

公東教堂在修復前的非破壞性檢測 與混凝土材料破壞原因探討

顧超光*

摘要

公東教堂早年施工時以低成本、克難的方式，於民國 49 年興建完成。結構採用鋼筋混凝土版牆系統，由於使用海砂，導致混凝土中氯離子含量偏高。數十年前的破壞性材料檢測結果顯示，多數混凝土中的氯離子含量超出國家標準參考值，高氯離子含量誘發鋼筋鏽蝕；混凝土中性化現象普遍且嚴重，尤其三樓和四樓中性化深度最高超過鋼筋保護層厚度，造成鋼筋鏽蝕；此外，混凝土品質控管不佳，抗壓強度值差異性極大。這些因素共同作用下，導致修復前結構體出現保護層剝落、柱頭爆裂及鋼筋外露等損壞情形。

過去檢測多以鑽心取樣進行，雖能獲得抗壓強度、中性化深度與氯離子含量等數據，但是容易留下清水混凝土表面疤痕，影響美感。本次檢測為了避免混凝土表面的損傷，採用非破壞性的混凝土強度試錘，全面性地評估結構各部位的強度。最終的檢測數據和早期破壞性測試結果相符，皆表明教堂低樓層的混凝土材料強度較高，而高樓層則普遍強度不足且劣化情況更為嚴重。非破壞性檢測的優點是易於操作，且能對結構體進行全面性施測而不造成破壞。綜合分析顯示：公東教堂混凝土劣化原因主要為海砂使用與中性化影響，非破壞性檢測提供更完整且友善的保存依據，對後續修復與歷史建築保存具重要參考價值。

關鍵詞：公東教堂、非破壞性檢測、混凝土抗壓強度、氯離子含量、混凝土中性化

*國立臺東專科學校建築科副教授，E-mail：ckku100@gmail.com

本論文經兩位雙向匿名審查通過。收件：2025/12/8。同意刊登：2025/12/28。

壹、背景

一、白冷外方傳教會與公東高工

天主教白冷外方傳教會（以下簡稱「白冷會」）是瑞士天主教的修會團體，於民國 10 年 5 月 30 日於瑞士施維茨州（Schwyz）的茵夢湖（Immensee）創立，總會設於瑞士中部。當時指定的傳教區是中國的東北，是白冷會在境外的第一個傳教區域。但是好景不常，中共佔領中國大陸後，毀壞教堂設施、趕出外國傳教士，白冷會初始建立的修會組織與眾多信仰者的教會活動隨即終止，轉而向臺灣的臺東發展（顧超光、吳榮彬，2025b，頁 1-2）。

民國 42 年 10 月 12 日，白冷會傳教士錫質平神父，從瑞士來臺東開教，而後白冷會在民國 45 年 3 月正式在臺東設立臺灣區會。民國 46 年，白冷會為改善臺東地區原住民生活，最初有創設技藝訓練中心的構想，來增進原住民的謀生技能。當時教會有鑑於政府正致力於工業的提倡，多次磋商討論後，認為應該從培育工業技術人才開始。於是教會經過多方籌劃，決定在臺東興建一所工業學校（王倬熙，1985，頁 20-21）。

經過上述決定在臺東興建學校後，白冷會臺東區會會長錫質平神父於是在民國 49 年創辦臺東縣私立公東高級工業職業學校（以下簡稱「公東高工」，校內的教堂簡稱「公東教堂」），並且在歐洲招募外籍技術教師，來臺東傳授木工、機械等技藝。當時參採德國技職教育的模式，引進先進的基礎工業技術，在臺東培育家境清寒子弟，提昇原住民青年教育水準。前後有 20 多位歐洲義務職工信徒駐校擔任教師，指導學生實習課程（顧超光、蔡光明，2018，頁 2.8）。

二、公東教堂的創建

錫質平神父為了興建校舍，展開募款行動來籌措經費。他曾經向羅馬、瑞士、德國等地募款，在多方奔走下，獲得各地熱心人士贊助，其中以瑞士的天主教勞工協會（Brücke der Bruderhilfe）捐助建築經費最多。施工時，錫神父親自督導與實際動手操作，對於公東高工的創辦有莫大的貢獻。公東高工學校董事會在民國

47 年正式成立，推選蔣復璁先生為首任董事長，同時購買土地 2.7691 公頃，作為校舍的興建基地（黃清泰，2017，頁 91-93；王倬熙，1985，頁 21、148）。

公東高工校舍的設計圖由瑞士籍的建築師達興登（Dahinden, 2014, p.101.）在民國 46 年至 49 年間進行，其中的公東教堂設計圖在民國 48 年完成，次年則是著重在室內裝修及器物的設置。瑞士籍休畢格（Dr. Schubiger）技師擔任結構設計，他捨棄臺灣一般常用的柱梁結構系統，採用鋼筋混凝土版牆結構。主要結構體在東、西短向兩側牆面靠著各一面通達頂層的剪力牆支撐（圖 1）。這兩面牆厚度達到 30 公分，也是構成南、北兩向立面的主要元素。屋身內結構，則是以厚度達 25 至 30 公分的承重牆與厚度 18 公分的無梁版構成（蔡光明，2008，頁 71）。而其所用鋼筋全部在 3/4 英吋直徑以下的小鋼筋，這說明當時每立方米的單價在臺東只要新臺幣 800 ~ 900 元就可以完成（吳明修，1962，頁 24）。尤其以臺東地區砂石易取，價格便宜，使得整個建築造價大大的降低，這是結構設計與建築設計充份協調配合的例子。

三、公東教堂的興建

天主教會最初到臺東時，在經濟未見穩固的情況下，仍然為興辦學校而籌措經費，並且求助外援，自然需要以最簡樸的方式，去構築素雅卻實用的外在建築體。公東教堂初創的造價為新臺幣 1,025,000 元（王倬熙，1985，頁 32），是以低廉、經濟的建造方式完成。當時建築營造的過程中，不像現在有挖土機、混凝土預拌車、鋼管鷹架等動力機械化的設備，可以快速而有效率的完成建築的結構體。而是必須靠人力的一鋤、一鏟的開挖，靠手工的一桶、一畚箕的澆灌混凝土，比起現代化的機具設備來說，自然是艱辛許多（顧超光，2025a，頁 28）。

公東教堂建築群在民國 48 年 2 月開工，第一期工程在次年夏天竣工，包括現今稱作聖堂大樓（即是本文所述的公東教堂），位在建築群東側四層樓的公東教堂及南側二層樓的辦公大樓。聖堂大樓當時稱作寢室大樓，一樓為實習工場；二樓有三間教室，後來改為學生宿舍，增設淋浴等浴室設備；三樓為學生宿舍；四樓為教堂（顧超光、蔡光明，2018，頁 2.10-2.11）。公東教堂建築群的興建以

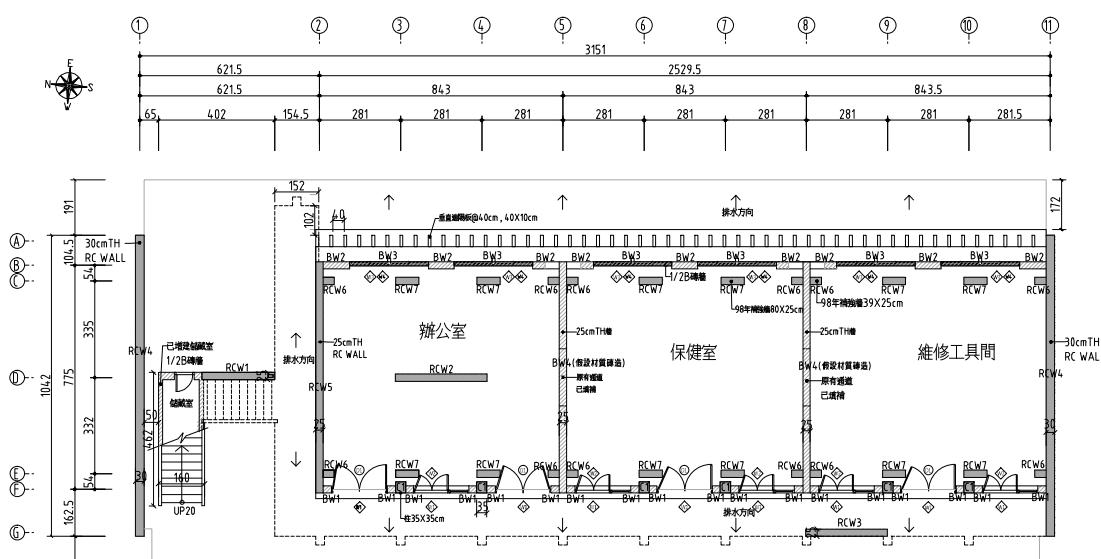
克制內在慾望的修道精神，配合基督賦予修道者的安貧樂道本質，來完成教育功能與宗教意義兼具的建築空間，於民國 92 年底登錄為臺東縣的歷史建築。

