

紅外線熱影像法於外牆磁磚表面溫度檢測 特性之實驗研究

內政部建築研究所自行研究報告
中華民國 100 年 11 月

PG10003-0488

100301070000G1040

紅外線熱影像法於外牆磁磚表面溫度檢測 特性之實驗研究

研究人員：林谷陶 研究員

內政部建築研究所自行研究報告
中華民國 100 年 11 月

MINISTRY OF THE INTERIOR
RESEARCH PROJECT REPORT

A study of characters for measuring surface
temperature of exterior tile wall system
using infrared thermography

BY

KU-TAO LIN

November 30, 2011

目次

表次	III
圖次	V
摘要	IX
第一章 緒論	1
第一節 研究緣起與背景	1
第二節 研究目的	2
第三節 研究內容與方法	3
第二章 文獻探討	9
第一節 國內外文獻探討	9
第二節 國內外現況探討	30
第三節 紅外線熱影像法	38
第四節 實驗設計法與 MINITAB	43
第五節 綜合案例研究	55
第六節 小結	61
第三章 實驗設計規劃	63
第一節 實驗設計因子及水準篩選	63
第二節 實驗設計規劃及配置	68
第三節 實驗試體材料與製作	74
第四節 實驗設備配置及步驟	79
第五節 演算法規劃	87
第四章 實驗結果與分析	89
第一節 外牆磁磚系統表面溫度檢測紀錄	92
第二節 外牆磁磚系統表面溫度特性分析	95
第三節 實驗數據比對分析	112
第五章 結論與建議	129
第一節 結論	129
第二節 建議	133
參考文獻	135
附錄 A 磁磚掉落媒體報導案例彙整	141
附錄 B 公共工程施工網要規範 第 09310 章 瓷磚	145
附錄 C 紅外線熱影像檢測圖及溫度擷取點	153

附錄 D 紅外線熱影像擷取溫度記錄·····	157
附錄 E 缺陷點上升溫度與三點平均溫度比較表·····	171
附錄 F 期中審查會議紀錄·····	175

表 次

表 2-1	國內文獻回顧摘要彙整表	9
表 2-2	本所歷年報告摘要彙整表	16
表 2-3	國外期刊回顧摘要彙整表	20
表 2-4	外牆磁磚施工步驟	33
表 2-5	外牆磁磚剝落原因與防止對策	34
表 2-6	牆面磁磚診斷方法的適用限度	36
表 2-7	實驗設計整體步驟	45
表 2-8	實驗設計方法之比較	53
表 2-9	實驗案例的磁磚尺寸	56
表 2-10	實驗案例用的磁磚性能	56
表 2-11	實驗案例用的水泥系黏結劑特性	57
表 2-12	實驗案例加速老化完整的循環步驟	58
表 3-1	陶質壁磚用接著劑規定養護及其處理條件	65
表 3-2	陶質壁磚用接著劑判定標準	66
表 3-3	建議未來加速老化實驗因子及水準	67
表 3-4	全因子實驗設計試體規劃表	70
表 3-5	混凝土基板配比及強度	74
表 3-6	CNS 9742 瓷質壁磚規定與本研究選用材質比較表	74
表 3-7	紅外線熱像儀 B660 建議參數值	83
表 4-1	健全部位 54 溫度點三段擬合方程式特徵值	110
表 4-2	全因子實驗設計試體規劃及反應值彙整表	112
表 4-3	最高溫因子變異數分析	114
表 4-4	m1 因子變異數分析	114
表 4-5	m2 因子變異數分析	115
表 4-6	m3 因子變異數分析	115
表 4-7	實驗因子各水準反應值之最小平方均值	116

圖次

圖 1-1	研究流程圖	4
圖 2-1	脫層部位與健全部位間的溫度差異機制	41
圖 2-2	某建築物的外牆紅外線熱影像檢測對照圖	42
圖 2-3	製程或系統的一般模型	44
圖 2-4	漏斗模型	46
圖 2-5	特性要因圖	50
圖 2-6	系統圖	51
圖 2-7	外牆磁磚剝落現象	55
圖 2-8	實驗案例用試體配置	57
圖 2-9	實驗案例加速老化之黏結強度變化	59
圖 2-10	實驗案例加速老化之黏結強度變化	59
圖 2-11	外牆磁磚系統	61
圖 3-1	外牆磁磚剝落特性要因圖	63
圖 3-2	磁磚黏結強度系統圖	64
圖 3-3	MINITAB 操作步驟	68
圖 3-4	啟動 MINITAB 實驗及因子設計功能	69
圖 3-5	設定全因子實驗設計及設定 3 因子數	69
圖 3-6	設定因子名稱及水準數、重複數	70
圖 3-7	設定因子水準值及屬性	70
圖 3-8	試體磁磚黏貼計畫圖	73
圖 3-9	實驗用外牆貼面小口磁磚	74
圖 3-10	海菜粉泡水拌勻靜置	75
圖 3-11	水泥砂漿拌勻海菜粉	75
圖 3-12	樹脂益膠泥及拌合情形	75
圖 3-13	混凝土基板清潔濕潤及靜置	76
圖 3-14	1:2 水泥砂漿塗佈及上下二部黏貼	76
圖 3-15	1:2 水泥砂漿添加海菜粉塗佈及上下二部黏貼	77
圖 3-16	益膠泥塗佈及上下二部黏貼	77
圖 3-17	抹縫及靜置養護	77
圖 3-18	1×1 cm ² 雙面膠帶模擬磁磚脫層缺陷	78

圖 3-19 實驗步驟	79
圖 3-20 紅外線熱影像儀	80
圖 3-21 紅外線加熱燈組	84
圖 3-22 均勻加熱自走車圖	86
圖 4-1 試體鎖置於重型試驗架	89
圖 4-2 自走車左右行程操作調整	90
圖 4-3 圖 4-3 自走車速度操作調整	90
圖 4-4 圖 4-4 自走車循環次數及左右暫停間隔設定	91
圖 4-5 紅外線熱影像參數調整	91
圖 4-6 第 1 次循環加熱後之紅外線熱影像圖	92
圖 4-7 第 100 次循環加熱後之紅外線熱影像圖	93
圖 4-8 溫度下降階段最後擷取溫度點之紅外線熱影像圖	94
圖 4-9 溫度上升階段紅外線熱影像之缺陷位置圖	94
圖 4-10 T01~06 全程溫度分佈及溫度衰減 3 段擬合圖	96
圖 4-11 T07~12 全程溫度分佈及溫度衰減 3 段擬合圖	96
圖 4-12 T13~18 全程溫度分佈及溫度衰減 3 段擬合圖	97
圖 4-13 T19~24 全程溫度分佈及溫度衰減 3 段擬合圖	97
圖 4-14 T25~30 全程溫度分佈及溫度衰減 3 段擬合圖	98
圖 4-15 T31~36 全程溫度分佈及溫度衰減 3 段擬合圖	98
圖 4-16 T37~42 全程溫度分佈及溫度衰減 3 段擬合圖	99
圖 4-17 T43~48 全程溫度分佈及溫度衰減 3 段擬合圖	99
圖 4-18 T49~54 全程溫度分佈及溫度衰減 3 段擬合圖	100
圖 4-19 A1 試體脫層溫度與平均溫度比較圖	100
圖 4-20 B1 試體脫層溫度與平均溫度比較圖	101
圖 4-21 C1 試體脫層溫度與平均溫度比較圖	102
圖 4-22 A2 試體脫層溫度與平均溫度比較圖	102
圖 4-23 B2 試體脫層溫度與平均溫度比較圖	103
圖 4-24 C2 試體脫層溫度與平均溫度比較圖	103
圖 4-25 A3 試體脫層溫度與平均溫度比較圖	104
圖 4-26 B3 試體脫層溫度與平均溫度比較圖	104
圖 4-27 C3 試體脫層溫度與平均溫度比較圖	105

圖 4-28 混合邊界條件示意圖	107
圖 4-29 反應值最高溫殘差分析圖	117
圖 4-30 反應值 m1 殘差分析圖	118
圖 4-31 反應值 m2 殘差分析圖	118
圖 4-32 反應值 m3 殘差分析圖	119
圖 4-33 反應值最高溫主效應分析圖	121
圖 4-34 反應值 m1 主效應分析圖	122
圖 4-35 反應值 m2 主效應分析圖	122
圖 4-36 反應值 m3 主效應分析圖	123
圖 4-37 反應值最高溫交互作用分析圖	124
圖 4-38 反應值 m1 交互作用分析圖	125
圖 4-39 反應值 m2 交互作用分析圖	126
圖 4-40 反應值 m3 交互作用分析圖	127

摘 要

關鍵詞：外牆磁磚黏結性能、紅外線熱影像、實驗設計

一、研究緣起

紅外線熱像分析檢測技術之試驗研究於歐美、日本地區，除了於電力設備方面為成熟之檢測應用外，建築領域相關研究亦進行多年，大都應用於結構、節能等等之非接觸、非破壞性之檢測應用。近年來建築物也大量應用紅外線熱影像技術於建築缺陷，如漏水、建築外殼空調洩漏及外牆磁磚黏結脫層的檢測分析。

尤其外牆磁磚部分，磁磚掉落涉及人身公共安全，更受到國內外普遍重視，已有相當多學者投入相關檢測方法的研究。而日本在紅外線熱影像技術於外牆磁磚剝落之檢測，更是具體形成制度與產業規模。

二、研究方法及過程

由於一般外牆磁磚應用紅外線熱影像之非破壞性檢測技術，主要是檢測面層磁磚、黏結層與底層混凝土間之脫層現象。因為脫層現象產生之空氣層，使外牆正常與缺陷區域在日曬後產生溫度差異，其差異即可由紅外線熱影像即時顯示判斷。

本研究在於運用實驗設計方法，規劃外牆磁磚使用不同黏結材料，在不同黏置時間及不同位置條件下，應用具有遠距、非接觸及一次全面檢測優勢之紅外線熱影像非破壞性技術，探討磁磚黏結系統脫層、及未脫層現象之檢測特徵分析。

結合本所既有紅外線熱影像儀並設計主動式往復均勻加熱器及重型可調試驗架，模擬成外牆磁磚系統，於受熱條件一致下進行紅外線熱影像檢測。

三、重要發現

研究發現外牆磁磚系統，實驗室中以紅外線加熱燈箱加熱 2 分鐘後，於紅外線熱影像圖中即可觀察出預埋之脫層缺陷點位置，加熱 37~69 分鐘之間的紅外線熱影像圖中，可觀察出顏色對比最大(即與健全部位有最大溫度差)預埋之脫層缺陷點位置。溫度最高點附近及之後的溫度衰減階段則無法觀察出脫層缺陷點位置。

溫度衰減階段每一溫度擷取點之歷時溫度分佈，分三段擬合之方程式都可獲得三個特徵 m 值。將三個特徵 m 值做為實驗設計之反應值，再藉由迴歸分析及變異數分析，發現最適合做為代表外牆磁磚系統試體特徵值者為衰減階段初始 5 分鐘之擬合方程式特徵值，最具識別黏結材料、黏置時間及試體位置的規則性。

以上發現代表著，未來實際進行建築物外牆磁磚系統之非破壞性檢測時，若欲偵測脫層缺陷，最好選擇建築物早上受太陽照射之溫度上升階段；而若要鑑別不同黏結材料、不同黏置時間等外牆磁磚系統的表面溫度特徵，可以溫度衰減階段初始 5 分鐘之擬合方程式特徵值 m 為比較依據。

四、主要建議事項

建議一

延續本年度實驗設計規劃構想及方法，進行紅外線熱影像檢測外牆磁磚系統老化之實驗研究：立即可行建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：無

本年度針對紅外線熱影像檢測建築物外牆磁磚系統表面溫度特性，所進行的實驗及檢測研究分析，發現經由數值擬合方程式特徵值，及實驗設計的統計驗證，已經說明紅外線熱影像技術已經具有

檢測外牆磁磚系統不同黏結材料之可行性，因此建議應用此一技術及實驗方法，繼續探討檢測外牆磁磚系統黏結材料受環境老化能力之可行性探討。

此一技術若開發成熟，不僅具有進步的學術價值，同時也能提供建築物外牆磁磚老劣化安全、簡便現場檢測技術，為公共安全及建築物延長使用壽命所需管理維護做出貢獻。

建議二

未來於檢測外牆磁磚系統黏結材料受環境老化能力之可行性探討完成後，尚必須建立台灣地區紅外線熱影像檢測外牆磁磚系統老化之最佳檢測時間及應注意事項：中長期建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：無

建築物形狀、高度、座向，以及磁磚表面（如顏色、染污），表面氣流等狀態，都會影響到太陽照射時建築物牆面加熱升溫，及降溫效果，這對紅外線熱影像遠距檢測的影響程度如何，必須有累積一定實際建築物檢測資料進行統計、比對分析，才能進一步將這些變數簡化或納入計算其影響程度。

建議三

結合紅外線熱影像非破壞性檢測技術進行大型結構力學實驗之微裂縫或受力情形之遠距、全面之檢測實驗研究：中長期建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：無

結合本所力學實驗室所有 3000 噸萬能試驗機及反力牆等大型力學實驗設備，探討紅外線熱影像技術檢測實尺寸結構構件受力分佈產生微裂縫情形，嘗試開發遠距、全面之非破壞性檢測結構物，

如橋梁、高層建築物等不容易接近檢測之結構物，以提升維護管理效能，增進使用安全及結構物使用年限。

A study of characters for measuring surface temperature of exterior tile wall system using infrared thermography

Summary

Keywords: Exterior tile wall adhesive, infrared thermography, design of experiments.

The experiments involved infrared thermography analysis and inspection technique for electrical apparatus are common in US, Europe, and Japan. Infrared thermography is also adopted for researches of buildings for many years, such as noncontacting, nondestructive testing for structures of energy conservation purposes. Recently, infrared thermography is also used to detect defects of buildings, such as water leakage, air conditioner system leakage of building exterior walls and peeling of tiles from exterior walls.

Since peeling of tiles from exterior walls involves public safety concerns, it is paid highly attention both in Taiwan and worldwide. Many researchers have already devoted to relevant detection methods. In Japan, the detection of peeling exterior wall tile using infrared thermography became an industry and a system was build for the industry.

The nondestructive testing method of infrared thermography applied to exterior tile wall was mainly used to detect delamination between tile surface, adhesive layer and base concrete layer. The air layer caused by delamination produced temperature difference between the normal and defect area after exposed to the sun. The difference can be shown immediately by the infrared thermography images.

This research applied design of experiments method as using different adhesive materials for tiles of exterior walls. The nondestructive testing technique of infrared thermography was used to discuss the characters for detecting delaminated tile adhesive system with different adhesive durations and locations. Infrared thermography method has the advantages as remote, noncontact and one-time inspection

A simulated exterior tile wall system was established using the existing infrared camera in our institute with active heater design and a heavy, adjustable experimental frame. Therefore, the infrared thermography inspection can be conducted under the same heating condition.

The research results showed that after heating the exterior tile wall system using an infrared lamp in the laboratory for 2 minutes, locations of buried delamination defects can be observed in infrared thermography images. The infrared thermography images that heated between 37~69 minutes showed the location of buried delamination defect with most color contrast (i. e. with the most temperature difference with the perfect bonding location). The locations of defects cannot be observed when the temperature near the peak and at the following cooling stage.

The historical temperature distribution for each temperature picked at cooling stage was fitted into an equation of 3 sections with 3 characteristic value m , which was treated as the response value of experimental design. The results of analysis of regression and variance showed and most representative characteristic value m for the exterior tile

wall system was the m value of the fitted equation during the initial 5 minutes at the cooling stage, which can identify adhesive material, adhesive duration and specimen location most.

The discussion above showed the best time to conduct non-destructive testing on exterior tile wall system of real buildings for delamination defects is in the morning when the building is heated by the sun. As to identify surface temperature characters of the exterior tile wall system, such as adhesive material and adhesive duration, the characteristic value m of fitted equation for initial 5 minutes at cooling stage can be used for comparison.

第一章 緒論

第一節 研究緣起與背景

國內既有鋼筋混凝土構造建築物，內外牆面習慣上仍以水泥砂漿粉光及貼飾磁磚為主，但因台灣地區屬亞熱帶海島型氣候，加上施工材料、施工方式、施工工具等[7]可能產生許多劣化情形，涉及的外牆磁磚掉落事件仍時有所聞[23]。

因為建築結構的混凝土與界面層在高溫高濕氣候循環下產生空洞缺陷，並進一步讓外部水氣、鹽分、空氣中等有害物質侵入，造成黏結層與底層局部剝落，繼之滲透銹蝕鋼筋從而引起混凝土開裂與剝離。此外，還有硫酸鹽侵蝕及鹼骨材反應也會引起混凝土內部膨脹開裂[24]；這些問題事實上都是因為缺陷發生初始，通常無法以肉眼觀察和發現，等到表層大片剝落時，才會引起人們注意及開始進行檢查及維護[46]。

目前利用非破壞性檢測方式進行耐久性檢測者，概為超音波及反彈錘技術量測既有結構體強度，比對原設計值強度，據以判斷其老劣化程度[48]。但事實上高層建築物外牆很難利用此類接觸式檢測方法進行全面快速的檢測，並且所謂的劣化問題的開始並不是發生在結構體本身，而是前述的結構體外牆或屋頂表面的黏結層或打底的砂漿出了問題[46]。

外牆磁磚的缺陷的非破壞性檢測，國內外已許多學術單位進行紅外線熱影像非破壞性、非接觸式的遠距檢測的試驗研究，惟大多以外部加熱後直接偵測整體輻射熱影像性質，比對出缺陷孔洞位置[50]；而以往缺乏對最大可能來源是打底或黏結砂漿耐久性或老化程度的問題進行探討，直到近幾年方有少數幾個國外建築外牆習用磁磚當飾面材料的國家，注意到外牆磁磚黏結材料老化的問題，並開始相關加速老化實驗及進行剪力或拉拔試驗強度之比對研究[36]。惟依所參考文獻分析，目前尚未有應用紅外線熱影像技術進行非破壞性、非接觸式的遠距檢測外牆磁磚黏結性能變化的研究。

第二節 研究目的

以建築物外牆而言包含了結構體、整平或打底粉刷層、黏結層、面層磁磚等，形成一複合的外牆磁磚系統。其中黏結層國內習用之磁磚黏結材料有水泥砂漿、水泥砂漿拌合海菜粉及專用磁磚黏著劑等本身即為複合材料，尤其後二者具有部分高分子材料性質[25]，均為容易受到溫濕環境的老化影響[26]的材料成分。此外，水泥砂漿部分在長期在環境影響之下的劣化包括表面損壞、開裂及化學反應之內應力、孔隙增加等等[13]導致強度降低、變形或崩離剝落現象。而實驗室中以不同配比加速老化後，進行紅外線熱影像降溫檢測結果比對未老化試體，二者之溫度特徵值也有差異[46]。

因此，本研究的目的，在於探討外牆磁磚黏結層不同材料、不同黏置時間，及檢測位置的影響，所呈現在外牆磁磚表面之受熱及降溫過程，由所得紅外線熱影像擷取之溫度特徵值差異，以驗證紅外線熱影像技術在未來實際檢測外牆磁磚系統應用可行性，及應注意事項。

特別是紅外線熱影像檢測技術具有全面性、非破壞性、遠距非接觸式的檢測特性，若能結合數值分析技術，對外牆磁磚與結構體中間黏結層材料的材料耐久性能，進行探討，將能提供高層建築物外牆磁磚性能程度評估，及進一步檢測維護的依據。

第三節 研究內容與方法

考量本研究實驗重點為紅外線熱影像非破壞性檢測外牆磁磚表面溫度特性，應用於磁磚黏結性能變化之關聯研究，乃透過模擬製作之外牆磁磚系統試體予以不同黏結材料、黏置時間及牆面高度位置後，以紅外線熱影像檢測技術印證檢測技術非接觸式的檢測材料性能變化的可行性。

由於實驗研究本身受限於實驗時間、設備資源及試體製作成本限制，必須思考可能進行實驗研究分析的試體數量。為求嚴謹及可信度起見，本研究導入具品質及統計原理之實驗設計方法[53]，進行整體實驗設計規劃：在外牆磁磚黏結性能原因分析方面，篩選出關鍵因子—黏結材料、施工黏置時間(Open Time)及檢測位置為關鍵因子進行實驗設計。實驗設計方法則採取保守的全因子實驗設計法。

本研究整體研究流程如圖 1-1 所示：首先確立研究目的，再透過文獻回顧瞭解相關材料、設備、方法等國內外研究內容及成果，以擷取實驗研究經驗，提供本研究實驗設計規劃參考；實驗設計部分參考相關文獻及現況，歸納出符合研究目的的相關影響因子，並藉由實驗設計方法規劃出實驗試體數量及交互作用配置方式。

實驗試體完成後，將一次接受主動式紅外線加熱器之模擬太陽均勻加熱，加熱同時以紅外線熱影像儀進行磁磚表面溫度檢測。經由紅外線熱影像所擷取升溫及降溫過程之溫度數據，所獲得溫度差或迴歸擬合方程式中之特徵值，進行實驗統計分析找出複合系統中最具特徵值數據，並驗證出紅外線熱影像檢測技術具有一次全面非破壞性、遠距非接觸式檢測外牆磁磚黏結性能的可行性。

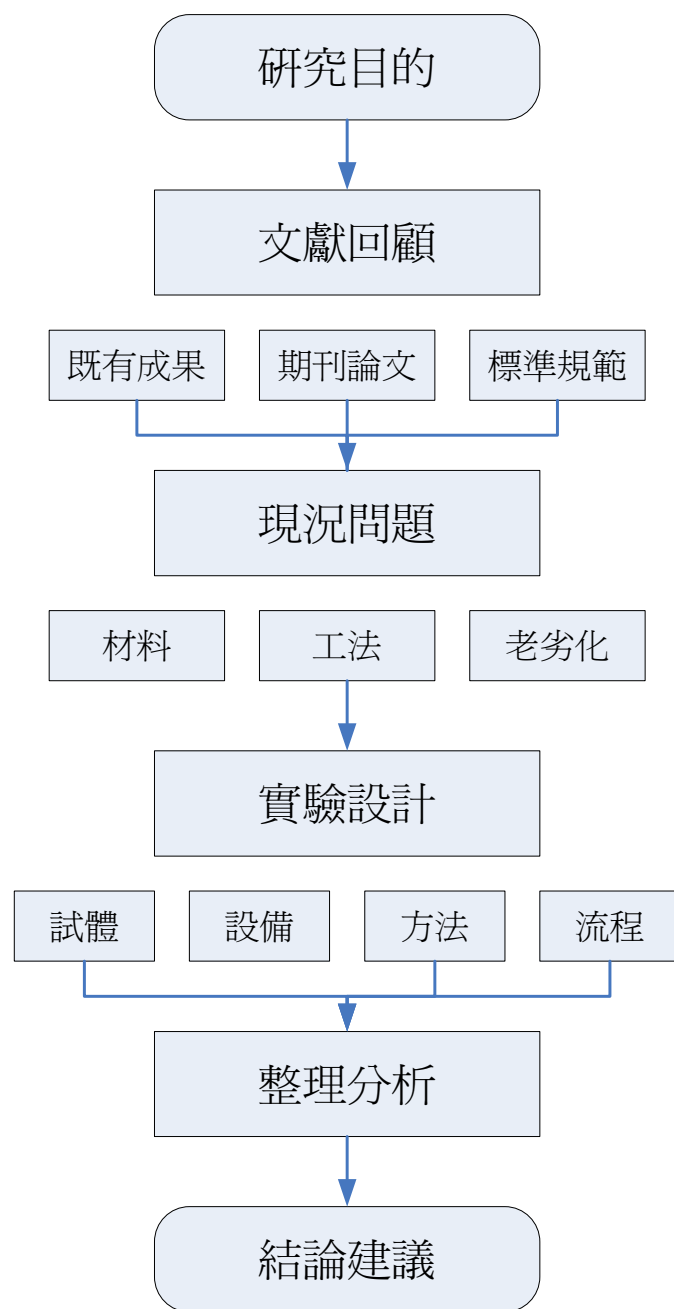


圖 1-1 研究流程圖

資料來源：本研究繪製

一、研究目的

外牆磁磚系統在長期環境的日曬雨淋，甚至空氣水分中污染物質的影響下，尚未產生脫層或孔隙現象，但黏結強度性能已降低的老化現象時，已產生磁磚剝落造成傷害人員財產之潛在危險。

目前國內研究概以不同配比或工法進行外牆磁磚黏結性能之檢測研究[7][11]，而國外已有少數學者注意到此一領域的老化研究課題[36][37]，但仍以傳統之剪力或拉拔試驗為主，缺乏針對大樓外牆磁磚系統之非破壞性全面、非接觸式遠距的檢測技術。

因此，本研究延續本所歷年有關紅外線熱影像檢測不同水泥砂漿配比加速老化後，所得溫度特徵值具有代表材料老化可能趨勢之研究成果[46]。將進一步以磁磚黏結材料為驗證對象，並製作實際外牆磁磚系統的模擬試體，進行實驗室特徵檢測實驗。以發展未來紅外線熱影像技術於建築材料之耐久性研究的可行性，本年度乃針對紅外線熱影像檢測建築物外牆磁磚系統表面溫度特性，進行檢測研究。

二、文獻回顧

本研究的文獻回顧，除了持續關注紅外線熱影像檢測技術、相關數值分析及試體加熱方式外，重點在於收集本年度研究相關之國內外外牆磁磚劣化現象相關材料、施工、環境影響、標準規範等文獻，進行探討分析，並特別收集國外介紹有關黏結材料加速老化實驗、強度試驗方法、檢測制度之文獻；此外，因為導入實驗設計方法除基本教材外，還針對相關整合應用實例進行分析。

相關文獻包括：

1. 探討了建築物外牆磁磚系統相關材料、工法、缺陷，及環境中耐久性能之影響因素，及相關加速老化實驗方法。
2. 紅外線熱影像及拉拔試驗檢測技術及相關實驗研究方法。
3. 實驗設計及數值分析原理方法及整合案例。

三、實驗設計

從研究對象、目的的確認，並以實驗設計方法篩選影響因子之方法協助文獻回顧內容系統整理，並印證構思實驗設計思考方向的

正確性。經由系統化整理，篩選出施工階段明顯影響黏結劑黏結強度的因子、可操作黏結性能變化之環境因子及習用粘結劑材料因子，做為本研究之實驗變數。

因為上述實驗變數(因子)具有數值及類別二種不同性質，並各具不同水準數，因此實驗設計採用全因子實驗設計方法進行規劃，相關規劃試體數量、配置請詳第三章實驗設計。

實驗養護完成後，均須模擬外牆表面受到太陽照射的均勻加熱，同時以紅外線熱影像儀進行非接觸及全面的溫度影像檢測。因為模擬均勻加熱的要求，本研究乃規劃設計可彈性組合之重型可調整曝曬實驗架，及紅外線加熱燈組等設備。

四、試體製作

本研究試體之製作係綜合參考相關文獻及標準，決定以製作結構用之混凝土塊 30×30×10cm，養護超過 28 天後清潔溼潤，並依工地現場習慣作業方式鋪貼，黏結材料使用 1:2 水泥砂漿拌合海菜粉及磁磚專用粘結劑，另為與傳統 1:2 水泥砂漿進行比對，因此共三種黏結材料。

此外，磁磚選用選用市售 30×30cm 包含 36 塊磁磚 4.7×4.7cm 小口磚，因此不必在磁磚面上切割，導致震動造成黏結強度損失的疑慮。黏置時間部分混凝土於塗滿黏結劑後，分為上下二部不同黏置時間結接頭，相關配置設計，請詳第三章。

五、實驗數據擷取與整理

各試體係垂直佈置於重型可調試驗架上，接受紅外線加熱燈組模擬太陽光線均勻照射加熱，同時以紅外線熱像儀量測規劃試體上磁磚表面升溫及降溫情形。溫度量測以一定 2 或 5 分鐘間隔時間拍攝後，擷取實驗設計規劃階段所選定位置之升降溫之分布情形進行

分析；降溫部分將以分段自然對數積分方式取得擬合，以獲得外牆磁磚系統模擬試體之老化後降溫方程式特徵值資料。

實驗設計規劃階段選定位置最終須進行不同黏結劑、不同黏置時間、不同試體位置之實驗數據進行統計分析，以了解可應用之最佳特徵值。

六、分析比較

經實驗程序各步驟所獲得不同黏結劑、不同黏置時間、不同位置，將進行相關統計及交互作用分析，並與紅外線熱影所擷取溫度所得特徵值比對。建立彼此關聯，以驗證本研究之紅外線熱影像法遠距非接觸非破壞性檢測技術，是否適用於建築外牆磁磚黏結性能變化程度之檢測應用。

七、結論與建議

1. 本研究各項步驟之檢討，以及實驗試體、設備及操作過程之檢討建議。
2. 有關外牆磁磚黏結性能受材料、黏置時間、位置影響之推論分析。
3. 紅外線熱影像法遠距非接觸非破壞性檢測技術，是否適用於建築外牆磁磚黏結性能變化檢測應用之推論分析。

小 結

本章主要綜述研究之緣起目的、及研究方法與流程，研究各步驟之內容規劃，包含試體製作與養護、實驗數據整理、分析比較、可能結論與建議之構思說明等。

第二章 文獻回顧

磁磚為建築飾面工程常用的建材之一，良好品質的磁磚為一種堅硬且耐久、耐火的材料，鋪貼於混凝土或其它材料之結構體上，可兼具美化與保護的功能。由於磁磚之易清洗、價格低廉、本地生產供應充足、及施工簡易等特性，一直為國內最重要的非結構性建材[12]。雖然近幾年來 CNS3299 標準經過重整及公共工程磁磚施工規範[24]的建立，但國內外建築外牆磁磚剝落現象，仍時有所聞[15][23]。

本研究文獻回顧，主要探討國內外現況、外牆磁磚系統材料、施工方法、缺陷、相關檢測方法、加速老化實驗、實驗設計法等相關期刊論文、基本教材、綜合實驗研究案例的分析外，綜整分述如下各節。

第一節 國內外文獻探討

一、國內期刊論文

在外牆磁磚相關議題上，國內學術界其實相當關注，也投入不少研究心力，也反應出外牆磁磚長久以來的剝落問題。但以往關注的是工法技術、粘著材料等施工方面，近年來則開始關注探討檢測維護方面議題。

表 2-1 國內文獻回顧摘要彙整表

1	題目	瓷磚黏貼材料黏著強度研究[1]
	作者	黃秀隆
	出版單位	淡江大學 建築(工程)研究所
	日期及學位	1984 碩士學位論文
	研究內容	美國 1967 年起，即陸續訂定了四類瓷磚黏貼材料之標準，並有各材料專用之標準施工方式。而國內常用者為添加海菜粉的水泥漿以硬底方式施作，但迄無黏著強度的規定或研究。 研究利用美國與澳洲國家標準所規定之試驗方法，擇取常用的水泥漿、1:1 及 1:2 砂漿三種灰漿為

	基礎材料，添加海菜粉、壓克力樹脂乳液、SBR 乳液和 EVA 粉等四種高分子化合物，調配出 39 組黏貼材料，分別測試其可工作稠度時之水灰比、凝結時間、黏貼時效、調整時效、吸水率與抗壓強度等基本性質。 再挑選三種不同吸水率的市售瓷磚，測試上述材料之抗剪 (Bond Strength in Shear) 抗拉 (Bond Strenght in Tens ion)、高溫加速老化與微觀結構等黏著性質。
研究發現	實驗得出純水泥砂漿的施工黏性隨砂的比例增加而減少，各高分子合成材料對水泥均有緩凝作用，其中以海菜粉效果最大，EVA 粉最小；灰漿吸水率大者抗壓強度小，但與黏著強度之關係不明顯；對吸水率較之瓷磚黏著強度較大；高溫加速老化顯示，水泥漿系比砂漿系差，壓克力樹脂灰漿耐高溫性最優良。高分子添加物之水泥灰漿，可減少水泥用量而減少溫度變化影響長期黏著強度。

2	題目	磁磚工程剝落及析晶現象之研究[2] —利用實驗計劃法實施外牆磁磚黏著力拉力實驗—
	作者	廖國裕
	出版單位	國立臺灣工業技術學院 工程技術研究所
	日期及學位	1985 碩士學位論文
	研究內容	針對國內外牆磁磚剝落現象，探討磁磚與接著材料之間界面。利用田口式實驗設計法中之 L_{27} 直交表，規劃出磁磚黏著力實驗數量及配置。實驗以「接著材料」、「黏貼方法」及「塗置時間」等三個因素對粘著強度的影響；以磁磚拉拔器獲得各種實驗配置的黏著強度後，進行統計分析，以便決定最佳施工條件。
	研究發現	實驗結果所得結論為「接著材料」以水泥漿拌合海菜粉之強度為最高，益膠泥次之，1:2 水泥砂漿拌合海菜粉最低；「黏貼方法」以改良壓著貼法之強度最高、密著黏貼次之，而壓著黏貼強度最低；「塗置時間 (Open time)」以 0~15 分之強度為最高、15~30 分次之，而以 30~45 分強度最低。

3	題目	建築物外牆面磚劣化原因與對策之研究 -以大學學校建築為例-[3]
	作者	高蔡義
	出版單位	國立成功大學 建築學系碩博士班
	日期及學位	2000 碩士學位論文
	研究內容	透過相關文獻整理，瞭解外牆面磚的基本性質、施工方式、劣化原因、劣化現象及診斷方法，進而研擬出劣化調查作業計劃，再透過案例的現況調查與分析，來探討劣化發生的現象與原因，最後研擬出各種缺失的因應對策。
4	研究發現	本研究成果歸納如下： 一、研究發現導致外牆面磚劣化以(1)設計因素、(2)施工因素及(3)使用管理因素等三大人為的環境所產生的劣化較為顯著。 二、建築物外牆面磚劣化位置調查分析發現： 建築物污損劣化部份，以窗台下方污損(佔 42%)所佔的比例最高，而金屬附加物銹水污損(佔 24%)次之，再其次為排水污損(佔 18%)；白華劣化部分，以屋頂女兒牆下方白華(佔 23%)所佔的比例最高，而樓版交界處白華(佔 21%)次之，再其次為排水孔下方白華(佔 18%)；建築物龜裂劣化部分，以大面積未開口牆面龜裂(佔 35%)及開口部周邊龜裂(佔 35%)所佔的比例最高；就建築物鼓脹而言，以樓版交界處鼓脹(佔 45%)所佔比例最高，而開口部周邊(佔 33%)次之。另外，建築物剝落劣化而言，以樓版交界處(佔 35%)所佔比例最高，而開口角落部(佔 30%)次之。 三、劣化原因與對策部分： 建築物外牆面磚劣化以人為環境因素所影響的層面較自然環境因素來的直接，乃針對設計面、施工面及使用管理維護面等三個人為環境層次研擬改善對策。
	題目	磁磚鋪貼施工效能分析之研究[4]
	作者	杜萬枝

	出版單位	朝陽科技大學 營建工程研究所
	日期及學位	2003 碩士學位論文
	研究內容	本研究搜集磁磚鋪貼工法資料，藉由層級分析法(AHP)，將專家學者協助建立之磁磚鋪貼施工效能評估指標。給予加權計算求出各指標之重要性。
	研究發現	研究發現與前人研究大致近似，即「磁磚材質優劣」、「黏貼材料」、「外牆壁體底層」對施工效能之影響三項指標中，黏貼材料即黏著劑之選用權種最高，亦即專家學者認為黏貼材料與施工性能相關性較高。

5	題目	建築物外飾材施工品質之非破壞檢測[5]
	作者	林宏義
	出版單位	朝陽科技大學 營建工程研究所
	日期及學位	2004 碩士學位論文
	研究內容	台灣地區建築物外牆裝修及以磁磚為主要材料，但早晚溫度與濕度之變化可能導致磁磚與牆面或地面之黏著層界面破壞，再加上施工品質良窳不齊，更易造成磁磚剝落或產生潛在缺陷之情形發生，進而對建築物耐久性及外觀造成影響，甚至危及公共安全。本研究以紅外線熱影像法（Infrared Thermography, IRT）、敲擊回音（Impact-Echo Method）及打診法（Hammer Tapping）等三種檢測方法進行磁磚黏貼品質檢測，並比較三者之間的檢測結果，期望提昇以非破壞技術評估磁磚施工品質的可靠性與實用性。
	研究發現	檢測結果分析顯示三種方法中以紅外線熱影像法較可快速及大範圍檢測磁磚缺陷；而敲擊回音法雖可檢測出磁磚缺陷，但須有正確之參數才能準確預估缺陷範圍；打診法雖不能估計磁磚缺陷範圍，但本法使用之器具較為簡便，可用錢幣及鐵鎚等即可做檢測。

6	題目	應用紅外線攝溫影像術檢測磁磚黏貼完整性[6]
	作者	陳俊菁
	出版單位	朝陽科技大學 營建工程研究所

	日期及學位	2004 碩士學位論文
	研究內容	相對於目前常用檢測磁磚黏貼完整性的打診法(Hammer Tapping)為主的憑藉檢測人員個人的經驗與技能的主觀判斷缺點。究應用紅外線熱影像法(Infrared Thermography, IRT)檢測磁磚黏貼完整性，即使用紅外線熱影像儀(Infrared camera)非接觸非破壞性的拍攝出磁磚表面溫度熱影像圖(Infrared images)，觀察溫度分佈差異處而找出黏貼不完整的範圍及位置，其判斷結果準確且快速，且可現場檢測較大範圍之磁磚。
	研究發現	研究結果發現紅外線熱影像圖，可以清楚且具體呈現大範圍及小範圍之黏貼不完整處的範圍及位置，外牆磁磚檢測人員易於判讀，並提供判斷之準則及論證，準確性優於打診法。

7	題目	面磚工程粘著材料之試驗與研究[7]
	作者	李文田
	出版單位	國立臺北科技大學 土木與防災研究所
	日期及學位	2005 碩士學位論文
	研究內容	台灣地區屬於海島型氣候，一般房屋建築多採用鋼筋混凝土，而外牆亦大多採用面磚作為裝修材料。一旦建築物的外牆發生剝落，除直接影響美觀外，亦可能危及他人生命財產。有關面磚剝落的原因，可能涉及施工材料、施工方式、施工工具等方面。雖然目前已有許多新開發的粘著材料，但使用水泥砂漿的施工者仍為大多數。 研究以磁磚傳統黏著材料之水泥砂漿，尤其針對工地現場拌合之水泥、砂、水及摻料中之砂為對象，探討一般市面上販售的建材砂，的級配或清潔度，是否能滿足 CNS 規範的有關規定，及其對粘著強度的影響。
	研究發現	試驗結果顯示，砂的清潔度對於粘著強度有相當大的影響，而級配狀況則影響不大。使用清潔砂的水泥砂漿，其粘著強度高於未清潔砂者。另外，當混凝土表面愈粗糙時，粘著強度將相對地提高。然而，當

	表面存有潑水劑或模板剝離劑時，粘著強度將減少。
--	-------------------------

8	題目	以打音法從事建築外牆瓷磚非破壞檢測之研究[8]
	作者	戴佩宜
	出版單位	國立高雄大學 都市發展與建築研究所
	日期及學位	2008 碩士學位論文
	研究內容	建立足尺之 RC 牆構造，以不同黏貼方式設置不同之外牆瓷磚，再應用打音法進行磁磚黏著情況檢測，把打音法所測得出之聲音透過快速傅立葉轉換將聲音頻率數值化與圖像化後進行分析，最後再與磁磚拉拔實驗比較其聲音頻率值(Hz)與黏著強度(N/mm ²)之間的關係。
	研究發現	實驗結果可得知磁磚黏貼缺陷處之空洞聲音頻率較高，而黏貼完整處之聲音頻率較低(厚實聲)；磁磚黏貼缺陷處之黏著強度較小，而黏貼完整處之黏著強度較大。由此可知，打音法所檢測出之頻率值越低，其黏著強度越大。此外，不同黏貼缺陷造成之打音結果及黏著強度亦有不同之關聯性。

9	題目	既有 R.C. 建築磁磚外牆劣化及改修工法調查研究 -以高雄市透天厝為例[9]
	作者	黃克翊
	出版單位	國立成功大學 建築學系碩博士班
	日期及學位	2009 碩士學位論文
	研究內容	為了延長建築物的使用壽命，高雄地區整建修建的案件也慢慢增加了，在可預見的未來，外牆改修是會被受到重視的。研究藉由瞭解磁磚的發展歷程和主要年代，彙整出外牆磁磚所產生的主要劣化狀況，並進行案例調查。因為台灣地區透天厝的建築模式在數量上佔較多數的比例。研究乃藉由與房仲業者合作，提供銷售中的透天厝案例資料以進行外牆劣化調查。
	研究發現	經案例調查分析比較，瞭解高雄市透天厝住宅各年代的磁磚流行品整體劣化狀況如下： 1. 馬賽克磁

	磚的劣化行為以龜裂、污損銹斑、剝落為主。 2. 方塊磚的劣化行為以污損銹斑、龜裂、白華為主。 3. 二丁掛的劣化行為以污損銹斑、龜裂、白華為主。 最後進行專家訪談，整理出目前台灣地區常用的改修工法有五種：1. 同種磁磚重貼工法 2. 另種磁磚重貼工法 3. 雙重壁工法 4. 塗料塗佈工法 5. 外牆洗淨工法；最後依透天厝住宅建築物既有不同外牆磁磚材料提出之改修建議：1. 馬賽克磁磚的外牆，建議採用另種磁磚工法。 2. 方塊磚的外牆，建議採用特殊塗料塗刷法。 3. 二丁掛的外牆，建議採用外牆洗淨工法。
--	--

10	題目	建築物外牆磁磚與木構件內部缺陷檢測之研究[10]
	作者	許家豪
	出版單位	國立成功大學 土木工程學系碩博士班
	日期及學位	2010 碩士學位論文
	研究內容	針對台灣地處亞熱帶，為溫度及濕度均高之環境，加上建築物之施工品質、使用材料及其他不可抗拒之災害等因素影響下，建築物之外牆磁磚空鼓及木質構件內部空洞等現象，以超音波、打診法及紅外線熱影像法等非破壞檢測技術檢測，依其結果比對討論各檢測方式對於不同缺陷的適用性及可行性。
	研究發現	利用紅外線熱影像檢測技術、超音波檢測法及打診法對建築物外牆磁磚空鼓範圍檢測之結果比對後，其檢測方法所得之空鼓磁磚位置與空鼓程度皆一致，超音波法與打診法所對應之空鼓有較高估之情形。

11	題目	面磚工程施工中影響混凝土與水泥砂漿黏著強度因子之研究[11]
	作者	顏主恩
	出版單位	國立高雄第一科技大學 營建工程研究所
	日期及學位	2010 碩士學位論文
	研究內容	藉由工地現況之訪查及文獻之回顧，探討現場施工層面影響混凝土與水泥砂漿黏著強度之因子為：水泥砂漿厚度、砂之含泥量、混凝土含水狀況及脫模劑

	使用情況等四項；實驗計畫方面係使用田口式實驗設計法之直交表(orthogonal design)設計實驗，配置影響水泥砂漿黏著強度之材料因子(factor)、水準(level)及因子間的交互作用(correlation)，以規劃分析實驗結果。
研究發現	實驗結果分析發現主效果因子對黏著強度影響大小，在 7 天齡期時：水泥砂漿厚度>砂之含泥量>混凝土含水狀況>脫模劑使用狀況；14 天齡期時：混凝土含水狀況>砂之含泥量>水泥砂漿厚度>脫模劑之使用情況；28 天齡期時：混凝土含水狀況>砂之含泥量>脫模劑之使用情況>水泥砂漿厚度。 在各齡期黏著強度與 CNS 12611 規範強度比較結果：1. 混凝土底材施工前灑水時可得較高之黏結強度，2. 當砂含泥量為 0%可得較高之黏著強度，3. 水泥砂漿以厚度為 1cm 可得較高之黏著強度表現，4. 脫模劑清洗後進行黏貼可得高強度表現。 此外，實驗結果最重要的發現是，7 天齡期時黏著強度均未達 CNS12611 規範黏著強度要求之 6 kgf/cm²，水化作用 14 天齡期時有多組可達規範強度，而 28 天齡期時除混凝土含水狀況為氣乾之試驗組外，其它各黏著強度均可達規範之要求。

本所歷年來也有梁若暉、盧珽瑞等人的自行研究，吳毓勳、石正義等人為本所主持的研究報告摘要如下：

表 2-2 本所歷年報告摘要彙整表

1	題目	磁磚工程現況及發展課題之研究
	作者	梁若暉、林谷陶
	出版單位	內政部建築研究所
	日期及學位	1999 自行研究
	研究內容	國內對磁磚工程較不重視，長期缺乏完備之標準及規範之下，業者因無所遵循而容易造成疏忽，施工細節常任憑工人處置，完工驗收亦僅由目視判定外觀合格，影響工程品質甚鉅。

	研究從蒐集分析磁磚之檢驗方法、性能標準與施工規範資料著手，藉由參考比較先進國家最新相關資料，嘗試釐清磁磚工品質不良之問題根源，探討後續應發展研究的相關重要課題。本研究亦先予翻譯 ANSI 規範及 TCA 手冊，可做為爾後規範編修或提供後續研究之參考。
研究成果	1. 近年因歐盟成立，EN、BS 及 DIN 等歐洲標準已逐漸放棄原來各自為政之磁磚相關標準，全面參採較詳盡嚴謹之 ISO 磁磚標準，整合後之歐盟 EN/BS/DIN/ISO 系統，已與美國的 ANSI/ASTM 及日本之 JIS 成為目前國際上三大磁磚標準系統。 2. 現行 CNS 之磁磚檢驗方法與基準主要引用日本 JIS 標準，但並未針對本土之材料特性與施工習慣予以修正，也未引入日本 JASS 施工規範或其它配套之施工技術指引，使磁磚材料與施工技術無法有效配合，影響整體工程品質。 3. 國內缺乏完備之磁磚施工或鋪貼規範。行政院工程會公告之磁磚相關綱要規範僅為簡要之規範架構；民間之廠商、設計或營造單位所提供之施工規範少則只有數行，多則不超過數頁，其嚴謹度與完整性重不足。 4. 本計畫以翻譯之方式，引介美國 ASTM 及 TCA 之磁磚鋪貼範與技術手冊，以為後續應用及研究參考。

1	題目	建材耐久性規範調查與檢測研究規劃
	作者	魏衍、陳振川、莊東漢
	出版單位	內政部建築研究所
	日期及學位	2000 委託研究
	研究內容	1. 國內外耐久性研究現況了解：了解美國、日本、歐洲建材耐久性研究的主要課題、研究成果、業界的需求、規範的制定、相關檢測技術與設備，以及國內目前的研究現況。 2. 國內外耐久性相關規範蒐集：蒐集資料包括國內外耐久性規範與標準相關資料：如美國的 ACI、ASTM；日本的日本工業規格 JIS、日本工業標準仕様書 JASS5、混凝土標準示方書、混凝土結構物耐久設計

		指針；紐西蘭混凝土結構規範；歐洲的 CEP-FIP、Eurocode；國際標準組織 ISO；中華民國 CNS、建築技術規則。 3. 耐久性實驗室規劃：收集美國、加拿大、歐洲、日本耐久性實驗室資料並配合本土發展與需求，提出國家級耐久性實驗室架構與儀器設備建議，並提出試驗規劃重點與未來耐久性研究發展方向。
	研究成果	1. 耐久性研究涉及本土性，且台灣劣化因子較外國環境複雜劇烈，所以國外的耐久性量測方法不見得適用於台灣，常造成國內耐久性研究停滯不前或減低研究成果參考價值。因此為提昇國內耐久性研究效能，必須先針對台灣環境，開發本土耐久性研究量測技術，並設法量化建材劣化程度。 2. 國內耐久性研究資源未經整合與系統規劃，且無成立實驗群組進行長期耐久性研究，致使無法有效利用研究資源蒐集足夠相關資料。 3. 建立資料庫提供學術研究與建物設計作參考，如建材於台灣各類環境下劣化行為、速率與使用年限，因此無法知悉哪些研究仍須深入發展，哪些研究已完備，進而導致研究重複，資源浪費。 4. 國內沒有建立耐久性規範，一方面使得建材劣化程度難以標準化，建材與劣化關係難以釐清，另一方面建物設計無標準可以依循，難以確保與提昇建物耐久性。 5. 日本、歐洲及美國耐久性研究大致已完成環境與建材劣化關係資料庫的建立及耐久性預測模式，現在除了朝完備資料庫與提高預測模式精確度方向努力外，正積極著手制訂耐久性規範，使安全設計與耐久性設計能相結合。 6. 建材可分成結構性建材與非結構性建材，兩者維持使用性能方針的取向不同。結構性建材左右建物耐久性且難以更換，因此設計上必須針對建物環境詳加考量，提高建材耐久性能，並定期檢測與評估；非結構建材無關結構安全，但影響生活品質，在設計上，以容易掌握維護時機與施工容易的建材為主，在建材喪失使用功能前，及時更換。

2	題目	建築飾材技術規範之研究~(二)
---	----	-----------------

		磁磚工程設計與施工規範解說
	作者	何明錦、吳毓勳、石正義
	出版單位	內政部建築研究所
	日期及學位	2001 協同研究
	研究內容	本報告屬內外牆飾材技術規範研究計畫之一，因此主要目標同樣是在防止磁磚飾材剝落，增加居住環境的安全。因此研究內容如下所述： 1. 業界意見諮詢：針對磁磚以及其相關建材（如接著材、填縫材等）廠商，就其材質與施工程中相互之間的關係與問題加以統合，以做為釐定規範的參考。 2. 陶、磁磚及其相關建材材質（含底地素材）等材質與問題點的探討。 3. 陶、磁磚的張貼工法及其問題點的探討。 4. 陶、磁磚剝落現象及其檢查與維修等事宜之探討。 5. 磁磚飾材技術規範之釐定。 6. 查核重點之擬定。
	研究成果	本報告之規範與解說彙整內容： 1. 配磚計畫：配磚計畫之原則；室內磁磚的配磚計畫原則；外牆配磚計畫與瑕疵關係之檢討。 2. 磁磚施工法（手貼、預貼工法）：適用範圍與原則；磁磚的施工；工程管理。 3. 外牆磁飾材的檢查與維護：外牆磁磚的耐震診斷；外牆磁磚的檢查時機與目視判斷依據。 4. 外牆磁磚的修補與改修：外牆磁磚修補與改修的目標；外牆磁磚的診斷與判定；診斷的判定；牆面磁磚補修、改修工法的種類。

3	題目	高層集合住宅外牆磁磚剝落原因與解決對策探討（一）
	作者	盧珽瑞
	出版單位	內政部建築研究所
	日期及學位	2010 自行研究
	研究內容	蒐集文獻，彙整出台灣地區外牆磁磚的損壞，可分為因地震等非常時期所發生的損壞及平常期間所發生的損壞兩類；日常損傷於施工後短期間內發生的比例較高，主要因施工不良及設計不良所造成；其他尚

	有材料或黏著層發生劣化所造成的破壞。外牆磁磚的損壞的種類可分為污損、白華、龜裂、剝離、鼓脹、剝落等數種。
研究成果	研究調查顯示：國內 15 層以上高層集合住宅外牆使用磁磚裝修相當普遍（占 89%）；其中使用 10 年以上有磁磚剝落、剝離或破裂者 1 棟，占總數 12.5%；使用 20 年以上有磁磚剝落、剝離或破裂者 8 棟，占總數 67%；使用 30 年以上有磁磚剝落、剝離或破裂者 3 棟，占總數 75%。 以專家訪談方式獲得外牆磁磚最主要剝落的原因包括下列幾項：1. 磁磚有無燕尾背溝，2. 粘著劑品質，3. 張貼工法及黏結層厚度有無配合磁磚種類設計，4. 工地之施工品質。

此外有少數專書[16][17][20]或專書部分[18][19]介紹磁磚相關知識、技術等、在國內期刊方面國內業者於期刊雜誌上，歷年也有不少相關技術報告產出[21][22]。

二、國外期刊

在外牆磁磚相關議題上，國外學術界以往除日本因為外牆磁磚使用普遍外，世界各國及地區均有學者投入相關高分子補強及黏結材料之加速老化研究，其中在外牆磁磚粘著材料加速老化方面，也進行了不少實驗。

表 2-3 國外期刊回顧摘要彙整表

1	題目	Properties of Epoxy-Cement Mortar Systems[25] 環氧樹脂水泥砂漿系統的性能
	作者	PORE-FENG SUN*, J. A. SAUER and E. G. NAWY (Rutgers University, New Brunswick, N. J. (U. S. A.))
	出版單位	Materials Science and Engineering, 18 (1975)
	研究內容	本研究在探討水泥砂漿添加環氧樹脂材料的可能

	好處。環氧樹脂材料系統包括一低分子量成份的液態樹脂 EPON828，以及 amidoamine(酰胺二胺)或 di- β -hydroxyalkyl amine(di- β -羥烷基酰胺)作為固化劑首先預混，然後混合不同比例的環氧樹脂後，添加到標準的水泥、砂，水中混合，硬固後進行拉力、壓力及工作性試驗。
研究發現	以添加(按砂漿重量計算)5%的環氧樹脂的實驗結果，具有拉力強度超過 900 磅、壓力強度 8000 磅以上的優勢，證實超過正常的 I 型或 III 型水泥拌合的水泥砂漿。兩種固化劑的使用都可提高強度性能，但羥基胺系(hydroxyalkyl amine)有更卓越的強度和工作性。 另外，研究也進行了額外的實驗，其中水泥漿體逐步被 20%、40%混合環氧樹脂材料系統取代。20%替代部分，硬固強度性能仍然獲得改善，但替代量 40%部分的效果不好，可能是因為添加的環氧樹脂干擾了水泥的水化作用。之後的更高替代量，強度值再次上升，直到 100%替代量，平均抗拉強度均超過 1800 磅，但水分的吸收降為零。

2	題目	EFFECTS OF MOISTURE AND THERMAL AGEING ON STRUCTURAL STABILITY OF SANDWICH PANELS[26] 溫濕老化對複合板結構穩定性的影響
	作者	F. MORGANTI, M. MAGCHETT, G. REIBALDI
	出版單位	Acta Astronautica Vol. II .No.7 1984
	研究內容	大多數的衛星天線反射器是由複合層板及複合表皮所構成，其電氣性能對 C.T.E.(熱膨脹係數)值非常敏感。所以，任何可能都能影響此一微小參數，並導致不可逆轉的變化。亦即特殊環境條件產生結構完整性的小變化，就會導致全球天線作用發生嚴重的後果。在已公開文獻中，很少看到在太空應用領域有關環境對夾層結構熱力穩定性已經發表的相關研究。 為了更清楚地了解水分和溫度老化對衛星天線使用的複合材料受到熱膨脹係數的影響，水分與溫度這兩個參數分別由層壓板和三明治複合板試體予以試驗。研究結果發展出一套數學模型用來預測層壓板和

