

高溫下內灌混凝土鋼構件之熱傳數值分析

內政部建築研究所自行研究報告

中華民國 108 年 12 月

(本報告內容及建議，純屬研究小組意見，不代表本機關意見)

高溫下內灌混凝土鋼構件之熱傳數值分析

研究主持人：陳柏端

研究期程：中華民國 109 年 3 月至 109 年 12 月

研究經費：

內政部建築研究所自行研究報告

中華民國 109 年 12 月

(本報告內容及建議，純屬研究小組意見，不代表本機關意見)

目次

目次.....	I
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 文獻回顧.....	1
第三節 研究目的及方法.....	3
第四節 研究流程.....	4
第二章 材料高溫性質	5
第一節 鋼材料之高溫性質.....	5
第二節 混凝土材料之高溫性質	8
第三節 實驗材料常溫性質.....	12
第三章 定溫下的熱傳分析	13
第一節 自定升溫曲線.....	13
第二節 熱傳數值分析預測.....	14
第四章 數值分析.....	23

第一節 熱傳分析.....	23
第二節 鋼與混凝土受熱產生之間隙	28
第四章 結論與建議	31
第一節 結論.....	31
第二節 建議事項.....	32
附錄一 研究業務協調會議紀錄	33
附錄二 期中審查會議紀錄	39
附錄三 期末審查會議紀錄	49
參考書目	57

表次

表 2 - 1 溫度變化下鋼材降伏強度及彈性模數折減係數	5
表 2 - 2 溫度變化下混凝土材料降伏強度及彈性模數折減係數	9
表 2 - 3 高強度鋼板拉伸試驗結果.....	12
表 3 - 1 試體斷面尺寸	14

圖次

圖 1 - 1 研究流程圖	4
圖 2 - 1 受溫度影響之鋼材熱傳導係數.....	6
圖 2 - 2 受溫度影響之鋼材比熱.....	7
圖 2 - 3 受溫度影響之鋼材熱伸長量.....	8
圖 2 - 4 混凝土之應力應變關係圖.....	9
圖 2 - 5 高溫下混凝土之應力應變關係圖.....	10
圖 2 - 6 受溫度影響之混凝土熱傳導係數.....	10
圖 2 - 7 受溫度影響之混凝土比熱.....	11
圖 2 - 8 受溫度影響之混凝土熱伸長率.....	12
圖 3 - 1 自訂升溫曲線(2019 年實驗).....	14
圖 3 - 2 熱偶計測點分布圖	15
圖 3 - 3 數值分析元素分割圖	16
圖 3 - 4 數值分析溫度分布圖	16
圖 3 - 5 試體 HCB4T6 數值結果與 2019 年第 1 次自訂升溫曲線、 爐溫比較	17
圖 3 - 6 試體 HCB4T6 數值結果與 2019 年第 2 次自訂升溫曲線、 爐溫比較	18

圖 3 - 7 自訂升溫曲線至 650°C 與試體 HCB4T6 數值分析結果.....	18
圖 3 - 8 自訂升溫曲線至 670°C 與試體 HCB4T6 數值分析結果.....	19
圖 3 - 9 標準升溫曲線至 630°C 與試體 HCB4T6 數值分析結果.....	19
圖 3 - 10 標準升溫曲線至 650°C 與試體 HCB4T6 數值分析結果....	20
圖 3 - 11 標準升溫曲線至 670°C 與試體 HCB4T6 數值分析結果....	20
圖 3 - 12 自訂升溫曲線至 730°C 與試體 HCB5T7 數值分析結果....	21
圖 3 - 13 自訂升溫曲線至 750°C 與試體 HCB5T7 數值分析結果....	22
圖 3 - 14 自訂升溫曲線至 770°C 與試體 HCB5T7 數值分析結果....	22
圖 4 - 1 試體 HCB4T6 斷面溫度與數值分析結果.....	24
圖 4 - 2 試體 HCB4T6 爐溫與自訂升溫線，鋼平均溫度與數值分 析結果	24
圖 4 - 3 試體 HCB4T6 數值分析鋼溫度分布點(1/4 斷面).....	25
圖 4 - 4 試體 HCB4T6 數值分析混凝土溫度分布點(1/4 斷面).....	25
圖 4 - 5 試體 HCB5T7 爐溫與數值分析結果	26
圖 4 - 6 試體 HCB5T7 爐溫、自訂升溫線與數值分析結果.....	27
圖 4 - 7 試體 HCB5T7 數值分析鋼溫度分布點(1/4 斷面).....	27
圖 4 - 8 試體 HCB5T7 數值分析混凝土溫度分布點(1/4 斷面).....	28
圖 4 - 9 內灌混凝土箱型鋼柱試體斷面圖	29
圖 4 - 10 試體 HCB4T6 鋼與混凝土間隙與時間關係.....	29

圖 4 - 11 試體 HCB5T7 鋼與混凝土間隙與時間關係.....	30
--------------------------------------	----

摘要

關鍵詞：內灌混凝土箱型鋼柱、綜合熱傳係數、數值分析

一、研究緣起

進行結構火害試驗所需經費高，每次計畫中所規劃的試體數量往往只夠做對照比較，而不足以做參數分析，加上目前本所防火實驗中心人力短缺，難以進行長時間之大型結構火害實驗。若能利用數值分析方法輔助結構火害實驗的數量不足，提供試驗中因儀器受限而無法量測之數據，並用於後續之參數研究，是重要且可行的方式。

為了建立一套配合本所防火實驗中心梁柱實驗爐設備特性的數值分析模式，節省大型實驗經費與人力，本所於 2018 年開始進行數值分析研究以與實驗相互結合運用，首要目標是能獲得結構的正確溫度場，由歸納過去實驗資料，找出本所實驗爐經由輻射及對流將熱能傳至試體表面之熱傳特性，以供實驗研究團隊應用。

經 2 年歸納分析，已可較為準確推測箱型鋼構件於火害中之溫度場變化，無論是在標準升溫曲線，或是自訂升溫曲線下，其熱傳數值分析結果皆與實驗數據相吻合，並可用於實驗前推測試體表面溫度到達既定溫度所需時間，以修正自訂升溫曲線及節省實驗所需時間。

本研究更進一步探討鋼與混凝土兩種材料間的熱傳影響，配合本年度委託研究計畫「高強度內灌混凝土箱型鋼柱於高溫下抗壓強度之研究」實驗，以數值方法歸納分析鋼與混凝土間之熱傳影響，以預測高溫爐定溫下試體鋼之表面溫度及內部混凝土溫度分布情形。

二、研究方法及過程

本研究應用數值方法配合本年度委託研究實驗，修正鋼構件之綜合熱傳係數，並進行內灌混凝土箱型鋼柱穩定性分析，研究方法包括資料蒐集與整理、理論分析、試驗結果整理與數值分析。研究方法與步驟如下：

1. 文獻資料之收集與整理。
2. 以數值方法推算實驗時間及試體表面溫度。
3. 以內灌混凝土箱型鋼柱之定溫加載試驗修正綜合熱傳係數。

高溫下內灌混凝土鋼構件之熱傳數值分析

4. 以數值方法進行內灌混凝土箱型鋼柱熱傳分析。

三、研究發現

本研究應用數值分析探討內灌混凝土箱型鋼柱熱傳結果，結論如下：

1. 鋼材料之綜合熱傳係數較為準確，數值結果接近實驗資料。
2. 混凝土綜合熱傳係數是以本研究實驗資料歸納而來，雖已有初步結果，也可用於數值分析，但因混凝土為不良導體，致各測溫點所得之資料差異性大，仍需再進行多次實驗，以獲得較為準確之結果。
3. 鋼與混凝土 2 種材料介面間熱傳遞方式由熱傳導變為熱對流方式，可考量以 2 種材料因受熱伸長不同產生之間隙大小作區分，至於確定之間隙值及模擬熱傳導所需之綜合熱傳係數，仍需再進行多次實驗驗證。
4. 本研究應用數值方法已可於實驗前先行預估實驗到達設定溫度所需時間，以調整爐溫及升溫曲線，達成實驗之目標，對於輔助結構火害實驗有非常大的助益。

四、主要建議事項

辦理高溫下混凝土構件之熱傳數值分析研究：中長期建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：

混凝土材料為熱傳不良導體，且構件斷面尺寸較鋼構件大，加上內部埋設之測溫點常受到灌漿震動移位，需要較多的實驗數據做歸納整理，才能得到較為適當之綜合熱傳係數，以提高數值分析的結果的準確性，做為輔助混凝土構材進行結構火害實驗之參考。

第一章 緒論

第一節 研究緣起與背景

進行結構火害試驗所需經費高，每次計畫中所規劃的試體數量往往只夠做對照比較，而不足以做參數分析，加上目前本所防火實驗中心人力短缺，難以進行長時間之大型結構火害實驗。若能利用數值分析方法輔助結構火害實驗的數量不足，提供試驗中因儀器受限而無法量測之數據，並用於後續之參數研究，是重要且可行的方式。

為了建立一套配合本所防火實驗中心梁柱實驗爐設備特性的數值分析模式，節省大型實驗經費與人力，本所於 2018 年開始進行數值分析研究以與實驗相互結合運用，首要目標是能獲得結構的正確溫度場，由歸納過去實驗資料，找出本所實驗爐經由輻射及對流將熱能傳至試體表面之熱傳特性，以供實驗研究團隊應用。

經 2 年歸納分析，已可較為準確推測箱型鋼構件於火害中之溫度場變化，無論是在標準升溫曲線，或是自訂升溫曲線下，其熱傳數值分析結果皆與實驗數據相吻合，並可用於實驗前推測試體表面溫度到達既定溫度所需時間，以修正自訂升溫曲線及節省實驗所需時間。

本研究更進一步探討鋼與混凝土兩種材料間的熱傳影響，配合本年度委託研究計畫「高強度內灌混凝土箱型鋼柱於高溫下抗壓強度之研究」實驗，以數值方法歸納分析鋼與混凝土間之熱傳影響，以預測高溫爐定溫下試體鋼之表面溫度及內部混凝土溫度分布情形。

第二節 文獻回顧

以數值方法分析鋼結構火害問題可分二大步驟，為鋼結構內部溫度分析與結構力學分析。在計算鋼結構內部溫度場時，首先必須分析爐內依升溫曲線造成之熱量如何透過熱對流和熱輻射兩種方式傳遞到結構表面，一般能夠計算熱傳的數值分析程式如 ANSYS、ABAQUS、FDS 等，皆可分別輸入對流及輻射熱傳係數，同時進行運算求得結構表面溫度。尤其是 FDS 程式是由 NIST 發展用於做火場模擬，它可考量火源位置、數量、熱釋放率、通風等，再計算熱量

傳遞求得試體表面溫度。因為簡單及免費，使用者廣。

不過 FDS 雖然能分析溫度場，對於火場溫度變化後，如何同步造成結構變形行為，則無法分析，必須搭配其他有限元素軟體，如 ANSYS 及 ABAQUS 等，才能繼續做結構應力分析。另外，對於兩種不同軟體間資料傳遞及格式轉換，也是需要使用者整理或另寫程式處理。

Jowsey 等人(2004)探討高樓層結構火害時，對於火災-熱傳-結構之數值分析建議以 FDS 程式先做火源及熱量傳遞，再用有限元素軟體如 ABAQUS 做結構分析。

林誠興(2005)以數值分析探討混凝土梁火害，先以 FDS 程式模擬單一區間內部量受火害時之表面溫度，再以熱傳導理論，利用有限差分法，模擬鋼筋混凝土複合矩形梁內部溫度場，探討不同火源位置與熱釋放率大小對梁熱傳遞與結構強度之影響。以 FDS 程式分析雖然可以得到梁表面溫度，不過因無實驗數據加以印證，無法知道數值分析結果是否精確。

以此種方式計算溫度較為全面，各種因素都考慮，但是較為複雜，所需考量係數多，如對流熱傳係數，輻射放射率，輻射熱傳係數，火源熱釋放率，及排氣孔排氣速率等，尤其輻射熱傳是高度非線性，係數比重不同難以調整，雖然有實驗資料比較，但是因為係數過多，加上側向支撐、加勁板及梁柱接頭附近不易估算遮蔽效應，因此無法反算找出規律。

一種較為簡化的方法是將爐內溫度場直接用升溫曲線之溫度，熱傳方式則結合輻射與對流兩者，簡化成為對流輻射綜合熱傳方程式，即只需一個熱傳係數，再用實驗數據推算求得此係數即可。此係數代表此實驗爐之特性，因此可供實驗研究團隊於實驗前進行分析評估。張智梅(2008)採用此法，並以火場溫度分區間得到一組綜合熱交換係數，經分析獲得混凝土有效溫度場，並以 MATLAB 語言為開發平台，編寫鋼筋混凝土結構溫度場的非線性有限元素分析程式 TFARC，進行各種受火條件下的穩態、線性暫態以及非線性暫態溫度場分析。

綜合熱傳係數可直接應用於各種具有熱傳分析模組的數值分析程式中，如 ANSYS 及 ABAQUS 等，不一定還要再自行開發新的程式，而且熱傳分析完後可直接做結構應力分析，不需要用兩套不同的程式，也省去兩種不同程式間資料格式轉換。不過因為影響綜合熱傳係數很多，包括熱流體的物性，流動狀態，結構的材料性質及表面幾何形狀複雜程度等，獲得的溫度資料會有差異，需視不同實驗情況提供適合使用之綜合熱交換係數。

陳柏端(2018)嘗試以過去實驗資料，如陳誠直(2015)及陳柏端(2014、2015、2016)箱型鋼柱火害實驗，及 2 層束制鋼梁構架火害實驗，歸納出本所防火實驗爐有關鋼結構實驗之綜合熱傳係數。先以表面幾何較為簡單之箱型鋼柱開始，

找出一組適合標準升溫曲線的綜合熱傳係數。

陳柏端(2019)以 2018 年所得綜合熱傳係數探討箱型鋼柱於定溫下之溫度場，以數值方法分析 4 支箱型鋼柱，並與實驗結果進行比較修正綜合熱傳係數，得到較為吻合實驗的結果。

在結構力學實驗方面，Yang (2009) 以 SN490 鋼材 H 型鋼柱，進行定溫加載(室溫、550℃、550℃、600℃)火害實驗，探討 H 型鋼柱於火害下之結構行為與受壓強度，結果顯示試體溫度低於 500℃，鋼柱細長比愈高，受壓強度愈低。在結構穩定性上，結實斷面之短柱，於高溫下可避免局部挫屈，且有良好的延展性。

楊國珍(2011)以實驗方式探討銲接箱型鋼柱高溫下受軸力之破壞模式，除了探討全滲透銲及部分滲透銲之破壞行為，並分析不同寬厚比對於鋼柱局部挫屈之行為，發現相同載重比下，寬厚比越大，防火時效越短，試體之應變速率亦隨著載重比及寬厚比之增加而增大，當應變速率大於 $1 \times 10^{-4} (1/\text{min})$ 時，試體會因變形量過大而破壞。

在載重比影響方面，實驗溫度為 500℃，發現箱型鋼柱除能承受常溫極限強度之 40% 外，尚能抵抗因熱效應所產生之額外載重，其所能承受的火害延時也可達 4 小時以上。建議除設計載重不宜高於常溫標稱強度之 50%，也應採用適當之防火措施，以確保鋼柱於火害下溫度不會超過 500℃。

第三節 研究目的及方法

本研究應用數值方法配合本年度委託研究實驗，修正鋼構件之熱傳係數，並進行鋼柱穩定性分析，研究方法包括資料蒐集與整理、理論分析、試驗結果整理與數值分析。研究方法與步驟如下：

1. 文獻資料之收集與整理。
2. 以數值方法推算實驗時間及試體表面溫度。
3. 以內灌混凝土箱型鋼柱之定溫加載試驗修正綜合熱傳係數。
4. 以數值方法進行內灌混凝土箱型鋼柱熱傳分析。

第四節 研究流程

本計畫之研究項目包括資料與文獻收集、數值分析與實驗資料整理、報告撰寫，流程圖如圖 1-1 所示。

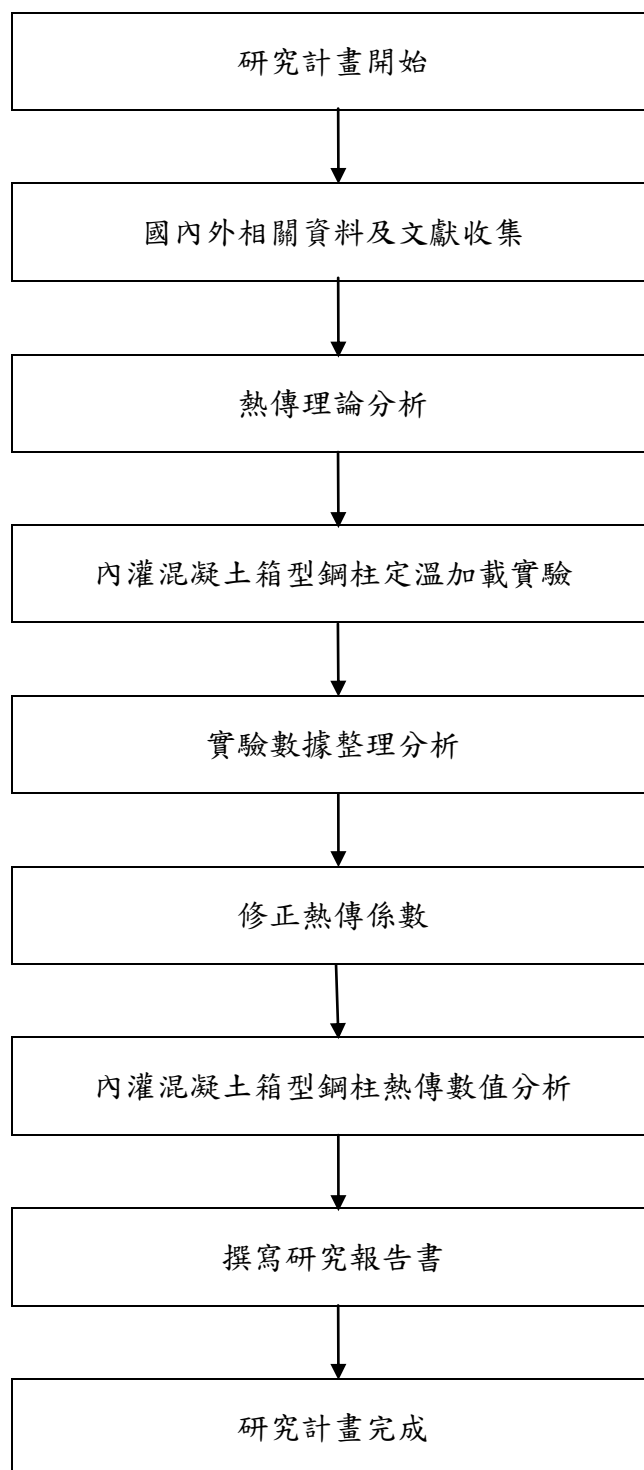


圖 1-1 研究流程圖
(資料來源：本研究整理)

