

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報告

中華民國 100 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)

本土性硬固混凝土氯離子含量標準與檢測方法之研究

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、薛凱元、詹鎧慎

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 100 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)

本土性硬固混凝土氯離子含量標準與檢測方法之研究

目次

目次	I
圖次	III
表次	IX
摘要	XIII
ABSTRACT.....	XV
第一章 緒論	1
第一節 研究緣起與背景.....	1
第二節 研究範圍與限定.....	2
第三節 研究目的.....	3
第四節 本研究計畫之重要性.....	5
第五節 國內外有關本計畫之研究情況.....	5
第六節 報告內容說明.....	7
第二章 文獻回顧	9
第一節 水泥質組成材料氯離子限制.....	9
第二節 混凝土孔隙結構與氯離子存在型態.....	9
第三章 各國氯離子檢測與含量相關標準	17
第一節 我國氯離子檢測與含量相關標準現況.....	17
第二節 各國氯離子含量相關標準現況.....	18
第三節 各國氯離子檢測方法差異.....	22
第四章 試驗變數設計與方法	27
第一節 試驗計畫與變數設計.....	27
第二節 試驗材料.....	29
第三節 試驗配比設計.....	33
第四節 試驗分析方法.....	43
第五章 研究成果分析	49
第一節 抗壓強度試驗結果.....	49

本土性硬固混凝土氯離子含量標準與檢測方法之研究

第二節 新拌氯離子含量試驗結果.....	65
第三節 混凝土硬固氯離子試驗結果.....	75
第四節 水泥砂漿硬固氯離子試驗結果.....	95
第五節 水泥漿硬固氯離子試驗結果.....	115
第六章 硬固混凝土氯離子建議規範訂定	121
第一節 氯離子新拌與硬固混凝土試驗結果關聯性.....	121
第二節 硬固混凝土氯離子建議規範.....	129
第三節 硬固混凝土氯離子現場量測方式模擬.....	131
第七章 結論與建議	135
第一節 結論.....	135
第二節 建議.....	136
參考文獻	139
附錄 1 (期中報告委員意見回覆)	143
附錄 2 (期末報告委員意見回覆)	149

圖次

圖 1-1	研究流程圖	4
圖 2-1	水泥基複合材料孔隙結構與尺寸關係 ²³	11
圖 2-2	水泥質材料孔隙結構與水氣傳輸之間的關係 ²⁷	14
圖 4-1	三分碎石之級配級配分布圖	31
圖 4-2	粗砂之級配級配分布圖	33
圖 4-3	Metrohm 702 SM 型電位滴定儀	46
圖 4-4	滴定過程電位變化與硝酸銀加入量關係	46
圖 4-5	典型的離子層析法試驗結果	48
圖 4-6	Metrohm MIC 模組式離子層析儀	48
圖 5-1	不同粗骨材用量混凝土配比抗壓強度關係圖 (未添加氯離子)	55
圖 5-2	不同粗骨材用量混凝土配比抗壓強度關係圖 (添加 0.1 kg/m ³ 氯離子)	55
圖 5-3	不同粗骨材用量混凝土配比抗壓強度關係圖 (添加 0.2 kg/m ³ 氯離子)	56
圖 5-4	不同粗骨材用量混凝土配比抗壓強度關係圖 (添加 0.3 kg/m ³ 氯離子)	56
圖 5-5	不同粗骨材用量混凝土配比抗壓強度關係圖 (添加 0.4 kg/m ³ 氯離子)	57
圖 5-6	不同骨材用量水泥砂漿配比抗壓強度關係圖 (未添加氯離子)	58
圖 5-7	不同骨材用量水泥砂漿配比抗壓強度關係圖 (添加 0.1 kg/m ³ 氯離子)	58
圖 5-8	不同骨材用量水泥砂漿配比抗壓強度關係圖 (添加 0.2 kg/m ³ 氯離子)	59
圖 5-9	不同骨材用量水泥砂漿配比抗壓強度關係圖 (添加 0.3 kg/m ³ 氯離子)	59
圖 5-10	不同骨材用量水泥砂漿配比抗壓強度關係圖 (添加 0.4 kg/m ³ 氯離子)	60
圖 5-11	不同氯離子添加量混凝土配比抗壓強度關係圖 (骨材用量 0.35 m ³ /m ³)	61

圖 5-12 不同氯離子添加量混凝土配比抗壓強度關係圖 (骨材用量 $0.40 \text{ m}^3/\text{m}^3$)	61
圖 5-13 不同氯離子添加量混凝土配比抗壓強度關係圖 (骨材用量 $0.45 \text{ m}^3/\text{m}^3$)	62
圖 5-14 氯離子添加量 $0.4 \text{ kg}/\text{m}^3$ 混凝土抗壓強度折減率關係圖	62
圖 5-15 不同氯離子添加量水泥砂漿配比抗壓強度關係圖(骨材用量 $0.35 \text{ m}^3/\text{m}^3$)	63
圖 5-16 不同氯離子添加量水泥砂漿配比抗壓強度關係圖(骨材用量 $0.40 \text{ m}^3/\text{m}^3$)	63
圖 5-17 不同氯離子添加量水泥砂漿配比抗壓強度關係圖(骨材用量 $0.45 \text{ m}^3/\text{m}^3$)	64
圖 5-18 氯離子添加量 $0.4 \text{ kg}/\text{m}^3$ 水泥砂漿抗壓強度折減率關係圖	64
圖 5-19 粗骨材用量與新拌混凝土氯離子含量關係圖 (氯離子添加量 $0 \text{ kg}/\text{m}^3$)	68
圖 5-20 粗骨材用量與新拌混凝土氯離子含量關係圖 (氯離子添加量 $0 \text{ kg}/\text{m}^3$)	68
圖 5-21 粗骨材用量與新拌混凝土氯離子含量關係圖(氯離子添加量 $0.2 \text{ kg}/\text{m}^3$)	69
圖 5-22 粗骨材用量與新拌混凝土氯離子含量關係圖 (氯離子添加量 $0.3 \text{ kg}/\text{m}^3$)	69
圖 5-23 粗骨材用量與新拌混凝土氯離子含量關係圖 (氯離子添加量 $0.4 \text{ kg}/\text{m}^3$)	70
圖 5-24 扣除控制組後新拌混凝土氯離子含量關係圖 (氯離子添加量 $0.1 \text{ kg}/\text{m}^3$)	72
圖 5-25 扣除控制組後新拌混凝土氯離子含量關係圖 (氯離子添加量 $0.2 \text{ kg}/\text{m}^3$)	72
圖 5-26 扣除控制組後新拌混凝土氯離子含量關係圖 (氯離子添加量 $0.3 \text{ kg}/\text{m}^3$)	73
圖 5-27 扣除控制組後新拌混凝土氯離子含量關係圖 (氯離子添加量 $0.4 \text{ kg}/\text{m}^3$)	73
圖 5-28 扣除控制組後新拌水泥漿體氯離子含量關係圖	75
圖 5-29 粗骨材用量與混凝土游離氯離子含量關係圖 (氯離子添加量 $0 \text{ kg}/\text{m}^3$)	78

圖 5-30 粗骨材用量與混凝土游離氯離子含量關係圖(氯離子添加量 0.1 kg/m^3)	79
圖 5-31 粗骨材用量與混凝土游離氯離子含量關係圖(氯離子添加量 0.2 kg/m^3)	79
圖 5-32 粗骨材用量與混凝土游離氯離子含量關係圖(氯離子添加量 0.3 kg/m^3)	80
圖 5-32 粗骨材用量與混凝土游離氯離子含量關係圖(氯離子添加量 0.4 kg/m^3)	80
圖 5-33 扣除控制組後混凝土游離氯離子含量關係圖 (氯離子添加量 0.1 kg/m^3)	82
圖 5-34 扣除控制組後混凝土游離氯離子含量關係圖 (氯離子添加量 0.2 kg/m^3)	82
圖 5-35 扣除控制組後混凝土游離氯離子含量關係圖 (氯離子添加量 0.3 kg/m^3)	83
圖 5-36 扣除控制組後混凝土游離氯離子含量關係圖 (氯離子添加量 0.4 kg/m^3)	83
圖 5-37 粗骨材用量與混凝土總氯離子含量關係圖 (氯離子添加量 0 kg/m^3)	88
圖 5-38 粗骨材用量與混凝土總氯離子含量關係圖 (氯離子添加量 0.1 kg/m^3)	88
圖 5-39 粗骨材用量與混凝土總氯離子含量關係圖 (氯離子添加量 0.2 kg/m^3)	89
圖 5-40 粗骨材用量與混凝土總氯離子含量關係圖 (氯離子添加量 0.3 kg/m^3)	89
圖 5-41 粗骨材用量與混凝土總氯離子含量關係圖 (氯離子添加量 0.4 kg/m^3)	90
圖 5-42 扣除控制組後混凝土總氯離子含量關係圖 (氯離子添加量 0 kg/m^3)	90
圖 5-43 扣除控制組後混凝土總氯離子含量關係圖 (氯離子添加量 0.1 kg/m^3)	91
圖 5-44 扣除控制組後混凝土總氯離子含量關係圖 (氯離子添加量 0.2 kg/m^3)	91
圖 5-45 扣除控制組後混凝土總氯離子含量關係圖 (氯離子添加量 0.3 kg/m^3)	92
圖 5-46 各配比混凝土水溶法與酸溶法氯離子含量關係圖(氯離子添加量 0 kg/m^3)	93

圖 5-47 各配比混凝土水溶法與酸溶法氯離子含量關係圖(氯離子添加量 0.1kg/m^3)	93
圖 5-48 各配比混凝土水溶法與酸溶法氯離子含量關係圖(氯離子添加量 0.2kg/m^3)	94
圖 5-49 各配比混凝土水溶法與酸溶法氯離子含量關係圖 (氯離子添加量 0.3kg/m^3)	94
圖 5-50 各配比混凝土水溶法與酸溶法氯離子含量關係圖(氯離子添加量 0.4kg/m^3)	95
圖 5-51 各配比水泥砂漿水溶法氯離子含量關係圖 (氯離子添加量 0 kg/m^3)	98
圖 5-52 各配比水泥砂漿水溶法氯離子含量關係圖 (氯離子添加量 0.1 kg/m^3)	99
圖 5-53 各配比水泥砂漿水溶法氯離子含量關係圖 (氯離子添加量 0.2 kg/m^3)	99
圖 5-54 各配比水泥砂漿水溶法氯離子含量關係圖 (氯離子添加量 0.3 kg/m^3)	100
圖 5-55 各配比水泥砂漿水溶法氯離子含量關係圖 (氯離子添加量 0.4 kg/m^3)	100
圖 5-56 扣除控制組後水泥砂漿游離氯離子含量關係圖(氯離子添加量 0.1 kg/m^3)	102
圖 5-57 扣除控制組後水泥砂漿游離氯離子含量關係圖(氯離子添加量 0.2 kg/m^3)	102
圖 5-58 扣除控制組後水泥砂漿游離氯離子含量關係圖(氯離子添加量 0.3 kg/m^3)	103
圖 5-59 扣除控制組後水泥砂漿游離氯離子含量關係圖(氯離子添加量 0.4 kg/m^3)	103
圖 5-60 各配比水泥砂漿酸溶法氯離子含量關係圖 (氯離子添加量 0 kg/m^3)	108
圖 5-61 各配比水泥砂漿酸溶法氯離子含量關係圖 (氯離子添加量 0.1 kg/m^3)	108
圖 5-62 各配比水泥砂漿酸溶法氯離子含量關係圖 (氯離子添加量 0.2 kg/m^3)	109
圖 5-63 各配比水泥砂漿酸溶法氯離子含量關係圖 (氯離子添加量 0.3 kg/m^3)	109
圖 5-64 各配比水泥砂漿酸溶法氯離子含量關係圖 (氯離子添加量 0.4 kg/m^3)	110

圖 5-65 扣除控制組後水泥砂漿總離氯離子含量關係圖(氯離子添加量 0.1 kg/m^3)	110
圖 5-66 扣除控制組後水泥砂漿總離氯離子含量關係圖 (氯離子添加量 0.2 kg/m^3)	111
圖 5-67 扣除控制組後水泥砂漿總離氯離子含量關係圖 (氯離子添加量 0.3 kg/m^3)	111
圖 5-68 扣除控制組後水泥砂漿總離氯離子含量關係圖(氯離子添加量 0.4 kg/m^3)	112
圖 5-69 各配比水泥砂漿水溶法與酸溶法氯離子含量關係圖 (氯離子添加量 0 kg/m^3)	113
圖 5-70 各配比水泥砂漿水溶法與酸溶法氯離子含量關係圖 (氯離子添加量 0.1 kg/m^3)	113
圖 5-71 各配比水泥砂漿水溶法與酸溶法氯離子含量關係圖 (氯離子添加量 0.2 kg/m^3)	114
圖 5-72 各配比水泥砂漿水溶法與酸溶法氯離子含量關係圖 (氯離子添加量 0.3 kg/m^3)	114
圖 5-73 各配比水泥砂漿水溶法與酸溶法氯離子含量關係圖 (氯離子添加量 0.4 kg/m^3)	115
圖 5-74 水泥漿硬固游離氯離子含量關係圖	118
圖 5-75 扣除控制組後水泥漿硬固游離氯離子含量關係圖	118
圖 5-76 水泥漿硬固總氯離子含量關係圖	119
圖 5-77 扣除控制組後水泥漿硬固游離氯離子含量關係圖	119
圖 5-78 各配比水泥漿硬固水溶法與酸溶法氯離子含量關係圖	120
圖 6-1 水溶法硬固與新拌混凝土氯離子含量關係圖	121
圖 6-2 酸溶法硬固與新拌混凝土氯離子含量關係圖	122
圖 6-3 酸溶與水溶法硬固混凝土氯離子含量關係圖	122
圖 6-4 本研究水溶法硬固混凝土氯離子量測管制圖 (氯離子添加量 0 kg/m^3)	123
圖 6-5 本研究水溶法硬固混凝土氯離子量測管制圖 (氯離子添加量 0.1 kg/m^3)	124
圖 6-6 本研究水溶法硬固混凝土氯離子量測管制圖 (氯離子添加量 0.2 kg/m^3)	124

本土性硬固混凝土氯離子含量標準與檢測方法之研究

圖 6-7 本研究水溶法硬固混凝土氯離子量測管制圖 (氯離子添加量 0.3 kg/m^3)	125
圖 6-8 本研究水溶法硬固混凝土氯離子量測管制圖 (氯離子添加量 0.4 kg/m^3)	125
圖 6-9 本研究酸溶法硬固混凝土氯離子量測管制圖 (氯離子添加量 0 kg/m^3)	126
圖 6-10 本研究酸溶法硬固混凝土氯離子量測管制圖(氯離子添加量 0.1 kg/m^3)	126
圖 6-11 本研究酸溶法硬固混凝土氯離子量測管制圖(氯離子添加量 0.2 kg/m^3)	127
圖 6-12 本研究酸溶法硬固混凝土氯離子量測管制圖(氯離子添加量 0.3 kg/m^3)	127
圖 6-13 本研究酸溶法硬固混凝土氯離子量測管制圖(氯離子添加量 0.3 kg/m^3)	128
圖 6-14 排除落在管制線外配比後酸溶法硬固與新拌混凝土氯離子含量關係圖	129
圖 6-15 30 cm*30 cm* 10 cm 方型試體製作情形	132
圖 6-16 模擬現場量測取樣方式 (a) 上視圖；(b) 側視圖	132
圖 6-16 模擬現場量測方式氯離子含量試驗管制圖	134

表次

表 1-1 執行工作內容與期末報告對照表與完成率	7
表 3-1 我國混凝土氯離子含量標準	17
表 3-2 歐洲 RILEM 相關硬固混凝土氯離子含量標準	18
表 3-3 德國相關硬固混凝土氯離子含量標準	18
表 3-4 挪威相關硬固混凝土氯離子含量標準	19
表 3-5 英國相關硬固混凝土氯離子含量標準	19
表 3-6 日本相關硬固混凝土氯離子含量標準	19
表 3-8 澳洲相關硬固混凝土氯離子含量標準	21
表 3-9 紐西蘭相關硬固混凝土氯離子含量標準	22
表 3-10 各國酸溶檢測方法取樣量的差異性	23
表 3-11 各國水溶檢測方法取樣量的差異性	24
表 3-12 各國酸溶法萃取的差異性	24
表 3-13 各國水溶法檢測方法取樣量的差異性	26
表 4-1 水泥質材料配比變數設計	28
表 4-2 拌合水試驗結果(ppm)	29
表 4-3 水泥之物理與化學性質	30
表 4-4 篩分析試驗結果	31
表 4-5 細骨材之篩分析試驗結果	32
表 4-6 混凝土配比設計（水灰比 0.35）	34
表 4-7 混凝土配比設計（水灰比 0.45）	35
表 4-8 混凝土配比設計（水灰比 0.55）	36
表 4-9 混凝土配比設計（水灰比 0.65）	37
表 4-10 水泥砂漿配比設計（水灰比 0.35）	38
表 4-11 水泥砂漿配比設計（水灰比 0.45）	39
表 4-12 水泥砂漿配比設計（水灰比 0.55）	40
表 4-13 水泥砂漿配比設計（水灰比 0.65）	41
表 4-14 水泥漿體配比設計	42
表 5-1 混凝土配比抗壓強度試驗表（氯離子添加量 0 kg/m^3 ）	49

本土性硬固混凝土氯離子含量標準與檢測方法之研究

表 5-2	混凝土配比抗壓強度試驗表 (氯離子添加量 0.1 kg/m^3)	50
表 5-3	混凝土配比抗壓強度試驗表 (氯離子添加量 0.2 kg/m^3)	50
表 5-4	混凝土配比抗壓強度試驗表 (氯離子添加量 0.3 kg/m^3)	51
表 5-5	混凝土配比抗壓強度試驗表 (氯離子添加量 0.4 kg/m^3)	51
表 5-6	水泥砂漿配比抗壓強度試驗表 (氯離子添加量 0 kg/m^3)	52
表 5-7	水泥砂漿配比抗壓強度試驗表 (氯離子添加量 0.1 kg/m^3)	52
表 5-8	水泥砂漿配比抗壓強度試驗表 (氯離子添加量 0.2 kg/m^3)	53
表 5-9	水泥砂漿配比抗壓強度試驗表 (氯離子添加量 0.3 kg/m^3)	53
表 5-10	水泥砂漿配比抗壓強度試驗表 (氯離子添加量 0.4 kg/m^3)	54
表 5-11	混凝土配比新拌氯離子含量試驗結果 (氯離子添加量 0 kg/m^3)	65
表 5-12	混凝土配比新拌氯離子含量試驗結果 (氯離子添加量 0.1 kg/m^3)	66
表 5-13	混凝土配比新拌氯離子含量試驗結果 (氯離子添加量 0.2 kg/m^3)	66
表 5-14	混凝土配比新拌氯離子含量試驗結果 (氯離子添加量 0.3 kg/m^3)	67
表 5-15	混凝土配比新拌氯離子含量試驗結果 (氯離子添加量 0.4 kg/m^3)	67
表 5-16	混凝土配比新拌氯離子含量扣除控制組結果	71
表 5-17	水泥漿配比新拌氯離子含量試驗結果	74
表 5-18	混凝土配比水溶法氯離子含量試驗結果 (氯離子添加量 0 kg/m^3)	76
表 5-19	混凝土配比水溶法氯離子含量試驗結果 (氯離子添加量 0.1 kg/m^3)	76
表 5-20	混凝土配比水溶法氯離子含量試驗結果 (氯離子添加量 0.2 kg/m^3)	77
表 5-21	混凝土配比水溶法氯離子含量試驗結果 (氯離子添加量 0.3 kg/m^3)	77
表 5-22	混凝土配比水溶法氯離子含量試驗結果 (氯離子添加量 0.4 kg/m^3)	78
表 5-23	各混凝土配比游離氯離子含量扣除控制組結果	81
表 5-24	混凝土配比酸溶法氯離子含量試驗結果 (氯離子添加量 0 kg/m^3)	84
表 5-25	混凝土配比酸溶法氯離子含量試驗結果 (氯離子添加量 0.1 kg/m^3)	85
表 5-26	混凝土配比酸溶法氯離子含量試驗結果 (氯離子添加量 0.2 kg/m^3)	85
表 5-27	混凝土配比酸溶法氯離子含量試驗結果 (氯離子添加量 0.3 kg/m^3)	86
表 5-28	混凝土配比酸溶法氯離子含量試驗結果 (氯離子添加量 0.4 kg/m^3)	86
表 5-29	各混凝土配比總氯離子含量扣除控制組結果	87
表 5-30	水泥砂漿配比水溶法氯離子含量試驗結果 (氯離子添加量 0 kg/m^3)	96

表 5-31 水泥砂漿配比水溶法氯離子含量試驗結果 (氯離子添加量 0.1 kg/m^3)	96
表 5-32 水泥砂漿配比水溶法氯離子含量試驗結果 (氯離子添加量 0.2 kg/m^3)	97
表 5-33 水泥砂漿配比水溶法氯離子含量試驗結果 (氯離子添加量 0.3 kg/m^3)	97
表 5-34 水泥砂漿配比水溶法氯離子含量試驗結果 (氯離子添加量 0.4 kg/m^3)	98
表 5-35 各水泥砂漿配比游離氯離子含量扣除控制組結果	101
表 5-36 水泥砂漿配比酸溶法氯離子含量試驗結果 (氯離子添加量 0 kg/m^3)	104
表 5-37 水泥砂漿配比酸溶法氯離子含量試驗結果 (氯離子添加量 0.1 kg/m^3)	105
表 5-38 水泥砂漿配比酸溶法氯離子含量試驗結果 (氯離子添加量 0.2 kg/m^3)	105
表 5-39 水泥砂漿配比酸溶法氯離子含量試驗結果 (氯離子添加量 0.3 kg/m^3)	106
表 5-40 水泥砂漿配比酸溶法氯離子含量試驗結果 (氯離子添加量 0.4 kg/m^3)	106
表 5-41 各水泥砂漿配比總氯離子含量扣除控制組結果	107
表 5-42 水泥漿配比游離氯離子含量試驗結果	116
表 5-43 水泥漿配比總氯離子含量試驗結果	117
表 6-1 水泥漿配比游離氯離子含量試驗結果	130
表 6-2 模擬現場量測方式酸溶法氯離子含量試驗結果	133
表 6-3 模擬現場量測方式試驗結果精密度檢核	133

摘要

關鍵詞：混凝土、氯離子含量限制、檢測標準

一、研究緣起

我國雖有標準方法檢測硬固混凝土氯離子含量，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。有鑑於此，本計畫以不同水灰比、骨材含量、與氯離子添加量之混凝土、水泥砂漿、與水泥漿體配比，藉由 28 天材齡氯離子試驗，建立新拌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規範。

二、研究方法及過程

為探討新拌與硬固混凝土氯離子含量的關聯性及建立檢測方法，本研究的變數分成 2 個主要部分。分別是水泥質材料的氯離子含量與組成材料配比變數設計。氯離子含量變數方面將於每立方混凝土中設計加入 0 kg/m^3 、 0.1 kg/m^3 、 0.2 kg/m^3 、 0.3 kg/m^3 、與 0.4 kg/m^3 共 5 種用量氯離子。組成材料配比變數方面分別製作水泥漿體、水泥砂漿、與混凝土三種水泥質材料配比。水泥質材料的水灰比變數設計為 0.35 至 0.65 區間。混凝土變數以常用的粗骨材體積用量為變數，分別為 35%、40%、與 45%。水泥砂漿部分，係於混凝土試體拌合製作時，以 4 號篩進行濕篩排除粗骨材部分後為水泥砂漿試體。相關試驗分析分別進行新拌、水溶、酸溶法氯離子量測。

三、重要發現

試驗中發現添加氯化鈉的混凝土配比大部分抗壓強度均低於未添加配比。而本研究發現，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，對新拌與對酸溶法氯離子

本土性硬固混凝土氯離子含量標準與檢測方法之研究

試驗結果而言，粗骨材用量對本研究混凝土總氯離子含量影響並不明顯，而且差異並不大。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 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 。

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：內政部營建署

1. 建議我國的硬固混凝土氯離子含量規範可採酸溶法進行，並將限制量訂為 0.4 kg/m^3 。但宜再經過鋼筋腐蝕率、結構物使用年限及對力學(含耐震)性能評估方可確定。

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

1. 建議未來建管與工程單位，在各建築物竣工送審時需於圖說上檢附混凝土配比相關資訊。
2. 建議內政部建研所未來可進行長久曝曬與含氯量對混凝土構材劣化之研究。

ABSTRACT

Keywords: concrete, chloride ion limitation, test method

Although Taiwan has standard test methods to detect the chloride content in hard or fresh concrete, but until today still have not a require standard for chloride ion limitation in hard concrete. Currently still using the chloride limitation (0.3 kg/m^3 for RC) in fresh concrete as require standard for hard concrete. However, the test method for fresh concrete is different with hard concrete. In view of this, the objective of this research to use different water-cement ratio, aggregate content, and add the amount of chloride ions of concrete to chloride ion test to establish the relevance of chloride ion content. And thus the chloride ion content specification of hard concrete is established.

Tests found that the compressive strength of concrete with sodium chloride were lower than conventional concrete. Both water-soluble and acid-soluble test methods have shown the chloride ion still in concrete, even concrete without chloride added. Based on the test results of hard or fresh concrete, the correlation between total chloride content and the volume of coarse aggregate in mix design is not obvious. However, the test results of acid-soluble test method and fresh concrete has a good linear correlation, the relationship for $Y = 0.68X + 0.20$. And the 0.3 kg/m^3 limitation of fresh concrete can be converted into 0.42 kg/m^3 of hard concrete for acid-soluble test method. This limit is close to the specification of the Florida standard in USA. Therefore recommended that the specification of chloride content in hard concrete can using the acid-soluble method, and the limitation is 0.4 kg/m^3 .

第一章 緒論

第一節 研究緣起與背景

國內混凝土結構物由於國內地理氣候與空氣污染關係，長期暴露於高濕度與含有氯鹽的大氣環境中。對於混凝土所保護的鋼筋而言，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¹。另一方面，由於水泥中氫氧化物的因素，使得孔隙內部的的水分呈現高鹼性狀態 ($\text{pH}>11$)，當鋼筋存在鹼性環境時，可以確保其表面鈍態保護膜的存在，由於氯對鐵及不銹鋼有很大的親和力，易使鐵金屬離子化，進而造成孔蝕 (pitting corrosion)，並促使部分鋼材因電位不同產生伽凡尼電偶 (Galvanic couple)，造成鋼材電動勢 (electromotive force) 提昇，因而腐蝕產生紅棕色鐵銹。但由於鹼性環境，鈍態保護膜受氯離子破壞後會迅速再度形成的現象。但若受到大氣中二氧化碳的侵入，會使得孔隙水因為碳酸的形成導致 pH 值的降低。當氯離子濃度與氫氧根濃度 ($[\text{Cl}^-]/[\text{OH}^-]$) 大於一定值時，便有極高的腐蝕機率²。當鋼筋開始腐蝕，便會導致體積積膨脹，致使混凝土受到應力，造成龜裂，進而保護層剝落，鋼筋斷面縮小危害結構物安全。

過去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

¹ Meira, G. R., Andrade, C., Alonso, C., Borba Jr., G. R., Padilha Jr., M., “Durability of concrete structures in marine atmosphere zones – The use of chloride deposition rate on the wet candle as an environmental indicator”, Cement and Concrete Composites, Vol 32, 2010, pp. 427-435.

² Bulu Pradhan, B. Bhattacharjee, “Rebar corrosion in chloride environment”, Construction and Building Materials, Vol 25, 2011, pp. 2565-2575.

量，某些地區甚至達到 2000 公尺範圍³。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 年及面臨拆除建的命運。但近年來氯離子危害卻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管工作不確實，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⁴，民國 84 年才有相關試驗方法⁵，導致近年來海砂屋案件層出不窮。

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、與混凝土預拌廠無提供等因素，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，以消除骨材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/m³（亦有以鋼筋混凝土假設自重 2400 kg/m³ 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，其水溶法氯離子含量會隨時間增加較新拌時略為降低」³。但對氯離子污染的硬固混凝土或樣本是否排除骨材體積計算均未提及，所以採同一標準值，可能會造成爭議，宜釐清兩者之間的關聯性。

第二節 研究範圍與限定

本計畫除拌製混凝土材料探討氯離子含量檢測方法外，亦為排除粗骨材變數的影響，將水泥砂漿作為試驗對象，因此文中所提及之水泥質材料包含混凝土、

³ 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.

⁴ CNS 3090,“預拌混凝土”,中國國家標準,1994.

⁵ CNS 13465,“新拌混凝土中水溶法氯離子含量試驗法”,1995.

水泥砂漿、與水泥漿體 3 種材料。而新拌氯離子含量係指水泥質材料未硬固時浮水液體所含的氯離子。硬固氯離子含量為水泥質材料硬固後內部所含的氯離子。

第三節 研究目的

本計畫藉由試驗，建立新拌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。相關研究目的除 1 至 3 項為建研所要求之目的外，亦增加 4 至 6 項，說明如下。

1. 各國混凝土氯離子含量標準與檢測方法蒐集與整理。
2. 量測新拌與硬固水泥質材料中氯離子含量，並探討其關聯性。
上述水泥質材料含：
 - (a) 不同水灰比與之水泥漿中添加不同氯離子含量。
 - (b) 不同細骨材之水泥砂漿中添加不同氯離子含量。
 - (c) 不同粗骨材之混凝土中添加不同氯離子含量。
3. 硬固水泥質材料中氯離子含量之量測採酸溶法與水溶法兩種。
4. 新拌與硬固混凝土氯離子含量關聯性建立。
5. 現場混凝土樣本取得方式差異分析。

本土性硬固混凝土氯離子含量標準與檢測方法之研究

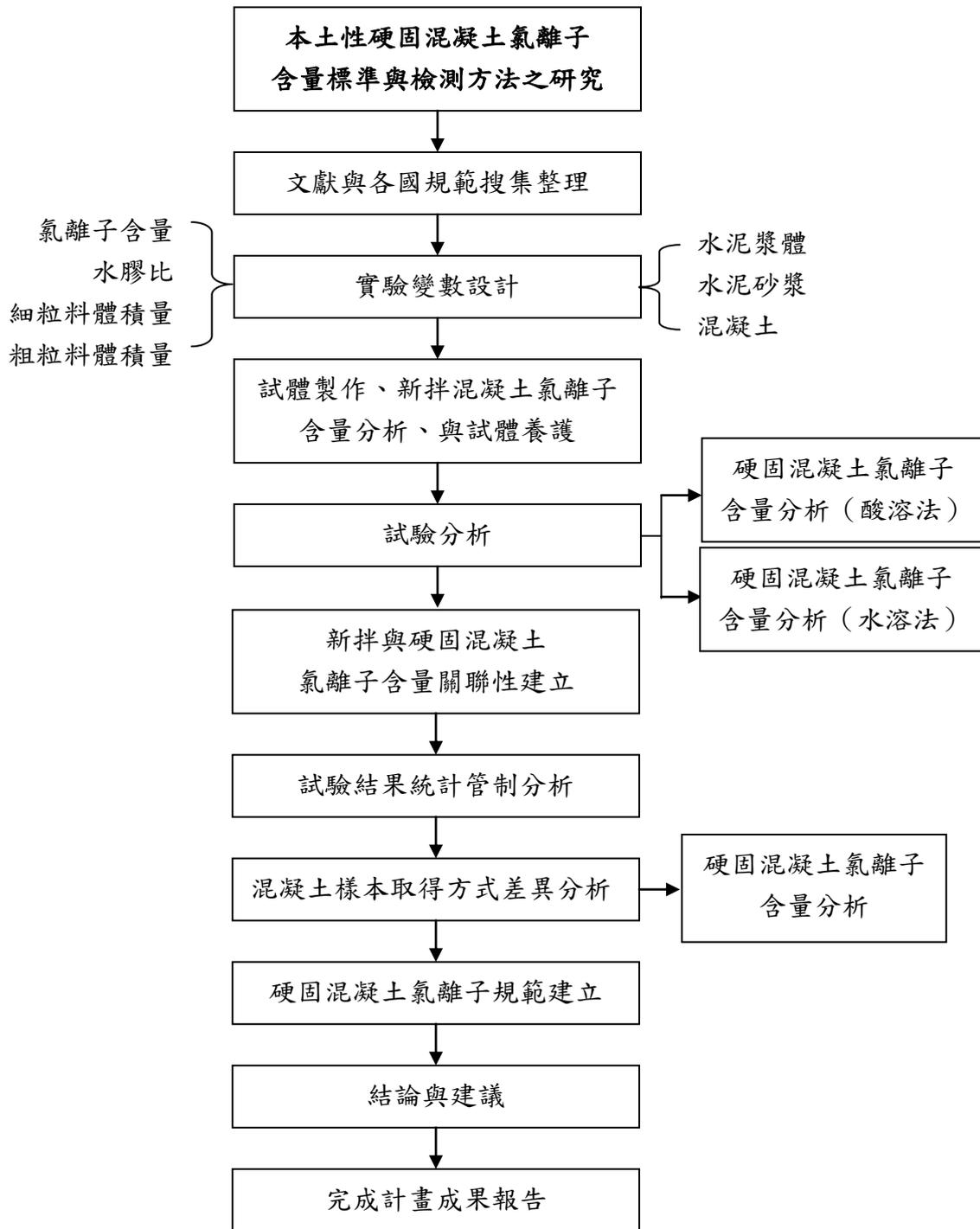


圖 1-1 研究流程圖

(資料來源：本研究自行整理)

第四節 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，大多僅以改用較設計強度略高的混凝土或增加其保護層厚度作為因應對策，所以在砂石短缺與過去法規不健全下，便有不肖商人使用海砂作為細骨材，進而引起現在海砂屋糾紛層出不窮，最近一件如去年 11 月三重地區就有 150 戶 20 年房屋疑似海砂屋情形⁶，因此國內民眾購買房地產時，大多會向房仲業者要求無海砂屋證明。然而我國截至今日仍未有硬固混凝土氯離子含量標準，相關檢測判斷依據仍採用新拌混凝土氯離子含量標準進行。然而兩者於試驗方法上差異頗大，是否可以適用，有待釐清。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，硬固混凝土氯離子含量標準訂定可對保護層厚度設計與服務年限預估具有極重大之意義。

第五節 國內外有關本計畫之研究情況

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骨材、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，原因在於利用材料生產端來進行管控。所以國內外有關氯離子方面的研究，大多著重於混凝土抵抗外在大氣環境中氯離子入侵的能力，如以成為標準的貯鹽試驗(Ponding test, ASTM C1543)與快速氯離子穿透試驗(RCPT, ASTM C1202)進行不同混凝

⁶ 民視新聞報導，”台北縣三重市海砂屋，150 戶搏命住危樓”，雅虎資訊，<http://tw.news.yahoo.com/article/url/d/a/101021/11/2fdrl.html>, 2010.

土配比氯離子傳輸行為的評估。國外亦有 Hooton⁷、Wee⁸、Andrade⁹、與 Detwiler¹⁰ 等進行相關研究。國內本研究團隊也有相當豐碩之研究成果¹¹⁻¹²⁻¹³。另一方面的相關研究則考量混凝土受到大氣環境中 CO₂ 或空氣汙染中 NO_x 與 SO_x 氣體成分的侵入影響，產生了中性化現象，導致混凝土內部 pH 降低，只要少許的氯離子濃度便會造成鋼筋腐蝕。這方面國內外的研究相當多，2009 年 Angst 等人針對 53 篇文獻進行相關整理¹⁴。對實驗法探討方面，則有 Climent 等人探討酸溶法滴

⁷ McGrath, P., and Hooton, R. D., "Re-Evaluation of the AASHTO T259 90-Day Salt Ponding Test," Cement and Concrete Research, 1999, Vol. 29, pp.1239-1248.

⁸ Andrade, C., "Calculation of chloride diffusion coefficients in concrete from ionic migration measurements", Cement and Concrete Research, 1993, Vol.23, pp. 724-742.

⁹ Wee, T. H., Suryavanshi, A. K., and Tin, S. S., "Evaluation of rapid chloride permeability test (RCPT) results for concrete containing mineral admixture", ACI Materials Journal, Vol. 97, No. 2, 2000, pp.221-232.

¹⁰ R. J. Detwiler, O. K. Kjellsen, and O. E. Gjovrv, "Resistance to Chloride Intrusion of Concrete Cured at Different Temperatures", ACI Materials Journal, Vol.88, 1991, pp.19-24.

¹¹ Yang, C.C., and Cho, S.W., "The relationship between chloride migration rate for concrete and electrical current in steady state using the accelerated chloride migration test," Materials and Structures, Vol.37, 2004, pp.456-463

¹² Yang, C.C., and Cho, S.W., "Approximate migration coefficient of percolated interfacial transition zone by using the accelerated chloride migration test," Cement and Concrete Research, Vol.35, 2005, pp. 344-350

¹³ Yang, C.C., Cho, S.W., "Approximate migration coefficient of percolated interfacial transition zone by using the accelerated chloride migration test", Cement and Concrete Research, Vol.35, 2005, pp344-350

¹⁴ Ueli Angst, Bernhard Elsener, Claus K. Larsen, Øystein Vennesland, "Critical chloride content in

定濾液取得過程與滴定法進行中可能產生的人為誤差¹⁵。Muralidharan 等人¹⁶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。

第六節 報告內容說明

本計畫目前所完成工作為研究背景與目的、文獻蒐集、試驗設計、所有試體拌合養護、混凝土壓力強度量測、新拌與硬固混凝土氯離子含量量測。計畫執行進度良好，計畫執行進度良好，已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。第三章蒐集並整理各國氯離子含量標準與檢測方法。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。第五章針對已進行的混凝土抗壓強度試驗結果、新拌、與硬固氯離子含量試驗結果進行討論。第六章針對試驗成果進行統計管制分析並建立硬固氯離子規範與模擬現場檢測樣本差異性。最後第七章為研究結論與發現。

表 1-1 執行工作內容與期末報告對照表與完成率

reinforced Concrete— A review”, Cement and Concrete Research, Volume 39, 2009, pp. 1122-1138

¹⁵ 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

¹⁶ S. Muralidharan, R. Vedalakshmi, V. Saraswathi, James Joseph, N. Palaniswamy, “Studies on the aspects of chloride ion determination in different types of concrete under macro-cell corrosion conditions”, Building and Environment, Vol. 40, I,2005, pp. 1275-1281

本土性硬固混凝土氯離子含量標準與檢測方法之研究

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%
試驗研究	混凝土抗壓強度試驗	第五章	100%
試驗研究	混凝土新拌氯離子含量試驗	第五章	100%
試驗研究	混凝土硬固氯離子水溶法與酸溶法含量試驗	第五章	100%
試驗研究	水泥砂漿硬固氯離子水溶法與酸溶法含量試驗	第五章	100%
試驗結果分析	混凝土新拌與硬固氯離子氯離子含量試驗關連性建立	第六章	100%
試驗結果分析	硬固氯離子規範建立	第六章	100%
試驗結果分析	模擬現場檢測樣本差異性	第六章	100%
結論	研究結論與發現	第七章	100%

(資料來源：本研究自行整理)

第二章 文獻回顧

第一節 水泥質組成材料氯離子限制

水泥質材料如混凝土是典型的複合材料，由水、水泥、粗骨材、細骨材、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 61¹⁷規定氯離子最大值為 0.10%，新版 ASTM C114¹⁸「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。在骨材方面，若無使用沿海疏濬砂石，則依據 CNS 1240 標準規定¹⁹，細骨材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。

第二節 混凝土孔隙結構與氯離子存在型態

水泥基複合材料主要係水與水泥產生水化反應並黏結骨材後所形成的多孔性非均質複合材料。如以水泥漿體母體與細骨材結合的複合材為水泥砂漿；以水泥砂漿母體與粗骨材結合便為混凝土。因此其組成物包括本身內部已形成組織架構的硬固漿體、未水化的水泥質膠結材料顆粒、粗或細骨材顆粒、孔隙（包括小尺寸孔隙與大尺寸裂縫）、以及孔隙中所含的水與其他氣體。就微觀性質而言，這些組成物質在一個大範圍尺寸上，包含著各種形狀與隨機分佈。如硬固漿體內

¹⁷ CNS 61, "卜特蘭水泥", 中國國家標準, 2005.

¹⁸ ASTM C114, "Standard Test Methods for Chemical Analysis of Hydraulic Cement", ASTM International, 2011.

¹⁹ CNS 1240, "混凝土粒料", 中國國家標準, 2009.

的 C-S-H 單體與內部不連通孔隙結構（膠體孔隙、低水灰比之毛細孔隙）均屬於奈米級（ 10^{-9} m）尺寸範圍；由許多 C-S-H 單體構築的水泥漿體、未水化的水泥質膠結材料顆粒、高水灰比之毛細孔隙、輸氣孔隙、搗實孔隙、界面過渡區域均屬於微米級（ 10^{-6} m）尺寸範圍；連續水泥漿體所構築的基材部分、粗細骨材則屬於厘米級（ 10^{-3} m）以上的尺寸範圍²⁰。

水泥質材料水化反應後會產生 C-S-H ($C_3S_2H_3$)、CH ($CaOH_2$ ，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，使得水泥漿體存在著部份孔隙，而這些孔隙便是影響水泥質材料劣化的主要原因。根據相關文獻的研究，一般而言水泥漿體的孔隙依其尺寸可分成四大類²¹：

1. 膠體孔隙 (Gel pores)：尺寸範圍約為 0.5~10 nm。
2. 毛細孔隙 (Capillary pores)：尺寸範圍約為 10~10000 nm。
3. 輸氣孔隙 (Entrained air pores)：尺寸範圍約為 0.05~1.25 nm。
4. 搗實孔隙 (Entrapped air pores)：尺寸大於毛細孔隙，且較無一致性。

上述搗實孔隙與輸氣孔隙大多隨機分佈於水泥基複合材料中，且其尺寸大多大於 10^{-6} m，屬於微米結構。輸氣孔隙通常係因為外部空氣於新拌狀態下被引入或與所添加的化學摻劑有關。輸氣孔隙通常在水泥基複合材料中分佈均勻且尺寸均一，形狀為橢圓狀，所以適當的輸氣孔隙量對抗凍融現象有良好的助益，但若孔隙互相連通，則會加速氯離子傳輸。搗實孔隙則由新拌時的搗實動作所造成，

²⁰ P. K. Mehta, and P. J. M. Monteiro, "Concrete-structure, properties, and materials", Prentice Hall, pp.17-29, 1993.