		三明治複合板試體的溼度吸收/排出行為，並且提出模型預測與實驗數據的比較結果分析。
	研究發現	不論是水分吸收或溫度老化都會改變基體複合材料的纖維與物理關係；前者降低了基體本身的屬性，後者產生了結構內部的微裂縫。這兩種效果都會影響 C.T.E，因此，二者之間具有強烈的交互作用關係。此外，發現水分含量實際上是溫度老化的函數關係，進而影響基體的微裂縫。

3	題目	A review of defect types and nondestructive testing techniques for composites and bonded joints[27] 複合材料黏結接合缺陷類型與非破壞性檢測技術的回顧
	作者	R. D. Adams and P. Cawley
	出版單位	NDT International Volume 21 Number 4 August 1988
	研究內容	本文回顧的目的是提供複合材料粘接接合，相關的無非破壞性檢測的全面的介紹。第一部分首先簡要介紹了複合材料和粘接接合可能產生缺陷的類型及原因。第二部分介紹了相關的非破壞性檢測技術(包括超音波各種應用的技術、低頻震動、渦電流、X 射線、紅外線熱影像、中子照相術)，如何用來識別這些缺陷，並指出不同類型缺陷不同檢測方法的靈敏度。

4	題目	Thermal aging[28] 溫度老化
	作者	Haskins, J. F.
	出版單位	SAMPE Journal Vol25 No 2 (March~April 1989)
	研究內容	針對兩種複合材料系統(石墨/環氧和石墨/聚酰亞胺)及六股，單向和交叉合股的不同層壓板系統，在一般及減壓(0.014 MN m^{-2})環境下進行長達 50000 小時(5.7 年)的溫度老化試驗。
	研究發現	實驗結果顯示在 10000 小時時此二材料系統的壓縮，剪力和疲勞強度即大幅度降低。

5	題目	Aging mechanisms in cellulose fiber reinforced
---	----	--

		cement composites[29] 木質纖維增強水泥複合材料中之老化機制
	作者	R. MacVicar, L.M. Matuana , J.J. Balatinecz
	出版單位	Cement & Concrete Composites 21 (1999)
	研究內容	本研究在實驗室規模下，運用兩種不同的加速老化方法模擬在實際使用階段可能遇到的老化機制，針對市售木質纖維增強水泥複合材料，探討其加速老化暴露後的物理和力學性能變化效應。第一種老化的方法包括不同週期的水浸、中性化和曝露加熱，而第二種方法包括水浸、加熱及凍融的曝露循環。 此外，這兩種加速方法也與材料放置屋頂 5 年的自然風化下的變化進行了比較。複合材料在老化試驗前後均進行了孔隙率、吸水率、氮透氣性和壓縮剪切強度的量測；而複合材料剪切試驗後的斷裂表面形貌，也以掃描式電子顯微鏡對進行了觀察。
	研究發現	老化試驗是以人工中性化為基礎，更有效地模擬複合材料的自然老化性能。而凍融循環的方法，即使經過 21 個週期後，仍然沒有能夠顯著的誘發複合材料的老化效應。實驗結果顯示加速老化後之孔隙率、吸水率、氮透氣性和壓縮剪切強度，均與複合材料的微觀相關。水泥基質試體在自然風化和二氧化碳加速老化環境中均減少了孔隙率、吸水性和氮透氣性能，而木質纖維增強了水泥複合材料耐久性。

6	題目	Blends of silyl-terminated polyethers and epoxides as elastic adhesives[30] 端硅烷基氧化丙烯醚與環氧化物混合形成彈性粘合劑
	作者	D. R. E. Devroey, M. Homma
	出版單位	International Journal of Adhesion & Adhesives 21 (2001) 275-280
	研究內容	端硅烷基氧化丙烯醚 (STPE, 變性矽膠) 可與環氧化物混合，形成彈性粘合劑。通過適當的配比，混合形成了一個在水分、固化劑和增容劑中穩定的固化乳液。環氧樹脂的固體小顆粒是由彈性聚醚相以化學方式相結合。結構中強度主要是由環氧樹脂提供，而高耐衝擊性是由聚醚所提供，二者結合使得結構顯示

		出具有高耐久性。
	研究發現	通過所選擇的矽烷化聚醚和環氧樹脂種類及其比例調整，可以獲得優化的力學性能。雖然系統的典型搭接剪切強度，仍然普遍的只有偏低的(6-10 MPa)，但老化後仍維持最初的機械強度，且黏結處不會產生脆性破裂。 這種材料仍然處於實驗階段，並且目前只有少數幾個商業上的應用。這些應用通常是為那些由於溫度或載重負荷，例如瓷磚粘接，夾心板等預計將會產生較大扭曲的位置。

7	題目	A coupled analysis of mechanical behaviour and ageing for polymer-matrix composites[31] 聚合物基複合材料的幾種力學行為與老化分析
	作者	Anne Schieffera, Jean-Francois Maire, David Leveque
	出版單位	Composites Science and Technology 62 (2002) 543 - 549
	研究內容	有機基複合材料在航太的長時間應用，導致了溫度機械應力和溫度老化之間耦合效應的研究需求。本文除介紹目前所研究的課題外，也用自行發展出涵蓋氧化行為的宏觀規範。
	研究發現	考慮到氧化行為規定的優先影響，理解到必須要了解每一種劣化的機制和它們之間彼此的交互作用。氧化部分，研究建立了幾種聚合物基質材料的溫度氧化動力反應關係。對於機械部分，提出了一個可以加上損害的粘彈性模型，並且可以從極短時間的測試層壓板單元，就可以獲得任何複合材料層壓板的多軸潛變行為。

8	題目	A Study of Nature Storing and Accelerated Hydrpthermal Aging of S ₂ /TDE 85 Composites [32] S ₂ /TDE85 複合材料耐自然儲存與加速濕熱老化的性能研究
	作者	Chi Qianping

出版單位	FIBER COMPOSITES No. 3, (2002)
研究內容	複合材料是一種結構性材料，具有吸濕的特性。因此在自然環境中使用或儲存時就會受到影響，尤其是在濕熱條件下的影響最為顯著。研究選擇了大陸產製的高強度2號纖維(S2)與加強環氧基(TDE85)複合材料的單向版，進行自然存放(哈爾濱、廣州)與加速濕熱老化相關力學性能變化的比對研究。
研究發現	根據加速原理，一年自然環境可用 8 天來加速，因此加速濕熱老化試驗條件為溫度 60℃、相對濕度 93%，試驗期 48 天。 研究發現在自然環境儲存下，溫濕度對材料的力學性能影響較大，亦即溫度愈高、濕度愈大，力學性能下降預大；從加速老化試驗結果來看，溫濕度對材料的拉伸強度影響最小僅 15%，但對剪切強度影響最大，強度下降最大達 45%。對彎曲性能而言，強度下降平均約 20%。 水和溫度對複合材料材質的破壞，首先是從纖維和樹脂界面開始，如能增強界面強度，改善界面缺陷，材料耐溫耐濕性能將能大幅提升。

9	題目	Thermal and hygric properties of Portland cement mortar after high-temperature exposure combined with compressive stress[33] 波特蘭水泥砂漿同時受到極高溫及壓力下的溫及濕度性質
	作者	R. C erny, M. Totova, J. Podebradska, J. Tomanb, J. Drchalova, P. Rovnaníková
	出版單位	Cement and Concrete Research 33 (2003) 1347 – 1355
	研究內容	針對四種處理方式之水泥砂漿試體，量測其熱傳導率λ、水蒸氣滲透率δ、液態水分擴散率κ，亦即將機械及溫度負荷卸載、加載到抗壓強度的 90%，溫度為 800℃ 2 小時。
	研究發現	實驗研究發現λ和κ值與負載模式有極大的關聯，所觀察到的最大的差異與卸載試體相比，對λ幾乎是一個數量級，對κ而言則高達三個數量級，δ值部分相比於卸載之試體發現僅增加約 40%。

		研究藉由視覺和壓汞儀的檢測分析，判斷其中差異的結論， λ 及 κ 差異大的原因，在於試體裂縫的形成和總孔隙體積的增加。
--	--	--

10	題目	Flexural performance of polyester and epoxy polymer mortars under severe thermal conditions[34] 聚酯和環氧樹脂砂漿在嚴苛溫度環境下的彎曲性能
	作者	M. C. S. Ribeiro, P. R. Novoa, A. J. M. Ferreira, A. T. Marques
	出版單位	Cement & Concrete Composites 26 (2004) 803 – 809
	研究內容	本研究為兩種不同配方的聚合物砂漿粘結劑在溫度效應下抗彎強度的影響。為此，將不飽和聚酯和環氧聚合物砂漿試體暴露在-20 到+100℃之間大範圍的溫度變化中，並在老化後測試其彎曲性能。在每一設定溫度階，量測其溫度下的彎曲強度，及降溫後的殘餘彎曲強度。
	研究發現	材料強度下降過程量化分析結果，顯示就是積極的溫度疲勞循環(20℃ /+100℃)和凍融循環(-10℃ /+10℃)所造成。

11	題目	Phase transformation on heating of an aged cement paste[35] 水泥壩料老化後的加熱相變研究
	作者	E. T. Stepkowska, J. M. Blanes, F. Franco, C. Real, J. L. Pérez-Rodríguez
	出版單位	Thermochimica Acta 420 (2004) 79 – 87
	研究內容	研究目的在於水泥新鮮壩料之靜態加熱結果(SH)與老化試體熱重分析結果的比較，以驗證 SH 所做的解釋假設，和藉由加熱傳輸相變檢測老化後的水化產物(M 與最終質量)。研究首先以標準水灰比 0.4 水泥壩料(C-43-St)，進行一個月的水化作用[J. Therm. Anal. Calorim. 69 (2002) 187] 並以靜態加熱方式(SH)處理及研究。 這些壩料試體經 5 年老化(與空氣接觸未受保護)，將在空氣和氬氣中在不同溫度 T 下，進行相關的

	溫度分析(熱差分析儀 DTA、熱重分析儀 DTG 和 TG)，以及 X 光分析(X 光繞射儀 XRD)。在高溫實驗箱中，將以質譜儀(MS)和紅外光譜進行分析。
研究發現	水泥壩料吸收的水分(EV)，在 110°C 時會從新鮮壩料中逸出，但在老化後試體中結合能量較高，逃逸溫度也較高。在密貼 C-43-St 中水化物和 CSH(矽酸鈣水化物)膠體的結合水含量，老化時增加 1-2%，而結合水含量在較不緻密的 C-43-I 部分並沒有改變。 C-S-H 膠體加熱到 600°C 以上會轉化成矽酸鈣鹽(C3S(2CaO · SiO₂)和 C2S(2CaO · SiO₂))。氫氧鈣石在老化後的含量沒有改變。如在空氣環境中整體加熱至 500 至 600°C 時，將部分成為碳酸。 二氧化碳與碳酸根離子(carbonate ions)形成碳酸鹽，在老化期間被吸收，並且以某種 XRD 檢測不出(不規則或隱晶質)的形式，先存在於老化壩料中。中性化靈敏度 $\Delta M(700-800^{\circ}\text{C})$ 則隨著老化而升高。

12	題目	CEMENTITIOUS ADHESIVES PERFORMANCE DURING SERVICE LIFE[36] 水泥系黏結劑在使用壽命期間的性能
	作者	V. P. de Freitas, A. Vaz Sá
	出版單位	10DBMC International Conférence On Durability of Building Materials and Components LYON [France] 17-20 April 2005
	研究內容	磁磚已經在葡萄牙廣泛用於外牆多年，而這些磁磚往往黏著於砂漿或水泥基的黏結劑上。然而，過去幾年中出現了很多失敗例，例如使用在外牆上磁磚的黏結失敗。其中一個根本原因是，是選擇了不適用的水泥系黏結劑。 黏結劑的性能評估通常是依據早期的行為，而這種行為的知識通常就在必要的分級和標籤上，但卻無法提供及顯示長期使用壽命的性能。 在葡萄牙波爾多大學的建築物裡實驗室中，研究團隊準備了 40 件試體用來進行超過 100 次的加速老化循環，以研究評估磁磚/水泥基黏結系統。 這樣做是為了有關(影響的類型、水泥黏結劑等級

		和磁磚吸收係數)拉伸黏結強度性能的降低，並建立長期性能的標準，亦即可以選擇最適當的黏結劑為做為外牆磁磚黏結系統。
	研究發現	結果顯示加速老化期間拉伸黏結強度大幅的損失。在 112 次老化循環後，量測指出 C2 及 C2S 型水泥系黏結劑之拉伸黏結強度，分別降為初始值的 30%與 50%。最終分別在 140 及 210 次老化循環後結束；所觀察到的黏結破壞情形與使用磁磚類型的吸水率有強烈的相關。

13	題目	Weathering effects on external wall tiling systems[37] 風化對外牆磁磚系統的影響
	作者	C.Y. Yiu, D.C.W. Ho, S.M. Lo
	出版單位	Construction and Building Materials 21 (2007) 594 – 600
	研究內容	外牆磁磚一直受到嚴苛的風化影響，包含風、雨、濕度及污染的侵蝕。然而，外牆磁磚系統究竟如何受到風化的影響，到目前為止仍然未知。本研究可能是第一次在實驗室針對風化如何影響外牆磁磚系統進行研究。初步結果顯示風化對外牆磁磚系統剪力強度的衝擊是無法忽視的。剪力強度在第 100 次加速風化循環時降低了 50%，而更進一步的研究則是必須辨識在 200 次風化循環後的劣化情形。
	研究發現	實驗結果顯示溫濕循環對外牆磁磚系統的剪力強度產生重大影響。磁磚/抹漿層界面在 100 次循環後，強度降低超過 50%(A 組強度從 1.7 降到 0.8MPa，B 組從 1.2 降到 0.6 MPa)。降低的趨勢在 100 次循環後開始趨於平緩。由於強度只是略微高於 ISO13007-1:2004[16]規定的最低要求，因此在 100 次循環內強度大幅的滑落，有必要加以關注和進一步研究。如果下降速率假定不變，那麼所要達到初始強度的規定和做工就顯得極為重要。

14	題目	Accelerated ageing behaviour of the adhesive bond between concrete specimens and CFRP overlays[38] 混凝土試體與碳纖維強化高分子披覆層間加速老化的
----	----	---

		黏結性能
	作者	Karim Benzarti, Sylvain Chataigner , Marc Quiertant, Céline Marty, Christophe Aubagnac
	出版單位	Construction and Building Materials 25 (2011) 523 - 538
	研究內容	本研究是以 40°C 及 95%相對溼度的加速老化環境，探討混凝土與碳纖維加強樹脂複合材料強化系統的黏結耐久性能。在控制的及曝曬的條件下進行了 CFRP 強化混凝土試體的機械特性試驗，評估出濕溫度老化下黏結性能的變化。
	研究發現	從不同實驗的結果比較，不同的變數例如混凝土表面處理、中性化混凝土層、CFRP 被覆層(碳纖維薄片或 CFRP 拉擠板材)性質，顯示有劇烈的變化(黏結強度下降及破壞模式的改變)、環氧樹脂本體老化行為本身的黏結，或用來量測黏結強度的試驗配置(拉拔或剪力荷重試驗)。並推測混凝土表層(如組織內部的孔隙)至黏結結合處的濕度擴散，懷疑是導致濕溫度老化的劣化程序的關鍵因子。

第二節 國內外現況探討

一、國內外外牆磁磚掉落調查

依據本所 99 年研究調查顯示：國內 15 層以上高層集合住宅外牆使用磁磚裝修相當普遍（占 89%）；其中使用 10 年以上有磁磚剝落、剝離或破裂者 1 棟，占總數 12.5%；使用 20 年以上有磁磚剝落、剝離或破裂者 8 棟，占總數 67%；使用 30 年以上有磁磚剝落、剝離或破裂者 3 棟，占總數 75% [15]。

另一份研究彙整媒體資料[23]如附錄 A，顯示近年來磁磚掉落事件的原因有：

1. 建築老舊壁磚黏著層老化，遇天氣炎熱或寒冷，導致壁磚熱脹冷縮，產生剝落現象發生。
2. 磁磚黏著不實，只有小面積的水泥砂漿固定，黏著層老化後年著力不足致磁磚剝落。
3. 可能是施工不良，強風使整片牆面磁磚吹落。
4. 磁磚黏結劑塗佈黏置時間(Open time)過長，黏著力降低，導致脫落。
5. 地震導致外牆結構與磁磚層變位震裂，並且開始掉落。

國外部分，鄰近香港地區自 20 世紀 70 年代開始，磁磚就經常做為建築物外牆的飾面材料，特別是高樓住宅非常喜歡使用。研究發現有超過 75% 的住宅大樓是使用磁磚作為外牆飾面材料。其中的 30% 屋齡已經超過 20 年。因為維護困難，過去 10 年已經有外牆飾面黏結失效剝落，造成眾多的人員傷亡的案例[37]。

日本於 1975 年後經濟快速成長，習用磁磚作為外牆飾面材料，它的好處不僅在於美感裝飾、保護結構混凝土不受環境傷害(例如碳酸化與風化作用)提升耐久性。而且，在高層大樓還能利用有自節能力的奈米磁磚來節省清洗大樓表面的花費[39]。日本在都會區有超

過 10 萬棟建築物。經過 30 年後，磁磚破損的徵兆開始出現，國土建設交通部在 2008 年因此修改日本建築物標準法中有關外牆磁磚安全性能部分，針對建造超過 10 年的建築物牆面磁磚要求進行安全檢查[40]。

在歐洲，尤其地中海地區拉丁語系國家葡萄牙，自 16 世紀開始就已因為耐久性、功能廣泛及美觀因素使用磁磚，做為建築物外牆飾面材料。而儘管磁磚及黏結劑材料已有重大發展，但還是存在著頻繁而嚴重的相關剝離問題，並且在過去幾年中仍然出現了很多缺失[36]。

二、規範、標準

我國有關外牆磁磚系統相關標準及規範，主要是中國國家標準 100 年 5 月重新公佈了 CNS3299 陶瓷面磚試驗法，據以規範磁磚本體材料、CNS 陶質壁磚用接著劑 12611 規範磁磚黏結材料；至於現場施工則是以行政院公共工程委員會施工綱要規範第 09310 章瓷磚專章[24](詳附錄 B)及相關章節為範本或依據。

其中與外牆磁磚黏結性能相關者，黏結材料自身依據標準主要是 CNS 陶質壁磚用接著劑 12611 中所規範接著劑性能在各種條件下之試驗方法及標準；至於實際如工地現場之黏結性能測試，承包商無論採用何種化學摻料（黏著劑）做為瓷磚貼著之材料，至少須通過拉拔試驗證明其黏著力不小於 $10\text{kgf}/\text{cm}^2$ [24]之規定(各引用單位可自行修正為適用數值)。

現場施工技術部分之規定，公共工程委員會施工綱要規範第 09310 章瓷磚章，建議可以引用美國國家標準協會(ANSI)系列準則，如 ANSI A108.5 硬底卜特蘭水泥砂漿或乳膠、卜特蘭水泥砂漿瓷磚安裝法，ANSI A108.10 瓷磚之砂漿塗裝、ANSI A118.4 乳膠卜特蘭

水泥砂漿/面磚黏著劑試驗、ANSI A118.6 瓷磚用砂漿，及 ANSI A137.1 美國國家瓷磚標準規範。

建築材料耐久性試驗方面相關標準，依本所研究報告顯示，以 ISO 標準、美國 ASTM 與日本 JIS 規範最為齊全，其次是歐洲 CEB-FIP、Eurocode 規範[13]。但因為產業類別歸屬問題，大多以水泥質建築材料、金屬建築材料及高分子建築材料等等為分類方式，而近年來相關外牆磁磚黏結之高分子水泥砂漿複合材料之加速老化實驗條件，有依上述水泥質、高分子等分類之試驗標準 DS1127、ASTM D4798、ASTM E632、ASTM G26、ASTN C481 選用組合、或依各地區氣候條件自行設定[32] [36] [37] [39]。因此未見有一致的高分子水泥砂漿複合材料之加速老化實驗研究之試驗條件。

三、外牆磁磚工法

國內有關外牆磁磚詳細施工要求，除了相關研究所論文屢有研究論述[1][2][4]，及相關技術專刊[21][22]專書[16][17][18][19]介紹外，本所曾於 92 年訂有「建築飾材技術規範之研究~(二)磁磚工程設計與施工規範解說」，除了彙整磁磚剝落現象及其檢查與維修重點事項外，主要釐定彙整了磁磚飾材技術規範[14]；國外部分，以日本為例則是由民間之建築學會、建築仕上學會編有各式施工指南、仕樣書與解說[20]。

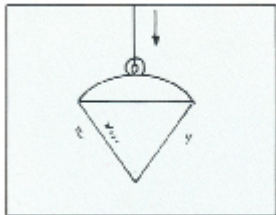
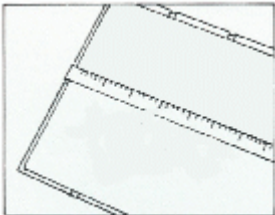
一般而言，外牆磁磚之黏貼方法可分為手貼工法（Manual Method）及預貼工法（Prefab Method）兩大類，其中手貼工法又可分為硬底壓貼工法、改良式硬底壓貼工法、密貼工法、改良軟底壓貼工法、馬賽克磁磚貼著工法、套模才貼工法及黏著劑黏貼工法等，至於預貼工法則可分為預鑄板預貼工法及模板預貼工法[15]等。除一般壓著施工法(粗糙面之打底牆面)外，改良式壓著施工法(粗糙面之打底牆面)、密著式施工法(粗糙面之打底牆面)、黏著劑施工法(粗

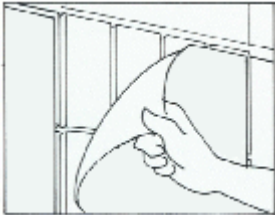
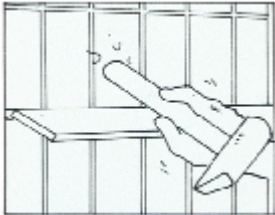
糙面之打底牆面)等，均建議將攪拌均勻之黏結劑塗抹於牆面及磁磚背面，再行緊密貼附。

惟觀察工地現場施工，通常仍以採用硬底（Stick-On）壓貼工法為主，施工程序為先將構材面鏟塗平坦之打底層，再於其上敷以薄層之黏貼材料，隨即將磁磚貼上。此工法係改良軟底之缺點，因磁磚下之空隙少，接縫亦牢靠，產生白華之情形較少，為現今國內最習慣用之施工方式[8]，但如果牆面平整且夠粗糙度夠，現場工人有可能沒有打底，直接敷以薄層黏貼材料[23]。此外，部分磁磚廠商[41]之施工說明，仍然是以硬底壓貼工法為主，如表 2-4 圖示步驟。

表 2-4 外牆磁磚施工步驟

施工步驟

- | | | |
|---|---|---|
|  |  |  |
| 1. 錘子定出垂直線 將牆修平 | 2. 才裝施工法與塊裝施工法大致相同 同樣地要先打底 | 3. 並決定放樣面積 |
|  |  |  |
| 4. 以墨斗彈出單位施工面積的參考線 | 5. 之後將水泥混合海菜粉攪拌成糊狀黏漿 | 6. 以齒狀鏟刀盛起 塗在要施工的牆上，並以齒狀鏟刀在抹平的糊狀黏漿上括出波浪狀條紋。 |
|  |  |  |
| 7. 然後將磁磚一才一才地貼上施工面積 | 8. 並以木塊輕押磁磚吃漿 | 9. 磁磚貼合之後 請靜待一段時間 再以海綿沾水浸濕才紙 |

- 
- 
- 
10. 才紙濕透之後將才紙撕下
11. 並以槌子和鋁尺調整垂直水平
12. 以槌柄輕敲校正磁磚
- 
- 
13. 最後使用抹縫的方式填縫
14. 再以海綿沾清水將磚面擦拭乾淨

資料來源：http://www.ksk-tile.com.tw/information/pro_work.htm。

四、外牆磁磚剝落原因及對策

外牆剝落原因及對策，國內外已有許多文獻探討[14][21]。再依據本所自行研究報告分析彙整 [15]，外牆磁磚剝落原因及對策如下表：

表 2-5 外牆磁磚剝落原因與防止對策

瑕疵發生位置	主要發生原因	瑕疵狀況	對策
結構體	鋼筋腐蝕	因結構體鋼筋腐蝕造成混凝土及水泥砂漿粉刷層剝離，造成磁磚剝落。	施工時確保鋼筋保護層的厚度
			確保混凝土含氣量在標準範圍內
結構體/水泥砂漿粉刷層	施工精度不佳	水泥砂漿粉刷層厚度過厚，造成磁磚剝落。	提高施工精度，避免造成粉刷層過厚。
			進行水泥砂漿粉刷時，應先清潔結構體表面，並充分加以濕潤。
		水泥砂漿粉刷層與結構體的界面產生剝離，造成磁磚剝落。	提高施工精度，避免造成粉刷層過厚。
			無法避免粉刷層過厚，應先打錨或鋪設鋼筋網後，再進行粉刷。
		結構體表面強度不佳，造成磁磚剝	進行水泥砂漿粉刷時，應先進行結構體濕潤。

		落。	水泥砂漿粉刷完成後，應進行養生，避免因過度日照與通風，造成粉刷層產生乾裂現象。
水泥砂漿粉刷層/水泥砂漿黏著層	水泥砂漿粉刷層表面狀態不良	粉刷層產生白華，造成磁磚剝落。	施工時要確認水泥砂漿粉刷層有無產生白華的脆弱面。
		粉刷層表面過於平滑，造成磁磚剝落。	粉刷層表面應粉刷成粗糙面。
			水泥砂漿粉刷層宜採貧配比
水泥砂漿黏著層/磁磚	磁磚背溝形狀、尺寸不良	磁磚背溝高度不足，造成磁磚剝落。	應選擇符合 CNS 的磁磚。
		磁磚背溝形狀不良，造成磁磚剝落。	背溝形狀應符合 CNS 的規定。
	壓貼不實	因壓貼不實，造成磁磚剝落。	應注意水泥砂漿黏著層的厚度與 open time 的控制。
			張貼磁磚時應充分壓實。
	收頭不良	沒有在適當位置設置伸縮縫，造成磁磚剝落。	在適當位置設置伸縮縫
	工法選定不適當	採用齒狀鏟刀塗刷黏著層，造成磁磚剝落。	不可使用齒狀鏟刀粉刷(會造成磁磚與黏著用砂漿間接面積減少的現象)。

資料來源：盧珽瑞，《高層集合住宅外牆磁磚剝落原因與解決對策探討（一）》，內政部建築研究所自行研究報告，2010。

五、外牆磁磚檢測技術

目前在土木領域應用的檢測技術有很多，其中被外牆磁磚系統導入專門應用的有：目測法、打診法、敲擊回音法及紅外線熱影像法等，在日本目前常用的非破壞性檢測方法有打診法及紅外線熱影像法[42]，而破壞性檢測則只有黏結強度試驗[8]。依據文獻分析的牆面磁磚診斷方法的適用性如下：

表 2-6 牆面磁磚診斷方法的適用限度

診斷方法	適用限度
目測法	1. 可發現外觀上的異常，但無法發現外觀上有無異常浮起。 2. 雖可發現外觀上的異常，但有可能因光線或遮蔽物而漏掉。
打診法	1. 無法以客觀的數字來表示其測定的結果。 2. 有時無法測出厚度約 40mm 以上的部位之浮起。
紅外線熱影像法	1. 儀器會受季節、天候、時間、氣溫、牆面的方位、距離、裝修材料的色調、建築物冷暖機具發熱等影響。 2. 在強風或強雨時難以測定。 3. 若牆面與儀器間有樹木等障礙物時，無法測定。 4. 不同儀器機型畫面處理方法會造成結果有很大的差異。 5. 若有陽台或雨庇等突起物時，難以測定。
反應法	1. 有時無法測出厚度約 40mm 以上部位的突起。 2. 調查牆面的後測狀況不同時，可能會造成誤診。 3. 採用機器人時，有時無法探知窗戶周圍與凹凸部的周邊。 4. 採用機器人時，可適用高度有所限制。 5. 採用機器人時，可能會因為風等因素產生測定的誤差。
超音波法	1. 對於較寬廣的面，難以檢查出浮起。 2. 不適用於表面粗糙的瓷磚。 3. 難以檢查出較深層處的浮起。
黏著強度試驗	1. 試驗用瓷磚需要進行修補。 2. 不適用於表面有較大凹凸的瓷磚。 3. 僅能測定部份的瓷磚。(測定數目受限制)。

資料來源：戴佩宜，《以打音法從事建築外牆瓷磚非破壞檢測之研究》國立高雄大學都市發展與建築研究所碩士論文，2008。

本研究主要是以上述表中紅外線熱影像檢測技術，以及本所歷年有關水泥質材料微觀性質之研究[43][44][45]，以及材料加速溫度老化後之表面溫度特性[46]等成果及建議，嘗試應用於外牆磁磚受熱後，表面溫度有不同降溫速率之迴歸特徵值，廣續探討紅外線熱影像之非破壞性檢測技術於外牆磁磚黏結性能老化階段之檢測應用。紅外線熱影像相關檢測之最終數據，將與該處之磁磚黏結強度進行比對，建立非破壞性與破壞性二者檢測的關係，並驗證其可行性。

黏著強度試驗是在磁磚黏貼完成七天後未抹勾縫前，利用拉拔試驗器進行磁磚黏結強度之拉力檢測。進行拉拔試驗之前在牆面指定試驗位置處之磁磚，切割出與磁磚拉拔接著鐵塊相同尺寸。然後將鐵塊以 AB 膠黏貼於磁磚表面，待乾燥凝固後進行施力將磁磚拉脫，儀器上所得數據即為磁磚黏結強度。

依據 CNS12611 規定，在一般標準狀況下磁磚抗拔試驗強度，不論破壞位置為何，其強度值達 $6\text{kgf}/\text{cm}^2$ 以上為合格，若拉拔黏結強度未達 $6\text{kgf}/\text{cm}^2$ ，但其破壞位置係在墊底材或磁磚本身時，亦得視為合格[47]。

第三節 紅外線熱影像法

過去十年來，前述雷達、超音波、敲擊迴音法等高階的非破壞性檢測方法，均廣泛的應用在混凝土及磚石結構上，並能用於既有結構的評估。然而，這些技術主要適用在混凝土及磚石結構裡非均質處的深度(例如混凝土披覆)的偵測與界定，範圍從五公分到一百公分。然而在接近表面區域從 0~10 公分之間，還是資訊不足[48]。

由於紅外熱影像是檢查重建和非翻新建築物一個進展快速的現代化測量方法。可以從建築物構造內部及外部以遠距非接觸的方式量測溫度，檢測出熱橋、加熱管確切位置，或發現某個特定領域會生長黴菌的原因。運用於此一方法，感測器會收集紅外線輻射來建立一幅熱影像，以顯示物體表面溫度分佈，進行異常位置的研判。

一、紅外線熱影像發展與原理

威廉赫謝耳於 1800 年發現紅外輻射，和湯瑪斯約翰塞貝克於 1821 年發現熱電效應之後，科學家已經嘗試以熱電偶和嗜熱生物量測這種長波輻射。軍事單位一直特別關心這個無法看到、溫暖的輻射，二次世界大戰之後，由於軍方投入大量的經費於此一領域的研究，而持續進步。尤其，20 世紀後期紅外探測器和傳統相機都有了很大的進步發展，因此發展測量的溫度與輻射[49]元件與技術。藉由新系統的幫助，土木領域的應用也一樣的興起：從建構熱影像使用於電工技術、環境工程，土木工程和醫學。它可應用在任何物體內部溫度變化導致其表面溫度也改變的過程中。要特別注意的是，因應目前熱門議題的氣候變化，建築熱影像檢測方面有著重要的進展，因為它可以很快的檢查出建築物的外殼熱損失。這特別契合了隔熱相關的節能議題[50]。

二、紅外線熱影像的原理

紅外線熱影的理論是基於三個著名的輻射定律[50]：

- 克希荷夫定律
- 普朗克輻射定律：
- 史蒂芬-波茲曼定律

放射與吸收之間的關係。

$$\varepsilon = \frac{E}{E_s}$$

克希荷夫定律是指一個物體，吸收多少也排放多少。當一個“灰色”體置於一“黑”體對面，在熱平衡狀態下吸收和放射是相等的。熱影像就是以物體的放射為基礎。因此，它使用的放射係數 ε ，即為量測物體的放射率 E 與同樣溫度下黑體的放射率 E_s 的比例。因此，放射係數 ε 為無單位，取決於波長、物體溫度和表面紋理，其數值介於 0 和 1 之間。

普朗克輻射定律說明了理想黑體的特定光譜輻射 M 。

$$M(\lambda, T) = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1}$$

其中 λ 代表波長， T 代表絕對溫度， h 代表普朗克常數， c 代表光速。

如果特定光譜輻射 M ，依溫度不同而有波長 λ 的函數變化，而有典型不同的普朗克曲線。在這些曲線中，可以看出依據韋恩位移定律，隨著溫度變大波長變小，而有最大的曲線變化。

$$\lambda_{max} = \frac{2898}{T}$$

史蒂芬-波茲曼留意到表面整體波長的放射性質，結合普朗克定律發現輻射功率 I (單位： Wm^{-2}) 與溫度 4 次方成正比：

$$I = \sigma \cdot T^4$$

其中 $\sigma = 5.67 \times 10^{-8}$, $\text{Wm}^{-2} \text{K}^{-4}$

熱影像照相機的感測器決定了可感測波長的範圍。重要的是遵循幾個大氣窗口區域。只有在這些窗口的紅外線輻射才有夠高的大氣透射率。這就是為什麼大多數相機都在 3~5 或 8~12 微米的操作區間。另一個窗口存在於近紅外線 3.0~0.78 微米區間。

三、紅外線熱影像法的應用

紅外線熱影像法在外牆磁磚的診斷上，是利用外牆磁磚表面因氣溫變化或日光直射等熱源而產生熱變化的現象，並藉此檢測磁磚或水泥砂漿部位的脫層與剝離現象：

(1) 脫層部位與健全部位間的溫度差異機制

利用紅外線影像檢測外牆脫層部位時，觀察的重點在於磁磚表面溫度的時間變化在脫層部位與健全部位間的差異。建築物外牆的黏結層一旦與磁磚剝離，在剝離部位背面就會產生空氣層，密閉空間中的空氣層具有相當強的絕熱效果，在此一部位上，空氣層的外牆表面與內部建築體間的熱傳導效果將會變弱。

因此，當日光直射，外界氣溫上升等狀況發生而造成外牆表面溫度提高時，因為外牆結構中有這樣的空氣層存在，熱量就難以傳達到牆面內層，因而使脫層部位的溫度比健全部位的溫度來得高。相對地，當牆面所受到的日曬減少或外界氣溫下降等因素造成外牆表面溫度降低時，由於具有空氣層的部位遮蔽了建築體的傳熱途徑，所以脫層部位的溫度就會比健全部位的溫度來得低，如圖 2-1。

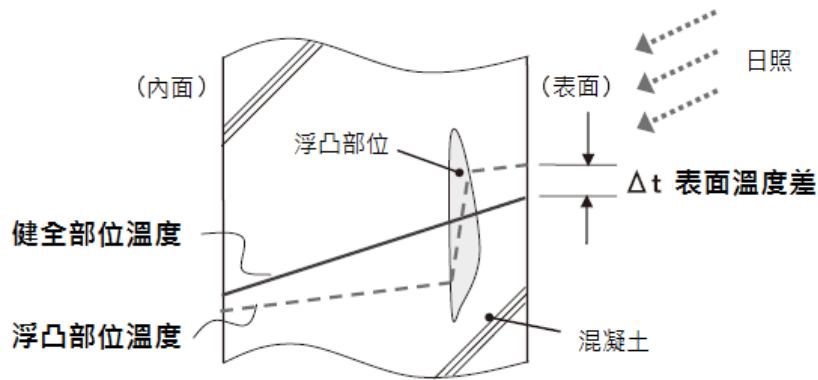


圖 2-1 脫層部位與健全部位間的溫度差異機制

資料來源：天野勳、山川和夫、伊藤秀和等，《特殊建築物の外壁診断における赤外線調査ガイドライン》，建設の施工企画(日本)，2009. 2.

(2) 與其他方法的比較與優點

前述混凝土結構中的空洞的非破壞性檢測方法，包括紅外線熱影像法、彈性波法、電磁波雷達法等。在彈性波法裡還可以分成超音波法、衝擊彈性波法、打音法等，但如果考量到裝置的便利性，並且將對象範圍限制在混凝土表層的話，打音法應該會是最為普遍的方法。另外，電磁波雷達法雖然可以用來調查混凝土內部的鋼筋位置、深度以及混凝土的厚度與空洞結構，但是卻十分難以應用在表層脫層結構的判斷上。

與日本過去最常使用的打音法相對來說，紅外線熱影像法具有遠距非接觸式，及一次針對大面積區塊進行調查的優勢。不僅如此，檢測成本因為減少了施工架等等的大幅成本。因此，成為目前日本熱門應用的一種檢測方法[42]。

(3) 檢測應用的問題說明

紅外線熱像儀是將攝影對象所放射出的紅外線輻射能量轉換成溫度的裝置，紅外線輻射能量與攝影對象的放射率成比例(原理如前所述)。雖然此一放射率隨物質本身性質或其表面性狀而有所不同，但在進行外牆診斷時，測量目的並不在於精密測定溫度，而是如圖

2-x 所描繪，是針對健全部位與脫層部位的溫度差，正確地檢測表面溫度分布。同時因為是相對比較的關係，所以獲得檢測對象的放射率精確值，並非必要。

另外，有關放射率方向性的問題，只要在檢測表面磁磚時，拍攝角度保持在 45 度左右，放射率就不會太低，這是磁磚與水泥基質材料的特徵[42]。除了拍攝角度外，放射率還會隨著溫度與波長而產生變化，但只要是以單一熱像儀針對單一檢測對象拍攝，就不會發生什麼問題。

有關雜訊問題，由於紅外線熱影像法是以健全部位與脫層部位的溫度差異進行判斷。因此，磁磚表面可能有脫層以外的原因造成誤判；例如外牆磁磚表面汙漬、顏色混雜、潮濕及牆面光線反射等等稱之為雜訊。所幸，大部分的雜訊基本上都可以在檢測時透過時間差、夜間或陰天攝影等對應措施予以消除[42]。

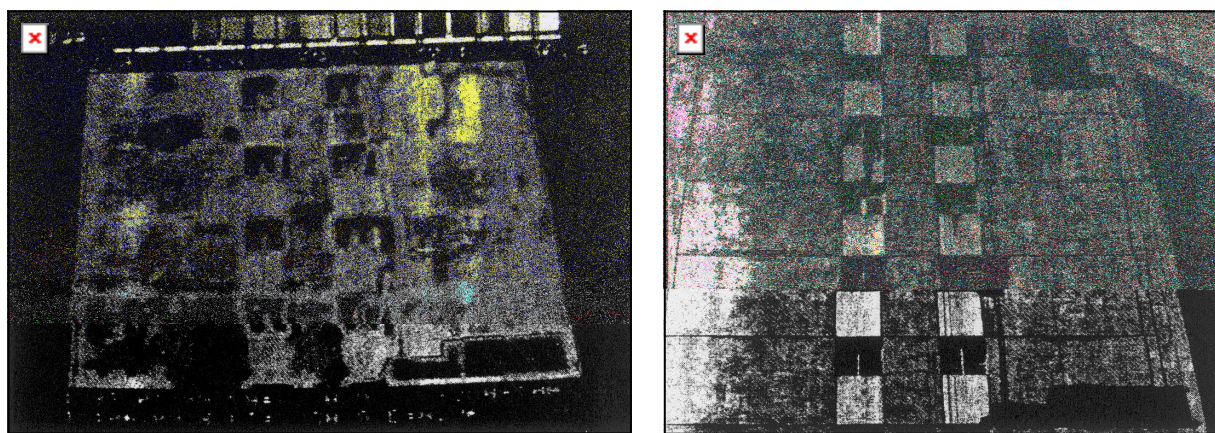


圖 2-2 某建築物的外牆紅外線熱影像檢測對照圖

資料來源：NDT&E International 34 (2001)

第四節 實驗設計法與 MINITAB

本研究導入具統計理論內涵的實驗設計方法的原因，主要是基於土木建築材料很多是以水泥砂漿為基材的複合材料[43]，加以營建過程很多現場環境條件不及如金屬、化工等製造業製品的穩定。因此，營建材料的均勻性具有較大變異性，而如何找出營建材料具代表性的性能數值，實在有需要導入統計原理、方法及工具，俾能精準的控制土木建築材料製造的品質、營建工程及檢測作業。

由於研究主要探討的是外牆磁磚整體的表面溫度特性，以實驗方式探討混凝土外牆貼飾表面磁磚成為一系統化試體，經過主動式加熱後，藉由非破壞性的紅外線熱影像法，以全面一次性、非接觸方式，檢測得出溫度特性。以此驗證外牆磁磚表面溫度特性是否可反應出黏結性能變化的情形。

為了建立可信的破壞性檢測與非破壞性檢測的關係，本研究將首先藉由前述文獻回顧外牆磁磚缺陷問題的原因探討，並以品質管理系統化手法予以分析說明。所謂品質管理系統化的手法[51][52]，是指品質管理活動七大手法及新七大手法，其共同特點在於它們都是一些簡易的表單和圖形方法，不牽涉到複雜的數學運算。

一、實驗設計方法論

對於統計學的實驗設計領域而言，「實驗」的定義為：對於有興趣的特定過程或系統，透過一個或一系列試驗的輸入變數，故意變動其值，而能讓我們觀察或辨識出輸出反應值的變動原因；一般來說，實驗是用來研究製程或系統的表現[53]。其中「製程」或「系統」可以視為設備、方法、人和其他資源的組合，透過這個組合，可以將一些輸入(如原料、元件等)轉換成輸出(可以是一個或多個可觀測的反應值)。製程變數中有些是可以控制的，而有些則是不可控的，如圖 2-3 所示。

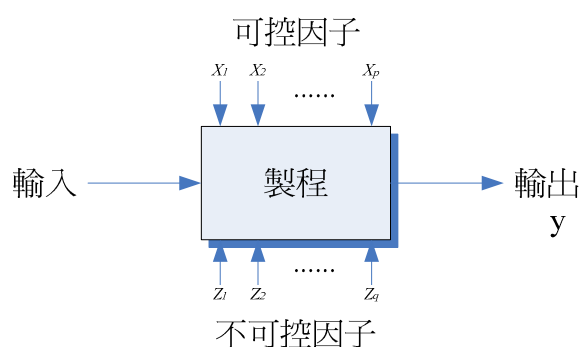


圖 2-3 製程或系統的一般模型

資料來源：黎正中 譯，《實驗設計與分析》p3。

就產品或製程研究，若缺乏理論模型可供推導，通常就是要以實驗試試看，成為蒐集資訊的一種方式；而所謂設計，針對實驗的效果與資源而言，希望極大化單位資源的情報量。一般來說對輸入變數與輸出反應值間關係，實驗目的可歸納為[53]：

1. 決定哪些變數對反應 y 最具有影響力。
2. 決定這些具有影響力的 x 值，使得 y 值幾乎永遠都在所要的目標值附近。
3. 決定這些具有影響力的 x 值，使得 y 值的變異較小。
4. 決定這些具有影響力的 x 值，使得不可控制的變數 $z_1, z_2, \dots, z_q$ 的影響極小。

而一般產品或製程研究的實驗目的就是要決定這些因子對系統輸出反應的影響，以便求得品質控制的最佳變數因子及水準(即大小)。

而實驗設計(Design of Experiment, DOE)就是企圖經由符合邏輯的實驗安排，以最少的時間及成本進行實驗，以獲取期望中最佳或最適結果，但這不能是由周延性差，重複性更是沒有的所謂試誤法得到。此外，經驗當然是重要的，但是如果沒有妥適的驗證，也

說服力也有不足，因此「必須利用一套合理的方法驗證所提出產品特性或製程條件的參數是適當的」[54]。

整體的實驗設計步驟，包含了問題的認知與陳述、反應變數的選擇、因子、水準及範圍的選擇，後續還有實驗設計的選擇、執行實驗、資料的統計與分析，及最後結論與建議[53]，如表 2-7 所示。

表 2-7 實驗設計整體步驟

1. 問題的認知	
2. 反應變數的選擇	實驗的前置規劃
3. 因子、水準及範圍的選擇	
4. 實驗設計的選擇	
5. 執行實驗	
6. 資料的統計分析	
7. 結論與分析	

註：實務上，步驟 2 和 3 通常是同時完成，或順序相反。

資料來源：黎正中 譯，《實驗設計與分析》p16。

舉例來說，以國際性或居供應鏈關鍵地位大企業，為追求高品質的產品及製程，並同時改造企業文化，所喜歡導入六個標準差(Six Sigma)的技術而言，其中針對既有產品或製程進行改善的 DMAIC (Define Measure Analyze Control)模式，也有一漏斗模型可用以說明各種原因變數之定性、定量過濾、變數實驗設計流程所應用各種技術手法的順序關係[54]，如下圖 2-4 所示。

二、實驗設計七大步驟的問題本質

上述實驗設計七大步驟重要性，毋寧說是進行實驗的設計時各個步驟的問題本質澄清及應注意的事項，尤其問題本質的導向將直

接涉及實驗設計方法選擇妥適與否，應予仔細探討。茲回顧摘述如下[蒙]：

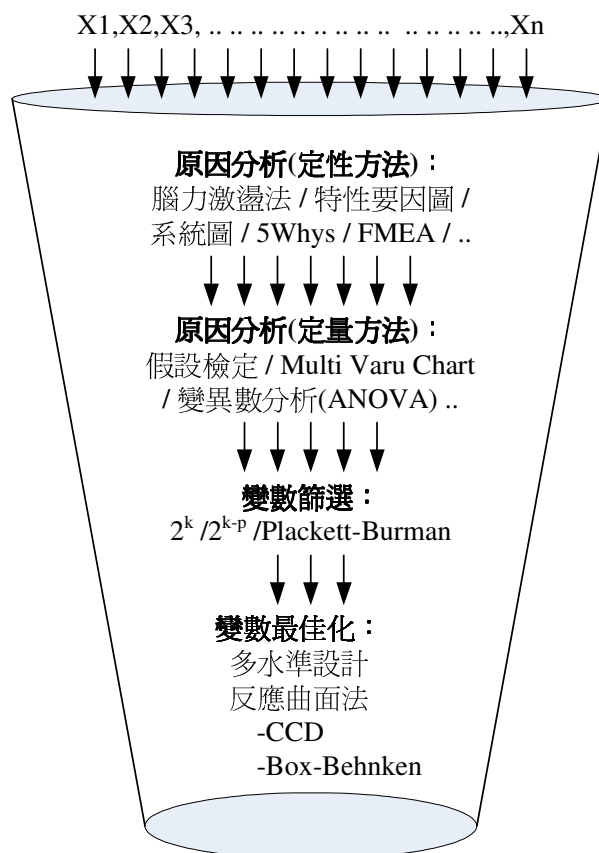


圖 2-4 漏斗模型

資料來源：林李旺 編著，《快速精通實驗設計_邁向 Six Sigma 的關鍵方法》p7

1. 問題的認知

將實驗問題深入了解非常重要，例如目標是要找出特性、篩選因子，或者系統已經是成熟並且被了解，目標是要進行系統的最佳化；又或者是要確認系統的穩定性，還是想發現新材料、變數與作業不同條件下系統的反應？又或目標是瞭解系統的穩定性(什麼條件會使反應值劇烈變化)，還是想建構穩健性(robustness)的系統(如何減少不能直接控制的來源變數對系統反應值的差異)？

這些問題本質的差異將直接導致實驗設計策略的不同選擇。例如，在問題成形與系統摸索階段，應該選擇一系列逐次，而每次實

驗次數較少的方式逐一探討，會比一次多實驗次數來的安全，以免浪費寶貴的實驗時間、材料等資源，事實上就是一種實驗策略，也就是在進行圖 2-4 漏斗模型中輸入變數的篩選。

2. 反應變數的選擇

反應變數的選擇指的是產出那些反應值，例如常見的是產出量測特性的平均值、標準差或量測誤差等。如果量測能力不足就可能需要重複多次的量測後予以平均；甚至關心的不是反應值本身，而是在實驗一個實驗設計，用以研究與改善量測系統的效能。

3. 因子、水準及範圍的選擇

實驗設計的因子因為實驗策略的不同可分為潛在、干擾、固定、允許變動等等不同分類，其中干擾因子又可分可控制、不可控制及雜音因子等等。實驗者必須很清楚為什麼要選定這些設計因子，接著必須選取設計因子的變動範圍與實驗時的水準，也特別思考如何控制因子在特定值上如何量測[53]。當然，這都涉及理論與經驗結合的製程知識，但初期階段，重要的因子都必須抱著懷疑態度進行研究。

當實驗的目的是因子篩選或製程特徵化時，最好保持因子的水準數少，一般說來因子篩選可以選擇 2 水準[53]。本階段利用的管理手法有特性要因圖及系統圖，詳第三章第一節。

4. 實驗設計的選擇

如果很清楚整個研究的內容、實驗目的，以及實驗前期規劃作業能夠很確實，實驗設計的選擇階段實際上完成了一半。設計的選擇包括樣本大小(重複數)、實驗順序、區集劃分或其他隨機化限制的決定等。事實上，目前已有一些統計軟體，可以交談式介面輸入因子數及其屬性、水準數及範圍大小，並提供可選擇是否隨機化的實驗設計建議方案，作為執行實驗的依據；另外，視個別軟體的功

能，還能針對所得反應數據進行漏失、異常進行觀測報告，及後續的統計檢定分析。

以上完善的前制規劃是實驗執行的成功要素，而如果是複雜的製造或研發環境下，專家學者都還建議在實驗之前，先嘗試的進行少許實驗，俾獲得實驗材料一致性、量測系統檢查、實驗誤差等等技術資訊，有助於檢討改進上述各項選擇。

當實驗進行時必須仔細依規劃步驟執行及監控，以免實驗的有效性受到質疑。實驗之後的資料分析應該應用統計方法來進行，以得到客觀的結果與結論，並避免主觀的判斷。而如果實驗是經過具理論方法設計的，事實上所需的統計方法不必是深奧或華麗的[53]，而目前套裝的實驗設計軟體也都直接提供統計分析的功能及介面。

實驗結果資料統計分析部分，最重要的可能是假設檢定與信賴區間的估計分析了，經驗模型(empirical model)也是相當重要，這可以反應變數與設計因子以及設計因子之間彼此是否有關係。此外，殘差分析與模性適合性檢查也是重要的分析技巧[53]。

事實上，統計方法是不允許任何事情被實驗證明，因此無法證明設計因子一定具有某種特定效果。它們只對可靠性與結果提供指南，允許我們度量結論的可能誤差，或對陳述提供信賴水準；當資料分析完成進行結論時，經常搭配圖示來說明，並且一定要建議出後續的實驗或確認結果所需要的實驗。

三、實驗設計因子篩選的方法

本實驗研究方法論_品質管理系統化 QC 七大手法包含：檢核表(check list)、散佈圖(scatter diagrams)、直方圖(histograms)、柏拉圖(Pareto diagrams)、特性要因圖(cause and effect diagrams)、層別法(stratification)及管制圖(control charts)，

這其中只有特性要因圖是日本石川馨博士於 1943 年所發展出來 [52]，但由於日本科技連之倡導，而使日本成功應用七大手法於品管作業中 [51]。

本研究將運用七大手法中之特性要因圖分析整理分析磁磚剝落的原因，實驗完成後之數據應該也有可能使用到散佈圖、直方圖、柏拉圖進行分析說明，另外管制圖之原理和使用較為複雜，而層別法有時會被流程圖取代，詳細介紹可詳相關品質管理書籍。在此，主要說明特性要因圖，也就是俗稱的魚骨圖。

特性要因圖是用來研究造成某一問題之可能原因，可視為腦力激盪的工具之一，其基本構成元素為符號與線，用以表示原因和結果間的關係，用途多且是極為有效的分析工具。在問題預防或解決問題的過程中，特性要因圖具有下列三項優點 [52]：

1. 對某一特定問題，特性要因圖可以提供一個開放討論的依據架構。
2. 可使參與人員集中注意力於發掘造成問題的原因，而顯現出來也更容易了解。
3. 特性要因分析可鼓勵各階層有關的人員一起參與解決問題，並且讓大家得到更好的溝通。

一個問題的產生，往往不是一個或少數幾個原因所造成，而是由大大小小的多種原因共同作用的結果 [51]。而且這多種原因，可分出一般的、次要的、主要的甚至是關鍵的原因，要在這些錯綜複雜的原因中進行分析，理出次序並不是容易的事，而特性要因圖正是用來處理這類事件的簡便有效工具。

特性要因圖依其應用之不同，可分為三大類：問題原因的列舉、散佈分析及製程分析 [52]。前二者近似，但第一種最接近腦力激盪，而散佈分析要先進行問題原因的分組，依分組次序集中思考列舉原因。第三種製程分析係依製造程序列出每一道製程的可能問題原

因，而每一道製程的影響原因一般考慮人力、機器、材料、方法[51]，而也有專家學者又加入了環境及量測兩大類[52]，如圖 2-5 所示。

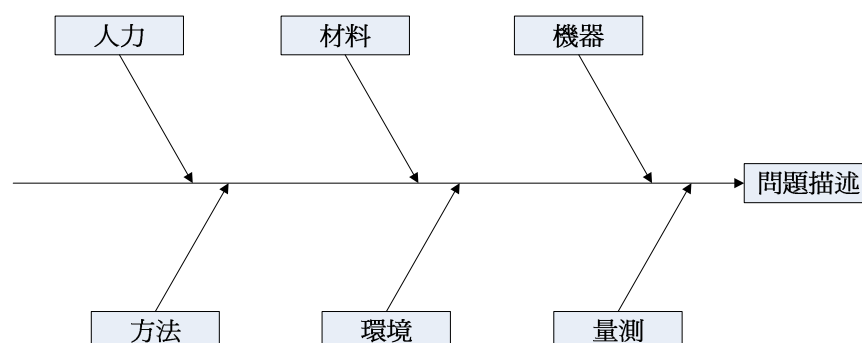


圖 2-5 特性要因圖

資料來源：本研究整理繪製。

品質管理新七大手法為處理文字資料的方法，是於 1972 年日本科技連納谷嘉信教授所研究歸納，因與原有「QC 七大手法」做區別，故稱「QC 新七大手法」包含：關聯圖(relations diagrams)、親和圖(affinity diagrams)、系統圖(systematic diagrams)、過程決策計畫圖(prcess decision program chart, PDPC 圖)、矩陣圖(matrix diagrams)、數據矩陣分析(matrix data analysis)、箭線圖(arrow diagrams) [52]。

在腦力激盪歸納出特性要因圖之後，可能需要應用新七大手法中的系統圖來描述解決問題所需的步驟。因為特性要因圖及系統圖為一簡易的文字問題分析工具，其目的是找出造成品質問題之可能原因，以提供採取改正的思考方向及行動，以防止類似問題再出現。然而，要獲得精確之結果[52]，例如，想知道問題原因之影響大小、彼此關係等，甚至產出數據資訊，就要考慮使用新舊七大手其中的統計方法，更嚴謹者則要導入實驗設計方法，及更複雜的統計方法進行交叉分析比對。