第二章 材料高溫性質

數值分析之材料參數設定將影響分析結果，本研究材料使用有鋼及混凝土 2 種，其參數包括力學性質及熱性質，所用數值將參考文獻及 Eurocode 3 (2005) 及 Eurocode 4 (2004-2005)之規定。

本研究配合本年度委託研究案「高強度內灌混凝土箱型鋼柱於高溫下抗壓強度之研究」實驗，進行數值分析並比較結果，所用力學性質參數如降伏強度及彈性模數，是以常溫之鋼板拉伸試驗及混凝土抗壓試驗結果，依照 Eurocode 溫度變化之折減係數進行折減而得。

第一節 鋼材料之高溫性質

壹、鋼材料之力學性質

鋼材之高溫力學性質包括降伏強度及彈性模數，參考 Kwon(2013)及 Eurocode 3 資料，其因溫度變化之折減係數如表 2 - 1 所示。由表可之，Kwon 與 Eurocode 3 二者之折減係數無論是在降伏強度及彈性模數皆稍有不同，Kwon 之彈性係數稍高，而降伏強度較低，為求與其他熱性質一致性，本研究採用 Eurocode 3 之折減係數。

表 2 - 1 溫度變化下鋼材降伏強度及彈性模數折減係數

$\theta_a(^{\circ}\text{C})$	Kwon (2013)		EC3	
	$f_{y,\theta}/f_y$	$E_{a,\theta}/E_a$	$f_{y,\theta}/f_y$	$E_{a,\theta}/E_a$
20	1.00	1.00	1.00	1.00
100	0.95	0.98	1.00	1.00
200	0.88	1.00	1.00	0.90
300	0.88	0.90	1.00	0.80
400	0.82	0.82	1.00	0.70
500	0.70	0.71	0.78	0.60
600	0.49	0.48	0.47	0.31
700	0.18	0.13	0.23	0.13
800	0.13	0.05	0.11	0.09
900	0.05	0.04	0.06	0.0675
其中 θ_a 為溫度， $f_{y,\theta}$ 為有效降伏強度， $E_{a,\theta}$ 為彈性模數				

(資料來源：本研究整理)

本研究探討高強度鋼材料，實驗鋼柱試體拉力試片厚度 30 mm 鋼板經拉伸試驗所得之降伏強度為 5.04 tf/cm²，彈性模數為 2167.9 tf/cm²；厚度 25 mm 鋼板之降伏強度為 4.77 tf/cm²，彈性模數為 2019.0 tf/cm²。

貳、鋼材料之熱性質

鋼材料之熱性質包括熱傳導係數、比熱及熱膨脹係數，皆參考 Eurocode 3 (2005)規範之規定。

1.熱傳導為物質傳導熱能之性質，隨材料溫度變化，熱傳導係數也不同，由 Eurocode 3 (2005)規定之簡易計算鋼材熱傳導係數為 45 W/mK，各溫度階段之熱傳導係數可由公式(2-1)與(2-2)計算，結果如圖 2 - 1 所示。

$$\lambda_a = 54 - 3.33 \times 10^{-2} \theta_a \quad \text{for } 20^\circ\text{C} \leq \theta_a \leq 800^\circ\text{C} \quad (2-1)$$

$$\lambda_a = 27.3 \quad \text{for } 800^\circ\text{C} \leq \theta_a \leq 1200^\circ\text{C} \quad (2-2)$$

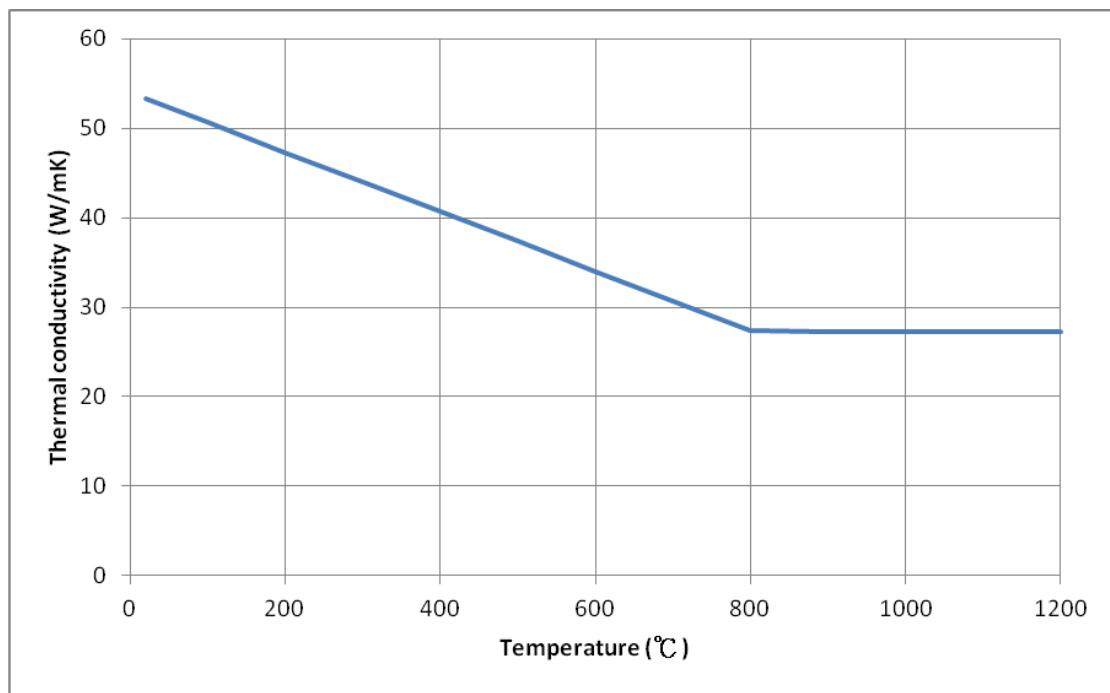


圖 2 - 1 受溫度影響之鋼材熱傳導係數
(資料來源：本研究整理)

2.比熱的定義為單位物質升高 1°C 所需之熱能，由 Eurocode 3 (2005)規定各溫度階段之之比熱(J/Kg K)可由公式(2-3)至(2-6)計算，結果如圖 2 - 2 所示，由圖可知，鋼材溫度約 735°C 時比熱有突升至 5000 J/Kg K 之現象，本計畫設定鋼材溫度只到 700 °C，對於比熱值會稍微增加，但不會進入突升段。

$$C_a = 425 + 7.73 \times 10^{-2} \theta_a - 1.69 \times 10^{-3} \theta_a^2 + 2.22 \times 10^{-6} \theta_a^3 \quad \text{for } 20^\circ\text{C} \leq \theta_a \leq 600^\circ\text{C} \quad (2-3)$$

$$C_a = 666 - 13002/(\theta_a - 738) \quad \text{for } 600^\circ\text{C} \leq \theta_a \leq 735^\circ\text{C} \quad (2-4)$$

$$C_a = 545 + 17820/(\theta_a - 731) \quad \text{for } 735^\circ\text{C} \leq \theta_a \leq 900^\circ\text{C} \quad (2-5)$$

$$C_a = 650 \quad \text{for } 900^\circ\text{C} \leq \theta_a \leq 1200^\circ\text{C} \quad (2-6)$$

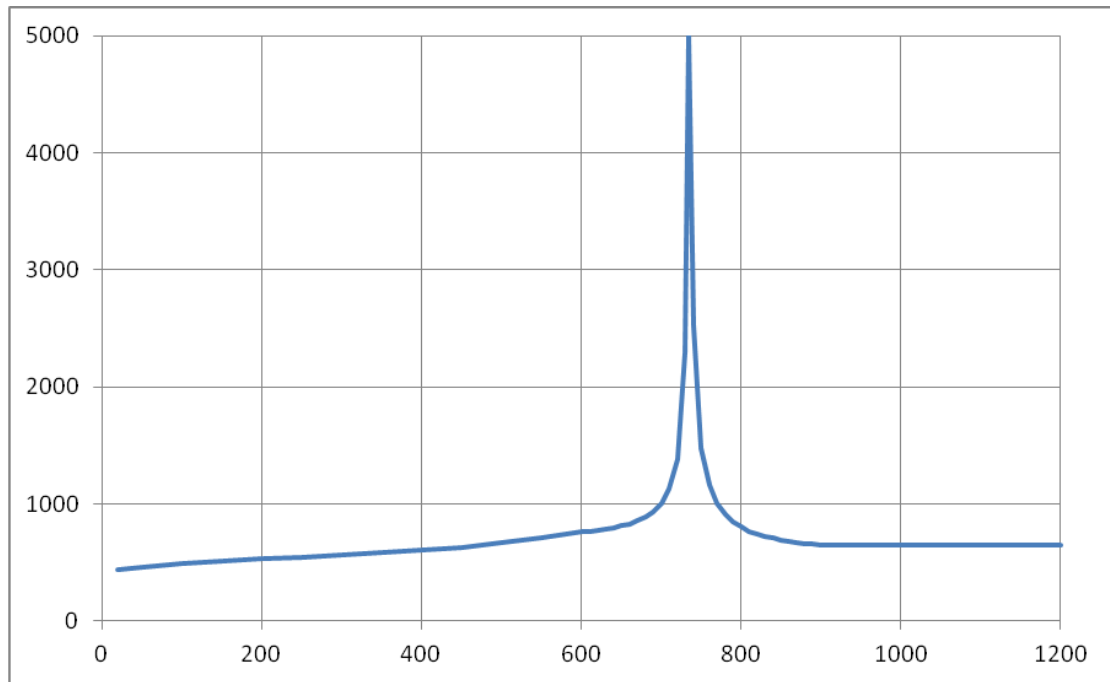


圖 2 - 2 受溫度影響之鋼材比熱
(資料來源：本研究整理)

3.熱膨脹係數為單位溫度變化所導致的體積變化，Eurocode 3 (2005)規定之鋼材熱伸長率為溫度變化時，其長度的變化量與鋼材於 20°C 溫度下長度之比值。熱膨脹係數可由熱伸長率求得，計算方式如公式(2-7)至(2-10)所示，熱伸長率與溫度的關係如圖 2 - 3 所示。

$$\Delta l/l = -2.416 \times 10^{-4} + 1.2 \times 10^{-5} \theta_a + 0.4 \times 10^{-8} \theta_a^2 \quad \text{for } 20^\circ\text{C} \leq \theta_a \leq 750^\circ\text{C} \quad (2-7)$$

$$\Delta l/l = 11 \times 10^{-3} \quad \text{for } 750^\circ\text{C} \leq \theta_a \leq 860^\circ\text{C} \quad (2-8)$$

$$\Delta l/l = -6.2 \times 10^{-3} + 2 \times 10^{-5} \theta_a \quad \text{for } 860^\circ\text{C} \leq \theta_a \leq 1200^\circ\text{C} \quad (2-9)$$

$$\alpha_a = \Delta l / (l \times \Delta \theta_a) \quad (2-10)$$

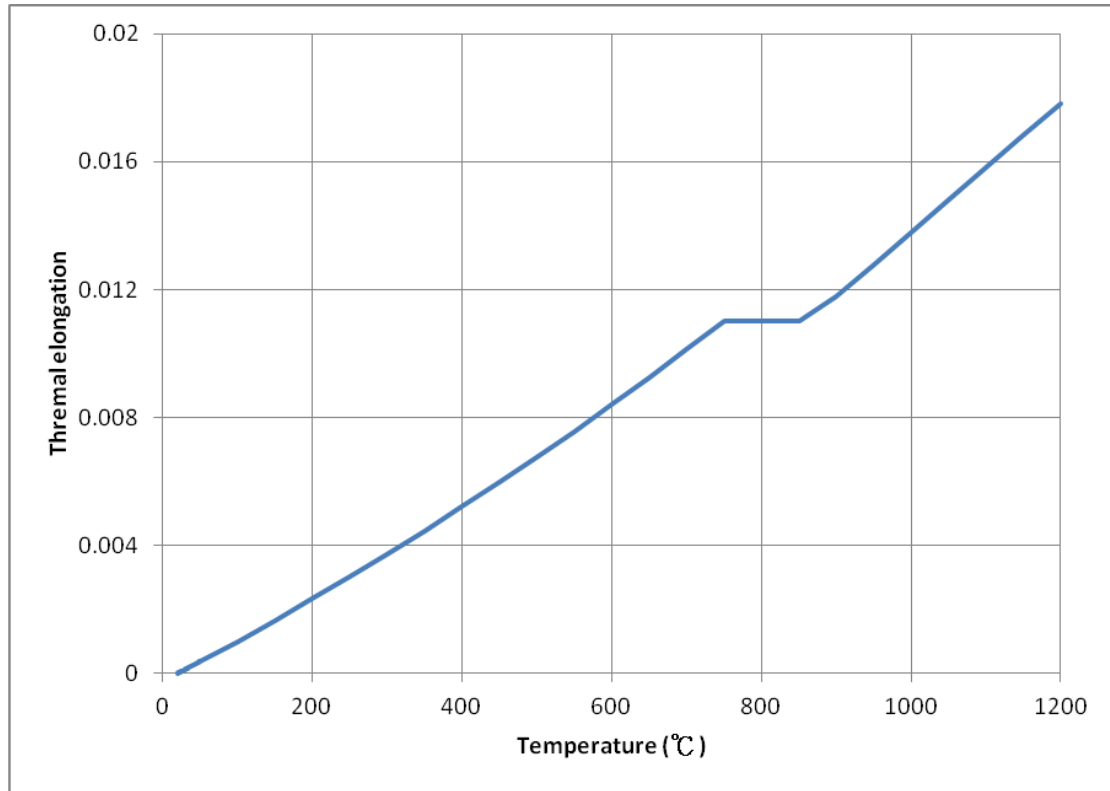


圖 2-3 受溫度影響之鋼材熱伸長量
(資料來源：本研究整理)

第二節 混凝土材料之高溫性質

壹、混凝土材料之力學性質

混凝土採用抗壓強度為 560 kgf/cm^2 之高強度混凝土，材料性質依照 Eurocode 4 建議，混凝土應力應變關係可分為兩個區域，區域一為應變小於等於抗壓應變 $\varepsilon_{cu,\theta}$ ，其應力 $\sigma_{c,\theta}$ 計算如公式 2-11 所示；區域二為應變介於抗壓應變 $\varepsilon_{cu,\theta}$ 與極限應變 $\varepsilon_{ce,\theta}$ 之間，此區域之應力應變曲線應以線性取代非線性階段，混凝土之抗壓強度 $f_{u,\theta}$ 隨溫度上升而降低，抗壓應變與極限應變增大，Eurocode 4 規定之建議值參考表 2-2，其應力應變曲線如圖 2-4 所示。於不同溫度下之應力應變關係如圖 2-5，其因溫度變化之折減係數如表 2-2 所示。

$$\sigma_{c,\theta} = f_{c,\theta} \left[3(\varepsilon_{c,\theta} / \varepsilon_{cu,\theta}) / (2 + (\varepsilon_{c,\theta} / \varepsilon_{cu,\theta})^3) \right] \quad (2-11)$$

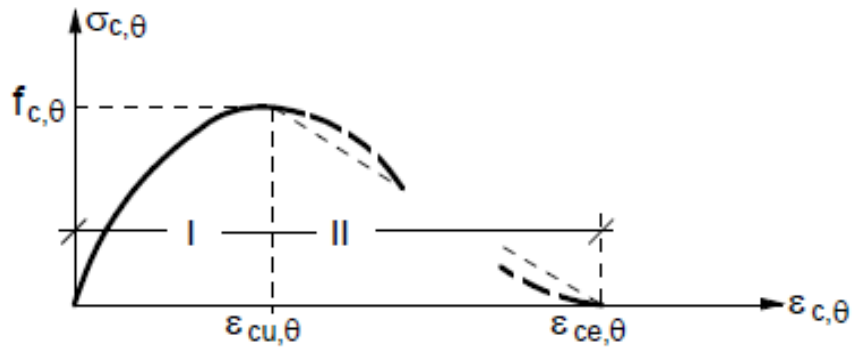


圖 2-4 混凝土之應力應變關係圖

(資料來源：Eurocode 4)

表 2-2 溫度變化下混凝土材料降伏強度及彈性模數折減係數

混凝土溫度 $\theta_a (^{\circ}\text{C})$	$k_{c,\theta} = f_{c,\theta} / f_c$	$\varepsilon_{cu,\theta} (\times 10^{-3})$	$\varepsilon_{ce,\theta} (\times 10^{-3})$
20	1.00	2.5	20.0
100	1.00	4.0	22.5
200	0.95	5.5	25.0
300	0.85	7.0	27.5
400	0.75	10.0	30.0
500	0.60	15.0	32.5
600	0.45	25.0	35.0
700	0.30	25.0	37.5
800	0.15	25.0	40.0
900	0.08	25.0	42.5
1000	0.04	25.0	45.0
1100	0.01	25.0	47.5
1200	0.00	-	-

(資料來源：Eurocode 4)

高溫下內灌混凝土鋼構件之熱傳數值分析

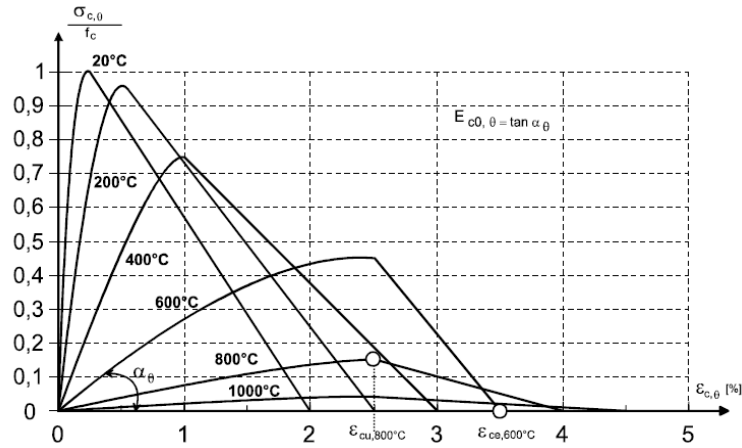


圖 2 - 5 高溫下混凝土之應力應變關係圖

(資料來源：Eurocode 4)

貳、混凝土材料之熱性質

1.熱傳導，依照 Eurocode 4 規定，簡易計算中，常重混凝土之熱傳導係數可取為 1.6 W/mK；而隨溫度變化，Eurocode 4 規定其上限與下限值，並建議鋼與混凝土之複合結構採用熱傳導係數之上限值，可由公式 2-12 計算，結果如圖 2 - 6 所示。

$$\lambda_c = 2 - 0.2451(\theta / 100) + 0.0107(\theta / 100)^2 \quad \text{for } 20^\circ\text{C} \leq \theta \leq 1200^\circ\text{C} \quad (2-12)$$