四、公東教堂的修繕

雖然前述在興建過程中「砂石易取，價格便宜」，但是公東教堂在近十多年來的混凝土鑽心取樣試體中，其硬固混凝土水溶性氯離子含量的試驗報告，顯示出混凝土中的氯離子含量偏高，這是早年施工使用海砂的結果。民國 92 年 12 月 10 日臺東縣成功規模 6.6 的強震，致使公東教堂受損不少；而後在民國 96 年初，經由公東高工校友黃秋永先生捐助修繕經費，於民國 98 年 4 月完成建築結構補強（顧超光，2025a，頁 29）。

圖 1 是公東教堂補強後的測繪平面圖，圖中的鋼筋混凝土牆名稱 RCW6 和 RCW7，即是建築結構補強的剪力牆。雖然公東教堂的結構經過補強，但是因為受限於最初興建時的經費與施工難度，對於清水混凝土牆面修繕的程度有限，此時的公東教堂建築本體外觀已經呈現多處裂縫及斑駁景象。

圖 1
公東教堂在結構補強後的一樓測繪圖



資料來源：國立臺東專科學校團隊測繪

貳、公東教堂歷年的混凝土材料檢測結果

公東教堂曾經在民國 89 年至 102 年期間進行過耐震能力評估、材料檢測及耐震補強等，如表 1 所示。民國 89 年委託國立高雄應用科技大學土木系進行耐震能力評估。然而在民國 92 年 12 月 10 日臺灣東部成功地區發生規模 6.5 的大地震，致使公東教堂嚴重受損。其後在民國 92 年底到 93 年初期間，由知本工程技術顧問有限公司進行混凝土鑽心試體中性化試驗、硬固混凝土水溶性氯離子含量試驗及抗壓強度試驗，共計 7 組的試體；民國 95 年 12 月則是由立鋼國際工程股份有限公司進行混凝土鑽心試體中性化試驗、硬固混凝土水溶性氯離子含量試驗及抗壓強度試驗，共計 12 組的試體。

表 1

公東高工教堂近年的損壞調查及補強紀錄表

調查單位	報告日期	研究項目
國立高雄應用科技大學土木系	民國 89 年 12 月 31 日	耐震安全詳細評估
知本工程技術顧問有限公司	民國 93 年 1 月 7 日	混凝土鑽心試體中性化試驗及抗壓強度試驗，共 4 組。
	民國 93 年 1 月 10 日	硬固混凝土水溶性氯離子含量檢測，共 2 組。
	民國 93 年 1 月 28 日	混凝土鑽心試體中性化試驗，共 3 組。
	民國 93 年 2 月 4 日	混凝土鑽心試體抗壓強度試驗，共 3 組。
立鋼國際工程股份有限公司	民國 95 年 12 月 21 日	混凝土鑽心試體中性化試驗、硬固混凝土水溶性氯離子含量試驗及抗壓強度試驗，共 12 組
普丞土木結構技師事務所	民國 97 年 3 月 21 日	耐震補強

資料來源：臺東縣歷史建築「私立公東高級工業職業學校教堂」修復及再利用計畫（頁 4.1-4.2），顧超光、蔡光明，2018，文化部文化資產局/臺東縣政府文化處。

民國 96 年初，公東校友黃秋永先生捐助修護經費。由普丞土木結構技師事務所負責的耐震補強施工說明書圖的日期為民國 97 年 3 月 21 日。公東教堂於民國 98 年 4 月完成結構補強並且恢復清水混凝土的風貌，於民國 99 年起使用。

公東教堂在民國 92 年底至民國 93 年初的材料實驗，主要是以混凝土的鑽心試體抗壓強度實驗、中性化及氯離子檢測為主。公東教堂的混凝土鑽心取樣，先以鋼筋位置探測儀，探測牆內的鋼筋位置。若是探測到混凝土牆壁沒有鋼筋的位置，先用筆畫出記號，接著打釘孔並且固定混凝土鑽心取樣機。手提式的混凝土鑽心取樣機非常普遍，鑽心取樣的位置必須是沒有鋼筋的地方，接著鑽心獲取混凝土試體。取樣後的釘孔及取樣孔事後會以混凝土回補，取樣後的混凝土試體立即做中性化實驗，以試劑塗抹。中性化實驗後，混凝土試體繼續做混凝土鑽心試體抗壓強度實驗及混凝土氯離子檢測。

一、混凝土中性化檢測

當混凝土中的氫氧化鈣遇到水後，會解離為鈣離子及氫氧離子，因而混凝土的 pH 值一般介在 12 和 14 之間，在此種鹼性的環境下，鋼筋表面會形成一層具有保護性的鈍化膜。然而當混凝土材料暴露於大氣中，空氣中的二氧化碳、二氧化硫等酸性物質會降低混凝土的鹼性程度，使原先混凝土的 pH 值降到大約 7 到 9，此即混凝土的中性化。中性化不僅使混凝土失去保護鋼筋的作用，會破壞鋼筋表面的鈍化膜，使鋼筋在低鹼的環境下產生鏽蝕；而且另一作用則是加速混凝土的收縮，使混凝土產生龜裂與結構破壞，對建築結構體的影響更值得注意與防護。

老舊結構物長期受到週邊環境的影響，常會使其表面發生中性化的情況。混凝土發生中性化時，由最外層漸漸向內侵入，中性化的進行時間和二氧化碳在混凝土中反應及擴散的速度有關。由於混凝土表面受到空氣中二氧化碳的長時間影響，使得氫氧化鈣慢慢變成碳酸石灰，因而鹼性消失。若是混凝土中性化到達鋼筋時，保護鋼筋不鏽蝕的環境不再存在，鋼筋在水份和二氧化碳的作用下生鏽，腐蝕於是開始進行。接著保護層混凝土被破壞，導致混凝土崩壞。所以中性化的速度決定鋼筋發生腐蝕的時間，而中性化的速率和混凝土最小保護層的厚度有關，當保護層越厚，鋼筋表面混凝土中性化越慢。

測定混凝土中性化深度及中性化區域最簡便、最常用的方法是以酚酞試劑測

試。在現場所鑽取的混凝土試體或敲除的混凝土自然乾燥後，再將混凝土表面噴塗酚酞指示劑，觀察指示劑顏色的變化，以判斷其中性化深度。試劑在 pH 值 8.5 以上的鹼性環境中會變為紅色，而在 pH 值小於 8.5 的環境下則為無色。知本工程技術顧問有限公司及立鋼國際工程股份有限公司曾經做過公東教堂混凝土鑽心試體的中性化試驗，試驗的碳化深度報告表如表 2 所示，其中的 F 代表樓層。以下就其報告分別作說明。

表 2

公東教堂中性化試驗碳化深度報告表

單位	結構部位	中性化試驗碳化深度 (cm)	單位	結構部位	中性化試驗碳化深度 (cm)	氯離子含量 (kg/m ³)	
知本工程技術顧問有限公司	垂直遮陽版	4.06	立鋼國際工程股份有限公司	-	-	-	
	樓梯扶手	2.03		-	-	-	
	4F 側牆	5.03		-	-	-	
	4F 樓梯牆	5.05		-	-	-	
	1F	0.7		1F-1	2.0	0.430	
				1F-2	3.5	-	
				1F-3	3.8	-	
	2F	2.5		2F-1	6.0	0.183	
				2F-2	5.0	-	
				2F-3	3.0	-	
	3F	-		3F-1	4.0	0.099	
				3F-2	9.0	-	
				3F-3	8.0	-	
	4F	4.0		4F-1	9.0	0.142	
				4F-2	5.0	-	
				4F-3	6.0	-	

註：表格整理自：臺東縣歷史建築「私立公東高級工業職業學校教堂」修復及再利用計畫（附錄 3.1-

3.3)。顧超光、蔡光明，2018，文化部文化資產局/臺東縣政府文化處。

(一) 知本工程技術顧問有限公司

由知本工程技術顧問有限公司在民國 93 年 1 月 7 日及 1 月 28 日所作的公東教堂混凝土鑽心試體中性化試驗報告，檢測結果以四樓側牆及四樓樓梯牆的中性化程度最高，達到 5 公分以上。此外，垂直遮陽版也超過 4 公分。以上的中性化程度都超過鋼筋的保護層厚度，會造成鋼筋鏽蝕，相對的也影響結構體的安全及防水。

(二) 立剛國際工程股份有限公司

由立剛國際工程股份有限公司在民國 95 年 12 月 21 日所作的公東教堂混凝土鑽心試體中性化試驗報告，檢測結果以三樓及四樓的中性化程度最高，達到 9 公分。以上的中性化程度都超過鋼筋的保護層厚度，同樣會造成鋼筋鏽蝕，相對的也會影響結構體的安全及防水。

