

(國科會 GRB 編號)
PG9802-0221

鋼梁構造以不同性能基準判定耐火性能之研究

受委託者：國立交通大學
研究主持人：趙文成副教授
協同主持人：陳誠直教授
研究助理：區錦輝 葉顯嘉

內政部建築研究所委託研究報告

中華民國 98 年 12 月

聲明：本報告建議事項及結論不代表本機關立場。

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

中華民國 98 年 12 月

目次

表次.....	iii
圖次.....	iv
摘要.....	viii
第一章 緒論.....	1
第一節 研究緣起與背景	1
第二節 研究方法.....	3
第三節 報告內容.....	3
第二章 國內外相關規範與文獻回顧	5
第一節 前言	5
第二節 國外相關規範.....	5
第三節 國內 CNS 12514 規範	6
第四節 國內外相關文獻回顧	8
第三章 鋼梁構造耐火性能之試驗	11
第一節 試驗規劃.....	11
第二節 試體規劃.....	12
第三節 量測儀器設置.....	14
第四節 試體製作.....	16
第五節 試驗設置.....	24
第六節 試驗步驟.....	29

第七節	試驗終止條件.....	30
第八節	性能基準與判定	31
第四章	鋼梁耐火性能之有限元素分析	33
第一節	研究方法及步驟	33
第二節	歐洲規範 Eurocode 3 鋼材高溫性質	33
第三節	數值模擬方法與步驟	41
第五章	試驗與分析結果與討論	47
第一節	試體行為.....	47
第二節	試驗結果.....	58
第三節	試驗結果討論.....	65
第四節	數值分析結果與討論	66
第六章	結論與建議	75
第一節	結論.....	75
第二節	建議.....	76
附錄一	審查意見與答覆	79
附錄二	噴附式防火被覆特性簡介	101
附錄三	鋼梁工作載重計算(容許應力法).....	103
附錄四	加溫試驗鋼梁表面熱電偶測點數據表	105
參考書目	158

表次

表 1-1	CNS 判定耐火性能之基準	2
表 2-1	各國水平承重構造耐火試驗規範比較.....	7
表 3-1	試體規劃	11
表 4-1	Eurocode 3 鋼材在高溫下之應力應變關係	35
表 4-2	Eurocode 3 鋼材在高溫下之力學性質折減係數	37
表 4-3	有限元素分析 ABAQUS 單位表	42
表 5-1	試驗結果簡表	47
表 5-2	試體各斷面加溫 1 小時後之溫度(°C).....	61
表 5-3	試驗結果與防火時效判定	62

圖次

圖 1-1	研究步驟流程圖	4
圖 3-1	試體之鋼承板、剪力釘、鋼絲網設置	12
圖 3-2	鋼梁表面熱電偶測點配置位置	15
圖 3-3	試體縱向熱電偶測點配置位置	15
圖 3-4	位移計與陶瓷棒的設置	16
圖 3-5	試體樓板混凝土澆注施工	17
圖 3-6	試體樓板混凝土施工完成	17
圖 3-7	鋼梁腹板熱電偶線設置	18
圖 3-8	鋼梁下翼板熱電偶線設置	18
圖 3-9	鋼梁鋼網施工	20
圖 3-10	鋼梁防火被覆施工(一)	20
圖 3-11	鋼梁防火被覆施工(二)	21
圖 3-12	鋼梁防火被覆施工(三)	21
圖 3-13	鋼梁防火被覆完成施工	22
圖 3-14	鋼梁翼板 Flange-1 應力應變曲線	22
圖 3-15	鋼梁翼板 Flange-2 應力應變曲線	23
圖 3-16	鋼梁腹板 Web-1 應力應變曲線	23
圖 3-17	鋼梁腹板 Web-2 應力應變曲線	24
圖 3-18	試體安裝於加溫爐內情況	25

圖 3-19 試驗設置上視圖	25
圖 3-20 試驗設置 B-B 視圖	26
圖 3-21 試驗設置 A-A 視圖	26
圖 3-22 支承端之細部機制	27
圖 3-23 北側支撐	27
圖 3-24 南側支撐	28
圖 3-25 位移計設置	28
圖 3-26 加溫爐與試驗設置	29
圖 3-27 標準加熱溫度-時間曲線	30
圖 4-1 Eurocode 3 鋼材在高溫下考慮應變硬化之應力應變關係 ...	36
圖 4-2 Eurocode 3 鋼材在高溫下之力學性質折減係數	38
圖 4-3 Eurocode 3 鋼材熱傳導係數	39
圖 4-4 Eurocode 3 鋼材比熱	40
圖 4-5 鋼梁模型	43
圖 4-6 鋼承板模型	43
圖 4-7 混凝土模型	44
圖 4-8 試體網格劃分	44
圖 4-9 ABAQUS 分析流程圖	45
圖 5-1 試體 1 之加溫爐升溫曲線	49
圖 5-2 試體 1 試驗後試體在爐內情況	49
圖 5-3 試體 1 試驗後防火被覆裂縫	50

圖 5-4	試體 2 之加溫爐升溫曲線.....	52
圖 5-5	試體 2 試驗時裂縫出現情況.....	53
圖 5-6	試體 2 試驗後試體在爐內情況.....	53
圖 5-7	試體 2 試驗後防火被覆裂縫.....	54
圖 5-8	試體 2 試驗後試體之永久變形.....	54
圖 5-9	試體 3 之加溫爐升溫曲線.....	56
圖 5-10	試體 3 試驗時裂縫出現情況.....	56
圖 5-11	試體 3 支撐端扭轉情況.....	57
圖 5-12	試體 3 試驗後在爐內情況.....	57
圖 5-13	試體 3 試驗後防火被覆裂縫.....	58
圖 5-14	試體 1 之時間-試體跨距中點撓曲度-鋼梁表面熱電偶測點平均溫度圖.....	63
圖 5-15	試體 2 之時間-試體跨距中點撓曲度-鋼梁表面熱電偶測點平均溫度圖.....	63
圖 5-16	試體 3 之時間-試體跨距中點撓曲度-鋼梁表面熱電偶測點平均溫度圖.....	64
圖 5-17	三組試體試驗結束後永久變形情形.....	64
圖 5-18	試體 2 與試體 3 之時間-試體跨距中點撓曲度圖.....	66
圖 5-19	試體 1 之時間-試體跨距中點撓曲度-鋼梁表面熱電偶測點平均溫度比較圖.....	68
圖 5-20	試體 2 之時間-試體跨距中點撓曲度-鋼梁表面熱電偶測點平	

均溫度比較圖.....	69
圖 5-21 試體 3 之時間-試體跨距中點撓曲度-鋼梁表面熱電偶測點平 均溫度比較圖.....	69
圖 5-22 試體 3 考慮被覆分析，直接施加溫度於複合梁分析與試驗結 果時間-撓曲度比較圖.....	71
圖 5-23 試體 1 試驗結果與受相同載重及溫度歷時下之純鋼梁分析結 果之比較.....	72
圖 5-24 試體 2 試驗結果與受相同載重及溫度歷時下之純鋼梁分析結 果之比較.....	72
圖 5-25 試體 3 試驗結果與受相同載重及溫度歷時下之純鋼梁分析結 果之比較.....	73

摘 要

關鍵詞：耐火試驗、鋼梁、載重實驗

一、研究緣起

為提供更合理之鋼梁構造耐火性能判定基準，本研究計劃針對我國的 CNS 12514「建築物構造部分耐火試驗法」進行研究，探討鋼梁構造以不同性能基準判定耐火性能之合理性。

二、研究方法及過程

本計劃進行實驗方法及分析方法之研究。實驗方法是以鋼梁試體在載重及無載重條件下分別進行實驗，以實驗結果探討 CNS 12514 對這兩條件的破壞基準之合理性。分析方法是先建立有限元素模型對實驗結果進行預測，待得到實驗時參數的影響再對模型修正，提供合理之分析模型。

三、重要發現

從試驗結果發現，在進行載重試驗時，含鋼承板混凝土樓板之簡支承鋼梁試體溫度達到破壞溫度基準，但試體之撓曲度還沒達到承重破壞基準，所以施加载重未必降低其防火時效。另外，本研究三組試體都包含樓板，提供一定的撓曲強度與勁度，使變形量減少，以及使試體之撓曲度能滿足容許最大撓曲度。

四、主要建議事項

根據研究成果，本研究針對鋼梁構造以不同性能基準判定耐火性能之研究作出以下建議。

立即可行之建議

主辦機關：經濟部標準檢驗局

協辦機關：內政部建築研究所

本次試驗使用鋼承板混凝土樓板時能提高鋼梁的撓曲能力，然而目前試驗法不論使用標準化的輕質混凝土板或實際樓板的容許撓曲度及容許撓曲率都是一樣的；建議耐火性能試驗水平承重構造之樓板設置應依實際之設計，以反應實際情況。

長期性建議

主辦機關：經濟部標準檢驗局

協辦機關：內政部建築研究所

國內 CNS 「建築物構造部分耐火試驗法」為構造耐火性能試驗之依歸，建議應依國內外近年之試驗研究成果，定期修訂內容，促使該標準更臻完善。

Abstract

Keywords: fire resistance test, structural steel beam, loading test

In order to implement rational standards for determining fire resistance of structural steel beams, this study was conducted to investigate the rationality of structural steel beams under different criteria of fire resistance performance, followed CNS 12514 “Method of fire resistance test for structural parts of building.”

This study was carried on experimentally and numerically. In the experimental program, steel beam specimens were tested with or without applied concentrated load to explore the rationality of the failure criteria regulated in the CNS 12514, based on the experimental results. Meanwhile, the numerical study was conducted to establish finite element models to predict the experimental results. The analysis models were further calibrated, based on the experimental effects of the parameters, to achieve more rational analysis models.

The loading test results indicated that a specimen, simply supported structural steel beam with concrete floor, had failed according to the failure criterion specified for the temperature. However, the deflection of the specimen had not reached the failure criterion specified for the loading test. It is concluded that the test loading may not reduce the fire resistance rating. In addition, the concrete floor constructed for all the three specimens can provide certain flexural strength and stiffness; therefore, the deformation of the specimens was reduced and can meet the allowable maximum deflection.

According to the research results, this study can provide the following suggestions for the fire resistance of the structural steel beams under different criteria of the fire resistance performance.

For immediate strategy:

These tests discover that the metal deck concrete floor can increase the flexural strength of the structural steel beam specimens and, furthermore, can increase the fire resistance based on the loading test. However, the current code specifies the same allowable deflection and the rate of deflection for specimens constructed with either lightweight concrete topping or metal deck concrete floor. Thus, it is suggested that actual floor design is required for horizontal load-bearing members when the fire resistance test is conducted.

For long-term strategy:

The CNS 12514 “Method of fire resistance test for structural parts of building” is the basic of the fire resistance test for structural parts of the buildings. It is suggested that the code needs regular examining based on the recent research results to implement the standard.

第一章 緒論

第一節 研究緣起與背景

壹、研究緣起

世界各地高速發展的地區，由於過度的開發且土地資源缺少，樓宇必須往高空發展才能滿足需求，因而高樓林立，鋼構造則廣泛的被使用於高層建築物。近年內美國 911 事件世貿大樓之倒塌肇因於大火，與國內東帝士大樓之嚴重火害，讓人們再一次關注鋼構造的耐火能力，國內及國外學者也紛紛對這方面進行很多研究。當鋼材受到高溫加熱時，其強度將會大大減少，尤其溫度超過 500°C 時，鋼材的強度會大幅下降，而一般火災的環境溫度約 1000°C 左右，故鋼構造必須進行防火被覆材施工，減慢火災時熱能傳遞到鋼材，以確保在一定防火時效下結構物的安全。本計畫即屬於探討鋼梁構造以不同性能基準判定耐火性能之研究，希望憑藉研究結果，檢討現行建築物構造部分耐火之試驗法。

貳、研究背景

目前國內對鋼梁受防火被覆材保護下耐火性能之判定試驗需按照建築物構造部分耐火試驗法(Method of fire resistance test for structural parts of building) CNS 12514 (經濟部標準檢驗局 1997)來進行，在試驗法中對承重構造的耐火性能規定以承重能力來判定，其判

定基準為對於水平承重構造(樓板、屋頂、梁等)進行載重試驗，當最大變形量或最大變形速率超過規定時，則視為耐火性能失敗。惟 CNS 標準同時亦允許進行測定無載重條件下之鋼材強度破壞溫度，測定構造中鋼材之溫度，其鋼材溫度最高值若超過 550°C 或平均值若超過 500°C，即表示試體已達破壞溫度，視為無法滿足耐火性能。對於 CNS 12514 水平承重構造之耐火性能判定基準整理如表 1-1 所示。

依據 CNS 標準，承重構造可以無載重進行耐火性能試驗，忽略構造實際承受載重情況，故本計畫針對這兩個判定方法進行試驗研究，希望能夠獲得試驗資料，以判定承重構造耐火性能之試驗是否應考慮試驗載重；並利用本次試驗的機會，以有限元素軟體建立有效之分析模型，以期能提供後續研究之用。

表 1-1 CNS 判定耐火性能之基準

	載重	失敗條件
1	有	最大撓曲度或最大撓曲速率超過規定， 最大撓曲度(mm)： $D = L^2 / 400d$ ，與 最大撓曲速率(mm/min)： $\frac{dD}{dt} = \frac{L^2}{9000d}$ 。
2	無	鋼材溫度最高超過 550°C 或平均超過 500°C

(資料來源：本研究整理)

第二節 研究方法

按照 CNS 12514 對水平承重構造的耐火性能進行試驗，以兩組相同條件 UL 認證 1 小時防火時效厚度的防火被覆試體分別進行載重及無載重條件的試驗，以判定兩組試體的耐火性能，同時並進行一組按 CNS 要求使用 UL 規定防火時效必須以 1.25 倍厚度之防火被覆試體以載重條件的試驗進行測試，測試不同厚度的防火被覆材料對耐火性能的影響。

鋼梁耐火性能之分析以有限元素分析軟體為工具進行分析，於試體耐火試驗完成後，把分析結果與試驗結果比對，並進行模型調整與修改，利用分析結果配合試驗所得之鋼梁耐火試驗結果，期望建立一套合理的有限元素分析模型。研究計劃之流程圖如圖 1-1 所示。

第三節 報告內容

本報告主要內容如下。第一章介紹火害對鋼構造之影響及本次計畫的研究目的。第二章回顧國內外耐火性能判定之相關規範及有關本研究之文獻。第三章介紹試驗規劃，詳細說明試體之設計、試體之製作、試驗設置、量測儀器設置與試驗的步驟。第四章介紹鋼梁耐火性能之有限元素分析，說明用有限元素分析之方法及過程。第五章討論試驗與分析結果。第六章則為本研究之結論與建議。

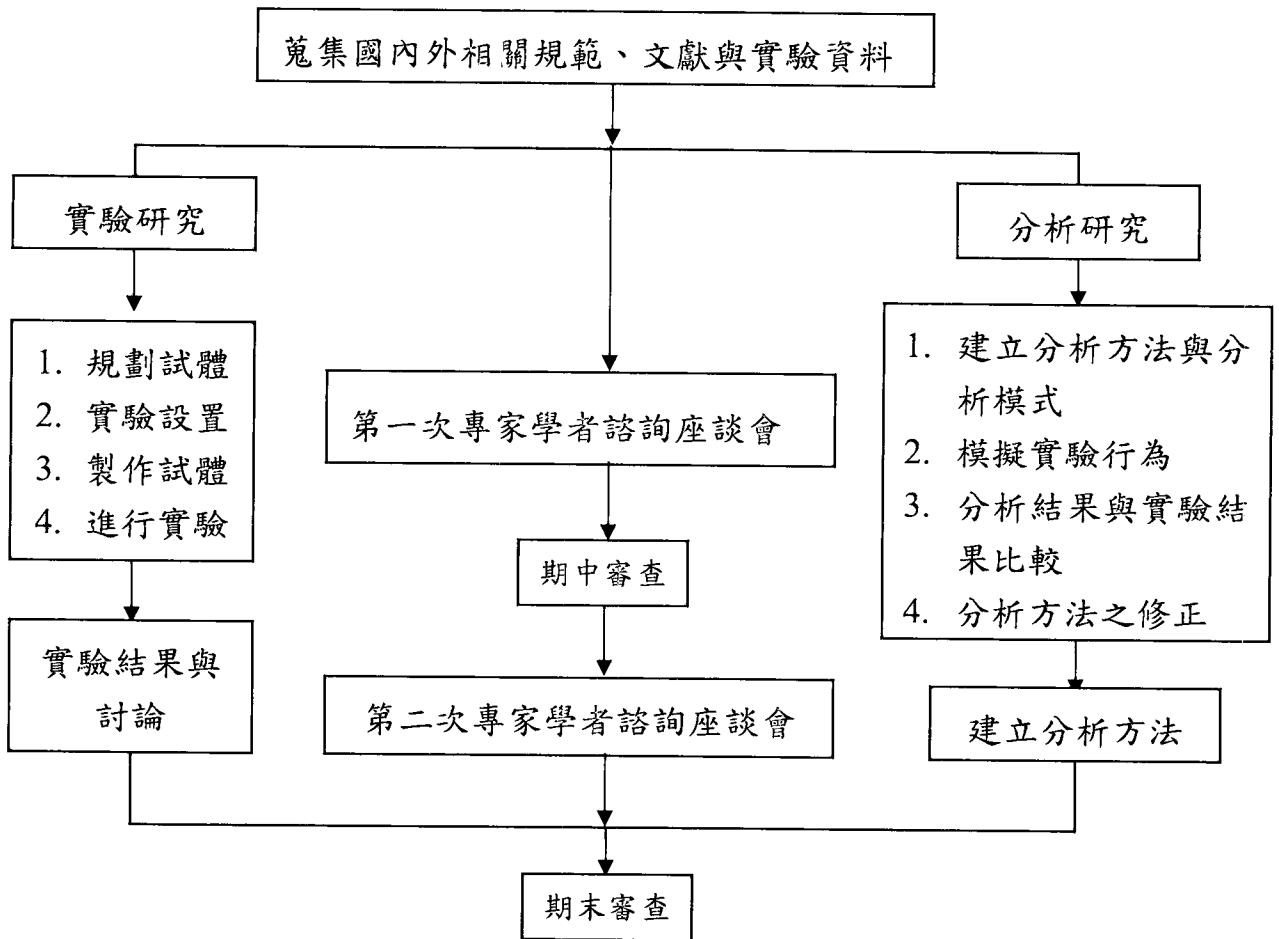


圖 1-1 研究步驟流程圖

(資料來源：本研究整理)

第二章 國內外相關規範與文獻回顧

第一節 前言

由於國內對於鋼構造之火害研究缺乏充分研究成果，所以國內行之「建築物構造部分耐火試驗法」中水平構造的訂定大多參考國外相關規範。國內外水平承重構造耐火試驗規範比較如表 2-1 所示。本章將回顧國內外相關規範及研究文獻。

第二節 國外相關規範

目前國內的「建築物構造部分耐火試驗法」之修訂大多參照 ISO 834 (International Organization for Standardization)，而國外相關主要規範包括英國 BS 476 (British Standards Institution) 及美國 UL 263 (Underwriters Laboratories Inc.)。

壹、國際標準組織 ISO 834 規範

ISO 834 規範為國內 CNS 12514 規範修訂的主要參考，其加熱溫度曲線為 $T = 345 \log_{10}(8t + 1) + 20$ ，評定破壞基準與國內 CNS 12514 規範一樣，但對於試體受熱長度沒有要求。要求梁試體之破壞溫度為單點容許最高溫度為 550°C ，平均溫度為 500°C ；承重破壞為最大撓曲度為 $L^2/400d$ (mm)，最大撓曲速率為 $L^2/9000d$ (mm/min)。

貳、英國 BS 476 規範

英國 BS 476 規範加熱溫度曲線為 $T = 345 \log_{10}(8t + 1) + 20$ 。要求試體受熱長度至少 4 m。進行加載試驗時，容許最大撓度為 $L/20$ (mm)，容許最大撓曲速率為 $L^2/9000d$ (mm/min)，單點溫度不超過 650°C 及平均溫度不超過 550°C 。

參、美國 UL 263 規範

美國 UL 263 加熱條件為 30 分鐘爐內溫度須達到 843°C ，1 小時須達到 927°C 。要求試體受熱長度至少 3.7 m。進行載重或無載重試驗時，並沒有以撓曲度及撓曲速率作為試驗之破壞基準。進行有載重試驗時，單點容許最高溫度為 704°C ，容許平均溫度為 593°C 。

第三節 國內 CNS 12514 規範

CNS 加熱溫度曲線為 $T = 345 \log_{10}(8t + 1) + 20$ 。要求試體受熱長度至少 4 m。進行載重試驗時，破壞基準為撓曲度不超過 $L^2/400d$ (mm)，最大撓曲速率不超過 $L^2/9000d$ (mm/min)。進行無載重試驗，破壞基準為單點容許最高溫度為 550°C ，平均溫度為 500°C 。

表 2-1 各國水平承重構造耐火試驗規範比較

	CNS 12514	ISO 834	BS 476	UL 263
試體梁受熱長度	≥ 4 m	-	≥ 4 m	≥ 3.7 m
載重試驗破壞基準	(1) 最大撓曲度超過 $L^2/400d$ (mm); (2) 或最大撓曲速率超過 $L^2/9000d$ (mm/min)。	(1) 最大撓曲度超過 $L^2/400d$ (mm); (2) 最大撓曲速率超過 $L^2/9000d$ (mm/min)。	(1) 最大撓曲度超過 $L/20$ (mm); (2) 最大撓曲速率超過 $L^2/9000d$ (mm/min); (3) 鋼梁熱電偶測點溫度超過 620°C ; (4) 鋼梁熱電偶測點平均溫度超過 550°C 。	(1) 鋼梁熱電偶測點溫度超過 704°C ; (2) 鋼梁熱電偶測點平均溫度超過 593°C 。
無載重試驗破壞基準	(1) 鋼梁熱電偶測點溫度超過 550°C ; (2) 鋼梁熱電偶測點平均溫度超過 500°C 。	(1) 鋼梁熱電偶測點溫度超過 550°C ; (2) 鋼梁熱電偶測點平均溫度超過 500°C 。	-	-

(資料來源：本研究整理)

第四節 國內外相關文獻回顧

Buchanan 等人(2004)以 SAFIR 分析軟體進行鋼梁及鋼與混凝土樓板複合構造三面受熱分析模擬。分析使用歐洲規範 Eurocode 3 (2005) 高溫下之鋼材性質。改變梁之邊界條件形式，得到不同邊界條件下受火害梁之行為。

Dharma and Tan (2005)以有限元素法分析梁於高溫下梁之彎矩與轉角關係。探討影響旋轉容量(rotational capacity)之因子。提供一套有效且精確的分析方法。

Guededs 等人 (1998)分析不同寬厚比之鋼板受雙軸應力以及熱載重下之彈塑性行為。

Ghojel and Wong (2005)針對 I 型梁與混凝土樓板複合構造受火害進行分析模擬。將分析模式與其他學者所做實驗資料作比對，建立一套預測高溫下鋼梁溫度分佈的分析模式。

Liew 等人 (1998)以有限元素分析軟體分析多層樓鋼構架在 ISO 標準的加熱條件下，構架中不同位置的構件反應比較。

Liu (1999)試體以端板及螺栓連接鋼梁與鋼柱形成抗彎矩接頭，進行高溫下梁柱彎矩接頭行為研究，試驗變數為施加载重大小、連接的螺栓數量以及端板厚度。

Liu 等人 (2002)進行 16 組鋼梁受高溫試驗，在試體兩端提供軸向以及旋轉束制，藉由試驗了解鋼梁破壞的模式以及兩種不同束制在

加熱情況下所呈現的反應。

Li 等人(2007)以偏微分方程式及有限元素分析提供一套簡單的近似模型來分析鋼柱的耐火性能。

Touloukian (1977)提出一套以三階多項式計算鋼材的熱膨脹係數(Coefficient of thermal expansion)公式。

Rubert 與 Schaumann (1986)進行實尺寸簡支梁試驗，改變加熱速率、載重率、斷面尺寸，將試驗結果與 DIN 4102 (1981)、ECCS (1983) 規範比對，以了解簡支梁於高溫下之撓度變化情形。