²¹ C. L. Page, N. R. Short, and A. E. Tarras, "Diffusion of Chloride ions in hardened cement paste", Cement and Concrete Research, Vol. 11, pp.395-406 (1981)

而相當程度又與骨材的堆積方式有關。搗實孔隙的尺寸通常大於輸氣孔隙，且分布、形狀、與尺寸並不一致，因此對複合材料的力學、抗凍融性、與抗離子傳輸性有著不利的影響。

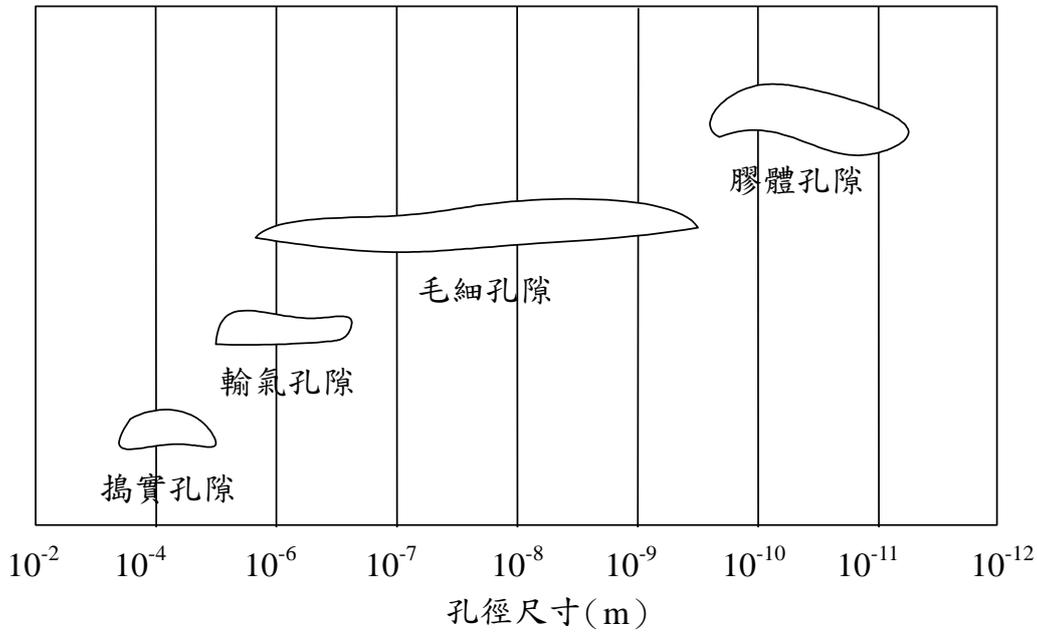


圖 2-1 水泥基複合材料孔隙結構與尺寸關係²³

(資料來源：文獻 23)

毛細孔隙與膠體孔隙的產生則與水泥基複合材料與水的水化反應有關。在未開始水化時，水泥中的 C_3S 與 C_2S 顆粒隨機散佈於拌合水中。而水化開始的初期，未水化 C_3S 與 C_2S 顆粒的鈣與氫氧根離子快速地游離出來，在拌合水中結晶成片狀的 CH 晶體，並且在 C_3S 與 C_2S 顆粒最外圍生成一薄層針刺或片狀的結晶結構，這一薄層針刺物質會隨著水化反應進行而逐漸往水泥顆粒內部形成交雜的 $C-S-H$ 夾層¹⁹。Mehta¹⁹ 指出 $C-S-H$ 夾層之間的縫隙約只有 $1 \text{ \AA} \sim 20 \text{ \AA}$ ，相較於其他孔隙尺寸範圍，屬於緻密性極高的組織。於此水化同時，由於 $C-S-H$ 夾層的比重約只有未水化水泥顆粒的 $1/2$ ，因此以未水化水泥顆粒為核心，外部

包覆 $C-S-H$ 夾層的 $C-S-H$ 膠體會向外膨脹體積。當 $C-S-H$ 膠體間的顆粒彼此交錯再一起時，便會形成一大片緻密組織直至硬固。毛細孔隙則為各 $C-S-H$ 膠體與 CH 晶體彼此交錯而無法填充的孔隙。膠體孔隙則包含 $C-S-H$ 夾層之間的縫隙以及各 $C-S-H$ 膠體外層薄層針刺或板狀的結晶結構間交雜所構成的針狀孔隙膠體孔隙 (acicular pore size)。

以尺寸而言，在完全水化反應之狀態下毛細孔隙的尺寸約為 $0.01\mu\text{m}\sim 10\mu\text{m}$ 之間；膠體孔隙的孔徑則約介於 $0.0005\mu\text{m}\sim 0.01\mu\text{m}$ 之間。因此對四種主要孔隙來說，搗實與輸氣孔隙屬於大型孔隙 (macro pores) 範圍，毛細孔隙則為中型孔隙 (meso pores) 範圍，膠體孔隙則屬於微型孔隙 (micro pores) 範圍。若以體積量來看，膠體孔隙約佔水泥漿體體積的 28%。毛細孔隙依水灰比不同而有 0% 到 40% 的差異。最後則為搗實與輸氣孔隙，若以未加入輸氣劑的混凝土而言，僅為混凝土全體積的 1% ~3%。對氯離子傳輸來說，膠體孔隙雖然所佔的比例甚大，但泰半的膠體孔隙孔徑極微小，甚至小於氯離子直徑 3.6Å ，因此氯離子於膠體孔隙路徑內易造成阻塞無法前進。而搗實與輸氣孔隙所佔比例甚低，且大多互不連通。因此毛細孔隙的多寡與連通性掌控水泥漿體基材氯離子傳輸行為²⁰。

另一與骨材有關的孔隙為界面過渡區，其生成的主因係由於骨材表面的緻密性，當混凝土為新拌狀態時，拌合水會堆積在骨材表面上，使得與骨材接觸的漿體水灰比增加，形成界面過渡區。界面過渡區依文獻的定義約為 $10\mu\text{m}\sim 50\mu\text{m}$ 厚度^{22, 23}，此區域內水灰比遠比基材水灰比高，因此其內部水化生成物所構築的孔隙尺寸與數量也遠大於基材²⁴，形成水氣可快速擴散的路徑。

²² J. Arsenault, J. P. Bigas, J. P. Ollivier, "Determination of chloride diffusion coefficient using two different steady-state methods: influence of concentration gradient", Chloride Penetration into Concrete, Proceedings of the International RILEM Workshop, pp.150-160,1995.

²³ P. Simeonov, and S. Ahmad, "Effect of Transition Zone on the Elastic Behavior of Cement-based Composites", Cement and Concrete Research, Vol.25, No.1, pp.165-176,1995.

²⁴ C. C. Yang, S. W. Cho, "Approximate migration coefficient of percolated interfacial transition zone by using the accelerated chloride migration test", Cement and Concrete Research, Vol.35, pp.344-350,2005.

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²⁵。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，並造成外部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，一般而言建築物常見的滲水、壁癌、與白華均與微裂縫的多寡有關。

以最常見的水泥質材料—混凝土而言，其在鋼筋混凝土或預力混凝土中除了承受壓應力外，對結構物內部之鋼筋或鋼鍵也提供了一鹼性的保護層，以延緩暴露環境中有害離子的侵入，避免鋼筋或鋼鍵腐蝕。因此連通孔隙結構的多寡決定了混凝土的耐久性。因為連通孔隙結構在潮濕環境下會使混凝土內部充滿孔隙水，而由外而內近進滲透的孔隙水除會造成水泥中部分水化生成物析出外，亦因為室內塗料的抗水性差，導致壁癌的產生，造成室內環境美觀與健康的影響。另一方面對結構安全觀點而言，連通孔隙水會成為有害離子移動的主要媒介，除可直接造成鋼筋腐蝕的氯離子外，二氧化碳與硫酸根離子會造成混凝土孔隙鹼性環境性質的改變。而這兩者均與水泥漿體中氫氧化鈣（ CaOH_2 , CH）水化生成物的化學反應有關。

²⁵ 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.

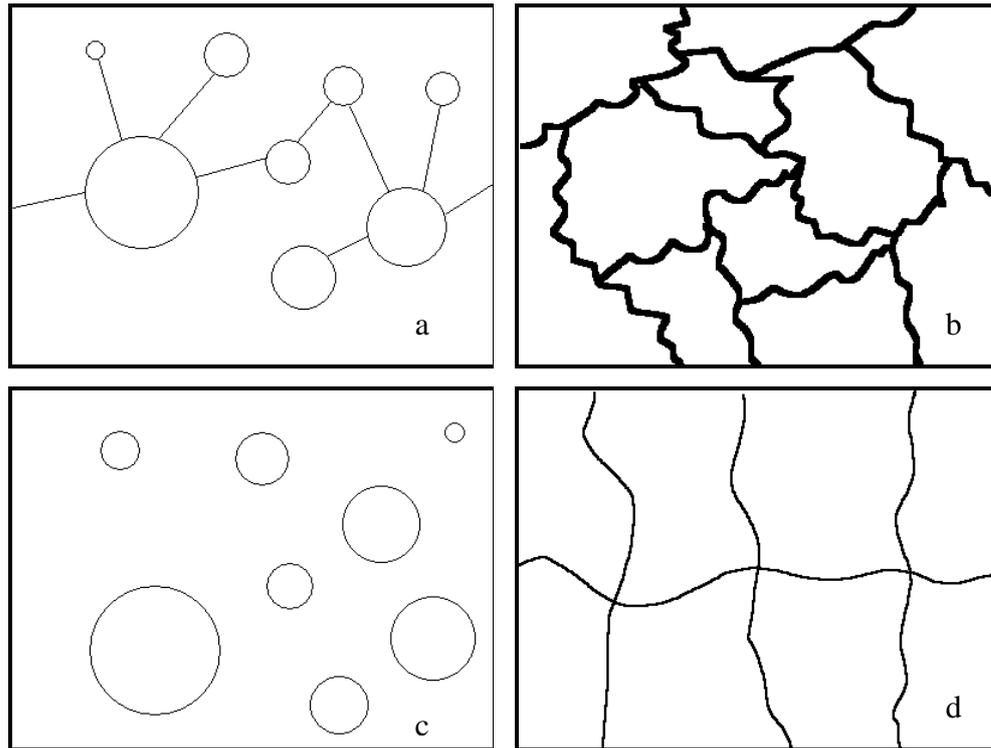


圖 2-2 水泥質材料孔隙結構與水氣傳輸之間的關係²⁷

(資料來源：文獻 27)

根據 Enevoldsen 等²⁶對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)、自由氯離子(free chloride ion)。前兩者一般又稱為鍵結型氯離子(bound chloride)。分述如下：

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

²⁶ J. N. Enevoldsen, C. M. Hansson, B.B. Hope, "Binding of chloride in mortar containing admixed or penetrated chlorides" Cement and Concrete Research, Vol.24, 1994, pp. 1525-1533.

水化產物的表面，使之不易產生游離現象。

3. 自由氯離子(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。

第三章 各國氯離子檢測與含量相關標準

混凝土中氯離子含量是影響鋼筋腐蝕與建築物服務年限最主要的因素。因此各國對氯離子檢測方式與含量均有相關標準。本章就其相關標準蒐集並整理如下。

第一節 我國氯離子檢測與含量相關標準現況

我國 CNS 3090 於民國 83 年訂定新拌混凝土氯離子含量標準⁴，民國 84 年有相關試驗方法⁵。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^{27,28}。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⁴。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 3-1 為我國相關標準。

表 3-1 我國混凝土氯離子含量標準

標準	標準說明	試驗方法
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 $<0.30 \text{ kg/m}^3$	CNS 13465 ⁵

(資料來源：文獻 4)

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

²⁷ CNS 14702, "硬固水泥砂漿及混凝土中酸溶性氯離子含量試驗法", 中國國家標準, 2002.

²⁸ CNS 14703, "硬固水泥砂漿及混凝土中水溶法氯離子含量試驗法", 中國國家標準, 2002.

CNS 14702 酸溶法與 CNS 14703 水溶法檢測方式的不同。

第二節 各國氯離子含量相關標準現況

氯離子對鋼筋混凝土建築物的危害不容小覷，全球面臨海岸主要的國家均有相關硬固混凝土含量標準。表 3-2 為歐洲 RILEM 規範標準、表 3-3 為德國規範標準、表 3-4 為挪威規範標準、表 3-5 為英國規範標準、表 3-6 為日本規範標準、表 3-7 為美國相關規範標準、表 3-8 澳洲規範標準、與表 3-9 紐西蘭規範標準。

表 3-2 歐洲 RILEM 相關硬固混凝土氯離子含量標準

標準	標準說明	試驗方法
RILEM TC124-SRC ²⁹	鋼筋混凝土氯離子含量為水泥用量之 0.4% 以下	RILEM TC 178-TMC ³⁰

(資料來源：文獻 29、30)

表 3-3 德國相關硬固混凝土氯離子含量標準

標準	標準說明	試驗方法
DIN EN 206 ³¹	鋼筋混凝土氯離子含量為水泥用量之 0.4% 以下	DIN EN480-10 ³²

(資料來源：文獻 31、32)

²⁹ Schießl, P, "Draft recommendation for repair strategies for concrete structures damaged by reinforcement corrosion", Materials and Structures Vol.27, pp.415-436, 1994.

³⁰ RILEM TC 178-TMC, "Analysis of total chloride content in concrete", Materials and Structures, Vol.35, pp.583-585, 2002.

³¹ DIN EN 206, "Specification, performance, production and conformity", German Institute for Standardization, 2001.

³² DIN EN 480-10, "Admixtures for concrete, mortar and grout - Test methods - Part 10: Determination of water soluble chloride content", 2010.

表 3-4 挪威相關硬固混凝土氯離子含量標準

標準	標準說明	試驗方法
NS 3420 ³³	鋼筋混凝土氯離子含量為水泥用量之 0.4% 以下	NT Build 208 ³⁴

(資料來源：文獻 33、34)

表 3-5 英國相關硬固混凝土氯離子含量標準

標準	標準說明	試驗方法
BS EN 206-1 ³⁵	(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%。	BS 1881:Part 124: Clause 10.2 ³⁶

(資料來源：文獻 35, 36)

表 3-6 日本相關硬固混凝土氯離子含量標準

標準	標準說明	試驗方法
JASS 5 ³⁷	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。	JIS A 1154 ³⁸

(資料來源：文獻 37、38)

³³ NS 3420, " Specifications for buildings and construction", Norway Standards, 1986.

³⁴ NT Build 208, " Concrete, Hardened: Chloride Content by Volhard Titration, Nordtest Method, 2007.

³⁵ BS EN 206-1 "Eurocode 2. Design of concrete structures. General rules and rules for buildings ", British-Adopted European Standard, 2004.

³⁶ BS 1881-124 "Methods of Testing Concrete Part 124: Methods for Analysis of Hardened Concrete ", British-Adopted European Standard, 2004.

³⁷ JASS 5 "鋼筋混凝土工程", 日本建築學會, 2009.

³⁸ JIS A1154 "硬化コンクリート中に含まれる塩化物イオンの試験方法", 日本工業標準, 2003.

表 3-7 美國相關硬固混凝土氯離子含量標準

標準	標準說明	試驗方法
FDOT Standard Specifications for Road and Bridge Construction ³⁹	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	FM 5-516 ⁴⁰
FHWA-RD-76-70 , U.S. Federal Highway Administration ⁴¹	橋梁鋼筋混凝土<0.33%	AASHTO T260 ⁴²
ACI 318 ⁴³	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<1% (4) 其它鋼筋混凝土結構物<0.30%	ASTM C1218 ⁴⁴

³⁹ FDOT Standard, “FDOT Standard Specifications for Road and Bridge Construction”, Florida Department of Transportation, 2010.

⁴⁰ FM 5-516, “Determining Low Levels of Chloride in Concrete and Raw Materials”, Florida Department of Transportation, 2009.

⁴¹ Clear, K.C. Time-to-Corrosion of Reinforcing Steel in Concrete Slabs. FHWA-RD-76-70. Federal Highway Administration, Washington, D.C., 1976.

⁴² AASHTO T260, “Sampling and Testing for Chloride Ion in Concrete and Concrete Raw Materials”, American Association of State Highway and Transportation Officials, 2009.

⁴³ ACI 318, “Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary”, American Concrete Institute, 2008.

⁴⁴ ASTM C1218, “Standard Test Method for Water-Soluble Chloride in Mortar and Concrete”, American Society for Testing and Materials, 2008.

標準	標準說明	試驗方法
ACI 222 ⁴⁵	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%	ASTM C1152 ⁴⁶
	以水溶法氯離子含量相對水泥用量作限制： (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%	ASTM C1218 ⁴⁴

(資料來源：文獻 39、40、41、42、43、44、45、46)

表 3-8 澳洲相關硬固混凝土氯離子含量標準

標準	標準說明	試驗方法
AS 3600 ⁴⁷	鋼筋混凝土<0.8 kg/m ³	AS 1012.20 ⁴⁸
AS 2578.1 ⁴⁹	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%	AS 1012.20 ⁴⁸

(資料來源：文獻 47、48、49)

⁴⁵ ACI 222, "Guide to Design and Construction Practices", American Concrete Institute, 1993.

⁴⁶ ASTM C1152, "Standard Test Method for Acid-Soluble Chloride in Mortar and Concrete", American Society for Testing and Materials, 2004.

⁴⁷ AS 3972. Concrete Structures,, Standards Australia, Sydney, 2009.

⁴⁸ AS 1012.20 Determination of chloride and sulfate in hardened concrete and concrete aggregates, Standards Australia, Sydney, 1992.

⁴⁹ AS 2758.1 Aggregates and rock for engineering purposes. Part 1: Concrete aggregates, Standards Australia, Sydney, 1998.

表 3-9 紐西蘭相關硬固混凝土氯離子含量標準

標準	標準說明	試驗方法
NZS 3101 ⁵⁰	1. 鋼筋混凝土暴露於嚴重潮濕環境 $< 0.8 \text{ kg/m}^3$ 2. 鋼筋混凝土處於乾燥或防潮環境 $< 1.6 \text{ kg/m}^3$ 3. 預力混凝土 $< 0.5 \text{ kg/m}^3$	NZS 3101 ⁵⁰

(資料來源：文獻 50)

由上述各表中可以發現歐洲對鋼筋混凝土氯離子用量限制均為水泥用量的 0.4%，較嚴格的標準為 ACI 222 的 0.1% 規定。且在限制上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/m^3 。由此可以發現與我國同屬海島型國家的日本 0.3 kg/m^3 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/m^3 的規定較寬鬆，但其試驗方法均略有不同。中國大陸 CCES 01-2004「混凝土結構耐久性設計與施工指南」則與 ACI 318、ACI 222 規定相同。

第三節 各國氯離子檢測方法差異

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。

⁵⁰ NZS 3101, Concrete Structures Standard, Standards New Zealand, 2006.

表 3-10 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 的方法採用了氫硫化氫 (NH_4SCN) 作為滴定反應溶液。表 3-11 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 是當提高取樣量。

表 3-10 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 3-11 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)

在差異最大的氯離子萃取方式，表 3-12 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 HNO₃ 溶液。表 3-13 為各國水溶法萃取方式的差異性。而在後續的滴定，除了 RILEM 方法採用 NH₄SCN 滴定反應溶液外，其餘均使用硝酸銀滴定反應溶液。

表 3-12 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

檢測方法	酸溶方式
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 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 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 3-13 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

本研究進行本土性硬固混凝土氯離子含量標準與檢測方法研究。在研究方法上首先進行各國標準方法蒐集與比較。試驗上設計各種變數的氯離子水泥質材料（水泥漿體、水泥砂漿、與混凝土），藉由新拌與硬固混凝土氯離子含量量測，以及硬固混凝土組成分析，建立新拌與硬固混凝土氯離子含量關聯性。並由試驗結果分析探討材料組成對混凝土氯離子含量的影響來建立本土性適用的檢測方法。相關方法說明如下。

第一節 試驗計畫與變數設計

為探討新拌與硬固混凝土氯離子含量的關聯性及建立檢測方法，本研究的變數分成 2 個主要部分。分別是水泥質材料的氯離子含量與組成材料配比變數設計。

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)。因此在氯離子含量變數方面將於每立方混凝土中設計加入 0 kg/m^3 、 0.1 kg/m^3 、 0.2 kg/m^3 、 0.3 kg/m^3 、與 0.4 kg/m^3 共 5 種用量氯離子。拌合時將氯離子加入拌合用水中進入混凝土製作過程。藉由低至高的氯離子加入量，探討新拌與硬固混凝土氯離子含量的關聯性。因此相關試驗分析分別進行新拌、硬固水溶、與硬固酸溶法氯離子量測。

2. 水泥質材料配比變數設計

本研究為探討料組成對混凝土氯離子含量的影響，因此分別製作水泥漿體、水泥砂漿、與混凝土三種水泥質材料配比。由於細骨材（細粒料）與粗骨材（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骨材表面，很難進入骨材內部。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。所以本研究擬藉由細骨材與粗骨材體積調整水泥漿體於配比中的組成。探討骨材體積對氯離子含量的影響。另一方面，一般文獻均提及部分氯離子會被水泥生成物吸收，形成較安定的法拉地鹽²⁵，所以可藉由酸溶法與

本土性硬固混凝土氯離子含量標準與檢測方法之研究

水溶法試驗結果的比較，探討水泥漿體變化對氯離子含量的影響。水泥質材料配比變數設計如下表 1 所示。其中水泥質材料的水灰比變數設計為 0.35 至 0.65 區間，原服務建議書擬以業界常用的 4000 psi 與 5000psi 設計強度選取至少 2 組水灰比進行研究，經考量後增加至 4 組水灰比，以使本計畫研究更完整，因此所做配比數由原先規劃的 30 組混凝土配比增加為 60 組混凝土配比；30 組水泥砂漿配比增加為 60 組水泥砂漿配比；10 組水泥漿體配比增加為 20 組水泥漿體配比。混凝土變數以常用的粗骨材體積用量為變數，分別為 35%、40%、與 45%。水泥砂漿部分，係於混凝土試體拌合製作時，以 4 號篩進行濕篩排除粗骨材部分後為水泥砂漿試體，因此其細骨材用量變數範圍會落在 0.30 至 0.45 m^3/m^3 、0.24 至 0.40 m^3/m^3 、與 0.17 至 0.35 m^3/m^3 三個區間內。水泥漿體則以混凝土水灰比設定為變數。相關試驗分析分別進行新拌、水溶、酸溶法氯離子量測。上述試體均製作直徑 10 公分高度 20 公分圓柱試體。試體於硬固後，為排除材齡水化程度不一的影響，試體均於水中養護 90 天後進行硬固混凝土氯離子含量與水泥含量試驗。新拌混凝土氯離子含量則於拌合過程時進行。在試體數量方面，為符合多試驗室精密度要求，每組配比至少製作 10 個試體以供試驗。

表 4-1 水泥質材料配比變數設計

變數類別	變數範圍
混凝土水灰比	0.35、0.45、0.55、0.65*
混凝土粗骨材體積 (m^3/m^3)	0.35、0.40、0.45
水泥砂漿水灰比	0.35、0.45、0.55、0.65*
水泥砂漿細骨材體積 (m^3/m^3)	0.17~0.045
水泥漿體水灰比	0.35、0.45、0.55、0.65*
氯離子含量變數 (kg/m^3)	0、0.1、0.2、0.3、0.4

*較原服務建議書多 2 組水灰比，共增加 1 倍配比

(資料來源：本研究自行整理)

3. 混凝土樣本取得方式差異分析

對於舊有建築物混凝土樣本取得方式與實驗室試體整顆軋碎磨粉方式明顯不同，因此為驗證兩者差異度，與未來舊有建築物混凝土取樣數目決定。由於舊有建築物的配比資料非常困難可以獲得，因此擬藉由設計方式將實驗室製作的試體進行分區取樣，實際量測硬固混凝土內部氯離子含量與整體軋碎磨粉方式變化情形，探討取樣樣本數目的合理性。

第二節 試驗材料

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 4-2 所示。

表 4-2 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 ($\text{Na}_2\text{O} + 0.66\text{K}_2\text{O}$)	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 3-4 為其物理性質與化學成分。

表 4-3 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.粗骨材

本計畫混凝土所使用之粗骨材為三分碎石，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 4-4 所示，其粒徑級配分布圖如圖 4-1 所示。

表 4-4 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)	1.40	1.40	98.60
1/2" (12.7 mm)	22.75	24.15	75.85
3/8" (9.5 mm)	15.00	39.15	60.85
NO.4 (4.75 mm)	48.00	87.15	12.85
底 盤	12.60	99.75	0.25

(資料來源：本研究自行整理)

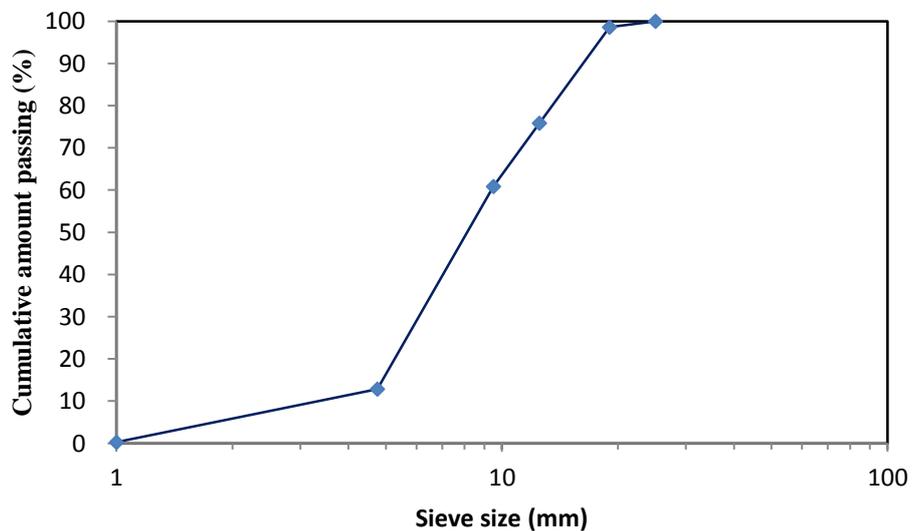


圖 4-1 三分碎石之級配級配分布圖

(資料來源：本研究自行整理)

4.細骨材

本計畫所使用之細骨材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 4-5 所示，其粒徑級配分布圖如圖 4-2 所示。

表 4-5 細骨材之篩分析試驗結果

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)

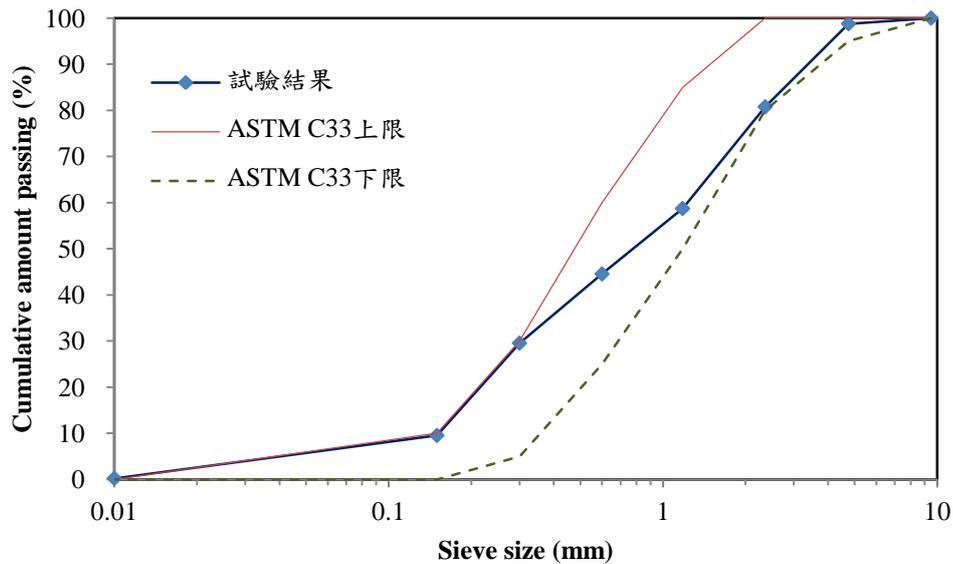


圖 4-2 粗砂之級配級配分布圖

(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。

第三節 試驗配比設計

本計畫經 3-1 節變數設計與 3-2 節組成材料性質，進行配比設計。其設計係以混凝土配比為基礎，去除粗骨材後，以等體積比例調整為水泥砂漿，最後去除細骨材部分，成為水泥漿配比。相關配比如下各表所述。表中第一位為水泥質材料種類，C 代表混凝土、M 代表水泥砂漿、與 P 為水泥漿；第二與第三位分別以數字代表水灰比，35 為水灰比 0.35、45 為水灰比 0.45、55 為水灰比 0.55、與 65 為水灰比 0.65；第四位數字代表氯離子添加量，0 為未添加、1 為 0.1 kg/m³、2 為 0.2 kg/m³、3 為 0.3 kg/m³、與 4 為 0.4 kg/m³。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 kg/m³、0.16 kg/m³、0.33 kg/m³、0.49 kg/m³、

與 0.66 kg/m^3 。最後英文字母 X、Y、Z 分別為粗骨材體積用量 35%、40%、與 45%。

表 4-6 混凝土配比設計 (水灰比 0.35)

混凝土 配比編號	水 (kg/m^3)	水泥 (kg/m^3)	粗骨材 (kg/m^3)	細骨材 (kg/m^3)	氯化鈉 (kg/m^3)
C35-0-X	229	654	959	519.95	-
C35-1-X	229	654	959	519.75	0.16
C35-2-X	229	654	959	519.54	0.33
C35-3-X	229	654	959	519.34	0.49
C35-4-X	229	654	959	519.13	0.66
C35-0-Y	229	654	1,096	385.45	-
C35-1-Y	229	654	1,096	385.25	0.16
C35-2-Y	229	654	1,096	385.04	0.33
C35-3-Y	229	654	1,096	384.84	0.49
C35-4-Y	229	654	1,096	384.63	0.66
C35-0-Z	229	654	1,233	250.95	-
C35-1-Z	229	654	1,233	250.75	0.16
C35-2-Z	229	654	1,233	250.54	0.33
C35-3-Z	229	654	1,233	250.34	0.49
C35-4-Z	229	654	1,233	250.13	0.66

(資料來源：本研究自行整理)

表 4-7 混凝土配比設計 (水灰比 0.45)

配比編號	水 (kg/m ³)	水泥 (kg/m ³)	粗骨材 (kg/m ³)	細骨材 (kg/m ³)	氯化鈉 (kg/m ³)
C45-0-X	229	509	959	644.12	-
C45-1-X	229	509	959	643.91	0.16
C45-2-X	229	509	959	643.71	0.33
C45-3-X	229	509	959	643.50	0.49
C45-4-X	229	509	959	643.30	0.66
C45-0-Y	229	509	1,096	509.62	-
C45-1-Y	229	509	1,096	509.41	0.16
C45-2-Y	229	509	1,096	509.21	0.33
C45-3-Y	229	509	1,096	509.00	0.49
C45-4-Y	229	509	1,096	508.80	0.66
C45-0-Z	229	509	1,233	-	-
C45-1-Z	229	509	1,233	374.91	0.16
C45-2-Z	229	509	1,233	374.71	0.33
C45-3-Z	229	509	1,233	374.50	0.49
C45-4-Z	229	509	1,233	374.30	0.66

(資料來源：本研究自行整理)

表 4-8 混凝土配比設計 (水灰比 0.55)

配比編號	水 (kg/m ³)	水泥 (kg/m ³)	粗骨材 (kg/m ³)	細骨材 (kg/m ³)	氯化鈉 (kg/m ³)
C55-0-X	229	416	959	723.13	-
C55-1-X	229	416	959	722.92	0.16
C55-2-X	229	416	959	722.72	0.33
C55-3-X	229	416	959	722.51	0.49
C55-4-X	229	416	959	722.31	0.66
C55-0-Y	229	416	1,096	588.63	-
C55-1-Y	229	416	1,096	588.42	0.16
C55-2-Y	229	416	1,096	588.22	0.33
C55-3-Y	229	416	1,096	588.01	0.49
C55-4-Y	229	416	1,096	587.81	0.66
C55-0-Z	229	416	1,233	454.13	-
C55-1-Z	229	416	1,233	453.92	0.16
C55-2-Z	229	416	1,233	453.72	0.33
C55-3-Z	229	416	1,233	453.51	0.49
C55-4-Z	229	416	1,233	453.31	0.66

(資料來源：本研究自行整理)

表 4-9 混凝土配比設計 (水灰比 0.65)

配比編號	水 (kg/m ³)	水泥 (kg/m ³)	粗骨材 (kg/m ³)	細骨材 (kg/m ³)	氯化鈉 (kg/m ³)
C55-0-X	229	352	959	777.83	-
C55-1-X	229	352	959	777.63	0.16
C55-2-X	229	352	959	777.42	0.33
C55-3-X	229	352	959	777.22	0.49
C55-4-X	229	352	959	777.01	0.66
C55-0-Y	229	352	1,096	643.33	-
C55-1-Y	229	352	1,096	643.13	0.16
C55-2-Y	229	352	1,096	642.92	0.33
C55-3-Y	229	352	1,096	642.72	0.49
C55-4-Y	229	352	1,096	642.51	0.66
C55-0-Z	229	352	1,233	508.83	-
C55-1-Z	229	352	1,233	508.63	0.16
C55-2-Z	229	352	1,233	508.42	0.33
C55-3-Z	229	352	1,233	508.22	0.49
C55-4-Z	229	352	1,233	508.01	0.66

(資料來源：本研究自行整理)

表 4-10 水泥砂漿配比設計 (水灰比 0.35)

配比編號	水 (kg/m ³)	水泥 (kg/m ³)	細骨材 (kg/m ³)	氯化鈉 (kg/m ³)
M35-0-X	356	1,018	808.81	-
M35-1-X	356	1,018	808.49	0.26
M35-2-X	356	1,018	808.18	0.51
M35-3-X	356	1,018	807.86	0.77
M35-4-X	356	1,018	807.54	1.03
M35-0-Y	387	1,106	651.28	-
M35-1-Y	387	1,106	650.93	0.28
M35-2-Y	387	1,106	650.59	0.56
M35-3-Y	387	1,106	650.24	0.84
M35-4-Y	387	1,106	649.90	1.11
M35-0-Z	423	1,210	464.02	-
M35-1-Z	423	1,210	463.64	0.30
M35-2-Z	423	1,210	463.26	0.61
M35-3-Z	423	1,210	462.89	0.91
M35-4-Z	423	1,210	462.51	1.22

(資料來源：本研究自行整理)

表 4-11 水泥砂漿配比設計 (水灰比 0.45)

配比編號	水 (kg/m ³)	水泥 (kg/m ³)	細骨材 (kg/m ³)	氯化鈉 (kg/m ³)
M45-0-X	356	792	1,001.96	-
M45-1-X	356	792	1,001.64	0.26
M45-2-X	356	792	1,001.32	0.51
M45-3-X	356	792	1,001.00	0.77
M45-4-X	356	792	1,000.68	1.03
M45-0-Y	387	860	861.07	-
M45-1-Y	387	860	860.73	0.28
M45-2-Y	387	860	860.38	0.56
M45-3-Y	387	860	860.04	0.84
M45-4-Y	387	860	859.69	1.11
M45-0-Z	423	941	693.61	-
M45-1-Z	423	941	693.23	0.30
M45-2-Z	423	941	692.85	0.61
M45-3-Z	423	941	692.47	0.91
M45-4-Z	423	941	692.09	1.22

(資料來源：本研究自行整理)

表 4-12 水泥砂漿配比設計（水灰比 0.55）

配比編號	水 (kg/m ³)	水泥 (kg/m ³)	細骨材 (kg/m ³)	氯化鈉 (kg/m ³)
M55-0-X	356	648	1,124.87	-
M55-1-X	356	648	1,124.55	0.26
M55-2-X	356	648	1,124.23	0.51
M55-3-X	356	648	1,123.91	0.77
M55-4-X	356	648	1,123.59	1.03
M55-0-Y	387	704	994.58	-
M55-1-Y	387	704	994.23	0.28
M55-2-Y	387	704	993.89	0.56
M55-3-Y	387	704	993.54	0.84
M55-4-Y	387	704	993.20	1.11
M55-0-Z	423	770	839.71	-
M55-1-Z	423	770	839.33	0.30
M55-2-Z	423	770	838.95	0.61
M55-3-Z	423	770	838.57	0.91
M55-4-Z	423	770	838.20	1.22

(資料來源：本研究自行整理)

表 4-13 水泥砂漿配比設計 (水灰比 0.65)

配比編號	水 (kg/m ³)	水泥 (kg/m ³)	細骨材 (kg/m ³)	氯化鈉 (kg/m ³)
M65-0-X	356	548	1,209.96	-
M65-1-X	356	548	1,209.64	0.26
M65-2-X	356	548	1,209.32	0.51
M65-3-X	356	548	1,209.00	0.77
M65-4-X	356	548	1,208.68	1.03
M65-0-Y	387	595	1,087.01	-
M65-1-Y	387	595	1,086.66	0.28
M65-2-Y	387	595	1,086.31	0.56
M65-3-Y	387	595	1,085.97	0.84
M65-4-Y	387	595	1,085.62	1.11
M65-0-Z	423	651	940.86	-
M65-1-Z	423	651	940.48	0.30
M65-2-Z	423	651	940.10	0.61
M65-3-Z	423	651	939.72	0.91
M65-4-Z	423	651	939.34	1.22

(資料來源：本研究自行整理)

表 4-14 水泥漿體配比設計

配比編號	水 (kg/m ³)	水泥 (kg/m ³)	氯化鈉 (kg/m ³)
P35-0	523	1,502	-
P35-1	523	1,495	0.16
P35-2	523	1,495	0.33
P35-3	523	1,494	0.49
P35-4	523	1,494	0.66
P45-0	586	1,303	-
P45-1	586	1,303	0.16
P45-2	586	1,303	0.33
P45-3	586	1,303	0.49
P45-4	586	1,303	0.66
P55-0	634	1,153	-
P55-1	634	1,153	0.16
P55-2	634	1,153	0.33
P55-3	634	1,153	0.49
P55-4	634	1,152	0.66
P65-0	672	1,034	-
P65-1	672	1,034	0.16
P65-2	672	1,033	0.33
P65-3	672	1,033	0.49
P65-4	672	1,033	0.66

(資料來源：本研究自行整理)

第四節 試驗分析方法

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 4-3 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 4-4 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：

$$N_{cl} = \frac{N_{AgNO_3} V_{AgNO_3}}{V_{cl}} \quad (4-3)$$

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)。



圖 4-3 Metrohm 702 SM 型電位滴定儀

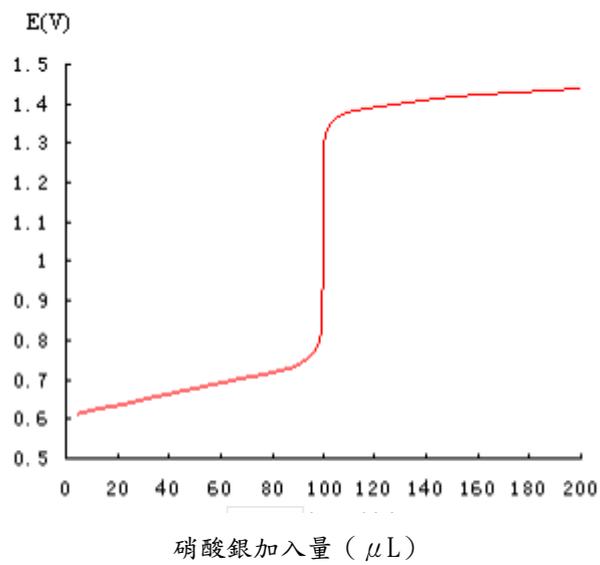


圖 4-4 滴定過程電位變化與硝酸銀加入量關係

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

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

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

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)。

(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

本土性硬固混凝土氯離子含量標準與檢測方法之研究

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 4-5 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 4-6 所示。

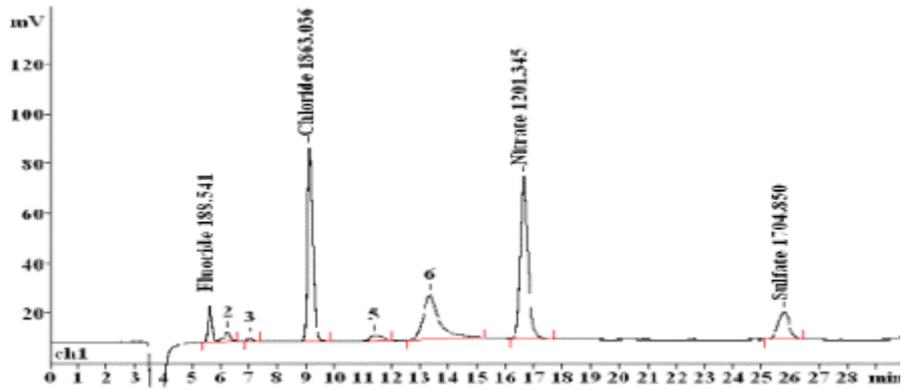


圖 4-5 典型的離子層析法試驗結果



圖 4-6 Metrohm MIC 模組式離子層析儀

第五章 研究成果分析

為使本研究能較完整，因此較原服務計畫書所規劃配比量多出 1 倍。因此預計進行 60 組混凝土、60 組水泥砂漿、與 20 組水泥漿體配比抗壓強度、新拌、硬固水溶法、與硬固酸溶法之氯離子檢測工作。目前所有配比拌合、試體製作、與 28 天養護工作。並完成新拌混凝土氯離子含量量測試驗工作、硬固水溶法與酸溶法氯離子含量量測試驗工作、與混凝土樣本取得方式差異分析。計畫執行狀況良好。

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，以探討粗骨材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 5-5 為 28 天養護完成後之混凝土配比抗壓強度試驗表。表 5-6 至表 5-10 為 28 天養護完成後水泥砂漿配比抗壓強度試驗表。為方便工程實務使用，配比抗壓強度平均值除以 SI 制 MPa 表示外，亦轉換成公制 kgf/cm^2 。

表 5-1 混凝土配比抗壓強度試驗表（氯離子添加量 0 kg/m^3 ）

配比 編號	試體 1 (MPa)	試體 2 (MPa)	試體 3 (MPa)	平均值	
				MPa	kgf/cm^2
C35-0-X	56.3	55.3	56.5	56.0	572
C45-0-X	54.0	56.3	56.5	55.6	567
C55-0-X	47.5	46.3	46.9	46.9	478
C65-0-X	39.7	40.2	39.8	39.9	407
C35-0-Y	54.5	55.5	54.1	54.7	558
C45-0-Y	52.1	51.9	52.3	52.1	531
C55-0-Y	43.2	43.7	44.4	43.7	446
C65-0-Y	36.3	38.5	37.2	37.3	381
C35-0-Z	54.3	53.3	53.2	53.6	547
C45-0-Z	45.5	45.7	47.1	46.1	470
C55-0-Z	40.2	40.1	40.7	40.3	411
C65-0-Z	32.3	32.1	34.0	32.8	334

(資料來源：本研究自行整理)

表 5-2 混凝土配比抗壓強度試驗表 (氯離子添加量 0.1 kg/m^3)

配比 編號	試體 1 (MPa)	試體 2 (MPa)	試體 3 (MPa)	平均值	
				MPa	kgf/cm ²
C35-1-X	55.5	54.3	54.4	54.7	558
C45-1-X	48.8	48.2	48.7	48.5	495
C55-1-X	40.6	39.3	40.2	40.0	408
C65-1-X	30.5	31.7	31.5	31.3	319
C35-1-Y	52.8	53.3	54.5	53.5	546
C45-1-Y	49.4	47.8	47.9	48.4	494
C55-1-Y	39.2	40.4	40.0	39.8	406
C65-1-Y	30.7	29.8	29.2	29.9	305
C35-1-Z	53.3	54.3	53.4	53.7	548
C45-1-Z	46.5	46.7	46.8	46.7	476
C55-1-Z	38.5	37.6	37.5	37.9	386
C65-1-Z	28.7	29.5	29.7	29.3	299

(資料來源：本研究自行整理)

表 5-3 混凝土配比抗壓強度試驗表 (氯離子添加量 0.2 kg/m^3)

配比 編號	試體 1 (MPa)	試體 2 (MPa)	試體 3 (MPa)	平均值	
				MPa	kgf/cm ²
C35-2-X	55.3	55.8	56.4	55.8	570
C45-2-X	47.7	46.5	46.4	46.9	478
C55-2-X	42.1	42.5	41.7	42.1	430
C65-2-X	30.1	30.2	30.5	30.3	309
C35-2-Y	55.3	55.1	54.6	55.0	562
C45-2-Y	48.7	49.8	48.3	48.9	500
C55-2-Y	39.8	40.0	40.8	40.2	411
C65-2-Y	37.5	37.6	37.0	37.4	382
C35-2-Z	56.7	55.8	54.5	55.6	568
C45-2-Z	45.6	46.8	46.7	46.4	474
C55-2-Z	39.0	38.3	38.4	38.6	394
C65-2-Z	28.4	28.5	27.9	28.2	288

(資料來源：本研究自行整理)

表 5-4 混凝土配比抗壓強度試驗表 (氯離子添加量 0.3 kg/m^3)

配比 編號	試體 1 (MPa)	試體 2 (MPa)	試體 3 (MPa)	平均值	
				MPa	kgf/cm ²
C35-3-X	56.6	54.8	55.0	55.5	566
C45-3-X	50.3	50.5	50.7	50.5	516
C55-3-X	41.7	41.2	41.5	41.5	423
C65-3-X	35.3	33.8	34.7	34.6	353
C35-3-Y	50.6	51.7	52.4	51.6	527
C45-3-Y	42.3	43.5	43.7	43.2	441
C55-3-Y	37.6	39.0	37.3	38.0	387
C65-3-Y	35.0	34.0	33.7	34.3	350
C35-3-Z	49.8	50.3	47.5	49.2	502
C45-3-Z	46.5	48.3	47.0	47.3	483
C55-3-Z	37.1	35.8	37.7	36.9	377
C65-3-Z	26.6	27.7	24.1	26.1	267

(資料來源：本研究自行整理)

表 5-5 混凝土配比抗壓強度試驗表 (氯離子添加量 0.4 kg/m^3)

配比 編號	試體 1 (MPa)	試體 2 (MPa)	試體 3 (MPa)	平均值	
				MPa	kgf/cm ²
C35-4-X	52.5	51.5	52.4	52.1	532
C45-4-X	45.6	46.8	43.6	45.3	463
C55-4-X	37.8	40.8	36.8	38.5	393
C65-4-X	29.8	30.7	31.0	30.5	311
C35-4-Y	48.9	48.2	50.7	49.3	503
C45-4-Y	39.4	37.7	36.8	38.0	388
C55-4-Y	36.5	39.1	38.2	37.9	387
C65-4-Y	30.4	29.0	30.7	30.0	307
C35-4-Z	49.0	50.1	52.4	50.5	516
C45-4-Z	45.7	44.2	43.2	44.3	453
C55-4-Z	33.6	32.4	30.4	32.1	328
C65-4-Z	25.7	23.0	22.8	23.8	243

(資料來源：本研究自行整理)

表 5-6 水泥砂漿配比抗壓強度試驗表 (氯離子添加量 0 kg/m^3)

配比 編號	試體 1 (MPa)	試體 2 (MPa)	試體 3 (MPa)	平均值	
				MPa	kgf/cm ²
M35-0-X	65.6	68.4	64.5	66.2	675
M45-0-X	55.3	56.9	56.2	56.1	573
M55-0-X	49.3	49.4	49.4	49.4	503
M65-0-X	40.7	41.8	41.9	41.5	423
M35-0-Y	71.0	70.2	70.6	70.6	720
M45-0-Y	57.9	56.3	56.6	57.0	581
M55-0-Y	49.7	50.2	50.2	50.0	510
M65-0-Y	39.8	39.8	38.7	39.4	402
M35-0-Z	66.8	67.3	66.3	66.8	681
M45-0-Z	56.1	55.7	53.4	55.1	562
M55-0-Z	48.6	48.2	48.0	48.3	492
M65-0-Z	38.6	38.5	38.8	38.7	394

(資料來源：本研究自行整理)

表 5-7 水泥砂漿配比抗壓強度試驗表 (氯離子添加量 0.1 kg/m^3)