二、混凝土鑽心試體抗壓強度實驗

混凝土鑽心試體抗壓強度實驗屬於部份破壞性試驗，試驗的主要目的是在決定結構體中，部份區域的抗壓強度。以鑽心取樣方式，鑽取該處混凝土試體，再送到實驗室經抗壓實驗求取混凝土抗壓強度，此法已經被列入 CNS1238 國家標準中。CNS 規範中對於試驗抗壓強度圓柱試體的規定，其試體直徑和長度的大小，以及鑽心試體進行抗壓試驗時，兩端應平整處理等均有規定。知本工程技術顧問有限公司及立剛國際工程股份有限公司曾經做過公東教堂混凝土鑽心試體的抗壓強度試驗，試驗結果如表 3 所示，以下就其報告分別作說明。

表 3

公東教堂的混凝土鑽心試體抗壓強度試驗報告表

單位	結構部位	試體尺寸 (cm)	最大荷重 (kgf)	長度修正係數 (L/D)	修正後抗壓強度 (kgf/cm ²)
知本工程技術 顧問有限公司	垂直遮陽版	10.25	8830	0.987	355
	樓梯扶手	8.36	6810	0.960	268

立鋼國際工程股份有限公司	4F 側牆 (晒衣場)	8.30	5580	0.959	220
	4F 樓梯牆	10.03	3770	0.984	152
	1F	9.93	17470	0.937	362
	3F	10.14	15480	0.941	323
	4F	10.00	5920	0.938	123
	1F-1	9	8775	0.93	339
	1F-2	9	7548	0.94	294
	1F-3	9	8076	0.97	325
	2F-1	8	4025	0.92	154
	2F-2	10	5075	0.97	204
	2F-3	10	6707	0.96	267
	3F-1	8	4479	0.93	173
	3F-2	11	2395	0.95	94
	3F-3	9	1948	0.98	79
	4F-1	11	4316	1.00	179
	4F-2	11	7426	0.98	302
	4F-3	13	5835	0.92	223

註：表格整理自：臺東縣歷史建築「私立公東高級工業職業學校教堂」修復及再利用計畫（附錄 4.1-4.3）。顧超光、蔡光明，2018，文化部文化資產局/臺東縣政府文化處。

（一）知本工程技術顧問有限公司

公東教堂的混凝土鑽心試體抗壓強度實驗在信強材料檢測中心臺東實驗室進行，民國 93 年 1 月 7 日及 2 月 4 日的實驗報告如表 3 所示。教堂一樓的混凝土鑽心試體抗壓強度為 362kgf/cm^2 ；教堂三樓的混凝土試體抗壓強度為 323kgf/cm^2 ，比教堂一樓的抗壓強度稍低。四樓的混凝土試體抗壓強度為 123kgf/cm^2 ，算是混凝土抗壓強度不足。以上的混凝土試體抗壓強度從最高到最低，高低相差將近三倍，只能說明當時的品質控管不是很佳。

（二）立剛國際工程股份有限公司

由立剛國際工程股份有限公司在民國 95 年 12 月 21 日所作的公東教堂混凝

土鑽心試體抗壓強度實驗報告亦如表 3 所示。總體而言，教堂一樓的混凝土鑽心試體抗壓強度最高、其次是二樓，至於三樓和四樓則是品質不佳。試驗的混凝土試體總共有 12 組，抗壓強度從最高到最低，分別是 339kgf/cm^2 及 79kgf/cm^2 ，高低相差將近四倍。

三、混凝土氯離子檢測

氯離子是誘發混凝土內部鋼筋鏽蝕的主要成份之一，對鋼筋腐蝕的影響主要依含水量和陰極性化所需的含氧量而定。氯離子主要來源為摻料、水、骨材內的鹽分或是暴露於海風所夾帶的鹽分所致，其中空氣中含鹽量受到風速、風向、局部地形，以及與海岸間的距離等而有不等程度的影響。檢查混凝土中氯離子含量的目的，除了用以研判氯離子含量是否超過國家標準所規定的容許值之外，也用來研判混凝土中氯離子的可能來源。

目前經濟部標準檢驗局國家標準中尚無「硬固混凝土之水溶性氯離子含量」的標準，對於「硬固混凝土之水溶性氯離子含量」標準的制定，工程界需求已久。因此，工程實務上不得已暫以國家標準 CNS3090 A2042（預拌混凝土）第 19 節的規定作為參考依據（陳正平，2011 年）。民國 87 年 6 月 25 日修訂的 CNS 3090 A2042（預拌混凝土）國家標準第 19 節的新拌混凝土中最大水溶性氯離子含量規定，鋼筋混凝土構件之新拌混凝土中最大水溶性氯離子含量依水溶法須小於 0.3kg/m^3 。

知本工程技術顧問有限公司及立鋼國際工程股份有限公司曾經做過公東教堂混凝土鑽心試體的水溶性氯離子含量檢測，檢測結果如表 4 所示，以下就其報告分別作說明。

表 4

公東教堂水溶性氯離子含量檢測報告表

單位	結構部位	氯離子含量 (kg/m^3)
知本工程技術 顧問有限公司	樓梯扶手、4F 樓梯牆	0.6249、0.4832
立鋼國際工程	1F-1	0.430

股份有限公司	1F-2	-
	1F-3	-
	2F-1	0.183
	2F-2	-
	2F-3	-
	3F-1	0.099
	3F-2	-
	3F-3	-
	4F-1	0.142
	4F-2	-
	4F-3	-

註：表格整理自：臺東縣歷史建築「私立公東高級工業職業學校教堂」修復及再利用計畫（附錄 5.1-5.3）。顧超光、蔡光明，2018，文化部文化資產局/臺東縣政府文化處。

（一）知本工程技術顧問有限公司

由知本工程技術顧問有限公司在民國 93 年 1 月 10 日所作的公東教堂硬固混凝土水溶性氯離子含量試驗報告如表 4 所示，檢測結果最高是 0.6249 kg/m^3 。以上的氯離子含量超過鋼筋混凝土小於 0.30kg/m^3 的規定，容易造成鋼筋鏽蝕，相對的也影響結構體的安全及防水。

（二）立剛國際工程股份有限公司

由立剛國際工程股份有限公司在民國 95 年 12 月 21 日所作的公東教堂硬固混凝土水溶性氯離子含量試驗報告如表 4 所示，檢測結果最高的是一樓的 0.43 kg/m^3 ，其次是二樓的 0.183 kg/m^3 。

參、本次的非破壞性結構檢測分析

混凝土的檢測可以分為破壞性與非破壞性檢測，破壞性的檢測會造成歷史建築本體某種程度上的損害。過去十幾年以來公東教堂所做的混凝土鑽心取樣試驗，已經在美麗的清水混凝土表面造成疤痕（圖 2），表面的水泥砂漿修補，常常破壞整個清水混凝土牆面的美感（圖 3）。既然過去已經累積混凝土鑽心取樣試驗的

數據，而且在前一節中已經解讀相關的數據，因而本次的檢測採用非破壞性的檢測。

圖 2
公東教堂在修復前的二樓鑽心取樣點



資料來源：作者拍攝

圖 3
公東教堂在修復前的四樓牆壁，以水泥砂漿修補痕跡。



資料來源：作者拍攝

圖 4 是本校的混凝土強度試驗錘，義大利 CONTROLS 的產品，型號 58-C0181/C1，可以檢測混凝土的抗壓強度，是屬於非破壞性檢測。衝擊能量：2.207 Nm；強度測定範圍：100~700 kg/cm²。圖 5 是檢測人員使用混凝土強度試驗錘檢測公東教堂情形。