Yang 等人 (2005)採用耐火鋼製造包含箱型與 I 型共 24 組柱試體，施加軸向載重，觀察在高溫情況下，不同斷面及寬厚比下試體的極限強度。

Zhao 與 Shen (1999)對於無防火被覆鋼構架暴露在真實火場中之情形進行試驗，一共有三組試體，都為單跨距單層構架，由於高溫情形下鋼材強度下降，材料產生非線性行為造成構架的大變形及內力重新分配，此試驗對於構架在高溫下行為進行研究。

林慶元與林銅柱(1993)進行小尺度鋼材耐火試驗。將試驗結果與 CNS 12514 與 UL 263 耐火規範進行比對，以了解並建立大、小尺度耐火試驗相關因素之關係。

許獻鐘(2003)研究高溫下鋼結構之行為模式，以非線性有限元素法分析，針對鋼結構梁、柱、平面構架、空間構架進行數值分析，探

討高溫下承载力與防火材料對鋼結構的影響。

鄭紹材(2007)研究建築鋼結構防火被覆耐火性能與驗證機制，以實驗方法研究出耐火塗料之熱分析，並對不同地區防火被覆性能之評估方式進行研究及比較。

林振吉(2008)進行3組H型鋼梁與箱型鋼柱相接之梁柱接頭於高溫下之載重試驗，並以ABAQUS有限元素分析軟體進行數值分析與實驗結果進行比較。數值分析結果所得梁端變位與接頭區相對轉角趨勢與試驗結果相近。

第三章 鋼梁構造耐火性能之試驗

第一節 試驗規劃

本計畫進行三組試體(如表 3-1 所示)的耐火性能之實驗，試體兩端支撐都是以非束制形式進行試驗。其中兩組試體以相同的防火被覆厚度，為 UL 認證 1 小時防火時效的 1 倍厚度，分別進行載重及無載重條件的試驗；另外一組則以 UL 認證 1 小時防火時效 1.25 倍厚度的防火被覆進行載重條件的試驗。藉由這三組試驗對載重與無載重條件試驗比較其耐火性能，即可得到鋼梁受不同厚度之防火被覆保護情況下對防火時效的影響。

表 3-1 試體規劃

試體編號	被覆材厚度	載重條件
1	11 mm	無
2	14 mm	有
3	11 mm	有

(資料來源：本研究整理)

第二節 試體規劃

壹、試體設計

本計畫進行之三組試體使用國內鋼結構常用鋼梁斷面 RH588×300×12×20，鋼材為 A36 材料，選用常用之斷面及鋼材能夠有效反映實際結構情況。按照 CNS 12514 規定，若試驗未包含樓板，梁試體上方須對稱放置標準化之頂蓋板。該頂蓋板須以輕質混凝土厚板構成，密度 $650\pm 200 \text{ kg/m}^3$ ，每塊最大長度 1 m，厚度 $150\pm 25 \text{ mm}$ ，寬度至少為試體寬度之 3 倍。本次試驗則使用樓板，以鋼承板 2W - 0.76、混凝土、剪力釘及鋼絲網製作，尺寸則按照標準化頂蓋板設計，寬度 90 cm，厚度為 15 cm。試體如圖 3-1 所示。

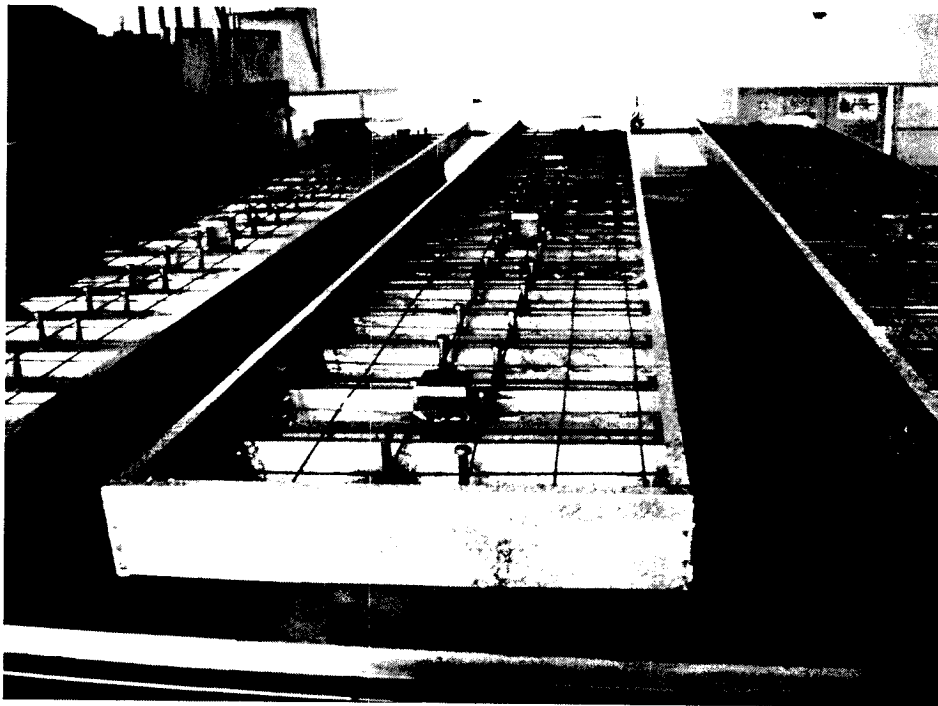


圖 3-1 試體之鋼承板、剪力釘、鋼絲網設置

(資料來源：本研究)

根據 CNS 對試體之要求，任一構造部分在實際使用中，若端部或周邊束制條件不同，則應分別對不同束制條件進行試驗，以及梁試體須採簡單支撐或對其邊界加以束制。本研究計劃把試體梁設定為簡支梁，試體總長度為 9 m，支承點跨距為 8 m，試體則有 6.5 m 長在加熱爐裏，滿足 CNS 12514 要求至少加熱長度 4 m 之要求，試體有超過 7 m 受到防火被覆包裹，故試體得到足夠之防火被覆保護，而在支承處提供側向支撐。

鋼梁在加載點處設置加勁板，避免鋼梁受過大集中載重造成腹板發生壓皺，橫向加勁板之設置對試體梁撓曲變形與撓曲速率之影響甚小。

貳、防火被覆

防火被覆是鋼材表面覆蓋一層隔熱良好的不燃材料，使降低熱傳導速率，即減慢外界高溫之傳導，使構件在防火時效內不致達到其強度及軟化之溫度，此即為防火被覆材料。

防火被覆主要分為三大類：噴附式防火被覆材料、防火被覆板、膨脹型耐火塗料。三種防火被覆各有優缺點，噴附式防火被覆材料優點在於施工快、設計彈性大，但施工時污染性高及裝飾性低；防火被覆板施工快速，並可取代部份隔間板材，施工時不會造成污染，但設計彈性低，自重亦很大；膨脹型耐火塗料施工快速便利，施工時污染

性低，裝飾性高，自重甚低，但單價卻較昂貴。三類防火被覆材料其防火的機理都不一樣，所含的成份也不一樣，但最終也能為構件提供一定的防火時效。

本次試驗採用國內常用之防火被覆種類及防火被覆材料，噴附式防火被覆材料為國內較常用的防火被覆材料，由於其便利性、成本低及效果顯著，廣泛應用國內鋼結構，故本計畫採用噴附式防火被覆材料(附錄二)。

第三節 量測儀器設置

壹、熱電偶設置

依 CNS 規定，試體需設置熱電偶監測溫度，熱電偶測點配置在跨度中間，及另外兩處從爐邊起算 50 cm 點與跨度中間之中點處。按照規定每一處試體斷面之熱電偶測點有 4 點，所以按照規定測點共 12 點。試驗法中規定需使用 0.75 級性能以上及直徑 0.65 mm 之 K 型熱電偶線。本次試驗分別在離試體支撐點 1.5 m 處增加熱電偶測點，即共增加兩處量測點，故測點共 20 點。試體內部熱電偶測點之配置位置如圖 3-2 及圖 3-3 所示。

貳、位移計設置

本次試驗需監測最大撓曲度及最大撓曲速率，在鋼梁跨距中點處

進行量測。因為位移計 (Linear Variable Differential Transducer, LVDT) 不耐高溫，故需在試體上方設置一根陶瓷棒，再利用位移計量測陶瓷棒的相對變位，從而監測鋼梁的撓曲度，位移計與陶瓷棒的設置如圖 3-4 所示。在淨跨距的 1/4 及 3/4 處亦會使用相同方法量測撓曲度。

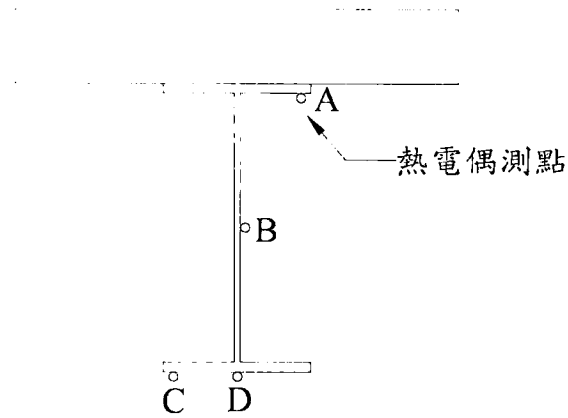


圖 3-2 鋼梁表面熱電偶測點配置位置

(資料來源：本研究整理)

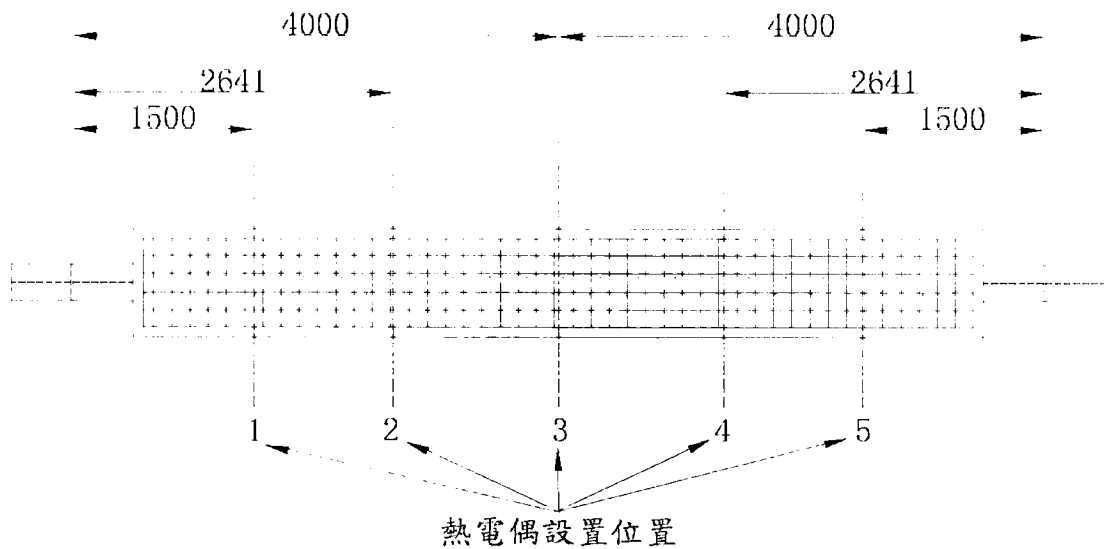


圖 3-3 試體縱向熱電偶測點配置位置

(資料來源：本研究整理)

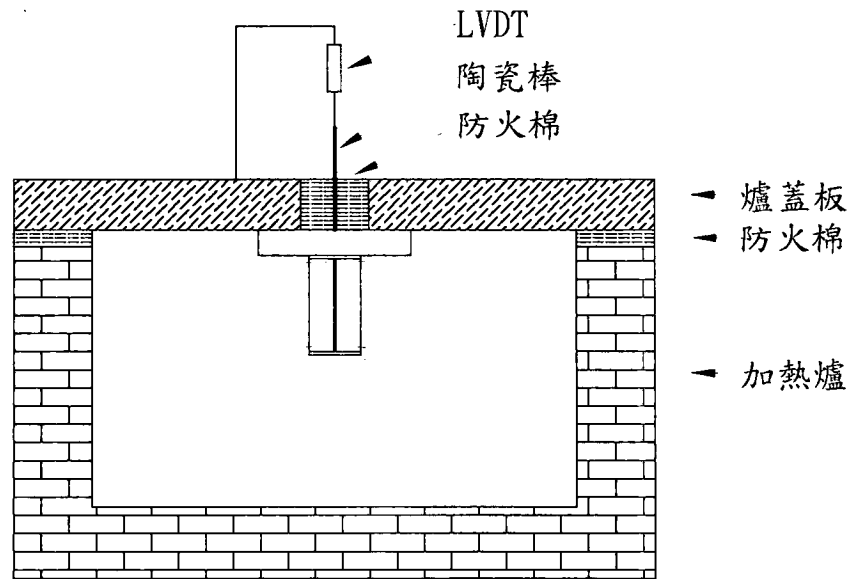


圖 3-4 位移計與陶瓷棒的設置

(資料來源：本研究整理)

第四節 試體製作

試體製作程序如下：

1. 製作鋼梁及鋼承板
2. 安裝熱電偶線
3. 樓板灌漿
4. 防火被覆施工
5. 防火被覆養護

鋼梁及鋼承板組裝後運往台南縣歸仁鄉內政部建築研究所防火實驗中心，在鋼承板上澆灌混凝土為樓板，如圖 3-5 與 3-6 所示。之後進行熱電偶之安裝，熱電偶線安裝完成後進行檢測，以確定熱電偶

線安裝後能正常傳輸訊號，熱電偶施工如圖 3-7 與 3-8 所示。

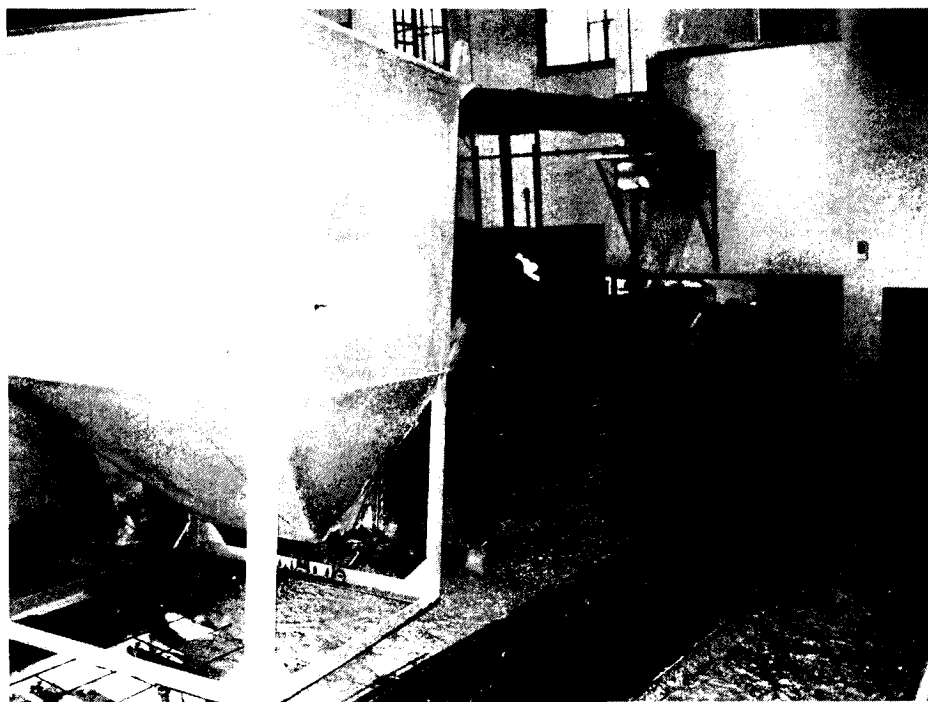


圖 3-5 試體樓板混凝土澆注施工

(資料來源：本研究)

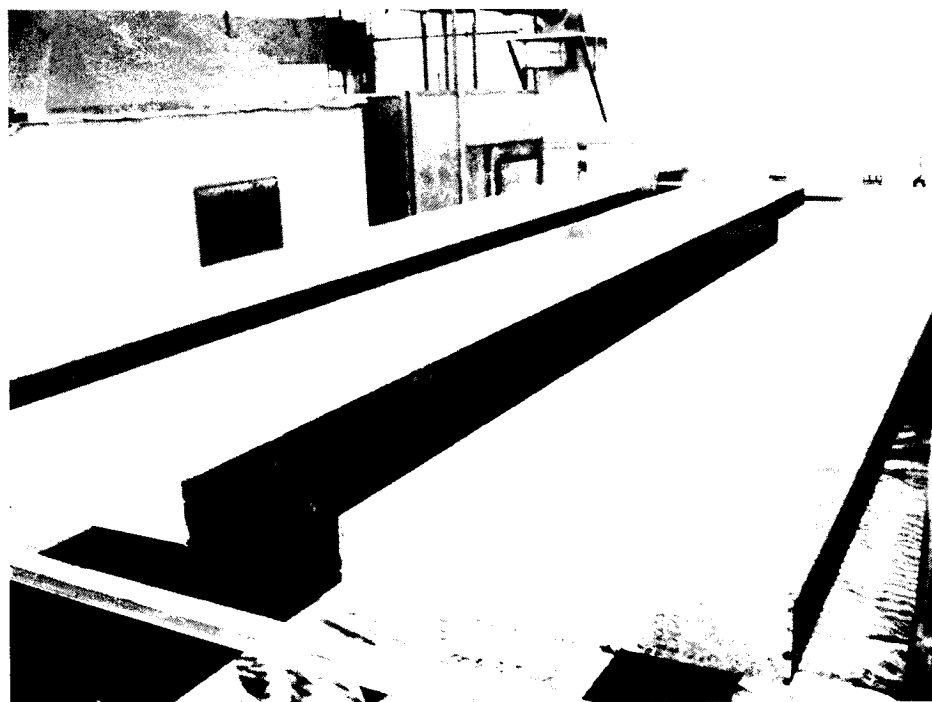


圖 3-6 試體樓板混凝土施工完成

(資料來源：本研究)

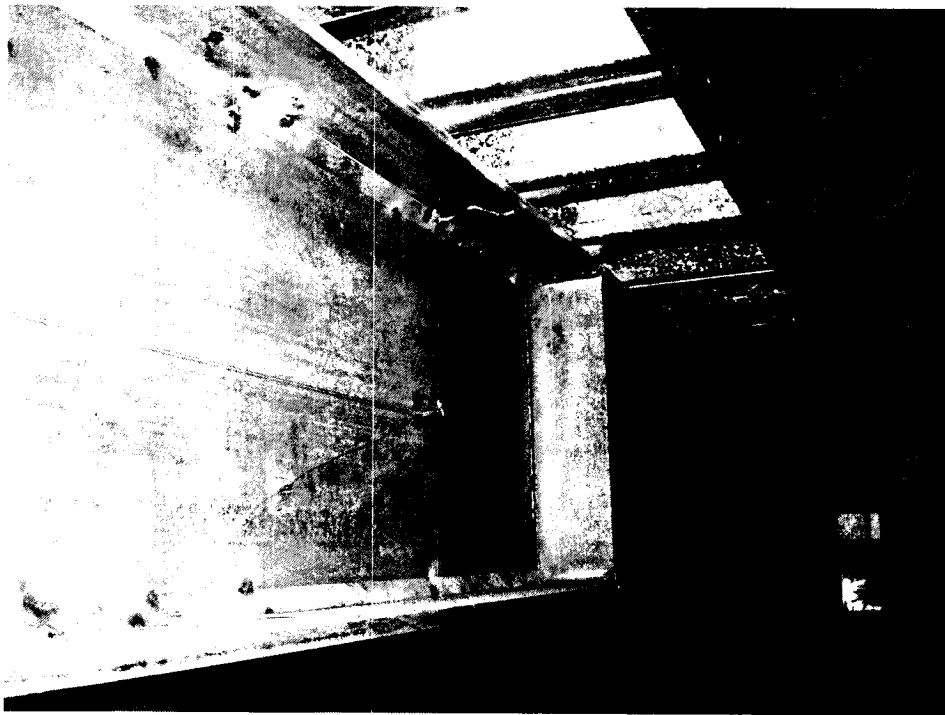


圖 3-7 鋼梁腹板熱電偶線設置

(資料來源：本研究)



圖 3-8 鋼梁下翼板熱電偶線設置

(資料來源：本研究)

防火被覆施工前，在鋼梁上設置鋼網，如圖 3-9 所示，以增加附著力降低發生剝落分離的情況。鋼梁設置鋼網後進行防火被覆施工，如圖 3-10 至 3-13 所示。防火被覆施工後按照規定要求，能以適當方法確認達到規定要求達到氣乾狀態平衡，得縮短其乾燥時間，否則按照要求濕式工法施工者需養護二個月以上。按照 CNS 12514 第 3.11.2 節對氣乾狀態要求，氣乾狀態係指構成材料之含水率如木材為 15% 以下，石膏等含有結晶水材料在 40°C 達到恆重時，為 2% 以下，其他材料則為 5% 以下。但試體置於室內其含水率達到一定之平衡者則不在此限。本試驗試體以含水率達到一定之平衡為要求。

本計劃進行材料性質試驗，混凝土圓柱試體抗壓試驗及鋼梁鋼材拉力試片試驗。預拌混凝土強度為 20.7 MPa (3,000 psi)。混凝土圓柱試體以抗壓試驗測得 28 天強度為 27.2 MPa。進行試體耐火試驗時混凝土強度約為 30.2 MPa (4,380 psi)。鋼梁翼板與腹板切割取得之鋼材拉力試片進行拉力試驗，進行兩組翼板之試片 Flange 1 及 Flange 2，兩組腹板之試片 Web 1 及 Web 2。拉力試片之應力應變曲線圖如圖 3-14 至圖 3-17 所示。測得 Flange 1 降伏強度為 335 MPa 及彈性模數為 202 GPa；Flange 2 降伏強度為 342 MPa 及彈性模數為 202 GPa；Web 1 降伏強度為 354 MPa 及彈性模數為 199 GPa；Web 2 降伏強度為 374 MPa 及彈性模數為 206 GPa。所以鋼材平均降伏強度為 351 MPa，平均彈性模數為 202 GPa。

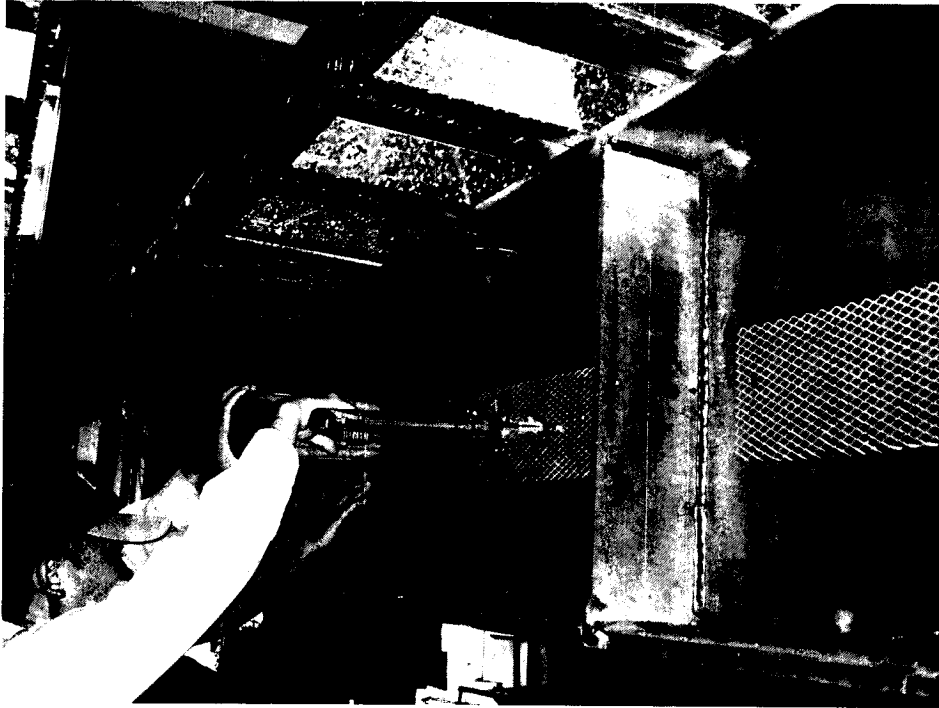


圖 3-9 鋼梁鋼網施工

(資料來源：本研究)