配比 編號	試體 1 (MPa)	試體 2 (MPa)	試體 3 (MPa)	平均值	
				MPa	kgf/cm ²
M35-1-X	63.7	64.3	65.3	64.4	657
M45-1-X	55.4	54.5	54.0	54.6	557
M55-1-X	43.6	44.7	46.1	44.8	457
M65-1-X	24.2	23.2	24.9	24.1	246
M35-1-Y	68.3	56.5	68.8	64.5	658
M45-1-Y	59.4	59.6	57.1	58.7	599
M55-1-Y	45.1	48.0	44.0	45.7	466
M65-1-Y	25.2	24.8	24.0	24.7	252
M35-1-Z	64.1	63.6	65.2	64.3	656
M45-1-Z	50.4	48.7	51.9	50.3	513
M55-1-Z	42.7	35.2	40.6	39.5	403
M65-1-Z	21.7	21.5	21.5	21.6	220

(資料來源：本研究自行整理)

表 5-8 水泥砂漿配比抗壓強度試驗表 (氯離子添加量 0.2 kg/m^3)

配比 編號	試體 1 (MPa)	試體 2 (MPa)	試體 3 (MPa)	平均值	
				MPa	kgf/cm ²
M35-2-X	62.4	65.7	64.2	64.1	654
M45-2-X	51.6	49.5	52.7	51.3	524
M55-2-X	45.8	45.9	44.3	45.3	463
M65-2-X	21.1	20.2	22.1	21.1	216
M35-2-Y	74.7	76.9	78.2	76.6	782
M45-2-Y	61.6	60.4	62.7	61.6	629
M55-2-Y	47.9	50.4	50.5	49.6	506
M65-2-Y	44.0	43.6	44.6	44.1	450
M35-2-Z	71.0	71.7	71.2	71.3	728
M45-2-Z	56.7	57.8	55.2	56.6	577
M55-2-Z	46.1	44.7	48.0	46.3	472
M65-2-Z	34.1	36.3	34.9	35.1	358

(資料來源：本研究自行整理)

表 5-9 水泥砂漿配比抗壓強度試驗表 (氯離子添加量 0.3 kg/m^3)

配比 編號	試體 1 (MPa)	試體 2 (MPa)	試體 3 (MPa)	平均值	
				MPa	kgf/cm ²
M35-3-X	73.3	74.2	75.4	74.3	759
M45-3-X	62.2	62.8	62.2	62.4	637
M55-3-X	52.0	51.7	52.3	52.0	531
M65-3-X	42.8	43.6	43.1	43.1	440
M35-3-Y	47.4	40.0	45.5	44.3	452
M45-3-Y	49.7	47.4	47.3	48.1	491
M55-3-Y	41.0	41.4	39.5	40.7	415
M65-3-Y	31.5	30.8	31.2	31.2	318
M35-3-Z	46.6	43.0	43.6	44.4	454
M45-3-Z	43.3	36.2	43.9	41.1	420
M55-3-Z	41.0	35.9	36.8	37.9	387
M65-3-Z	33.8	32.6	33.7	33.4	341

(資料來源：本研究自行整理)

表 5-10 水泥砂漿配比抗壓強度試驗表 (氯離子添加量 0.4 kg/m^3)

配比 編號	試體 1 (MPa)	試體 2 (MPa)	試體 3 (MPa)	平均值	
				MPa	kgf/cm ²
M35-4-X	45.8	43.9	43.3	44.3	453
M45-4-X	46.1	48.2	49.7	48.0	490
M55-4-X	45.3	43.4	44.2	44.3	452
M65-4-X	36.1	37.1	34.8	36.0	368
M35-4-Y	42.4	43.6	43.5	43.1	440
M45-4-Y	47.0	48.2	45.0	46.7	477
M55-4-Y	36.3	35.8	36.6	36.2	370
M65-4-Y	29.6	31.2	30.5	30.4	310
M35-4-Z	52.3	50.8	52.7	51.9	530
M45-4-Z	42.5	44.3	41.4	42.7	436
M55-4-Z	34.3	36.7	34.6	35.2	359
M65-4-Z	27.0	25.1	25.6	25.9	264

(資料來源：本研究自行整理)

圖 5-1 至圖 5-5 將不同粗骨材用量之混凝土配比依水灰比，以長條圖方式表示其抗壓強度關係，圖中 X series 代表相對於粗骨材用量 $0.35 \text{ m}^3/\text{m}^3$ 。Y series 代表 $0.40 \text{ m}^3/\text{m}^3$ 配比；Z series 代表 $0.45 \text{ m}^3/\text{m}^3$ 配比。由圖 5-1 中可以發現，當未添加氯化鈉時，混凝土粗骨材為 $0.35 \text{ m}^3/\text{m}^3$ ，無論任何水灰比均可以有較大的抗壓強度，且最大差異為水灰比 0.65，粗骨材 $0.35 \text{ m}^3/\text{m}^3$ 與 $0.45 \text{ m}^3/\text{m}^3$ 差異為 73 kgf/cm^2 。但隨著氯化鈉的添加，粗骨材用量的差異性有縮小的現象，大致上仍以用量粗骨材 $0.35 \text{ m}^3/\text{m}^3$ 有較大的抗壓強度。僅在圖 5-4 的水灰比 0.45、圖 5-5 的水灰比 0.45 與 0.55 有明顯不同，即粗骨材用量 $0.40 \text{ m}^3/\text{m}^3$ 的抗壓強度最低。

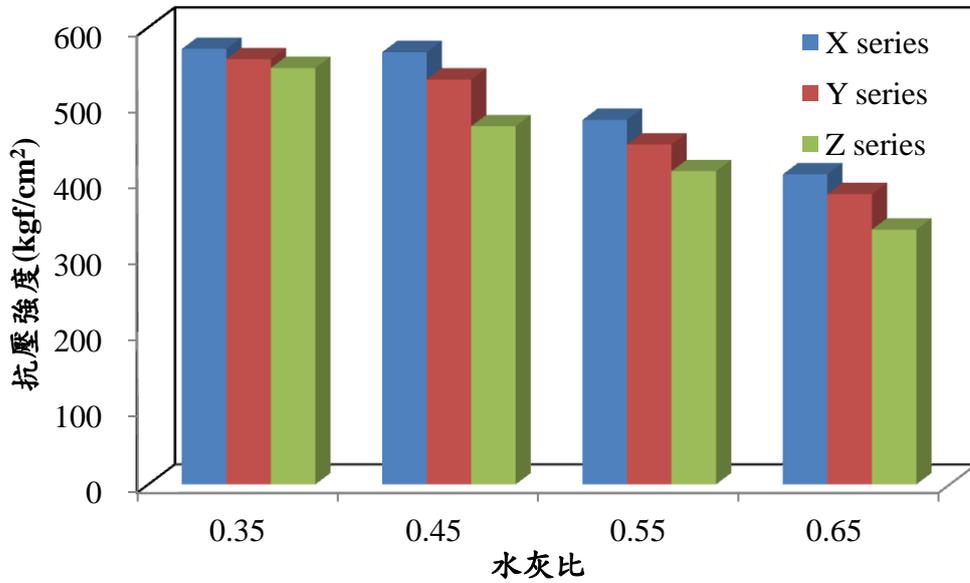


圖 5-1 不同粗骨材用量混凝土配比抗壓強度關係圖 (未添加氯離子)

(資料來源：本研究自行整理)

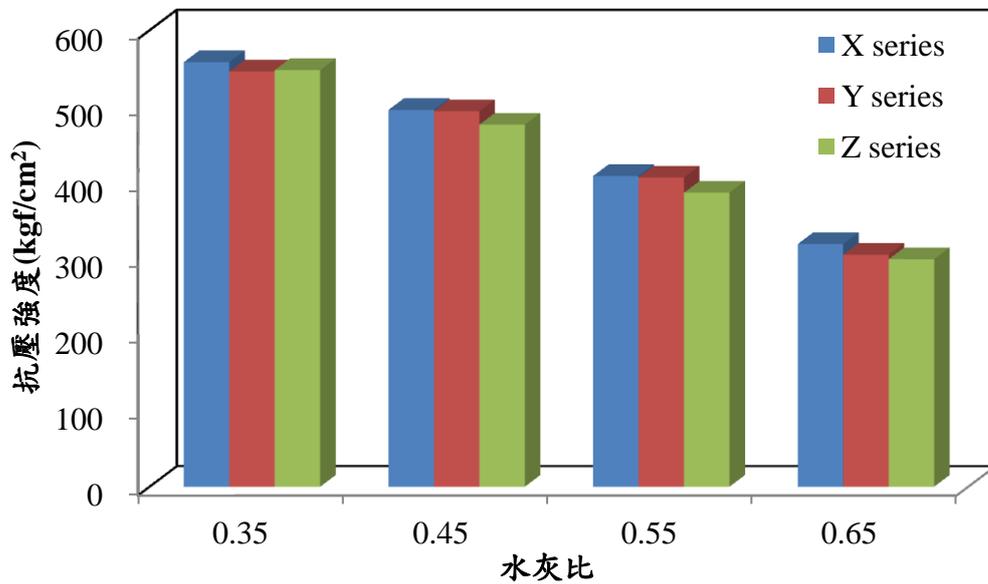


圖 5-2 不同粗骨材用量混凝土配比抗壓強度關係圖 (添加 0.1 kg/m^3 氯離子)

(資料來源：本研究自行整理)

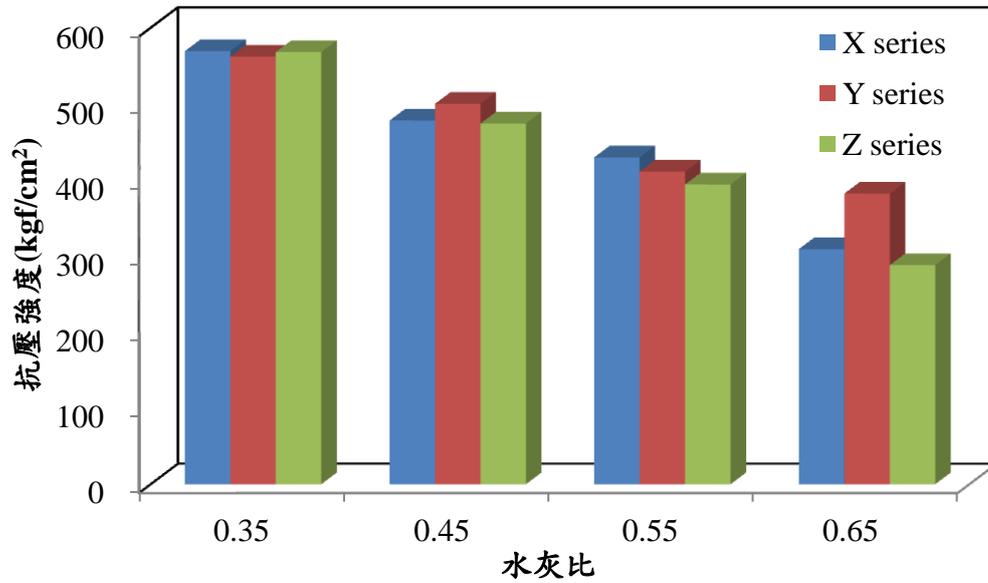


圖 5-3 不同粗骨材用量混凝土配比抗壓強度關係圖 (添加 0.2 kg/m³ 氯離子)

(資料來源：本研究自行整理)

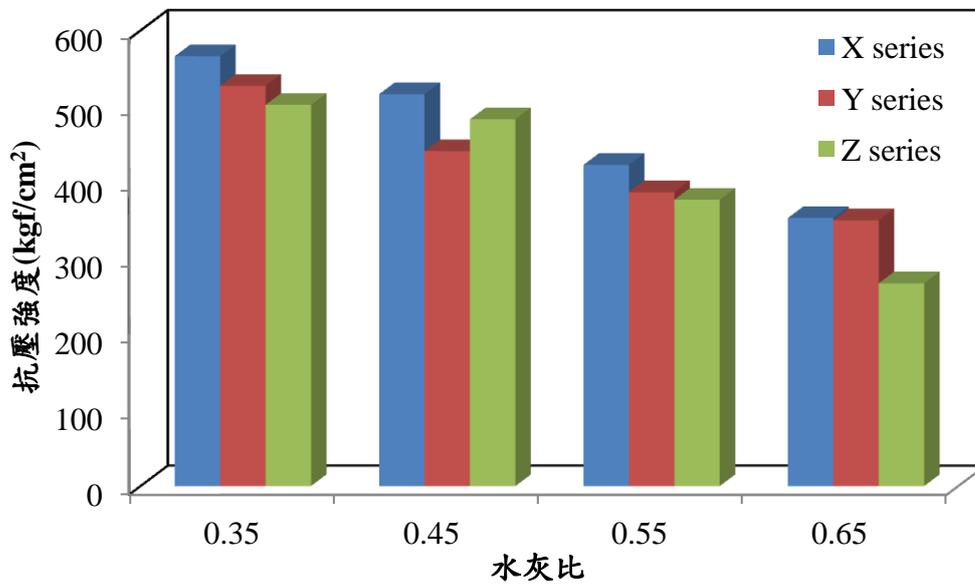


圖 5-4 不同粗骨材用量混凝土配比抗壓強度關係圖 (添加 0.3 kg/m³ 氯離子)

(資料來源：本研究自行整理)

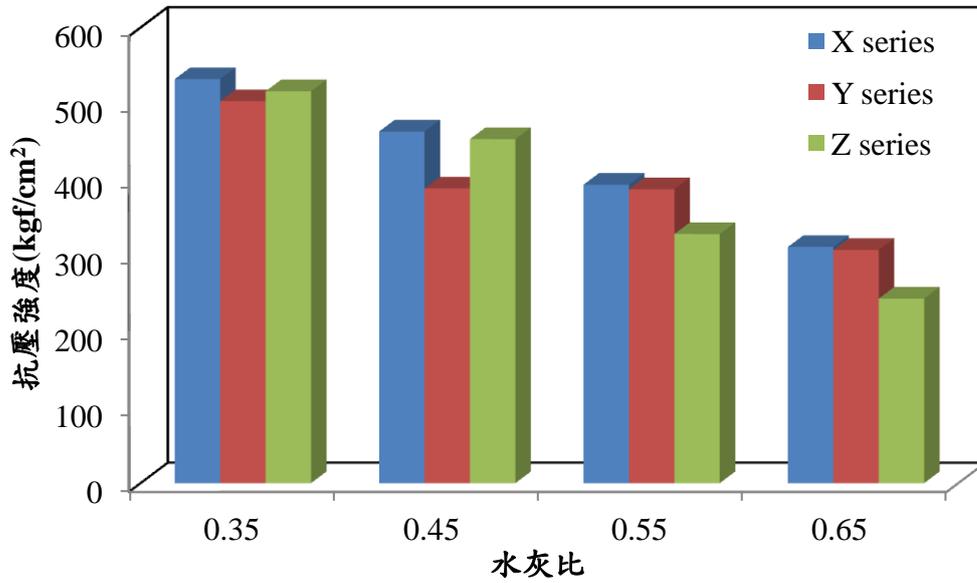


圖 5-5 不同粗骨材用量混凝土配比抗壓強度關係圖（添加 0.4 kg/m^3 氯離子）

（資料來源：本研究自行整理）

圖 5-6 至圖 5-10 為水泥砂漿配比抗壓強度關係圖，圖中 X series 代表相對於粗骨材用量 $0.35 \text{ m}^3/\text{m}^3$ 混凝土，於去除粗骨材後之水泥砂漿配比。Y series 代表相對於 $0.40 \text{ m}^3/\text{m}^3$ 配比；Z series 代表相對於 $0.45 \text{ m}^3/\text{m}^3$ 相對配比。若以圖 5-6 未添加氯化鈉配比而言，可以發現與混凝土配比不同，除了水灰比 0.65 外，Y series 的強度略高於其他骨材含量配比。但圖 5-7 與圖 5-8 也有相同的趨勢，且 Y series 的強度已明顯高於其他骨材含量配比。但圖 5-9 與圖 5-10 的添加 0.3 kg/m^3 與 0.4 kg/m^3 氯化鈉則沒有明顯趨勢。

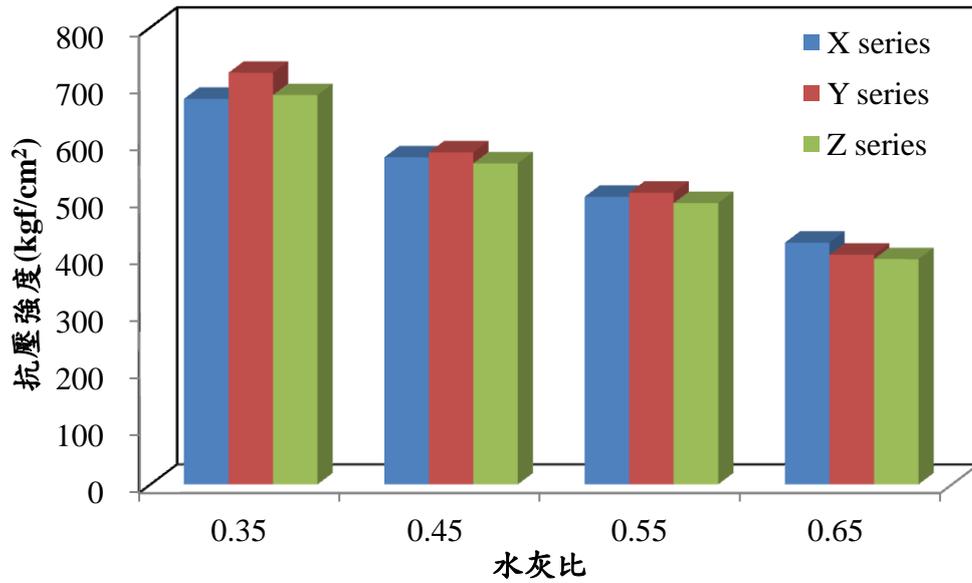


圖 5-6 不同骨材用量水泥砂漿配比抗壓強度關係圖（未添加氯離子）

(資料來源：本研究自行整理)

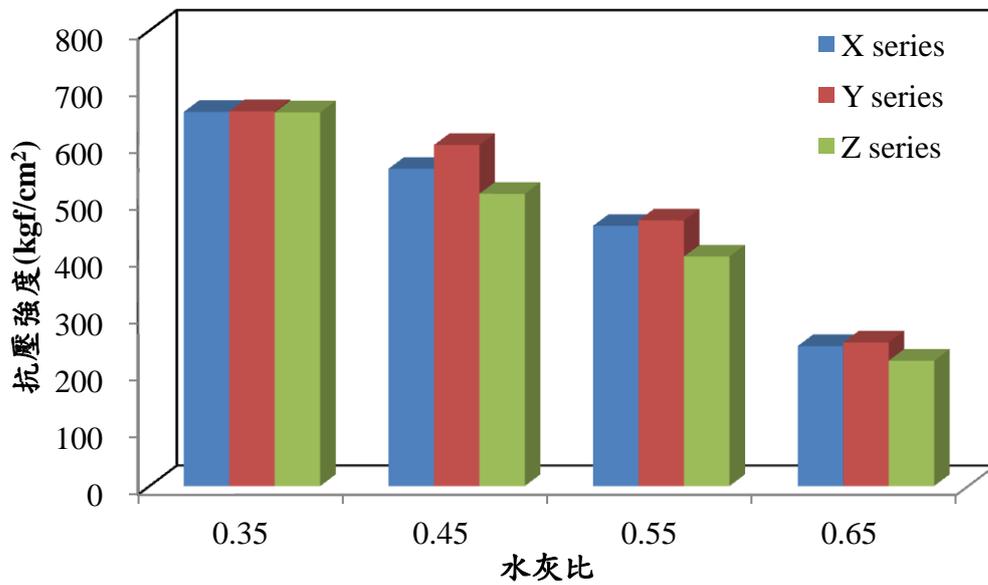


圖 5-7 不同骨材用量水泥砂漿配比抗壓強度關係圖（添加 0.1 kg/m³ 氯離子）

(資料來源：本研究自行整理)

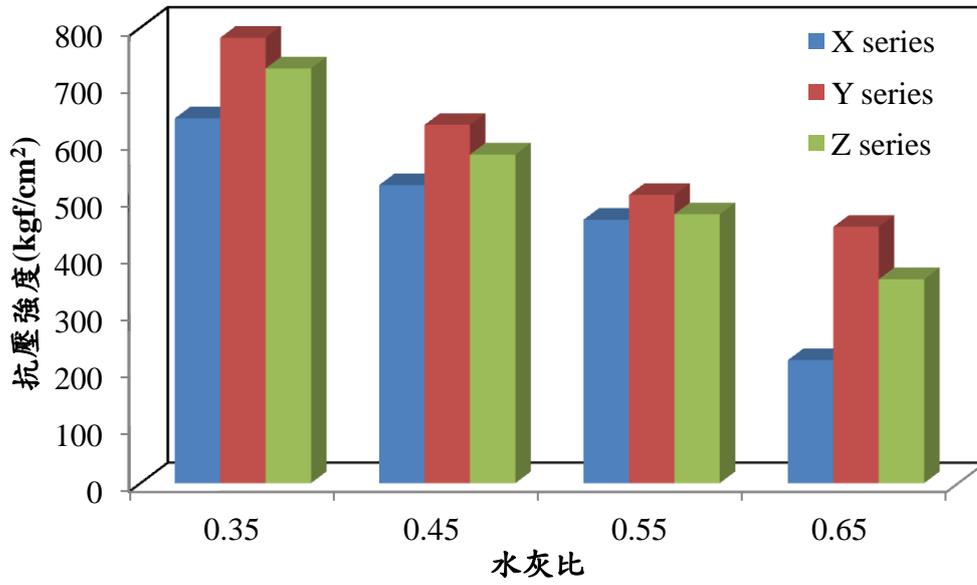


圖 5-8 不同骨材用量水泥砂漿配比抗壓強度關係圖 (添加 0.2 kg/m³ 氯離子)

(資料來源：本研究自行整理)

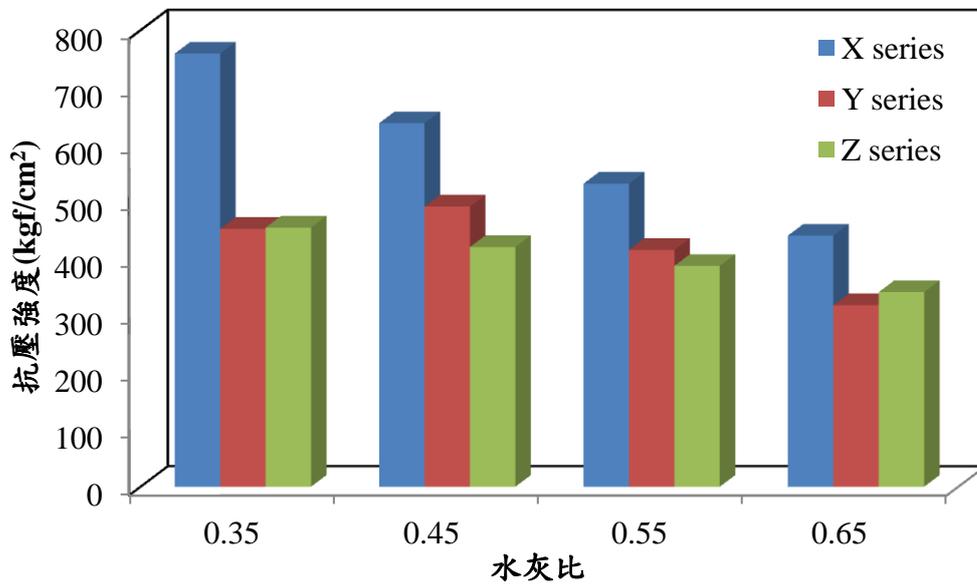


圖 5-9 不同骨材用量水泥砂漿配比抗壓強度關係圖 (添加 0.3 kg/m³ 氯離子)

(資料來源：本研究自行整理)

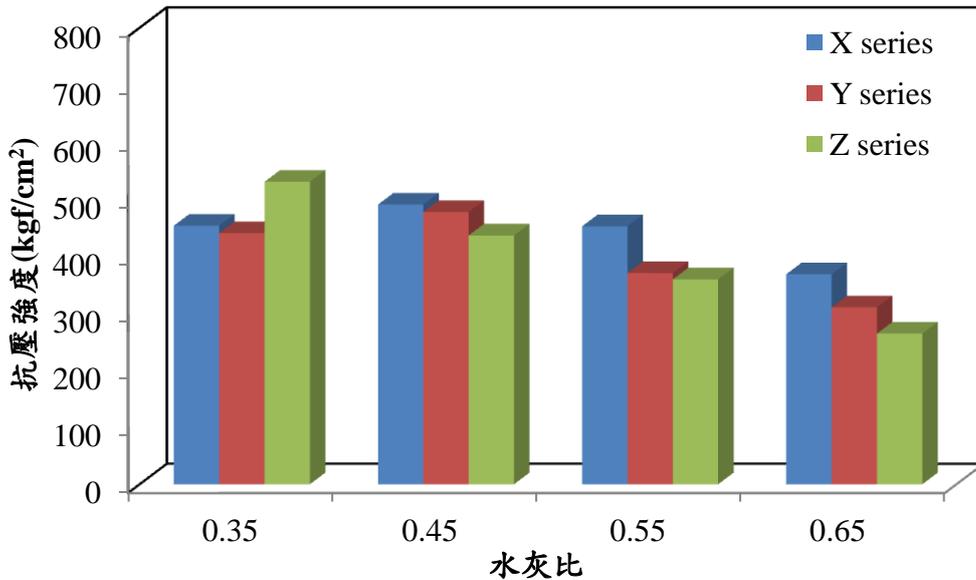


圖 5-10 不同骨材用量水泥砂漿配比抗壓強度關係圖 (添加 0.4 kg/m^3 氯離子)

(資料來源：本研究自行整理)

圖 5-11 至圖 5-13 比較混凝土添加氯化鈉對 28 天齡期抗壓強度的影響，由圖中可以發現除了部分配比差異不大外，無論任何粗骨材用量，抗壓強度大致均會隨著氯離子用量的增加而下降。圖 5-14 為氯離子添加量 0.4 kg/m^3 之混凝土相對未添加配比的抗壓強度折減率。圖中可以發現水灰比 0.45 粗骨材用量 $0.40 \text{ m}^3/\text{m}^3$ 的差異最大，可達 27%。而水灰比 0.55 與 0.65，無論任何骨材用量均在 13% 折減率以上。由混凝土抗壓強度試驗結果顯示，氯化鈉添加確實可以影響抗壓強度。圖 5-15 至圖 5-17 為添加氯化鈉對 28 天齡期水泥砂漿抗壓強度的影響，由圖中可以發現水泥砂漿有部分配比數據誤差較大，但大致仍有隨氯離子添加量下降的情形，圖 5-18 為氯離子添加量 0.4 kg/m^3 之水泥砂漿相對未添加配比的抗壓強度折減率。圖中可以發現水灰比 0.35 粗骨材用量 $0.35 \text{ m}^3/\text{m}^3$ 的差異最大，可達 33%。而水灰比 0.55 與 0.65，無論任何骨材用量均在 10% 折減率以上。

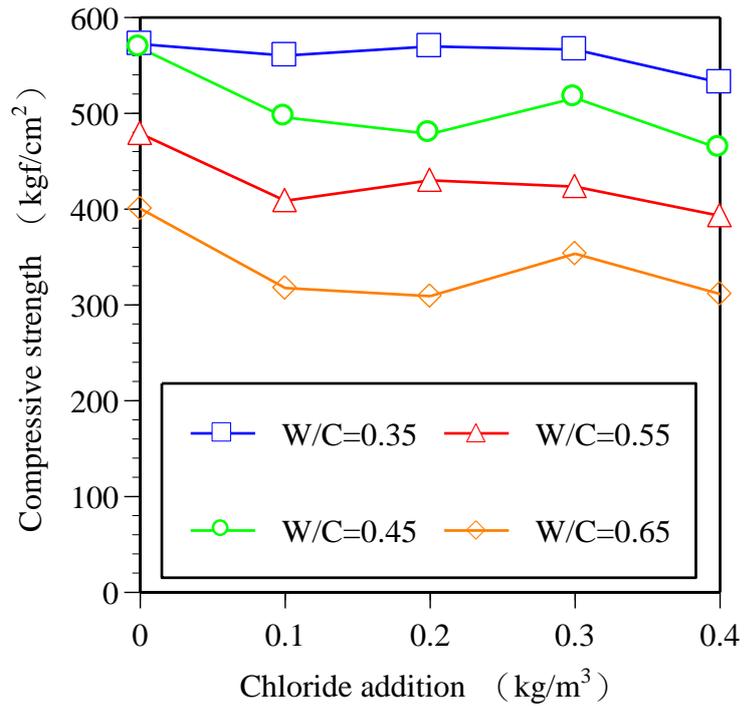


圖 5-11 不同氯離子添加量混凝土配比抗壓強度關係圖 (骨材用量 0.35 m³/m³)

(資料來源：本研究自行整理)

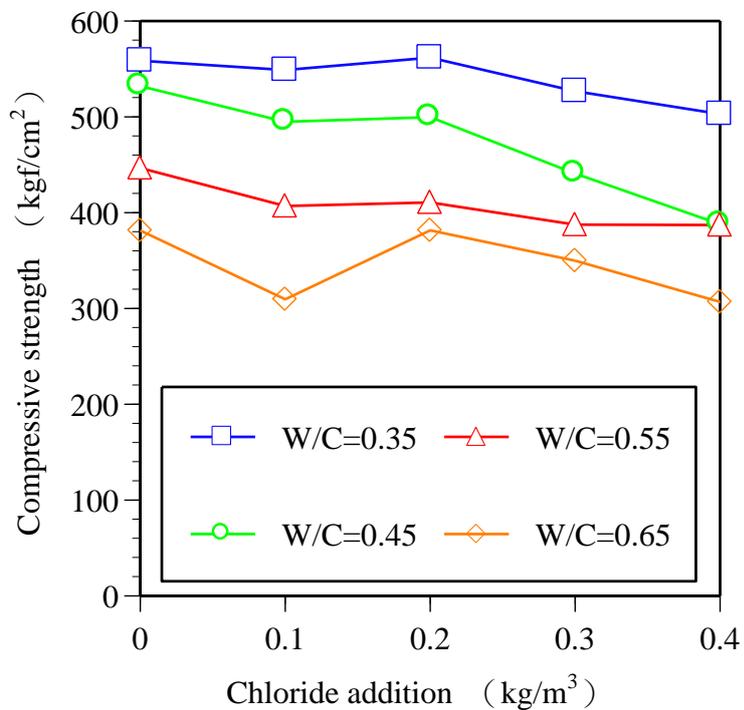


圖 5-12 不同氯離子添加量混凝土配比抗壓強度關係圖 (骨材用量 0.40 m³/m³)

(資料來源：本研究自行整理)

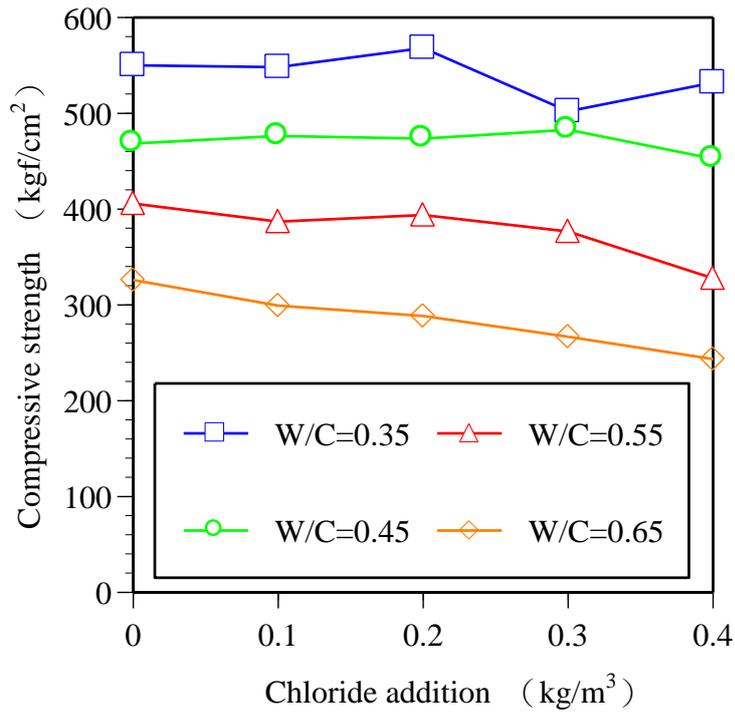


圖 5-13 不同氯離子添加量混凝土配比抗壓強度關係圖 (骨材用量 $0.45 \text{ m}^3/\text{m}^3$)

(資料來源：本研究自行整理)

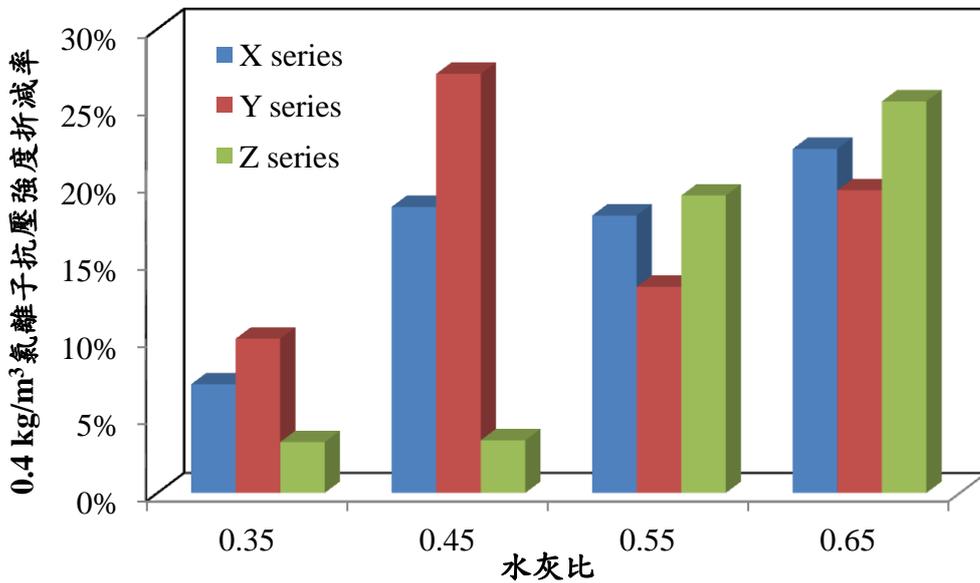


圖 5-14 氯離子添加量 $0.4 \text{ kg}/\text{m}^3$ 混凝土抗壓強度折減率關係圖

(資料來源：本研究自行整理)

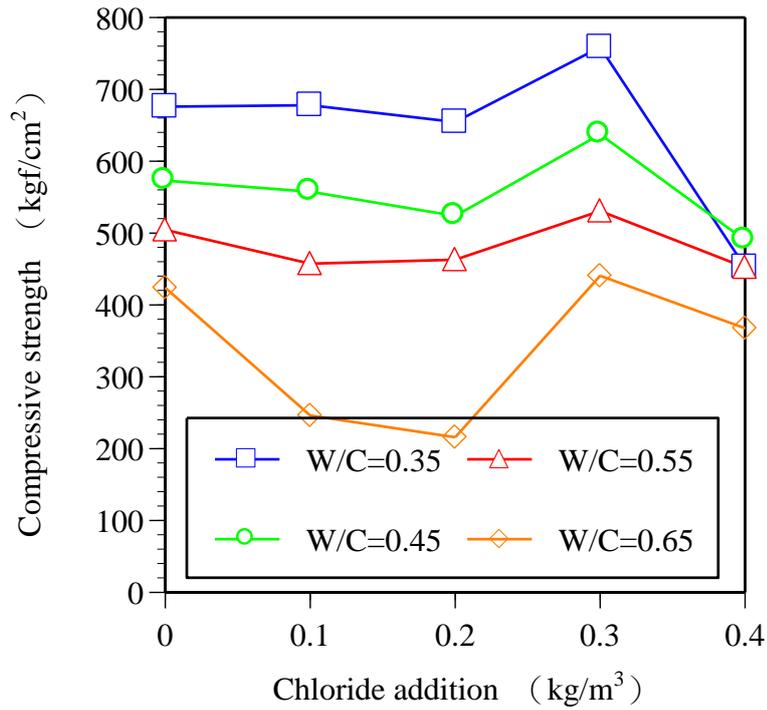


圖 5-15 不同氯離子添加量水泥砂漿配比抗壓強度關係圖(骨材用量 0.35 m³/m³)
(資料來源：本研究自行整理)

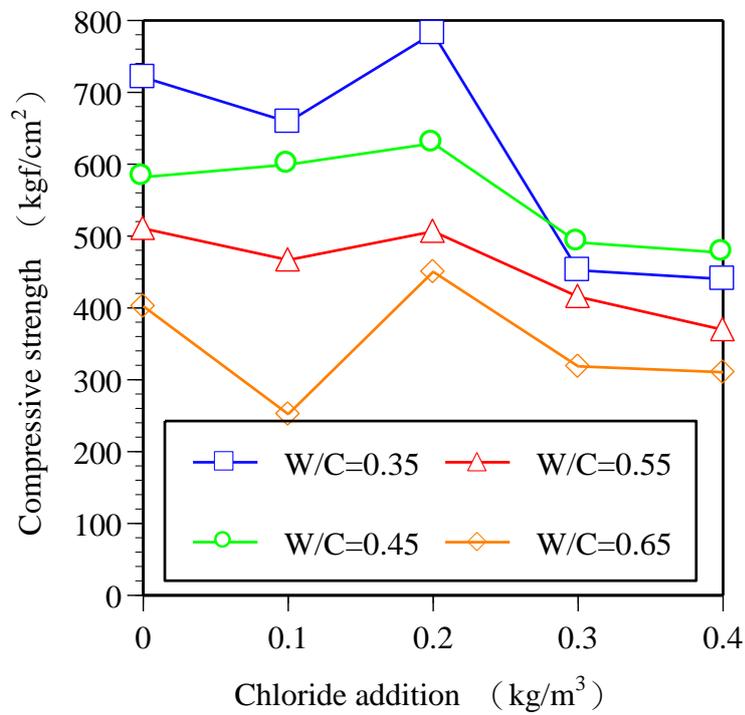


圖 5-16 不同氯離子添加量水泥砂漿配比抗壓強度關係圖(骨材用量 0.40 m³/m³)
(資料來源：本研究自行整理)

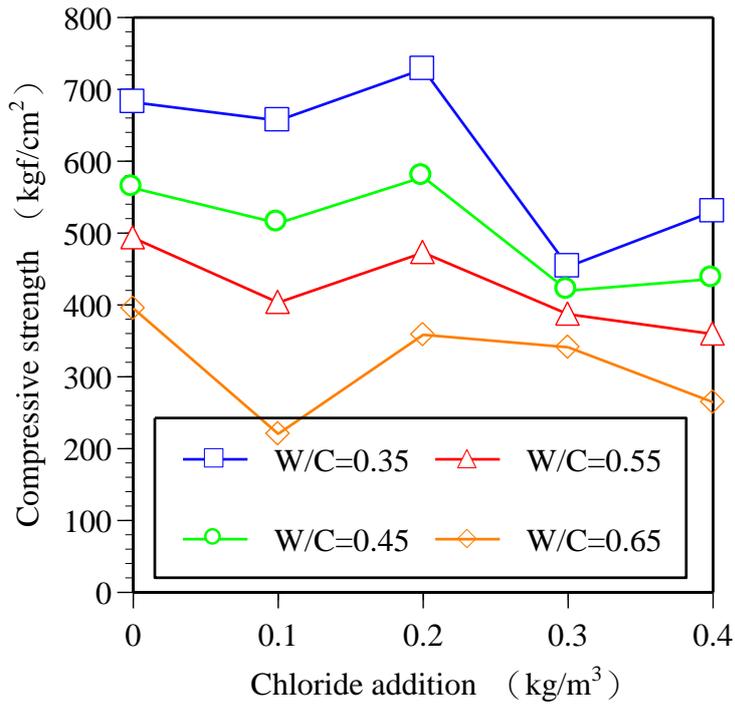


圖 5-17 不同氯離子添加量水泥砂漿配比抗壓強度關係圖(骨材用量 $0.45 \text{ m}^3/\text{m}^3$)

(資料來源：本研究自行整理)

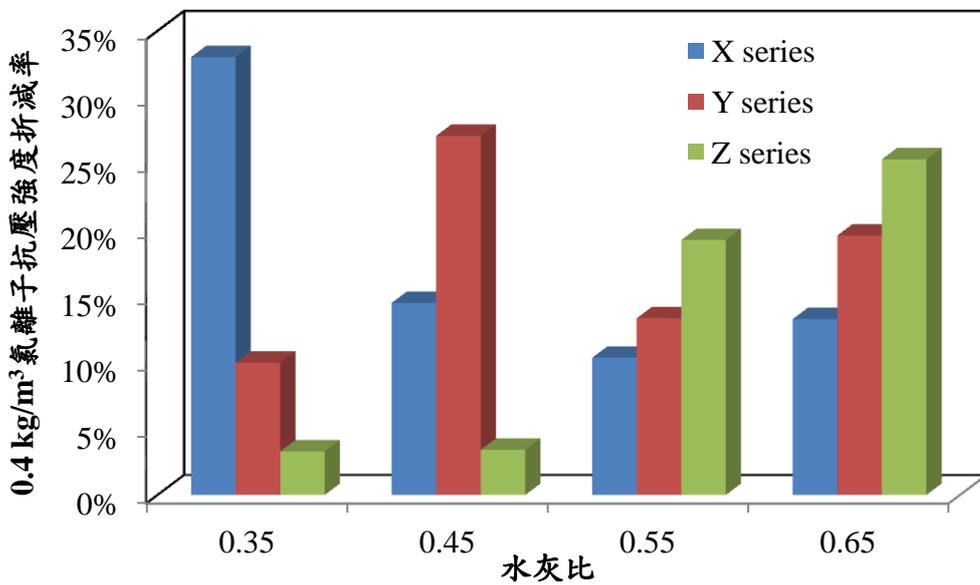


圖 5-18 氯離子添加量 $0.4 \text{ kg}/\text{m}^3$ 水泥砂漿抗壓強度折減率關係圖

(資料來源：本研究自行整理)

第二節 新拌氯離子含量試驗結果

本研究新拌氯離子含量係參考 CNS 13465 取浮水方式進行，將各配比拌合後的浮水收集後以 CNS 1078 試驗法進行電位滴定。表 5-11 至表 5-15 為混凝土配比新拌氯離子試驗結果。表中為進行 3 個試樣後的試驗結果。並將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。圖 5-19 至圖 5-23 分別在各種氯離子添加量下，不同骨材含量配比與新拌混凝土氯離子含量關係圖。由圖中可以發現骨材含量對本研究新拌混凝土氯離子含量的影響並不明顯。但是在水灰比 0.35 方面，無論是否添加氯離子，其新拌混凝土氯離子含量高於其他水灰比配比。而由圖中亦可發現即使未添加氯離子的配比，仍會檢測到氯離子的存在，其他添加氯離子的配比所檢測出的數值也明顯高於配比設計預先添加的氯離子，因此可以說明混凝土組成材料本身便有氯離子的存在。如拌合使用自來水中所含的氯鹽，水泥生產過程所含的氯鹽等。

表 5-11 混凝土配比新拌氯離子含量試驗結果（氯離子添加量 0 kg/m^3 ）

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)
C35-0-X	0.00474	0.00417	0.00463	0.00451	0.03669
C45-0-X	0.00369	0.00328	0.00320	0.00339	0.02755
C55-0-X	0.00314	0.00261	0.00290	0.00288	0.02345
C65-0-X	0.00208	0.00269	0.00266	0.00248	0.02016
C35-0-Y	0.00425	0.00421	0.00437	0.00428	0.03478
C45-0-Y	0.00385	0.00339	0.00373	0.00366	0.02974
C55-0-Y	0.00303	0.00306	0.00317	0.00309	0.02508
C65-0-Y	0.00273	0.00261	0.00282	0.00272	0.02210
C35-0-Z	0.004	0.004044	0.004379	0.00422	0.03428
C45-0-Z	0.003808	0.003912	0.003785	0.00383	0.03118
C55-0-Z	0.003139	0.003051	0.003165	0.00312	0.02535
C65-0-Z	0.002456	0.002408	0.002599	0.00249	0.02022

（資料來源：本研究自行整理）

表 5-12 混凝土配比新拌氯離子含量試驗結果 (氯離子添加量 0.1 kg/m^3)

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)
C35-1-X	0.01907	0.01889	0.01901	0.01899	0.15435
C45-1-X	0.01779	0.01785	0.01793	0.01785	0.14514
C55-1-X	0.01738	0.01730	0.01740	0.01736	0.14114
C65-1-X	0.01578	0.01584	0.01562	0.01575	0.12802
C35-1-Y	0.02035	0.02071	0.02023	0.02043	0.16608
C45-1-Y	0.01791	0.01803	0.01780	0.01791	0.14564
C55-1-Y	0.01541	0.01526	0.01522	0.01529	0.12433
C65-1-Y	0.01509	0.01509	0.01509	0.01509	0.12265
C35-1-Z	0.02146	0.021505	0.021336	0.02143	0.17424
C45-1-Z	0.016284	0.016334	0.016105	0.01624	0.13203
C55-1-Z	0.016319	0.016289	0.016368	0.01633	0.13272
C65-1-Z	0.015106	0.014892	0.01521	0.01507	0.12250

(資料來源：本研究自行整理)

表 5-13 混凝土配比新拌氯離子含量試驗結果 (氯離子添加量 0.2 kg/m^3)

