樣本大小對硬固混凝土氯離子含量結果之影響。
5. 磨粉尺寸對硬固混凝土氯離子含量結果之影響。
6. 萃取方式對硬固混凝土氯離子含量結果之影響。
7. 硬固混凝土中氯離子含量之量測採酸溶法與水溶法兩種。
8. 結構單元取樣位置對硬固混凝土氯離子含量結果之影響。
9. 結構表面濃度與氯離子侵入深度關係探討。

第三節 本研究計畫之重要性

一般建築物所設的服務年限大多在 50 年左右，若妥善設計、施工、與維護，鋼筋混凝土建築物國外也有許多高達百年壽命的案例。但一般工程人員在設計建築物時對於其力學性質，如各種載重或地震力的影響均會審慎考量；但對耐久性

如氯離子所造成的影響均往往會忽略，如國內公路橋梁有 75% 使用已超過 20 年，未來沿海橋梁受到飛來鹽侵蝕導致鋼筋腐蝕的現象會越來越多。在海砂屋方面過去砂石短缺與法規不健全下，有不肖商人使用海砂作為細粒料，進而引起現在海砂屋糾紛亦層出不窮。例如根據 2012 年的統計，台北市就有列管 52 件 2300 戶高氯離子混凝土建築物；新北市亦列管 45 件 1398 戶¹¹。為避免未來可能的爭議性，進行本計畫有其重要性。另一方面，對工程設計人員而言，正確硬固混凝土氯離子檢測方法與標準訂定可對已面臨氯離子侵入結構的補強設計與服務年限預估具有極重大之意義。

第四節 國內外有關本案之研究情況

新拌混凝土氯離子之檢測方法，為 CNS 13465 新拌混凝土水溶法氯離子之檢測方法，主要以抽取新拌混凝土之浮水量測其氯離子濃度，再乘上配比用水量得到氯離子含量。目前對於硬固混凝土的氯離子含量試驗法，國外以 AASHTO T260 與 ASTM C1152 為主，國內則以參考 ASTM C1218 與 ASTM C1152 的 CNS 14702 酸溶法與 CNS 14703 水溶法之氯離子檢測方法，此檢測方法主要將硬固混凝土磨粉，量測其萃取出之氯離子。然而混凝土硬固後，氯離子除游離在混凝土內部連通孔隙中，亦有部份以固結於水化生成物內，因此對於硬固混凝土的氯離子含量有 CNS 14702 酸溶法與 CNS 14703 水溶法檢測方式的不同。另一方面，硬固混凝土常因現場施工因素、品管記錄無數位化儲存、與混凝土製造廠並無提供等因素，所以無法獲得真正配比資訊。因此在混凝土含量計算上並未如同新拌混凝土係以拌合水為計算基準，以消除粒料用量不同或其他配比變數的影響，目前實務上計算方式因無法獲知混凝土配比資訊，大多將混凝土試樣氯離子比例求出後，直接乘上假設的混凝土單位重 2323 kg/m^3 （亦有以鋼筋混凝土假設自重 2400 kg/m^3 計算）。並在報告上加註 CNS 3090 部份條文「未受外來氯離子污染之硬固混凝土，因水泥之水和作用及物理吸附，其水溶性氯離子含量會隨時間增加較新拌時略為降低」。而本研究團隊於 2011 年執行本所「本土性硬固混凝土氯離子含量標準與檢測方法之研究」探討硬固

¹¹ 台北市政府建築管理工程處海砂屋專區, <http://www.dba.tcg.gov.tw>, 2013.

混凝土水泥粉體含量與硬固混凝土氯離子含量標準關聯性，並由此建立硬固混凝土氯離子含量標準¹²。研究發現，無論水溶法或酸溶法的硬固混凝土與水泥砂漿氯離子含量試驗均顯示當混凝土未添加氯離子時，仍可發現氯離子的存在且以酸溶法與新拌混凝土氯離子試驗結果具有良好線性關係，其兩者關係式可為 $Y=0.68X+0.20$ 。由此若以以 CNS 3090 對新拌混凝土氯離子限制，依酸溶法試驗結果與新拌混凝土氯離子試驗結果關係式換算後，發現與美國佛羅里達州規範接近，因此建議我國的硬固混凝土氯離子含量規範可採酸溶法進行，並限制於較保守的 0.4 kg/m^3 。

第五節 報告內容說明

本計畫目前順利完成期初報告所設定之工作內容。表 1-1 將已執行工作內容與期末報告進行對照，此次期末報告之主要內容係於第一章介紹本計畫之研究背景與目的。第二章針對氯離子對鋼筋混凝土影響進行文獻探討。第三章針對本研究實驗設計與劣化後性能分析方法進行說明。第三章介紹氯離子試驗標準與檢測方法。第四章針對試驗變數設計、組成材料性質、配比設計、與實驗方法介紹。第五章針對所進行的混凝土抗壓強度試驗結果、混凝土新拌與硬固氯離子含量試驗結果進行討論。第六章為將第五章成果整理後對硬固混凝土氯離子檢測方法與標準手冊草案進行建立，最後第七章則針對已有成果做結論與建議。

¹²何明錦、楊仲家、卓世偉，”本土性硬固混凝土氯離子含量標準與檢測方法之研究”，內政部建築研究所協同研究案報告, 2011.

表 1-1 執行工作內容與期末報告對照表與完成率

工作分項	計畫執行迄今之工作內容	期中報告位置	完成率
研究背景與目的	計畫研究流程與相關背景說明和目的確認	第一章	100%
文獻蒐集	水泥質材料氯離子來源與對混凝土的影響、各國氯離子含量標準與檢測方法整理。	第二章、第三章	100%
試驗研究	變數設計、組成材料性質、配比設計、與實驗方法介紹	第四章	100%
結果分析	混凝土抗壓強度試驗	第五章	100%
結果分析	混凝土新拌氯離子含量試驗	第五章	100%
結果分析	混凝土硬固氯離子酸溶法含量試驗	第五章	100%
結果分析	水泥砂漿硬固氯離子水溶法與酸溶法含量試驗	第五章	100%
手冊建立	硬固混凝土氯離子檢測方法與標準手冊草案	第六章	100%
結論與建議	結論與建議	第七章	100%

(資料來源：本研究自行整理)

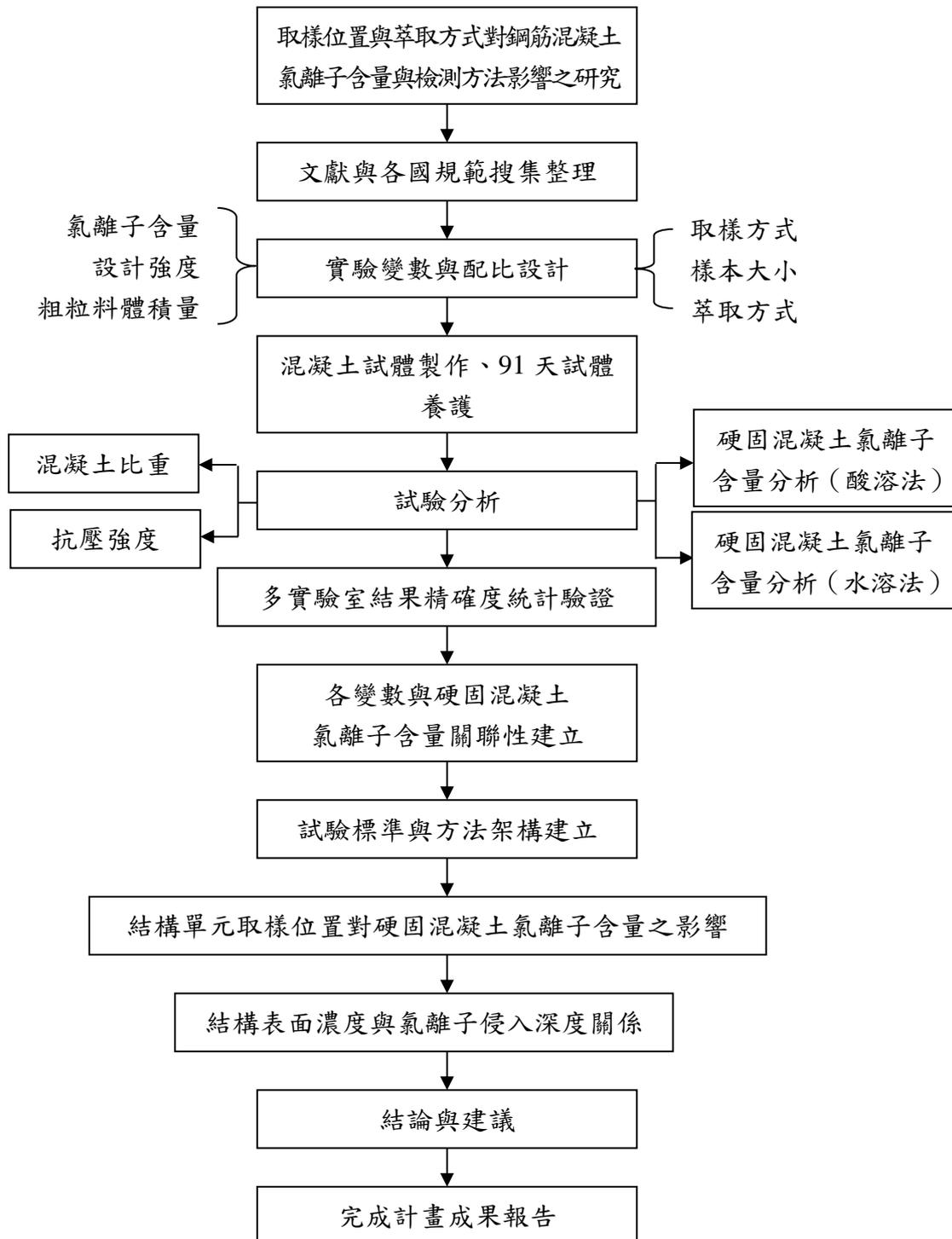


圖 1-1 本計畫流程圖

(資料來源：本研究自行整理)

第二章 文獻回顧

第一節 氯離子存在混凝土的形式

一般均認為混凝土中氯離子的主要來源大致可分為三個途徑：

1. 組成材料本身含有氯離子的成分，如含有氯離子的細粒料及拌合水。
2. 添加含有氯離子之化學藥劑，如早強劑。
3. 由外部滲透進入，如海域環境鹽類侵入混凝土或使用去冰鹽寒帶地區。

上述前 2 種來源為內部組成材料本身含有氯離子所造成，因此在新拌水化反應過程便存在，如過去一直被媒體報的”海砂屋”，便是這一類型。第 3 種來源為外部高氯離子環境所造成，是沿海區域混凝土結構生命週期終止的主要原因。

若對混凝土組成材料本身的氯離子含量而言，混凝土是典型的水泥質複合材料，由水、水泥、粗粒料、細粒料和摻料等拌合而成，這些材料均含有微量氯離子，因此在一般狀態下各種材料均有相當標準限制氯離子的濃度。如拌合水於 CNS 3090 「預拌混凝土」規定用於預力混凝土或橋面板的混凝土用水，氯離子含量不可超過 500 ppm，在潮濕環境的鋼筋混凝土不可超過 1000 ppm。而我國自來水的氯離子含量並不會超過 200 ppm，因此除非使用到海水或沿海地區的地下水，一般而言並不會超過標準限制。對水泥而言，製造水泥的原始材料，僅有使用少量氯化鈣來控制凝結時間。我國 CNS 61¹³規定氯離子最大值為 0.10%，新版 ASTM C114¹⁴「卜特蘭水泥化學分析法」亦有相關檢驗方法。礦物摻料一般而言，其氯離子限制亦與水泥相同。在粒料方面，若無使用沿海疏濬砂石，則依據 CNS 1240 標準規定¹⁵，細粒料中水溶法氯離子含量最大容許值(質量百分數)為：預力混凝土 0.012% 以下，其它混凝土為 0.024% 以下，倘若砂石中含有大量氯化物則不能使用在鋼筋混凝土或預力混凝土中，否則會發生腐蝕的情況。

對外在環境的氯離子侵入而言，混凝土的基本組成黏結基材為水泥與水。兩

¹³ CNS 61, "卜特蘭水泥", 中國國家標準, 2005.

¹⁴ ASTM C114, "Standard Test Methods for Chemical Analysis of Hydraulic Cement", ASTM International, 2011.

¹⁵ CNS 1240, "混凝土粒料", 中國國家標準, 2009.

者混合時會進行水化反應，產生 C-S-H ($C_3S_2H_3$)、CH (CaOH, 氫氧化鈣)、與 AFM (ettringite, calcium sulfoaluminate, $C_5AS_3H_{32}$, 硫鋁酸鈣)等三種主要膠體。由於三種生成物並無法完全取代未水化前水與水泥的總合體積，且由於流體固化時由外界引入的空氣，使得水泥質漿體存在著部份孔隙。另一方面由於天然粒料本身緻密性極佳且表面硬度高，水化反應生成物無法大量侵入粒料內部，所以會在漿體與粒料表面產生稀疏的界面過渡區域 (interface transition zone, ITZ)。所以即使無人為施工或後天養護方式不良所產生的裂縫，混凝土內部本身便有許多微小之孔隙，當結構物位於海域環境時，海風會使海水引起海霧，吹至混凝土表面時，原本溶解於水中之氯離子便會利用毛細現象進入混凝土內部。或混凝土與海水接觸或混凝土浸泡於海水中，海水會藉著水壓力進入內部孔隙，使得氯離子擴散現象隨之發生。

而氯離子存在於混凝土中的型態也有三種方式。分別為：化學鍵結型 (Chemically bonded)、物理吸附型 (PHysically absorbed)、游離型氯離子 (Free chloride ion)。前兩者一般又稱為鍵結型氯離子 (Bound chloride)。分述如下¹⁶：

1. 化學鍵結型 (Chemically bonded)：化學鍵結型的氯離子，是拌合材料中所含的氯離子，與水泥中的 C_3A 起化學反應，形成難溶穩定的氯化鋁酸三鈣化合物 ($3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot CaCl_2 \cdot 10H_2O$ 或 $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaCl_2 \cdot 32H_2O$)，即為較安定法拉第鹽 (Friedel's salt)，此種鹽類於混凝土中是以穩定化合物的方式存在。
2. 物理吸附型 (PHysically absorbed)：物理吸附型的氯離子，是由拌合材料中所含的氯離子，與水泥成分中的 C_3S ，產生物理吸附的作用，進而附著於水化產物的表面，使之不易產生游離現象。
3. 游離型氯離子 (Free chloride ion)：游離型氯離子的來源，除了拌合材料中所含有的氯離子，在經過上述兩種結合作用之後，尚未固結的氯離子之外，也包含外在環境污染滲入混凝土中的氯離子。這一型氯離子，可以自由游離於混凝土的孔隙溶液中。因此多學者普遍的認為僅有游離氯離子及物理吸附型氯離子為產生鋼筋腐蝕的主要因素。

¹⁶ Enevoldsen, J. M., Hansson, C. M., Hope B. B., "Binding of chloride in mortar containing admixed or penetrated chlorides" Cement and Concrete Research, Vol.24, 1994. pp. 1525-1533.

第二節 氯離子對鋼筋混凝土耐久性的影響

當混凝土內存在氯離子，尤其是游離氯離子時，並可藉由濃度差機制進行擴散運動。當水氣會由吸附與毛隙吸收現象進入混凝土孔隙中，並因蕊絲現象(wick action)逐漸讓孔隙充滿水分。當連通孔隙呈現水飽和狀態後，外界氯離子會利用與孔隙水中氯離子濃度上的差異進行傳輸，此即擴散現象。圖 2-1 為文獻中將水泥質材料孔隙結構與離子傳輸之間的四種可能形式進行說明¹⁷。其中 a 圖表示各大小孔隙間有毛細孔隙串聯成與連通網絡，孔隙水必須藉由擴散或毛細現象才可使連通網絡飽和，並造成氯離子可藉由水溶液中的濃度差進行擴散移動，此為典型水泥漿體內部的孔隙架構。b 圖為混凝土內有大型裂縫時，水氣與氯離子便很容易藉由裂縫大量快速移動。c 圖為當較大的搗實孔隙或輸氣孔隙互相獨立不連續時，水氣並無傳輸的路徑，所以滲透性低，甚至不會發生滲透的情形。d 圖為混凝土內部雖無較多的搗實孔隙或輸氣孔隙，但具多條連通的微裂縫，使得水分子容易流通整條路徑，造成滲透性高。當氯離子擴散至鋼筋鈍態保護膜表面時，若此時混凝土內部孔隙水的 pH 值並未低於一定狀態（即中性化），則鋼筋並不會腐蝕。但當孔隙水中氯離子濃度與氫氧根濃度（ $[Cl^-]/[OH^-]$ ）大於一定值時，便會開始破壞鈍態保護膜以及阻止其再形成。

由於氯對鐵及不銹鋼有很大的親和力，因此易在金屬表面上有助於在較低的相對濕度形成液膜，其在腐蝕過程中會阻止氧化膜(oxide films)的形成，進而有助於陰極上氧的還原反應，然而當金屬表面已有氧化膜或鈍態膜存在時，氯離子會破壞鈍態膜，造成孔蝕（pitting corrosion）。氯離子與鐵的作用較特別，由於 $FeCl_2$ 不是緊密結合之化合物，所以氯離子很容易從氯化亞鐵中釋放出來，再與其他金屬作用，進而加速腐蝕反應。下列方程式為其氧化反應方程式。鋼筋腐蝕導致體積積膨脹，致使混凝土受擠壓應力，造成龜裂，進而保護層剝落，危害結構物安全。

¹⁷ C. Seng, M. H. Zhang, "Water permeability and chloride penetrability of high-strength lightweight aggregate concrete", *Cement and Concrete Research*, Vol.32, pp. 639-645,2002.

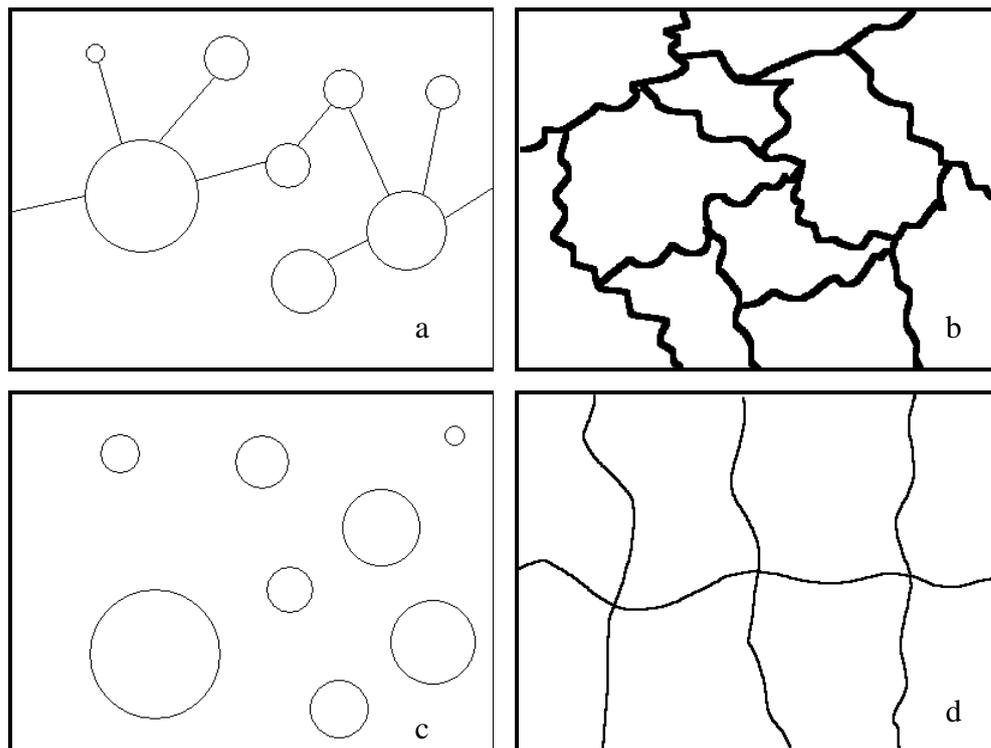


圖 2-1 水泥質材料孔隙結構與水氣傳輸之間的關係¹⁶

(資料來源：文獻 16)

第三節 氯離子造成鋼筋腐蝕的門檻與含量標準

Leeming¹⁸曾將氧氣擴散 (oxygen diffusion)、中性化 (carbonation)、氯離子侵入 (chloride ingress)、與含水量 (water content) 對混凝土內部相對濕度和鋼筋腐蝕之間的關係繪製成關係曲線，如圖 2-2 所示，由圖中可以明顯知道含水量與氯離子侵入會隨著混凝土相對濕度的增加而上昇。而混凝土內鋼筋腐蝕的機率便會升高。因此可以發現氯離子濃度可以列入鋼筋腐蝕的主要門檻。

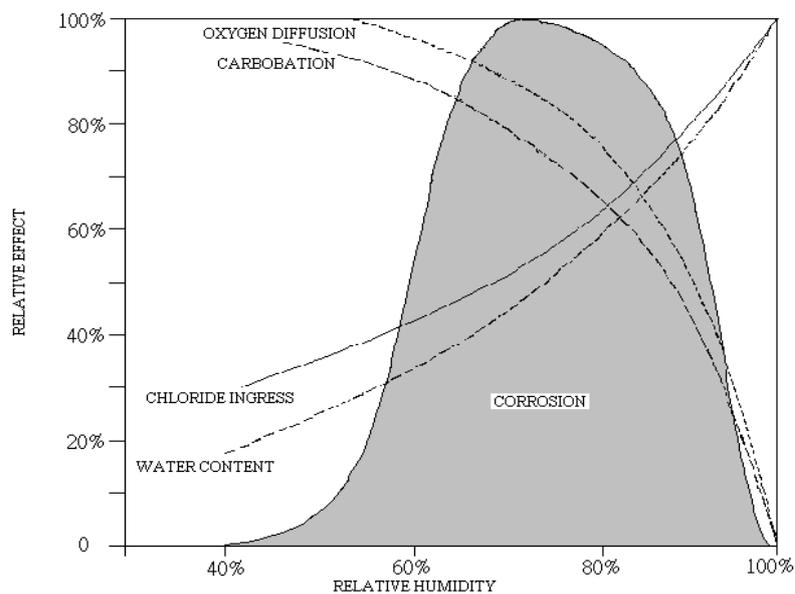


圖 2-2 耐久性因子與混凝土相對濕度及腐蝕關係圖¹⁷

(資料來源：Leeming, 文獻 17)

而在混凝土內氯離子濃度造成鋼筋腐蝕門檻研究方面，過去有許多學者進行相關研究與調查。亦有如 Ann 和 Song¹⁹、與 Angst²⁰等將文獻進行整理分析。圖 2-3 為 Angst 整理各學者針對造成鋼筋腐蝕的硬固混凝土氯離子濃度門檻值。其中若以實際戶外曝曬量測的試驗結果，則總氯離子量介於 0.1% 至 1.96% 之膠結材料，而在實驗室內研究情形則以 0.04% 至 8.34% 之膠結材料，雖然其範圍甚大，

¹⁸ M. Leeming, Surface treatments for the protection of concrete, Protection of concrete, E. & F. N. Spon, 135-148, 1990.

¹⁹ Ann, K. Y., and Song, K. Y., "Chloride threshold level for corrosion of steel in concrete", Corrosion Science, Vol.49, pp.4113-4133, 2007.

²⁰ Angst, U., Elsener, B., Larsen, K. C., Vennesland, O., "Critical chloride content in reinforced concrete- A review", Cement and Concrete Research, Vol.39, pp.1122-1138, 2009.

但扣除極端試驗結果，大部分最低門檻值以 0.4% 最多。而 Ann 和 Song 整理的結果為 0.2% 至 1.5%，大部分最低門檻為 0.5%。

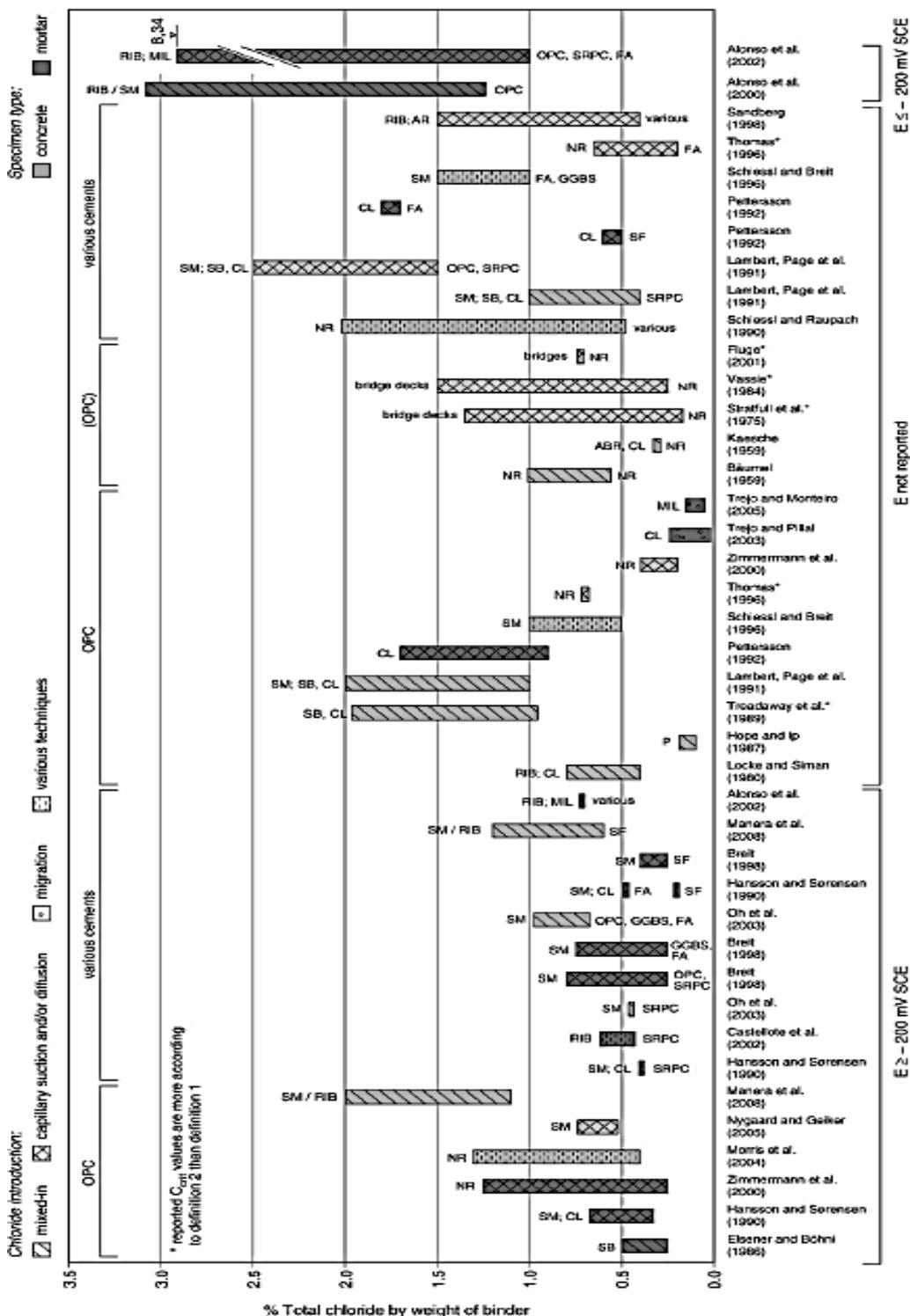


圖 2-3 造成鋼筋腐蝕的混凝土氯離子濃度門檻文獻整理圖

(資料來源：文獻 20)

在各國氯離子濃度標準方面，對混凝土中氯離子含量的限制目前大多以 2 種方式來表示，分別為氯離子含量為水泥用量百分比與由混凝土單位重換算的表示方式。在對象方面則以鋼筋混凝土所處環境與用途而有所限制。我國氯離子含量標準方面，CNS 3090 於民國 83 年訂定新拌混凝土氯離子含量標準，民國 84 年有相關試驗方法。然而直至今日，我國雖於民國 91 年 12 月訂定硬固混凝土氯離子含量試驗方法。導致目前大眾對混凝土中氯離子含量標準認知(含海砂屋氯離子含量標準)，仍以 CNS 3090 新拌混凝土的氯離子含量不可超過 0.3 kg/m^3 (鋼筋混凝土) 為標準。但此標準值為新拌混凝土之標準，並非硬固混凝土之標準，表 2-1 為我國相關標準。新拌混凝土氯離子之檢測方法，為 CNS 13465 新拌混凝土水溶法氯離子之檢測方法，主要以抽取新拌混凝土之浮水量測其氯離子濃度，再乘上配比用水量得到氯離子含量⁵。目前對於硬固混凝土的氯離子含量僅有 CNS 14702 酸溶法²⁷ 與 CNS 14703 水溶法之氯離子檢測方法²⁸，此檢測方法主要將硬固混凝土磨粉，量測其萃取出之氯離子。然而混凝土硬固後，氯離子除游離在混凝土內部連通孔隙中，亦有部份以固結於水化生成物內，因此對於硬固混凝土的氯離子含量有 CNS 14702 酸溶法與 CNS 14703 水溶法檢測方式的不同。

表 2-1 我國混凝土氯離子含量標準

標準	標準說明
CNS 3090	新拌混凝土中最大水溶法氯離子含量: (1) 預力混凝土 $<0.15 \text{ kg/m}^3$ (2) 鋼筋混凝土 $<0.30 \text{ kg/m}^3$

(資料來源：本研究自行整理)

表 2-2 為以水泥用量百分比表示硬固混凝土氯離子含量方式的各國標準；表 2-3 為以混凝土單位重換算硬固混凝土氯離子含量方式的各國標準。由表中可以發現歐洲對鋼筋混凝土氯離子用量限制大多為水泥用量的 0.4%，較嚴格的標準為 ACI 222 的 0.1% 規定，與圖 2-4 為 Angst 整理各學者的研究成果相符。若考慮

使用環境與用途，以預力混凝土的限制較嚴格。而使用混凝土單位重來表示的有部份美國規範、澳洲規範、與日本規範，若以每方混凝土用量 400 kg 來計算，ACI 222 水泥用量的 0.1% 相當於 0.4 kg/m³。由此可以發現與我國同屬海島型國家的日本 0.3 kg/m³ 最嚴格。相對而言，歐洲水泥用量 0.4% 與大洋洲（澳洲與紐西蘭）0.8 kg/m³ 的規定較寬鬆。

表 2-2 各國硬固混凝土氯離子含量標準（以水泥用量百分比表示）

標準	標準說明
歐盟 RILEM TC124-SRC ²¹ 德國 DIN EN 206 ²² 挪威 NS 3420 ²³	鋼筋混凝土氯離子含量為水泥用量之 0.4% 以下
英國 BS EN 206-1 ²⁴	(1) 無筋混凝土或有抑制腐蝕措施的鋼筋混凝土 <1.0%。 (2) 使用抗硫水泥之鋼筋混凝土 <0.2%。 (3) 使用 I 型水泥之鋼筋混凝土 <0.4%。 (4) 使用抗硫水泥之預力混凝土 <0.1%。 (5) 使用 I 型水泥之預力混凝土 <0.2%。
美國 ACI 318 ²⁵ 中國大陸 CCES 01-2004	以水溶法氯離子的含量相對水泥用量做限制: (1) 預力混凝土 <0.06% (2) 鋼筋混凝土暴露於氯化物中 <0.15% (3) 鋼筋混凝土處於乾燥或防潮環境 <0.1% (4) 其它鋼筋混凝土結構物 <0.30%
美國 ACI 222 ²⁶ 中國大陸 CCES 01-2004	以酸溶法氯離子相對水泥用量作限制: (1) 預力混凝土 <0.08% (2) 鋼筋混凝土於潮溼環境 <0.1% (3) 鋼筋混凝土於乾燥環境 <0.2% 以水溶法氯離子含量相對水泥用量作限制:

²¹ Schießl, P, " Draft recommendation for repair strategies for concrete structures damaged by reinforcement corrosion", Materials and Structures Vol.27, pp.415-436, 1994.

²² DIN EN 206, "Specification, performance, production and conformity", German Institute for Standardization, 2001.

²³ NS 3420, " Specifications for buildings and construction", Norway Standards, 1986.

²⁴ BS EN 206-1 "Eurocode 2. Design of concrete structures. General rules and rules for buildings", British-Adopted European Standard, 2004.

²⁵ ACI 318, "Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary", American Concrete Institute, 2008.

²⁶ ACI 222, "Guide to Design and Construction Practices", American Concrete Institute, 1993.

	(1) 預力混凝土<0.06% (2) 鋼筋混凝土於潮溼環境<0.08% (3) 鋼筋混凝土於乾燥環境<0.15%
美國 FHWA-RD-76-70 , U.S. Federal Highway Administration ²⁷	橋梁鋼筋混凝土<0.33%
澳洲 AS 2578.1 ²⁸	鋼筋混凝土暴露於嚴重惡劣環境中<0.2%。 鋼筋混凝土暴露於中度惡劣環境中<0.4%。 預力混凝土<0.1%

(資料來源：本研究自行整理)

表 2-3 各國硬固混凝土氯離子含量標準 (以混凝土單位重換算方式)

標準	標準說明
日本 JASS 5 ²⁹	鋼筋混凝土(一般)<0.3 kg/m ³ 。超過 0.3 kg/m ³ 至 0.6 kg/m ³ ，鋼筋須作防蝕處理。
美國 FDOT Standard Specifications for Road and Bridge Construction ³⁰	混凝土中最大酸溶法氯離子含量： (1) 預力混凝土<0.24 kg/m ³ (2) 鋼筋混凝土<0.42 kg/m ³ (3) 使用 II 型水泥和礦物摻料之鋼筋混凝土< 0.24 kg/m ³
澳洲 AS 3600 ³¹	鋼筋混凝土<0.8 kg/m ³
紐西蘭 NZS 3101 ³²	1. 鋼筋混凝土暴露於嚴重潮濕環境 < 0.8 kg/m ³ 2. 鋼筋混凝土處於乾燥或防潮環境 < 1.6kg/m ³ 3. 預力混凝土< 0.5kg/m ³

(資料來源：本研究自行整理)

而相關文獻認為因把混凝土孔隙水的 pH 值考量於氯離子造成鋼筋腐蝕的因素內。圖 2-2 同樣為 Angst 整理的各學者 Cl-/OH- 門檻文獻研究資料，其值介

²⁷ Clear, K.C. Time-to-Corrosion of Reinforcing Steel in Concrete Slabs. FHWA-RD-76-70.Federal Highway Administration, Washington, D.C., 1976.

²⁸ AS 2758.1 Aggregates and rock for engineering purposes. Part 1: Concrete aggregates, Standards Australia, Sydney, 1998.

²⁹ JASS 5 “鋼筋混凝土工程”，日本建築學會，2009.

³⁰ FDOT Standard, “FDOT Standard Specifications for Road and Bridge Construction”, Florida Department of Transportation, 2010.

³¹ AS 3972. Concrete Structures,, Standards Australia, Sydney, 2009.

³² NZS 3101, Concrete Structures Standard, Standards New Zealand, 2006.

取樣位置與萃取方式對鋼筋混凝土氯離子含量與檢測方法影響之研究

於 0.01 至 45，扣除極端試驗結果，則 Cl-/OH-最低門檻為 0.3 至 0.6 之間。若以孔隙水 pH 值 11~13 的混凝土而言，氯離子要超過水泥重的 0.2 到 0.4%，Cl-/OH-才會大於 0.6。所以混凝土中性化程度也是影響鋼筋是否腐蝕的重要因素。

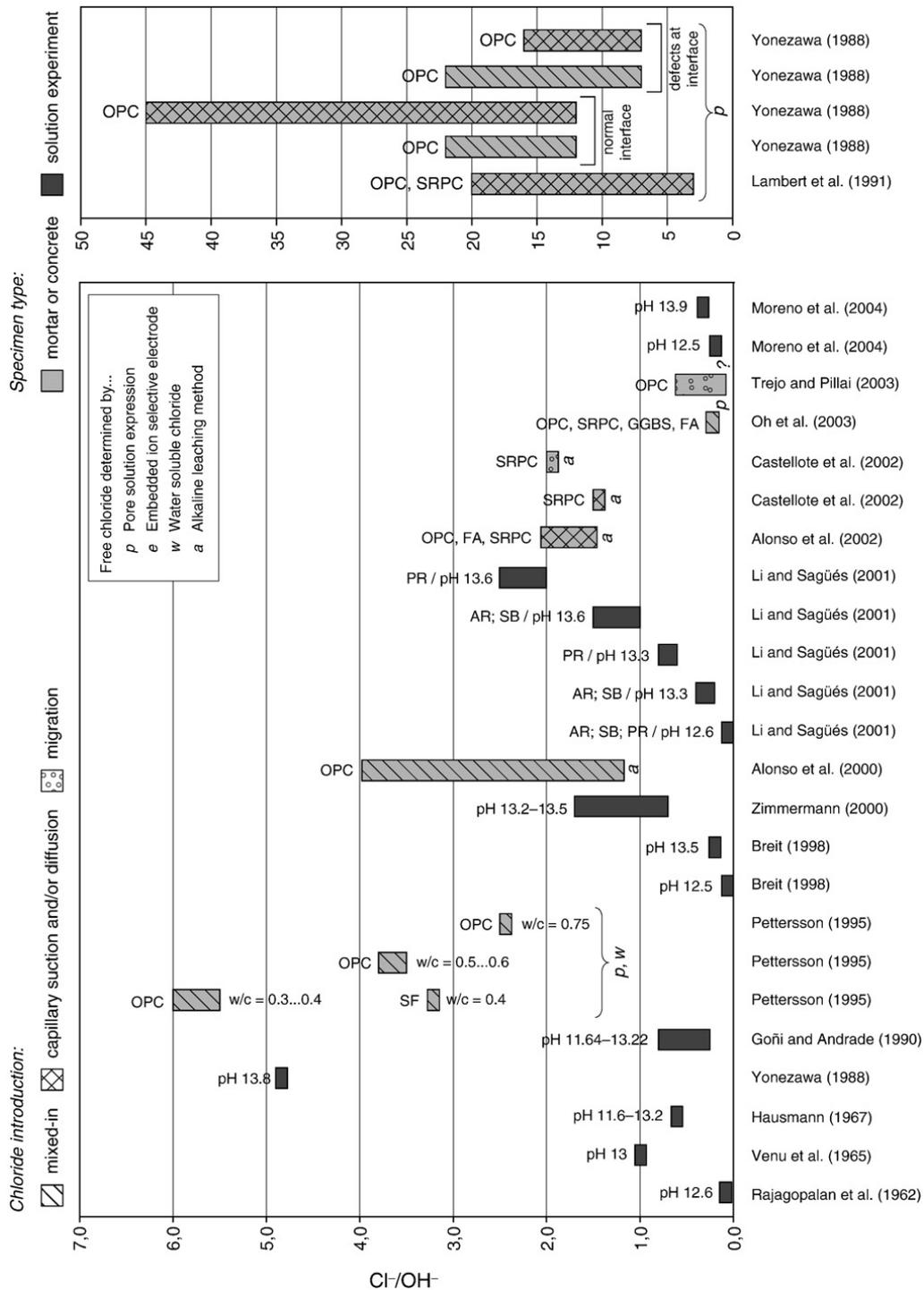


圖 2-4 造成鋼筋腐蝕的混凝土 Cl-/OH⁻ 門檻文獻整理圖

(資料來源：文獻 20)

第四節 高氯離子混凝土建築物相關案例

過去幾年國內公共建築物由於法令管制與監造確實，較少有高氯離子混凝土建築物的案例，最近1年發生的案例均屬於30年以上的老舊建築物，如今年6月在台中市神岡區社口國小發現西棟、南棟校舍有30%教室因使用海砂導致水溶性氯離子含量超過 $0.9\text{kg}/\text{m}^3$ ，目前正進行結構鑑定，判斷是否合乎耐震需求與防蝕補強費用。台北市忠孝醫院也有發現地下室天花板有氯離子含量過高須進行防蝕補強相關新聞。而在民間建築物方面，最常發生也是在70年~80年代之間的建築物，主要在於當時建築用砂石短缺，預拌混凝土品管觀念尚未健全，導致海砂被使用於混凝土中，如2012年12月有桃園市正光花園新城社區195戶房屋因氯離子含量超過標準導致房屋重建之情形，此棟房屋約在民國72年興建。同年12月也有臺南市安平二期國宅發生混凝土龜裂剝落、鋼筋外露鏽蝕、地下室柱板崩裂朽壞、粉刷層鬆脫、滲水情形。今年1月初新北市蘆洲區也有天花板掉落導致瓦斯管線擠壓破裂情形。而今年3月有關台北市內湖區合家歡社區海砂屋爭議報導，也是1處民國75年興建的集合住宅社區。最近9月份的報導，淡水一棟於民國77年完工的東來大廈亦有相同情形。

一般而言，混凝土內含氯離子對建築物最大危害是引起鋼筋鏽蝕至混凝土受到鏽蝕氧化體積增加膨脹張力破壞混凝土，但若混凝土的破壞並未危及鋼筋內承受壓力的核心混凝土時，適當的防蝕補強仍可使建築物持續使用。所以根據以往的案例，當遇到混凝土含有高量氯離子時，雖會影響建築物房價，但對結構體是否拆除重建，並不只受到混凝土氯離子單一因素所影響。如國內台東知本天主堂便是一個很好的案例。知本天主堂興建於民國50年代，至今已接近60年，是台東縣政府核定的歷史建築物，過去建造時使用海砂作為混凝土原料，雖然也發生鋼筋鏽蝕混凝土剝落情形，但因為當時提高混凝土設計強度，所以至今仍屹立不搖，於今年度進行相關維修補強，迄今仍是當地信仰中心。過去於民國98年有一棟平均超過 $1.5\text{kg}/\text{m}^3$ 氯離子含量的建築物的買賣爭議，經法院判決認為”房屋是否因瑕疵而達不堪居住之程度，非僅氯離子含量一項即可認定，尚須就鋼筋腐蝕速率、鋼筋斷面量測、混凝土抗壓強度、混凝土中性化程度、裂縫裂損狀況、裂縫寬度及長度等項目綜合判斷始能認定，此外，尚應審酌該瑕疵可否經由補強

及防蝕處理等方法修復之”³³。因此在我國各地縣市政府也有相關高氯離子建築物處理方式法令，如新北市的辦法，若混凝土水溶性氯離子含量平均值 0.6 kg/m^3 以上且補強防蝕處理費用超過重建費用達百分之七十五者，由鑑定機構建議並經審議會決議者，得辦理拆除重建。所以在我國相關對高氯離子建築物後續處理方式與防蝕補強技術已相當成熟。

³³蔡志揚、婁光銘，高氯離子建物（「海砂屋」）實務判決解約爭議探討高氯離子建物（「海砂屋」）實務判決解約爭議探討，土木技師公會技師報，<http://www.twce.org.tw/modules/freecontent/include.php?fname=twce/paper/727/3-1.htm>

第三章 混凝土氯離子檢測方法

目前最常用的檢測方法歸類可以分成二大類，分別為檢測總氯離子的酸溶法與游離性氯離子的水溶法。歐洲系統包含德國、英國、北歐、大洋洲的檢測試驗方法，其試驗法大多僅有總氯離子檢測方法，因此在第二節中歐洲與大洋洲標準僅有總氯離子含量標準。我國採用美國系統檢測方法，因此包含檢測總氯離子的酸溶法與游離性氯離子的水溶法。在試驗過程上，均包含取樣、氯離子萃取、與滴定試驗過程。其中在取樣與氯離子萃取的差異最大。

表 3-1 為各國酸溶法取樣量的差異性，以澳洲檢測方法取樣量大於 15 g 最高，RILEM 取樣量 1 g 最低。取樣量高表示混凝土試樣氯離子濃度較高，較容易檢測，但缺點在於取樣需耗費大量試體粉碎研磨。而取樣量低，若氯離子含量規範較為嚴格，以一般 0.1 M 硝酸銀滴定出來的值過低，可能會落於滴定機器誤差內，而有誤判數值之情形。因此 RILEM 的方法採用了氰硫氫化銨 (NH_4SCN) 作為反應溶液。而且並不是使用滴定法，而是採用分光光度計在 460 nm 波長吸光度下進行濃度判別。表 3-2 為各國水溶法取樣量的差異性。表中除了 RILEM 規範外，其餘試驗粉末尺寸與取樣數均與酸溶法相同。由於水溶法數據約為酸溶法的 70%~80%，因此 RILEM 適當提高取樣量。若探討取樣過程熱效應的影響，目前相關文獻並未有討論，但近年來國外有倡導利用索氏提取器 (Soxhlet extractor) 來替代 ASTM C1218 水溶法的萃取過程。索氏提取器如圖 3-1 所示，原應用於從固體中提取難以過濾的脂類化合物，相關試驗法由美國 ACI 222 委員會於 1997 年被認可為試驗方法³⁴。此方法被提出主要是因為經過研究部分使用海砂或具氯離子的粒料會影響結構內鋼筋的腐蝕性，但是 ASTM C1218 取樣過程中的磨粉溫度會導致粒料所含的游離性氯離子與水泥質材料產生化學反應固化，致水溶性氯離子實驗結果發生誤差，因此建議利用索氏提取器蒸餾萃取試驗溶液。

³⁴ ACI Committee 222, "Provisional Standard Test Method for Water-Soluble Chloride Available for Corrosion of Embedded Steel in Mortar and Concrete Using the Soxhlet Extractor", American Concrete Institute, 1997.