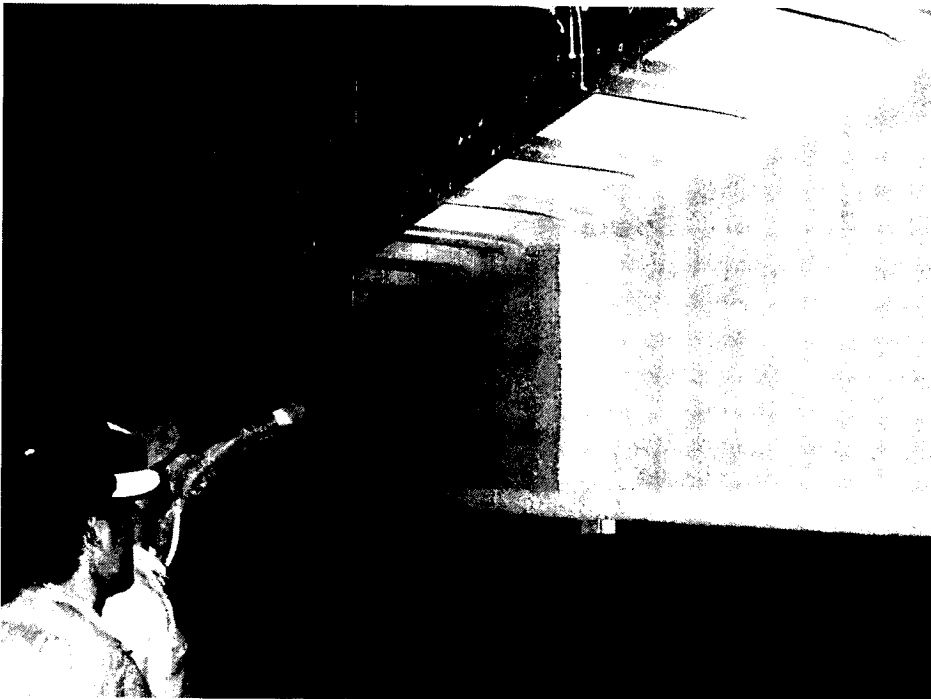


圖 3-10 鋼梁防火被覆施工(一)

(資料來源：本研究)

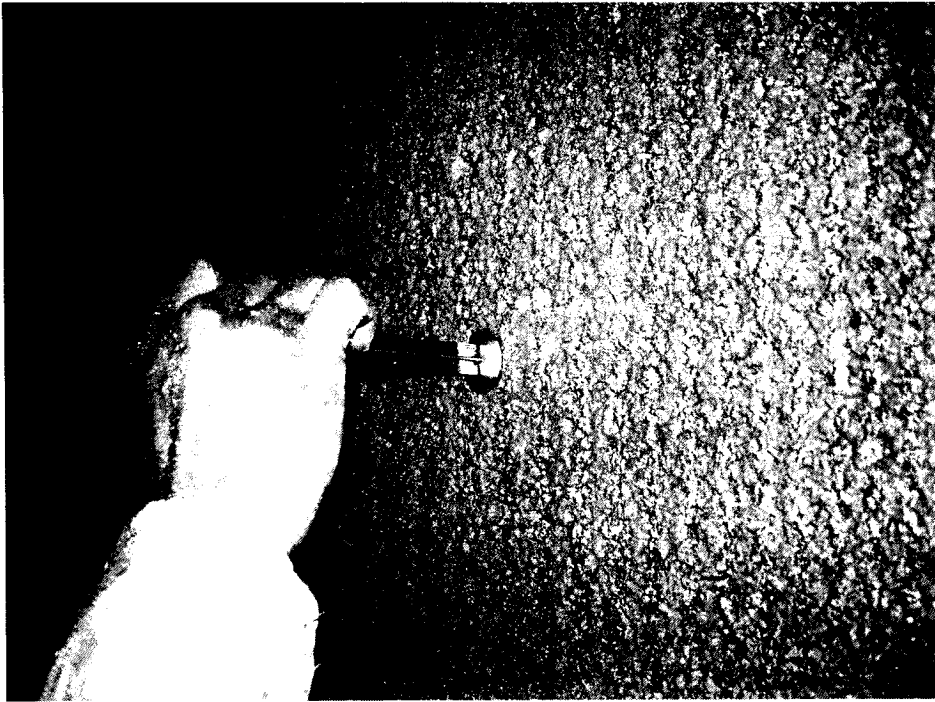


圖 3-11 鋼梁防火被覆施工(二)

(資料來源：本研究)



圖 3-12 鋼梁防火被覆施工(三)

(資料來源：本研究)



圖 3-13 鋼梁防火被覆完成施工

(資料來源：本研究)

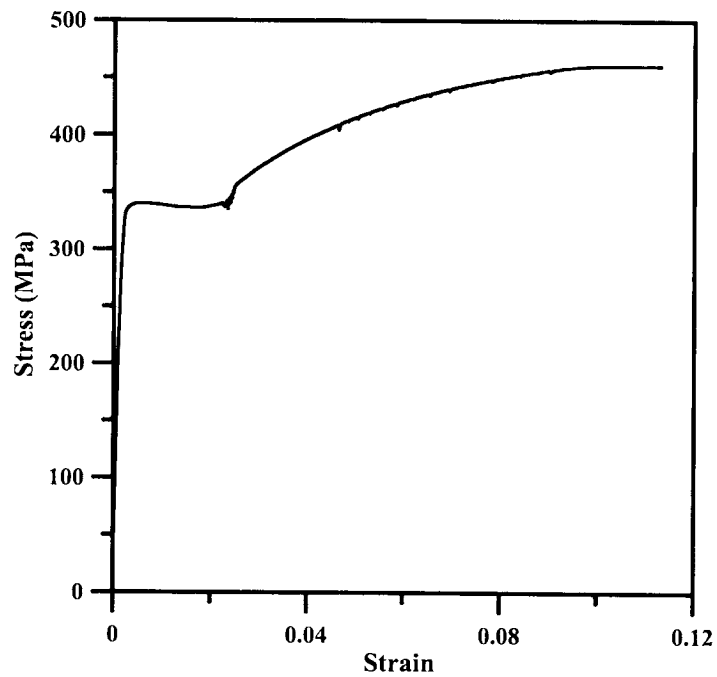


圖 3-14 鋼梁翼板 Flange-1 應力應變曲線

(資料來源：本研究整理)

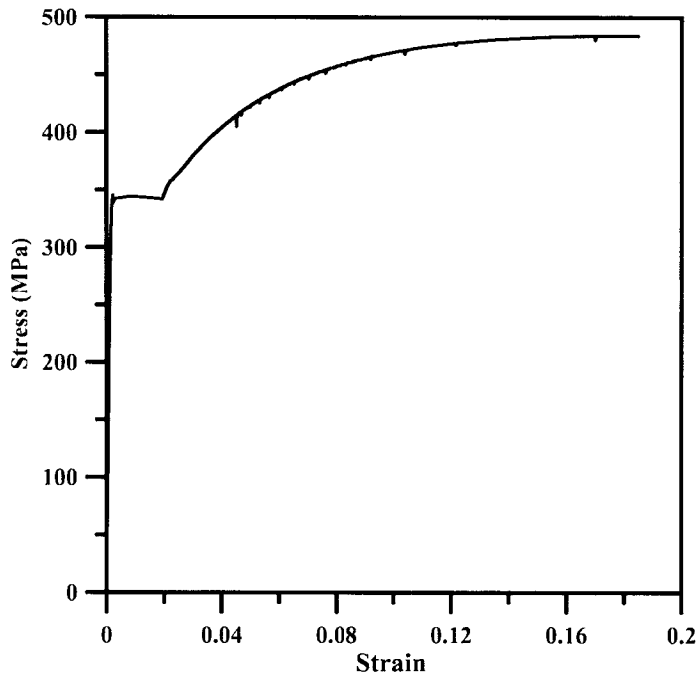


圖 3-15 鋼梁翼板 Flange-2 應力應變曲線

(資料來源：本研究整理)

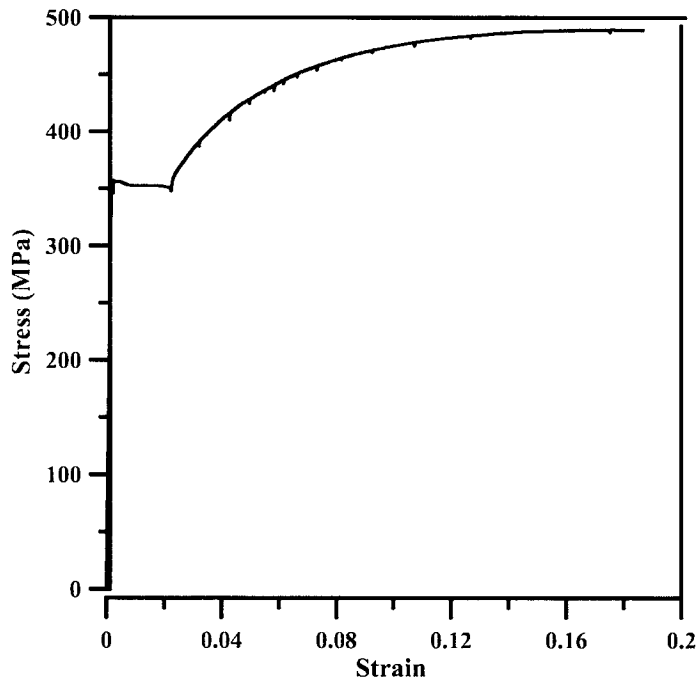


圖 3-16 鋼梁腹板 Web-1 應力應變曲線

(資料來源：本研究整理)

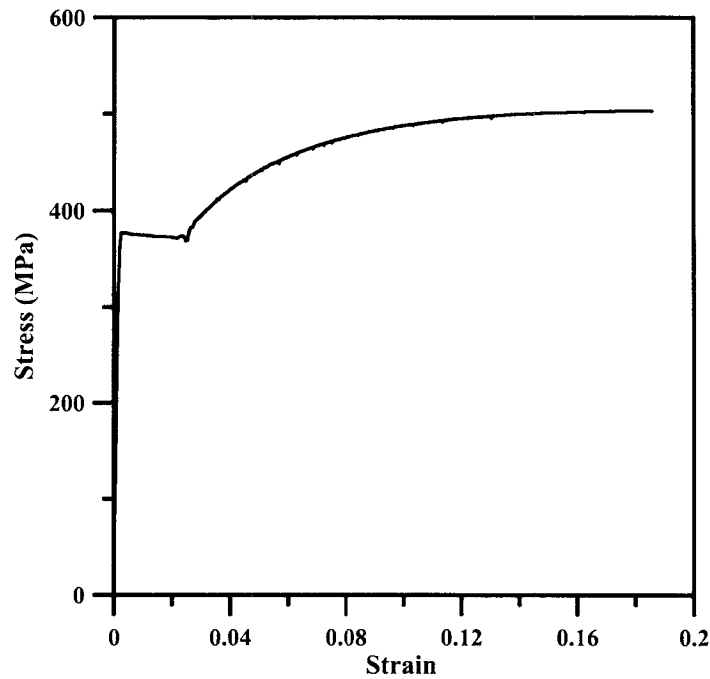


圖 3-17 鋼梁腹板 Web-2 應力應變曲線

(資料來源：本研究整理)

第五節 試驗設置

經過養護後之試體吊裝到試驗設備中，試體設置於加溫爐內之情況如圖 3-18 所示。試驗設置如圖 3-19 至 3-21 所示。試體兩端設置支承端之細部機制如圖 3-22 所示，北側及南側支撐如圖 3-23 及 3-24 所示。試體吊裝完畢後蓋上爐蓋板。之後把位移計安裝在試體上，圖 3-25 所示。最後將加載設備吊裝到試驗框架上，如圖 3-26 所示。之後把位移計及熱電偶線連接資料擷取器，最後把所有空隙填塞防火棉防止實驗進行時高溫氣體冒出產生危險。

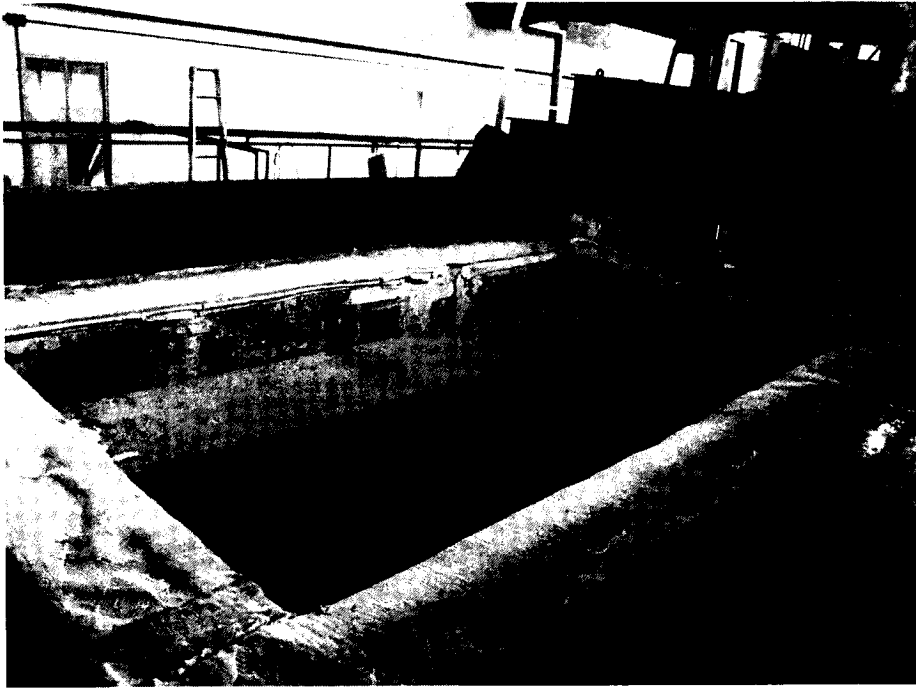


圖 3-18 試體安裝於加溫爐內情況

(資料來源：本研究)

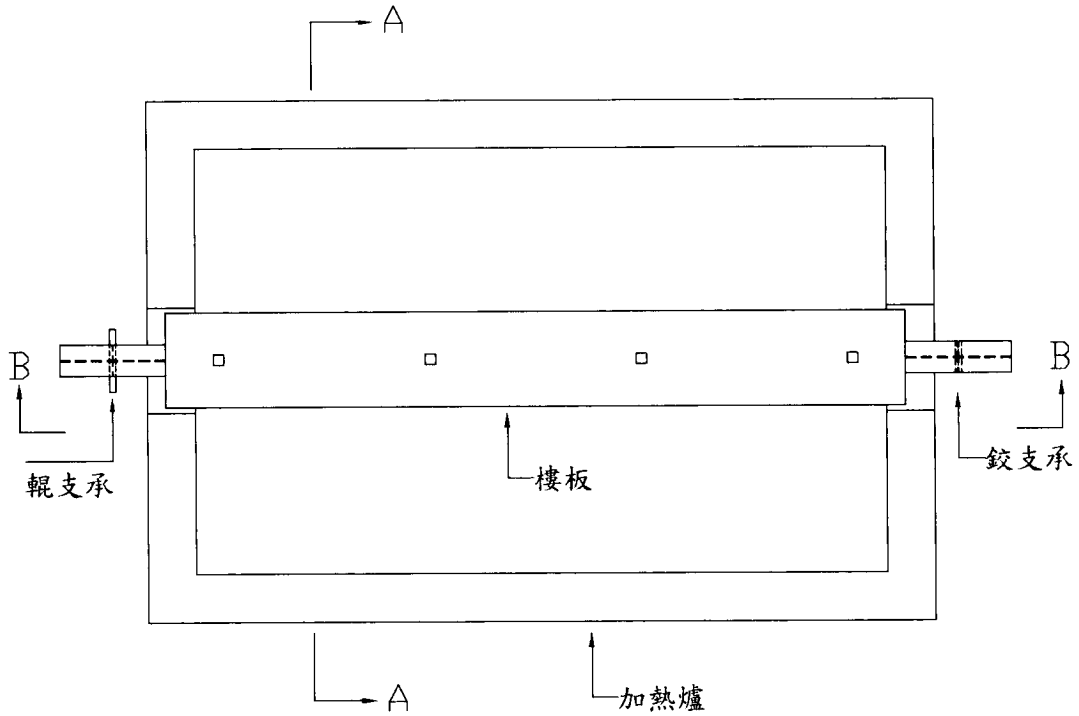


圖 3-19 試驗設置上視圖

(資料來源：本研究整理)

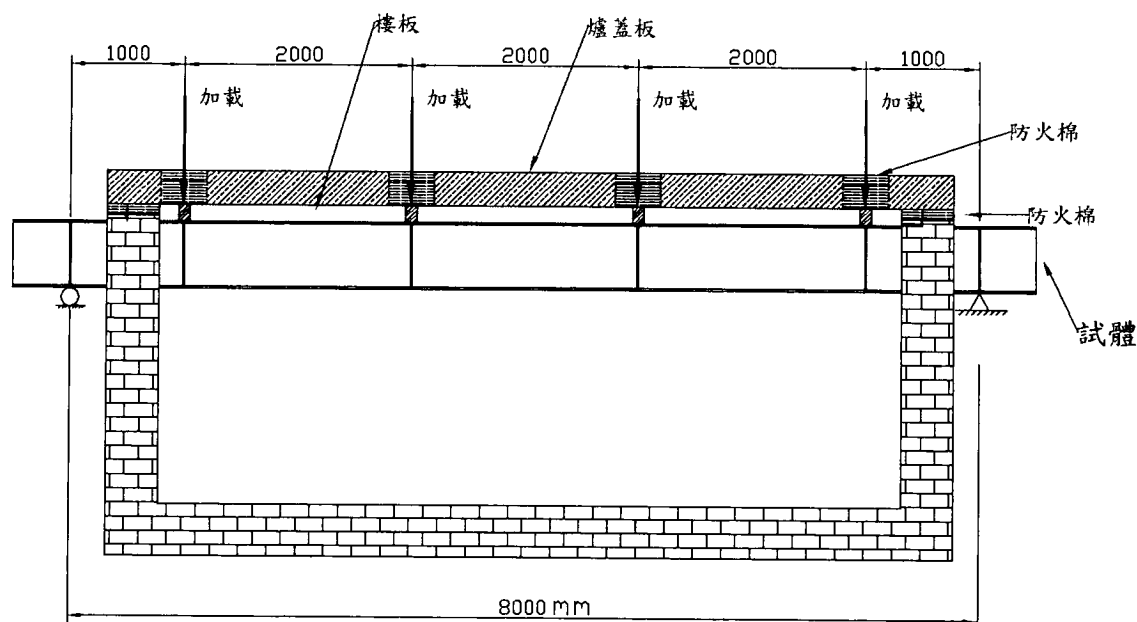


圖 3-20 試驗設置 B-B 視圖

(資料來源：本研究整理)

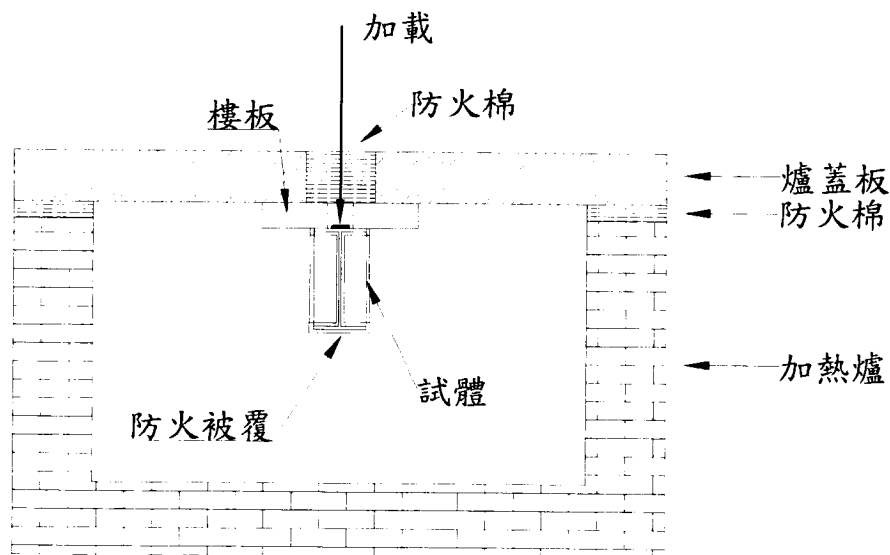


圖 3-21 試驗設置 A-A 視圖

(資料來源：本研究整理)

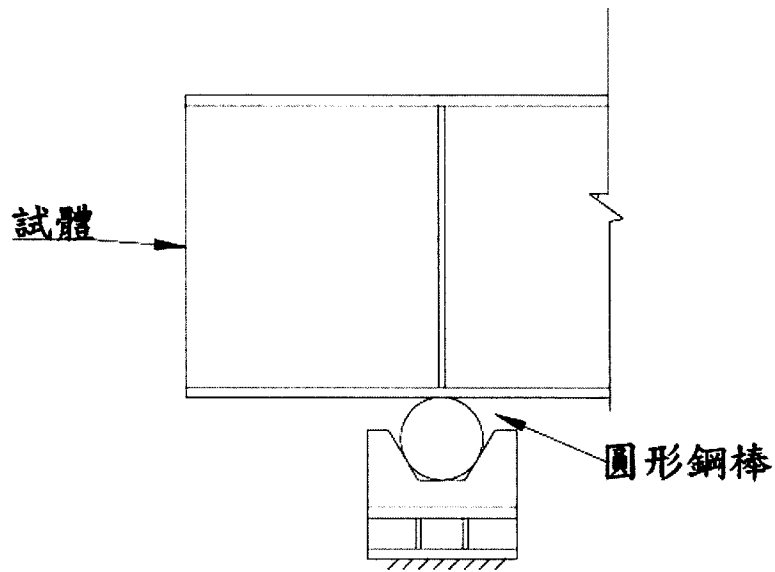


圖 3-22 支承端之細部機制

(資料來源：本研究整理)



圖 3-23 北側支撐

(資料來源：本研究)



圖 3-24 南側支撐

(資料來源：本研究)

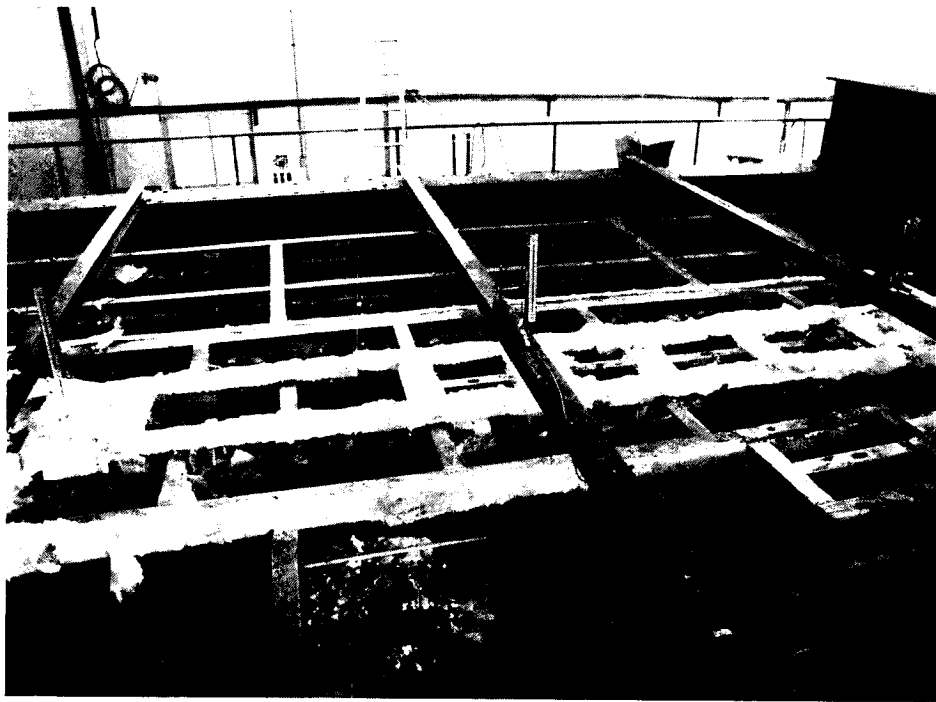


圖 3-25 位移計設置

(資料來源：本研究)