系統圖也稱為樹狀圖，是用來描述問題所需之步驟，可以對於問題的本質有更進一步的了解，並且在解決問題時，得以聚焦在某

些特定的任務上，對於問題處理因而更有效率。系統圖通常由左至右，將目的及達成目的各項手段，展開為的各階層關係，而上一層手段就成為下一層展開的目的，依此逐一展開至需要的詳細程度，如下圖 2-6 所示。

其他分析工具如時間序列圖、機率圖、箱型圖，以及相關敘述統計、推論統計、假設檢定、變異數等量化分析之原理技術，將於本研究後續實驗分析階段，實際應用時加以引述說明。

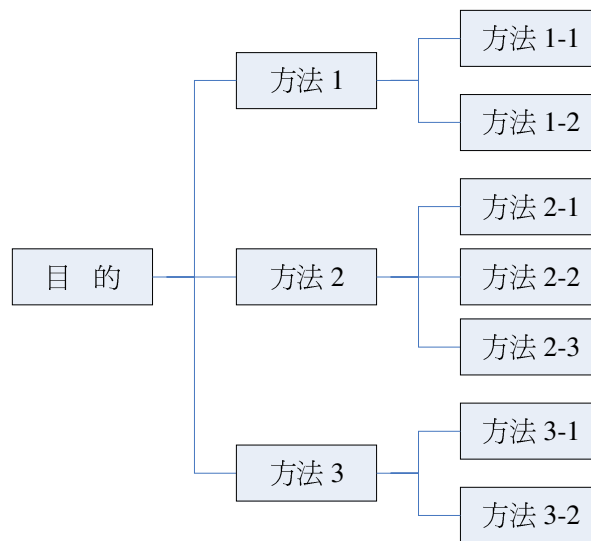


圖 2-6 系統圖

資料來源：本研究整理繪製。

四、實驗設計方法的演進

實驗設計方法演進至今將近一個世紀，一開始是 1920~1930 年代的農業時期，是英國費雪爵士(Sir Ronald Fisher)負責農業實驗，為提高農產品產量所發展的統計與資料分析方法；主要貢獻是提出變異數分析法(Analysis of Variance, ANOVA)，並在實驗設計的使用上強調三個重要的觀念：隨機化(Randomization)、重覆次數(Replication)及集區設計(Blocking)。

1930 年代工業界已應用統計設計方法，Box and Wilson 也發展出反應曲面法。然而，工業界的應用卻不普遍，原因是工程師及專業人員缺乏統計基本觀念及訓練，因此這些技術多數用於研發工作。

1970 年代後期田口玄一(Genichi Taguchi)以控制品質損失的概念，提出穩健參數設計的實驗設計法，使得產品的性能對於產品生產過程及產品最終使用環境中的變異不敏感，而且還能達成預定要求的成本與品質任務[51]。所謂穩健參數設計其實也是一種系統設計方法，因為應用簡易促使企業界競相導入。

穩健參數設計不是在找出最好的方案，而是在系統設計之後進行參數設計，先找出穩定性好的初步方案，再在此基礎上進行允差設計，於是得到穩定性好、品質損失小、成本低的方案；整個系統方法的特點是引入情報理論的信號－雜訊比的概念，作為判別穩定性的準則。透過直交試驗、信號－雜訊比及靈敏度分析，確定穩定因素及調整因素。接著利用穩定因素控制穩定性，利用調整因素將產品特性調到目標值。

1980 年代後期，統計學界仔細檢視田口法後，指出其觀念與目標雖有根據，但實驗策略與資料分析方法卻有實質的問題。經由爭論與刺激肇始了實驗設計方法的另一階段發展，包括交叉陣列設計、合併陣列設計與反應模型法等以替代田口的穩健參數設計。同時也帶動大學與研究所開設統計實驗設計課程，整合工程與統計科學，成為產業競爭的關鍵因子[53]。

詳細實驗設計發展建議參考 Montgomery 著《Design and Analysis of Experiments 7/e》（黎正中譯，實驗設計與分析）中的統計設計簡史。

五、實驗設計法的比較

經由問題陳述予釐清、目的確認，及前述品管方法，如特性要因、系統圖的整理。因此而找出所需的研究的對象稱為設計因子；設計因子又分為「定量」及「定性」兩種水準屬性，例如時間只用定量的二水準為 10min、30min，但如定性就可能表示為「短」、「長」代表二水準；再如某實驗中某一因子為三種顏色的變化影響，定性水準就可能直接指定為「紅」、「綠」、「藍」，而如果要量化就必須透過其他方式加以轉化，例如以光譜波長來代表，端視需要或是否具有意義而定。

傳統上西方普遍使用單因子、全因子實驗設計或部分因子實驗法等傳統式方法，而日本產業界喜用田口方法，其比較如下：

表 2-8 實驗設計方法之比較[11]

項 目	傳統式	田口式
理 念	重視統計技巧、數學模式	具有目標之系統、參數和允差設計
目 標	檢測出原因以符合規格並調整平均	追求低成本穩健性的產品
製 造 階 段	生產後	削除外控效用和降低變異
實 驗	多元統計技巧	最佳化的參數設計以消除未來問題
交 互 作 用	企圖解決交互作用	減少可控因素之交互作用
技術上不同	1. 重視 F 檢定	1. 非控因素的參數設計、
	2. 多變異分配和相同變異之假定交互作用的處理	SN 比損失函數方式的允差設計
	被動	2. 重視品質特性可加性選擇

資料來源：顏主恩，《面磚工程施工中影響混凝土與水泥砂漿黏著強度因子之研究》，碩士論文，國立高雄第一科技大學營建工程研究所，2010。

從上表看傳統實驗設計方法重視的是，利用統計分析技巧找出實驗因子的優先次序及因子間交互作用特性。而田口式穩健設計，則利用實驗設計階段，以參數控制及允差設計技巧將不利於製程的因子事先排除或降低。

六、實驗設計法的軟體工具 MINITAB

這幾年已經有些很不錯的套裝軟體出現，可用來幫助實驗人員不論是實驗的規劃設計或分析等作業。Minitab 是其中一套通用性統計套裝軟體，具有很強的資料分析能力，並且能夠分析處理固定、隨機化甚至是混合的實驗的資料[53]。

Minitab 雖然目前已有 R16 新版，但一般市售教科書及操作手冊都是應用 Minitab 15 版本進行示範及說明，並推薦是小而巧的特色，最適合用於統計教學資料分析的軟體。本研究從台灣昊青公司網站(<http://minitab.com.tw/MTB15download.html>)下載 R15 英文試用版，進行實驗設計規劃。

Minitab 所涵蓋的主題內容，能夠與統計教科書上的理論、統計方法與專業術語完全結合，企業界更是喜歡應用 Minitab，將其列為其製程能力或服務流程中不可或缺的重要分析工具之一(<http://www.minitab.com.tw/MTB.htm>)。

第五節 綜合案例研究

一水泥系黏結劑在使用壽命期間的性能[36]

磁磚已經在葡萄牙廣泛用於外牆多年，而這些磁磚往往著床於砂漿或水泥系的黏結劑上。然而，過去幾年中出現了很多失誤，例如使用在外牆上磁磚的黏結失敗。其中一個根本原因是，是選擇了不適用的水泥系黏結劑。所謂不適用，主要指的是採用黏結劑所依據的性能評估，一般都是使用階段早期行為的評估，無法提供及顯示長期使用壽命的性能。

外牆磁磚系統在葡萄牙，基本上也是由底層結構、打底砂漿、黏結砂漿及磁磚所構成。據葡萄牙波爾多大學的建築物裡實驗室的分析，這些材料特別是在建築外牆時，容易受到溫度及溼度變化、太陽輻射、下雨等等劣化因子的影響而造成損壞。



圖 2-7 外牆磁磚剝落現象

資料來源：V. P. de Freitas, A. Vaz Sá, 《CEMENTITIOUS ADHESIVES PERFORMANCE DURING SERVICE LIFE》，10DBMC International Conférence On Durability of Building Materials and Components LYON [France] 17-20 April 2005。

為此，該實驗室的研究團隊準備了 40 件試體於實驗箱中進行超過 100 次的加速老化循環，以研究評估磁磚/水泥系黏結劑的老化程序影響。實驗箱模擬了某些重要的氣候狀態和作用（輻射、雨、凍融），也就是建築物一般會遭遇到的狀況。實驗溫度和濕度值的建

立，是以葡萄牙的建築物外牆可能會面臨必須克服最惡劣的天氣條件的經驗，據以微幅增加所需的實驗值。

本實驗使用三種不同類型的磁磚，三種全部都是葡萄牙一般建築物外牆常用的類型。三種磁磚實驗編號為 L0, L1 及 L2.，各自有吸水率差異相當大的。其特性彙整如表 2-9 及表 2-10：

表 2-9 實驗案例的磁磚尺寸

Designation	Group	With x length [mm ²]	Thickness [mm]
L0	BIa	50 x 50	5
L1	AI	50 x 50	5
L2	BIIa	50 x 50	10

資料來源：10DBMC International Conférence On Durability of Building Materials and Components LYON [France] 17-20 April 2005。

表 2-10 實驗案例用的磁磚性能

Designation	Group	Water absorption [%]	Flexural strength [MPa]	Abrasion resistance [Mohs]	Thermal expansion coefficient [K ⁻¹]
L0	BIa	0,02	≥ 27	≥ 6	≤ 9x10 ⁻⁶
L1	AI	2,74	≥ 27	≥ 5	≤ 9x10 ⁻⁶
L2	BIIa	5	≥ 18	≥ 6	≤ 2x10 ⁻⁶

資料來源：10DBMC International Conférence On Durability of Building Materials and Components LYON [France] 17-20 April 2005。

研究主體水泥系黏結劑屬於 C2 及 C2S 類別，也是對外牆使用的建議。表 2-11 列出水泥系黏結劑的主要特性。試驗試體使用 35 個尺寸為 300x200x40mm 的混凝土板，三種磁磚都鋪設在同一塊混凝土板上，如圖 2-8 所示分別為 40mm 厚混凝土板、水泥系黏結劑(C2 或 C2S 型)，以及三塊磁磚，類型為 L0, L1 及 L2。

表 2-11 實驗案例用的水泥系黏結劑特性

Characteristics	C2 ² [MPa]	C2S ² [MPa]
High initial tensile adhesion strength (after 3 days)	1	-
High initial tensile adhesion strength (after 28 days)	1,5	2
High tensile adhesion strength after heat ageing	1,0	1,5
High tensile adhesion strength after water immersion	0,5	1,0
High tensile adhesion strength after freeze-thaw cycles	-	1,0

資料來源：10DBMC International Conférence On Durability of Building Materials and Components LYON [France] 17-20 April 2005。

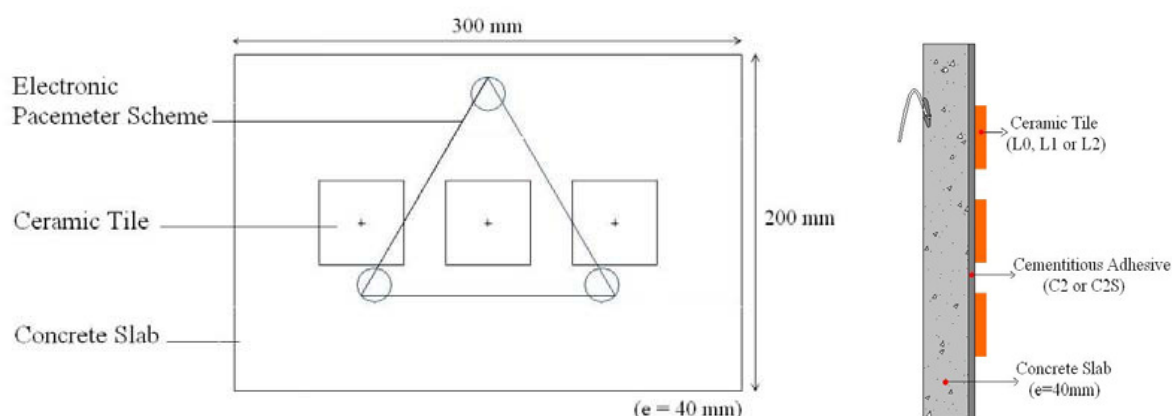


圖 2-8 實驗案例用試體配置

資料來源：10DBMC International Conférence On Durability of Building Materials and Components LYON [France] 17-20 April 2005。

每種組合類型共製成七個試體，每個試體都會受到 1~112 次不同的老化循環數量。每一次完整循環時間要持續 12 小時，因為模擬箱中試驗的環境時間最長限制為 2 個月。每個試體包含三塊磁磚，總數有 105 塊磁磚進行直接拉拔試驗。加速老化試驗持續 12 小時 (720 分鐘)，完整的 9 個步驟如表 2-12 所彙整的。

表 2-12 實驗案例加速老化完整的循環步驟

Step	Humidity [%]	Temperature [°C]	Time [min]	Accumulated Time [min]	Radiation /Rain
1	95	20	1	1	
2	95	20	139	140	Rain-ON
3	95	20	30	170	Rain-OFF
4	60	-10	140	310	
5	60	-10	60	370	
6	95	50	180	550	
7	95	50	20	570	
8	40	30	140	710	Radiation-ON
9	40	30	10	720	Radiation-OFF

資料來源：10DBMC International Conférence On Durability of Building Materials and Components LYON [France] 17-20 April 2005。

加速老化計畫是在環境試驗箱中進行，是依據相關國際標準：DS 1127, ASTM D 4798, ASTM E 632, ASTM G 26 及 ASTM C481，以及 EOTA 文件：GD003 指導文件及技術報告 TR 010。

本研究範例所要呈現特性的比較，就是以黏結的拉拔試驗強度為基礎。為了要確定性能的變化，每一個試體在加速老化試驗前後都先進行了拉拔試驗分析。拉拔試驗方法是依據歐洲標準 EN 1348 (CEN, 1997)規定進行。

本研究案例實驗 PE0、PE1、PE3 試體類型的分析結果：

1. 不論是哪一型的水泥黏結劑，大約 140 個週期後將導致磁磚飾面使用壽命的結束。
2. 黏結失敗的類型很大的影響因素是所選用了低吸水率的磁磚（吸水率 0.02%）類型。
3. 在 112 次循環後拉伸黏結強度試驗為初始強度的 30%。

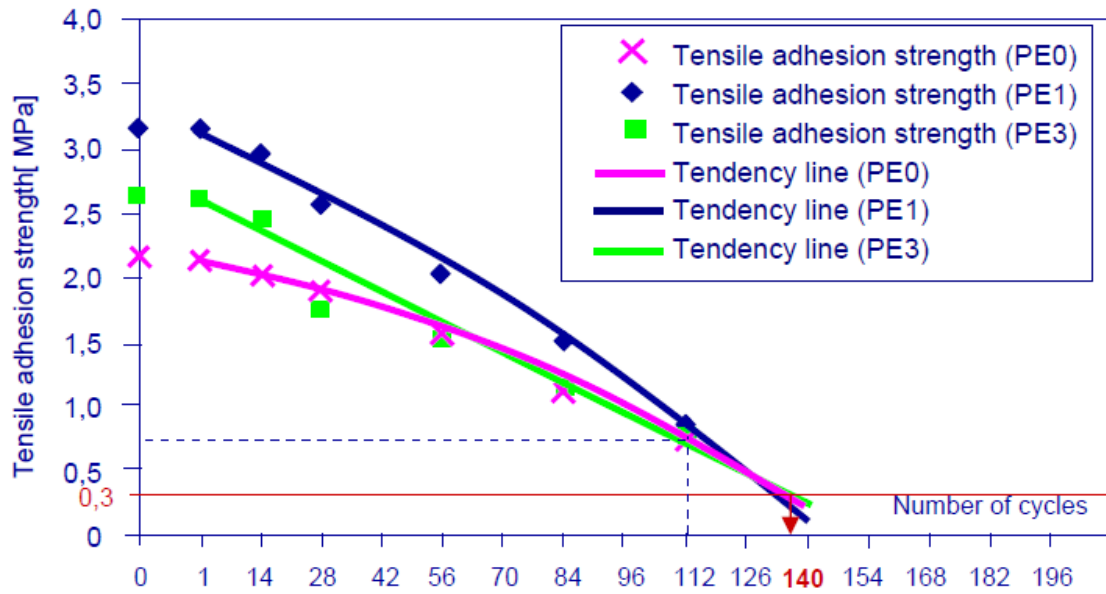


圖 2-9 實驗案例加速老化之黏結強度變化

資料來源：10DBMC International Conference On Durability of Building Materials and Components LYON [France] 17-20 April 2005。

圖 2-10 顯示的圖形為 PE2 和 PE4 試體類型，在不同老化循環數下，黏結拉拔試驗強度的變化情形。

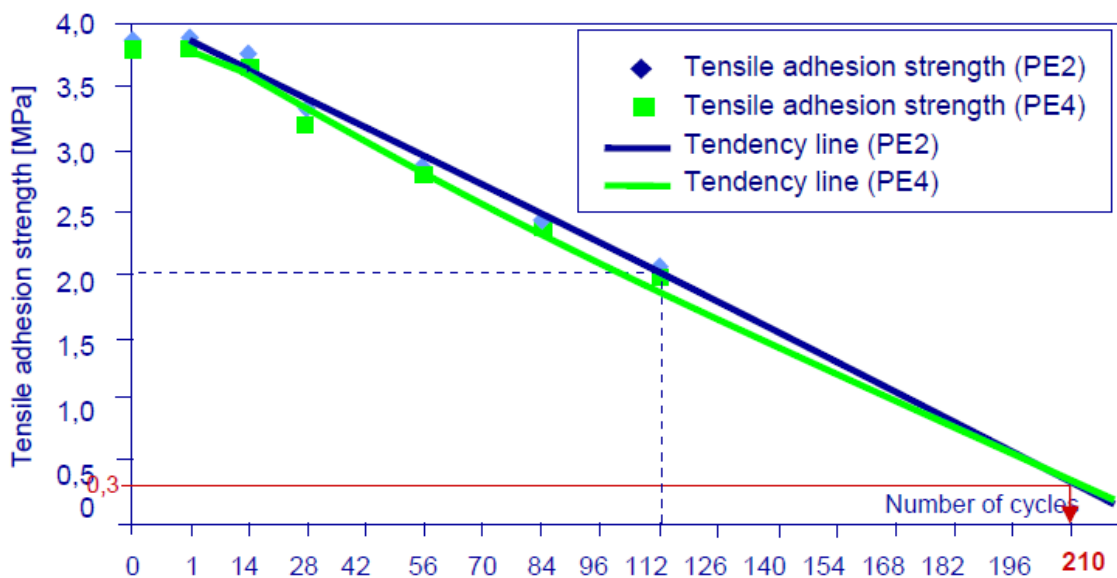


圖 2-10 實驗案例加速老化之黏結強度變化

資料來源：10DBMC International Conference On Durability of Building Materials and Components LYON [France] 17-20 April 2005。

本研究案例實驗 PE2、PE4 試體類型的分析結果：

1. 到達 210 次老化循環時為其關鍵水準，因此判斷為系統使用壽命的結束。
3. 在第 112 次老化循環後的黏結拉拔試驗強度約為初始值的 50%。
2. 在老化循環次數 0 及 1 與循環 14 次的黏結拉拔試驗強度值非常近似，這種情形可以由觀察來加以解釋，第一種情況是黏結破壞類型是在混凝土基板表層，而在其他情況下的黏結破壞類型大多在於水泥系黏結劑上；在混凝土板表層的黏結破壞就代表其黏結拉拔試驗強度，這種情形只能說明水泥系黏結劑的黏結拉拔試驗強度優於試驗值，並不能表示它的精確值，因為可能還要高得多。

第六節 小 結

從本章所探討的文獻來看，外牆飾面磁磚因為包括各層材料及黏結劑、施工方法及受到環境影響的不同，可說形成已複雜的外牆磁磚系統。而其缺陷大致包括了營造與使用階段初期所發生的問題，問題原因可能來自設計、施工階段對材料、施工方法步驟的錯誤所產生。另一方面在使用稍後階段受到長期溫溼度循環，甚至環境汙染等影響而產生老劣化現象。除了前述長短期的影響因素，其實之間彼此也存在交互作用導致老劣化現象更為劇烈，耐久性能更為縮短。

依據文獻回顧有關外牆磁磚系統缺陷，導致磁磚剝落的現象大多發生在各層的界面位置，如圖 2-11 f、d、b 所示。尤其在黏著劑前後的界面上特別容易發生。

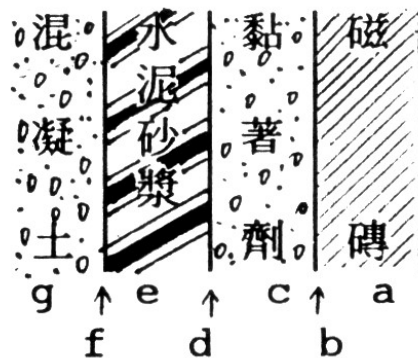


圖 2-11 外牆磁磚系統

資料來源：空間雜誌特別增刊:建築技術 4，1993。

前述外牆磁磚系統缺陷的發生，從文獻中可以看出國內研究大都探討重點在於磁磚黏貼的工法、材料、配比等；而國外的研究則著重在整體外牆磁磚系統中黏結劑的黏結能力，尤其是因為黏結劑含有高分子材料，更容易受到環境如溫、濕、風或汙染等因子的影響。因此國外實驗研究部分大都將整體外牆磁磚系統，製成一定尺寸的模擬試塊，放進環境實驗箱中以黏結劑為加速老化實驗對象。最後以不同加速老化齡期的試體施以拉拔強度或剪力強度試驗，惟

尚未有在磁磚黏結界面剝離現象產生前，但材料已有性能變化傾向之紅外線熱影像之非接觸式檢測方法應用探討。

第三章 實驗設計規劃

本研究的目的是在於探討運用具有遠距非接觸式、一次全面非破壞性優勢的紅外線熱影像法，是否可以檢測出外牆磁磚系統的黏結材料、施工及環境位置影響的表面升降溫度的特性。

第一節 實驗設計因子及水準篩選

依據第二章文獻回顧有關外牆磁磚系統缺陷，導致磁磚剝落的現象大多發生在各層的界面位置，尤其在黏著劑前後的界面上特別容易發生。為了更清楚外牆磁磚系統各層受到外部因子影響的順序及因果關係，乃依實驗設計原因分析方法中特性要因圖(即魚骨圖)整理如下圖 3-1。

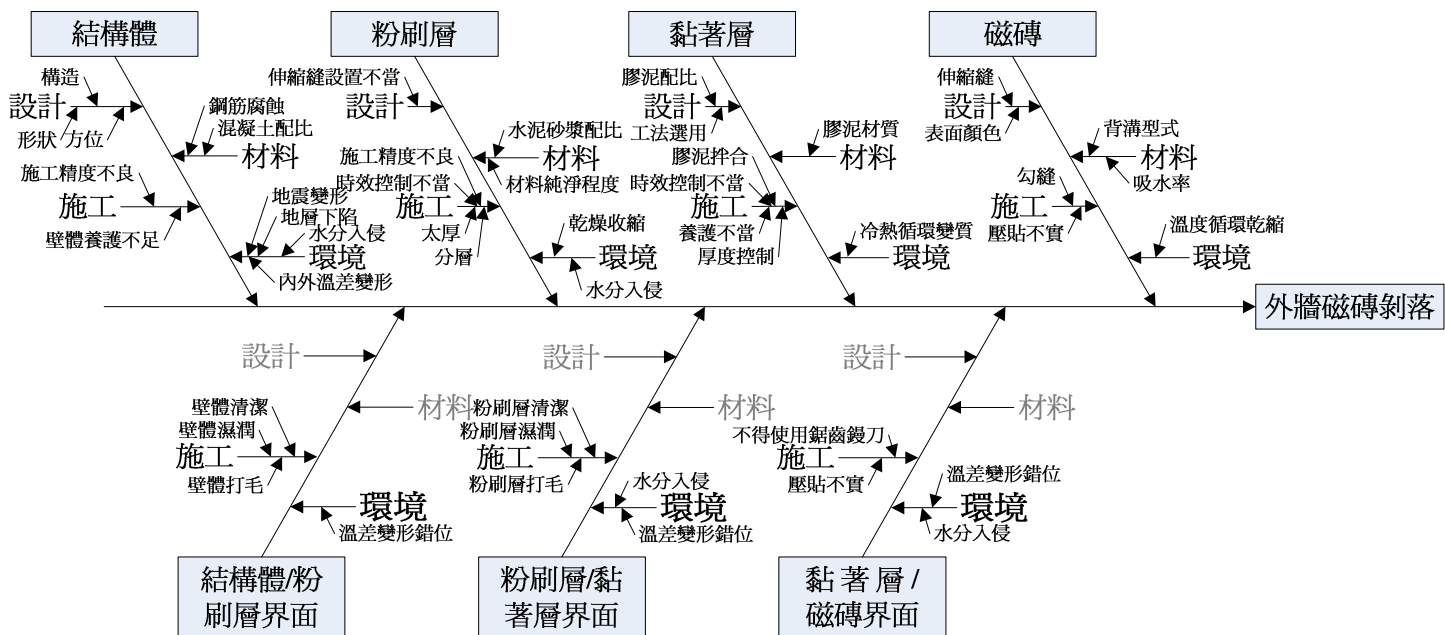


圖 3-1 外牆磁磚剝落特性要因圖

資料來源：本研究整理繪製

上圖是將標準特性要因圖設計、施工、材料、環境等要因，依外牆磁磚系統結構體、粉刷層、黏著層、磁磚，及各層界面順序進行解析歸納，以方便聚焦實驗研究對象問題的歸屬。

因為本研究目的，在於利用外牆磁磚黏結層本身不同黏結材料、施工延滯之黏置時間，形成複合外牆磁磚系統影響之材料熱傳導性質的變化，並因受檢測位置不同等變化，而呈現在外牆磁磚表面之受熱及降溫過程將有所不同。因此，推測所得紅外線熱影像擷取之溫度特徵也將有所差異，惟其特徵值是否已達統計上的差別意義，值得未來實際檢測應用，因此有必要驗證紅外線熱影像技術在檢測外牆磁磚系統之應用可行性。

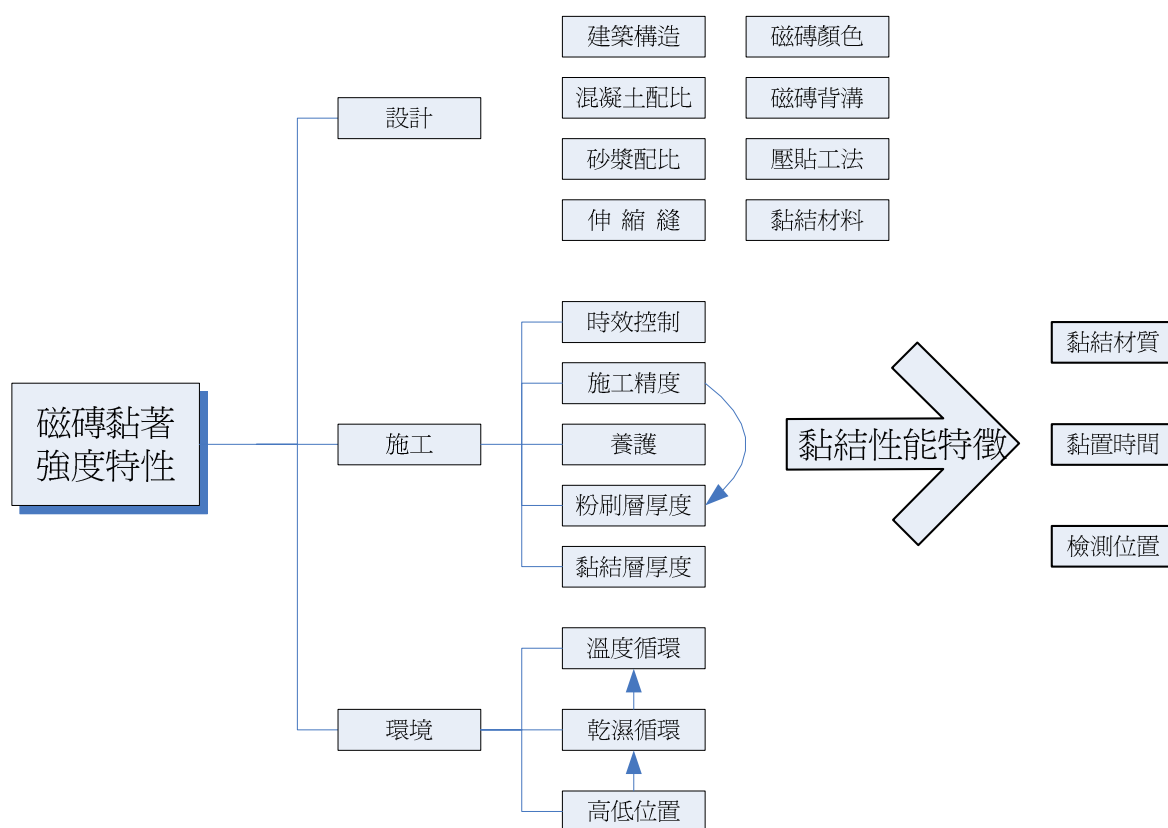


圖 3-2 磁磚黏結強度系統圖

資料來源：本研究整理繪製

再從外牆磁磚系統各層材料影響磁磚黏著強度特性觀察(圖 3-2)，打底粉刷層及黏結層為系統中較容易受到設計、施工、材料及環境等等因素的影響而剝落；這可以從國內外文獻所進行的實驗研究結果看出。其中又以黏結層材料受環境因子影響，為國外加速老化實驗的焦點可為印證。

以建築物外牆磁磚系統而言，其中黏結層國內習用之磁磚黏結材料有水泥砂漿、水泥砂漿拌合海菜粉及專用磁磚黏著劑等，這些事實上都是屬於複合材料，尤其後二者摻有部分高分子材料[23]，更容易受到環境因子老化的影響[37]。黏結材料的選用因此為設計階段影響因子的代表。然因本年度時間限制，尚無法進行國外已開始研究的加速老化實驗，因此加速老化實驗改以另一可能影響檢測結果之外牆位置高低變化，結合三種黏結材料及黏置時間所模擬製作之外牆磁磚系統試體進行紅外線熱影像檢測。

在施工影響黏結效能的各項因素中，刻意挑選製作實驗試體時較容易控制，且可能與材料老化因子產生交互作用的黏置時間作為施工影響因子。而經參考以往類似磁磚黏結劑之黏置時間實驗相關文獻[2]，除對照之立即黏貼外，刻意將關鍵黏置時間設為 15 分鐘。

此外，在環境影響因子方面，綜合國內外文獻有關模擬外牆磁磚系統之加速老化試驗，尚未有一致標準；但查中國國家標準 CNS12611 有針對陶質壁磚用接著劑規定養護及其處理條件如表 3-1，及處理後之強度標準如表 3-2 所示，某種程度可作為未來模擬外牆磁磚系統加速老化的試驗標準：

表 3-1 陶質壁磚用接著劑規定養護及其處理條件

條件	項目	時間 h	溫度℃	水分
養護條件	標準養護	168	20±2	65±10%RH
	低溫養護	168	5±2	—
	高師養護	168	20±2	90%RH 以上
	浸入溫水	24	50±2	溫水中
處理條件	重複乾燥 與 浸入水中	4	20±2	水中
		20	60±2	65±10%RH
		以上為 1 循環，重複 4 循環		
	重複乾燥 與 濕潤	4	20±2	90±2%RH
		20	60±2	乾燥
		以上為 1 循環，重複 4 循環		

浸入鹼性水中	48	20±2	氫氧化鈣飽和 溶液中
熱劣化	672	60±2	乾燥
低溫硬化	672	5±2	—

資料來源：中國國家標準 CNS 12611

表 3-2 陶質壁磚用接著劑判定標準

單位：N/cm²{kgf/cm²}

項 目	判 定 標 準
儲 存 安 定 性	容積及黏度不得有顯著變化
混合完成易認性	混合完成時之顏色應為明亮
標 準	58.8{6} 以上
溫 水	29.4{3} 以上
乾燥及水中	29.4{3} 以上
乾燥及濕潤	29.4{3} 以上
熱劣化	29.4{3} 以上
低溫變化	29.4{3} 以上
水中鹼性	29.4{3} 以上
耐 熱 性	4.5kg 重鎚，在 60℃ 經 24 小時後應安定
抗 位 移 性	不得產生參差不齊之現象

資料來源：中國國家標準 CNS 12611

本研究因此先期探討相關文獻，其中中國國家標準 CNS12611 中黏結劑測試養護及其處理條件中重複乾燥與濕潤部分之溫濕度條件，似可作為未來加速老化實驗溫濕度變化條件設定之部分依據：如表 3-1：4 小時溫度 20℃ 及濕度 90%RH，20 小時 60 °C 及乾燥為加速老化實驗箱之設定條件，總計 24 小時為 1 循環。

比較表 2-12 之國外研究之加速老化設定條件，與 CNS 國家標準之溫濕度循環條件其實差異不大，惟其 1 次循環時間較短只有 CNS 國家標準的一半 12 小時，因此其溫溼變化較大速率較快，且其加速老化循環結果，0、1、14 次數後所得抗拉接著強度值均非常接近，第 112 次黏結性能只剩原始強度的 50%(如第二章第五節國外案例分析)；又據香港城市大學所進行的加速風化實驗[37]中，其溫溼條件

變化更小，每次循環時間更短總計只有 70 分鐘，時間非常緊湊，於此條件下第 100 次循環(約 117 小時約等於 4.9 天)之前，剪力及抗拉試驗數據均呈直線下降趨勢，在 100 次循環後變化不大趨於水平。

綜合以上文獻探討，建議未來進行加速老化實驗時，應綜合考量實驗設備與時間限制，除了對照組不進入實驗箱加速老化外，循環次數計為 0 次，建議加速老化循環次數係依上述國家標準處理條件完成須有 4 次循環外，其餘係參考國外類似實驗取中間值，第二次加速循環設定為 21 次，最終第三次加速循環設定 42 次。(並應有試體置於戶外做為長期老化之觀測比較之用)。

總結來說，建議未來加速老化實驗因子及其水準設計如表 3-3 所示：

表 3-3 建議未來加速老化實驗因子及水準

設計因子	水 準
黏結材料	1:2 水泥砂漿 1:2 水泥砂漿+海菜粉 益膠泥
黏置時間(Open Time)	快 (<15min.) 慢 (≥15min)
加速老化時間(天)	0 4 21 42

資料來源：本研究整理

第二節 實驗設計規劃及配置

由於實驗研究本身受限於實驗時間、設備資源及試體製作成本限制，必須思考可能進行實驗研究分析的試體數量。為求嚴謹及可信度起見，本研究導入具品質及統計原理之實驗設計方法[53]，進行整體實驗設計規劃：在外牆磁磚黏結溫度性能原因分析方面，依上節篩選出關鍵因子—黏結材料、施工黏置時間(Open Time)及受測位置高低為關鍵因子及其水準數進行實驗設計。

如上節表 3-3 所說明之黏結材料因具有文字屬性的「1:2 水泥砂漿」、「1:2 水泥砂漿+海菜粉」、「益膠泥」等 3 個水準(代號 A、B、C)；施工黏置時間(Open Time) 具有文字屬性的「快」、「慢」等 2 水準(Q、S)；受測位置模擬外牆上、中、下高度為文字屬性「U」、「M」、「D」等 3 水準，因此 3 設計因子具不同水準數及屬性，為求實驗設計操作及成果分析簡單起見，實驗設計方法則採取保守的全因子實驗設計法。

以此因子及水準數計算試體數量將達 $3 \times 2 \times 3 = 18$ 塊，同時希望能夠洞察紅外線熱影像檢測的量規能力 (gauge capability)，所以先規劃先假設具有 3 重複(replicates)數，再於數據分析前修正處理成 3 重複量測值(duplicates measurements)。依 MINITAB 實驗設計工具軟體操作因子及水準設計步驟，如下各圖 3-3、3-4~3-8 所示：

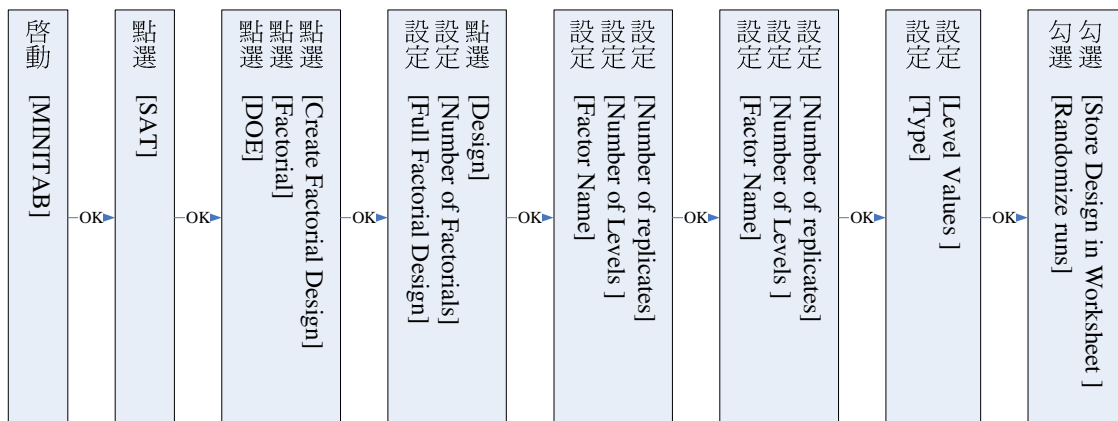


圖 3-3 MINITAB 操作步驟

資料來源：擷取自 MINITAB R15 試用版操作畫面

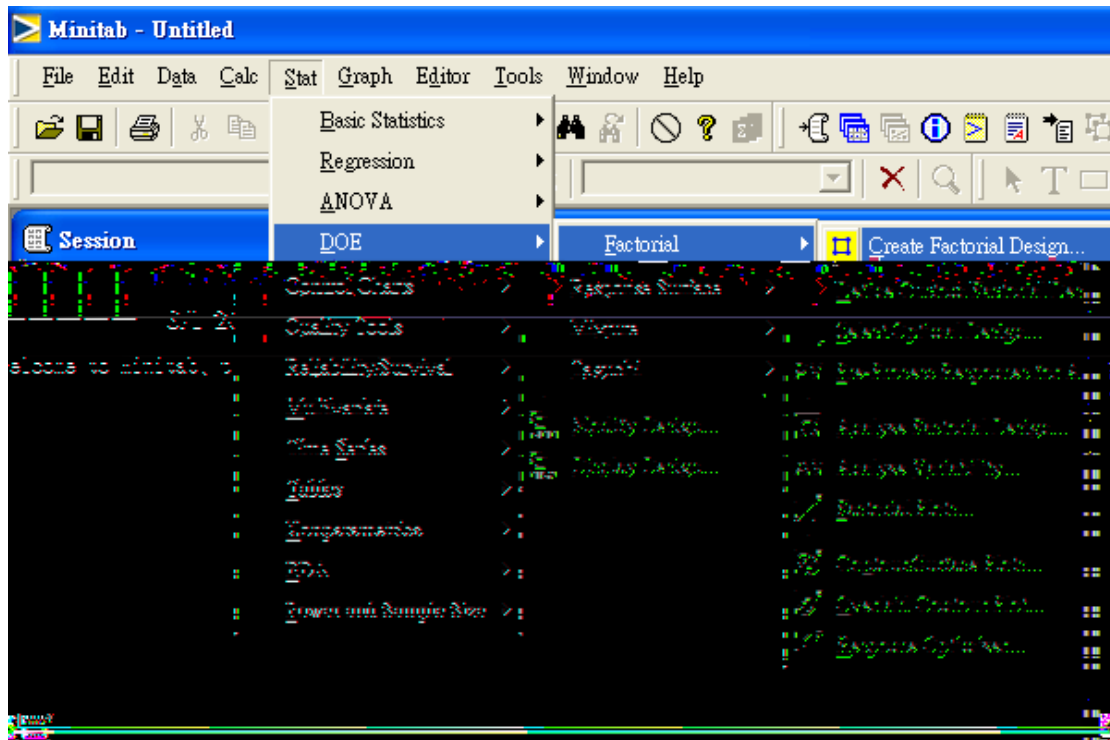


圖 3-4 啟動 MINITAB 實驗及因子設計功能

資料來源：擷取自 MINITAB R15 試用版操作畫面

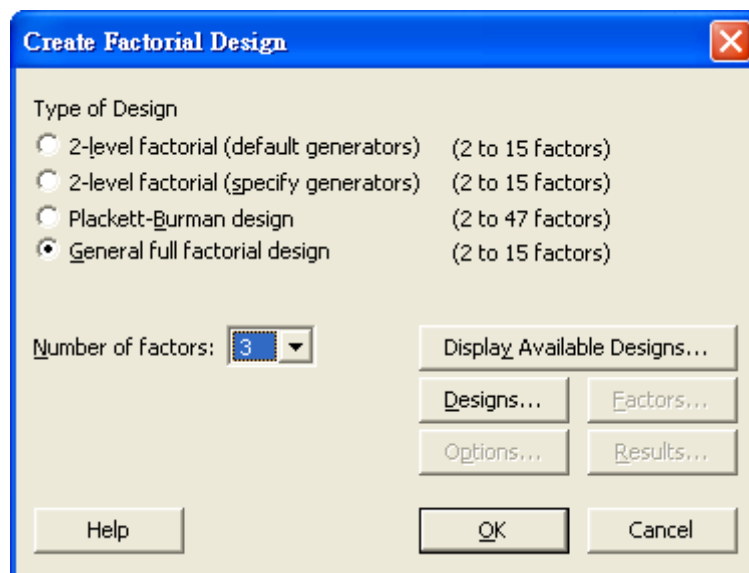


圖 3-5 設定全因子實驗設計及設定 3 因子數

資料來源：擷取自 MINITAB R15 試用版操作畫面

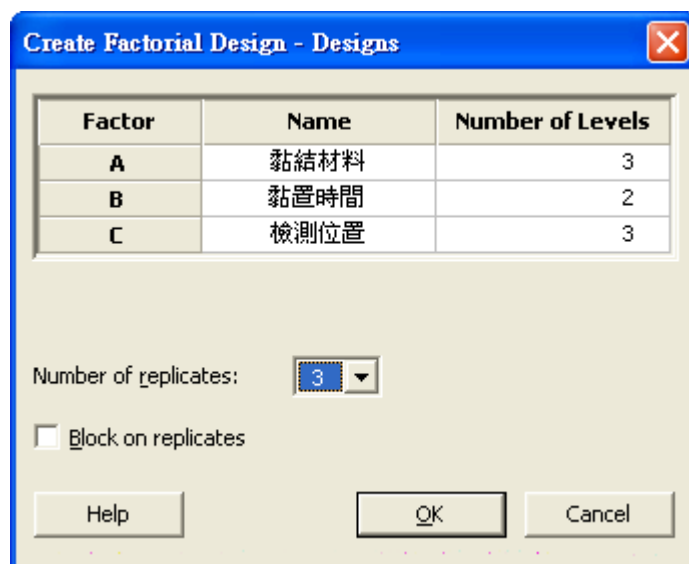


圖 3-6 設定因子名稱及水準數、重複數

資料來源：擷取自 MINITAB R15 試用版操作畫面

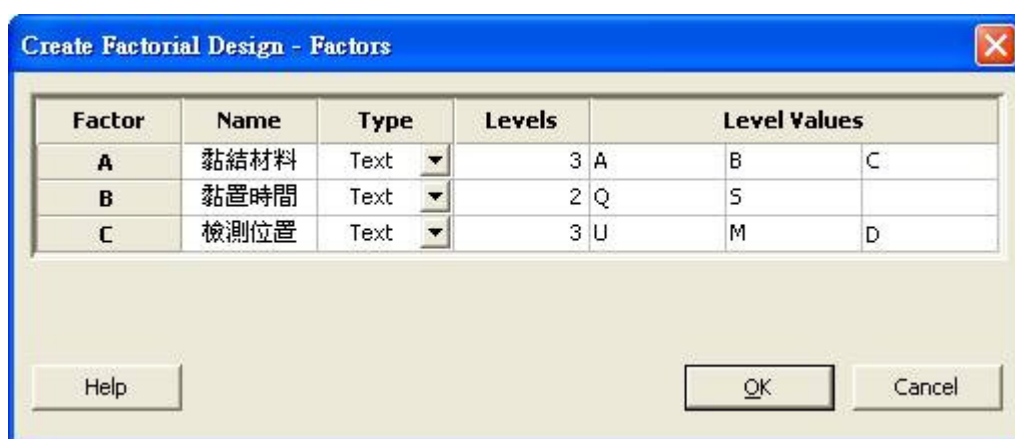


圖 3-7 設定因子水準值及屬性

資料來源：擷取自 MINITAB R15 試用版操作畫面

表 3-4 全因子實驗設計試體規劃表

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	黏結材料	黏置時間	受測位置
1	1	1	1	A	Q	U
2	2	1	1	A	Q	U
3	3	1	1	A	Q	U
4	4	1	1	A	S	U
5	5	1	1	A	S	U
6	6	1	1	A	S	U
7	7	1	1	B	Q	U
8	8	1	1	B	Q	U

9	9	1	1	B	Q	U
10	10	1	1	B	S	U
11	11	1	1	B	S	U
12	12	1	1	B	S	U
13	13	1	1	C	Q	U
14	14	1	1	C	Q	U
15	15	1	1	C	Q	U
16	16	1	1	C	S	U
17	17	1	1	C	S	U
18	18	1	1	C	S	U
19	19	1	1	A	Q	M
20	20	1	1	A	Q	M
21	21	1	1	A	Q	M
22	22	1	1	A	S	M
23	23	1	1	A	S	M
24	24	1	1	A	S	M
25	25	1	1	B	Q	M
26	26	1	1	B	Q	M
27	27	1	1	B	Q	M
28	28	1	1	B	S	M
29	29	1	1	B	S	M
30	30	1	1	B	S	M
31	31	1	1	C	Q	M
32	32	1	1	C	Q	M
33	33	1	1	C	Q	M
34	34	1	1	C	S	M
35	35	1	1	C	S	M
36	36	1	1	C	S	M
37	37	1	1	A	Q	D
38	38	1	1	A	Q	D
39	39	1	1	A	Q	D
40	40	1	1	A	S	D
41	41	1	1	A	S	D
42	42	1	1	A	S	D
43	43	1	1	B	Q	D
44	44	1	1	B	Q	D
45	45	1	1	B	Q	D

46	46	1	1	B	S	D
47	47	1	1	B	S	D
48	48	1	1	B	S	D
49	49	1	1	C	Q	D
50	50	1	1	C	Q	D
51	51	1	1	C	Q	D
52	52	1	1	C	S	D
53	53	1	1	C	S	D
54	54	1	1	C	S	D

資料來源：本研究製作，自 MINITAB 工作表轉存至 Excel 表

表 3-4 為完成 MINITAB 實驗設計各項設定後，將所存工作表轉存為 Office 辦公室軟體 Excel 的格式，以方便後續試體製作之規劃配置。表中規劃出試體總數為 54 個，如果以方便製作的混凝土試體單元 30×30cm 而言，重量非常可觀，且須 18 批次進行加熱進行紅外線熱影像檢測。

為了維持具有統計學優勢的全因子實驗設計法，及其規劃之試體數量及配置，考量所選用的市售小口磁磚(4.7×4.7cm)出售時以每才(30×30cm)為單位，每才總計有 $6 \times 6 = 36$ 塊磁磚。而國內外文獻研究或標準，不論拉拔試驗器或紅外線熱影像之數據擷取，均係針對單一磁磚大小，均可很容易的依隨機選取次序之位置彈性移動。

將 MINITAB 軟體所產出之原始規劃表，轉存為 Office 辦公室軟體 Excel 表格式後，以黏置時間、黏結材料及檢測位置之批次集中。

觀察上表黏結材料、黏置時間及檢測位置三欄的集中趨勢，事實上等於未重複前之 18 塊試體上選出 3 塊磁磚受紅外線熱影像檢測；考量 18 塊試體還是無法一次進行均勻加熱檢測。

因此構思，如果在每塊混凝土基板塗置黏結材料前，先將每才磁磚切割為二。再於基板塗佈黏結材料後，半才磁磚(18 塊磁磚)隨即黏貼。另半才於設定黏置時間較慢之 15 分鐘後貼上，如此可集中 6 個隨機檢測點於一塊混凝土基板試體上，則總試體數可縮減為 9 塊。相關混凝土基板之實驗設計配置如圖 3-x 所示。

圖 3-8 中所有試體均為 30x30cm，剛好可以每塊 4.7x4.7cm 小口磁磚半才(6x3=18 塊)於黏結層塗佈後即時貼附，另半才於塗佈後等待 15 分鐘貼附。A1-A3 試體之磁磚黏結材料為 1:2 水泥砂漿，B1-B3 試體之磁磚黏結材料為 1:2 水泥砂漿+海菜粉，C1-C3 試體之磁磚黏結材料為益膠泥。

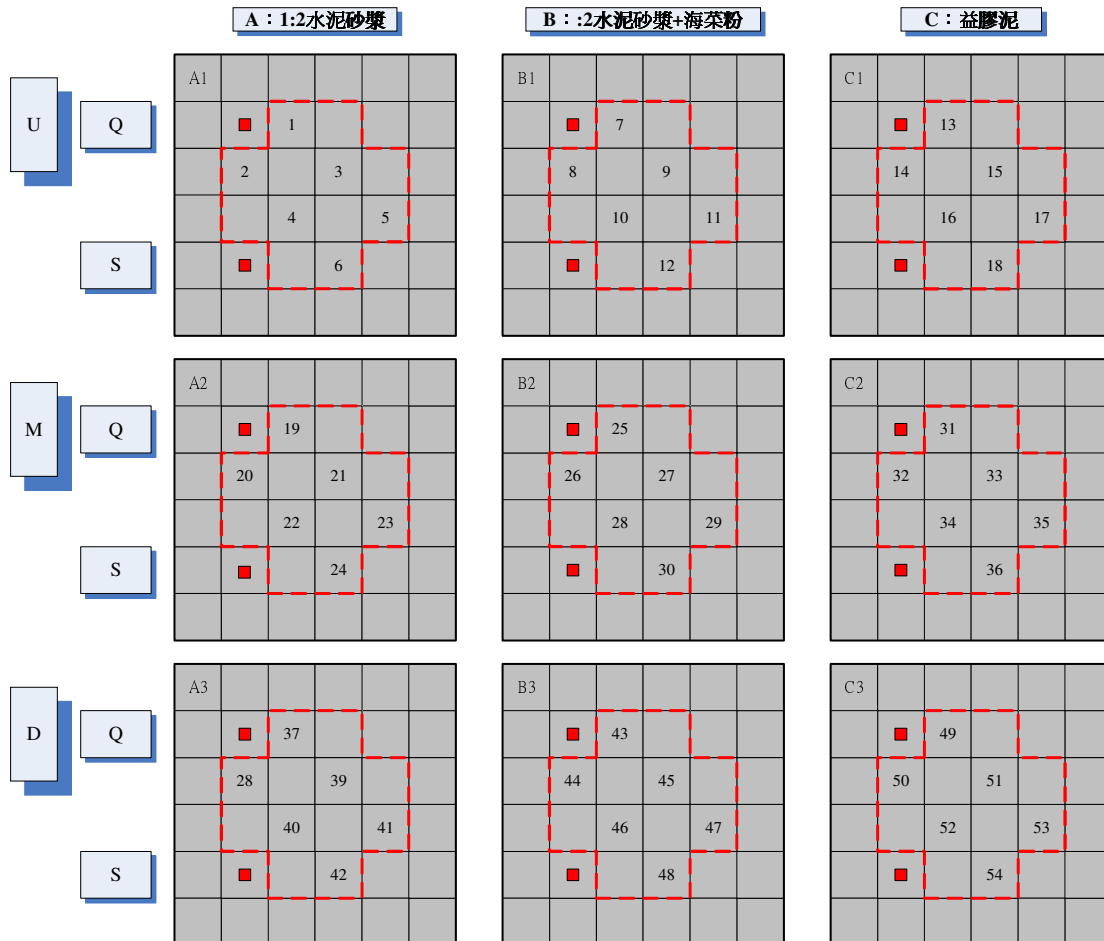


圖 3-8 試體磁磚黏貼計畫圖

資料來源：本研究繪製

上圖黏貼計畫中，深色方型小點為模擬磁磚背面出現脫層缺陷，即在每一黏結材料、黏置時間及不同檢測位置之 18 種交叉組合中，都有一缺陷點存在與之對應比對。

每塊試體虛線所圍圍範以外當成是絕緣區域，以避免溫度加熱或衰減時，由試體側邊產生影響。

第三節 實驗試體材料與製作

本研究試體數量係依本章第二節規劃數量及配置方式製作。材料部分係綜合參考相關文獻及標準，混凝土基板決定以強度 4000psi 結構用之混凝土製作成每塊 30×30×10cm 大小，相關配比資料如表 3-5，並依規定進行養護。養護時間超過 28 天。(感謝中華科技大學卓世偉助理教授協助製作)

表 3-5 混凝土基板配比及強度

設計強度	水泥	水	砂	六分碎石	SP	28 天壓力強度試體
4000 psi	380 kg/m ³	158 kg/m ³	882 kg/m ³	904 kg/m ³	3.8kg/m ³	416 kgf/cm ²

資料來源：中華科技大學卓世偉助理教授提供

依中國國家標準 CNS9742 瓷質壁磚規定材質標準與本研究選用外牆貼面之小口磁磚(如圖 3-10)材質與比較如表 3-6。



圖 3-10 實驗用外牆貼面小口磁磚

資料來源：本研究拍攝

表 3-6 CNS9742 瓷質壁磚規定與本研究選用材質比較表

	吸水率	蒸壓試驗	抗折試驗	釉面磨耗量	耐酸鹼性
CNS 9742	≤1 %	不需	183.6kgf/cm ²	不需	無異狀
本研究材料	≤0.5%	無異狀	450 kgf/cm ²	0.03g	無異狀

資料來源：本研究製表(CNS9742、高世紀工業股份有限公司)

台灣地區外牆磁磚黏貼，除了少數還有使用傳統水泥砂漿外，一般為使水泥砂漿需更具有黏著強度及保水性，大都添加海菜粉，或直接使用專用黏結劑。水泥砂漿添加海菜粉(甲基纖維素)，施工前先將海菜粉泡至水中並放置 4~5 小時後，依說明調配水泥砂漿。



圖 3-10 海菜粉泡水拌勻靜置

資料來源：本研究拍攝



圖 3-11 水泥砂漿拌勻海菜粉

資料來源：本研究拍攝

市售磁磚黏著劑配比用料各家不同，大致是以波特蘭 I 型水泥、砂及高分子添加劑(如壓克力樹脂、EVA 樹脂、合成橡膠等..)，使用時同樣須依使用說明配比，與水混合後使用。本研究使用之樹脂益膠泥為摻有 EVA(乙烯-乙酸乙烯酯共聚物)之專用黏結劑。