圖 4
國立臺東專科學校的混凝土強度試驗錘



資料來源：作者拍攝

圖 5

檢測人員使用混凝土強度試錘情形



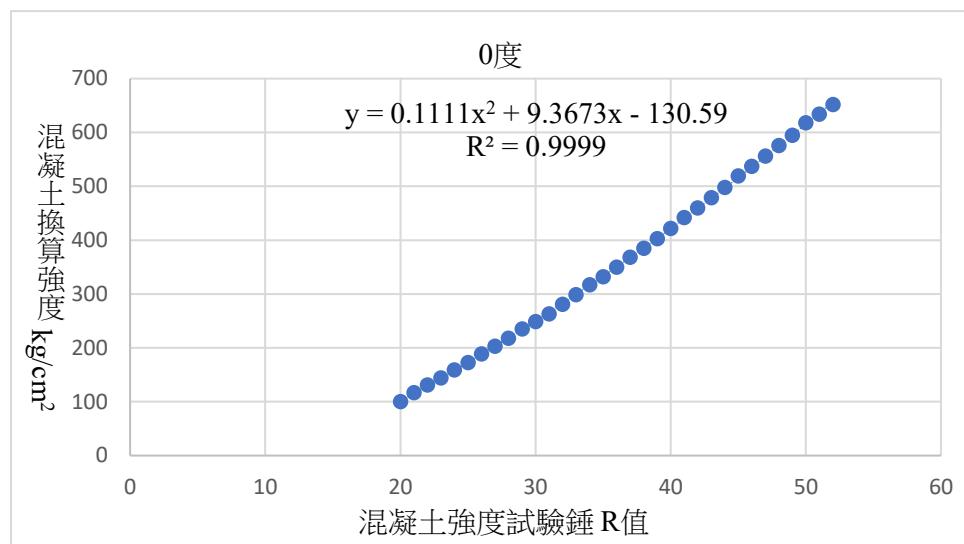
資料來源：作者拍攝

混凝土強度試錘試驗會因為試錘的角度不同而產生不同的 R 值，本研究團隊採用的試錘角度有 0 度及 -90 度兩種，因而以統計圖的回歸曲線方程式做為換算的依據，圖 6 是混凝土強度試錘試驗 R 值在試錘角度 0 度下與混凝土強度的換算關係，而圖 7 則是混凝土強度試錘試驗 R 值在試錘角度 -90 度下與混凝土強度的換算關係。

混凝土強度試錘試驗若是遇到混凝土內部有空洞和曾經部分填補過，強度會特別低，經常有低於 210 kg/cm^2 數值出現；若是有填鋪柔軟的材質時，則試驗錘內衝錘的反彈力道則會被吸收，幾乎無法測量到數據。

圖 6

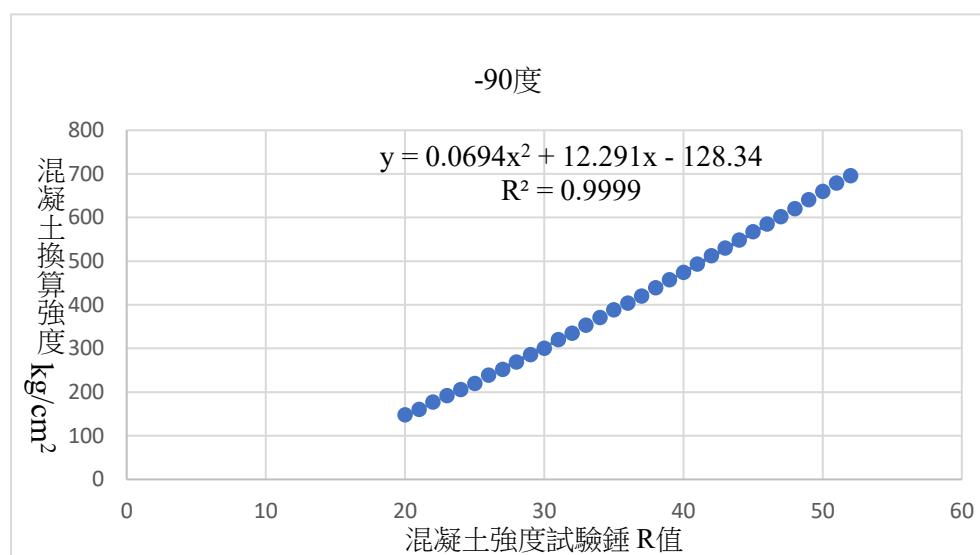
混凝土強度試錘試驗 R 值在試錘角度 0 度下與混凝土強度的換算關係



資料來源：本研究繪製

圖 7

混凝土强度試驗錘試驗 R 值在試驗角度-90 度下與混凝土强度的換算關係



資料來源：本研究繪製

公東教堂整棟建築的每個撞擊點周圍共撞擊 12 個點位，這 12 個點位的 R 值及換算強度值即是縱向欄位數據。橫向的標頭（註：N 代表北向、S 代表南向、W 代表西向、E 代表東向、SW 代表剪力牆、I 代表內隔間、A 代表遮陽版、P 代表樓版、R 代表扶手），以 1W1 而言，代表一樓的西向第一個撞擊點位；另外以 4E7 而言，即是四樓東向的第七個撞擊點位，其他依此類推。此外，1S1 代表一樓樓梯的第一個撞擊點位；2P1 代表二樓樓版的第一個撞擊點位；1R1 代表一樓

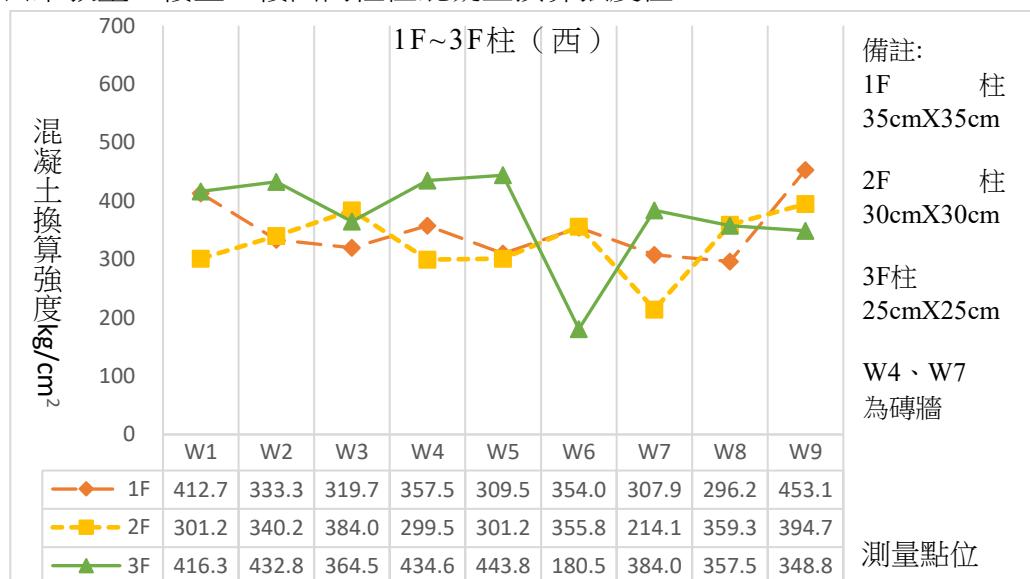
樓梯扶手第一個撞擊點位；1SW1 代表一樓剪力牆第一個撞擊點位；1I1 代表一樓室內牆的第一個撞擊點位；1A1 代表一樓的遮陽版第一個撞擊點位。以下就檢測結果分別以檢測部位做說明。

(一) 柱

圖 8 是公東教堂一樓至三樓西面柱位撞擊後，換算成混凝土強度值介在 300 kg/cm^2 至 400 kg/cm^2 之間，其中以三樓的第六個柱子撞擊點有較低的混凝土強度數值。

圖 8

公東教堂一樓至三樓西向柱位混凝土換算強度值



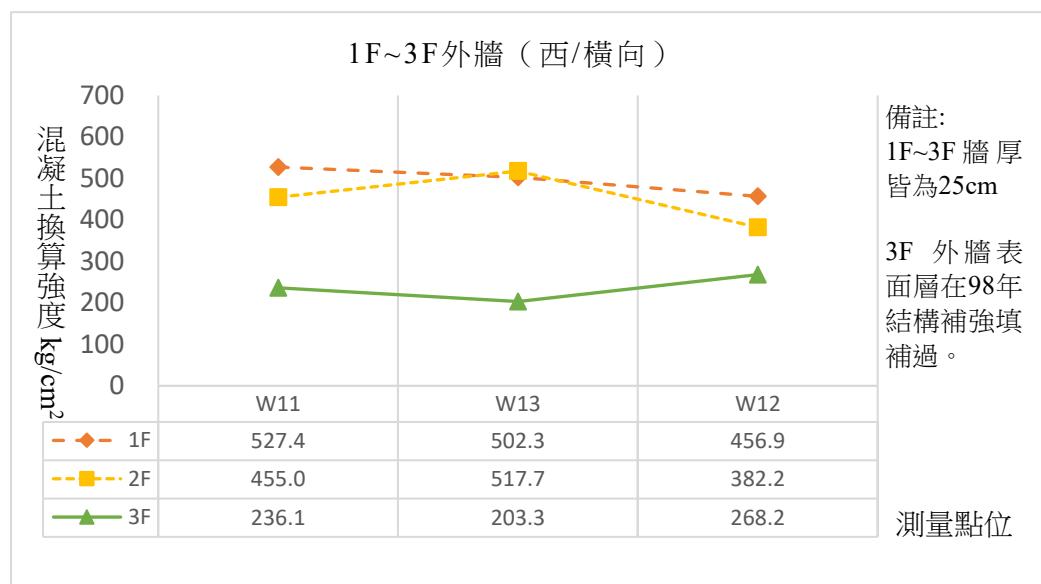
資料來源：本研究繪製

(二) 外牆

圖 9 是公東教堂一樓至三樓西面橫向外牆撞擊後換算成混凝土強度值，以一樓及二樓的強度較佳，而三樓的強度偏低；圖 10 是公東教堂四樓東向和西向外圍牆壁的混凝土換算強度值，數值稍低，中間幾個檢測點變動幅度較小；圖 11 是公東教堂一樓至四樓南面外牆混凝土換算強度值，以四樓的數值較低；圖 12 是公東教堂一樓至三樓南面牆的混凝土換算強度值，以一樓的強度最高，而三樓的較低，不到 300 kg/cm^2 ；圖 13 是公東教堂一樓至四樓樓梯間橫向牆的混凝土換算強度值，以一樓的較高，其餘的二至四樓數值在 400 kg/cm^2 上下。