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)
C35-2-X	0.03310	0.03304	0.03319	0.03311	0.26917
C45-2-X	0.03053	0.03091	0.03069	0.03071	0.24967
C55-2-X	0.02947	0.02892	0.02929	0.02923	0.23760
C65-2-X	0.02572	0.02518	0.02576	0.02555	0.20774
C35-2-Y	0.03639	0.03629	0.03617	0.03629	0.29498
C45-2-Y	0.03157	0.03153	0.03157	0.03155	0.25651
C55-2-Y	0.02941	0.02920	0.02966	0.02943	0.23922
C65-2-Y	0.02966	0.02962	0.02980	0.02970	0.24141
C35-2-Z	0.032593	0.032693	0.032404	0.03256	0.26472
C45-2-Z	0.029632	0.029762	0.029662	0.02969	0.24132
C55-2-Z	0.029203	0.029323	0.029482	0.02934	0.23849
C65-2-Z	0.028196	0.027917	0.028555	0.02822	0.22944

(資料來源：本研究自行整理)

表 5-14 混凝土配比新拌氯離子含量試驗結果 (氯離子添加量 0.3 kg/m^3)

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)
C35-3-X	0.04698	0.04584	0.04742	0.04675	0.38004
C45-3-X	0.04463	0.04511	0.04419	0.04464	0.36291
C55-3-X	0.04231	0.04355	0.04269	0.04285	0.34837
C65-3-X	0.04046	0.04020	0.04148	0.04071	0.33097
C35-3-Y	0.04905	0.05007	0.05040	0.04984	0.40519
C45-3-Y	0.04272	0.04122	0.04259	0.04218	0.34289
C55-3-Y	0.04394	0.04380	0.04302	0.04359	0.35435
C65-3-Y	0.04259	0.04112	0.04088	0.04153	0.33763
C35-3-Z	0.05036	0.049563	0.048541	0.04949	0.40231
C45-3-Z	0.046436	0.046538	0.046722	0.04657	0.37855
C55-3-Z	0.043248	0.043513	0.043616	0.04346	0.35330
C65-3-Z	0.043248	0.043289	0.042982	0.04317	0.35097

(資料來源：本研究自行整理)

表 5-15 混凝土配比新拌氯離子含量試驗結果 (氯離子添加量 0.4 kg/m^3)

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)
C35-4-X	0.05942	0.06078	0.06092	0.06037	0.49081
C45-4-X	0.05683	0.05715	0.05817	0.05738	0.46649
C55-4-X	0.05565	0.05408	0.05460	0.05478	0.44531
C65-4-X	0.06505	0.06525	0.06461	0.06497	0.52815
C35-4-Y	0.06295	0.06381	0.06339	0.06338	0.51529
C45-4-Y	0.05561	0.05633	0.05565	0.05587	0.45417
C55-4-Y	0.05514	0.05548	0.05534	0.05532	0.44969
C65-4-Y	0.05534	0.05559	0.05454	0.05516	0.44839
C35-4-Z	0.071886	0.070451	0.07079	0.07104	0.57754
C45-4-Z	0.058606	0.059503	0.060042	0.05938	0.48276
C55-4-Z	0.054079	0.054239	0.054119	0.05415	0.44018
C65-4-Z	0.052344	0.052444	0.053082	0.05262	0.42780

(資料來源：本研究自行整理)

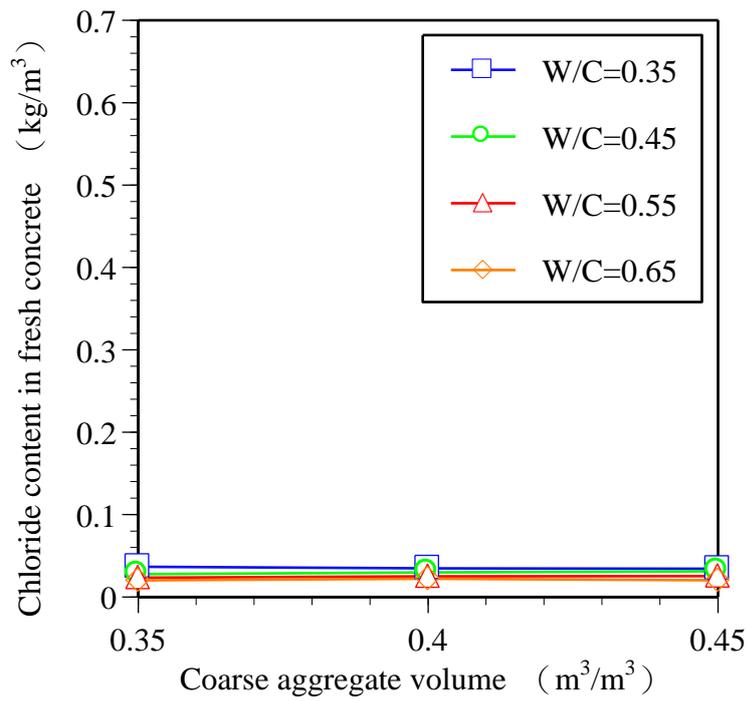


圖 5-19 粗骨材用量與新拌混凝土氯離子含量關係圖 (氯離子添加量 $0 kg/m^3$)

(資料來源：本研究自行整理)

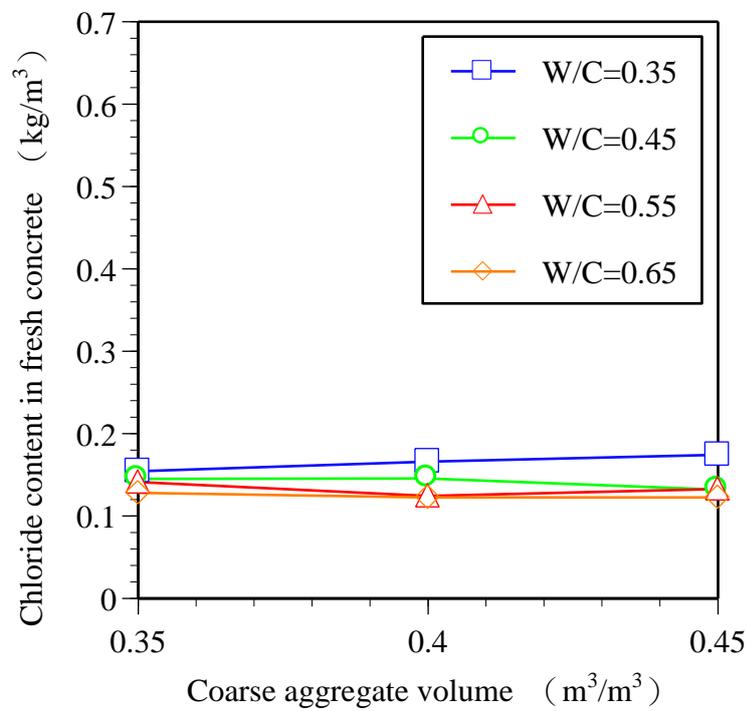


圖 5-20 粗骨材用量與新拌混凝土氯離子含量關係圖 (氯離子添加量 $0 kg/m^3$)

(資料來源：本研究自行整理)

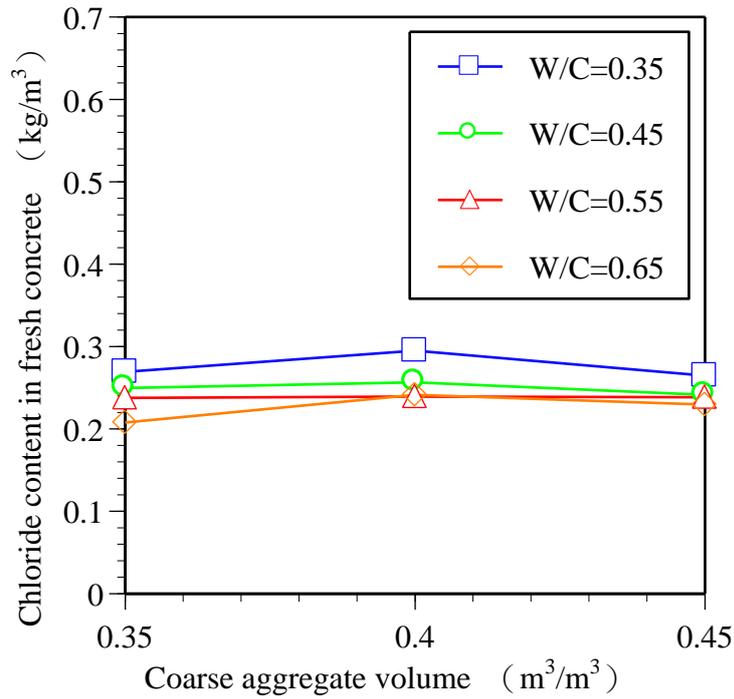


圖 5-21 粗骨材用量與新拌混凝土氯離子含量關係圖(氯離子添加量 0.2 kg/m^3)

(資料來源：本研究自行整理)

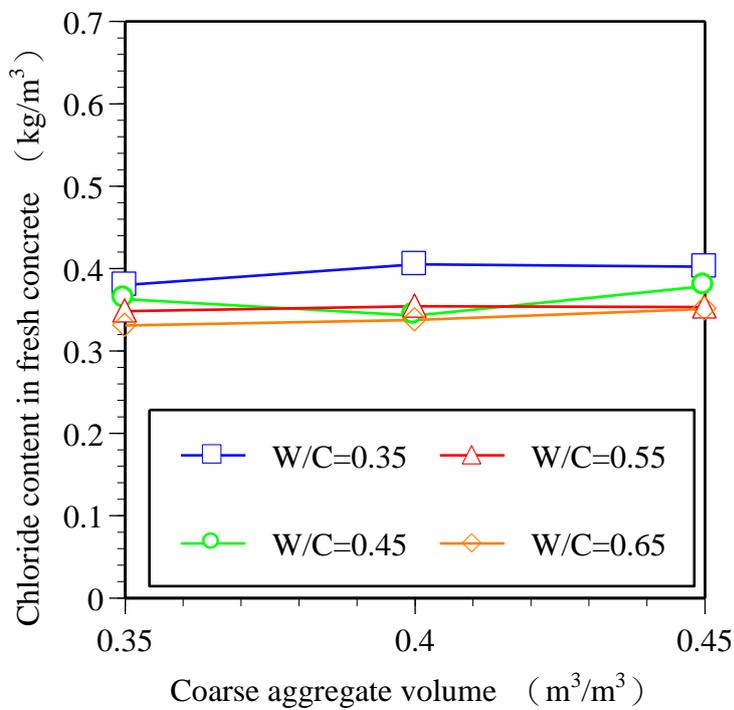


圖 5-22 粗骨材用量與新拌混凝土氯離子含量關係圖 (氯離子添加量 0.3 kg/m^3)

(資料來源：本研究自行整理)

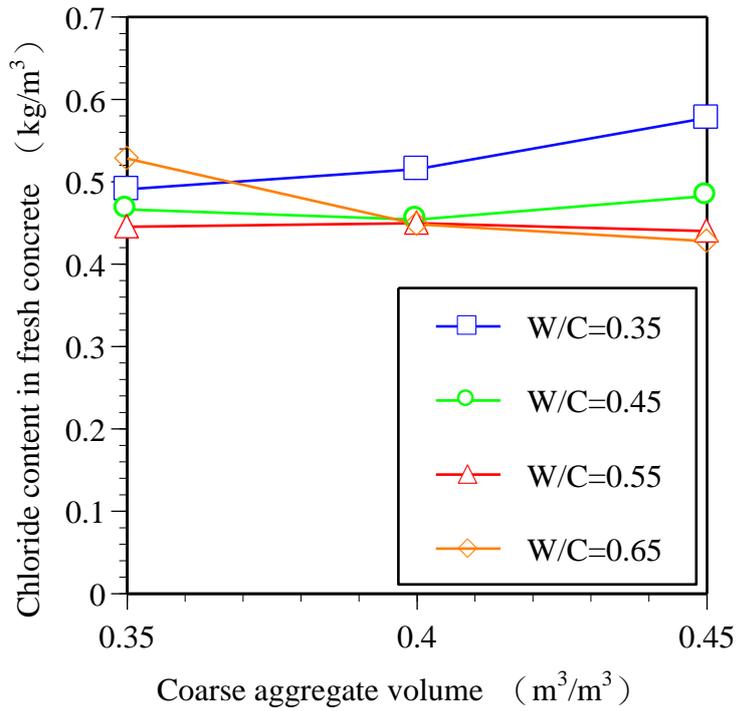


圖 5-23 粗骨材用量與新拌混凝土氯離子含量關係圖 (氯離子添加量 $0.4\text{kg}/\text{m}^3$)
(資料來源：本研究自行整理)

表 5-16 係為各配比新拌混凝土氯離子含量減去未添加控制組配比後的情形。由表中可以發現扣除後，各配比新拌混凝土氯離子含量數字已接近配比設計預先添加的氯離子。圖 5-24 至圖 5-27 為扣除後各配比新拌混凝土氯離子含量關係圖。圖中亦將配比設計預先添加的氯離子含量以虛線表示，由圖中可以發現各配比以更接近設計值。由圖中亦可發現水灰比 0.35 的配比普遍會高於配比設計預先添加的氯離子含量。而除了水灰比 0.65 的部分，粗骨材用量 $0.35\text{ m}^3/\text{m}^3$ 的配比也會略高於配比設計預先添加的氯離子含量。而這兩種狀況配比的水泥用量較高，因此有可能是水泥內氯鹽的影響。

表 5-16 混凝土配比新拌氯離子含量扣除控制組結果

配比編號	混凝土含量 (kg/m ³)	配比編號	混凝土含量 (kg/m ³)	配比編號	混凝土含量 (kg/m ³)
C35-0-X	0.00000	C35-0-Y	0.00000	C35-0-Z	0.00000
C45-0-X	0.00000	C45-0-Y	0.00000	C45-0-Z	0.00000
C55-0-X	0.00000	C55-0-Y	0.00000	C55-0-Z	0.00000
C65-0-X	0.00000	C65-0-Y	0.00000	C65-0-Z	0.00000
C35-1-X	0.11766	C35-1-Y	0.13130	C35-1-Z	0.13996
C45-1-X	0.11759	C45-1-Y	0.11590	C45-1-Z	0.10085
C55-1-X	0.11769	C55-1-Y	0.09924	C55-1-Z	0.10737
C65-1-X	0.10786	C65-1-Y	0.10055	C65-1-Z	0.10228
C35-2-X	0.23248	C35-2-Y	0.26020	C35-2-Z	0.23044
C45-2-X	0.22212	C45-2-Y	0.22677	C45-2-Z	0.21015
C55-2-X	0.21415	C55-2-Y	0.21413	C55-2-Z	0.21314
C65-2-X	0.18758	C65-2-Y	0.21930	C65-2-Z	0.20921
C35-3-X	0.34335	C35-3-Y	0.37041	C35-3-Z	0.36803
C45-3-X	0.33535	C45-3-Y	0.31315	C45-3-Z	0.34738
C55-3-X	0.32492	C55-3-Y	0.32927	C55-3-Z	0.32795
C65-3-X	0.31081	C65-3-Y	0.31552	C65-3-Z	0.33075
C35-4-X	0.45412	C35-4-Y	0.48051	C35-4-Z	0.54326
C45-4-X	0.43894	C45-4-Y	0.42444	C45-4-Z	0.45158
C55-4-X	0.42186	C55-4-Y	0.42460	C55-4-Z	0.41483
C65-4-X	0.50799	C65-4-Y	0.42629	C65-4-Z	0.40758

(資料來源：本研究自行整理)

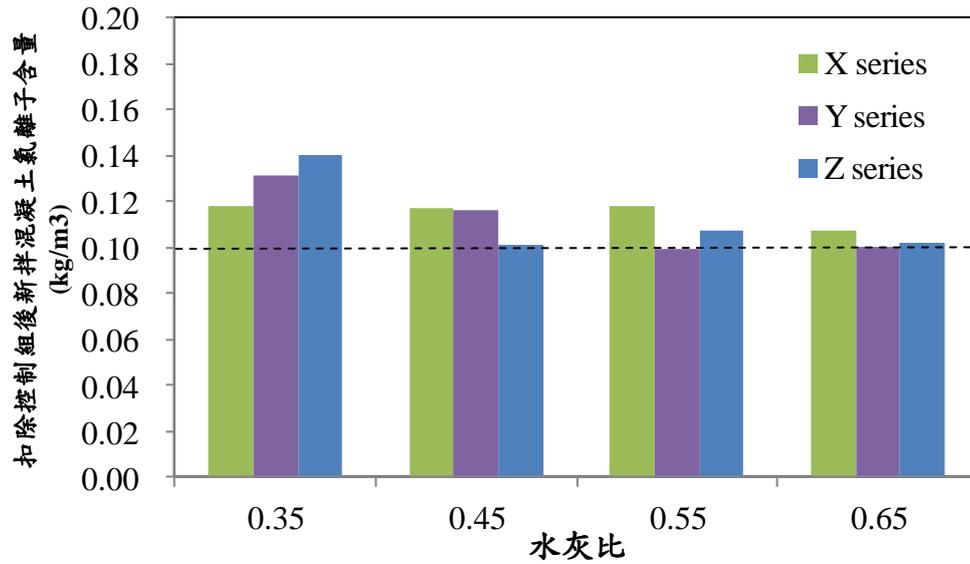


圖 5-24 扣除控制組後新拌混凝土氯離子含量關係圖 (氯離子添加量 0.1 kg/m^3)

(資料來源：本研究自行整理)

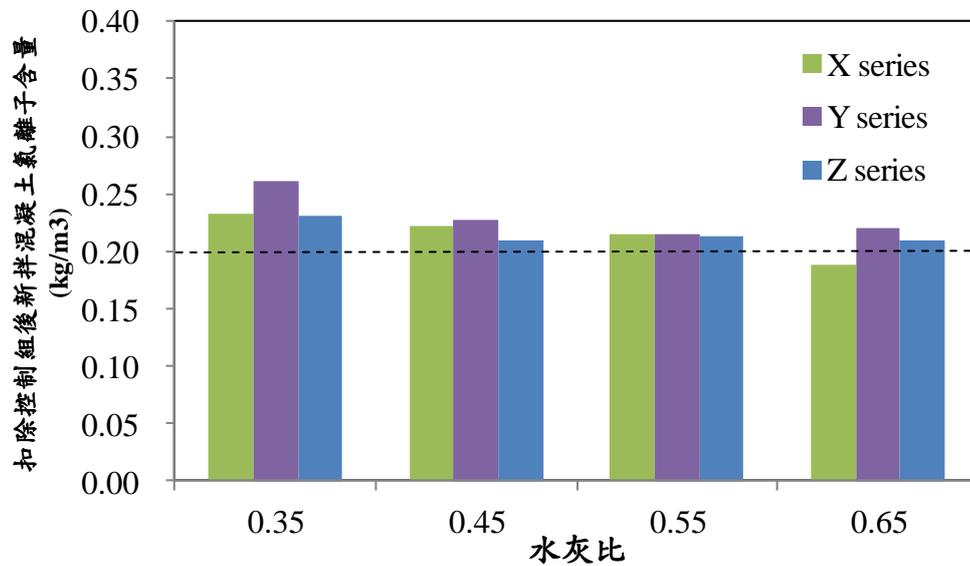


圖 5-25 扣除控制組後新拌混凝土氯離子含量關係圖 (氯離子添加量 0.2 kg/m^3)

(資料來源：本研究自行整理)

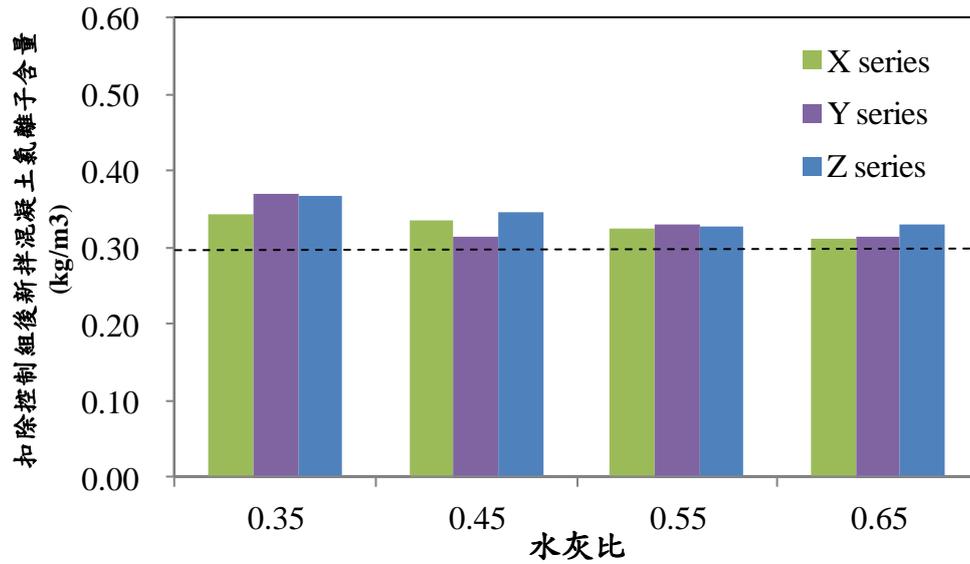


圖 5-26 扣除控制組後新拌混凝土氯離子含量關係圖 (氯離子添加量 0.3 kg/m^3)

(資料來源：本研究自行整理)

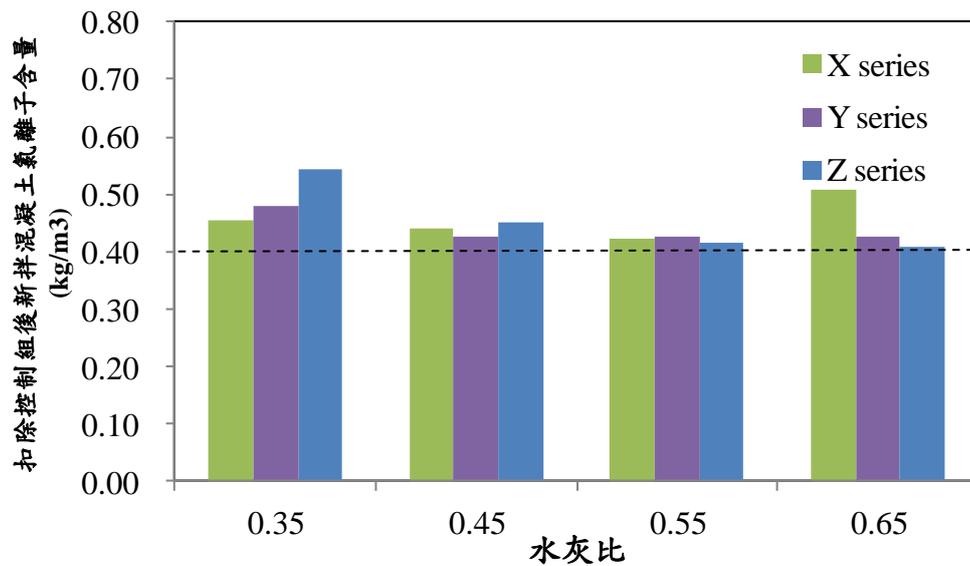


圖 5-27 扣除控制組後新拌混凝土氯離子含量關係圖 (氯離子添加量 0.4 kg/m^3)

(資料來源：本研究自行整理)

表 5-17 亦拌合相同水灰比變數設計的水泥漿體，並將其進行新拌氯離子含量試驗，亦將各配比扣除控制組水泥漿氯離子含量後的結果表示表 5-17 中，表

中「換算後水泥漿含量」所換算之水泥漿含量，代表每立方公尺水泥漿中之含量。

圖 5-28 則為扣除控制組後新拌水泥漿體氯離子含量關係圖，由圖中可以發現水泥砂漿的結果更貼近配比設計預先添加的氯離子。

表 5-17 水泥漿配比新拌氯離子含量試驗結果

配比 編號	試樣 1 (%)	試樣 2 (%)	試樣 3 (%)	氯離子含量 平均值 (%)	換算後 水泥漿含量 (kg/m ³)	扣除控制組 水泥漿含量 (kg/m ³)
P35-0	0.00311	0.00322	0.00311	0.00315	0.05850	0.0000
P45-0	0.00226	0.00213	0.00207	0.00215	0.04482	0.0000
P55-0	0.00182	0.00178	0.00180	0.00180	0.04052	0.0000
P65-0	0.00152	0.00149	0.00156	0.00153	0.03641	0.0000
P35-1	0.00833	0.00851	0.00854	0.00846	0.15713	0.0986
P45-1	0.00678	0.00674	0.00679	0.00677	0.14094	0.0961
P55-1	0.00639	0.00617	0.00624	0.00626	0.14100	0.1005
P65-1	0.00568	0.00569	0.00556	0.00564	0.13458	0.0982
P35-2	0.01444	0.01442	0.01454	0.01447	0.26864	0.2101
P45-2	0.01189	0.01184	0.01208	0.01194	0.24842	0.2036
P55-2	0.01160	0.01126	0.01111	0.01133	0.25488	0.2144
P65-2	0.01051	0.01098	0.01051	0.01067	0.25436	0.2180
P35-3	0.02039	0.02049	0.02084	0.02057	0.38202	0.3235
P45-3	0.01778	0.01704	0.01736	0.01739	0.36196	0.3171
P55-3	0.01539	0.01538	0.01540	0.01539	0.34630	0.3058
P65-3	0.01443	0.01453	0.01449	0.01448	0.34536	0.3090
P35-4	0.02510	0.02532	0.02502	0.02515	0.46689	0.4084
P45-4	0.02229	0.02247	0.02251	0.02242	0.46655	0.4217
P55-4	0.01966	0.01979	0.01977	0.01974	0.44422	0.4037
P65-4	0.01888	0.01873	0.01845	0.01869	0.44555	0.4091

(資料來源：本研究自行整理)

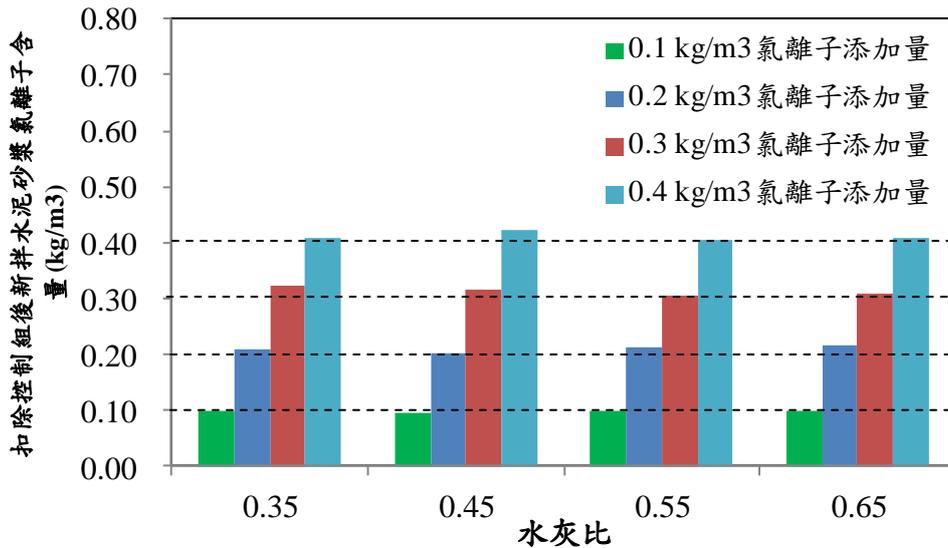


圖 5-28 扣除控制組後新拌水泥漿體氯離子含量關係圖

(資料來源：本研究自行整理)

第三節 混凝土硬固氯離子試驗結果

硬固混凝土氯離子含量分成探討游離氯離子的水溶法，以及代表總氯離子含量的酸溶法。水溶法試驗法以參考 CNS 14703 標準進行；酸溶法則參考 CNS 14702 標準。下述表 5-18 至 5-22 為水溶法氯離子試驗結果。表中「換算後混凝土含量」，代表每立方公尺混凝土中之含量。圖 5-29 至圖 5-33 分別為各配比混凝土游離氯離子含量關係圖。由圖可以發現當未添加氯離子時，仍可發現游離氯離子的存在，其變化量由 0.112 kg/m^3 至 0.209 kg/m^3 。以水灰比較高的 0.55 與 0.65 有較多的游離氯離子。而以骨材含量而言， $0.45 \text{ m}^3/\text{m}^3$ 有較多的游離氯離子。而圖 5-30 至圖 5-32 也有隨著骨材含量增加，游離氯離子增加的趨勢。如圖 5-30 其變化量由 0.173 kg/m^3 至 0.263 kg/m^3 、圖 5-31 其變化量由 0.250 kg/m^3 至 0.310 kg/m^3 、圖 5-32 其變化量由 0.266 kg/m^3 至 0.452 kg/m^3 。就水灰比而言，除了部分配比外，也跟圖 5-29 有相同的趨勢。圖 5-33 的氯離子添加量 0.4 kg/m^3 雖也有上述各添加量的趨勢，但其試驗結果有變化大的現象，如水灰比 0.35、0.55、與 0.65，骨材量 $0.45 \text{ m}^3/\text{m}^3$ 的配比游離氯離子有下降趨勢。

表 5-18 混凝土配比水溶法氯離子含量試驗結果 (氯離子添加量 0 kg/m³)

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)
C35-0-X	0.00476	0.00438	0.00507	0.00474	0.11197
C45-0-X	0.00518	0.00577	0.00553	0.00549	0.12856
C55-0-X	0.00588	0.00612	0.00623	0.00608	0.14147
C65-0-X	0.00658	0.00689	0.00661	0.00669	0.15510
C35-0-Y	0.00469	0.00455	0.00399	0.00474	0.10432
C45-0-Y	0.00767	0.00728	0.00601	0.00549	0.16368
C55-0-Y	0.00551	0.00628	0.00533	0.00608	0.13294
C65-0-Y	0.00895	0.00849	0.00874	0.00669	0.20245
C35-0-Z	0.00851	0.00943	0.00844	0.00474	0.20816
C45-0-Z	0.00776	0.00956	0.00935	0.00549	0.20856
C55-0-Z	0.00819	0.00840	0.00879	0.00608	0.19732
C65-0-Z	0.00736	0.00806	0.00810	0.00669	0.18210

(資料來源：本研究自行整理)

表 5-19 混凝土配比水溶法氯離子含量試驗結果 (氯離子添加量 0.1 kg/m³)

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)
C35-1-X	0.00713	0.00730	0.00751	0.00731	0.17277
C45-1-X	0.00747	0.00778	0.00726	0.00750	0.17558
C55-1-X	0.00921	0.00956	0.00911	0.00929	0.21626
C65-1-X	0.00927	0.00989	0.01062	0.00992	0.23005
C35-1-Y	0.00904	0.00880	0.00933	0.00906	0.21416
C45-1-Y	0.00907	0.00977	0.00928	0.00937	0.21965
C55-1-Y	0.00969	0.01068	0.01079	0.01039	0.24203
C65-1-Y	0.00982	0.01042	0.01003	0.01009	0.23412
C35-1-Z	0.01015	0.01008	0.01058	0.01027	0.24309
C45-1-Z	0.00916	0.01019	0.00976	0.00971	0.22770
C55-1-Z	0.00990	0.01081	0.01071	0.01047	0.24427
C65-1-Z	0.01153	0.01093	0.01146	0.01130	0.26262

(資料來源：本研究自行整理)

表 5-20 混凝土配比水溶法氯離子含量試驗結果 (氯離子添加量 0.2 kg/m^3)

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)
C35-2-X	0.01178	0.01196	0.01237	0.01204	0.28434
C45-2-X	0.01051	0.01061	0.01092	0.01068	0.25006
C55-2-X	0.01171	0.01115	0.01143	0.01143	0.26598
C65-2-X	0.01194	0.01243	0.01201	0.01213	0.28115
C35-2-Y	0.00950	0.01031	0.01045	0.01009	0.23857
C45-2-Y	0.01126	0.01161	0.01193	0.01160	0.27183
C55-2-Y	0.01119	0.01200	0.01190	0.01170	0.27254
C65-2-Y	0.01147	0.01235	0.01232	0.01205	0.27959
C35-2-Z	0.01295	0.01348	0.01337	0.01326	0.31399
C45-2-Z	0.01140	0.01249	0.01221	0.01203	0.28227
C55-2-Z	0.01232	0.01292	0.01292	0.01272	0.29667
C65-2-Z	0.01338	0.01408	0.01341	0.01362	0.31647

(資料來源：本研究自行整理)

表 5-21 混凝土配比水溶法氯離子含量試驗結果 (氯離子添加量 0.3 kg/m^3)

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)
C35-3-X	0.01120	0.01151	0.01102	0.01124	0.26559
C45-3-X	0.01340	0.01364	0.01295	0.01333	0.31196
C55-3-X	0.01455	0.01420	0.01448	0.01441	0.33533
C65-3-X	0.01387	0.01453	0.01415	0.01418	0.32881
C35-3-Y	0.01535	0.01493	0.01500	0.01509	0.35686
C45-3-Y	0.01486	0.01560	0.01412	0.01486	0.34824
C55-3-Y	0.01494	0.01586	0.01586	0.01555	0.36228
C65-3-Y	0.01684	0.01769	0.01646	0.01700	0.39443
C35-3-Z	0.01400	0.01411	0.01393	0.01401	0.33168
C45-3-Z	0.01411	0.01556	0.01521	0.01496	0.35090
C55-3-Z	0.01570	0.01627	0.01616	0.01604	0.37419
C65-3-Z	0.01943	0.01964	0.01932	0.01946	0.45216

(資料來源：本研究自行整理)

表 5-22 混凝土配比水溶法氯離子含量試驗結果 (氯離子添加量 0.4 kg/m^3)

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)
C35-4-X	0.01398	0.01447	0.01412	0.01419	0.33523
C45-4-X	0.01523	0.01537	0.01568	0.01542	0.36107
C55-4-X	0.01673	0.01676	0.01662	0.01670	0.38871
C65-4-X	0.01853	0.01881	0.01926	0.01886	0.43724
C35-4-Y	0.01679	0.01669	0.01725	0.01691	0.39991
C45-4-Y	0.01744	0.01804	0.01822	0.01790	0.41942
C55-4-Y	0.01670	0.01840	0.01812	0.01774	0.41335
C65-4-Y	0.01919	0.01972	0.02025	0.01972	0.45765
C35-4-Z	0.01692	0.01717	0.01738	0.01715	0.40606
C45-4-Z	0.02141	0.02091	0.02066	0.02099	0.49250
C55-4-Z	0.01621	0.01677	0.01712	0.01670	0.38953
C65-4-Z	0.01614	0.01727	0.01798	0.01713	0.39787

(資料來源：本研究自行整理)

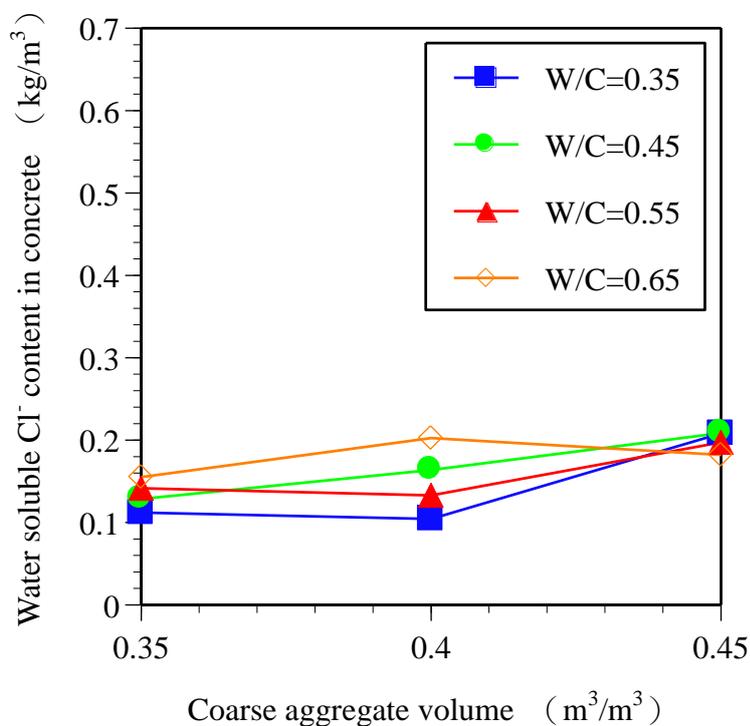


圖 5-29 粗骨材用量與混凝土游離氯離子含量關係圖 (氯離子添加量 0 kg/m^3)

(資料來源：本研究自行整理)

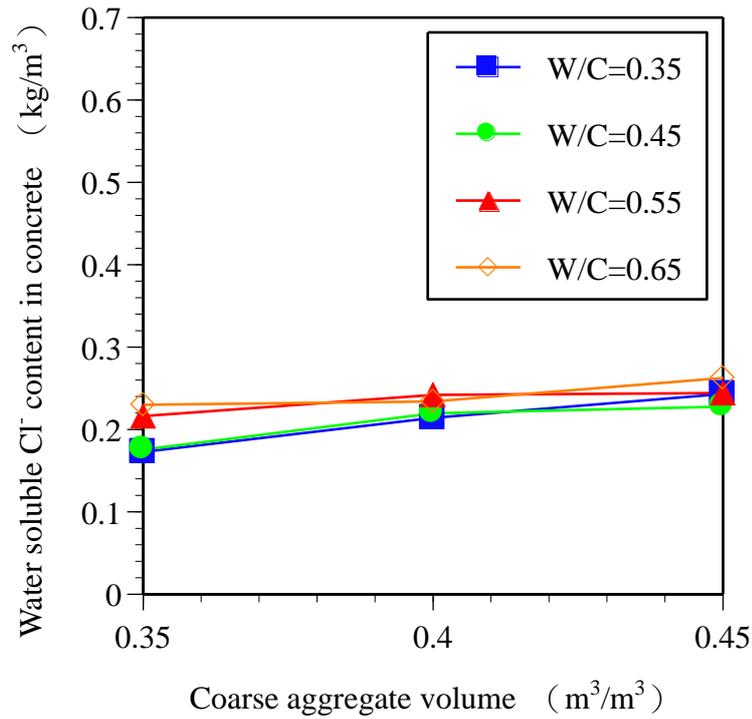


圖 5-30 粗骨材用量與混凝土游離氯離子含量關係圖(氯離子添加量 0.1 kg/m³)

(資料來源：本研究自行整理)

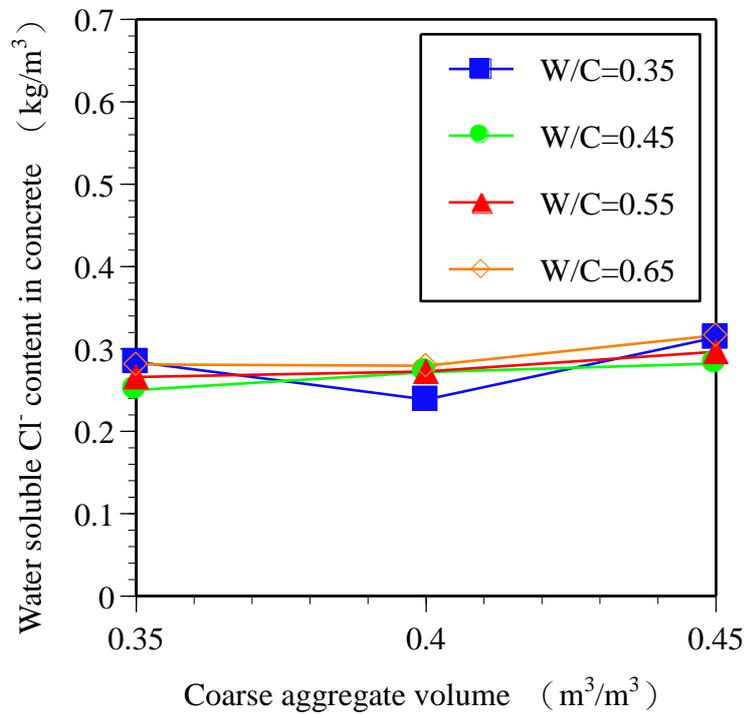


圖 5-31 粗骨材用量與混凝土游離氯離子含量關係圖(氯離子添加量 0.2 kg/m³)

(資料來源：本研究自行整理)

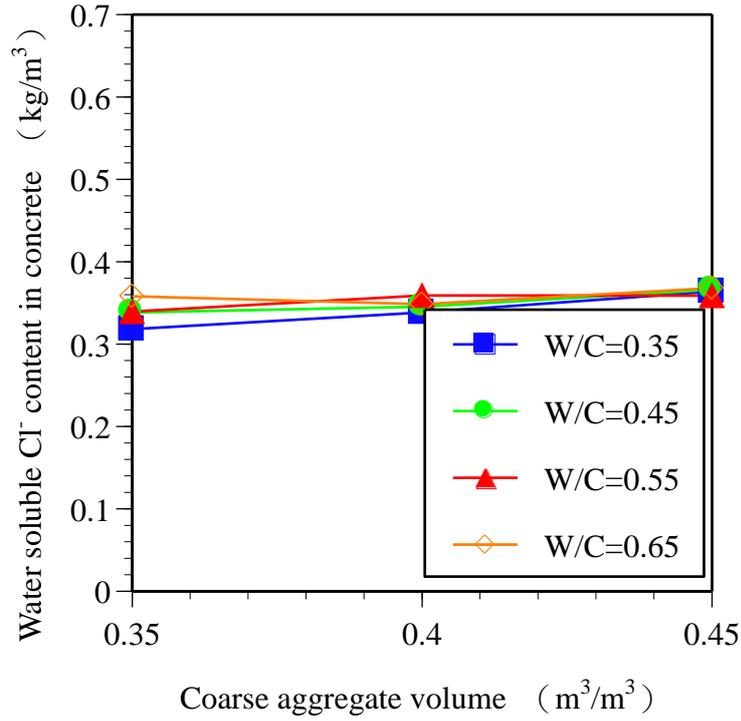


圖 5-32 粗骨材用量與混凝土游離氯離子含量關係圖(氯離子添加量 0.3 kg/m³)

(資料來源：本研究自行整理)

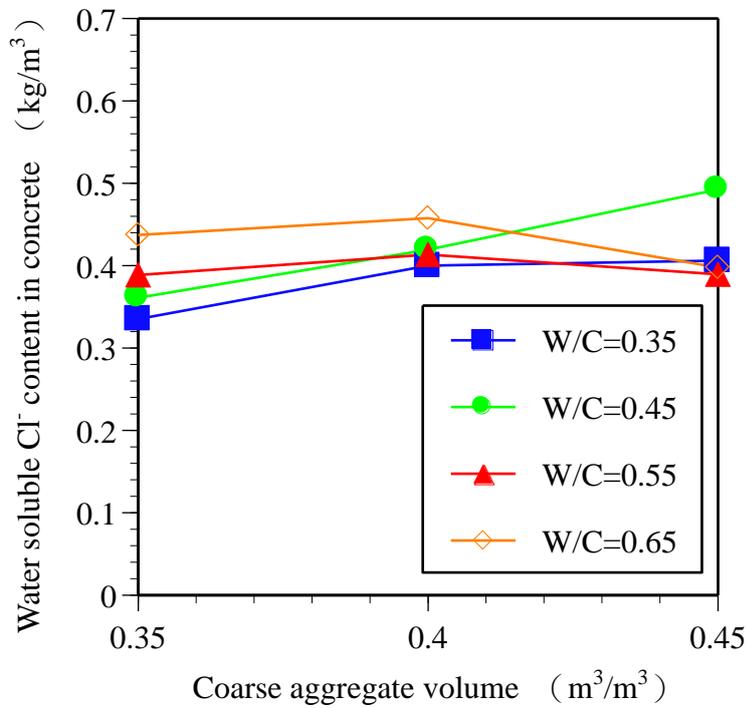


圖 5-32 粗骨材用量與混凝土游離氯離子含量關係圖(氯離子添加量 0.4 kg/m³)

(資料來源：本研究自行整理)

各配比扣除控制組氯離子含量後的結果表示如表 5-23。由表中可以發現扣除後，除了 C35-1-Y 與 C55-1-Y 兩組配比外，各配比混凝土游離氯離子含量數字已低於配比設計預先添加的氯離子。圖 5-33 至圖 5-36 為扣除後各配比硬固混凝土氯離子含量關係圖。圖中亦將配比設計預先添加的氯離子含量以虛線表示，由圖中可以發現大部分配比低於設計值。

表 5-23 各混凝土配比游離氯離子含量扣除控制組結果

配比編號	混凝土含量 (kg/m ³)	配比編號	混凝土含量 (kg/m ³)	配比編號	混凝土含量 (kg/m ³)
C35-0-X	0.00000	C35-0-Y	0.00000	C35-0-Z	0.00000
C45-0-X	0.00000	C45-0-Y	0.00000	C45-0-Z	0.00000
C55-0-X	0.00000	C55-0-Y	0.00000	C55-0-Z	0.00000
C65-0-X	0.00000	C65-0-Y	0.00000	C65-0-Z	0.00000
C35-1-X	0.06080	C35-1-Y	0.10984	C35-1-Z	0.03493
C45-1-X	0.04702	C45-1-Y	0.05596	C45-1-Z	0.01914
C55-1-X	0.07478	C55-1-Y	0.10908	C55-1-Z	0.04696
C65-1-X	0.07495	C65-1-Y	0.03167	C65-1-Z	0.08052
C35-2-X	0.17237	C35-2-Y	0.13426	C35-2-Z	0.10583
C45-2-X	0.12149	C45-2-Y	0.10815	C45-2-Z	0.07371
C55-2-X	0.12451	C55-2-Y	0.13960	C55-2-Z	0.09935
C65-2-X	0.12605	C65-2-Y	0.07714	C65-2-Z	0.13438
C35-3-X	0.15362	C35-3-Y	0.25254	C35-3-Z	0.12352
C45-3-X	0.18339	C45-3-Y	0.18456	C45-3-Z	0.14234
C55-3-X	0.19386	C55-3-Y	0.22933	C55-3-Z	0.17688
C65-3-X	0.17371	C65-3-Y	0.19198	C65-3-Z	0.27006
C35-4-X	0.22326	C35-4-Y	0.29559	C35-4-Z	0.19790
C45-4-X	0.23251	C45-4-Y	0.25573	C45-4-Z	0.28395
C55-4-X	0.24723	C55-4-Y	0.28041	C55-4-Z	0.19221
C65-4-X	0.28214	C65-4-Y	0.25520	C65-4-Z	0.21578