圖 3-26 加溫爐與試驗設置

(資料來源：本研究)

第六節 試驗步驟

試驗設備安裝完成後開始進行實驗，當進行加載試驗時，按照規定試驗載重在實驗開始之前至少 15 分鐘加載至試體，並保持加載不變直至變形不再增加。本次實驗施加服務性載重，按照試驗法要求加載點位於試體支撐間距的 $1/8$ 、 $3/8$ 、 $5/8$ 及 $7/8$ 的地方，即分別距左右支撐點 1 m 及 3 m 處設置加載點，根據容許應力法計算(附錄三)，此斷面尺寸的試體能承受 412.1 kN-m 的彎矩，在常溫下能承受服務性載重為 51.5 kN/m 的均佈載重，扣除鋼梁及樓板自重後，每個加載點需施加 95.5 kN (9.7 tf) 的力量，直至實驗結束需維持此載重。

當實驗正式開始時爐內按照下式所示進行數值控制加熱，依據

CNS 標準加熱溫度-時間曲線，如圖 3-27 所示。

$$T = 345 \log_{10}(8t + 1) + 20$$

式中，T = 平均爐內溫度(°C)

t = 試驗經過時間(分)

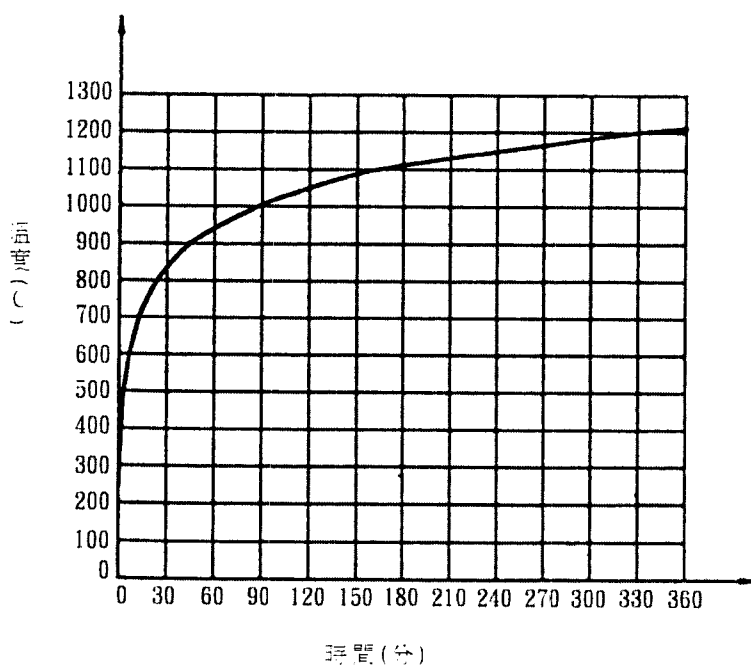


圖 3-27 標準加熱溫度-時間曲線

(資料來源：CNS 12514)

第七節 試驗終止條件

本研究計畫試驗將以下列原因終止試驗：

1. 達到性能基準設定指標。
2. 因人員安全或設備可能遭受破壞之因素，試驗須立即停止。

第八節 性能基準與判定

三組試體計劃根據標準加熱溫度-時間曲線加溫 1 小時後結束試驗。本次試驗量測試體梁跨距中點之撓度為最重要部份，因試驗法 CNS 15241 評定防火時效有兩個方法：

1. 無載重條件之下鋼材溫度最高值若超過 550°C 或平均值 500°C 即表示試體構造已達破壞溫度，視為耐火性能失敗。
2. 載重時試體撓度超過最大撓曲度規定或撓曲速率超過最大撓曲速率規定，即視為承重能力失敗。

按照 CNS 15241 對水平承重構造承重能力規定為以下所示：

最大撓曲度(mm)， $D = L^2 / 400d$

最大撓曲速率(mm/min)， $\frac{dD}{dt} = \frac{L^2}{9000d}$

式中，L = 試體之淨跨度(支承點間距)，(mm)。

d = 試體構造斷面之壓縮側緣至拉伸側緣之距離，(mm)。

鋼梁 RH588×300×12×20 以 8 m 淨跨距在試驗時所容許的撓曲度為 272.1 mm，最大撓曲速率為 12.1 mm/min。

第四章 鋼梁耐火性能之有限元素分析

第一節 研究方法及步驟

本計畫以 ABAQUS 有限元素軟體為分析工具。由於國內對於鋼材受熱後之性質資料並不完備，因此分析使用之鋼材性質資料採用歐洲規範 Eurocode 3。分析所需鋼材性質資料可分為兩類，分別為力學性質(Mechanical property)與熱性質(Thermal property)資料。力學性質資料可包括鋼材於不同溫度相對於常溫之鋼材線彈性範圍折減係數、有效降伏強度折減係數與比例限度折減係數等參數。熱性質資料有鋼材於不同溫度下之比熱(Specific heat)、熱傳導性(Thermal conductivity)與熱膨脹性(Thermal expansion)等性質。研究步驟為利用上述資料進行有限元素分析模型建置，待試體鋼梁耐火試驗完成後，將試驗所得數據輸入 ABAQUS 軟體中進行模型調整與修改，把分析結果與試驗結果比對。預期利用 ABAQUS 分析軟體配合試驗所得之鋼梁耐火試驗結果，建立有限元素分析模型，供後續研究之用。

第二節 歐洲規範 Eurocode 3 鋼材高溫性質

壹、鋼材在高溫下之應力應變關係

高溫下之鋼材強度與變形性質在每分鐘 2 至 50 K 加熱速率之情形下所得之應力應變關係如表 4-1 及圖 4-1 所示，鋼材溫度在 400°C

以下考慮應變硬化的情形，圖 4-1 中 $\varepsilon_{s,\theta}$ 為應變硬化段的應變，範圍在從 0.02 到 0.04。其他對應圖 4-1 的參數計算如下：

其中 T 為鋼材溫度($^{\circ}\text{C}$)， $f_{u,\theta}$ 為鋼材的極限強度， $f_{y,\theta}$ 為鋼材的降伏強度， ε 為鋼材的應變， σ_a 為鋼材的應力。

當 $T < 300^{\circ}\text{C}$ 時，

$$f_{u,\theta} = 1.25f_{y,\theta} \quad (4-1)$$

當 $300^{\circ}\text{C} \leq T < 400^{\circ}\text{C}$ 時，

$$f_{u,\theta} = f_{y,\theta}(2 - 0.0025T) \quad (4-2)$$

當 $T \geq 400^{\circ}\text{C}$ 時，

$$f_{u,\theta} = f_{y,\theta} \quad (4-3)$$

當 $0.02 < \varepsilon < 0.04$ 時，

$$\sigma_a = 50(f_{u,\theta} - f_{y,\theta})\varepsilon + 2f_{y,\theta} - f_{u,\theta} \quad (4-4)$$

當 $0.04 \leq \varepsilon \leq 0.15$ 時，

$$\sigma_a = f_{u,\theta} \quad (4-5)$$

當 $0.15 \leq \varepsilon \leq 0.20$ 時，

$$\sigma_a = f_{u,\theta}[1 - 20(\varepsilon - 0.15)] \quad (4-6)$$

當 $\varepsilon \geq 0.20$ 時，

$$\sigma_a = 0.00 \quad (4-7)$$

表 4-1 Eurocode 3 鋼材在高溫下之應力應變關係

應變範圍	應力	正切模數
$\varepsilon \leq \varepsilon_{p,0}$	$\varepsilon E_{a,0}$	$E_{a,0}$
$\varepsilon_{p,0} < \varepsilon < \varepsilon_{y,0}$	$f_{p,0} - c + (b/a)[a^2 - (\varepsilon_{y,0} - \varepsilon)^2]^{0.5}$	$\frac{b(\varepsilon_{y,0} - \varepsilon)}{a[a^2 - (\varepsilon_{y,0} - \varepsilon)^2]^{0.5}}$
$\varepsilon_{y,0} < \varepsilon < \varepsilon_{t,0}$	$f_{y,0}$	0
$\varepsilon_{t,0} < \varepsilon < \varepsilon_{u,0}$	$f_{y,0} [1 - (\varepsilon - \varepsilon_{t,0}) / (\varepsilon_{u,0} - \varepsilon_{t,0})]$	-
$\varepsilon < \varepsilon_{u,0}$	0.00	-
參數	$\varepsilon_{p,0} = f_{p,0} / E_{a,0} \quad \varepsilon_{y,0} = 0.02 \quad \varepsilon_{t,0} = 0.15 \quad \varepsilon_{u,0} = 0.20$	
函數	$a^2 = (\varepsilon_{y,0} - \varepsilon_{p,0})(\varepsilon_{y,0} - \varepsilon_{p,0} + c/E_{a,0})$ $b^2 = c(\varepsilon_{y,0} - \varepsilon_{p,0})E_{a,0} + c^2$ $c = \frac{(f_{y,0} - f_{p,0})^2}{(\varepsilon_{y,0} - \varepsilon_{p,0})E_{a,0} - 2(f_{y,0} - f_{p,0})}$	

(資料來源：本研究整理)

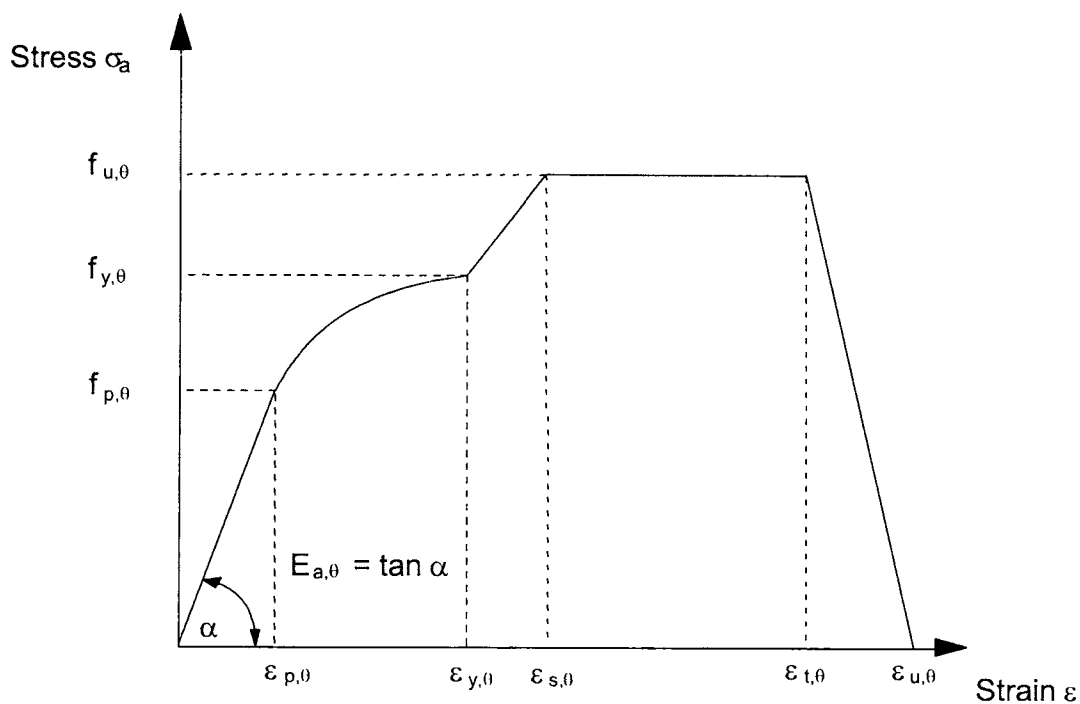


圖 4-1 Eurocode 3 鋼材在高溫下考慮應變硬化之應力應變關係
(資料來源：Eurocode 3)

貳、鋼材在高溫下之力學性質折減係數

歐洲規範 Eurocode 3 定出鋼材在不同溫度下彈性模數 $E_{a,\theta}$ 與常溫下彈性模數 E_a 之比值，以及鋼材在不同溫度下比例極限 $f_{p,\theta}$ 與降伏強度 $f_{y,\theta}$ 和常溫下降伏強度之比值，其結果如表 4-2 與圖 4-2 所示。

表 4-2 Eurocode 3 鋼材在高溫下之力學性質折減係數

鋼材溫度 θ_a	在 θ_a 溫度相對於 20°C 之降伏強度 f_y 或彈性係數 E_a 之折減係數		
	有效降伏強度 折減係數 (相對於 f_y) $K_{y,\theta} = f_{y,\theta}/f_y$	比例限度 折減係數 (相對於 f_y) $K_{p,\theta} = f_{p,\theta}/f_y$	線彈性範圍斜 率折減係數 (相對於 E_a) $K_{E,\theta} = E_{a,\theta}/E_a$
20°C	1.000	1.000	1.000
100°C	1.000	1.000	1.000
200°C	1.000	0.807	0.900
300°C	1.000	0.613	0.800
400°C	1.000	0.420	0.700
500°C	0.780	0.360	0.600
600°C	0.470	0.180	0.310
700°C	0.230	0.075	0.130
800°C	0.110	0.050	0.090
900°C	0.060	0.0375	0.0675
1000°C	0.040	0.0250	0.0450
1100°C	0.020	0.0125	0.0225
1200°C	0.000	0.0000	0.0000

註：可由線性內插求得介於鋼材溫度間之值。

(資料來源：本研究整理)

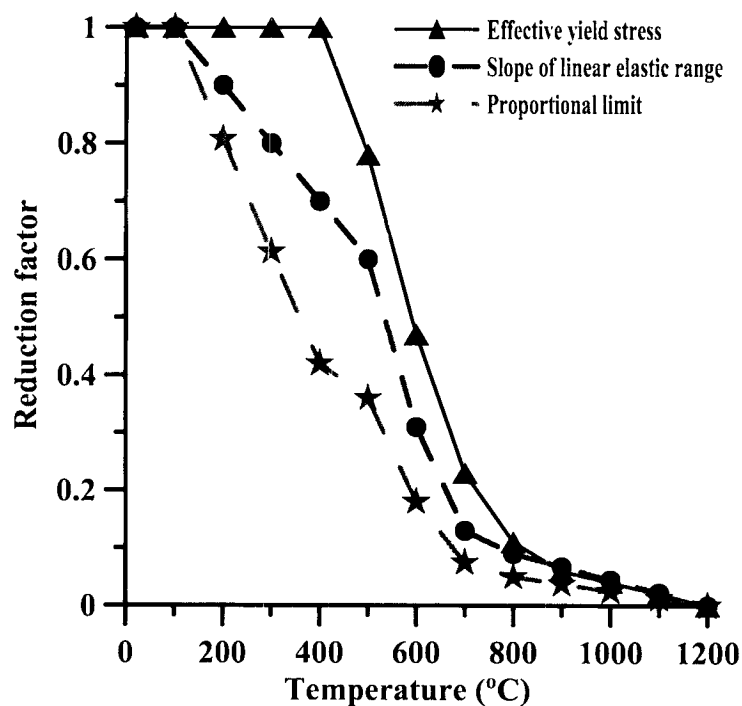


圖 4-2 Eurocode 3 鋼材在高溫下之力學性質折減係數

(資料來源：本研究整理)

參、鋼材之熱傳導係數

由於鋼梁受熱後溫度分佈並不均勻，故需要鋼材之熱傳導係數與不同溫度之關係，如圖 4-3 所示，計算公式如下：

其中 λ_a 為鋼材的熱傳導係數(W/mK)。

當 $20^{\circ}\text{C} \leq T < 800^{\circ}\text{C}$ 時，

$$\lambda_a = 54 - 3.33 \times 10^{-2} T \quad (4-8)$$

當 $800^{\circ}\text{C} \leq T \leq 1200^{\circ}\text{C}$ 時，

$$\lambda_a = 27.3 \quad (4-9)$$

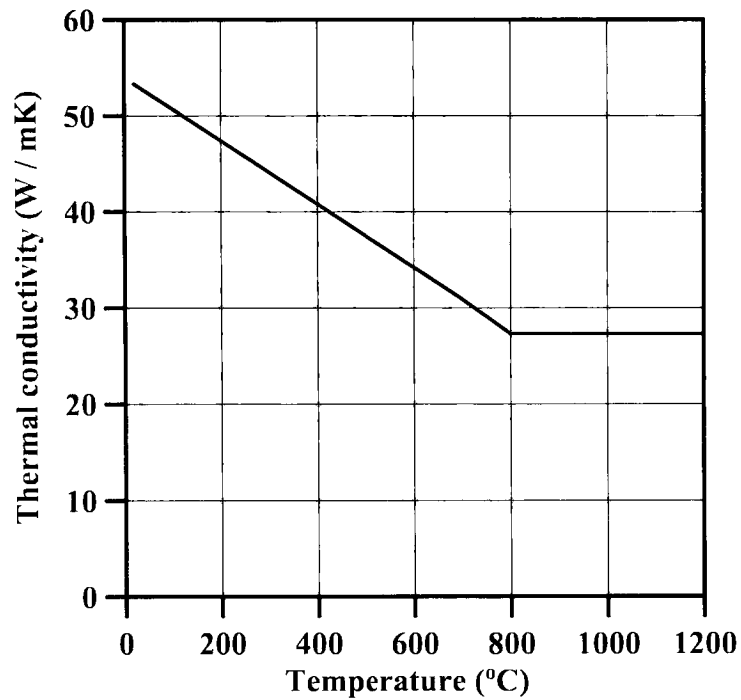


圖 4-3 Eurocode 3 鋼材熱傳導係數

(資料來源：本研究整理)

肆、鋼材之比熱

比熱的定義為單位物質升高 1°C 所需之熱能。鋼材之比熱如圖 4-4 所示，由圖可知當溫度約 750°C 時鋼材比熱突然升高，計算公式如下：

其中 c_u 為鋼材的比熱 (J/kgK)。

當 $20^\circ\text{C} \leq T < 600^\circ\text{C}$ 時，

$$c_u = 425 + 7.73 \times 10^{-1} T - 1.69 \times 10^{-3} T^2 + 2.22 \times 10^{-6} T^3 \quad (4-10)$$

當 $600^\circ\text{C} \leq T < 735^\circ\text{C}$ 時，

$$c_u = 666 + \frac{13002}{738 - T} \quad (4-11)$$

當 $735^\circ\text{C} \leq T < 900^\circ\text{C}$ 時，

$$c_a = 545 + \frac{17820}{T - 731} \quad (4-12)$$

當 $900^{\circ}\text{C} \leq T \leq 1200^{\circ}\text{C}$ 時，

$$c_a = 650 \quad (4-13)$$

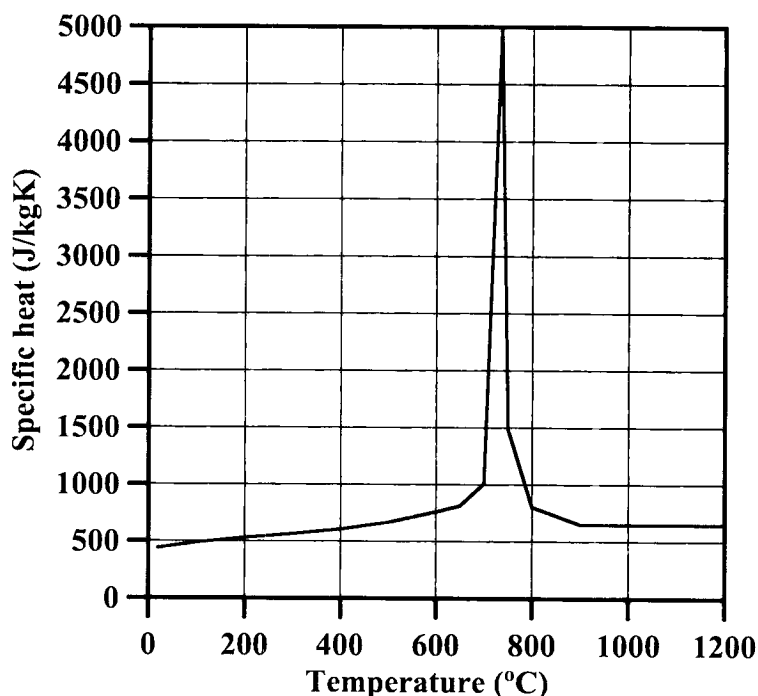


圖 4-4 Eurocode 3 鋼材比熱

(資料來源：本研究整理)

伍、鋼材之熱膨脹係數

歐洲規範 Eurocode 3 建議熱膨脹係數 $\alpha = 14 \times 10^{-6} (\text{°C})^{-1}$ ，但本文採用 Touloukian 等人 (1977) 研究所提供的鋼材熱膨脹係數公式，採用此公式可得知不同溫度所對應的熱膨脹係數，公式以三階多項式計算熱膨脹係數，公式如下：

$$\alpha(T) = \alpha_0 + \alpha_1 T + \alpha_2 T^2 + \alpha_3 T^3 \quad (4-14)$$

其中， $\alpha_0 = 7.3633 \times 10^{-6} (\text{°C})^{-1}$ ；

$\alpha_1 = 1.8723 \times 10^{-8} (\text{°C})^{-2}$ ；

$\alpha_2 = -9.8382 \times 10^{-12} (\text{°C})^{-3}$ ；

$\alpha_3 = 1.6718 \times 10^{-16} (\text{°C})^{-4}$ 。

第三節 數值模擬方法與步驟

ABAQUS 不僅能夠進行線性或非線性的結構分析，而且能夠分析包括熱傳導、質量擴散、電子元件的熱控制、聲學、土壤力學和壓電等各種廣闊領域中的問題。ABAQUS 對於組合構件問題，經由給予每個合適的材料模型，並且定義構件之間的交互作用，能夠簡易的組裝成型進行分析。在非線性分析中，ABAQUS 能自動選擇合適的負載增量和收斂準則，並在分析過程中也能不斷調整這些參數，以確保能獲得正確的分析結果。ABAQUS 中沒有固定的單位系統，分析時必須指定一致性的單位如表 4-3，本分析採用 SI 單位系統。

表 4-3 有限元素分析 ABAQUS 單位表

量	SI	SI (mm)	US Unit (ft)	US Unit (inch)
長度	m	Mm	ft	in
力	N	N	lbf	lbf
質量	kg	tonne(10^3 kg)	slug	$\text{lbf s}^2/\text{in}$
時間	s	s	s	s
應力	$\text{Pa}(\text{N}/\text{m}^2)$	$\text{MPa}(\text{N}/\text{mm}^2)$	lbf/ft^2	$\text{psi}(\text{lbf}/\text{in}^2)$
能量	J	$\text{mJ}(10^{-3} \text{J})$	ft lbf	in lbf
密度	kg/m^3	tonne/mm^3	slug/ft^3	$\text{lbf s}^2/\text{in}^4$

(資料來源：本研究整理)

壹、分析基本假設

使用 ABAQUS 分析軟體進行分析模擬，其細節及假設如下：

1. 忽略試體於製作或銲接等因素產生殘留應力之影響。
2. 試體在加溫爐加熱時，忽略加溫爐噴嘴經由熱對流及熱輻射方式將熱傳導至試體。
3. 忽略剪力釘的分析，假設鋼梁與樓板有完全之握裹。

貳、分析步驟

對於鋼梁與樓板結合之複合梁在高溫環境下行為進行數值分

析。所使用的分析分別為熱傳分析、非線性應力分析以及結合兩者的接續性耦合分析(Sequentially Coupled Thermal-Stress Analysis)。有限元素模型如圖 4-5 至圖 4-8 所示，分析流程如圖 4-9 所示。