圖 9

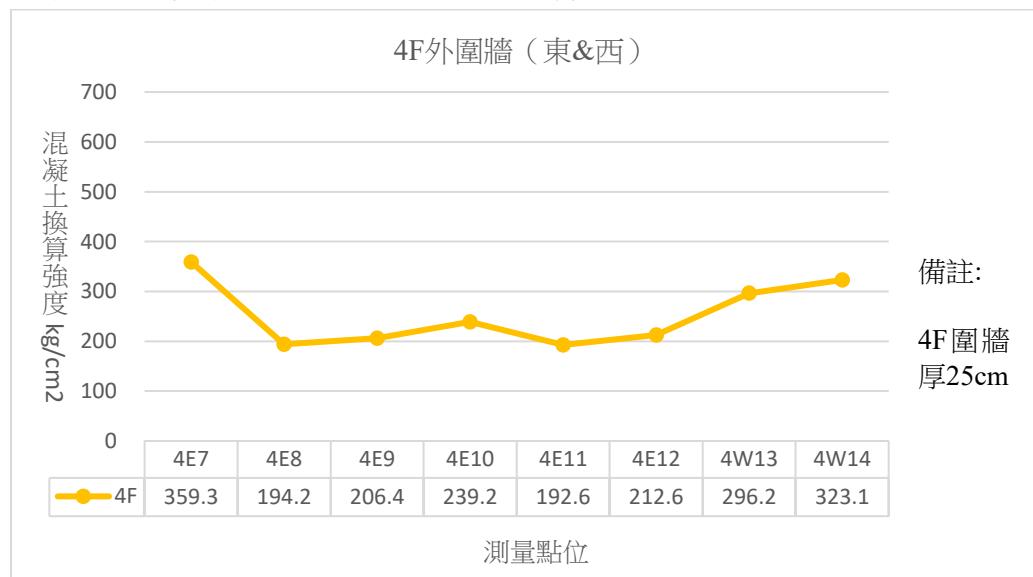
公東教堂一樓至三樓西面橫向外牆混凝土換算強度值



資料來源：本研究繪製

圖 10

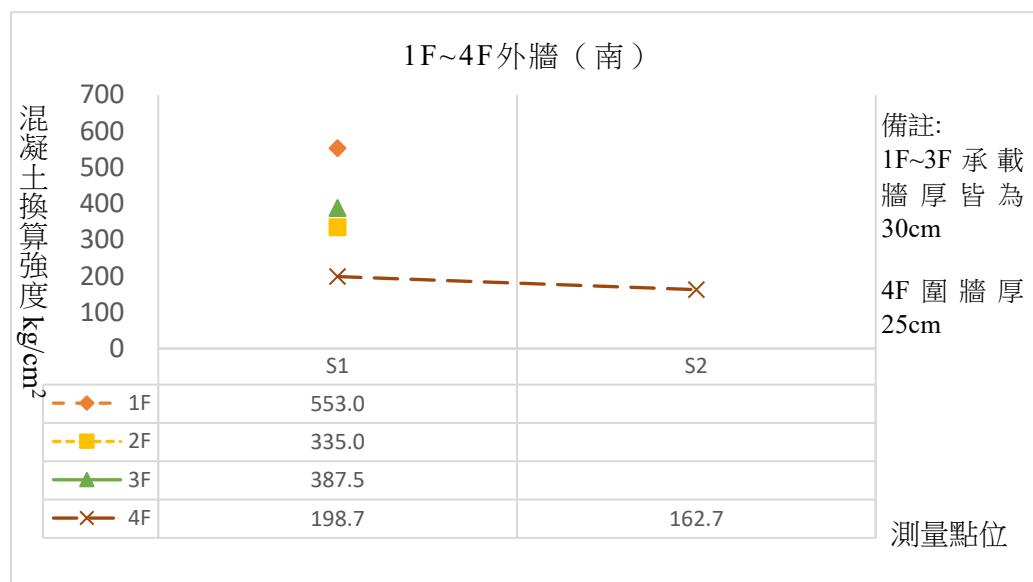
公東教堂四樓東向和西向圍牆混凝土換算強度值



資料來源：本研究繪製

圖 11

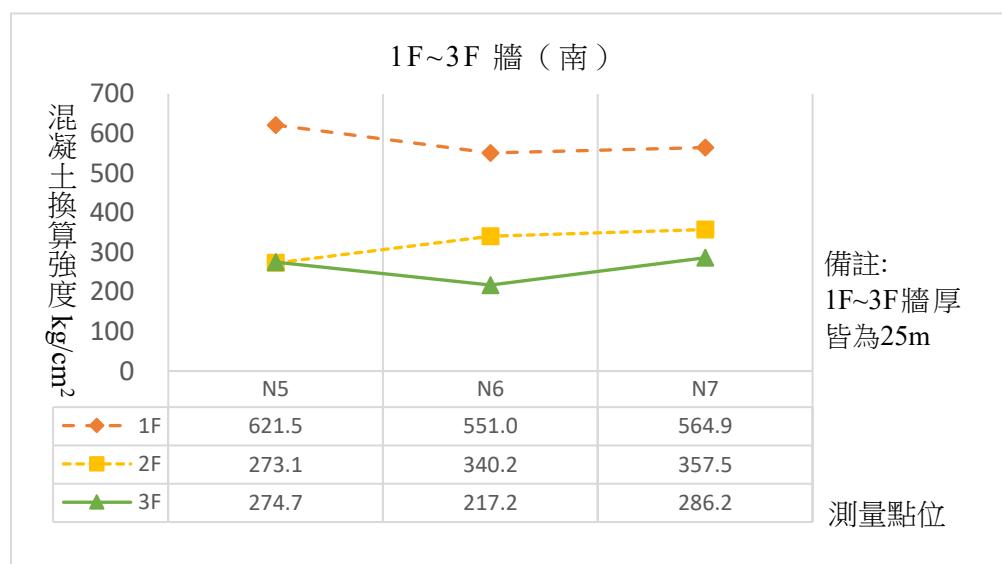
公東教堂一樓至四樓南面外牆混凝土換算強度值



資料來源：本研究繪製

圖 12

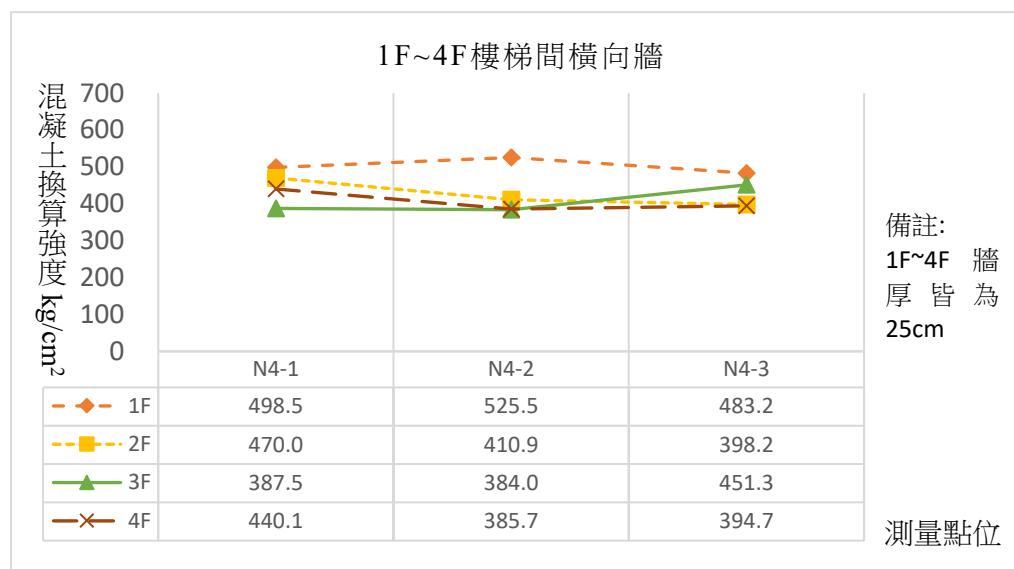
公東教堂一樓至三樓南向牆混凝土換算強度值



資料來源：本研究繪製

圖 13

公東教堂一樓至四樓樓梯間橫向牆混凝土換算強度值



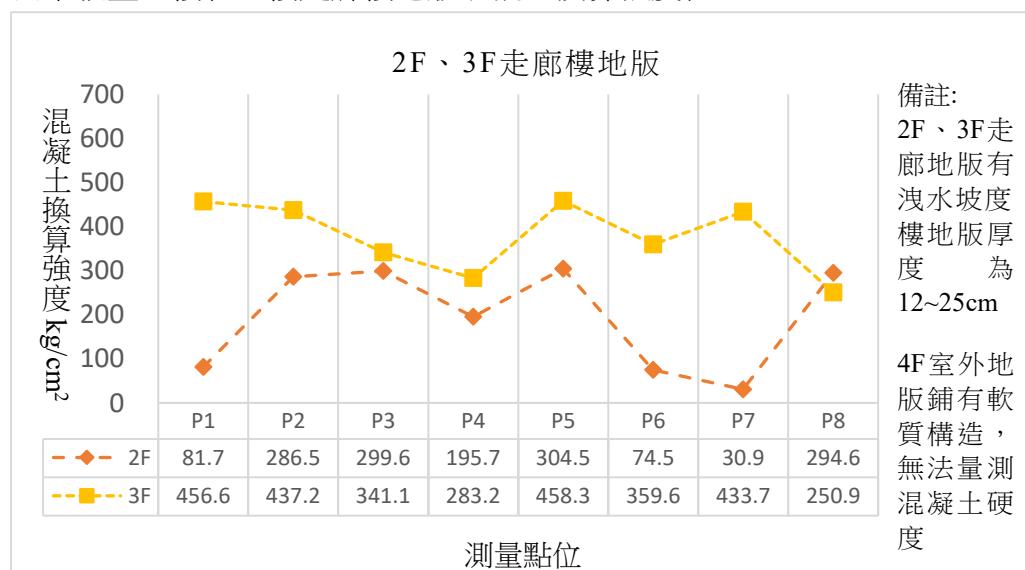
資料來源：本研究繪製

(三) 樓版

圖 14 是公東教堂二、三樓走廊樓地版的混凝土換算強度值，以三樓的強度較佳。然而因為二、三樓的走廊地版有洩水坡度，樓地版厚度介在 12~25cm 之間，推測因而造成數據的波折。此外，四樓室外地版鋪有軟質構造，無法量測混凝土強度。