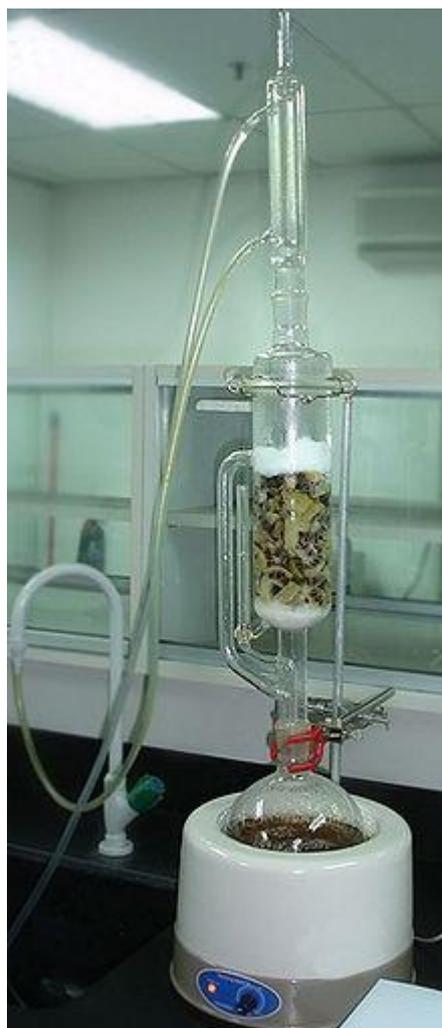
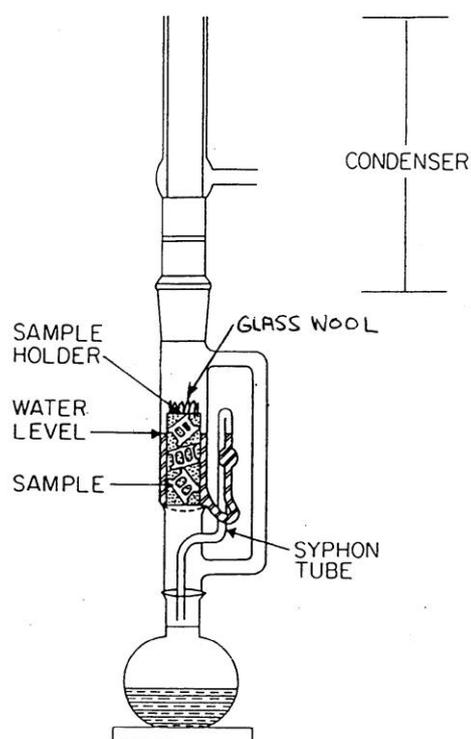


圖 3-1 ACI 222 試驗法架構圖與索氏提取器設備³⁵

(資料來源：架構圖來源至文獻 34，索式提取器設備來源至文獻 35)

在差異最大的氯離子萃取方式，表 3-3 為各國酸溶法萃取方式的差異性。其最大差異是在酸溶的過程，及粉樣加入不同濃度與容積的 HNO_3 溶液。表 3-4 為各國酸溶法萃取方式的差異性。而在後續的滴定，除了 RILEM 方法採用 NH_4SCN 發色反應溶液外，其餘均使用硝酸銀滴定反應溶液。

³⁵ 維基百科，http://zh.wikipedia.org/wiki/File:Soxhlet_Extractor.jpg, 2013.

表 3-1 各國酸溶檢測方法取樣量的差異性

檢測方法	試驗粉末尺寸	取樣數
歐洲 RILEM TC 178-TMC	< 0.160 mm	1 g
挪威 NT Build 208	< 0.100 mm	5 g
英國 BS 1881:Part 124: Clause 10.2	< 0.100 mm	5 g
日本 JIS A 1154	< 0.150 mm	10 g
美國 FM 5-516	< 0.300 mm	3 g
美國 AASHTO T260	< 0.300 mm	3 g
美國 ASTM C1218	< 0.850 mm	10 g
澳洲 AS 1012.20	< 0.150 mm	>15 g
中華民國 CNS 14702	< 0.850 mm	10 g

(資料來源：本研究自行整理)

表 3-2 各國水溶檢測方法取樣量的差異性

檢測方法	試驗粉末尺寸	取樣數
歐洲 RILEM TC 178-TMC	< 0.315 mm	5 g
美國 AASHTO T260	< 0.300 mm	3 g
美國 ASTM C1152	< 0.850 mm	10 g
中華民國 CNS 14703	< 0.850 mm	10 g

(資料來源：本研究自行整理)

表 3-3 各國酸溶法萃取的差異性

檢測方法	酸溶方式
歐洲 RILEM TC 178-TMC	粉樣加入 50 mL HNO ₃ 溶液中 (1:2) 後攪拌並沸騰 1 分鐘，於冷卻後加入 5 mL 的 0.05 M 硝酸銀溶液後以稀 HNO ₃ 溶液中 (1+100) 沖洗過濾
挪威 NT Build 208	粉樣加入 50mL 去離子水使之分散，並加入 10 mL 濃度約 70% 的 HNO ₃ 溶液。再加入 50mL 熱水混合後沸騰 4 到 5 分鐘，於冷卻後過濾
英國 BS 1881:Part 124: Clause 10.2	同挪威 NT Build 208
日本 JIS A 1154	粉樣加入 70 mL HNO ₃ 溶液中 (1+6) 於靜置 30 分鐘後，加熱沸騰 5 分鐘，於冷卻後過濾
美國 FM 5-516	粉樣加入 10mL 去離子水使之分散，並加入 3 mL 濃度約 70% 的 HNO ₃ 溶液。充分攪拌後加入 50mL 熱水混合，加熱沸騰，於冷卻後過濾 (若混凝土添加爐石需添加 3 mL 過氧化氫溶液)
美國 AASHTO T260	同美國 FM 5-516
美國 ASTM C1218	粉樣加入 75 mL 去離子水使之分散，並加入 25 mL 的 HNO ₃ 溶液 (1:1) 攪拌並沸騰，於冷卻後過濾
澳洲 AS 1012.20	粉樣加入少許水混合後加入 20% 濃度的

檢測方法	酸溶方式
	HNO ₃ 溶液 50 mL 後攪拌並沸騰 2 分鐘， 於冷卻後過濾
中華民國 CNS 14702	同美國 ASTM C1218

(資料來源：本研究自行整理)

表 3-4 各國水溶法檢測方法取樣量的差異性

檢測方法	酸溶方式
歐洲 RILEM TC 178-TMC	粉樣加入 50 mL 去離子水中攪拌均勻後 過濾
美國 AASHTO T260	粉樣加入 60~70 mL 去離子水中攪拌均 勻後，加熱沸騰 5 分鐘，並於冷卻 24 小 時後過濾
美國 ASTM C1152	粉樣加入 50 mL 去離子水中攪拌均勻後 過濾，加熱沸騰 5 分鐘，並於冷卻 24 小 時後過濾
中華民國 CNS 14703	同美國 ASTM C1152

(資料來源：本研究自行整理)

第四章 試驗變數設計與方法

本計畫研究目的擬探討硬固混凝土氯離子檢測方法與標準，並整合研究成果，以現有 CNS 14702 酸溶法與 CNS 14703 水溶法之氯離子檢測方法為基礎建立適用於我國的硬固混凝土氯離子檢測方法與標準。在研究方法上首先進行各國標準方法蒐集與比較，以作為後續標準規範訂定之參考。在實驗上擬設計含有各種變數氯離子濃度的混凝土材料，藉由硬固混凝土氯離子含量量測，探討取樣方式、萃取過程對混凝土氯離子含量與檢測方法的影響。其後以沿海六年以上的大型梁試體進行各深度硬固氯離子含量試驗，探討結構單元取樣位置對硬固混凝土氯離子含量結果影響。並由試驗結果分析探討對混凝土氯離子含量的影響，並建立本土性適用的檢測方法。相關方法說明如下。

第一節 取樣方式變數設計

目前，為探討取樣方式對混凝土氯離子含量與檢測方法的影響，本研究的變數分成 2 個主要部分，分別為取樣方式變數與組成材料配比變數設計。在取樣方式方面，我國標準可採用鑽心試體或旋轉式鑽孔機（即震動電鑽）進行取樣。在規定上須包含面層及深層之部分，若為水泥砂漿則樣品數不得小於 10 g。在混凝土部分，若使用鑽心試體 CNS 14702 與 14703 規定需於平行試體軸線方向切割 12 mm 之縱切片；或垂直於試體軸線方向沿其側面切割出厚 12 mm 之試片進行試驗^{4,5}，若試體尺寸大於 25 mm 需先使用顎碎機或鎚擊方式破碎縮小尺度後使用研磨設備磨成試驗粉末。使用旋轉式鑽孔機取樣方式，由於可能會鑽取到粗粒料部分，所以 CNS 14702 與 14703 規定當粗粒料標稱最大粒徑大於 25 mm 時須將數個此類樣品混合成綜合試樣再測定，每個鑽取樣品須至少取得 20 g 具代表性試樣。由標準的精神而言，試體無論粒料或水泥漿體均無須剔除而被視為試樣的一部分。但對標準的規定而言，並未說明鑽心試體的尺寸與數量，當試體尺寸與深度小於粒料最大粒徑時，有可能所取的樣本發生爭議現象的狀況，為探討這方面的影響，本計畫此階段變數分成鑽孔磨粉取樣方式與鑽心取樣試體尺寸兩種變數設計，表 4-1 為取樣方式變數設計表。

表 4-1 本計畫取樣方式變數設計

變數類別	變數範圍
鑽孔磨粉取樣方式	高轉速旋轉磨粉機大面積磨粉
	普通震動電鑽磨粉 (直徑 1 cm 深度 1cm、直徑 2.5cm 深度 1cm、直徑 2.5 cm 深度 2cm、直徑 2.5 cm 深度 3cm、直徑 2.5 cm 深度 4cm)
鑽心取樣試體尺寸	直徑 5 cm 高度 5 cm、直徑 2.5 cm 高度 2.5 cm、直徑 10 cm、高度 1.2 cm 試體粉碎、試體抗壓粉碎後取樣

(資料來源：本研究自行整理)

在鑽孔磨粉取樣方式變數設計上，使用鑽孔磨粉機直接於試體磨粉進行取樣。鑽孔磨粉機直接於試體磨粉進行取樣在我國標準中僅說明須使用適當直徑之電鑽，因此本計畫以 2 種鑽孔磨粉方式進行，分別為普通震動電鑽與大面積旋轉磨粉機方式進行。大面積旋轉磨粉機，如圖 4-1 所示，將混凝土試體固定於試驗座上，利用大於 18000 轉的高轉速旋轉磨粉機與 25 mm 中空鑽石鑽頭對混凝土磨粉。圖 4-1 亦表示磨粉完畢後混凝土試體的狀況。因此若直徑 10 cm 的混凝土圓柱試體已接近全斷面磨粉取樣情形。

普通震動電鑽的取樣設計方式係考量設備取得便利性。因此在變數考量上，分別以直徑 1 cm 與直徑 2.5 cm 鑽石鑽頭作為電鑽取樣鑽頭。直徑 1 cm 的設計考量是本研究粒料最大粒徑為 1 cm。而直徑 2.5 cm 是一般市售普通震動電鑽鑽頭的尺寸極限，且已大於傳統混凝土三分石或六分石粒料最大粒徑。圖 4-2 為本研究所採用的普通震動電鑽與直徑 2.5 cm 鑽石鑽頭取樣後情形。圖 4-3 為混凝土試體利用直徑 1 cm 鑽頭取樣後情形。由圖中可以發現取樣後，試體並無崩裂情形。



圖 4-1 以磨粉機進行氬離子試樣粉末取樣

(資料來源：本研究自行整理)



圖 4-2 試體利用普通震動電鑽取樣後情形(直徑 2.5 cm 鑽石鑽頭)

(資料來源：本研究自行整理)



圖 4-3 試體利用普通震動電鑽取樣後情形(直徑 1 cm 鑽石鑽頭)

(資料來源：本研究自行整理)

鑽心取樣試體尺寸變數方面，我國標準須於試體切割 12 mm 厚度之縱剖片進行試驗，因此直接於直徑 10 cm 試體切割 12 mm 厚度之縱剖片為試體，另一方面坊間也有鑽取直徑 5 cm 或直徑 2.5 cm 為試驗試體，因此本研究也列入相關變數。圖 4-4 為本研究使用之鑽心設備。圖 4-5 為鑽取後直徑 5 cm 與直徑 2.5 cm 的試體。除此之外也將鑽心試體於抗壓後，隨機於粉碎試體取樣。



圖 4-4 試體鑽心使用設備

(資料來源：本研究自行整理)



圖 4-5 直徑 2.5 cm 與直徑 5 cm 的鑽心試體

(資料來源：本研究自行整理)

第二節 混凝土配比變數設計

為使本研究具有氯離子在內的混凝土可供取樣方式研究探討。因此以混凝土材料內的氯離子含量與組成材料進行配比變數設計，下述為其變數說明，表 4-2 為配比變數設計表。

1. 氯離子含量變數

目前 CNS 3090 新拌混凝土的氯離子含量不可超過 0.3 kg/m^3 (鋼筋混凝土)，若以國外相關文獻與規範對硬固混凝土的氯離子含量約為水泥含量的 0.1%。因此在氯離子含量變數將以 0 kg/m^3 、 0.2 kg/m^3 、 0.3 kg/m^3 、 0.4 kg/m^3 、 0.5 kg/m^3 、與 1.0 kg/m^3 共 6 種用量加入混凝土材料配比設計中，其中為 0 kg/m^3 空白對照組。拌合時將氯離子加入拌合用水中進入混凝土進行試體製作。藉由低至高的氯離子加入量，探討萃取過程對硬固混凝土氯離子含量的關聯性。相關試驗分析分別進行硬固混凝土水溶、酸溶法氯離子量測。

2. 混凝土材料變數設計

在配比變數設計上，分別為設計強度、粗粒料用量。在設計強度方面，參考目前鋼筋混凝土常用的 5000 psi 與 3000psi 設計強度進行混凝土設計。粗粒料用量變數方面，分別為 30%、35%、與 40%。由於粗粒料相對於水泥漿體屬於極緻密材料，因此氯離子僅能附著於粒料表面，很難進入粒料內部。因為氯離子只能存在於水泥漿體內部的孔隙，或在水化過程中被吸附入水化生成物內。所以本研究除擬藉由粗粒料體積調整水泥漿體於配比中的組成。探討粗粒料體積對氯離子含量的影響。

表 4-2 本計畫混凝土配比變數設計

變數類別	變數範圍
氯離子含量	0 kg/m ³ 、0.1 kg/m ³ 、0.2 kg/m ³ 、0.3 kg/m ³ 、 0.4 kg/m ³ 、0.5 kg/m ³ 、1.0 kg/m ³
混凝土設計強度	5000psi、3000 psi
粗粒料體積 (m ³ /m ³)	0.3、0.35、0.4

(資料來源：本研究自行整理)

第三節 混凝土組成材料性質

1.水

混凝土試體拌合所用的水為符合 CNS 13961 與 ASTM C94 規範所規定的混凝土拌合用水，一般常使用自來水，其相關性質如表 4-3 所示。

表 4-3 拌合水試驗結果(ppm)

試驗項目	含量
氯離子	0.35
硫酸根離子	0.20
鹼性物質 (Na ₂ O+0.66K ₂ O)	0.31
總固體含量	0.01

(資料來源：台灣自來水公司)

2.水泥

本計畫試驗採用台灣水泥公司所生產的卜作嵐第一型水泥，比重為 3.15，表 4-4 為其物理性質與化學成分。

表 4-4 水泥之物理與化學性質

試驗項目	CNS 61-R2001	試驗值
細度：Fineness (cm ² /g)	Min: 2800	3520
健度：Soundness (%)	Max: 0.80	0.05
7 天抗壓強度(kgf/cm ²)	Min: 197	312
28 天抗壓強度(kgf/cm ²)	Min: 281	412
初凝：Initial set (分鐘)	Min: 45 (維卡針法)	3:10
終凝：Final set (分鐘)	Max: 375 (維卡針法)	5:30
二氧化矽(SiO ₂)	---	20.89
氧化鋁(Al ₂ O ₃)	---	5.61
氧化鐵(Fe ₂ O ₃)	---	3.13
氧化鈣(CaO)	---	63.87
氧化鎂(MgO)	Max: 6.00	2.93
燒失量(L.O.I)	Max: 3.00	0.73
不溶殘渣(Ins. Res)	Max: 0.75	---
矽酸三鈣(C ₃ S)	---	50.40
矽酸二鈣(C ₂ S)	---	22.20
鋁酸三鈣(C ₃ A)	---	9.57
鋁鐵酸四鈣(C ₄ AF)	---	9.51

(資料來源：台灣水泥股份有限公司)

3.粗粒料

本計畫混凝土所使用之粗粒料為三分碎石，其產地均為我國宜蘭河域。其中面乾內飽和狀態比重(SSD)為 2.74，篩分析試驗結果如表 4-5 所示，其粒徑級配分布圖如圖 4-6 所示。

表 4-5 篩分析試驗結果

篩 號	遺留重量%	累積重量%	通過重量%
1" (25.4 mm)	0.00	0.00	100.00
3/4" (19.05 mm)	0.00	0.00	100.00
1/2" (12.7 mm)	32.33	32.33	67.67
3/8" (9.5 mm)	34.34	66.67	33.33
NO.4 (4.75 mm)	31.83	98.49	1.51
底 盤	1.51	100.00	0.00

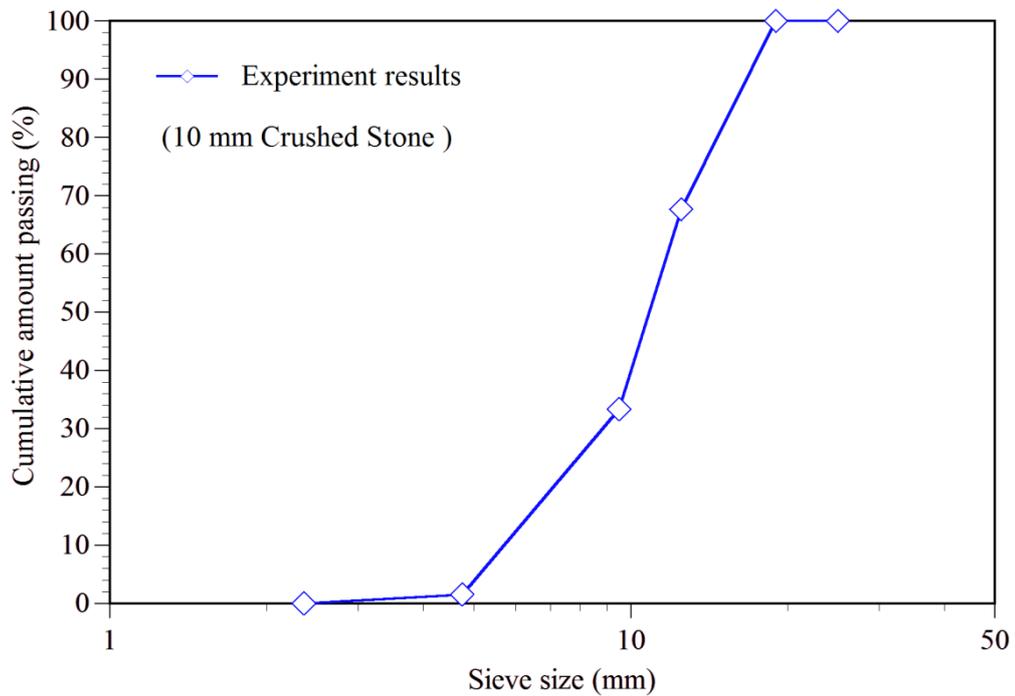


圖 4-6 粗粒料級配級配分布圖

(資料來源：本研究自行整理)

4.細粒料

本計畫所使用之細粒料為我國宜蘭河域所產之混凝土用粗砂級配。其面乾內飽和比重(SSD)為 2.69，篩分析試驗結果如表 4-6 所示，其粒徑級配分布圖如圖 4-7 所示。

表 4-6 細粒料之篩分析試驗結果

篩 號	遺留重量%	累積重量%	通過重量%
3/8" (9.5mm)	0.00	0.00	100.00
NO.4 (4.75mm)	1.24	1.24	98.76
NO.8 (2.36mm)	18.00	19.24	80.76
NO.16 (1.18mm)	22.04	41.28	58.72
NO.30 (600 μ m)	14.20	55.48	44.52
NO.50 (300 μ m)	15.00	70.48	29.52
NO.100(150 μ m)	20.00	90.48	9.52
底盤	9.30	99.78	0.22

(資料來源：本研究自行整理)

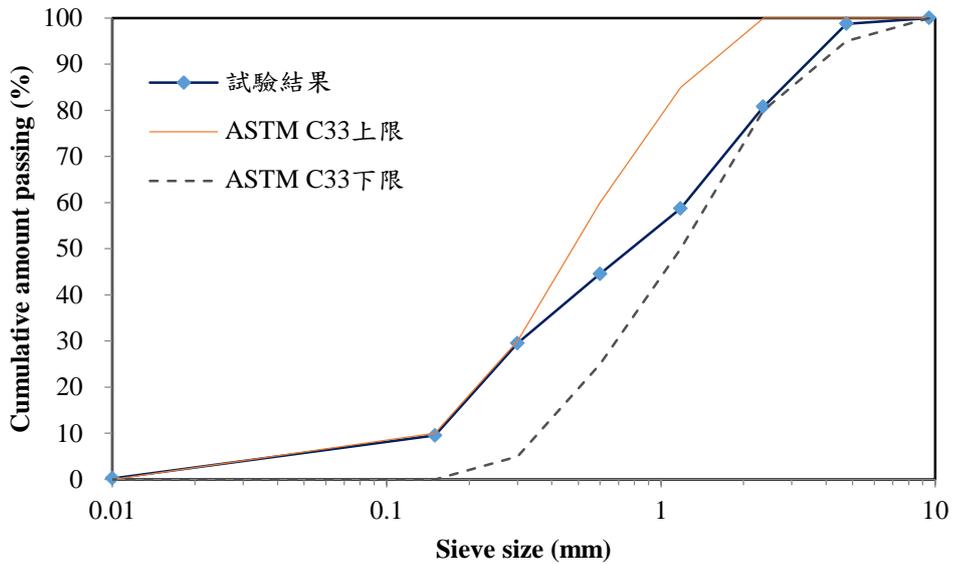


圖 4-7 粗砂之級配級配分布圖

(資料來源：本研究自行整理)

5. 氯化鈉

試藥級氯化鈉 (Sodium Chloride, NaCl), 純度 99.9% 以上, 20°C 比重為 2.17,

分子量為 58.44 g/mol。

第四節 混凝土配比設計

本計畫經 4-2 節變數設計與 4-3 節組成材料性質，進行配比設計。表 4-7 為本計畫混凝土配比編號設計。其中代號第一位以 A 代表設計強度 5000 psi 混凝土；B 為設計強度 3000 psi 混凝土。代號第二位以 H 代表每立方混凝土粗粒料體積用量 $0.4 \text{ m}^3/\text{m}^3$ 、M 代表粗粒料體積用量 $0.35 \text{ m}^3/\text{m}^3$ 、與 L 代表粗粒料體積用量 $0.3 \text{ m}^3/\text{m}^3$ 。第三位以後數字代表氯離子添加量，0 為未添加、1 為 $0.1 \text{ kg}/\text{m}^3$ 、2 為 $0.2 \text{ kg}/\text{m}^3$ 、3 為 $0.3 \text{ kg}/\text{m}^3$ 、4 為 $0.4 \text{ kg}/\text{m}^3$ 、5 為 $0.5 \text{ kg}/\text{m}^3$ 、與 10 為 $1.0 \text{ kg}/\text{m}^3$ 。但因還原為 NaCl 重量，因此混凝土配比氯離子添加量分別為 $0 \text{ kg}/\text{m}^3$ 、 $0.16 \text{ kg}/\text{m}^3$ 、 $0.33 \text{ kg}/\text{m}^3$ 、 $0.49 \text{ kg}/\text{m}^3$ 、 $0.66 \text{ kg}/\text{m}^3$ 、 $0.82 \text{ kg}/\text{m}^3$ 、與 $1.65 \text{ kg}/\text{m}^3$ 。表 4-8 至表 4-9 為本研究混凝土配比設計。相關試體於製作硬固後，隨即放入水中養護 28 天後進行各項試驗。

表 4-7 本計畫混凝土配比編號設計

變數類別	0	1	2	3	4	5	10
5000psi、 $V_{ca}=0.4$	AH0	AH1	AH2	AH3	AH4	AH5	---
5000psi、 $V_{ca}=0.35$	AM0	AM1	AM2	AM3	AM4	AM5	AM10
5000psi、 $V_{ca}=0.3$	AL0	AL1	AL2	AL3	AL4	AL5	---
3000psi、 $V_{ca}=0.4$	BH0	BH1	BH2	BH3	BH4	BH5	---
3000psi、 $V_{ca}=0.35$	BM0	BM1	BM2	BM3	BM4	BM5	BM10
3000psi、 $V_{ca}=0.3$	BL0	BL1	BL2	BL3	BL4	BL5	---

(資料來源：本研究自行整理)

表 4-8 本計畫 5000 psi 混凝土配比設計

混凝土 配比編號	水 (kg/m ³)	水泥 (kg/m ³)	粗粒料 (kg/m ³)	細粒料 (kg/m ³)	外加氯化物	
					以氯化鈉 計算 (kg/m ³)	以氯離子 計算 (kg/m ³)
AH0	168	354	1100	810	0.00	0
AH1	168	354	1100	810	0.16	0.1
AH2	168	354	1100	810	0.33	0.2
AH3	168	354	1100	810	0.49	0.3
AH4	168	354	1100	810	0.66	0.4
AH5	168	354	1100	809	0.82	0.5
AM0	168	354	963	947	0.00	0
AM1	168	354	963	946	0.16	0.1
AM2	168	354	963	946	0.33	0.2
AM3	168	354	963	946	0.49	0.3
AM4	168	354	963	946	0.66	0.4
AM5	168	354	963	946	0.82	0.5
AM10	168	354	963	944	1.65	1.0
AL0	168	354	825	1083	0.00	0.0
AL1	168	354	825	1082	0.16	0.1
AL2	168	354	825	1082	0.33	0.2
AL3	168	354	825	1082	0.49	0.3
AL4	168	354	825	1082	0.66	0.4
AL5	168	354	825	1082	0.82	0.5

(資料來源：本研究自行整理)

表 4-10 本計畫 3000 psi 混凝土配比設計

混凝土 配比編號	水 (kg/m ³)	水泥 (kg/m ³)	粗粒料 (kg/m ³)	細粒料 (kg/m ³)	外加氯化物	
					以氯化鈉 計算 (kg/m ³)	以氯離子 計算 (kg/m ³)
BH0	169	293	1100	863	0.00	0
BH1	169	293	1100	863	0.16	0.1
BH2	169	293	1100	863	0.33	0.2
BH3	169	293	1100	863	0.49	0.3
BH4	169	293	1100	862	0.66	0.4
BH5	169	293	1100	862	0.82	0.5
BM0	169	293	963	999	0.00	0
BM1	169	293	963	999	0.16	0.1
BM2	169	293	963	999	0.33	0.2
BM3	169	293	963	999	0.49	0.3
BM4	169	293	963	998	0.66	0.4
BM5	169	293	963	998	0.82	0.5
BM10	169	293	963	997	1.65	1.0
BL0	169	293	825	1135	0.00	0.0
BL1	169	293	825	1135	0.16	0.1
BL2	169	293	825	1135	0.33	0.2
BL3	169	293	825	1135	0.49	0.3
BL4	169	293	825	1135	0.66	0.4
BL5	169	293	825	1134	0.82	0.5

(資料來源：本研究自行整理)

取樣位置與萃取方式對鋼筋混凝土氯離子含量與檢測方法影響之研究

為完成本研究硬固混凝土氯離子各性質之探討，各取樣變數與試驗之混凝土配比設計對應關係如表 4-11 所示。

表 4-11 本計畫取樣方式變數設計與混凝土配比對應關係

變數類別	變數範圍	對應混凝土配比
新拌混凝土氯離子試驗		AL0~AL5、AM0~AM10、 AH0~AH5、BL0~BL5、 BM0~BM10、BH0~BH5
鑽孔磨粉取樣方式	高轉速旋轉磨粉機大面積磨粉	AL0~AL5、AM0~AM10、 AH0~AH5
	普通震動電鑽磨粉 (直徑 1 cm 深度 1cm、直徑 2.5cm 深度 1cm、直徑 2.5 cm 深度 2cm、直徑 2.5 cm 深度 3cm、直徑 2.5 cm 深度 4cm)	AM0~AM10
鑽心取樣試體尺寸	直徑 5 cm 高度 5 cm、直徑 2.5 cm 高度 2.5 cm	AM0~AM10
	直徑 10 cm、高度 1.2 cm 試體粉碎	AL0~AL5、AM0~AM10、 AH0~AH5、BL0~BL5、 BM0~BM10、BH0~BH5
	試體抗壓粉碎後取樣	AM0~AM5、AH0~AH5
CNS 與 AASHTO 試驗法差異探討		AL0~AL5、AM0~AM10、 AH0~AH5、BL0~BL5、 BM0~BM10、BH0~BH5

(資料來源：本研究自行整理)

第五節 試驗方法

1. 氯離子含量分析方法

本研究所使用的氯離子含量分析方法共分成 CNS 13465 新拌混凝土水溶法氯離子檢測法、CNS 14702 硬固混凝土酸溶法氯離子檢測法、與 CNS 14703 硬固混凝土水溶法氯離子檢測法三種。其差異性在於氯離子濾液取得方式的不同。下述為其分析方法簡介。

A. CNS 13465 新拌混凝土水溶法氯離子檢測法

新拌混凝土水溶法氯離子檢測的檢測溶液取得有兩種方式，分別為浮水法與離心法。其中離心法係將新拌混凝土試樣放入旋轉離心機脫水取得檢測溶液，因試驗手續較繁複，所以實務上較少使用。本研究以常用的浮水法進行，相關步驟說明如下：

- (A) 利用混凝土硬固前會有浮水現象的產生，抽取 100 mL 浮水溶液為檢測試樣。
- (B) 將試樣以硝酸或氫氧化鈉溶液調整 pH 值至 7~10 之間。
- (C) pH 值調整後以硝酸銀配合電位滴定進行氯離子濃度量測。(相關電位滴定方式請參造下述 D 項次說明)

B. CNS 14702 硬固混凝土酸溶法氯離子檢測法

以酸溶法進行氯離子檢測，可了解被水化生成物吸附的氯離子與在孔隙結構中存在的自由氯離子含量，因此被視為硬固混凝土中氯離子的總量。相關步驟說明如下：

- (A) 其取樣過程係由試體上取得 10 g 以上具代表性的樣本。
- (B) 將樣本進行破碎與研磨。
- (C) 研磨後將粉末通過孔徑 850 μm 之 20 號篩 (AASHTO T260 為 50 號篩)，取通過試驗篩粉末約 10 g 進行氯離子萃取工作。
- (D) 萃取過程係依據 CNS 1078'' 水硬性水泥化學分析法''。將粉末進行秤重後

放入 250 mL 燒杯中，加入 75 mL 去離子水使之分散，並加入 25 mL 稀硝酸（1:1）進行酸化過程。

- (E) 將燒杯覆蓋與加熱至沸騰
- (F) 放置室溫冷卻後，利用重力或抽氣方式將溶液以 9 cm 粗質濾紙（AASHTO T260 為 Whatman 40 與 41 號濾紙）過濾，已取得氯離子量測濾液。
- (G) 將濾液以硝酸銀配合電位滴定進行氯離子濃度量測。（相關電位滴定方式請參造下述 **D 項次**說明）

C. CNS 14703 硬固混凝土水溶法氯離子檢測法

以水溶法進行氯離子檢測，可了解在孔隙結構中存在的自由氯離子含量，一般認為自由氯離子是造成鋼筋腐蝕的主要原因。其取樣過程係與酸溶法相同，差異在於萃取過程，相關步驟說明其取樣過程係由試體上取得 10 g 以上具代表性的樣本。

- (A) 樣本進行破碎與研磨。
- (B) 研磨後將粉末通過孔徑 850 μm 之 20 號篩（AASHTO T260 為 50 號篩），取通過試驗篩粉末約 10 g 進行氯離子萃取工作。
- (C) 將粉末進行秤重後放入 250 mL 燒杯中，加入 50 mL 去離子水使之分散。
- (D) 將燒杯覆蓋與加熱沸騰 5 分鐘後靜置 24 小時，其後再以 G 級濾紙過濾。
- (E) 將濾液加入 3 mL 稀硝酸（1:1）及 3 mL 濃度 30% 之過氧化氫，並靜置 1 至 2 分鐘後將燒杯覆蓋與加熱至沸騰。
- (F) 放置室溫冷卻後以硝酸銀配合電位滴定進行氯離子濃度量測。（相關電位滴定方式請參造下述 **D 項次**說明）

D. 電位滴定量測氯離子濃度

在萃取液中氯離子是以次氯酸根狀態存在於氫氧化鈉溶液中，所以樣本滴定前必須進行酸化處理，將次氯酸根還原成氯離子以供量測。所採用的方式則參考 ASTM D512 或 CNS 1078 規範中所規定之硝酸銀電位滴定法進行。主要利用 0.01 N 標準硝酸銀溶液滴定含有氯離子的溶液使其產生白色氯化銀沉澱，其方程式如下所示：



滴定進行時，首先需利用硝酸將樣本酸化。溶液酸化的原因有兩個，第一個原因會把氫氧化鈉溶液中的次氯酸根還原成溶於水的氯離子，其方程式如下：



另一原因由於氫氧化鈉溶液屬於高鹼性，為避免硝酸銀與溶液中氫氧根結合產生 AgOH ，造成誤判，因此需將存在於氫氧化鈉中的氯離子溶液酸化。下圖 4-8 為本計畫所使用的 Metrohm 702 SM 型電位滴定儀，此儀器之量測精度可達 10 ppm，且可由電腦連線記錄試驗資料。參考電極為銀/氯化銀複合電極。主要藉由電極量測滴定過程中氯離子的氧化電位，當電位突然巨幅變化時，則是為滴定終點 (equivalence point, EP)，如圖 4-9 所示。

藉由滴定終點所得之硝酸銀溶液滴定量與已知濃度，可以計算滴定溶液中氯離子含量，其計算式如下：

$$N_{cl} = \frac{N_{\text{AgNO}_3} V_{\text{AgNO}_3}}{V_{cl}} \quad (4-3)$$

式中 N_{cl} 為氯離子濃度 (mole/L)； N_{AgNO_3} 為 0.01 N 標準硝酸銀溶液，由於硝酸銀溶液極易受光線干擾，因此試驗前需以標準 0.1 N 標準氯化鈉溶液標定； V_{AgNO_3} 為滴定終點硝酸銀溶液滴定量 (mL)； V_{cl} 為氯離子溶液滴定樣本數 (mL)。

上述滴定完畢後，各標準計算氯離子方式如下所述：

(A) 新拌混凝土氯離子含量

濾液滴定後依下列式(4-4)與式(4-5)計算新拌混凝土氯離子含量

$$\text{試樣濾液氯離子濃度 } C_w = \frac{(A-B) \times N \times 3.545}{S_w} (\%) \quad (4-4)$$

取樣位置與萃取方式對鋼筋混凝土氯離子含量與檢測方法影響之研究

$$\text{新拌混凝土氯離子含量 } C_c = C_w \times W \times \frac{1}{100} \text{ (kg/m}^3\text{)} \quad (4-5)$$

式中 A 為水樣硝酸銀滴定終點(mL); B 為空白試驗硝酸銀滴定終點(mL); N 為硝酸銀滴定溶液之當量濃度; S_w 為水樣容積 (mL); W 為配比設計中所示之混凝土單位用水量 (kg/m^3)。



圖 4-8 Metrohm 702 SM 型電位滴定儀

(資料來源：本研究自行整理)

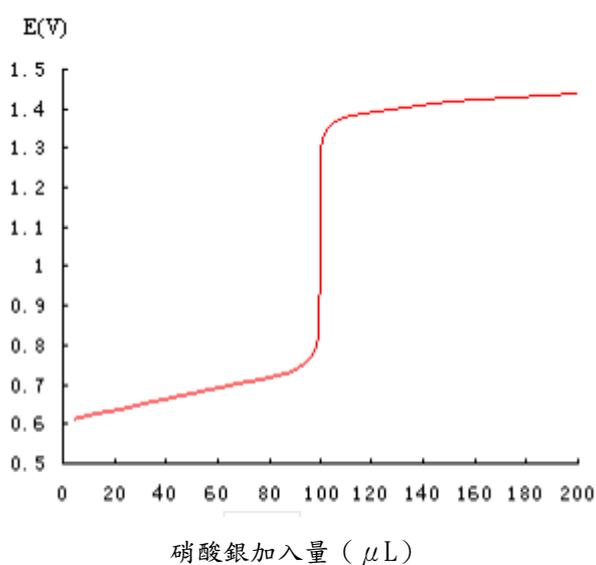


圖 4-9 滴定過程電位變化與硝酸銀加入量關係

(資料來源：本研究自行整理)

(B) 硬固混凝土氯離子含量 (酸溶法與水溶法)

濾液滴定後依下列式(4-6)與式(4-7)計算硬固混凝土氯離子含量

$$\text{試樣濾液中氯離子濃度 } P_{cl^-} = \frac{(A-B) \times N \times 3.545}{S} (\%) \quad (4-6)$$

$$\text{硬固混凝土氯離子含量 } C_c = P_{cl^-} \times D \times \frac{1}{100} (\text{kg/m}^3) \quad (4-7)$$

式中 S 為試樣體積 (g)；D 為混凝土烘乾密度或面乾內飽和密度 (kg/m^3)，報告須註明採用的密度。

若氯離子濃度較低，本計畫亦考量利用離子層析儀進行氯離子濃度量測工作，離子層析法使用物理吸附與沖提機制，較不受到干擾，且可量測至 ppb 級之濃度，因此本研究擬採用此法進行混凝土中氯離子的分析工作，但其缺點在於無法直接量測濃度高於 100 ppm 之樣品，以及受制於分離管柱使用次數與費用，因此單次試驗成本較高。

離子層析法主要參考規範為 CNS 14918，其原理是使待測溶液通過充填樹脂之分離管，離子與樹脂產生交換作用而吸附於樹脂交換基之上，此時加入流洗液沖提，使其脫離交換基，再度變成自由離子，再不斷重複此一吸附—沖提循環作用。由於溶液中離子電荷數，離子半徑及質量等因素，對樹脂之親和力會產生差異，親和力越大越容易吸附，且越難沖提，因此造成通過分離管所需之時間不同，並且各自形成離子群，此時再測量其溶液總導電率，並藉由軟體繪製時間與溶液總導電率之關係曲線，在藉由比對不同濃度標準溶液導電值所製成的檢量線，即可做材料加速劣化後化學成分的定性與定量分析，如圖 4-10 所示，為典型的離子層析試驗結果。本計畫所使用的離子層析儀為 Metrohm MIC 模組式系列之離子層析儀。設備可同時量測陰陽離子濃度，並可自動連續量測多管試樣。本套設備照片如圖 4-11 所示。

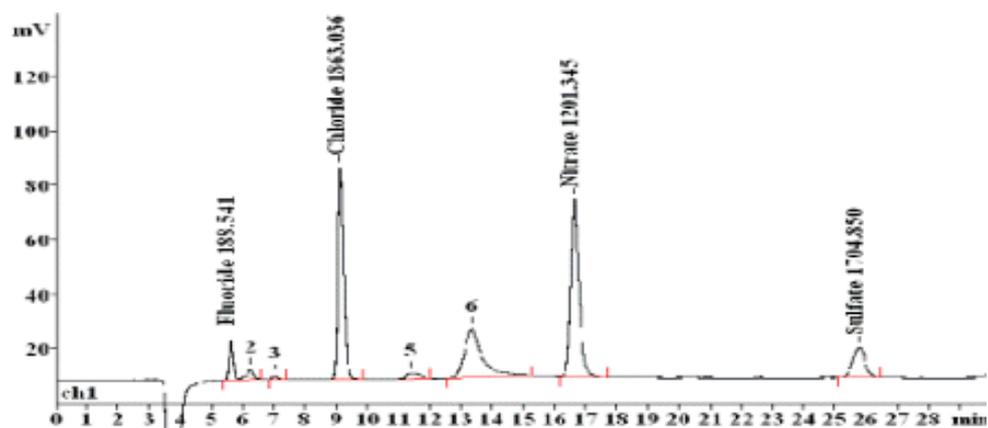


圖 4-10 典型的離子層析法試驗結果

(資料來源：本研究自行整理)



圖 4-11 Metrohm MIC 模組式離子層析儀

(資料來源：本研究自行整理)

第六節 結構單元取樣位置對硬固混凝土氯離子含量結果之影響

沿海結構單元的背海側與面海側，以及結構單元的鑽心取樣位置高度，對硬固混凝土氯離子含量結果均會產生影響。為探討上述影響與驗證實驗室釐定標準與實務現況差異度的比較，擬已於基隆沿海 10 公尺區域曝曬超過 6 年(如圖 4-12 所示)之大型梁試體進行試驗，其長期曝曬混凝土配比資料如表 4-11 所示，此試體為財團法人台灣營建院與本計畫協同主持人於國立台灣海洋大學濱海校區設置，並共同進行長期曝曬試驗研究。取樣位置分別為背海側與面海側，以及結構單元樑上部、中間、底部位置。其中上部為距梁頂位置 2.5cm 位置。中間為梁側邊中間處。底部為距梁底位置 2.5cm 位置。