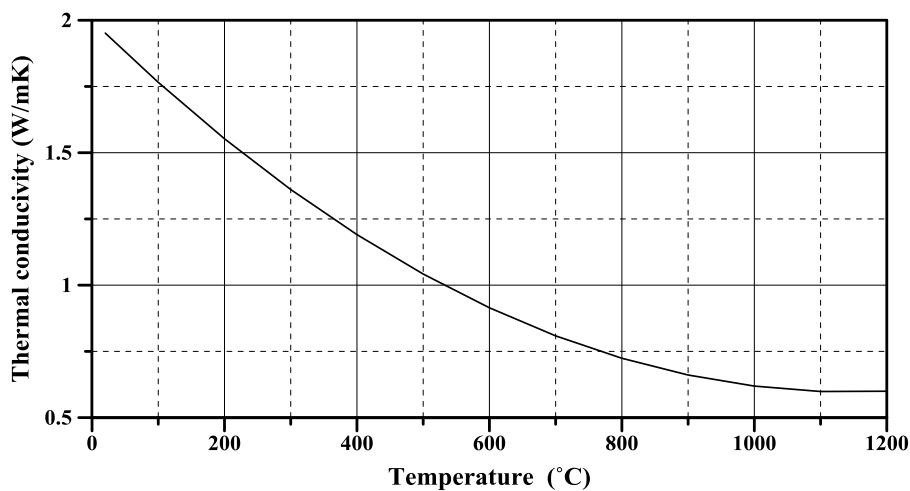


圖 2 - 6 受溫度影響之混凝土熱傳導係數

(資料來源：Eurocode 4)

2.比熱：依照 Eurocode 4 規定，簡易計算中，混凝土之比熱可取為 1000 J/Kg K，各溫度階段之比熱可由公式 2-13 至 2-16 計算，結果如圖 2 - 7 所示。

$$C_c = 900 \quad \text{for } 20^\circ\text{C} \leq \theta_a \leq 100^\circ\text{C} \quad (2-13)$$

$$C_c = 900 + (\theta_c - 100) \quad \text{for } 100^\circ\text{C} \leq \theta_a \leq 200^\circ\text{C} \quad (2-14)$$

$$C_c = 1000 + (\theta_c - 200)/2 \quad \text{for } 200^\circ\text{C} \leq \theta_a \leq 400^\circ\text{C} \quad (2-15)$$

$$C_c = 1100 \quad \text{for } 400^\circ\text{C} \leq \theta_a \leq 1200^\circ\text{C} \quad (2-16)$$

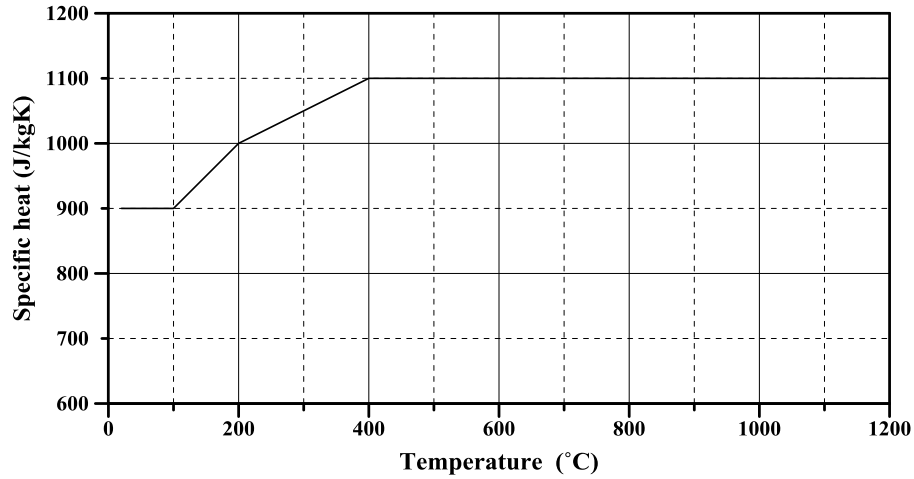


圖 2 - 7 受溫度影響之混凝土比熱

(資料來源：Eurocode 4)

3.熱膨脹係數：依照 Eurocode 4 規定，簡易計算中，混凝土之熱伸長率使用 $18 \times 10^{-6}(\theta_a - 20)$ 計算；各溫度階段之熱伸長率可由公式 2-17 與公式 2-18 計算，結果如圖 2 - 8 所示。熱膨脹係數之計算方法與鋼材之熱膨脹係數相同，如公式 2-19 所示。

$$\Delta l/l = -1.8 \times 10^{-4} + 9 \times 10^{-6} \theta_c + 2.3 \times 10^{-11} \theta_c^3 \quad \text{for } 20^\circ\text{C} \leq \theta_a \leq 700^\circ\text{C} \quad (2-17)$$

$$\Delta l/l = 14 \times 10^{-3} \quad \text{for } 700^\circ\text{C} \leq \theta_a \leq 1200^\circ\text{C} \quad (2-18)$$

$$\alpha_c = \Delta l / (l \times \Delta \theta_c) \quad (2-19)$$

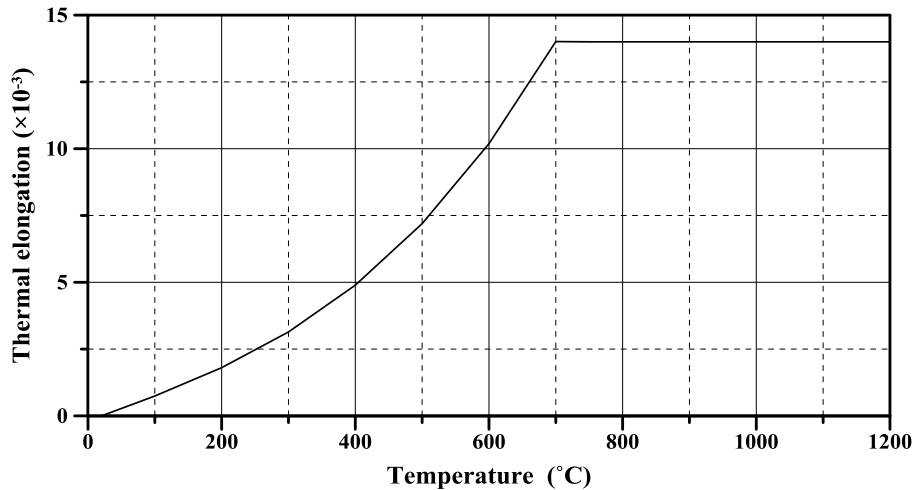


圖 2-8 受溫度影響之混凝土熱伸長率
(資料來源：Eurocode 4)

第三節 實驗材料常溫性質

本年度委託研究「高強度內灌混凝土箱型鋼柱於高溫下抗壓強度之研究」計畫採用高強度鋼板及自充填高強度混凝土，因材料用量少取得不易，兩支箱型鋼柱試體各採用不同型號鋼板，SM570MC 與 SM570M-CHW 兩種，經拉伸實驗所測得之材料性質如表 2-3 所示。

表 2-3 高強度鋼板拉伸試驗結果

鋼種	厚度 (mm)	E (tf/cm ²)	Fy (tf/cm ²)	Fu (tf/cm ²)	降伏比 (Fy/Fu)	伸長率 (%)
SM570MC	30	2075.1	5.4	6.6	0.81	19.79
SM570M-CHW	25	2071.0	5.2	6.3	0.82	20.57

(資料來源：2020 委託研究「高強度內灌混凝土箱型鋼柱於高溫下抗壓強度之研究」)

試體內灌混凝土設計強度為 560 kgf/cm²，依據陳誠直(2020)報告書，混凝土圓柱試體 7 天之平均抗壓強度為 532.3 kgf/cm²，28 天之平均抗壓強度為 710.4 kgf/cm²，實驗當日測得之平均抗壓強度為 712.5 kgf/cm²。

第三章 定溫下的熱傳分析

本年度委託研究計畫規劃 2 支內灌混凝土箱型鋼柱試體定溫加熱實驗，本所防火實驗爐設定於 30 分鐘達到設定溫度後持溫，待試體溫度上升達到設定溫度後，再開始進行加熱，直至實驗結束。

本研究因試體內灌混凝土，會帶走部分由高溫爐傳至鋼之能量，造成鋼表面溫度到達設定溫度時間過久，且高溫爐有使用 4 小時限制，因此本研究應用數值分析模擬鋼表面溫度到達設定溫度所需時間，再修正升溫曲線，將鋼表面溫度到達設定溫度時間縮短至 2-2.5 小時內，使加熱實驗有較為充裕之時間。

熱傳分析是應用 2018-2019 年之研究，將對流及輻射簡化成綜合熱傳係數概念，推算試體表面溫度。

第一節 自定升溫曲線

本研究定溫之溫度為 600°C 與 700°C 兩種，本所防火實驗室實驗爐內之溫度變化依照自訂升溫曲線進行控制，於 30 分鐘加熱至設定溫度。對於 600°C 實驗來說，2019 年因考量試體表面溫度上升時間過慢，第一次實驗將自定溫度提高 30°C 後持溫，第二次實驗於持溫約 90 分鐘後降回設定溫度，其目的就是希望試體能保持於設定溫度 600°C 左右，以免於加熱實驗時試體溫度逐漸升高影響實驗結果，2019 年實驗自訂升溫曲線如圖 3-1 所示。

本次實驗因有內灌混凝土，會吸收鋼柱之部分熱能，延長實驗時間，但因高溫爐使用時間有 4 小時之限制，必須調整升溫曲線，使鋼表面溫度到達設定之 600°C 與 700°C 所用時間縮短至 2 至 2.5 小時之內，如此第二階段加熱實驗時間將較為充裕。

因此本研究以數值分析模擬，預估鋼表面溫度到達設定溫度 600°C 及 700°C 時所需時間，藉以調整升溫曲線。首先模擬 600°C 升溫曲線，以 2019 年(錯誤! 找不到參照來源。)-之試體 1 與試體 2 兩種升溫曲線進行，推算到達 600°C 所需時間，再調整爐溫高低使試體表面溫度約於 2 小時內達到 600°C，接著依此步驟繼續調整 700°C 適合之升溫曲線。

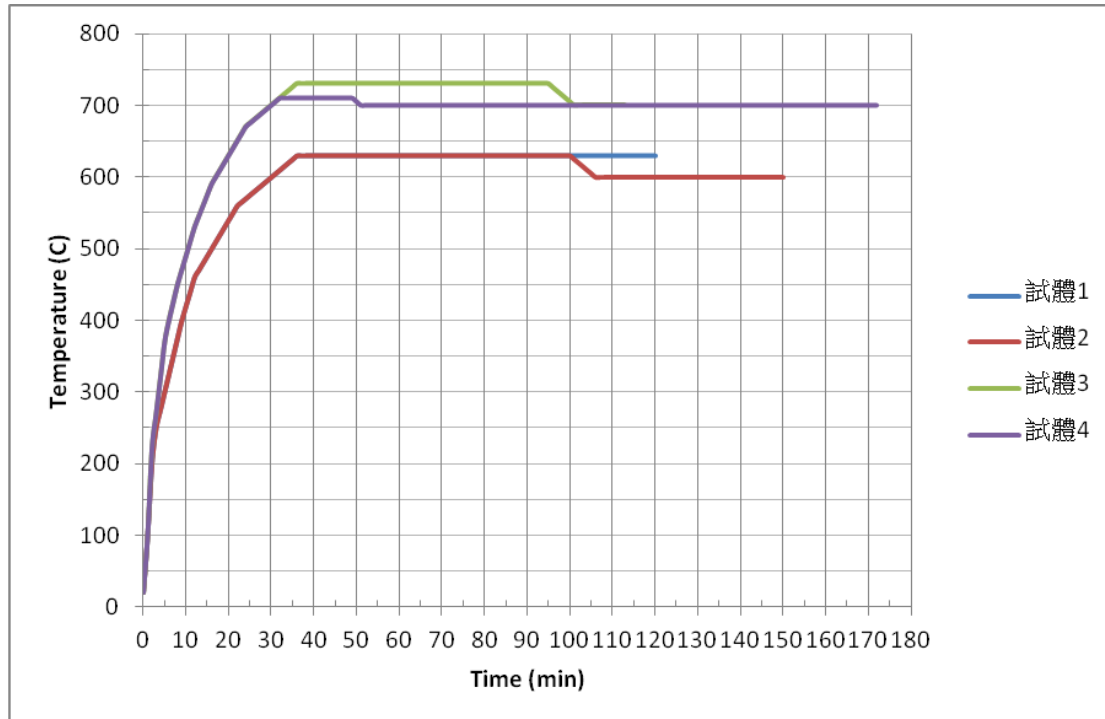


圖 3 - 1 自訂升溫曲線(2019 年實驗)
(資料來源：本研究整理)

第二節 熱傳數值分析預測

分析鋼柱試體在耐火爐內的溫度場時，因受火條件單純，爐溫可取平均值，實驗佈置在構件表面的熱電偶直接測得表面的溫度也取平均值，進行溫度場分析。

實驗所用之內灌混凝土箱型鋼柱斷面尺寸如表 3 - 1 所示，各試體斷面寬度有 400mm 及 500mm 兩種，厚度有 30mm 及 25mm 兩種，設定實驗溫度有 600°C 及 700°C 兩種，可探討不同寬厚比於高溫軸壓力下之局部穩定性，另外，不同細長比可探討鋼柱結構整體之穩定性。

實驗試體長度為 3830 mm，受熱段為 3520 mm，如熱電偶測點位置分布如圖 3 - 2 所示。

表 3 - 1 試體斷面尺寸

編號	試體尺寸 (mm)	細長比	寬厚比	溫度(°C)
HCB4T6	400 × 400 × 30 × 3830	32.4	11.3	600
HCB5T7	500 × 500 × 25 × 3830	25.8	18.0	700

(資料來源：2020 委託研究「高強度內灌混凝土箱型鋼柱於高溫下抗壓強度之研究」)

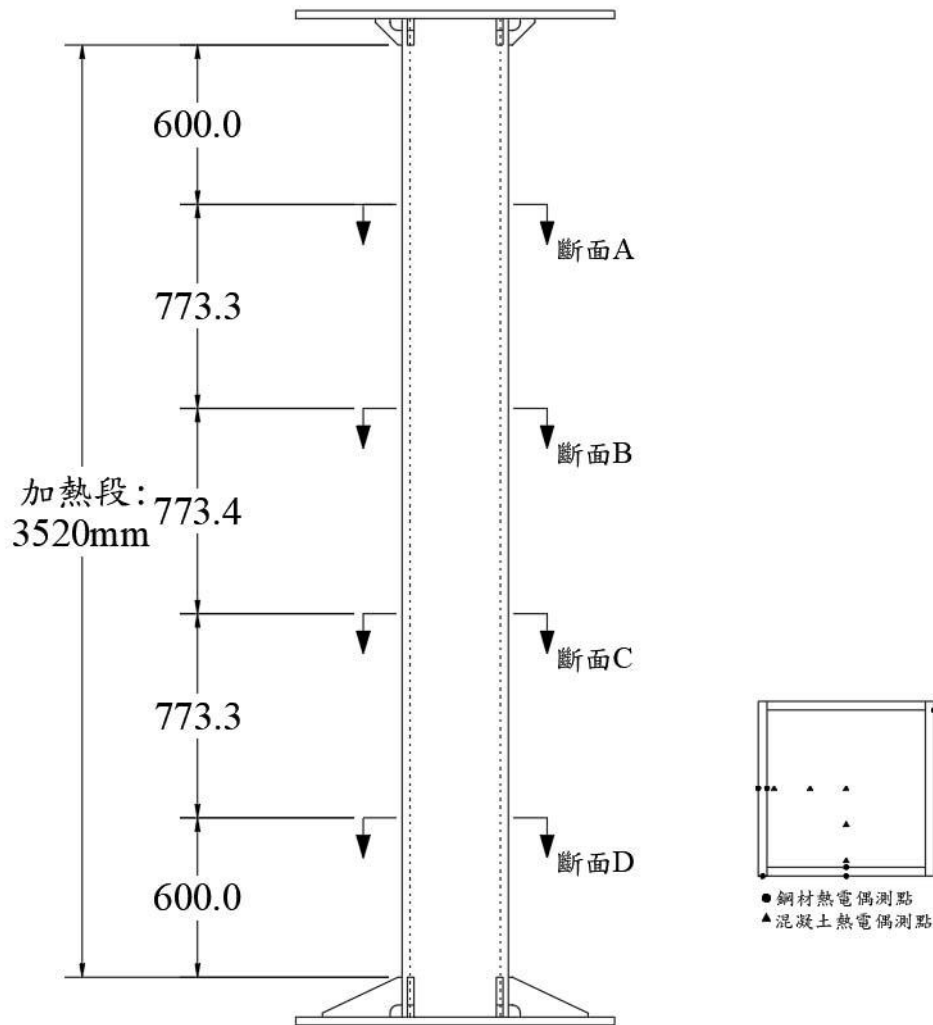


圖 3 - 2 熱偶計測點分布圖

(資料來源：2020 委託研究「高強度內灌混凝土箱型鋼柱於高溫下抗壓強度之研究」)

先分析第一支試體表面溫度到達 600°C 所需時間，數值分析用 ABAQUS 程式，只做熱傳處理，不做應力分析，鋼及混凝土材料熱性質方面採用第二章規定，分析元素用 3 維元素 DC3D8，於柱試體上下端裝設隔熱之防火棉部分元素分割較大，中央受熱段採取較細之分割，元素分割如圖 3 - 3，分析結果溫度分布如圖 3 - 4 所示。

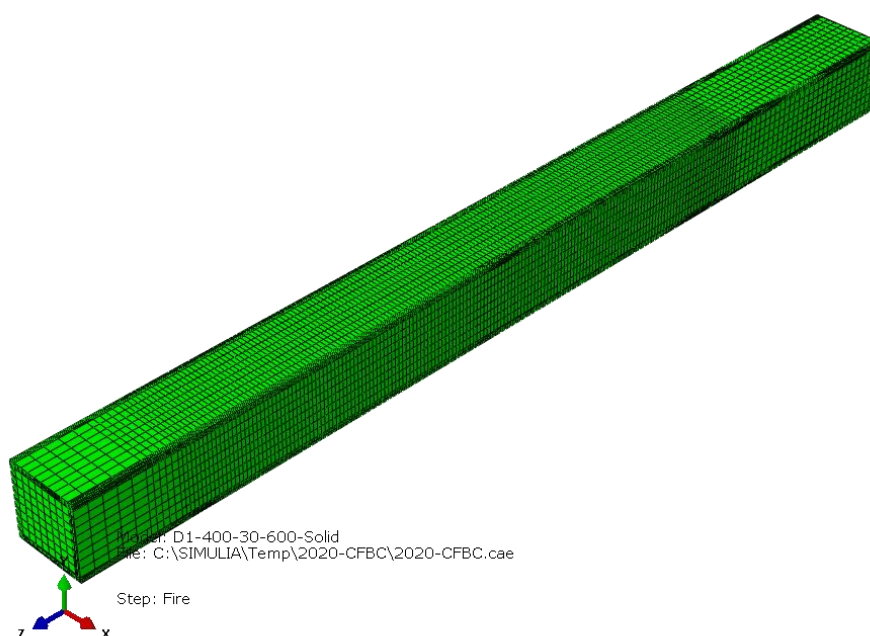


圖 3-3 數值分析元素分割圖
(資料來源：本研究整理)