圖 3-12 樹脂益膠泥及拌合情形

資料來源：本研究拍攝

混凝土基板清潔溼潤(如圖 3-13)及靜置後，三種黏結材料依工地現場習慣作業方式依序鋪貼。

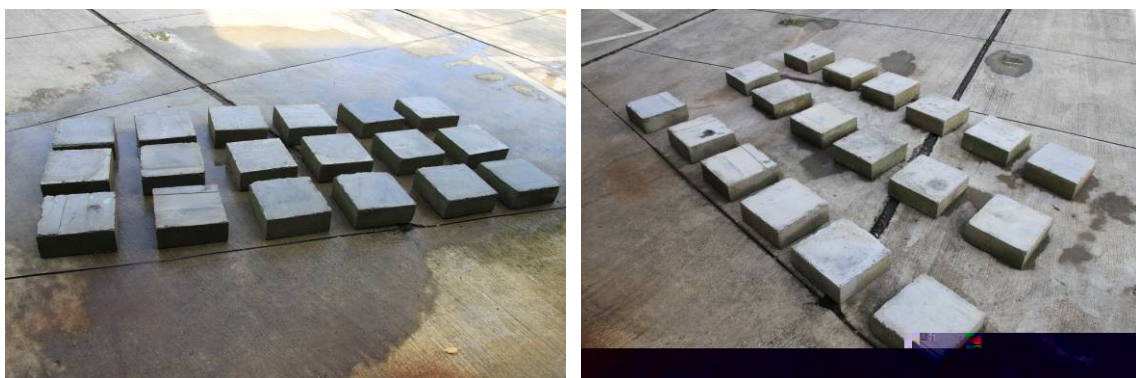


圖 3-13 混凝土基板清潔濕潤及靜置

資料來源：本研究拍攝

混凝土塊於塗滿依序塗佈黏結劑，每一塊混凝土基板又分為上下二部不同黏置時間，將市售每才 30×30cm 包含 36 塊磁磚 4.7×4.7cm 小口磚，分割為 30×15cm 二張鋪貼於混凝土塊表面上下不同黏置時間之黏結劑面上，首先進行 1：2 水泥砂漿部分，如圖 3-14。



圖 3-14 1:2 水泥砂漿塗佈及上下二部黏貼

資料來源：本研究拍攝



圖 3-15 1:2 水泥砂漿添加海菜粉塗佈及上下二部黏貼

資料來源：本研究拍攝



圖 3-16 益膠泥塗佈及上下二部黏貼

資料來源：本研究拍攝



圖 3-17 抹縫及靜置養護

資料來源：本研究拍攝

外牆磁磚脫層現象缺陷之模擬，是以薄雙面膠帶 1 公分見方貼於前述規劃配置圖中所示深色小點之磁磚背面，如下 3-18 圖所示。

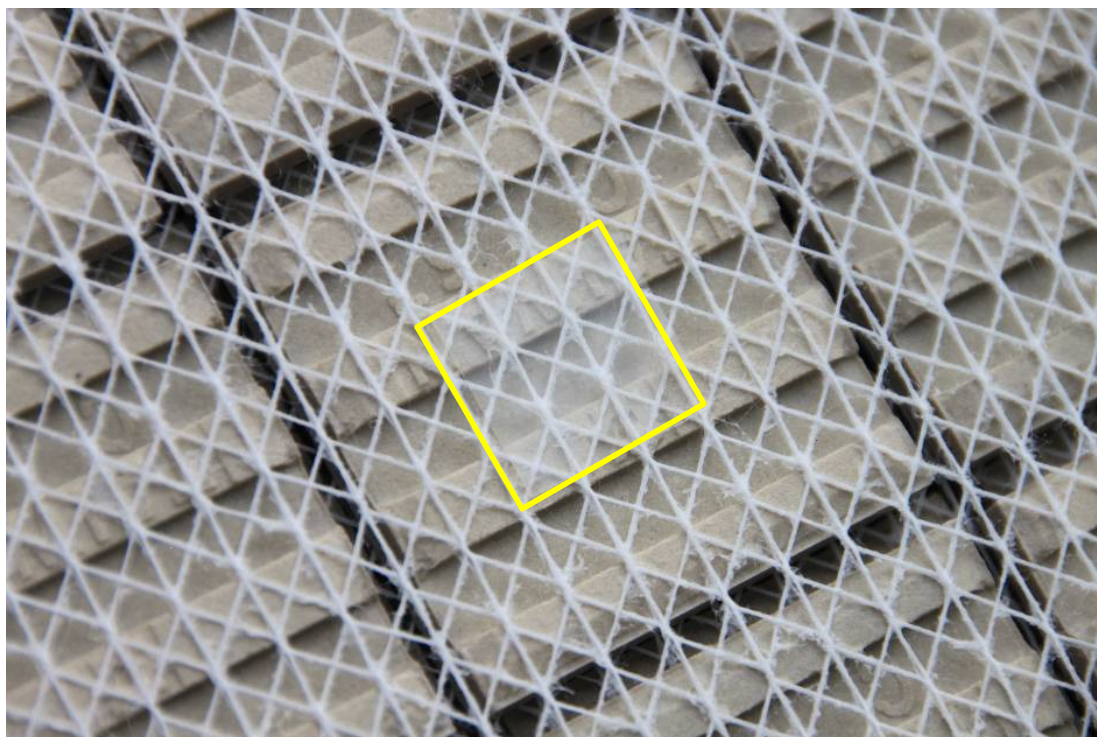


圖 3-18 1×1 cm² 雙面膠帶模擬磁磚脫層缺陷

資料來源：本研究拍攝

第四節 實驗步驟及設備配置

一、實驗步驟

本研究完整實驗設計如圖 3-19 所示，詳細實驗設計過程如本章第二節所述，試體製作過程如本章第二節所述。

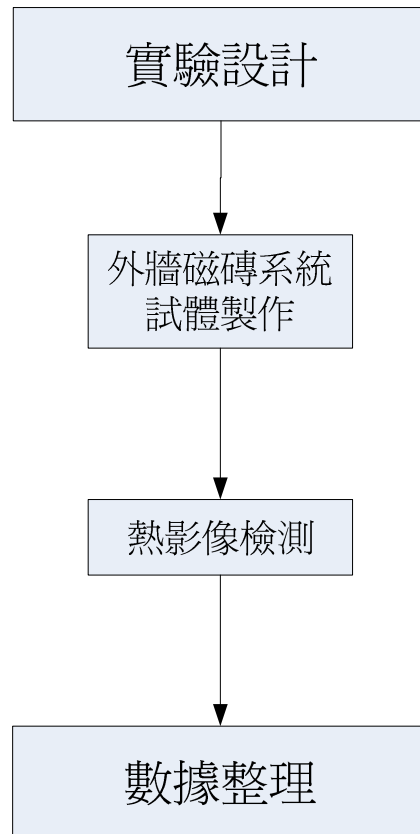


圖 3-19 實驗步驟

資料來源：本研究繪製

試體養護完成後，總計 9 大塊試體，垂直置於試驗架上，同時接受主動式紅外線燈箱往復循環加熱，以模擬垂直外牆受到太陽的均勻加熱；加熱階段以紅外線熱影像儀進行磁磚表面溫度檢測，其溫度擷取順序，則均必須依實驗設計位置規劃順序，如圖 3-8 磁磚表面標示數字依序執行。

二、實驗儀器設備

本研究使用之儀器設備包括本所既有之紅外線熱像儀，而輔助設備有紅外線加熱自走燈組及重型試驗架則係本研究為模擬太陽均勻加熱所設計。相關性能簡要分述如下：

1. 紅外線熱像儀

目前市售紅外線熱像儀波段分為 $3\sim 5\mu\text{m}$ 及 $8\sim 12\mu\text{m}$ 二種，根據感測器的操作溫度再分為室溫與非室溫二種。以目前的技術水準，基本上 $3\sim 5\mu\text{m}$ 或 $8\sim 12\mu\text{m}$ 在熱診斷方面的應用上，待測物處於室溫或比室溫略高的環境下，皆可作為檢測工具，兩者並無明顯的差異；但是待測物在高溫的狀況下， $3\sim 5\mu\text{m}$ 波段熱像儀成像性較佳，反之若處於低溫條件下，則應選用 $8\sim 12\mu\text{m}$ 波段者，其影像清晰度較佳。在價格方面，通常 $3\sim 5\mu\text{m}$ 波段之熱像儀應用的材料比採用 $8\sim 12\mu\text{m}$ 波段者便宜。



圖 3-20 紅外線熱影像儀

資料來源：本研究拍攝

本研究紅外線遠距非接觸式的溫度量測使用 FLIR B660 之紅外線熱像儀(如圖 3-20)，其規格為[55]：

(1) 熱影像性能：

- a. 視野/最小焦距：所附標準鏡頭之視野 $\geq 24^{\circ} \times 18^{\circ}$ ，最小焦距 $\geq 0.3\text{m}$ ，IFOV $\leq 0.65\text{mrad}$ ；另附廣角鏡頭(最小焦距 $\geq 0.1\text{m}$ ，視野 $\geq 45^{\circ} \times 34^{\circ}$)及望遠鏡頭(視野 $\geq 12^{\circ} \times 9^{\circ}$ ，最小焦距 $\geq 0.9\text{m}$)。
- b. 溫度靈敏度： 30°C 條件下 $\leq 0.045^{\circ}\text{C}$
- c. 影像頻率：30 Hz 以上(含)非交錯
- d. 調焦方式：1~8 倍連續放大，具可選擇之自動或手動功能。
- e. 偵測器型態：非致冷焦平面陣列(microbolometer Uncooled Focal Plane Array)，640x480 圖素。
- f. 光譜波長範圍：7.5 以下(含)~ $13\mu\text{m}$ 以上(含)。
- g. 可見光影像：
 - 可見光影像：3.2M pixels(2048 x1536 全彩)/內建目標閃光燈/可替換鏡頭。
 - 可見光數位變焦：1~8 倍 連續放大
- h. 影像加強功能：
 - 影像即時融合：本設備顯示螢幕應可於於光學影像中即時嵌入紅外線影像並可即時調整 IR 尺寸、溫度範圍及解析度。
 - 畫面增強功能：具有多重影像顯示之“圖中圖”加強功能，具有自動全時增強之動態細部增強功能。
 - 影像比對功能：螢幕可同時顯示一張紅外線即時影像及一張紅外線參考影像，以做定期檢查比對。
 - 座標顯示功能：內建 GPS 定位器,座標值可直接顯示於顯示圖像內。
 - 內建數位影音：可與影像同步錄音與紀錄文字。
 - 可同步拍攝全熱影像及可見光影像，即時融合顯示並可無段調整範圍。

(2) 量測性能：

- a. 溫度量測範圍：-40°C 以下(含)~120°C 以上(含)，並可擴充至 1500°C 或 2000°C 以上(含)。
- b. 量測準確度： $\pm 2^{\circ}\text{C}$ or $\pm 2\%$ (含)以下，但被測物溫度為+5 以下(含)~120°C 以上(含)、環境溫度為+9 以下(含)~35°C 時以上(含)，應可達 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 或 1%以下(含)之讀取精度。
- c. 放射率調整：0.1~1 (增量 0.01)，並可於內建標準材料放射率表中自行選取。
- d. 重現性： $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 或 1%以下(含)。

(3) 工作環境

- a. 工作溫度：-15 以下(含)~50°C 以上(含)
- b. 儲存溫度：-40 以下(含)~70°C 以上(含)
- c. 工作及儲存溼度(IEC 68-2-30/24h)：95%RH 以上(含)
- d. 保護等級(IEC 529)：IP 54
- e. 耐震盪/振動等級(IEC 68-2-29/6)：25G/2G
- f. 主機重量(含電池)：2kg 以下(含)

(3) 紅外線熱像儀操作注意事項：

- a. 為了獲得非常精確的結果，依據 FLIRB660 設備原廠建議在啟動熱像儀之後，在開始測量溫度之前，應先等待 5 分鐘。
- b. 偵測前注意：為電池充電、安裝電池、插入 SD 記憶卡、模式設定、參數輸入、影像儲存位置，及是否要與電腦連線。
- c. 量測設定：要測量單個像素的溫度，應使用點溫測量功能。為了獲得正確的溫度，點溫內部的區域必須被目標物體所覆蓋。
- d. 參數輸入：熱像儀可使用這些物件參數：
 - 放射率(或輻射率)，即與同一溫度下理論參考物體（稱為「黑體」）的輻射量相比，某物體所放射的輻射量。與放射率相對的是反射率。放射率決定物體與其反射量相比所產生的輻射量。

- 反射溫度：用於補償由試體反射進熱像儀的環境輻射。這種物體屬性稱為反射率。
 - 試體距離：即熱像儀與試體之間的距離。
 - 大氣溫度：即熱像儀與試體之間(即所在環境)空氣的溫度。
 - 相對濕度：即熱像儀與試體之間(即所在環境)空氣的相對濕度。
 - 外部光學溫度：即在熱像儀與試體之間所設定之保護窗等類裝置的溫度。如果沒有使用保護窗或保護盾，該值與其他內容無關。
 - 外部光學穿透率：即在熱像儀與試體之間所設定之保護窗等類裝置的光學穿透率。
- e. 建議值輸入：如果對輸入參數值不確定，則建議使用以下值：

表 3-7 紅外線熱像儀 B660 建議參數值

反射表面溫度	大氣溫度	放射率	相對濕度	距離
+20°C	+20°C	0.95	50%	1.0 米

資料來源：FLIR B660 使用手冊(大多數建築材料的放射率都在 0.85 和 0.95 之間。手冊建議將熱像儀的放射率值設定在 0.90，是一個不錯的選擇。)

(3) 一般注意事項：

- a. 記錄日期、氣候狀況(如天氣、風力、氣溫、日照等情況)。
- b. 選擇適當位置安放儀器，並使儀器處於正常工作狀態。
- c.. 設置正常部位基準點，下列部位應設置基準點。
 - 試體塗裝材料變質或顏色不同的部位。
 - 試體應不受室內光線、或陽光照射、陰影影響。
 - 檢測環境、試體距離、方位等的影響。
- d. 拍攝紅外圖像並保存，拍攝時應符合下列要求：
 - 拍攝距離宜控制在 10~50m 範圍內，在 50~200m 距離內拍攝時可使用長焦鏡頭，在 5~10m 距離內拍攝時宜使用廣角鏡頭。

- 拍攝的仰角應控制在 45° 以內，水平傾角宜控制在 30° 以內。
 - 在保證上述條件的情況下，對建築物各立面均應分區域進行拍攝，上、下或左、右相鄰圖像之間應有重合部分。
- e. 使用紅外熱像儀拍攝時應同時對被檢測部位拍攝可視照片。
- f. 記錄紅外照片和可視照片的編號。

2. 主動式加熱裝置_紅外線石英加熱燈組

本實驗研究所設計之紅外線加熱燈組(185x60x15cm)是由 6 支管狀紅外線石英燈管所組成，如圖 3-21。管狀的石英紅外線燈是一個將長捲狀鎢絲燈芯放入石英燈管內的小型高功率熱源。燈管內有支撐的圓狀鎢絲作為固定燈絲之用，並充填特殊保護氣體。



圖 3-21 紅外線加熱燈組

資料來源：本研究設計、拍攝

採用此類燈管的設計用意，在於使用期間燈管本身老化變黑導致紅外線發熱功率減弱的情形微小。此外其原理、特性[58]為：

- a. 利用填充多種特殊氣體產生多種穩定波長，可針對泛用樹脂，如 PU、PMMA、EPOXY…等經由輻射能之官能基振動、

擺動、搖動，促使低能階在短時間內提升到高能階，達到快速乾燥(或加熱)的目的。(PU、PMMA 之 OH 基振動波長約在 2778~3125nm，EPOXY 約在 8696~9346nm 較佳)。

- b. 燈管依電磁波繞射原理產生之輻射能，可減少因受熱試體表面或形狀不規則，產生不均勻加熱之影響。
- c. 燈箱內側採用半面反射罩塗佈，以使輻射能可全部投射至試體，增進加熱效率減少能源損失。
- e. 如果是塗料類實驗，可因輻射熱均勻加熱作用，促使化學反應更完全，提升塗層效果。此外，尚有穿透加熱效果，可使噴塗工作物不需靜置，加熱塗料時不會起泡(塗膜超厚除外)，再加上對流熱對塗膜表面作用，促使塗膜更平坦，物性表現更好。
- f. 紅外線燈管是高輻射能量集中的燈管，啟動後一秒內即可達到全功率加熱。同樣地，關閉後的一秒內馬上停止輸出功率。所以相當適合將溫度控制在一極小範圍內之實驗或製程。
- g. 石英製燈管的膨脹係數低且熔點高，可承受極高溫度，而低膨脹係數使其免於因突然間溫度衝擊造成破裂，缺點是受到外力衝擊容易破碎，因此燈箱前必須設置保護罩。
- h. 適用材質：木器、金屬、建材、玻璃、碳纖維、玻纖、電子、塑膠、紙類…等。
- i. 使用限制：燈管許可溫度：900℃(最高) 電線許可溫度：180℃(最高)
- j. 燈頭許可溫度：250℃(最高) 陶磁許可溫度：250℃(最高)
- k. 使用電壓：三相 240V

3. 自走車組、試驗架



圖 3-22 均勻加熱自走車圖

資料來源：本研究規拍攝

上圖中左側重型試驗架外部框架固定尺寸為 1350x1180mm，內部垂直安裝固定桿(3 組)可視試體大小及數量彈性調整水平位置。另於試體固定時可以物料固定塊於固定桿上下自由調節。因此本重型試驗架除了外部框架固定外，未來可因應不同材料實驗需求及試體大小數量彈性調整應用。

燈箱自走車部分，行走軌道總長度定為 4000mm，實際可往復進行型均勻加熱作業之有效範圍為 3000mm。實驗時為穩固起見，須將自走軌道安裝於地面或其他可供固定位置。其餘另設有安全限動開關，為不可動之安全保護機制，以確保自走車在作業中不脫離軌道。

第五節 演算及統計方法規劃

依以往研究[46]，以不同水泥砂漿配比予以加速溫度劣化後，紅外線熱像儀之熱影像檢測，所得砂漿試體表面降溫之歷時記錄溫度，以不同迴歸方程式擬合發現，以自然界之溫度降溫與時間關係之微分程式，經過積分推導後所得自然指數方程式，最能代表溫度衰減公式，如下演算。

由於本案實驗量測溫度資料與時間相關，因此由微分方程式可得：

$$\frac{dT}{dt} = k(T - R)$$

R: 試體最終溫度(理論上應降為常溫)

m: 為不同試體之降溫特徵值

經同時積分及常數化後，得溫度衰減公式

$$\ln(T-R)=m \cdot t+C \rightarrow$$

$$T(t) = Ae^{m \cdot t} + R$$

A、m：依不同試體實測所得最初、中間、最終之溫度可求得，其中 A 為試體初始溫度與常溫之差，則 m 可視為不同試體之降溫特徵值。

本研究外牆磁磚系統試體於主動式加熱後，各組試體將一起接受紅外線熱像儀之熱影像檢測，所得磁磚表面歷時溫度，亦將以此公式擬合，求出特徵常數 m 值，做為非破壞性紅外線熱影像檢測試體之性能反應值。

第四章 實驗記錄與分析

本研究之熱影像檢測實驗，如第三章所敘，規劃之檢測試體有黏結材料(含 1：2 水泥砂漿、1：2 水泥砂漿摻海菜粉、益膠泥等 3 水準)、黏置時間(快、慢等 2 水準)及檢測高度位置(上、中、下 3 水準)等 3 項實驗因子。經綜合歸納排序分別集中於 9 大塊試體上，計有 54 個檢測點。

9 大塊試體分別依實驗設計所規劃的順序及位置，鎖置於重型試驗架上，並調整加熱燈組與試體距離為 10 公分。如圖 4-1 所示。



圖 4-1 試體鎖置於重型試驗架

資料來源：本研究拍攝

此外，尚須調整加熱自走車左右間距，除避免來回加熱時左右不均勻狀況發生外；其一次往返時間間距亦必須配合紅外線熱影像儀最小拍照間隔時間(60 秒)，經現場測試自走車伺服馬達性能，將其調校一次往返時間為 2 分 2 秒，亦即為試體接受主動式加熱升溫階段的溫度擷取時間間隔。操作調整如圖 4-2、4-3 所示。



圖 4-2 自走車左右行程操作調整



圖 4-3 自走車速度操作調整

資料來源：本研究拍攝



圖 4-4 自走車循環次數及左右暫停間隔設定

資料來源：本研究拍攝

本實驗過程中之主動加熱週期原設定為 50 次，於紅外線熱像儀之拍攝監控過程中，將近於第 50 次循環加熱週期時，溫度約在 40 餘 $^{\circ}\text{C}$ ，尚未達理想的模擬外牆受熱溫度；所幸本自走車之程式設定可於循環動作中追加所需循環次數，因此本循環加熱次數最後追加至 100 次，如圖 4-4 可程式控制面板。

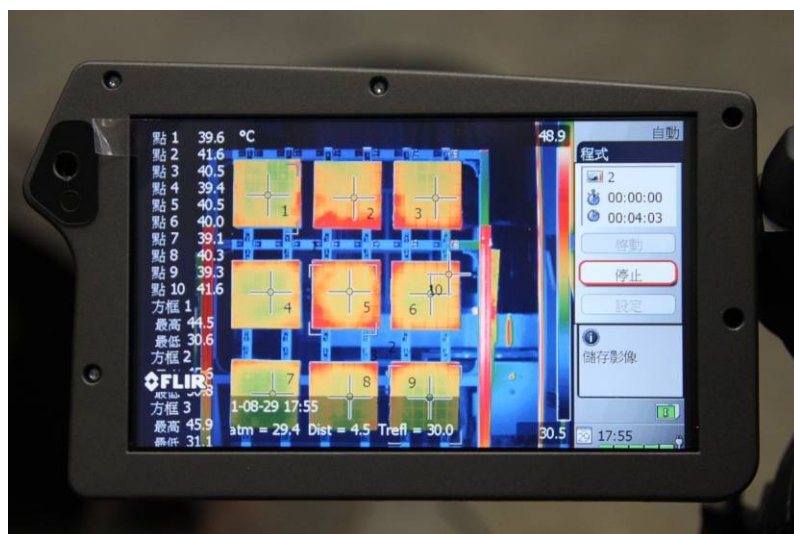


圖 4-5 紅外線熱影像參數調整

資料來源：本研究拍攝

紅外線熱像儀距離受測試驗架試體面為 4.5m，環境溫度 29.4℃，相對溼度 77%，反射溫度 32℃，放射率 0.92(查表，並依現場檢測溫度與實際溫度比較調整)，調整熱像儀參數如圖 4-5。

因為本次實驗場所空間較大，且有其他大型力學實驗進行，為免互相干擾，因此，實驗進行時間選擇於下班後，並管制所有出入口之開啟，以免擾動氣流影響溫度升降檢測結果。

第一節 外牆磁磚系統表面溫度檢測紀錄

所有試體溫度在環境溫度 29.4℃ 下，未受紅外線燈箱自走車循環加熱前，其溫度基本一致。

溫度加熱階段，在第 1 次循環加熱 2 分鐘左右，各檢測點上升 2.6~5℃，到達 33.0~34.4℃，如圖 4-6(附錄 C IR1462)。

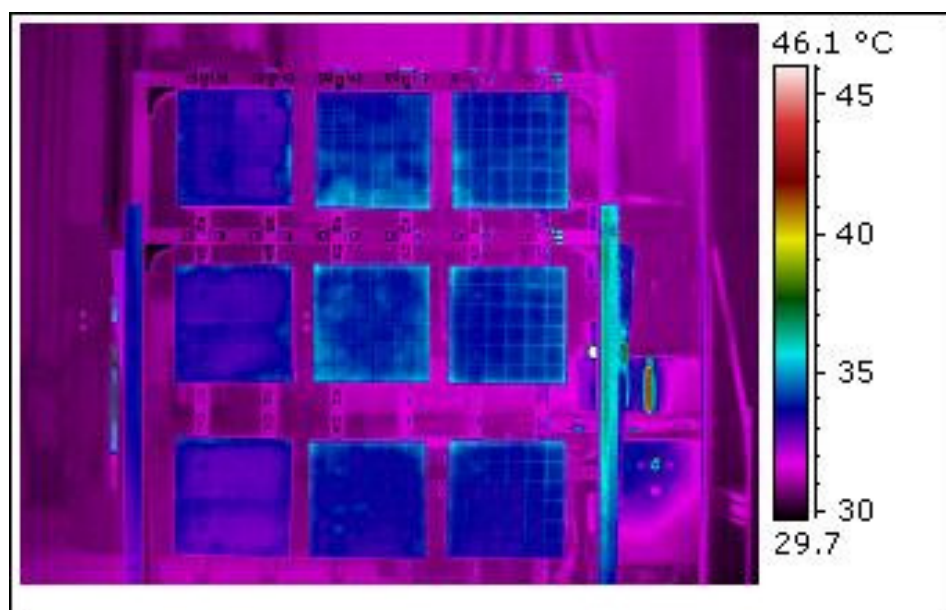


圖 4-6 第 1 次循環加熱後之紅外線熱影像圖

資料來源：本研究拍攝

100 次循環後各檢測點最高上升 21.7~26.8℃，到達 51.1~56.2℃，如圖 4-7(附錄 C IR1562)。

總計主動加熱階段及記錄時間為 202 分鐘，計拍攝 101 張紅外線熱影像圖，第 3 張之後，平均每 5 張取 1 張進行溫度點擷取作業，計 23 張紅外線熱影像圖。

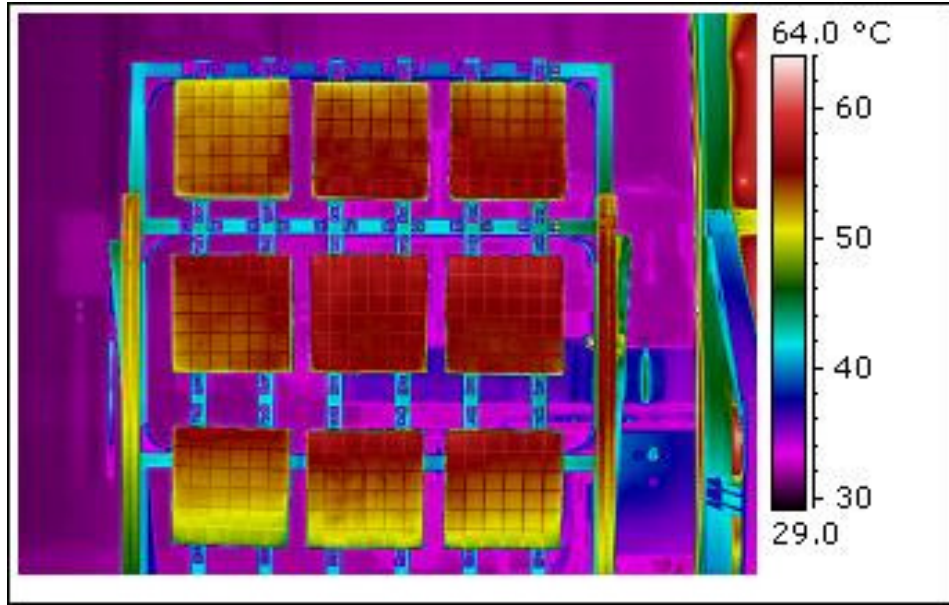


圖 4-7 第 100 次循環加熱後之紅外線熱影像圖

資料來源：本研究拍攝

溫度下降階段，即燈箱自走車不再往復循環進行主動式加熱；此時起，改以每 5 分鐘拍攝一張紅外線熱影像圖；下降階段第 1 張紅外線熱影像圖(附錄 C IR1562)所擷取之溫度，即為溫度衰減階段起始之溫度最高點。

溫度下降階段，總計記錄時間 621 分鐘，拍攝 126 張紅外線熱影像圖，取其中 49 張紅外線熱影像圖進行溫度數據擷取。圖 4-8 即為最後擷取溫度點之紅外線熱影像圖(附錄 C IR1655)。可以看出溫度衰減最後階段非常緩慢，至最後階段仍然比環境溫度稍為高出 2.2~2.6℃。

總計溫度上升、下降階段，共有 72 張熱影像圖，每一熱影像圖擷取 54 溫度點數據。因此，擷取出溫度數據共有 3,888 筆，如附錄 D 溫度數據紀錄表(其中第 73 欄為假設至第 941 分鐘時，試體溫度均可降至環境溫度 29.4℃)。

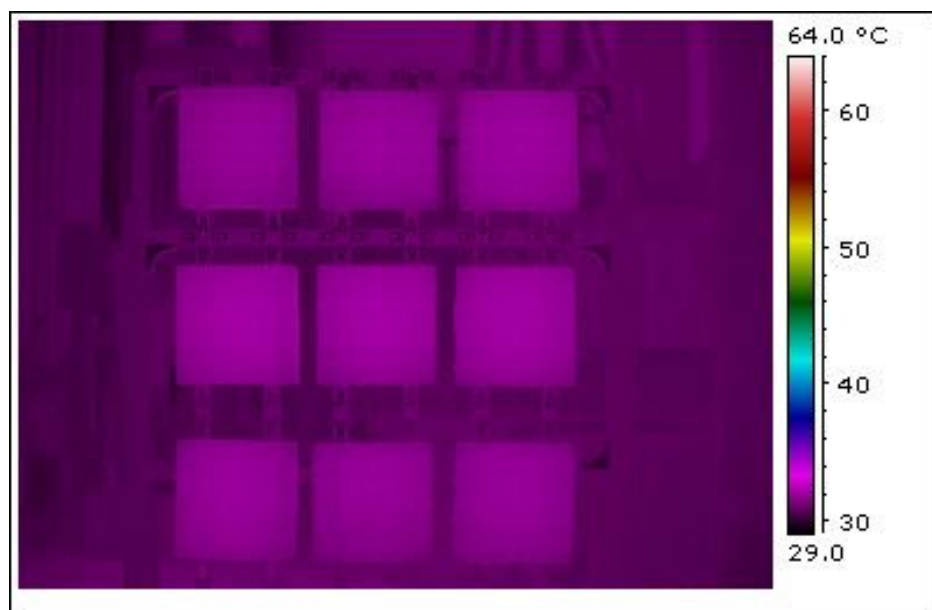


圖 4-8 溫度下降階段最後擷取溫度點之紅外線熱影像圖

資料來源：本研究拍攝

此外，針對模擬磁磚脫層設置之缺陷點部位，從影像上實際觀察，在溫度上升起始階段時比對其埋設位置，可見其顏色差異(如圖 4-9 黃色圓圈標示處)，至試體受熱至高溫階段時開始模糊，至最高點時已不可見，溫度擷取紀錄如附錄 E；溫度下降階段各熱影像圖中則完全未見此缺陷點位置之顏色差異。

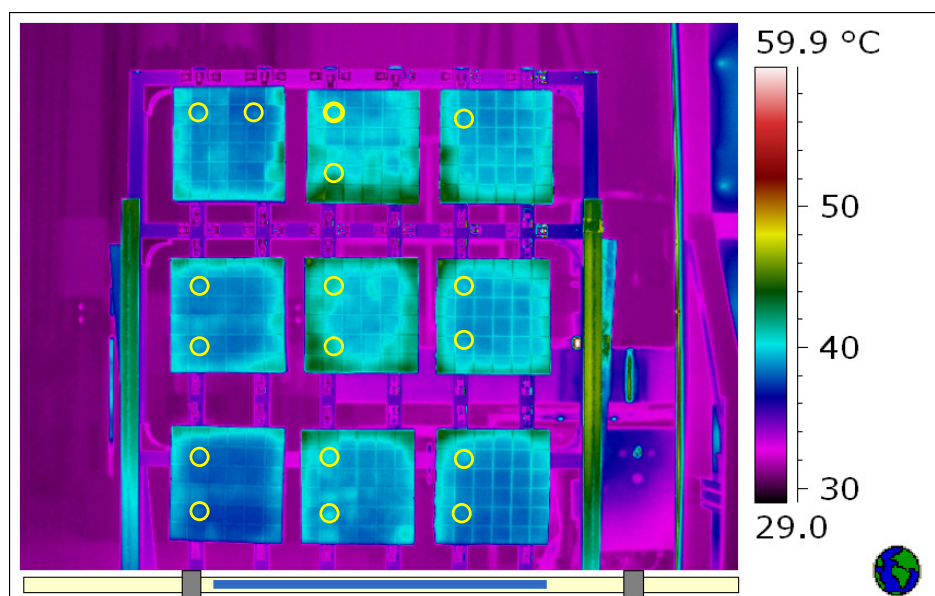


圖 4-9 溫度上升階段紅外線熱影像之缺陷位置圖

資料來源：本研究拍攝

第二節 外牆磁磚系統表面溫度特性分析

本年度研究模擬實際高樓建築物之外牆磁磚系統，行紅外線熱影像儀全面、遠距、非破壞性檢測優勢，拍攝磁磚系統試體二階段主動式加熱溫度上升，及自然溫度衰減之紅外線熱影像。並自紅外線熱影像圖中擷取出歷時溫度紀錄，進行分析研究，以嘗試找出其中具有統計意義之溫度特徵，做為比對外牆磁磚系統缺陷，甚至性能變化判斷依據。受測磁磚系統試體共計 9 大塊，每塊試體分佈有 36 塊 4.7×4.7cm 小口磁磚，溫度點之擷取分布，如圖 3-9 試體磁磚黏貼計畫圖所示。

因為從全程所拍攝的紅外線熱影像圖，發現模擬磁磚脫層設置之缺陷點部位，從溫度上升起始階段即可見其顏色明顯差異，本研究認為已可清楚證明紅外線熱像儀能力，且代表缺陷點位置之溫度傳遞完全符合圖 2-1 脫層部位與健全部位間的溫度差異機制，並且已是建築物管理維護作業的成熟檢測技術。因此，不再嘗試進行數值化擬合。

一、正常部位全程歷時溫度紀錄繪圖

正常部位(無脫層之健全部分)之全程(含主動加熱溫度上升及溫度自然衰減)歷時溫度紀錄，係於三種黏結材料製成之 9 大塊試體(每大塊試體又分為黏置時間快(Q)、慢(S)二部分)各擷取 6 個溫度點(依黏置時間部位不同各擷取 3 個溫度點)分別繪於 9 張溫度分佈紀錄圖：圖 4-10 T01~06 全程溫度分佈及溫度衰減 3 段擬合圖、圖 4-11 T07~12 全程溫度分佈及溫度衰減 3 段擬合圖、圖 4-12 T13~18 全程溫度分佈及溫度衰減 3 段擬合圖、圖 4-13 T19~24 全程溫度分佈及溫度衰減 3 段擬合圖、圖 4-14 T25~30 全程溫度分佈及溫度衰減 3 段擬合圖、圖 4-15 T31~36 全程溫度分佈及溫度衰減 3 段擬合圖、圖 4-16 T37~42 全程溫度分佈及溫度衰減 3 段擬合圖、圖 4-17 T42~48 全程溫度分佈及溫度衰減 3 段擬合圖、圖 4-18 T49~54 全程

紅外線熱影像法於水泥砂漿材料老化溫度特性之檢測研究

溫度分佈及溫度衰減 3 段擬合圖(溫度衰減 3 段擬合於下一小節說明)。

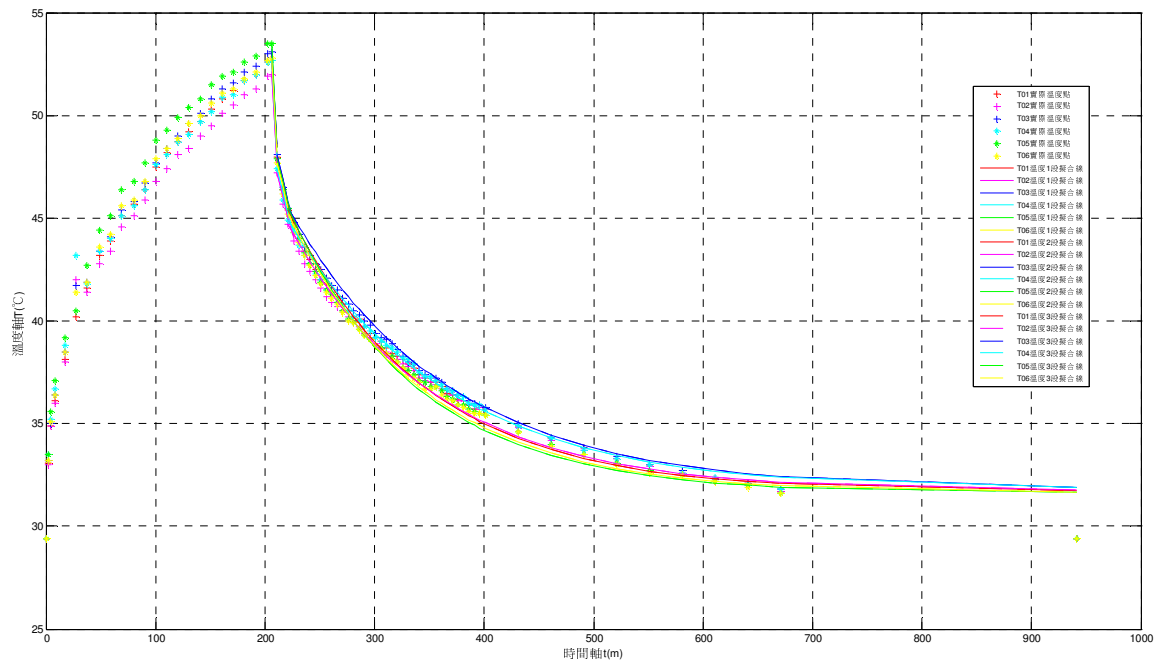


圖 4-10 T01~06 全程溫度分佈及溫度衰減 3 段擬合圖(A1 黏結材料：1:2 水泥沙漿、上排；資料來源：本研究繪製)

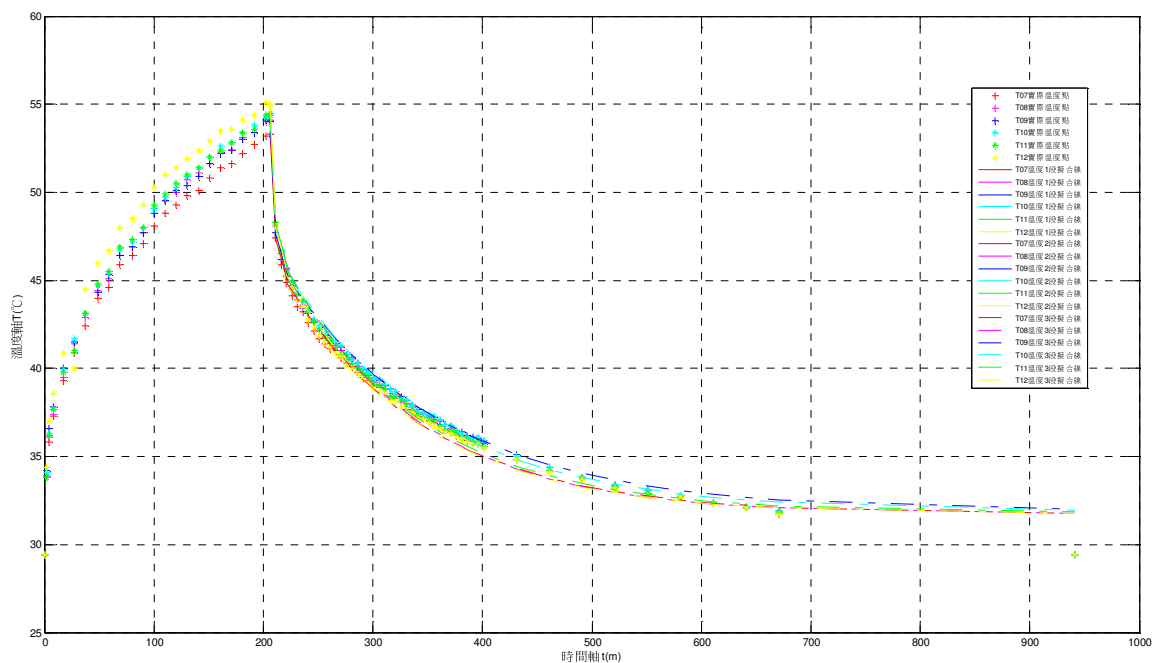


圖 4-11 T07~12 全程溫度分佈及溫度衰減 3 段擬合圖(B1 黏結材料：1:2 水泥沙漿摻海菜粉、上排；資料來源：本研究繪製)

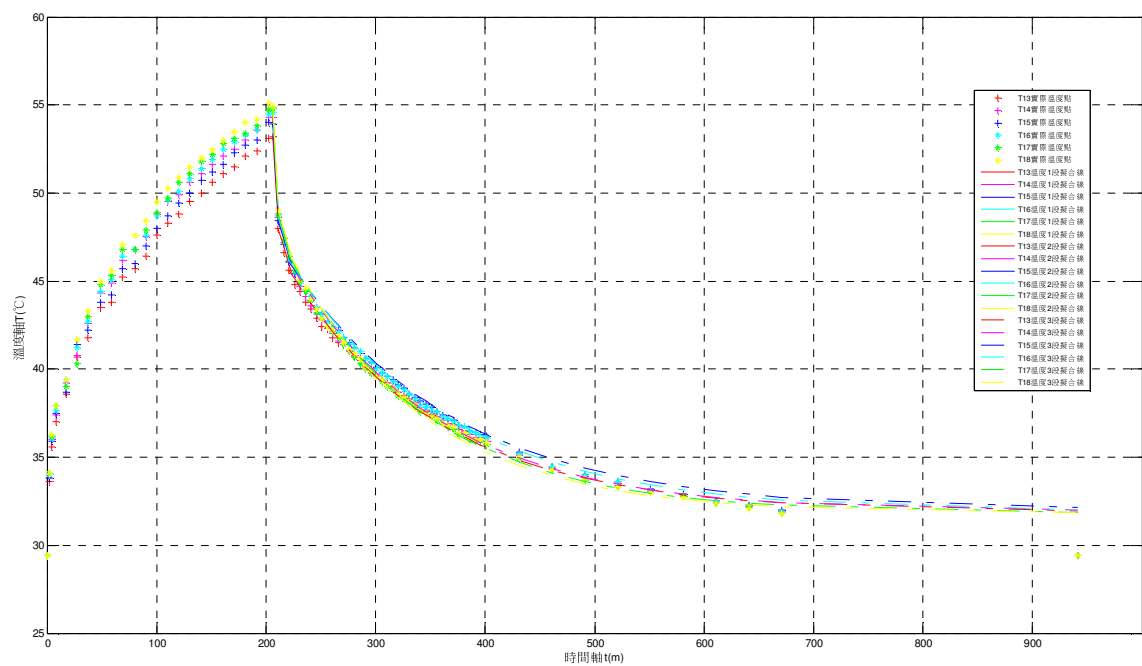


圖 4-12 T13~18 全程溫度分佈及溫度衰減 3 段擬合圖(C1 黏結材料：益膠泥、上排；資料來源：本研究繪製)

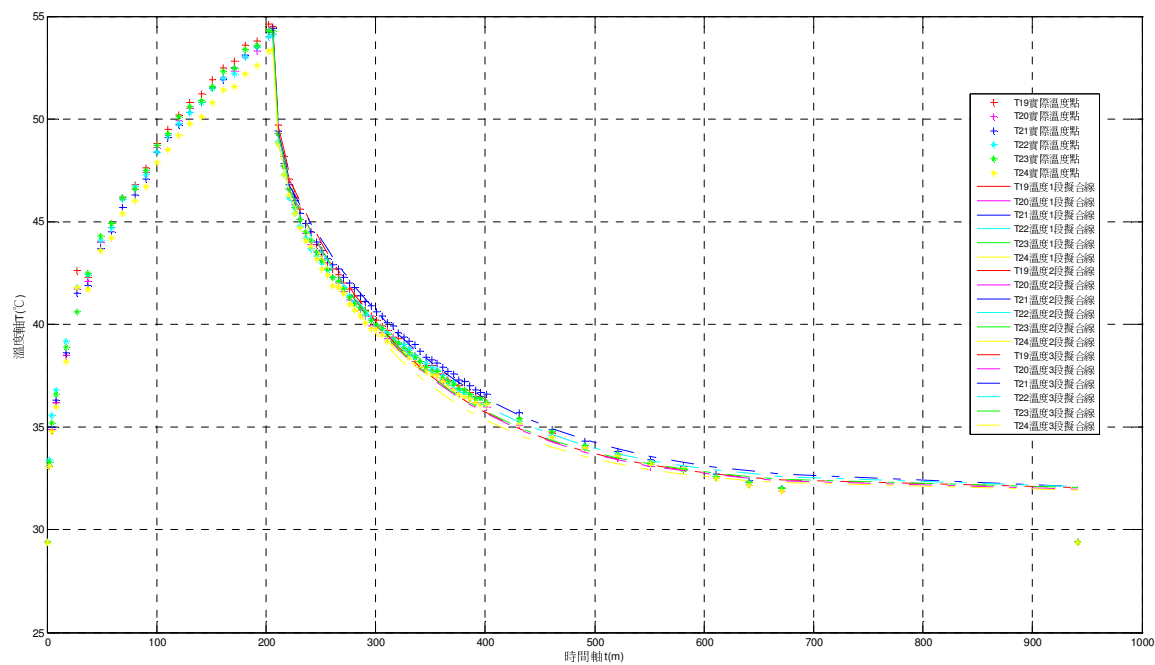


圖 4-13 T19~24 全程溫度分佈及溫度衰減 3 段擬合圖(A2 黏結材料：1:2 水泥沙漿、中排；資料來源：本研究繪製)

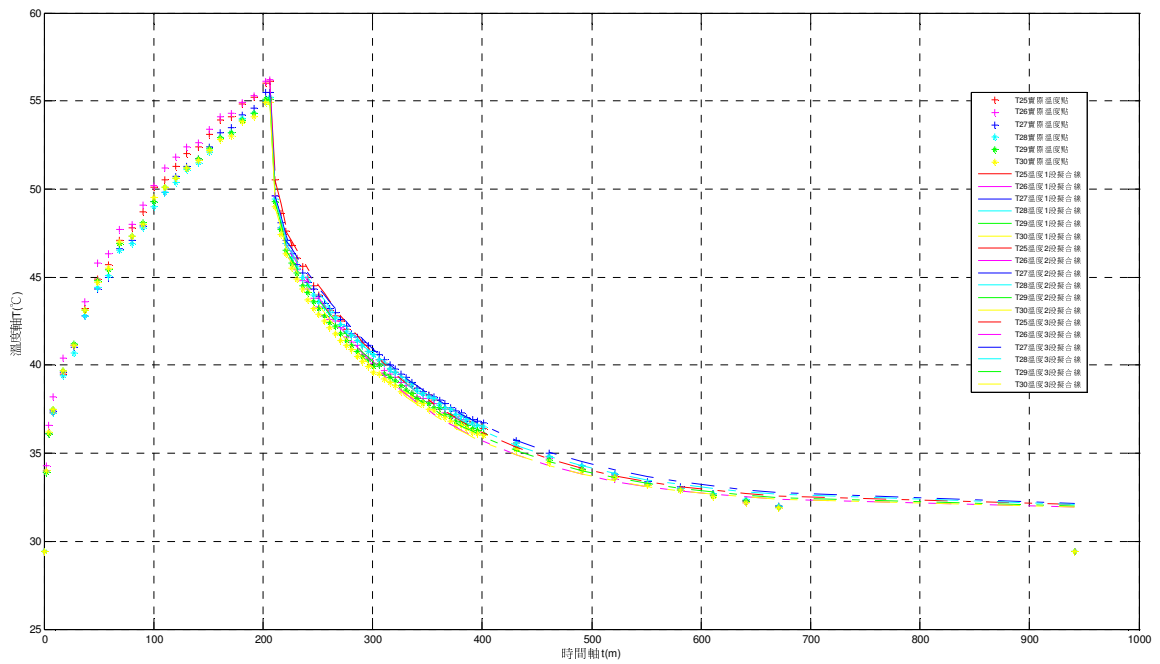


圖 4-14 T25~30 全程溫度分佈及溫度衰減 3 段擬合圖(B2 黏結材料：1:2 水泥沙漿摻海菜粉、中排；資料來源：本研究繪製)

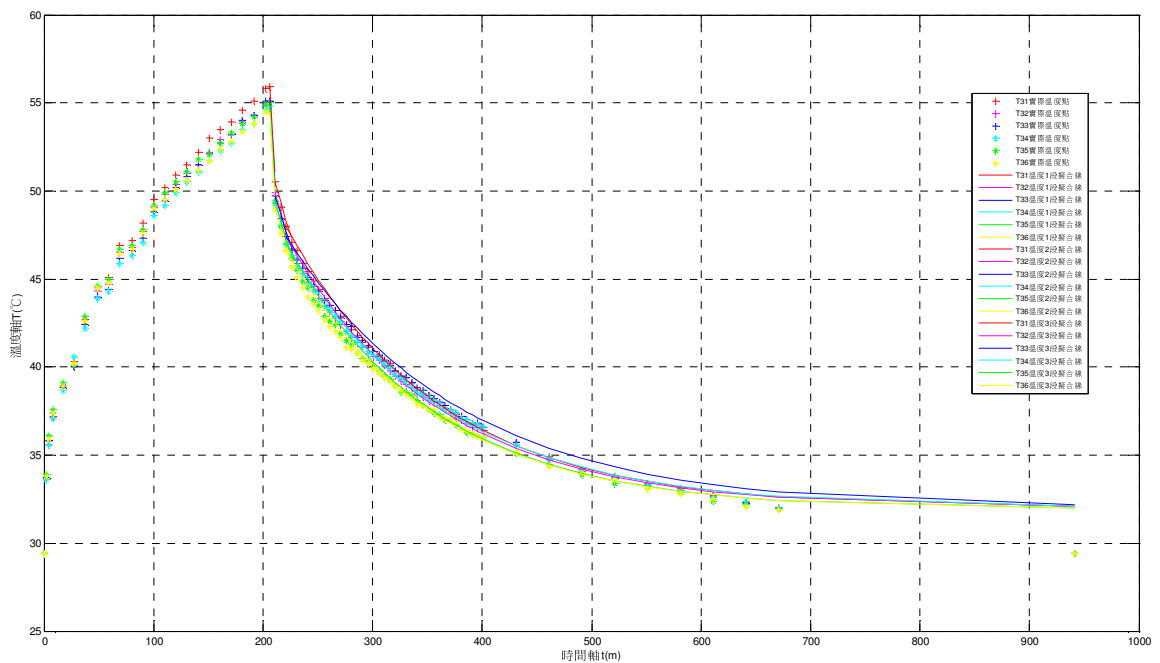


圖 4-15 T31~36 全程溫度分佈及溫度衰減 3 段擬合圖(C2 黏結材料：益膠泥、中排；資料來源：本研究繪製)

紅外線熱影像法於水泥砂漿材料老化溫度特性之檢測研究

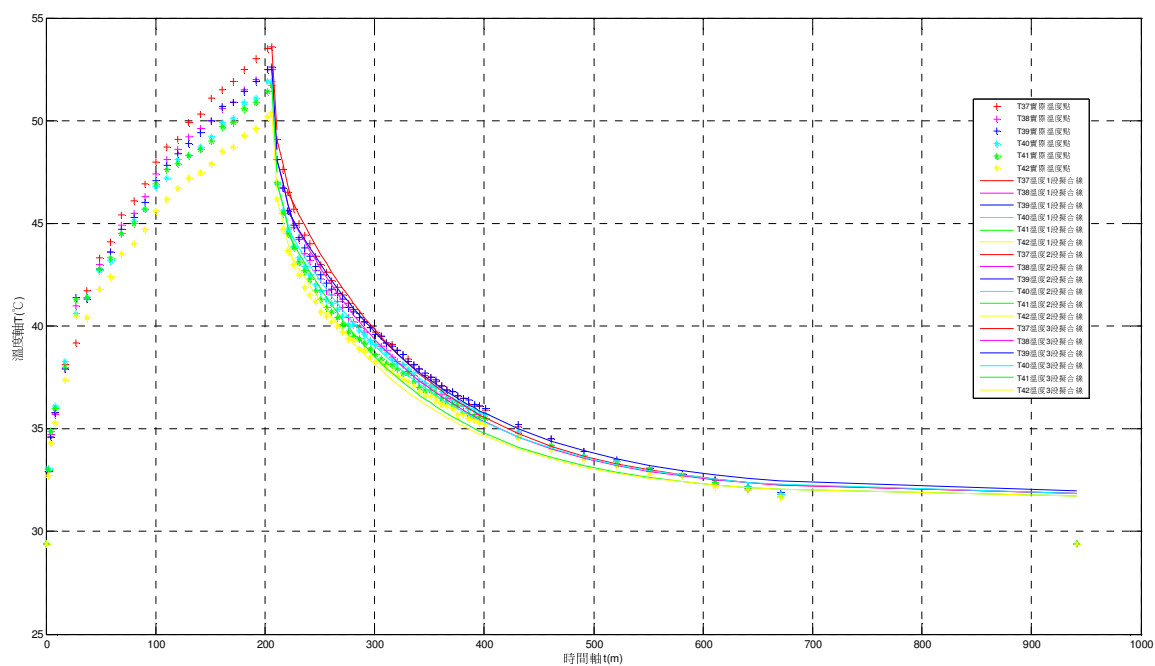


圖 4-16 T37~42 全程溫度分佈及溫度衰減 3 段擬合圖(A3 黏結材料：1:2 水泥沙漿、下排；資料來源：本研究繪製)