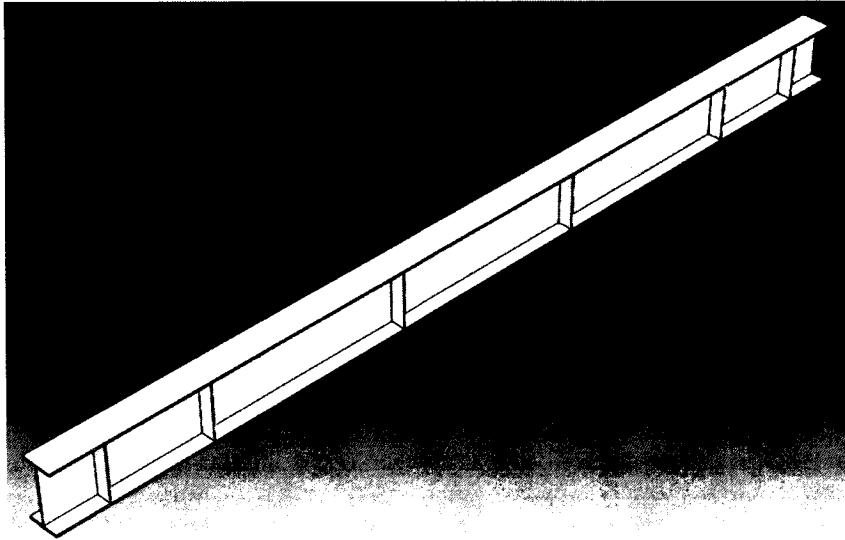


圖 4-5 鋼梁模型

(資料來源：本研究)

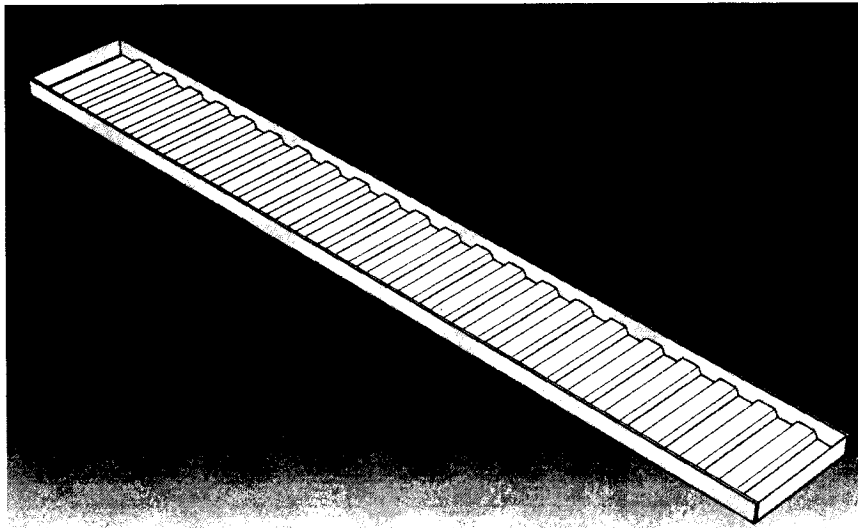


圖 4-6 鋼承板模型

(資料來源：本研究)

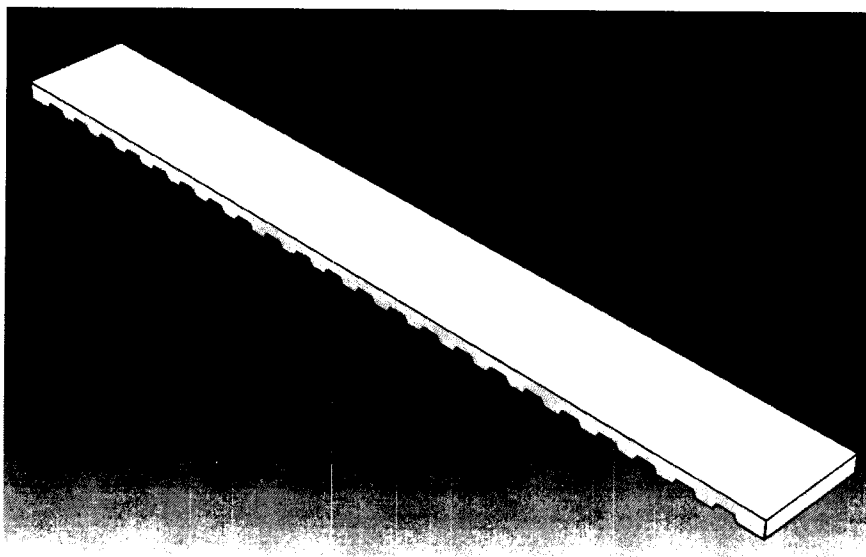


圖 4-7 混凝土模型

(資料來源：本研究)

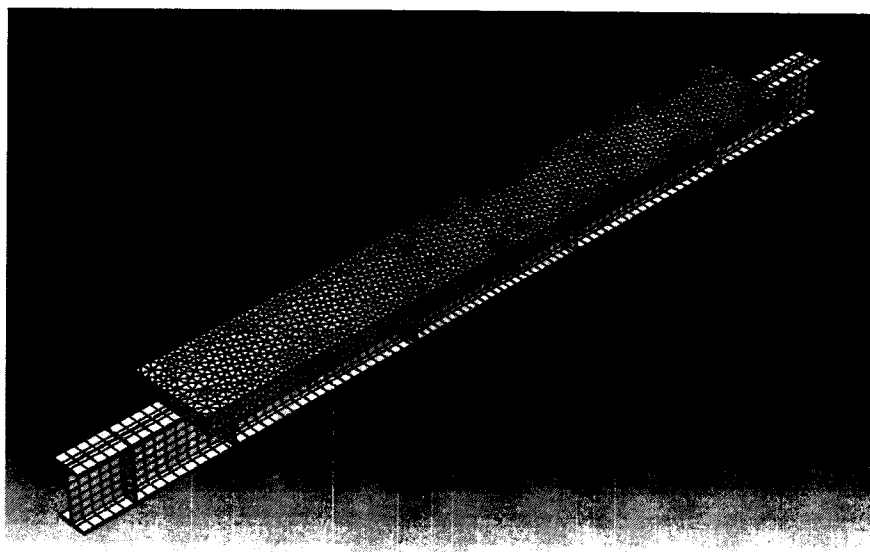


圖 4-8 試體網格劃分

(資料來源：本研究)

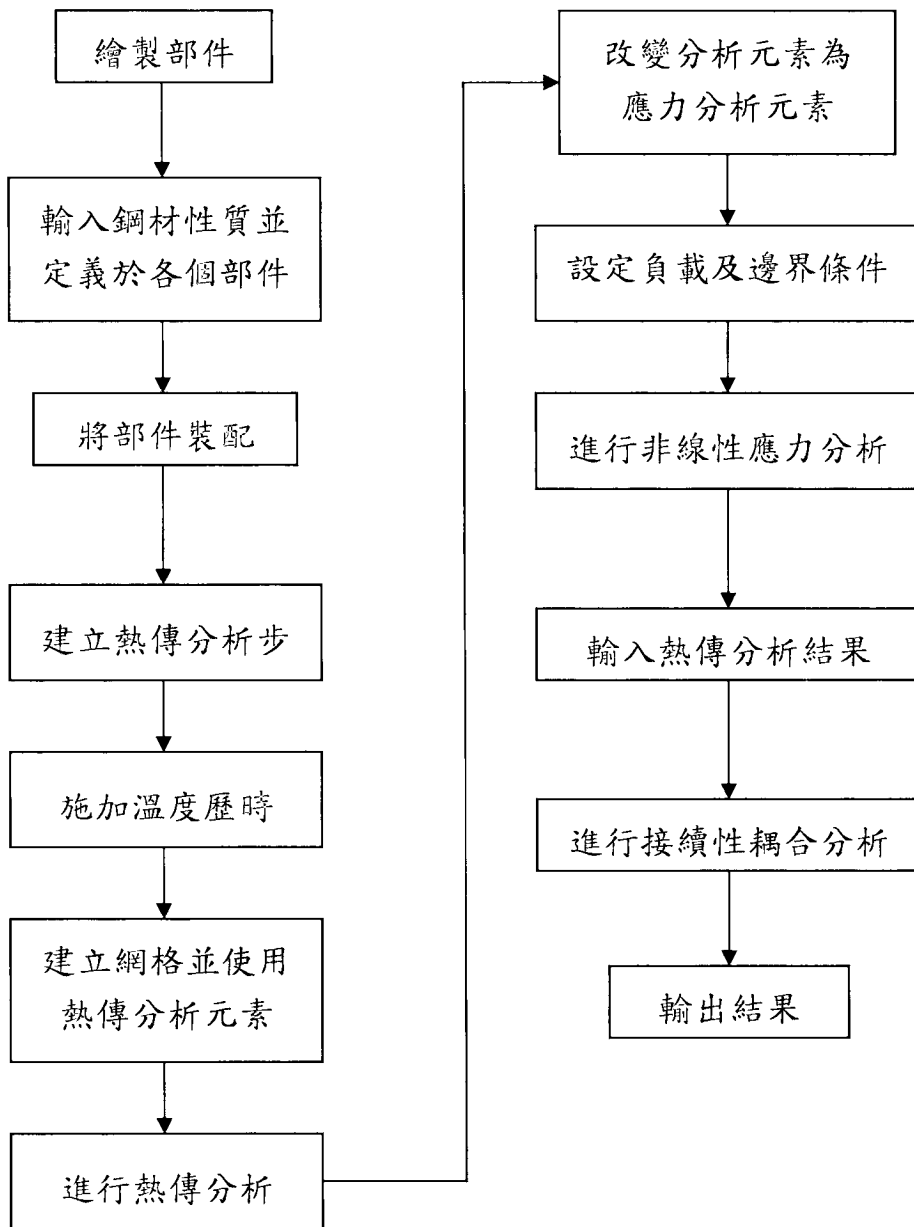


圖 4-9 ABAQUS 分析流程圖

(資料來源：本研究)

甲、熱傳分析

根據熱電偶線量測所得數據，對複合梁模型各部份個別施加溫度

歷時。分析使用熱傳分析元素，鋼梁使用 DC3D8 元素(為八個節點的六面體的元素)，樓板使用 DC3D4 元素(為四個節點的四面體的元素)。模型中節點溫度歷時被儲存在熱傳分析結果內，供接續性耦合分析之用。

乙、非線性應力分析

模擬複合梁受四點加載情形。在非線性應力分析中，對模型施加載重及邊界條件。分析使用三維應力分析元素，鋼梁使用 C3D8I 元素(為八個節點的六面體的元素)，樓板使用 C3D4 元素(為四個節點的四面體的元素)。經由非線性應力分析，可得到試體在每個時間點的位移、應力及應變等反應。

丙、接續性耦合分析

試體在試驗中同時受到溫度及載重的作用，接續性耦合分析即是結合熱傳分析以及非線性應力分析兩種分析結果，將溫度及載重效應同時反應出來的分析方法。在接續性耦合分析中熱傳分析結果不會受到非線性應力分析所影響。先進行熱傳分析得到節點溫度資料，在進行非線性應力分析得到常溫下試體加載後之反應，再將熱分析結果輸入非線性應力分析中進行接續性耦合分析，求得複合梁受溫度及載重與之反應。

第五章 試驗與分析結果與討論

第一節 試體行為

本次計劃共進行 3 組加載及無加載之加溫試驗，試體 1 為 11 mm 防火被覆進行無載重試驗，試體 2 為 14 mm 防火被覆進行載重試驗，試體 3 為 11 mm 防火被覆進行載重試驗。三組試體按升溫曲線加溫 1 小時後，爐內溫度約為 945°C。本次試驗按照 CNS 12514 標準規定之判定基準，無加載試驗之破壞基準為鋼梁表面任一測點之溫度超過 550°C 或平均溫度超過 500°C，有加載試驗之破壞為試體最大撓曲度超過 272.1 mm 或最大撓曲速率超過 12.1 mm/min。本次試驗結果彙整於表 5-1。

表 5-1 試驗結果簡表

編號	防火被覆厚度	加載點載重	爐內 1 小時試體平均溫度	熱電偶測點最高溫度	1 小時最大撓曲度	依 CNS 判定 1 小時防火時效
1	11 mm	無	942.5°C	635.9°C(2B)	36.13 mm	不通過
2	14 mm	95.5 kN	944.2°C	538.2°C(2B)	32.01 mm	通過
3	11 mm	95.5 kN	943.6°C	650.9°C(3B)	42.78 mm	通過

(資料來源：本研究整理)

壹、試體 1

這組試體為 UL 規定 1 小時防火時效之試體，防火被覆厚度為 11 mm，進行無加載之加溫試驗。試驗加溫 1 小時，量測到爐內之升

溫曲線如圖 5-1 所示。加溫進行約 16 分鐘，爐內平均溫度約 760.3°C，鋼梁熱電偶測點平均溫度為 134.4°C，最高溫處達到 193.6°C。試驗進行約 48 分鐘，鋼梁熱電偶測點 2B 量測溫度超過 550.0°C。試驗加溫 1 小時，爐內平均溫度為 942.5°C，最高溫處達到 954.0°C，鋼梁熱電偶測點最高溫發生在編號為 2B 點，溫度為 635.9°C，比規定要求高出 85.9°C，平均溫度為 500.2°C，稍為高出規定要求 0.2°C，試體跨距中點之撓曲度為 36.1 mm，最大撓曲速率為 1.2 mm/min。試驗結束後加溫爐內之溫度下降到 50°C 以下時，觀察到試體之防火被覆出現很多裂縫，散佈在試體腹板及梁下翼板處，另外亦觀察到試體存有永久變形(試體跨距中點 23 mm)，混凝土樓板出現裂縫，鋼承板出現局部挫屈，試驗後等待冷卻後試體情況如圖 5-2，防火被覆裂縫如圖 5-3 所示。

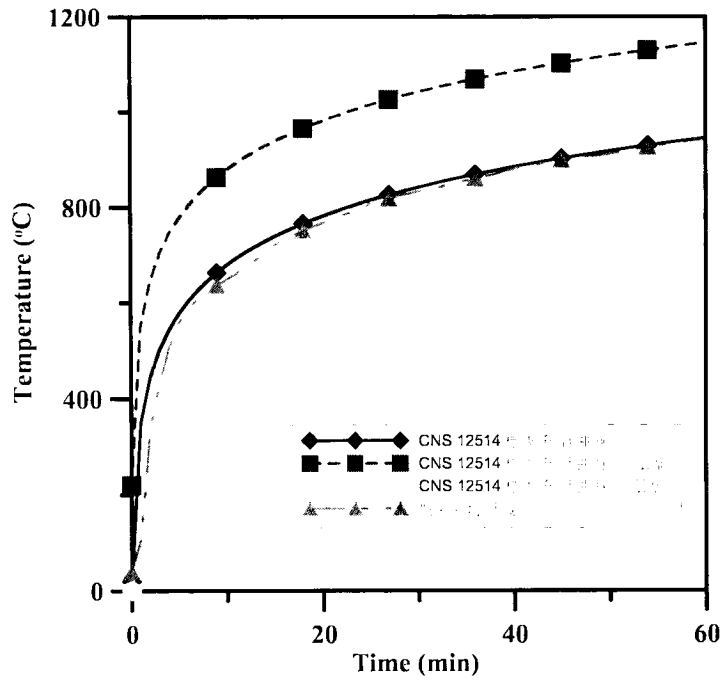


圖 5-1 試體 1 之加溫爐升溫曲線

(資料來源：本研究整理)

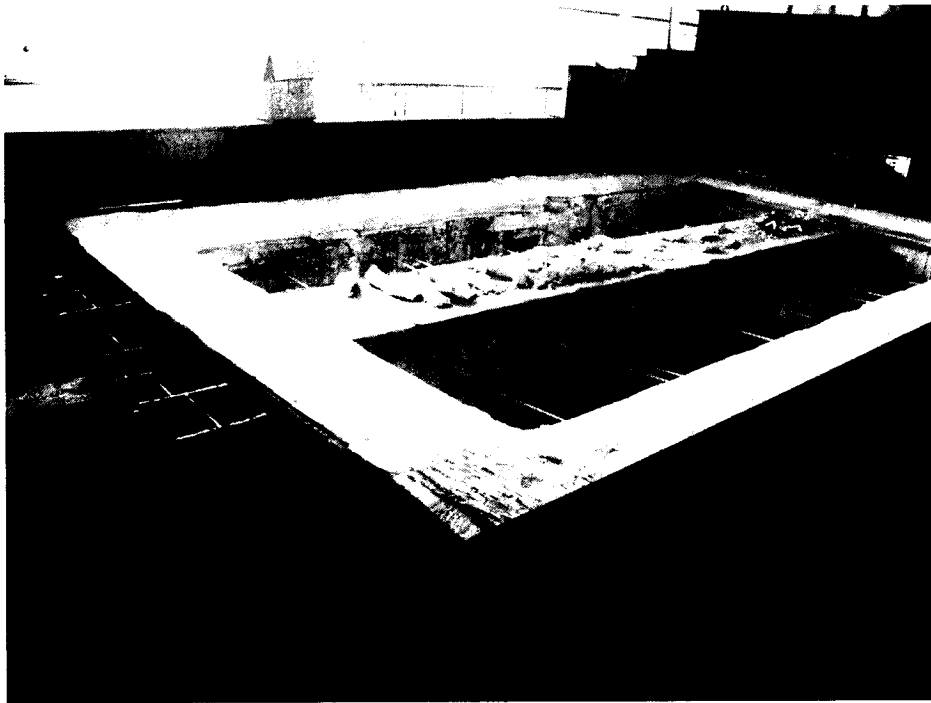
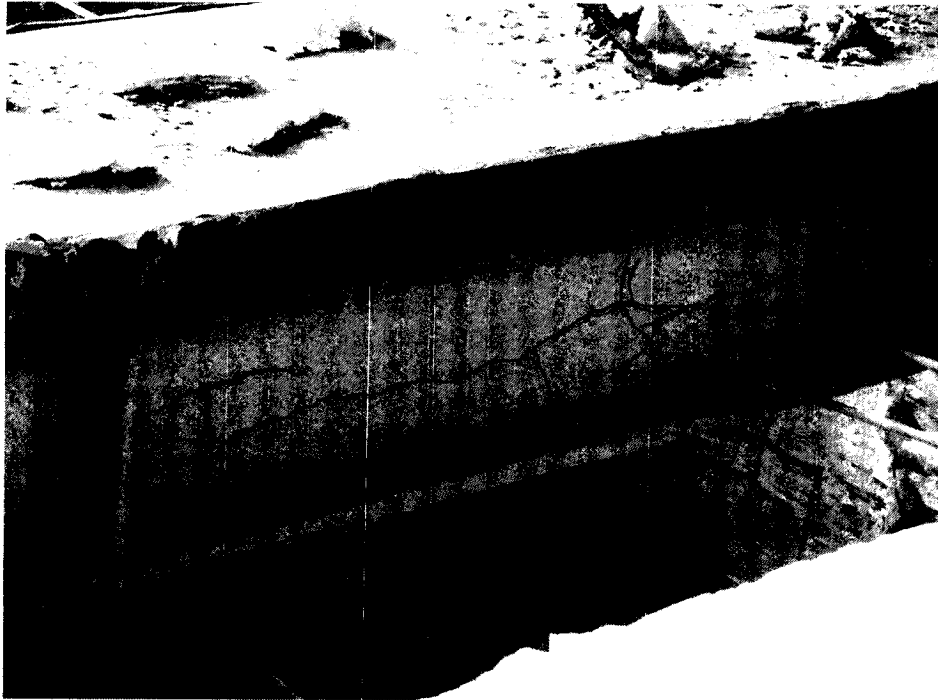


圖 5-2 試體 1 試驗後試體在爐內情況

(資料來源：本研究)

(a)



(b)



圖 5-3 試體 1 試驗後防火被覆裂縫

(資料來源：本研究)

貳、試體 2

本組試體之防火被覆厚度是以 UL 認證 1 小時防火時效的 1.25 倍設計，此設計符合 CNS 若取用 UL 所認證厚度之要求，所以防火被覆厚 14 mm。這組試驗四個加載點各加載 95.5 kN，此力量在試驗前 15 分鐘加載到試體上。力量之加載分為三個步驟進行，每個加載點先加載到 29.4 kN，等待力量加載穩定後加載到 49.1 kN，之後再加載到 95.5 kN。當加載力量穩定後，試體跨距中點產生 8.2 mm 之撓曲度。等待 15 分鐘即進行加溫試驗。試驗加溫 1 小時升溫曲線如圖 5-4 所示。當加溫進行約 20 分鐘後，從觀視窗觀察到試體中部加勁板間及其他部份下翼板之防火被覆產生明顯裂縫，如圖 5-5 所示，但從熱電偶測點監測溫度沒有明顯加快，這些裂縫推測是由於試體撓曲度較大而產生。加溫約 30 分鐘，撓曲度變化逐漸增大，此時平均溫度約為 200.0°C，測點最高溫則達到 278.7°C，鋼梁腹板溫度較其他位置測點高，溫度在 217.2°C 至 278.7°C 之間。加溫 1 小時，爐內平均溫度為 944.2°C，最高溫為 961.2°C，熱電偶測點最高溫為 538.2°C，平均溫度為 412.6°C；試體梁跨距中點之撓曲度為 32.0 mm，最大撓曲速率為 1.8 mm/min。為進一步探討試體加溫超過 1 小時效之行為，延續進行加溫試驗至 2 小時。於加溫 62 分鐘時出現鋼梁熱電偶測點溫度達到 550°C。加溫 75 分鐘時熱電偶測點平均溫度超過 500°C。最終撓曲度為 183.0 mm。試驗結束後，發現有明顯之永久變形(試體跨距

中點 98 mm)，混凝土樓板出現細微裂縫，鋼承板局部挫屈，並觀察到防火被覆損壞嚴重，如圖 5-6 至圖 5-8 所示。

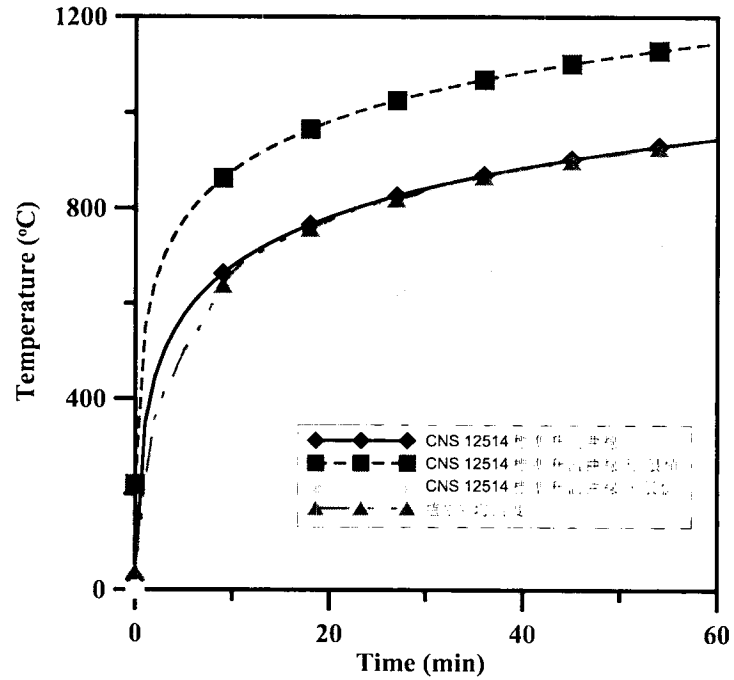


圖 5-4 試體 2 之加溫爐升溫曲線

(資料來源：本研究整理)