(資料來源：本研究自行整理)

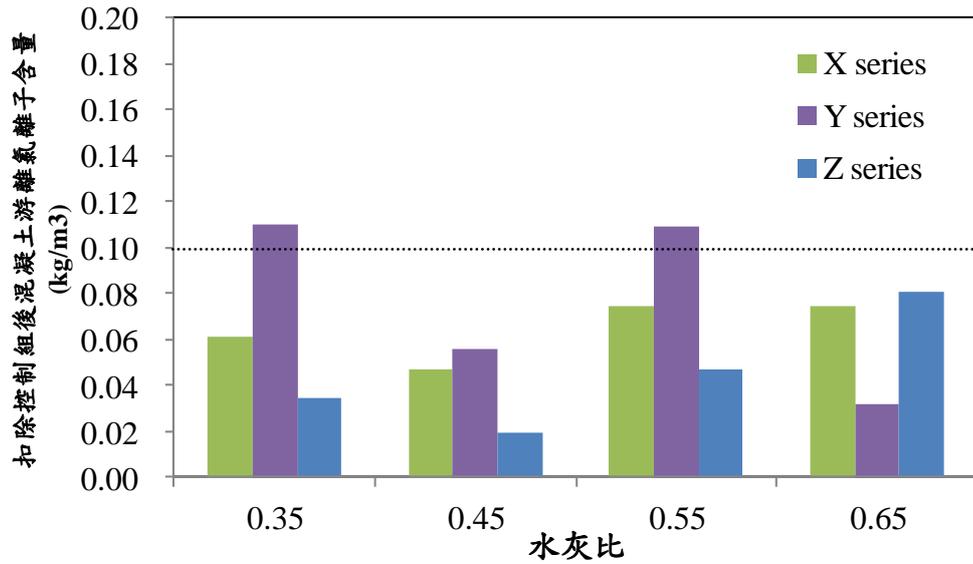


圖 5-33 扣除控制組後混凝土游離氯離子含量關係圖 (氯離子添加量 0.1 kg/m^3)

(資料來源：本研究自行整理)

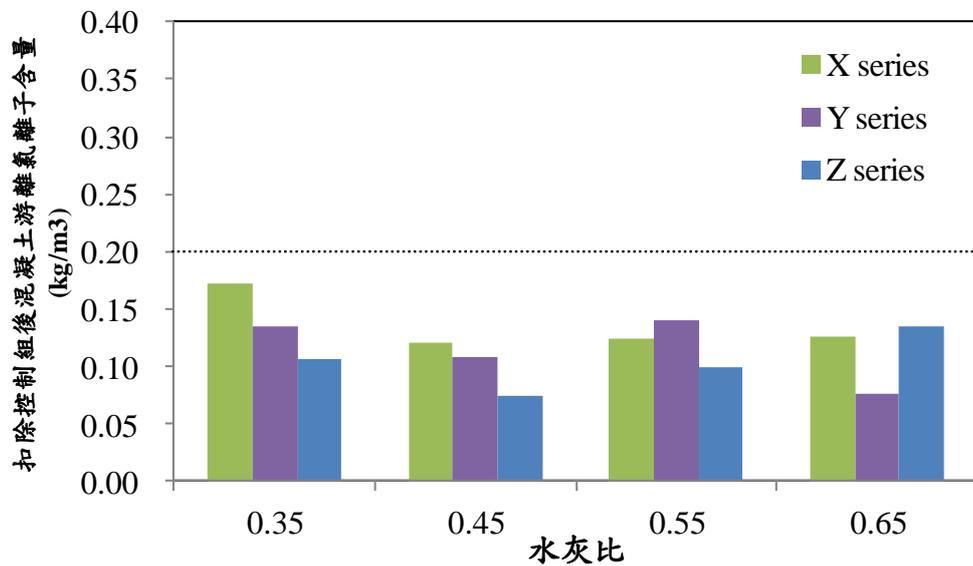


圖 5-34 扣除控制組後混凝土游離氯離子含量關係圖 (氯離子添加量 0.2 kg/m^3)

(資料來源：本研究自行整理)

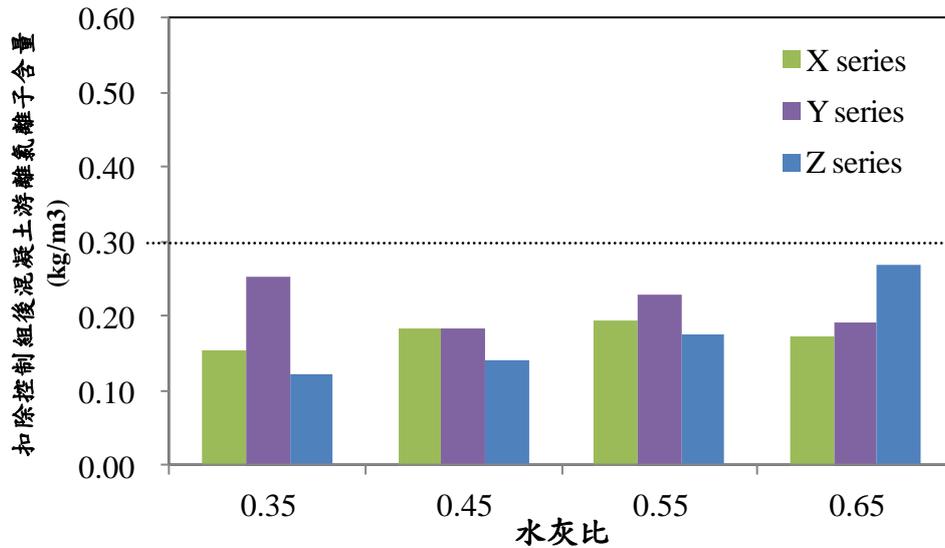


圖 5-35 扣除控制組後混凝土游離氯離子含量關係圖 (氯離子添加量 0.3 kg/m^3)
(資料來源：本研究自行整理)

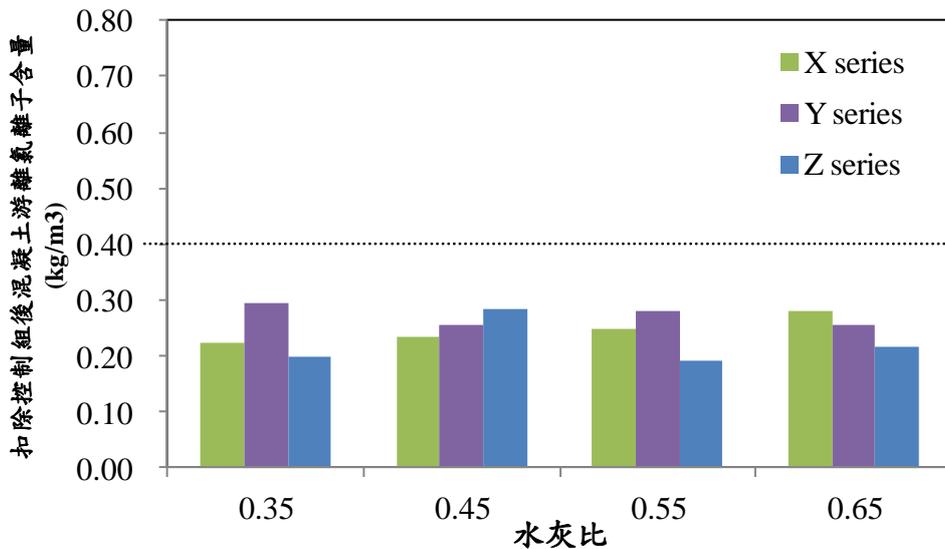


圖 5-36 扣除控制組後混凝土游離氯離子含量關係圖 (氯離子添加量 0.4 kg/m^3)
(資料來源：本研究自行整理)

下述表 5-24 至 5-28 為酸溶法氯離子試驗結果。表中「換算後混凝土含量」，代表每立方公尺混凝土中之含量。圖 5-37 至圖 5-41 分別為不同氯離子添加量下，粗骨材用量與混凝土總氯離子含量關係圖。由圖 5-37 中可以發現當混凝土未添

本土性硬固混凝土氯離子含量標準與檢測方法之研究

加氯離子時，與游離氯離子相同，仍可發現總氯離子的存在，其變化量由 0.196 kg/m³ 至 0.246 kg/m³。圖 5-38 至圖 5-41 卻發現與游離氯離子不同的趨勢。其不同骨材用量於相同氯離子添加量，所反應的總氯離子並不明顯，而且差異並不大，如添加 0.1 kg/m³ 的 0.262 至 0.292 kg/m³；添加 0.2 kg/m³ 的 0.322 至 0.409 kg/m³；添加 0.3 kg/m³ 的 0.395 至 0.459 kg/m³；添加 0.4 kg/m³ 的 0.484 至 0.601 kg/m³。因此以氯離子添加量而言，添加 0.4 kg/m³ 的配比差異最大，為 0.117 kg/m³。表 5-29 為各配比扣除控制組氯離子含量後的結果。由表中可以發現扣除後，除了 C35-2-Z 配比外，各配比混凝土總氯離子含量已低於配比設計預先添加的氯離子。圖 5-42 至圖 5-46 為扣除後各配比新拌混凝土氯離子含量關係圖。圖中亦將配比設計預先添加的氯離子含量以虛線表示，由圖中可以發現大部分配比低於設計值。

表 5-24 混凝土配比酸溶法氯離子含量試驗結果（氯離子添加量 0 kg/m³）

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)
C35-0-X	0.00910	0.00868	0.00934	0.00904	0.21359
C45-0-X	0.01032	0.01039	0.01077	0.01049	0.24565
C55-0-X	0.01051	0.01030	0.00999	0.01027	0.23895
C65-0-X	0.00877	0.00919	0.00902	0.00899	0.20850
C35-0-Y	0.00982	0.00917	0.00979	0.00959	0.22686
C45-0-Y	0.00952	0.01001	0.01029	0.00994	0.23291
C55-0-Y	0.00967	0.00967	0.00953	0.00962	0.22424
C65-0-Y	0.01035	0.01024	0.01073	0.01044	0.24225
C35-0-Z	0.00872	0.00785	0.00834	0.00830	0.19650
C45-0-Z	0.01005	0.01040	0.01005	0.01017	0.23856
C55-0-Z	0.00826	0.00865	0.00858	0.00850	0.19815
C65-0-Z	0.00986	0.01056	0.00993	0.01012	0.23501

(資料來源：本研究自行整理)

表 5-25 混凝土配比酸溶法氯離子含量試驗結果 (氯離子添加量 0.1 kg/m^3)

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)
C35-1-X	0.00960	0.00946	0.00963	0.00956	0.22585
C45-1-X	0.01214	0.01197	0.01176	0.01196	0.27986
C55-1-X	0.01076	0.01087	0.01048	0.01070	0.24912
C65-1-X	0.01099	0.01116	0.01123	0.01113	0.25791
C35-1-Y	0.01059	0.01073	0.01083	0.01072	0.25344
C45-1-Y	0.01181	0.01136	0.01143	0.01154	0.27032
C55-1-Y	0.01226	0.01174	0.01188	0.01196	0.27873
C65-1-Y	0.01209	0.01185	0.01213	0.01202	0.27899
C35-1-Z	0.01103	0.01100	0.01152	0.01118	0.26473
C45-1-Z	0.01230	0.01254	0.01244	0.01243	0.29157
C55-1-Z	0.01008	0.01077	0.01011	0.01032	0.24069
C65-1-Z	0.01175	0.01117	0.01124	0.01139	0.26449

(資料來源：本研究自行整理)

表 5-26 混凝土配比酸溶法氯離子含量試驗結果 (氯離子添加量 0.2 kg/m^3)

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)
C35-2-X	0.01484	0.01487	0.01522	0.01498	0.35382
C45-2-X	0.01752	0.01738	0.01717	0.01736	0.40636
C55-2-X	0.01628	0.01711	0.01666	0.01668	0.38827
C65-2-X	0.01378	0.01445	0.01350	0.01391	0.32249
C35-2-Y	0.01507	0.01476	0.01459	0.01481	0.35018
C45-2-Y	0.01564	0.01571	0.01546	0.01560	0.36562
C55-2-Y	0.01739	0.01784	0.01749	0.01758	0.40949
C65-2-Y	0.01545	0.01594	0.01563	0.01567	0.36369
C35-2-Z	0.01775	0.01689	0.01661	0.01708	0.40442
C45-2-Z	0.01420	0.01479	0.01479	0.01459	0.34224
C55-2-Z	0.01592	0.01595	0.01668	0.01618	0.37743
C65-2-Z	0.01628	0.01659	0.01639	0.01642	0.38146

(資料來源：本研究自行整理)

表 5-27 混凝土配比酸溶法氯離子含量試驗結果 (氯離子添加量 0.3 kg/m^3)

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)
C35-3-X	0.01935	0.01854	0.01851	0.01880	0.44408
C45-3-X	0.01831	0.01880	0.01887	0.01866	0.43676
C55-3-X	0.01806	0.01869	0.01879	0.01851	0.43091
C65-3-X	0.01864	0.01878	0.01882	0.01875	0.43453
C35-3-Y	0.01733	0.01781	0.01778	0.01764	0.41710
C45-3-Y	0.01882	0.01909	0.01899	0.01897	0.44443
C55-3-Y	0.01697	0.01669	0.01724	0.01697	0.39531
C65-3-Y	0.02023	0.01954	0.01961	0.01979	0.45923
C35-3-Z	0.01956	0.01911	0.01949	0.01939	0.45895
C45-3-Z	0.01918	0.01876	0.01966	0.01920	0.45041
C55-3-Z	0.01860	0.01857	0.01788	0.01835	0.42796
C65-3-Z	0.01923	0.02037	0.01906	0.01955	0.45418

(資料來源：本研究自行整理)

表 5-28 混凝土配比酸溶法氯離子含量試驗結果 (氯離子添加量 0.4 kg/m^3)

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)
C35-4-X	0.02221	0.02290	0.02242	0.02251	0.53168
C45-4-X	0.02122	0.02178	0.02153	0.02151	0.50352
C55-4-X	0.02550	0.02589	0.02606	0.02582	0.60082
C65-4-X	0.02572	0.02600	0.02610	0.02594	0.60129
C35-4-Y	0.02359	0.02303	0.02300	0.02320	0.54868
C45-4-Y	0.02062	0.02121	0.02007	0.02064	0.48355
C55-4-Y	0.02125	0.02146	0.02195	0.02155	0.50216
C65-4-Y	0.02192	0.02265	0.02223	0.02227	0.51665
C35-4-Z	0.02221	0.02290	0.02242	0.02251	0.53168
C45-4-Z	0.02122	0.02178	0.02153	0.02151	0.50352
C55-4-Z	0.02550	0.02589	0.02606	0.02582	0.60082
C65-4-Z	0.02572	0.02600	0.02610	0.02594	0.60129

(資料來源：本研究自行整理)

表 5-29 各混凝土配比總氯離子含量扣除控制組結果

配比編號	混凝土含量 (kg/m ³)	配比編號	混凝土含量 (kg/m ³)	配比編號	混凝土含量 (kg/m ³)
C35-0-X	0.00000	C35-0-Y	0.00000	C35-0-Z	0.00000
C45-0-X	0.00000	C45-0-Y	0.00000	C45-0-Z	0.00000
C55-0-X	0.00000	C55-0-Y	0.00000	C55-0-Z	0.00000
C65-0-X	0.00000	C65-0-Y	0.00000	C65-0-Z	0.00000
C35-1-X	0.01226	C35-1-Y	0.02658	C35-1-Z	0.06824
C45-1-X	0.03421	C45-1-Y	0.03741	C45-1-Z	0.05301
C55-1-X	0.01017	C55-1-Y	0.05448	C55-1-Z	0.04254
C65-1-X	0.04941	C65-1-Y	0.03674	C65-1-Z	0.02948
C35-2-X	0.14024	C35-2-Y	0.12331	C35-2-Z	0.20793
C45-2-X	0.16072	C45-2-Y	0.13271	C45-2-Z	0.10368
C55-2-X	0.14932	C55-2-Y	0.18525	C55-2-Z	0.17928
C65-2-X	0.11399	C65-2-Y	0.12144	C65-2-Z	0.14644
C35-3-X	0.23049	C35-3-Y	0.19023	C35-3-Z	0.26245
C45-3-X	0.19111	C45-3-Y	0.21152	C45-3-Z	0.21185
C55-3-X	0.19196	C55-3-Y	0.17107	C55-3-Z	0.22981
C65-3-X	0.22603	C65-3-Y	0.21698	C65-3-Z	0.21917
C35-4-X	0.31810	C35-4-Y	0.32181	C35-4-Z	0.27099
C45-4-X	0.25787	C45-4-Y	0.25064	C45-4-Z	0.23086
C55-4-X	0.36187	C55-4-Y	0.27792	C55-4-Z	0.34734
C65-4-X	0.39279	C65-4-Y	0.27441	C65-4-Z	0.33734

(資料來源：本研究自行整理)

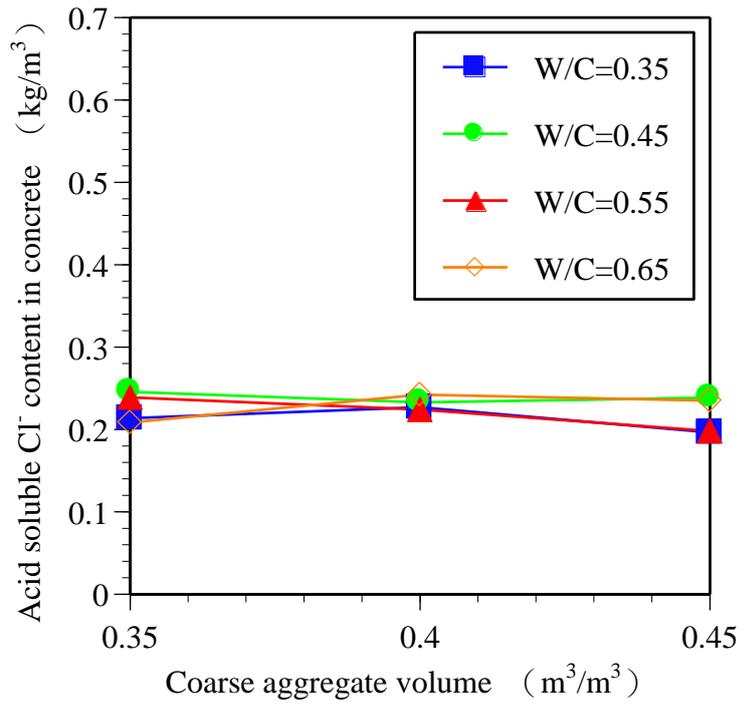


圖 5-37 粗骨材用量與混凝土總氯離子含量關係圖 (氯離子添加量 $0 \text{ kg}/\text{m}^3$)

(資料來源：本研究自行整理)

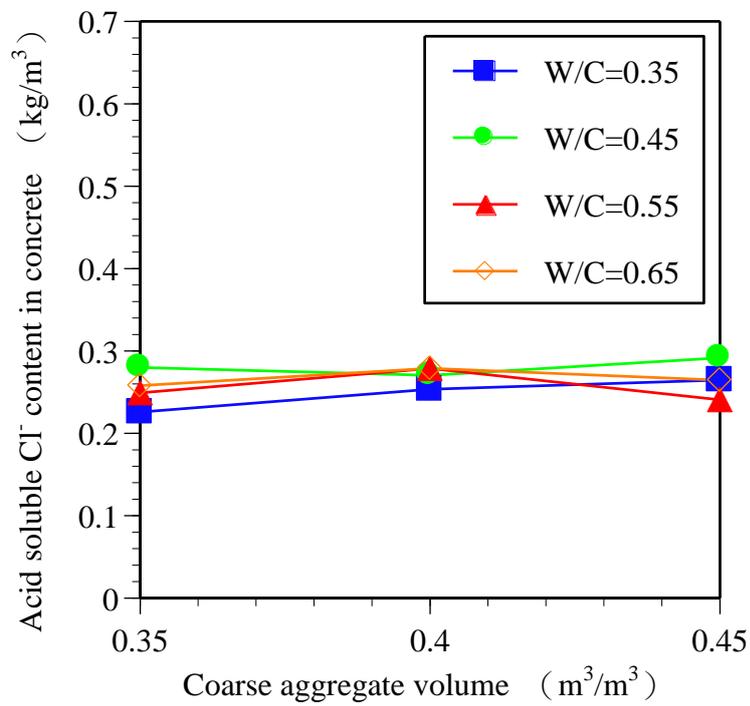


圖 5-38 粗骨材用量與混凝土總氯離子含量關係圖 (氯離子添加量 $0.1 \text{ kg}/\text{m}^3$)

(資料來源：本研究自行整理)

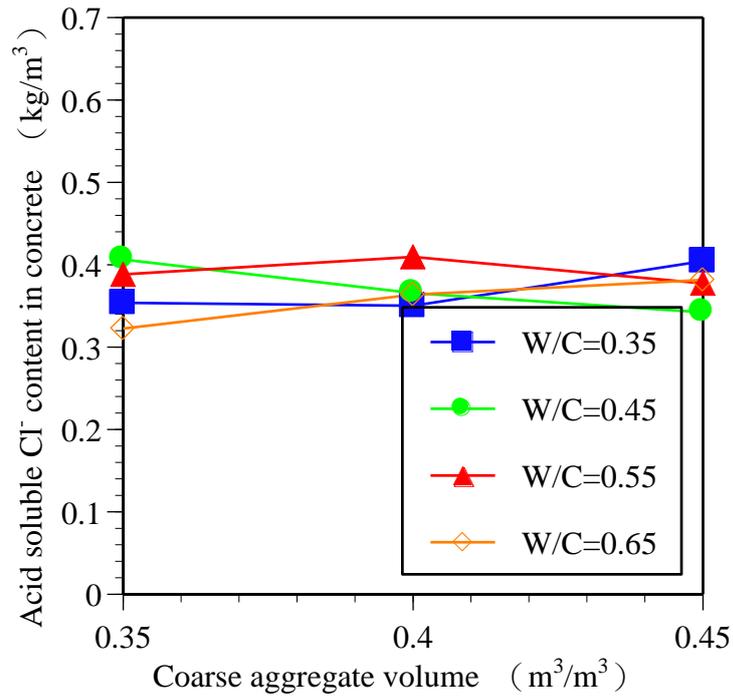


圖 5-39 粗骨材用量與混凝土總氯離子含量關係圖 (氯離子添加量 0.2 kg/m³)

(資料來源：本研究自行整理)

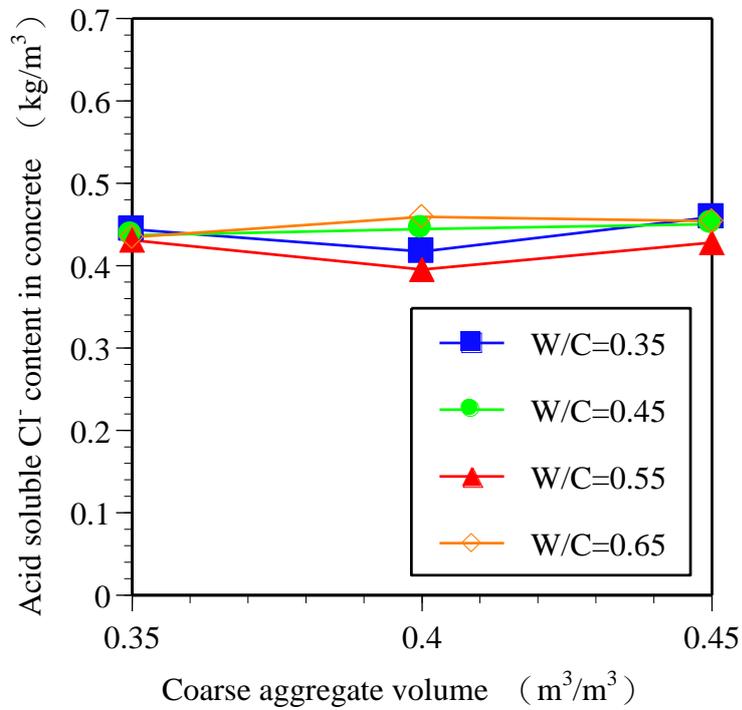


圖 5-40 粗骨材用量與混凝土總氯離子含量關係圖 (氯離子添加量 0.3 kg/m³)

(資料來源：本研究自行整理)

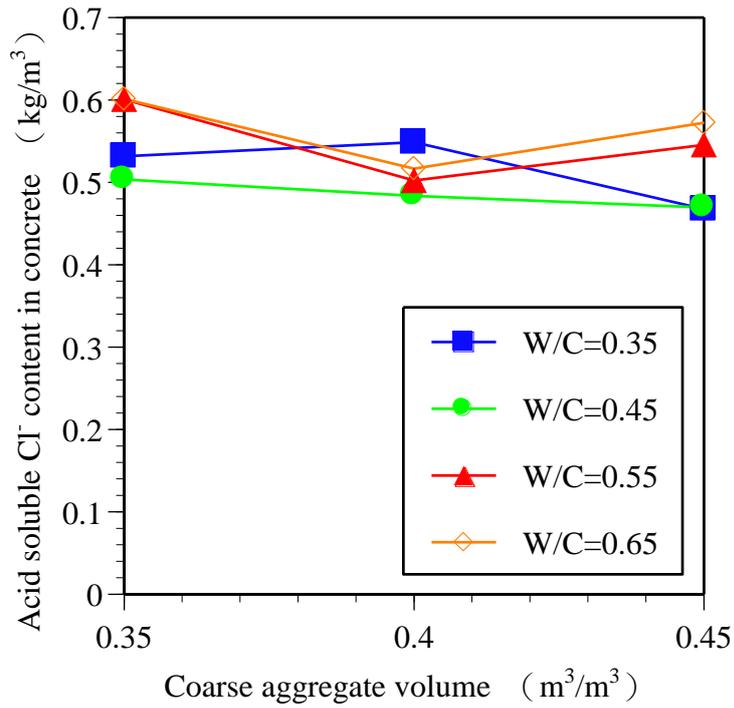


圖 5-41 粗骨材用量與混凝土總氯離子含量關係圖 (氯離子添加量 0.4 kg/m^3)

(資料來源：本研究自行整理)

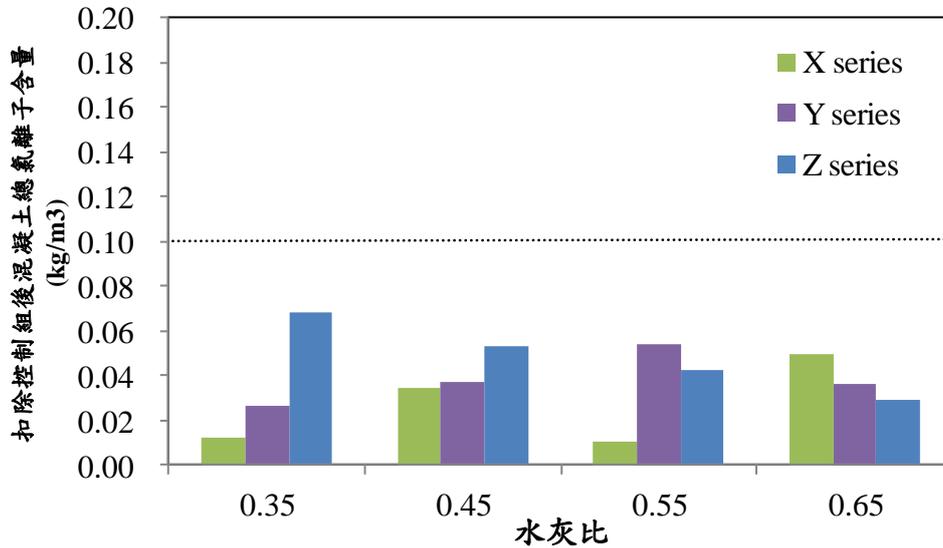


圖 5-42 扣除控制組後混凝土總氯離子含量關係圖 (氯離子添加量 0 kg/m^3)

(資料來源：本研究自行整理)

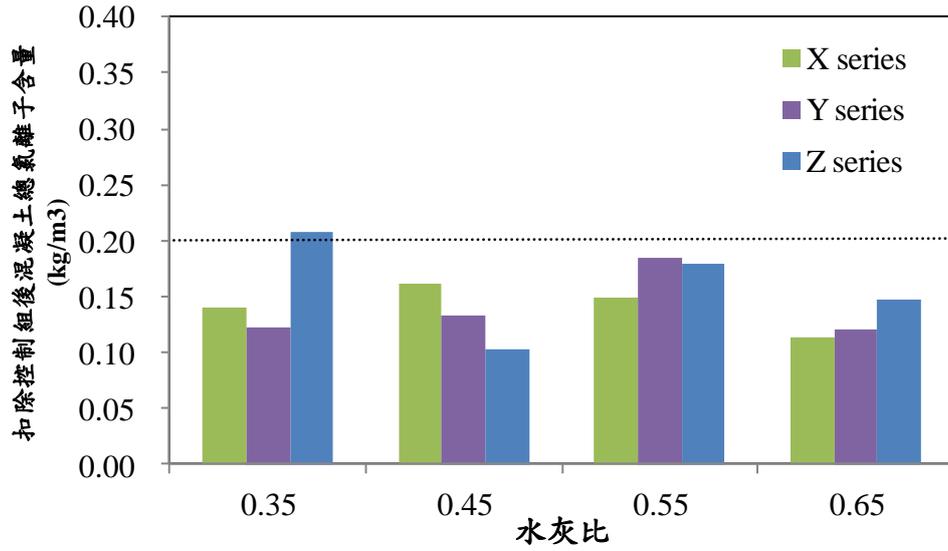


圖 5-43 扣除控制組後混凝土總氯離子含量關係圖 (氯離子添加量 0.1 kg/m^3)

(資料來源：本研究自行整理)

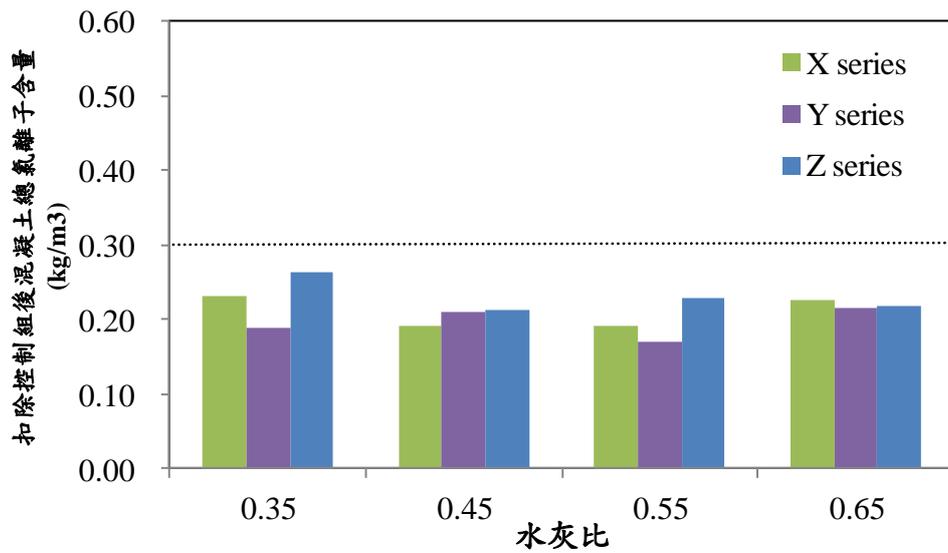


圖 5-44 扣除控制組後混凝土總氯離子含量關係圖 (氯離子添加量 0.2 kg/m^3)

(資料來源：本研究自行整理)

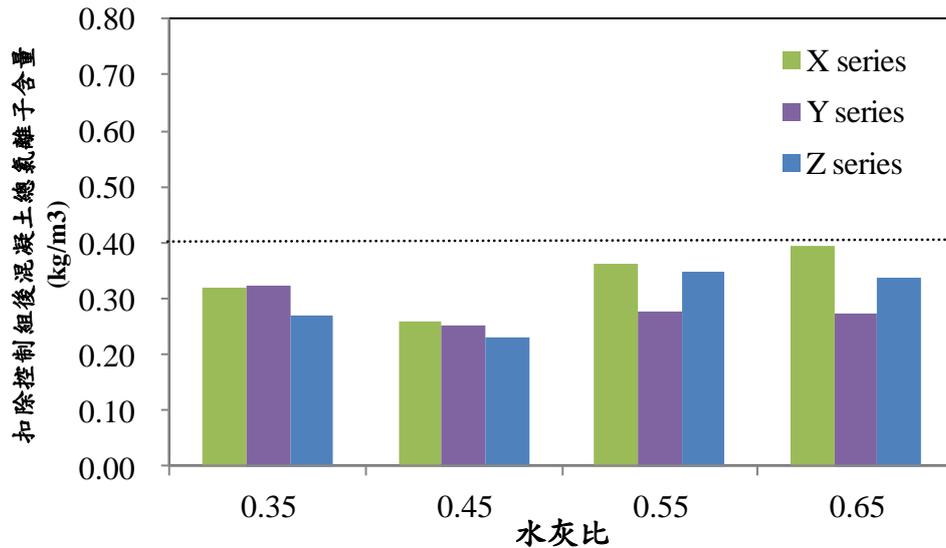


圖 5-45 扣除控制組後混凝土總氯離子含量關係圖 (氯離子添加量 0.3 kg/m^3)

(資料來源：本研究自行整理)

若比較水溶法與酸溶法氯離子含量關係圖，則如圖 4-46 至圖 4-50 所示。由圖中可以發現除了 C35-0-45、C55-0-45、C55-1-45、C65-1-45、C65-3-45、與 C45-4-45 這 6 組配比外，酸溶法所得之總氯離子均大於水溶法游離氯離子，均是骨材用量 $0.45 \text{ m}^3/\text{m}^3$ 。若扣除這六組配比，其餘配比水溶法約為酸溶法的 45.98% 至 91.83%，其平均值為 75.62%。圖中亦將拌合時所添加的氯離子濃度以虛線表示。由圖中可以發現除了 C35-3-35、C35-4-35、與 C35-4-40 配比外，其餘無論水溶法或酸溶法均高於所添加的氯離子濃度。

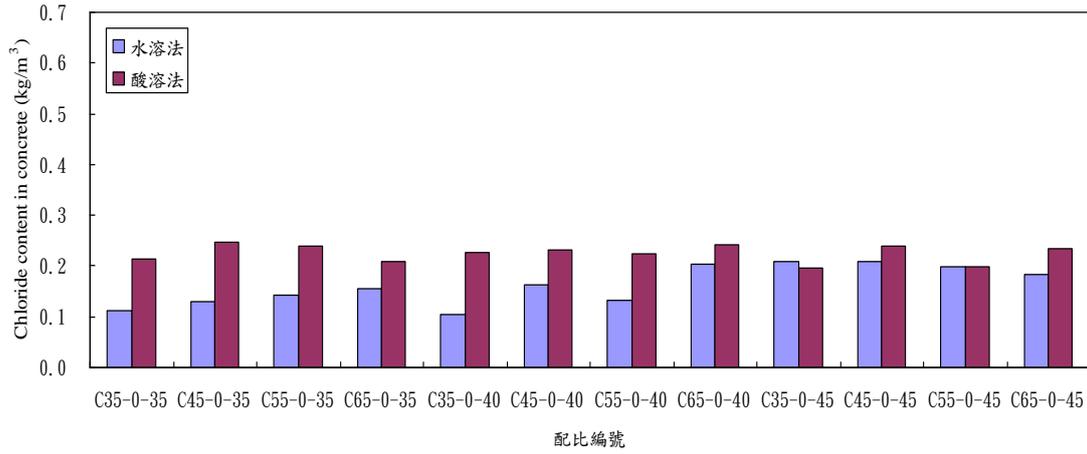


圖 5-46 各配比混凝土水溶法與酸溶法氯離子含量關係圖(氯離子添加量 0 kg/m³)

(資料來源：本研究自行整理)

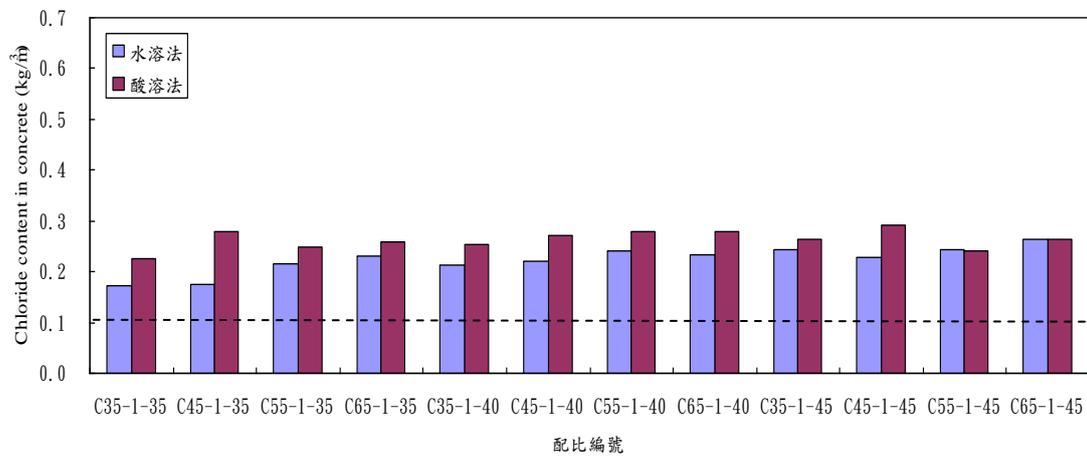


圖 5-47 各配比混凝土水溶法與酸溶法氯離子含量關係圖(氯離子添加量 0.1kg/m³)

(資料來源：本研究自行整理)

本土性硬固混凝土氯離子含量標準與檢測方法之研究

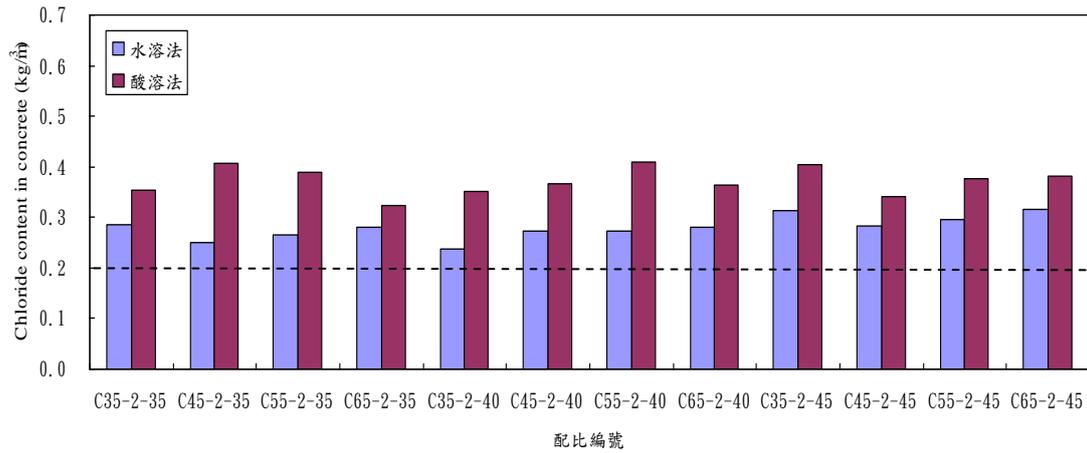


圖 5-48 各配比混凝土水溶法與酸溶法氯離子含量關係圖(氯離子添加量 0.2kg/m^3)
(資料來源：本研究自行整理)

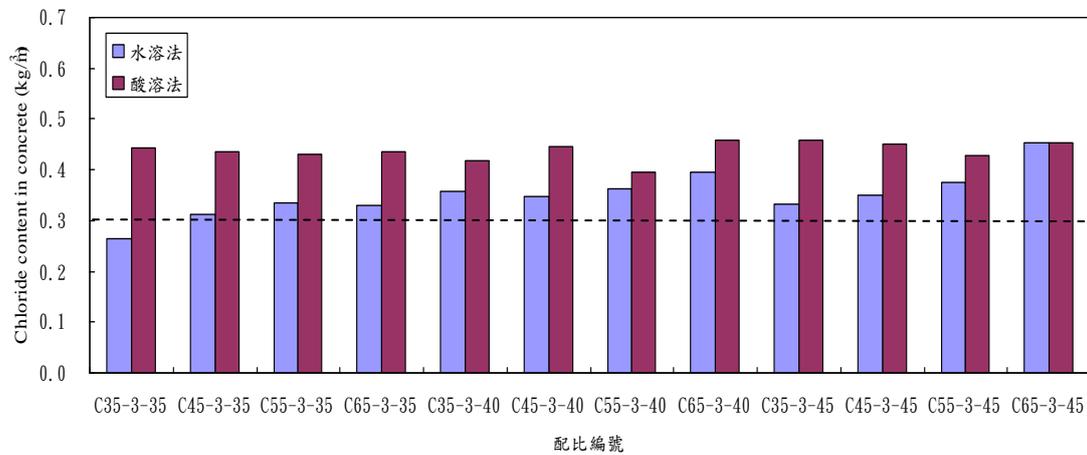


圖 5-49 各配比混凝土水溶法與酸溶法氯離子含量關係圖 (氯離子添加量 0.3kg/m^3)

(資料來源：本研究自行整理)

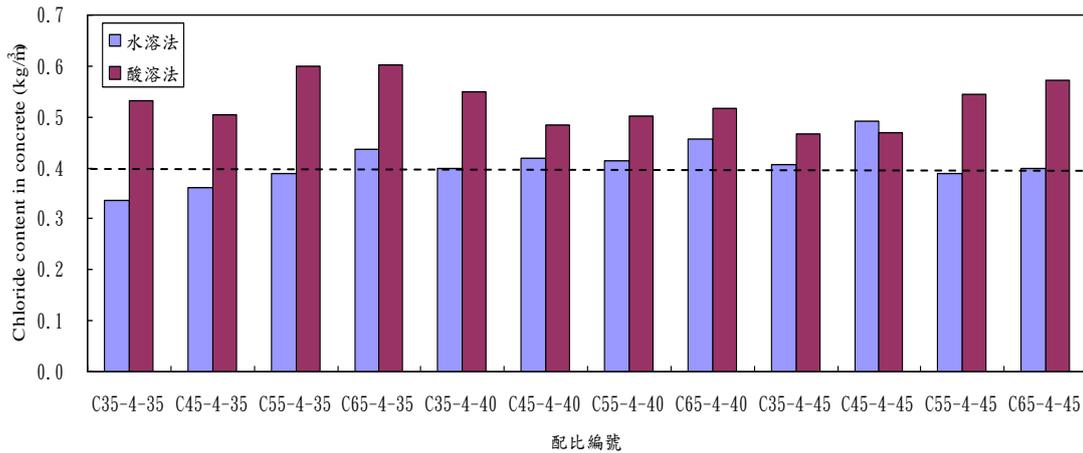


圖 5-50 各配比混凝土水溶法與酸溶法氯離子含量關係圖(氯離子添加量 0.4kg/m³)
(資料來源：本研究自行整理)

第四節 水泥砂漿硬固氯離子試驗結果

本研究水泥砂漿配比設計係將混凝土中粗骨材剔除後，依體積比例不同放大水泥漿體與細骨材體積。而在氯離子試驗方面亦探討水溶法與酸溶法的差異。表 5-30 至表 5-35 為水溶法的試驗結果。表中「換算後水泥砂漿含量」，代表每立方公尺水泥砂漿中之含量。圖 5-51 至圖 5-55 為各系列配比氯離子添加 0 kg/m³ 至 0.4 kg/m³ 關係圖。由圖中可以發現，各組配比的水溶法氯離子含量關係圖均已超過預先添加的氯離子濃度。且無論細骨材體積含量為何，各水灰比的配比游離氯離子含量均較為接近，除了氯離子添加 0.4 kg/m³ 的各種配比外。如以氯離子添加 0.2 kg/m³ 的配比，水泥砂漿所得到的游離性氯離子為 0.253 至 0.318 kg/m³，全距值為 0.065 kg/m³。而所對應的混凝土則為 0.239 至 0.317 kg/m³，全距值為 0.078 kg/m³。表 5-36 為扣除控制組氯離子含量後的結果。圖 5-56 至圖 5-59 為各組扣除控制組氯離子含量後的關係圖。除 M45-2-X 配比外，所有值均低於預先添加的氯離子濃度。

表 5-30 水泥砂漿配比水溶法氯離子含量試驗結果 (氯離子添加量 0 kg/m^3)

配比編號	試樣 1 (%)	試樣 2 (%)	試樣 3 (%)	氯離子含量 平均值 (%)	換算後 水泥砂漿含量 (kg/m^3)
M35-0-X	0.00603	0.00516	0.00652	0.00590	0.12889
M45-0-X	0.00537	0.00523	0.00499	0.00520	0.11177
M55-0-X	0.00706	0.00650	0.00713	0.00689	0.14677
M65-0-X	0.00641	0.00690	0.00735	0.00689	0.14561
M35-0-Y	0.00671	0.00748	0.00762	0.00727	0.15582
M45-0-Y	0.00630	0.00720	0.00577	0.00643	0.13543
M55-0-Y	0.00674	0.00779	0.00873	0.00775	0.16168
M65-0-Y	0.00818	0.00731	0.00759	0.00769	0.15915
M35-0-Z	0.00691	0.00726	0.00750	0.00723	0.15155
M45-0-Z	0.00704	0.00627	0.00606	0.00645	0.13283
M55-0-Z	0.00667	0.00563	0.00570	0.00600	0.12198
M65-0-Z	0.00648	0.00658	0.00714	0.00673	0.13570