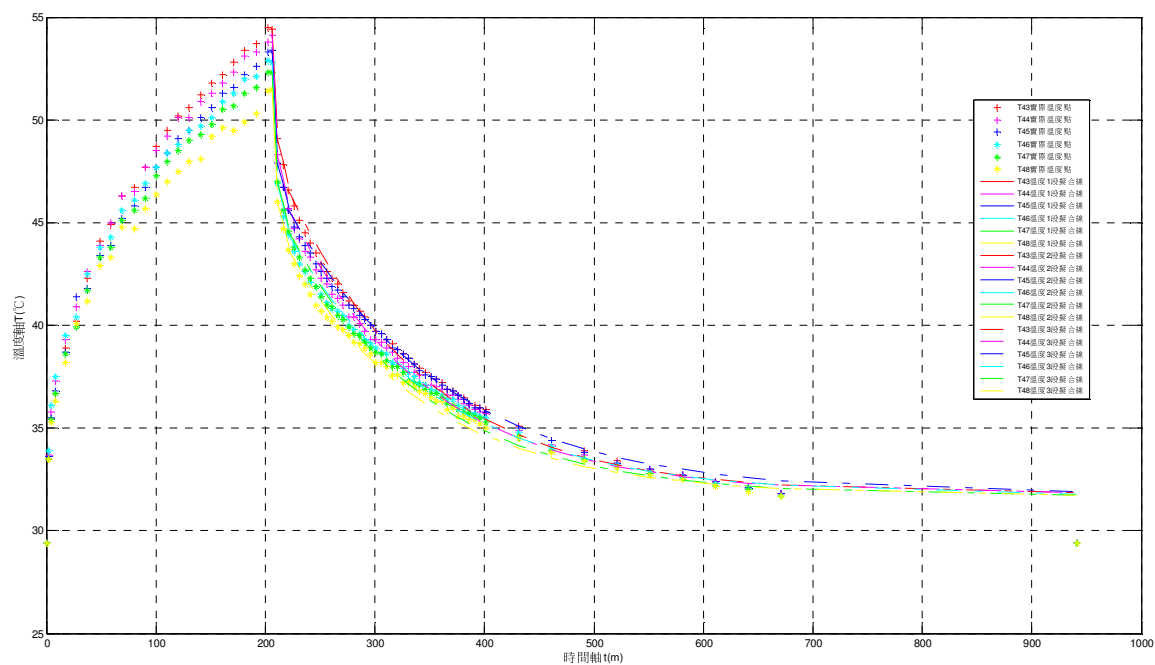


圖 4-17 T43~48 全程溫度分佈及溫度衰減 3 段擬合圖(B3 黏結材料：1:2 水泥沙漿摻海菜粉、下排；資料來源：本研究繪製)

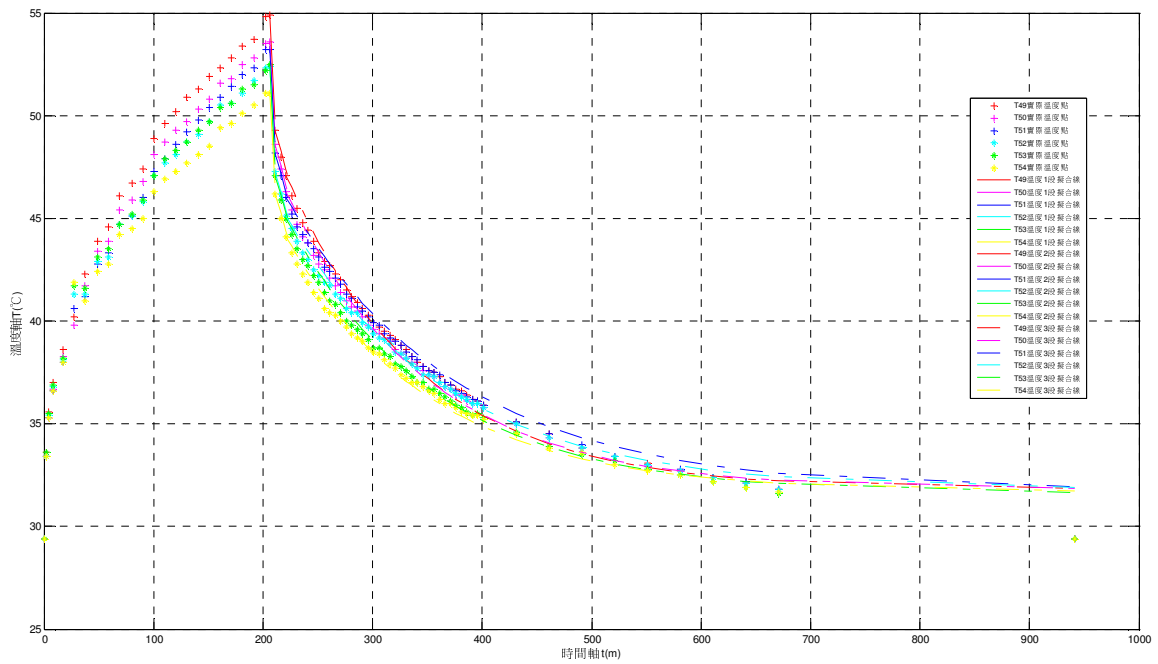


圖 4-18 T49~54 全程溫度分佈及溫度衰減 3 段擬合圖(C3 黏結材料：益膠泥、下排；資料來源：本研究繪製)

二、主動式加熱階段之脫層點與健全部位平均溫度分佈圖

本研究模擬外牆磁磚表面下脫層方式，係以 $1 \times 1 \text{ cm}^2$ 薄雙面膠，埋置於 9 塊試體中快慢不同黏置時間二部位，總計有 18 點脫層溫度點，擷取 414 筆溫度資料，如附錄 E 所示。

利用溫度上升階段每塊試體不同黏置時間部位，各有三點溫度資料予以加總平均，與該部位之脫層部位溫度資料進行圖式比較。

分別繪於 9 張溫度分佈紀錄圖：圖 4-19 A1 脫層溫度與平均溫度比較分佈圖、圖 4-20 B1 脫層溫度與平均溫度比較分佈圖、圖 4-21 C1 脫層溫度與平均溫度比較分佈圖、圖 4-22 A2 脫層溫度與平均溫度比較分佈圖、圖 4-23 B2 脫層溫度與平均溫度比較分佈圖、圖 4-24 C2 脫層溫度與平均溫度比較分佈圖、圖 4-25 A3 脫層溫度與平均溫度比較分佈圖、圖 4-26 B3 脫層溫度與平均溫度比較分佈圖、圖 4-27 C3 脫層溫度與平均溫度比較分佈圖。

紅外線熱影像法於水泥砂漿材料老化溫度特性之檢測研究

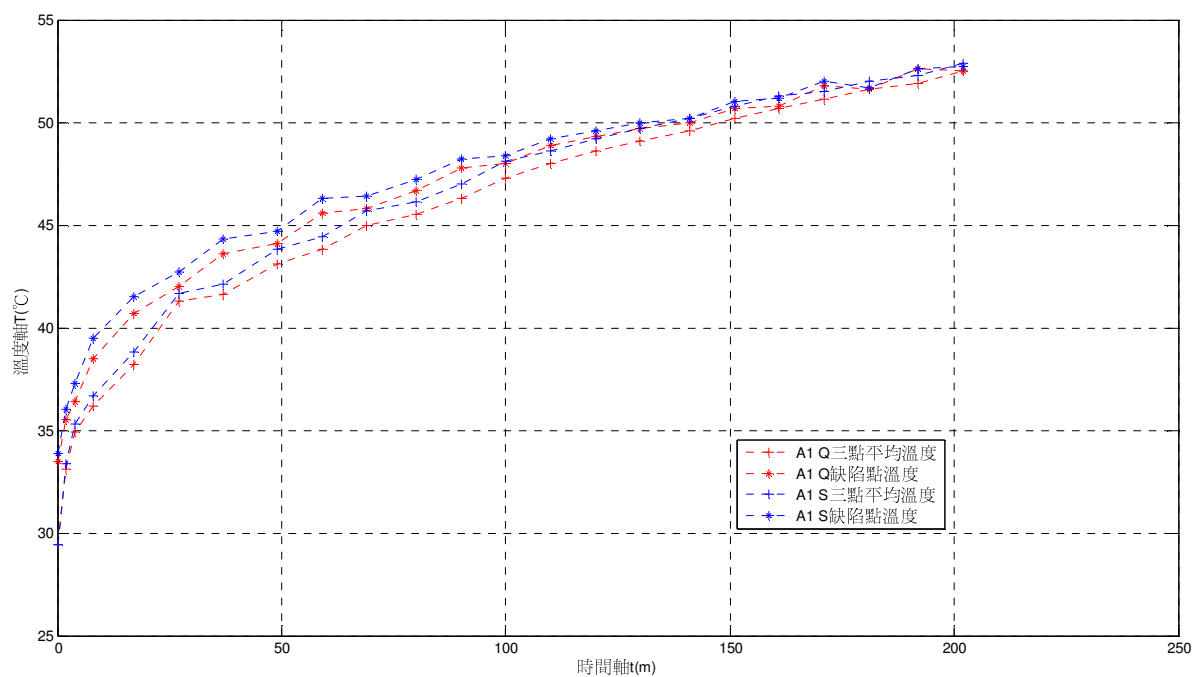


圖 4-19 A1 試體脫層溫度與平均溫度比較圖(A1 黏結材料：1:2 水泥砂漿、上排；資料來源：本研究繪製)

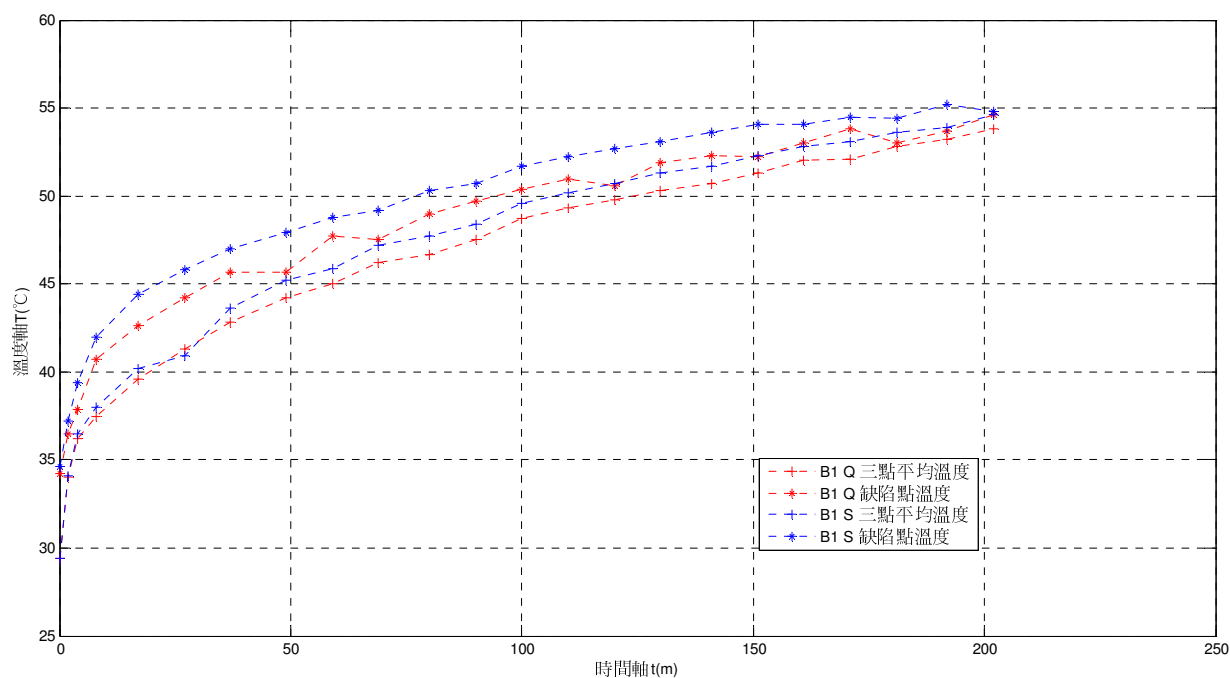


圖 4-20 B1 試體脫層溫度與平均溫度比較圖(B1 黏結材料：1:2 水泥砂漿摻海菜粉、上排；資料來源：本研究繪製)

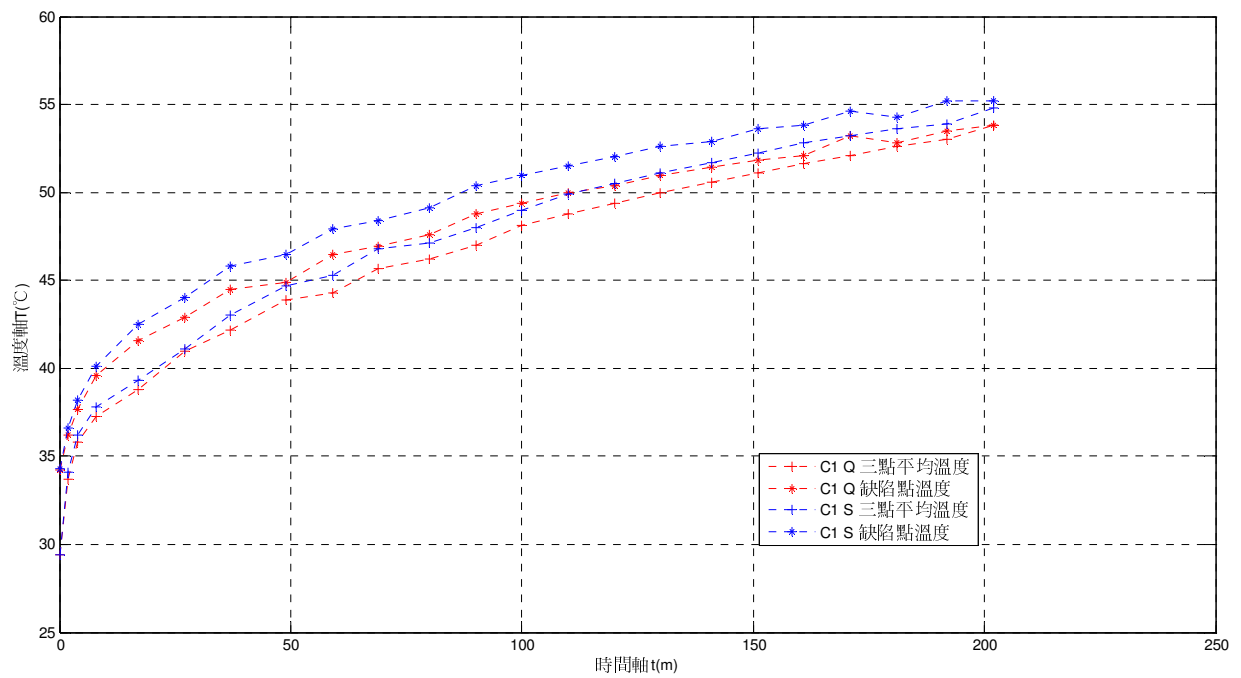


圖 4-21 C1 試體脫層溫度與平均溫度比較圖(C1 黏結材料：益膠泥、上排；資料來源：本研究繪製)

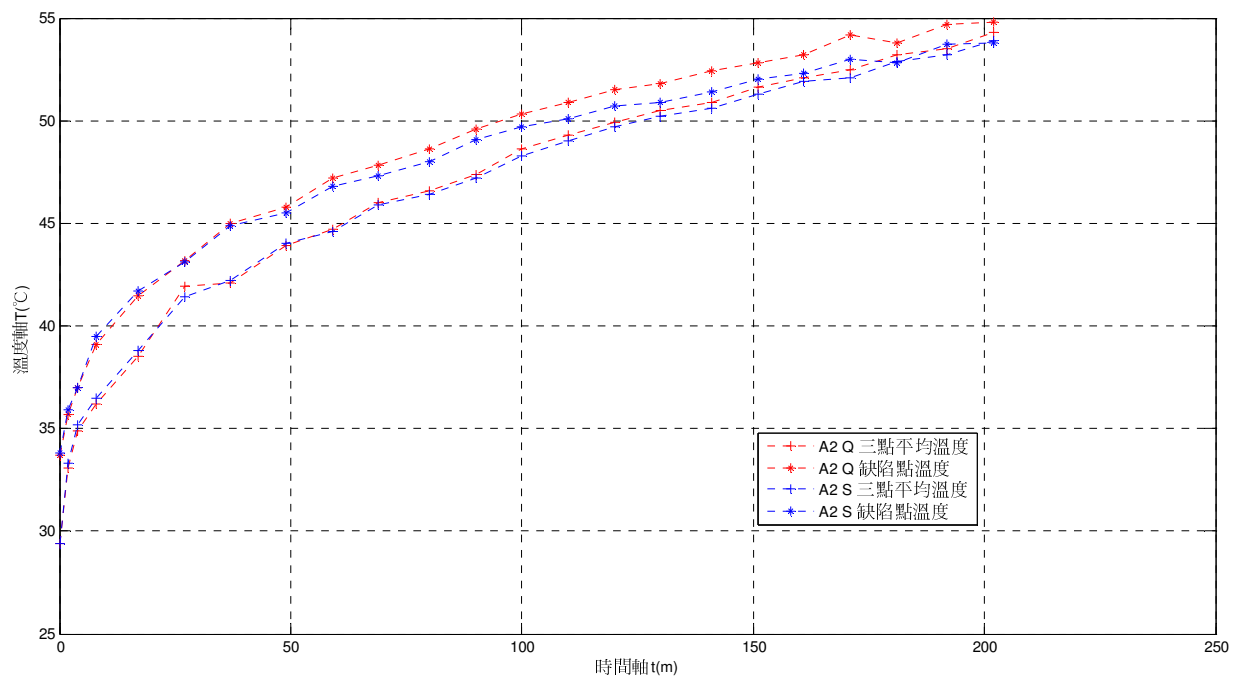


圖 4-22 A2 試體脫層溫度與平均溫度比較圖(A2 黏結材料：1:2 水泥砂漿、中排；資料來源：本研究繪製)

紅外線熱影像法於水泥砂漿材料老化溫度特性之檢測研究

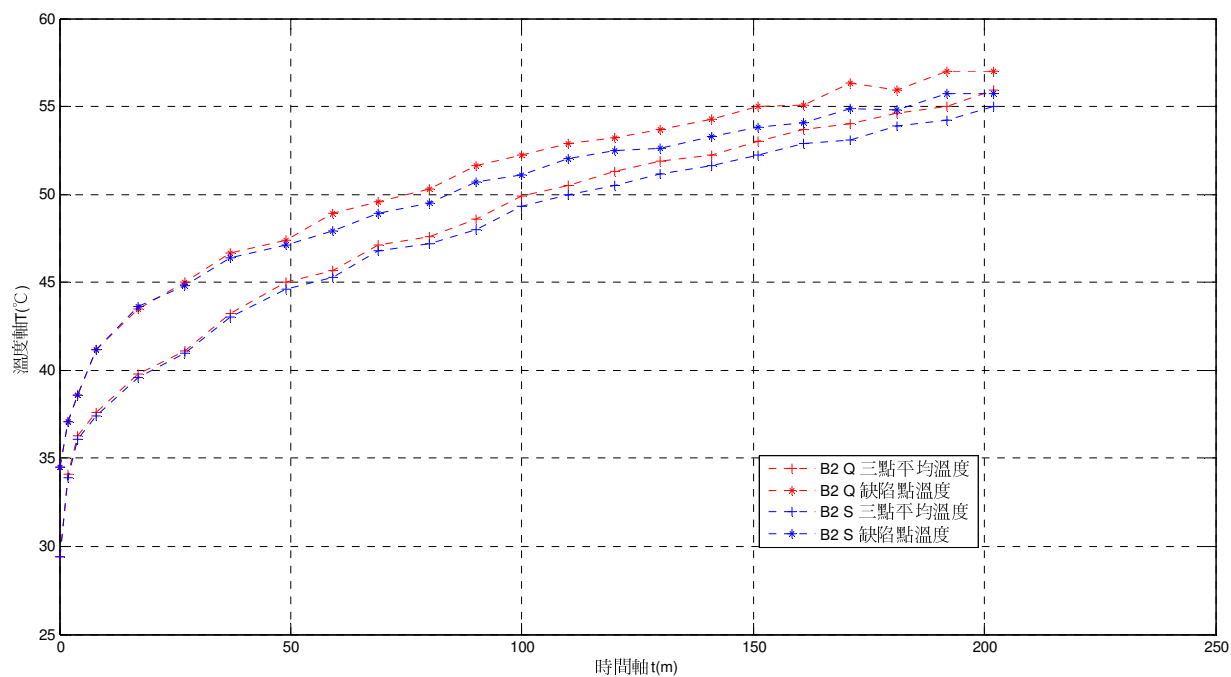


圖 4-23 B2 試體脫層溫度與平均溫度比較圖(B2 黏結材料：1:2 水泥砂漿摻海藻粉、中排；資料來源：本研究繪製)

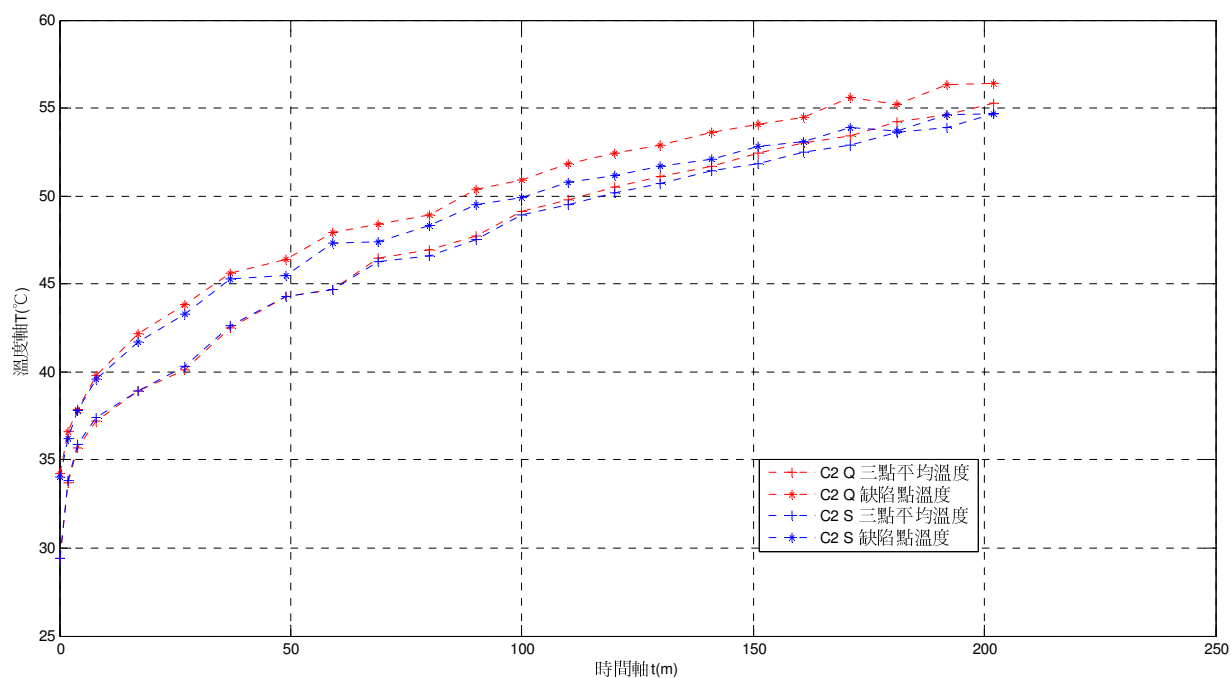


圖 4-24 C2 試體脫層溫度與平均溫度比較圖(C2 黏結材料：益膠泥、中排；資料來源：本研究繪製)

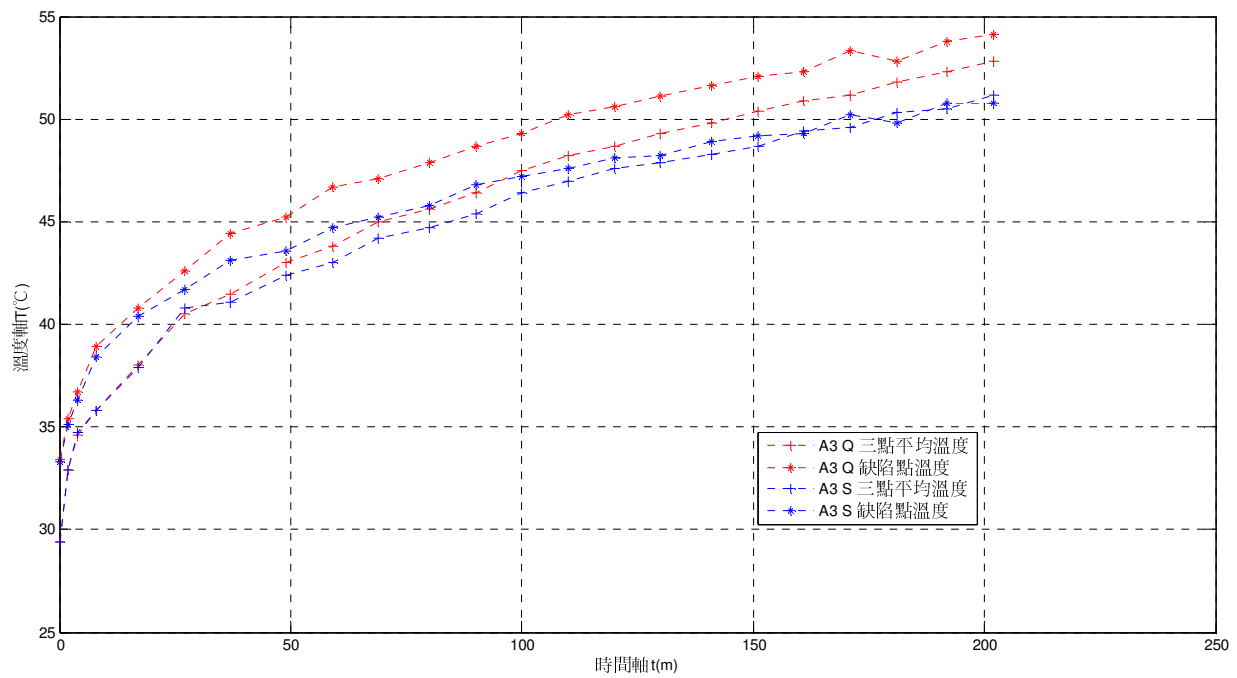


圖 4-25 A3 試體脫層溫度與平均溫度比較圖(A3 黏結材料：1:2 水泥砂漿、下排；資料來源：本研究繪製)

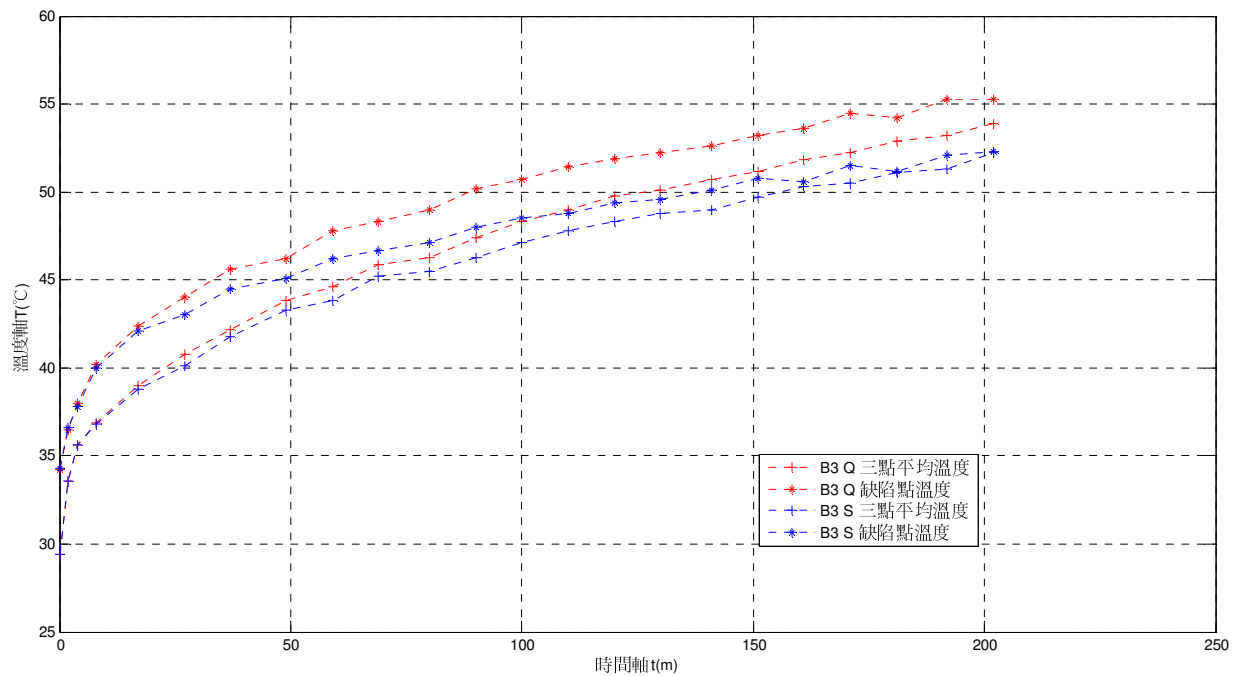


圖 4-26 B3 試體脫層溫度與平均溫度比較圖(B3 黏結材料：1:2 水泥砂漿摻海菜粉、下排；資料來源：本研究繪製)

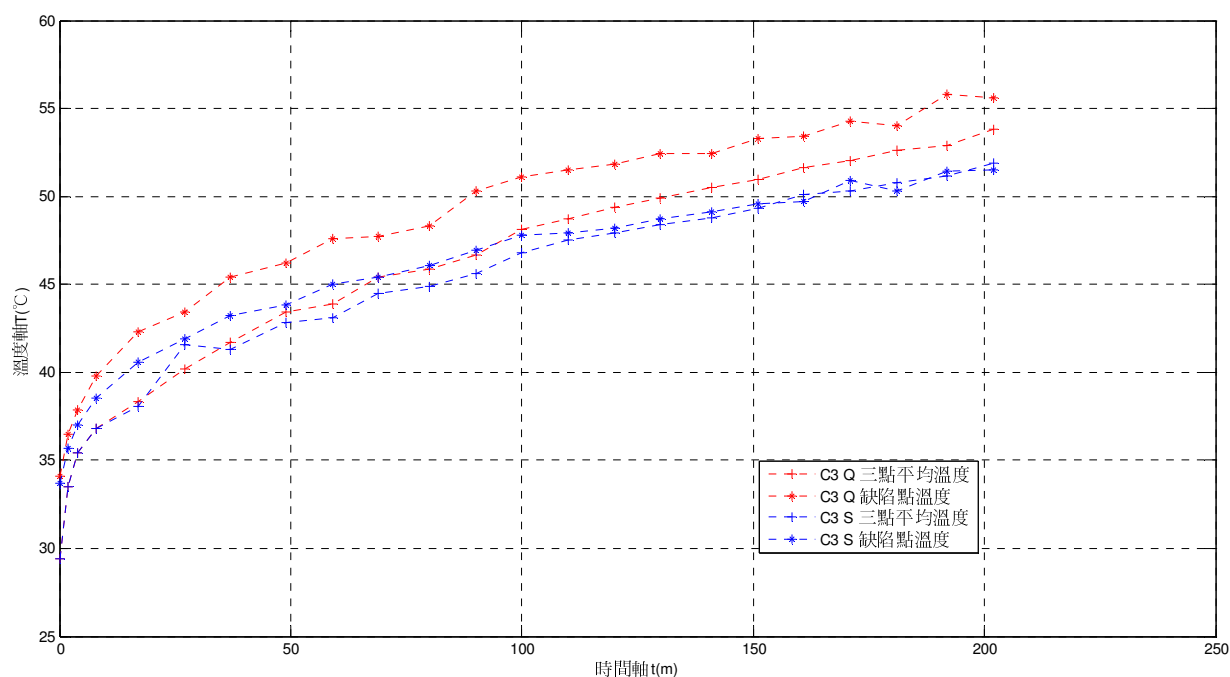


圖 4-27 C3 試體脫層溫度與平均溫度比較圖(C3 黏結材料：益膠泥、下排；資料來源：本研究繪製)

從以上 9 張溫度分佈趨勢圖可以看出，脫層位置溫度於加熱全程都比健全部位的平均溫度高；檢測試體置於上排位置者，脫層位置溫度及健全位置溫度的上升，以黏置時間慢(S)者上升速度較快，加熱結束時之溫度高於黏置時間快(Q)者。

檢測試體置於中、下排位置者，脫層位置溫度及健全位置溫度的上升，以黏置時間快(Q)者上升速度較快，加熱結束時之溫度高於黏置時間慢(S)者，其中又以下排試體之黏置時間快(Q)者過黏置時間慢(S)者之溫度差較大。

三、溫度自然衰減分段擬合

觀察以上各圖健全位置 54 點溫度歷程並對照紅外線熱影像圖，黏結材料、黏置時間以及檢測佈設位置等所選擇實驗測試因素，似乎都有一致性的溫度歷時高低趨勢。因此，先以本研究前期[46]

所推導的自然溫度衰減與時間關係之微分程式，經過積分後所得自然指數方程式，最能代表溫度衰減公式。

由於本案實驗量測溫度資料與時間相關，因此由微分方程式可得：

$$\frac{dT}{dt} = k(T - T_{\infty})$$

T_{∞} : 試體最終溫度(理論上應降為常溫)

m : 為不同試體之降溫特徵值

經同時積分及常數化後，得溫度衰減公式

$$\ln(T - T_{\infty}) = m \cdot t + C \rightarrow$$

$$T(t) = Ae^{m^*t} + T_{\infty}$$

A 、 m ：依不同試體實測所得最初、中間、最終之溫度可求得，其中 A 為試體初始溫度與常溫之差，則 m 可視為不同試體之降溫特徵值。

惟前期研究係針對不同水泥砂漿配比之單一薄片試體，而本研究對象為模擬外牆磁磚系統之多層材質不同厚度黏結成厚度超過10公分的試體。外牆磁磚系統試體於主動式加熱後，各組試體一起接受紅外線熱像儀之熱影像檢測，所得磁磚表面歷時溫度。除了觀察到記錄結束時之最終衰減溫度比環境溫度仍然高出約 2.2~2.6℃，必須予以修正；同時，發現擬合曲線除頭尾吻合外，衰減中間階段曲線與實際溫度分佈差異頗大，必須有不同擬合方式。

經多次嘗試擬合失敗後，決定調整最終溫度衰減差異，經參考熱傳遞學中混合邊界條件之統體系統，如圖 4-28 混合邊界條件圖所示。

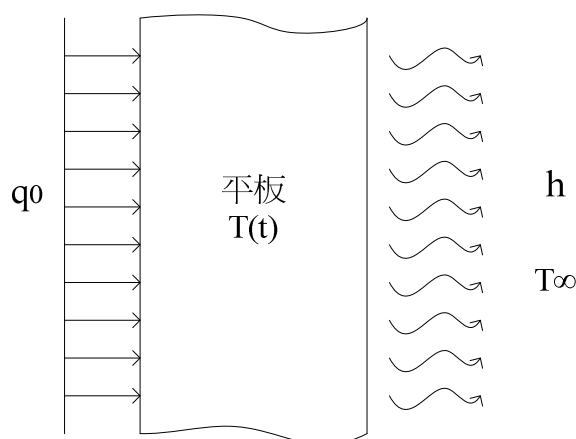


圖 4-28 混合邊界條件示意圖

資料來源：李祥編著，《熱傳學分析》p50-20

上圖將外牆表面磁磚及黏結材料視為一體為平板部分，溫度 $T(t)$ 為時間函數，黏結材料背後(圖左)之相對較大混凝土體積蓄熱較大，視為一均勻穩定的熱通量(q_0)來源，右側則考慮空氣自然熱對流到環境溫度(T_∞)的流場中。

依熱傳遞學原理推導的統御方程式[59]，即上述溫度衰減方程式可改寫為：

$$T(t) = (T_0 - T_\infty)e^{m^*t} + (1 - e^{-m^*t})\frac{q_0}{h} + T_\infty$$

$T(t)$ ：為溫度隨時間變化之函數

T_0 ：起始溫度(即本研究每健全溫度點之最高溫)

T_∞ ：環境溫度

t ：時間(以分鐘 m 為單位)

m ：方程式特徵值

q_0 ：熱通量

h ：空氣對流係數

上述方程式為熱傳遞學中所稱平板的瞬間溫度方程式，可以無因次方式運算獲得特徵值 m 後，代回原方程式所得仍為溫度之時間函數。

雖然本研究並未量測試體左側之熱通量值及對流係數，但以邊界條件 $t \rightarrow \infty$ 時，可化簡得

$$T(\infty) = \frac{q_0}{h} + T_\infty$$

從本案研究實驗所擷取之溫度紀錄表(附錄 D)中， $T(\infty)$ 即為 54 點健全部位溫度擷取點之歷時第 72 點數據，而 T_∞ 即為環境溫度 29.4 °C。所以 $q_0/h = T(\infty) - T_\infty$

經撰寫 MATLAB 程式，計算每點溫度之三段擬合方程式特徵值(得 m_1 、 m_2 、 m_3)，並代回擬合方程式及繪圖，程式碼如下：

```
% Script file: 1000923_T54(未溫修正及 3 段溫衰擬合).m
%
% Purpose:
% 針對每塊試體(A1,A2,A3,B1,B2,B3,C1,C2,C3)
% 計 54 溫度點歷時升降溫分布圖，及溫衰 3 階段擬合方程式
% 求特徵 m 值
%
% Record of revisions:
%      Date      Programmer      Description of change
%      =====
%      2011/09/23  LIN, KU-TAO      Original code
%
% Define variables:
%      t          --時間矩陣
%      T          --54 點全溫度矩陣
%      Tu         --54 點溫度上升矩陣
%      Td         --54 點溫度下降矩陣

i=1:1:54;j=1:1:73;
t=importdata('G:\100 自辦研究\1000831_未老化熱影像檢測\1000923fulltime.txt'); % 輸入時間
T=importdata('G:\100 自辦研究\1000831_未老化熱影像檢測\1000923T54updown.txt'); % 輸入
54 點溫度矩陣
Td=importdata('G:\100 自辦研究\1000831_未老化熱影像檢測\1000925Td18updefect.txt'); % 輸入
18 點缺陷溫度上升矩陣
Ta=importdata('G:\100 自辦研究\1000831_未老化熱影像檢測\1000927Taverage3U.txt'); % 輸入 3
點平均溫度上升矩陣
% 以矩陣方式運算，注意矩陣除法符號
```

紅外線熱影像法於水泥砂漿材料老化溫度特性之檢測研究

```
m1=log((T(1:54,25)-T(1:54,73))./(T(1:54,24)-T(1:54,73)))/(t(1,25)-t(1,24)); % 溫度下降第 1 段第
24~25 點的 m1 值
m2=log((T(1:54,27)-T(1:54,73))./(T(1:54,25)-T(1:54,73)))/(t(1,27)-t(1,25)); % 溫度下降第 2 段第
25~27 點的 m2 值
m3=log((T(1:54,33)-T(1:54,73))./(T(1:54,27)-T(1:54,73)))/(t(1,33)-t(1,27)); % 溫度下降第 3 段第
25~27 點的 m3 值
```

```
save G:\100 自辦研究\1000831_未老化熱影像檢測\1000923T54m1.mat m1;
save G:\100 自辦研究\1000831_未老化熱影像檢測\1000923T54m2.mat m2;
save G:\100 自辦研究\1000831_未老化熱影像檢測\1000923T54m3.mat m3;
```

```
% 溫衰 1、2、3 分段擬合
for i=1:1:54;
```

```
Fd1(i,:)=(T(i,24)-T(i,73))*exp(m1(i,:)*(t(1,24:73)-t(1,24)))+(1-exp(m1(i,:)*(t(1,24:73)-t(1,24))))*(T(
i,72)-T(i,73))+29.4;
```

```
Fd2(i,:)=(T(i,25)-T(i,73))*exp(m2(i,:)*(t(1,25:73)-t(1,25)))+(1-exp(m2(i,:)*(t(1,25:73)-t(1,25))))*(T(
i,72)-T(i,73))+29.4;
```

```
Fd3(i,:)=(T(i,27)-T(i,73))*exp(m3(i,:)*(t(1,27:73)-t(1,27)))+(1-exp(m3(i,:)*(t(1,27:73)-t(1,27))))*(T(
i,72)-T(i,73))+29.4;
```

```
end
```

```
s=0;
```

```
while s<9;
```

```
    figure(s+1);
```

```
    n=s*6+1;
```

```
plot(t(1,j),T(n,j),'+r',t(1,j),T(n+1,j),'+m',t(1,j),T(n+2,j),'+b',t(1,j),T(n+3,j),'*c',t(1,j),T(n+4,j),'*g',t(1,j),
T(n+5,j),'*y');
```

```
    xlabel('時間軸 t(m)');ylabel('溫度軸 T(°C)');grid on;
```

```
    hold on
```

```
plot(t(1,24:25),Fd1(n,1:2),'r',t(1,24:25),Fd1(n+1,1:2),'m',t(1,24:25),Fd1(n+2,1:2),'b',t(1,24:25),Fd1(n+
3,1:2),'c',t(1,24:25),Fd1(n+4,1:2),'g',t(1,24:25),Fd1(n+5,1:2),'y');
```

```
plot(t(1,25:28),Fd2(n,1:4),'-r',t(1,25:28),Fd2(n+1,1:4),'-m',t(1,25:28),Fd2(n+2,1:4),'-b',t(1,25:28),F
d2(n+3,1:4),'-c',t(1,25:28),Fd2(n+4,1:4),'-g',t(1,25:28),Fd2(n+5,1:4),'-y'); % 往後多畫一點
```

```
plot(t(1,27:73),Fd3(n,:),'-r',t(1,27:73),Fd3(n+1,:),'-m',t(1,27:73),Fd3(n+2,:),'-b',t(1,27:73),Fd3(n+3,:
),'-c',t(1,27:73),Fd3(n+4,:),'-g',t(1,27:73),Fd3(n+5,:),'-y');
```

```
    s=s+1;
```

```
end
```

```
a=0;
```

```
while a<9;
```

```
    figure(a+1);
```

```
    b=a*2+1;
```

```

plot(t(1,1:23),Ta(b,1:23),'+r',t(1,1:23),Td(b,1:23),'*r',t(1,1:23),Ta(b+1,1:23),'+b',t(1,1:23),Td(b+1,1:23),'*b');
xlabel('時間軸 t(m)');ylabel('溫度軸 T(°C)');grid on;
hold on
a=a+1;
end

```

經程式計算所得健全部位 54 溫度點三段擬合方程式之特徵值，如下表 4-1 所示，擬合曲線圖已併溫度分佈圖繪於前述圖 4-10~圖 4-18 等 9 張圖中。

表 4-1 健全部位 54 溫度點三段擬合方程式特徵值

試體編號	測溫點	m1 (206~211 分鐘)	m2(211~221 分鐘)	m3(221~671 分鐘)
A1	SP1	-0.0451	-0.0151	-0.0080
A1	SP2	-0.0478	-0.0151	-0.0075
A1	SP3	-0.0474	-0.0150	-0.0069
A1	SP4	-0.0516	-0.0150	-0.0069
A1	SP5	-0.0529	-0.0139	-0.0084
A1	SP6	-0.0492	-0.0147	-0.0081
B1	SP7	-0.0567	-0.0150	-0.0077
B1	SP8	-0.0557	-0.0137	-0.0081
B1	SP9	-0.0592	-0.0147	-0.0068
B1	SP10	-0.0581	-0.0144	-0.0073
B1	SP11	-0.0567	-0.0154	-0.0079
B1	SP12	-0.0628	-0.0162	-0.0080
C1	SP13	-0.0493	-0.0138	-0.0073
C1	SP14	-0.0520	-0.0140	-0.0073
C1	SP15	-0.0508	-0.0129	-0.0066
C1	SP16	-0.0533	-0.0139	-0.0068
C1	SP17	-0.0539	-0.0132	-0.0077
C1	SP18	-0.0516	-0.0136	-0.0081
A2	SP19	-0.0424	-0.0137	-0.0078
A2	SP20	-0.0432	-0.0146	-0.0076
A2	SP21	-0.0446	-0.0139	-0.0068
A2	SP22	-0.0473	-0.0149	-0.0070
A2	SP23	-0.0448	-0.0146	-0.0076
A2	SP24	-0.0426	-0.0138	-0.0080
B2	SP25	-0.0471	-0.0148	-0.0073

紅外線熱影像法於水泥砂漿材料老化溫度特性之檢測研究

B2	SP26	-0.0565	-0.0143	-0.0077
B2	SP27	-0.0513	-0.0132	-0.0066
B2	SP28	-0.0509	-0.0134	-0.0070
B2	SP29	-0.0512	-0.0152	-0.0071
B2	SP30	-0.0526	-0.0148	-0.0075
C2	SP31	-0.0456	-0.0126	-0.0072
C2	SP32	-0.0452	-0.0130	-0.0072
C2	SP33	-0.0472	-0.0120	-0.0063
C2	SP34	-0.0488	-0.0123	-0.0069
C2	SP35	-0.0494	-0.0128	-0.0074
C2	SP36	-0.0495	-0.0131	-0.0073
A3	SP37	-0.0411	-0.0142	-0.0076
A3	SP38	-0.0423	-0.0144	-0.0076
A3	SP39	-0.0431	-0.0144	-0.0071
A3	SP40	-0.0503	-0.0134	-0.0073
A3	SP41	-0.0473	-0.0153	-0.0079
A3	SP42	-0.0446	-0.0161	-0.0078
B3	SP43	-0.0477	-0.0136	-0.0078
B3	SP44	-0.0535	-0.0148	-0.0078
B3	SP45	-0.0521	-0.0133	-0.0068
B3	SP46	-0.0581	-0.0154	-0.0072
B3	SP47	-0.0526	-0.0147	-0.0079
B3	SP48	-0.0572	-0.0149	-0.0078
C3	SP49	-0.0496	-0.0117	-0.0081
C3	SP50	-0.0463	-0.0128	-0.0077
C3	SP51	-0.0472	-0.0124	-0.0064
C3	SP52	-0.0501	-0.0131	-0.0068
C3	SP53	-0.0533	-0.0126	-0.0074
C3	SP54	-0.0512	-0.0134	-0.0076

資料來源：本研究成果

第三節 實驗數據比對分析

溫度上升階段可觀察之脫層缺陷點與健全部位平均溫度差，由附錄 E 可觀察到溫度上升階段第 37~69 分鐘有最大的溫度差異 1.2℃。因此，我們可以知道，在本研究實驗室條件下，要觀察到清晰脫層缺陷點，紅外線熱影像儀至少要記錄 1 小時左右至磁磚表面溫度約 46℃ 以上。

因為外牆磁磚系統溫度衰減階段方程式擬合集相關數據相對複雜。因此，本節重點運用前述實驗設計具統計意義的方法，結合溫度衰減三段不同變化趨勢，擬合所得不同特徵值，併同衰減階段起始之最高溫度，作為實驗反應值，即該溫度點不同黏結材料、黏置時間及檢測位置的差異代表值，以探討實驗設計之迴歸及變異數，找出最具統計意義的特徵值，同時也可了解溫度衰減階段之最佳觀察時間區段。

將溫度衰減起始最高點溫度，及 m1、m2、m3 三段特徵值，視為實驗結果反應值，輸入表 3-4 全因子實驗設計試體規劃表中，另得下表 4-2 全因子實驗設計試體規劃及反應彙整表。

表 4-2 全因子實驗設計試體規劃及反應值彙整表

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	黏結材料	黏置時間	受測位置	最高溫	m1	m2	m3
1	1	1	1	A	Q	U	52.7	-0.0451	-0.0151	-0.0080
2	2	1	1	A	Q	U	52.0	-0.0478	-0.0151	-0.0075
3	3	1	1	A	Q	U	53.1	-0.0474	-0.0150	-0.0069
4	4	1	1	A	S	U	52.7	-0.0516	-0.0150	-0.0069
5	5	1	1	A	S	U	53.5	-0.0529	-0.0139	-0.0084
6	6	1	1	A	S	U	52.8	-0.0492	-0.0147	-0.0081
7	7	1	1	B	Q	U	53.3	-0.0567	-0.0150	-0.0077
8	8	1	1	B	Q	U	54.1	-0.0557	-0.0137	-0.0081
9	9	1	1	B	Q	U	54.0	-0.0592	-0.0147	-0.0068
10	10	1	1	B	S	U	54.4	-0.0581	-0.0144	-0.0073
11	11	1	1	B	S	U	54.5	-0.0567	-0.0154	-0.0079
12	12	1	1	B	S	U	55.0	-0.0628	-0.0162	-0.0080
13	13	1	1	C	Q	U	53.2	-0.0493	-0.0138	-0.0073

紅外線熱影像法於水泥砂漿材料老化溫度特性之檢測研究

14	14	1	1	C	Q	U	54.3	-0.0520	-0.0140	-0.0073
15	15	1	1	C	Q	U	53.9	-0.0508	-0.0129	-0.0066
16	16	1	1	C	S	U	54.6	-0.0533	-0.0139	-0.0068
17	17	1	1	C	S	U	54.8	-0.0539	-0.0132	-0.0077
18	18	1	1	C	S	U	54.9	-0.0516	-0.0136	-0.0081
19	19	1	1	A	Q	M	54.5	-0.0424	-0.0137	-0.0078
20	20	1	1	A	Q	M	54.1	-0.0432	-0.0146	-0.0076
21	21	1	1	A	Q	M	54.4	-0.0446	-0.0139	-0.0068
22	22	1	1	A	S	M	54.1	-0.0473	-0.0149	-0.0070
23	23	1	1	A	S	M	54.3	-0.0448	-0.0146	-0.0076
24	24	1	1	A	S	M	53.4	-0.0426	-0.0138	-0.0080
25	25	1	1	B	Q	M	56.1	-0.0471	-0.0148	-0.0073
26	26	1	1	B	Q	M	56.2	-0.0565	-0.0143	-0.0077
27	27	1	1	B	Q	M	55.5	-0.0513	-0.0132	-0.0066
28	28	1	1	B	S	M	55.2	-0.0509	-0.0134	-0.0070
29	29	1	1	B	S	M	55.1	-0.0512	-0.0152	-0.0071
30	30	1	1	B	S	M	54.9	-0.0526	-0.0148	-0.0075
31	31	1	1	C	Q	M	55.9	-0.0456	-0.0126	-0.0072
32	32	1	1	C	Q	M	55.1	-0.0452	-0.0130	-0.0072
33	33	1	1	C	Q	M	55.1	-0.0472	-0.0120	-0.0063
34	34	1	1	C	S	M	54.8	-0.0488	-0.0123	-0.0069
35	35	1	1	C	S	M	55.0	-0.0494	-0.0128	-0.0074
36	36	1	1	C	S	M	54.5	-0.0495	-0.0131	-0.0073
37	37	1	1	A	Q	D	53.6	-0.0411	-0.0142	-0.0076
38	38	1	1	A	Q	D	52.5	-0.0423	-0.0144	-0.0076
39	39	1	1	A	Q	D	52.6	-0.0431	-0.0144	-0.0071
40	40	1	1	A	S	D	51.9	-0.0503	-0.0134	-0.0073
41	41	1	1	A	S	D	51.7	-0.0473	-0.0153	-0.0079
42	42	1	1	A	S	D	50.4	-0.0446	-0.0161	-0.0078
43	43	1	1	B	Q	D	54.4	-0.0477	-0.0136	-0.0078
44	44	1	1	B	Q	D	54.1	-0.0535	-0.0148	-0.0078
45	45	1	1	B	Q	D	53.4	-0.0521	-0.0133	-0.0068
46	46	1	1	B	S	D	52.8	-0.0581	-0.0154	-0.0072
47	47	1	1	B	S	D	52.3	-0.0526	-0.0147	-0.0079
48	48	1	1	B	S	D	51.5	-0.0572	-0.0149	-0.0078
49	49	1	1	C	Q	D	54.9	-0.0496	-0.0117	-0.0081
50	50	1	1	C	Q	D	53.6	-0.0463	-0.0128	-0.0077

51	51	1	1	C	Q	D	53.2	-0.0472	-0.0124	-0.0064
52	52	1	1	C	S	U	52.4	-0.0501	-0.0131	-0.0068
53	53	1	1	C	S	D	52.5	-0.0533	-0.0126	-0.0074
54	54	1	1	C	S	D	51.1	-0.0512	-0.0134	-0.0076

資料來源：本研究規劃記錄

本研究實驗設計反應值共有 4 個，以變異數進行多重分析比較，殘差分析用來分析反應值是否具備常態性、隨機性以及一致性，所得交互作用圖則可清楚判別各反應值彼此作用的差異及適用性。

一、反應值變異數分析

本研究利用實驗設計軟體 MINTAB，匯入實驗反應值後產出各項分析報告如下：

表 4-3 最高溫因子變異數分析

Analysis of Variance for 最高溫, using Adjusted SS for Tests						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
黏結材料	2	16.583	16.022	8.011	14.26	0.000
黏置時間	1	4.002	4.533	4.533	8.07	0.007
受測位置	2	41.247	41.247	20.624	36.72	0.000
Error	48	26.956	26.956	0.562		
Total	53	88.788				
S = 0.749390 R-Sq = 69.64% R-Sq(adj) = 66.48%						
Unusual Observations for 最高溫						
Obs	最高溫	Fit	SE Fit	Residual	St Resid	
48	51.5000	52.9341	0.2537	-1.4341	-2.03 R	
49	54.9000	53.2941	0.2561	1.6059	2.28 R	
54	51.1000	52.7140	0.2612	-1.6140	-2.30 R	
R denotes an observation with a large standardized residual.						

資料來源：本研究分析整理

表 4-4 m1 因子變異數分析

Analysis of Variance for m1, using Adjusted SS for Tests						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
黏結材料	2	0.0006485	0.0006514	0.0003257	65.38	0.000
黏置時間	1	0.0001242	0.0001136	0.0001136	22.81	0.000
受測位置	2	0.0002442	0.0002442	0.0001221	24.51	0.000
Error	48	0.0002391	0.0002391	0.0000050		
Total	53	0.0012560				
S = 0.00223199 R-Sq = 80.96% R-Sq(adj) = 78.98%						

紅外線熱影像法於水泥砂漿材料老化溫度特性之檢測研究

Unusual Observations for m1						
Obs	m1	Fit	SE Fit	Residual	St Resid	
26	-0.056500	-0.050810	0.000745	-0.005690	-2.70 R	
43	-0.047700	-0.052343	0.000741	0.004643	2.21 R	
R denotes an observation with a large standardized residual.						

資料來源：本研究分析整理

表 4-5 m2 因子變異數分析

Analysis of Variance for m2, using Adjusted SS for Tests						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
黏結材料	2	0.0000306	0.0000315	0.0000158	38.89	0.000
黏置時間	1	0.0000023	0.0000021	0.0000021	5.14	0.028
受測位置	2	0.0000045	0.0000045	0.0000023	5.57	0.007
Error	48	0.0000195	0.0000195	0.0000004		
Total	53	0.0000569				
S = 0.000636685 R-Sq = 65.78% R-Sq(adj) = 62.22%						
Unusual Observations for m2						
Obs	m2	Fit	SE Fit	Residual	St Resid	
5	-0.013900	-0.015146	0.000210	0.001246	2.07 R	
40	-0.013400	-0.014659	0.000216	0.001259	2.10 R	
42	-0.016100	-0.014659	0.000216	-0.001441	-2.41 R	
R denotes an observation with a large standardized residual.						