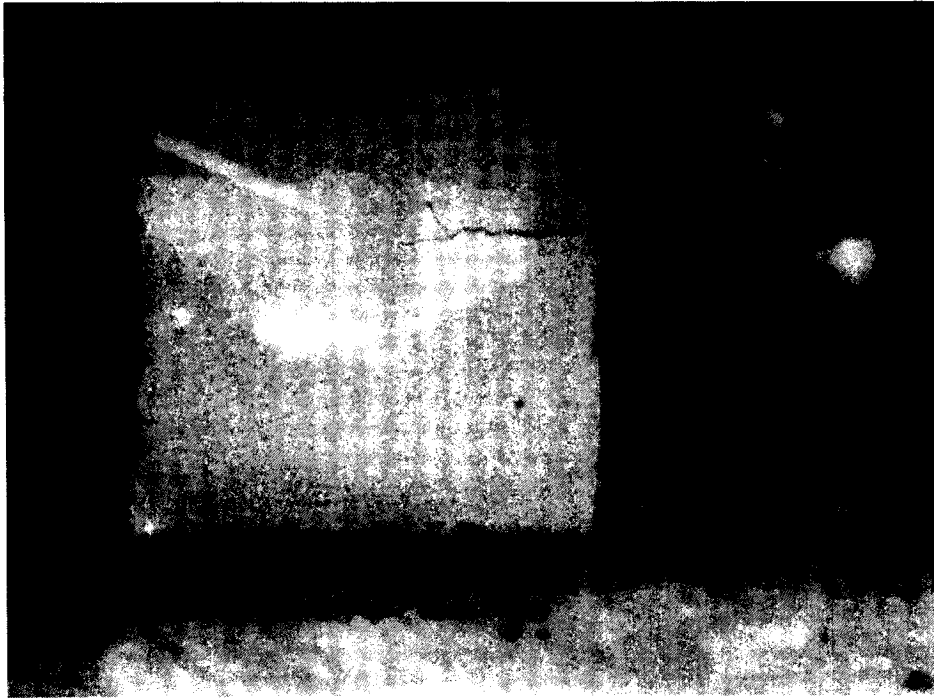


圖 5-5 試體 2 試驗時裂縫出現情況

(資料來源：本研究)

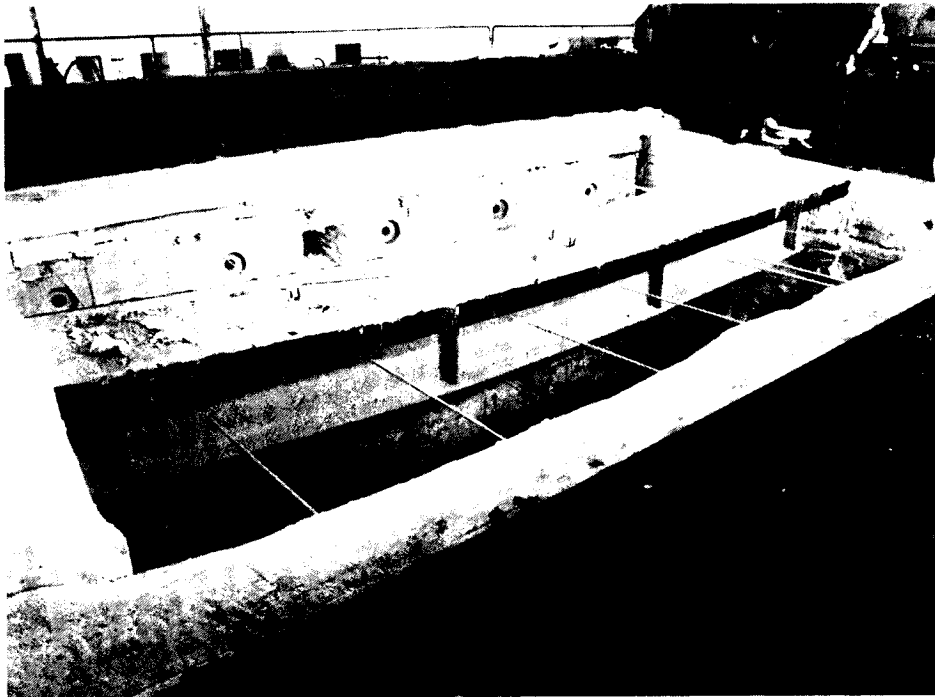


圖 5-6 試體 2 試驗後試體在爐內情況

(資料來源：本研究)

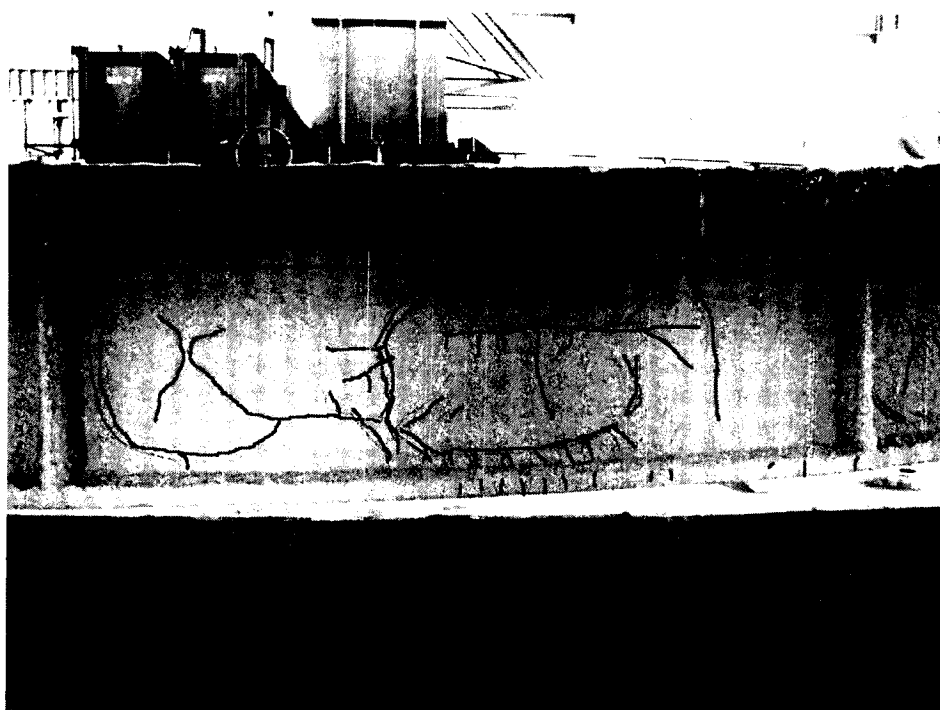


圖 5-7 試體 2 試驗後防火被覆裂縫

(資料來源：本研究)

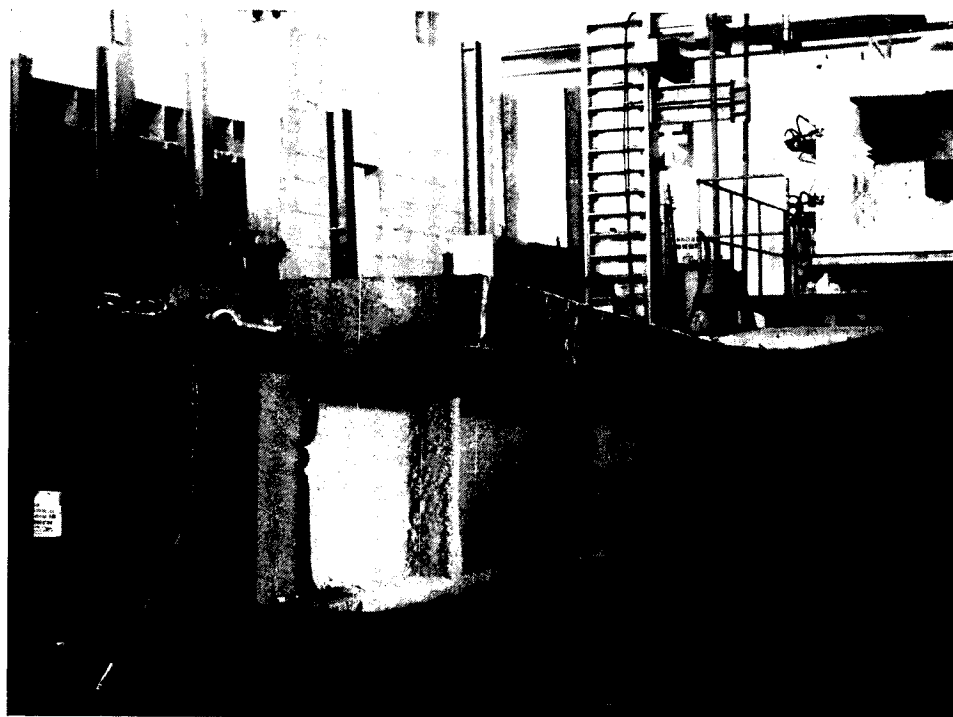


圖 5-8 試體 2 試驗後試體之永久變形

(資料來源：本研究)

參、試體 3

此組試體之防火被覆厚為 11 mm，載重條件與試體 2 相同，施加載重後試體跨距中點產生 6.9 mm 之撓曲度。試驗加溫 1 小時升溫曲線如圖 5-9 所示。試驗進行到約 22 分鐘後，試體跨距中點之撓曲速率逐漸加快，此時熱電偶測點最高溫度達 267.5°C，平均溫度約 206.2°C。加溫約 27 分鐘，試體之防火被覆陸續出現裂縫，散佈在腹板及梁下翼板處，如圖 5-10 所示。加溫試驗進行 46 分鐘，熱電偶測點 3B 已超過 550°C。58 分鐘時平均溫度超過 500°C。試驗加溫 1 小時後，跨距中點之撓曲度為 42.8 mm，最大撓曲速率為 1.0 mm/min。鋼梁熱電偶最高溫測點 3B 測出溫度為 650.9°C，平均溫度為 514.3°C。在加溫試驗進行中從兩側支承處觀察到試體有出現扭轉的情況，如圖 5-11 所示。為進一步探討試體加溫超過 1 小時效之行為，延續進行加溫試驗至 93 分鐘。最終跨距中點之撓曲度為 262.2 mm。等待爐內溫度降低後，觀察到防火被覆出現裂縫，以及試體有明顯之永久變形(試體跨距中點 150 mm)，如圖 5-12 至圖 5-13 所示。

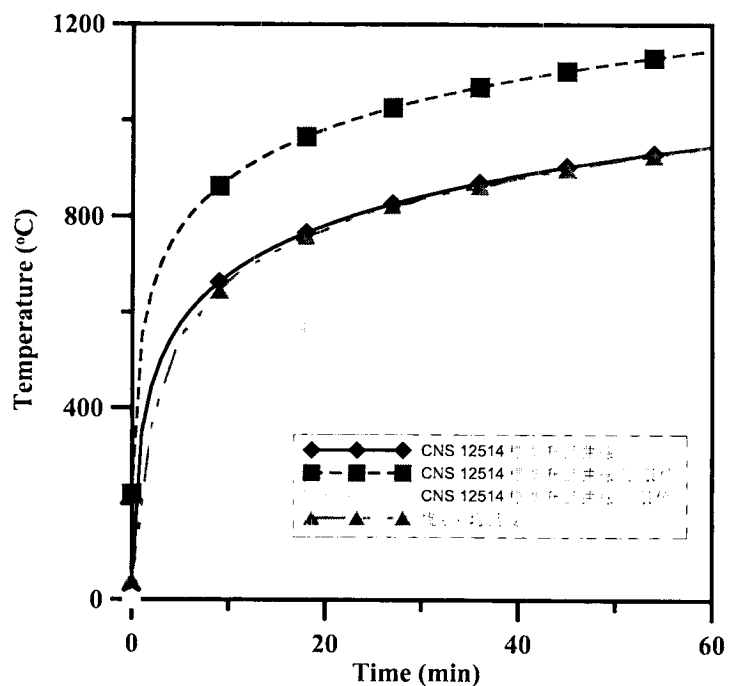


圖 5-9 試體 3 之加溫爐升溫曲線

(資料來源：本研究整理)

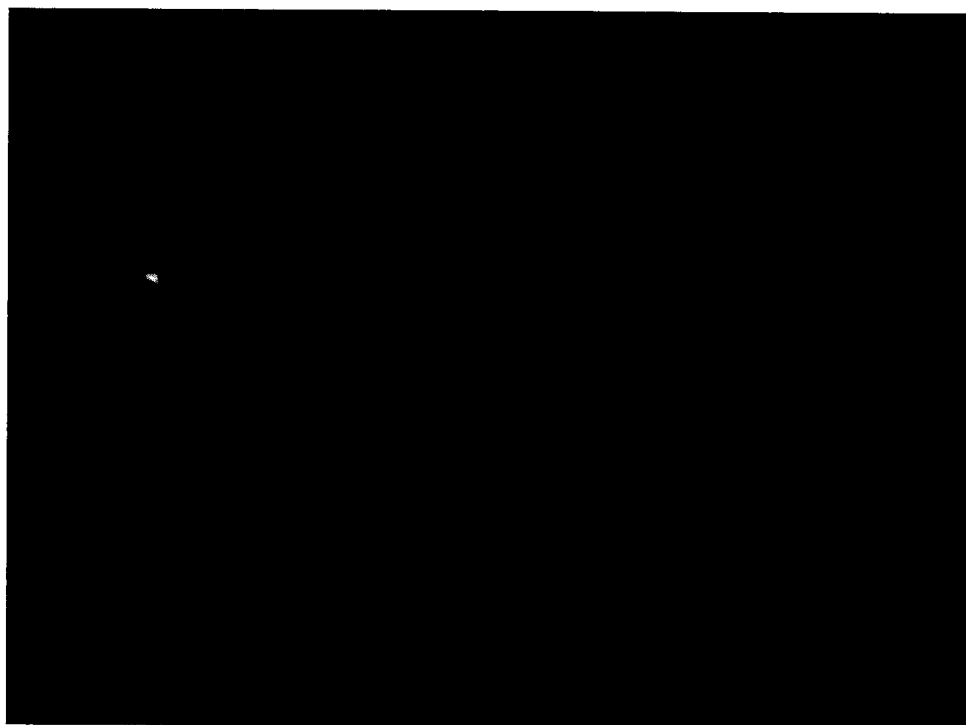


圖 5-10 試體 3 試驗時裂縫出現情況

(資料來源：本研究)



圖 5-11 試體 3 支撐端扭轉情況

(資料來源：本研究)



圖 5-12 試體 3 試驗後在爐內情況

(資料來源：本研究)

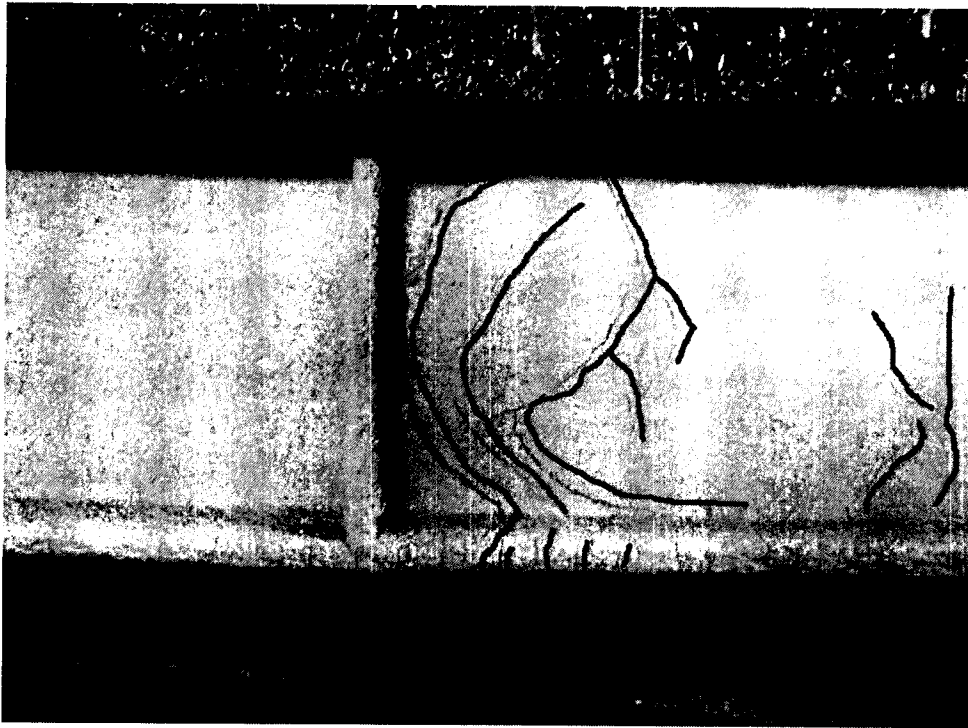


圖 5-13 試體 3 試驗後防火被覆裂縫

(資料來源：本研究)

第二節 試驗結果

三組試體加溫 1 小時後其各斷面加溫 1 小時後之溫度數據整理於表 5-2。試驗結果與國內外規範比較如表 5-3 所示。三組試體撓曲度與時間之關係如圖 5-14 至圖 5-16 所示。三組試體永久變形如圖 5-17 所示。

壹、試體 1

試體 1 無加載，以 CNS 12514 判定耐火性能破壞條件為以破壞溫度為基準，因熱電偶測點 2B 在 48 分鐘時最高溫度已超過 550°C；並且在未達到 1 小時的時候，平均溫度亦超過容許之 500°C，故此組

試體並不滿足 1 小時防火時效之要求。本組試體完成 1 小時加熱後，其熱電偶測點最高溫度為 635.9°C，平均溫度為 500.2°C，並未超過 UL 規範之最高溫度 649°C 及平均溫度 538°C，所以此組試體滿足 UL 之 1 小時防火時效。1 小時後此組試體跨度中點之撓曲度為 36.1 mm。

貳、試體 2

試體 2 之防火被覆厚度為 14 mm，為 UL 規範 1 小時防火時效所需防火被覆厚度的 1.25 倍，亦為 CNS 之要求。本組試體進行加載試驗，按照 CNS 12514 進行載重試驗是以承重破壞為破壞基準。當加溫試驗進行 1 小時，鋼梁跨度中點之撓曲度為 32.0 mm 及撓曲速率 1.8 mm/min 均未超過容許之要求，未達到規範定義之承重破壞，所以本組試體滿足 1 小時防火時效。若以 CNS 無載重試驗之破壞溫度判定基準來討論，本組試體經過 60 分鐘加溫後，其熱電偶測點最高溫度為 538.2°C，平均溫度 412.6°C，均沒有達到破壞溫度；所以，此組試體若以破壞溫度判別亦滿足 1 小時防火時效所要求。

若以 UL 263 規範來討論，試體在加溫 1 小時並沒有超過單點最高容許溫度 704°C 及平均容許溫度 593°C；當加溫 92 分鐘後，熱電偶測點最高溫度出現超過 704°C；約 95 分鐘後則出現平均溫度超過 593°C，故本組試體滿足 UL 規範 1 小時防火時效。

參、試體 3

試體 3 之防火被覆厚度為 11 mm，為 UL 規範 1 小時防火時效所需之防火被覆厚度，但並不滿足 CNS 1 小時防火時效所需厚度。本組試體進行載重試驗，根據 CNS 為以承重破壞為破壞基準。試驗 1 小時，跨距中點之撓曲度為 42.8 mm，撓曲速率為 1.0 mm/min，並沒有超過規定的最大撓曲度 272.1 mm 及最大撓曲速率 12.1 mm/min，所以滿足 1 小時防火時效。但若以無載重試驗之破壞溫度基準，試驗進行到 46 分鐘時，熱電偶最高溫測點已超過 550°C，58 分鐘時平均溫度超過 500°C，所以以破壞溫度基準判定，此試體 3 不符合 1 小時防火時效。

若以 UL 263 規範討論，同樣地，試體 3 在 1 小時內並沒有出現單點超過 704°C 及平均溫度超過 593°C；加溫到 73 分鐘時才出現單點超過 704°C；74 分鐘則出現平均溫度剛達到 593°C，故此組試體滿足 UL 之 1 小時防火時效。

表 5-2 試體各斷面加溫 1 小時後之溫度(°C)

試體各斷面加溫 1 小時後之溫度(°C)			
熱電偶線編號	試體 1	試體 2	試體 3
1A	350.2	286.1	370.9
1B	616.7	470.4	373.2
1C	552.3	403.4	378.2
1D	527.4	385.7	341.1
2A	293.6	260.7	373.1
2B	635.9	538.2	589.2
2C	555.1	448.1	602.6
2D	532.1	412.8	613.3
3A	357.9	296.3	611.0
3B	603.6	520.1	650.9
3C	561.8	457.1	511.0
3D	525.2	437.3	569.8
4A	305.1	276.6	542.0
4B	627.7	502.4	554.2
4C	572.9	462.0	566.3
4D	532.7	438.3	490.1
5A	325.2	267.7	540.5
5B	560.9	502.8	517.3
5C	481.6	458.3	542.4
5D	486.0	428.0	549.4
試體平均溫度	500.2	412.6	514.3
單點最高溫度	635.9	538.2	650.9

(資料來源：本研究整理)

表 5-3 試驗結果與防火時效判定

	CNS 性能基準與判定		UL 性能基準與判定	
	破壞溫度之結果		加載試驗	
	單點溫度 (容許 550°C)	平均溫度 (容許 500°C)	加溫 1 小時 加載試驗之結果	加溫 1 小時之結果
			撓曲度 (容許 272.1 mm)	單點溫度 (容許 704°C)
			撓曲速率 (容許 12.1 mm/min)	平均溫度 (容許 593°C)
試體 1	635.9°C (在 48 分鐘 550°C) (Fail)	500.2°C (在 59 分鐘 500°C) (Fail)	N/A	N/A
試體 2	538.2°C (Pass)	412.6°C (Pass)	32.0 mm (Pass)	538.2°C (Pass)
試體 3	650.9°C (在 46 分鐘 550°C) (Fail)	514.3°C (在 58 分鐘 500°C) (Fail)	42.8 mm (Pass)	650.9°C (Pass)
				412.6°C
				514.3°C

(資料來源：本研究整理)

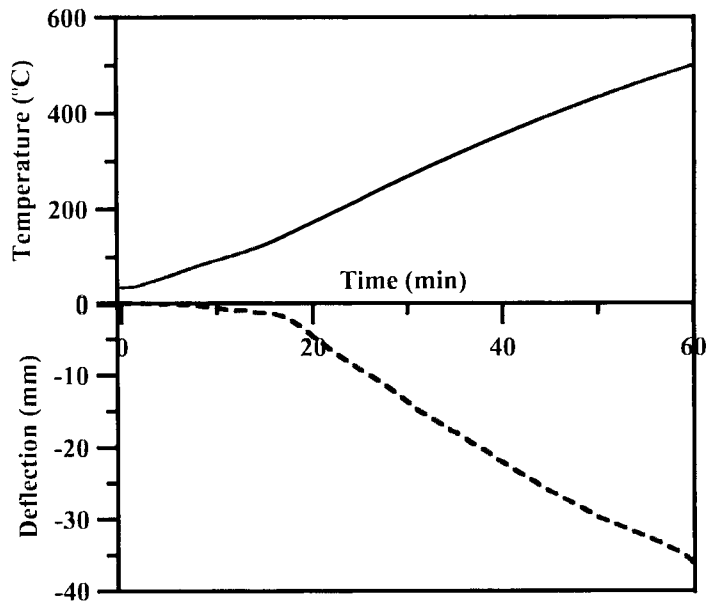


圖 5-14 試體 1 之時間-試體跨距中點撓曲度-鋼梁表面熱電偶測點平均溫度圖

(資料來源：本研究整理)

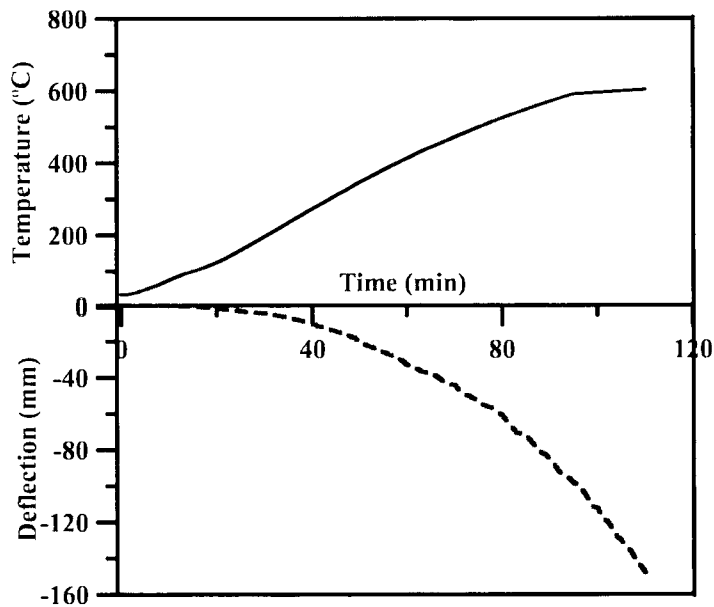


圖 5-15 試體 2 之時間-試體跨距中點撓曲度-鋼梁表面熱電偶測點平均溫度圖

(資料來源：本研究整理)