圖 15 是公東教堂二、三樓室內樓地版的混凝土換算強度值，數值大多介在 $300\text{ kg}/\text{cm}^2$ 上下。四樓因為室內樓地版面貼地磚，無法量測混凝土強度。

圖 14

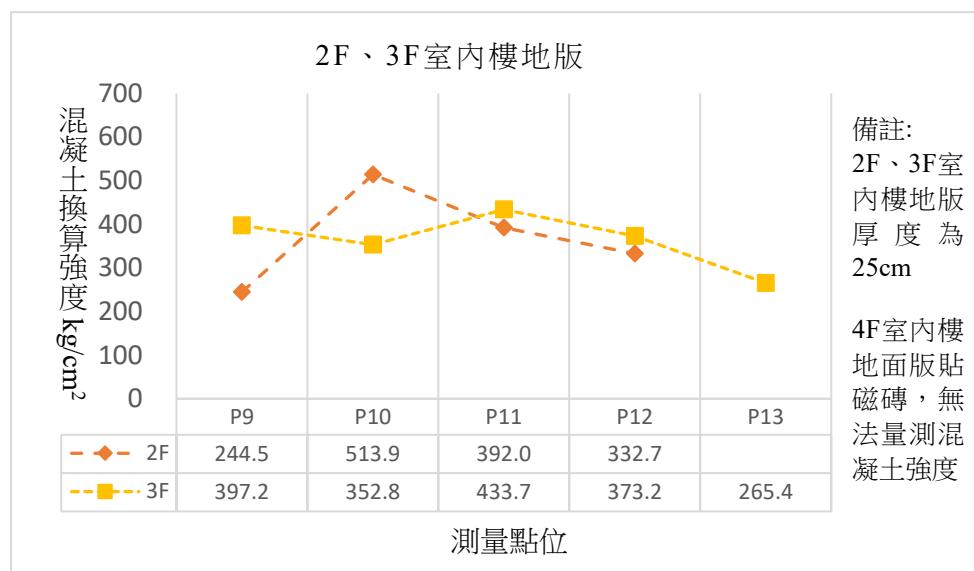
公東教堂二樓和三樓走廊樓地版混凝土換算強度值



資料來源：本研究繪製

圖 15

公東教堂二樓和三樓室內樓地版混凝土換算強度值



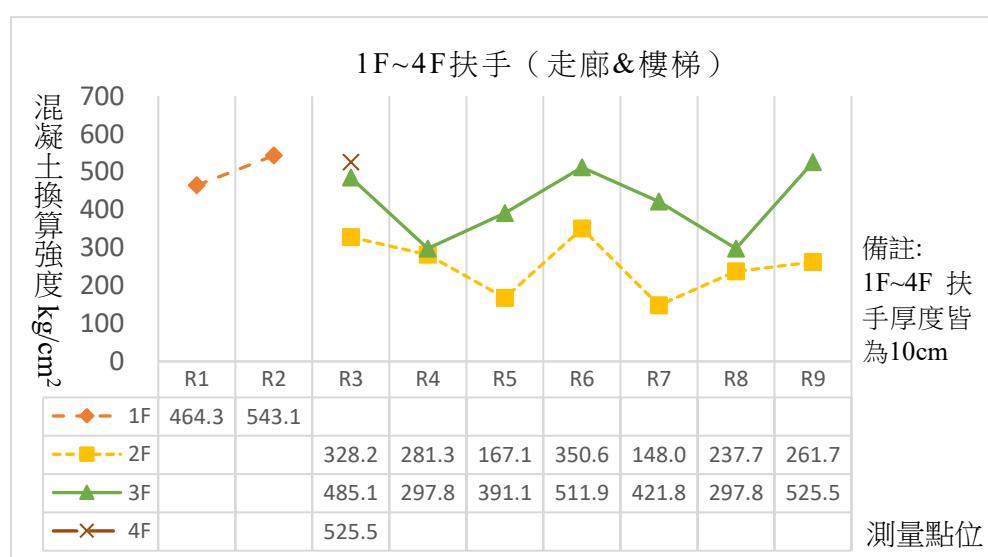
資料來源：本研究繪製

(四) 扶手

圖 16 是公東教堂一樓至四樓走廊及樓梯扶手的混凝土換算強度值，以二樓的強度較低。

圖 16

公東教堂一樓至四樓走廊及樓梯扶手混凝土換算強度值



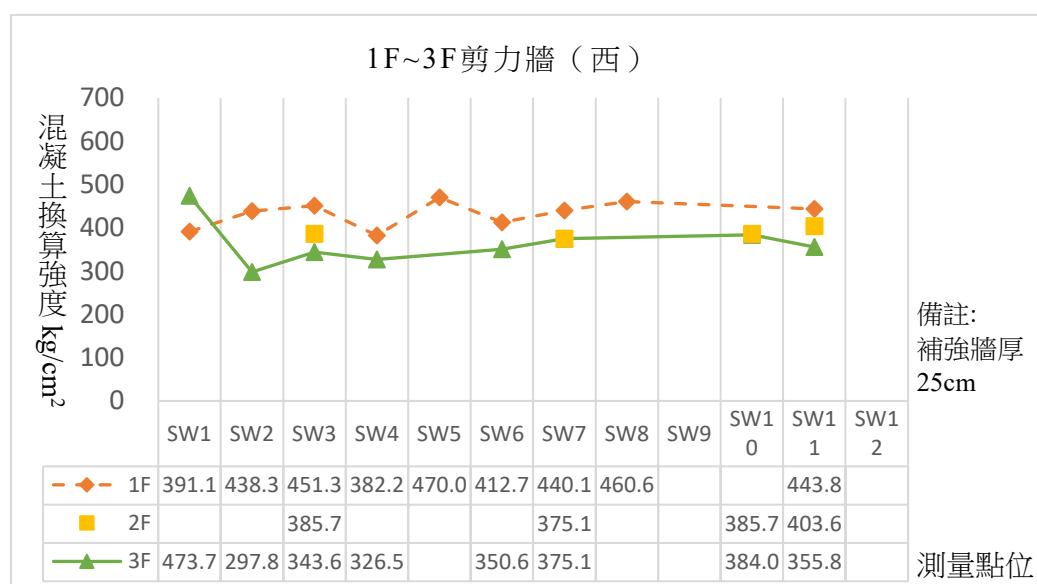
資料來源：本研究繪製

(五) 剪力牆

圖 17 是公東教堂一樓至三樓在西面剪力牆的混凝土換算強度值，介在 300 至 500 kg/cm² 之間，以一樓的強度較高。圖 18 是公東教堂一樓至三樓在東面剪力牆的混凝土換算強度值，介在 400 至 500 kg/cm² 之間，數據的波折較小，代表品質的穩定。