圖 4-11 過去研究已有長期曝曬混凝土（於基隆沿海 10 公尺區域曝曬）

(資料來源：本研究自行整理)

表 4-11 過去研究已有長期曝曬混凝土配比資料

配比編號	水泥	水	粗粒料	細粒料	化學摻料
I-245	310	178	914	935	4.65
I-350	400	180	945	823	2.20

(資料來源：本研究自行整理)

9. 結構表面濃度與氯離子侵入深度關係探討

由於規範並未規定取樣深度，過去若懷疑建築物為海砂屋時，會在表面與混凝土深處各鑽心取樣進行氯離子含量試驗判斷是否為高氯離子含量。但部分結構單元，如橋梁或具防水層的樓板，可能無法允許於混凝土保護層深處取樣時，可能會發生混凝土表面區域濃度極高（5 mm 深度），但其深處與鋼筋接觸面並無氯離子而產生誤判情形。因此相關工作將蒐集過去已有各種配比貯鹽試驗資料與舊有鋼筋混凝土結構物鑽心取樣之氯離子資料進行分析探討。

分析方式為利用已有各種配比貯鹽試驗資料與舊有鋼筋混凝土結構物鑽心取樣之氯離子含量與深度資料進行分析。如下圖 4-12 為典型的氯離子含量與深度關係圖。

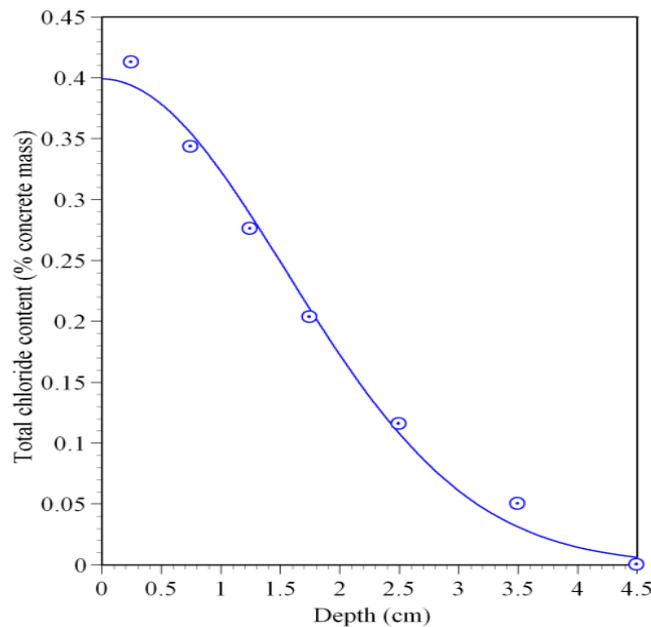


圖 4-12 氯離子含量與侵入深度關係示意圖

(資料來源：本研究自行整理)

由上述試驗資料預計可以得到三種數據可供分析，分別為混凝土表面氯離子濃度（ C_s ）、氯離子侵入深度（ X_p ）、與混凝土氯離子總量（ m ）。

混凝土表面氯離子濃度（ C_s ）為外界與混凝土試體接觸面（5 mm）的吸附

濃度。而氯離子侵入深度與混凝土氯離子總量係利用 Fick 第二定律計算氯離子於混凝土內的擴散係數 (diffusion coefficient) 計算來推估。由於氯離子利用濃度梯度差, 使氯離子侵入混凝土內部。因此試驗後混凝土內部所量測到的各深度氯離子含量變化, 可藉由 Fick 第二定律計算氯離子於混凝土內的擴散係數 (diffusion coefficient)。Fick 第二定律對單一方向的擴散行為可由下列方程式表示:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D_p \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \quad (4-8)$$

式中 D_p (m^2/sec) 為試驗計算擴散係數, C 為氯離子濃度, x 為擴散所到達距離 (m), t 為擴散所使用時間 (sec)。若假定擴散方程式是單一方向的擴散趨動方式, 利用一個半無限積分, 並設定 m 為總體氯離子擴散量; 擴散過程中沒有任何物質來提供擴散之來源, 在由邊界條件: $C_{(x=0, t>0)} = C_o$; 初始條件: $C_{(x>0, t=0)} = 0$; 無窮遠處條件: $C_{(x=\infty, t=0)} = 0$ 條件。與式(4-8)可求得下列方程式。

$$C = \frac{m}{\sqrt{\pi D_p T}} \exp\left(\frac{-x^2}{4D_p t}\right) \quad (4-9)$$

式中 m 為試體氯離子總量, 以下式 (4-9) 計算

$$m = \int_0^{\infty} C dx ; t \geq 0 \quad (4-10)$$

取樣位置與萃取方式對鋼筋混凝土氯離子含量與檢測方法影響之研究

將上述所有試驗結果進行回歸計算推估 C 趨近於 0 的深度 (即 X_p)，可推估不同劣化時間試體的 X_p 與試體氯離子總量 (m)。由此可建立表面濃度與氯離子總量關係圖。可以運用於沿海結構物硬固氯離子含量現場取樣判斷使用。

第五章 研究成果

本研究依據計畫規劃，進行各種取樣與材料變數的硬固氯離子試驗。除此之外為使試驗更完整亦進行新拌氯離子試驗與抗壓強度試驗。目前計畫執行進度良好，已完成各組配比新拌氯離子試驗與抗壓強度試驗，並已完成前述表 6-11 個變數與對應配比之硬固混凝土試驗工作。除此之外，並已完成結構單元取樣試體試驗工作。下述為其研究成果之分析與討論。

第一節 抗壓強度試驗結果

所有配比於拌合後均取 3 只試體進行 28 天抗壓強度試驗，以探討粗粒料量對混凝土強度的影響，與配比具有不同氯離子含量對抗壓強度的影響。表 5-1 至表 5-2 為 28 天養護完成後之混凝土配比抗壓強度試驗表。為方便工程實務使用，配比抗壓強度試驗值均以轉換成英制 psi。由表中可以發現，所有配比均可符合設計強度之需求。若比較氯離子對抗壓強度的影響，圖 5-1 為粒料體積量為 $0.35 \text{ m}^3/\text{m}^3$ 的試驗結果。由圖中可以發現在混凝土添加氯離子對抗壓強度的影響相當輕微，無論設計強度 5000 psi 或 3000 psi，其試驗值高低差異的最大值分別為 269 psi 與 46 psi，相差在 6% 之內。圖 5-2 為設計強度 5000 psi 不同粒料體積量配比各氯離子添加量與強度關係圖，圖 5-3 為設計強度 3000 psi。由圖中可以發現，各粒料體積量混凝土配比內添加氯離子量對抗壓強度的影響相當小，但不同粒料量對混凝土抗壓強度的影響較明顯。由圖中可以發現，無論設計強度 5000 psi 或 3000 psi，粒料體積量越高配比則抗壓強度亦越高。由此可發現本計畫混凝土配比的抗壓強度受到粒料體積量的影響遠大於混凝土內添加氯離子量。

表 5-1 各配比混凝土抗壓強度試驗表 (設計強度 5000 psi)

配比 編號	試體 1 (psi)	試體 2 (psi)	試體 3 (psi)	平均值	
				psi	kgf/cm ²
AH0	5961	5693	5532	5729	401
AH1	5853	5907	5761	5841	409
AH2	5838	5662	5639	5713	400
AH3	5785	5892	5808	5828	408
AH4	5968	5892	5670	5843	409
AH5	5670	5647	5808	5708	400
AM0	5165	5353	5307	5275	369
AM1	5371	5739	5402	5504	385
AM2	5333	5601	5280	5405	378
AM3	5394	5394	5547	5445	381
AM4	5547	5433	5479	5486	384
AM5	5501	5593	5517	5537	388
AM10	5624	5318	5318	5420	379
AL0	5150	5065	5188	5134	359
AL1	5150	5169	5102	5140	360
AL2	5180	5194	5191	5188	363
AL3	5195	5226	5119	5180	363
AL4	5035	5069	5234	5113	5113
AL5	5178	5134	5333	5215	5215

(資料來源：本研究自行整理)

表 5-2 各配比混凝土抗壓強度試驗表 (設計強度 3000 psi)

配比 編號	試體 1 (psi)	試體 2 (psi)	試體 3 (psi)	平均值	
				psi	kgf/cm ²
BH0	4523	4536	4530	4530	317
BH1	4598	4304	4803	4568	320
BH2	4331	4523	4441	4432	310
BH3	4475	4229	4448	4384	307
BH4	4345	4591	4489	4475	313
BH5	4236	4038	4305	4193	294
BM0	4100	3867	3970	3979	279
BM1	4017	3997	3887	3967	278
BM2	4181	3962	4106	4083	286
BM3	3956	3935	3990	3960	277
BM4	3785	4038	3744	3856	270
BM5	3799	3845	3869	3837	269
BM10	3778	3880	3908	3855	270
BL0	3764	3559	3416	3580	251
BL1	3880	3689	3880	3817	267
BL2	3689	3805	3901	3799	266
BL3	3553	3525	3806	3628	254
BL4	3628	3703	3764	3698	259
BL5	3649	3751	3716	3705	259

(資料來源：本研究自行整理)

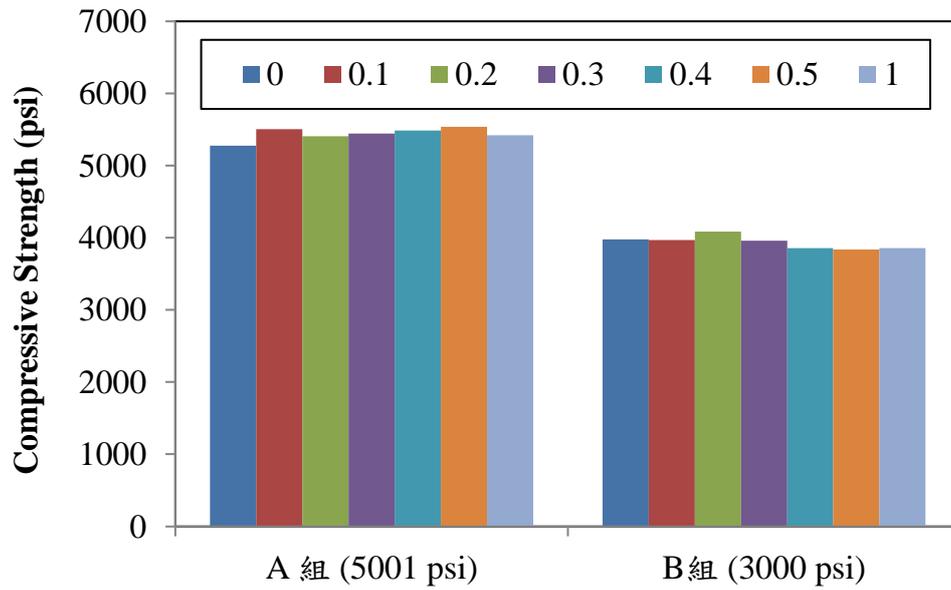


圖 5-1 粒料體積量為 $0.35 \text{ m}^3/\text{m}^3$ 各氯離子添加量與強度關係圖

(資料來源：本研究自行整理)

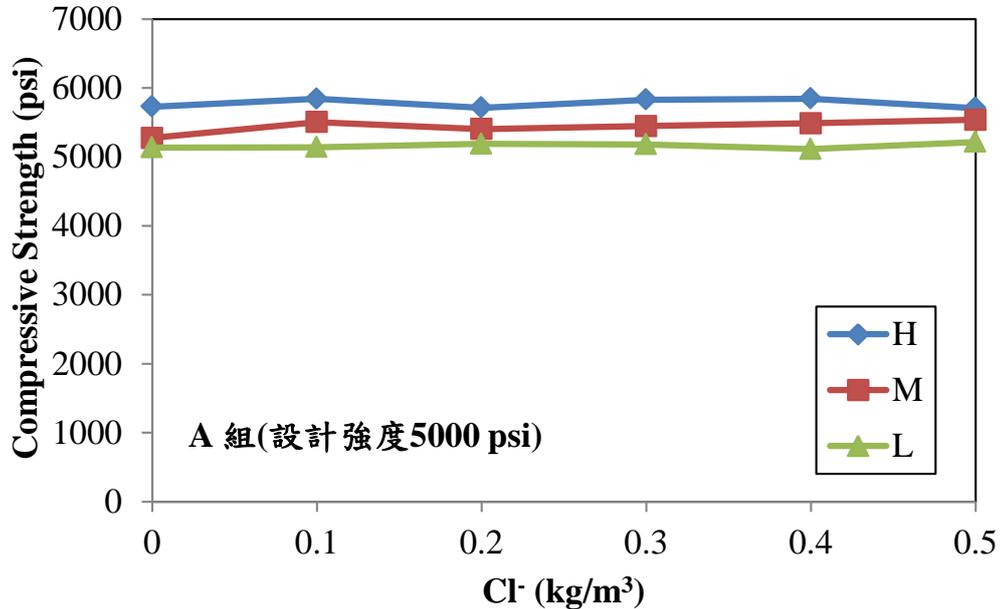


圖 5-2 不同粒料體積量配比各氯離子添加量與強度關係圖(設計強度 5000 psi)

(資料來源：本研究自行整理)

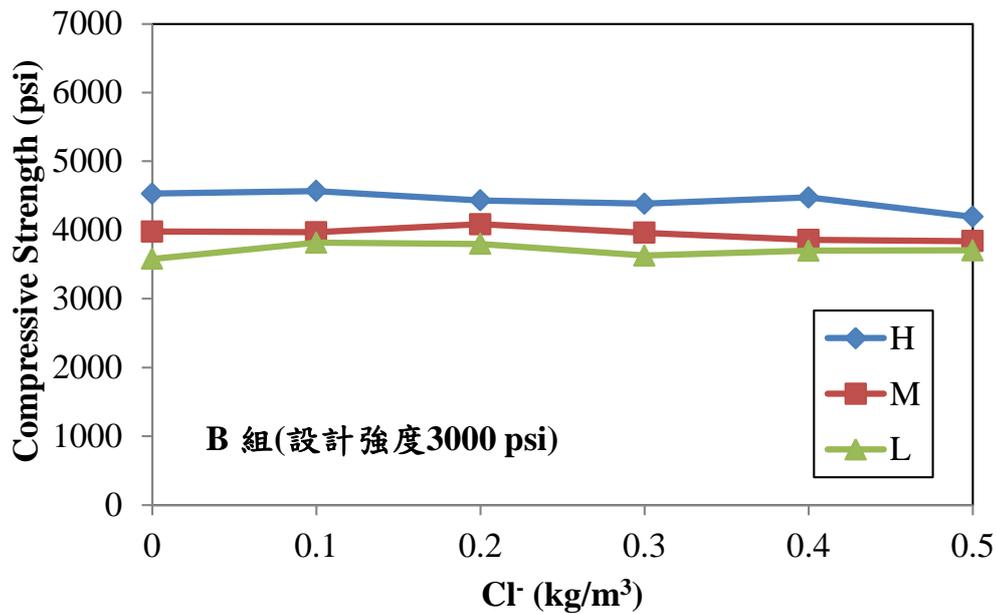


圖 5-3 不同粒料體積量配比各氯離子添加量與強度關係圖(設計強度 3000 psi)
(資料來源：本研究自行整理)

第二節 混凝土新拌氯離子含量試驗結果

所有配比於拌合過程均會抽取表面浮水，並依 CNS 13465 標準進行硝酸銀電位滴定，以求取其新拌氯離子含量。表 5-3 與表 5-4 為各組配比試驗結果。表中為進行 3 個試樣後的試驗結果。並將百分濃度平均值依各配比用水量換算新拌混凝土氯離子含量。所換算之混凝土含量代表每立方公尺混凝土中之含量。由結果可以發現無論何種設計強度與粒料體積量，即使未添加氯離子的配比，仍會於新拌混凝土檢測到氯離子的存在，但其量極小，推估為拌合時使用自來水中所含的氯鹽，水泥生產過程內部所含的氯鹽所造成。因此若將未添加氯離子的配比視為各變數組合的控制組，將各組新拌混凝土試驗結果扣除控制組氯離子，則可反應於拌合時外加的不同氯離子量對新拌混凝土的影響。圖 5-4 與圖 5-5 為各配比新拌氯離子含量試驗結果扣除控制組氯離子背景值與拌合時外加的氯離子量關係圖。由圖中可以發現新拌氯離子試驗結果會隨著拌合時添加的氯離子量增加而上升。且兩者之間呈現良好的線性關係。

表 5-3 各配比混凝土新拌氯離子含量試驗值 (設計強度 5000 psi)

配比編號	試樣 1 (%)	試樣 2 (%)	試樣 3 (%)	氯離子含量 平均值 (%)	換算後 混凝土含量 (kg/m ³)
AH0	0.0177	0.0177	0.0177	0.0177	0.0298
AH1	0.0440	0.0457	0.0412	0.0436	0.0733
AH2	0.0741	0.0751	0.0736	0.0743	0.1249
AH3	0.0995	0.0991	0.0981	0.0989	0.1663
AH4	0.1352	0.1335	0.1346	0.1344	0.2261
AH5	0.1581	0.1618	0.1601	0.1600	0.2691
AM0	0.0107	0.0110	0.0105	0.0108	0.0181
AM1	0.0457	0.0446	0.0450	0.0451	0.0758
AM2	0.0760	0.0753	0.0781	0.0765	0.1286
AM3	0.1202	0.1247	0.1247	0.1232	0.2072
AM4	0.1717	0.1685	0.1685	0.1695	0.2852
AM5	0.2148	0.2184	0.2271	0.2201	0.3702
AM10	0.4260	0.4260	0.4259	0.4260	0.7165
AL0	0.0158	0.0153	0.0154	0.0155	0.0260
AL1	0.0549	0.0549	0.0548	0.0548	0.0923
AL2	0.0883	0.0885	0.0881	0.0883	0.1485
AL3	0.1422	0.1395	0.1414	0.1411	0.2373
AL4	0.1999	0.2034	0.2036	0.2023	0.3403
AL5	0.2471	0.2476	0.2470	0.2472	0.4158

(資料來源：本研究自行整理)

表 5-4 各配比混凝土新拌氯離子含量試驗值 (設計強度 3000 psi)

配比編號	試樣 1 (%)	試樣 2 (%)	試樣 3 (%)	氯離子含量 平均值 (%)	換算後 混凝土含量 (kg/m ³)
BH0	0.0092	0.0092	0.0092	0.0092	0.0154
BH1	0.0361	0.0361	0.0361	0.0361	0.0608
BH2	0.0903	0.0905	0.0862	0.0890	0.1499
BH3	0.1172	0.1143	0.1195	0.1170	0.1971
BH4	0.1493	0.1536	0.1556	0.1529	0.2576
BH5	0.1955	0.1957	0.1907	0.1939	0.3268
BM0	0.0108	0.0108	0.0108	0.0108	0.0182
BM1	0.0625	0.0642	0.0594	0.0620	0.1045
BM2	0.1169	0.1205	0.1192	0.1189	0.2003
BM3	0.1868	0.1891	0.1906	0.1888	0.3182
BM4	0.2754	0.2572	0.2622	0.2649	0.4464
BM5	0.3161	0.2978	0.3161	0.3100	0.5223
BM10	0.6695	0.6511	0.6094	0.6434	1.0840
BL0	0.0187	0.0191	0.0186	0.0188	0.0317
BL1	0.0746	0.0747	0.0763	0.0752	0.1267
BL2	0.1352	0.1368	0.1401	0.1373	0.2314
BL3	0.1991	0.2075	0.2114	0.2060	0.3471
BL4	0.2933	0.2896	0.2896	0.2909	0.4901
BL5	0.3132	0.3344	0.3253	0.3243	0.5465

(資料來源：本研究自行整理)

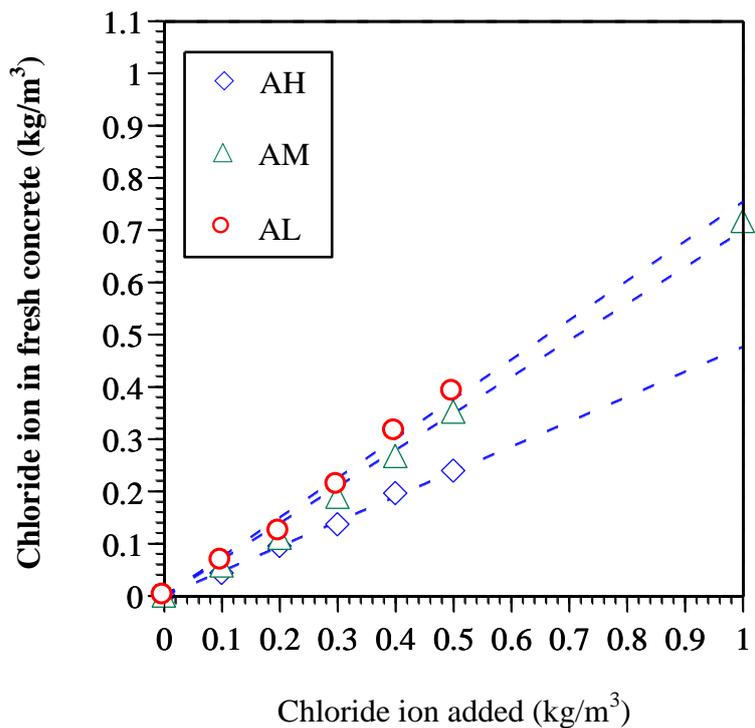


圖 5-4 新拌混凝土氯離子量與添加量關係圖 (設計強度 5000 psi)

(資料來源：本研究自行整理)

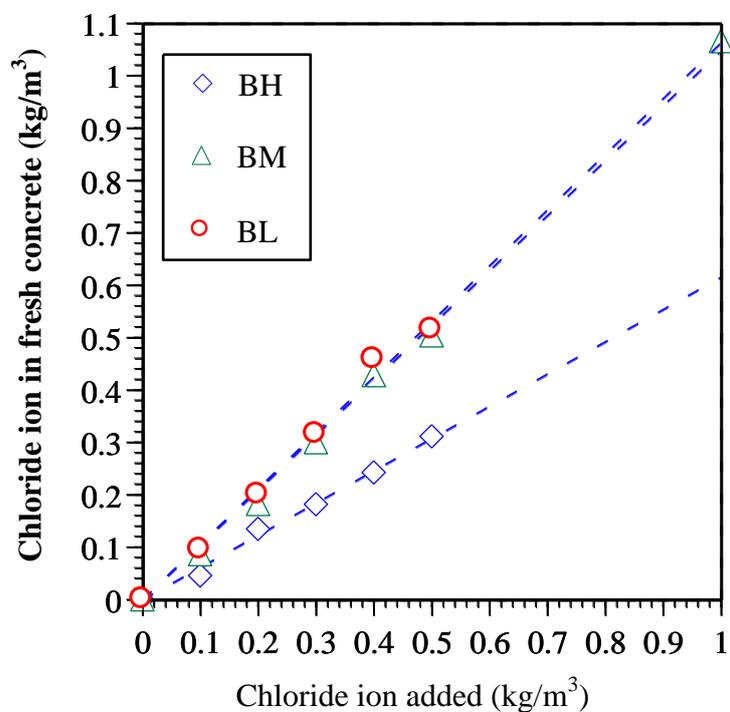


圖 5-5 新拌混凝土氯離子量與添加量關係圖 (設計強度 3000 psi)

(資料來源：本研究自行整理)

由圖 5-4 可以發現各配比新拌氯離子含量試驗結果小於拌合時外加的氯離子量。而圖 5-5 設計強度 3000 psi 的混凝土配比其新拌氯離子含量試驗結果，除了高粒料體積量的 BH 系列配比外，其餘配比略高於拌合時外加的氯離子量。將圖中各組粒料體積量配比兩者之線性關係迴歸方程式列於表 5-5，並將其線性關係迴歸方程式斜率，即新拌氯離子含量試驗結果除以外加氯離子量之比值與不同粒料體積量關係繪製成圖 5-6。

表 5-5 新拌混凝土氯離子試驗結果與拌合時外加氯離子量線性關係迴歸方程式

配比系列	線性關係迴歸方程式	相關係數 R ²
AH	Y=0.477X	0.998
AM	Y=0.700X	0.998
AL	Y=0.755X	0.991
BH	Y=0.616X	0.995
BM	Y=1.048X	0.998
BL	Y=1.063X	0.992

(資料來源：本研究自行整理)

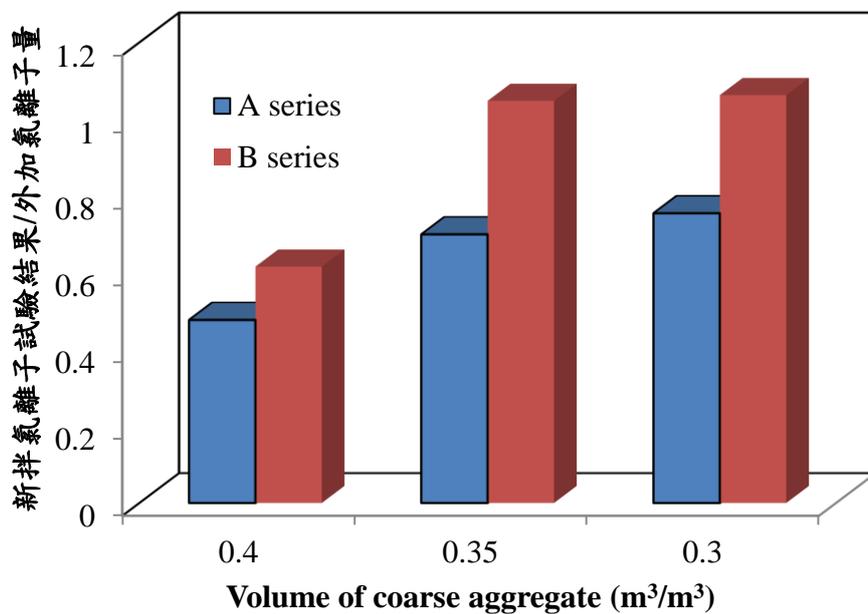


圖 5-6 線性關係迴歸方程式斜率與不同粒料體積量關係圖

(資料來源：本研究自行整理)

由圖 5-6 可以發現設計強度 5000 psi 配比所有新拌氯離子含量試驗結果除以外加氯離子量之比值均低於 1，與圖 5-4 趨勢相同，表示新拌氯離子含量試驗結果均小於拌合時外加的氯離子量。當比較粒料用量時，無論何種粒料用量，5000 psi 配比所有比值均遠小於 3000 psi。當比較粒料體積量時，所有配比均隨著粒料體積量減少，線性斜率有增加趨勢。但粗粒料體積 $0.35 \text{ m}^3/\text{m}^3$ 與 $0.30 \text{ m}^3/\text{m}^3$ 兩者間新拌氯離子含量試驗結果除以外加氯離子量之比值差異並不大。由此可以發現設計強度變數對新拌混凝土氯離子試驗結果的影響大於粗粒料體積用量。由於設計強度 5000 psi 水泥用量為 $354 \text{ kg}/\text{m}^3$ ，而 3000 psi 水泥用量為 $293 \text{ kg}/\text{m}^3$ ，兩者相差 $61 \text{ kg}/\text{m}^3$ ，因此推估有可能因為水泥或細粒料固化了部分外加的氯離子量。

第三節 硬固混凝土酸溶法氯離子含量試驗結果

硬固混凝土酸溶法氯離子方面，本研究以 CNS 14702 (與 ASTM C1152 方法相同) 進行試驗。共進行設計強度 5000 psi 的 A 組系列配比酸溶法各項變數試驗，包含 AH、AL、與 AM 組配比大面積旋轉磨粉機磨粉取樣與直徑 10 cm、高度 1.2 cm 試體粉碎試驗過程。以及 B 組配比直徑 10 cm、高度 1.2 cm 試體粉碎試驗過程。在直徑 5 cm 高度 5 cm、直徑 2.5 cm 高度 2.5 cm、直徑 1 cm 高度 1.2 cm 鑽心試體試驗方面以粗粒料體積 $0.35 \text{ m}^3/\text{m}^3$ 的 AM 組系列配比進行。普通震動電鑽磨粉取樣試驗方面以 3 cm 直徑鑽頭鑽取 1 mm、2 mm、3 mm、4 mm 深度的粉樣進行試驗，同樣的亦以 AM 組配比進行。

表 5-6 與表 5-7 分別為高轉速旋轉全斷面磨粉機磨粉取樣與直徑 10 cm、高度 1.2 cm 試體粉碎酸溶法試驗結果。表 5-8 為 B 組配比酸溶法氯離子濃度試驗結果。表 5-9 為直徑 5 cm 高度 5 cm 鑽心取樣試體試驗結果。表 5-10 為直徑 2.5 cm 高度 2.5 cm 鑽心取樣試體試驗結果。表 5-11 為直徑 1 cm 高度 1 cm 鑽心取樣試體試驗結果。表 5-12 至表 5-15 為 3 cm 直徑鑽頭鑽取 1 mm、2 mm、3 mm、4 mm 深度粉樣的酸溶法試驗結果。表中為進行 3 個試體樣本取樣後的試驗結果。並將百分濃度平均值依各配比單位重換算新拌混凝土氯離子含量。所換算之混凝土含量代表每立方公尺混凝土中之含量。由結果可以發現無論何種設計強度與粒料體積量，即使未添加氯離子的配比，仍會於硬固混凝土檢測到氯離子的存在，因此推估亦為拌合時使用自來水中所含的氯鹽，水泥生產過程所含的氯鹽所造成。

由於係採酸溶法試驗，所以混凝土內部總氯離子均會被萃取出來，因此其控制組硬固混凝土氯離子背景值會大於新拌混凝土試驗結果。

表 5-6 A 組配比混凝土硬固氯離子含量 CNS 酸溶法試驗值(大面積磨粉機磨粉取樣)

配比 編號	試樣 1 (%)	試樣 2 (%)	試樣 3 (%)	試樣 1 (kg/m ³)	試樣 2 (kg/m ³)	試樣 3 (kg/m ³)	平均值 (kg/m ³)
AH0	0.005007	0.005240	0.005928	0.115725	0.121115	0.136999	0.124613
AH1	0.009202	0.010522	0.009179	0.212679	0.243175	0.212132	0.222662
AH2	0.014058	0.014003	0.014016	0.324902	0.323626	0.323914	0.324147
AH3	0.018035	0.018037	0.017904	0.416806	0.416852	0.413768	0.415809
AH4	0.022401	0.022462	0.021969	0.517687	0.519097	0.507711	0.514832
AH5	0.026521	0.026784	0.026805	0.612900	0.618987	0.619450	0.617113
AM0	0.005334	0.006793	0.006056	0.123210	0.156910	0.139881	0.140000
AM1	0.010123	0.009926	0.010135	0.233823	0.229274	0.234094	0.232397
AM2	0.014793	0.014079	0.014588	0.341680	0.325194	0.336940	0.334605
AM3	0.018793	0.019001	0.018763	0.434065	0.438867	0.433386	0.435439
AM4	0.023130	0.023458	0.023228	0.534236	0.541818	0.536504	0.537519
AM5	0.027929	0.027057	0.027920	0.645059	0.624931	0.644864	0.638285
AM10	0.048582	0.048363	0.048951	1.121957	1.116905	1.130477	1.123113
AL0	0.005962	0.006162	0.005053	0.137631	0.142251	0.116637	0.132173
AL1	0.010594	0.009502	0.009764	0.244549	0.219354	0.225396	0.229767
AL2	0.013839	0.014764	0.014216	0.319459	0.340809	0.328159	0.329476
AL3	0.018481	0.018946	0.018484	0.426607	0.437350	0.426681	0.430213
AL4	0.023848	0.022603	0.022185	0.550501	0.521769	0.512107	0.528126
AL5	0.027481	0.027034	0.027484	0.634345	0.624032	0.634418	0.630932

(資料來源：本研究自行整理)

表 5-7 A 組配比混凝土硬固氯離子含量 CNS 酸溶法試驗值 (ϕ 10 cm、高度 1.2 cm 試體粉碎取樣)

配比 編號	試樣 1 (%)	試樣 2 (%)	試樣 3 (%)	試樣 1 (kg/m ³)	試樣 2 (kg/m ³)	試樣 3 (kg/m ³)	平均值 (kg/m ³)
AH0	0.005229	0.005005	0.005073	0.120853	0.115674	0.117241	0.117923
AH1	0.009427	0.009000	0.009418	0.217880	0.208011	0.217653	0.214515
AH2	0.013789	0.013639	0.013738	0.318674	0.315204	0.317500	0.317126
AH3	0.017725	0.017666	0.017955	0.409628	0.408278	0.414940	0.410948
AH4	0.021266	0.021700	0.021945	0.491474	0.501500	0.507161	0.500045
AH5	0.026713	0.026111	0.026293	0.617343	0.603412	0.607630	0.609462
AM0	0.005894	0.006325	0.006751	0.136151	0.146097	0.155945	0.146064
AM1	0.010188	0.010753	0.010929	0.235331	0.248381	0.252435	0.245382
AM2	0.015629	0.014650	0.014266	0.360989	0.338374	0.329502	0.342955
AM3	0.018457	0.019743	0.019165	0.426303	0.456010	0.442665	0.441659
AM4	0.023130	0.023758	0.023709	0.534236	0.548747	0.547611	0.543532
AM5	0.027871	0.027872	0.027637	0.643716	0.643751	0.638326	0.641931
AM10	0.048542	0.048960	0.050136	1.121033	1.130677	1.157852	1.136521
AL0	0.007405	0.007696	0.007352	0.170934	0.177652	0.169716	0.172767
AL1	0.011371	0.011797	0.011342	0.262500	0.272336	0.261826	0.265554
AL2	0.016177	0.015673	0.015638	0.373438	0.361799	0.360994	0.365410
AL3	0.020133	0.020440	0.020711	0.464747	0.471845	0.478091	0.471561
AL4	0.024110	0.025087	0.024792	0.556556	0.579100	0.572279	0.569312
AL5	0.028722	0.029538	0.028394	0.662990	0.681835	0.655423	0.666750

(資料來源：本研究自行整理)

表 5-8 B 組配比混凝土硬固氯離子含量 CNS 酸溶法試驗值 ($\phi 10$ cm、高度 1.2 cm 試體粉碎取樣)

配比 編號	試樣 1 (%)	試樣 2 (%)	試樣 3 (%)	試樣 1 (kg/m ³)	試樣 2 (kg/m ³)	試樣 3 (kg/m ³)	平均值 (kg/m ³)
BH0	0.00219	0.00221	0.00259	0.050333	0.050821	0.059590	0.053582
BH1	0.00556	0.00617	0.00560	0.127938	0.141926	0.128680	0.132848
BH2	0.00959	0.01023	0.00986	0.220463	0.235177	0.226734	0.227458
BH3	0.01422	0.01347	0.01526	0.327032	0.309847	0.350906	0.329262
BH4	0.01693	0.01790	0.01902	0.389279	0.411549	0.437299	0.412709
BH5	0.02300	0.02393	0.02487	0.528776	0.550306	0.571984	0.550355
BM0	0.00230	0.00255	0.00221	0.052975	0.058679	0.050893	0.054182
BM1	0.00581	0.00591	0.00608	0.133487	0.135719	0.139788	0.136332
BM2	0.00922	0.00907	0.00893	0.211870	0.208538	0.205251	0.208553
BM3	0.01386	0.01286	0.01331	0.318528	0.295610	0.305775	0.306638
BM4	0.01872	0.01912	0.02025	0.430280	0.439512	0.465481	0.445091
BM5	0.02469	0.02135	0.02221	0.567517	0.490667	0.510338	0.522840
BM10	0.04455	0.04378	0.04410	1.023660	1.006015	1.013243	1.014306
BL0	0.00230	0.00246	0.00249	0.052938	0.056616	0.057277	0.055610
BL1	0.00700	0.00768	0.00689	0.160838	0.176315	0.158283	0.165145
BL2	0.01107	0.01226	0.01098	0.254171	0.281505	0.252152	0.262609
BL3	0.01347	0.01487	0.01455	0.309417	0.341457	0.334161	0.328345
BL4	0.01974	0.01949	0.02040	0.453403	0.447758	0.468587	0.456583
BL5	0.02306	0.02327	0.02393	0.529582	0.534456	0.549542	0.537860

(資料來源：本研究自行整理)

取樣位置與萃取方式對鋼筋混凝土氯離子含量與檢測方法影響之研究

表 5-9 混凝土硬固氯離子含量 CNS 酸溶法試驗值 (ϕ 5 cm 高度 5 cm 鑽心試體
粉碎取樣)

配比 編號	試樣 1 (%)	試樣 2 (%)	試樣 3 (%)	試樣 1 (kg/m ³)	試樣 2 (kg/m ³)	試樣 3 (kg/m ³)	平均值 (kg/m ³)
AM0	0.007344	0.007303	0.008215	0.169631	0.168692	0.189744	0.176022
AM1	0.011981	0.010668	0.010506	0.276747	0.246412	0.242669	0.255276
AM2	0.017028	0.014964	0.015831	0.393302	0.345623	0.365656	0.368194
AM3	0.019011	0.019424	0.021312	0.439112	0.448650	0.492257	0.460006
AM4	0.025019	0.024781	0.023721	0.577853	0.572363	0.547877	0.566031
AM5	0.028179	0.029049	0.028603	0.650838	0.670934	0.660642	0.660805
AM10	0.046462	0.046319	0.047292	1.072984	1.069703	1.092160	1.078282

(資料來源：本研究自行整理)

表 5-10 混凝土硬固氯離子含量 CNS 酸溶法試驗值 (ϕ 2.5 cm 高度 2.5 cm 鑽心
試體粉碎取樣)

配比 編號	試樣 1 (%)	試樣 2 (%)	試樣 3 (%)	試樣 1 (kg/m ³)	試樣 2 (kg/m ³)	試樣 3 (kg/m ³)	平均值 (kg/m ³)
AM0	0.003820	0.006853	0.005773	0.088233	0.158293	0.133337	0.126621
AM1	0.010712	0.007995	0.011845	0.247419	0.184671	0.273605	0.235232
AM2	0.010787	0.013646	0.014878	0.249147	0.315194	0.343648	0.302663
AM3	0.018053	0.015725	0.017554	0.416975	0.363211	0.405459	0.395215
AM4	0.021626	0.017347	0.024000	0.499506	0.400664	0.554327	0.484832
AM5	0.023653	0.021737	0.026823	0.546315	0.502055	0.619520	0.555963
AM10	0.035692	0.044314	0.041168	0.824261	1.023393	0.950744	0.932799

(資料來源：本研究自行整理)

表 5-11 混凝土硬固氯離子含量 CNS 酸溶法試驗值(φ 1cm 鑽頭鑽取 1cm 深度)

配比 編號	試樣 1 (%)	試樣 2 (%)	試樣 3 (%)	試樣 1 (kg/m ³)	試樣 2 (kg/m ³)	試樣 3 (kg/m ³)	平均值 (kg/m ³)
AM0	0.013427	0.006412	0.009073	0.310132	0.148117	0.209570	0.222606
AM1	0.013021	0.011510	0.012239	0.300756	0.265853	0.282685	0.283098
AM2	0.016204	0.013842	0.015604	0.374267	0.319717	0.360407	0.351464
AM3	0.024593	0.016807	0.022934	0.568026	0.388195	0.529717	0.495313
AM4	0.021354	0.022417	0.021251	0.493202	0.517758	0.490828	0.500596
AM5	0.028668	0.029686	0.030341	0.662137	0.685652	0.700779	0.682856
AM10	0.040465	0.040803	0.050170	0.934501	0.942309	1.158635	1.011815

(資料來源：本研究自行整理)

表 5-12 混凝土硬固氯離子含量 CNS 酸溶法試驗值(φ 2.5cm 鑽頭鑽取 1cm 深度)

配比 編號	試樣 1 (%)	試樣 2 (%)	試樣 3 (%)	試樣 1 (kg/m ³)	試樣 2 (kg/m ³)	試樣 3 (kg/m ³)	平均值 (kg/m ³)
AM0	0.004311	0.005246	0.002180	0.099588	0.121172	0.050350	0.090370
AM1	0.008407	0.008068	0.007504	0.194180	0.186345	0.173331	0.184619
AM2	0.009344	0.010205	0.009769	0.215831	0.235720	0.225632	0.225727
AM3	0.012690	0.012527	0.012696	0.293106	0.289348	0.293245	0.291900
AM4	0.016587	0.016918	0.017300	0.383114	0.390746	0.399575	0.391145
AM5	0.018315	0.022526	0.021887	0.423005	0.520271	0.505513	0.482930
AM10	0.041860	0.040631	0.034176	0.966708	0.938331	0.789266	0.898101

(資料來源：本研究自行整理)

表 5-13 混凝土硬固氯離子含量 CNS 酸溶法試驗值(ϕ 2.5cm 鑽頭鑽取 2cm 深度)

配比 編號	試樣 1 (%)	試樣 2 (%)	試樣 3 (%)	試樣 1 (kg/m ³)	試樣 2 (kg/m ³)	試樣 3 (kg/m ³)	平均值 (kg/m ³)
AM0	0.007693	0.002668	0.005560	0.177701	0.061635	0.128424	0.122587
AM1	0.007690	0.008361	0.007251	0.131640	0.193132	0.167486	0.164086
AM2	0.008289	0.011651	0.009399	0.191454	0.269115	0.217106	0.225892
AM3	0.013018	0.012635	0.013694	0.300671	0.291844	0.316300	0.302938
AM4	0.017990	0.016464	0.018298	0.415522	0.380275	0.422635	0.406144
AM5	0.021588	0.020722	0.020803	0.498599	0.478611	0.480475	0.485895
AM10	0.046460	0.047940	0.045513	0.980687	1.107133	1.051084	1.046301

(資料來源：本研究自行整理)

表 5-14 混凝土硬固氯離子含量 CNS 酸溶法試驗值(ϕ 2.5cm 鑽頭鑽取 3cm 深度)

配比 編號	試樣 1 (%)	試樣 2 (%)	試樣 3 (%)	試樣 1 (kg/m ³)	試樣 2 (kg/m ³)	試樣 3 (kg/m ³)	平均值 (kg/m ³)
AM0	0.006278	0.006763	0.007020	0.145022	0.156212	0.162146	0.154460
AM1	0.010458	0.011690	0.009900	0.241561	0.270013	0.228669	0.246748
AM2	0.013198	0.014522	0.013880	0.304847	0.335415	0.320585	0.320282
AM3	0.017295	0.018487	0.019225	0.399463	0.426994	0.444035	0.423497
AM4	0.021825	0.022525	0.023598	0.504102	0.520251	0.545046	0.523133
AM5	0.025250	0.022660	0.026443	0.583195	0.613370	0.610753	0.602439
AM10	0.050038	0.048110	0.048056	1.155589	1.111062	1.109798	1.125483

(資料來源：本研究自行整理)

表 5-15 混凝土硬固氯離子含量 CNS 酸溶法試驗值 (ϕ 2.5 cm 鑽頭鑽取 4 cm 深度)