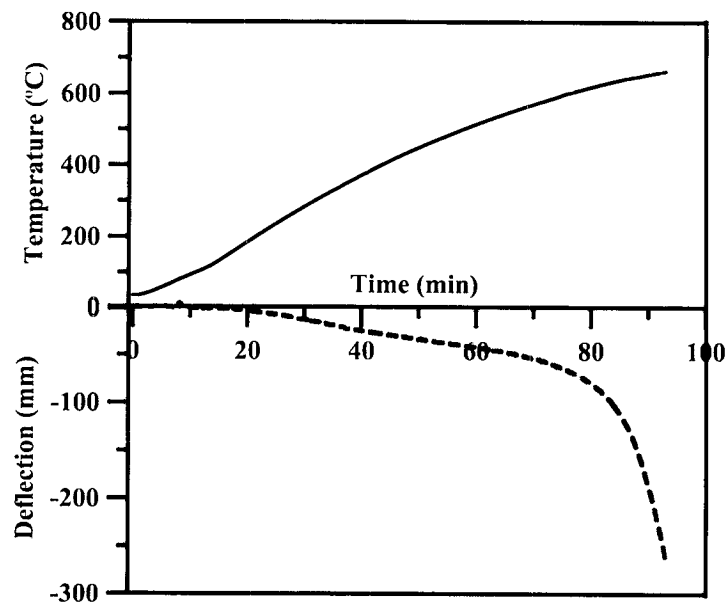


圖 5-16 試體 3 之時間-試體跨距中點撓曲度-鋼梁表面熱電偶測點平均溫度圖

(資料來源：本研究整理)



圖 5-17 三組試體試驗結束後永久變形情形

(資料來源：本研究)

第三節 試驗結果討論

壹、加載與否之影響

試體 1 與試體 3 具有相同防火被覆厚度 11 mm，試體 1 無加載，試體 3 為加載試驗。從熱電偶線監測到這兩試體之溫度接近，兩組試體達到單點破壞溫度 550°C 及平均破壞溫度 500°C 時間只相差 2 分鐘。顯示在有樓板之試體加載與否對鋼梁溫度之影響甚小，但依目前 CNS 規範，試體未能通過破壞溫度者，卻能通過載重試驗之 1 小時防火時效。從位移計量測兩組試體之撓曲度，試體 3 受到載重影響，令 1 小時加溫時其跨距中點撓曲度為 42.8 mm，試體 1 則為 36.1 mm。

貳、防火被覆厚度之影響

比較試體 2 與試體 3 (如圖 5-18 所示)，兩者皆為加載試驗，試體 2 防火被覆厚度為 14 mm，試體 3 為 11 mm。試驗結果顯示從鋼梁熱電偶測點量測加溫 1 小時之單點溫度與平均溫度分別為試體 2：538.2°C 與 412.6°C，試體 3：650.9°C 與 514.3°C。明顯看出防火被覆之影響，防火被覆越厚，熱傳導越慢，試體升溫較慢。若以 CNS 破壞溫度判定，試體 2 可達 1 小時防火時效，而試體 3 則不符合。

試體 2 與試體 3 加溫 1 小時，試體跨距中點之撓曲度分別為 32.0 mm 與 42.8 mm。此時試體 2 鋼梁熱電偶測點之平均溫度為 412.6°C，試體 3 則為 514.3°C。依據 Eurocode 3 規範，表 4-2 所列之比例限度

與彈性模數折減係數分別為試體 2：0.412 與 0.687，試體 3：0.334 與 0.559。因而防火被覆厚度厚者，將延緩試體鋼梁之升溫，進而影響鋼材之有效降伏強度、比例限度與彈性模數，導致撓曲度與撓曲速率之減緩。

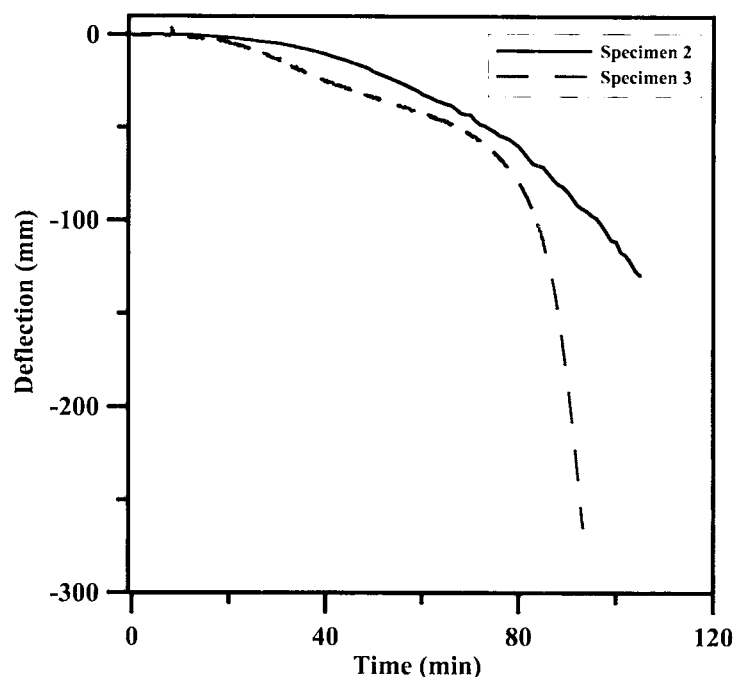


圖 5-18 試體 2 與試體 3 之時間-試體跨距中點撓曲度圖

(資料來源：本研究整理)

第四節 數值分析結果與討論

有限元素分析於考慮防火被覆的熱性質、防火被覆與鋼梁間熱的傳遞等因素時將增加分析之難度，故分析採兩種方式：一為以試驗時量測之鋼梁表面溫度，輸入鋼梁熱傳分析進行模擬；另一為以試驗時量測之加溫爐內平均溫度，輸入防火被覆熱傳分析中進行模擬，將所

得溫度再輸入鋼梁熱傳分析進行模擬。下列前三小節為以第一種分析，第五小節試驗結果與考慮防火被覆分析結果比較則為第二種分析。

壹、試體 1

由時間-撓曲度關係 (圖 5-19)可知，開始加熱至 15 分鐘後，分析模式與實驗結果的變形速率皆開始加快，在 15 分至 60 分鐘這段期間，試驗和分析曲線斜率皆為維持一致的情形，分析與試驗結果相當吻合。試驗所得試體跨距中點的撓曲度為 36.1 mm，分析所得試體跨距中點的撓曲度為 39.6 mm。

貳、試體 2

由時間-撓曲度關係 (圖 5-20)可知，分析模式和試驗結果皆在升溫時間約 30 分鐘左右變形速率開始增快，兩者的走勢相當接近，分析模式與試驗數據在 200 度到 350 度之間有些微差異，其原因可能是在這段時間內試體發生些微扭轉頂到側向支撐或是試體與支承摩擦造成曲線變化的情形。試驗所得試體跨距中點的撓曲度為 32.0 mm，分析所得試體跨距中點的撓曲度為 32.9 mm。

參、試體 3

由時間-撓曲度關係 (圖 5-21)可知，在開始加熱至 15 分鐘後，分

析模式與試驗結果的變形速率皆開始加快，撓曲度隨時間變化的趨勢兩者相當符合。在時間-撓曲度關係 (圖 5-21)，分析模式與試驗結果的變形量都約在 180°C 時開始加大，其原因是當試體中部底端溫度到達 180°C，此時試體平均溫度約為 230°C，由歐洲規範 Eurocode 3 可得知鋼材在不同溫度下的彈性模數，當鋼材溫度到達 200°C 時，其彈性模數開始折減，變形量也開始增大。試驗所得試體跨距中點的撓曲度為 42.8 mm，分析所得試體跨距中點的撓曲度為 48.7 mm。

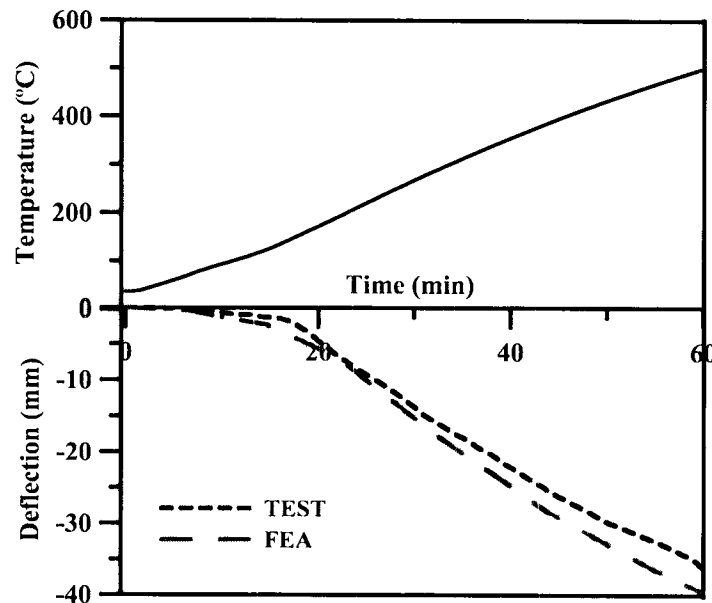


圖 5-19 試體 1 之時間-試體跨距中點撓曲度-鋼梁表面熱電偶測點平均溫度比較圖

(資料來源：本研究整理)

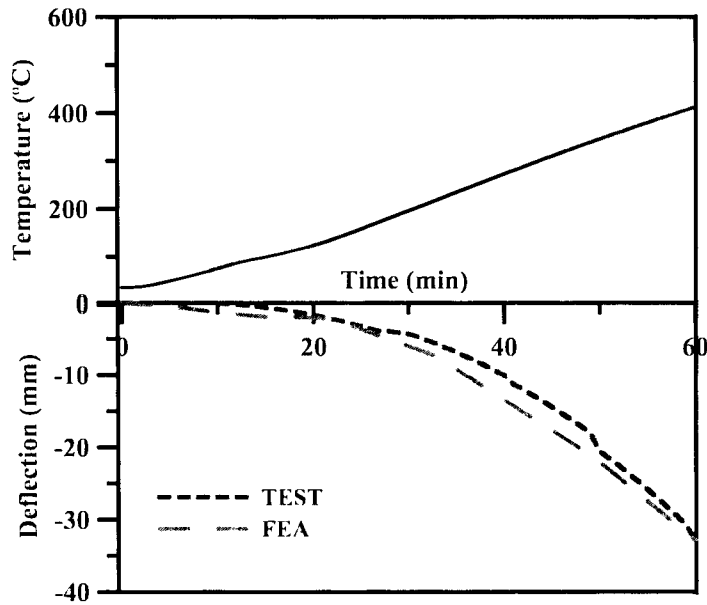


圖 5-20 試體 2 之時間-試體跨距中點撓曲度-鋼梁表面熱電偶測點平均溫度比較圖

(資料來源：本研究整理)

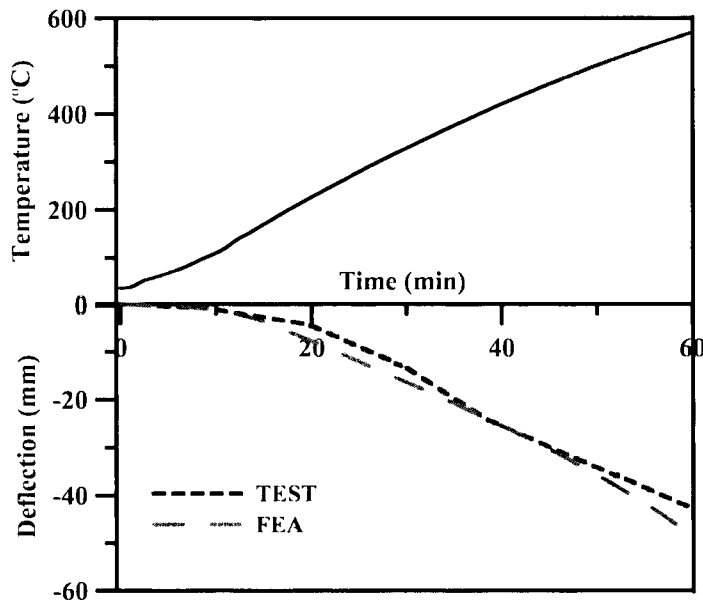


圖 5-21 試體 3 之時間-試體跨距中點撓曲度-鋼梁表面熱電偶測點平均溫度比較圖

(資料來源：本研究整理)

肆、試驗結果與分析結果比較

由以上分析可知，試體 3 有施加载重，撓曲度比有同樣防火被覆厚度的試體 1 來得大，且被覆厚度較試體 2 來得薄，加熱後整體溫度也較高，故試體 3 的撓曲度為三組試體中最大，試體 1 和試體 2 相比，試體 1 雖然無施加载重，但被覆厚度較試體 2 薄，加熱後試體整體溫度較試體 2 來得高，因為溫度較高，鋼的彈性模數及強度折減也較多，故試體 1 的撓曲度為三組試體中第二大，試體 2 的撓曲度為最小。三組試體平均溫度在 200°C 左右時，都呈現撓曲度開始增加大的情形。

伍、試驗結果與考慮防火被覆分析結果比較

在含防火被覆的複合梁分析中，需要考慮的變數較直接將溫度施加於鋼梁的分析方式來得多，需考慮防火被覆的熱性質，防火被覆與鋼梁間熱的傳遞等各項因素，分析難度也大大的增加。本節對試體 3 進行含防火被覆複合梁之接續性耦合分析，將分析結果與直接施加溫度於鋼梁的分析及試驗結果三者進行比較(圖 5-22)，由結果顯示，三者時間-撓曲度關係圖的走勢相當接近，但是考慮防火被覆的複合梁分析的分析複雜度較直接將溫度施加於鋼梁的分析方式高出許多，分析也需要多出數倍的時間，然而亦能不失準確的模擬試驗結果。

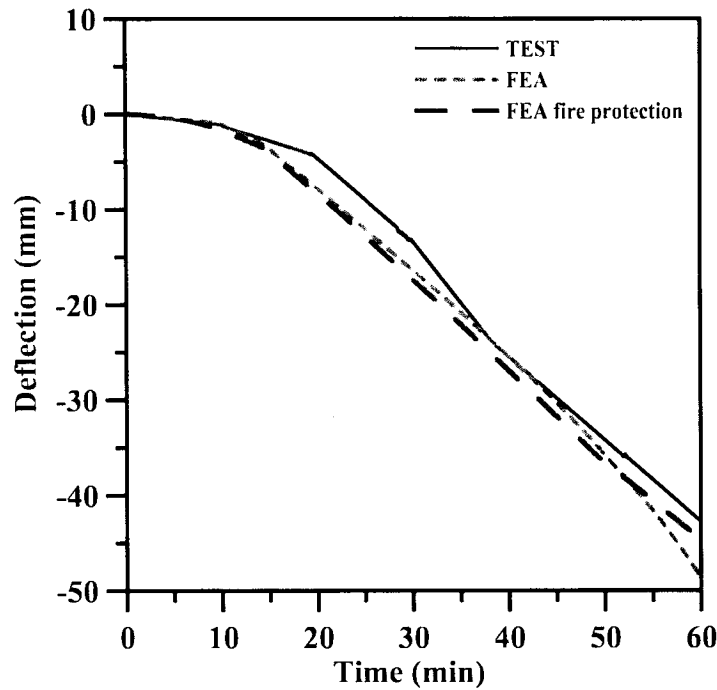


圖 5-22 試體 3 考慮被覆分析，直接施加溫度於複合梁分析與試驗結果時間-撓曲度比較圖

(資料來源：本研究整理)

陸、複合梁試驗結果與鋼梁分析結果比較

將三組複合梁試驗資料分別放進鋼梁分析模型中進行分析，比較有無樓板之鋼梁在相同條件下行為之差異。由分析模式與試驗結果(圖 5-23~5-25)，在相同載重與溫度歷時下三支鋼梁的撓曲度為 57.0 mm、61.7 mm、73.9 mm，與複合梁試驗結果相較分別多出了 20.9 mm、29.7 mm、31.2 mm，由於鋼梁的彈性模數與慣性矩小於複合梁，抵抗撓曲的能力不如複合梁，因此，受同樣載重與溫度歷時之鋼梁撓曲速率與撓曲度會較複合梁來得大。

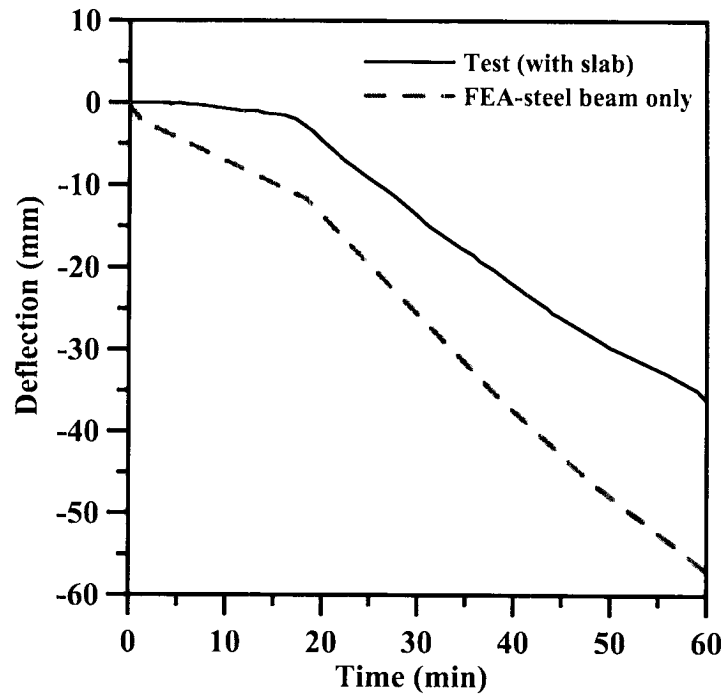


圖 5-23 試體 1 試驗結果與受相同載重及溫度歷時下之純鋼梁分析結果之比較

(資料來源：本研究整理)

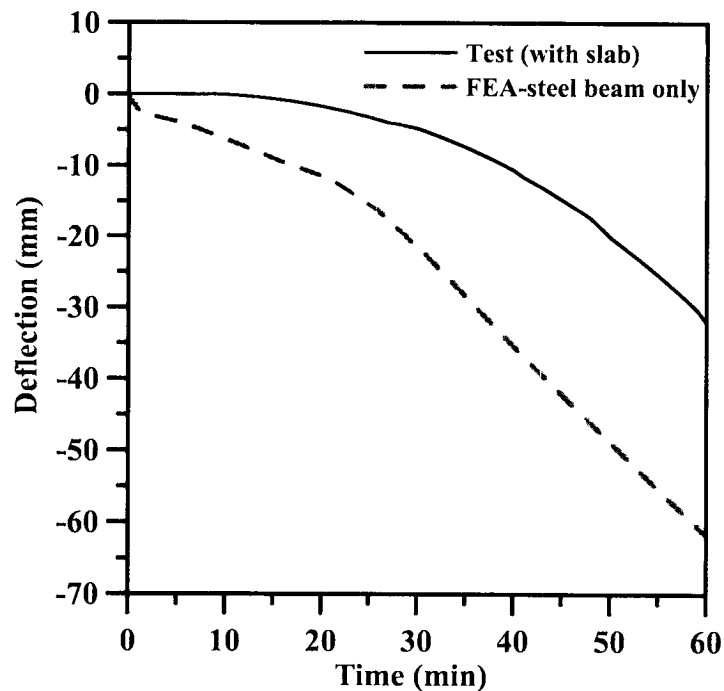


圖 5-24 試體 2 試驗結果與受相同載重及溫度歷時下之純鋼梁分析結果之比較

(資料來源：本研究整理)

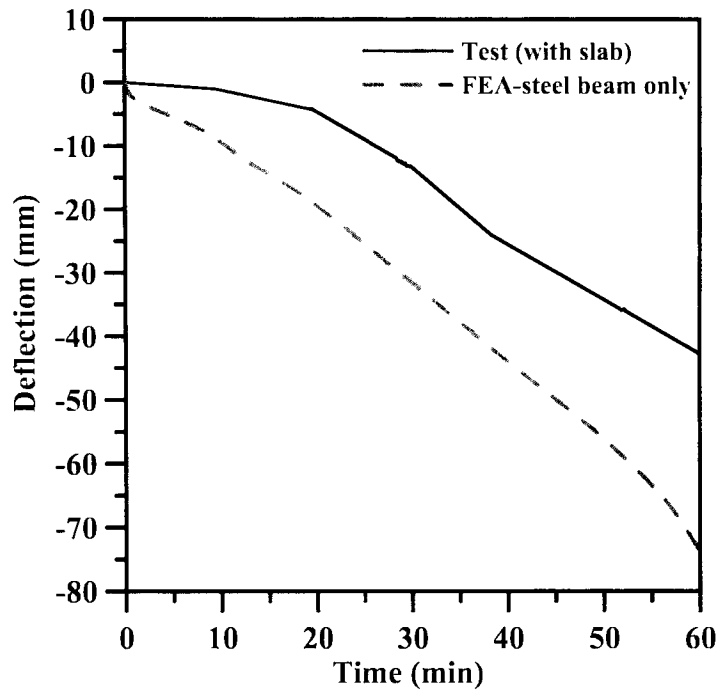


圖 5-25 試體 3 試驗結果與受相同載重及溫度歷時下之純鋼梁分析結果之比較

(資料來源：本研究整理)

第六章 結論與建議

第一節 結論

本研究共進行三組含鋼承板混凝土樓板之簡支承鋼梁試體 1 小時防火時效之耐火性能試驗，試體參數為不同防火被覆厚度與加載與否，綜合其結果提出結論如下：

1. 含樓板之鋼梁試體在相同的防火被覆厚度下，試驗時加載與否對鋼梁溫度之影響甚小。試體 1 未加載但其破壞溫度未能達 1 小時防火時效，然而相同條件之試體 3 進行加載試驗時，試體溫度雖超過 CNS 規範之破壞溫度，但試體之撓曲度與撓曲速率仍能符合規範之要求，因此採用加載之試驗對含樓板之試體反而能達 1 小時防火時效。
2. 試體 2 與試體 3 同為加載試驗，但試驗 2 之防火被覆厚度為 14 mm，試體 3 之防火被覆厚度為 11 mm。試驗數據顯示，試體 2 升溫速度較試體 3 慢，故防火被覆厚度會影響熱傳導的速度。防火被覆越厚使鋼梁溫度上升較慢，所以鋼材之有效降伏強度、比例限度及彈性模數衰減較慢，故撓曲度與撓曲速率相對較少。
3. 有限元素分析結果顯示採用 Eurocode 3 鋼材高溫性質，以熱傳分析與非線性應力分析結合之接續性耦合分析可準確預測試體的撓曲度。

4. 本研究試體使用鋼承板混凝土樓板，會對試體提供撓曲能力及勁度，使試體在進行載重試驗時可能通過所需之防火時效。
5. 有限元素分析結合熱傳分析以及非線性應力分析兩種分析結果，將溫度及載重效應同時反應出來的接續性耦合分析方法可準確的模擬實驗結果。
6. 由數值模擬與試驗結果顯示，試體平均溫度在到達 200°C 之前，鋼梁跨距中點的撓曲速率增加較為緩慢，溫度超過 200°C 時撓曲速率顯著加快。

第二節 建議

1. 建議一

不同防火被覆材料進行研究：立即可行建議

主辦機關：經濟部標準檢驗局

協辦機關：內政部建築研究所

本次試驗試體僅採用一種防火被覆材料，建議往後研究以不同防火被覆材料進行研究，以更多試驗結果探討現在試驗法之合理性。

2. 建議二

輕質混凝土頂蓋板及樓板之合理性研究：中長期建議

主辦機關：經濟部標準檢驗局

協辦機關：內政部建築研究所

本次試驗使用樓板代替輕質混凝土頂蓋板，提高了試體之勁度，而使用樓板及輕質混凝土頂蓋板之試體所要求之容許撓曲度及撓曲速率以同樣的方法計算，故建議進行相關研究，探討更合理的準則以反映實際情況。