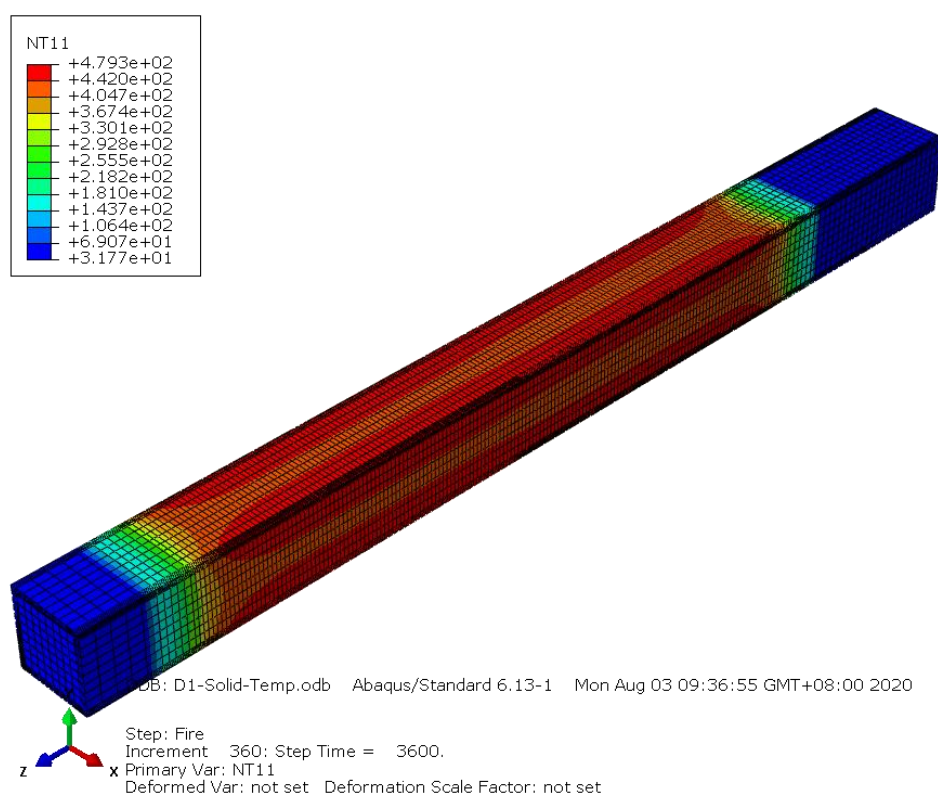


圖 3-4 數值分析溫度分布圖
(資料來源：本研究整理)

數值分析結果如圖 3-5 至圖 3-6 所示，以 2019 年第 1 次升溫曲線模擬，到達 600°C 約需 3 小時，4 小時後鋼表面溫度約 607.8°C，以 2019 年第 2 次升溫曲線模擬，鋼表面溫度不會到達 600°C，4 小時後只達 591.8°C。

修正升溫曲線，將第 1 次的溫度由 630°C 提高到 650°C，結果如圖 3-7 所示，時間需 8290 秒，約 2 小時 18 分鐘，如果提高到 670°C，結果如圖 3-8 所示，時間需 7070 秒，約 1 小時 58 分鐘左右。

如若升溫曲線改成標準升溫曲線至 630°C，結果如圖 3-9 所示，時間需 10330 秒，約 2 小時 52 分鐘，如果提高到 650°C，結果如圖 3-10 所示，時間需 7860 秒，約 2 小時 11 分鐘；如果提高到 670°C，結果如圖 3-11 所示，時間需 6730 秒，約 1 小時 52 分鐘。

如前分析結果顯示，以標準升溫曲線將溫度升至 670°C 雖然時間最短，但因為爐內火源配置得增加，會造成溫度到達 670°C 時得關閉一些火源才能保持爐溫，不建議採用。因此升溫曲線將採以自訂方式，並將爐溫提高至 670°C 後保持定溫，預估升溫時間約 2 小時左右。

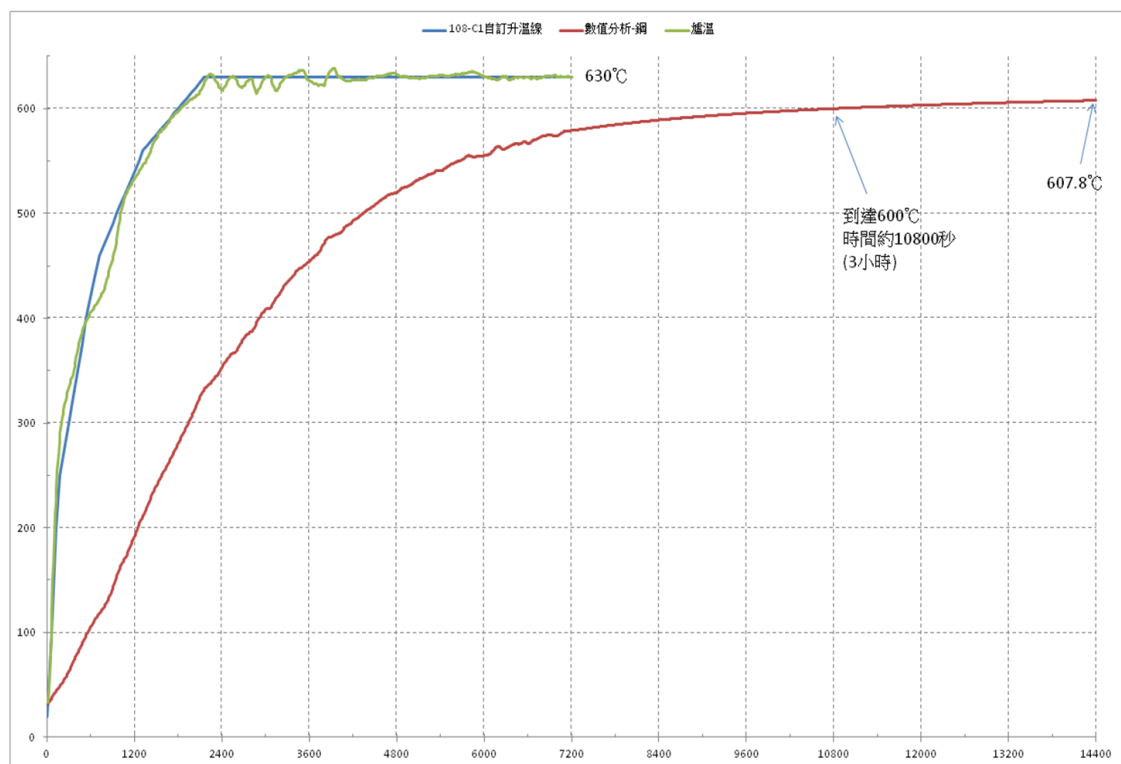


圖 3-5 試體 HCB4T6 數值結果與 2019 年第 1 次自訂升溫曲線、爐溫比較
(資料來源：本研究整理)

高溫下內灌混凝土鋼構件之熱傳數值分析

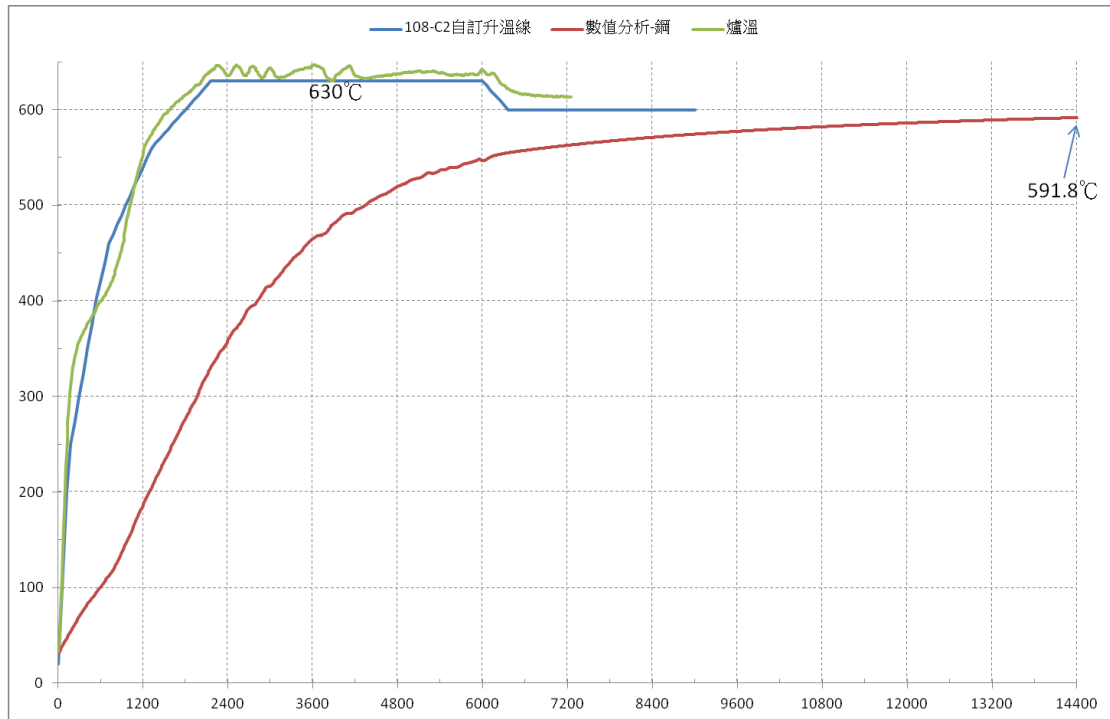


圖 3 - 6 試體 HCB4T6 數值結果與 2019 年第 2 次自訂升溫曲線、爐溫比較
(資料來源：本研究整理)

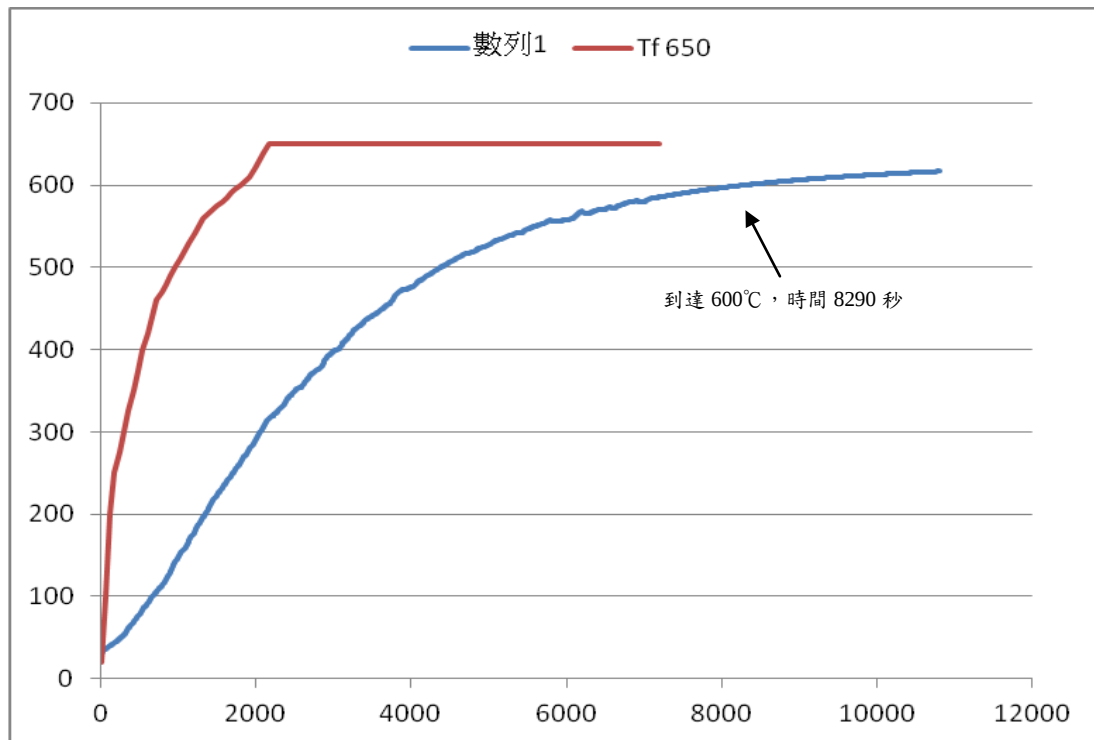


圖 3 - 7 自訂升溫曲線至 650°C 與試體 HCB4T6 數值分析結果
(資料來源：本研究整理)

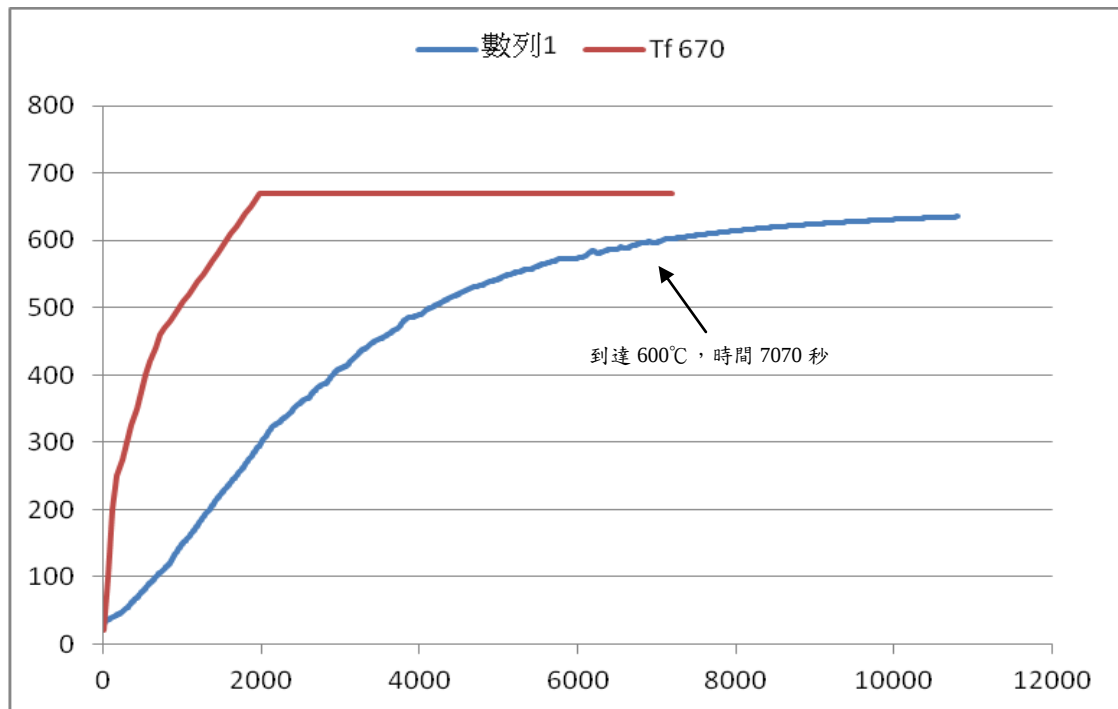


圖 3 - 8 自訂升溫曲線至 670°C 與試體 HCB4T6 數值分析結果
(資料來源：本研究整理)

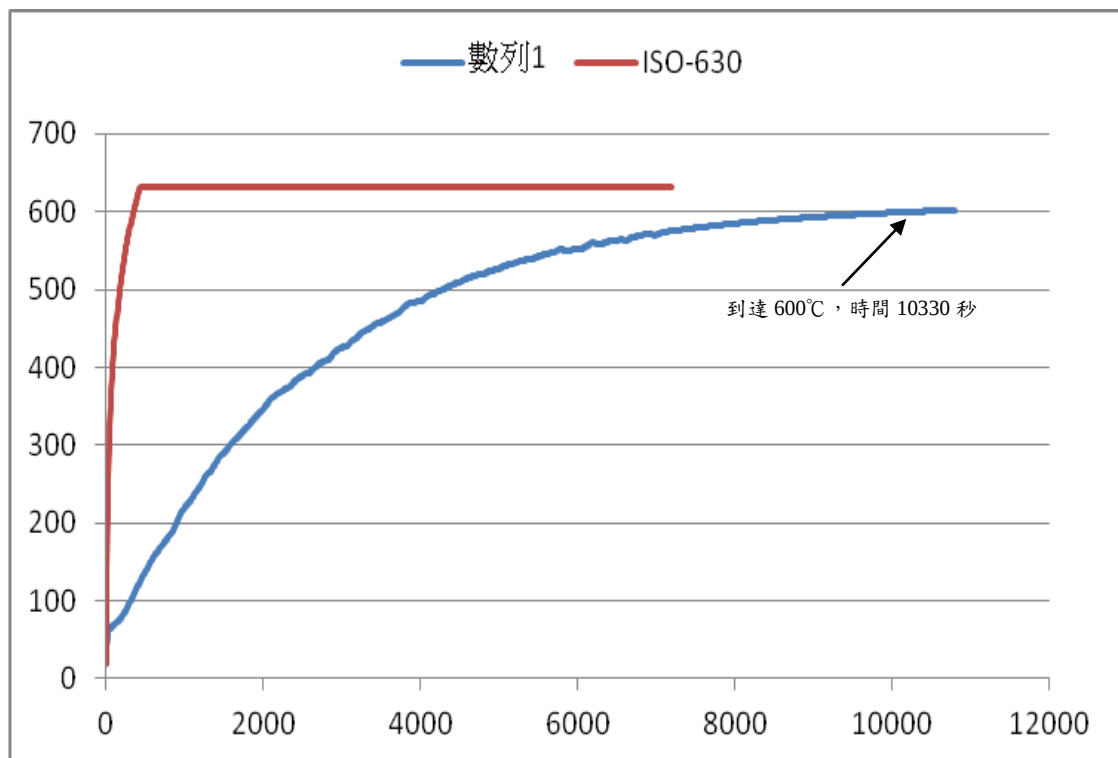


圖 3 - 9 標準升溫曲線至 630°C 與試體 HCB4T6 數值分析結果
(資料來源：本研究整理)