配比 編號	試樣 1 (%)	試樣 2 (%)	試樣 3 (%)	試樣 1 (kg/m ³)	試樣 2 (kg/m ³)	試樣 3 (kg/m ³)	平均值 (kg/m ³)
AM0	0.006464	0.006136	0.006142	0.149297	0.141740	0.141879	0.144305
AM1	0.010852	0.010141	0.009869	0.250649	0.234235	0.227964	0.237616
AM2	0.014041	0.013810	0.013100	0.324306	0.318974	0.302568	0.315283
AM3	0.019517	0.018642	0.017812	0.450784	0.430581	0.388311	0.423225
AM4	0.022544	0.022138	0.021416	0.520700	0.511311	0.494641	0.508884
AM5	0.027544	0.027222	0.026949	0.636183	0.628732	0.622427	0.629114
AM10	0.048175	0.043609	0.047703	1.112544	1.007108	1.101656	1.073769

(資料來源：本研究自行整理)

若將未添加氯離子的配比視為各變數組合的控制組，將各組硬固混凝土試驗結果扣除控制組氯離子背景值，則可反應於拌合時外加的不同氯離子量對硬固混凝土的影響。圖 5-7 為 A 組配比较高轉速旋轉磨粉機磨粉取樣試驗結果平均值與拌合時外加的氯離子量關係圖；圖 5-8 為 A 組配比直徑 10 cm、高度 1.2 cm 試體粉碎試驗結果。由圖中可以發現兩者可以呈現良好的線性關係，且硬固混凝土氯離子試驗結果接近拌合時外加的氯離子量。圖 5-9 為 B 組配比氯離子試驗結果，其硬固混凝土氯離子試驗結果趨勢與圖 5-8 相同。圖 5-10 為鑽心取樣試驗結果；圖 5-11 為普通震動電鑽磨粉取樣試驗結果。由圖中可以發現兩者可以呈現良好的線性關係，硬固混凝土氯離子酸溶法試驗結果小於拌合時外加的氯離子量，且隨著普通震動電鑽鑽入深度越淺更有氯離子酸溶法試驗結果小於拌合時外加的氯離子量的情形產生，其中以直徑 1 cm 鑽頭鑽取 1cm 深度差異最大。

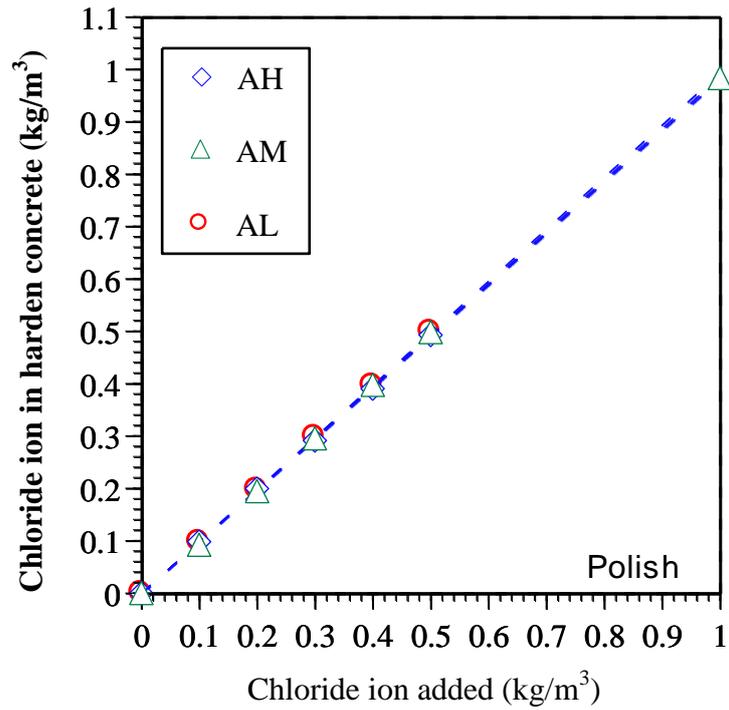


圖 5-7 A 組配比硬固混凝土酸溶法氯離子量與添加量關係圖(大面積磨粉取樣)

(資料來源：本研究自行整理)

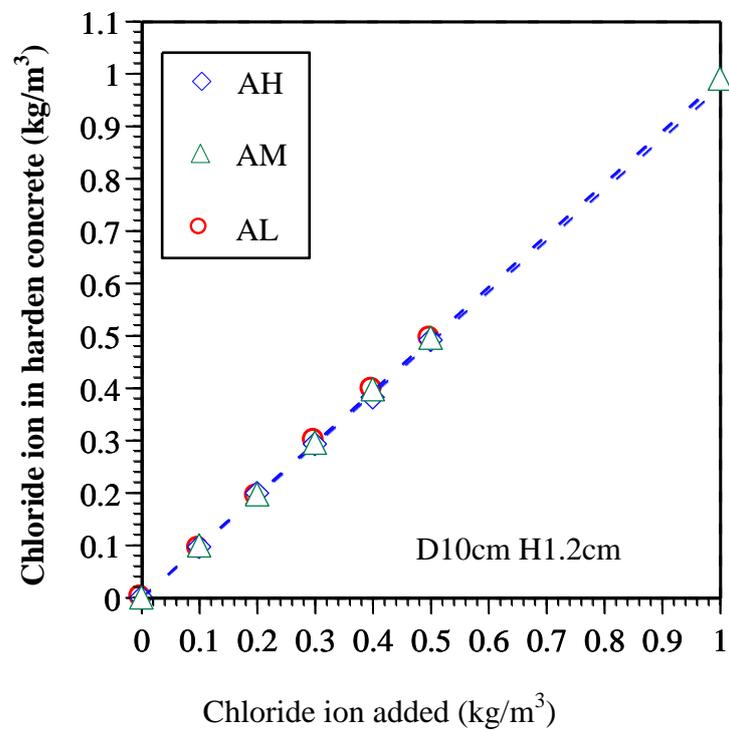


圖 5-8 A 組配比硬固混凝土酸溶法氯離子量與添加量關係圖 (D10cm H1cm 試體粉碎取樣)

(資料來源：本研究自行整理)

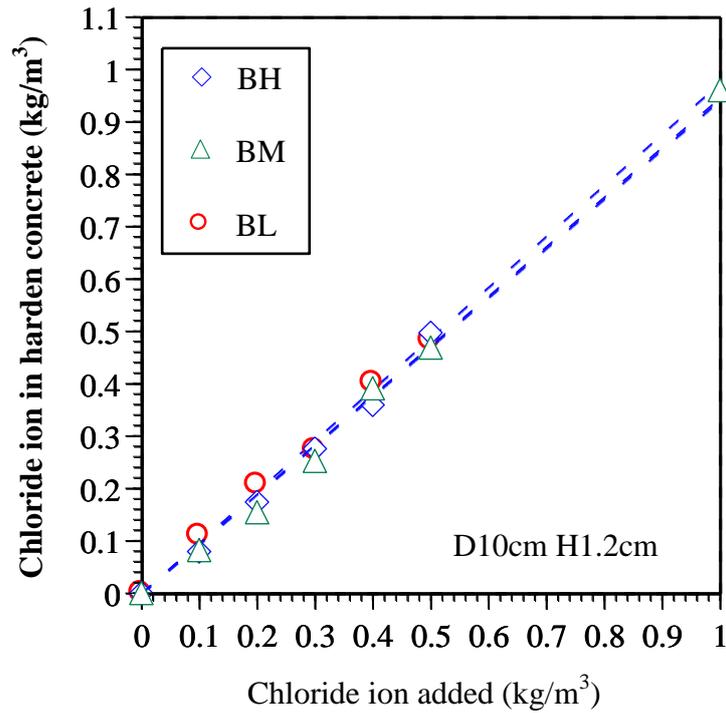


圖 5-8 B 組配比硬固混凝土酸溶法氯離子量與添加量關係圖 (D10cm H1cm 試體粉碎取樣)

(資料來源：本研究自行整理)

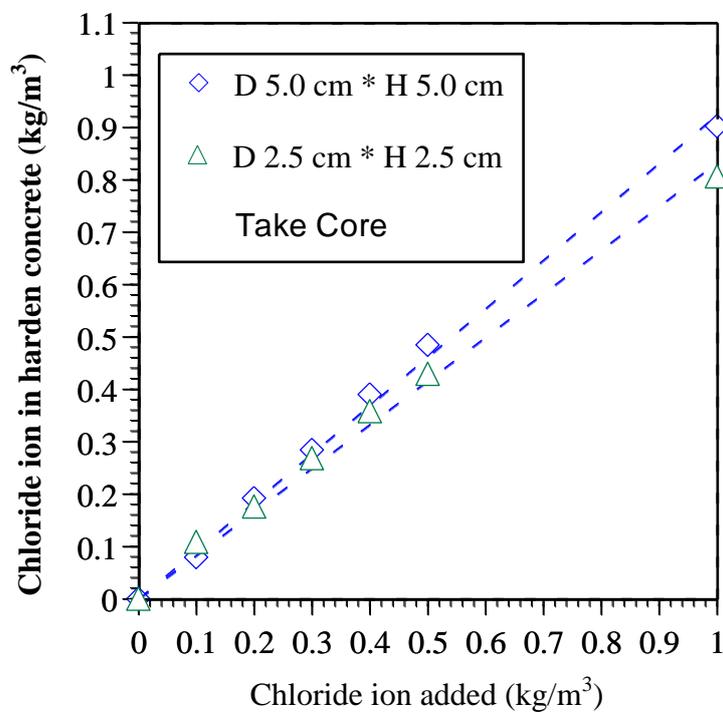


圖 5-10 AM 組配比硬固混凝土酸溶法氯離子量與添加量關係圖 (鑽心取樣)

(資料來源：本研究自行整理)

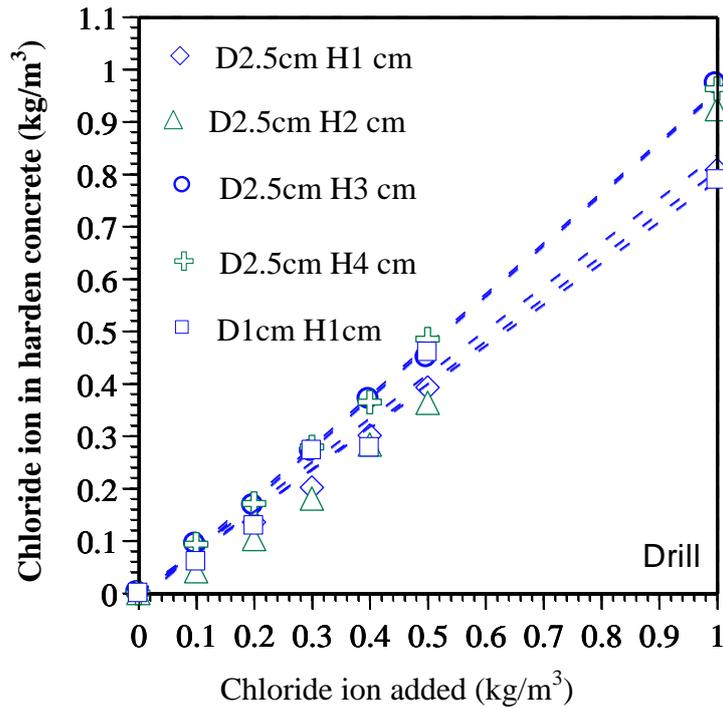


圖 5-11 AM 組配比硬固混凝土酸溶法氯離子量與添加量關係圖 (震動電鑽取樣)
(資料來源：本研究自行整理)

表 5-16 為圖 5-7 至圖 5-11 中各組線性關係的迴歸方程式，並將其線性關係迴歸方程式斜率即硬固氯離子含量試驗結果除以外加氯離子量之比值與不同粒料體積量關係繪製成圖 5-12 至圖 5-15。圖 5-12 為 A 組配比高轉速旋轉磨粉機磨粉取樣、直徑 10 cm、高度 1.2 cm 試體粉碎、與新拌混凝土試驗結果比值比較圖。由圖可以發現在酸溶法硬固混凝土氯離子方面這兩種方法均可確實反應拌合時外加的氯離子量，所以其斜率接近 1，而且並不會受到粗粒料體積量的影響，若與新拌混凝土試驗結果斜率相比較，其硬固混凝土酸溶法斜率遠高於新拌混凝土的 0.7，表示硬固混凝土酸溶法的試驗結果較貼近外加氯離子量，由此可說明酸溶法萃取過程可將拌合時被水泥漿體吸收的氯離子萃取出來。

表 5-16 硬固混凝土酸溶法氯離子試驗與拌合時外加氯離子量線性關係迴歸方程式與相關係數

取樣方式	配比系列	線性關係迴歸方程式	相關係數 R^2
高轉速旋轉磨粉機大面積磨粉取樣	AH	$Y=0.981X$	0.999
	AM	$Y=0.986X$	0.999
	AL	$Y=0.993X$	0.999
直徑 10 cm、高度 1.2 cm 試體 粉碎取樣	AH	$Y=0.975X$	0.998
	AM	$Y=0.991X$	0.999
	AL	$Y=0.987X$	0.999
	BH	$Y=0.941X$	0.994
	BM	$Y=0.946X$	0.997
	BL	$Y=0.974X$	0.995
直徑 5 cm 高度 5 cm 鑽心試體 粉碎取樣	AM	$Y=0.924X$	0.997
直徑 2.5 cm 高度 2.5 cm 鑽心 試體粉碎取樣	AM	$Y=0.833X$	0.997
直徑 1 cm 高度 1.2 cm 鑽頭電 鑽磨粉取樣	AM	$Y=0.803X$	0.983
直徑 2.5 cm 高度 1.2 cm 鑽頭 電鑽磨粉取樣	AM	$Y=0.788X$	0.995
直徑 2.5 cm 高度 2 cm 鑽頭電 鑽磨粉取樣	AM	$Y=0.837X$	0.982
直徑 2.5 cm 高度 3 cm 鑽頭電 鑽磨粉取樣	AM	$Y=0.972X$	0.998
直徑 2.5 cm 高度 4cm 鑽頭電 鑽磨粉取樣	AM	$Y=0.969X$	0.999

(資料來源：本研究自行整理)

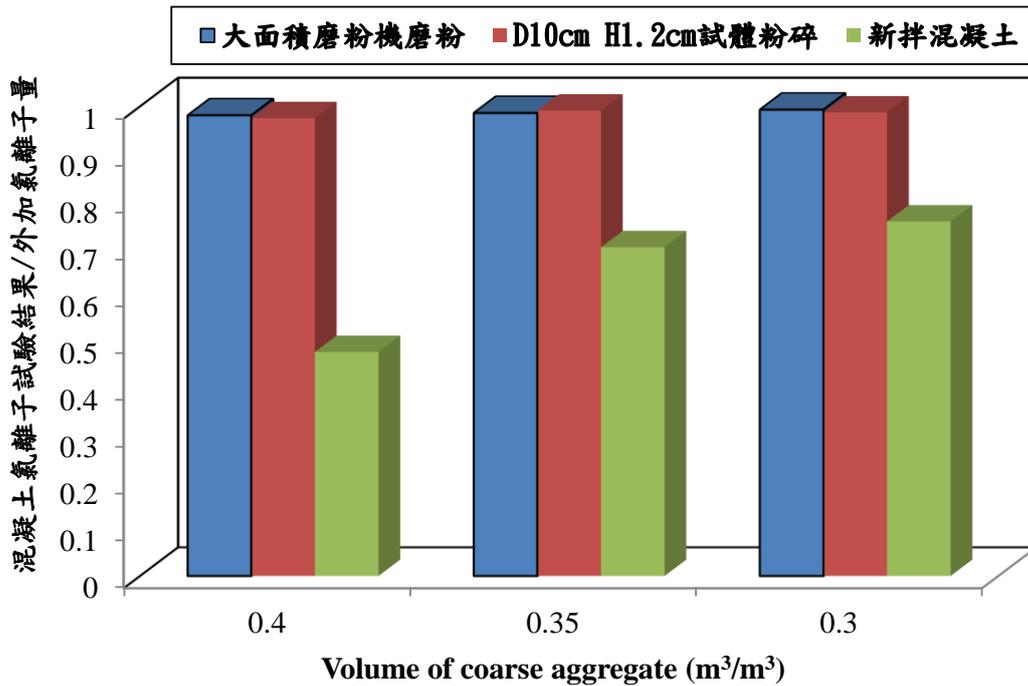


圖 5-12 A 組配比混凝土氯離子試驗值除以外加氯離子量比值與不同粒料體積量關係圖（大面積磨粉取樣、D10 cm H1.2 cm 試體粉碎取樣、與新拌混凝土試驗結果比較，設計強度 5000 psi）

(資料來源：本研究自行整理)

圖 5-13 是取樣相同方式 B 組配比與 A 組配比的比較圖。由圖中可以發現，B 組配比硬固混凝土酸溶法與新拌混凝土的斜率比值均略小於 A 組配比。圖 5-14 採鑽心方式的 AM 組配比與新拌混凝土試驗結果比值比較圖；圖 5-15 為採普通震動電鑽磨粉方式的 AM 組配比與新拌混凝土試驗結果比值比較圖。由圖 5-14 中可以發現只有直徑 5 cm 高度 5 cm 鑽心試體的酸溶法硬固混凝土氯離子斜率 0.924 接近於 1，圖 5-15 的普通震動電鑽磨粉方式的直徑 2.5 cm 深度 3 cm 以上的酸溶法硬固混凝土氯離子斜率大於 0.95。其餘取樣方式斜率均低於 0.9，但其硬固混凝土酸溶法斜率仍高於新拌混凝土的 0.7，相關原因將於後續試驗精密度分析中加以探討。

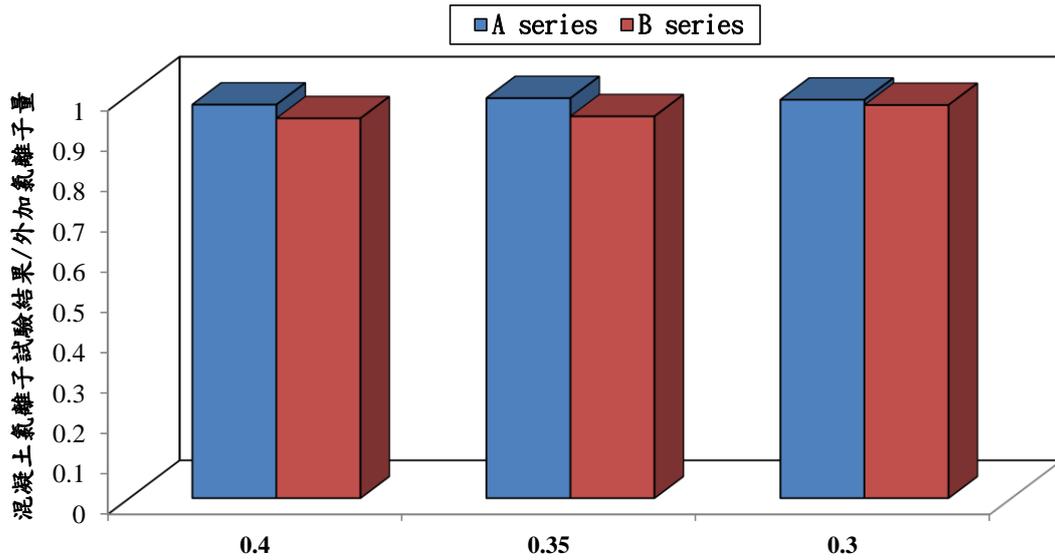


圖 5-13 A、B 組配比混凝土氯離子試驗值除以外加氯離子量比值關係圖 (D10 cm H1.2 cm 試體粉碎取樣)

(資料來源：本研究自行整理)

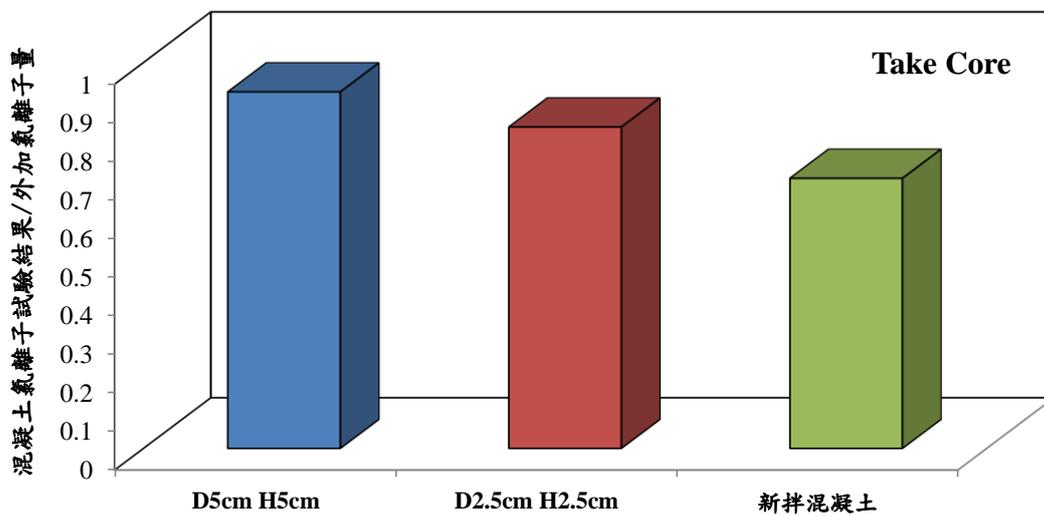


圖 5-14 AM 組配比混凝土氯離子試驗值除以外加氯離子量比值與不同取樣方式關係圖 (鑽心試體粉碎取樣與新拌混凝土試驗結果比較)

(資料來源：本研究自行整理)

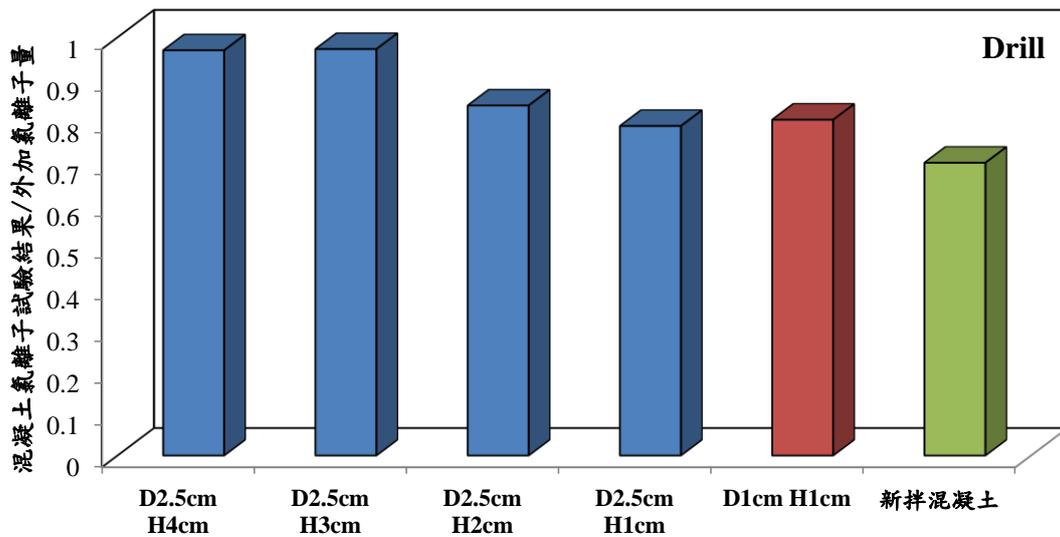


圖 5-15 AM 組配比混凝土氯離子試驗值除以外加氯離子量比值與不同取樣方式關係圖(鑽心試體粉碎取樣、普通電鑽磨粉取樣、與新拌混凝土試驗結果比較)
(資料來源：本研究自行整理)

第四節 硬固混凝土水溶法氯離子含量試驗結果

一般而言，水溶法所得到的硬固混凝土氯離子含量被視為對鋼筋腐蝕較具影響性的自由氯離子量。本研究將 A 組與 B 組配比中直徑 10 cm、高度 1.2 cm 試體粉碎取樣進行水溶法硬固混凝土氯離子含量分析。另外 AM 組配比普通震動電鑽磨粉取樣亦進行相關分析工作。相關水溶法硬固混凝土氯離子含量分析亦以 CNS 14703 (同 ASTM C1218) 標準方法進行。

表 5-17 為 A 組配比中直徑 10 cm、高度 1.2 cm 試體粉碎取樣進行水溶法硬固混凝土氯離子含量分析試驗結果。表 5-18 為 B 組配比試驗結果。表 5-19 至表 5-22 為 AM 組配比普通震動電鑽磨粉各種取樣變數水溶法硬固混凝土氯離子含量分析試驗結果。

若將未添加氯離子的配比視為各變數組合的控制組，將各組硬固混凝土水溶法試驗結果扣除控制組氯離子背景值，則可反應於拌合時外加的不同氯離子量對硬固混凝土的影響。圖 5-16 為 A 組配比水溶法硬固混凝土氯離子含量試驗結果平均值與外加氯離子量關係圖。圖 5-17 為 B 組配比關係圖。圖 5-18 為 AM 組普通震動電鑽磨粉試驗結果。由圖中可以發現與酸溶法相同趨勢，試驗結果會隨著

外加氯離子量增加呈現線性增加的趨勢，且試驗結果約只有外加氯離子量 50% 之趨勢。

表 5-17 A 組配比混凝土硬固氯離子含量 CNS 水溶法試驗值 (ϕ 10 cm、高度 1.2 cm 試體粉碎取樣)

配比 編號	試樣 1 (%)	試樣 2 (%)	試樣 3 (%)	試樣 1 (kg/m ³)	試樣 2 (kg/m ³)	試樣 3 (kg/m ³)	平均值 (kg/m ³)
AH0	0.00296	0.00226	0.00334	0.068410	0.052201	0.077115	0.065909
AH1	0.00425	0.00417	0.00469	0.098126	0.096470	0.108293	0.100963
AH2	0.00634	0.00667	0.00624	0.146523	0.154122	0.144283	0.148309
AH3	0.00824	0.00876	0.00784	0.190533	0.202408	0.181229	0.191390
AH4	0.00921	0.00980	0.00982	0.212762	0.226510	0.226923	0.222065
AH5	0.00990	0.00914	0.01077	0.228875	0.211188	0.248968	0.229677
AM0	0.00288	0.00298	0.00291	0.066489	0.068885	0.067184	0.067519
AM1	0.00371	0.00351	0.00357	0.085702	0.081060	0.082362	0.083041
AM2	0.00463	0.00509	0.00509	0.107045	0.117544	0.117549	0.114046
AM3	0.00856	0.00815	0.00830	0.197719	0.188165	0.191733	0.192539
AM4	0.01013	0.01049	0.01026	0.234015	0.242317	0.236975	0.237769
AM5	0.01428	0.01273	0.01337	0.329831	0.294009	0.308875	0.310905
AM10	0.02631	0.02437	0.02709	0.607491	0.562746	0.625677	0.598638
AL0	0.00243	0.00226	0.00280	0.056009	0.052172	0.064720	0.057634
AL1	0.00411	0.00363	0.00365	0.094973	0.083885	0.084250	0.087703
AL2	0.00575	0.00594	0.00569	0.132651	0.137090	0.131341	0.133694
AL3	0.00887	0.00741	0.00782	0.204698	0.171016	0.180607	0.185440
AL4	0.01134	0.01258	0.01212	0.261879	0.290385	0.279726	0.277330
AL5	0.01646	0.01687	0.01732	0.379914	0.389413	0.399711	0.389679

(資料來源：本研究自行整理)

表 5-18 B 組配比混凝土硬固氯離子含量 CNS 水溶法試驗值 (ϕ 10 cm、高度 1.2 cm 試體粉碎取樣)

配比 編號	試樣 1 (%)	試樣 2 (%)	試樣 3 (%)	試樣 1 (kg/m ³)	試樣 2 (kg/m ³)	試樣 3 (kg/m ³)	平均值 (kg/m ³)
BH0	0.00213	0.00187	0.00200	0.048902	0.043004	0.045950	0.045952
BH1	0.00270	0.00279	0.00292	0.062082	0.064150	0.067059	0.064431
BH2	0.00543	0.00593	0.00546	0.124927	0.136367	0.125529	0.128941
BH3	0.00774	0.00756	0.00803	0.177887	0.173852	0.184752	0.178830
BH4	0.01129	0.01049	0.01133	0.259498	0.241282	0.260565	0.253782
BH5	0.01430	0.01548	0.01563	0.328767	0.355946	0.359325	0.348013
BM0	0.00029	0.00031	0.00031	0.006585	0.007126	0.007101	0.006937
BM1	0.00282	0.00289	0.00177	0.064714	0.066463	0.040787	0.057321
BM2	0.00551	0.00473	0.00516	0.126552	0.108762	0.118603	0.117972
BM3	0.00858	0.00762	0.00788	0.197236	0.175037	0.181168	0.184480
BM4	0.01045	0.01145	0.01162	0.240094	0.263205	0.267026	0.256775
BM5	0.01465	0.01311	0.01359	0.336601	0.301320	0.312349	0.316757
BM10	0.02871	0.02673	0.02752	0.659809	0.614127	0.632342	0.635426
BL0	0.00298	0.00331	0.00244	0.068414	0.076049	0.056046	0.066836
BL1	0.00407	0.00369	0.00383	0.093462	0.084800	0.087972	0.088745
BL2	0.00690	0.00724	0.00656	0.158484	0.166265	0.150586	0.158445
BL3	0.00828	0.00933	0.00892	0.190125	0.214207	0.204770	0.203034
BL4	0.01169	0.01193	0.01221	0.268503	0.273978	0.280483	0.274321
BL5	0.01465	0.01452	0.01483	0.336534	0.333545	0.340589	0.336889

(資料來源：本研究自行整理)

表 5-19 混凝土硬固氯離子含量 CNS 水溶法試驗值(ϕ 2.5cm 鑽頭鑽取 1cm 深度)

配比 編號	試樣 1 (%)	試樣 2 (%)	試樣 3 (%)	試樣 1 (kg/m ³)	試樣 2 (kg/m ³)	試樣 3 (kg/m ³)	平均值 (kg/m ³)
AM0	0.00210	0.00262	0.00176	0.048506	0.060436	0.040652	0.049865
AM1	0.00370	0.00321	0.00295	0.085453	0.074256	0.068099	0.075936
AM2	0.00433	0.00474	0.00499	0.100013	0.109398	0.115307	0.108239
AM3	0.00691	0.00623	0.00753	0.159717	0.143803	0.173939	0.159153
AM4	0.00858	0.00882	0.00923	0.198276	0.203607	0.213198	0.205027
AM5	0.01150	0.01084	0.01141	0.265721	0.250261	0.263508	0.259830
AM10	0.02527	0.02541	0.02441	0.583545	0.586771	0.563708	0.578008

(資料來源：本研究自行整理)

表 5-20 混凝土硬固氯離子含量 CNS 水溶法試驗值(ϕ 2.5cm 鑽頭鑽取 2cm 深度)

配比 編號	試樣 1 (%)	試樣 2 (%)	試樣 3 (%)	試樣 1 (kg/m ³)	試樣 2 (kg/m ³)	試樣 3 (kg/m ³)	平均值 (kg/m ³)
AM0	0.00196	0.00170	0.00229	0.045273	0.039164	0.052799	0.045745
AM1	0.00306	0.00289	0.00352	0.070742	0.066819	0.081305	0.072955
AM2	0.00488	0.00506	0.00487	0.112716	0.116903	0.112468	0.114029
AM3	0.00625	0.00698	0.00584	0.144358	0.161243	0.134907	0.146836
AM4	0.00917	0.00839	0.00869	0.211729	0.193831	0.200630	0.202063
AM5	0.01211	0.01068	0.01125	0.279788	0.246606	0.259898	0.262097
AM10	0.02729	0.02970	0.02613	0.630260	0.685888	0.603525	0.639891

(資料來源：本研究自行整理)

表 5-21 混凝土硬固氯離子含量 CNS 水溶法試驗值(ϕ 2.5cm 鑽頭鑽取 3cm 深度)

配比 編號	試樣 1 (%)	試樣 2 (%)	試樣 3 (%)	試樣 1 (kg/m ³)	試樣 2 (kg/m ³)	試樣 3 (kg/m ³)	平均值 (kg/m ³)
AM0	0.00324	0.00246	0.00244	0.074937	0.056730	0.056295	0.062654
AM1	0.00361	0.00369	0.00362	0.083384	0.085227	0.083593	0.084068
AM2	0.00502	0.00512	0.00464	0.115874	0.118236	0.107175	0.113762
AM3	0.00636	0.00703	0.00677	0.146977	0.162300	0.156447	0.155242
AM4	0.00838	0.00897	0.00863	0.193468	0.207270	0.199215	0.199984
AM5	0.01171	0.01209	0.01079	0.270420	0.279214	0.249325	0.266319
AM10	0.02670	0.02730	0.02677	0.616672	0.630419	0.618131	0.621741

(資料來源：本研究自行整理)

表 5-22 混凝土硬固氯離子含量 CNS 水溶法試驗值(ϕ 2.5cm 鑽頭鑽取 4cm 深度)

配比 編號	試樣 1 (%)	試樣 2 (%)	試樣 3 (%)	試樣 1 (kg/m ³)	試樣 2 (kg/m ³)	試樣 3 (kg/m ³)	平均值 (kg/m ³)
AM0	0.00247	0.00192	0.00177	0.057006	0.044414	0.040905	0.047441
AM1	0.00327	0.00342	0.00291	0.075421	0.079014	0.067246	0.073894
AM2	0.00408	0.00436	0.00470	0.094262	0.100596	0.108620	0.101159
AM3	0.00715	0.00702	0.00660	0.165069	0.162053	0.152392	0.159838
AM4	0.00832	0.00804	0.00873	0.192064	0.185609	0.201548	0.193074
AM5	0.01269	0.01153	0.01265	0.293133	0.266356	0.292072	0.283854
AM10	0.02475	0.02468	0.02420	0.571562	0.569923	0.558869	0.566785

(資料來源：本研究自行整理)

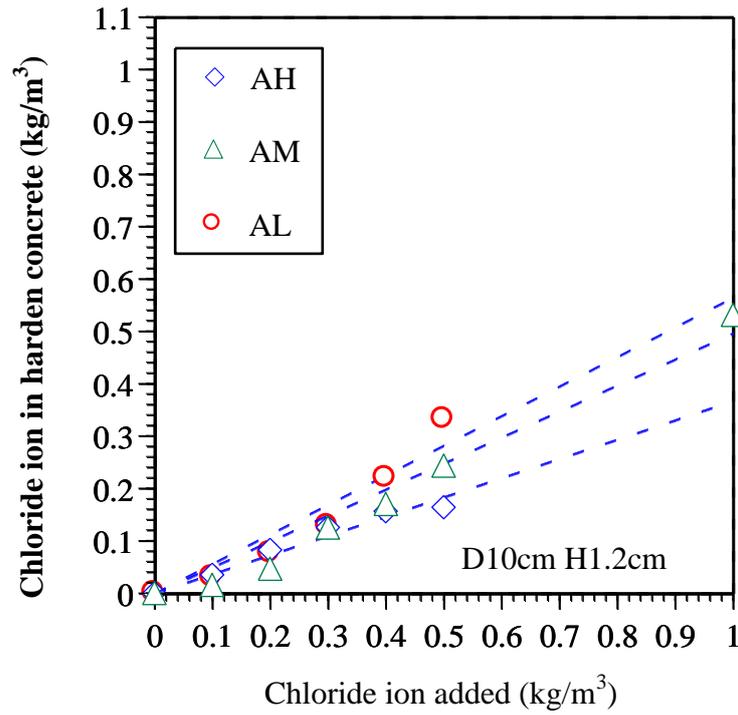


圖 5-16 A 組配比硬固混凝土水溶法氯離子量與添加量關係圖 (D10cm H1cm 試體粉碎取樣)

(資料來源：本研究自行整理)

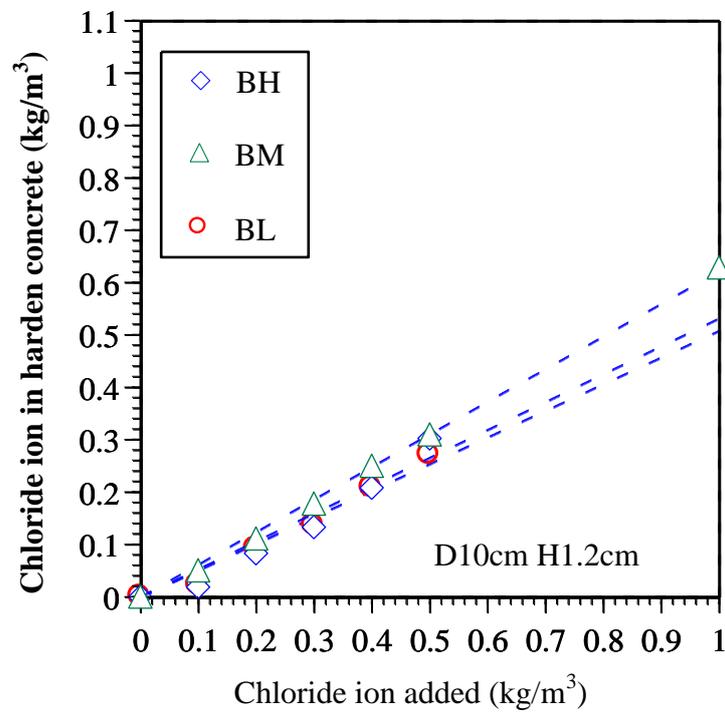


圖 5-17 B 組配比硬固混凝土水溶法氯離子量與添加量關係圖 (D10cm H1.2cm 試體粉碎取樣)

(資料來源：本研究自行整理)

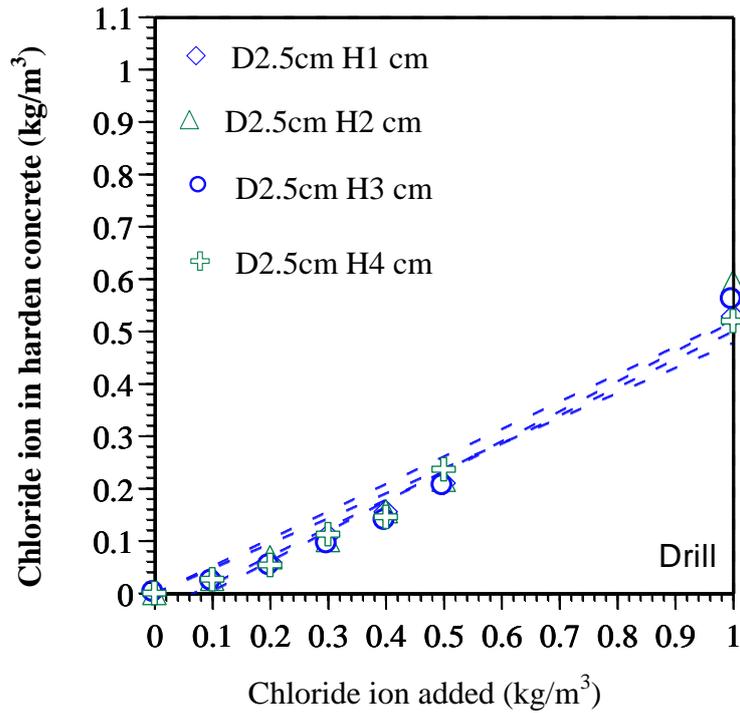


圖 5-18 AM 組配比硬固混凝土水溶法氯離子量與添加量關係圖(震動電鑽取樣)
(資料來源：本研究自行整理)

將上述圖 5-16 至圖 5-18 中各組線性關係的迴歸方程式整理如表 5-23，由表中各線性關係迴歸方程式斜率可以發現最低為 AH 組配比的 0.367，最高為 BM 組配比的 0.622，所有試驗組的斜率平均值約為 0.520，表示硬固混凝土水溶法氯離子試驗結果約只有反應外加氯離子添加量的 52%。與前述由圖 5-16 至圖 5-18 所發現的趨勢相同。

表 5-23 硬固混凝土水溶法氯離子試驗與拌合時外加氯離子量線性關係迴歸方程式與相關係數

取樣方式	配比系列	線性關係迴歸方程式	相關係數 R^2
直徑 10 cm、高度 1.2 cm 試體 粉碎取樣	AH	$Y=0.367X$	0.968
	AM	$Y=0.496X$	0.988
	AL	$Y=0.565X$	0.945
	BH	$Y=0.532X$	0.966
	BM	$Y=0.622X$	0.992
	BL	$Y=0.508X$	0.985
直徑 2.5 cm 高度 1 cm 鑽頭電 鑽磨粉取樣	AM	$Y=0.479X$	0.981
直徑 2.5 cm 高度 2 cm 鑽頭電 鑽磨粉取樣	AM	$Y=0.524X$	0.968
直徑 2.5 cm 高度 3 cm 鑽頭電 鑽磨粉取樣	AM	$Y=0.572X$	0.965
直徑 2.5 cm 高度 4cm 鑽頭電 鑽磨粉取樣	AM	$Y=0.536X$	0.983

(資料來源：本研究自行整理)

第五節 試驗結果精密度分析

在 CNS 14702 硬固混凝土氯離子含量酸溶法對試驗精密度於相關條文 9.1.1 節與 9.1.2 節有相關規定。其 9.1.1 節規定為「單一實驗室之標準差經統計分析為 0.0015% 氯離子，因此於同一實驗室對相同材料所做兩次正確操作試驗結果之差不得大於 0.0042%」。9.1.2 節規定為「多個實驗室之標準差經統計分析為 0.0021%，因此，於兩個不同實驗室對相同材料所做兩次正確操作試驗結果之差不得大於 0.0042%」。此 2 小節文字由 ASTM C1152 翻譯而來，於該標準的 10.1.1 節與 10.1.2

節。10.1.1 節原文為「The single-laboratory standard deviation has been found to be 0.0013 % chloride. Therefore, results of two properly conducted tests in the same laboratory on the same material should not differ by more than 0.0042 %。」10.1.2 節全文為「The multilaboratory standard deviation has been found to be 0.0021 % chloride. Therefore, results of two properly conducted tests from two different laboratories on samples of the same material should not differ by more than 0.0106 %。」若依此說明可能會使實驗室操作人員有語意的誤解。

在 CNS 14703 硬固混凝土氯離子含量水溶法對試驗精密度於相關條文 9.1.1 節與 9.1.2 節有相關規定。其 9.1.1 節規定為「單一實驗室試驗結果之標準差為 0.0013% 時，則兩組在同一實驗室對相同材料試樣正確操作下的試驗結果相差不應超過 0.0037%」。而 9.1.2 節規定為「多個實驗室試驗結果之標準差為 0.0037% 時，則兩組在同一實驗室對相同材料試樣正確操作下的試驗結果相差不應超過 0.0106%」。此段文字亦很有可能使實驗室操作人員有語意的誤解。但 ASTM C1218 10.1.1 節原文卻有較精準的解釋，其敘述為「The single-laboratory standard deviation has been found to be 0.0013 % chloride by mass of mortar or concrete. Therefore, results of two properly conducted tests in the same laboratory on the same material are not expected to differ by more than 0.0037 %。」10.1.2 節全文為「The multilaboratory standard deviation has been found to be 0.0037 % chloride by mass of mortar or concrete. Therefore, results of two properly conducted tests from two different laboratories on samples of the same material are not expected to differ by more than 0.0106 %。」

由上述就可以明確知道標準差的單位就是混凝土中氯離子重量百分濃度。而且兩個 ASTM 標準均有說明此數值可以為 ASTM C670 標準中所稱之 1s 及 2s 值。ASTM C670 在我國對應的標準為 CNS 14704。