(資料來源：本研究自行整理)

表 5-31 水泥砂漿配比水溶法氯離子含量試驗結果 (氯離子添加量 0.1 kg/m^3)

配比編號	試樣 1 (%)	試樣 2 (%)	試樣 3 (%)	氯離子含量 平均值 (%)	換算後 水泥砂漿含量 (kg/m^3)
M35-1-X	0.00956	0.00921	0.00932	0.00936	0.20437
M45-1-X	0.00927	0.01032	0.00955	0.00972	0.20886
M55-1-X	0.00949	0.00907	0.01036	0.00964	0.20525
M65-1-X	0.00987	0.00962	0.00980	0.00976	0.20639
M35-1-Y	0.01002	0.01005	0.01106	0.01037	0.22240
M45-1-Y	0.00860	0.00934	0.00913	0.00902	0.19016
M55-1-Y	0.00954	0.00891	0.00930	0.00925	0.19290
M65-1-Y	0.00994	0.01029	0.00939	0.00988	0.20433
M35-1-Z	0.00850	0.00854	0.00805	0.00836	0.17539
M45-1-Z	0.00863	0.00860	0.00947	0.00890	0.18310
M55-1-Z	0.01006	0.00992	0.01037	0.01011	0.20563
M65-1-Z	0.01022	0.00960	0.00960	0.00980	0.19763

(資料來源：本研究自行整理)

表 5-32 水泥砂漿配比水溶法氯離子含量試驗結果 (氯離子添加量 0.2 kg/m^3)

配比編號	試樣 1 (%)	試樣 2 (%)	試樣 3 (%)	氯離子含量 平均值 (%)	換算後 水泥砂漿含量 (kg/m^3)
M35-2-X	0.01243	0.01309	0.01365	0.01305	0.28493
M45-2-X	0.01531	0.01434	0.01472	0.01479	0.31793
M55-2-X	0.01170	0.01194	0.01208	0.01191	0.25352
M65-2-X	0.01324	0.01230	0.01334	0.01296	0.27403
M35-2-Y	0.01339	0.01266	0.01401	0.01335	0.28624
M45-2-Y	0.01300	0.01248	0.01171	0.01240	0.26134
M55-2-Y	0.01338	0.01199	0.01265	0.01267	0.26423
M65-2-Y	0.01341	0.01351	0.01240	0.01311	0.27118
M35-2-Z	0.01196	0.01231	0.01196	0.01208	0.25331
M45-2-Z	0.01370	0.01269	0.01363	0.01334	0.27456
M55-2-Z	0.01405	0.01290	0.01322	0.01339	0.27222
M65-2-Z	0.01189	0.01154	0.01234	0.01192	0.24027

(資料來源：本研究自行整理)

表 5-33 水泥砂漿配比水溶法氯離子含量試驗結果 (氯離子添加量 0.3 kg/m^3)

配比編號	試樣 1 (%)	試樣 2 (%)	試樣 3 (%)	氯離子含量 平均值 (%)	換算後 水泥砂漿含量 (kg/m^3)
M35-3-X	0.01515	0.01474	0.01383	0.01457	0.31808
M45-3-X	0.01554	0.01627	0.01543	0.01574	0.33844
M55-3-X	0.01569	0.01587	0.01629	0.01595	0.33948
M65-3-X	0.01656	0.01740	0.01684	0.01694	0.35803
M35-3-Y	0.01695	0.01569	0.01472	0.01578	0.33835
M45-3-Y	0.01598	0.01598	0.01720	0.01639	0.34538
M55-3-Y	0.01780	0.01700	0.01686	0.01722	0.35895
M65-3-Y	0.01681	0.01695	0.01677	0.01684	0.34845
M35-3-Z	0.01699	0.01734	0.01772	0.01735	0.36381
M45-3-Z	0.01733	0.01800	0.01803	0.01779	0.36601
M55-3-Z	0.01766	0.01703	0.01828	0.01766	0.35890
M65-3-Z	0.01797	0.01794	0.01884	0.01825	0.36784

(資料來源：本研究自行整理)

表 5-34 水泥砂漿配比水溶法氯離子含量試驗結果 (氯離子添加量 0.4 kg/m^3)

配比編號	試樣 1 (%)	試樣 2 (%)	試樣 3 (%)	氯離子含量平均值 (%)	換算後水泥砂漿含量 (kg/m^3)
M35-4-X	0.01876	0.01865	0.01841	0.01861	0.40607
M45-4-X	0.01992	0.01866	0.02048	0.01969	0.42318
M55-4-X	0.02056	0.02073	0.02084	0.02071	0.44077
M65-4-X	0.02456	0.02495	0.02509	0.02486	0.52563
M35-4-Y	0.01823	0.01690	0.01774	0.01762	0.37778
M45-4-Y	0.01899	0.02014	0.02038	0.01984	0.41806
M55-4-Y	0.01899	0.01975	0.02010	0.01961	0.40887
M65-4-Y	0.02329	0.02196	0.02155	0.02227	0.46068
M35-4-Z	0.02069	0.02048	0.02100	0.02072	0.43457
M45-4-Z	0.02056	0.02091	0.02028	0.02058	0.42348
M55-4-Z	0.02233	0.02334	0.02219	0.02262	0.45982
M65-4-Z	0.02053	0.02244	0.02185	0.02161	0.43551

(資料來源：本研究自行整理)

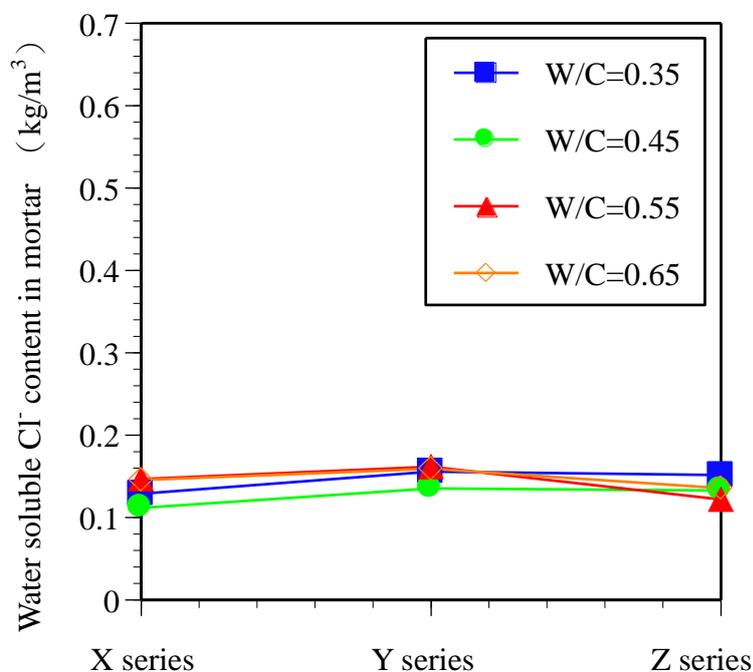


圖 5-51 各配比水泥砂漿水溶法氯離子含量關係圖 (氯離子添加量 0 kg/m^3)

(資料來源：本研究自行整理)

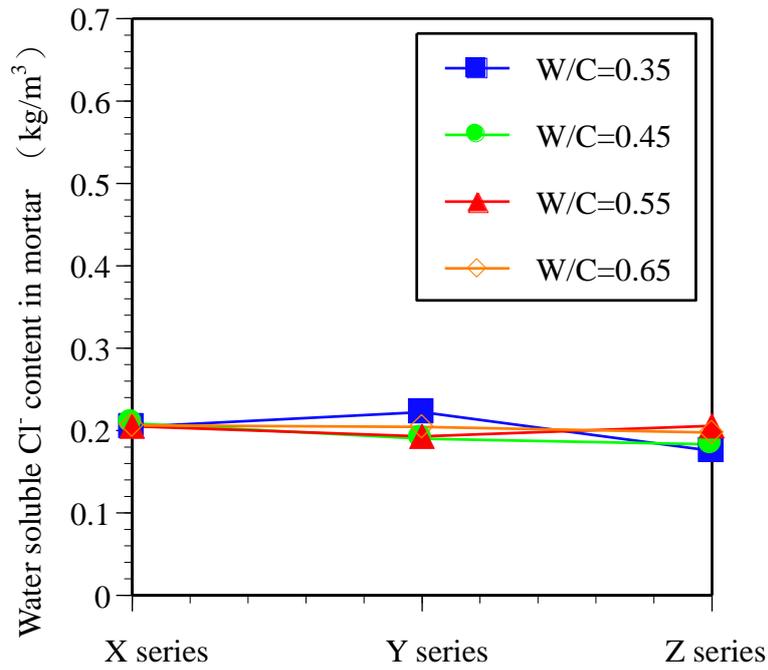


圖 5-52 各配比水泥砂漿水溶法氯離子含量關係圖 (氯離子添加量 0.1 kg/m^3)
(資料來源：本研究自行整理)

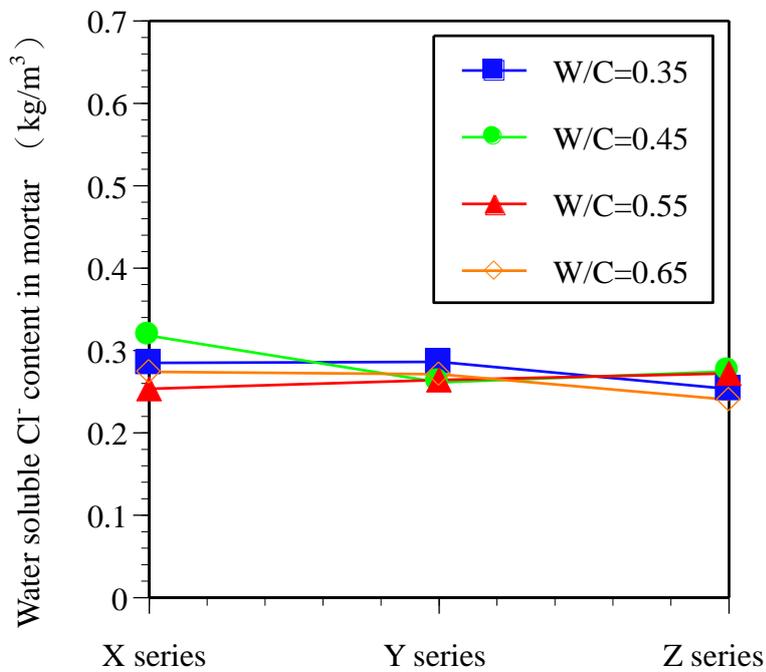


圖 5-53 各配比水泥砂漿水溶法氯離子含量關係圖 (氯離子添加量 0.2 kg/m^3)
(資料來源：本研究自行整理)

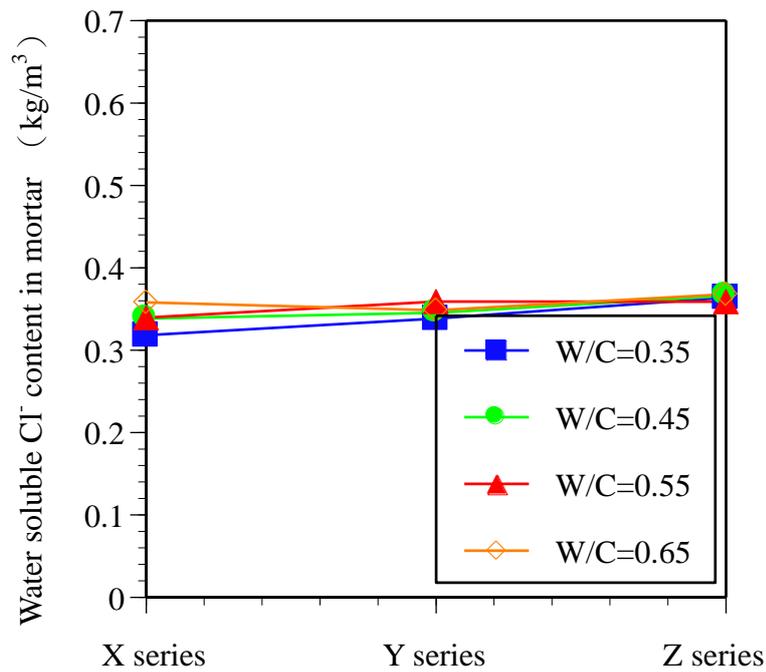


圖 5-54 各配比水泥砂漿水溶法氯離子含量關係圖 (氯離子添加量 0.3 kg/m^3)

(資料來源：本研究自行整理)

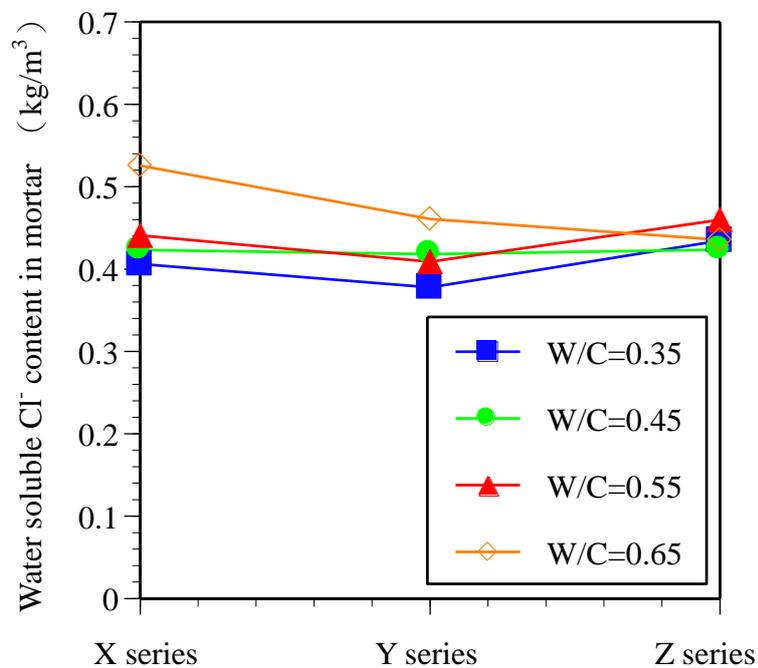


圖 5-55 各配比水泥砂漿水溶法氯離子含量關係圖 (氯離子添加量 0.4 kg/m^3)

(資料來源：本研究自行整理)

表 5-35 各水泥砂漿配比游離氯離子含量扣除控制組結果

配比編號	水泥砂漿含量 (kg/m ³)	配比編號	水泥砂漿含量 (kg/m ³)	配比編號	水泥砂漿含量 (kg/m ³)
M35-0-X	0.00000	M35-0-Y	0.00000	M35-0-Z	0.00000
M45-0-X	0.00000	M45-0-Y	0.00000	M45-0-Z	0.00000
M55-0-X	0.00000	M55-0-Y	0.00000	M55-0-Z	0.00000
M65-0-X	0.00000	M65-0-Y	0.00000	M65-0-Z	0.00000
M35-1-X	0.07549	M35-1-Y	0.06658	M35-1-Z	0.02384
M45-1-X	0.09709	M45-1-Y	0.05473	M45-1-Z	0.05027
M55-1-X	0.05848	M55-1-Y	0.03122	M55-1-Z	0.08365
M65-1-X	0.06077	M65-1-Y	0.04518	M65-1-Z	0.06192
M35-2-X	0.15604	M35-2-Y	0.13042	M35-2-Z	0.10176
M45-2-X	0.20615	M45-2-Y	0.12591	M45-2-Z	0.14173
M55-2-X	0.10675	M55-2-Y	0.10255	M55-2-Z	0.15024
M65-2-X	0.12842	M65-2-Y	0.11204	M65-2-Z	0.10456
M35-3-X	0.18920	M35-3-Y	0.18253	M35-3-Z	0.21226
M45-3-X	0.22666	M45-3-Y	0.20995	M45-3-Z	0.23318
M55-3-X	0.19271	M55-3-Y	0.19727	M55-3-Z	0.23692
M65-3-X	0.21241	M65-3-Y	0.18931	M65-3-Z	0.23213
M35-4-X	0.27718	M35-4-Y	0.22195	M35-4-Z	0.28302
M45-4-X	0.31140	M45-4-Y	0.28263	M45-4-Z	0.29065
M55-4-X	0.29400	M55-4-Y	0.24720	M55-4-Z	0.33784
M65-4-X	0.38002	M65-4-Y	0.30153	M65-4-Z	0.29981

(資料來源：本研究自行整理)

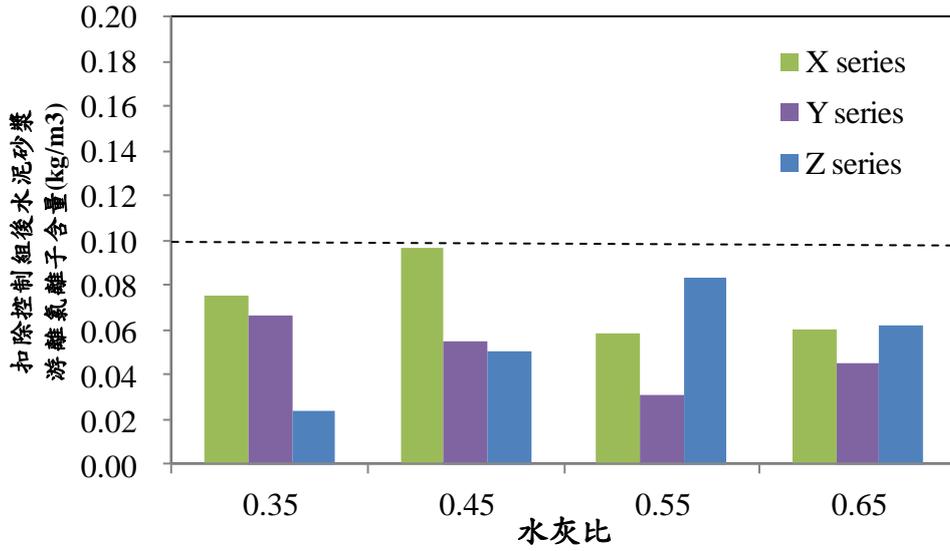


圖 5-56 扣除控制組後水泥砂漿游離氯離子含量關係圖(氯離子添加量 0.1 kg/m^3)

(資料來源：本研究自行整理)

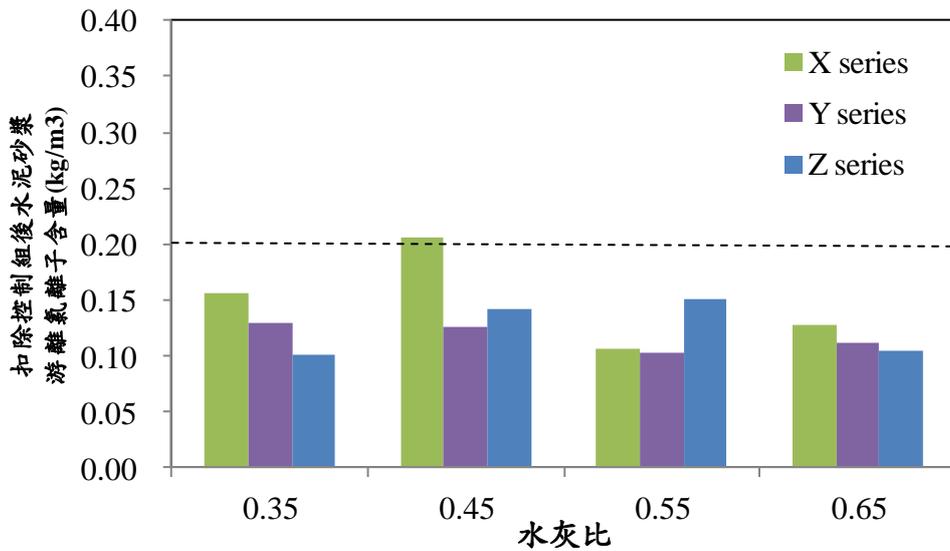


圖 5-57 扣除控制組後水泥砂漿游離氯離子含量關係圖(氯離子添加量 0.2 kg/m^3)

(資料來源：本研究自行整理)

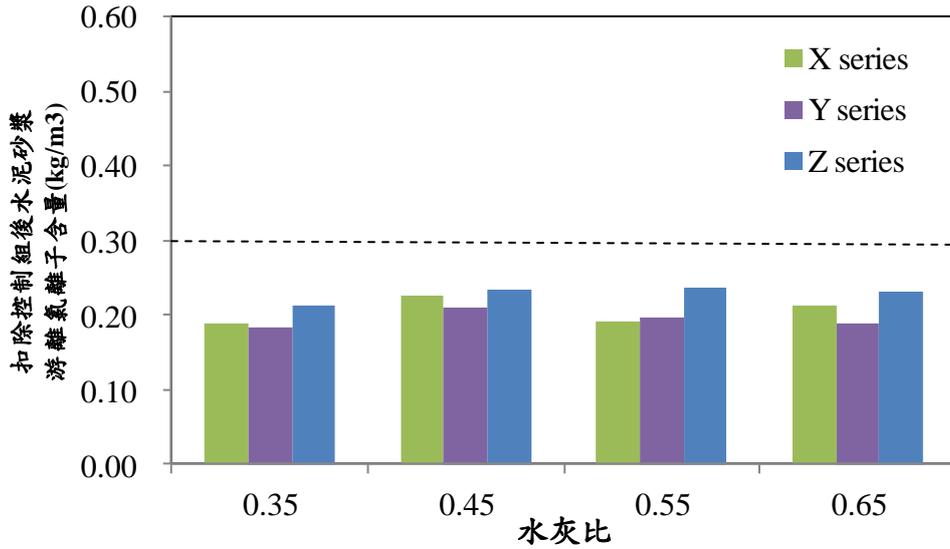


圖 5-58 扣除控制組後水泥砂漿游離氯離子含量關係圖(氯離子添加量 0.3 kg/m^3)
(資料來源：本研究自行整理)

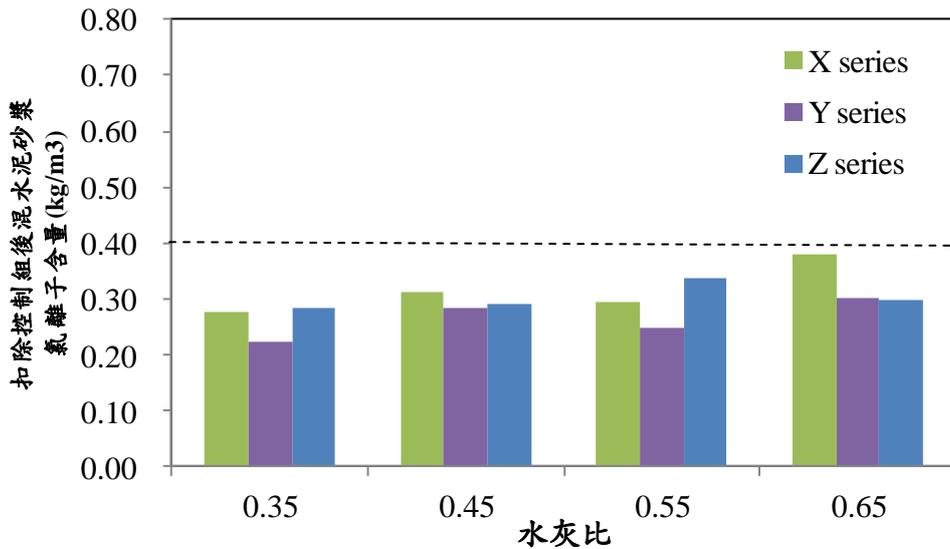


圖 5-59 扣除控制組後水泥砂漿游離氯離子含量關係圖(氯離子添加量 0.4 kg/m^3)
(資料來源：本研究自行整理)

表 5-36 至表 5-40 為各種添加量下水泥砂漿配比酸溶法氯離子含量試驗結果。圖 5-60 至圖 5-64 為各組配比的關係圖。圖中 X、Y、Z 分別代表配比中不同細骨材用量。由圖中可以發現無論何種氯離子添加量，細骨材用量對本研究水泥砂

本土性硬固混凝土氯離子含量標準與檢測方法之研究

漿總氯離子量影響不大。而由未添加氯離子的圖 5-60 可以發現控制組水泥砂漿內部的總氯離子含量為 0.150 至 0.238 kg/m³；圖 5-61 添加 0.1 kg/m³ 為 0.254 至 0.352 kg/m³；圖 5-62 添加 0.2 kg/m³ 為 0.404 至 0.468 kg/m³；圖 5-63 添加 0.3 kg/m³ 為 0.472 至 0.616 kg/m³；圖 5-64 添加 0.4 kg/m³ 為 0.612 至 0.756 kg/m³；最大差異為 0.144 kg/m³。與混凝土酸溶性的 0.117 kg/m³ 相比，則差距較大。表 5-41 為扣除控制組水泥砂漿總氯離子量的試驗結果。圖 5-65 至圖 5-68 為各組扣除控制組氯離子含量後的關係圖。由圖中可以發現與水泥砂漿水溶法不同結果，即除了 M35-1-X、M35-1-Y、M35-1-Z、M45-1-X、M45-1-Z、M65-1-Y、M35-2-Y、M35-2-Z、M35-4-Z、M5-4-Z 這 10 組配比外，其餘均高於預先添加的氯離子濃度。

表 5-36 水泥砂漿配比酸溶法氯離子含量試驗結果 (氯離子添加量 0 kg/m³)

配比編號	試樣 1 (%)	試樣 2 (%)	試樣 3 (%)	氯離子含量 平均值 (%)	換算後 水泥砂漿含量 (kg/m ³)
M35-0-X	0.01000	0.00937	0.01027	0.00988	0.21570
M45-0-X	0.00861	0.00858	0.00816	0.00845	0.18165
M55-0-X	0.00786	0.00824	0.00786	0.00798	0.16995
M65-0-X	0.00737	0.00719	0.00674	0.00710	0.15012
M35-0-Y	0.01142	0.01104	0.01079	0.01108	0.23761
M45-0-Y	0.00802	0.00834	0.00892	0.00843	0.17764
M55-0-Y	0.01037	0.01065	0.01027	0.01043	0.21751
M65-0-Y	0.01035	0.00979	0.00969	0.00994	0.20576
M35-0-Z	0.00943	0.01027	0.00950	0.00973	0.20413
M45-0-Z	0.01063	0.01010	0.00954	0.01009	0.20770
M55-0-Z	0.00873	0.00890	0.00827	0.00864	0.17558
M65-0-Z	0.00847	0.00864	0.00927	0.00879	0.17722

(資料來源：本研究自行整理)

表 5-37 水泥砂漿配比酸溶法氯離子含量試驗結果 (氯離子添加量 0.1 kg/m^3)

配比編號	試樣 1 (%)	試樣 2 (%)	試樣 3 (%)	氯離子含量 平均值 (%)	換算後 水泥砂漿含量 (kg/m^3)
M35-1-X	0.01417	0.01340	0.01375	0.01377	0.28888
M45-1-X	0.01454	0.01475	0.01419	0.01449	0.29820
M55-1-X	0.01570	0.01402	0.01406	0.01459	0.29664
M65-1-X	0.01476	0.01493	0.01532	0.01500	0.30237
M35-1-Y	0.01278	0.01267	0.01305	0.01284	0.27514
M45-1-Y	0.01336	0.01357	0.01378	0.01357	0.28607
M55-1-Y	0.01634	0.01721	0.01710	0.01688	0.35199
M65-1-Y	0.01486	0.01465	0.01431	0.01461	0.30223
M35-1-Z	0.01162	0.01176	0.01148	0.01162	0.25362
M45-1-Z	0.01176	0.01170	0.01215	0.01187	0.25514
M55-1-Z	0.01419	0.01461	0.01461	0.01447	0.30803
M65-1-Z	0.01274	0.01291	0.01346	0.01304	0.27561

(資料來源：本研究自行整理)

表 5-38 水泥砂漿配比酸溶法氯離子含量試驗結果 (氯離子添加量 0.2 kg/m^3)

配比編號	試樣 1 (%)	試樣 2 (%)	試樣 3 (%)	氯離子含量 平均值 (%)	換算後 水泥砂漿含量 (kg/m^3)
M35-2-X	0.02008	0.01929	0.02036	0.01991	0.43457
M45-2-X	0.01974	0.02064	0.02019	0.02019	0.43408
M55-2-X	0.01947	0.01972	0.01895	0.01938	0.41254
M65-2-X	0.02170	0.02215	0.02250	0.02211	0.46752
M35-2-Y	0.02022	0.02036	0.02005	0.02021	0.43324
M45-2-Y	0.01943	0.01995	0.01936	0.01958	0.41264
M55-2-Y	0.02122	0.02136	0.02185	0.02148	0.44774
M65-2-Y	0.02153	0.02205	0.02156	0.02171	0.44930
M35-2-Z	0.01926	0.01951	0.01895	0.01924	0.40350
M45-2-Z	0.01985	0.02027	0.02058	0.02023	0.41638
M55-2-Z	0.02187	0.02201	0.02229	0.02206	0.44836
M65-2-Z	0.02145	0.02173	0.02096	0.02138	0.43100

(資料來源：本研究自行整理)

表 5-39 水泥砂漿配比酸溶法氯離子含量試驗結果 (氯離子添加量 0.3 kg/m^3)

配比編號	試樣 1 (%)	試樣 2 (%)	試樣 3 (%)	氯離子含量 平均值 (%)	換算後 水泥砂漿含量 (kg/m^3)
M35-3-X	0.02496	0.02469	0.02430	0.02465	0.53805
M45-3-X	0.02442	0.02497	0.02490	0.02476	0.53229
M55-3-X	0.02320	0.02351	0.02327	0.02333	0.49654
M65-3-X	0.02194	0.02260	0.02246	0.02233	0.47216
M35-3-Y	0.02629	0.02574	0.02574	0.02592	0.55569
M45-3-Y	0.02570	0.02622	0.02553	0.02582	0.54417
M55-3-Y	0.02522	0.02599	0.02578	0.02566	0.53505
M65-3-Y	0.02507	0.02532	0.02511	0.02517	0.52068
M35-3-Z	0.02529	0.02456	0.02543	0.02509	0.52621
M45-3-Z	0.02881	0.02822	0.02857	0.02853	0.58714
M55-3-Z	0.02531	0.02569	0.02604	0.02568	0.52205
M65-3-Z	0.03045	0.03094	0.03027	0.03055	0.61578

(資料來源：本研究自行整理)

表 5-40 水泥砂漿配比酸溶法氯離子含量試驗結果 (氯離子添加量 0.4 kg/m^3)

配比編號	試樣 1 (%)	試樣 2 (%)	試樣 3 (%)	氯離子含量 平均值 (%)	換算後 水泥砂漿含量 (kg/m^3)
M35-4-X	0.02846	0.02766	0.02797	0.02803	0.61175
M45-4-X	0.02954	0.03047	0.02985	0.02995	0.64388
M55-4-X	0.03179	0.03234	0.03182	0.03198	0.68077
M65-4-X	0.03549	0.03563	0.03622	0.03578	0.75644
M35-4-Y	0.02907	0.02973	0.02890	0.02923	0.62654
M45-4-Y	0.02931	0.02910	0.02973	0.02938	0.61917
M55-4-Y	0.03013	0.02964	0.02936	0.02971	0.61939
M65-4-Y	0.03269	0.03248	0.03314	0.03277	0.67808
M35-4-Z	0.03387	0.03552	0.03517	0.03485	0.73086
M45-4-Z	0.03657	0.03584	0.03570	0.03604	0.74154
M55-4-Z	0.03594	0.03615	0.03594	0.03601	0.73192
M65-4-Z	0.03368	0.03308	0.03344	0.03340	0.67315

(資料來源：本研究自行整理)

表 5-41 各水泥砂漿配比總氯離子含量扣除控制組結果

配比編號	水泥砂漿含量 (kg/m ³)	配比編號	水泥砂漿含量 (kg/m ³)	配比編號	水泥砂漿含量 (kg/m ³)
M35-0-X	0.00000	M35-0-Y	0.00000	M35-0-Z	0.00000
M45-0-X	0.00000	M45-0-Y	0.00000	M45-0-Z	0.00000
M55-0-X	0.00000	M55-0-Y	0.00000	M55-0-Z	0.00000
M65-0-X	0.00000	M65-0-Y	0.00000	M65-0-Z	0.00000
M35-1-X	0.03792	M35-1-Y	0.03753	M35-1-Z	0.08475
M45-1-X	0.07349	M45-1-Y	0.10843	M45-1-Z	0.09051
M55-1-X	0.13808	M55-1-Y	0.13449	M55-1-Z	0.12106
M65-1-X	0.12549	M65-1-Y	0.09647	M65-1-Z	0.12515
M35-2-X	0.21887	M35-2-Y	0.19563	M35-2-Z	0.19937
M45-2-X	0.25243	M45-2-Y	0.23500	M45-2-Z	0.20869
M55-2-X	0.24259	M55-2-Y	0.23023	M55-2-Z	0.27278
M65-2-X	0.31740	M65-2-Y	0.24354	M65-2-Z	0.25378
M35-3-X	0.32235	M35-3-Y	0.31808	M35-3-Z	0.32209
M45-3-X	0.35064	M45-3-Y	0.36653	M45-3-Z	0.37944
M55-3-X	0.32659	M55-3-Y	0.31754	M55-3-Z	0.34647
M65-3-X	0.32204	M65-3-Y	0.31492	M65-3-Z	0.43857
M35-4-X	0.39605	M35-4-Y	0.38893	M35-4-Z	0.52674
M45-4-X	0.46222	M45-4-Y	0.44153	M45-4-Z	0.53384
M55-4-X	0.51081	M55-4-Y	0.40189	M55-4-Z	0.55634
M65-4-X	0.60632	M65-4-Y	0.47232	M65-4-Z	0.49594

(資料來源：本研究自行整理)

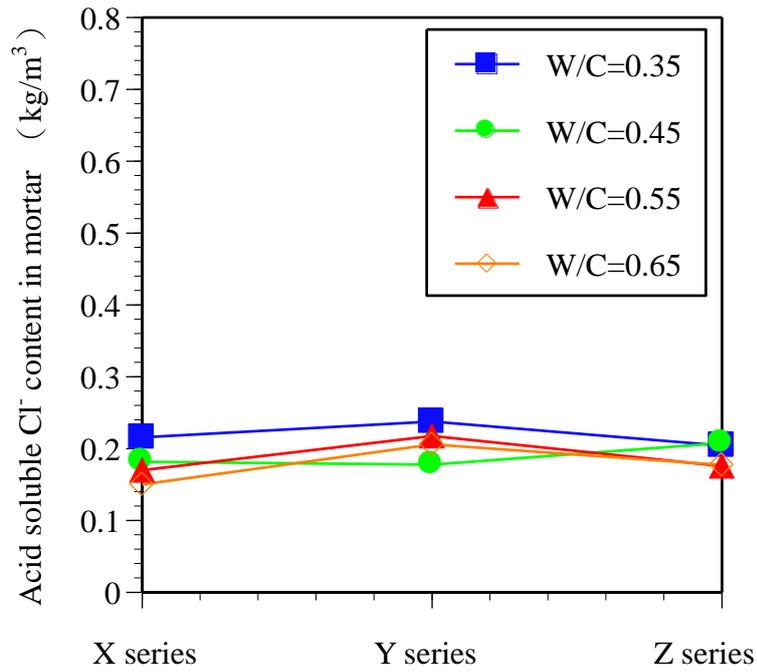


圖 5-60 各配比水泥砂漿酸溶法氯離子含量關係圖 (氯離子添加量 0 kg/m^3)

(資料來源：本研究自行整理)

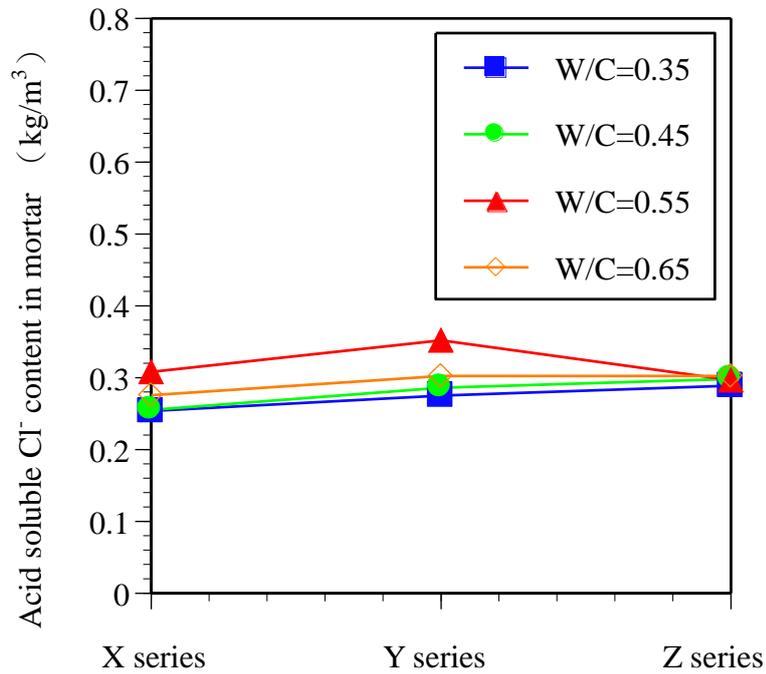


圖 5-61 各配比水泥砂漿酸溶法氯離子含量關係圖 (氯離子添加量 0.1 kg/m^3)

(資料來源：本研究自行整理)

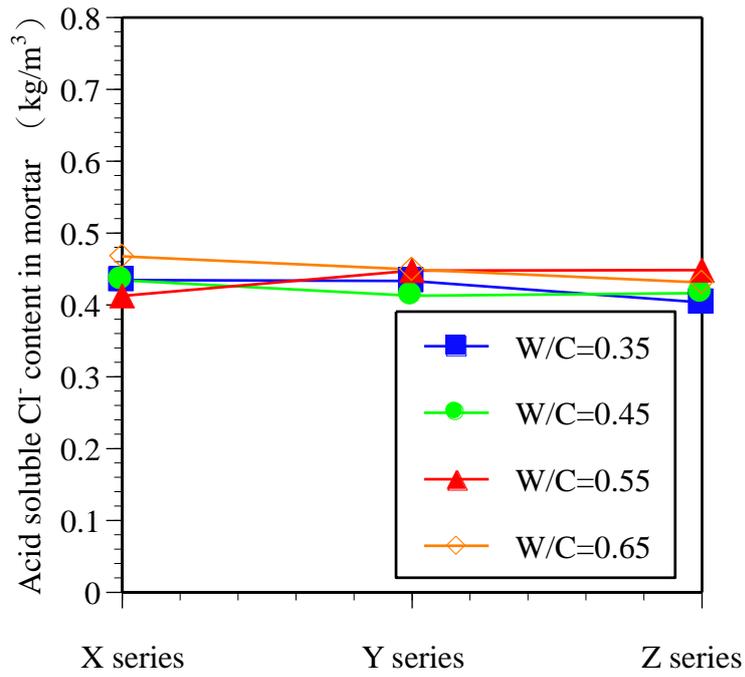


圖 5-62 各配比水泥砂漿酸溶法氯離子含量關係圖 (氯離子添加量 0.2 kg/m^3)
(資料來源：本研究自行整理)

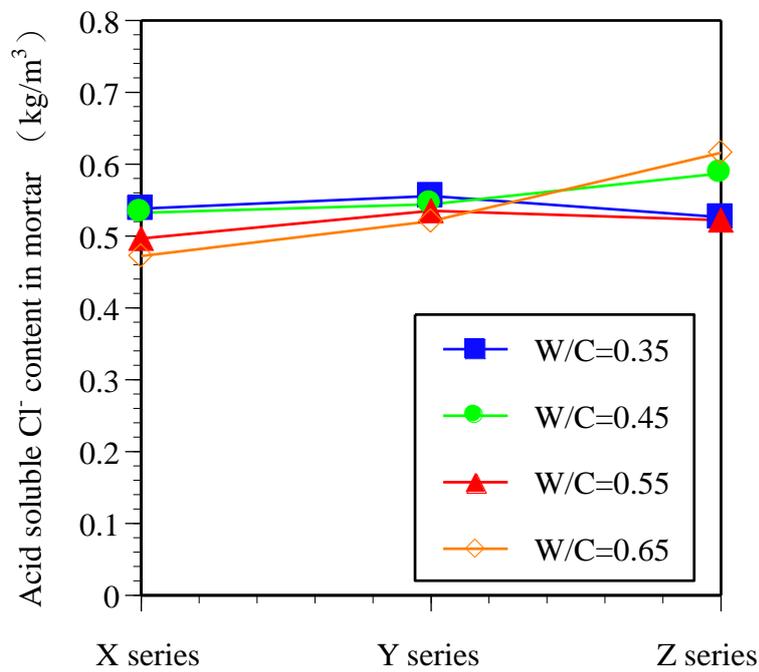


圖 5-63 各配比水泥砂漿酸溶法氯離子含量關係圖 (氯離子添加量 0.3 kg/m^3)
(資料來源：本研究自行整理)

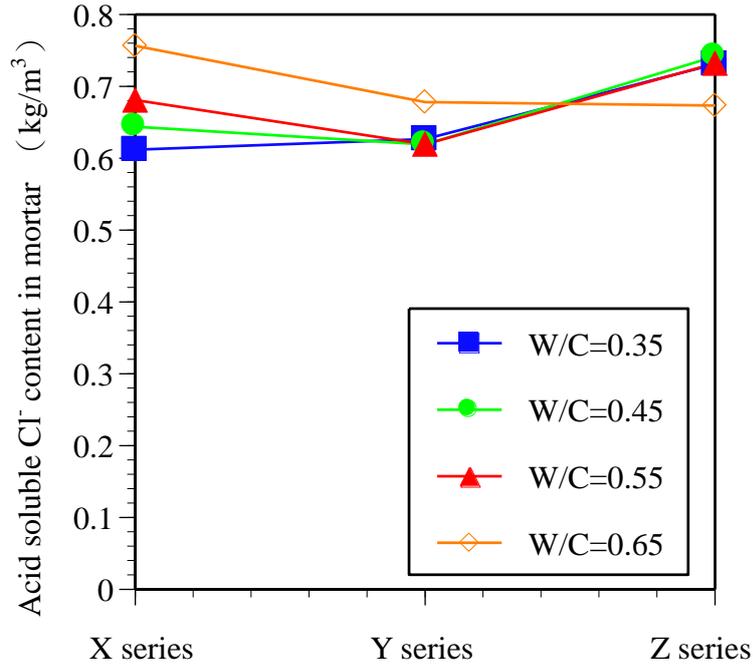


圖 5-64 各配比水泥砂漿酸溶法氯離子含量關係圖 (氯離子添加量 0.4 kg/m^3)
(資料來源：本研究自行整理)

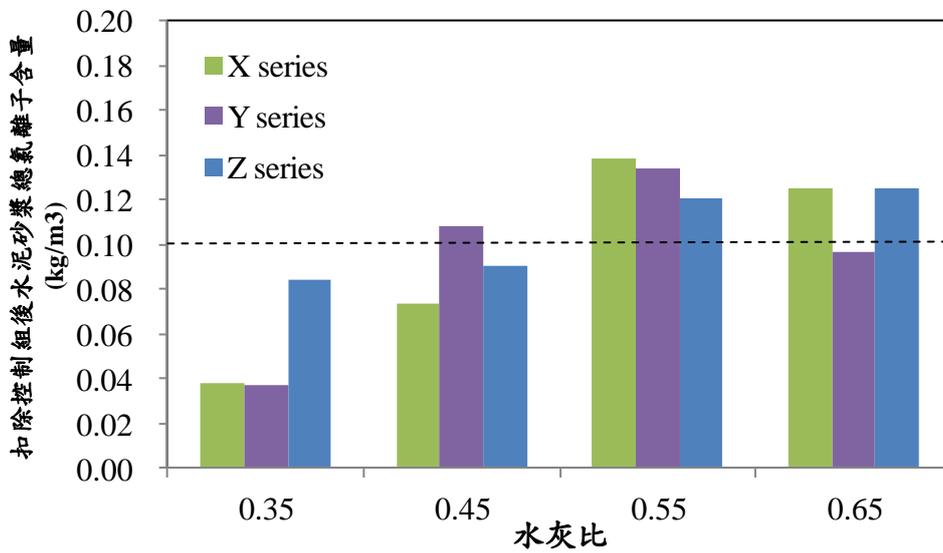


圖 5-65 扣除控制組後水泥砂漿總離氯離子含量關係圖(氯離子添加量 0.1 kg/m^3)
(資料來源：本研究自行整理)

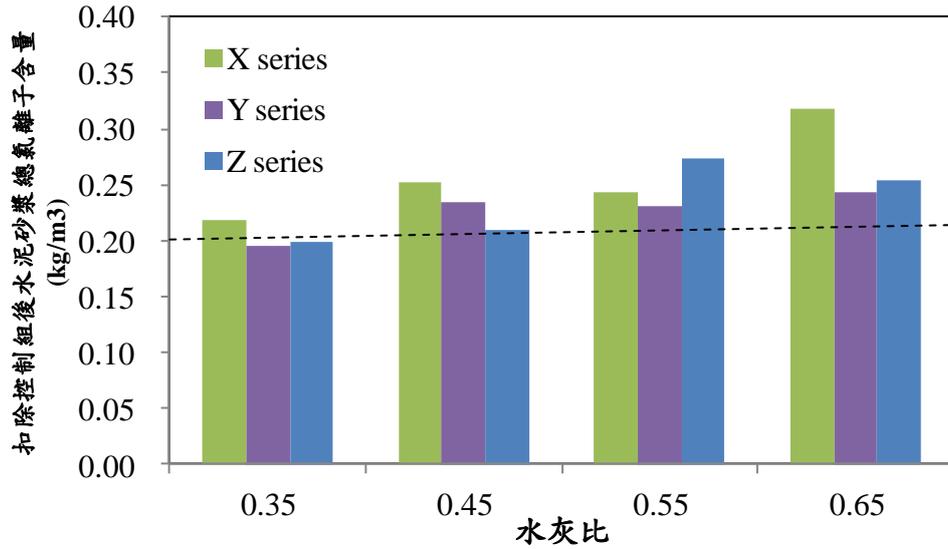


圖 5-66 扣除控制組後水泥砂漿總離氯離子含量關係圖 (氯離子添加量 0.2 kg/m³)