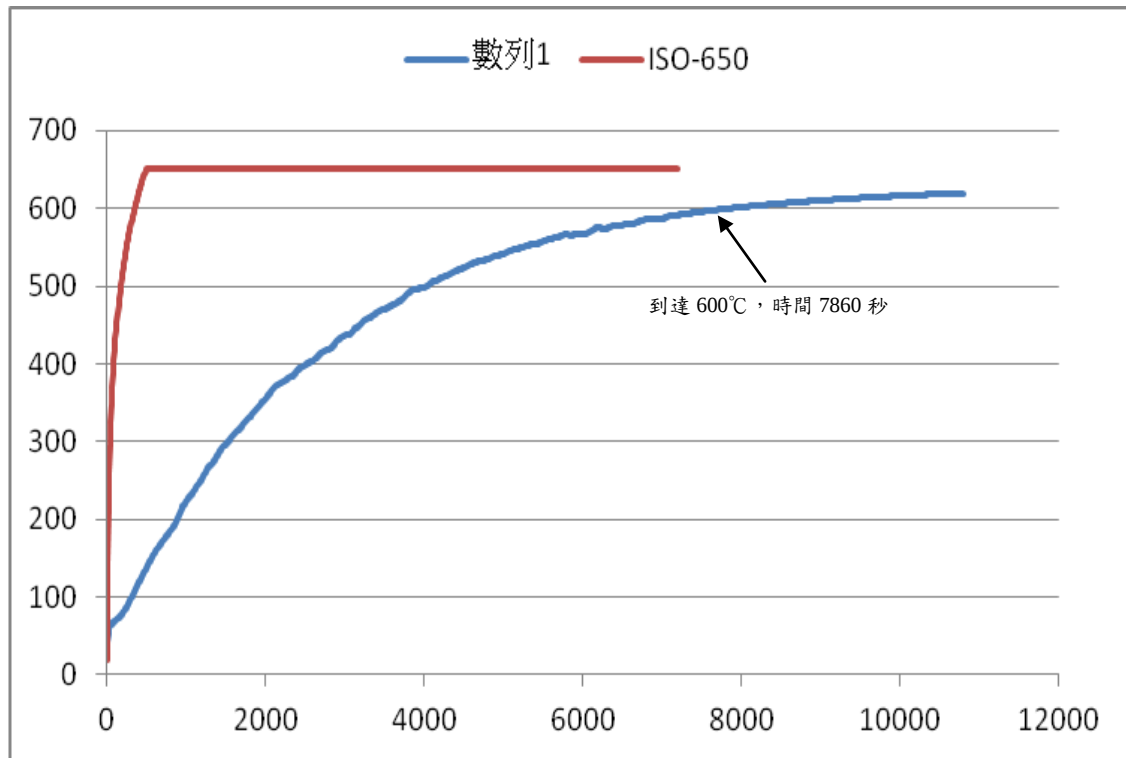


圖 3 - 10 標準升溫曲線至 650°C 與試體 HCB4T6 數值分析結果
(資料來源：本研究整理)

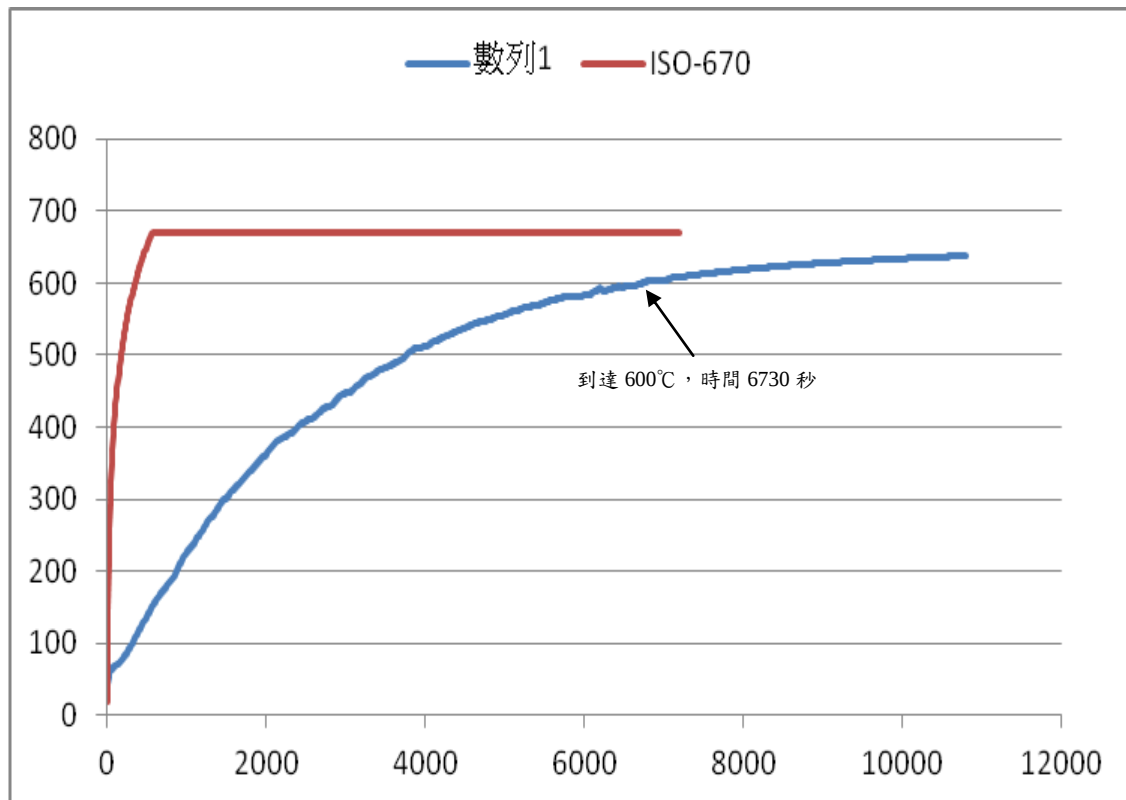


圖 3 - 11 標準升溫曲線至 670°C 與試體 HCB4T6 數值分析結果
(資料來源：本研究整理)

繼續分析第二支試體表面溫度到達 700°C 所需時間，以自訂升溫曲線將爐溫提高到 730°C ，4 小時後鋼表面溫度不會到達 700°C ，只有 688.4°C ，結果如圖 3 - 12 所示。溫度由 730°C 提高到 750°C ，結果如圖 3 - 13 所示，時間需 12510 秒，約 3 小時 28 分鐘。如果提高到 770°C ，結果如圖 3 - 14 所示，時間需 9340 秒，約 2 小時 35 分鐘左右。

如前分析結果顯示， 700°C 自訂升溫曲線是以將爐溫提高至 770°C 後保持定溫方式為之，預估升溫時間約 2 小時 35 分鐘左右。

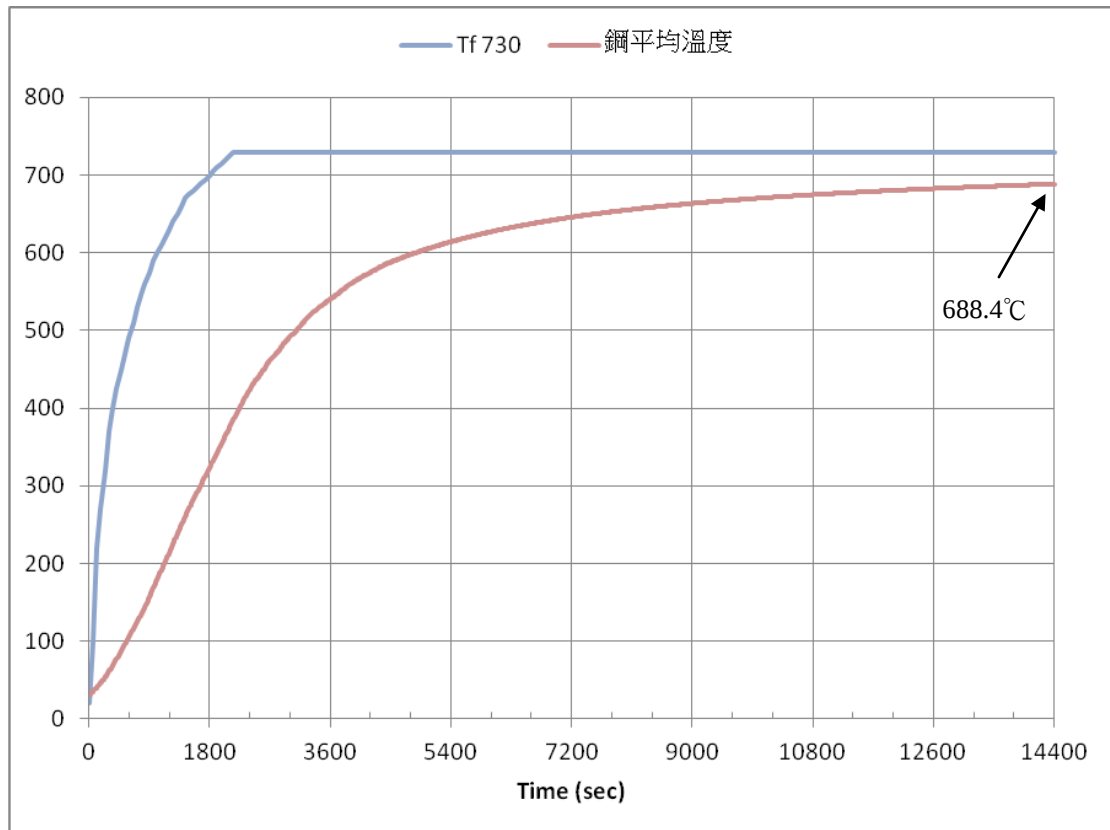


圖 3 - 12 自訂升溫曲線至 730°C 與試體 HCB5T7 數值分析結果
(資料來源：本研究整理)

高溫下內灌混凝土鋼構件之熱傳數值分析

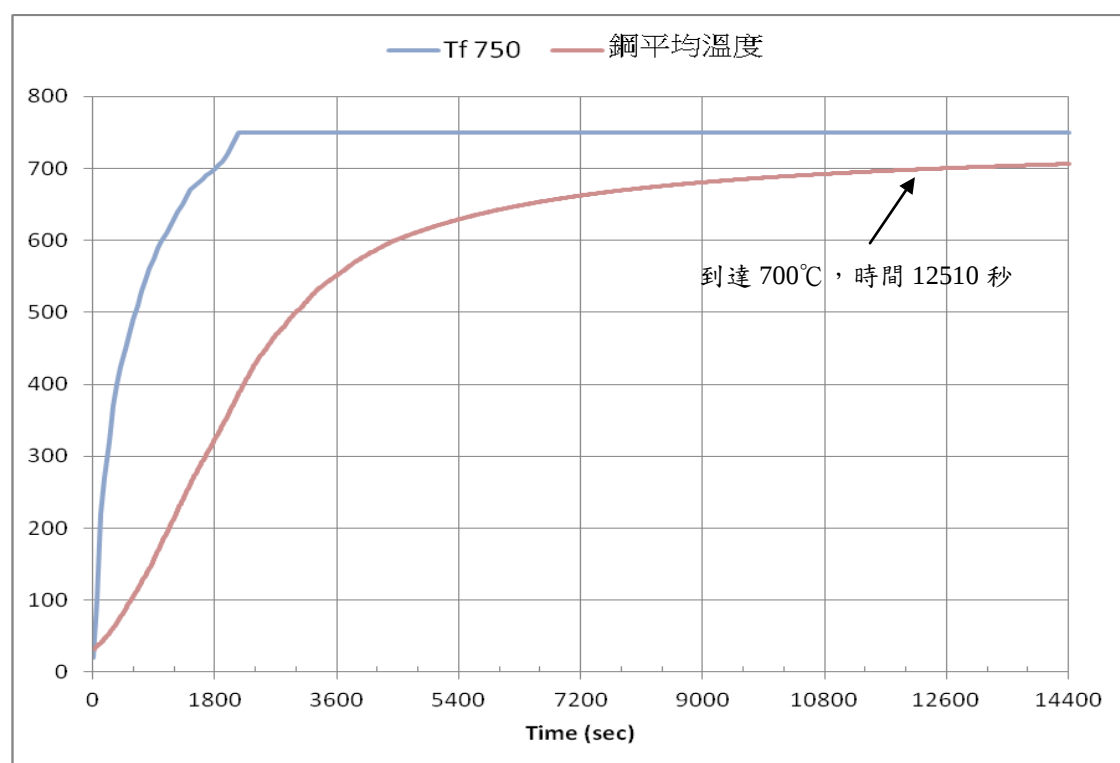


圖 3-13 自訂升溫曲線至 750°C 與試體 HCB5T7 數值分析結果
(資料來源：本研究整理)

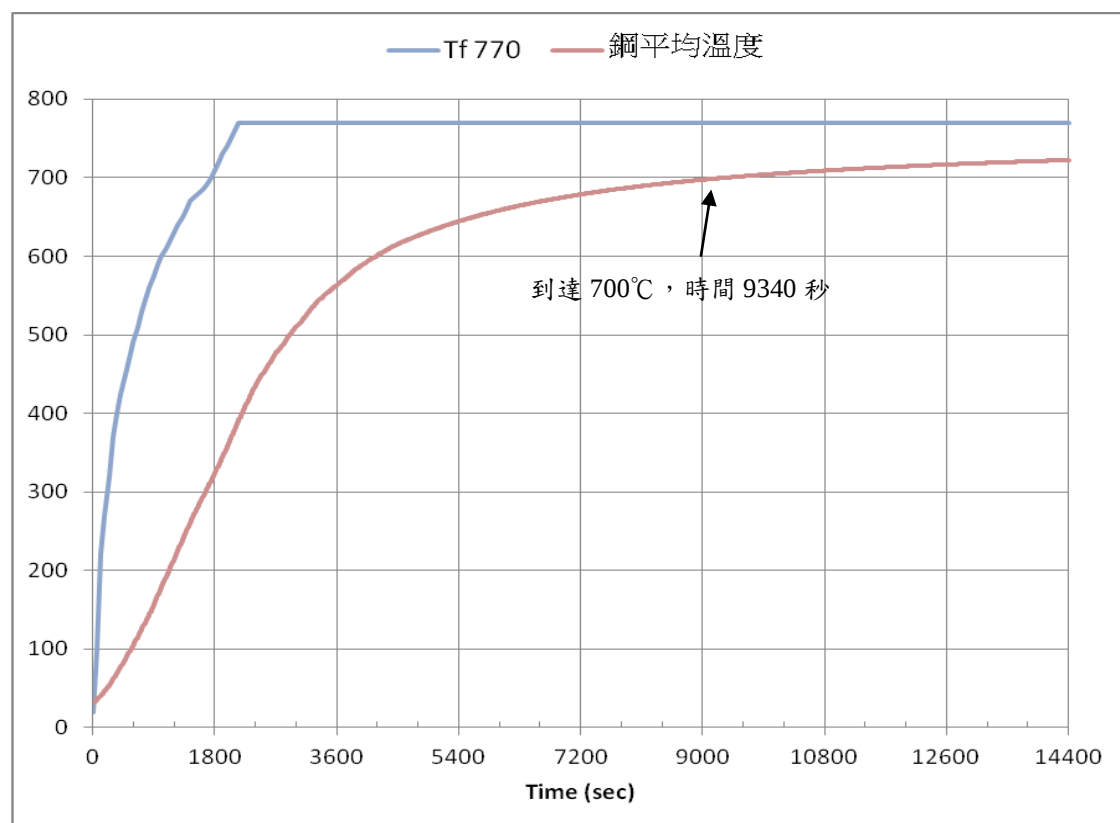


圖 3-14 自訂升溫曲線至 770°C 與試體 HCB5T7 數值分析結果
(資料來源：本研究整理)

第四章 數值分析

以數值方法應用綜合熱傳係數推求實驗所需之升溫曲線及試體表面溫度，可得到良好的近似結果，再將熱傳結果代入數值分析中，模擬內灌混凝土箱型鋼柱受火害之力學行為，並將分析結果與實驗結果互相比較，以驗證分析模型之可信度。

試體內鋼與混凝土接合處會因溫度上升伸長量不同產生分離，造成兩種材料間熱傳方式改變，由熱傳導變成熱對流與熱輻射，因無法得知介面處兩材料分離時間，故假設介面間仍以熱對方式進行，而混凝土綜合熱傳係數是根據 2020 陳誠直實驗資料以內插方式推算，用於本研究之熱傳數值分析。

第一節 熱傳分析

1. 試體 HCB4T6

試體 HCB4T6 實驗初始鋼平均溫度為 30.9°C ，混凝土平均溫度為 31.5°C ，實驗目標溫度為 600°C 。依照前章結果，爐溫設定至 670°C 後保持，至試體鋼平均溫度到 600°C 開始進行加載。

實驗進行時因耐火爐程序設定有誤，於 18 分 10 秒(1090 秒)後停止，進行降溫，至 88 分 30 秒(5310 秒)才重新開始第二次實驗。此時鋼平均溫度約 106.2°C ，混凝土最外測溫點平均溫度約 97.2°C ，中心點溫度 63.3°C ，以此做為第二次實驗之初始溫度。

試體 HCB4T6 斷面溫度與數值分析結果如圖 4-1 及圖 4-2 所示，數值分析鋼與混凝土溫度分布點如圖 4-3 及圖 4-4 所示，爐溫開始依照設定升溫曲線進行，但是到了 90 分鐘(5400 秒)左右，爐溫緩慢上升，因本次實驗火源用 12 個，較去年爐溫保持 630°C 使用 10 個火源多，瓦斯開至最低量能量仍高，無法維持於 670°C ，故而爐溫上升。造成試體溫度持續上升，無法於 600°C 保持溫度。

如圖 4-2 所示，從初始溫度 106.2°C 開始，鋼平均溫度與數值分析結果非常吻合，至 124 分 50 秒(7490 秒)到達 600°C ，混凝土溫度皆緩慢上升，至實驗結束時 148 分 40 秒(8920 秒)測點 C14.875cm 溫度到達 345.142°C ，C8-5cm 溫度到達 202.688°C ，而中心點溫度到達 153.962°C 。