本次硬固混凝土氯離子酸溶法試驗目前結果是以相同材料三個試樣來進行，因此依 CNS 14704 規定用以計算平均值之三個個別測定值之最大允收全距為 1s（即標準差 0.0015%）的相乘係數 5.7，因此三組在同一實驗室對相同材料試樣正確操作下試驗結果的最大允收全距不應超過 0.00855% 氯離子百分濃度。表 5-12 至表 5-16 係將表 5-6 至 5-15 試驗結果計算其標準差，與全距值（最大與最小值之相差值）。

表 5-24 A 組配比混凝土硬固氯離子含量 CNS 酸溶法試驗精密度分析（大面積磨粉機磨粉取樣）

配比編號	試樣 1 (%)	試樣 2 (%)	試樣 3 (%)	試驗結果標準差 (STD%)	試驗值計算全距值 (%)	精密度判斷
AH0	0.005007	0.00524	0.005928	0.00048	0.00092	符合要求
AH1	0.009202	0.010522	0.009179	0.00077	0.00134	符合要求
AH2	0.014058	0.014003	0.014016	0.00003	0.00005	符合要求
AH3	0.018035	0.018037	0.017904	0.00008	0.00013	符合要求
AH4	0.022401	0.022462	0.021969	0.00027	0.00049	符合要求
AH5	0.026521	0.026784	0.026805	0.00016	0.00028	符合要求
AM0	0.005334	0.006793	0.006056	0.00073	0.00146	符合要求
AM1	0.010123	0.009926	0.010135	0.00012	0.00021	符合要求
AM2	0.014793	0.014079	0.014588	0.00037	0.00071	符合要求
AM3	0.018793	0.019001	0.018763	0.00013	0.00024	符合要求
AM4	0.02313	0.023458	0.023228	0.00017	0.00033	符合要求
AM5	0.027929	0.027057	0.02792	0.00050	0.00087	符合要求
AM10	0.048582	0.048363	0.048951	0.00030	0.00059	符合要求
AL0	0.005962	0.006162	0.005053	0.00059	0.00111	符合要求
AL1	0.010594	0.009502	0.009764	0.00057	0.00109	符合要求
AL2	0.013839	0.014764	0.014216	0.00047	0.00092	符合要求
AL3	0.018481	0.018946	0.018484	0.00027	0.00047	符合要求
AL4	0.023848	0.022603	0.022185	0.00087	0.00166	符合要求
AL5	0.027481	0.027034	0.027484	0.00026	0.00045	符合要求

(資料來源：本研究自行整理)

表 5-25 A 組配比混凝土硬固氯離子含量 CNS 酸溶法試驗精密度分析(φ 10 cm、高度 1.2 cm 試體粉碎取樣)

配比 編號	試樣 1 (%)	試樣 2 (%)	試樣 3 (%)	試驗結果 標準差 (%)	試驗值計算 全距值 (%)	精密度 判斷
AH0	0.005229	0.005005	0.005073	0.00011	0.00022	符合要求
AH1	0.009427	0.009000	0.009418	0.00024	0.00043	符合要求
AH2	0.013789	0.013639	0.013738	0.00008	0.00015	符合要求
AH3	0.017725	0.017666	0.017955	0.00015	0.00029	符合要求
AH4	0.021266	0.021700	0.021945	0.00034	0.00068	符合要求
AH5	0.026713	0.026111	0.026293	0.00031	0.00060	符合要求
AM0	0.005894	0.006325	0.006751	0.00043	0.00086	符合要求
AM1	0.010188	0.010753	0.010929	0.00039	0.00074	符合要求
AM2	0.015629	0.014650	0.014266	0.00070	0.00136	符合要求
AM3	0.018457	0.019743	0.019165	0.00064	0.00129	符合要求
AM4	0.023130	0.023758	0.023709	0.00035	0.00063	符合要求
AM5	0.027871	0.027872	0.027637	0.00014	0.00024	符合要求
AM10	0.048542	0.048960	0.050136	0.00083	0.00159	符合要求
AL0	0.007405	0.007696	0.007352	0.00019	0.00034	符合要求
AL1	0.011371	0.011797	0.011342	0.00025	0.00046	符合要求
AL2	0.016177	0.015673	0.015638	0.00030	0.00054	符合要求
AL3	0.020133	0.020440	0.020711	0.00029	0.00058	符合要求
AL4	0.024110	0.025087	0.024792	0.00050	0.00098	符合要求
AL5	0.028722	0.029538	0.028394	0.00059	0.00114	符合要求

(資料來源：本研究自行整理)

表 5-26 B 組配比混凝土硬固氯離子含量 CNS 酸溶法試驗精密度分析(φ 10 cm、
高度 1.2 cm 試體粉碎取樣)

配比 編號	試樣 1 (%)	試樣 2 (%)	試樣 3 (%)	試驗結果 標準差 (%)	試驗值計算 全距值 (%)	精密度 判斷
BH0	0.00219	0.00221	0.00259	0.00023	0.00040	符合要求
BH1	0.00556	0.00617	0.00560	0.00034	0.00061	符合要求
BH2	0.00959	0.01023	0.00986	0.00032	0.00064	符合要求
BH3	0.01422	0.01347	0.01526	0.00090	0.00179	符合要求
BH4	0.01693	0.01790	0.01902	0.00105	0.00209	符合要求
BH5	0.02300	0.02393	0.02487	0.00094	0.00187	符合要求
BM0	0.00230	0.00255	0.00221	0.00018	0.00034	符合要求
BM1	0.00581	0.00591	0.00608	0.00014	0.00027	符合要求
BM2	0.00922	0.00907	0.00893	0.00015	0.00029	符合要求
BM3	0.01386	0.01286	0.01331	0.00050	0.00100	符合要求
BM4	0.01872	0.01912	0.02025	0.00079	0.00153	符合要求
BM5	0.02469	0.02135	0.02221	0.00143	0.00334	符合要求
BM10	0.04455	0.04378	0.04410	0.00039	0.00077	符合要求
BL0	0.00230	0.00246	0.00249	0.00010	0.00019	符合要求
BL1	0.00700	0.00768	0.00689	0.00043	0.00079	符合要求
BL2	0.01107	0.01226	0.01098	0.00071	0.00128	符合要求
BL3	0.01347	0.01487	0.01455	0.00073	0.00140	符合要求
BL4	0.01974	0.01949	0.02040	0.00047	0.00091	符合要求
BL5	0.02306	0.02327	0.02393	0.00045	0.00087	符合要求

(資料來源：本研究自行整理)

取樣位置與萃取方式對鋼筋混凝土氯離子含量與檢測方法影響之研究

表 5-27 混凝土硬固氯離子含量 CNS 酸溶法試驗精密度分析(φ5 cm 高度 5 cm 鑽心試體粉碎取樣)

配比 編號	試樣 1 (%)	試樣 2 (%)	試樣 3 (%)	試驗結果 標準差 (%)	試驗值計算 全距值 (%)	精密度 判斷
AM0	0.007344	0.007303	0.008215	0.00052	0.00091	符合要求
AM1	0.011981	0.010668	0.010506	0.00081	0.00148	符合要求
AM2	0.017028	0.014964	0.015831	0.00104	0.00206	符合要求
AM3	0.019011	0.019424	0.021312	0.00123	0.00230	符合要求
AM4	0.025019	0.024781	0.023721	0.00069	0.00130	符合要求
AM5	0.028179	0.029049	0.028603	0.00044	0.00087	符合要求
AM10	0.046462	0.046319	0.047292	0.00053	0.00097	符合要求

(資料來源：本研究自行整理)

表 5-28 混凝土硬固氯離子含量 CNS 酸溶法試驗精密度分析(φ2.5 cm 高度 2.5 cm 鑽心試體粉碎取樣)

配比 編號	試樣 1 (%)	試樣 2 (%)	試樣 3 (%)	試驗結果 標準差 (%)	試驗值計算 全距值 (%)	精密度 判斷
AM0	0.003820	0.006853	0.005773	0.00154	0.00303	標準差 過大
AM1	0.010712	0.007995	0.011845	0.00198	0.00385	標準差 過大
AM2	0.010787	0.013646	0.014878	0.00210	0.00409	標準差 過大
AM3	0.018053	0.015725	0.017554	0.00123	0.00233	符合要求
AM4	0.021626	0.017347	0.024000	0.00337	0.00665	標準差 過大
AM5	0.023653	0.021737	0.026823	0.00257	0.00509	標準差 過大
AM10	0.035692	0.044314	0.041168	0.00436	0.00862	標準差與全 距過大

(資料來源：本研究自行整理)

表 5-29 混凝土硬固氯離子含量 CNS 酸溶法試驗精密度分析 (ϕ 1cm 鑽頭鑽取
1cm 深度)

配比 編號	試樣 1 (%)	試樣 2 (%)	試樣 3 (%)	試驗結果 標準差 (%)	試驗值計算 全距值 (%)	精密度 判斷
AM0	0.013427	0.006412	0.009073	0.00374	0.00702	標準差 過大
AM1	0.013021	0.011510	0.012239	0.00076	0.00151	符合要求
AM2	0.016204	0.013842	0.015604	0.00123	0.00236	符合要求
AM3	0.024593	0.016807	0.022934	0.00410	0.00779	標準差 過大
AM4	0.021354	0.022417	0.021251	0.00065	0.00117	符合要求
AM5	0.028668	0.029686	0.030341	0.00084	0.00167	符合要求
AM10	0.040465	0.040803	0.050170	0.00551	0.00971	標準差與全 距過大

(資料來源：本研究自行整理)

表 5-30 混凝土硬固氯離子含量 CNS 酸溶法試驗精密度分析 (ϕ 2.5cm 鑽頭鑽取
1cm 深度)

配比 編號	試樣 1 (%)	試樣 2 (%)	試樣 3 (%)	試驗結果 標準差 (%)	試驗值計算 全距值 (%)	精密度 判斷
AM0	0.004311	0.005246	0.002180	0.00157	0.00307	標準差 過大
AM1	0.008407	0.008068	0.007504	0.00046	0.00090	符合要求
AM2	0.009344	0.010205	0.009769	0.00043	0.00086	符合要求
AM3	0.012690	0.012527	0.012696	0.00010	0.00017	符合要求
AM4	0.016587	0.016918	0.017300	0.00036	0.00071	符合要求
AM5	0.018315	0.022526	0.021887	0.00227	0.00421	標準差 過大
AM10	0.041860	0.040631	0.034176	0.00413	0.00768	標準差 過大

(資料來源：本研究自行整理)

表 5-31 混凝土硬固氯離子含量 CNS 酸溶法試驗精密度分析 (ϕ 2.5cm 鑽頭鑽取 2cm 深度)

配比編號	試樣 1 (%)	試樣 2 (%)	試樣 3 (%)	試驗結果標準差 (%)	試驗值計算全距值 (%)	精密度判斷
AM0	0.007693	0.002668	0.005560	0.00382	0.00702	標準差過大
AM1	0.005699	0.008361	0.007251	0.00134	0.00266	符合要求
AM2	0.008289	0.011651	0.009399	0.00171	0.00336	標準差過大
AM3	0.013018	0.012635	0.013694	0.00054	0.00106	符合要求
AM4	0.017990	0.016464	0.018298	0.00098	0.00183	符合要求
AM5	0.021588	0.020722	0.020803	0.00048	0.00087	符合要求
AM10	0.042465	0.047940	0.045513	0.00447	0.00887	標準差過大

(資料來源：本研究自行整理)

表 5-32 混凝土硬固氯離子含量 CNS 酸溶法試驗精密度分析 (ϕ 2.5cm 鑽頭鑽取 3cm 深度)

配比編號	試樣 1 (%)	試樣 2 (%)	試樣 3 (%)	試驗結果標準差 (%)	試驗值計算全距值 (%)	標準允收全距值 (%)	精密度判斷
AM0	0.006278	0.006763	0.007020	0.000377	0.00074	0.00860	符合要求
AM1	0.010458	0.011690	0.009900	0.000916	0.00179	0.00860	符合要求
AM2	0.013198	0.014522	0.013880	0.000662	0.00132	0.00860	符合要求
AM3	0.017295	0.018487	0.019225	0.000974	0.00193	0.00860	符合要求
AM4	0.021825	0.022525	0.023598	0.000893	0.00177	0.00860	符合要求
AM5	0.025250	0.022660	0.026443	0.001934	0.00378	0.00860	符合要求
AM10	0.050038	0.048110	0.048056	0.001129	0.00198	0.00860	符合要求

(資料來源：本研究自行整理)

表 5-33 混凝土硬固氯離子含量 CNS 酸溶法試驗精密度分析(ϕ 2.5 cm 鑽頭鑽取 4 cm 深度)

配比 編號	試樣 1 (%)	試樣 2 (%)	試樣 3 (%)	試驗結果 標準差 (%)	試驗值計算 全距值 (%)	精密度 判斷
AM0	0.006464	0.006136	0.006142	0.000188	0.00033	符合要求
AM1	0.010852	0.010141	0.009869	0.000508	0.00098	符合要求
AM2	0.014041	0.013810	0.013100	0.000490	0.00094	符合要求
AM3	0.019517	0.018642	0.017812	0.000853	0.00171	符合要求
AM4	0.022544	0.022138	0.021416	0.000571	0.00113	符合要求
AM5	0.027544	0.027222	0.026949	0.000298	0.00059	符合要求
AM10	0.048175	0.047939	0.047703	0.000236	0.00047	符合要求

(資料來源：本研究自行整理)

由表中可以發現高轉速旋轉磨粉機磨粉取樣與直徑 10 cm、高度 1.2 cm 試體粉碎的硬固氯離子試驗結果均可符合標準的精密度要求。而直徑 5 cm 高度 5 cm 鑽心試體的硬固氯離子試驗結果亦符合標準的精密度要求。而直徑 2.5 cm 高度 2.5 cm 鑽心試體取樣與普通電鑽磨粉取樣鑽取深度 2 公分以下的試驗結果，有分配比不符合試驗標準精密度要求。但鑽頭直徑 2.5 cm 鑽取深度 3 公分以上的試驗結果均可符合標準精密度要求。

若比對表 5-16 硬固混凝土酸溶法氯離子試驗與拌合時外加氯離子量線性關係迴歸方程式斜率，如表 5-34 所示。可以發現斜率 0.9 以上的取樣或配比系列，其試驗標準差與允收全距精密度均可符合要求。而斜率 0.9 以下的取樣或配比系列，其部分取樣方是便有分配比無法通過試驗標準差與允收全距精密度要求，因而影響了斜率計算值。

表 5-34 硬固混凝土酸溶法氯離子試驗與拌合時外加氯離子量線性迴歸方程式
與精密度之間關係

取樣方式	配比系列	線性迴歸方程式	精密度符合情形
高轉速旋轉磨粉機大面積磨粉取樣	AH	$Y=0.981X$	全部符合要求
	AM	$Y=0.986X$	全部符合要求
	AL	$Y=0.993X$	全部符合要求
直徑 10 cm、高度 1.2 cm 試體粉碎取樣	AH	$Y=0.975X$	全部符合要求
	AM	$Y=0.991X$	全部符合要求
	AL	$Y=0.987X$	全部符合要求
	BH	$Y=0.941X$	全部符合要求
	BM	$Y=0.946X$	全部符合要求
	BL	$Y=0.974X$	全部符合要求
直徑 5 cm 高度 5 cm 鑽心試體粉碎取樣	AM	$Y=0.924X$	全部符合要求
直徑 2.5 cm 高度 2.5 cm 鑽心試體粉碎取樣	AM	$Y=0.833X$	6/7 配比不符合要求
直徑 1 cm 高度 1.2 cm 鑽頭電鑽磨粉取樣	AM	$Y=0.803X$	3/7 配比不符合要求
直徑 2.5 cm 高度 1 cm 鑽頭電鑽磨粉取樣	AM	$Y=0.788X$	3/7 配比不符合要求
直徑 2.5 cm 高度 2 cm 鑽頭電鑽磨粉取樣	AM	$Y=0.837X$	3/7 配比不符合要求
直徑 2.5 cm 高度 3 cm 鑽頭電鑽磨粉取樣	AM	$Y=0.972X$	全部符合要求
直徑 2.5 cm 高度 4cm 鑽頭電鑽磨粉取樣	AM	$Y=0.952X$	全部符合要求

(資料來源：本研究自行整理)

水溶法試驗方面，單一實驗室試驗結果之標準差為 0.0013%，依 CNS 14704 規定用以計算平均值之三個個別測定值之最大允收全距為 1s 的相乘係數 5.7，因此三組在同一實驗室對相同材料試樣正確操作下試驗結果的最大允收全距不應超過 0.00741% 氯離子百分濃度。表 5-35 至表 5-40 為精密度分析結果。表中僅直徑 2.5cm 鑽頭鑽取 2cm 深度取樣方式的 AM10 配比標準差偏高以外，其餘均符合精密度要求。

表 5-35 A 組配比混凝土硬固氯離子含量 CNS 水溶法試驗精密度分析(φ 10 cm、
高度 1.2 cm 試體粉碎取樣)

配比 編號	試樣 1 (%)	試樣 2 (%)	試樣 3 (%)	試驗結果 標準差 (%)	試驗值計算 全距值 (%)	精密度 判斷
AH0	0.00296	0.00226	0.00334	0.00055	0.00108	符合要求
AH1	0.00425	0.00417	0.00469	0.00028	0.00052	符合要求
AH2	0.00634	0.00667	0.00624	0.00023	0.00043	符合要求
AH3	0.00824	0.00876	0.00784	0.00046	0.00092	符合要求
AH4	0.00921	0.00980	0.00982	0.00035	0.00061	符合要求
AH5	0.00990	0.00914	0.01077	0.00082	0.00163	符合要求
AM0	0.00288	0.00298	0.00291	0.00005	0.00010	符合要求
AM1	0.00371	0.00351	0.00357	0.00010	0.00020	符合要求
AM2	0.00463	0.00509	0.00509	0.00027	0.00046	符合要求
AM3	0.00856	0.00815	0.00830	0.00021	0.00041	符合要求
AM4	0.01013	0.01049	0.01026	0.00018	0.00036	符合要求
AM5	0.01428	0.01273	0.01337	0.00078	0.00155	符合要求
AM10	0.02631	0.02437	0.02709	0.00129	0.00272	符合要求
AL0	0.00243	0.00226	0.00280	0.00028	0.00054	符合要求
AL1	0.00411	0.00363	0.00365	0.00027	0.00048	符合要求
AL2	0.00575	0.00594	0.00569	0.00013	0.00025	符合要求
AL3	0.00887	0.00741	0.00782	0.00075	0.00146	符合要求
AL4	0.01134	0.01258	0.01212	0.00063	0.00124	符合要求
AL5	0.01646	0.01687	0.01732	0.00043	0.00086	符合要求

(資料來源：本研究自行整理)

表 5-36 B 組配比混凝土硬固氯離子含量 CNS 水溶法試驗精密度分析(ϕ 10 cm、高度 1.2 cm 試體粉碎取樣)

配比編號	試樣 1 (%)	試樣 2 (%)	試樣 3 (%)	試驗結果標準差 (%)	試驗值計算全距值 (%)	精密度判斷
BH0	0.00213	0.00187	0.00200	0.00013	0.00026	符合要求
BH1	0.00270	0.00279	0.00292	0.00011	0.00022	符合要求
BH2	0.00543	0.00593	0.00546	0.00028	0.00050	符合要求
BH3	0.00774	0.00756	0.00803	0.00024	0.00047	符合要求
BH4	0.01129	0.01049	0.01133	0.00047	0.00084	符合要求
BH5	0.01430	0.01548	0.01563	0.00073	0.00133	符合要求
BM0	0.00029	0.00031	0.00031	0.00001	0.00002	符合要求
BM1	0.00282	0.00289	0.00177	0.00063	0.00112	符合要求
BM2	0.00551	0.00473	0.00516	0.00039	0.00078	符合要求
BM3	0.00858	0.00762	0.00788	0.00050	0.00096	符合要求
BM4	0.01045	0.01145	0.01162	0.00063	0.00117	符合要求
BM5	0.01465	0.01311	0.01359	0.00079	0.00154	符合要求
BM10	0.02871	0.02673	0.02752	0.00100	0.00198	符合要求
BL0	0.00298	0.00331	0.00244	0.00044	0.00087	符合要求
BL1	0.00407	0.00369	0.00383	0.00019	0.00038	符合要求
BL2	0.00690	0.00724	0.00656	0.00034	0.00068	符合要求
BL3	0.00828	0.00933	0.00892	0.00053	0.00105	符合要求
BL4	0.01169	0.01193	0.01221	0.00026	0.00052	符合要求
BL5	0.01465	0.01452	0.01483	0.00016	0.00031	符合要求

(資料來源：本研究自行整理)

表 5-37 混凝土硬固氯離子含量 CNS 水溶法試驗精密度分析 (ϕ 2.5cm 鑽頭鑽取 1cm 深度)

配比 編號	試樣 1 (%)	試樣 2 (%)	試樣 3 (%)	試驗結果 標準差 (%)	試驗值計算 全距值 (%)	精密度 判斷
AM0	0.00210	0.00262	0.00176	0.00043	0.00086	符合要求
AM1	0.00370	0.00321	0.00295	0.00038	0.00075	符合要求
AM2	0.00433	0.00474	0.00499	0.00033	0.00066	符合要求
AM3	0.00691	0.00623	0.00753	0.00065	0.00130	符合要求
AM4	0.00858	0.00882	0.00923	0.00033	0.00065	符合要求
AM5	0.01150	0.01084	0.01141	0.00036	0.00066	符合要求
AM10	0.02527	0.02541	0.02441	0.00054	0.00100	符合要求

(資料來源：本研究自行整理)

表 5-38 混凝土硬固氯離子含量 CNS 水溶法試驗精密度分析 (ϕ 2.5cm 鑽頭鑽取 2cm 深度)

配比 編號	試樣 1 (%)	試樣 2 (%)	試樣 3 (%)	試驗結果 標準差 (%)	試驗值計算 全距值 (%)	精密度 判斷
AM0	0.00196	0.00170	0.00229	0.00030	0.00059	符合要求
AM1	0.00306	0.00289	0.00352	0.00033	0.00063	符合要求
AM2	0.00488	0.00506	0.00487	0.00011	0.00019	符合要求
AM3	0.00625	0.00698	0.00584	0.00058	0.00114	符合要求
AM4	0.00917	0.00839	0.00869	0.00039	0.00078	符合要求
AM5	0.01211	0.01068	0.01125	0.00072	0.00143	符合要求
AM10	0.02729	0.02970	0.02613	0.00182	0.00357	標準差 過大

(資料來源：本研究自行整理)

表 5-39 混凝土硬固氯離子含量 CNS 水溶法試驗精密度分析 (ϕ 2.5cm 鑽頭鑽取 3cm 深度)

配比編號	試樣 1 (%)	試樣 2 (%)	試樣 3 (%)	試驗結果標準差 (%)	試驗值計算全距值 (%)	精密度判斷
AM0	0.00324	0.00246	0.00244	0.00046	0.00080	符合要求
AM1	0.00361	0.00369	0.00362	0.00004	0.00008	符合要求
AM2	0.00502	0.00512	0.00464	0.00025	0.00048	符合要求
AM3	0.00636	0.00703	0.00677	0.00034	0.00067	符合要求
AM4	0.00838	0.00897	0.00863	0.00030	0.00059	符合要求
AM5	0.01171	0.01209	0.01079	0.00067	0.00130	符合要求
AM10	0.02670	0.02730	0.02677	0.00033	0.00060	符合要求

(資料來源：本研究自行整理)

表 5-40 混凝土硬固氯離子含量 CNS 水溶法試驗精密度分析 (ϕ 2.5 cm 鑽頭鑽取 4 cm 深度)

配比編號	試樣 1 (%)	試樣 2 (%)	試樣 3 (%)	試驗結果標準差 (%)	試驗值計算全距值 (%)	精密度判斷
AM0	0.00247	0.00192	0.00177	0.00037	0.00070	符合要求
AM1	0.00327	0.00342	0.00291	0.00026	0.00051	符合要求
AM2	0.00408	0.00436	0.00470	0.00031	0.00062	符合要求
AM3	0.00715	0.00702	0.00660	0.00029	0.00055	符合要求
AM4	0.00832	0.00804	0.00873	0.00035	0.00069	符合要求
AM5	0.01269	0.01153	0.01265	0.00066	0.00116	符合要求
AM10	0.02475	0.02468	0.02420	0.00030	0.00055	符合要求

(資料來源：本研究自行整理)

第六節 AASHTO 試驗法與多實驗室試驗結果探討

目前我國對硬固混凝土氯離子含量試驗法以 CNS 14702 與 CNS 14703 (ASTM C1152 與 ASTM C1128) 為主；但國外除 ASTM 方法外，AASHTO 試驗法亦常被使用。相關方法最大差異性在於萃取前所需粉樣重量與磨粉方式。CNS 所需粉樣重量為至少 10 克小於 0.850 mm 粒徑的粉末。AASHTO 試驗法重量為至少 3 克小於 0.300 mm 粒徑的粉末。本研究為討論兩種方法差異性，在直徑 10 cm 高度 1.2 cm 試體粉碎取樣的配比進行兩種標準方法試驗結果差異研究。表 5-41 至表 5-43 為 A 組配比 AASHTO 酸溶法試驗結果。若依其試驗結果平均值比對表 5-7 同樣變數的 CNS 試驗結果可以如圖 5-19 所示，由圖中可以發現。CNS 酸溶法試驗結果明顯會大於 AASHTO 約 10%。

表 5-41 AH 組配比混凝土硬固氯離子含量 AASHTO 水溶法試驗值 (ϕ 10 cm、高度 1.2 cm 試體粉碎取樣)

配比 編號	試樣 1 (%)	試樣 2 (%)	試樣 3 (%)	試樣 1 (kg/m ³)	試樣 2 (kg/m ³)	試樣 3 (kg/m ³)	平均值 (kg/m ³)
AH0	0.00170	0.00163	0.00135	0.039323	0.037652	0.031211	0.039323
AH1	0.00742	0.00749	0.00769	0.171570	0.173007	0.177814	0.171570
AH2	0.01300	0.01179	0.01224	0.300462	0.272519	0.282919	0.300462
AH3	0.01510	0.01606	0.01590	0.349041	0.371092	0.367353	0.349041
AH4	0.01688	0.01774	0.01749	0.390015	0.409940	0.404136	0.390015
AH5	0.01684	0.01557	0.01724	0.389154	0.359741	0.398496	0.389154

(資料來源：本研究自行整理)

表 5-42 AM 組配比混凝土硬固氯離子含量 AASHTO 水溶法試驗值 (ϕ 10 cm、高度 1.2 cm 試體粉碎取樣)

配比 編號	試樣 1 (%)	試樣 2 (%)	試樣 3 (%)	試樣 1 (kg/m ³)	試樣 2 (kg/m ³)	試樣 3 (kg/m ³)	平均值 (kg/m ³)
AM0	0.00161	0.00161	0.00171	0.037113	0.037158	0.039474	0.037113
AM1	0.00634	0.00660	0.00612	0.146370	0.152387	0.141364	0.146370
AM2	0.01310	0.01136	0.01030	0.302579	0.262418	0.237846	0.302579
AM3	0.01245	0.01284	0.01235	0.287610	0.296539	0.285331	0.287610
AM4	0.01530	0.01459	0.01737	0.353344	0.337099	0.401301	0.353344
AM5	0.02308	0.01993	0.01959	0.533098	0.460290	0.452387	0.533098
AM10	0.04124	0.03991	0.04276	0.952335	0.921609	0.987561	0.952335

(資料來源：本研究自行整理)

表 5-43 AL 組配比混凝土硬固氯離子含量 AASHTO 水溶法試驗值 (ϕ 10 cm、高度 1.2 cm 試體粉碎取樣)

配比 編號	試樣 1 (%)	試樣 2 (%)	試樣 3 (%)	試樣 1 (kg/m ³)	試樣 2 (kg/m ³)	試樣 3 (kg/m ³)	平均值 (kg/m ³)
AL0	0.00144	0.00231	0.00321	0.033324	0.053417	0.073999	0.033324
AL1	0.00816	0.00558	0.00641	0.188267	0.128822	0.148077	0.188267
AL2	0.01133	0.00856	0.00748	0.261484	0.197560	0.172747	0.261484
AL3	0.01137	0.01240	0.01278	0.262429	0.286251	0.294980	0.262429
AL4	0.01828	0.01906	0.01832	0.421933	0.439937	0.422846	0.421933
AL5	0.02237	0.02632	0.02503	0.516413	0.607560	0.577782	0.516413

(資料來源：本研究自行整理)

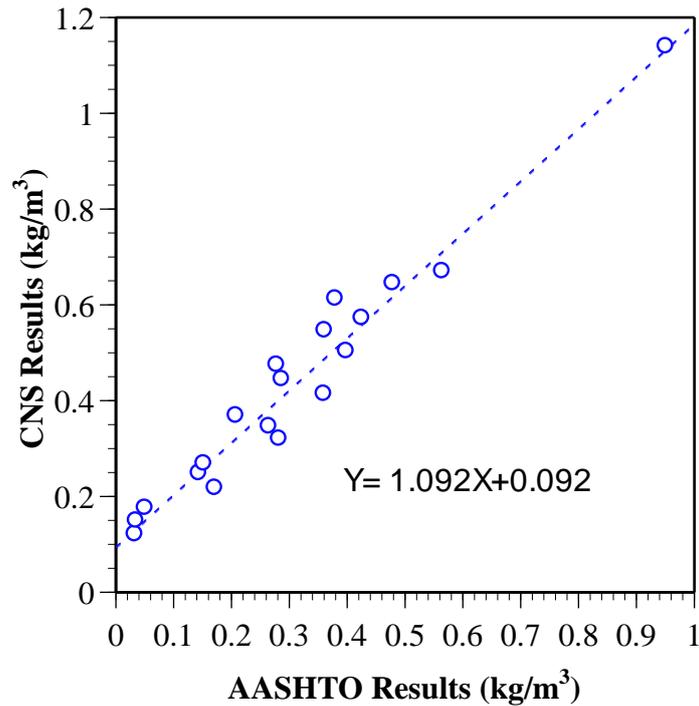


圖 5-19 本研究 CNS 與 AASHTO 試驗法結果關係圖

(資料來源：本研究自行整理)

若比較試驗精密度，CNS 14702 酸溶法精密度為單一實驗室之標準差經統計分析為 0.0015% 氯離子，因此於同一實驗室對相同材料所做兩次正確操作試驗結果之差不得大於 0.0042%。但 AASHTO 試驗法的精密度對單一實驗室之標準差經統計分析為 0.0024% 氯離子，因此於同一實驗室對相同材料所做兩次正確操作試驗結果之差不得大於 0.0068%。由兩者條文規定可以發現 CNS 試驗法的精密度要求較高。若比對表 5-41 試驗結果之精密度，則計算如表 5-44 所示。由表中可以發現本計畫所有配比的試驗結果標準差均可以在 AASHTO 的標準差以下，但若以 CNS 試驗法的標準差，則 16 組配比中有 3 組試驗結果標準差大於 0.0015%。因此在試驗上本研究仍建議採用 CNS 試驗法為主。

表 5-44 A 組配比混凝土硬固氯離子含量 AASHTO 酸溶法試驗精密度分析(φ 10 cm、高度 1.2 cm 試體粉碎取樣)

配比 編號	試樣 1 (%)	試樣 2 (%)	試樣 3 (%)	試驗結果 標準差 (%)	精密度判斷	
					依 AASHTO	依 CNS 標準
AH0	0.001700	0.001630	0.001350	0.000185	符合要求	符合要求
AH1	0.007420	0.007490	0.007690	0.000140	符合要求	符合要求
AH2	0.013000	0.011790	0.012240	0.000612	符合要求	符合要求
AH3	0.015100	0.016060	0.015900	0.000514	符合要求	符合要求
AH4	0.016880	0.017740	0.017490	0.000442	符合要求	符合要求
AH5	0.016840	0.015570	0.017240	0.000872	符合要求	符合要求
AM0	0.001610	0.001610	0.001710	0.000058	符合要求	符合要求
AM1	0.006340	0.006600	0.006120	0.000240	符合要求	符合要求
AM2	0.013100	0.011360	0.010300	0.001414	符合要求	符合要求
AM3	0.012450	0.012840	0.012350	0.000259	符合要求	符合要求
AM4	0.015300	0.014590	0.017370	0.001444	符合要求	符合要求
AM5	0.023080	0.019930	0.019590	0.001924	符合要求	標準差過大
AM10	0.041240	0.039910	0.042760	0.001426	符合要求	符合要求
AL0	0.001440	0.002310	0.003210	0.000885	符合要求	符合要求
AL1	0.008160	0.005580	0.006410	0.001317	符合要求	符合要求
AL2	0.011330	0.008560	0.007480	0.001986	符合要求	標準差過大
AL3	0.011370	0.012400	0.012780	0.000730	符合要求	符合要求
AL4	0.018280	0.019060	0.018320	0.000439	符合要求	符合要求
AL5	0.022370	0.026320	0.025030	0.002014	符合要求	標準差過大

(資料來源：本研究自行整理)

在多實驗室方面，本計畫以 AM10 配比試體分送 3 個實驗室進行離子分析。3 個實驗室取樣方式均以直徑 2.5 cm 鑽頭用普通震動電鑽鑽取 10 個粉樣後，依 CNS 14072 進行試驗分析，藉以探討不同實驗室以相同取樣法進行試驗，其精密度是否可以達到 CNS 標準的要求。表 5-45 為其試驗結果。表中 A 實驗室與 C 實驗室為學術單位實驗室；B 實驗室則為民間單位實驗室。由表中可以發現個別實驗室的標準差與全距可符合單一實驗室的精密度要求。若綜合討論 3 個實驗室，則標準差與全距離提高，但也小於 CNS 14702 中 9.1.2 節標準差 0.0021%。表示所採用的試驗法與鑽心取樣方式可符合標準精密度要求。

表 5-45 AM 組配比多實驗室酸溶法試驗結果 (ϕ 2.5 cm 鑽頭鑽取 4 cm 深度)

試樣編號	A 實驗室 (%)	B 實驗室 (%)	C 實驗室 (%)	多實驗室計算值
1	0.049181	0.045852	0.050355	---
2	0.048171	0.049373	0.049342	---
3	0.049311	0.045659	0.047031	---
4	0.047659	0.047482	0.050100	---
5	0.050325	0.045847	0.047239	---
6	0.048300	0.047457	0.048554	---
7	0.048821	0.049287	0.050361	---
8	0.047985	0.046367	0.048878	---
9	0.049576	0.045893	0.050709	---
10	0.049549	0.048209	0.047609	---
平均值	0.048888	0.047143	0.049018	0.048349
標準差	0.000845	0.001439	0.001377	0.001486
全距	0.002666	0.003714	0.003678	0.005050

(資料來源：本研究自行整理)

第七節 業界常見取樣方式對硬固混凝土氯離子含量之影響

目前常見取樣方式是為利用鑽心試體於進行抗壓強度試驗後，隨機由已粉碎掉試體中撿取樣體進行試驗。雖然這個方法在各縣市的「高氯離子混凝土建築物鑑定手冊」列入取樣方式，如新北市土木技師公會鑑定手冊 12.5 節第 8 條³⁶。但 CNS、ASTM 或 AASHTO 並未將此種取樣法列入標準中。因此本研究探討此種取樣方式所得到的酸溶性氯離子試驗結果。相關試驗以 AM 組與 AL 組配比進行。試驗取樣方式係將試驗配比混凝土試體抗壓後，隨機取得三片粉碎部分進行試驗。表 5-46 為其試驗結果。

表 5-46 AM 組與 AL 組配比混凝土硬固氯離子含量 CNS 酸溶法試驗值（抗壓試體粉碎取樣）

配比 編號	試樣 1 (%)	試樣 2 (%)	試樣 3 (%)	試樣 1 (kg/m ³)	試樣 2 (kg/m ³)	試樣 3 (kg/m ³)	平均值 (kg/m ³)
AM0	0.00267	0.00265	0.00283	0.061571	0.061186	0.065309	0.062688
AM1	0.00741	0.00857	0.01004	0.171169	0.197905	0.231916	0.200330
AM2	0.01410	0.01539	0.01194	0.325701	0.355447	0.275704	0.318951
AM3	0.01651	0.01783	0.01771	0.381253	0.411711	0.409069	0.400678
AM4	0.02206	0.02442	0.02335	0.509408	0.564068	0.539349	0.537608
AM5	0.03083	0.02596	0.02965	0.711983	0.599537	0.684891	0.665470
AL0	0.00268	0.00316	0.00237	0.061806	0.072917	0.054713	0.063145
AL1	0.00982	0.00969	0.00979	0.226672	0.223653	0.226049	0.225458
AL2	0.01593	0.01418	0.01462	0.367806	0.327417	0.337413	0.344212
AL3	0.01883	0.02029	0.01897	0.434763	0.468423	0.437888	0.447024
AL4	0.02488	0.02462	0.02461	0.574238	0.568322	0.568037	0.570199
AL5	0.03016	0.03256	0.03286	0.696285	0.751539	0.758586	0.735470

(資料來源：本研究自行整理)

³⁶ 新北市土木技師公會，「新北市土木技師公會鑑定手冊，101 年 4 月修訂版」，2012。

圖 5-20 為試驗結果平均值與拌合時外加的氯離子量關係圖。圖中試驗結果為扣除控制組背景值的數值，可以發現試驗結果與外加的氯離子量呈現良好線性關係，且每組配比均會高於外加的氯離子量。若比對各組線性關係的迴歸方程式，則如表 5-47 所示。表中可以發現其線性關係迴歸方程式斜率為 1.196 至 1.321 遠大於表 5-16 直徑 10 cm、高度 1.2 cm 試體粉碎取樣的 0.987 至 0.991。

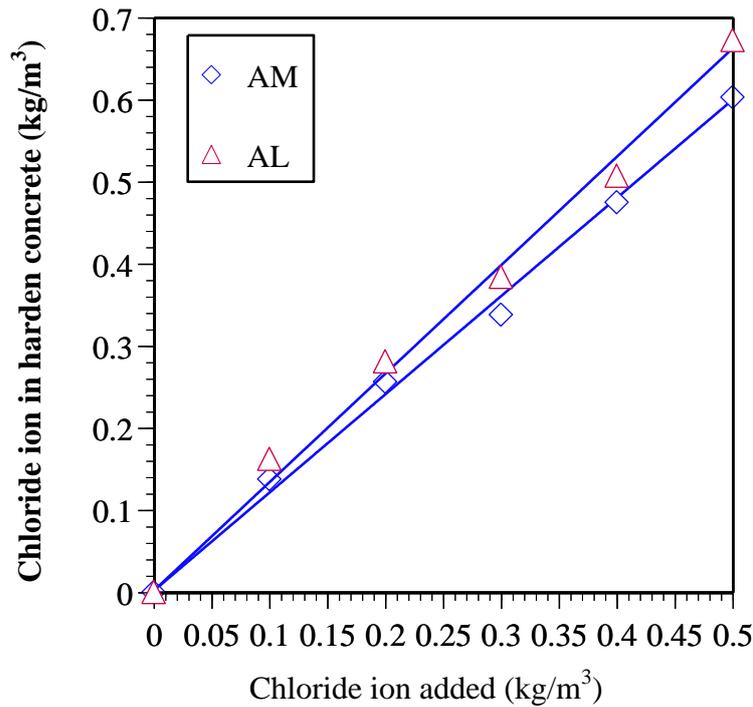


圖 5-20 AM、AH 組配比硬固混凝土酸溶法氯離子量與添加量關係圖（抗壓試體粉碎取樣）

（資料來源：本研究自行整理）

表 5-47 硬固混凝土酸溶法氯離子試驗與拌合時外加氯離子量線性關係迴歸方程式與相關係數（抗壓試體粉碎取樣）

取樣方式	配比系列	線性關係迴歸方程式	相關係數 R ²
抗壓試體粉碎取樣	AM	Y=1.196X	0.996
	AL	Y=1.321X	0.994

（資料來源：本研究自行整理）

第八節 結構單元取樣位置對硬固混凝土氯離子含量之影響

對於標準規範有關取樣深度規定並沒有詳細的敘述，僅說明「以旋轉衝擊式鑽孔機垂直於混凝土表面時，或平行於鑽心試體之主軸，鑽入混凝土至規定深度，或所鑽深度足以取得至少 20 g 具代表性之粉末樣品。」所以過去若懷疑建築物為海砂屋時，會在表面與混凝土深處各鑽心取樣進行氯離子含量試驗判斷是否為高氯離子含量。但部分結構單元，如橋梁或具防水層的樓板，可能無法允許於混凝土保護層深處取樣時，可能會發生混凝土表面區域濃度極高（距表面 0.5 cm 以內深度），但其深處與鋼筋接觸面並無氯離子而產生誤判情形。因此本計畫利用過去已於基隆沿海 10 公尺區域曝曬超過 6 年之大型梁試體進行試驗。取樣位置分別為背海側與面海側，以及結構單元樑上部、中間、底部位置各取 3 個試體進行試驗。相關試驗結果如表 5-48 至 5-51 所示。

表 5-48 I-350 配比各曝曬期氯離子濃度量測結果（面海側）

與表面之距離 (cm)	面海側上部 (kg/m ³)	與表面之距離 (cm)	面海側中間 (%)	與表面之距離 (cm)	面海側底部 (%)
0.1	0.75356	0.1	0.75823	0.1	0.76458
0.5	0.78120	0.5	0.78965	0.5	0.79023
1.0	0.73565	1.0	0.74104	1.0	0.74356
1.5	0.59055	1.5	0.59862	1.5	0.60013
3.5	0.46268	3.5	0.46893	3.5	0.47532
5.0	0.38642	5.0	0.39534	5.0	0.39855
6.5	0.18232	6.5	0.19232	6.5	0.19320
7.5	0.01418	7.5	0.01499	7.5	0.01524
9.5	0.01290	9.5	0.01316	9.5	0.01325

(資料來源：本研究自行整理)

表 5-49 I-350 配比各曝曬期氯離子濃度量測結果 (背海側)

與表面之 距離 (cm)	背海側 上部 (kg/m ³)	與表面之 距離 (cm)	背海側 中間 (kg/m ³)	與表面之 距離 (cm)	背海側 底部 (kg/m ³)
0.1	0.63500	0.1	0.63654	0.1	0.63987
0.5	0.65318	0.5	0.66143	0.5	0.66745
1.0	0.63129	1.0	0.64005	1.0	0.64336
1.5	0.51528	1.5	0.52149	1.5	0.53003
3.5	0.42412	3.5	0.42700	3.5	0.43813
5.0	0.34654	5.0	0.35641	5.0	0.35987
6.5	0.12839	6.5	0.12923	6.5	0.12951
7.5	0.01738	7.5	0.01785	7.5	0.01799
9.5	0.01532	9.5	0.01586	9.5	0.01596

(資料來源：本研究自行整理)

表 5-50 I-245 配比各曝曬期氯離子濃度量測結果 (面海側)

與表面之 距離 (cm)	面海側 上部 (kg/m ³)	與表面之 距離 (cm)	面海側 中間 (kg/m ³)	與表面之 距離 (cm)	面海側 底部 (kg/m ³)
0.1	0.90699	0.1	0.91134	0.1	0.91370
0.5	0.91740	0.5	0.92310	0.5	0.94280
1.0	0.93150	1.0	0.93220	1.0	0.93460
1.5	0.76970	1.5	0.78150	1.5	0.79270
3.5	0.60350	3.5	0.62420	3.5	0.68560
5.0	0.43190	5.0	0.47210	5.0	0.48670
6.5	0.31510	6.5	0.32100	6.5	0.39850
7.5	0.18983	7.5	0.19360	7.5	0.19404
9.5	0.01356	9.5	0.01388	9.5	0.01427