資料來源：本研究分析整理

表 4-6 m3 因子變異數分析

Analysis of Variance for m3, using Adjusted SS for Tests						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
黏結材料	2	0.0000010	0.0000010	0.0000005	2.23	0.118
黏置時間	1	0.0000005	0.0000005	0.0000005	2.20	0.144
受測位置	2	0.0000008	0.0000008	0.0000004	1.87	0.166
Error	48	0.0000106	0.0000106	0.0000002		
Total	53	0.0000129				
S = 0.000469467 R-Sq = 17.87% R-Sq(adj) = 9.31%						
Unusual Observations for m3						
Obs	m2	Fit	SE Fit	Residual	St Resid	
non						

資料來源：本研究分析整理

表 4-7 實驗因子各水準反應值之最小平方均值

Least Squares Means							
	最高溫		m1		m2		m3
黏結材料	Mean	SE Mean	Mean	SE Mean	Mean	SE Mean	Mean
A	53.0167	0.176633	-0.0460	0.000526	-0.0146	0.000150	-0.0075
B	54.2667	0.176633	-0.0544	0.000526	-0.0145	0.000150	-0.0075
C	54.0466	0.177182	-0.0495	0.000528	-0.0129	0.000151	-0.0072
黏置時間	Mean	SE Mean	Mean	SE Mean	Mean	SE Mean	Mean
Q	54.0667	0.144220	-0.0485	0.000430	-0.0138	0.000123	-0.0073
S	53.4866	0.144519	-0.0514	0.000430	-0.0142	0.000123	-0.0075
受測位置	Mean	SE Mean	Mean	SE Mean	Mean	SE Mean	Mean
U	53.6958	0.172175	-0.0528	0.000513	-0.0144	0.000146	-0.0075
M	54.9000	0.176633	-0.0478	0.000526	-0.0137	0.000150	-0.0072
D	52.7341	0.182052	-0.0493	0.000542	-0.0139	0.000155	-0.0075

資料來源：本研究分析整理

變異數分析是比較水準間的均方差(即變異數)與水準內的均方差，所得的比值就是 F 值，F 值愈大，表示水準之間的差異明顯的大於水準內的差異，做出的決策就是水準之間有顯著差異[54]。由於變異數分析的基礎是假設水準內實驗數據(即反應值)具備常態分佈，在進行殘差分析時，也必須檢驗其是否具備常態分佈、變異數一致性及獨立性。

從以上表 4-3~表 4-6 中首先觀察 P 值，P 值 ≤ 0.05 (即小於 F 檢定第 I 型錯誤的風險機率 5%)者，表示對實驗系統的影響有顯著水準能力。因此，只有其中最高溫及 m1 二因子之各水準 P 值均小於 0.05，代表最高溫及 m1 等二因子對實驗系統影響顯著，可說較具有代表性。

從比較各反應值所得 F 值，可以觀察到最高溫的反應值受到試體受測位置的水準差異影響最大(表 4-3)；反應值 m1、m2 受黏結材料的水準差異影響最大，其中又以反應值 m1 三個因子的 F 值都較大，表示在三個因子中鑑別各個水準能力最好。

此外再從各反應值的平方和觀察(即表 4-3~4-6 Seq SS 欄)，最高溫反應值的受測位置的平方和最大，而 m1、m2 反應值的黏結材料的平方和最大。可惜的是三個實驗因子中的黏置時間並無突出的反

應值可資代表，某種程度告訴我們本實驗設計的檢測方式對黏置時間較不敏感，也就是說相對檢測黏置時間快慢差異的能力不明顯。

以上由此變異數分析各實驗反應值，初步已可觀察出在實驗室條件下，試體在溫度自然衰減狀態，最具代表性的反應值為最高溫，以及溫度衰減最初快速衰減的變化區段擬合方程式特徵值 m_1 最具代表性。

以上各項分析，都可再由各分析表中 R-Sq 值加以印證，例如表 4-4 m_1 因子變異數分析表中 R-Sq 值為 80.96%，亦即表示 m_1 值之誤差小於 20%，小於最高溫的誤差 30.36%、 m_2 誤差 34.22%、 m_3 誤差 82.13%。

二、反應值殘差分析

以下再藉由圖形方式觀察各因子實驗數據本身的表現：

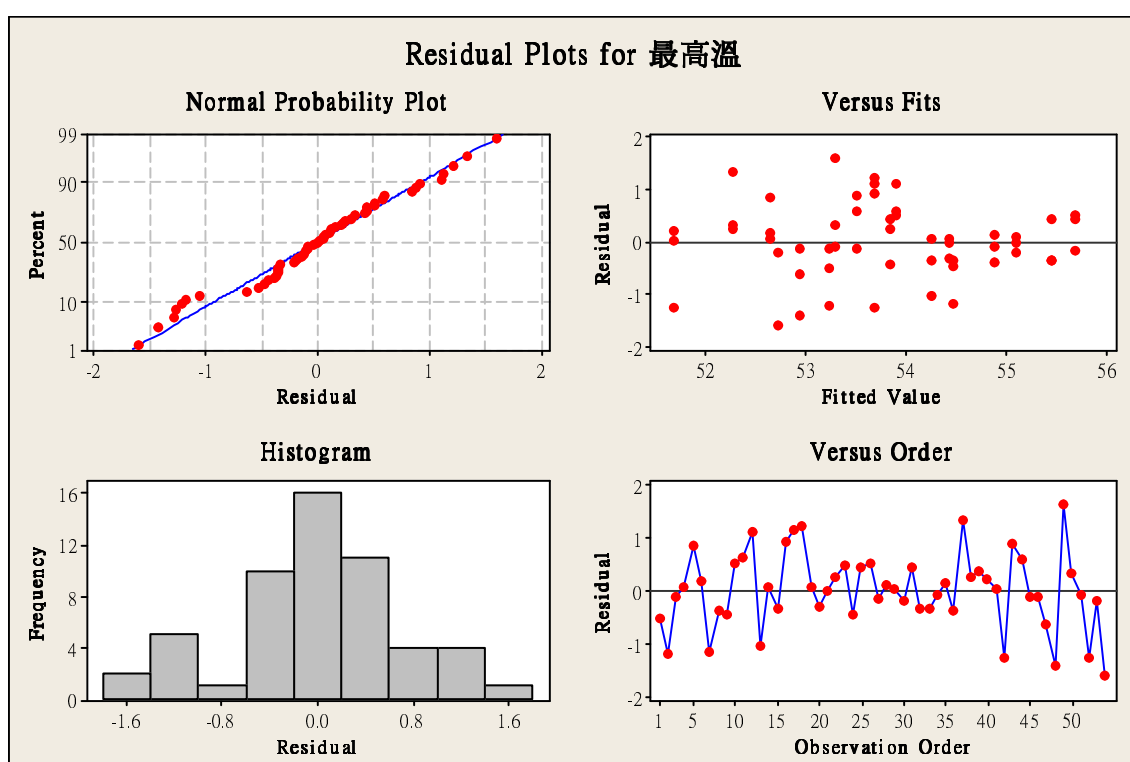


圖 4-29 反應值最高溫殘差分析圖

資料來源：本研究分析整理

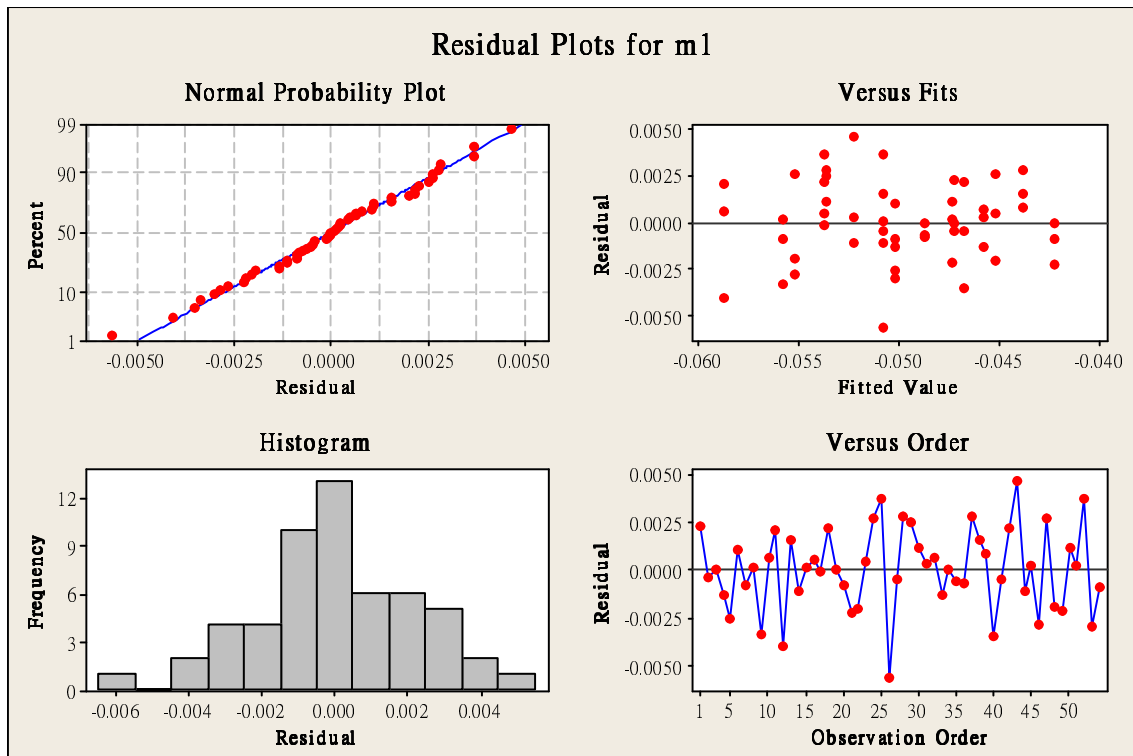


圖 4-30 反應值 m1 殘差分析圖

資料來源：本研究分析整理

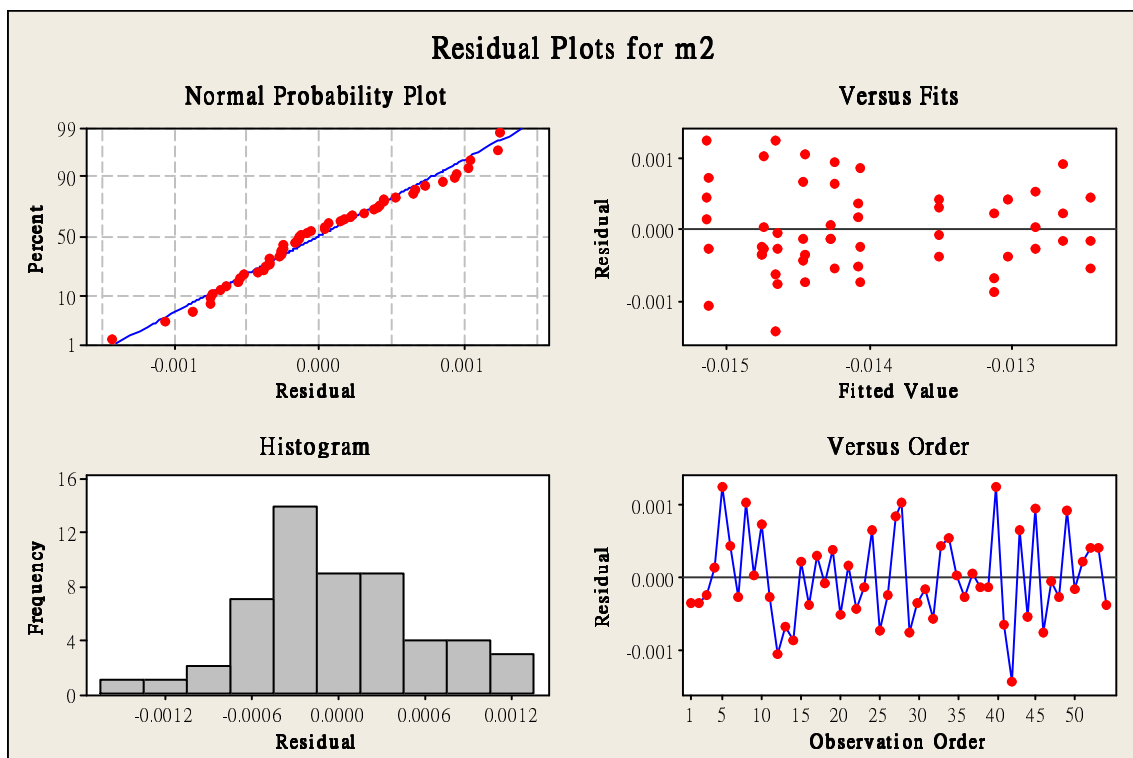


圖 4-31 反應值 m2 殘差分析圖

資料來源：本研究分析整理

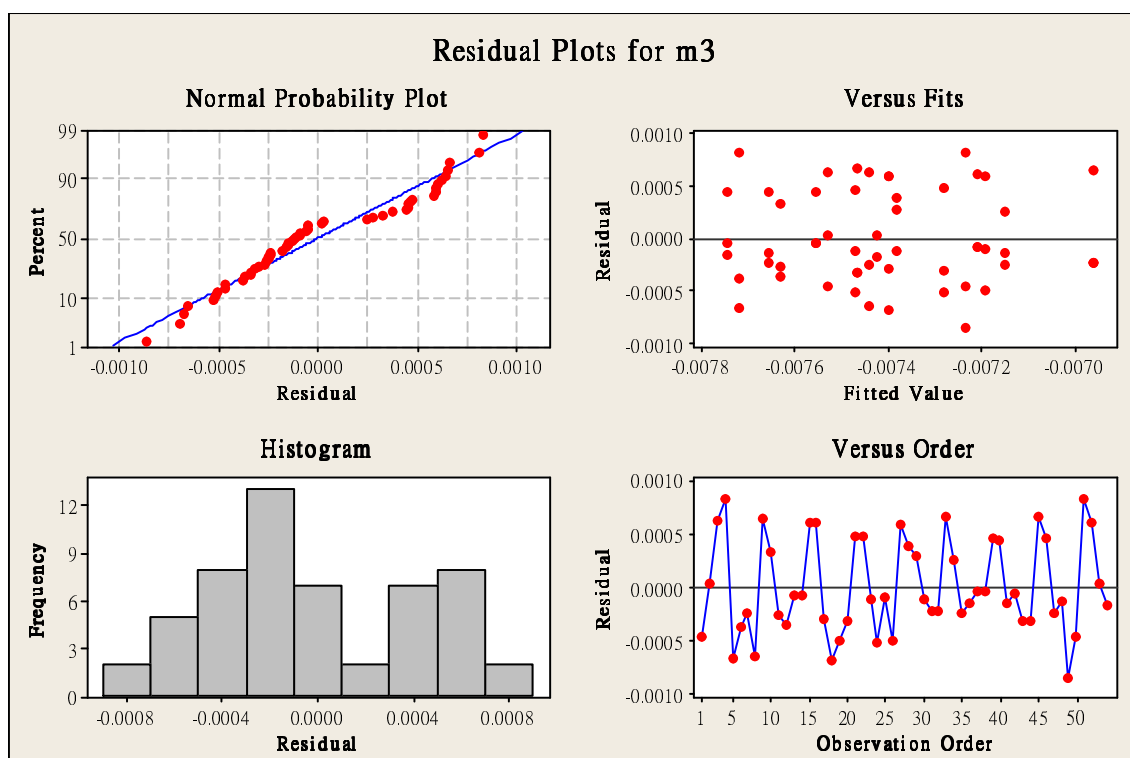


圖 4-32 反應值 m3 殘差分析圖

資料來源：本研究分析整理

本小節由圖 4-29~4-32 所繪出各實驗結果所得的反應值之殘差分析圖，所謂殘差分析圖是由 4 個子圖形構成，包含左上角常態機率圖及左下角直方圖，用來觀察反應值是否符合常態分配(常態機率圖—殘差的點落在斜直線上；直方圖—中間大兩邊小，近似鐘形)；右上角為殘差配適圖，用來觀察殘差的變異數是否一致(配適圖—呈現變異約略相等的長方形分布，不是極端的一端大一端小)；右下角為殘差次序圖，用來觀察殘差數據的獨立性(次序圖—理想的獨立性圖形，不能出現特性形狀及規律性)[54]。

由以上說明之形狀原則，首先觀察圖 4-29 反應值最高溫殘差分析圖中常態機率圖，數據幾乎都落在斜直線上，但斜線左下角有一群數據較為偏離，直方圖有較陡集中的鐘形分布，配適圖右側部分明顯縮小不具長方形分布，次序圖無明顯的規律變化，代表獨立性良好。

接著觀察圖 4-30 反應值 m1 殘差分析圖中常態機率圖，數據幾乎都落在斜直線上，只有斜線左下角有一點偏離，直方圖有明顯良好的鐘形分布，配適圖雖不具明顯長方形，但整體分布平均，次序圖無明顯的規律變化，代表獨立性良好。

其次圖 4-31 反應值 m2 殘差分析圖中，常態機率圖，數據幾乎都落在斜直線上，只有斜線左下角有些偏離，直方圖雖呈鐘形分布，但左右不等；配適圖則出現喇叭形擴大縮小的分布，表示配適不良，次序圖無明顯的規律變化，代表獨立性良好。

最後圖 4-32 反應值 m3 殘差分析圖中，常態機率圖中數據較諸以上各因子，偏離斜直線幅度較大；直方圖雖出現雙峰分布；配適圖同樣出現喇叭形擴大縮小的分布，表示配適不良，次序圖亦出現規律變化，代表獨立性不良。

以本小節圖形判斷，反應值 m1 常態分布最佳、配適性及獨立性也最好，最高溫表現次之，正好印證前小節變異數分析之平方和分析數據。

三、反應值主效應分析

反應值主效應分析也是一種圖形化的分析方法，也是與數值的變異數分析表相輔相成，用來觀察反應值的效應。

首先觀察下圖 4-33 反應值最高溫主效應分析圖：

1. 對黏結材料 A、B、C(1:2 水泥砂漿、1:2 水泥砂漿摻海菜粉及益膠泥)而言，各水準的效應，以 B 最高，C 其次，A 最低。但 B、C 二者最高溫反應值接近，差異不大。
2. 對黏結時間 Q、S(快、慢，以黏置時間 $\leq 15\text{m}$ 者屬快， $\geq 15\text{m}$ 者屬慢)而言，對黏置時間快者效應較大，亦即最高溫度較高，但因圖中 Q-S 直線斜率不大，表示二者差距不大。

3. 對受測位置 U、M、D(上中下排，代表試體置於上下位置的差異)，因折線變化相當大，可知受測位置影響最高溫表現明顯。

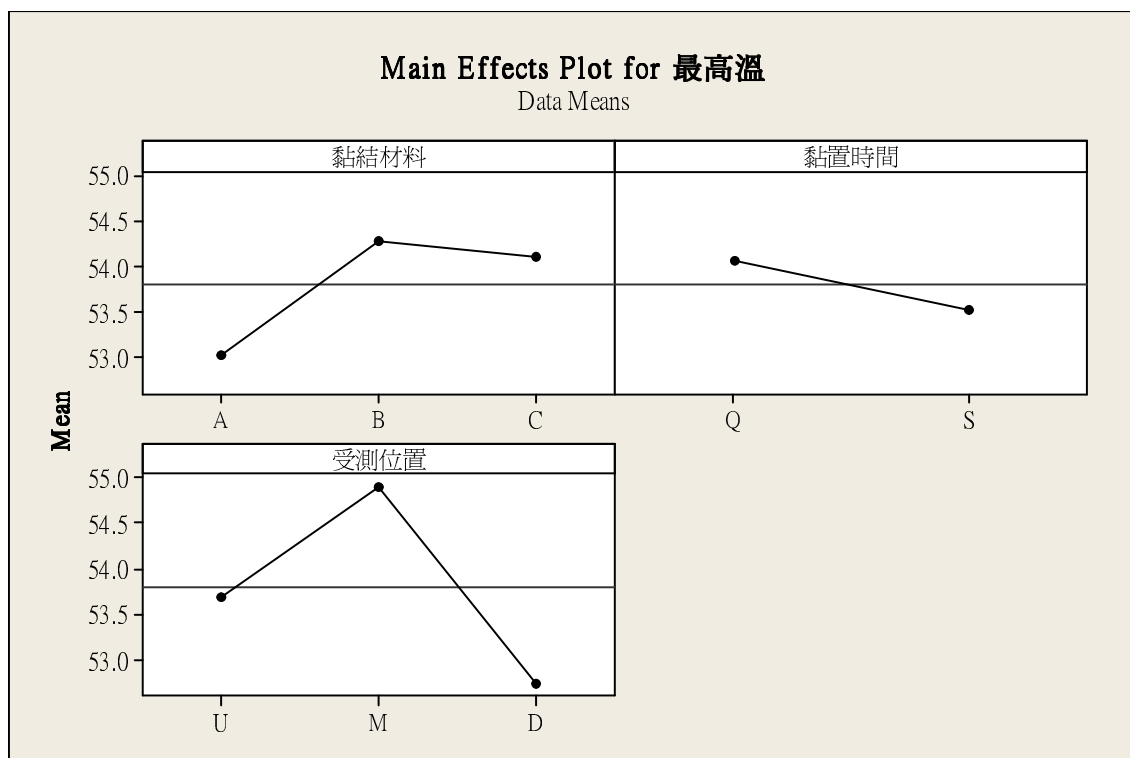


圖 4-33 反應值最高溫主效應分析圖

資料來源：本研究分析整理

其次觀察下圖 4-34 反應值 m1 主效應分析圖：

1. 對黏結材料 A、B、C(1:2 水泥砂漿、1:2 水泥砂漿摻海菜粉及益膠泥)而言，各水準的效應，A 最高，C 其次，B 最低，而且折線高低變化極大，表示不同黏結材料對反應值 m1 極為敏感。
2. 對黏結時間 Q、S(快、慢，以黏置時間 $\leq 15m$ 者屬快， $\geq 15m$ 者屬慢)而言，對黏置時間快者效應較大，亦即 m1 值高，但因圖中 Q-S 直線斜率不大，表示二者差距不大，黏結時間對 m1 值相對不敏感。
3. 對受測位置 U、M、D(上中下排，代表試體置於上下位置的差異)，因折線變化大，可知受測位置對 m1 值也有影響。

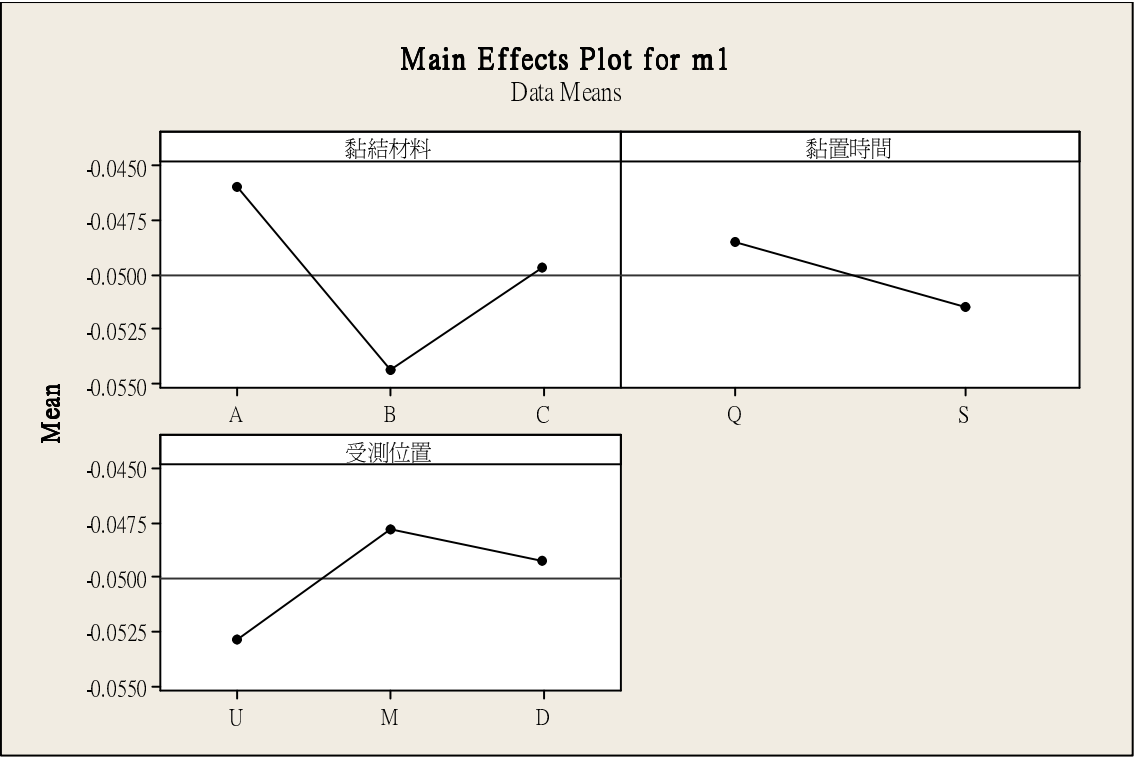


圖 4-34 反應值 m1 主效應分析圖

資料來源：本研究分析整理

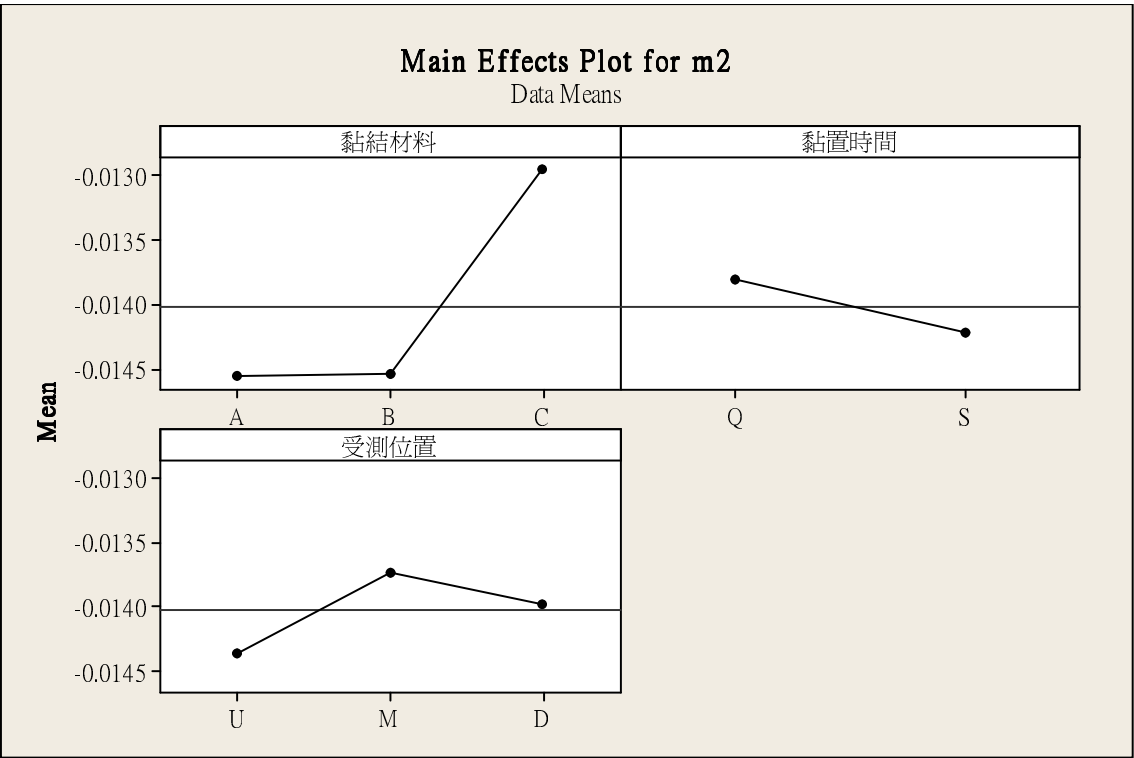


圖 4-35 反應值 m2 主效應分析圖

資料來源：本研究分析整理

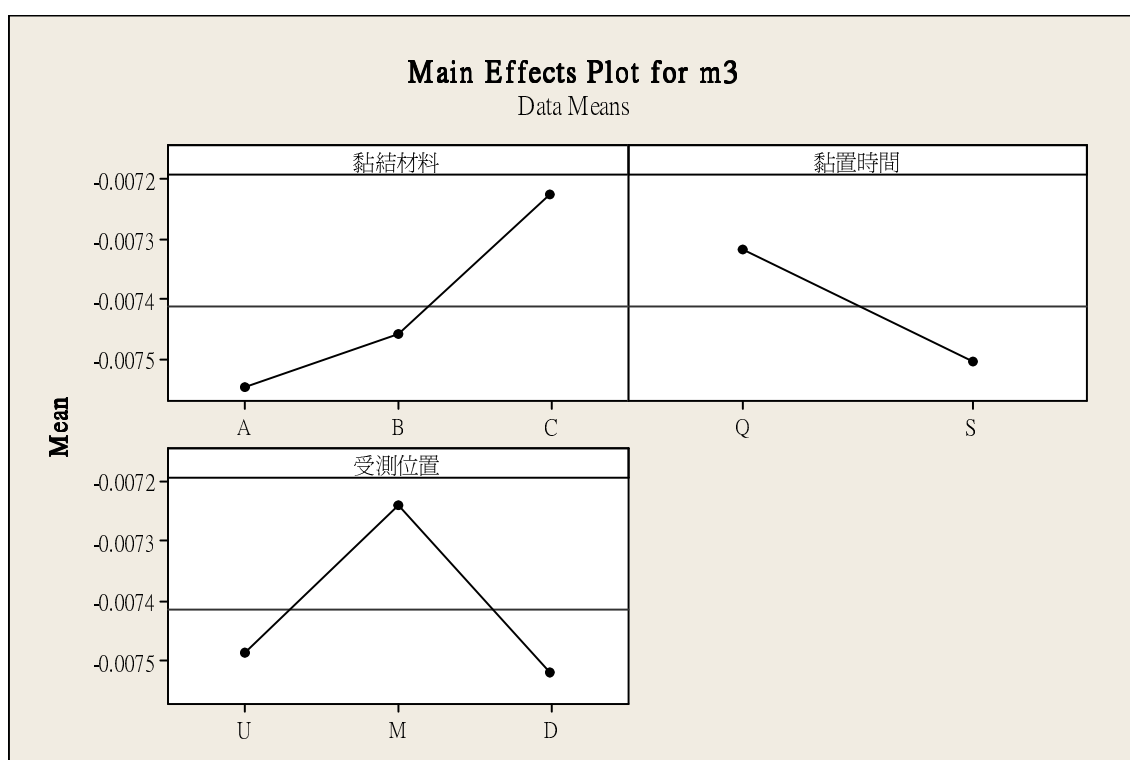


圖 4-36 反應值 m3 主效應分析圖

資料來源：本研究分析整理

接著觀察圖 4-35 反應值 m2 主效應分析圖：

1. 對黏結材料 A、B、C 而言，各水準的效應，C 最高，B 次之，A 最低，差異明顯，表示黏結材料中反應值 m3 對三種黏結材料有某種程度的鑑別度。
2. 對黏結時間 Q、S 而言，對黏置時間快者效應較大，且圖中 Q-S 直線斜率較大，表示黏結時間對 m3 值相對較敏感。
3. 對受測位置 U、M、D，因折線變化相對很大，但 U、D 二位置影響相近。

最後觀察圖 4-36 反應值 m3 主效應分析圖：

1. 對黏結材料 A、B、C 而言，各水準的效應，C 最高，B 次之，A 最低，表示反應值 m3 大小可區分出黏結材料的不同。

2. 對黏結時間 Q、S 而言，圖中 Q-S 直線斜率較大，表示 m3 值對黏結時間相對敏感。
3. 對受測位置 U、M、D，因折線變化相當大，可知受測位置對 m3 值有影響，但無法區分出 U、D 二位置的差異。

四、反應值交互作用分析

相對主反應值分析是圖形化觀察各因子的水準與反應值間的效應關係，反應值交互作用分析圖則是用來觀察影響反應值的最佳組合，不過也必須了解實驗的目的何在，才能針對各因子水準的反應值圖形，判斷效應是否明顯及交互作用關係。

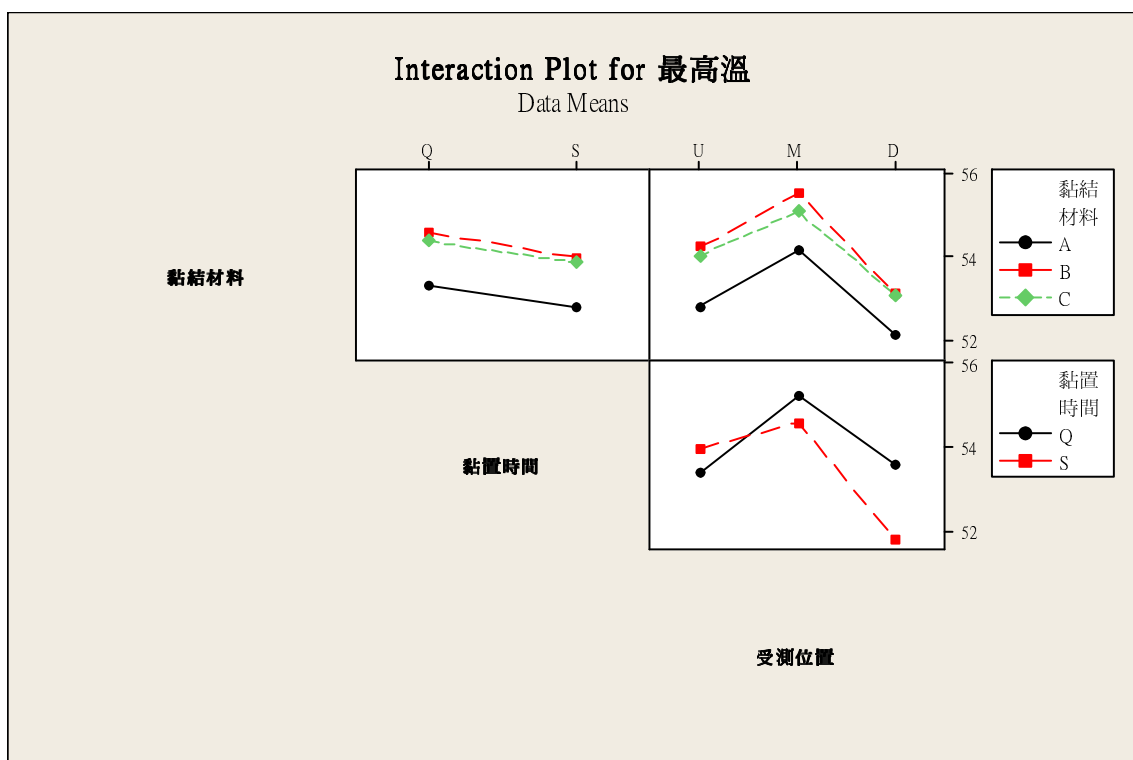


圖 4-37 反應值最高溫交互作用分析圖

資料來源：本研究分析整理

首先觀察圖 4-37 反應值最高溫交互作用分析圖：

1. 黏結材料與黏置時間交互作用中，A、B、C 種黏結材料都是在黏置時間 Q 水準(15 分鐘內)時，有較大最高溫反應值的現象，

但 B、C(1:2 水泥砂漿摻海菜粉、益膠泥)二者幾乎重疊差異不大。

2. 黏結材料與受測位置交互作用中，三種黏結材料皆以 M(中排)受測位置有最高溫反應值，同樣的 B、C 二者差異不大。
3. 黏結時間與受測位置交互作用中，以 M(中排)受測位置有最高溫反應值，但受測位置 U(上排)之最高溫為黏置時間 S(慢)者，規則性不似 M、D(中、下排)之最高溫為黏置時間 Q(快)者。

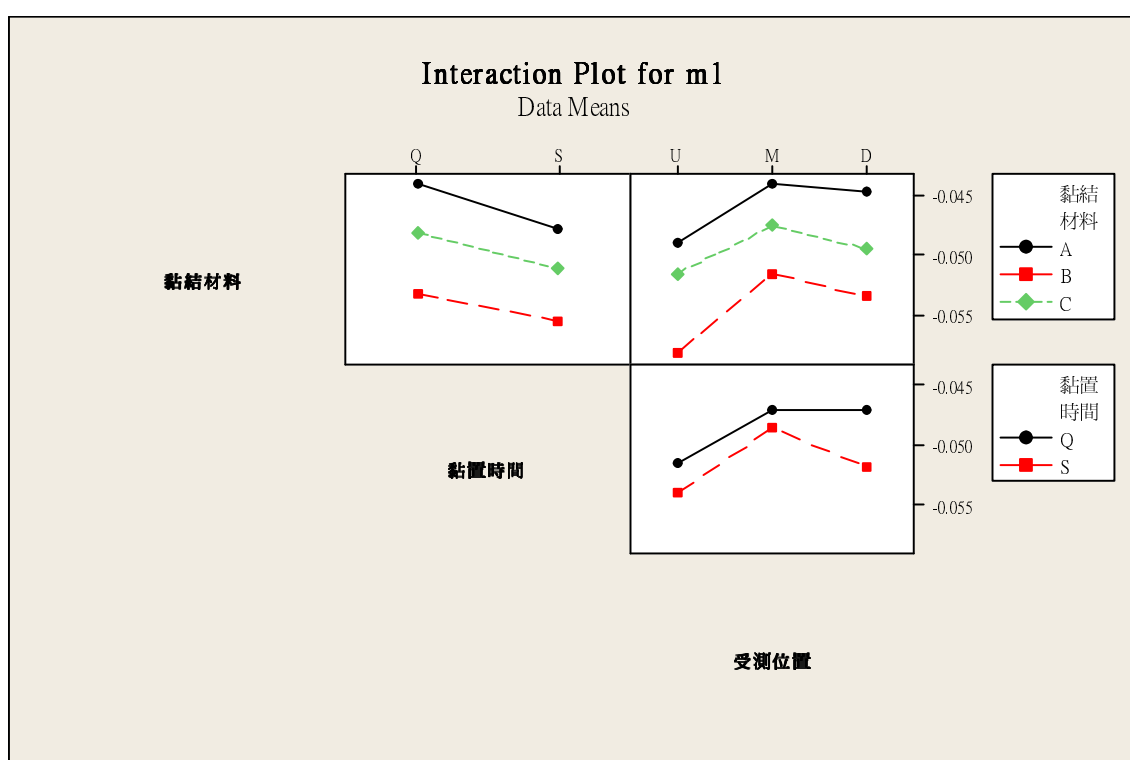


圖 4-38 反應值 m1 交互作用分析圖

資料來源：本研究分析整理

其次觀察圖 4-38 反應值 m1 交互作用分析圖：

1. 黏結材料與黏置時間交互作用中，A、B、C 種黏結材料都是在黏置時間 Q 水準(15 分鐘內)時，有較大 m1 反應值的現象，而且頗具規則性，差異明顯。
2. 黏結材料與受測位置交互作用中，三種黏結材料皆以 M(中排)受測位置有較高 m1 反應值，而且頗具規則性，差異明顯。。

3. 黏結時間與受測位置交互作用中，皆以 M(中排)受測位置有較高 m1 反應值，但黏置時間 Q(快)者在受測位置 M、D(中、下排)之 m1 反應值近似，鑑別能力差。

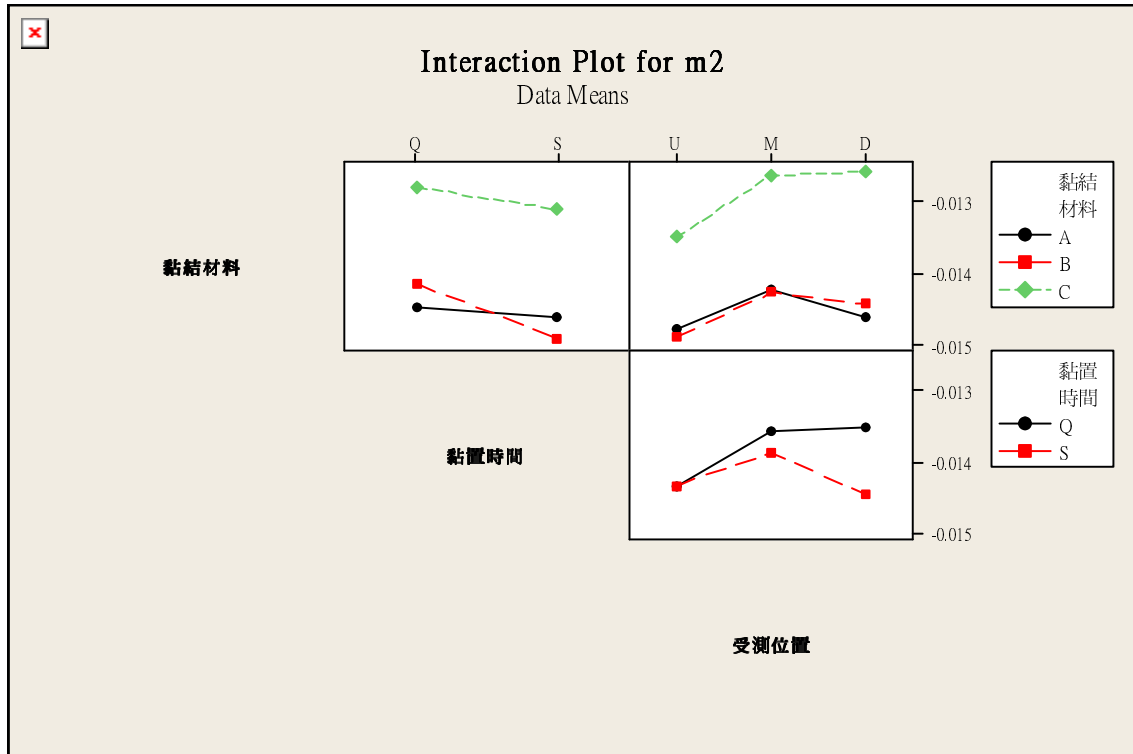


圖 4-39 反應值 m2 交互作用分析圖

資料來源：本研究分析整理

接著觀察圖 4-39 反應值 m2 交互作用分析圖：

1. 黏結材料與黏置時間交互作用中，A、B、C 種黏結材料都是在黏置時間 Q 水準(15 分鐘內)時，有較大 m2 反應值的現象，而 A、B 二種材料不具規則性且差異小，惟獨黏結材料 C(益膠泥)不論黏置時間為何，m2 反應值與 A、B 二種黏結材料差異頗大。
2. 黏結材料與受測位置交互作用中，A、B 二種黏結材料皆以 M(中排)受測位置有較高 m2 反應值，且 m2 反應值近似鑑別能力差；獨黏結材料 C(益膠泥)在受測位置 D(下排)時有稍大之 m2 值，而且不論受測位置為何，m2 反應值與 A、B 二種黏結材料差異頗大。

3. 黏結時間與受測位置交互作用中，黏置時間 Q、S(快、慢)二者規則性不同。黏置時間 Q 在受測位置 M、D(中、下排)之 m2 反應值近似，鑑別能力差。

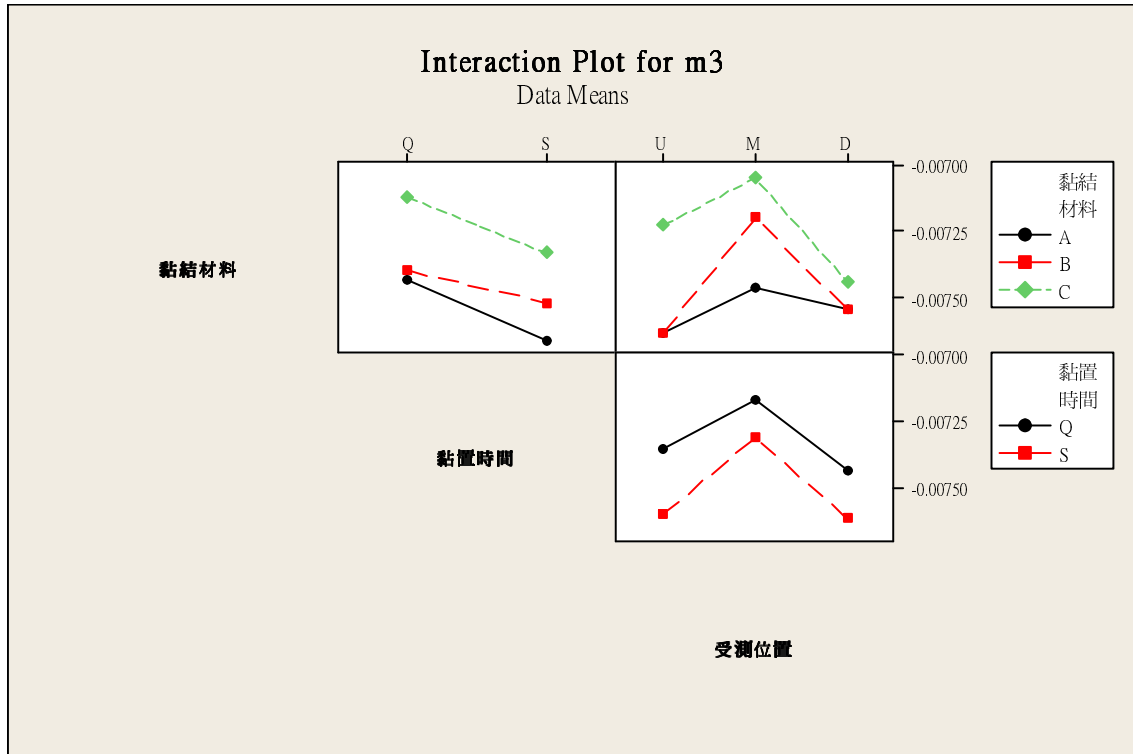


圖 4-40 反應值 m3 交互作用分析圖

資料來源：本研究分析整理

最後觀察圖 4-40 反應值 m3 交互作用分析圖：

1. 黏結材料與黏置時間交互作用中，A、B、C 種黏結材料都是在黏置時間 Q 水準(15 分鐘內)時，有較大 m3 反應值的現象，而 A、B 二種材料差異較小，惟獨黏結材料 C(益膠泥)不論黏置時間為何，m3 反應值與 A、B 二種黏結材料差異頗大。
2. 黏結材料與受測位置交互作用中，三種黏結材料皆以 M(中排)受測位置有較高 m3 反應值，但黏結材料 B 在受測位置 U、D(上、下排)時有稍大之 m3 值與黏結材料 A 一樣，不具鑑別能力。
3. 黏結時間與受測位置交互作用中，黏置時間 Q、S(快、慢)二者又恢復規則性，均在受測位置 M(中排)有較高之 m3 反應值。

第五章 結論與建議

為因應國內既有高層建築物外牆磁磚系統檢測的需求，如何應用紅外線熱影像檢測技術具有全面性、非破壞性、遠距非接觸式的檢測優點，先期探討未來實際檢測外牆磁磚系統表面的溫度特徵。

為了模擬實際外牆磁磚系統，本研究選用國內習用之磁磚黏結材料有水泥砂漿、水泥砂漿拌合海菜粉及專用磁磚黏著劑益膠泥。因為加速老化實驗必須要有長時間模擬的關係，本次研究實驗先以另一可能影響檢測結果之外牆位置高低變化，結合施工影響因素黏置時間等三種實驗因子，模擬製作之外牆磁磚系統試體，養護後進行紅外線熱影像檢測。

在實驗設備方面，為了改進本研究前期以恆溫恆濕箱加熱試體，再接受紅外線熱像儀檢測的程序，有升溫及溫度衰減起始階段溫度下降快速之時間落差階段無法檢測的缺點。本年度設計製作紅外線加熱燈箱、自走車，及可彈性調整之試驗架，嘗試增進檢測系統之效能。

同時因為紅外線熱影像法為遠距非接觸式的非破壞性檢測方法，通常有精確性、可信的疑慮，因此本研究從實驗因子變數的篩選階段、試體數量、檢測配置等導入具統計原理的實驗設計方法，以增進實驗成果數據之分析及意義。

第一節 結 論

本研究外牆磁磚系統試體置於重型可彈性調整試體架，接受紅外線加熱燈箱往復 100 次循環之均勻加熱；加熱時升溫階段所得模擬脫層缺陷點計 18 點，計 1,800 筆溫度數據，因為熱影像圖顯示位置清晰，並顯示時間區段明確，已可清楚說明。因此，並未數值化擬合及統計分析。

溫度自然衰減階段，各組試體均同時接受紅外線熱像儀之熱影像檢測，將所得紅外線熱影像擷取出 54 點健全部位之磁磚表面歷時溫度計 3,888 筆溫度數據，全部運用所撰寫的程式予以擬合，所得三段方程式有 3 特徵值，併同每溫度點起始最高溫度，共 4 種反應值納入實驗設計之變異數、殘差、主效應、交互作用等四種相關統計分析。

本研究相關研究心得及實驗分析成果，茲擇要說明如下：

一、文獻回顧方面

1. 外牆表面磁磚因為包括各層材料及黏結劑、施工方法及受到環境影響的不同，可說形成已複雜的外牆磁磚系統。
2. 外牆磁磚系統缺陷大致包括了營造與使用階段初期所發生的問題，原因可能來自設計、施工階段對材料、施工方法步驟的錯誤所產生。
3. 建築物在使用階段，外牆磁磚受到長期溫溼度循環，甚至環境汙染等影響而產生老劣化現象，而影響因素彼此也存在交互作用，使耐久性能更為縮短。
4. 紅外線熱影像分析檢測技術，歐美、日本地區除了持續於電力設備方面為成熟之檢測應用外，近年來建築物也大量應用紅外線熱影像技術於建築缺陷，如漏水、建築外殼空調洩漏及外牆磁磚黏結脫層的檢測分析。
5. 外牆磁磚掉落涉及人身公共安全，受到國內外普遍重視，已有相當多學者投入相關檢測方法的研究。而日本在紅外線熱影像技術於外牆磁磚剝落之檢測，更是具體形成制度與產業規模。

二、實驗規劃方面

1. 結合本所既有紅外線熱影像儀並設計主動式往復均勻加熱器及重型可調試驗架，模擬成外牆磁磚系統，於受熱條件一致下進行紅外線熱影像檢測。

2. 運用品質管理手法，系統化分析外牆磁磚老劣化之成因，包括材料、施工、環境等類型原因，找出材料、施工及環境等對長期耐久性具重要影響因素。
3. 導入實驗設計方法獲得影響因子及其水準數、試體數量、配置等具統計意義之實驗方法。

三、實驗過程方面

1. 實驗室空間雖已人員淨空，並且門窗關閉，然而可能空間過大自然對流仍然存在，所有試體雖然一致排列整齊均勻加熱，但仍有位置上下對溫度加熱或衰減速度的影響。
2. 實驗過程發現外牆磁磚系統在實驗室條件下，紅外線加熱燈箱加熱 2 分鐘後，紅外線熱影像圖中即可觀察出預埋之脫層缺陷點位置。
3. 試體加熱階段第 37~69 分鐘之間的紅外線熱影像圖中，可觀察出顏色對比最大(即與健全部位有最大溫度差)預埋之脫層缺陷點位置。
4. 外牆磁磚系統在溫度最高點附近及之後的溫度衰減階段無法觀察出脫層缺陷點位置。
5. 從紅外線熱影像儀檢測過程中，發現試體邊緣因未加裝絕緣材料，熱流自表面磁磚與混凝土基材間之黏結材料薄層，滲透嚴重(本研究試體設定四周邊緣磁磚為絕緣區域，因此並未自此區域擷取溫度資料，但仍發現熱流影響迅速)。

四、實驗分析成果

1. 實驗分析分析階段，整體而言發現溫度衰減階段每一溫度擷取點之歷時溫度分佈，分三段擬合之方程式最為妥適；由此可獲得三段方程式特徵值 m 。
2. 上述三個特徵 m 值併同最高溫做為實驗設計之反應值，再藉由變異數及相關效應、交互作用分析等，發現最適合做為代表外

牆磁磚系統試體特徵值者為衰減階段初始 5 分鐘之擬合方程式特徵值，最具識別黏結材料、黏置時間及試體位置的規則性。

3. 以上發現說明了未來實際進行建築物外牆磁磚系統之非破壞性檢測時，若欲偵測脫層缺陷，最好選擇建築物早上受太陽照射之溫度上升階段；而若要鑑別不同黏結材料、不同黏置時間等外牆磁磚系統的表面溫度特徵，可以溫度衰減階段初始 5 分鐘之擬合方程式特徵值 m 為比較依據。

五、其他

經查國內外文獻，尚未發現有本研究結合紅外線熱影像檢測技術，運用數值分析及實驗設計方法，規劃探討外牆磁磚表面溫度特徵之研究；本研究應是首先運用具統計分法，分析外牆磁磚系統中不同黏結材料，在不同黏置時間及不同位置條件下，紅外線熱影像法檢測出來數據及特徵值，因此具有可信的結論。

第二節 建議

建議一

延續本年度實驗設計規劃構想及方法，建議進行紅外線熱影像檢測外牆磁磚系統黏結材料老化及黏結強度比對實驗研究：立即可行建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：無

世界各地建築物外牆習用磁磚為飾面裝修材料的國家，為了人身安全，以及建築物使用管理維護需求，均努力探討如何檢測外牆磁磚的黏結及耐久性能，其方法概分為磁磚拉拔力之破壞性檢測方式，或是利用打診法分析其敲擊回傳訊號。但是因為必須貼近牆面作業，對高樓而言作業具有危險性且成本極高。

而本年度針對紅外線熱影像檢測建築物外牆磁磚系統表面溫度特性，所進行的實驗及檢測研究分析，發現經由數值擬合方程式特徵值，及實驗設計的統計驗證，已經說明紅外線熱影像技術已經具有檢測外牆磁磚系統不同黏結材料之可行性，因此建議應用此一技術級實驗方法，繼續探討檢測外牆磁磚系統黏結材料受環境老化能力之可行性探討。

此一技術若開發成功，不僅具有進步的學術價值，同時也能提供建築物外牆磁磚老劣化安全、簡便現場檢測技術，為公共安全及建築物延長使用壽命所需管理維護做出貢獻。

建議二

未來於檢測外牆磁磚系統黏結材料受環境老化能力之可行性探討完成後，尚必須建立台灣地區紅外線熱影像檢測外牆磁磚系統老化之最佳檢測時間及應注意事項：中長期建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：無

建築物形狀、高度、座向，以及磁磚表面（如顏色、染污），表面氣流等狀態，都會影響到太陽照射時建築物牆面加熱升溫，及降溫效果，這對紅外線熱影像遠距檢測的影響程度如何，必須有累積一定實際建築物檢測資料進行統計、比對分析，才能進一步將這些變數簡化或納入計算其影響程度。

建議三

結合紅外線熱影像非破壞性檢測技術進行大型結構力學實驗之微裂縫或受力情形之遠距、全面之檢測實驗研究：中長期建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：無

結合本所力學實驗室所有 3000 噸萬能試驗機及反力牆等大型力學實驗設備，探討紅外線熱影像技術檢測實尺寸結構構件受力產生肉眼不易察覺之微裂縫分佈情形，嘗試開發遠距、全面之非破壞性檢測結構物，如橋梁、高層建築物等不容易接近檢測之構造，以提升維護管理效能，增進使用安全及結構物使用年限。