高溫下內灌混凝土鋼構件之熱傳數值分析

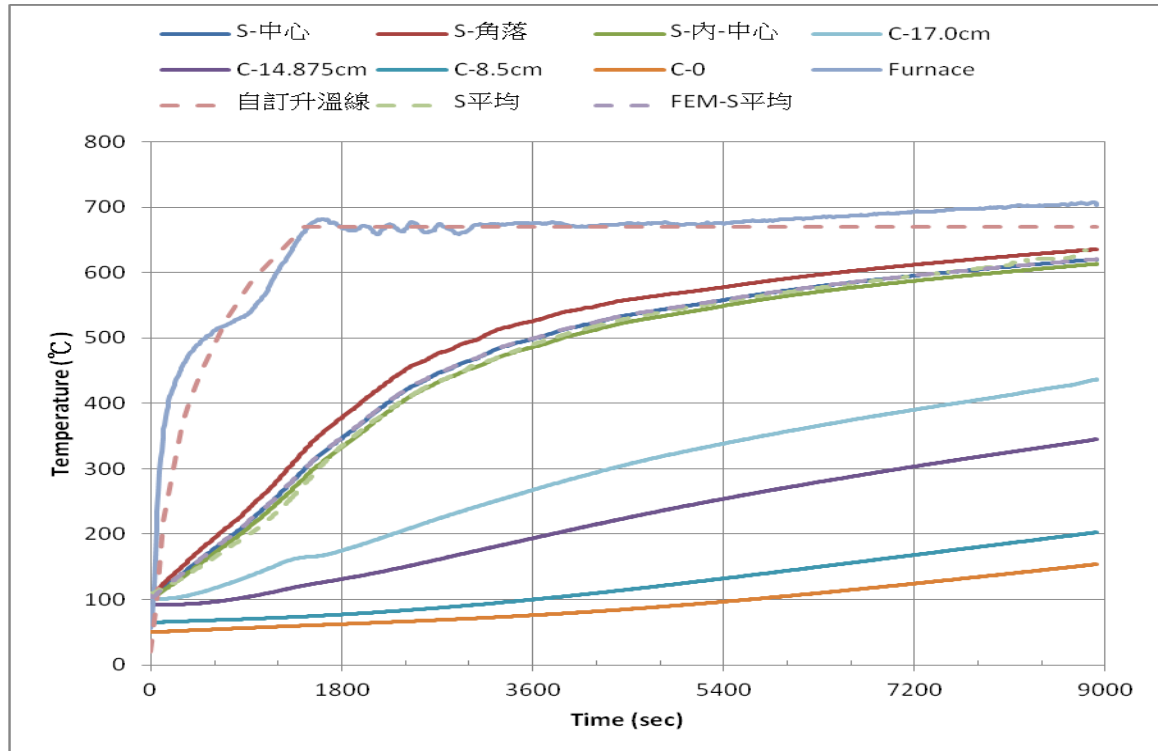


圖 4-1 試體 HCB4T6 斷面溫度與數值分析結果
(資料來源：本研究整理)

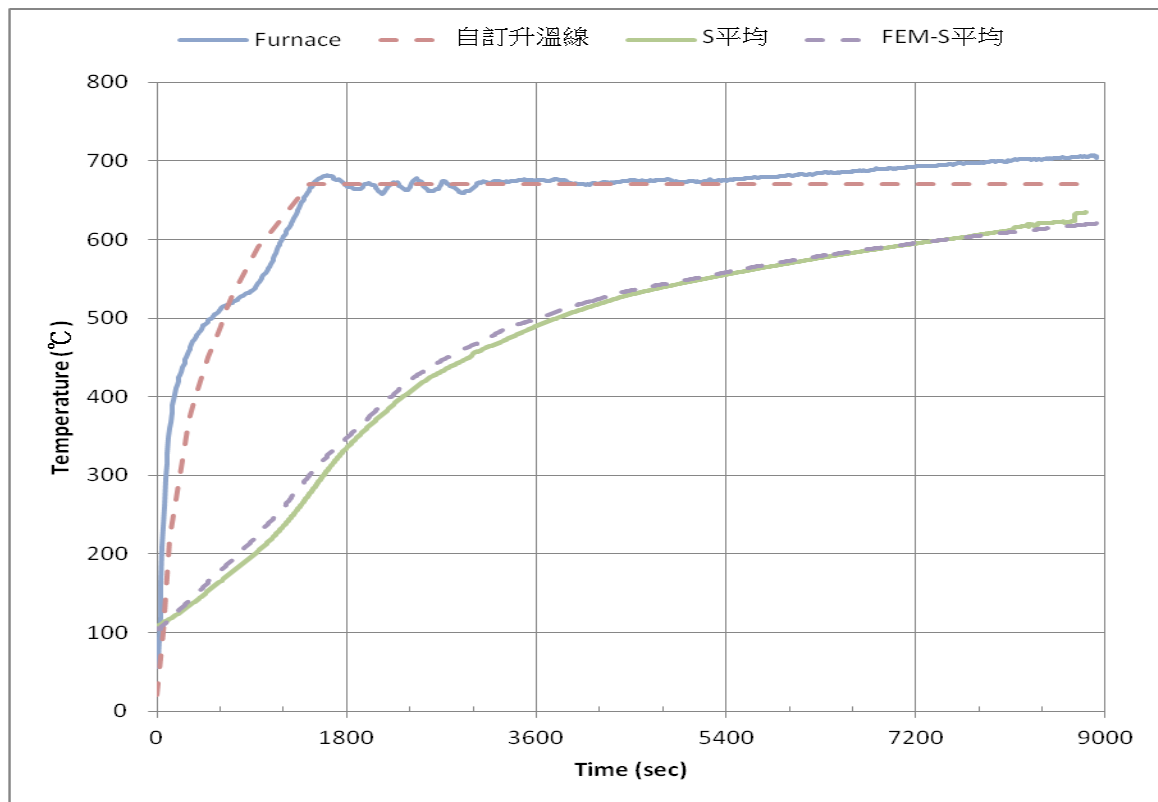


圖 4-2 試體 HCB4T6 爐溫與自訂升溫線，鋼平均溫度與數值分析結果
(資料來源：本研究整理)

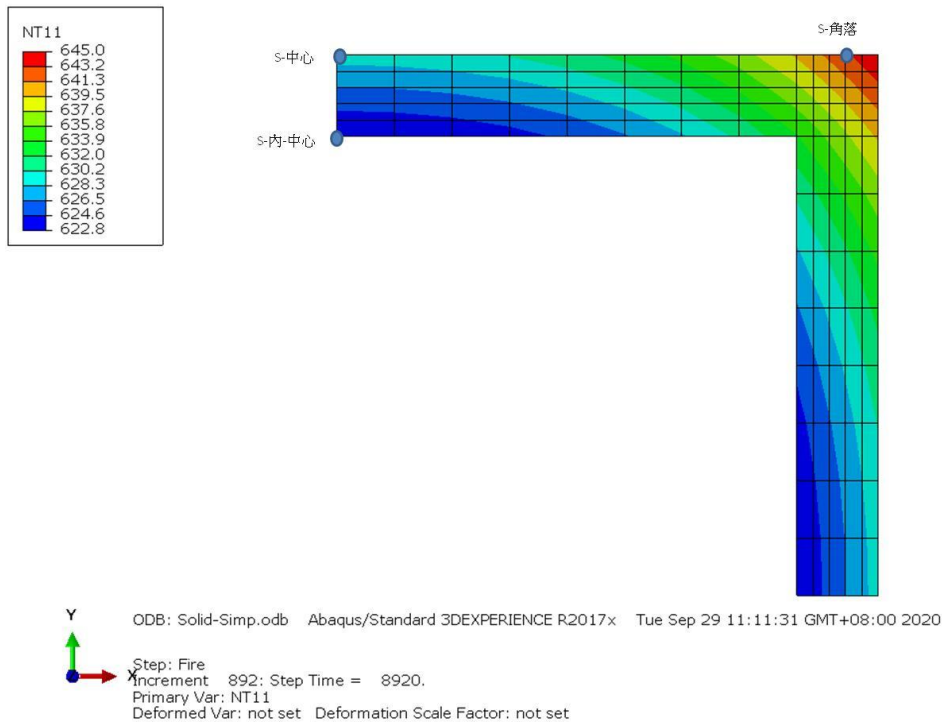


圖 4 - 3 試體 HCB4T6 數值分析鋼溫度分布點(1/4 斷面)
(資料來源：本研究整理)

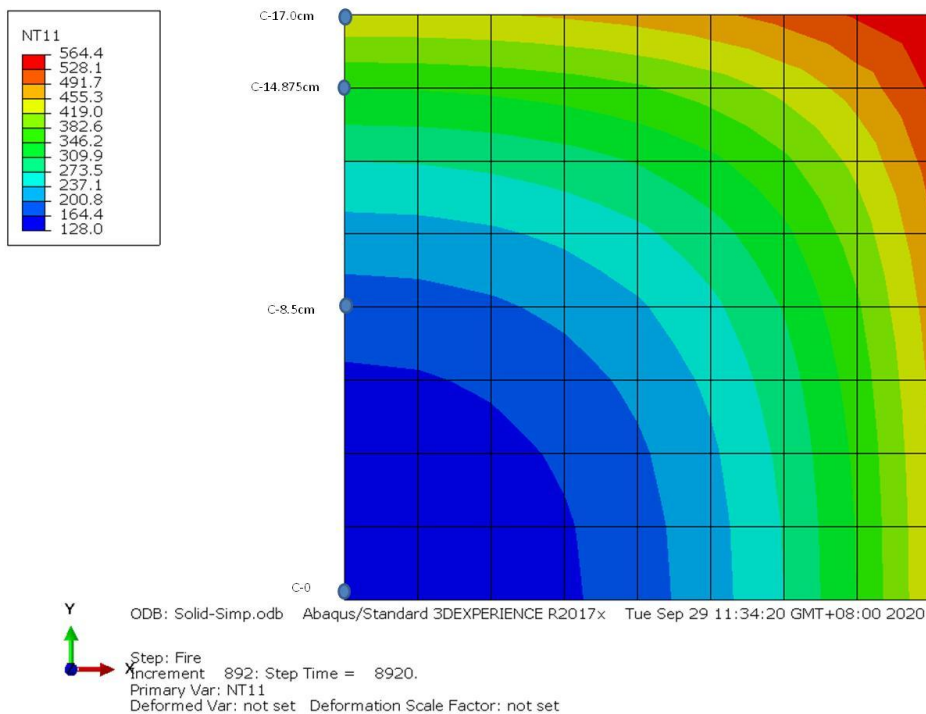


圖 4 - 4 試體 HCB4T6 數值分析混凝土溫度分布點(1/4 斷面)
(資料來源：本研究整理)

2. 試體 HCB5T7

試體 HCB5T7 實驗初始鋼平均溫度為 31.5°C ，混凝土平均溫度為 32.1°C ，實驗目標溫度為 700°C 。依照前章結果，爐溫設定至 770°C 後保持，至試體鋼平均溫度到 700°C 開始進行加載。

試體 HCB5T7 爐溫與數值分析結果如圖 4-5 及圖 4-6 所示，數值分析鋼與混凝土溫度分布點如圖 4-7 及圖 4-8 所示，本次實驗火源同前一實驗用 12 個，爐溫開始依照設定升溫曲線進行，但到達 700°C 前似有不足，爐溫無法快速上升至 770°C ，約 30 分鐘後才到達。

本次實驗因測溫線有些問題，數據擷取之結果難以參考使用，僅有數值分析結果。實驗加溫部分進行至 129 分 53 秒(7793 秒)預估鋼平均溫度已達 700°C 開始軸向加載，至 148 分 16 秒(8896 秒)試體達最大抗壓強度時實驗停止。

數值分析所用鋼與混凝土綜合熱傳係數採用與試體 HCB4T6 相同參數，結果如圖 4-5 所示，鋼平均溫度至 129 分 53 秒(7793 秒)只達 671.01°C ，至實驗結束時 148 分 16 秒(8896 秒)為 680.42°C ，混凝土測點 C19.6875cm 溫度為 316.023°C ，C11-25cm 溫度為 122.521°C ，而中心點溫度為 68.411°C 。

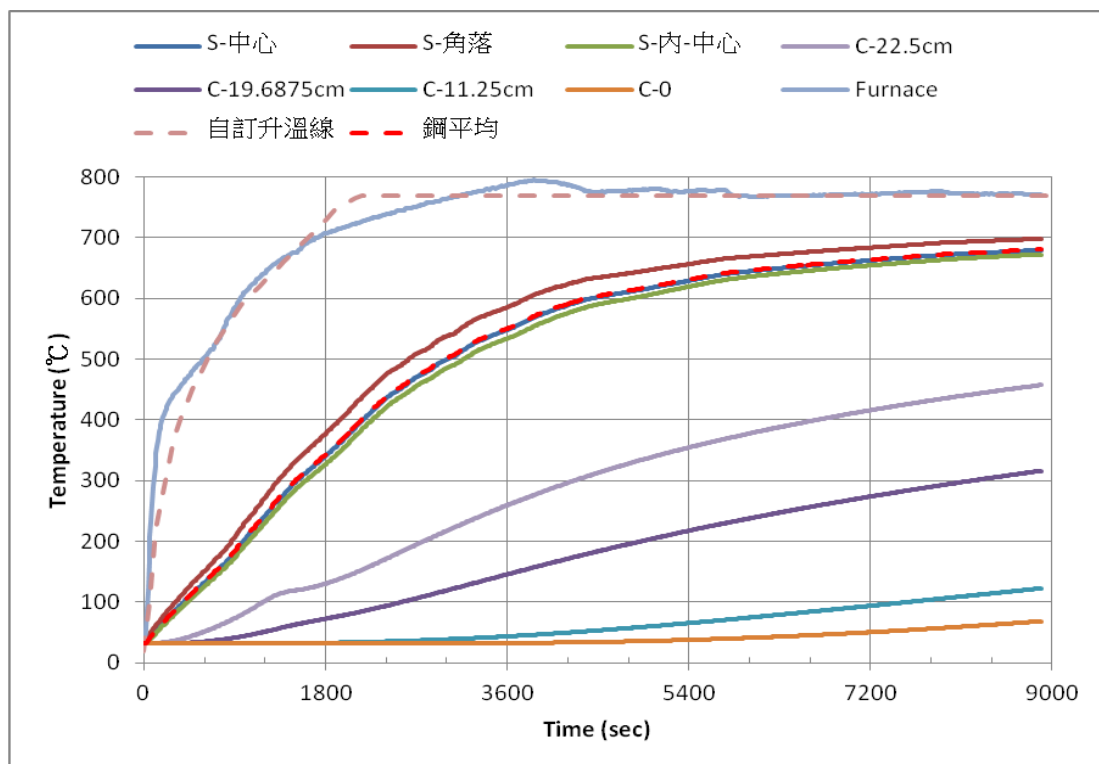


圖 4-5 試體 HCB5T7 爐溫與數值分析結果
(資料來源：本研究整理)

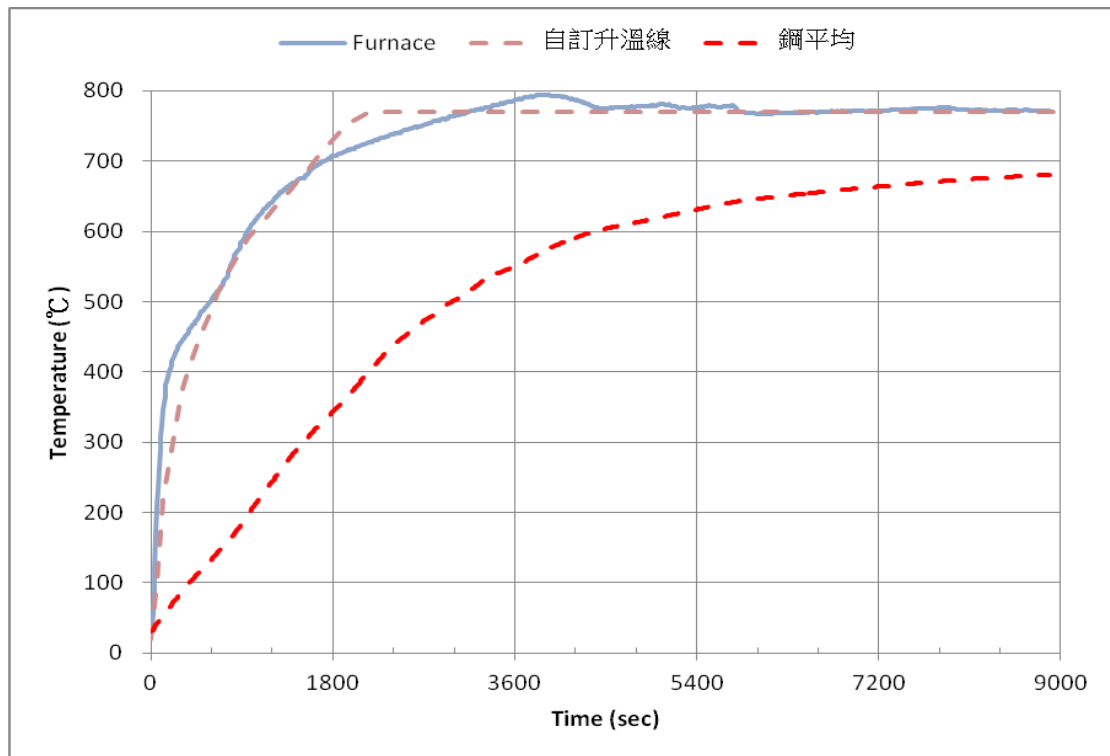


圖 4 - 6 試體 HCB5T7 爐溫、自訂升溫線與數值分析結果
(資料來源：本研究整理)

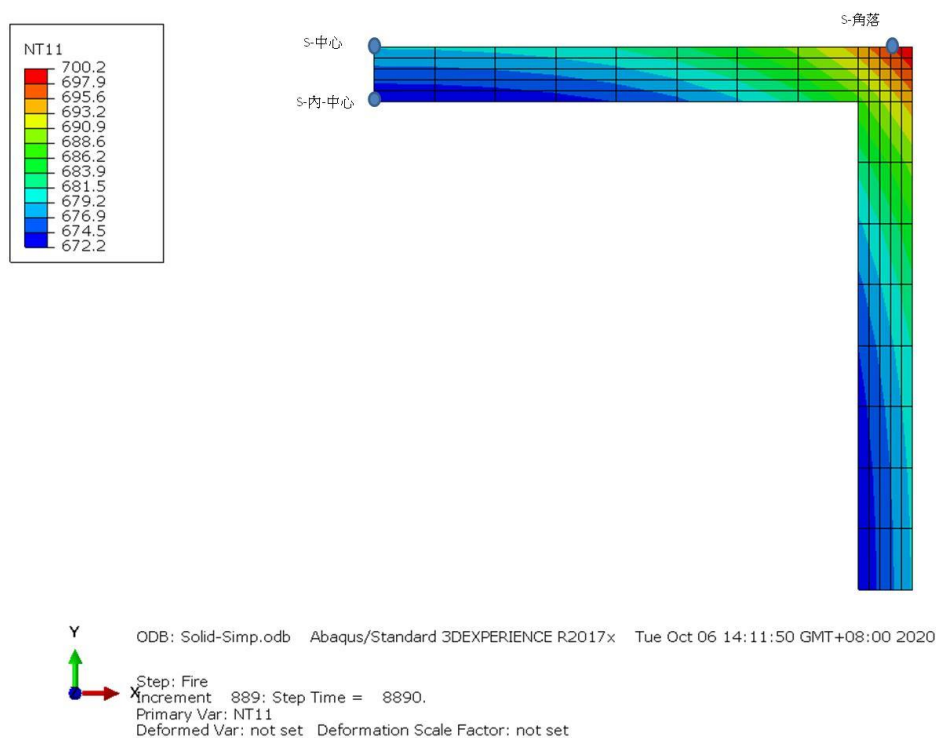


圖 4 - 7 試體 HCB5T7 數值分析鋼溫度分布點(1/4 斷面)
(資料來源：本研究整理)