(資料來源：本研究自行整理)

表 5-51 I-245 配比各曝曬期氯離子濃度量測結果 (背海側)

與表面之 距離 (cm)	背海側 上部 (kg/m ³)	與表面之 距離 (cm)	背海側 中間 (kg/m ³)	與表面之 距離 (cm)	背海側 底部 (kg/m ³)
0.1	0.65122	0.1	0.65254	0.1	0.65453
0.5	0.67840	0.5	0.68420	0.5	0.70050
1.0	0.68090	1.0	0.68500	1.0	0.69460
1.5	0.56360	1.5	0.57690	1.5	0.58550
3.5	0.44770	3.5	0.45680	3.5	0.45940
5.0	0.33360	5.0	0.33670	5.0	0.34010
6.5	0.23580	6.5	0.23740	6.5	0.24130
7.5	0.14897	7.5	0.14982	7.5	0.15200
9.5	0.01302	9.5	0.01354	9.5	0.01396

(資料來源：本研究自行整理)

由表中可以發現 I 大型梁試體無論取樣位置或設計強度，面海側取樣值均高於背海側。圖 5-21 至圖 5-26 為不同取樣位置氯離子濃度與取樣深度之關係圖。由圖中可以發現無論背海側與面海側，底部位置的取樣值最高，中間位置次之，頂部位置的試驗值最低。三個取樣位置於面海側底部與頂部最大差異為 1.27 倍，平均為 1.04 倍；背海側底部與頂部最大差異為 1.07 倍，平均為 1.02 倍，差異並不大。若比較氯離子濃度與取樣深度之關係圖，本研究放置 6 年的試體無論設計強度或取樣位置均在距試體表面 5 cm 深度處已超過 0.3 kg/m³。

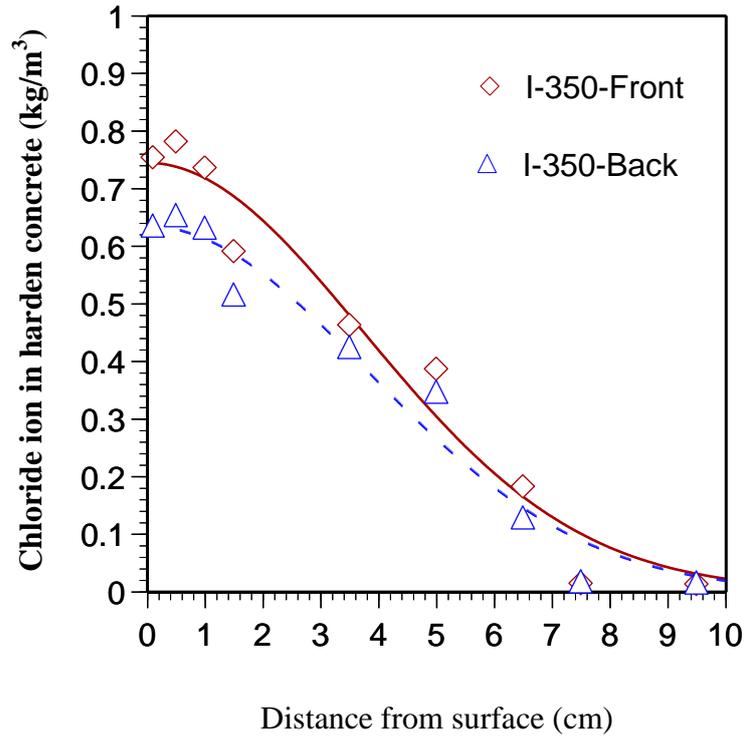


圖 5-21 氯離子含量與深度關係圖 (I-350 上部取樣)

(資料來源：本研究自行整理)

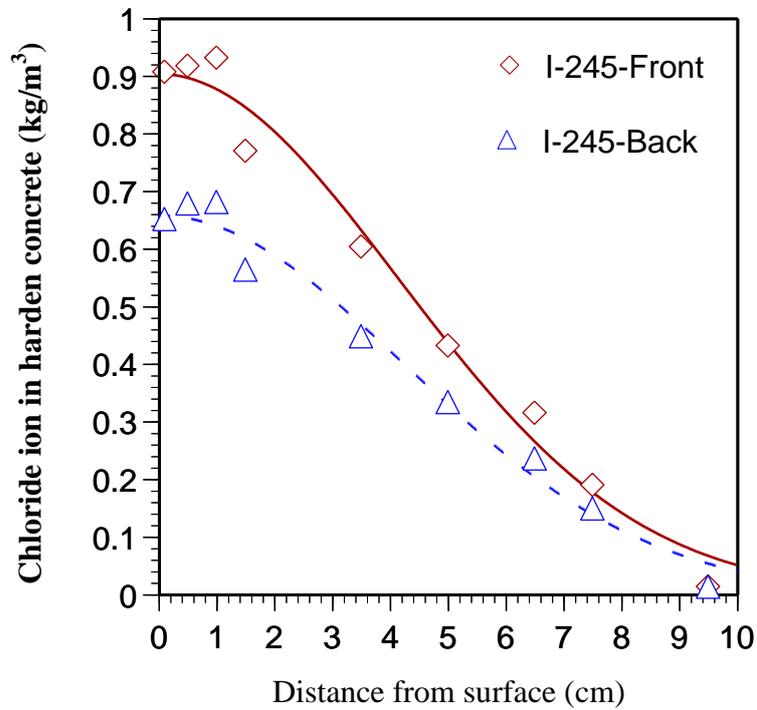


圖 5-22 氯離子含量與深度關係圖 (I-245 上部取樣)

(資料來源：本研究自行整理)

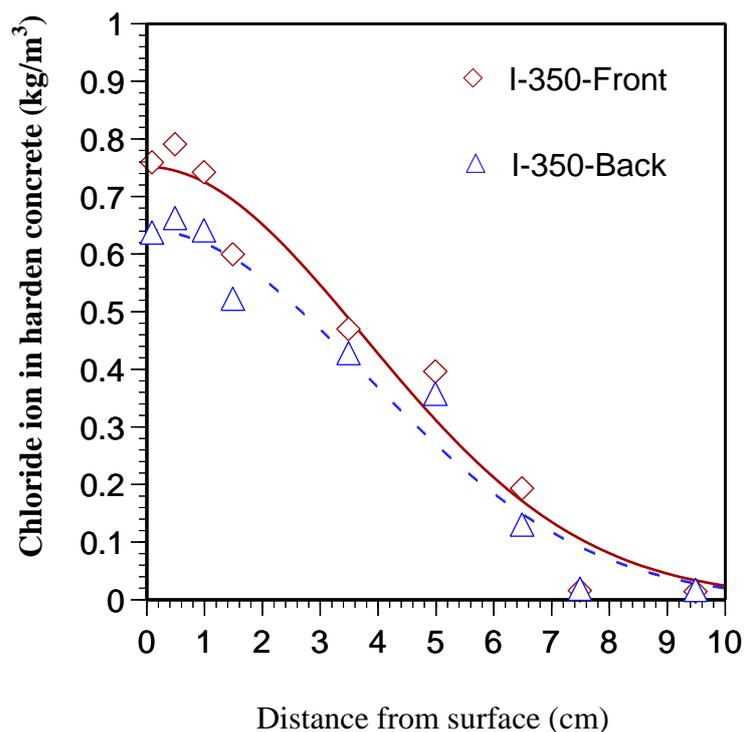


圖 5-23 氯離子含量與深度關係圖 (I-350 中間部取樣)

(資料來源：本研究自行整理)

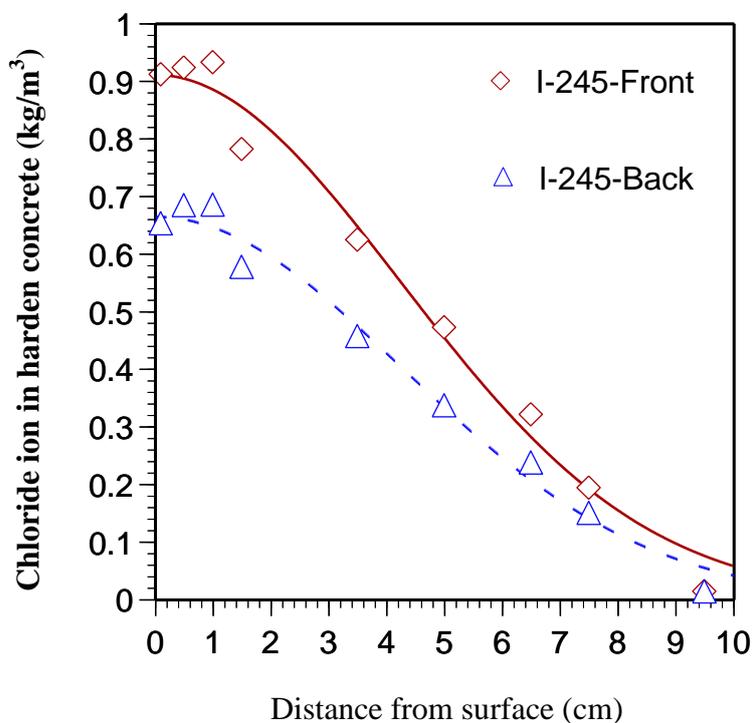


圖 5-24 氯離子含量與深度關係圖 (I-245 中間取樣)

(資料來源：本研究自行整理)

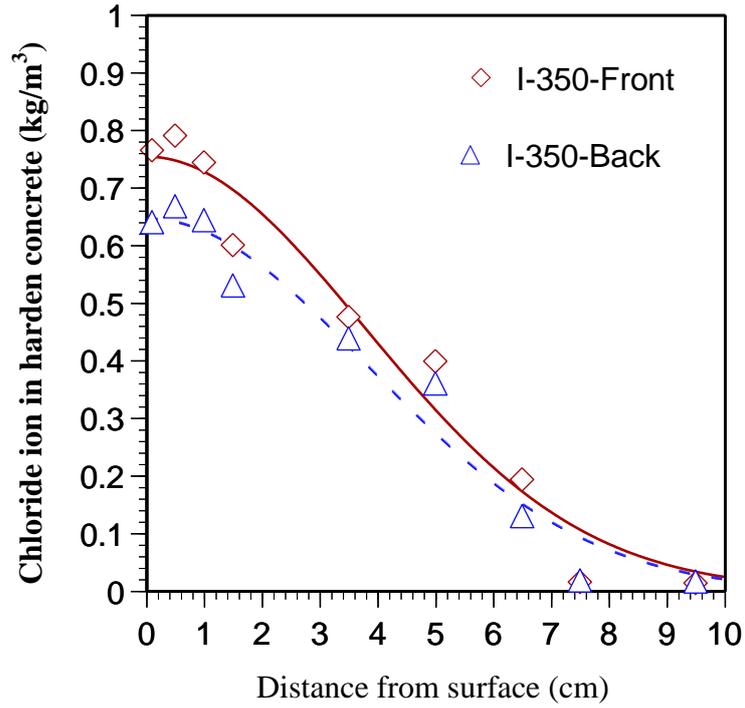


圖 5-25 氯離子含量與深度關係圖 (I-350 底部取樣)

(資料來源：本研究自行整理)

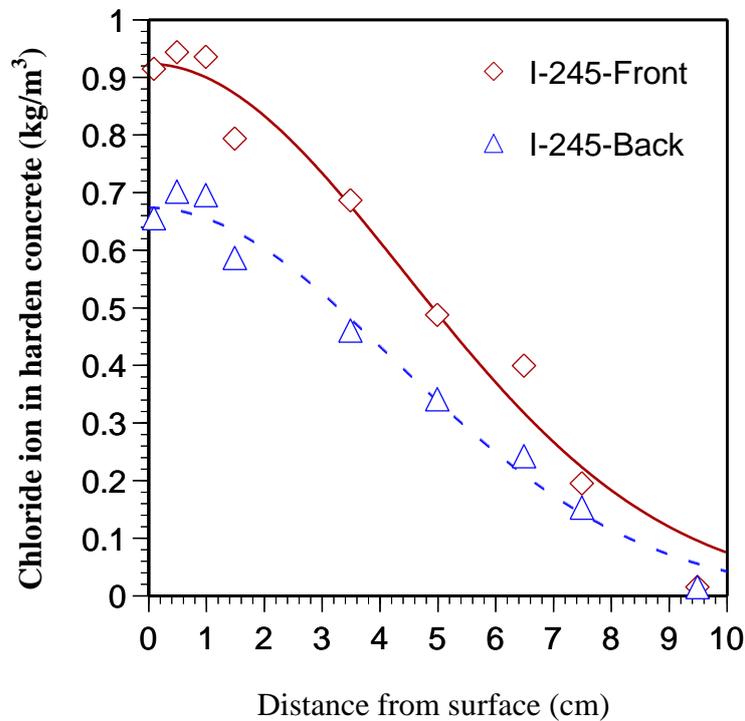


圖 5-26 氯離子含量與深度關係圖 (I-245 底部取樣)

(資料來源：本研究自行整理)

第六章 硬固混凝土氯離子檢測方法與標準手冊建立

前述第五章將不同取樣變數的氯離子試驗結果進行分析。本章將彙整相關研究成果，以建立適用於我國的硬固混凝土氯離子檢測方法與標準手冊。

第一節 取樣方法建議

目前 CNS 14702 與 CNS 14703 對硬固混凝土氯離子試驗樣本取樣的規定主要利用鑽心與旋轉式鑽孔機兩種形式。其中對鑽心部分僅規定由鑽心試體切出厚度 1.2 公分之試片進行，對於鑽心試體的直徑並沒有相關規定。在旋轉式鑽孔機方面，並沒有說明鑽頭直徑與鑽取深度，僅說明需使用適當直徑之鑽頭，以便取得具代表性試樣。所以本研究以各種不同直徑的鑽心試體，與不同鑽取深度粉樣變數進行試驗。由表 5-34 精密度分析可以發現鑽心試體小於 2.5 cm 或取樣深度小於 2 cm，可能會有精密度無法達到標準要求之情形。

若將各種取樣法均有進行試驗的 AM 組試驗結果進行討論，則圖 6-1 為各總取樣法的氯離子試驗結果（尚未換算成每立方重的%濃度值）與外加氯離子量關係圖，圖 6-2 為排除鑽心試體小於 2.5 cm 或取樣深度小於 2 cm 試驗結果的關係圖。理論上各外加氯離子量均可反應出 1 個實際值於試體上，因此為論何種取樣變數，其實驗結果差異應該不大。但由圖 6-1 可以發現個別試驗值差異極大。圖 6-2 中，實線部分為所有數據的線性迴歸線，虛線部分是迴歸線 $\pm 1\sigma$ 管制線，由圖中可以發現只有 1 個試驗值落在迴歸線 $\pm 1\sigma$ 以外，其餘均在 $\pm 1\sigma$ 以內，且線性迴歸後的相關係數高達 0.994。因此由前述這些試驗結果可在取樣方法上說明鑽心試體建議尺寸直徑需在 5 cm 以上。若受到結構行為或鋼筋排列限制無法取得鑽心試體時，可建議採用震動電鑽配合 2.5 cm 直徑鑽石鑽頭進行，但鑽取深度需在 3 公分以上。一般而言，混凝土使用最大粒料粒徑大部分介於 20 mm 至 10 mm 之間，鑽心試體建議尺寸直徑在 5 cm 以上與震動電鑽搭配 2.5 cm 直徑鑽

石鑽頭與至少 3 公分深度，均已大於最大粗粒料粒徑，可避免試體取樣過程僅取到粒料之粉末，導致試驗誤差。

在試驗標準方面，第五章第六節以本研究試驗配比探討目前常用的 CNS 與 AASHTO 試驗法之間在標準差上的差異，由試驗結果的標準差發現，CNS 法的標準差低於 AASHTO 法，表示 CNS 法的精密度較高，且在後續三個實驗室通一取樣方式對同一批配比進行試驗的結果，也可證明在不同實驗室與不同操作者下進行試驗，均可符合 CNS 標準的精密度要求。因此在實驗手冊上亦建議以 CNS 法為架構。

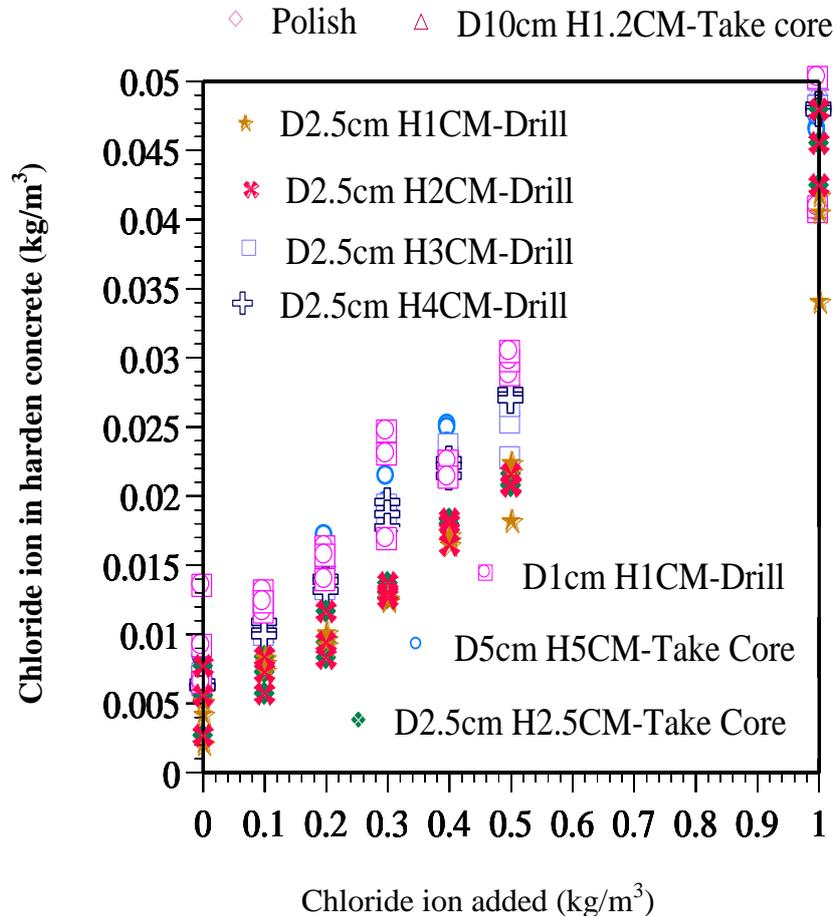


圖 6-1 AM 組配比硬固混凝土水溶法氯離子濃度與添加量關係圖(所有取樣法)
(資料來源：本研究自行整理)

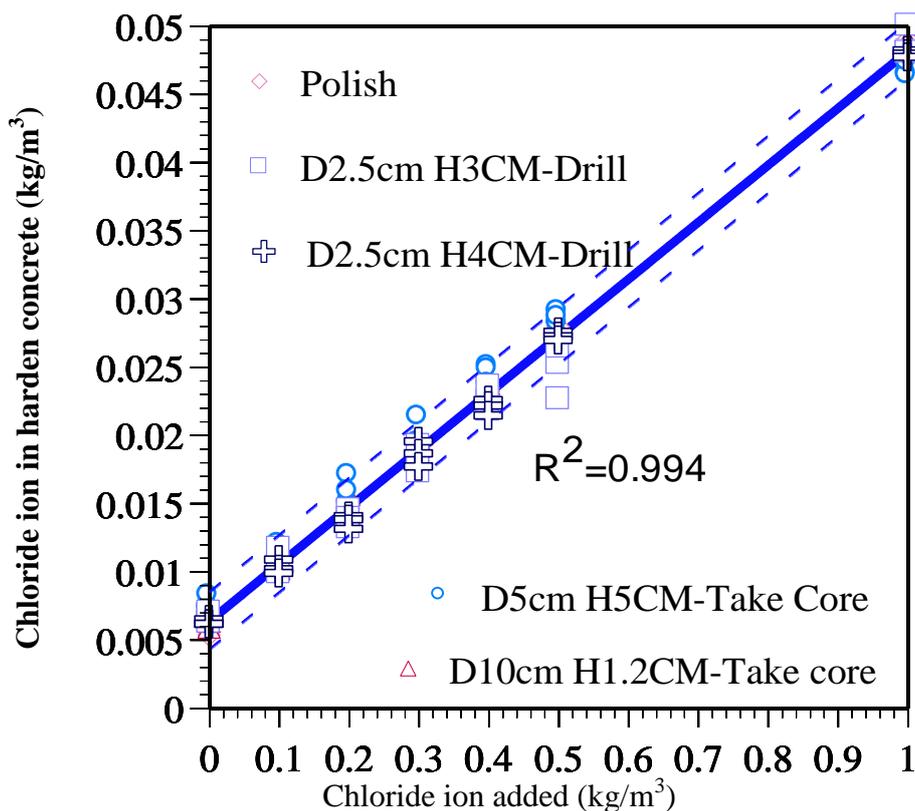


圖 6-2 AM 組配比硬固混凝土水溶法氯離子濃度與添加量關係圖（排除鑽心試體小於 2.5 cm 或取樣深度小於 2 cm 試驗結果）

（資料來源：本研究自行整理）

目前業界進行混凝土結構物氯離子含量分析，若要求進行抗壓強度，其取樣方法通常會取鑽心試體，取樣步驟應依規定之混凝土取樣。但部分實驗室，進行抗壓強度實驗後，僅取部分抗壓試體碎片，此種取樣方式通常僅取到水泥漿體，而排除粗粒料部分。於過篩步驟，經常拋棄殘餘部分碎片，僅取過篩粉末進行氯離子含量分析。為釐清此步驟之缺失，於拌製混凝土時，添加不同用量之氯離子，並於混凝土硬固後，採兩種取樣方式，(1)取直徑 10cm 厚度 1.2cm 之試體，顎碎、全量過篩；(2) 進行抗壓強度實驗後，僅取部分抗壓試體碎片，再分別進行氯離子含量分析。圖 6-3 為實驗之結果，圖中圓點 AL 配比为 10cm 厚度 1.2cm 取樣方式(1)之結果，方形為 AL 配比抗壓試體粉碎為取樣方式(2)之結果。經由線性迴歸分析，取樣方式(1)，約可量測氯離子添加量之 99%，而取樣方式(2)，約可量

測氯離子添加量之 123%，取樣方式(2)之氯離子量測值，因取樣過程中忽略粗粒料，導致高估氯離子之量測值。

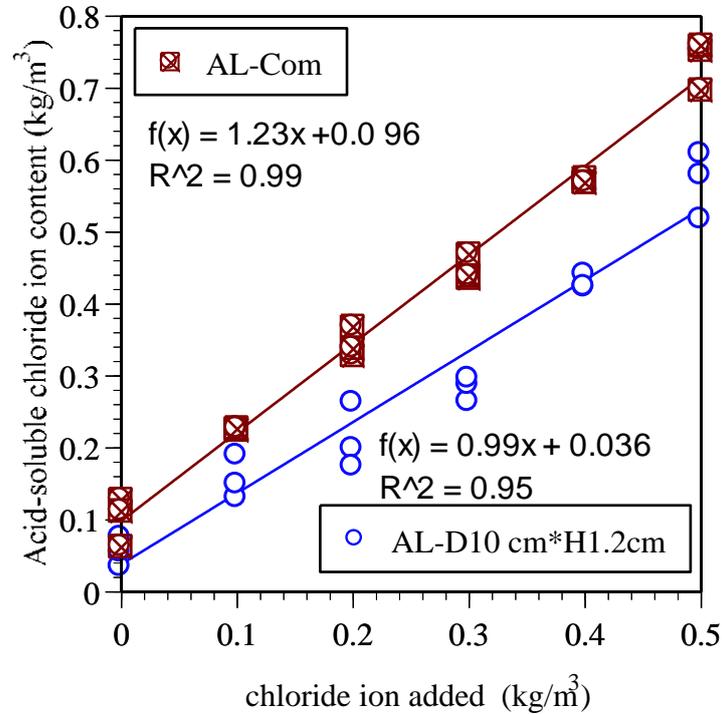


圖 6-3 AL 組配比硬固混凝土水溶法氯離子濃度與添加量關係圖 (直徑 10cm 厚度 1.2cm 取樣與抗壓試體粉碎取樣)

(資料來源：本研究自行整理)

若由本次有進行水溶性氯離子試驗取樣方式進行探討，圖 6-4 與圖 6-5 將表 5-23 水溶法試驗結果與外加氯離子量線性迴歸方程式斜率繪製成比較圖。由圖中可以發現直徑 10 cm 高度 1.2 cm 試體粉碎取樣方式中的 AH 與 AM 配比線性迴歸方程式的斜率較低，最低為 AH 配比，斜率為 0.367，表示水溶性氯離子僅為外加氯離子量的 36.7%，此與一般認為水溶法氯離子占氯離子總量的 50% 至 70% 有很大的差異。由此亦可以說明水溶性氯離子受到某些因素影響導致變異性較大。因此建議未來訂定硬固混凝土氯離子限制值時，可使用酸溶法作為主要試驗標準。

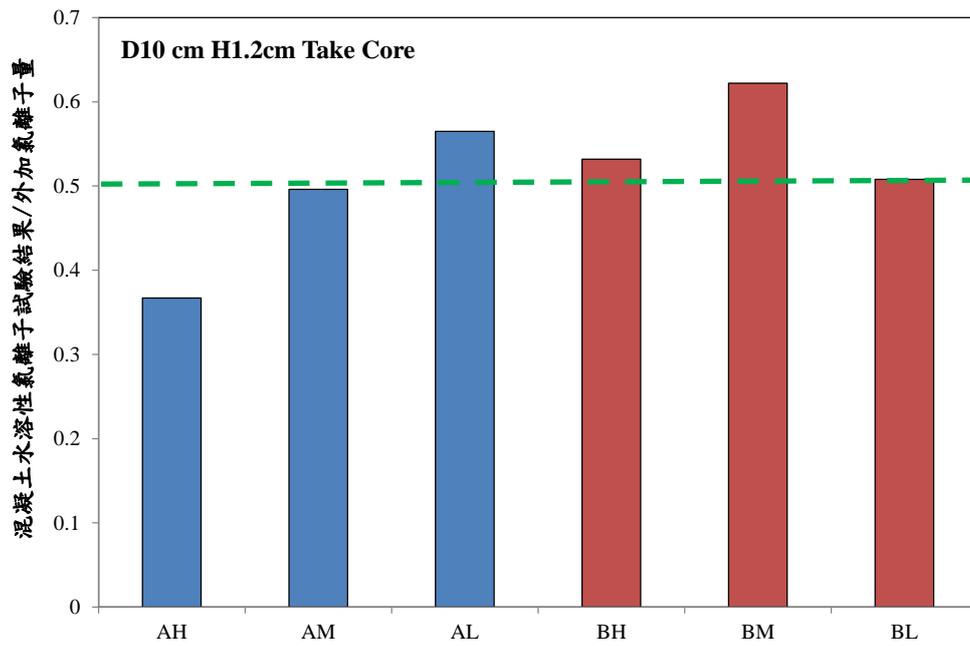


圖 6-4 水溶法試驗結果與外加氯離子量線性迴歸方程式斜率比較圖(直徑 10 cm 高度 1.2 cm 試體粉碎取樣)

(資料來源：本研究自行整理)

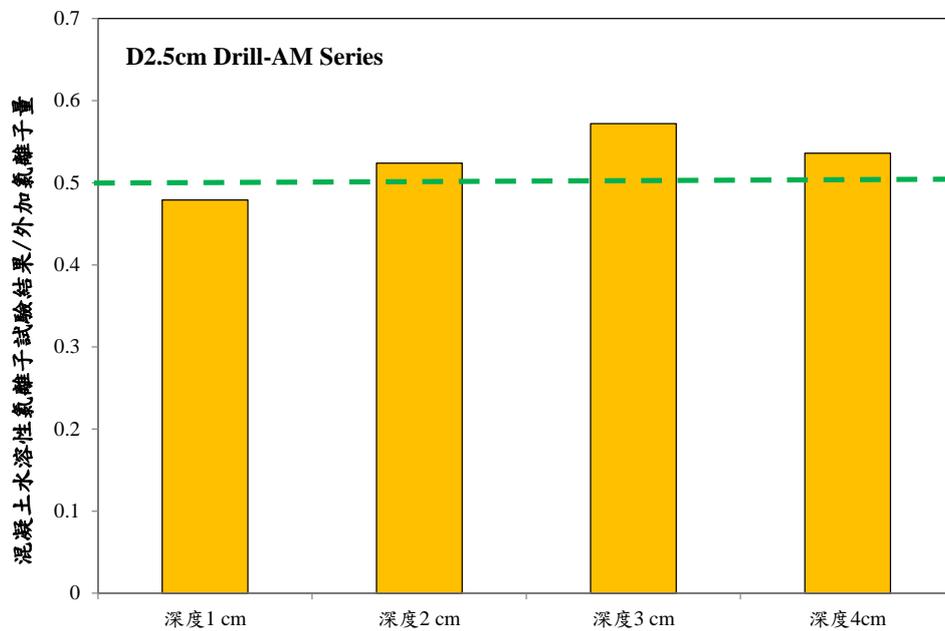


圖 6-5 水溶法試驗結果與外加氯離子量線性迴歸方程式斜率比較圖(直徑 2.52 電鑽鑽心取樣)

(資料來源：本研究自行整理)

而在試驗法上，CNS 對硬固氯離子試驗有酸溶法與水溶法兩種試驗法。因此當考量水溶法與酸溶法之間的關係時，將前面第五章第三節同樣配比與取樣變數酸溶法試驗結果與水溶法結果繪製成關係圖，如圖 6-6 所示。途中排除差異較大的 AH 配比，由圖中可以發現兩者亦呈現良好線性關係 ($R^2=0.955$)，其水溶法試驗結果約為酸溶法的 55.4%與圖 5-16 至圖 5-18 中各組線性關係的迴歸方程式斜率平均值 0.520 接近。

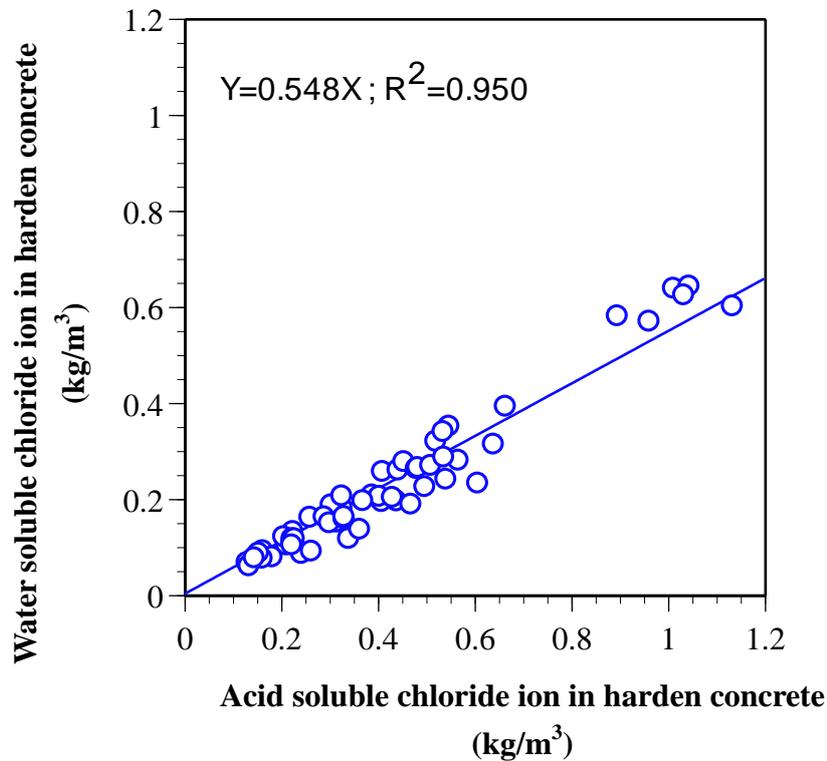


圖 6-6 本研究硬固混凝土水溶法與酸溶法氯離子試驗結果關係圖

(資料來源：本研究自行整理)

由上述研究，可將取樣方式建議若採鑽心取樣方式，最小取樣直徑建議於 5 公分以上，但目前業界常用之抗壓試驗後粉碎料隨機取樣由本研究試驗結果，建議不採用。若採一般震動電鑽取樣建議須使用 2.5cm 鑽頭，取樣深度至少為 3cm。在萃取法上建議仍採標準差較小的 CNS 法 (ASTM 法)。未來若訂定硬固混凝土氯離子限制值時，建議採用酸溶法為試驗標準。因此可建議在現行的 CNS 14702 酸溶法試驗標準進行下列的增修。

建議於 CNS 14702 標準中 3.1.1 節、3.1.2 節、5.1.2 節、5.1.3 節、與 9.1.1 節增修，修改處並以粗體字體做為標示。相關說明如下。

原條文：

3.1.1 試樣鑽心或切鋸設備：依CNS 1238「混凝土鑽心試體及切鋸試體抗壓及抗彎強度試驗法」之規定。

建議修改內容：

3.1.1 試樣鑽心或切鋸設備：依CNS 1238「混凝土鑽心試體及切鋸試體抗壓及抗彎強度試驗法」之規定，**鑽心使用鑽筒尺寸建議直徑在50 mm以上。**

原條文：

3.1.2 旋轉式鑽孔機：使用鑽孔機鑽頭旋轉磨粉方式取粉體試樣時，該旋轉式鑽頭機須使用適當直徑之鑽頭，以便取得具代表性之試驗所需試樣。

建議修改內容：

3.1.2 旋轉式鑽孔機：使用鑽孔機鑽頭旋轉磨粉方式取粉體試樣時，旋轉式鑽孔機鑽頭直徑需使用大於最大粒料粒徑的鑽石鑽頭，**建議可使用 25 mm 直徑以上之鑽石鑽頭。**

原條文

5.1.2 除另有規定外，依 CNS 1238 鑽取混凝土鑽心試體。

參考：CNS 1238 所取之混凝土鑽心試體，於平行試體軸線方向切割出厚 12 mm (1/2 in) 之縱剖片；或垂直於試體軸線方向沿其側面切割出厚 12 mm (1/2 in) 之試片，用以代表此鑽心試體各種不同深度之混凝土。遠離試體面層之混凝土，滲入其中之氣離子含量，通常其數值較接近原來新拌混凝土澆置之含量，鑽心機鑽進時所使用之冷卻水，將改變部分面層之試驗結果。

建議修改內容：

5.1.2 除另有規定外，依 CNS 1238 鑽取混凝土鑽心試體。

參考：CNS 1238 所取之混凝土鑽心試體，**其直徑大於 100 mm 時**，於平行

試體軸線方向以乾式切割出厚 12 mm (1/2 in) 之縱剖片；或垂直於試體軸線方向沿其側面以乾式切割出厚 12 mm (1/2 in) 之試片。若受限鋼筋排列或其他因素以直徑 50 mm 鑽心試體進行試驗時，則試片厚度為 25 mm (1 in)，用以代表此鑽心試體各種不同深度之混凝土，並不得由抗壓試驗後之粉碎物隨機取樣。遠離試體面層之混凝土，滲入其中之氯離子含量，通常其數值較接近原來新拌混凝土澆置之含量，鑽心機鑽進時所使用之冷卻水，將改變部分面層之試驗結果。

原條文

5.1.3 利用旋轉衝擊式鑽孔機取得之硬固混凝土粉末，常用於測定橋面板、鋪面混凝土等不同深度氯離子濃度之變化。此類樣品可能不具代表性，特別是當粗粒料之最大標稱最大粒徑為 25 mm (1 in) 或更大時，因此須將數個此類樣品混合成綜合試樣後再測定，或於應用此類數據時須特別小心處理。

關於取樣方法之步驟，概述如下

- (1) 以旋轉衝擊式鑽孔機垂直於混凝土表面，或平行於鑽心試體之主軸，鑽入混凝土至規定深度，或所鑽深度足以取得至少 20g 具代表性之粉末狀樣品。為防止樣品遭受汙染，須避免手接觸樣品或汗水滴入樣品。所有用於取樣之工具，在每一次取樣操作前，須先洗淨並以乙醇淋洗，再經乾燥，於鑽孔時不得使用任何潤滑劑。
- (2) 利用料匙或其他適當工具，將粉末樣品移入樣品容器。

建議修改內容：

5.1.3 利用旋轉衝擊式鑽孔機取得之硬固混凝土粉末，常用於測定橋面板、鋪面混凝土等不同深度氯離子濃度之變化。此類樣品可能不具代表性，特別是當粗粒料之最大標稱最大粒徑為 25 mm (1 in) 或更大時，因此須將數個此類樣品混合成綜合試樣後再測定，或於應用此類數據時須特別小心處理。

關於取樣方法之步驟，概述如下

- (1) 以旋轉衝擊式鑽孔機垂直於混凝土表面，或平行於鑽心試體之主軸，鑽入混凝土深度至少須為 30 mm，或所鑽深度足以取得至少 20g 具代表性之粉末狀樣品。為防止樣品遭受汙染，須避免手接觸樣品或汗水滴入樣品。

第六章 硬固混凝土氯離子檢測方法與標準手冊建立

所有用於取樣之工具，在每一次取樣操作前，須先洗淨並以乙醇淋洗，再經乾燥，於鑽孔時不得使用任何潤滑劑。

(2) 利用料匙或其他適當工具，將粉末樣品移入樣品容器。

原條文

9.1.1 單一實驗室之標準差經統計分析為 0.0015% 氯離子，因此，於同一實驗室對相同材料所做兩次正確操作試驗結果之差不得大於 0.0042%。

建議修改內容：

9.1.1 單一實驗室之標準差經統計分析為 0.0015% **硬固混凝土或水泥砂漿氯離子濃度**，因此，於同一實驗室對相同材料所做兩次正確操作試驗結果之差不得大於 0.0042%。

第二節 硬固混凝土氯離子檢測方法與標準手冊草案

本計畫藉由硬固混凝土試驗過程中所獲得的經驗，配合國內外相關研究資訊與國家標準文件，建立硬固混凝土氯離子檢測方法與標準手冊草案，以供建研所實驗室人員後續進行硬固混凝土氯離子試驗時，有所依循，減少因不熟悉試驗程序所導致的人為誤差。由於硬固混凝土氯離子試驗需經過取樣、萃取、分析等多項程序，所以在標準程序架構上，除依循國家標準規定，將試驗方法條列化外，亦將各步驟所需注意的事項註記於各步驟之後。另一方面在我國 CNS 標準將氯離子檢測方法主要分散在 3 個規範中，分別為酸溶法的取樣、萃取、與精密度要求列於 CNS 14702；水溶法的取樣、萃取、與精密度要求列於 CNS 14703；及氯離子濃度分析檢測列於 CNS 10757 中。本手冊整合三個試驗標準內容與建議順利進行試驗的方式。下述為草案內容。

硬固混凝土氯離子檢測方法與標準手冊草案

1. 適用範圍

- 1.1 本試驗提供硬固混凝土或硬固水泥砂漿中，酸溶性與水溶性氯離子含量。
- 1.2 本標準中所列數值係以國際單位制（SI）為準。

2. 相關規範

參考標準文件如下，其他相對國際標準與附屬標準請詳見附件1與附件2。

- CNS 14702 硬固水泥砂漿及混凝土中酸溶性氯離子含量試驗法
- CNS 14703 硬固水泥砂漿及混凝土中水溶性氯離子含量試驗法
- CNS 10757 水硬性水泥化學分析法

3. 試驗方法概要

- 3.1 硬固混凝土氯離子試驗包含三個試驗過程，分別為試樣取樣、萃取、與濃度分析工作。

4. 應用

- 4.1 於大多數之水硬性水泥系統中，酸溶性氯離子含量可代表系統中氯離子之總量，惟某些含有氯離子之有機物可能存在於水泥砂漿或混凝土中，其所含之氯離子原為不溶於酸者，但在強鹼性之水泥系統中暴露一段時間後，此種氯化物終將分解變成酸溶性或水溶性。
- 4.2 鋼筋類的金屬材料，當其與水泥漿、水泥砂漿、或混凝土等水泥拌料接觸或埋置其中時，超過一定濃度的水溶性氯離子會導致或加速金屬腐蝕。因此，本試驗方法手冊之目的在評估水泥系材料發生上述情形的可能性，或檢測已經發生此反應的水泥系材料。然而水溶性氯離子在水泥系材料之生命週期中某一時段內測定的數值，會隨著測定時間點之變化而有相當大的不同，例如工作環境會造成水溶性氯離子之溶解或析出，進而使水溶性氯化物之含量有所增減。
- 4.3 試驗齡期會影響水溶性氯離子於混凝土的濃度變化，建議除已載明須測試早期齡期的氯離子含量外，所有取樣的水泥質材料齡期應高於28天。

4.4 由於硫化物會干擾氯離子含量之測定，對於礦物摻料（如高爐爐渣粒料或粉料）及水泥中所含硫化物之濃度，將導致測定值偏高之疑慮，可依本手冊6.2與6.3節加過氧化氫處理，以消除干擾。

本「應用」章節係引用 CNS 14702 與 14703 對酸溶法與水溶法之描述，以使手冊使用者可以迅速了解由酸溶法與水溶法得到氯離子含量的相關意義。並在 4.3 節增列建議水泥質材料試驗齡期，此部分係參考 AASHTO T260 標準的規定。

5. 樣品準備

5.1 取樣設備

5.1.1 鑽心或切鋸設備：依 CNS 1238 「混凝土鑽心試體及切鋸試體抗壓及抗彎強度試驗法」之規定，鑽心使用鑽筒尺寸建議直徑在 50 mm 以上。

5.1.2 旋轉衝擊式鑽孔機（震動電鑽）：使用鑽孔機鑽頭旋轉磨粉方式取粉體試樣時，旋轉式鑽孔機鑽頭直徑需使用大於最大粒料粒徑的鑽石鑽頭，建議可使用 25 mm 直徑以上之鑽石鑽頭。

5.1.3 料匙：可在無污染疑慮下採取粉體試樣之料匙。

5.1.4 試樣容器：可保持試樣不受污染之容器。

5.2 粉樣處理器具

若試樣採鑽心方式取得，需先使用切鋸設備至 5.3.2 節要求之試樣尺寸。若為旋轉式鑽孔機取樣粉料則依 5.3.3 節規定處理。

5.2.1 將切鋸後尺寸大於 25 mm 以上之試樣，利用顎碎或槌擊方式使其破碎成較小碎粒，惟須防止細粒料因受擊崩散之損失。

5.2.2 切鋸後尺寸小於 25 mm 以上之試樣，可使用相關研磨設備或使用搗杵與研鉢破碎顆粒並研磨試樣至通過 850 μm 標稱孔徑之 CNS 386 標準試驗篩。惟使用搗杵與研鉢處理時須將細粒材料之耗損控制在可忽略不計之水準。