(資料來源：本研究自行整理)

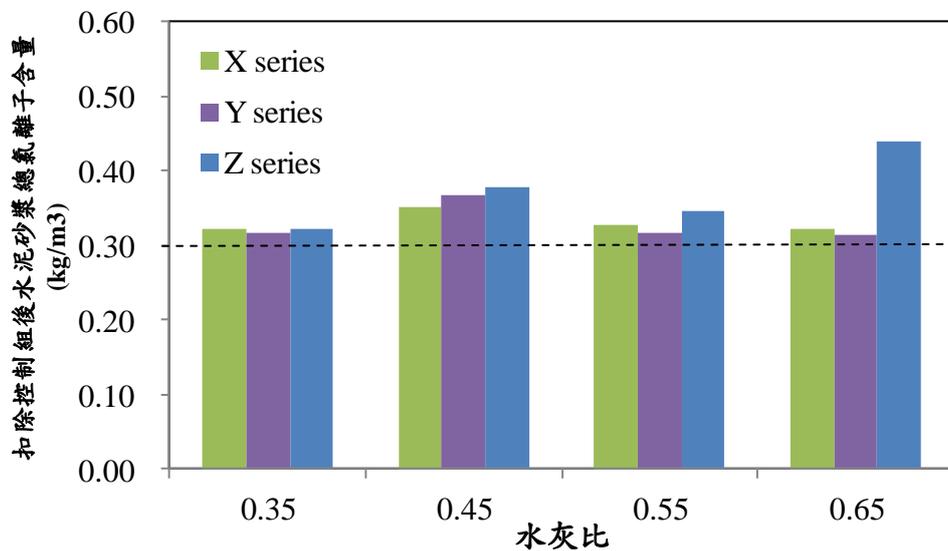


圖 5-67 扣除控制組後水泥砂漿總離氯離子含量關係圖 (氯離子添加量 0.3 kg/m³)

(資料來源：本研究自行整理)

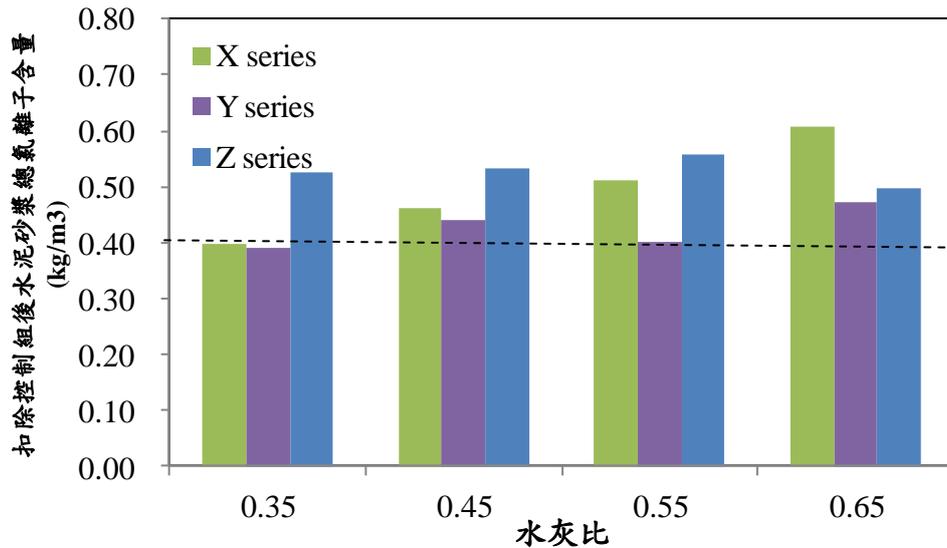


圖 5-68 扣除控制組後水泥砂漿總離氯離子含量關係圖(氯離子添加量 0.4 kg/m^3)
(資料來源：本研究自行整理)

若比較水泥砂漿水溶法與酸溶法的差異性，如圖 5-69 至圖 5-73 所示。由圖中可以看出所有配比酸溶法得到之總氯離子均大於水溶法游離氯離子，水溶法約為酸溶法的 54.80% 至 97.00%，其平均值為 67.05%。相較於混凝土的平均值 75.62%，有偏小之趨勢。若比較實際含量，水泥砂漿水溶法為混凝土水溶法 149.37% 至 61.82%，60 對組合中有 24 對大於 100%，平均為 97.82%；水泥砂漿酸溶法為混凝土酸溶法 157.97% 至 71.13%，60 對組合中有 49 對大於 100%，平均為 113.17%。表示對酸溶法氯離子含量而言，水泥砂漿的試驗結果大部分會高於混凝土。由於本研究水泥砂漿是混凝土去除粗骨材後等比例計算的配比設計。因此砂漿中水泥用量相對於混凝土多了 1.5~1.9 倍。因此推測水泥中部份化合物與氯離子形成了法拉第鹽，導致水泥砂漿總氯離子量較高。

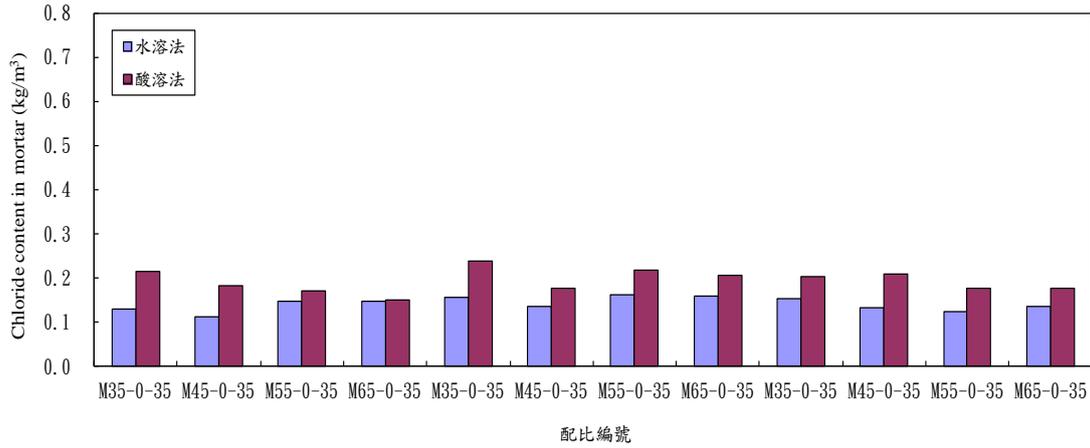


圖 5-69 各配比水泥砂漿水溶法與酸溶法氯離子含量關係圖 (氯離子添加量 0 kg/m³)

(資料來源：本研究自行整理)

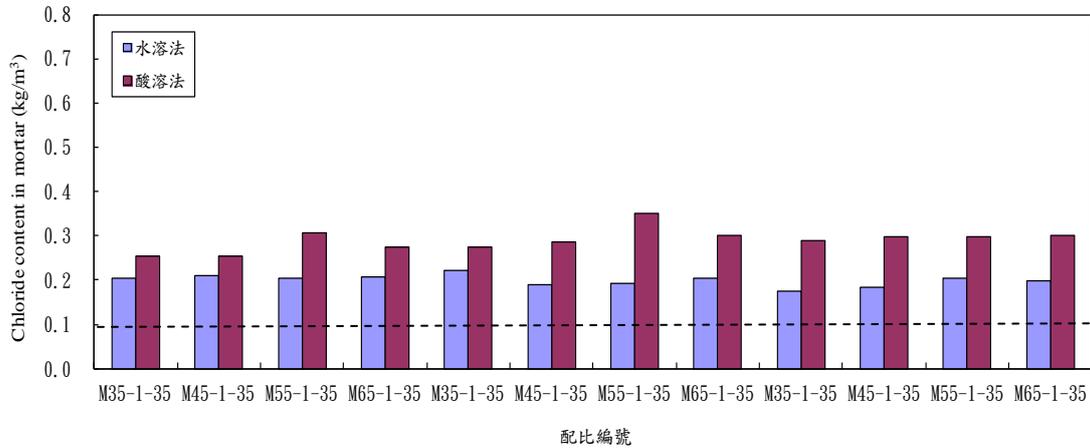


圖 5-70 各配比水泥砂漿水溶法與酸溶法氯離子含量關係圖 (氯離子添加量 0.1 kg/m³)

(資料來源：本研究自行整理)

本土性硬固混凝土氯離子含量標準與檢測方法之研究

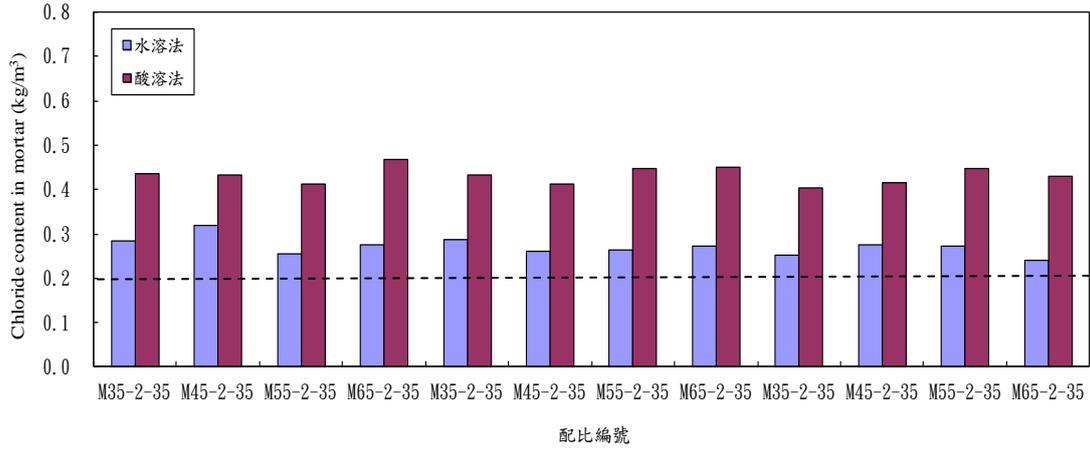


圖 5-71 各配比水泥砂漿水溶法與酸溶法氯離子含量關係圖 (氯離子添加量 0.2kg/m^3)

(資料來源：本研究自行整理)

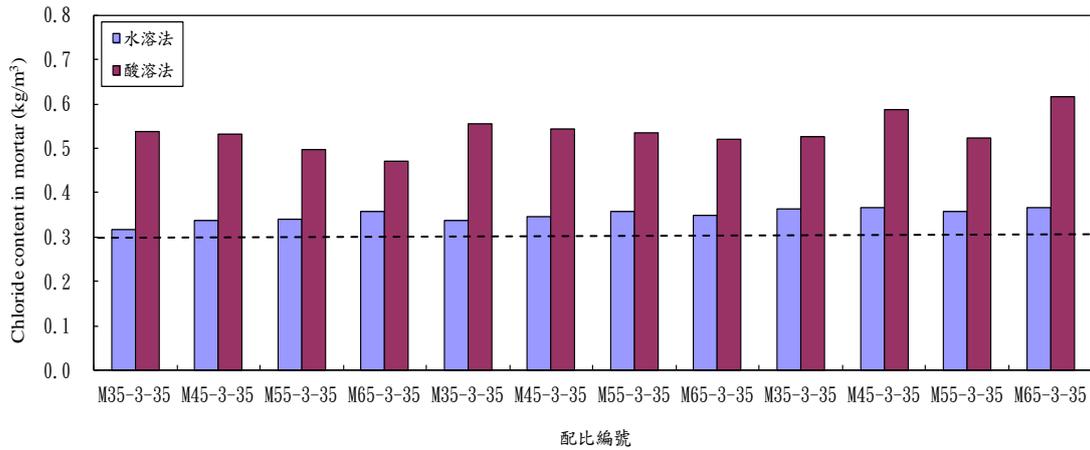


圖 5-72 各配比水泥砂漿水溶法與酸溶法氯離子含量關係圖 (氯離子添加量 0.3kg/m^3)

(資料來源：本研究自行整理)

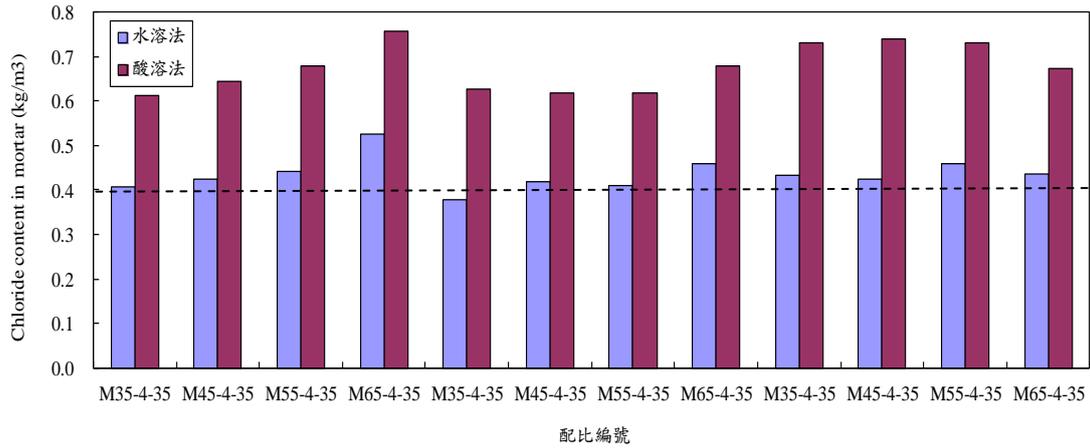


圖 5-73 各配比水泥砂漿水溶法與酸溶法氯離子含量關係圖 (氯離子添加量 0.4kg/m^3)

(資料來源：本研究自行整理)

第五節 水泥漿硬固氯離子試驗結果

由上節水泥砂漿試驗結果發現，水泥砂漿的酸溶法試驗結果大部分會高於混凝土。因此本研究亦對不同水灰比與添加不同氯離子之水泥漿體進行試驗研究。表 5-42 為水溶法試驗結果；表 5-43 為酸溶法試驗結果。圖 5-74 為水溶法試驗結果關係圖，圖中發現水泥漿硬固游離氯離子含量在 0.3 與 0.4 kg/m^3 ，水溶法試驗結果均低於配比設計的氯離子含量。圖 5-75 為水溶法試驗扣除控制組氯離子含量後結果。由圖中可以發現當扣除控制組後，水泥漿硬固游離氯離子含量均低於配比設計量。圖 5-76 為酸溶法試驗結果關係圖，圖中發現水泥漿硬固總氯離子含量試驗結果均高於配比設計的氯離子含量。但當扣除控制組氯離子含量後，結果卻發現，水泥漿硬固游離氯離子含量均低於配比設計量，如圖 5-77 所示。

表 5-42 水泥漿配比游離氯離子含量試驗結果

配比 編號	試樣 1 (%)	試樣 2 (%)	試樣 3 (%)	氯離子含量 平均值 (%)	換算後 水泥漿含量 (kg/m ³)	扣除控制組 水泥漿含量 (kg/m ³)
P35-0	0.008449	0.007971	0.007766	0.00806	0.16326	0.00000
P45-0	0.008913	0.008129	0.008742	0.00859	0.16239	0.00000
P55-0	0.008673	0.008741	0.007924	0.00845	0.15091	0.00000
P65-0	0.009235	0.008928	0.009235	0.00913	0.15576	0.00000
P35-1	0.01047	0.010606	0.010606	0.01056	0.21387	0.05061
P45-1	0.010841	0.010875	0.010807	0.01084	0.20482	0.04244
P55-1	0.011151	0.010981	0.009892	0.01067	0.19074	0.03983
P65-1	0.009724	0.009758	0.009724	0.00974	0.16604	0.01028
P35-2	0.010512	0.010036	0.009865	0.01014	0.20531	0.04205
P45-2	0.012102	0.012034	0.012341	0.01216	0.22973	0.06734
P55-2	0.010355	0.010423	0.011071	0.01062	0.18970	0.03879
P65-2	0.011384	0.01135	0.011452	0.01140	0.19436	0.03860
P35-3	0.012742	0.012231	0.012674	0.01255	0.25414	0.09088
P45-3	0.012333	0.011378	0.011855	0.01186	0.22399	0.06161
P55-3	0.012714	0.012338	0.012645	0.01257	0.22454	0.07363
P65-3	0.014231	0.013482	0.013618	0.01378	0.23498	0.07922
P35-4	0.014508	0.014917	0.014405	0.01461	0.29588	0.13261
P45-4	0.015342	0.014967	0.015444	0.01525	0.28816	0.12577
P55-4	0.016385	0.015807	0.016589	0.01626	0.29056	0.13965
P65-4	0.016615	0.015933	0.015865	0.01614	0.27525	0.11949

(資料來源：本研究自行整理)

表 5-43 水泥漿配比總氯離子含量試驗結果

配比 編號	試樣 1 (%)	試樣 2 (%)	試樣 3 (%)	氯離子含量 平均值 (%)	換算後 水泥漿含量 (kg/m ³)	扣除控制組 水泥漿含量 (kg/m ³)
P35-0	0.01140	0.01181	0.01137	0.01153	0.23343	0.00000
P45-0	0.01048	0.01085	0.01061	0.01065	0.20115	0.00000
P55-0	0.01061	0.01068	0.01017	0.01049	0.18740	0.00000
P65-0	0.01071	0.01075	0.01068	0.01071	0.18269	0.00000
P35-1	0.01342	0.01301	0.01352	0.01332	0.26972	0.03629
P45-1	0.01498	0.01549	0.01536	0.01528	0.28864	0.08749
P55-1	0.01411	0.01500	0.01500	0.01470	0.26274	0.07533
P65-1	0.01469	0.01462	0.01469	0.01466	0.25009	0.06740
P35-2	0.01608	0.01557	0.01615	0.01594	0.32274	0.08931
P45-2	0.01891	0.01867	0.01837	0.01865	0.35239	0.15124
P55-2	0.01826	0.01765	0.01768	0.01787	0.31924	0.13184
P65-2	0.01764	0.01720	0.01760	0.01748	0.29812	0.11543
P35-3	0.02056	0.02124	0.02145	0.02108	0.42698	0.19355
P45-3	0.02045	0.02042	0.01977	0.02022	0.38197	0.18082
P55-3	0.02172	0.02131	0.02063	0.02122	0.37914	0.19173
P65-3	0.02237	0.02196	0.02227	0.02220	0.37860	0.19591
P35-4	0.02385	0.02423	0.02392	0.02400	0.48602	0.25260
P45-4	0.02405	0.02409	0.02412	0.02409	0.45510	0.25395
P55-4	0.02671	0.02671	0.02702	0.02681	0.47916	0.29176
P65-4	0.02578	0.02516	0.02523	0.02539	0.43309	0.25040

(資料來源：本研究自行整理)

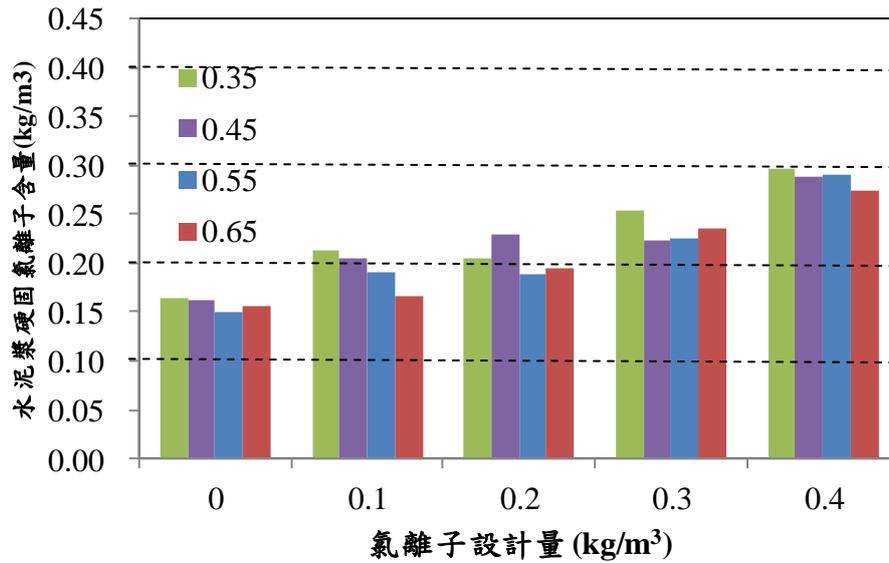


圖 5-74 水泥漿硬固游離氯離子含量關係圖

(資料來源：本研究自行整理)

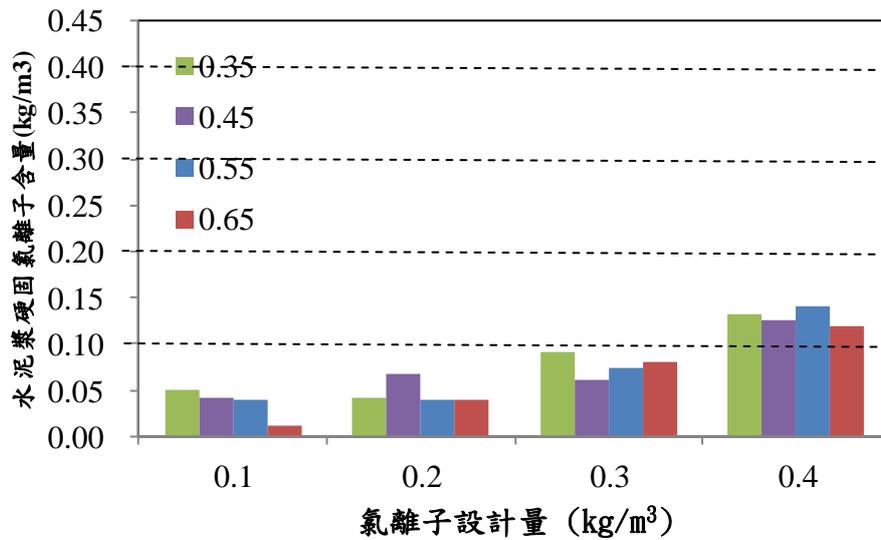


圖 5-75 扣除控制組後水泥漿硬固游離氯離子含量關係圖

(資料來源：本研究自行整理)

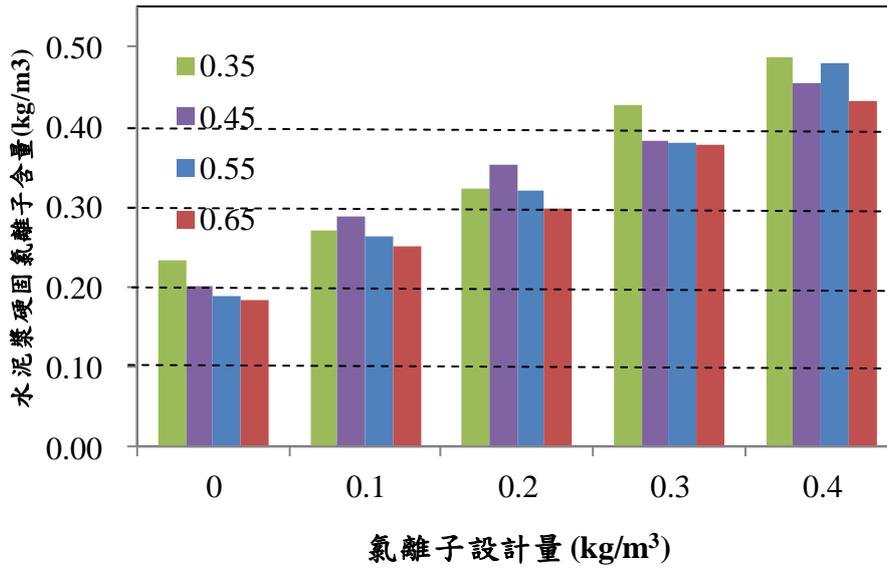


圖 5-76 水泥漿硬固總氯離子含量關係圖

(資料來源：本研究自行整理)

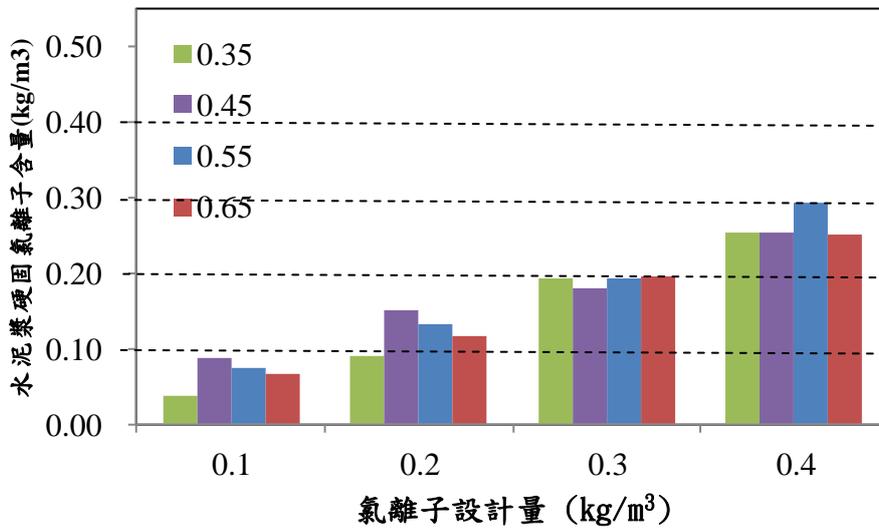


圖 5-77 扣除控制組後水泥漿硬固游離氯離子含量關係圖

(資料來源：本研究自行整理)

本土性硬固混凝土氯離子含量標準與檢測方法之研究

圖 5-78 比較水泥漿硬固水溶法與酸溶法試驗結果的差異性，由圖中可以發現所有水泥漿配比水溶法游離性氯離子均低於酸溶法總氯離子。根據計算，水泥漿配比水溶法試驗結果為酸溶法的 58.64% 至 85.26%，平均值為 67.35%，與上節 67.05% 水泥砂漿試驗結果接近。

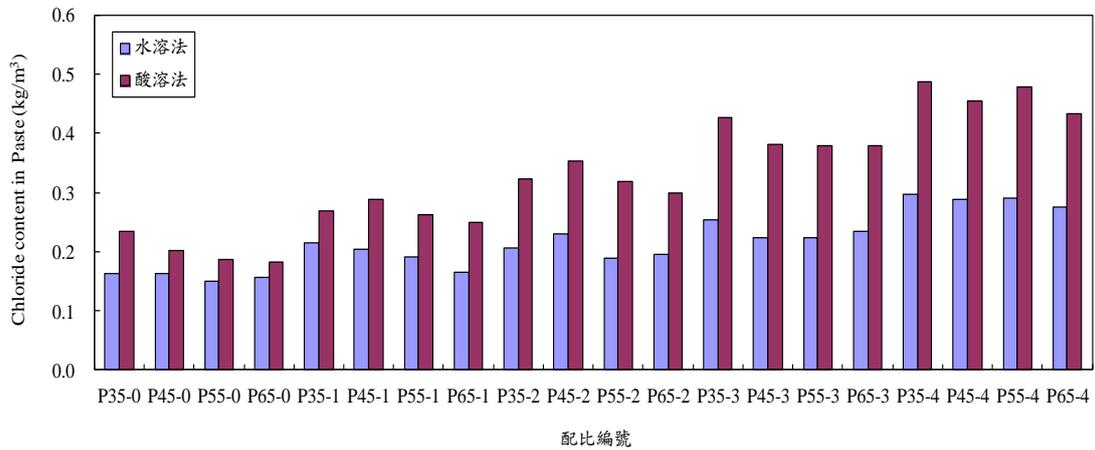


圖 5-78 各配比水泥漿硬固水溶法與酸溶法氯離子含量關係圖

(資料來源：本研究自行整理)

第六章 硬固混凝土氯離子建議規範訂定

由上述各種水灰比與不同骨材含量的 60 組混凝土配比新拌與硬固混凝土氯離子試驗結果，本章將就其關聯性與參考國外試驗標準，訂定我國硬固混凝土氯離子建議規範。

第一節 氯離子新拌與硬固混凝土試驗結果關聯性

將第五章所得新拌與硬固混凝土試驗結果進行探討。圖 6-1 為新拌與水溶法硬固混凝土氯離子試驗結果關係圖，圖 6-2 為新拌與酸溶法硬固混凝土氯離子試驗結果關係圖。圖中菱形標記為配比設計沒有添加氯離子的混凝土，圓形標記為添加氯離子的混凝土，需線代表的是數據線性迴歸結果，圖 6-1 線性迴歸結果相關係數 R^2 為 0.831，圖 6-2 的 R^2 為 0.898，表示酸溶法硬固與新拌混凝土氯離子含量的關係較水溶法佳。圖 6-3 為酸溶與水溶法硬固混凝土氯離子含量關係，由圖中發現 R^2 為 0.789，由於相關係數以低於 0.8，表示兩者關係有一定差距。

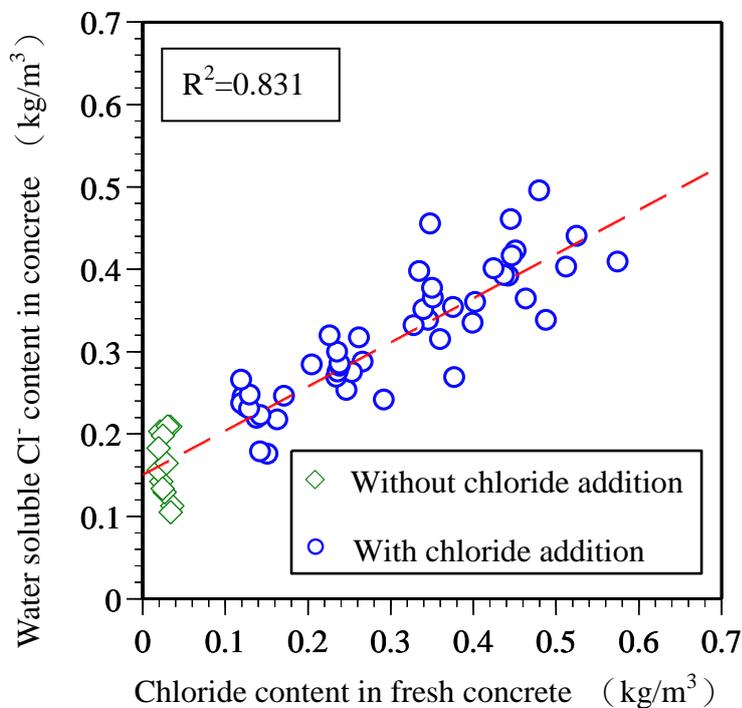


圖 6-1 水溶法硬固與新拌混凝土氯離子含量關係圖

(資料來源：本研究自行整理)

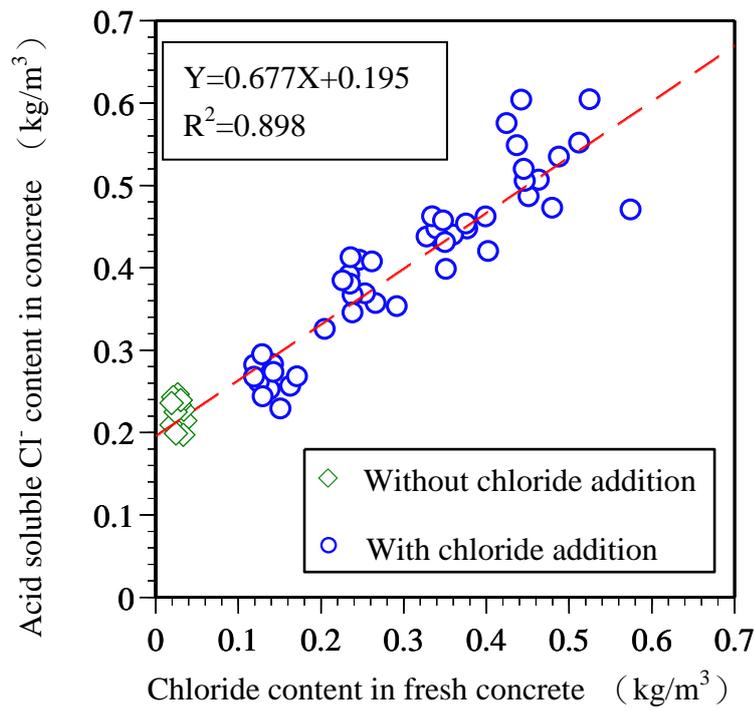


圖 6-2 酸溶法硬固與新拌混凝土氯離子含量關係圖

(資料來源：本研究自行整理)

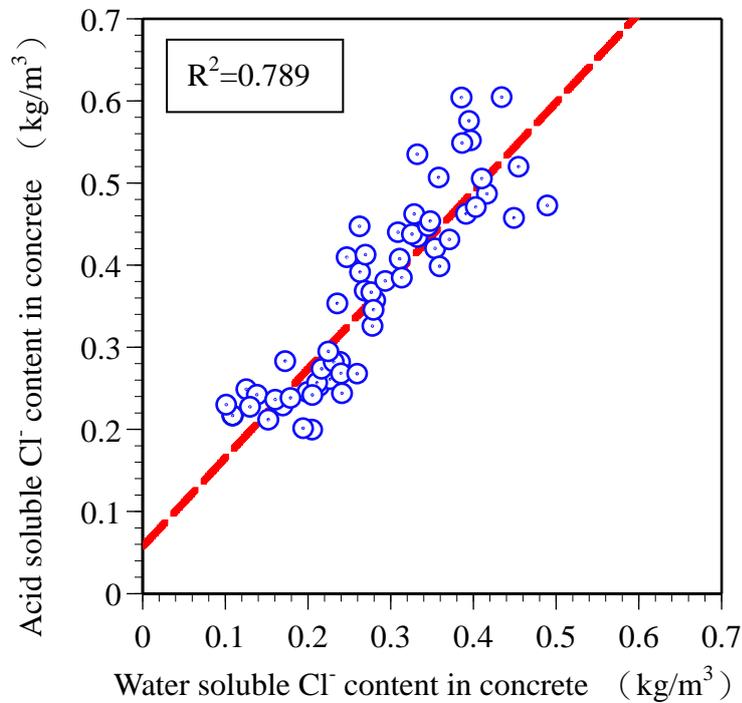


圖 6-3 酸溶與水溶法硬固混凝土氯離子含量關係圖

(資料來源：本研究自行整理)

分析試驗結果可以發現，水溶法在未添加氯離子的混凝土，試驗結果關係較為分散，但酸溶法在未添加氯離子混凝土試驗結果上則較為集中。而整體上水溶法試驗結果與線性關係虛線分布較為分散。而酸溶法的試驗結果較為接近線性關係虛線，但當新拌混凝土氯離子含量大於 0.4 kg/m^3 以上，試驗數值會較為分散。因此若以統計製程管制 (Statistical Process Control) 來看，若把所有添加相同氯離子濃度的配比視為同一組，每個配比共檢測 3 個試樣，因此符合 Xbar-R 管制圖樣本數的要求。圖 6-4 至圖 6-8 為水溶法硬固氯離子含量試驗結果的管制圖。圖中兩條虛線為管制線，即樣本平均數 $\pm 3\sigma$ (6 標準差) 範圍界限，可表示 99.7% 之樣本平均數 (3 個試樣值的平均值) 期望落在管制範圍內。由圖中可以明顯發現 C35-0-X、C35-0-Y、C65-0-Y、C35-0-Z、C45-0-Z、C55-0-Z、C35-1-X、C45-1-X、C65-1-Z、C35-2-Y、C35-3-X、C65-3-Z、C35-4-X、C45-4-X、C65-4-Y 與 C45-4-Z，共 16 個配比明顯落在管制範圍外。未添加氯離子 12 個配比中有 1 半的氯離子結果落在界限外，且各添加量均有配比結果落在範圍界限外，與圖 6-1 的結果可呼應。圖 6-9 至圖 6-13 為酸溶法硬固氯離子含量試驗結果的管制圖。圖中發現 C35-1-X、C65-2-X、C55-3-Y、C55-4-X、C65-4-X、C65-4-Z、C35-4-Z 與 C45-4-Z，共 8 個配比明顯落在管制範圍外，其中以高添加量 0.4 kg/m^3 的配比居多，12 個配比中有 1/3 的氯離子結果落在界限外。

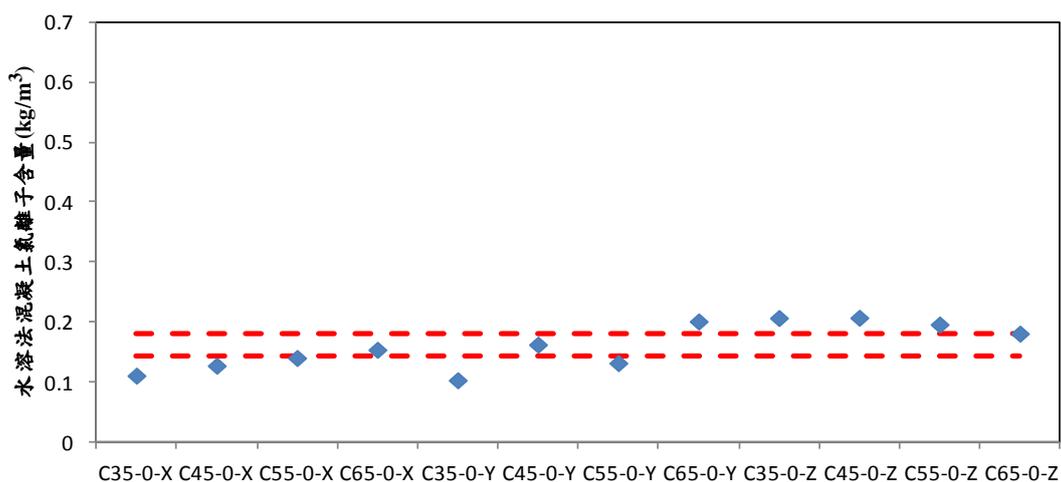


圖 6-4 本研究水溶法硬固混凝土氯離子量測管制圖 (氯離子添加量 0 kg/m^3)
(資料來源：本研究自行整理)

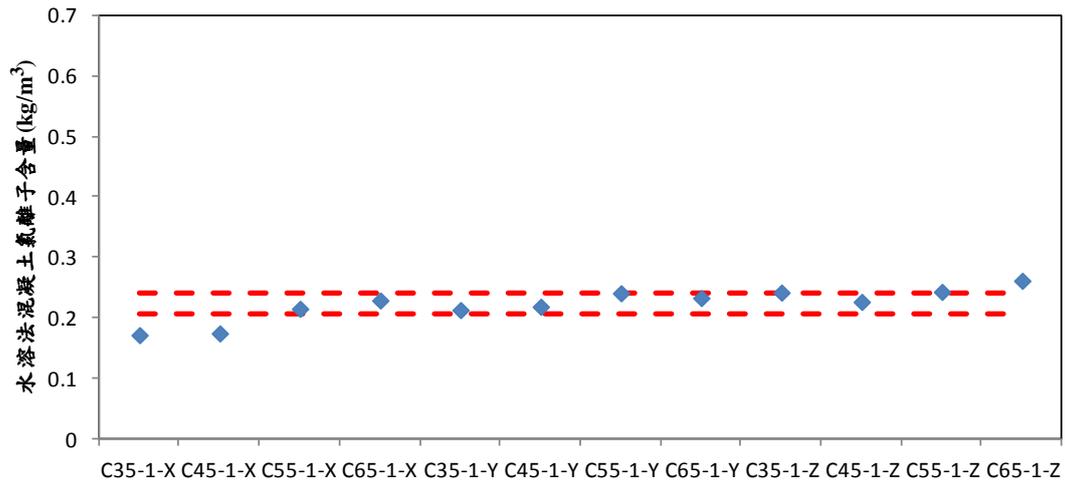


圖 6-5 本研究水溶法硬固混凝土氯離子量測管制圖（氯離子添加量 0.1 kg/m^3 ）

（資料來源：本研究自行整理）

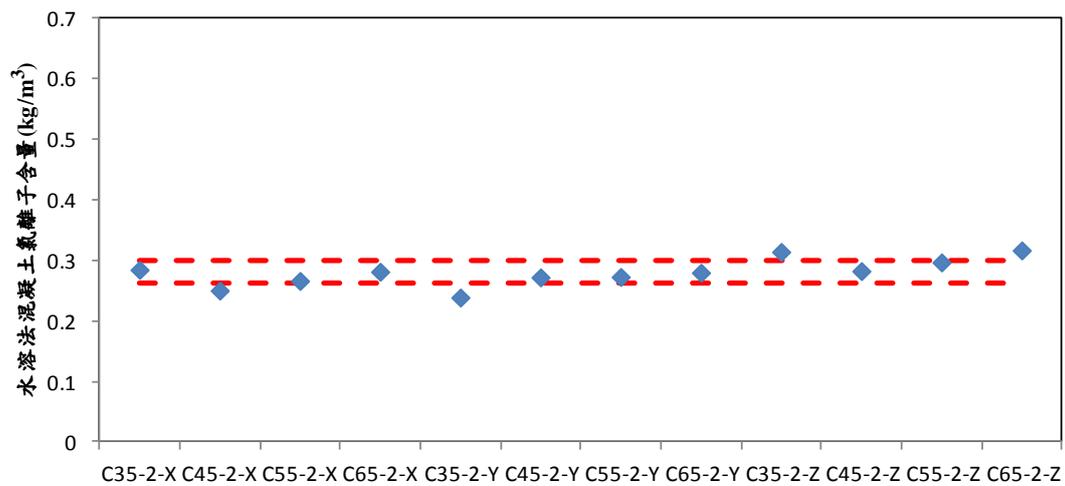


圖 6-6 本研究水溶法硬固混凝土氯離子量測管制圖（氯離子添加量 0.2 kg/m^3 ）

（資料來源：本研究自行整理）

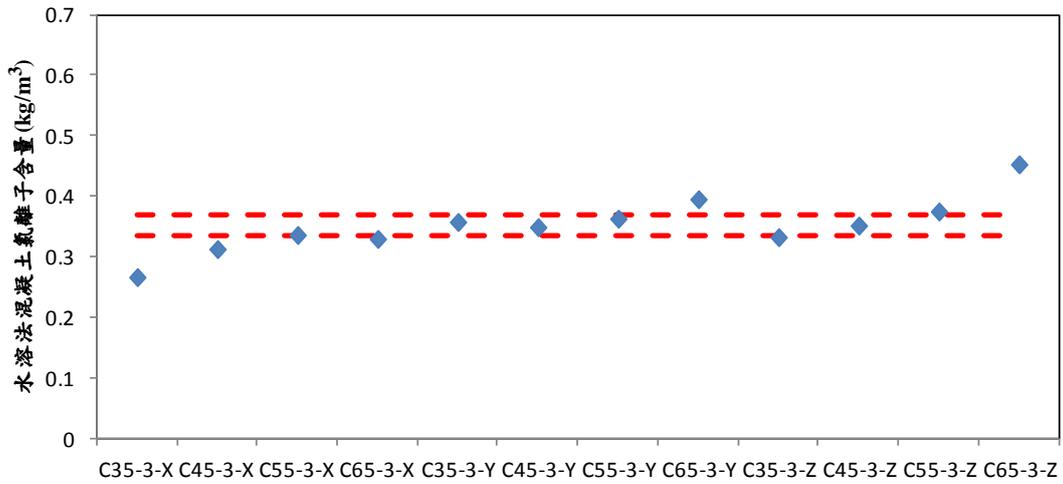


圖 6-7 本研究水溶法硬固混凝土氯離子量測管制圖 (氯離子添加量 0.3 kg/m^3)
(資料來源：本研究自行整理)

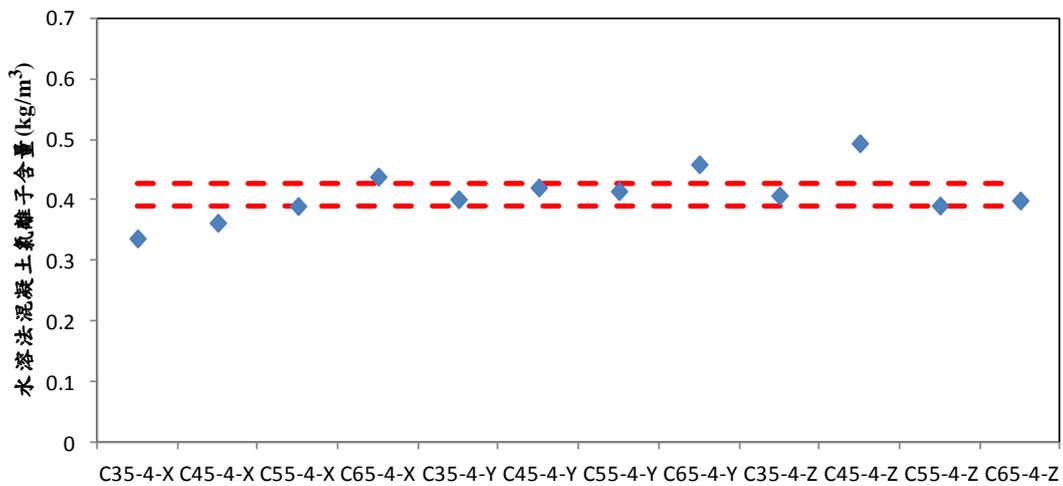


圖 6-8 本研究水溶法硬固混凝土氯離子量測管制圖 (氯離子添加量 0.4 kg/m^3)
(資料來源：本研究自行整理)