參考文獻

1. 黃秀隆，《瓷磚黏貼材料黏著強度研究》，淡江大學建築(工程)研究所，碩士論文，1984。
2. 廖國裕，《磁磚工程剝落及析晶現象之研究－利用實驗計劃法實施外牆磁磚黏著力拉力實驗－》，國立臺灣工業技術學院 工程技術研究所，碩士論文，1985。
3. 高蔡義，《建築物外牆面磚劣化原因與對策之研究-以大學學校建築為例-》，國立成功大學建築學系碩博士班，碩士論文，2000。
4. 杜萬枝，《磁磚鋪貼施工效能分析之研究》，朝陽科技大學營建工程研究所，碩士論文，2003。
5. 林宏義，《建築物外飾材施工品質之非破壞檢測》，朝陽科技大學營建工程研究所，碩士論文，2004。
6. 陳俊菁，《應用紅外線攝溫影像術檢測磁磚黏貼完整性》，朝陽科技大學營建工程研究所，碩士論文，2004。
7. 李文田，《面磚工程粘著材料之試驗與研究》，國立臺北科技大學土木與防災研究所，碩士論文，2005。
8. 戴佩宜，《以打音法從事建築外牆瓷磚非破壞檢測之研究》，國立高雄大學都市發展與建築研究所，碩士論文，2008。
9. 黃克翊，《既有 R.C. 建築磁磚外牆劣化及改修工法調查研究-以高雄市透天厝為例》，國立成功大學建築學系碩博士班，碩士論文，2009。
10. 許家豪，《建築物外牆磁磚與木構件內部缺陷檢測之研究》，國立成功大學土木工程學系碩博士班，碩士論文，2010。
11. 顏主恩，《面磚工程施工中影響混凝土與水泥砂漿黏著強度因子之研究》，國立高雄第一科技大學營建工程研究所，碩士論文，2010。

12. 梁若暉、林谷陶，《磁磚工程現況及發展課題之研究》，內政部建築研究所自行研究，1999。
13. 魏衍、陳振川、莊東漢，《建材耐久性規範調查與檢測研究規劃》，內政部建築研究所委託研究，2000。
14. 何明錦、吳毓勳、石正義，《建築飾材技術規範之研究~(二)磁磚工程設計與施工規範解說》，內政部建築研究所協同研究，2001。
15. 盧琿瑞，《高層集合住宅外牆磁磚剝落原因與解決對策探討（一）》，內政部建築研究所自行研究，2010。
16. 黃兆龍，《瓷磚工程品質控制概論》，詹氏書局，1985。
17. 陳修新、陳太農，《國產建築用陶、瓷面磚耐久性能之研究》，空間雜誌特別增刊:建築技術 3，1992。
18. 黃仁堯，《施工要領書》，1993。
19. 陳正鈞，《建築材料適用性分析》，詹氏書局，1996。
20. 日本建築仕上學會編，石正義譯，《防止外牆剝落之設計、施工指南與解說》，詹氏書局，1997。
21. 林世堂，《外牆瓷磚剝落原因及對策探討》，空間雜誌特別增刊:建築技術 4，1993。
22. 林世堂，《白華現象形成及抑制對策之探討》，空間雜誌特別增刊:建築技術 6，1994。
23. 莊國義，《壁磚黏著砂漿工作性之探討》，中華科技大學建築工程與環境設計研究所，碩士論文(初稿)，2011。
24. 公共工程施工綱要規範 第 09310 章 瓷磚。
25. PORE-FENG SUN*, J. A. SAUER and E. G. NAWY 《Properties of Epoxy-Cement Mortar Systems》，Rutgers University, New

- Brunswick, N. J. (U.S.A.) , Materials Science and Engineering, 18 (1975)。
26. F. MORGANTI, M. MAGCHETT, G. REIBALDI , 《EFFECTS OF MOISTURE AND THERMAL AGEING ON STRUCTURAL STABILITY OF SANDWICH PANELS》, Acta Astronautica Vol. II .No. 7 , 1984 。
26. R. D. Adams and P. Cawley , 《A review of defect types and nondestructive testing techniques for composites and bonded joints》, NDT International Volume 21 Number 4 August , 1988 。
28. Haskins, J. F. , 《Thermal aging》, SAMPE Journal Vol25 No 2 March~April , 1989 。
29. R. MacVicar, L.M. Matuana , J.J. Balatinecz , 《Aging mechanisms in cellulose fiber reinforced cement composites》, Cement & Concrete Composites 21 , 1999 。
30. D. R. E. Devroey, M. Homma , 《 Blends of silyl-terminated polyethers and epoxides as elastic adhesives 》 , International Journal of Adhesion & Adhesives 21 , 2001 。
31. Anne Schieffera, Jean-Francois Maire, David Leveque , 《 A coupled analysis of mechanical behaviour and ageing for polymer-matrix composites 》 , Composites Science and Technology 62 , 2002 。
32. Chi Qianping , 《A Study of Nature Storing and Accelerated Hydrpthermal Aging of S2/TDE 85 Composites 》 , FIBER COMPOSITES No. 3 , 2002 。
33. R. C erny, M. Totova, J. Podebradska, J. Tomanb, J. Drchalova, P. Rovnan ı kova , 《 Thermal and hygric properties of Portland cement mortar after high-temperature exposure

- combined with compressive stress 》, Cement and Concrete Research 33 , 2003 。
34. M. C. S. Ribeiro, P. R. Novoa, A. J. M. Ferreira, A. T. Marques , 《Flexural performance of polyester and epoxy polymer mortars under severe thermal conditions》 Cement & Concrete Composites 26 , 2004 。
35. E. T. Stepkowska, J. M. Blanes, F. Franco, C. Real, J. L. Pérez-Rodríguez , 《Phase transformation on heating of an aged cement paste》, Thermochemica Acta 420 , 2004 。
36. V. P. de Freitas, A. Vaz Sá , 《 CEMENTITIOUS ADHESIVES PERFORMANCE DURING SERVICE LIFE》, 10DBMC International Conférence On Durability of Building Materials and Components LYON [France] 17-20 April , 2005 。
37. C. Y. Yiu, D. C. W. Ho, S. M. Lo , 《Weathering effects on external wall tiling systems》 Construction and Building Materials 21 , 2007 。
38. Karim Benzarti, Sylvain Chataigner , Marc Quiertant, Céline Marty, Christophe Aubagnac , 《Accelerated ageing behaviour of the adhesive bond between concrete specimens and CFRP overlays》, Construction and Building Materials 25 , 2011 。
39. Thiti Mahaboonpachai, Yusuke Kuromiya, Takashi Matsumoto 《Experimental investigation of adhesion failure of the interface between concrete and polymer-cement mortar in an external wall tile structure under a thermal load》, Construction and Building Materials 22 , 2008 。
40. F. Inoue, S. Doi, T. Okada, Y. Ohta , 《Development of Automated Inspection Robot and Diagnosis Method for Tile

- Wall Separation by Wavelet Analysis》，26th ISARC Annual international symposium, 2009。
41. [http://www.ksk-tile.com.tw/information/pro work.htm](http://www.ksk-tile.com.tw/information/pro%20work.htm)。
42. 天野勳、山川和夫、伊藤秀和等，《特殊建築物の外壁診断における赤外線調査ガイドライン》，建設の施工企画(日本)，2009. 2.
43. 蕭江碧、楊仲家、卓世偉等，《混凝土耐久性試驗研究-氯離子滲入(速率)之探討》，內政部建築研究所協同研究，2004。
44. 楊仲家、卓世偉、江慶堂、林谷陶，《塗裝材料對水泥質基材耐候性能改善之試驗研究》內政部建築研究所，2009。
45. 林建宏、楊仲家、卓世偉，《屋頂隔熱材料於水泥基材耐久性探討之研究》，內政部建築研究所，2010。
46. 林谷陶，《紅外線熱影像法於水泥砂漿材料老化溫度特性之檢測研究》，內政部建築研究所，2010。
47. 中國國家標準 CNS12611。
48. D. M. McCann, M. C. Forde，《Review of NDT methods in the assessment of concrete and masonry structures》，NDT&E International 34 (2001) p71~84。
49. 張建奇、方小平，《紅外物理》，西安電子科技大學出版社，2007. 07(2 版)
50. Walter Wild，《Application of infrared thermography in civil engineering》，Proc. Estonian Acad. Sci. Eng., 2007。
51. 張公緒等，《品質管理》曉園出版社，1996。
52. 鄭春生，《品質管理_現代化觀念與實務應用》，全華圖書，2010。

53. 黎正中 譯，《實驗設計與分析》，(Montgomery, Design and Analysis of Experiments 7/e)，高立圖書，2010。
54. 林李旺，《快速精通實驗設計_邁向 Six Sigma 的關鍵方法》，全華圖書，2009。
55. FLIR B660 使用手冊。
56. Proceq DYNA Z15 使用說明書。
57. 王佑萱，《屋頂建材隔熱性能實測與其經濟效益分析研究（一）》，內政部建築研究所，2005。
58. 耿晨企業股份有限公司紅外線石英加熱燈組規格說明書。
59. 李祥，《熱傳學分析》，鼎茂圖書，2007。

附錄 A 磁磚掉落媒體報導案例彙整

案例資料表	
案例編號	001
地點	新北市 土城區 板橋
建築物概要	板橋地方法院行政大樓與法庭大樓 完工年數:30 年
產生劣化時間	2011.06.22 (下午)
劣化狀況概述	大樓外牆牆面磁磚大量剝落，由於建築老舊壁磚黏著層已老化，並且天氣炎熱導致壁磚熱脹冷縮，產生剝落現象發生。
資料來源	中央社新聞 2011/06/22 15:59

案例資料表	
案例編號	002
地點	桃園
建築物概要	公寓住宅 完工年數:5 年
產生劣化時間	2010.04.13
劣化狀況概述	磁磚牆面掉落，經人員檢查瓷磚發現，瓷磚內部大多為空心，只有小面積的水泥砂漿固定，較不同於一般正常的施工方式，由於沒有法規能夠規範建商，然而產生糾紛。
資料來源	自由時報新聞 2010/4/13 21:05

案例資料表	
案例編號	003
地點	高雄
建築物概要	八層集合住宅
產生劣化時間	2010.06.10(下午)
劣化狀況概述	壁磚掉落前先刮起一陣強風，瓷磚接著剝落，造成多輛車輛損傷，由於大樓是新建大樓，可能是施工不良，使強風將整片牆面磁磚吹落。
資料來源	台視新聞 2011/6/10

案例資料表	
-------	--

紅外線熱影像法於水泥砂漿材料老化溫度特性之檢測研究

案例編號	004
地點	台北市
建築物概要	捷運文湖線東湖站
產生劣化時間	2010. 02. 22
劣化狀況概述	外牆磁磚大片掉落，經相關人員調查，發現黏貼壁磚時需考量氣候及施工方式，由現場狀況研判可能是磁磚未即時黏上，或黏接層未乾，導致脫落。
資料來源	大台北新聞、今日新聞網

案例資料表	
案例編號	005
地點	桃園
建築物概要	集合住宅 完工年數:5 年
產生劣化時間	2011 年 01 月 17 日
劣化狀況概述	寒流來襲時，瓷磚受到熱脹冷縮情形下，導致劇烈膨脹收縮而破裂，並且此案由於施工廠商所留設伸縮縫過小，導致磁磚沒有伸縮縫的空間所造成斷裂。(磁磚設計廠商張雍胤所判斷)
資料來源	TVBS 新聞

案例資料表	
案例編號	006
地點	苗栗
建築物概要	商業大樓 完工年數:5 年
產生劣化時間	2010 年 12 月 28 日
劣化狀況概述	建築師張仲良表示，這起意外確實可能與天候因素有關，因為早期黏貼磁磚的黏著劑隨著時間流逝，黏著力會逐漸減退，造成老舊磁磚脫落，一塊脫落後又造成周圍磁磚滲水，因此一塊接著一塊陸續脫落。
資料來源	自由時報

案例資料表	
案例編號	007

地點	宜蘭
建築物概要	消防局大樓 完工年數:27 年
產生劣化時間	2011 .1.19
劣化狀況概述	當時天氣寒冷，日夜溫差大，老舊大樓壁磚因外牆磁磚冷縮熱脹加遽，且黏著層老化，導致陸續有磁磚掉落。
資料來源	蘋果日報、中時電子報

案例資料表	
案例編號	008
地點	高雄
建築物概要	甲仙國小
產生劣化時間	2010.03.04
劣化狀況概述	高雄縣甲仙鄉上午 8 點 18 分發生芮氏規模 6.4 的地震，由於地震將外牆瓷磚震裂，並且開始掉落。
資料來源	中廣新聞網

資料來源：莊國義，《壁磚黏著砂漿工作性之探討》，中華科技大學建築工程與環境設計研究所碩士論文(初稿)，2011。

附錄 B 公共工程施工網要規範 第 09310 章 瓷磚

1. 通則

1.1 本章概要

說明以黏土或陶土為製成之瓷磚，包括材料、鋪設與檢驗之相關規定。

1.2 工作範圍

依契約及設計圖樣上註明鋪貼瓷磚處，包括牆面、地坪及打底、填縫等工項。

1.3 相關章節

1.3.1 第 01330 章--資料送審

1.3.2 第 01450 章--品質管理

1.3.3 第 03310 章--結構用混凝土

1.3.4 第 04061 章--水泥砂漿

1.4 相關準則

1.4.1 中華民國國家標準 (CNS)

- | | |
|---------------------|---------|
| (1) CNS 3298 R2064 | 陶質壁磚 |
| (2) CNS 9739 R2163 | 石質地磚 |
| (3) CNS 9740 R2164 | 瓷質地磚 |
| (4) CNS 9741 R2165 | 石質壁磚 |
| (5) CNS 9742 R2166 | 瓷質壁磚 |
| (6) CNS 9743 R2167 | 瓷質馬賽克 |
| (7) CNS 10631 R2172 | 擠出面磚 |
| (8) CNS 13431 R2199 | 窯燒花崗石面磚 |

1.4.2 美國國家標準協會 (ANSI)

- | | |
|-----------------|------------------|
| (1) ANSI A108.5 | 硬底卜特蘭水泥砂漿或乳膠、卜特蘭 |
|-----------------|------------------|

水泥砂漿瓷磚安裝法。

- | | |
|------------------|-------------------|
| (2) ANSI A108.10 | 瓷磚之砂漿塗裝 |
| (3) ANSI A118.4 | 乳膠卜特蘭水泥砂漿/面磚黏著劑試驗 |
| (4) ANSI A118.6 | 瓷磚用砂漿 |
| (5) ANSI A137.1 | 美國國家瓷磚標準規範 |

1.5 品質保證

依第 01450 章「品質管理」之規定。

1.5.1 同一型式及顏色之瓷磚應來自同一生產商。

1.5.2 實體樣品

- (1) 提送施工製造圖及樣品以後，於施工前，應先於現場擇一地
點做實體樣品，至少須有[3m×3m][]面積。
 - A. 應能顯示整體工程完成後表面顏色、材質及工作水準。
 - B. 應包括核定之施工製造圖所規定之材料、固定件及其他
系統組件與勾縫材料。
- (2) 實體樣品施工之位置及面積應依照工程司之指示。
- (3) 實體樣品施工完成後，應先獲得工程司之核可，始得進行正
式鋪設工作。不合格之實體樣品鋪面應依指示拆掉重做。
- (4) 工作未完成前，不可改變、移動或拆毀實體樣品鋪面。核可
之實體樣品鋪面可保留作為永久性工程之一部分，並作為其
餘瓷磚工作之品質標準。

1.5.3 拉拔試驗

承包商無論採用何種化學摻料（黏著劑）做為瓷磚貼著之材料，至少須通過拉拔
試驗證明其黏著力不小於[10kgf/cm²][]，必要時工程司可要求現場測試。

1.5.4 產品證明

瓷磚生產商應提出文件，證明具有生產合格品質製品及技術之能力並能充分供應
本工程所需之瓷磚。

1.6 資料送審

須符合第 01330 章「資料送審」之規定。

1.6.1 品質管理計畫書

1.6.2 施工計畫

1.6.3 提送下列資料：

(1) 生產廠商之技術資料及鋪設說明書。

(2) 施工製造圖：

A. 提出大比例之剖面圖及鋪面大樣圖，包括固定之方法及間距，本章工作所需之材料，並標明與其他工作有關的項目。

B. 施工製造圖應包括平面及立面圖，顯示瓷磚之佈置及分割，配合現場實際尺度，標示磚縫、伸縮縫、分割縫等位置，顯示不同瓷磚之顏色及圖案。

(3) 樣品：各種瓷磚應提送樣品[3 份][]。

(4) 瓷磚備品

A. 按每類瓷磚總數之[2%][]。

B. 依工程司指示儲存瓷磚備品於業主或使用單位指定之處所。

1.7 運送、儲存及處理

1.7.1 運送或儲存時，產品須置於原包裝內，在使用之前，需有封條及標籤。採取適當措施以防止對產品造成損壞或污染。

1.8 現場環境

1.8.1 鋪貼時及施工後應維持周圍環境條件及保護工作，使其符合標準或說明書之規定。

1.8.2 施工中瓷磚施作區應維持溫度不低於[10°C][]，但若施工標準或說明書要求較高溫度時，則以其要求為準。

2. 產品

2.1 材料

2.1.1 瓷磚材料之型式及等級應符合設計圖，並應符合[CNS][]之標準。

2.1.2 用於屋外之壁磚及地磚吸水率符合[CNS][]標準。

2.1.3 瓷磚應與核准之樣品相同。

2.1.4 水泥砂漿

依第 09220 章「水泥砂漿粉刷」打底 1：3 水泥砂漿。

2.1.5 若無特別指定，採用一般表面上釉之規定

(1) 瓷磚體係由黏土，燒磨土或其他易熔之材料，燒成堅硬均勻之產品。

(2) 瓷磚邊緣應成一直線，角度為 90°直角，容許許可差為 $[\pm 1.5\text{mm}]$ []。除設計圖說指定為外圓角磚外，瓷磚邊應方正，不得削薄或圓邊。

(3) 釉料

A. 半透明體，與核准之樣品相同。

B. 壁磚之釉料顏色詳設計圖並與核准之樣品相同。

C. 踢腳磚之釉料顏色詳設計圖並與核准之樣品相同。

D. 釉料之光澤除另有規定外，應為平光面。

E. 除露面以外，瓷磚邊緣可為非釉面。

2.1.6 外牆瓷磚：

(1) 瓷磚許可差：長度、寬度不得超過 $[1.5\text{mm}]$ []。

(2) 厚度及彎曲不得超過 $[1.5\text{mm}]$ []。

(3) 瓷磚之吸水率應在 $[3\%]$ [] 以下。

(4) 瓷磚之抗曲強度試驗：每 1cm 之彎曲破壞負荷重應 $[20\text{kgf/cm}]$ [] 以上。

(5) 磨耗減量：[0.06g][]以下。

2.1.7 屋內瓷磚：

- (1) 克硬化磚、面磚、花崗磚等所有陶瓷磚之規格、尺度及質感顏色均依圖樣規定或工程司之指示辦理。各種材料均須大小厚度一致、轉角方正、色澤均勻、表面耐磨堅硬且無缺角、碰傷、彎翹等。
- (2) 石英磚須符合[CNS 9740 R2164][]，石英壁磚須符合[CNS 9742 R2166][]之規定。

2.1.8 黏貼砂漿底料

- (1) 設計圖說所示為卜特蘭水泥砂漿，則使用下列底料：
 - A. 使用乳膠卜特蘭水泥砂漿/面磚黏著劑試驗或外加化學摻料、黏著劑等，應依據生產商說明書之規定。

2.1.9 勾縫材料

- (1) 勾縫材料應按瓷磚之種類而設計，由卜特蘭水泥及化學摻料構成。
- (2) 乳膠卜特蘭水泥砂漿/面磚黏著劑試驗應為由卜特蘭水泥、級配粒料、色料、化學摻料及乳膠化學摻料等所構成，依據生產商之說明及規定。
 - A. 砂漿勾縫化學摻料應與乳膠卜特蘭水泥砂漿/面磚黏著劑試驗中之化學摻料相容。
- (3) 砂漿之顏色
 - A. 顏色應詳設計圖色表所示與核准之樣品相同。

2.1.10 其他材料

- (1) 填縫劑
 - A. 填縫劑及相關材料之施作應依第 07921 章「填縫材」之規定。
 - B. 填縫劑應為單劑型或為矽氧聚合物。

C. 填縫劑之顏色詳設計圖色表所示與核准樣品相同。

(2) 瓷磚清潔劑應為由瓷磚及填縫料生產商或由工程司核可方得使用。

3. 施工

3.1 準備工作

3.1.1 查閱與鋪貼瓷磚有關之鄰近工作進度及施工程序。與鄰近工作事先取得協調並密切配合。

3.1.2 依核准之施工製造圖施作。

3.1.3 鋪貼前應先檢查施工面是否備妥，並將施工面清除乾淨。

3.1.4 打底之水泥粉刷詳第 09220 章「水泥砂漿粉刷」之 1：3 水泥砂漿之規定。

3.1.5 放樣：先求出施工面之中間基準線並按瓷磚之規格放樣。

3.2 瓷磚鋪貼

3.2.1 鋪貼前應先將施工面掃淨，充分潤濕，縱橫方向務求正直，磚縫亦應平直，台度上端除特別規定者外用單邊圓，如遇柱陽角處，應用雙邊圓。

3.2.2 依圖示之圖案鋪貼瓷磚，務使磚縫寬度均勻。

瓷磚之顏色及圖樣及搭配方式應依核可之施工製造圖及核准之樣品所示。

3.2.3 依圖說所示或由承包商註明於施工製造圖上送工程司審核設置伸縮縫或其他填縫劑接縫。

3.2.4 黏著劑之使用依核准之技術資料及說明施工。

3.2.5 嵌縫：鋪貼後應配合黏著劑之硬化強度並根據核准之技術資料及施工說明書施工。除另有規定外勾縫寬度不得小於[3mm][]或大於[12mm][]，顏色須送樣經工程司認可後方得使用。

3.2.6 磚面上應擦抹乾靜，不得留有泥漿，凡遇有管洞之處必須照管洞

形式開鑿後鑲入。

- 3.2.7 瓷磚完工至少[48 小時][]後方可勾縫。
- 3.2.8 瓷磚勾縫應符合本章所引用之鋪設標準，且使用符合規範之勾縫材料。
 - (1) 勾縫材料之拌和及施作應依據生產商之說明書。
- 3.2.9 牆面磚應依設計圖說所示之種類鋪設，並依照打底方法，視牆面狀況使用適合之砂漿。
- 3.2.10 許可差：鋪貼完成之表面，於任意之 3m 圍內許可差不得大於[±3mm] []。
- 3.2.11 瓷磚鋪貼應自中間基準線向左右兩邊鋪貼，並予以適當調整，原則上應為整磚，經工程司核可才可使用。裁切瓷磚並應減至最少（一般規定最後不足 1 塊而需裁切者，裁切後不得小於半塊）。
- 3.2.12 瓷磚裁切應使用[動力切具][]裁切，切口應平順整齊。
- 3.2.13 伸縮縫：廁所、廚房、茶水間等常處於潮濕之場所，其所有轉角及伸縮縫均應做防水填縫處理。鋪貼時須將乳膠砂漿均勻塗抹於施工面及面磚或其背溝中，使其確實黏著於施工面上。
- 3.2.14 濕度、溫度變化較大之場所，應按瓷磚及水泥砂漿之伸縮率、吸水率，估算適當之伸縮縫分割線。鋪貼後以木槌或橡膠槌輕敲，一面調整面磚位置及縫寬，同時增加其黏著力。
- 3.2.15 地坪瓷磚施工應依圖示洩水方向及坡度施工，完成後不得有積水或洩水不良情形。
- 3.2.16 施工於外牆打底之水泥砂漿及填縫，勾縫材料均需使用防水劑，或採用 1：2 防水砂漿打底。

3.3. 清潔及保護

- 3.3.1 黏貼及勾縫完成後，瓷磚面應立即清洗，以免其他物質黏著其上。
- 3.3.2 完成之瓷磚面應保持乾淨，避免裂紋、缺口、破損、空隙或其他

缺點。

- 3.3.3 地坪瓷磚施工中及完成最後之勾縫，在 48 小時內該地坪應禁止踩踏。

4. 計量與計價

4.1 計量

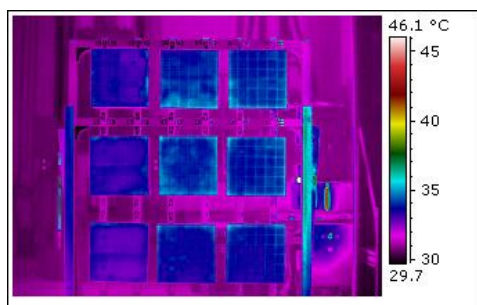
- 4.1.1 本章工作附屬之項目如填縫料及勾縫料、實體樣品鋪面、清潔與保護、底料及相關附件等將不予計量，其費用已包含於整體計價之工作項目內。
- 4.1.2 瓷磚如無特殊規定，包括打底、整平、粉刷、黏貼勾縫、瓷磚備品，按契約設計圖說所示完成之數量，牆面及地面磚按[平方公尺][]計算；踢腳磚則按不同高度以[公尺][]計量。

4.2 計價

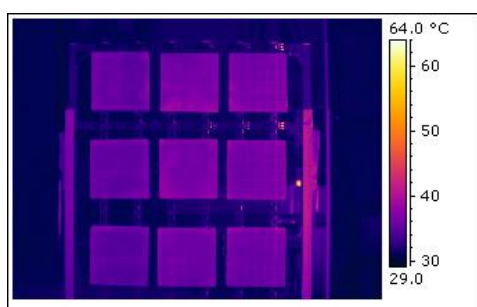
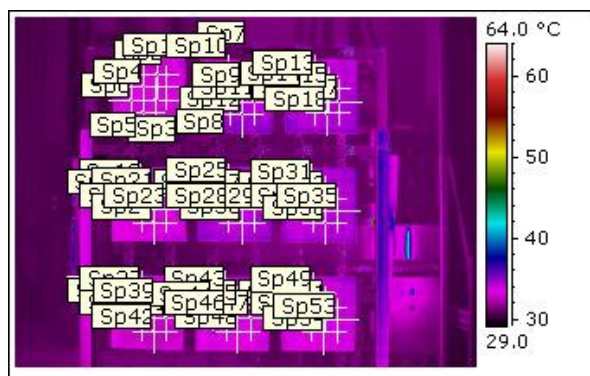
本章工作依工程詳細價目表所示項目之單價計價。

附錄 C 紅外線熱影像檢測圖及溫度擷取點

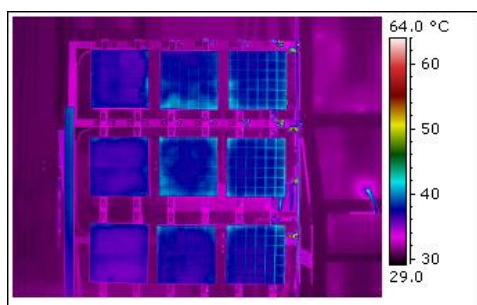
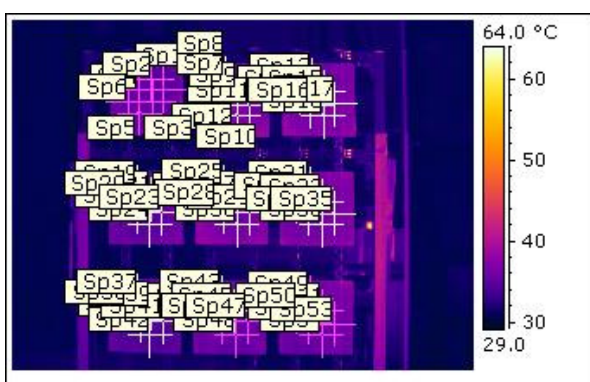
加熱溫度上升階段紅外線熱影像圖及溫度擷取點



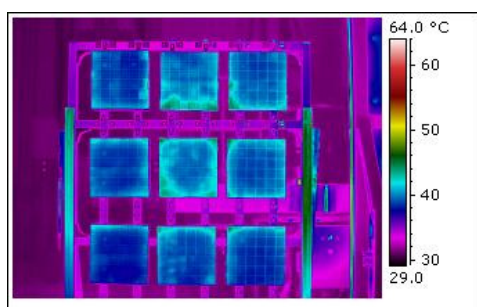
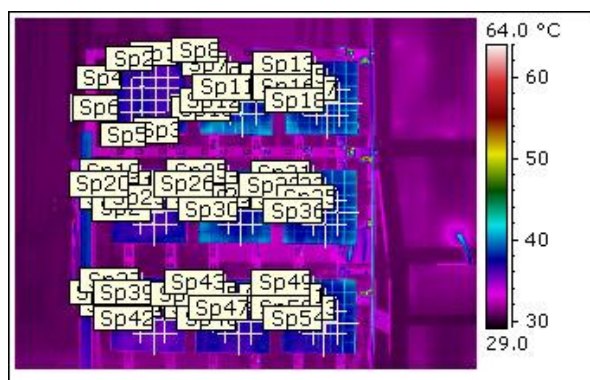
IR1462_173856



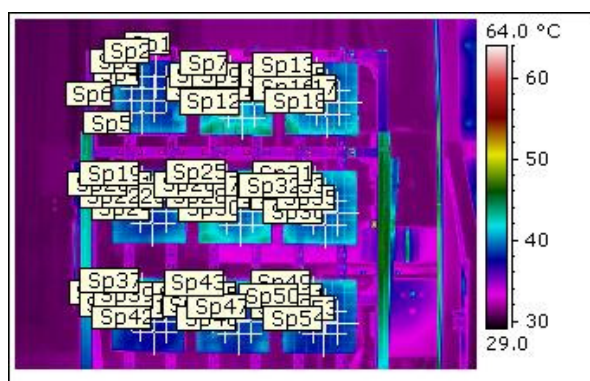
IR1463_174058



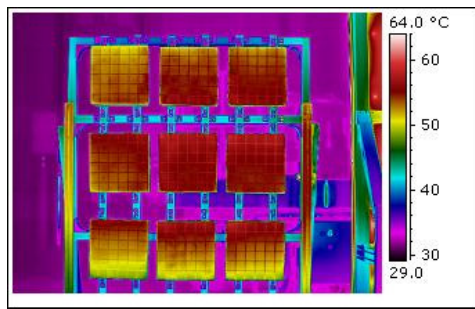
IR1464_174301



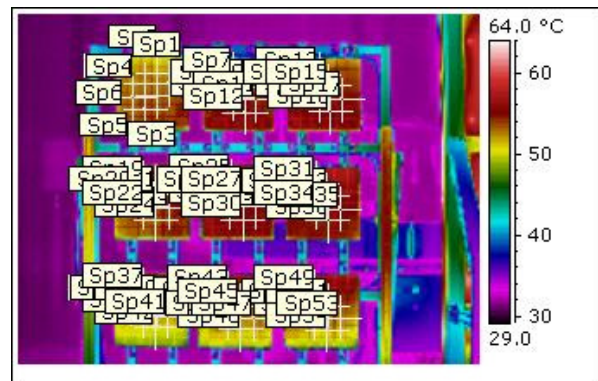
IR1469_175127



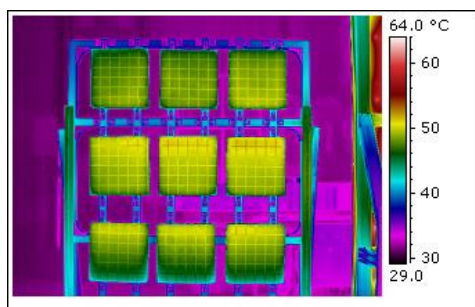
紅外線熱影像法於水泥砂漿材料老化溫度特性之檢測研究



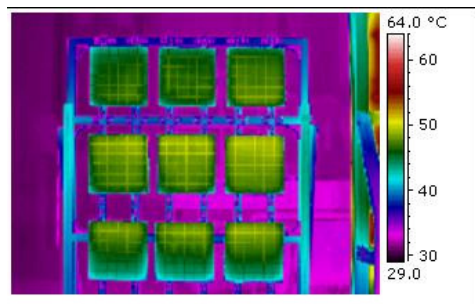
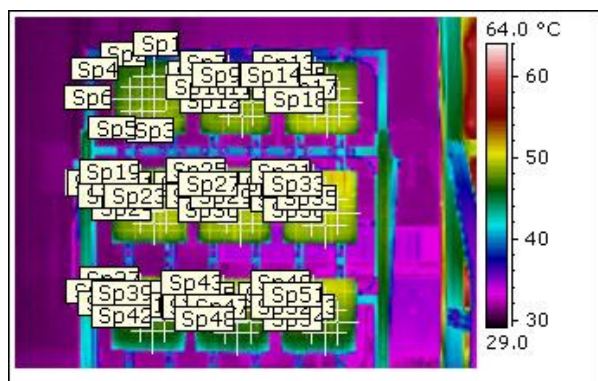
IR1562_210041



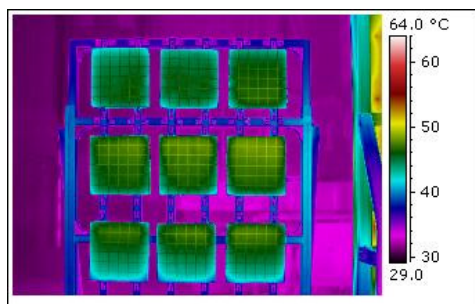
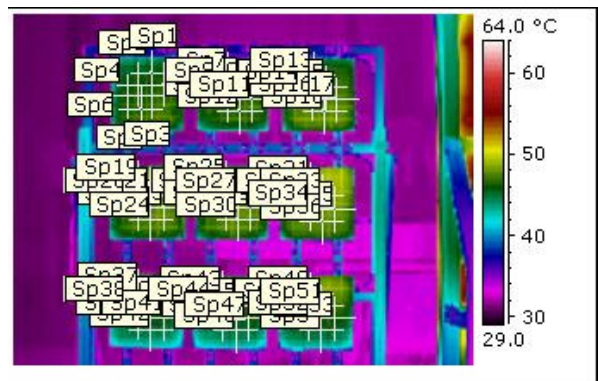
溫度自然衰減階段紅外線熱影像圖及溫度擷取點



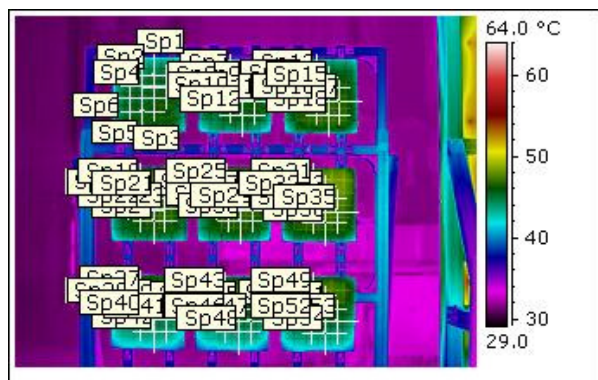
IR1563_210540

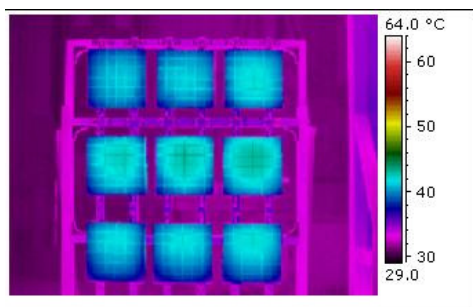


IR1564_211040

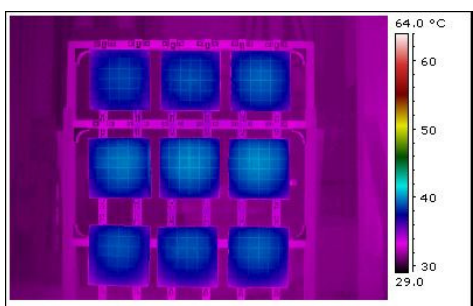
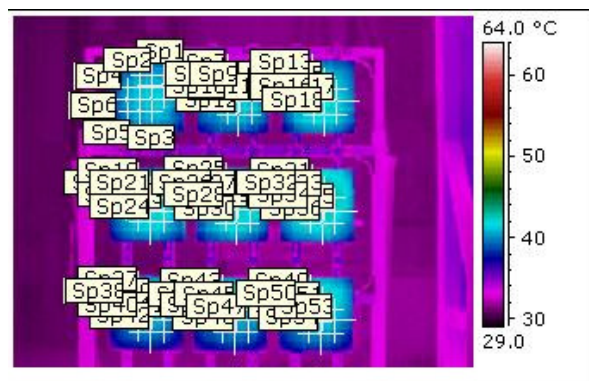


IR1565_211540

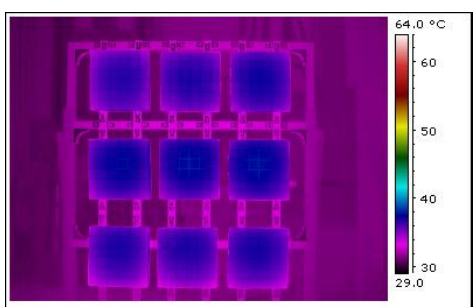
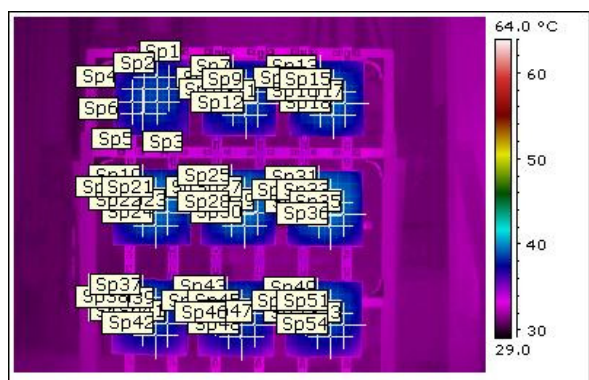




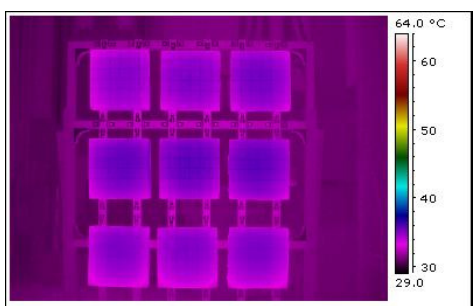
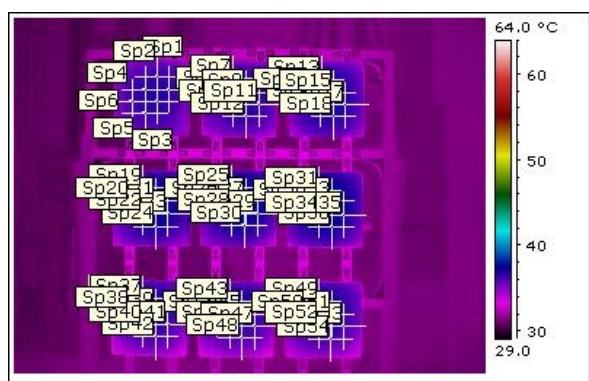
IR1575_220541



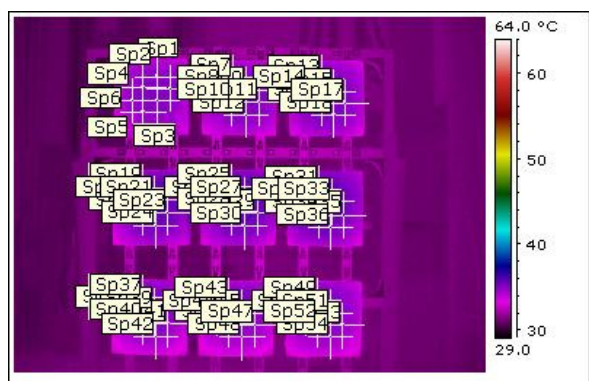
IR1585_225541



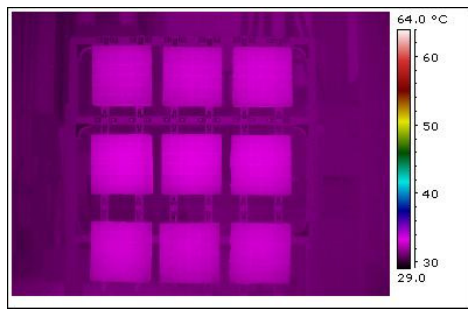
IR1595_234542



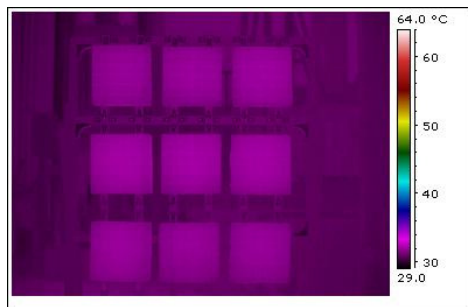
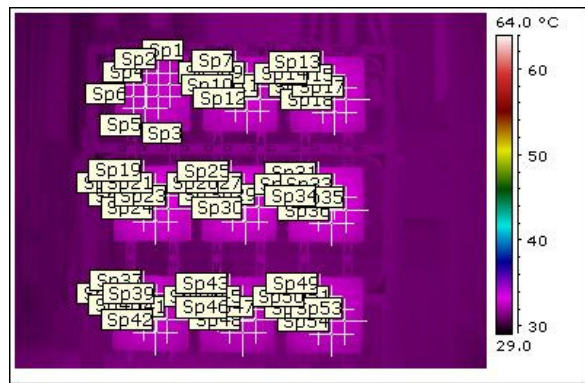
IR1607_004543



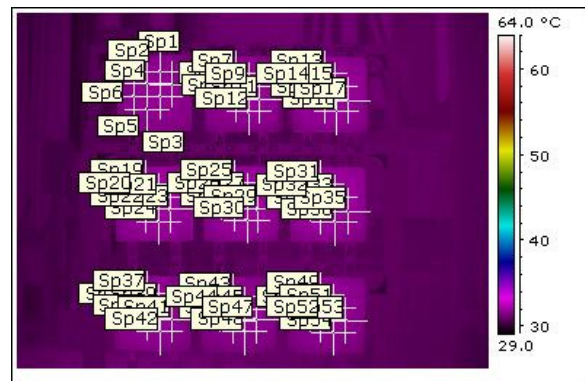
紅外線熱影像法於水泥砂漿材料老化溫度特性之檢測研究



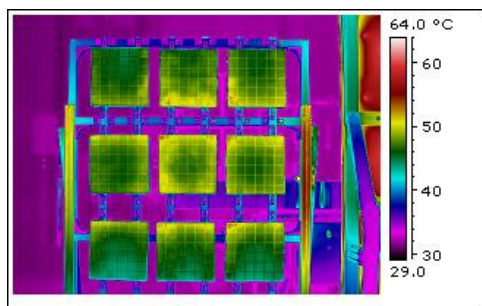
IR1637_031545



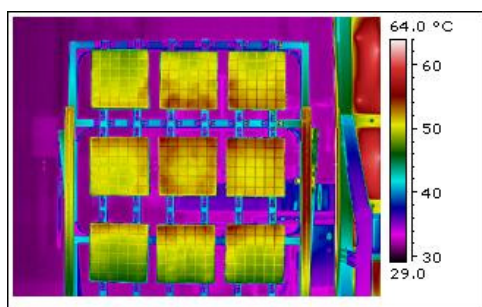
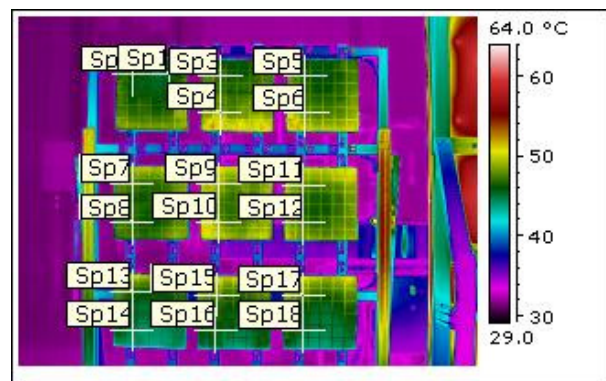
IR1655_044546



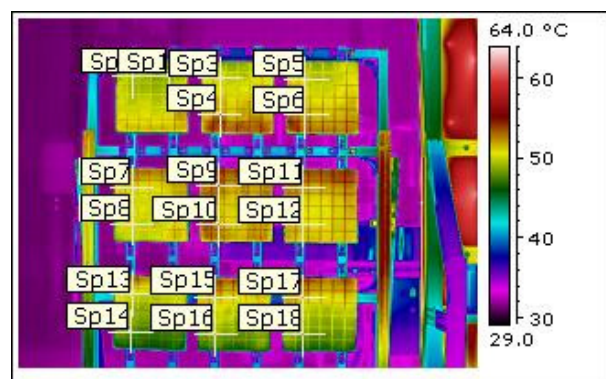
缺陷點之加熱溫度升階段紅外線熱影像圖及溫度擷取點



dIR1500_185430



dIR1525_194521



附錄 D 紅外線熱影像擷取溫度記錄表

資料筆數		1	2	3	4	5	6	7	8
紅外線熱影像編號		IR_1462 IR_1463 IR_1464 IR_1469 IR_1474 IR_1479 IR_1485							
拍攝時間			17:38:56	17:40:58	17:43:01	17:51:27	18:01:36	18:11:47	18:23:59
經過時間			00:00:00	00:02:02	00:02:03	00:08:26	00:10:09	00:10:11	00:12:12
間隔時間 (UNIT：s)		0	122	122	245	506	609	611	732
累計時間 (UNIT：s)		0	122	244	489	995	1604	2215	2947
累計時間 (UNIT：m)		0	2	4	8	17	27	37	49
環境溫度		29.4℃	29.4℃	29.4℃	29.4℃	29.4℃	29.4℃	29.4℃	29.4℃
試體編號	測溫點								
A1	SP1	29.4	33.1	34.9	36.1	38.1	40.2	41.6	43.2
A1	SP2	29.4	33.0	34.9	36.0	38.0	42.0	41.4	42.8
A1	SP3	29.4	33.2	35.0	36.4	38.5	41.7	41.9	43.4
A1	SP4	29.4	33.5	35.2	36.7	38.8	43.2	41.8	43.4
A1	SP5	29.4	33.5	35.6	37.1	39.2	40.5	42.7	44.4
A1	SP6	29.4	33.2	35.1	36.4	38.5	41.4	41.9	43.6
B1	SP7	29.4	33.8	35.8	37.3	39.3	40.9	42.4	44.0
B1	SP8	29.4	33.9	36.1	37.4	39.5	41.4	42.9	44.4
B1	SP9	29.4	34.2	36.6	37.8	40.0	41.5	43.1	44.3
B1	SP10	29.4	34.1	36.3	37.7	39.9	41.7	43.1	44.7
B1	SP11	29.4	33.8	36.2	37.7	39.8	41.0	43.1	44.8
B1	SP12	29.4	34.4	37.0	38.6	40.9	40.0	44.5	46.0
C1	SP13	29.4	33.6	35.6	37.0	38.6	40.7	41.8	43.5
C1	SP14	29.4	33.8	36.0	37.4	39.2	40.8	42.6	44.3
C1	SP15	29.4	33.8	35.9	37.5	38.7	41.4	42.2	43.8
C1	SP16	29.4	34.0	36.1	37.7	39.4	41.2	42.7	44.4
C1	SP17	29.4	34.1	36.2	37.9	39.0	40.3	43.0	44.8
C1	SP18	29.4	34.1	36.3	37.9	39.4	41.7	43.3	45.0
A2	SP19	29.4	33.1	34.9	36.2	38.5	42.6	42.3	44.0
A2	SP20	29.4	33.1	34.9	36.2	38.5	41.7	42.1	44.0
A2	SP21	29.4	33.1	35.0	36.3	38.6	41.5	41.9	43.7
A2	SP22	29.4	33.4	35.6	36.8	39.2	41.8	42.4	44.1
A2	SP23	29.4	33.3	35.2	36.6	38.9	40.6	42.5	44.3

紅外線熱影像法於水泥砂漿材料老化溫度特性之檢測研究

A2	SP24	29.4	33.1	34.8	36.0	38.2	41.8	41.7	43.6
B2	SP25	29.4	33.9	36.1	37.3	39.5	41.1	43.2	44.9
B2	SP26	29.4	34.3	36.6	38.2	40.4	41.1	43.6	45.8
B2	SP27	29.4	34.0	36.1	37.4	39.6	41.0	42.8	44.3
B2	SP28	29.4	33.9	36.1	37.3	39.4	40.7	42.8	44.4
B2	SP29	29.4	33.9	36.1	37.5	39.7	41.2	43.1	44.8
B2	SP30	29.4	34.0	36.2	37.5	39.7	41.1	43.1	44.7
C2	SP31	29.4	33.6	35.6	37.2	38.9	40.3	42.7	44.5
C2	SP32	29.4	33.7	35.8	37.1	38.9	40.0	42.4	44.3
C2	SP33	29.4	33.7	35.8	37.4	38.8	40.0	42.4	44.0
C2	SP34	29.4	33.6	35.6	37.1	38.7	40.6	42.2	43.9
C2	SP35	29.4	33.9	36.1	37.6	39.1	40.1	42.9	44.6
C2	SP36	29.4	33.8	35.9	37.4	38.9	40.2	42.6	44.5
A3	SP37	29.4	32.9	34.6	35.8	38.1	39.2	41.7	43.3
A3	SP38	29.4	32.9	34.7	35.7	37.9	41.0	41.4	43.0
A3	SP39	29.4	32.9	34.6	35.8	37.9	41.4	41.3	42.8
A3	SP40	29.4	33.1	34.9	36.1	38.3	40.6	41.4	42.7
A3	SP41	29.4	33.0	34.9	36.0	38.0	41.3	41.4	42.8
A3	SP42	29.4	32.7	34.3	35.3	37.4	40.5	40.4	41.8
B3	SP43	29.4	33.5	35.4	36.7	38.9	40.2	42.3	44.1
B3	SP44	29.4	33.7	35.8	37.3	39.3	40.9	42.6	43.9
B3	SP45	29.4	33.6	35.5	36.8	38.7	41.4	41.8	43.4
B3	SP46	29.4	33.9	36.1	37.5	39.5	40.4	42.5	43.8
B3	SP47	29.4	33.5	35.4	36.7	38.6	39.9	41.7	43.3
B3	SP48	29.4	33.5	35.3	36.3	38.2	40.1	41.2	42.9
C3	SP49	29.4	33.6	35.6	37.0	38.6	40.2	42.3	43.9
C3	SP50	29.4	33.4	35.3	36.7	38.3	39.8	41.7	43.4
C3	SP51	29.4	33.4	35.3	36.6	38.0	40.6	41.2	42.8
C3	SP52	29.4	33.4	35.4	36.8	38.1	41.3	41.3	42.9
C3	SP53	29.4	33.6	35.5	36.9	38.2	41.7	41.6	43.1
C3	SP54	29.4	33.4	35.3	36.6	38.0	41.9	41.0	42.4

附錄 D

9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
IR_1490	IR_1495	IR_1500	IR_1505	IR_1510	IR_1515	IR_1520	IR_1525	IR_1530	IR_1535	IR_1540
18:34:10	18:44:19	18:54:30	19:04:40	19:14:50	19:25:02	19:35:12	19:45:21	19:55:32	20:05:42	20:15:52
00:10:11	00:10:09	00:10:11	00:10:10	00:10:10	00:10:12	00:10:10	00:10:09	00:10:11	00:10:10	00:10:10
611	609	611	610	610	612	610	609	611	610	610
3558	4167	4778	5388	5998	6610	7220	7829	8440	9050	9660
59	69	80	90	100	110	120	130	141	151	161
29.4℃	29.4℃	29.4℃	29.4℃	29.4℃	29.4℃	29.4℃	29.4℃	29.4℃	29.4℃	29.4℃
43.9	45.1	45.7	46.4	47.5	48.2	48.7	49.2	49.7	50.3	50.8
43.4	44.6	45.1	45.9	46.8	47.4	48.1	48.4	49.0	49.5	50.1
44.1	45.4	45.8	46.7	47.7	48.4	49.0	49.6	50.1	50.8	51.3
44.0	45.1	45.6	46.4	47.6	48.1	48.7	49.1	49.7	50.2	50.9
45.1	46.4	46.8	47.7	48.8	49.3	49.9	50.4	50.8	51.5	51.9
44.2	45.6	45.9	46.8	47.9	48.4	48.9	49.6	50.0	50.6	51.1
44.6	45.9	46.4	47.1	48.1	48.8	49.3	49.8	50.1	50.8	51.4
45.1	46.4	46.9	47.7	49.1	49.5	50.0	50.7	51.1	51.6	52.3
45.3	46.4	46.9	47.7	48.8	49.5	50.1	50.4	50.9	51.6	52.2
45.4	46.8	47.2	48.0	49.1	49.7	50.3	50.9	51.4	52.0	52.6
45.5	46.9	47.3	48.0	49.3	49.9	50.5	51.0	51.4	52.0	52.4
46.7	48.0	48.5	49.3	50.3	51.0	51.4	51.9	52.4	52.9	53.5
43.8	45.2	45.7	46.4	47.6	48.3	48.8	49.5	50.0	50.6	51.1
44.9	46.2	46.8	47.5	48.8	49.5	49.9	50.6	51.1	51.6	52.1
44.2	45.7	46.0	47.0	48.0	48.7	49.4	50.0	50.7	51.2	51.6
45.1	46.4	46.8	47.6	48.7	49.6	50.1	50.8	51.4	51.9	52.5
45.3	46.8	46.8	47.9	48.9	49.7	50.6	51.1	51.8	52.2	52.8
45.6	47.1	47.6	48.4	49.5	50.3	50.9	51.5	52.0	52.5	53.0
44.9	46.2	46.8	47.6	48.8	49.5	50.2	50.8	51.2	51.9	52.5
44.7	46.1	46.6	47.4	48.6	49.2	49.9	50.5	50.8	51.5	52.0
44.5	45.7	46.3	47.1	48.4	49.1	49.7	50.3	50.8	51.5	51.9
44.7	46.1	46.7	47.3	48.4	49.2	49.8	50.3	50.8	51.5	52.0
44.9	46.2	46.6	47.5	48.7	49.3	50.1	50.6	50.9	51.6	52.3
44.2	45.4	46.0	46.7	47.9	48.5	49.2	49.8	50.1	50.8	51.4
45.7	47.1	47.8	48.7	50.1	50.5	51.3	52.0	52.4	53.1	53.9
46.3	47.7	48.0	49.1	50.2	51.2	51.8	52.4	52.6	53.4	54.1