5.3 取樣

5.3.1 由取樣人員依取樣計畫，採取結構體上能代表硬固水泥砂漿或混凝土品質

變異情況之樣品，或能顯現欲探究特性之特定樣品，樣品須包含面層及深層之部分。取樣人員應為土木技師、結構技師、建築師、或通過相關訓練之專業人員。

5.3.2 除另有規定外，依 CNS 1238 鑽取混凝土鑽心試體。

參考：CNS 1238所取之混凝土鑽心試體，其直徑大於100 mm時，於平行試體軸線方向以乾式切割出長度12 mm (1/2 in) 之縱剖片；或垂直於試體軸線方向沿其側面以乾式切割出長度12 mm(1/2 in)之試片。若受限鋼筋排列或其他因素以直徑50 mm鑽心試體進行試驗時，則試片厚度為25 mm (1 in)，用以代表此鑽心試體各種不同區域之混凝土，並不得由抗壓試驗後之粉碎物隨機取樣。遠離試體面層之混凝土，滲入其中之氯離子含量，其數值通常較接近原來新拌混凝土澆置之含量，鑽心機鑽進時所使用之冷卻水，將改變部分面層之試驗結果。

5.3.3 利用旋轉衝擊式鑽孔機取得之硬固混凝土粉末，常用於測定橋面板、鋪面混凝土等不同深度氯離子濃度之變化。此類樣品可能不具代表性，特別是當粗粒料之最大標稱最大粒徑為 25 mm (1 in) 或更大時，因此須將數個此類樣品混合成綜合試樣後再測定，並於應用此類數據時須特別小心處理。關於取樣方法之步驟，概述如下

(1) 以旋轉衝擊式鑽孔機垂直於混凝土表面，或平行於鑽心試體之主軸，鑽入混凝土深度至少須為 30 mm，或所鑽深度足以取得至少 20g 具代表性之粉末狀樣品。為防止樣品遭受汙染，須避免手接觸樣品或汗水滴入樣品。

所有用於取樣之工具，在每一次取樣操作前，須先洗淨並以乙醇淋洗，再經乾燥，於鑽孔時不得使用任何潤滑劑。

(2) 利用料匙或其他適當工具，將粉末樣品移入樣品容器。

5.3.4 研磨後試樣與試驗粉末均須通過850 μ m標稱孔徑之CNS 386標準試驗篩，並妥善儲存，須避免汗水或其他雜質混入樣品。

1. 此部分「樣品製作」之描述除引用 CNS 對取樣過程之描述。並配合本計畫第 6 章第 1 節所歸納之研究成果加入條文中，如 5.1.1 的鑽心試體直徑、5.1.2 節鑽頭尺寸、與 5.1.3 節鑽入深度。以使手冊使用人更明白 CNS 標準條文意義。
2. 由於試驗過程發現以直徑 2.5 cm 高度 2.5 cm 鑽心試體進行試驗，可能會使標準差大於標準的限制。因此參考本研究直徑 2.5 cm 鑽頭鑽粉須至 3 cm 以上深度取樣才具代表性的試驗結果，建議若採直徑 5 cm 鑽心試體，其試驗試片後度至少須為 2.5 cm。
3. 由本研究試驗結果，並不建議採取鑽心試體抗壓後隨機取粉碎物進行氯離子試驗。

6. 萃取溶液準備

6.1 試樣調製：將 5.3.4 通過 850 μm 標稱孔徑之 CNS 386 標準試驗篩之全量試驗粉末樣品置於光面紙上，以 6.1.1 或 6.1.2 的方法混勻式樣後縮分選取大約 10g 之試樣，烘乾後測定其質量準確至 0.01 g，並將試樣置放至 1 只 250 mL 燒杯中，依酸溶法或水溶法試驗之不同以進行後續萃取過程。

6.1.1 以小鏟翻拌全量試樣 3 次，最後 1 次翻拌時將試樣鏟至另一光面紙上，其方式為每回以一整鏟之試樣堆置於前一鏟所形成圓錐之頂部，最後使全量試樣堆成一圓錐體。再將試樣傾倒於另一張光面紙上，移置時亦堆成圓錐形，如此交互移置至少 10 次。

6.1.2 將光面紙之各角輪流提起，使試樣翻滾至相對之對角，經過 3 次循環後，併提四角使形成一圓錐體。再將試樣傾倒於另一張光面紙上，移置時亦堆成圓錐形，如此交互移置至少 10 次。

6.2 酸溶法萃取溶液

6.2.1 將 6.1 節調製之試樣進行秤重後放入 250 mL 燒杯，加入 75 ± 1 mL 去離子水（符合 CNS 3699 化學分析用水 A3 等級）後，並加入 25 ± 1 mL 稀硝酸(1:1)

進行酸化過程。若試樣含有礦物摻料（如高爐爐渣粒料或粉料）及水泥中所含硫化物有導致測定值偏高疑慮時，須加入 3 ± 1 mL 濃度 30% 之過氧化氫。同時將上述冷卻後之萃取濾液加入 3 滴甲基橙以判斷其酸度，若此時溶液沉澱物呈現黃色或黃橙色表示酸度不足，須加入過量 10 滴硝酸，直至沉澱物呈現粉紅或紅色為止。

6.2.2 將燒杯以錶玻璃覆蓋後加熱至沸騰，並於沸騰時將燒杯由電熱板移出，避免氯化物因加熱揮發而損失。

6.2.3 放置室溫冷卻後，利用重力或抽氣方式將溶液以濾紙（CNS 5038 化學分析用濾紙 G 級）過濾，以取得氯離子量測濾液。

6.3 水溶法萃取溶液

6.3.1 將 6.1 節調製之試樣進行秤重後放入 250 mL 燒杯，加入 50 ± 1 mL 去離子水（符合 CNS 3699 化學分析用水 A3 等級）。

6.3.2 將燒杯覆蓋與錶玻璃並加熱沸騰 5 分鐘後靜置 24 小時。靜置後用重力或抽氣方式將溶液以濾紙（CNS 5038 化學分析用濾紙 G 級）過濾。

6.3.3 將濾液移入 250 mL 燒杯，並加入 3 ± 0.1 mL 稀硝酸（比例 1:1）及 3 ± 0.1 mL 濃度 30% 之過氧化氫，並靜置 1 至 2 分鐘後，將燒杯以錶玻璃覆蓋與加熱至沸騰。沸騰時將燒杯立即由電熱板移出，避免持續沸騰導致氯化物揮發損失。

此部分「萃取溶液製作」之描述以 CNS 標準條文為主。萃取過程較為繁雜，是導致試驗人為誤差產生的主要原因。因此提醒手冊使用人須小心依所採用試驗之步驟進行。

7. 濃度試驗步驟

萃取濾液中氯離子是以次氯酸根狀態存在於氫氧化鈉溶液中，所以樣本滴定前必須進行酸化處理，將次氯酸根還原成氯離子以供量測。所採用的方式參考 CNS 1078 標準所規定之硝酸銀電位滴定法進行。

7.1 濃度試驗裝置

7.1.1 電位滴定儀：具有氯化物，銀/硫化物離子選擇電極，並具最少可讀至 1 mV

之電位計與 A 級滴定管。滴定管容量 10 mL，細刻度 0.05 mL，電位測定型滴定管可具有一置換式輸液管端。

7.2 試藥

7.2.1 氯化鈉標準液：0.05N NaCl。

7.2.2 硝酸銀標準液：0.05N AgNO₃。

7.2.3 甲基橙指示劑：每 1L 的 95%乙醇含有 2 g 甲基橙。

7.3 試驗步驟（酸溶法與水溶法相同）

7.3.1 將上述冷卻後之萃取濾液中小心滴入 2 mL 的 0.05N 氯化鈉標準液，並將燒杯中放入 TFE 氟碳覆蓋磁石後置於磁攪拌器上，再將離子選擇電極小心放入溶液中，並避免磁石攪拌時碰觸電極。

7.3.2 將裝有 0.05N 硝酸銀標準液的滴定管放入溶液中，並避免磁石攪拌時碰觸滴定管。

7.3.3 緩慢滴定，當電位計量測值較水中當量點低 60 mV 時，紀錄所需 0.05N 硝酸銀標準液的用量。藉由滴定終點所得之硝酸銀溶液滴定量與已知濃度，可以計算滴定溶液中氯離子含量，其計算式如下：

$$Cl (\%) = 3.545[(V_1 - V_2)N - 0.10]/W \quad (6-1)$$

式中 $Cl (\%)$ 為氯離子濃度(%)； N 為 0.05 N 標準硝酸銀溶液之正確當量濃度，由於硝酸銀溶液極易受光線干擾，因此試驗前需以標準 0.05 N 標準氯化鈉溶液標定； V_1 為滴定終點所使用的 0.05 N 標準硝酸銀溶液 mL 數； V_2 為空白滴定所使用的 0.05 N 標準硝酸銀溶液 mL 數。 W 為試樣質量 (g)。而 $Cl (\%)$ 乘以試樣之水泥質材料單位重便可以換算為每立方水泥質材料含多少氯離子重量。

此部分「濃度試驗步驟」之描述以實際操作方式與 CNS 標準條文為主。標準並未強制使用自動電位滴定儀，但若避免人為誤差，建議採用可連續記錄電位判斷滴定終點與控制滴定量的自動電位滴定儀為主。另相關滴定化學機理可參考本報告第三章。

8.精密度

8.1 酸溶法精密度要求：酸溶法單一實驗室之標準差經統計分析為 0.0015% 硬固混凝土或水泥砂漿氯離子濃度，因此於同一實驗室對相同材料所做兩次正確操作試驗結果之差不得大於 0.0042%。多個實驗室之標準差經統計分析為 0.0021%，因此，於兩個不同實驗室對相同材料所做兩次正確操作試驗結果之差不得大於 0.0042%。

8.2 水溶法精密度要求：水溶法單一實驗室試驗結果之標準差經統計分析為 0.0013% 硬固混凝土氯離子濃度，則兩組在同一實驗室對相同材料試樣正確操作下的試驗結果相差不應超過 0.0037%。多個實驗室試驗結果之標準差為 0.0037% 時，則兩組在同一實驗室對相同材料試樣正確操作下的試驗結果相差不應超過 0.0106%。

此部分精密度之描述以 CNS 標準條文為主。但對其標準差之單位定義更加以明確。而此標準差規定經多實驗室證明，本研究之取樣方式可達到要求。
--

第七章 研究結論與發現

本研究進行本土性硬固混凝土氯離子含量標準與檢測方法之研究除依服務建議書所規劃的配比設計，並依期初委員審查意見增加 1 組氯離子含量變數，以及其中委員審查意見主要探討取樣方式的影響，完整探討建立取樣方式與硬固混凝土氯離子含量關聯性，並由此建立硬固混凝土氯離子含量標準與試驗方法。研究由今年 3 月開始，目前已完成所有混凝土氯離子含量量測試驗工作。計畫執行狀況良好，符合服務建議書甘梯圖設計，並已獲得試驗結果如下。

第一節 結論

1. 由抗壓強度試驗結果發現，添加氯離子對抗壓強度的影響相當輕微，無論設計強度 5000 psi 或 3000 psi，其試驗值高低差異的最大值分別為 269 psi 與 46 psi，相差均在 6% 之內。而粒料體積量越高配比則抗壓強度亦越高，最高可差異到 715 psi，最低為 488 psi。由此可發現本計畫混凝土配比的抗壓強度受到粒料體積量的影響遠大於混凝土內添加氯離子量的影響。
2. 由新拌混凝土氯離子含量試驗可以發現當混凝土未添加氯化鈉時，各配比無論粒料含量為何均有粒料含量背景值。而各配比新拌氯離子含量試驗結果與拌合時外加的氯離子量可以呈現正相關。但其試驗值均低於拌合時外加的氯離子量。
3. 由新拌氯離子試驗結果與外加氯離子量之間比值關係結果發現設計強度變數對新拌混凝土氯離子試驗結果的影響大於粗粒料體積用量變數的影響。
4. 無論何種設計強度與粒料體積量，即使未添加氯離子的配比，仍會於硬固混凝土檢測到氯離子的存在。由於採酸溶法試驗，所以混凝土內部總氯離子均會被萃取出來，因此其控制組硬固混凝土氯離子背景值會大於新拌混凝土試驗結果。
5. 高轉速旋轉磨粉機磨粉取樣與直徑 10 cm、高度 1.2 cm 試體粉碎的酸溶法硬固混凝土氯離子試驗結果可與外加的氯離子量相當。而直徑 2.5 cm 高度 2.5

cm 鑽心試體的酸溶法硬固混凝土氯離子約檢測出外加的氯離子量的 80%~83%。推斷應與取樣斷面積有關，前者取樣試體斷面積在 19.6 cm^2 以上，並大於粒料最大粒徑。

6. 高轉速旋轉磨粉機磨粉取樣與直徑 10 cm、高度 1.2 cm 試體粉碎的硬固氯離子試驗結果均可符合 CNS 精密度要求。在鑽心試體方面直徑 5 cm 高度 5 cm 鑽心試體的硬固氯離子試驗結果亦符合標準的精密度要求，但直徑 2.5 cm 高度 2.5 cm。硬固氯離子試驗結果部分配比不符合標準精密度要求。
7. 在電鑽鑽粉取樣方面，鑽頭尺寸 2.5 cm，深度大於 3cm 的取樣方式可以符合標準精密度要求。
8. 由本研究水溶法試驗結果發現，其試驗值大約為外加氯離子量的 52%，有 3 組配比低於 50%，可能受到其他外在因素影響導致變異性較大。建議未來訂定硬固混凝土時以酸溶法試驗標準為主。
9. 直徑 2.5 cm 高度 2.5 cm 鑽心試體取樣與普通電鑽磨粉取樣試驗結果均不符合試驗標準精密度要求。因此取樣的斷面積與取樣後粉末的均勻度會影響試驗的精密度。
10. 由 AASHTO 標準試驗發現，其標準差會大於 CNS，顯示試驗粉樣重量可能影響試驗精密度。且多實驗室試驗結果發現，電鑽鑽粉取樣於多實驗室進行時均可以符合 CNS 標準精密度要求。
11. 以目前常用的由鑽心試體抗壓後粉碎隨機取樣，由本研究試驗結果發現有數值偏高情形，有可能抗壓後粉碎料已與粗粒料脫離導致試驗結果受到影響。
12. 在結構單元取樣位置方面，本計畫利用放置沿海區域達六年之梁試體進行試驗，發現底部的硬固氯離子含量試驗結果略高於頂部。其中面海側底部與頂部最大差異為 1.27 倍，平均為 1.04 倍；背海側底部與頂部最大差異為 1.07 倍，平均為 1.02 倍，差異並不大。

並由相關試驗結果，建立硬固混凝土氯離子檢測方法與標準手冊草案，

內容除將酸溶法與水溶法試驗過程加以說明，並針對取樣過程與方式一試驗成果進一步說明與建議，可使手冊使用人員快速與正確操作硬固混凝土氯離子試驗。

第二節 建議

本研究針對實驗結果發現，提出下列建議，說明如下。

建議一

(建議主題)：立即可行之建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：經濟部標準局

建議可將研究成果運用於 CNS 14702、CNS 14703 的條文增修中。於相關辦法中訂定鑽心取樣最小尺寸、深度、與數量。

建議二

(建議主題)：立即可行之建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：經濟部標準局

建議所上依手冊開辦相關硬固混凝土氯離子檢測訓練課程，以提升所內研究能量。

建議三

(建議主題)：中長期性建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：內政部營建署、經濟部標準局

建議可於相關規定中訂定混凝土試驗取樣人員資格認定方式，以減少相關爭議。

建議四

(建議主題)：中長期性建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：內政部營建署、經濟部標準局

建議未來可擴充硬固混凝土氯離子檢測方法與標準手冊草案。結合各種以氯離子評估混凝土耐久性試驗方法介紹。除可完整說明混凝土於新拌時便含有氯離子對建築物的影響；也可說明舊有混凝土在海域環境下耐久性的評估方式。

建議五

(建議主題)：中長期性建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：內政部營建署、經濟部標準局

建議可整理長期相關氯離子研究與海砂屋試驗結果，以訂定我國硬固混凝土氯離子含量標準。

(建議主題)：中長期性建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：內政部營建署、經濟部標準局

建議未來可進行含氯量對鋼筋混凝土構材長期劣化之研究。

附錄一 期初審查會議紀錄與意見回應

內政部建築研究所 102 年度建築先進技術創新開發與推廣應用計畫協同研究計畫(三)「第 1 案：取樣位置與萃取方式對鋼筋混凝土氯離子含量與檢測方法影響之研究」、「第 2 案：鋼筋混凝土建築物耐久性能診斷方法研擬」及「第 3 案：BIM 應用於建築節能評估之策略與實務」等 3 案評選會議紀錄

一、時 間：102 年 2 月 19 日（星期二）上午 9 時整

二、地 點：大坪林聯合開發大樓 15 樓第 3 會議室(新北市新店區北新路三段 200 號 15 樓)

三、主 席：陳召集人建忠 記錄：劉青鋒、林志彥

四、出席及請假評選小組委員：(如簽到單)

出席：陳召集人建忠、廖委員肇昌、吳委員傳威、厲委員妮妮、鄒委員本駒

請假：李委員釗、洪委員盟峰

五、列席人員：秘書室（請假）

六、主持人報告：本案共聘評選委員 7 人，目前出席之外聘評選委員 2 人及本所評選委員 3 人，合計 5 人，超過評選委員總額 2 分之 1，外聘評選委員人數亦超過出席委員人數之 3 分之 1，宣布會議正式開始。

七、主辦單位報告：

(一) 本案自 102 年 1 月 23 日公告招標訊息，並於 102 年 1 月 31 日下午 5 時截止投標收件，本案計有 3 家廠商投標；經 102 年 2 月 1 日資格審查，資格合於規定之投標廠商共計 3 家，為楊仲家、邱

取樣位置與萃取方式對鋼筋混凝土氯離子含量與檢測方法影響之研究

建國及施宣光。本案已於 2 月 5 日下午 1 時 30 分召開工作小組會議，其初審意見請評選委員參考。

(二) 本案評選須知之「評選作業流程」、「評選項目及權重」、「優勝廠商評定方式」等要項，請評選委員確認。

決定：出席之評選委員均同意依原公告之評選須知規定辦理。

八、受評廠商簡報：略。

九、評選委員發言重點與受評廠商回應：

(一) 第 1 案：取樣位置與萃取方式對鋼筋混凝土氯離子含量與檢測方法影響之研究

委員	評選委員意見(依發言順序)	廠商回應(楊仲家)
吳傳威委員	<ol style="list-style-type: none"> 1. 本研究應先對未固結新拌混凝土先進行氯離子檢測，以利後續與硬固混凝土試驗結果進行比較。 2. 本研究配比設計之氯離子含量變數請考慮拉大間隔或統一間隔。 3. 本研究混凝土試體與水中養護使用的水是否有氯離子問題？ 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 新拌混凝土氯離子檢測於試驗過程中一併進行。 2. 將依委員意見於試驗時調整相關氯離子含量變數。 3. 試體與水中養護使用的水氯離子的影響之背景值會列入考量。
廖肇昌委員	<ol style="list-style-type: none"> 1. 本研究採用不同變數探討，宜先確認單一變數時，其結果的變異範圍，以免係因本身的變異涵蓋了變數差異間的影響。 2. 本研究硬固混凝土氯離子萃取方式，其水溶法及酸溶法的使用是否與氯離子的來源有關，如海域環境氯離子(Cl⁻)為吸附在混凝土上(內)對其水溶與酸溶法所得結果相 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 將依委員意見先建立單一變數試驗結果的變異範圍。 2. 水溶與酸溶差異性將於試驗過程中一併納入考量。

	<p>接近，若氯離子(Cl⁻)係為混凝土組成材料，拌合時即以存在，對水溶與酸溶差異性較大，對構造物位置與氯離子(Cl⁻)來源亦可一併納入考量探討方法的適用性。</p>	
鄒本駒委員	<p>1. 本研究與混凝土工程設計規範附錄 E 氯離子含量規定 CNS 3030 有關，該規範係對新拌混凝土規定其含量最大值为 0.3 kg/m³，若有疑慮可採硬固混凝土氯離子含量試驗。而本所 100 年度對硬固混凝土氯離子含量標準已有研究成果基礎。硬固混凝土氯離子含量標準爭議甚久，本年度研究針對取樣方式、位置、深度大小做進一步研究，另對於上述規範附錄，本研究是否以既有酸溶法小於 0.4kg/m³之規定為基礎，提出增修之初步建議。</p>	<p>1. 參考委員建議以既有研究基礎，提出增修之初步建議。</p>
厲妮妮委員	<p>1. 本研究服務建議書第 27 頁之預期工作目標及成果的第 5 點，包括「可發展成國家標準」。欲達此項目標，尚需規劃哪些後續研究課題以加強內容。</p> <p>2. 本研究服務建議書第 26 頁，建請加入「期中報告」項目。</p>	<p>1. 本研究計畫將就試驗結果提出規範附錄增修與未來可研究課題之初步建議。</p> <p>2. 流程圖將增列期中報告項目。</p>

<p>陳建忠召集人</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 本研究服務建議書實驗部分相當詳細，但請詳細補充達成招標需求預期成果及效益的方法、流程、工具、文獻。 2. 本研究各種結構單元之取樣請再詳細考量，如壓樑、樑頂、柱、接頭或依建築法所稱主要構造分段取樣或力學上構造上易有損壞的部分，請提出具體建議。 3. 本研究請收集爭議案例資料及相關問題點。 4. 本研究試驗抽樣樣本數是否具有代表性及是否充分。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 感謝委員指教。將於期中報告補充達成招標需求預期成果及效益的方式。 2. 若氯離子由外部環境進入混凝土，對結構單元的面海方向高度會比較有影響，結構單元較不受影響。若氯離子於混凝土新拌時就存在，則視該批混凝土澆置結構單元的位置而有影響。相關建議將於後續研究報告中說明。 3. 爭議案例資料及問題點將加以蒐集，並於期中報告說明。 4. 抽樣樣本數的充足性已於實驗設計時一併考量。
---------------	---	--

(二) 第 2 案：鋼筋混凝土建築物耐久性能診斷方法研擬

委員	評選委員意見(依發言順序)	廠商回應 (邱建國)
<p>吳傳威委員</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 量化診斷必須透過材料檢測，檢測取樣點或數量宜一併納入考慮(不宜多到不實際)。 2. 檢測採用的方式許多必須使用特殊儀器及專業檢測人員，如何規範其內容及選用較普及化之參數請參考。 3. 診斷包含初步及詳細兩階段，初步診斷是否可提供如同 D.E.R.U. 之快速診斷方式。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 感謝委員意見。材料檢測部份將整合過去二年建研所執行之材料耐久性指標研究，而本研究主要著重於建築物耐久性能診斷方法研擬。 2. 感謝委員意見。材料檢測部份將整合過去二年建研所執行之材料耐久性指標研究，並參考專家意見進行門檻值設定或適用項目篩選。 3. 感謝委員意見。建築物耐久性能受許多影響因子支配，主要選定五類因子

		<p>進行判定。一為構件劣化，主要評估建築物構件，柱、梁、版、牆之劣化行為及狀況；二為表面材料披覆劣化程度，對於建築物的內外裝材料暴露於自然環境及使用維護下劣化情形；三為環境因子，建物受酸雨、二氧化碳、溫度及濕度影響甚大，並將建築物年齡也一併考量，探討建築物使用年限之劣化潛在程度；四為其他使用性，以使用者為出發點，判定是否有白華、變形、振動等使用性不適之現象。綜合以上四類因子結果，以初步判定結構之耐久性能。</p>
<p>廖肇昌委員</p>	<p>1. 建議以既有出現劣化現象之建築物，運用所提出的評估準則及方法進行實例操作，以確有準則的實用性及方法的可靠度。</p>	<p>1. 感謝委員意見。將會於研究中考量委員所述之建議，並利用實例分析以增進方法之實用性。</p>
<p>鄒本駒委員</p>	<p>1. 今年度全國科技會議，議題之一為推動台灣永續發展，特別強調確認各項永續評估項目及科學方法之創新等永續議題，期本研究計畫對建築永續發展有所貢獻。 2. 本研究重點除針對劣化度分類外，宜以本土既有研究成果，建立針對劣化進度，提出劣化預測之方法，再據以進行耐久性制定，以及後供補修工法選定之建議。本研究內容架</p>	<p>1. 感謝委員意見。委員所提部份即為本研究之目標，目前國內雖積極推動工程之永續設計或低碳設計，但多為定性方法或理論而缺乏一系統性定量準則。以鋼筋混凝土建築而言，延長其生命週期或使用年限，可提升其”耐久性能”以符合長壽命建築之要求，則能使其符合永續工程目標。因此，建立台灣適用之鋼筋混凝土建築耐久診斷與</p>

	<p>構主要參考日本耐久性調查診斷及補強指針，其中劣化因子如凍害，日本嚴重，但對台灣並不重要，因此本土劣化因子調查研究應為本研究重點。另部分日文譯詞請勿直接引用漢字，宜翻譯成國人習慣用詞。</p>	<p>設計準則是極為需要之研究課題。</p> <p>2. 感謝委員意見。本研究除參日本相關文獻外，亦會統整建研所過去相關研究，並以建立台灣適用之診斷方法為目的。日文譯詞部份會遵照委員意見進行修正。</p>
厲妮妮委員	<p>1. 是否已規劃哪幾種類型的建築物作為本案調查對象?樣本各為多少?</p> <p>2. 本所推廣之耐震建築標章評估系統，是否有可能提供給本案做引用參考?</p> <p>3. 服務建議書第 12 頁之圖 5，被初步診斷為「無疑慮」之後，其後續是否真的無需再做檢查直到永久?是否宜與「稍有疑慮」一樣，進行「定期檢查」較好，只是檢查的週期可寬鬆些?</p> <p>4. 服務建議書第 22 頁，建議加入「期中報告」項目。</p>	<p>1. 感謝委員意見。本研究將以既有 RC 典型校舍為調查對象，樣本數約取 3-5 棟。</p> <p>2. 感謝委員意見。會將委員建議部份納入研究參考。</p> <p>3. 感謝委員意見。計畫書及簡報內容僅為初步構想，會將委員之建議納入研究參考。</p> <p>4. 感謝委員意見。遵照委員意見進行修正。</p>
陳建忠召集人	<p>1. 本研究有關耐久性能診斷項目繁多，量化不易，請分成研究深度，符合社會期望之可用的成果來進行研究。</p> <p>2. 耐久性需與建築物經濟性之評估，結合使所有權人、使用人能有具體的決策，則較能提高其應用性。(其為耐久性降低後經修補性能可提升多少、價值增加多少、可用</p>	<p>1. 感謝委員意見。將於執行過程中多採納現行方式與相關技術人員意見，以建立具實用價值之診斷方法。</p> <p>2. 感謝委員意見。將會於研究中考量委員所述之建議。</p>

	多久……)	
--	-------	--

(三) 第 3 案：BIM 應用於建築節能評估之策略與實務

委員	評選委員意見(依發言順序)	廠商回應 (施宣光)
吳傳威委員	1. 節能評估與目前綠建築節能指標的關係？	1. BIM 作為建築生命週期資訊處理的核心，其目的之一就是提供各階段評估與分析所需的資訊。綠建築節能指標之計算分析所需的資訊只要透過適當的介面就可以從 BIM 建築資訊模型提取。本計畫服務建議書雖然並不是特別針對綠建築日常節能指標之特定項目需求而訂定，但以節能為目標所進行的設計流程以及評估分析應當有助於綠建築節能指標的取得。 服務建議書內容以建築設計初期階段為主，與綠建築節能指標關係比較密切的部分為建築配置、構造材料、外殼與開口等等，建議書內容並未深入涉及設備與管理的層面中細節的部份。
鄒本駒委員	1. 本研究在節能建築設計程序模型上，採用 BPMN 格式，係用於在跨組織流程上，設計一個協同塑模的平台。惟節能涉及領域及範圍廣，本研究之建築節能評估之範圍為何？是否外殼節能外，尚包含	1. BIM 牽涉到建築生命週期所有階段的資訊作業，而節能除了與規劃設計的關係之外，與施工及營運管理的關係也非常密切。本計畫提案以節能為目標做全盤檢討提出整體架構，但主要以規劃

	<p>空調照明、材料、工法、甚至碳足跡等宜述明，以利各跨領域組織流程之建立。</p> <p>2. 本案實例探討 LOD100~LOD200，因施工涉節能大，何不探討至 LOD400？另建議書內 MVD 誤繕，寫成 MDV，請修正。</p>	<p>設計為主，礙於計畫期程的限制，對於空調照明、工法以及碳足跡等議題並未列入主要的研究範圍，但應可以延伸本案之研究成果針對施工及營運階段之 BIM 作業的策略與實務提出後續研究的建議。</p> <p>2. 本服務建議書提議之研究範圍設定在規劃設計階段，是故並未深入探討 LOD400 與 500，以及施工及營運階段所需之節能相關資訊交換程序與規格，是否將範圍擴大至 LOD400，希望能與委託單位進一步討論。MVD 誤繕承蒙委員指正，將遵照修正。</p>
<p>厲妮妮委員</p>	<p>1. BIM 在建築節能方面要發揮效益，是否僅能在建築物的設計階段？在使用階段可否幫助節能？</p> <p>2. BIM 可否與 HEMS、BEMS 等能源管理系統結合？</p> <p>3. 服務建議書之研究進度甘特圖，建請加入「期中報告」項目。</p>	<p>1. 本服務建議書提議之研究範圍設定在規劃設計階段，並未深入探討營運階段所需之節能相關資訊交換程序與規格，是否將研究範圍擴大至使用階段，希望能與委託單位進一步討論。</p> <p>2. BIM LOD500 的成果應該要提供營運階段能源管理系統的資訊需求，然而以目前服務建議書所提列之研究範圍而言，並沒有包含與能源管理系統整合之資料交換標準格式的建置。建議可以列入後續研究的範疇。</p> <p>3. 將遵照辦理，調整工作計</p>

		畫以納入期中報告項目。
陳建忠召集人	<ol style="list-style-type: none"> 1. 節能評估在基本設計階段的功能，除了在此研究計畫第 8 頁所提到的項目之外，是否應考量設備運轉模擬？ 2. 本案主要目的之一在利用 IFC 格式在業主、建築師、節能專業者所使用的軟體間進行資料交換，在國內建築師常用的為 Revit 等軟體，然而在業主、節能專業者似乎較少見，是否須將國外相關軟體應用情形納入研究。 3. 請利用國內綠建築節能評估部分檢核本案研究可用性及成效。 4. 國內知名的工程顧問公司如世曦，中興等據悉已完成類似主題的應用著有案例。請收集評估，及建立本所研究本案的存在價值。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 本服務建議書提議之研究範圍設定在規劃設計階段，並未深入探討設備運轉模擬所需資訊的交換程序與格式。是否將研究範圍擴大至設備運轉模擬，希望能與委託單位進一步討論。 2. 目前國內建築耗能分析使用之軟體，在設計初期階段的概估以 Ecotect 與 Varsari 較常見，更精密的評估則需使用進一步的軟體。國外 MVD 建置的案例大多以 Ecotect 以及 Energy plus 為資料交換資標的。本團隊將遵照委員指示將國外相關軟體應用情形納入考量。 3. 遵照辦理，將以綠建築節能指標之需求進行分析，探討如何在設計階段與 BIM 進行整合，以及相關之資訊交換標準。 4. 遵照辦理，蒐集國內知名的工程顧問公司應用案例進行評估。

十、討論事項：無。

十一、臨時動議：無。

十二、會議結論：

(一) 評選結果如次：

取樣位置與萃取方式對鋼筋混凝土氯離子含量與檢測方法影響之研究

各協同研究計畫名稱	廠商	平均得分	名次加總後序位
第 1 案：取樣位置與萃取方式對鋼筋混凝土氯離子含量與檢測方法影響之研究	楊仲家	83.2 分	1
第 2 案：鋼筋混凝土建築物耐久性診斷方法研擬	邱建國	79.4 分	1
第 3 案：BIM 應用於建築節能評估之策略與實務	施宣光	81.9 分	1

(二) 以上各案受評廠商，均符合評選須知第 4 點第 1 款「須有過半數之出席評選委員評定達 70 分(含)以上者方列入名次之排定。」之規定。

(三) 請主辦單位將評選結果簽報機關首長或其授權人核定。

十三、散 會：上午 11 時 50 分。

內政部建築研究所

本所102年度建築先進技術創新開發與推廣應用科技計畫協同研究計畫(三)「取樣位置與萃取方式對鋼筋混凝土氯離子含量與檢測方法影響之研究(第1案)」、「鋼筋混凝土建築物耐久性能診斷方法研擬(第2案)」及「BIM應用於建築節能評估之策略與實務(第3案)」採購評選會議簽到簿

時 間：102年2月19日(星期二) 上午9時0分	
地 點：大坪林聯合開發大樓15樓第3會議室召開(新北市新店區北新路3段200號15樓)	
主 席：評選委員會召集人 陳建東 記 錄：劉青峰	
出席人員	簽 到 處
評選委員	
	李 望 昌
	吳 仁 威
	蕭 妮 妮
	邱 志 河
受評廠商	
	楊 仲 毅
	施 登 光
	邱 映 同

[楷峻開1020001389S]

評選委員發言單及廠商回應一覽表

項次	評選意見	廠商回應
吳傳威委員		
1	本研究應先對未固結新拌混凝土先進行氯離子檢測，以利後續與硬固混凝土試驗結果進行比較。	新拌混凝土氯離子檢測於試驗過程中一併進行。
2	本研究配比設計之氯離子含量變數請考慮拉大間隔或統一間隔。	將依委員意見於試驗時調整相關氯離子含量變數。
3	本研究混凝土試體與水中養護使用的水是否有氯離子問題？	試體與水中養護使用的水氯離子的影響之背景值會列入考量。
廖肇昌委員		
1	本研究採用不同變數探討，宜先確認單一變數時，其結果的變異範圍，以免係因本身的變異涵蓋了變數差異間的影響。	將依委員意見先建立單一變數試驗結果的變異範圍。
2	本研究硬固混凝土氯離子萃取方式，其水溶法及酸溶法的使用是否與氯離子的來源有關，如海域環境氯離子(Cl ⁻)為吸附在混凝土上(內)對其水溶與酸溶法所得結果相接近，若氯離子(Cl ⁻)係為混凝土組成材料，拌合時即以存	水溶與酸溶差異性將於試驗過程中一併納入考量。

	<p>在，對水溶與酸溶差異性較大，對構造物位置與氯離子 (Cl-) 來源亦可一併納入考量探討方法的適用性。</p>	
<p>鄒本駒委員</p>		
1	<p>本研究與混凝土工程設計規範附錄 E 氯離子含量規定 CNS 3030 有關，該規範係對新拌混凝土規定其含量最大值為 0.3 kg/m³，若有疑慮可採硬固混凝土氯離子含量試驗。而本所 100 年度對硬固混凝土氯離子含量標準已有研究成果基礎。硬固混凝土氯離子氯離子含量標準爭議甚久，本年度研究針對取樣方式、位置、深度大小做進一步研究，另對於上述規範附錄，本研究是否以既有酸溶法小於 0.4kg/m³ 之規定為基礎，提出增修之初步建議。</p>	<p>參考委員建議以既有研究基礎，提出增修之初步建議。</p>
<p>厲妮妮委員</p>		
1	<p>本研究服務建議書第 27 頁之預期工作目標及成果的第 5</p>	<p>本研究計畫將就試驗結果提出規範附錄增修與未來可研究課</p>

	點，包括「可發展成國家標準」。欲達此項目標，尚需規劃哪些後續研究課題以加強內容。	題之初步建議。
2	本研究服務建議書第 26 頁，建請加入「期中報告」項目。	進度圖將增列期中報告項目。
陳建忠召集人		
1	本研究服務建議書實驗部分相當詳細，但請詳細補充達成招標需求預期成果及效益的方法、流程、工具、文獻。	感謝委員指教。將於期中報告補充達成招標需求預期成果及效益的方式。
2	本研究各種結構單元之取樣請再詳細考量，如壓樑、樑頂、柱、接頭或依建築法所稱主要構造分段取樣或力學上構造上易有損壞的部分，請提出具體建議。	若氯離子由外部環境進入混凝土，對結構單元的面海方向高度會比較有影響，結構單元較不受影響。若氯離子於混凝土新拌時就存在，則視該批混凝土澆置結構單元的位置而有影響。相關建議將於後續研究報告中說明。
3	本研究請收集爭議案例資料及相關問題點。	爭議案例資料及問題點將加以蒐集，並於期中報告說明。
4	本研究試驗抽樣樣本數是否具有代表性及是否充分。	抽樣樣本數的充足性已於實驗設計時一併考量。

附錄二 期中審查會議紀錄與意見回應

召開本所 102 年度委託研究「鋼筋混凝土於中性化及氯離子複合作用下腐蝕劣化之研究」、「以電化學法量測混凝土中鋼筋腐蝕劣化之研究」暨協同研究「取樣位置與萃取方式對鋼筋混凝土氯離子含量與檢測方法影響之研究」等 3 案期中審查會議紀錄

一、時間：102 年 7 月 10 日（星期三）下午 2 時 30 分

二、地點：本所簡報室

三、主持人：何所長明錦

記錄：李台光、厲妮妮、林志彥

四、出席人員：如簽到單

五、簡報內容：略。

六、綜合討論意見：

（一）「鋼筋混凝土於中性化及氯離子複合作用下腐蝕劣化之研究」案：

台灣省建築材料商業同業公會聯合會 王總幹事榮吉：

本研究蒐集之資料與文獻，鋼筋腐蝕的效應與防範腐蝕的策略，均符合預期成果。

高教授健章：

1. 試體個數與組數應有量化數據，如預計總數與已完成之數量，可具體的呈現研究進展情形。
2. 「碳化」改為「碳酸化」可能較為切題。
3. 預期成果第 3 項之試體製作與試驗較費力費時，應把握進度。

廖組長肇昌：

1. 初步研究成果驗證學理上有關在高鹼性環境下，鋼筋在鹽化物含量高的條件下，腐蝕速率較快（高）的結論。就此部分，

能否將鹽化物(NaCl)的濃度，可轉換成氯離子含量，如每立方的混凝土含多少公斤的氯離子，則將有助於目前有關硬固混凝土在分析中性化及氯離子含量間的腐蝕速率的判斷，並進一步建立 pH 值與氯離子間的關係曲線。

2. 有關簡報第 25 頁，期中報告第 41 頁表 2.3 中， $[Cl^-]/[OH^-]>0.6$ 的腐蝕臨界值，在實務應用上要如何硬固混凝土上進行判斷檢測其是否正處於鋼筋腐蝕的初始狀態。

沈教授永年：

1. 本研究針對氯離子鹽害及中性化之複合作用下，探討其對添加飛灰與水淬爐石粉混凝土之腐蝕行為，具有實用性與貢獻性。
2. 期中簡報第 17 頁提及與水灰比無關，請說明。
3. 建議期末報告提出 $[Cl^-]/[OH^-]$ 大於多少時，鋼筋就會產生腐蝕。

詹教授穎雯：

1. 本案之實驗計畫步驟與細節並不詳細，無法從報告書中瞭解實際實驗內容：(1) 第一階段是否為配置溶液浸泡鋼筋？(2) 鋼筋重量損失量測之頻率、時間為何？如何計算得鋼筋腐蝕速率？(3) 簡報中提到之溶液 pH 變化是如何測得？代表意義為何？
2. 第 2 階段之試體與實驗計畫在簡報中並未提及，詳細內容亦請說明：(1) 依材料變數表 3.3，總計會有 360 組(5×4×2×3×3)是否正確？每組會有幾個圓柱試體？以這樣龐大的試體數量，如何進行加速中性化（圖 3.1 設備）？(2) 試體中是否埋設鋼筋？如無，何以進行半電池電位、脈衝法量測、四極式電阻量測等電學量測？(3) 所有試驗之試驗頻率或齡期為何？

李教授釗：

1. 建議量測 $[Cl^-]/[OH^-]$ 是否大於 0.6。
2. 混凝土中的鋼筋若是在形成鈍態保護膜後，再受外來氯離子侵蝕，因此鋼筋宜先浸泡鹼性溶液，待生成鈍態保護膜後再加入氯離子。
3. 試驗用的 20 公分鋼筋除一般的腐蝕行為外，亦包括鋼筋切斷面的應力腐蝕，故試驗前宜將兩端部分先做防蝕。
4. 飛灰取代量 40% 太高，爐石取代量 30% 太少。

陳組長建忠：

1. 請檢討國家標準各項標準，有關侵蝕劣化行為之修正建議。
2. 依期中報告書文獻分析，環境溫濕度亦是重要效應，因此在各實驗時以及結果分析表達，請予以量測表達。
3. 報告中所提為中小學梁柱腐蝕，請嘗試推演至一般住宅或商用建築。

中華民國土木技師公會全國聯合會 蔡得時技師（書面意見）：

1. 本文研究目的第 5 點：培育鋼筋混凝土抗腐蝕技術相關人才，建議於期末報告列出培育教材大綱。
2. 建議補充期初審查意見及回復。
3. 部分圖表有簡體字，請修正。並建議於試體計畫中將試體數量稍作描述。
4. 請確認試驗變數 pH 值係為 7、9、11、13.5 或 9、11、13。

研究單位回應：

1. 本研究第一階段鋼筋浸泡於不同狀況下之溶液，模擬混凝土孔隙溶液之情形。
2. 本研究鋼筋浸泡 28 天後量測後將表面鏽蝕去除，透過所量測重量損失根據 ASTM 規範中建議式計算出其腐蝕速率。
3. 本研究透過 pH meter 量測得知，所代表的為溶液 pH 值的變化情形。

4. 由於一般較常用「碳化」表示，因此會再斟酌考量是否要改為「碳酸化」。
5. 本研究於期末報告中，會將國家標準各項標準有關侵蝕劣化行為資料進行探討。另由於本實驗變數較多試體數量較大，若有餘裕會再多針對溫溼度對於腐蝕的影響，進行討論。
6. 本研究於期末報告中，將會嘗試建立 pH 值與氯離子間的關係曲線。
7. 於期末報告中會針對形成鈍態保護膜後，再受外來氯離子侵蝕，與未形成鈍態保護膜後，就受外來氯離子侵蝕兩者之差異進行比較。
8. 本研究會針對兩端由於熱處理，而造成鏽蝕較嚴重之情形進行排除後，再進行腐蝕行為之評估，並會探討添加摻料後對於鋼筋混凝土腐蝕行為之影響。
9. 本研究試驗變數 pH 值為 7、9、11、13，期中報告中誤植部分，將於期末報告書改正。

(二)「以電化學法量測混凝土中鋼筋腐蝕劣化之研究」案：

台灣省建築材料商業同業公會聯合會 王總幹事榮吉：

按鋼筋混凝土表面磁磚被覆下之鋼筋腐蝕行為及量測方法，為本研究案預期成果之一。以目前國內的建築現況，磁磚選樣應以馬賽克、二丁掛、方塊磚及小口磚……等常見式樣；並建請邀集有施工經驗之團體，提供實務建議。

高教授健章：

1. 請補充國內外相關之近期文獻回顧。
2. 結構韌性構件中，其箍筋係為環繞主筋之形式，採 90 度或 135 度彎折，與本案實驗有所差異。彎折處會發生應力腐蝕，此因素宜加考量。

廖組長肇昌：

1. 依本研究實驗結果，以小尺寸構件量測鋼筋腐蝕情形，與混

凝土厚度、水灰比皆有相互影響關係。建議未來可歸納出何種厚度、水灰比之混凝土，較適合採用之鋼筋腐蝕量測法。另外，於進行量測時，是否須使混凝土之含水量處於適當狀態？亦請說明。