本土性硬固混凝土氯離子含量標準與檢測方法之研究

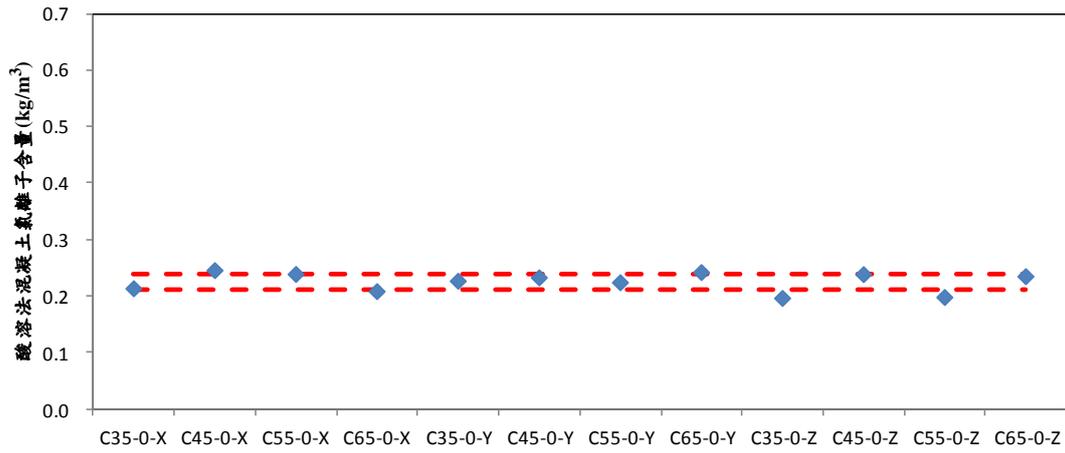


圖 6-9 本研究酸溶法硬固混凝土氯離子量測管制圖 (氯離子添加量 0 kg/m^3)
(資料來源：本研究自行整理)

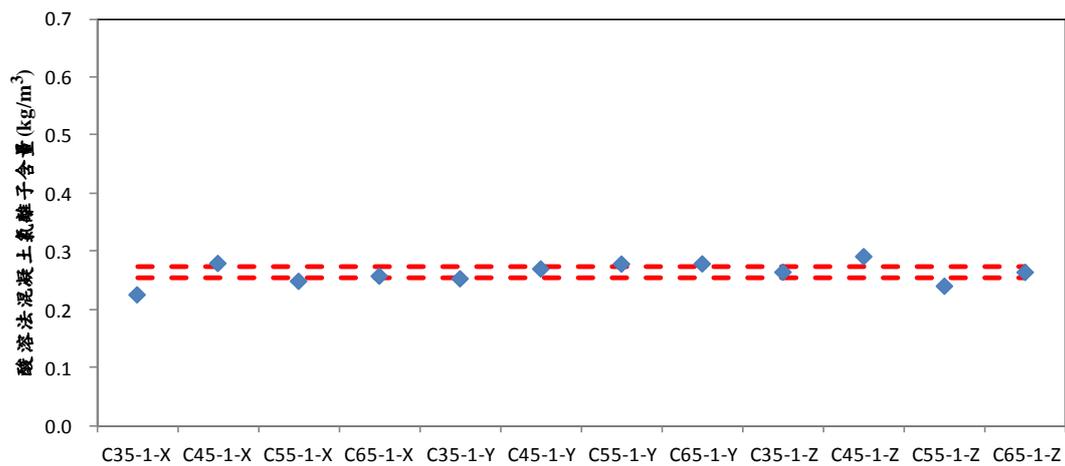


圖 6-10 本研究酸溶法硬固混凝土氯離子量測管制圖(氯離子添加量 0.1 kg/m^3)
(資料來源：本研究自行整理)

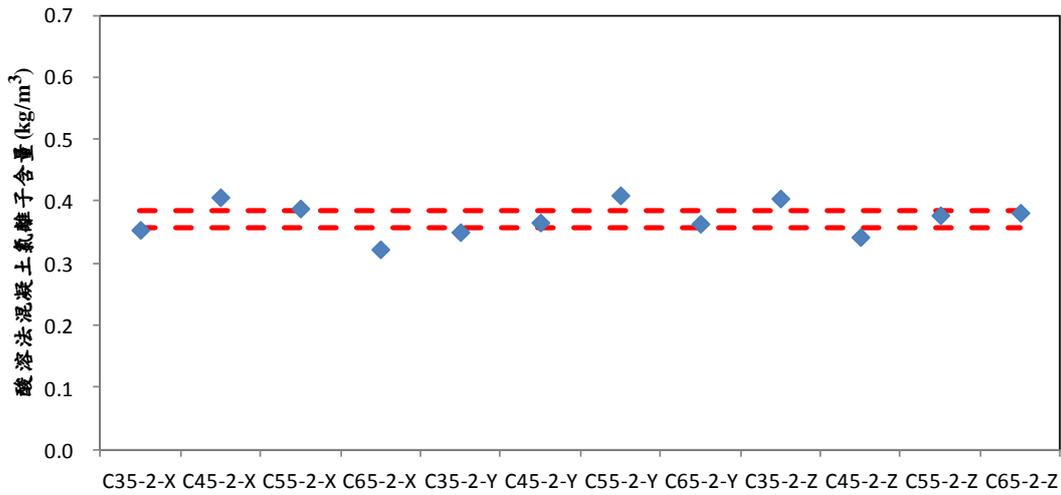


圖 6-11 本研究酸溶法硬固混凝土氯離子量測管制圖(氯離子添加量 0.2 kg/m^3)
(資料來源：本研究自行整理)

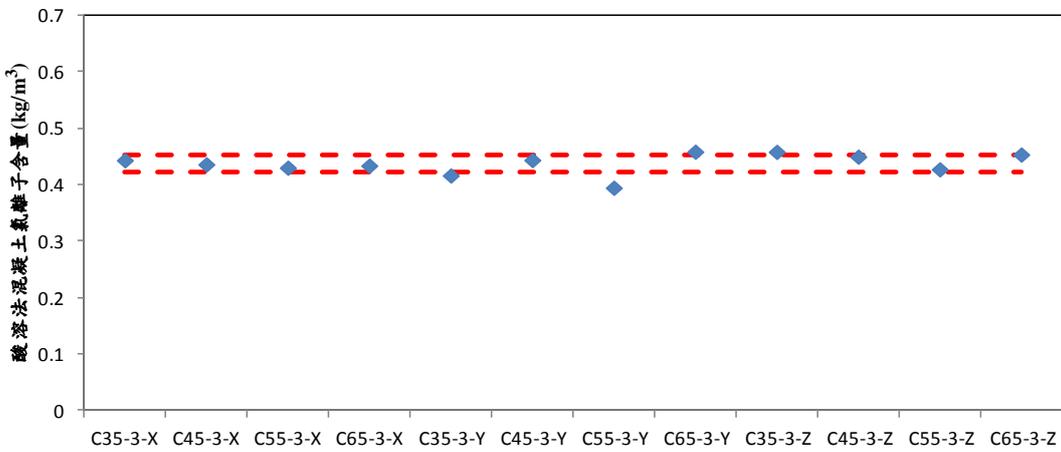


圖 6-12 本研究酸溶法硬固混凝土氯離子量測管制圖(氯離子添加量 0.3 kg/m^3)
(資料來源：本研究自行整理)

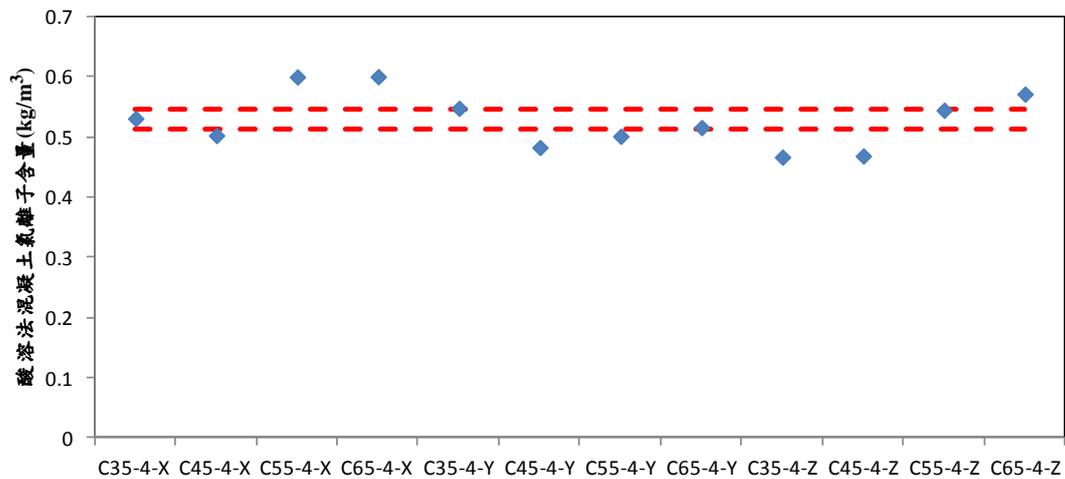


圖 6-13 本研究酸溶法硬固混凝土氯離子量測管制圖(氯離子添加量 0.3 kg/m^3)
(資料來源：本研究自行整理)

因此，當圖 6-2 酸溶法試驗結果排除前述落在管制線範圍外 8 個配比後，52 個配比酸溶法試驗結果與新拌混凝土氯離子試驗結果關係圖如圖 6-14 所示。圖中相關係數 $R^2=0.940$ 已大於 0.9。而其線性迴歸方程式 $Y=0.677X+0.197$ 與圖 6-2 $Y=0.677X+0.195$ 相差不大，若將小數點第三位四捨五入，則均為相同的 $Y=0.68X+0.20$ 。

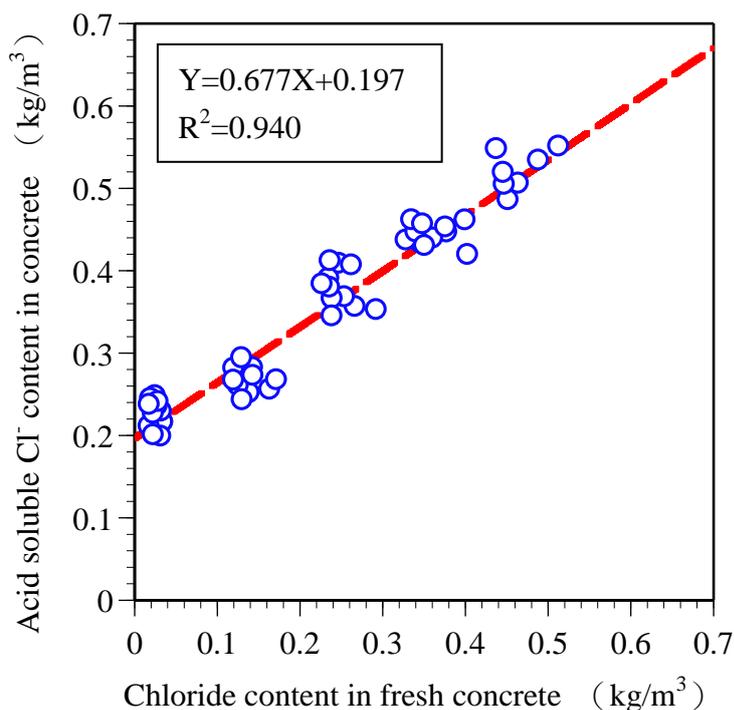


圖 6-14 排除落在管制線外配比後酸溶法硬固與新拌混凝土氯離子含量關係圖
(資料來源：本研究自行整理)

第二節 硬固混凝土氯離子建議規範

目前我國僅有新拌混凝土限制規範，及於 CNS 3090 限制新拌混凝土中最大水溶法氯離子含量分別為預力混凝土小於 0.15 kg/m^3 ，預力混凝土小於 0.30 kg/m^3 。將限制值套入前述所得到的 $Y=0.68X+0.20$ ，分別為 0.302 kg/m^3 與 0.404 kg/m^3 的酸溶法硬固混凝土氯離子含量，所以若依 CNS 3090 新拌混凝土中最大水溶法氯離子含量限制，則 0.3 kg/m^3 至 0.404 kg/m^3 ，會有一段爭議區域。如果比較直接以酸溶法混凝土含量做為規範的國家，則如表 6-1 所示。由表中可以發現 0.404 kg/m^3 的酸溶法硬固混凝土氯離子含量會與美國佛羅里達州規範 RC 酸溶法混凝土氯離子含量小於 0.42 kg/m^3 接近，而我國 CNS 14702 與 ASTM C1218 標準方法相同，ASTM C1218 源自於 AASHTO T260 (FM 5-516)，所已試驗方法較為接近，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 。

表 6-1 水泥漿配比游離氯離子含量試驗結果

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

(資料來源：本研究自行整理)

而當硬固混凝土氯離子含量限制於 0.4 kg/m^3 時，若假設混凝土每立方用量為水泥 300 至 600 kg/m^3 ，則換算單位水泥用量為 0.133% 至 0.066%，遠低於歐盟水泥用量 0.4% 規定，也低於 ACI 318 位於乾燥環境的 RC 小於 0.2% 規定。而本計畫不建議採大多規範以混凝土單位水泥用量做為標準的原因在於舊有結構物混凝土配比設計很難由資料獲得，且若由 CNS 1175 方法去分析硬化混凝土之水泥含量其方法繁雜，可能會產生誤差，我國亦沒有太多實驗室具有進行此項試驗的能力，因此建議仍採酸溶法硬固混凝土氯離子含量為規範較為適合。未來亦建議建管與工程單位，在各建築物竣工送審時需於圖說上檢附混凝土配比相關資訊。而此基準訂定未來影響之施工規範有公共工程委員會施工綱要「第 03050 章混凝土基本材料及施工一般要求」與內政部營建署「結構混凝土施工規範」，其他規範則由上述兩種規範中引用。

第三節 硬固混凝土氯離子現場量測方式模擬

由於舊有劣化結構於建築時混凝土配比資訊很難取得，所以本研究 60 組混凝土配比均在實驗室中進行，如圖 6-15 所示。為建立現場量測方式，因此本研究隨機抽樣 1 個配比，並製作成 30 cm×30 cm×10cm 方型試體。於 28 天養護後，於同一塊試體進行 9 個區域直徑 2.5 cm 高 10cm 鑽心取樣以模擬現場量測情形。為避免鑽心試樣的週邊受到水洗的影響，因此以乾切方式將週邊切除。切成後的 9 個試樣，如圖 6-16 所示。每個區塊鑽心試樣粉碎研磨後，分成 3 個粉末樣本進行酸溶法氯離子量測，表 6-2 為試驗結果。表 6-3 為試驗結果全距值試驗結果。對 CNS 14702 而言，認為酸溶法於單一實驗室之標準差(1s)為 0.0015% 氯離子。由於每個區塊鑽心試樣會分成 3 個粉末樣本進行試驗。所以依據 CNS 14704「營建材料試驗法之精密度與偏差」規定，多於兩個結果之允收全距為 3.3 倍 1s (即全距值需小於 0.00495%)。由表 6-3 發現個別組別全距最大為 0.00158%，均遠小於 0.00495%，因此若就單一組別討論，則所有值均可符合標準。但以個別測定值之平均以獲得試驗結果之精準度而言，其允收全距為 5.7 倍 1s (即全距值需小於 0.00855%)。則 9 個鑽心試樣的全距 0.01387% 已高於 0.00855%，表示 9 個鑽心試樣中有些數據因為誤差產生了偏離。

因此若將允收全距 5.7 倍 1s 做為管制界限範圍，則 9 個鑽心試樣的平均值 ± 2.85 倍 1s 便為本試驗可接受的標準，圖 6-17 為 9 個鑽心試樣的管制圖。圖中最外圍 2 條虛線代表 5.7 倍 1s 管制範圍，內部 2 條虛線代表 3.3 倍 1s 管制範圍。由圖中可以發現有 2 個值明顯落在 5.7 倍 1s 管制界限外，而其餘 7 個鑽心試樣則在 3.3 倍 1s 管制範圍內。表示 9 個鑽心試樣中有 2 個是誤差太大的試樣，佔整體的 22.22%。因此若取 2 個試樣可能會發生落在 5.7 倍 1s 管制界限外無法判斷的情形。而 3 個則至少會有 2 個值在管制界限範圍內，即達到允收標準之要求。所以本研究建議可將鑽心試樣數量訂為至少 3 個。



圖 6-15 30 cm*30 cm* 10 cm 方型試體製作情形

(資料來源：本研究自行整理)



(a)



(b)

圖 6-16 模擬現場量測取樣方式 (a) 上視圖；(b) 側視圖

(資料來源：本研究自行整理)

表 6-2 模擬現場量測方式酸溶法氯離子含量試驗結果

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)
1	0.03260	0.03219	0.03349	0.03260	0.76408
2	0.02419	0.02381	0.02261	0.02419	0.54903
3	0.02246	0.02194	0.02215	0.02246	0.51733
4	0.02462	0.02492	0.02472	0.02462	0.57732
5	0.01873	0.01917	0.01907	0.01873	0.44292
6	0.02405	0.02454	0.02340	0.02405	0.55971
7	0.02271	0.02319	0.02319	0.02271	0.53714
8	0.02558	0.02496	0.02424	0.02558	0.58139
9	0.02192	0.02168	0.02110	0.02192	0.50307

(資料來源：本研究自行整理)

表 6-3 模擬現場量測方式試驗結果精密度檢核

編號	試樣 1 (%)	試樣 2 (%)	試樣 3 (%)	氯離子含量 平均值 (%)	個別組別 全距 (%)	平均值全 距 (%)
1	0.03260	0.03219	0.03349	0.03260	0.00131	0.01387
2	0.02419	0.02381	0.02261	0.02419	0.00158	
3	0.02246	0.02194	0.02215	0.02246	0.00052	
4	0.02462	0.02492	0.02472	0.02462	0.00031	
5	0.01873	0.01917	0.01907	0.01873	0.00045	
6	0.02405	0.02454	0.02340	0.02405	0.00113	
7	0.02271	0.02319	0.02319	0.02271	0.00048	
8	0.02558	0.02496	0.02424	0.02558	0.00134	
9	0.02192	0.02168	0.02110	0.02192	0.00082	

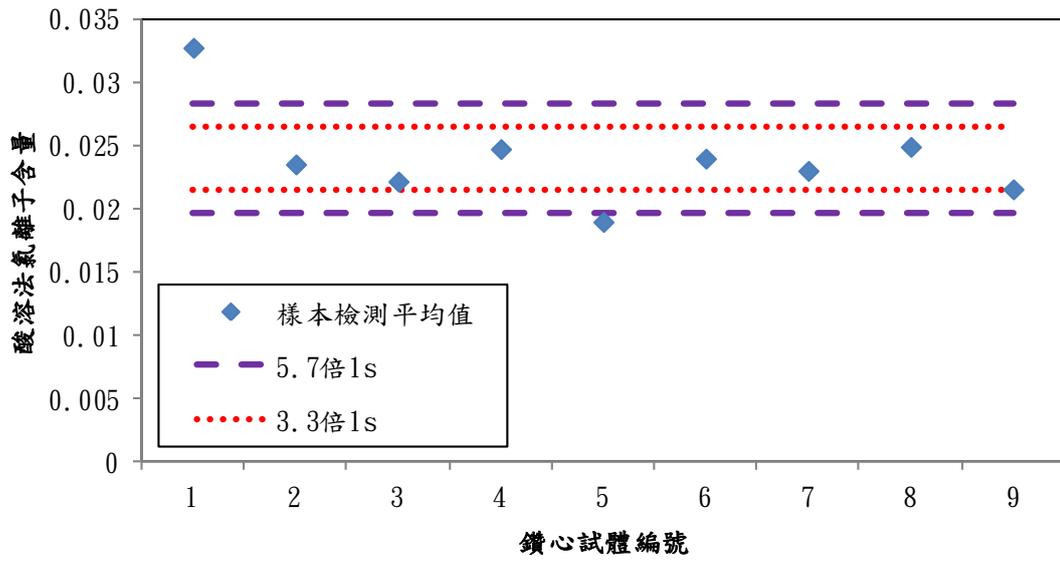


圖 6-16 模擬現場量測方式氯離子含量試驗管制圖

(資料來源：本研究自行整理)

第七章 結論與建議

第一節 結論

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，並自行增加 30 組混凝土配比與 30 組水泥砂漿配比，以期完整探討建立新拌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。相關試驗結論發現說明如下。

1. 由抗壓強度試驗結果發現，添加氯化鈉的混凝土配比大部分均低於未添加配比，以氯離子添加量 0.4 kg/m^3 水灰比 0.45 粗骨材用量 $0.40 \text{ m}^3/\text{m}^3$ 的差異最大，可達 27%。水灰比 0.55 與 0.65，無論任何骨材用量均在 13% 折減率以上。水泥砂漿亦有類似的試驗成果。
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，各配比無論骨材含量為何均有骨材含量背景值，推估其來源為水泥中的氯鹽析出。而粗骨材用量對本研究新拌混凝土氯離子含量的影響並不明顯。
3. 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，以水灰比較高的 0.55 與 0.65 有較多的游離氯離子。而以骨材含量而言， $0.45 \text{ m}^3/\text{m}^3$ 有較多的游離氯離子。對酸溶法氯離子試驗結果而言，粗骨材用量對本研究混凝土總氯離子含量的影響並不明顯，而且差異並不大。
4. 所有水泥砂漿配比酸溶法得到之總氯離子均大於水溶法游離氯離子，水溶法約為酸溶法的 67.05%。相較於混凝土的平均值 75.62%，有偏小之趨勢。
5. 水泥砂漿水溶法為混凝土水溶法 149.37% 至 61.82%，60 對組合中有 24 對大於 100%，平均為 97.82%；水泥砂漿酸溶法為混凝土酸溶法 157.97% 至 71.13%，60 對組合中有 49 對大於 100%，平均為 113.17%。
6. 水泥漿配比水溶法試驗結果為酸溶法的 58.64% 至 85.26%，平均值為 67.35%，

與水泥砂漿試驗結果接近。

7. 由水溶法硬固混凝土氯離子含量試驗結果的管制圖發現，60 個配比中 1 的 6 個配比明顯落在管制範圍外。未添加氯離子 12 個配比中有 1 半的氯離子結果落在 6 標準差界限外，且各添加量均有配比結果落在範圍 6 標準差界限外。而由酸溶法硬固氯離子含量試驗結果管制圖發現有 8 個配比明顯落在管制範圍外，其中以高添加量 0.4 kg/m^3 的配比居多，12 個配比中有 1/3 的氯離子結果落在 6 標準差界限外。
8. 酸溶法與新拌混凝土氯離子試驗結果具有良好線性關係，當酸溶法配比排除落在管制線範圍外 8 個配比後，酸溶法與新拌混凝土氯離子試驗結果關係，明顯相關係數提高，由 0.898 提升到 0.940，且與 60 個配比線性迴歸方程式相比，差異性相當小，因此兩者關係式可為 $Y=0.68X+0.20$ 。
9. 以 CNS 3090 對新拌混凝土氯離子限制，依酸溶法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 。
10. 經模擬現場取樣試驗後發現約 22.2% 樣本有可能會落在發生落在 5.7 倍 1s 管制界限外。因此建議可將鑽心試樣數量訂為至少 3 個。

第二節 建議

建議一

(建議主題)：立即可行建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：內政部營建署

建議我國的硬固混凝土氯離子含量規範可採酸溶法進行，並將限制量訂為 0.4 kg/m^3 。但宜再經過鋼筋腐蝕速率、結構物使用年限及對力學(含耐震)性能評估方可確定。

建議二

(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

建議未來建管與工程單位，在各建築物竣工送審時需於圖說上檢附混凝土配比相關資訊。

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

建議內政部建研所未來可進行長久曝曬與含氯量對鋼筋混凝土構材劣化之研究。

參考文獻

1. Meira, G. R., Andrade, C., Alonso, C., Borba Jr., G. R., Padilha Jr., M., “Durability of concrete structures in marine atmosphere zones – The use of chloride deposition rate on the wet candle as an environmental indicator”, *Cement and Concrete Composites*, Vol 32, 2010, pp. 427-435.
2. Bulu Pradhan, B. Bhattacharjee, “Rebar corrosion in chloride environment”, *Construction and Building Materials*, Vol 25, 2011, pp. 2565-2575.
3. 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.
4. CNS 3090, “預拌混凝土”, 中國國家標準, 1994.
5. CNS 13465, “新拌混凝土中水溶法氯離子含量試驗法”, 1995.
6. 民視新聞報導, “台北縣三重市海砂屋, 150 戶搏命住危樓”, 雅虎資訊, <http://tw.news.yahoo.com/article/url/d/a/101021/11/2fdrl.html>, 2010.
7. McGrath, P., and Hooton, R. D., “Re-Evaluation of the AASHTO T259 90-Day Salt Ponding Test”, *Cement and Concrete Research*, 1999, Vol. 29, pp.1239-1248.
8. Andrade, C., “Calculation of chloride diffusion coefficients in concrete from ionic migration measurements”, *Cement and Concrete Research*, 1993, Vol.23, pp. 724-742.
9. Wee, T. H., Suryavanshi, A. K., and Tin, S. S., “Evaluation of rapid chloride permeability test (RCPT) results for concrete containing mineral admixture”, *ACI Materials Journal*, Vol. 97, No. 2, 2000, pp.221-232.
10. Detwiler, R. J., Kjellsen, O. K., and Gjovrv, O. E., “Resistance to Chloride Intrusion of Concrete Cured at Different Temperatures”, *ACI Materials Journal*, Vol.88, 1991, pp.19-24.
11. Yang, C.C., and Cho, S.W., “The relationship between chloride migration rate for concrete and electrical current in steady state using the accelerated chloride migration test”, *Materials and Structures*, Vol.37, 2004, pp.456–463.
12. Yang, C.C., and Cho, S.W., “Approximate migration coefficient of percolated interfacial transition zone by using the accelerated chloride migration test”, *Cement and Concrete Research*, Vol.35, 2005, pp. 344–350.
13. Yang, C.C., Cho, S.W. Wang, L. C., “The relationship between pore structure and chloride diffusivity from ponding test in cement-based materialst”, *Materials Chemistry and Physics*, Vol.100, 2006, pp203–210.
14. Ueli Angst, Bernhard Elsener, Claus K. Larsen, Øystein Vennesland, “Critical

- chloride content in reinforced Concrete— A review”, *Cement and Concrete Research*, Volume 39, 2009, pp. 1122-1138.
15. 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.
 16. 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.
 17. CNS 61, “卜特蘭水泥”, 中國國家標準, 2005.
 18. ASTM C114, “Standard Test Methods for Chemical Analysis of Hydraulic Cement”, ASTM International, 2011.
 19. CNS 1240, “混凝土粒料”, 中國國家標準, 2009.
 20. Mehta, P. K., and Monteiro, P. J. M., “Concrete-structure, properties, and materials”, Prentice Hall, pp.17-29, 1993
 21. Page, C. L., Short, N. R. and Tarras, A. E., “Diffusion of Chloride ions in hardened cement paste”, *Cement and Concrete Research*, Vol. 11, 1981, pp.395-406.
 22. Arsenault, J., Bigas, J. P., Ollivier, J. P., “Determination of chloride diffusion coefficient using two different steady-state methods: influence of concentration gradient”, *Chloride Penetration into Concrete, Proceedings of the International RILEM Workshop*, pp.150-160, 1995.
 23. Simeonov, P., and Ahmad, S., “Effect of Transition Zone on the Elastic Behavior of Cement-based Composites”, *Cement and Concrete Research*, Vol.25, No.1, pp.165-176, 1995.
 24. Yang, C.C., and Cho, S.W., “Approximate migration coefficient of percolated interfacial transition zone by using the accelerated chloride migration test”, *Cement and Concrete Research*, Vol.35, pp.344-350, 2005.
 25. Seng, C., Zhang, M. H., “Water permeability and chloride penetrability of high-strength lightweight aggregate concrete”, *Cement and Concrete Research*, Vol.32, pp. 639-645, 2002.
 26. Enevoldsen, J. N., 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.
 27. CNS 14702, “硬固水泥砂漿及混凝土中酸溶法氯離子含量試驗法”, 中國國家標準, 2002.

28. CNS 14703, "硬固水泥砂漿及混凝土中水溶法氯離子含量試驗法", 中國國家標準, 2002.
29. Schießl, P, "Draft recommendation for repair strategies for concrete structures damaged by reinforcement corrosion", Materials and Structures Vol.27, pp.415-436, 1994.
30. RILEM TC 178-TMC, "Analysis of total chloride content in concrete", Materials and Structures, Vol.35, pp.583-585, 2002.
31. DIN EN 206, "Specification, performance, production and conformity", German Institute for Standardization, 2001.
32. DIN EN 480-10, "Admixtures for concrete. mortar and grout - Test methods - Part 10: Determination of water soluble chloride content, 2010.\
33. NS 3420, "Specifications for buildings and construction", Norway Standards, 1986.
34. NT Build 208, "Concrete, Hardened: Chloride Content by Volhard Titration, Nordtest Method, 2007.
35. BS EN 206-1 "Eurocode 2. Design of concrete structures. General rules and rules for buildings", British-Adopted European Standard, 2004.
36. BS 1881-124 "Methods of Testing Concrete Part 124: Methods for Analysis of Hardened Concrete", British-Adopted European Standard, 2004.
37. JASS 5 "鋼筋混凝土工程", 日本建築學會, 2009.
38. JIS A1154 "硬化コンクリート中に含まれる塩化物イオンの試験方法", 日本工業標準, 2003.
39. FDOT Standard, "FDOT Standard Specifications for Road and Bridge Construction", Florida Department of Transportation, 2010.
40. FM 5-516, "Determining Low Levels of Chloride in Concrete and Raw Materials", Florida Department of Transportation, 2009.
41. Clear, K.C. Time-to-Corrosion of Reinforcing Steel in Concrete Slabs. FHWA-RD-76-70. Federal Highway Administration, Washington, D.C., 1976.
42. AASHTO T260, "Sampling and Testing for Chloride Ion in Concrete and Concrete Raw Materials", American Association of State Highway and Transportation Officials, 2009.
43. ACI 318, "Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary", American Concrete Institute, 2008.
44. ASTM C1218, "Standard Test Method for Water-Soluble Chloride in Mortar and Concrete", American Society for Testing and Materials, 2008.
45. ACI 222, "Guide to Design and Construction Practices", American Concrete Institute, 1993.

46. ASTM C1152, "Standard Test Method for Acid-Soluble Chloride in Mortar and Concrete", American Society for Testing and Materials, 2004.
47. AS 3972. Concrete Structures,, Standards Australia, Sydney, 2009.
48. AS 1012.20 Determination of chloride and sulfate in hardened concrete and concrete aggregates, Standards Australia, Sydney, 1992.
49. AS 2758.1 Aggregates and rock for engineering purposes. Part 1: Concrete aggregates, Standards Australia, Sydney, 1998.
50. NZS 3101, Concrete Structures Standard, Standards New Zealand, 2006.

附錄 1 (期中報告委員意見回覆)

委員	審查委員意見	研究團隊回應	對應報告之章節
中華民國全國建築師公會	1. 研究內容對現在或未來納入法規後，影響之施工規範有哪些，請列表整理。	1. 依委員建議於期末報告進行整理。	第六章第二節
中華民國結構技師公會全聯會	1. 簡報資料第 5 頁提到取樣過篩為過#20 篩，但在第 10 頁則為過#50 篩，請確認。 2. 報告書第 69 頁第一段「...其中 12 組混凝土與 20 組...，其餘 18 組混凝土與 17 組...」，是否為「...其餘 18 組混凝土與 10 組...」，請確認。 3. 報告第 21 頁，氯離子含量變數乙段之文意請修飾。	1. #20 篩為 CNS 標準，#50 篩為 AASHTO 標準。 2. 感謝委員指正，係為筆誤，將於期末報告修正。 3. 依委員建議於期末報告進行修飾。	第三章第三節與第四章第一節
台灣省建築材料商業同業公會聯合會	1. 蒐集各國混凝土氯離子含量標準，建議請以我國鄰近之日本、新加坡、韓國、中國大陸、菲律賓等國，作為參考比較即可。 2. 請增加目前國內混凝土材料耐久性參數之現況調查與研究。	1. 依委員建議，將蒐集較先進之日本等國標準。 2. 本計畫主要目的為氯離子檢測方法訂定，國內混凝土材料耐久性參數之現況調查與研究並不在本研究範圍，將建議未來研究之參考。	第三章第二節、第三章第三節
石正義建築師	1. 試驗組數及研究目的均較原有預期項目為多，值得鼓勵。 2. 報告書第 22 頁提到「欲藉由硬固混凝土組成逆向分析水泥含	1. 感謝委員鼓勵。 2. 依委員建議刪除硬固混凝土組成與水泥含量之逆向分析。	已刪除

	<p>量並比對與配比水泥量設計的差異性。」在期中報告尚未見此部份的研究成果，僅有酸洗法及水溶法試驗探討氯離子含量。若期末前不會進行硬固混凝土組成之逆向分析，建議此段刪除。</p>		
<p>邱昌平 顧問</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 我國 CNS 規範對氯離子含量之規定與 JIS 相同，皆以每立方米混凝土中氯離子含量應低於 0.15kg(預力混凝土)或 0.3kg(一般混凝土)。由於取樣、顎碎、過篩、磨粉、萃取等過程之要求或標準作法不夠明確，可能造成分析結果之甚大誤差。本研究針對此些問題，以試驗室之方法逐一去探討，期能獲得一些較有準確性之作法，目前之研究成果尚屬良好。 2. 若建築物之混凝土配比從設計圖中得知，可考慮只就水泥砂漿去做顎碎、過篩、磨粉、萃取、分析再換算。 3. 報告書表 5-8 及表 5-9 中，試驗結果最後一項「換算混凝土含量」，是否名為「換算為每立方公尺混凝土中之含量」或「每立方公尺混凝土中之含量」？ 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 依委員建議於期末報告進行分析誤差產生之原因。 2. 將列入期末報告建議供未來法令修訂之參考。 3. 受限於表格寬度，因此以「換算混凝土含量」代表「每立方公尺混凝土中之含量」，將於結果討論中說明。 	<p>第六章第二節、第五章第一節</p>

<p>沈得縣 教授</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 本報告書缺少期初審查意見及問題回應對照表，請於期末報告中，一併補正。 2. 期中報告資料蒐集詳細值得肯定，但報告書中缺少摘要部份。 3. 本計畫應探討影響硬固混凝土氯離子含量之因素，找出合理之檢測方法。 4. 本計畫應探討並驗證新拌混凝土與硬固混凝土氯離子含量之相關性與關係模式。 5. 本案提出之氯離子含量標準與檢測儀器設備及檢測方法，建議能提供標準檢測設備及作業程序。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 依委員建議於期末報告進行補正。 2. 依委員建議於期末報告進行補正。 3. 依委員建議於期末報告中探討。 4. 依委員建議於期末報告中探討。 5. 依委員建議於期末報告中提供標準檢測設備及作業程序。 	<p>附錄、摘要、第六章第一節、第四章</p>
<p>高健章 教授</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 試體之漿量比例是否與此混凝土整體之漿量比例相同，為一關鍵性因素。例如構件表層(即保護層)之漿量比例會高於混凝土整體之漿量比例。 2. 影響鋼筋腐蝕程度之因素為氯離子含量與混凝土強度(緻密性)，氯離子含量與水泥量的比值應考量上述二因素之總和加成，較能顯示氯離子之危害性。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 將以各深度鑽心取樣後之成果進行比對。 2. 本計畫主要目的為氯離子檢測方法訂定，因此鋼筋腐蝕程度、強度與氯離子關係將以文獻整理方式呈現，並建議未來建研所可規劃相關研究課題。 	<p>第六章第三節、第六章第二節</p>

<p>張大鵬 教授</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 本研究具有極高的實用性質，有助於釐清氯離子檢測結果的瞭解。 2. 數據之變異性建議在數據討論時列入。 3. 參考文獻列舉方式宜符合格式，是否需要在報告下方及最後參考文獻同時列出？另外，報告書第 20 頁之文獻 38、39 未敘明，請補正。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 感謝委員鼓勵。將持續朝研究方向努力進行。 2. 依委員建議於期末報告中探討數據之變異性。 3. 文獻 38、39 係擅打錯誤，並無此文獻，將於期末報告中一併修正。 	<p>第 五章、第六章、參考文獻</p>
<p>黃兆龍 教授</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 建議針對各國混凝土氯離子含量標準，宜全盤蒐集並加以分析。 2. 新拌混凝土與硬固混凝土氯離子含量的關聯性是否宜將水泥成分、含量多寡列為影響？ 3. 水溶性及酸溶性對鋼筋混凝土腐蝕之影響是訂定含量標準之依據，目前只訂定硬固混凝土氯離子含量其基本精神何在？而添加量是否是為 0.3kg/m^3 之含量？ 4. 除了粒料外，水泥所含 C_3A 含量及水泥用量之影響均須考量。 5. 針對材料耐久性、永續性與氯離子含量，研究團隊如何找出相關性，並且如何量化？ 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 依委員建議於期末報告中加強各國混凝土氯離子含量標準蒐集並加以分析。 2. 依委員建議於期末報告中進行探討。 3. 依委員建議於期末報告中進行探討。配比添加量已考慮超過 0.3kg/m^3 之變數。 4. 依委員建議於期末報告中蒐集相關 C_3A 含量文獻進行說明。 5. 氯離子含量與材料耐久性、永續性相關性因非本計畫此次研究範圍，相關資料將已蒐集文獻並正理後呈現。 	<p>第三章、第六章</p>
<p>王亭復 技師</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 對混凝土有害的氯離子含量究竟以水溶法或酸溶法為標準較正確？被水化生成物吸附的氯離子是否有害混凝土強度及鋼筋之腐蝕？ 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 對混凝土有害的氯離子主要為游離性自由氯離子。 2. 水溶性法及酸溶性法係混凝土萃取氯離子的過程。而吸光光度分析與一 	<p>第七章</p>

	<p>2. 國家標準中氯離子含量測定法尚包括「吸光度分析氯離子含量及簡易測定器法」,其含氯標準與上述水溶性法及酸性法之差異性如何?</p> <p>3. 按照初步研究結論,新拌混凝土的氯離子含量較硬固混凝土者為高,此與國家標準相符,若長久曝曬於空氣中之硬固混凝土,則又如何?含氯量要多少才會致使構材劣化?</p>	<p>般常用的電位滴定法功能相同均為氯離子含量分析方法。</p> <p>3. 長久曝曬於空氣中之硬固混凝土與本身孔隙結構與氯離子擴散係數有關。含氯量要多少才會致使構材劣化並非本計畫研究範圍,因此相關資訊將以文獻整理方式呈現,並建議未來建研所可規劃相關研究課題。</p>	
--	---	--	--

附錄 2 (期末報告委員意見回覆)

委員	審查委員意見	研究團隊回應	對應報告之章節
中華民國全國建築師公會	<ol style="list-style-type: none"> 現行海砂屋氣離子的標準是 0.3kg/m^3，本研究建議值為 0.4kg/m^3，恐引起中古屋購屋者疑慮，與產生糾紛。因此建議在研究報告中再加一段文字說明。 本研究期末報告中第六章第二節整理之法令，希望能加入針對本國氣離子相關法令。(如建築技術規則，混凝土施工規範，混凝土檢測測法...等)。 	<ol style="list-style-type: none"> 現行海砂屋氣離子的標準是採用新拌混凝土氣離子量測標準，本研究報告 0.4kg/m^3 是建議採用酸溶法的硬固混凝土氣離子量測標準 依委員建議於期末報告進行整理。 	第六章第二節
台灣省建築材料商業同業公會聯合會	<ol style="list-style-type: none"> 本期末研究報告對混凝土材料耐久性的研究範圍、目的及評估方法符合本研究預期成果。 本土性混凝土氣離子含量標準與檢測方法，擬加強推廣、宣導以建立硬固混凝土氣離子含量標準的目的。 	<ol style="list-style-type: none"> 感謝委員肯定。 將於建議中加以說明。 	第七章第二節
蘇教授南	<ol style="list-style-type: none"> 本期末研究報告撰寫嚴謹，內容可作為未來修訂規範參考。 由於硬固混凝土中自由氣離子已和水泥水化而減少，故若把硬固混凝土的氣離子含量標準定為比新拌混凝土者高是否合適，敬請評量。 	<ol style="list-style-type: none"> 感謝委員鼓勵。 感謝委員建議，因此本研究發現水溶法所得的硬固混凝土氣離子含量較無關聯性，建議以酸溶法進行。 由於年代較遠，相關資料將盡可能蒐集。 	

	<p>3. 建議可參考當初經濟部中央標準局訂立氯離子規範的會議資料等，了解訂定該規範的原意，並配合本研究期末報告撰寫，以達到與國內規範相比較之用意。</p>		
<p>邱昌平 顧問</p>	<p>1. 本研究期末報告以不同水灰比、粗骨材、細骨材、水泥漿體水灰比等變數，並事先各加入 0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 kg/m³ 之氯離子，再以水溶法及酸溶化去求得各試體之不同氯離子含量，以及不同之抗壓強度，對目前常用之氯離子含量檢測法及容許氯離子含量，提出一些建議規範，成果良好，惟數值合理性仍須檢討。</p> <p>2. 本研究期末報告中氯離子在 NaCl 中佔多少？請說明</p> <p>3. 想請教新拌混凝土中沒有氯離子嘛？</p> <p>4. p.24、p.25 中</p> <p>(1) 溶液中 (1 + 100) 請修正為 (1 : 100), (1 + 6) 請修正為 (1 : 6)，其餘誤繕部分亦一併修正。</p>	<p>1. 感謝委員建議，於成果報告進行數值合理性檢討。</p> <p>2. 由於加入之氯離子為氯化鈉，因此有原子量差異，將於第四章第一節配比設計中說明。</p> <p>3. 因為水泥成分會有些氯離子，且拌合水亦有些許氯離子，故新拌混凝土會量測到氯離子含量的背景值。</p> <p>4. 依委員意見修正。</p> <p>5. 我國氯離子檢測 CNS 規範即從 ASTM 翻譯而來。</p>	<p>第六章第二節、第四章第一節</p>

	<p>mL 請修正為 ML</p> <p>5. 美國 ASTM C1218 取 10g，也加入 75mL 水再加入 25mL HNO₃ 溶液。我國的 CNS 同此。</p>		
<p>沈得縣 教授</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 本研究期末報告內容豐富，且有各種試驗結果，但結論針對本土性硬固混凝土氯離子檢測及品質標準則著墨較少，請詳加補充。 2. 請針對 CNS 國家標準提出應該修正之部分，並列表比較及說明修正之理由。 3. 本研究期末報告中實驗設計除採用配料方式外，應採隨機採樣及工地取樣作印證，提出合理之氯離子含量標準。 4. 新拌混凝土與硬固混凝土氯離子檢測應提出相關之儀器設備，檢測方法及氯離子含量標準，並提出一套標準作業程序或標準作業手冊。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 依委員建議於報告進行補充說明。 2. 依委員建議於報告進行補充說明。 3. 依委員建議於報告中探討。 4. 由於相關試驗方法於 CNS 已有對應標準。本報告亦於第四章提出檢測方法說明。 	<p>附錄、摘要、第六章第一節、第四章</p>

<p>王亭復 技師</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 本研究期末報告中硬固混凝土氯離子含量的表示除台灣、日本及 FDOT 以單位體積混凝土氯離子重量 kg/m^3 表示外,其他各國及研究單位均以相對水泥量含氯量百分比表示,請說明何者較正確。 2. 土木水利會結構混凝土設計規範-91.7 版已有規範硬固混凝土含氯量與 ACI-31 號之規定相同,但於 92 年版以後則予取消,其原因為何? 3. 本研究期末報告中表 3-7, ACI-310 之(3)項,於乾燥或防潮環境氯離子含量應為百分之一以下。又表 3-11 應為「酸溶方式」。 4. 本研究期末報告中表 5-11~5-15, 5-17, 5-18~5-22, 5-36~5-41 等之氯離子含量百分比,但氯離子濃度建議增列一欄為水泥量含氯量百分比%。 5. 本研究期末報告研究團隊建議硬固混凝土含氯 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 由於國內要取得舊有建築物混凝土配比真正資訊較為困難,且混凝土水泥含量量測方法繁複,目前可執行相關試驗的機構極少。因此本研究建議採用單位體積混凝土氯離子重量做為計算方式。 2. 由於年代較遠,相關資料將盡可能蒐集。 3. 依委員意見修正。 4. 依委員意見修正。 5. 將列於建議中,供後續研究參考。 	<p>第三章、第七章</p>
-------------------	--	--	----------------

	量 0.4 kg/m^3 宜再經過 鋼筋腐蝕率、結構物使 用年限及對力學(含耐 震)性能評估方可確 定。例如 ACI-318、 ACI-222 等均高此值。		
--	---	--	--

本土性硬固混凝土氯離子含量標準與檢測方法之研究

本土性硬固混凝土氯離子含量標準與檢測方法之研究

出版機關：內政部建築研究所

電話：(02) 89127890

地址：新北市新店市北新路三段 200 號 13 樓

網址：<http://www.abri.gov.tw>

編者：何明錦、楊仲家、卓世偉、薛凱元、江慶堂、翁詩涵

出版年月：100 年 12 月

版次：第 1 版

ISBN 978-986-03-0908-9 (平裝)