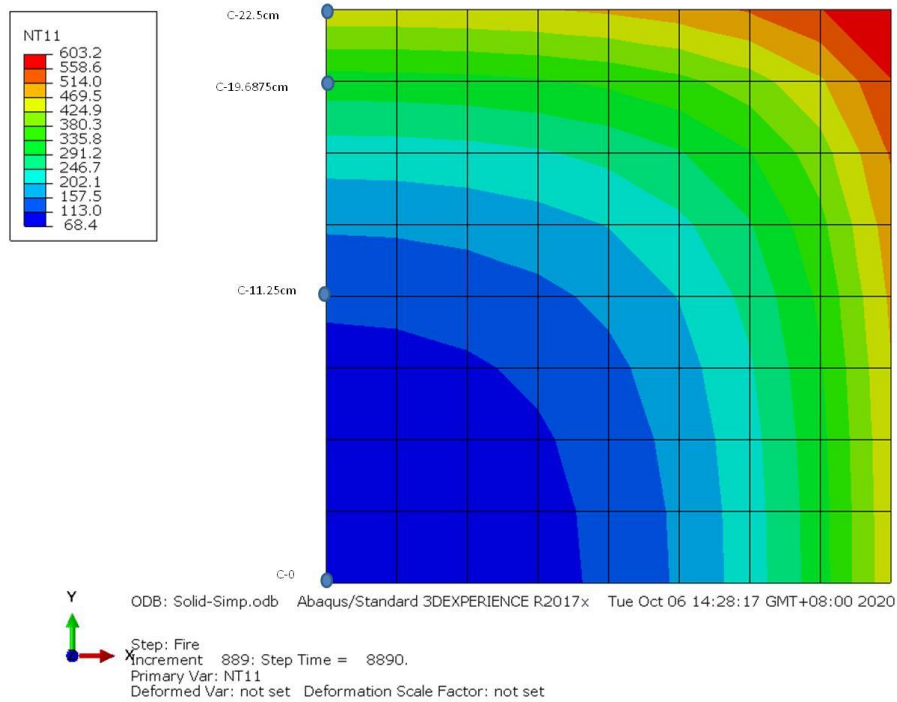


圖 4 - 8 試體 HCB5T7 數值分析混凝土溫度分布點(1/4 斷面)
(資料來源：本研究整理)

第二節 鋼與混凝土受熱產生之間隙

試體內鋼與混凝土材料因熱膨脹係數不同，於溫度上升中會逐漸產生間隙，如圖 4 - 9 所示，當間隙大到一定程度，會改變熱傳行為。

為探求間隙的大小與熱傳行為變化，依照第二章材料高溫性質，計算鋼與混凝土斷面熱膨脹，鋼材料因厚度小，外圍與內側溫度差距不大，斷面溫度取表面中點溫度計算。混凝土斷面溫度非線性分布，約略呈二次曲線，外圍高中點低，故以混凝土外圍與中點間距離，靠外圍 1/3 處之溫度計算。

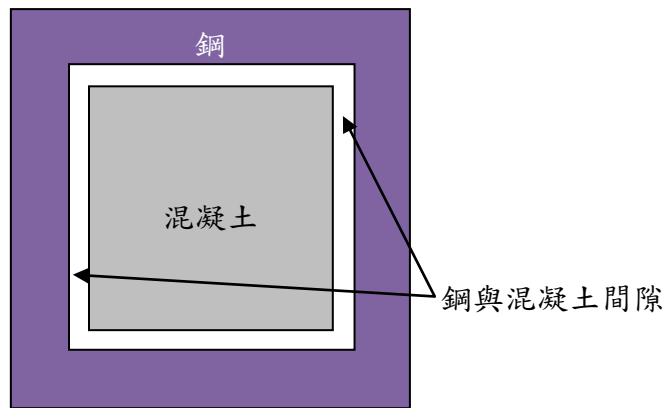


圖 4-9 內灌混凝土箱型鋼柱試體斷面圖
(資料來源：本研究整理)

依照實驗爐溫資料進行數值分析，試體 HCB4T6 與 HCB5T7 鋼與混凝土間隙與時間關係如圖 4-10 及圖 4-11 所示，由圖 4-10 可知試體 HCB4T6 間隙到達 0.5mm 時間是 1200 秒，此時間與數值分析所用混凝土綜合熱傳係數，模擬鋼與混凝土接觸時間相近，因此間隙 0.5mm 可參考做為兩材料介面分離，使熱傳遞方式由熱傳導變化為熱對流之距離，依此方式由圖 4-11 試體 HCB5T7 間隙到達 0.5mm 時間是 940 秒，為 HCB5T7 材料介面熱傳遞方式改變之時間。

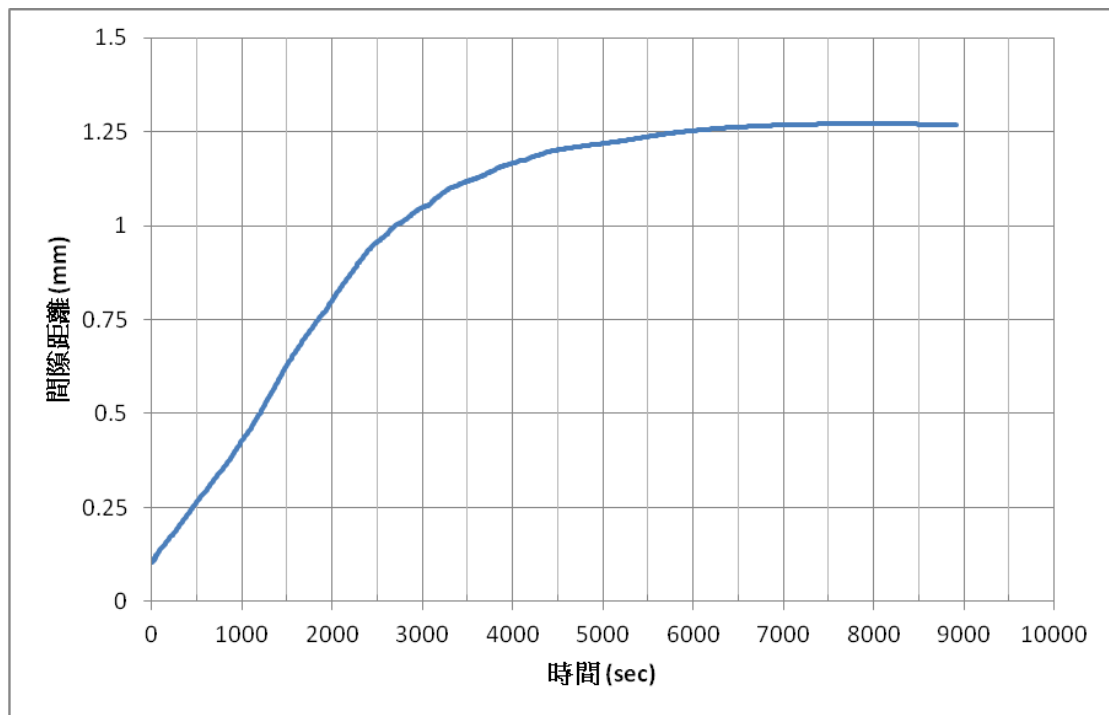


圖 4-10 試體 HCB4T6 鋼與混凝土間隙與時間關係
(資料來源：本研究整理)

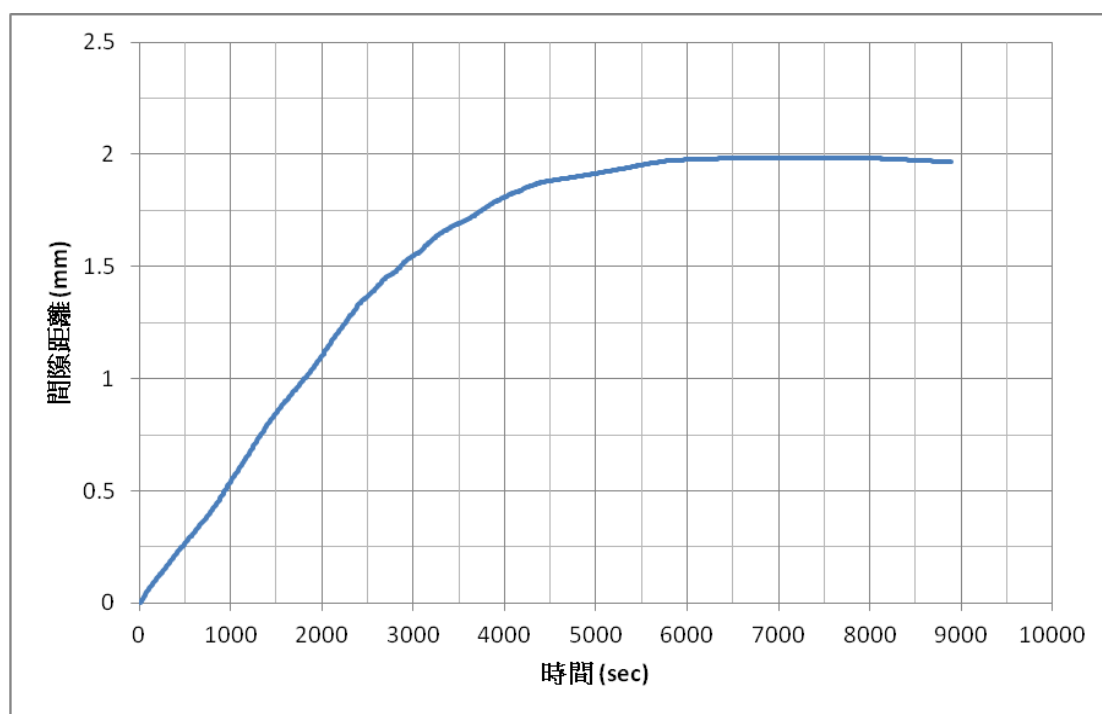


圖 4 - 11 試體 HCB5T7 鋼與混凝土間隙與時間關係
(資料來源：本研究整理)

第四章 結論與建議

第一節 結論

本研究應用數值分析探討內灌混凝土箱型鋼柱熱傳結果，結論如下：

1. 鋼材料之綜合熱傳係數較為準確，數值結果接近實驗資料。
2. 混凝土綜合熱傳係數是以本研究實驗資料歸納而來，雖已有初步結果，也可用於數值分析，但因混凝土為不良導體，致各測溫點所得之資料差異性大，仍需再進行多次實驗，以獲得較為準確之結果。
3. 鋼與混凝土 2 種材料介面間熱傳遞方式由熱傳導變為熱對流方式，可考量以 2 種材料因受熱伸長不同產生之間隙大小作區分，至於確定之間隙值及模擬熱傳導所需之綜合熱傳係數，仍需再進行多次實驗驗證。
4. 本研究應用數值方法已可於實驗前先行預估實驗到達設定溫度所需時間，以調整爐溫及升溫曲線，達成實驗之目標，對於輔助結構火害實驗有非常大的助益。

第二節 建議事項

辦理高溫下混凝土構件之熱傳數值分析研究：中長期建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：

混凝土材料為熱傳不良導體，且構件斷面尺寸較鋼構件大，加上內部埋設之測溫點常受到灌漿震動移位，需要較多的實驗數據做歸納整理，才能得到較為適當之綜合熱傳係數，以提高數值分析的結果的準確性，做為輔助混凝土構材進行結構火害實驗之參考。

附錄一 研究業務協調會議紀錄

內政部建築研究所 109 年度第 4 次研究業務協調會議紀錄

一、時間：109 年 3 月 2 日(星期一)下午 2 時 30 分

二、地點：本所簡報室

三、主席：王所長榮進（王安強代）

記錄：姚志廷、呂文弘、陳柏端
詹家旺、李鎮宏、郭建源

四、出席人員：詳簽到簿

五、主席致詞：(略)

六、確認前次會議紀錄：

決定：會議主席請修正為「王所長榮進（王安強代）」。

七、研究案主持人簡報：(略)

八、發言要點(依簡報順序)：

(一)「建築室內環境品質評估及管制機制之探討」案：

1. 本研究切合本所「創新低碳綠建築環境科技計畫」研究主軸，且研究方向具體可行，應可予以支持。
2. 室內環境涵蓋之範圍包括音環境、光環境、通風換氣等，考量研究時程，建議將研究範圍適度縮小至 IAQ 部分，以利成果之產出。
3. 風雨風洞實驗室亦有規劃通風換氣及空氣品質相關量化實驗，未來相關研究成果可以相互參考分享。
4. 環境品質或空氣品質都是很大的研究課題，建築領域關注的空氣品質議題，主要是通風及換氣，至於空氣中各項成分之濃度或細菌病毒等議題，恐涉及其他單位專業與職掌。
5. 品質之概念出現於工業革命後，但品質不易從正面衡量，建議可以思考從反面進行評估，例如沒有瑕疵就是有品質。
6. 雖然建築法有涉及建築公共衛生，惟目前欠缺實際的管理制度，建議可以探討是否將建築安全衛生納入建築公共安全檢查或公寓大廈管理等制度，以提高管理的可行性。
7. 題目所指之管制機制是否係指建材之管制機制，建議於題目敘明。

8. 建議修正研究課題名稱為:「建築室內空氣品質評估及建材管制機制之探討」,以利聚焦研究主題。

(二)「既有住宅修繕案例之節能節水設計策略探討」案:

1. 本研究為配合永續智慧城市-智慧綠建築與社區推動方案績效評估與推廣所需規劃辦理,應可予以支持。
2. 有關預期成果擬提出之既有住宅修繕自主檢查表,除採勾選節能節水修繕項目及概算需求外,建議參考綠建築評估手冊舊建築改善類評估納入可量化的效益評估項目。
3. 後續自主檢查表之研究產出應用,建議可結合室內裝修與物業管理專業、房仲人員相關講習培訓活動進行成果推廣。

(三)「高溫下內灌混凝土鋼構件之熱傳數值分析」案:

1. 本研究重要性在與防火實驗中心產能結合,應用數值分析之輔助減少實驗成本,彌補人力與經費之不足。
2. 本研究為防火實驗中心建立熱傳數值模型,方向正確,惟試體數量不多,尤其是混凝土材料屬非均質,建議增加混凝土內部測溫點佈設,有助於量測試體斷面溫度之分布。
3. 建議可先運用本所歷年的結構火害實驗資料進行分析,以擴大研究成果,並可協助防火實驗中心建立資料庫。

(四)「直交集成板(CLT)構造炭化率之研究」案:

1. 針對梁柱構件角隅處炭化率計算方式與兩側邊不同要如何計算,建議可納入今年研究案評估計算方式。
2. 木構造膠合材料不同,炭化率及炭化深度也會有所不同,請瞭解木構造膠合原理與防火時效說明比對。
3. 請說明實驗材料為何選用日本 CLT 為主?另請探討 CLT 是否為耐燃材料及燃燒產生的發煙量多寡。
4. 膠合集成材與 CLT 膠合方式是否相同應敘明清楚,實驗以小型多功能爐進行測試,是否考慮使用大型梁柱複合爐進行測試。

5. 木構造建築物設計及施工技術規範規定樓層高度不可超過 4 層樓，臺中森科總部標註為 5 層樓，請釐清確認。
6. 本研究之方向具體可行，惟研究內容應予再釐清界定。

(五)「結構分立型太陽光電系統風力與風壓係數研究」案：

1. 為避免研究成果與既有法令標準規定有所競合造成誤解，研究內容妥適性與主軸宜加以修正，亦或可另提課題。
2. 研究案對於實驗室檢測效能是否能有所助益，應可從該面向提出法令規範未詳盡之處，能藉由風洞檢測提供業界詳細設計參數，同時增加收入量能。
3. 題目建議修正為「結構分立型太陽光電系統風洞實驗研究」。

(六)「連棟式透天住宅之戶外風場與室內自然通風評估研究」案：

1. 本案應積極思考如何促進實驗室產能，並確實達成增加檢測收入之目標。
2. 建議以風洞試驗為基礎擬訂通風管制措施，供土地管制參考，並於一定規模以上強制執行試驗評估，方能增進實驗室產能。
3. 本案研究主題為風洞試驗擷取建築物表面風壓資料，建議題目簡化且聚焦戶外風場，並應加強論述研究合理性。
4. 連棟式透天住宅棟距狹窄應與建蔽率或容積率相關，研究過程可以此觀點探討戶外通風策略。

九、會議結論：

請各案主持人參考與會同仁之寶貴意見，並請納入研究內容參採修正，使研究成果更為豐富完整。

十、散會：(下午 5 時整)

附錄二 期中審查會議紀錄

內政部建築研究所

109 年度自行研究「建築技術規則建築防火材料認可制度探討研究」、「高溫下內灌混凝土鋼構件之熱傳數值分析」及「實尺寸鋼構屋火害實驗資料彙編之研究」3 案期中審查會議紀錄

- 一、時 間：109 年 8 月 12 日（星期三）上午 9 時 30 分
- 二、地 點：本所簡報室（新北市新店區北新路 3 段 200 號 13 樓）
- 三、主持人：蔡組長綽芳
記錄：陳柏端
- 四、出席人員：（如簽到單）
- 五、主席致詞：（略）
- 六、業務單位報告：（略）
- 七、研究計畫簡報：（略）
- 八、出席人員審查意見（依發言順序）：

（一）「建築技術規則建築防火材料認可制度探討研究」案：

蔡簡任研究員銘儒：

1. 目前制度容易讓主管機關管太多，造成對新材料、新工法推行之困難，建議依照國際趨勢推動符合性評鑑制度，主管機關只需管理監督驗證機構及試驗機構即可。
2. 試驗機構應取得 ISO 17025 之認證，驗證機構亦應取得 ISO 17065 之認證，才不會發生未具認證之驗證機構評定已認證之試驗資料之情形。
3. 驗證機構之驗證方案應包含評估、審查、驗證決定及追查。
4. 建議審核認可應先向驗證機構申請，驗證機構先對材料審查及查驗，再以其內部資源或外部資源進行試驗，內外部資源試驗部分應符合 ISO 17025，檢驗應符合 ISO 17020，驗證應符合 ISO 17065，以達到符合性評鑑之目的。
5. 建議主管機關授權驗證機關可發標籤及收取標籤及年費費用，以做為追查所需經費。

6. 轉場機制中提及建立通過審核認可新材料資料庫，使認可之材料不需再做檢測，此方案對於實驗室之經營有相當之衝擊，實驗室消失後對於未來需送檢之材料則無試驗機構可選，請再加以考量。

王約聘研究員天志：

1. 報告書格式請依規定修正，並補列參考書目。另報告書內容中所用名詞及資料請更新，如「商品檢驗局」已改為「標準檢驗局」，「中華建築中心」已改為「台灣建築中心」，並請補列表 3-5 本所受指定的試驗項目。
2. 研究所提對於已具有國家標準，經認可且運用於市場的材料，需一再重複申請審核認可，對此現象請補充說明有何改善建議，及相對應之轉場機制為何。
3. 簡報第 19 頁提出簡化審核認可制度第 2 項及第 3 項，請補充相關之具體內容，建議應強化評定單位資格認可，如通過 ISO 17065，並落實其針對特殊案件的分析評定功能。
4. 對於研究目的之「認定」制度，請說明後續規劃方向為何，並建議持續與主管機關溝通了解，確認目前之政策方向是否將持續進行。