2. 實尺寸構件較接近真實構件。建議就研究結果的趨勢、態樣及變異性加以歸納，提出量測鋼筋腐蝕之建議及其限制條件。

沈教授永年：

1. 本研究以電化學量測法探討保護層厚度、配比及含水量等因子間之相互關係，並提出現地鋼筋混凝土之鋼筋腐蝕量測標準步驟，具有重要性與貢獻性。
2. 本案初步結論提及水灰比越低時，量測值越不穩定，數據無明顯趨勢。建議於期末報告中述明電化學法量測混凝土中鋼筋腐蝕行為之適用條件（例如水灰比之適用範圍）。
3. 若箍筋與主筋之間，以彎鈎取代一般交疊方式，其腐蝕行為差異為何？

詹教授穎雯：

1. 本案實驗將鋼筋埋設於試體之中，建請說明鋼筋露出混凝土之部分是否採取加以保護、隔絕措施？鋼筋之鏽蝕是從內部開始，亦或由鋼筋外露啟動？氯離子入滲混凝土之行為與鋼筋腐蝕是否相關？
2. 建議評估或檢討氯離子入滲速率與鋼筋鏽蝕速率是否合理。
3. 建請說明或驗證通電流含氯鹽溶液對混凝土試體中鋼筋腐蝕行為之影響，是在實驗計畫所設定之狀態，而非為其他電流造成之干擾，否則很難建立鋼筋腐蝕與氯鹽濃度之相關性，導致無法評估腐蝕行為對構件力學行為影響之相關性。

李教授釗：

1. 請於報告書中附加摘要。
2. 一般腐蝕電位量測的變異來源並非含水量，而是部分乾燥的問題。建議在不同含水量狀況下，考慮快速潮濕或快速飽和的方法。
3. 磁磚表面量測腐蝕的同時，建議亦在接縫處量測。

陳組長建忠：

1. 建請提出國家標準有關鋼筋腐蝕劣化量測的草案或修正建議具體條文。
2. 本案以電化學法所進行的實驗，發現試體在 5、6、7 天腐蝕幅度大增，推測為鏽水產生，其原因宜繼續查證（如加測含水量）。而量測僅進行 7 天，宜請拉長量測時間。
3. 報告提及中小學校梁柱腐蝕，請嘗試推演至一般住宅、商用建築。
4. 磁磚貼附影響腐蝕劣化之效應為何？以及試驗取樣方法為何？請予考量。

中華民國土木技師公會全國聯合會 蔡得時技師（書面意見）：

1. 建議將期初審查意見及回覆補充。
2. 建議於期末報告時研擬出現地腐蝕量測的標準程序，供作工程界檢測高氯離子混凝土建築物之參考。
3. 建議對於所需試驗設備之操作及計算能做進一步之描述。
4. 研究內容符合預期目標。

研究單位回應：

1. 就報告內容而言，本研究將針對摘要及文獻回顧加強改進。
2. 就目前試驗技術而言，試驗過程中所有試體外露部分及介面處均塗封，以確保鏽蝕位置於內部。由於外加腐蝕的電流密度遠大於氯離子造成的局部電流密度，故試體之鏽蝕主要是受外加電流影響，實際試驗結果亦呈現較接近均勻腐蝕。此

外，當鏽水溢出時，代表鋼筋已發生嚴重的腐蝕情形，內埋鋼筋已與外界直接形成通路，故量測值極不穩定，也因此考量量測技術的限制。本研究以鏽水溢出時為破壞指標，於鏽水溢出後即停止試驗，對於多數試體，通電 7 天內即溢出鏽水，故多數試驗時間僅及 7 天。此外，含水量為另一重要影響因子，目前快速潮濕的方法係採用在試體表面噴灑水，使得試體達到飽和狀態。至於如何有效控制保護層深度內部分乾燥，由於研究時間有限，將待後續研究探討相關乾燥技術可能性。

3. 就後續試驗技術而言，磁磚的阻抗遠較混凝土為大，故預期僅於磁磚表面量測時，並無法得到可靠數據。此外，有害因子主要由灰縫處進入，故本研究會考量在磁磚表面及灰縫處量測，並嘗試在表面開洞進行量測。本研究後續將舉辦專家座談會，討論磁磚的選擇，配合試體尺寸，選用適當磁磚。
4. 就數據資料分析而言，足尺寸試驗的結果皆同時記錄彎鈎的位置。但由於數據量較為龐大，目前還在分析彎鈎處之影響，未來數據呈現時會加註彎鈎處。
5. 就預期成果而言，本研究將根據各材料及量測因子之試驗結果，建議現地腐蝕的量測步驟及適用條件。此外，本研究的成果著重於鋼筋腐蝕量測技術，主要假設腐蝕量測跟材料因素而非結構形式相關，預期可適用於各類結構物。

(三)「取樣位置與萃取方式對鋼筋混凝土氯離子含量與檢測方法影響之研究」案：

台灣省建築材料商業同業公會聯合會 王總幹事榮吉：

1. 本研究預期成果、試驗方法、檢測方法與標準手冊、評估方法等相當明確。
2. 本研究為探討硬固混凝土中氯離子含量檢測方法之標準化、

取樣量、萃取方式與精密度分析，需凝聚產官學的共識。

高教授健章：

1. 本研究當採鑽心取樣方法時，伴隨磨擦生熱之熱效應影響如何？請補述。
2. 本研究成果可能影響規範與民法賠償層面，應審慎嚴謹。
3. 進度良好如預期。

廖組長肇昌：

1. 本研究之取樣是否會有尺寸效應現象？若將來採用電鑽取粉末方法所測得之氯離子含量是否需要修正？
2. 本研究提及全斷面磨粉會將貯存在粗、細粒料內的氯離子(Cl-)一併萃取出，然在硬固混凝土內，此部分之粗、細粒料應不至於對鋼筋腐蝕有影響，故此法的結果對鋼筋腐蝕的氯離子含量臨界值是否偏保守？

沈教授永年：

1. 本研究中蒐集彙整各國之混凝土氯離子試驗方法，加以比較分析，並以取樣位置及萃取方式（3種）探討對鋼筋混凝土中氯離子含量與檢測方法之影響。研究具有工程應用之實用性與重要性。
2. 本研究中新拌混凝土氯離子含量試驗結果低於拌合時外加的氯離子量，其原因宜加以說明。
3. 本研究期中報告初步研究結論與發現中，第7點指出在結構單元之取樣位置方面，梁試體面海與背海側，底部與頂部之差異並不大（平均為1.04與1.02倍）。故建議題目以「取樣方法」取代「取樣位置」，應較為適當且切題。

詹教授穎雯：

1. 本研究計畫明確詳盡，整體面規劃得合理可行。
2. 請說明為何新拌混凝土所測得之氯離子濃度小於實際量，但其硬固混凝土之氯離子濃度測出值卻又與添加量相接近？

3. 本研究採磨粉與鑽粉等兩種取樣方法之探討極有意義，樂觀其成。

李教授釗：

1. 本研究之期中報告宜增加摘要。
2. 本研究以震動電鑽鑽孔取樣，宜考量鑽孔深度應超過粒料最大粒徑約多少倍後才可降低變異性。
3. 本研究期中報告中，「骨材」宜改為「粒料」，以符合中華民國國家標準(CNS)。
4. 建議本研究探討最大粒徑的影響。
5. 本研究之震動電鑽取樣方法在實務上較易應用。

陳組長建忠：

1. 請取得購屋消費糾紛案例，做為取樣之參考（如取樣是明顯剝落處或重要結構位置）。
2. 請檢討各國及台灣之國家標準，並提出國家標準修正草案具體文字。
3. 本研究中迴歸方程式，為何是以直線迴歸？如何推論而得？是否需考量常數項？
4. 本研究期中報告第 2 章之參考文獻第 15 頁，敘述 91 年已訂硬固混凝土試驗方法，但大眾多以中華民國國家標準 CNS 3090 新拌為標準，似指不妥，其原由請予敘明。

中華民國土木技師公會全國聯合會 蔡得時技師（書面意見）：

1. 本研究進度及內容均符合研究目的所述。
2. 本研究期中報告內文標示之文獻與第 77 頁中參考文獻不符合，請修正。
3. 本研究期中報告第 4 頁第 1 行敘述相關統計資料，如根據 2012 統計等，請補參考資料。
4. 本研究期中報告第 14 頁圖 2-3 不清楚，建議研究團隊重新

繪製。

5. 本研究利用放置沿海區域達6年之梁試體進行試驗做比較，值得肯定。
6. 期許本研究成果可發展成為目前法院所謂「海砂屋」訴訟之檢驗方式。

研究單位回應：

1. 有關熱效應之影響，將於期末報告彙整說明。
2. 新拌混凝土低於拌合時外加的氯離子量原因可能是水泥水化反應生成物的吸附作用。後續將探討吸附量的關聯性，並確認試驗數據。
3. 後續有關標準手冊草案或國家標準修正草案具體文字訂定將舉行專家座談會議來討論，使草案更為嚴謹。
4. 有關尺寸效應的影響，將會於期末報告分析說明。
5. 計畫後續參考委員意見，將部分試驗內容更改為實務上較易應用的震動電鑽取樣深度與試驗結果的探討。
6. 有關文字疏漏、常用名詞、與摘要將於期末報告更正。

七、會議結論：

- (一) 請業務單位將與會專家學者及出席代表意見詳實記錄，以供研究單位參考。研究單位應於期末報告中針對期中審查意見逐一補充說明與回應，如期如質完成研究計畫。
- (二) 本次會議 3 案期中報告，經審查結果原則通過，委託研究計畫請儘速依約辦理請領第 2 期款；協同研究計畫請研究單位注意控制經費核銷。並請本所業務單位應依規定時程管控研究進度。

八、散會：下午 4 時 50 分。

內政部建築研究所

召開本所 102 年度委託研究「鋼筋混凝土於中性化及氯離子複合作用下腐蝕劣化之研究」、「以電化學法量測混凝土中鋼筋腐蝕劣化之研究」暨協同研究「取樣位置與萃取方式對鋼筋混凝土氯離子含量與檢測方法影響之研究」等 3 案期中審查會議簽到簿

時 間：102 年 7 月 10 日(星期三) 下午 2 時 30 分			
地 點：本所簡報室(新北市新店區北新路 3 段 200 號 13 樓)			
主 席：何所長明錦		記 錄：林曉(屬妮妮)、李台先	
出席人員	簽到處	代 理 人	
		職 稱	簽 到 處
方教授一匡	(請假)		
李教授釗	李 釗		
沈教授永年	沈永年		
陳教授建謀	(請假)		
高教授健章	高健章		
詹教授穎雯	詹穎雯		
廖組長肇昌	廖肇昌		
趙教授文成	(請假)		
中華民國全國建築師公會			
中華民國土木技師公會全國聯合會	(書面簽到)		
台灣省建築材料商業同業公會聯合會	王榮吉		
黃教授然	黃 然		

[開 FC1020005231S]

取樣位置與萃取方式對鋼筋混凝土氯離子含量與檢測方法影響之研究

陳教授君強	陳君強		
楊教授仲家	楊仲家		
國立臺灣海洋大學	李也修		
國立臺灣科技大學	陳石修		
陳組長建忠	陳建忠		
李研究員台光	李台光		
厲研究員妮妮	厲妮妮		
林研發替代役志彥	林志彥		
相關人員	紀茂傑		
	梁伯魁		
	陶其取		

[開 FC1020005231S]

評選委員發言單及廠商回應一覽表

項次	評選意見	廠商回應
王榮吉委員		
1	本研究預期成果、試驗方法、檢測方法與標準手冊、評估方法等相當明確。	感謝委員意見。將持續朝預定進度完成本研究。
2	本研究為探討硬固混凝土中氯離子含量檢測方法之標準化、取樣量、萃取方式與精密度分析需凝聚產官學的共識。	感謝委員意見。將持續朝預定進度完成本研究。
廖肇昌委員		
1	取樣取樣品量是否會尺寸效應的現象。若將來採用電鑽取粉末所測得氯離子含量是否要修正。	以依委員意見探討電鑽鑽頭尺寸與深度取粉末的影響，如 5-3 節。
2	斷面磨粉會將貯存在粗細粒料內的 Cl ⁻ 一併萃取出，然在硬固混凝土內，此部分（粗細粒料）應不至於對鋼筋腐蝕有影響，故此法的結果對鋼筋腐蝕的氯離子含量臨界值是否偏保守。	斷面磨粉是否會將貯存在粗細粒料內的 Cl ⁻ 一併萃取出，並不本計畫探討範圍內。且酸溶法應會把粒料或漿體部分氯離子萃取出。
高健章委員		
1	取樣方式之熱效應的影響如	由於熱效應並不本計畫討論範圍，因此將蒐集相關文獻於

	何？需補述。(鑽心磨擦生熱)	第三章討論。
2	本研究成果可能影響規範與民法程面，應嚴謹。	有關標準手冊草案或國家標準修正草案具體文字訂定將舉行專家座談會議來討論使草案更嚴謹。
3	進度良好如預期。	感謝委員意見。將持續朝預定進度完成本研究。
沈永年委員		
1	研究中蒐集彙整各國之混凝土 Cl-試驗方法，並加以比較分析。並以取樣位置及萃取方式(三種)探討對 RC 中 Cl-含量與檢測方法之影響。研究具有工程應用之實用性與重要性。	感謝委員意見。將持續朝預定進度完成本研究。
2	新拌混凝土氯離子含量試驗結果低於拌合時外加的氯離子量，其原因應加以說明。	新拌混凝土低於拌合時外加的氯離子量原因可能是水泥水化反應生成物的吸附作用。後續將再確認試驗數據。
3	期中報告結論 7.述及在結構單元之取樣位置方面，梁試體面海與背海側，底部與頂部之差異並不大(平均為 1.04 與 1.02 倍)。故建議以”取樣方	感謝委員意見。以將研究重點由取樣方法”來替代”取樣位置”。

	法”來替代” 取樣位置”，應為適當且切題。	
詹穎雯委員		
1	本計畫試驗計劃明確詳盡，整體面規劃得合理可行。。	感謝委員意見。將持續朝預定進度完成本研究。
2	請說明何以新拌混凝土所測得知氯離子濃度小於實際量。	新拌混凝土低於拌合時外加的氯離子量原因可能是水泥水化反應生成物的吸附作用。後續將再確認試驗數據。
3	承上，硬固混凝土之氯離子濃度測出值卻又與添加量相接近。	此測出值已扣除控制組配比背景值，所以氯離子濃度測出值卻與添加量相接近
4	磨粉與鑽粉等兩種取樣方法之探討極有意義，樂觀其成。	感謝委員意見，期末報告第五章已探討磨粉與鑽粉的影響。
李釗 教授		
1	本報告前宜增加摘要。	感謝委員意見建議，將於期末報告增加摘要。
2	以震動電鑽鑽孔取樣宜考量鑽孔深度應超過粒料最大粒徑約多少倍後才可降低變異性。	以依委員意見探討電鑽鑽頭尺寸與深度取粉末的影響，如 5-3 節。目前試驗結果顯示，鑽孔深度超過 3 cm，可符合試驗標準精密度要求。
3	尊重 CNS，文中粒料宜改為粒料。	感謝委員意見建議，將於期末報告修改。
4	建議探討最大粒徑的影響。	感謝委員意見建議，已於期末

		報告第六章討論。
5	震動電鑽取樣在實務上較易應用。	以依委員意見探討電鑽鑽頭尺寸與深度取粉末的影響，如 5-3 節。
陳建忠召集人		
1	請取得購屋消費糾紛案例，做為取樣之參考。(如取樣是明顯剝落處或重要結構位置)	感謝委員指教。已於期末報告第二章第四節說明近期案例。
2	請對各國及台灣之國家標準，並提出國家標準修正草案具體文字。	感謝委員指教。已於期末報告第六章第一節中說明。
3	迴歸式何以是直線迴歸是如何推論而得，要不要考量有常數項。	若數據已扣除控制組配比背景值就不會考量常數項。
4	第 2 章 (p.15) 敘述 91 年已訂硬固混凝土試驗方法，但以 CNS 3090 新拌為標準，所指不妥，其原由請予敘明。	因新拌與硬固混凝土試驗法明顯不同，已於第一章前言說明。
蔡得時委員		
1	進度及內容均符合研究目的所述。	感謝委員指教。將持續朝預定進度完成本研究。
2	內文標示之文獻與 77 頁參考文獻不符合，請修正。	感謝委員指教。已修正。
3	本文尚利用放置沿海區域達 6 年之梁試體進行試驗做比較，值得肯定。	感謝委員指教。將持續朝預定進度完成本研究。

4	頁 4 第 2 行，根據 2012 統計等敘述，請補參考資料。	感謝委員指教。已補參考資料。
5	頁 14，圖 2-3 不清楚，建議重新繪製。	感謝委員指教。已修正。
6	期許本研究對發展成處理目前法院所謂「海砂屋」訴訟之檢驗方式。	感謝委員指教。將持續朝預定進度完成本研究。

附錄三 期末審查會議紀錄與意見回應

召開本所 102 年度委託研究「鋼筋混凝土於中性化及氯離子複合作用下腐蝕劣化之研究」、「以電化學法量測混凝土中鋼筋腐蝕劣化之研究」暨協同研究「取樣位置與萃取方式對鋼筋混凝土氯離子含量與檢測方法影響之研究」等 3 案期末審查會議紀錄

一、時間：102 年 11 月 5 日（星期二）上午 9 時 30 分

二、地點：本所簡報室

三、主持人：陳組長建忠
媿、林志彥

記錄：李台光、厲媿

四、出席人員：如簽到單

五、簡報內容：略。

六、綜合討論意見：

（一）「鋼筋混凝土於中性化及氯離子複合作用下腐蝕劣化之研究」案：

台灣省建築材料商業同業公會聯合會 王總幹事榮吉：

1. 本研究評估添加不同化學摻劑或礦物摻料，對鋼筋混凝土耐久性與腐蝕的效益，研究符合預期成果。
2. 本研究之模擬溶液及鋼筋混凝土腐蝕評估試驗等，符合預期研究之目的與成果。

中華民國土木技師公會全國聯合會 蔡技師得時：

1. 期末報告書第 5 頁，研究目的第 4 及 5 點，建議於第 5 章再次強調。
2. 期末報告書第 29 頁及第 30 頁之圖 2.13 及圖 2.14，建

議以彩色印刷。

3. 期末報告書第 67 頁之表 3.3，高爐石似欠列 50% 的資料。
4. 期末報告書第 89 至 93 頁，建議試體編號稍作說明。
5. 期末報告書第 92 頁之表 4.5，請補上強度單位。
6. 期末報告書第 97 頁之表 4.8，請補上碳化前（後）單位。
7. 期末報告書第 99 頁之表 4.10，請補上碳化前（後）單位。
8. 內容豐富，符合預期成果需求。

社團法人中華民國建築技術學會 宋技師永鑾：

1. 試驗結果顯示，氯化鈉 5% 時較 2.5% 之腐蝕率慢，是否如研究報告第 87 頁所示或為試驗誤差，請再確認。
2. 建議可增述降低混凝土中性化及氯離子的方案及增加混凝土抗腐蝕的策略。

蘇教授南：

1. 本計畫與其他 2 項計畫，在成果應用上有無關聯性，是否有互相引用及整合之可能性？
2. 簡報第 38 頁之結果，能否以 Pourbaux 圖表示？
3. 請針對目前校舍建築耐震評估與補強設計，老舊 RC 建築之碳化深度需為多少（例如 5cm）方為合理，略加討論。

詹教授穎雯：

1. 報告內容之實驗計畫，建議補充以下內容：試驗變數、材料變數、試體組數、養護齡期及試驗時間等，應有較詳細之敘述，以表列方式表示較佳。
2. 試驗結果之表示，應將試體齡期、試驗時間、試驗持

續時間等不同的「時間」，加以明確區分標明。

3. 試體加速中性化之方法在第3章中，並無詳細說明。
4. 有關「中性化」與「氯離子」之複合作用，在報告中並無著墨，請補充。
5. 請將期中、期末審查意見的回覆，附於報告中。

廖組長肇昌：

1. 由本研究初步結果而言，建築物之硬固混凝土評估腐蝕情形，是否一併將 pH 值納入評估中性化，而非以氯離子含量，作為唯一判斷依據。
2. 本研究結果之齡期為短期，添加爐石粉及飛灰的混凝土有短期的結果，長期若有不同結果，宜加註在報告中。如此等試體在 60 或 90 天齡期，有不同的試驗結果，建議應持續觀測。
3. 添加飛灰及爐石粉發現會降低 pH 值，則在結構物腐蝕評估時，有添加飛灰及爐石粉的混凝土，以中性化做判斷依據是否妥適？

沈教授永年：

1. 本計畫探討中性化及氯離子複合作用下 RC 之腐蝕行為，成果符合預期目標，有助永續發展。
2. 請提供研究中所使用飛灰與爐石之材料基本性質與混凝土配比資料，以利研究報告的完整性。
3. 較低水膠比與配比設計方法之變數影響，值得繼續研究探討。

陳教授建謀：

1. 本研究結果豐碩，值得肯定。
2. 建議各項實驗結果可用迴歸分析，整理出一因果關係公式，可取得較具體量化的結論。

3. 建議將各種試驗情況與建築物實際面對的環境做一對應比較，使建築物管理者較容易理解研究成果，作為管理上參考。

陳組長建忠：

成果請考量實例案例的應用分析，及設定情形下的量化效益與影響。

研究單位回應：

1. 試驗變數、材料變數、試體組數、養護齡期及試驗時間等，將會詳列於成果報告書中。
2. 漏列項目及單位之表格，將於成果報告書中補正。
3. 期中、期末審查意見之回覆與專家座談會紀錄，將附於成果報告書中。
4. 降低混凝土中性化及氯離子的方案及提高混凝土抗腐蝕策略，將於成果報告第 5 章補強。

(二)「以電化學法量測混凝土中鋼筋腐蝕劣化之研究」案：

台灣省建築材料商業同業公會聯合會 王總幹事榮吉：

1. 本研究符合預期成果。
2. 關於鋼筋混凝土表面存在被覆之狀況下，其鋼筋腐蝕行為及其量測，因國內建築物（內裝與外裝）使用磁磚比率非常高，且磁磚之規格、材質、吸水率相差甚多，建議應以目前國內使用比率高者作為實驗之優先選擇。

中華民國土木技師公會全國聯合會 蔡技師得時：

1. 建議第 6 章之結論內容能以呼應預期目標之方式撰寫。
2. 內容豐富，符合預期成果需求。

社團法人中華民國建築技術學會 宋技師永鑾：

1. 依本研究之實驗結果顯示，目前之 ASTM C876 腐蝕電位量測無法準確反應鋼筋腐蝕之位置與程度，此訊息可提供相關公會，做為進行鋼筋腐蝕鑑定之檢討。
2. 目前因鋼筋腐蝕而發生混凝土剝落之情形，多為 20 年以上之建築物，而當年並未有防腐蝕塗料。為求真實狀況，可考慮不塗防腐蝕塗料；又防腐蝕塗料之厚薄會影響實驗結果，宜多注意。
3. 按本研究之建議採用脈衝腐蝕量測法，但其計算腐蝕量與真實損失量之間差約 10 倍，是否偏高？

蘇教授南：

1. 依研究報告書第 6 章之第 5 點結論，計算腐蝕量與實際量測值差約 10 倍之多，是否有深入探討之必要？即針對其影響因素及核心問題進行分析。
2. 依研究報告書第 45 頁提及水灰比為 0.4、0.5 與 0.6，但結論中並未對水灰比 0.4 之試驗結果分析，宜請補充或說明之。

詹教授穎雯：

1. 電化學相關量測技術有相當敏感度，並受許多因素影響。因此，儀器設備之條件、規格、校正等，與操作人員之瞭解及訓練，對於量測結果之正確性、可參考性有關鍵影響，故建議報告中在適當章節略作補充說明。
2. 請將期中、期末審查意見與回覆附於報告中。

廖組長肇昌：

1. 現地量測腐蝕速率，建議就同一量測標的，採不同時間間隔量測其隨時間之變化情形(例如每月量測 1 次，連續量測 1 年；或每 3 個月或 6 個月量 1 次)。

2. 就研究結果，建議律定各項條件下的誤差範圍。
3. 足尺寸樣品（RC 柱），在完成試驗量測後，建議進行鋼筋尺寸量測（單位重、節高、節距）及力學試驗（拉力(f_y 、 f_u)及彎曲試驗)以瞭解腐蝕量與鋼筋品質是否有遞減關係。

沈教授永年：

1. 本研究探討腐蝕電流量測法與重量損失法，二者結果之差異。研究成果與預期目標符合，有助於提升評估 RC 結構物腐蝕速率之精準度。
2. 依研究結果指出，水灰比於 0.5 以上時，可以獲得合理之鋼筋腐蝕值。然而基於混凝土耐久性之考量，通常要求水灰（膠）比需小於 0.4（或 0.45）。故電化學法是否適用於低水灰比（低於 0.4）之 RC 結構物？

陳教授建謀：

1. 本研究成果豐碩，值得肯定。
2. 建議可考慮取一些不同年份之混凝土，量測其鋼筋劣化情形，作為管理上瞭解鋼筋混凝土隨時間腐蝕劣化之參考。

陶研究員兼主任其駿：

1. 針對鋼筋腐蝕速率之量測，其操作程序建議撰寫成 CNS 草案，附於報告附錄中呈現。
2. 對於腐蝕量計算之方法、或所觀察到之腐蝕現象，建議作扼要討論，提供外界參考；並建議採手冊型式，供技術人員依循。

陳組長建忠：

成果請考量實例案例的應用分析，及設定情形下之量化效益與影響。

研究單位回應：

1. 本研究係採加速腐蝕試驗，故試體皆於每日量測一次。在自然狀態下，鋼筋由混凝土保護。若在鈍態下，通常腐蝕變化低，可根據需求改變量測頻率。
2. 不論小尺寸或大尺寸試體，於加速腐蝕試驗前後皆量測其鋼筋重量，故可據此推算重量損失。
3. 本研究的目的是未包括鋼筋混凝土經腐蝕後的力學性質改變，相關成果可參考 貴所 101 年計畫「梁主筋腐蝕位置對桿件韌性行為的影響」之研究報告。
4. 期末報告書將新增一節，統整所有試驗條件下預測值可能之誤差範圍。
5. 將於第 3 章進一步敘述儀器設備的規格、適用條件及使用人員可能需要之訓練。
6. 期末報告書將併入期中與期末審查意見與回覆。
7. 使用防腐蝕塗漆的目的係為在加速試驗之下控制腐蝕區域，試驗時僅量測腐蝕段之腐蝕速率。
8. 目前試驗結果顯示，當水灰比 0.4 且保護層大於 6 公分時，量測值不穩定。推測該結果係受限於儀器性能，因混凝土阻抗大，脈衝電流不足以極化鋼筋。在現地情況下，若混凝土滿足以上條件且不具明顯裂縫時，鋼筋應可得到良好保護，有害離子入侵時間長，不易發生腐蝕。
9. 本研究中，磁磚種類與尺寸的選定係參考期中專家座談會的建議。考量當前老舊建築較具鋼筋腐蝕量測與評估的需要，故優先選擇馬賽克磚與二丁掛磚。一般而言，磁磚的透水率較混凝土低，量測電流應多由灰縫處通過，故原預期量測值將受到灰縫密度的影響，

但結果顯示貼覆馬賽克磚下亦不可得穩定量測值，故未來實務上還是以敲除表面貼覆再量測為宜。

10. 金屬腐蝕速率於鈍態及活性態下，其變化通常達數個數量級。本研究針對鋼筋混凝土中鋼筋的腐蝕量測，因混凝土本身的性質亦會影響量測，故 10 倍尚屬可接受的範圍。本研究的結果說明，即使計算值不同於實際重量損失，但兩者之間成正比，藉由某倍率關係即可合理預估實際重量損失。

(三)「取樣位置與萃取方式對鋼筋混凝土氯離子含量與檢測方法影響之研究」案：

台灣省建築材料商業同業公會聯合會 王總幹事榮吉：

1. 本研究符合預期成果。
2. 本研究期末簡報結論指出，取樣作業應由經過訓練之人員執行，建議應明確說明其訓練課程及考試認證制度，以利執行取樣作業。

中華民國土木技師公會全國聯合會 蔡技師得時：

1. 本研究期末報告第 125 頁之研究結論與發現，建議第 1 點至第 4 點以量化方式表示。
2. 本研究期末報告中，建議將強度單位 psi 以 kgf/cm^2 表示。
3. 本研究內容豐富符合預期成果需求。

社團法人中華民國建築技術學會 宋技師永鑾：

1. 各國對硬固混凝土氯離子之檢測方式、取樣方式均不同，建議後續研究可進一步探討其標準。
2. 本研究建議後續研究，可提出硬固混凝土之試驗標準提供業界參考。

蘇教授南：

1. 本研究期末報告第 33 頁之混凝土配比變數設計，建議混凝土配比再予詳列各項材料（如水泥、粗粒料及細粒料等重量）。
2. 本研究以 ASTM C1152 測試，則對硬固混凝土中之已水化之氯離子是否可測得？請與酸溶法比較之。
3. 建議本研究成果可提供中華民國國家標準(CNS)作為參考或修改。

詹教授穎雯：

本研究有具體成果，對未來混凝土取樣之執行有提升進步作用，建議 貴所召開專家座談討論取樣方法之步驟，並據以提出手冊或中華民國國家標準(CNS)修訂建議。手冊部分可提送營建署發布，CNS 修訂建議則可提送經濟部標準檢驗局修訂相關標準。

廖組長肇昌：

若外來氯離子（如海鹽）或氯離子自始即存在於混凝土（如海砂），兩者之取樣方式是否有較佳適用性（如採鑽心試體切割片狀磨法，或採直接鑽孔磨粉方式）？

沈教授永年：

1. 本研究探討取樣（位置、鑽心試體尺寸等）與萃取方式（CNS、ASTM）對 RC 氯離子含量之影響，研究成果符合預期目標，有助於提升國內檢測氯離子含量之標準與準確性。
2. 本研究提出硬固混凝土水溶法與酸溶法之關係式，及硬固混凝土氯離子檢測方法與標準手冊(草案)，具有貢獻性與實用性。

陳教授建謀：

1. 本研究成果豐碩，值得肯定。

2. 建議可建立取樣的標準作業程序，做為成果推廣及實際取樣之參考。

陳組長建忠：

成果請考量實例案例的應用分析，及設定情形下之量化效益與影響。

研究單位回應：

3. 有關海鹽類之外來氯離子量測，建議採用鑽心試體切割片狀磨法進行。
4. 成果報告將針對結論第 1 點至第 4 點進行量化說明；並增列單位 kgf/cm^2 表示欄；而材料配比設計中，將詳列各種材料。
5. 委員意見將於成果報告的結論與建議中陳述，並對實例案例之應用分析及效益影響納入內容。
6. 有關成果報告對手冊與標準修訂之建議，文字及內容將以嚴謹態度進行編修，並提供後續研究使用。

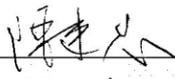
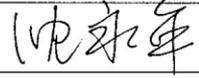
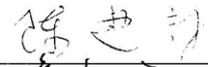
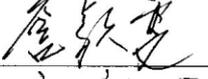
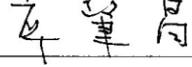
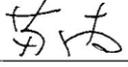
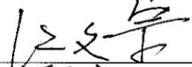
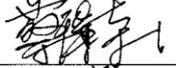
七、會議結論：

- (一) 請業務單位詳實記錄與會專家學者及出席代表意見，並請研究單位參採。
- (二) 本次會議 3 案期末報告，經審查結果原則通過。
- (三) 成果報告書請確實遵照契約書規定之格式撰寫，並注意文字圖表之智慧財產權，如有引述外部資料，請註明來源。結論與建議事項之內容，須考量其具體可行。
- (四) 請研究單位依契約書規定，完成報告書送所及辦理核銷結案事宜。

八、散會：中午 12 時 10 分。

內政部建築研究所

召開本所 102 年度委託研究「鋼筋混凝土於中性化及氯離子複合作用下腐蝕劣化之研究」、「以電化學法量測混凝土中鋼筋腐蝕劣化之研究」暨協同研究「取樣位置與萃取方式對鋼筋混凝土氯離子含量與檢測方法影響之研究」等 3 案期末審查會議簽到簿

時 間：102 年 11 月 5 日(星期二) 上午 9 時 30 分			
地 點：本所簡報室(新北市新店區北新路 3 段 200 號 13 樓)			
主 席：陳組長建忠 		記 錄：馬妮妮等 3 人	
出席人員	簽 到 處	代 理 人	
		職 稱	簽 到 處
沈教授永年			
陳教授建謀			
詹教授穎雯			
廖組長肇昌			
劉教授玉雯	(請假)		
蘇教授南			
中華民國全國建築師公會			
中華民國土木技師公會全國聯合會			
台灣省建築材料商業同業公會聯合會			
社團法人中華民國建築技術學會			
社團法人台灣混凝土學會			
黃教授然			

[圖 FC1020008433S]

評選委員發言單及廠商回應一覽表

項次	評選意見	廠商回應
廖肇昌委員		
1	外來氯離子(如海鹽)或氯離子自始就存在混凝土如海砂，兩者的取樣方式是否有較佳的適用性(如鑽心試體切割片狀磨法，或採直接鑽孔磨粉方式。	如以外來氯離子的量測，建議以鑽心試體切割片狀磨法為主。
詹穎雯委員		
1	本研究有具體成果，對未來混凝土取樣之執行有提昇進步的作用，建議建研所召開專家座談討論取樣方法的步驟，並據以提出手冊或CNS修訂建議，手冊可提營建署發佈實行，CNS修訂建議則提送標準局修訂相關標準。	感謝委員意見，將於成果報告對手冊與標準修訂建議文字內容以嚴謹態度進行編修。
宋永鑾委員		
1	各國硬固混凝土氯離子之檢	感謝委員意見，建議可供未來

	測方式，取樣方式均不同，在下次研究可其標準。	研究人員參考。
2	建議後續研究可提出硬固混凝土之試驗標準提供專業參考。	感謝委員意見，建議可供未來研究人員參考。
蔡得時委員		
1	頁 125 研究結論第 1-4 點建議能有量化值。	感謝委員意見，將於成果報告對結論第 1-4 點量化。
2	強度單位 PSi 建議能以 kgf/cm ² 表示。	增列單位 kgf/cm ² 表示欄。
3	內容豐富符合預期成果需求。	感謝委員意見。
蔡得時委員		
1	報告中 P33 之材料配比建議再予詳列各種材料（水泥、粗細骨材及重量）。	材料配比設計將會於成果報告中再予詳列各種材料。
2	以 ASTM C1152 測試，則對硬固混凝土中之已水化的氯離子是否可測得？請與酸溶法比較之。	水溶法僅能測得游離性氯離子，無法量測已水化的氯離子。

3	建議本研究成果可提供 CNS 建議其是否參考或未來修改。	感謝委員意見，建議可供未來研究人員參考。
陳建謀委員		
1	本研究成果豐碩，獲得肯定。	感謝委員鼓勵。
2	建議建立取樣的標準作業程序，作為成果推廣及實際取樣之參考。	感謝委員意見，將於成果報告對手冊與標準修訂建議文字內容以嚴謹態度進行編修。
王榮吉委員		
1	本研究符合預期成果。	感謝委員鼓勵。
2	結論之取樣作業應再由經過訓練之人員，應有明確的訓練課程考試認證，才能執行取樣作業。	感謝委員意見，將於成果報告對手冊與標準修訂建議文字內容以嚴謹態度進行編修。
陳組長建忠		
1	成果請考量實例案例的應用分析，及設定情形下之量化效益與影響。	感謝委員意見，將於成果報告對實例案例的應用分析及效益影響納入內容。

附錄四 專家會議記錄

召開本所 102 年度協同研究「取樣位置與萃取方式對鋼筋混凝土氯離子含量與檢測方法影響之研究」案專家會議紀錄

一、時間：102 年 0 月 24 日 15 時 30 分

二、地點：財團法人台灣營建研究院會議室

三、主持人：楊協同主持人仲家

記錄：卓研究員世偉

四、出席人員：如簽到單

五、簡報內容：略。

六、綜合討論意見：

1. 相關鑽心取樣方式，可參考李釗教授協助潤飾之文字說明。
2. 應補充取樣人員的資格或認定方式。
3. 建議可於手冊建議的普通電鑽鑽心方式，比較容易用於現場取樣使用。
4. 建議可比較現行常見之取樣方式試驗結果與本研究建議之取樣方式差異性。
5. 手冊中取樣方式與粗粒料粒徑之關係可進行探討。

研究單位回應：

1. 將依委員意見與書面潤飾文字說明對手冊進行修改。

2. 取樣人員文字內容將建議需經技師會同或經相關訓練人員才可取樣。
3. 通電鑽鑽心方式與粗粒料粒徑之關係將進行探討。

臨時動議

散會

內政部建築研究所

102年度建築先進技術創新開發與推廣應用計畫協同研究計畫「取樣位置與萃取方式對鋼筋混凝土氯離子含量與檢測方法影響之研究」專家諮詢會議簽到簿

時間：102年10月24日（星期四）下午3時30分

地點：財團法人台灣營建研究院（新北市新店區中興路二段190號11樓）

主席：楊仲家 *楊仲家* 記錄：*吳世偉*

出席人員	簽到處	代理人	
		職稱	簽到處
專家委員			
李釗 委員	<i>李釗</i>		
詹穎雯 委員	<i>詹穎雯</i>		
林文山 委員	<i>林文山</i>		
鄭瑞濱 委員	<i>鄭瑞濱</i>		
梁智信 委員	<i>梁智信</i>		
陳育聖 委員	<i>陳育聖</i>		
內政部建築研究所			
陶其駿 主任	<i>陶其駿</i>		
	<i>林若彥</i>		
計畫團隊			
	<i>吳世偉</i>		

參考書目

1. 詹穎雯、陳振川、吳建國、楊仲家、許鎧麟、卓世偉、陳育聖、張永昌,“台灣苗栗以北地區大氣中氯鹽與橋樑腐蝕劣化環境之研究”,交通部公路總局委託研究案報告,2010.
2. CNS 3090,“預拌混凝土”,中國國家標準,1994.
3. CNS 13465,“新拌混凝土中水溶性氯離子含量試驗法”,1995.
4. CNS 14702,“硬固水泥砂漿及混凝土中酸溶性氯離子含量試驗法”,2002.
5. CNS 14703,“硬固水泥砂漿及混凝土中水溶性氯離子含量試驗法”,2002.
6. AASHTO T260,“Sampling and Testing for Chloride Ion in Concrete and Concrete Raw Materials”, American Association of State Highway and Transportation Officials, 2009.
7. ASTM C1218,“Standard Test Method for Water-Soluble Chloride in Mortar and Concrete”, American Society for Testing and Materials, 2008.
8. ASTM C1152,“Standard Test Method for Acid-Soluble Chloride in Mortar and Concrete”, American Society for Testing and Materials, 2004.
9. Miguel A. Climent, Guillem de Vera, Estanislao Viqueira, M. M. López-Atalaya,“Generalization of the possibility of eliminating the filtration step in the determination of acid-soluble chloride content in cement and concrete by potentiometric titration”, Cement and Concrete Research, Vol 34, 2004, pp. 2291-2295.
10. Muralidharan, S., Vedalakshmi, R., Saraswathi, V., and Palaniswamy, J. N.,“Studies on the aspects of chloride ion determination in different types of concrete under macro-cell corrosion conditions”, Building and Environment, Vol. 40, 2005, pp. 1275-1281.
11. 台北市政府建築管理工程處海砂屋專區,<http://www.dba.tcg.gov.tw>, 2013.
12. 何明錦、楊仲家、卓世偉,“本土性硬固混凝土氯離子含量標準與檢測方法之研究”,內政部建築研究所協同研究案報告,2011.
13. CNS 61,“卜特蘭水泥”,中國國家標準,2005.
14. ASTM C114,“Standard Test Methods for Chemical Analysis of Hydraulic Cement”, ASTM International, 2011.

15. CNS 1240, "混凝土粒料", 中國國家標準, 2009.
16. Enevoldsen, J. M., Hansson, C. M., Hope B. B., "Binding of chloride in mortar containing admixed or penetrated chlorides" *Cement and Concrete Research*, Vol.24, 1994. pp. 1525-1533.
17. C. Seng, M. H. Zhang, "Water permeability and chloride penetrability of high-strength lightweight aggregate concrete", *Cement and Concrete Research*, Vol.32, pp. 639-645, 2002.
18. M. Leeming, *Surface treatments for the protection of concrete*, Protection of concrete, E. & F. N. Spon, 135-148, 1990.
19. Ann, K. Y., and Song, K. Y., "Chloride threshold level for corrosion of steel in concrete", *Corrosion Science*, Vol.49, pp.4113-4133, 2007.
20. Angst, U., Elsener, B., Larsen, K. C., Vennesland, O., "Critical chloride content in reinforced concrete- A review", *Cement and Concrete Research*, Vol.39, pp.1122-1138, 2009.
21. Schießl, P, "Draft recommendation for repair strategies for concrete structures damaged by reinforcement corrosion", *Materials and Structures* Vol.27, pp.415-436, 1994.
22. DIN EN 206, "Specification, performance, production and conformity", German Institute for Standardization, 2001.
23. NS 3420, "Specifications for buildings and construction", Norway Standards, 1986.
24. BS EN 206-1 "Eurocode 2. Design of concrete structures. General rules and rules for buildings", British-Adopted European Standard, 2004.
25. ACI 318, "Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary", American Concrete Institute, 2008.
26. ACI 222, "Guide to Design and Construction Practices", American Concrete Institute, 1993.
27. Clear, K.C. *Time-to-Corrosion of Reinforcing Steel in Concrete Slabs*. FHWA-RD-76-70. Federal Highway Administration, Washington, D.C., 1976.
28. AS 2758.1 *Aggregates and rock for engineering purposes. Part 1: Concrete aggregates*, Standards Australia, Sydney, 1998.
29. JASS 5 "鋼筋混凝土工程", 日本建築學會, 2009.
30. FDOT Standard, "FDOT Standard Specifications for Road and Bridge

- Construction”, Florida Department of Transportation, 2010.
31. AS 3972. Concrete Structures,, Standards Australia, Sydney, 2009.
 32. NZS 3101, Concrete Structures Standard, Standards New Zealand, 2006.
 33. 蔡志揚、婁光銘，高氯離子建物（「海砂屋」）實務判決解約爭議探討高氯離子建物（「海砂屋」）實務判決解約爭議探討，土木技師公會技師報，
<http://www.twce.org.tw/modules/freecontent/include.php?fname=twce/paper/727/3-1.htm>
 34. ACI Committee 222, “Provisional Standard Test Method for Water-Soluble Chloride Available for Corrosion of Embedded Steel in Mortar and Concrete Using the Soxhlet Extractor”, American Concrete Institute, 1997.
 35. 維基百科，http://zh.wikipedia.org/wiki/File:Soxhlet_Extractor.jpg, 2013.
 36. 新北市土木技師公會，”新北市土木技師公會鑑定手冊，101年4月修訂版”，2012。

取樣位置與萃取方式對鋼筋混凝土氯離子含量與檢測方法影響之研究

出版機關：內政部建築研究所

電話：(02) 89127890

地址：新北市新店區北新路3段200號13樓

網址：<http://www.abri.gov.tw>

編者：何明錦、楊仲家、卓世偉、林志彥、江慶堂、翁詩涵

出版年月：102年12月

版次：第1版

ISBN 978-986-03-4619-0 (平裝)