圖 17

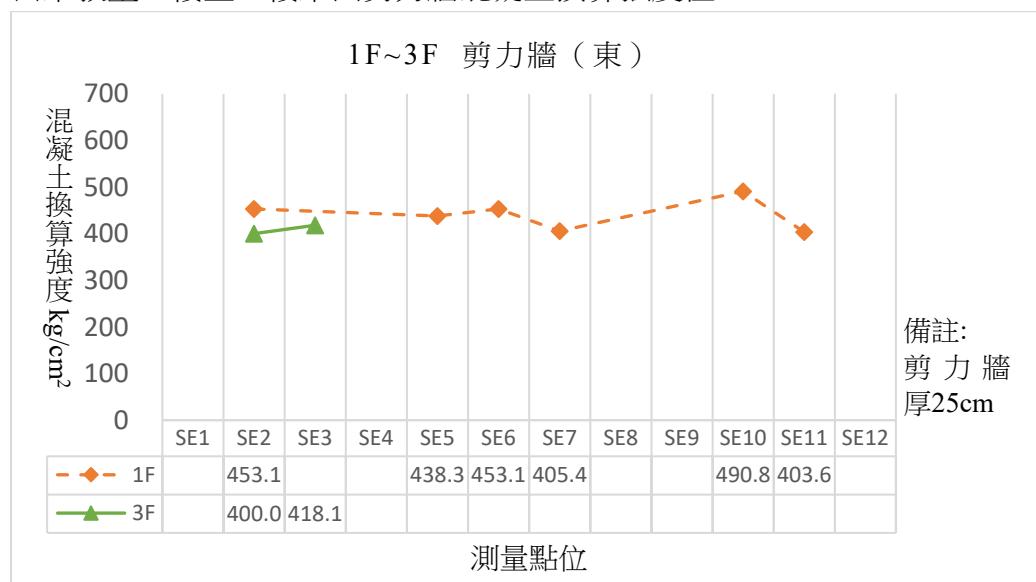
公東教堂一樓至三樓西面剪力牆混凝土換算強度值



資料來源：本研究繪製

圖 18

公東教堂一樓至三樓東面剪力牆混凝土換算強度值



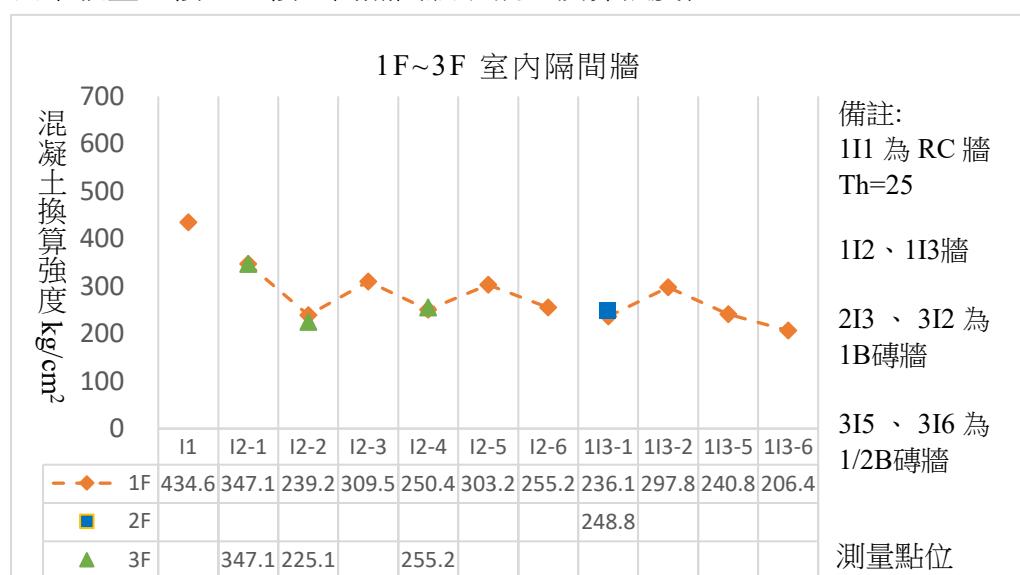
資料來源：本研究繪製

(六) 室內隔間牆

圖 19 是公東教堂一樓至三樓室內隔間牆的混凝土換算強度值，數值大多介在 300 kg/cm^2 上下。

圖 19

公東教堂一樓至三樓室內隔間牆混凝土換算強度值



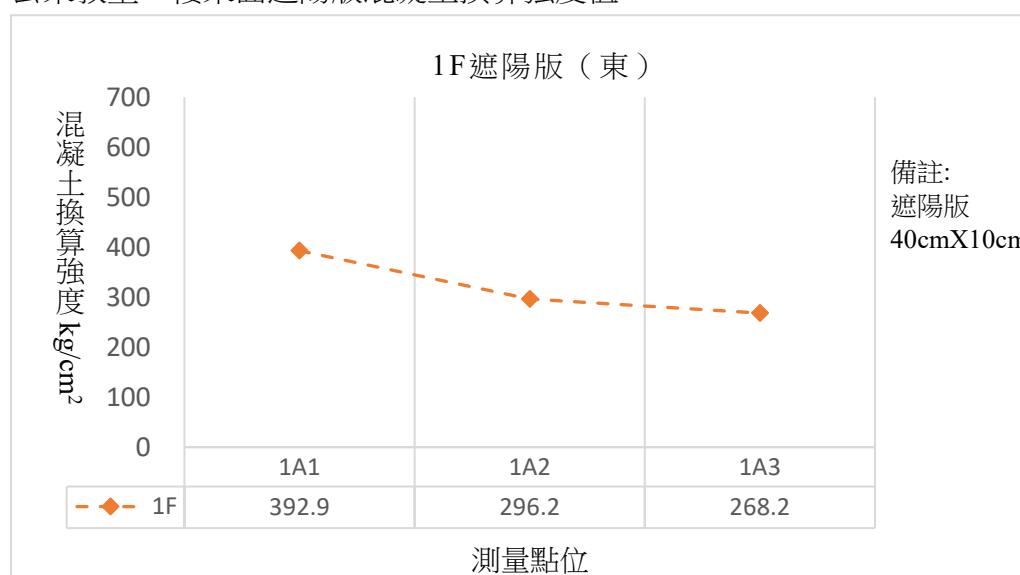
資料來源：本研究繪製

(七) 遮陽版

圖 20 是公東教堂一樓東面遮陽版的混凝土換算強度值，數值大多介在 300 kg/cm^2 上下。

圖 20

公東教堂一樓東面遮陽版混凝土換算強度值



資料來源：本研究繪製

肆、討論與結論

一、討論

綜觀前幾次的檢測結果，數據呈現波動的原因推測如下。

(一) 興建時的品質控管

當年建造時，多採用較克難的方式施作，加上現場欠缺建築、土木的專業人員督導。雖然錫質平神父親自督工，但是錫神父的專長並非建築及土木領域，施工品質在建築物的不同部位，呈現差異性。

(二) 檢測的條件

破壞性檢測時，取樣的位置、取樣儀器的鑽鑿，以及試驗時的環境條件等，都會影響試驗結果。

(三) 混凝土內部的材質

非破壞性檢測時，若是混凝土內部有空洞或是曾經填補過，檢測強度會特別低；若是內部有鋪設柔軟的材質時，則試驗錘內衝錘的反彈力道會被吸收，幾乎無法測量到數據。

公東教堂曾經在民國 93 年至 95 年期間進行過材料的檢測，由知本工程技術顧問有限公司在民國 93 年初進行混凝土鑽心試體中性化試驗、硬固混凝土水溶性氯離子含量試驗及抗壓強度試驗；民國 95 年底則是由立鋼國際工程股份有限公司進行混凝土鑽心試體中性化試驗、硬固混凝土水溶性氯離子含量試驗及抗壓強度試驗。破壞性的檢測結果，綜合說明如下。

(一) 混凝土中性化

知本工程技術顧問有限公司檢測結果以四樓側牆及頂樓樓梯牆的中性化程度最高，達到 5 公分以上。垂直遮陽版也超過 4 公分；由立剛國際工程股份有限公司檢測結果以三樓及四樓的中性化程度最高，達到 9 公分。以上的中性化程度都超過鋼筋的保護層厚度，會造成鋼筋鏽蝕，相對的也影響結構體的安全及防水。