詹約聘副研究員家旺：

本研究結論將提出簡化流程，建議可參考標檢局對於防火門產品登錄之線上申辦系統，補充相關之具體措施。

財團法人台灣建築中心 傅副理健峰：

1. 本研究之文獻蒐集相當豐富，本中心為內政部營建署指定之評定機構，很期待本研究能提出相關之建議，進而簡化目前之申請流程，縮短申請時間。
2. 簡報第 16 頁及第 22 頁提出未來轉場機制，期許能依照第 22 頁所建置之登錄、申報、查驗作業原則，以確保防火材料之後市

場管理機制，管控工廠產品的流向。

主席：

1. 報告書內容建議歸納出問題與相關之作法。
2. 簡報第 5 頁提出將召開「專家諮詢與檢討會議」，建議修正為「機關代表專家諮詢會議」，以避免本部對本研究有使用業務費之疑義。
3. 簡報第 20 頁所提架構中，有 CNS 規定且有判定基準者可申請認定 B1 之程序，有 CNS 規定但無判定基準者可申請認可 B2 之程序，為強化認定 B1 申請程序，是否只要 CNS 能加強判定基準者，即可免除 B2 之程序，全部都申請 B1 就好，請說明。
4. 建議本研究配合後市場管理，及參考標檢局之作法，並做文獻資料探討。

計畫主持人回應（王副研究員鵬智）：

1. 目前試驗機構已採用 CNS17025，至於驗證機關建議採用 CNS17065 乙節，將納入本案之結論與建議，提供主關機關參考。
2. 有關轉場機制將對實驗室產生重大衝擊乙節，將建議實驗室轉型驗證機構，強化建築材料後市場之管理查核，以及建材登錄之查核。
3. 「商品檢驗局」已改為「標準檢驗局」，「中華建築中心」已改為「台灣建築中心」，將配合修正。
4. 登錄費用可以納入年度收費參考，經驗證機構查核不實，或未繳交登錄費用者，則不予登錄。
5. 本案將於期末提出建築技術規則之建議條文草案。
6. 有關後市場管理及標檢局作法將納入文獻資料探討。
7. 原則 B1、B2 皆建議採用認定制，將於期末報告提出認定制之定義與做法。

(二)「高溫下內灌混凝土鋼構件之熱傳數值分析」案：

蔡簡任研究員銘儒：

1. 本研究數值分析可否應用於檢測，於構件實驗前先行預估其火害結構行為，以協助實驗室人員於實驗前預作規劃適當之安全措施。
2. 進行數值分析有何限制及注意事項，且執行人員有何資格需求及理論專業等，請詳加說明。
3. 數值分析必要輸入之資料項目為何，對於不同試驗構件之分析難易度及如何查證輸入和輸出結果之正確性，請加以補充。

王約聘研究員天志：

1. 大型結構火害實驗費時費力，採數值分析方法作為輔助工具會有很大的助益，建議注意結果之準確性，及相關之驗證方法。
2. 本研究分析所用爐溫數據來自測溫棒，其無法反映輻射效應，此特性是否會影響所求的綜合熱傳係數，請加以考量。
3. 研究成果是否有適用特定試體的使用限制，如試體有無加載或受到彎矩作用等，請補充說明。
4. 未來可否應用到其他種類試體，如木構造或耐火材等會有燃燒或吸熱現象之材料，對於爐溫與試體導熱將有很大的影響，請參酌。

主席：

1. 建議簡單說明本研究成果有助於修正實驗規劃，對於實驗室人力運用、時間節省及經費方面有何助益。
2. 本研究試體包含鋼與混凝土材料 2 種，是否有相關文獻或是實驗資料可供比對或參考，以驗證數值分析之準確性，請說明。

計畫主持人回應（陳約聘副研究員柏端）：

1. 本研究主要目的為應用數值分析協助防火實驗中心找出梁柱實驗爐之熱傳特性，並配合委託研究案進行，已獲得初步之結果，

可於實驗前分析試體到達預定溫度所需時間，協助實驗人員調整實驗爐至適當溫度，縮短升溫時間。

2. 本研究歸納過去實驗數據所得之綜合熱傳係數，為本所梁柱實驗爐與鋼材料間之熱傳特性，可供各種具熱傳分析之軟體使用，不限於單一特定之軟體。
3. 有關數值結果之正確性，因綜合熱傳係數是以本所過去之實驗數據做為驗證，經過歸納修正後獲得，未來會提供一實驗案例供操作者練習，以驗證其結果之準確性。
4. 本研究應用過去實驗資料找出本所梁柱實驗爐與各類材料間之熱傳特性，無論材料內部熱傳導為線性或非線性，皆可以適用，但對於如木材等具燃燒特性之材料，因會有能量損失，較不建議使用。

(三)「實尺寸鋼構屋火害實驗資料彙編之研究」案：

蔡簡任研究員銘儒：

1. 本研究數據資料量相當龐大，如何運用，建議先行將資料區分為重要性及具參考性 2 種，以利後續整理及應用。
2. 結論提及鋼構屋火害實驗資料可供業界付費下載，建議須考慮資安問題及預防資料被竄改。
3. 業界付費取得彙編資料是單一費額取得全部資料，或依不同費額取得其所要資料，請加以考量。

王約聘研究員天志：

1. 報告書第三章內容有關火害實驗之敘述，建議改納入文獻資料，避免誤解以為本案有做實驗。
2. 建議補充國外研究單位實驗數據之整理及呈現方式，供本案參考。
3. 本研究目前資料的整理方式，較偏向每案的結果顯示，建議可

提供橫向之比較方式，以了解不同次實驗間之異同，有助使用者參考選用，較能顯現彙編之意義。

4. 資料彙編其名詞定義、各項設定解說及條件限制皆相當重要，建議需注意其一致性，讓使用者易於了解資料的意義。
5. 未來彙編資料供外界下載引用時，應做好免責聲明。有關付費方式，可先做簡要揭露引起興趣，以吸引業者付費下載。

詹約聘副研究員家旺：

建議本案完成實尺寸鋼構屋火害實驗資料彙編手冊供業界參考。

財團法人台灣建築中心 傅副理健峰：

本案實驗資料供外界下載時，宜注意資安問題。

主席：

1. 建議本案評估潛在使用者的可能。
2. Open data 與資安問題，兩者間如何取得平衡，以免因為資安限制技術發展，請一併考量。
3. 本案未來提供業界下載使用之對象宜有所限制與篩選。

計畫主持人回應（李副研究員其忠）：

1. 本案原構想以紙本方式發行，由於蒐集國外相關研究單位，現大都採用電子檔方式下載，若考量資安與使用對象的篩選，將採用英國鋼鐵公司出版 Cardington 火害實驗數據集方式進行。
2. 一般實驗數據彙編多以完整陳現所蒐集的數據，以供使用者自行選用比較分析。

九、會議結論：

- （一）本次會議 3 案期中報告，經與會審查委員同意，審查結果原則通過。請詳實記錄與會出席代表及本所人員之意見，並請計畫主持人參採，於期末審查時作適當回應。

(二) 請計畫主持人掌握研究時程，並請留意成果報告格式，以符規定。

十、散會：上午 11 時 30 分。

附錄三 期末審查會議紀錄

內政部建築研究所 109 年度自行研究「建築技術規則建築防火材料認可制度探討研究」、「實尺寸鋼構屋火害實驗資料彙編之研究」及「高溫下內灌混凝土鋼構件之熱傳數值分析」等 3 案期末審查會議紀錄

- 一、時間：109 年 11 月 26 日（星期四）下午 2 時 0 分
- 二、地點：大坪林聯合開發大樓 15 樓第 3 會議室
- 三、主席：蔡組長綽芳 記錄：王鵬智、李其忠、陳柏端
- 四、出席人員：詳簽到簿
- 五、主席致詞：(略)
- 六、研究案主持人簡報：(略)
- 七、出（列）席人員發言要點：

(一) 「建築技術規則建築防火材料認可制度探討研究」

王約聘研究員天志：

1. 建築技術規則所稱「認可」與「認定」應該僅是用語不同，就條文內容而言，應該沒有不同。
2. 目前法規規定新工法、新材料認可每三年得展延一次，六年重新申請認可，現有的性能試驗機構，可就防火材料性能有效的把關。研究建議轉場機制部分，防火材料無須每六年再申請展延，仍應考量試驗機構的功能，並加強後市場追蹤機制。
3. 授權認可或認定機構發證，應確實釐清試驗機構與評定機構之義務與責任。

陳約聘助理研究員佳玲：

簡報所提應加強性能試驗機構及評定機構之責任，宜請再明確釐清各該負之責任為何？

李副研究員其忠

1. 經濟部標檢局將於明年將防火門驗證業務收回，恰與內政部營建署最近建築技術規則修法作法不同，建議可了解該局為何將驗證業務收回，並納入檢討。
2. 研究中建議將驗證權下放至評定機構，是否有考量評定機構之人力負荷及能力負擔。

陳約聘副研究員柏端

無論是認可或認定之行政作為，應簡化明確，儘量讓申請廠商或民眾，清楚了解其產品如何申請。

內政部營建署劉工務員文遷

1. 所提建築防火材料認可制度現況與本署執行認可制度大致相同，所提建議將納供參考。
2. 鑑於每月申請認可的材料多達數百件，而本部承辦人力不足，是本部109年10月修正公告之建築技術規則總則編第4條，將委託本部指定之評定機構辦理認可業務，對業界申請新材料的時程將有效的縮短。
3. 有關建議評定機構申請ISO17065部分，本署將納入評估可行性。

中華民國全國建築師公會謝建築師國璋：

1. 有關「認可」、「認定」的用語定義，建議於建築技術規則訂定，使業界執行有所依據。
2. 期中簡報會議紀錄及回應，請納入成果報告，以資參考。

主席：

請針對內政部於 109 年 10 月份所發布的最新法規與本研究建

議制度做比對分析。

計畫主持人回應：(王副研究員鵬智)

1. 經濟部標檢局將於明年起將委託驗證單位辦理防火門認證業務收回，與內政部 10 月份所修訂發布建築技術規則總則編的條文，委託評定機構認可的做法不同，主要是責任的問題。
2. 本研究對於已有國家標準的材料，建議由內政部以指定的方式辦理，主要是考量該類防火材料無論是試驗設備、試驗方法甚或基準皆有可遵循者，故建議僅需經過評定，無須再送內政部認可。如此可真正做到簡政便民，同時配合材料登錄制度，也可有效管理。
3. 用語部分將於建議條文中予以明確定義。
4. 有關性能試驗機構與評定機構之權責，將進一步納入檢討說明。

(二)「實尺寸鋼構屋火害實驗資料彙編之研究」

王約聘研究員天志：

1. 實尺寸火害實驗相當耗費人力、物力，研究成果更是寶貴，本案將近年的實驗資料統整彙編，對後續研究參考引用，有很大的助益。
2. 研究成果未來如以網路平台提供給各界參考引用時，不同使用單位是否有不同的下載權限，對內容做分級管理？

陳約聘助理研究員佳玲：

實尺寸鋼構屋火害實驗數據已經完成彙整，建議未來可納入如何運用方面之研究。

王副研究員鵬智

實尺寸鋼構屋火害實驗的火載量為 40kg/m^2 (辦公室)，是否可應用於火載量超過 40kg/m^2 的場所，如廠房或倉庫。

主席：

1. 本研究已蒐集國外相關研究機構資料，請補充國家地震工程研究中心之作法。
2. 本研究公開的方式，建議可分階段將數據公開；並請評估公開後之影響及效益。

計畫主持人回應：(李副研究員其忠)

1. 本案考量資安與使用對象的篩選，將以紙本方式發行，並參考英國鋼鐵公司出版 Cardington 火害實驗數據集方式，數據資料存放於光碟片。
2. 實尺寸鋼構屋火害實驗係參考 Cardington 實驗參數，模擬辦公室火災情境，所得實驗結果無法應用於超過 40kg/m^2 的場所。
3. 本研究將於報告書補充國家地震工程研究中心之有關作法。另由文獻所獲得的 Cardington 實驗數據運用，大部分投稿國際期刊論文及發展數值模擬模型，並修改鋼結構設計規範，此可做為本研究未來數據公開之借鏡。

(三)「高溫下內灌混凝土鋼構件之熱傳數值分析」

王約聘研究員天志：

1. 利用數值方法進行實際構件的實驗結果預測與分析，是目前國際上的研究趨勢，本研究在熱傳分析上已有良好成果，建議未來持續針對力學部分進行探討，以求數值方法之完整。
2. 本研究熱傳分析部分，主要探討爐溫與試體表面之熱傳行為，對於不同試體的表面形狀、材料及耐火爐加熱方式時，建議補充說明其限制條件及適用範圍。

李副研究員其忠

1. 本研究探討耐火爐標準升溫曲線及自訂升溫曲線下，爐溫與試體間之熱傳分析，未來建議可對非標準升溫曲線下之實驗進行模擬。
2. 我國鋼筋混凝土建築物眾多，建議未來研究擴展至混凝土部分。

主席：

本研究以數值方法推估鋼構及內灌混凝土箱型鋼柱試體之溫度，對於木構造與竹構造等是否也可進行分析，請說明。

計畫主持人回應：(陳約聘副研究員柏端)

1. 本研究以數值模擬耐火爐火害試驗，因實驗室中可控制條件較多，較容易得到具體之結果。本方法經測試可行後，未來將可逐步推展到其他材料及不同火害情況，但對於木構造與竹構造等材料，因會產生燃燒，不適合用數值方法進行分析。
2. 實驗方式不同會造成爐內熱傳有些微之差異，目前對純鋼構分析的結果較為具體，而對鋼構與混凝土間熱傳效應，因實驗次數少，尚需再進行更多研究，才能歸納出適合應用之結果。
3. 有關模擬爐溫與混凝土間熱傳部分，因本研究為探討箱型鋼柱內之混凝土，與直接由耐火爐受火之熱傳狀況不同，未來將配合混凝土火害實驗，或利用過去實驗之數據進行分析探討。

八、會議結論：

- (一) 本次會議 3 案期末報告，經審查結果原則通過。請業務單位將與會出席代表及本所人員意見詳實紀錄，以供計畫主持人參採，並於報告中妥予回應。
- (二) 請注意圖示及圖表的智慧財產權，如有引述相關的資料，應註明資料來源。整份報告的結論與建議事項，應考量具體可行，並鼓勵將研究成果投稿建築相關學報或期刊。

九、散會(下午 4 時 00 分)

參考書目

中文部分：

林誠興、王士承，2005，「建築物火災行為與結構安全之性能模擬分析」，國科會專題研究報告。

中華民國鋼結構協會，2008，「鋼構造建築物鋼結構設計技術規範-鋼結構容許應力設計法規範及解說」，2007 年 6 月。

中華民國鋼結構協會，2008，「鋼構造建築物鋼結構設計技術規範-鋼結構極限設計法規範及解說」，2007 年 6 月。

張智梅(2008)，「火災下鋼筋混凝土構件的熱反應數值分析和抗火設計方法研究」，上海大學博士論文。

趙文成、陳誠直(2009)，「鋼梁構造以不同性能基準判定耐火性能之研究」，內政部建築研究所委託研究報告。

楊國珍、林南交、楊方傑、王星堯、許書豪、許瓊芳(2011)，「銲接型式對高溫下軸向受力鋼柱破壞模式之影響」，內政部建築研究所委託研究報告。

陳誠直、徐連君、莊鎬璟、黃薪曄(2019)，「高強度鋼構造柱於高溫下受壓強度之研究」，內政部建築研究所委託研究報告。

陳誠直、黃薪曄、劉冠佑、陳浚愿(2020)，「高強度內灌混凝土箱型鋼柱於高溫下抗壓強度之研究」，內政部建築研究所委託研究報告。

陳柏端(2014)，「銲接型式對箱型鋼柱火害行為研究」，內政部建築研究所自行研究報告。

陳柏端(2018)，「彎矩連接式鋼梁標準火害試驗及數值分析研究」，內政部建築研究所自行研究報告。

陳柏端(2019)，「標準火害下箱型鋼柱之穩定性數值分析研究」，內政部建築研究所自行研究報告。

英文部分：

Ahn, J. K., Lee, C. H. and Park, H. N. (2013) “Prediction of fire resistance of steel beams with considering structural and thermal parameters.” *Fire Safety Journal*, 56, 65-73.

American Institute of Steel Construction (AISC) (2005), “Seismic provisions for structural steel buildings.” Chicago.

American Institute of Steel Construction (AISC) (2005), “Specification for structural steel buildings.” Chicago.

Bailey, C.G., Burgess, I. W., Plank, R. J (1996) “Analyses of the effects of cooling and fire spread on steel-framed buildings.” *Fire Safety Journal*, 26, 273-293.

Chao Zhang, and Asif Usmani (2015) “Heat transfer principles in thermal calculation of structures in fire.” *Fire Safety Journal*, 78, 85-96.

Dai, X. H., Wang, Y. C., and Bailey C. G. (2009) “Effects of partial fire protection on temperature developments in steel joints protected by intumescent coating.” *Fire Safety Journal*, 44, 376-386.

Dwaikat, M. M. S. and Kodur, V. K. R. (2013) “A simplified approach for predicting temperatures in fire exposed steel members.” *Fire Safety Journal*, 55, 87-96.

Eurocode 3 (2005a). “Design of steel structures, Part 1.1, General rules and rules for buildings.” Eurocode 3 DD ENV 1993-1-1: 2005, British Standards Institution, London.

Eurocode 3 (2005b). “Design of steel structures, Part 1.2, General rules – Structural fire design.” Eurocode 3 DD ENV 1993-1-2: 2005, British Standards Institution, London.

Eurocode 4 (2004). “Design of Composite Steel and Concrete Structures, Part 1.1, General Rules and Rules for Building.” Eurocode 4 DD ENV 1994-1-1: 2004, British Standards Institution, London.

Eurocode 4 (2005). “Design of Composite Steel and Concrete Structures, Part 1.2, General Rules-Structural Fire Design.” Eurocode 4 DD ENV 1994-1-2: 2005, British Standards Institution, London.

Iu, C. K., Cnan, S. L., Zha, X. X. (2005) “Nonlinear pre-fire and post-fire analysis of steel frames.” *Engineering Structures*, 27, 1689-1702.

Jowsey, A., Torero, J. L., and Usmani, A. (2004) “Modelling of Structures in Fire:

An Example of the Boundary Condition”, Proceedings of The International Technical Congress on Computational Simulation Fire Models in Engineering and Research, Santander (Spain), pp. 297-313.

Yang, K.C., Hsu, R.J. (2009). “Structural behavior of centrally loaded steel columns at elevated temperature.” Journal of Constructional Steel Research 65, 2062-2068.