紅外線熱影像法於水泥砂漿材料老化溫度特性之檢測研究

45.0	46.6	47.1	47.9	49.3	49.8	50.7	51.3	51.7	52.4	53.2
45.1	46.5	46.9	47.8	49.0	49.8	50.4	51.1	51.5	52.1	52.9
45.4	46.9	47.3	48.1	49.3	50.1	50.6	51.2	51.7	52.3	52.9
45.5	47.0	47.3	48.0	49.5	50.1	50.6	51.2	51.6	52.2	52.8
45.1	46.9	47.2	48.2	49.5	50.2	50.9	51.5	52.2	53.0	53.5
44.7	46.5	46.8	47.7	49.1	49.8	50.4	51.0	51.5	52.2	52.9
44.4	46.2	46.6	47.3	48.8	49.4	50.2	50.8	51.5	52.1	52.7
44.3	45.9	46.3	47.1	48.6	49.2	49.9	50.5	51.1	51.7	52.3
45.0	46.7	46.9	47.8	49.2	49.9	50.5	51.1	51.8	52.1	52.7
44.8	46.4	46.7	47.6	49.0	49.5	50.1	50.6	51.2	51.7	52.4
44.1	45.4	46.1	46.9	48.0	48.7	49.1	49.9	50.3	51.1	51.5
43.6	44.9	45.5	46.3	47.4	48.1	48.6	49.2	49.6	50.0	50.6
43.6	44.7	45.3	46.0	47.1	47.8	48.4	48.9	49.4	50.0	50.7
43.2	44.5	45.1	45.7	46.8	47.2	48.1	48.3	48.7	49.2	49.9
43.3	44.5	45.0	45.7	46.9	47.6	47.9	48.3	48.6	49.0	49.7
42.4	43.5	44.0	44.7	45.6	46.2	46.7	47.2	47.5	47.9	48.5
44.9	46.3	46.7	47.7	48.7	49.5	50.2	50.6	51.2	51.8	52.2
45.0	46.3	46.5	47.7	48.5	49.2	50.1	50.1	50.9	51.3	51.8
43.9	45.2	45.8	46.7	47.7	48.4	49.1	49.5	50.1	50.6	51.3
44.3	45.6	46.1	46.9	47.7	48.4	48.8	49.5	49.7	50.1	50.9
43.8	45.1	45.6	46.2	47.3	48.0	48.5	49.0	49.3	49.8	50.5
43.3	44.8	44.7	45.7	46.4	47.0	47.5	48.0	48.1	49.2	49.6
44.6	46.1	46.7	47.4	48.9	49.6	50.2	50.9	51.3	51.9	52.3
43.9	45.4	45.9	46.8	48.1	48.7	49.3	49.7	50.3	50.8	51.6
43.3	44.7	45.1	46.0	47.3	47.9	48.6	49.2	49.8	50.4	50.9
43.1	44.7	45.1	45.8	47.1	47.7	48.1	48.7	49.1	49.7	50.5
43.5	44.7	45.2	45.9	47.1	47.9	48.3	48.7	49.3	49.7	50.4
42.8	44.2	44.5	45.0	46.3	46.9	47.3	47.7	48.1	48.5	49.4

附錄 D

20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
IR_1545	IR_1550	IR_1555	IR_1560	IR_1562	IR_1563	IR_1564	IR_1565	IR_1566	IR_1567	IR_1568
20:26:03	20:36:13	20:46:23	20:56:34	21:00:41	21:05:40	21:10:40	21:15:40	21:20:41	21:25:40	21:30:41
00:10:11	00:10:10	00:10:10	00:10:11	00:04:07	00:04:59	00:05:00	00:05:00	00:05:01	00:04:59	00:05:01
611	610	610	611	247	299	300	300	301	299	301
10271	10881	11491	12102	12349	12648	12948	13248	13549	13848	14149
171	181	192	202	206	211	216	221	226	231	236
				0	5	10	15	20	25	30
29.4℃	29.4℃	29.4℃	29.4℃	29.4℃	29.4℃	29.4℃	29.4℃	29.4℃	29.4℃	29.4℃
51.2	51.7	52.0	52.6	52.7	48.0	46.4	45.4	44.6	44.0	43.4
50.5	51.0	51.3	51.9	52.0	47.2	45.7	44.7	43.9	43.4	42.8
51.6	52.1	52.4	53.0	53.1	48.1	46.5	45.5	44.8	44.2	43.6
51.0	51.7	52.0	52.6	52.7	47.4	45.9	44.9	44.3	43.7	43.2
52.1	52.6	52.9	53.5	53.5	47.9	46.4	45.5	44.6	44.0	43.3
51.3	51.8	52.1	52.7	52.8	47.7	46.2	45.2	44.3	43.8	43.2
51.6	52.2	52.7	53.2	53.3	47.4	45.9	44.9	44.1	43.5	43.2
52.4	53.1	53.4	54.0	54.1	48.1	46.5	45.7	44.7	44.1	43.6
52.4	53.0	53.4	54.1	54.0	47.7	46.2	45.2	44.5	43.9	43.4
52.8	53.4	53.8	54.3	54.4	48.1	46.6	45.6	44.9	44.3	43.8
52.8	53.4	53.6	54.4	54.5	48.3	46.7	45.6	44.9	44.2	43.9
53.6	54.1	54.4	55.1	55.0	48.1	46.4	45.3	44.5	43.9	43.5
51.5	52.1	52.4	53.1	53.2	48.0	46.6	45.6	44.8	44.4	43.8
52.5	53.0	53.6	54.3	54.3	48.6	47.2	46.1	45.4	44.7	44.1
52.3	52.7	53.0	54.0	53.9	48.4	47.1	46.1	45.4	45.0	44.4
52.9	53.3	53.6	54.5	54.6	48.7	47.2	46.2	45.5	44.9	44.5
53.1	53.4	53.8	54.7	54.8	48.8	47.4	46.4	45.6	45.0	44.4
53.5	54.0	54.2	55.1	54.9	49.1	47.5	46.6	45.8	45.1	44.6
52.8	53.6	53.8	54.6	54.5	49.7	48.2	47.1	46.2	45.6	44.9
52.3	53.0	53.3	54.0	54.1	49.3	47.7	46.6	45.8	45.1	44.4
52.5	53.1	53.5	54.2	54.4	49.4	47.8	46.8	46.0	45.4	44.9
52.2	53.0	53.5	54.0	54.1	48.9	47.3	46.2	45.4	44.8	44.2
52.5	53.4	53.6	54.3	54.3	49.3	47.7	46.6	45.7	45.1	44.5
51.6	52.2	52.6	53.3	53.4	48.8	47.3	46.3	45.4	44.7	44.1
54.1	54.8	55.2	56.0	56.1	50.5	48.6	47.6	46.8	46.1	45.6
54.3	54.9	55.3	56.1	56.2	49.6	47.8	46.9	46.1	45.4	44.8

紅外線熱影像法於水泥砂漿材料老化溫度特性之檢測研究

53.5	54.2	54.6	55.5	55.5	49.6	48.1	47.1	46.3	45.7	45.2
53.2	54.0	54.3	55.0	55.2	49.4	47.8	46.9	46.1	45.5	45.0
53.2	53.9	54.3	55.1	55.1	49.3	47.7	46.5	45.8	45.2	44.5
53.0	53.8	54.1	54.9	54.9	49.0	47.4	46.3	45.5	44.9	44.3
53.9	54.6	55.1	55.8	55.9	50.5	49.1	48.0	47.1	46.6	45.9
53.2	53.9	54.3	55.0	55.1	49.9	48.4	47.4	46.6	45.9	45.3
53.2	54.0	54.3	55.1	55.1	49.7	48.4	47.4	46.7	46.1	45.6
52.7	53.5	53.8	54.6	54.8	49.3	48.1	47.0	46.3	45.7	45.2
53.3	53.8	54.2	54.9	55.0	49.4	48.0	47.0	46.2	45.5	44.9
52.8	53.4	53.8	54.5	54.5	49.0	47.6	46.6	45.7	45.1	44.5
51.9	52.5	53.0	53.5	53.6	49.1	47.6	46.5	45.7	45.0	44.4
50.9	51.5	52.0	52.5	52.5	48.1	46.7	45.6	44.8	44.2	43.5
50.9	51.4	51.9	52.5	52.6	48.1	46.7	45.6	44.9	44.3	43.8
50.1	50.9	51.1	51.9	51.9	46.9	45.6	44.7	43.9	43.3	42.9
49.9	50.6	50.9	51.4	51.7	47.0	45.5	44.5	43.8	43.1	42.7
48.7	49.3	49.6	50.2	50.4	46.2	44.7	43.7	43.0	42.5	41.9
52.8	53.4	53.7	54.5	54.4	49.1	47.8	46.6	45.8	45.1	44.5
52.3	53.1	53.3	53.8	54.1	48.3	46.7	45.7	44.7	44.2	43.6
51.6	52.2	52.6	53.3	53.4	47.9	46.7	45.6	44.8	44.3	43.9
51.3	52.0	52.1	52.9	52.8	46.9	45.3	44.4	43.6	43.0	42.6
50.7	51.3	51.6	52.3	52.3	47.0	45.6	44.6	43.8	43.3	42.7
49.5	49.9	50.3	51.4	51.5	46.0	44.7	43.7	43.0	42.4	42.0
52.8	53.4	53.7	54.8	54.9	49.3	48.0	47.1	46.1	45.5	44.8
51.8	52.5	52.8	53.5	53.6	48.6	47.4	46.3	45.4	44.7	44.1
51.4	52.0	52.3	53.2	53.2	48.2	47.1	46.0	45.2	44.6	44.2
50.6	51.1	51.7	52.3	52.4	47.3	46.2	45.1	44.5	43.9	43.3
50.6	51.3	51.5	52.2	52.5	47.1	45.9	45.0	44.2	43.5	43.0
49.6	50.1	50.5	51.1	51.1	46.2	45.0	44.1	43.3	42.8	42.3

31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41
IR_1569	IR_1570	IR_1571	IR_1572	IR_1573	IR_1574	IR_1575	IR_1576	IR_1577	IR_1578	IR_1579
21:35:41	21:40:40	21:45:41	21:50:41	21:55:40	22:00:41	22:05:41	22:10:41	22:15:41	22:20:41	22:25:41
00:05:00	00:04:59	00:05:01	00:05:00	00:04:59	00:05:01	00:05:00	00:05:00	00:05:00	00:05:00	00:05:00
300	299	301	300	299	301	300	300	300	300	300
14449	14748	15049	15349	15648	15949	16249	16549	16849	17149	17449
241	246	251	256	261	266	271	276	281	286	291
35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85
29.4℃	29.4℃	29.4℃	29.4℃	29.4℃	29.4℃	29.4℃	29.4℃	29.4℃	29.4℃	29.4℃
43.0	42.5	42.0	41.8	41.4	41.2	40.8	40.5	40.2	40.1	39.7
42.4	42.0	41.6	41.2	40.9	40.7	40.5	40.2	39.9	39.7	39.4
43.2	42.8	42.5	42.1	41.7	41.5	41.1	40.8	40.5	40.3	40.0
42.8	42.3	42.0	41.5	41.4	41.1	40.8	40.5	40.2	40.0	39.7
42.8	42.4	41.9	41.5	41.3	40.9	40.5	40.1	39.9	39.6	39.3
42.7	42.2	41.8	41.4	41.1	40.8	40.4	40.0	39.9	39.6	39.3
42.6	42.1	41.7	41.4	41.1	41.0	40.6	40.3	40.1	39.8	39.5
43.1	42.6	42.2	41.8	41.5	41.3	41.0	40.5	40.5	40.1	39.7
43.1	42.7	42.3	41.9	41.6	41.4	41.2	40.8	40.6	40.3	39.9
43.3	42.8	42.4	42.0	41.7	41.5	41.3	40.8	40.5	40.3	40.0
43.2	42.7	42.2	41.8	41.6	41.2	40.8	40.5	40.2	40.0	39.7
42.8	42.3	41.9	41.5	41.2	40.9	40.7	40.2	40.0	39.7	39.4
43.4	42.9	42.4	42.3	41.8	41.5	41.4	41.0	40.7	40.5	40.1
43.6	43.1	42.8	42.3	42.0	41.6	41.4	41.0	40.8	40.5	40.1
43.9	43.5	43.1	42.7	42.4	42.2	41.8	41.5	41.2	40.9	40.6
44.1	43.5	43.1	42.7	42.4	42.1	41.8	41.4	41.2	41.0	40.6
43.9	43.2	42.9	42.4	42.1	41.8	41.4	41.0	40.7	40.3	40.0
44.0	43.4	42.9	42.4	42.2	41.9	41.5	41.1	40.9	40.6	40.1
44.5	43.9	43.4	43.0	42.7	42.4	42.0	41.7	41.4	41.1	40.7
43.9	43.5	43.1	42.7	42.3	42.0	41.6	41.2	41.1	40.7	40.4
44.5	44.0	43.6	43.2	42.9	42.7	42.3	42.0	41.8	41.4	41.1
43.7	43.3	43.0	42.6	42.3	42.1	41.8	41.4	41.1	40.8	40.5
44.1	43.5	43.1	42.7	42.3	42.1	41.7	41.3	41.0	40.8	40.6
43.8	43.2	42.7	42.4	41.9	41.8	41.5	41.0	40.7	40.4	40.1
45.0	44.5	44.0	43.5	43.1	42.8	42.5	42.0	41.7	41.4	41.1
44.3	43.8	43.3	42.8	42.6	42.5	42.1	41.6	41.3	41.1	40.6

紅外線熱影像法於水泥砂漿材料老化溫度特性之檢測研究

44.7	44.3	43.9	43.5	43.2	43.0	42.6	42.2	41.8	41.6	41.3
44.5	44.0	43.6	43.3	43.0	42.7	42.3	41.9	41.7	41.4	41.1
44.1	43.6	43.2	42.8	42.4	42.2	41.8	41.4	41.1	40.8	40.5
43.7	43.2	42.9	42.5	42.1	41.8	41.4	41.1	40.9	40.5	40.2
45.4	44.9	44.4	43.9	43.5	43.2	42.9	42.4	42.1	41.8	41.4
44.8	44.3	43.9	43.4	43.1	42.8	42.4	42.0	41.7	41.4	41.1
45.1	44.6	44.3	43.8	43.5	43.2	42.8	42.4	42.3	41.7	41.5
44.7	44.3	43.7	43.4	43.2	42.9	42.6	42.0	41.8	41.5	41.2
44.5	43.8	43.5	42.9	42.6	42.4	41.9	41.5	41.3	40.8	40.5
44.0	43.6	43.2	42.7	42.3	42.0	41.7	41.1	41.0	40.8	40.4
44.0	43.4	43.0	42.6	42.2	41.9	41.5	41.1	40.8	40.6	40.2
43.2	42.7	42.3	41.7	41.5	41.2	40.9	40.4	40.2	39.9	39.7
43.4	42.9	42.5	42.1	41.8	41.6	41.3	40.9	40.7	40.4	40.2
42.5	42.0	41.7	41.3	41.1	40.8	40.5	40.1	40.1	39.8	39.6
42.3	41.7	41.3	40.9	40.7	40.4	40.1	39.7	39.5	39.4	39.2
41.5	41.2	40.7	40.5	40.2	40.0	39.7	39.4	39.3	38.9	38.8
44.0	43.5	43.0	42.6	42.3	42.0	41.6	41.2	41.0	40.7	40.4
43.3	42.7	42.3	42.0	41.5	41.3	41.0	40.4	40.4	40.1	39.7
43.5	43.0	42.6	42.3	41.9	41.7	41.4	41.0	40.8	40.5	40.3
42.1	41.9	41.5	41.1	40.8	40.7	40.5	40.0	39.8	39.6	39.3
42.3	41.9	41.4	41.0	40.9	40.5	40.3	39.9	39.6	39.5	39.2
41.5	41.0	40.7	40.4	40.2	39.9	39.8	39.5	39.2	39.1	38.9
44.4	43.9	43.3	42.9	42.7	42.3	42.0	41.5	41.2	40.9	40.6
43.8	43.2	42.8	42.5	42.1	41.7	41.4	41.0	40.7	40.5	40.2
43.8	43.5	43.1	42.6	42.4	42.1	41.8	41.3	41.1	40.7	40.5
43.0	42.5	42.2	41.9	41.7	41.3	41.1	40.6	40.4	40.4	39.9
42.7	42.2	41.9	41.4	41.0	40.8	40.4	40.0	39.8	39.6	39.4
41.9	41.4	41.1	40.6	40.4	40.3	40.0	39.7	39.4	39.2	39.0

附錄 D

42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52
IR_1580	IR_1581	IR_1582	IR_1583	IR_1584	IR_1585	IR_1586	IR_1587	IR_1588	IR_1589	IR_1590
22:30:41	22:35:41	22:40:41	22:45:42	22:50:42	22:55:41	23:00:42	23:05:42	23:10:41	23:15:42	23:20:42
00:05:00	00:05:00	00:05:00	00:05:01	00:05:00	00:04:59	00:05:01	00:05:00	00:04:59	00:05:01	00:05:00
300	300	300	301	300	299	301	300	299	301	300
17749	18049	18349	18650	18950	19249	19550	19850	20149	20450	20750
296	301	306	311	316	321	326	331	336	341	346
90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140
29.4℃	29.4℃	29.4℃	29.4℃	29.4℃	29.4℃	29.4℃	29.4℃	29.4℃	29.4℃	29.4℃
39.4	39.2	39.0	38.7	38.4	38.3	38.1	37.9	37.7	37.4	37.2
39.2	38.9	38.7	38.5	38.3	38.1	37.9	37.8	37.6	37.2	37.1
39.8	39.4	39.2	39.1	38.9	38.6	38.3	38.0	37.9	37.6	37.4
39.5	39.2	39.0	38.8	38.7	38.5	38.2	38.1	37.9	37.5	37.3
39.1	38.8	38.7	38.4	38.3	38.0	37.7	37.6	37.4	37.1	37.0
39.1	38.8	38.6	38.4	38.1	38.0	37.7	37.4	37.2	37.0	36.7
39.3	39.0	38.9	38.6	38.4	38.3	38.1	37.7	37.6	37.3	37.2
39.6	39.2	39.1	38.8	38.6	38.5	38.1	38.0	37.8	37.5	37.4
39.8	39.4	39.3	39.0	38.8	38.7	38.4	38.2	37.9	37.7	37.5
39.8	39.4	39.4	39.1	38.8	38.7	38.3	38.2	37.9	37.6	37.5
39.5	39.1	39.0	38.8	38.4	38.4	38.2	37.9	37.7	37.4	37.2
39.2	38.8	38.7	38.6	38.2	38.1	37.8	37.6	37.5	37.2	37.1
39.8	39.6	39.4	39.2	38.9	38.7	38.5	38.3	38.0	37.8	37.6
40.0	39.7	39.4	39.2	39.0	38.7	38.4	38.3	38.1	37.8	37.7
40.4	40.1	39.8	39.6	39.4	39.1	38.9	38.6	38.4	38.2	38.0
40.4	40.0	39.8	39.6	39.3	39.0	38.8	38.6	38.3	37.9	37.8
39.8	39.6	39.3	39.0	38.8	38.5	38.3	38.1	37.9	37.6	37.5
39.9	39.6	39.4	39.1	38.9	38.6	38.4	38.2	38.0	37.7	37.5
40.4	40.2	39.9	39.7	39.4	39.3	39.0	38.8	38.5	38.2	38.0
39.9	39.8	39.6	39.3	39.2	39.0	38.7	38.5	38.2	37.9	37.8
40.9	40.6	40.4	40.1	39.9	39.6	39.4	39.2	39.0	38.7	38.4
40.3	39.9	39.8	39.6	39.3	39.1	39.0	38.8	38.5	38.2	38.1
40.2	40.0	39.8	39.5	39.2	39.1	38.8	38.6	38.4	38.2	37.9
39.8	39.8	39.5	39.2	39.0	38.8	38.6	38.4	38.1	37.9	37.7
40.8	40.6	40.3	40.1	39.8	39.6	39.3	39.1	38.9	38.7	38.4
40.4	40.1	40.0	39.7	39.5	39.3	39.0	38.8	38.4	38.2	38.1

紅外線熱影像法於水泥砂漿材料老化溫度特性之檢測研究

41.1	40.8	40.6	40.3	40.0	39.8	39.5	39.3	39.0	38.7	38.5
40.8	40.6	40.3	40.1	39.8	39.6	39.3	39.1	38.9	38.6	38.4
40.3	39.9	40.0	39.5	39.3	39.1	38.8	38.6	38.4	38.1	37.9
39.9	39.6	39.5	39.2	39.0	38.8	38.5	38.4	38.2	37.9	37.8
41.1	40.9	40.6	40.3	40.2	39.8	39.5	39.4	39.1	38.7	38.5
40.8	40.6	40.4	40.1	39.8	39.5	39.2	39.0	38.8	38.5	38.3
41.2	40.9	40.7	40.4	40.1	39.8	39.5	39.4	39.1	38.8	38.7
40.9	40.7	40.5	40.2	40.0	39.6	39.4	39.2	38.9	38.6	38.5
40.3	40.0	39.8	39.5	39.3	38.9	38.6	38.6	38.4	38.1	37.8
40.2	39.9	39.7	39.4	39.2	38.9	38.7	38.5	38.3	37.9	37.8
39.9	39.7	39.5	39.2	39.1	38.8	38.6	38.4	38.1	37.9	37.6
39.3	39.1	39.0	38.8	38.5	38.3	38.1	37.8	37.6	37.3	37.2
39.9	39.6	39.5	39.2	39.0	38.8	38.6	38.3	38.1	37.9	37.7
39.3	39.1	38.9	38.7	38.4	38.2	38.1	37.9	37.7	37.4	37.2
38.9	38.6	38.4	38.2	38.1	37.9	37.7	37.7	37.3	37.0	36.9
38.5	38.3	38.2	38.0	37.8	37.6	37.4	37.3	37.1	36.8	36.6
40.0	39.7	39.6	39.3	39.1	38.8	38.6	38.4	38.1	37.9	37.7
39.3	39.3	39.2	38.9	38.7	38.4	38.2	38.0	37.7	37.6	37.1
40.0	39.7	39.6	39.3	38.9	38.8	38.6	38.4	38.1	37.8	37.6
39.1	38.9	38.7	38.6	38.2	38.1	37.9	37.7	37.5	37.2	37.1
38.9	38.7	38.6	38.3	38.0	38.0	37.7	37.3	37.2	37.1	36.9
38.6	38.2	38.2	38.0	37.6	37.6	37.2	37.2	37.0	36.8	36.7
40.3	39.9	39.7	39.5	39.3	39.1	38.8	38.6	38.3	38.0	37.8
39.8	39.6	39.4	39.2	39.0	38.6	38.4	38.2	38.0	37.8	37.6
40.2	39.9	39.8	39.4	39.2	39.0	38.8	38.5	38.3	38.1	37.8
39.7	39.4	39.2	39.1	38.9	38.5	38.4	38.2	37.9	37.7	37.4
39.1	38.7	38.7	38.4	38.3	37.9	37.8	37.6	37.3	37.0	37.0
38.7	38.5	38.4	38.1	37.9	37.7	37.4	37.2	37.0	37.0	36.8

53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63
IR_1591	IR_1592	IR_1593	IR_1594	IR_1595	IR_1596	IR_1597	IR_1598	IR_1599	IR_1600	IR_1601
23:25:41	23:30:42	23:35:42	23:40:41	23:45:42	23:50:42	23:55:42	0:00:42	0:05:42	0:10:42	0:15:42
00:04:59	00:05:01	00:05:00	00:04:59	00:05:01	00:05:00	00:05:00	00:05:00	00:05:00	00:05:00	00:05:00
299	301	300	299	301	300	300	300	300	300	300
21049	21350	21650	21949	22250	22550	22850	23150	23450	23750	24050
351	356	361	366	371	376	381	386	391	396	401
145	150	155	160	165	170	175	180	185	190	195
29.4℃	29.4℃	29.4℃	29.4℃	29.4℃	29.4℃	29.4℃	29.4℃	29.4℃	29.4℃	29.4℃
37.0	37.0	36.8	36.5	36.4	36.2	36.1	35.9	35.7	35.8	35.7
37.0	36.9	36.7	36.4	36.4	36.1	36.1	35.9	35.7	35.8	35.7
37.3	37.2	37.0	36.7	36.6	36.4	36.3	36.1	36.0	35.9	35.8
37.3	37.1	36.9	36.7	36.6	36.4	36.3	36.0	35.9	35.9	35.7
36.8	36.8	36.6	36.3	36.2	35.9	35.9	35.7	35.6	35.5	35.4
36.7	36.8	36.4	36.2	36.1	35.9	35.8	35.6	35.5	35.5	35.4
37.0	36.9	36.7	36.5	36.4	36.2	36.1	35.9	35.8	35.7	35.7
37.3	37.1	36.8	36.6	36.6	36.3	36.2	36.0	35.8	35.8	35.8
37.3	37.2	37.0	36.8	36.7	36.5	36.4	36.2	36.1	36.0	35.8
37.4	37.3	37.1	36.8	36.7	36.5	36.3	36.1	36.0	36.1	35.9
37.1	37.0	36.7	36.5	36.5	36.3	36.1	36.0	35.8	35.8	35.6
36.9	36.7	36.6	36.4	36.3	36.1	36.0	35.8	35.7	35.7	35.5
37.4	37.3	37.2	36.9	36.8	36.6	36.5	36.3	36.1	36.1	36.1
37.5	37.3	37.1	36.9	36.8	36.6	36.5	36.3	36.1	36.1	35.9
37.8	37.6	37.4	37.2	37.1	36.8	36.7	36.5	36.4	36.3	36.2
37.7	37.6	37.3	37.2	37.0	36.8	36.7	36.5	36.4	36.2	36.1
37.3	37.1	36.9	36.7	36.6	36.3	36.3	36.0	35.9	35.9	35.7
37.3	37.2	36.9	36.8	36.7	36.4	36.4	36.1	36.0	36.0	35.8
38.0	37.7	37.6	37.3	37.2	37.0	36.8	36.7	36.5	36.5	36.2
37.7	37.6	37.3	37.2	36.9	36.7	36.7	36.4	36.2	36.2	36.0
38.3	38.1	37.9	37.7	37.6	37.3	37.2	37.0	36.8	36.7	36.6
37.9	37.8	37.5	37.2	37.2	36.8	36.7	36.5	36.4	36.4	36.2
37.7	37.7	37.4	37.2	37.1	36.9	36.8	36.6	36.4	36.4	36.2
37.6	37.5	37.2	37.0	36.8	36.6	36.5	36.4	36.2	36.1	36.1
38.3	38.0	37.8	37.6	37.5	37.2	37.1	36.8	36.7	36.6	36.4
37.9	37.8	37.5	37.3	37.2	37.0	36.9	36.6	36.4	36.3	36.1

紅外線熱影像法於水泥砂漿材料老化溫度特性之檢測研究

38.3	38.2	38.0	37.8	37.6	37.4	37.3	37.0	36.9	36.8	36.7
38.2	38.1	37.8	37.6	37.5	37.2	37.1	36.9	36.7	36.6	36.5
37.8	37.6	37.6	37.2	37.1	36.8	36.7	36.6	36.4	36.3	36.1
37.5	37.4	37.2	37.0	36.8	36.6	36.6	36.4	36.2	36.1	36.0
38.4	38.2	37.9	37.7	37.6	37.3	37.2	37.0	36.8	36.7	36.6
38.1	38.0	37.8	37.6	37.4	37.1	37.0	36.8	36.6	36.6	36.4
38.4	38.2	38.0	37.8	37.6	37.4	37.2	37.0	36.7	36.8	36.6
38.3	38.1	37.9	37.6	37.6	37.4	37.1	37.0	36.8	36.7	36.6
37.6	37.4	37.3	37.0	37.0	36.7	36.5	36.3	36.2	36.1	36.0
37.6	37.6	37.2	37.1	37.0	36.8	36.5	36.4	36.2	36.1	36.0
37.5	37.3	37.1	36.9	36.8	36.6	36.5	36.2	36.1	36.1	35.9
37.1	37.0	36.7	36.5	36.4	36.3	36.1	36.0	35.7	35.7	35.7
37.5	37.4	37.1	36.9	36.8	36.6	36.5	36.4	36.2	36.1	36.0
37.1	37.0	36.8	36.6	36.4	36.3	36.2	36.0	35.9	35.8	35.7
36.9	36.7	36.5	36.3	36.2	36.1	35.8	35.7	35.6	35.6	35.5
36.6	36.4	36.2	36.1	36.0	35.7	35.7	35.5	35.4	35.3	35.2
37.5	37.4	37.2	36.9	36.8	36.6	36.5	36.2	36.1	36.0	35.9
37.1	37.0	36.9	36.6	36.6	36.4	36.2	36.1	35.9	35.8	35.7
37.5	37.4	37.1	36.9	36.8	36.6	36.4	36.2	36.0	36.0	35.8
36.9	36.8	36.6	36.4	36.4	36.1	36.0	35.8	35.7	35.6	35.5
36.7	36.7	36.5	36.2	36.1	35.9	35.8	35.7	35.6	35.5	35.3
36.5	36.3	36.3	35.9	36.0	35.6	35.6	35.4	35.4	35.2	35.0
37.6	37.5	37.3	37.0	36.9	36.7	36.6	36.4	36.2	36.1	35.9
37.4	37.3	37.0	36.8	36.7	36.4	36.4	36.1	36.0	36.0	35.8
37.6	37.5	37.4	37.0	36.9	36.6	36.5	36.3	36.2	36.1	35.9
37.4	37.3	37.0	36.8	36.7	36.5	36.3	36.2	36.0	36.0	35.8
36.7	36.7	36.5	36.3	36.1	35.9	35.8	35.6	35.4	35.5	35.3
36.6	36.5	36.2	36.0	36.0	35.8	35.6	35.5	35.4	35.4	35.2

64	65	66	67	68	69	70	71	72	73
IR_1607	IR_1613	IR_1619	IR_1625	IR_1631	IR_1637	IR_1643	IR_1649	IR_1655	END
0:45:43	1:15:43	1:45:43	2:15:44	2:45:44	3:15:45	3:45:45	4:15:45	4:45:46	
00:30:01	00:30:00	00:30:00	00:30:01	00:30:00	00:30:01	00:30:00	00:30:00	00:30:01	
1801	1800	1800	1801	1800	1801	1800	1800	1801	
25851	27651	29451	31252	33052	34853	36653	38453	40254	
431	461	491	521	551	581	611	641	671	941
225	255	285	315	345	375	405	435	465	735
29.4℃	29.4℃	29.4℃	29.4℃	29.4℃	29.4℃	29.4℃	29.4℃	29.4℃	29.4℃
34.9	34.3	33.8	33.3	33.0	32.7	32.3	32.1	31.7	29.4
34.8	34.2	33.7	33.3	32.9	32.6	32.2	32.0	31.7	29.4
35.0	34.3	33.8	33.4	33.0	32.7	32.3	32.1	31.8	29.4
34.9	34.3	33.7	33.3	33.0	32.6	32.4	32.0	31.8	29.4
34.6	34.0	33.5	33.1	32.7	32.5	32.2	32.0	31.6	29.4
34.6	33.9	33.5	33.0	32.6	32.5	32.2	31.9	31.6	29.4
34.8	34.2	33.7	33.2	32.9	32.7	32.3	32.1	31.7	29.4
35.0	34.2	33.7	33.3	32.9	32.7	32.3	32.1	31.7	29.4
35.1	34.4	33.8	33.4	33.1	32.7	32.4	32.1	31.9	29.4
35.0	34.4	33.8	33.4	33.1	32.8	32.4	32.2	31.9	29.4
34.8	34.2	33.8	33.3	32.9	32.7	32.4	32.1	31.8	29.4
34.8	34.1	33.7	33.2	32.8	32.7	32.3	32.1	31.7	29.4
35.2	34.4	33.9	33.5	33.1	32.8	32.5	32.2	31.9	29.4
35.1	34.4	33.9	33.4	33.1	32.9	32.4	32.2	31.9	29.4
35.3	34.5	34.0	33.6	33.2	32.9	32.5	32.3	32.0	29.4
35.2	34.5	34.0	33.6	33.1	32.8	32.5	32.2	31.9	29.4
34.9	34.3	33.7	33.3	33.0	32.8	32.4	32.2	31.8	29.4
35.0	34.3	33.8	33.3	33.0	32.7	32.4	32.1	31.8	29.4
35.4	34.7	34.1	33.5	33.2	33.0	32.6	32.3	32.0	29.4
35.1	34.6	34.0	33.5	33.1	32.9	32.5	32.2	31.9	29.4
35.7	34.9	34.3	33.8	33.4	33.1	32.7	32.4	32.0	29.4
35.3	34.6	34.1	33.6	33.2	33.0	32.6	32.3	32.0	29.4
35.4	34.8	34.1	33.7	33.3	32.9	32.6	32.3	32.0	29.4
35.2	34.5	34.0	33.6	33.2	33.0	32.5	32.2	31.9	29.4
35.6	34.8	34.1	33.7	33.3	33.0	32.7	32.3	32.0	29.4
35.4	34.7	34.1	33.5	33.2	32.9	32.6	32.2	31.9	29.4

紅外線熱影像法於水泥砂漿材料老化溫度特性之檢測研究

35.7	35.0	34.3	33.8	33.4	33.1	32.7	32.3	32.0	29.4
35.6	34.8	34.3	33.8	33.3	33.0	32.7	32.4	32.0	29.4
35.3	34.6	34.1	33.6	33.2	32.9	32.6	32.3	31.9	29.4
35.2	34.5	34.0	33.6	33.2	32.9	32.5	32.2	31.9	29.4
35.6	34.9	34.2	33.8	33.4	33.1	32.7	32.3	32.0	29.4
35.7	34.7	34.1	33.6	33.3	33.0	32.6	32.3	32.0	29.4
35.7	34.8	34.2	33.7	33.3	33.0	32.6	32.3	32.0	29.4
35.6	34.8	34.2	33.8	33.3	33.0	32.6	32.4	32.0	29.4
35.1	34.5	33.9	33.4	33.1	32.9	32.4	32.2	31.9	29.4
35.2	34.4	34.0	33.6	33.1	32.8	32.5	32.1	31.9	29.4
35.1	34.5	33.9	33.4	33.0	32.8	32.5	32.1	31.8	29.4
34.8	34.1	33.7	33.3	32.9	32.7	32.3	32.0	31.8	29.4
35.2	34.5	33.9	33.5	33.1	32.8	32.5	32.2	31.9	29.4
34.9	34.1	33.7	33.4	33.0	32.7	32.4	32.2	31.8	29.4
34.6	34.2	33.6	33.3	33.0	32.7	32.4	32.1	31.7	29.4
34.6	34.0	33.5	33.2	32.8	32.7	32.2	32.0	31.7	29.4
35.1	34.4	33.9	33.4	32.9	32.7	32.4	32.0	31.8	29.4
34.9	34.2	33.7	33.3	33.0	32.7	32.3	32.1	31.8	29.4
35.0	34.4	33.8	33.3	33.0	32.7	32.4	32.1	31.8	29.4
34.8	34.1	33.5	33.2	32.8	32.6	32.3	32.0	31.7	29.4
34.6	33.9	33.5	33.1	32.8	32.5	32.2	32.0	31.7	29.4
34.5	33.8	33.4	33.1	32.7	32.5	32.2	31.9	31.7	29.4
35.1	34.5	33.8	33.4	33.1	32.7	32.4	32.2	31.8	29.4
35.0	34.3	33.8	33.4	32.9	32.7	32.4	32.1	31.8	29.4
35.1	34.5	34.0	33.4	33.0	32.8	32.4	32.2	31.8	29.4
35.0	34.3	33.8	33.4	33.0	32.7	32.4	32.1	31.8	29.4
34.6	33.9	33.5	33.2	32.8	32.5	32.2	31.9	31.6	29.4
34.5	33.8	33.6	33.0	32.7	32.5	32.2	31.9	31.7	29.4

附錄 E 缺陷點上升溫度與三點平均溫度比較表

紅外線熱影像編號		IR_1462 IR_1463 IR_1464 IR_1469 IR_1474 IR_1479 IR_1485 IR_1490 IR_1495									
拍攝時間		17:38:56	17:40:58	17:43:01	17:51:27	18:01:36	18:11:47	18:23:59	18:34:10	18:44:19	
經過時間		00:00:00	00:02:02	00:02:03	00:08:26	00:10:09	00:10:11	00:12:12	00:10:11	00:10:09	
間隔時間 (UNIT：s)	0	122	122	245	506	609	611	732	611	609	
累計時間 (UNIT：s)	0	122	244	489	995	1604	2215	2947	3558	4167	
累計時間 (UNIT：m)	0	2	4	8	17	27	37	49	59	69	
環境溫度		29.4℃	29.4℃	29.4℃	29.4℃	29.4℃	29.4℃	29.4℃	29.4℃	29.4℃	
試體編號	測溫點										
三點平均											
A1	SP1~3	29.4	33.1	34.9	36.2	38.2	41.3	41.6	43.1	43.8	45.0
A1	SP4~6	29.4	33.4	35.3	36.7	38.8	41.7	42.1	43.8	44.4	45.7
B1	SP7~9	29.4	34.0	36.2	37.5	39.6	41.3	42.8	44.2	45.0	46.2
B1	SP10~12	29.4	34.1	36.5	38.0	40.2	40.9	43.6	45.2	45.9	47.2
C1	SP13~SP15	29.4	33.7	35.8	37.3	38.8	41.0	42.2	43.9	44.3	45.7
C1	SP16~SP18	29.4	34.1	36.2	37.8	39.3	41.1	43.0	44.7	45.3	46.8
A2	SP19~SP21	29.4	33.1	34.9	36.2	38.5	41.9	42.1	43.9	44.7	46.0
A2	SP22~SP24	29.4	33.3	35.2	36.5	38.8	41.4	42.2	44.0	44.6	45.9
B2	SP25~SP27	29.4	34.1	36.3	37.6	39.8	41.1	43.2	45.0	45.7	47.1
B2	SP28~SP30	29.4	33.9	36.1	37.4	39.6	41.0	43.0	44.6	45.3	46.8
C2	SP31~SP33	29.4	33.7	35.7	37.2	38.9	40.1	42.5	44.3	44.7	46.5
C2	SP34~SP36	29.4	33.8	35.9	37.4	38.9	40.3	42.6	44.3	44.7	46.3
A3	SP37~SP39	29.4	32.9	34.6	35.8	38.0	40.5	41.5	43.0	43.8	45.0
A3	SP40~SP42	29.4	32.9	34.7	35.8	37.9	40.8	41.1	42.4	43.0	44.2
B3	SP43~SP45	29.4	33.6	35.6	36.9	39.0	40.8	42.2	43.8	44.6	45.9
B3	SP46~SP48	29.4	33.6	35.6	36.8	38.8	40.1	41.8	43.3	43.8	45.2
C3	SP49~SP51	29.4	33.5	35.4	36.8	38.3	40.2	41.7	43.4	43.9	45.4
C3	SP52~SP54	29.4	33.5	35.4	36.8	38.1	41.6	41.3	42.8	43.1	44.5
缺陷點溫度											
A1	Sp01	29.4	33.5	35.5	36.4	38.5	40.7	42.0	43.6	44.1	45.6
A1	Sp02	29.4	33.9	36.0	37.3	39.5	41.5	42.7	44.3	44.7	46.3
B1	Sp03	29.4	34.2	36.5	37.9	40.7	42.6	44.2	45.7	45.7	47.7

紅外線熱影像法於水泥砂漿材料老化溫度特性之檢測研究

B1	Sp04	29.4	34.6	37.2	39.4	42.0	44.4	45.8	47.0	47.9	48.8
C1	Sp05	29.4	34.2	36.2	37.7	39.6	41.6	42.9	44.5	44.9	46.5
C1	Sp06	29.4	34.3	36.6	38.2	40.1	42.5	44.0	45.8	46.5	47.9
A2	Sp07	29.4	33.7	35.7	37.0	39.1	41.5	43.2	45.0	45.8	47.2
A2	Sp08	29.4	33.8	35.9	37.0	39.5	41.7	43.1	44.9	45.5	46.8
B2	Sp09	29.4	34.5	37.1	38.6	41.2	43.5	45.0	46.7	47.4	48.9
B2	Sp10	29.4	34.5	37.1	38.6	41.2	43.6	44.8	46.4	47.1	47.9
C2	Sp11	29.4	34.2	36.6	37.9	39.8	42.2	43.8	45.6	46.4	47.9
C2	Sp12	29.4	34.0	36.2	37.8	39.6	41.7	43.3	45.3	45.5	47.3
A3	Sp13	29.4	33.4	35.4	36.7	38.9	40.8	42.6	44.4	45.2	46.7
A3	Sp14	29.4	33.3	35.1	36.3	38.4	40.4	41.7	43.1	43.6	44.7
B3	Sp15	29.4	34.2	36.5	38.0	40.2	42.4	44.0	45.6	46.2	47.8
B3	Sp16	29.4	34.3	36.6	37.8	40.0	42.1	43.0	44.5	45.1	46.2
C3	Sp17	29.4	34.1	36.5	37.9	39.8	42.3	43.4	45.4	46.2	47.6
C3	Sp18	29.4	33.7	35.7	37.0	38.5	40.6	41.9	43.2	43.8	45.0

缺陷點與三點平均溫度差

ΔA1Q	0.0	0.4	0.6	0.2	0.3	-0.6	0.4	0.5	0.3	0.6
ΔA1S	0.0	0.5	0.7	0.6	0.7	-0.2	0.6	0.5	0.3	0.6
ΔB1Q	0.0	0.2	0.3	0.4	1.1	1.3	1.4	1.5	0.7	1.5
ΔB1S	0.0	0.5	0.7	1.4	1.8	3.5	2.2	1.8	2.0	1.6
ΔC1Q	0.0	0.5	0.4	0.4	0.8	0.6	0.7	0.6	0.6	0.8
ΔC1S	0.0	0.2	0.4	0.4	0.8	1.4	1.0	1.1	1.2	1.1
ΔA2Q	0.0	0.6	0.8	0.8	0.6	-0.4	1.1	1.1	1.1	1.2
ΔA2S	0.0	0.5	0.7	0.5	0.7	0.3	0.9	0.9	0.9	0.9
ΔB2Q	0.0	0.4	0.8	1.0	1.4	2.4	1.8	1.7	1.7	1.8
ΔB2S	0.0	0.6	1.0	1.2	1.6	2.6	1.8	1.8	1.8	1.1
ΔC2Q	0.0	0.5	0.9	0.7	0.9	2.1	1.3	1.3	1.7	1.4
ΔC2S	0.0	0.2	0.3	0.4	0.7	1.4	0.7	1.0	0.8	1.0
ΔA3Q	0.0	0.5	0.8	0.9	0.9	0.3	1.1	1.4	1.4	1.7
ΔA3S	0.0	0.4	0.4	0.5	0.5	-0.4	0.6	0.7	0.6	0.5
ΔB3Q	0.0	0.6	0.9	1.1	1.2	1.6	1.8	1.8	1.6	1.9
ΔB3S	0.0	0.7	1.0	1.0	1.2	2.0	1.2	1.2	1.3	1.0
ΔC3Q	0.0	0.6	1.1	1.1	1.5	2.1	1.7	2.0	2.3	2.2
ΔC3S	0.0	0.2	0.3	0.2	0.4	-1.0	0.6	0.4	0.7	0.5
平均差	0.0	0.5	0.7	0.7	1.0	1.1	1.2	1.2	1.2	1.2

10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
IR_1500	IR_1505	IR_1510	IR_1515	IR_1520	IR_1525	IR_1530	IR_1535	IR_1540	IR_1545	IR_1550	IR_1555	IR_1560	IR_1562
18:54:30	19:04:40	19:14:50	19:25:02	19:35:12	19:45:21	19:55:32	20:05:42	20:15:52	20:26:03	20:36:13	20:46:23	20:56:34	21:00:41
00:10:11	00:10:10	00:10:10	00:10:12	00:10:10	00:10:09	00:10:11	00:10:10	00:10:10	00:10:11	00:10:10	00:10:10	00:10:11	00:04:07
611	610	610	612	610	609	611	610	610	611	610	610	611	247
4778	5388	5998	6610	7220	7829	8440	9050	9660	10271	10881	11491	12102	12349
80	90	100	110	120	130	141	151	161	171	181	192	202	206
29.4℃	29.4℃	29.4℃	29.4℃	29.4℃	29.4℃	29.4℃	29.4℃	29.4℃	29.4℃	29.4℃	29.4℃	29.4℃	29.4℃
45.5	46.3	47.3	48.0	48.6	49.1	49.6	50.2	50.7	51.1	51.6	51.9	52.5	52.6
46.1	47.0	48.1	48.6	49.2	49.7	50.2	50.8	51.3	51.5	52.0	52.3	52.9	53.0
46.7	47.5	48.7	49.3	49.8	50.3	50.7	51.3	52.0	52.1	52.8	53.2	53.8	53.8
47.7	48.4	49.6	50.2	50.7	51.3	51.7	52.3	52.8	53.1	53.6	53.9	54.6	54.6
46.2	47.0	48.1	48.8	49.4	50.0	50.6	51.1	51.6	52.1	52.6	53.0	53.8	53.8
47.1	48.0	49.0	49.9	50.5	51.1	51.7	52.2	52.8	53.2	53.6	53.9	54.8	54.8
46.6	47.4	48.6	49.3	49.9	50.5	50.9	51.6	52.1	52.5	53.2	53.5	54.3	54.3
46.4	47.2	48.3	49.0	49.7	50.2	50.6	51.3	51.9	52.1	52.9	53.2	53.9	53.9
47.6	48.6	49.9	50.5	51.3	51.9	52.2	53.0	53.7	54.0	54.6	55.0	55.9	55.9
47.2	48.0	49.3	50.0	50.5	51.2	51.6	52.2	52.9	53.1	53.9	54.2	55.0	55.1
46.9	47.7	49.1	49.8	50.5	51.1	51.7	52.4	53.0	53.4	54.2	54.6	55.3	55.4
46.6	47.5	48.9	49.5	50.2	50.7	51.4	51.8	52.5	52.9	53.6	53.9	54.7	54.8
45.6	46.4	47.5	48.2	48.7	49.3	49.8	50.4	50.9	51.2	51.8	52.3	52.8	52.9
44.7	45.4	46.4	47.0	47.6	47.9	48.3	48.7	49.4	49.6	50.3	50.5	51.2	51.3
46.3	47.4	48.3	49.0	49.8	50.1	50.7	51.2	51.8	52.2	52.9	53.2	53.9	54.0
45.5	46.3	47.1	47.8	48.3	48.8	49.0	49.7	50.3	50.5	51.1	51.3	52.2	52.2
45.9	46.7	48.1	48.7	49.4	49.9	50.5	51.0	51.6	52.0	52.6	52.9	53.8	53.9
44.9	45.6	46.8	47.5	47.9	48.4	48.8	49.3	50.1	50.3	50.8	51.2	51.9	52.0
缺陷點溫度													
45.8	46.7	47.8	48.0	48.9	49.3	49.7	50.0	50.7	50.8	51.8	51.6	52.6	52.5
46.4	47.2	48.2	48.4	49.2	49.6	50.0	50.2	51.0	51.2	52.0	51.7	52.6	52.7
47.5	49.0	49.7	50.4	51.0	50.6	51.9	52.3	52.2	53.0	53.8	53.0	53.7	54.6
49.2	50.3	50.7	51.7	52.2	52.7	53.1	53.6	54.1	54.1	54.5	54.4	55.2	54.8
46.9	47.6	48.8	49.4	50.0	50.4	51.0	51.4	51.8	52.1	53.2	52.8	53.5	53.8

紅外線熱影像法於水泥砂漿材料老化溫度特性之檢測研究

48.4	49.1	50.4	51.0	51.5	52.0	52.6	52.9	53.6	53.8	54.6	54.3	55.2	55.2
47.8	48.6	49.6	50.3	50.9	51.5	51.8	52.4	52.8	53.2	54.2	53.8	54.7	54.8
47.3	48.0	49.1	49.7	50.1	50.7	50.9	51.4	52.0	52.3	53.0	52.8	53.7	53.8
49.6	50.3	51.6	52.2	52.9	53.2	53.7	54.3	55.0	55.1	56.3	55.9	57.0	57.0
48.9	49.5	50.7	51.1	52.0	52.5	52.6	53.3	53.8	54.1	54.9	54.8	55.7	55.7
48.4	48.9	50.4	50.9	51.8	52.4	52.9	53.6	54.1	54.5	55.6	55.2	56.3	56.4
47.4	48.3	49.5	49.9	50.8	51.2	51.7	52.1	52.8	53.1	53.9	53.7	54.6	54.7
47.1	47.9	48.7	49.3	50.2	50.6	51.1	51.6	52.1	52.3	53.3	52.8	53.8	54.1
45.2	45.8	46.8	47.2	47.6	48.1	48.2	48.9	49.2	49.3	50.2	49.8	50.8	50.8
48.3	49.0	50.2	50.7	51.4	51.9	52.2	52.6	53.2	53.6	54.5	54.2	55.3	55.3
46.7	47.1	48.0	48.5	48.8	49.4	49.6	50.1	50.8	50.6	51.5	51.2	52.1	52.3
47.7	48.3	50.3	51.1	51.5	51.8	52.4	52.4	53.3	53.4	54.3	54.0	55.8	55.6
45.4	46.1	46.9	47.8	47.9	48.2	48.7	49.1	49.6	49.7	50.9	50.3	51.4	51.5
缺陷點與三點平均溫度差													
0.3	0.4	0.5	0.0	0.3	0.2	0.1	-0.2	0.0	-0.3	0.2	-0.3	0.1	-0.1
0.3	0.2	0.1	-0.2	0.0	-0.1	-0.2	-0.6	-0.3	-0.3	0.0	-0.6	-0.3	-0.3
0.8	1.5	1.0	1.1	1.2	0.3	1.2	1.0	0.2	0.9	1.0	-0.2	-0.1	0.8
1.5	1.9	1.1	1.5	1.5	1.4	1.4	1.3	1.3	1.0	0.9	0.5	0.6	0.2
0.7	0.6	0.7	0.6	0.6	0.4	0.4	0.3	0.2	0.0	0.6	-0.2	-0.3	0.0
1.3	1.1	1.4	1.1	1.0	0.9	0.9	0.7	0.8	0.6	1.0	0.4	0.4	0.4
1.2	1.2	1.0	1.0	1.0	1.0	0.9	0.8	0.7	0.7	1.0	0.3	0.4	0.5
0.9	0.8	0.8	0.7	0.4	0.5	0.3	0.1	0.1	0.2	0.1	-0.4	-0.2	-0.1
2.0	1.7	1.7	1.7	1.6	1.3	1.5	1.3	1.3	1.1	1.7	0.9	1.1	1.1
1.7	1.5	1.4	1.1	1.5	1.3	1.0	1.1	0.9	1.0	1.0	0.6	0.7	0.6
1.5	1.2	1.3	1.1	1.3	1.3	1.2	1.2	1.1	1.1	1.4	0.6	1.0	1.0
0.8	0.8	0.6	0.4	0.6	0.5	0.3	0.3	0.3	0.2	0.3	-0.2	-0.1	-0.1
1.5	1.5	1.2	1.1	1.5	1.3	1.3	1.2	1.2	1.1	1.5	0.5	1.0	1.2
0.5	0.4	0.4	0.2	0.0	0.2	-0.1	0.2	-0.2	-0.3	-0.1	-0.7	-0.4	-0.5
2.0	1.6	1.9	1.7	1.6	1.8	1.5	1.4	1.4	1.4	1.6	1.0	1.4	1.3
1.2	0.8	0.9	0.7	0.5	0.6	0.6	0.4	0.5	0.1	0.4	-0.1	-0.1	0.1
1.8	1.6	2.2	2.4	2.1	1.9	1.9	1.4	1.7	1.4	1.7	1.1	2.0	1.7
0.5	0.5	0.1	0.3	0.0	-0.2	-0.1	-0.2	-0.5	-0.6	0.1	-0.9	-0.5	-0.5
平均差													
1.1	1.1	1.0	0.9	0.9	0.8	0.8	0.6	0.6	0.5	0.8	0.1	0.4	0.4

附錄 F 期中審查會議紀錄

內政部建築研究所 100 年度自行研究案「紅外線熱影像法於外牆磁磚表面溫度檢測特性之實驗研究」期中審查會議紀錄

一、時 間：100 年 08 月 12 日（星期五）上午 9 時 30 分

二、地 點：簡報室

三、主持人：林組長建宏

記錄：林谷陶

四、出席人員：（詳出席簽到單）

五、主席致詞：（略）

六、報告人簡報：（略）

七、綜合討論：（依簡報及委員姓氏筆劃順序）

石建築師正義

1. 本研究理論基礎紮實，實驗結果對實務應用將有很大助益。
2. 如果時間允許建議可在相同熱量照射下，量測不同老化狀況之溫度特徵值，藉以同時對儀器檢測進行回饋檢討。
3. 劣化實驗若有鼓起狀況時，建議對鼓起量進行量測，並與拉拔試驗結果進行比較。

吳建築師明修

本案研究方法具有系統性，惟請檢討試體數量是否足夠，並請考量實驗不同面磚材料之老化現象。

周教授鼎金

1. 本案研究內容具學術與實用之參考價值。
2. 本研究建議參考相關文獻或研擬紅外線熱影像遠距外牆測試之標準作業程序，俾使資料分析更具合理性。

林教授世堂(書面意見)

1. 研究參考之文獻非常充足，並實驗設計考慮周詳。
2. 由於老化實驗對磁磚抗拉接著強度，具有一定程度的劣化影響，惟是否可以紅外線熱影像方法求得明顯對比的檢測值，值得期待。

楊教授詩弘

1. 本案研究具有技術檢討與驗證的前導意義，如數據結果不明顯也自有其價值。
2. 如果材料老化特徵值不明顯，建議可先檢測其是否產生磁磚鼓起剝離現象。
3. 此外，相關實驗研究請注意其環境條件之一致性，以避免環境實驗誤差。

中華民國全國建築師公會 曹建築師昌勝

1. 本研究資料收集齊全實驗步驟嚴謹，惟是否適合引用 6Σ (同一產品相同規格，每百萬個產品中只容許 6 個瑕疵品) 方法論請予澄清檢討。
2. 建議以實驗組與對照組方式比較兩者差異並進行因子分析。

中華民國電機技師公會全國聯合會 李技師華琛

1. 建請針對本案紅外線熱影像儀技術如檢測角度、距離等進行論述說明。

中華民國室內設計裝修同業公會全國聯合會 康理事長文昌

建請將研究結果綜整成檢測技術準則，以供業界參考。

計畫主持人回應：

1. 感謝各位委員寶貴意見，首先說明本研究並非引用 6 個標準差方法論，而是參考其中企業及工廠共通引用的實驗設計方法部分。
2. 本研究導入實驗設計方法目的就是要克服資源、時間限制條件下試體數量問題，惟本研究仍以其中較保守之全因子實驗設計法，求出應有的試體數量。
3. 有關實驗環境條件一致性的疑慮，本年度規劃設計之加熱燈組及重型試體架，即可模擬太陽之一次全面性均勻加熱所有試體，以解決此一問題。
4. 本研究試體老化過程中若有鼓起剝離之劣化現象，自當同時紀錄及分析。

5. 本研究實驗之紅外線熱影像儀之操作係依設備所附操作手冊，並參考日本、大陸相關技術規範。此外，研究若有操作新發現自當於成果報告詳述供參。

八、結論：

1. 與會專家學者意見，請各案主持人參採辦理或妥予回應，納入最後之成果報告；有關期中與期末報告審查會議之審查意見，應逐項回覆，並詳實呈現於期末成果報告附錄中。
2. 本次期中報告審查原則通過，請掌握後續之研究期程，確實完成各項計畫之執行，充實研究內容，完成成果報告書之撰寫與印製。

九、散會：(上午 11 時 20 分)