(二) 混凝土抗壓強度

知本工程技術顧問有限公司檢測結果以教堂一樓的混凝土鑽心試體抗壓強

度為 362kgf/cm^2 最高，而最低的四樓混凝土試體抗壓強度為 123kgf/cm^2 ，算是混凝土抗壓強度不足；至於立剛國際工程股份有限公司檢測結果以教堂一樓的混凝土鑽心試體抗壓強度最高，有到達 339kgf/cm^2 ，至於三樓和四樓則是品質不佳，最低是 79kgf/cm^2 。

（三）混凝土水溶性氯離子含量

知本工程技術顧問有限公司檢測結果最高達到 0.6249kg/m^3 ；至於立剛國際工程股份有限公司檢測結果最高的是一樓的 0.43kg/m^3 。以上的氯離子含量都超過鋼筋混凝土小於 0.30kg/m^3 的規定，容易造成鋼筋鏽蝕，相對的也影響結構體的安全及防水。

二、結構破壞原因探討

公東教堂在修復前的損壞情形，在地版及牆面多處的保護層剝落（圖 21），比較嚴重的是原有神父寢室外側接近走廊交角處的柱頭爆裂，甚至有鋼筋外露（圖 22）。此外，東側遮陽版的混凝土剝落，鋼筋外露（圖 23）。

圖 21
公東教堂二樓的混凝土開裂情形



資料來源：作者拍攝

圖 22

公東教堂三樓的混凝土柱頭爆裂情形



資料來源：作者拍攝

圖 23

公東教堂東側遮陽版的混凝土剝落，鋼筋外露。



資料來源：作者拍攝

(一) 保護層破壞原因探討

建築物若是使用含過量氯離子的混凝土，在鋼筋表面的混凝土品質因中性化或氯離子侵入將造成鋼筋腐蝕，當鋼筋腐蝕生成物的體積膨脹時，會對混凝土產生擠壓張力。當擠壓累積到某一個程度時，混凝土表面會產生裂縫。而裂縫將導致水氣滲入，越多鋼筋生鏽，進而造成混凝土剝落，鋼筋外露，將影響建築物結

構安全。

混凝土使用含過量氯離子的成因之一，即是混凝土中的細骨材採用海砂。早年興建教堂時，混凝土所用的正常河砂改採自海邊未經處理的海砂，氯離子含量高。由於海水中含有豐富的氯化鈉，加上海砂中的鹽有潮解性，能自行吸收水分。因此若在混凝土中加進未經處理過的海砂，短期會使混凝土產生病變，牆面滲出白色的痕跡，長期會導致鋼筋腐蝕膨脹，進而造成混凝土塊剝落等現象，直接影響鋼筋的握裹強度，影響結構安全。

由前述的多處混凝土爆裂情形，甚至有保護層剝落，鋼筋鏽蝕外露的情形（圖 21 至圖 23），造成出入人員的安全威脅。當初在興建公東教堂時，採用的是海邊的沙石，因為氯離子過高，造成鋼筋鏽蝕，進而使混凝土剝落。此外，也因為裂縫的產生，使建築物發生漏水情形。

（二）鋼筋鏽蝕原因探討

造成鋼筋鏽蝕的主要原因有鹽害與中性化兩大類。在鹽害方面，當混凝土中鋼筋表面的氯離子超過一定的量時，鋼筋表面的保護性鈍化膜開始破壞，接著鋼筋開始鏽蝕膨脹造成混凝土龜裂或崩落。至於氯離子的來源，又可分為在興建期間加入或是在使用期間滲透進入兩大管道。在興建期間氯離子進入混凝土的管道除了隨著早強劑的使用而加入混凝土外，另一則是使用含氯離子的粒料，例如海砂及含鹽分的水。在建築結構使用期間，環境中的氯離子會吸附混凝土而擴散到鋼筋表面。這些環境中氯離子的來源可以是海風或海水，建築物很容易因海風或海水帶來鹽分滲入混凝土而造成鋼筋腐蝕進而影響結構安全。

此外，在中性化方面，公東教堂在材料的檢測中，發現混凝土中性化深度普遍過高，尤其在較高的三樓及四樓樓層中性化程度最高。四樓側牆、四樓樓梯牆及東側垂直遮陽版的中性化程度偏高，推測上述建築構件長期暴露在風雨日照中，中性化更嚴重。以上的中性化程度都超過鋼筋的保護層厚度，會造成鋼筋鏽蝕，相對的也影響結構體的安全及防水。

三、結論

公東教堂混凝土鑽心試體的抗壓強度以一樓最高，硬固混凝土水溶性氯離子含量也是最高，但是混凝土的中性化程度較低。相對的四樓的混凝土鑽心試體的抗壓強度較低，混凝土的中性化程度較高，有安全上的疑慮，然而硬固混凝土水溶性氯離子含量卻是較低。合理的推測是四樓常期曝露在日照及風雨中，比低樓層混凝土更容易中性化，水分子滲入混凝土後，相對的稀釋原有的氯離子含量。

以非破壞性的混凝土強度試錘檢測而言，公東教堂一樓至四樓混凝土構件強度總體而言，以一樓及二樓的強度較佳，而三樓及四樓的強度偏低。結果和破壞性的混凝土鑽心試體檢測結果相吻合。非破壞性檢測的優點是不會對結構體造成任何的破壞，而且施測較容易，可以對結構體全面性的施測。

參考文獻

- 王倬熙（1985）。**公東廿五周年紀念特刊**。私立公東高級工業職業學校。
- 吳明修（1962）。特寫報導：臺東公東高工校舍觀後感。**建築雙月刊**，(5)，24。
- 黃清泰（2017）。**瑞士學徒制教育在公東：一位老校長引領的學習革命**。圓神出版社。
- 陳正平（2011）。談「海砂屋」鑑定。**技師報**（臺灣省土木技師公會），(744)，(無頁碼)。
- 蔡光明（2008）。**公東教堂建築語彙與神學意涵之研究**（未出版之碩士論文）。國立成功大學。
- 顧超光、蔡光明（2018）。**臺東縣歷史建築「私立公東高級工業職業學校教堂」修復及再利用計畫**。文化部文化資產局/臺東縣政府文化處。
- 顧超光（2025a）。公東高工教堂從興建到修復的前世今生。**台灣建築**（台灣建築報導雜誌社），(354)，28-29。
- 顧超光、吳榮彬（2025b）。**白冷會在臺東的歐氏花園：天主教白冷外方傳教會的創立及臺灣區會會院建築與植栽賞析**。國立臺東專科學校。
- Dahinden, J. (2014). *Architecture-Form and Emotion*. Karl Krämer Publisher.

Non-Destructive Testing of Gongdong Chapel and Investigation on the Causes of Concrete Material Deterioration Before Restoration

Chao-Kuang Ku*

Abstract

Gongdong (St. Joseph Technical Senior High School) Chapel was constructed in 1960 with low-cost and makeshift methods. The structure adopted a reinforced concrete slab-wall system, but the use of sea sand resulted in a high chloride ion content in the concrete. Destructive material testing conducted decades ago revealed that most concrete samples contained chloride ion levels exceeding national reference standards. Elevated chloride content induced reinforcement corrosion; carbonation of the concrete was widespread and severe, especially on the third and fourth floors, where carbonation depth exceeded the thickness of the protective layer, leading to reinforcement corrosion. In addition, poor quality control during construction caused significant variation in compressive strength. These factors collectively led to damage prior to restoration, including spalling of the protective layer, cracking of column heads, and exposed reinforcement.

Earlier testing relied on concrete core drilling and sampling, which provided data on compressive strength, carbonation depth, and chloride ion content, but left scars on the fair-faced concrete surface, affecting aesthetics. To avoid surface damage, the investigation employed non-destructive rebound hammer testing to comprehensively evaluate the strength of different structural components. The results were consistent with earlier destructive tests, showing that the lower floors had higher concrete strength,

* Associate Professor, Department of Architecture, National Taitung Junior College, E-mail :
ckku100@gmail.com

The paper was published under two double-blind reviews.

Received: December 8, 2025. Accepted: December 28, 2025.

while the upper floors generally exhibited insufficient strength and more severe deterioration. The advantages of non-destructive testing include ease of operation and the ability to assess the entire structure without causing damage. Comprehensive analysis indicates that the primary causes of deterioration in Gongdong Chapel's concrete were the use of sea sand and carbonation. Non-destructive testing provides a more complete and preservation-friendly basis, offering important reference value for subsequent restoration and conservation of historic architecture.

Keywords: Gongdong Chapel, Non-destructive testing, Concrete compressive strength, Chloride ion content, Concrete carbonation