3. 建議三

進行較長時之防火時效試驗：中長期建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：經濟部標準檢驗局

本次試驗只進行 1 小時防火時效之試驗，建議將來可進行較長時之防火時效試驗，提供更多不同數據資料來對試驗法進行檢討。

附錄一 審查意見與答覆

壹、期初審查意見與答覆

會議日期：98年1月21日

地點：內政部建築研究所

台北縣新店市北新路三段聯合開發大樓

雷明遠委員

1. 實驗規劃內容請再增補試驗中止的條件。

答覆：實驗終止條件以操作人員、儀器設備安全等為主要考量，或達到性能基準設定指標。

2. 實驗的防火被覆材建議選用國內市面佔有率較高者，以符合未來實用性。

答覆：遵照辦理。

許銘顯委員

1. 目前鋼構件的防火處理方式有多種方式，為何選用被覆的方式(及使用被覆材的種類及工法都是必須考量)？

答覆：以國內目前市面上常用之工法為考量，施工方法依被覆方式為主。

2. 請未來於執行時，詳細說明各試驗參數條件。

答覆：未來執行時於計劃報告書中說明試驗參數相關條件等。

陳耀維委員

1. 被覆材之材質將會影響試驗結果，目前工程上常用的被覆材大體有二種，未來或許會有其他的材質，請問在實驗規劃中所採用的被覆材料是採用哪一種，爾後訂出來以後，其他材料如何比照。

答覆：被覆材選用及施工方法，將以召開之專家座談會議意見及營建署相關施工方法為依據。

2. 依 CNS 12514 第 5.3.6 節，梁的加載系統需透過載重分配板傳遞到梁試件上，而所顯示試驗設備圖似乎與該項規定不符，請問要如何修訂或有其他的考量？

答覆：試體的設計將依據 CNS 規定設置載重分配板，以傳遞力量到鋼梁上。

3. CNS 12514 中對於加載試驗試體的束制及邊界條件有所界定，且會影響試驗結果，請問本項試驗如何考量這些因素？

答覆：試體的束制與邊界條件將依據 CNS 之規定設計。

4. 本研究案主要是要研究 CNS 中對於鋼構造耐火試驗之判定標準，請問在本研究團隊中是否有成員對防火時效有類似的研究或了解？

答覆：計畫主持人於國家標準 CNS 中當任審查委員多年，亦執行

過多年構造防火課題之研究。

5. 要能得到確實的研究數據，並能供實驗依循，必須要能多方考量與分析，P.14 所編列耐火試驗費用僅列 47 萬元，是否足夠取得數據？

答覆：實驗費用係與貴所防火實驗中心洽詢過，以執行 3 支鋼梁試驗為前提所編列之費用。

胡裕輝委員

1. 建議增加不同被覆方法之評估。

答覆：試體之設計與實驗之執行將以能達到研究目的為考量。不同被覆方法之評估將有待後續之研究。

2. 請說明被覆厚度及載重條件之規劃原則。

答覆：將於報告內加以補充。

3. 試體束制及樓板影響盡量包含在試體內。

答覆：將依 CNS 12514 之規定為未來規劃實驗之主要依據。

4. 實驗結果與實務設計之應用希有所著墨。

答覆：將討論實驗結果與實務設計應用之關連性。

馮俊益委員

1. 試體被覆的施工方法很重要，建議應於實驗條件中述明。

答覆：將於報告內加以補充。

2. 本研究預定進行 3 組試體實驗，而要對 CNS 12514 提出建議，因本案經費有限且實驗僅侷限在某種被覆試體，建議於成果檢討建議中可以提出本研究之延續性研究方向，並請建研所考量，有持續性的經費支持，以建立完整的實驗資料。

答覆：將於報告內建建議本研究之延續性研究方向。

陳建忠委員

1. 計畫書九，對施政效益所提將初步建議修訂採載重方式，惟 UL 是加載及非加載兩項，請收集整理其使用條件、狀況以及研究結果再決定 CNS 12514 如何修正。

答覆：本研究案未來實驗成果如何回歸設計或標準修訂，將參考實驗結果與美國土木工程師學會新出版之鋼構防火性能設計法規來研擬相關建議應用。

2. 變形與變形速率量測是本案實驗困難度極高之處，以往以照像、CCD 等試圖接近在耐火爐試體面量測，宜於研究前後提出妥適之量測方法及加以檢討。

答覆：高溫下鋼梁變形量測，屬本案較不易掌控操作部分，如何精確的擷取相關資料，將於後續規劃實驗時加以審慎考量。

貳、第一次專家學者諮詢座談會意見與答覆

會議日期：98 年 6 月 11 日

地點：內政部建築研究所防火實驗中心

台南縣歸仁鄉六甲村中正南路 1 段 2502 號

邱耀正委員

1. 鋼梁有否提供足夠側向支撐。

答覆：因試驗設備之限制，於加溫爐內加設側向支撐有困難，因而施加之工作載重以鋼梁無側向支撐之強度計算。鋼梁於兩端支承處提供側向支撐。

2. 建議留意實驗過程之安全。

答覆：遵照辦理。

3. 建議以鋼承板代替頂蓋板。

答覆：遵照辦理。

4. 位移量測請補充說明。

答覆：說明於試體量測儀器設置章節。

楊國珍委員

1. 建議以 3 小時防火時效進行試驗，以有足夠資料修訂試驗法。

答覆：由於計畫經費不足，3 小時防火時效進行試驗有待後續研

究。

鍾興陽委員

1. 建議先以最大厚度之防火被覆，觀察其能否達到要求之防火時效。

答覆：遵照辦理。

2. 建議以梁跨度中間點設置 2 位移量測點，以防發生側向扭轉挫屈。

答覆：遵照辦理。

崔希仲委員

1. 載重位置可參考 UL 或 WF 直接加載於鋼梁上方之樓板，才有辦法驗證是否符合 UL 或 WF 的試驗結果。

答覆：本次計畫按照 CNS 12514 進行試驗，此建議可供後續研究之參考。

邱志銘委員

1. 熱電偶的安裝可依據 BS(WFRC)及 UL 製作方式進行。

答覆：遵照辦理。

2. CNS 12514 載重比率可確認為 100%或較小。

答覆：遵照辦理。

3. 為何使用輕質混凝土頂蓋板？

答覆：以鋼承板製作樓板代替輕質混凝土頂蓋板以更符合實際情況。

參、期中審查意見與答覆

會議日期：98 年 6 月 30 日

地點：內政部建築研究所

台北縣新店市北新路三段聯合開發大樓

陳純森委員

1. 本計畫之名稱，請加強說明何謂「鋼梁構造以不同性能基準判定耐火性能之研究」。

答覆：詳細說明於第 1.2 節研究目的內。

2. 第 3 頁預期成果，建議補充防火被覆材之熱傳導特性與厚度之關係，再與試驗結果比對。

答覆：防火被覆材之熱傳導特性與厚度之關係將於試驗結果討論內說明。

3. 第 11 頁試體規劃，其防火被覆厚度與 UL 之束制型或非束制型有無相關連？厚度取捨如何？

答覆：被覆厚度係依供貨廠商所提供之資料以 UL 的 1 小時防火時效設計，為防火被覆厚度 1 倍厚，1.25 倍則為 CNS 要求之被覆厚度。

4. 第 16 頁防火被覆之施工，宜補充說明配比、養護、水灰比、鋼料清潔度、厚度。又樓板與鋼梁如何介面固定？支承端之細部機

制？

答覆：樓板與鋼梁以足夠剪力釘固定。支承端以圓形鋼棒設置為輓支承。

5. 第 30 頁加溫終止，加溫 1 小時即終止，與 2 小時以上之防火時效有無助益？如何推導？

答覆：本計劃係採用 1 小時防火時效厚度之防火被覆材料，故僅加溫 1 小時。

孫立言委員

1. 請補充說明 1.25 倍被覆材厚度之試體，意義何在？UL 標準溫度不同與是否載重有關？

答覆：1.25 倍被覆厚度為 CNS 考量破壞之單點溫度與平均溫度較 UL 規範低而有較厚之被覆厚度。UL 規範破壞溫度與是否載重有關，補充於告內。

2. 何謂 1 倍厚？為依據何標準決定之厚度？

答覆：被覆 1 倍厚即該防火被覆經 UL 認證 1 小時防火時效厚度。

3. 第 101 頁被覆材料特性，部份敘述像是產品型錄，請過濾並請澄清是否取得內政部認可及認可之厚度。

答覆：遵照辦理。試驗採用防火被覆已取得內政部認可。

程建明委員

1. 依建築技術規則第三章建築物之防火建築物及防火構造第七十條(防火時效)自頂層起算不超過四層之各樓層梁：一小時；自頂層起算超過第四層至第十四層之各樓層二小時。表 3-1 試體規劃編號 1 及 2：1 倍厚被覆材為第 11 頁之 1 小時防火時效的試驗；編號 3 之 1.25 倍厚被覆材是否可修正為 2 小時防火時效符合建築技術規則？

答覆：本研究旨在探討加載與否之耐火性能，故試體皆設計為 1 小時防火時效，以比較其行為之差異。

蔡銘儒委員

1. 梁腹依加載點設加勁板，於測試達到耐火性，用於實際建築物上未設加勁板是否能等同認定，請加以探討。

答覆：加載點設置加勁板於簡支鋼梁撓曲行為之影響應可忽略。

2. 請就 CNS、ISO、ASTM 之判定基準，依實驗結果加以探討。

答覆：實驗結果依國內外規範判定防火性能討論於「試驗結果討論」章節內。

郭詩毅委員

1. 研究方向具體，期中進度符合預期規劃。

答覆：謝謝指教。

2. 受溫狀態下，使用 LVDT 等進行變形量量測上有一定的難度，此點建議事先規劃及演練。

答覆：遵照辦理。

3. 試驗前，可以先檢核以下數據：(參考期中報告圖 2-3)：

(a) 加載設備油壓千斤頂衝程是否可因應梁的大變形，加載點不會跑掉。(b) 撓度較大時，端部傾角亦大，對支承點有一側向作用力，可能造成支承點的側向移動。(c) 樓板及爐蓋板是否可因應梁所產生的變形，覆蓋的密合度是否會受影響？

答覆：(a) 實驗容許之撓曲度為 272.1 mm，已確認油壓千斤頂有足夠衝程完成此變形。(b) 支承點的安裝將設置圓形鋼棒，以吸收鋼梁縱向伸長量，為避免支承點的側向移動，支承將固定之。

(c) 試驗時樓板將置於爐蓋板內，爐蓋板可密合。

4. 試驗梁試體之載重能力，淨跨距所容許的撓曲度計算 OK。

答覆：謝謝指教。

陳建忠委員

1. 測試工作非常繁重，但請考量建築物是高層建築，其時效要兩小時以上，而且期中報告第 14 頁所指的是合格與否的停止時機，

但研究如有需要，宜予調整。

答覆：試驗時加溫時間將延長，以探討試體之極限行為。

2. 加載不加載，束制不束制，對梁柱構材防火性能是正面或負面，請加以評估。

答覆：本研究將視試驗結果探討加載與否之影響，束制或不束制之影響有待後續之研究。

3. 請針對 CNS 12514 及國際相關規範及該國相關配套措施的比較，依據本研究試驗結果，提供具體修正文字對照表。

答覆：研究報告將依認試驗結果把出適當之建議。

建築研究所業務單位

1. 建議三支鋼樑試體進行試驗之順序為①無加載②14 mm 厚度被覆一小時試驗③11 mm 厚度被覆一小時試驗，以先行了解相關被覆材料性質以較安全之方式進行試驗。

答覆：謝謝指教。

2. 相關量測設備之配置宜盡早完成，並檢示整體試驗規劃可否達成原合約預期成果。

答覆：遵照辦理。

肆、第二次專家學者諮詢座談會意見與答覆

會議日期：98 年 10 月 20 日

地點：內政部建築研究所

台北縣新店市北新路三段 200 號 13 樓

楊國珍委員

1. 研究團隊如期完成鋼梁耐火性能試驗，並證明目前 CNS 12514 對鋼梁加載與否之防火時效認定上產生不一致現象，研究成果令人讚賞。

答覆：謝謝指教。

2. 由於溫度分佈影響鋼梁高溫行為如鋼梁變位等甚鉅，建議補充研究中各試體各測點溫度時間歷時圖及各測點與加載點變位歷時圖，以供參考。

答覆：遵照辦理。

3. 本研究之目的在探討判斷鋼梁耐火性能基準之合理性與適用性，與主題無直接關聯性之議題如防火材料等只須註明使用依據，如符合 UL 一小時防火時效之被覆材。

答覆：因審查委員要求需對這些資料補充說明。

鍾興陽委員

1. 建議將各測溫點的歷時曲線列出。

答覆：遵照辦理。

2. 試體 2 與試體 3，變形之行為有所不同，建議可深入探討其原因。

答覆：在試驗結果討論章節中詳細探討。

3. 常溫加载中點變形試體 2 與 3 略有不同，是否在誤差範圍內？

答覆：常溫下試體 2 加載後撓曲度為 8.2 mm，試體 3 為 6.9 mm，相差 1.3 mm，在考慮試驗時各項因素之變異性，此誤差是可被接受。

4. 依照 CNS 規範，有加載、無加載合格之判定對本實驗有所不同，此為本研究之重要發現，建議貴所日後可針對此現象做探討。

答覆：將對相關研究單位提出合適建議。

崔希仲委員

1. 建議有經費的話，再執行防火漆試驗。

答覆：謝謝指教。

2. 印證溫度與載重判定有差異，是否要修 CNS 12514。

答覆：將建議相關單位對規範作出研究及修訂。

邱志銘委員

1. 建議檢討 CNS 標準單點 550°C 與平均 500°C 之適用性(相差僅 50°C)。

答覆：將建議相關單位對規範作出研究及修訂。

2. CNS 載重要求較溫度要求容易符合防火性能，是否檢討要求全部載重為主。

答覆：將建議相關單位以更接近實際建築物之方法作為判定基準。

張培璋委員

1. 建議未來可依使用用途不同，考量載重比率。

答覆：將建議相關單位對規範作出研究及修訂。

2. 建議提出未來 CNS 是否考量以撓度(載重)作為試驗檢核標準。

答覆：將建議相關單位對規範作出研究及修訂。

3. 建議未來考量更複雜之力學行為。

答覆：將建議相關單位作出研究。

施昭彥委員

1. 依 P.47 試驗結果，試體 1 及試體 3 於無加載時為失敗，以 P.103

施力(加載)為 95.5 kN(以及推法)，建築物實際於使用時，載重可能介於兩者之間，未來可否以實際載重測試結果測試出使用防火材(如本次試驗)之厚度。

答覆：將建議相關研究單位。

伍、期末審查意見與答覆

會議日期：98 年 11 月 6 日

地點：內政部建築研究所

台北縣新店市北新路三段聯合開發大樓

高士峯委員

1. 請教 CNS 12514 之上限值、下限值？

答覆：CNS 12514 上限值及下限值為規範容許可差達 $\pm 200^{\circ}\text{C}$ 。

孫立言委員

1. 建議對厚度之比較(試體 2 vs 試體 3)於結論著墨。此節對國內執行防火被覆之認可作業提供強力的支持。

答覆：在結論中將提供詳細說明。

2. 定稿本建議送台灣建築中心及成大研究發展基金會作為防火材料評定之參考。

答覆：遵照辦理。

郭詩毅委員

1. 6.1 結論的第 1 點：含實際樓板之鋼梁試體在相同的防火被覆厚度下，採用加載之試驗對含實際樓板之試體反而能達到 1 小時防

火時效。此為有趣的結果，與一般認知有差距，建議研究團隊提供看法。

答覆：本研究以樓板代替輕質混凝土板，對試體提高了一定的勁度，變形減少。防火被覆亦有可能因變形減少使其剝落情況相對減低，不會使鋼梁表面溫度顯著上升，故鋼材強度折減也較慢。

2. 研究僅採一種防火被覆材料，建議往後研究以不同防火被覆材料進行研究，如成型版張貼方式等，更能反應多元的現況。

答覆：此建議可供後續研究之參考。

林政毅委員

1. 每組實驗僅用單一構件，單一被覆材料，不足以代表，未來應進行多組實驗。

答覆：此建議可供後續研究之參考。

2. 數值模擬及實驗部份，建議未來可加進去挫屈分析。

答覆：此建議可供後續研究之參考。

林文山委員

1. 本案已符合預期成果。

答覆：謝謝指教。

2. 本案試驗，因考慮鋼梁未具側撐，而設計施加四點之載重 9.7 tf。此載重造成之最大彎曲應力 $M/S \approx 1000 \text{ kg/cm}^2$ ，而試體 F_y 約為 3500 kg/cm^2 ， $R = 1000/3500 \approx 0.286$ ，而鋼材溫度約為 650 度降伏強度才會降至 0.28 倍，但實驗溫度約為 500 度，造成試驗加載與否對鋼梁之影響甚小。

答覆：試體的加載僅須加載至依據設計規範所計算的載重。鋼梁試體的實際降伏強度雖然較標稱强度高，於施加载重的影響僅約 7%。

3. 實驗時是否發生側向挫屈？

答覆：進行載重試驗時有產生側向扭轉挫屈。

4. 試驗結果之圖建議採用時間為 x 軸，變形為 y 軸(向上)，溫度 y 軸向下，並將驗通過準則與否標示(如最大變形 272.1 mm，最大撓曲速率 12.29 mm/min)。

答覆：遵照辦理。

5. ABAQUS 分析

- a. 此試驗量測溫度 input 鋼梁分析，試驗收集共 20 個點之溫度，而實際 input 溫度場為何，為增加研究報告之可讀性，請加以說明。

- b. ABAQUS 分析與實驗吻合度相當好(Fig 5-19 - 5-22)表示，分析技巧很好，及材料符合 Eurocode 3。

- c. 此標準升溫曲線(爐內溫度) input 防火被覆之熱傳分析，是否有考量對流之因素，及其 input 參數請加以說明。

答覆：(a) 將試體分為數個加溫區塊，介於兩個測溫斷面區塊的溫度，採用兩測溫斷面之平均溫度。(b) 謝謝指教。(c) 並無考慮熱對流之效應。

陶德銘委員

1. 原研究目的之一條“檢討現行建築物構造部分耐火之試驗法”。而從本研究結果試體 1 與 3 比較，似乎直指加載與否對溫度影響甚小可忽略，這是一重要的“實驗結果”，因其決定了那一個測試可通過與否。如此重要的結果，應有進一步的說明：(1)是最後的結論？或是(2)需得進一步研究澄清，做為下一階段研究的準備。

答覆：本次試驗是對含有樓板之鋼梁進行研究，根據此條件進行試驗之結果，載重影響甚小。若以規範允許之其他試驗條件進行試驗，則因本案並沒有進行相關試驗，故結論僅適用於本研究試體的條件。

2. 試驗規劃、資料分析整理完整。

答覆：謝謝指教。

吳傳威委員

1. CNS 12514 建築物「構造部分」耐火試驗法，似應為「結構構件」耐火試驗法。

答覆：此為 CNS 12514 所訂定義之名稱。

2. 目前耐火試驗規範對於構件破壞之基準可能並非結構專業訂定，以至未對邊界條件、側支撐及連接構件之影響著墨。本研究以實際樓板提供勁度造成變形行為減少，雖然試驗量甚少，但可作為日後朝此方向研究之(動機)起點。

答覆：謝謝指教。

3. 試驗花費高，時程長。若數值模擬效果可接受，或可先行。

答覆：謝謝指教。

4. 載重試驗破壞基準 CNS 12514 只列撓度與撓曲速率，未若 BS 及 UL 列出熱電偶測點溫度基準，以本研究之結果，應可建議將溫度基準補入。

答覆：遵照辦理。

5. 「電偶」似應為「電耦」。

答覆：經反覆查核，「電偶」的使用率較多。

陳建忠委員

1. 請具體呈現修正後的各項厚度、溫度、變形量的參數，以及合宜的標準。

答覆：遵照辦理。

建築研究所業務單位

1. 成果報告格式請參照本所委託研究案規定修改。

答覆：遵照辦理。

2. 請於建議中明列主、協辦相關單位及說明具體化之研究成果，俾利相關單位參考。

答覆：遵照辦理。

3. 結論 2 中所提係眾所皆知之情形 (被覆厚度與熱傳導的關係)，但本案被覆的厚度與撓度之間的關係圖是否可補繪？對於本案判定耐火性能之回饋為何？

答覆：遵照辦理。

4. 報告書格式不符本部規定，請繕正。

答覆：遵照辦理。

附錄二 噴附式防火被覆特性簡介

顏色 (施工乾燥後)	: 灰白色
成分	: 水泥、蛭石及抗裂纖維
水灰比	: 1.13~1.40 L/kg
乾密度 (ASTM E 605)	: 26 PCF/28 PCF (Min. Ind./ Avg.)
燃燒測試 (560°C/ 30 mins)	: 無 CO、CO2 氣體產生
抗壓強度 (ASTM E 761)	: Min. Avg. 5,000 PSF
附著強度 (ASTM E 736)	: Min. Avg. 500 PSF
抗撓曲 (ASTM E 759)	: Pass
抗衝擊 (ASTM E 760)	: Pass
抗銹蝕 (ASTM E 937)	: 0.00 gm/mm ²
落塵量 (ASTM E 859)	: 0.000 gm/ft ²
火焰擴散率 (ASTM E 84)	: 0 (上塗 1 道透明漆仍為零)
煙發展量 (ASTM E 84)	: 0 (上塗 1 道透明漆仍為零)
不燃性 (ASTM E 136)	: 不燃
熱傳導係數 (JIS A 1412)	: 0.079 kcal/mh°C at Avg. 30°C
吸音係數 (ASTM C 423)	: NRC = 0.60 at 25 mm
不垂流厚度 (噴覆一道)	: 每道 15 mm 以上 (正常操作下)
PH 值 (加水攪拌)	: 12 左右
施工方法	: 噴塗、手工鏝塗
適用底材	: 鋼材或混凝土
硬化時間 (20°C/50% RH)	: 粗凝 : 2~6 小時
	達 50%強度 : 5~7 天
	達 70%強度 : 10~12 天
	達 98%強度 : 28 天以上

優點：由水泥、蛭石及抗裂纖維等材料組成，具有水泥的剛性強度及纖維交錯網狀之韌性，施工固化後堅固而質輕、耐衝擊、抗壓及抗彎能力強。熱傳導係數低，與蛭石相近，隔熱性佳。被覆內之成分可抑制鐵之氧化作用，直接接觸鋼材不會造成腐蝕。產品中完全不含石棉成分。加水攪拌後即可噴塗或鏝圖，工作性佳，厚噴亦不垂流(一次可噴厚度達 25 mm 以上)。對底材附着力強，不需噴附增進劑。

附錄三 鋼梁工作載重計算(容許應力法)

鋼梁尺寸與型式：RH588×300×12×20 簡支梁

鋼材性質與斷面性質：

$$F_y = 2.5 \text{ tf/cm}^2, L_b = 800 \text{ cm}$$

$$A = 187 \text{ cm}^2, \text{單位重量} = 147 \text{ kg/m}, I_x = 114000 \text{ cm}^4, S_x = 3890 \text{ cm}^3,$$

(1) 檢核是否 $L_b < L_c$

$$L_c = \frac{1400}{(d/A_f)F_y} = \frac{1400}{(58.8/60)(2.5)} = 571 \text{ cm}$$

$$L_c = \frac{20b_f}{\sqrt{F_y}} = \frac{20(30)}{\sqrt{2.5}} = 379 \text{ cm} \quad (\text{控制})$$

由於 $L_b = 800 \text{ cm} > L_c = 379 \text{ cm}$

$$\text{故 } r_t \approx \sqrt{\frac{(t_f/12)(b_f)^3}{\left(b_f t_f + \frac{1}{6}(d - 2t_f)t_w\right)}} = \sqrt{\frac{(2/12)(30)^3}{\left\{30(2) + \frac{1}{6}[58.8 - 2(2)](1.2)\right\}}} = 8.0 \text{ cm}$$

(2) 檢核是否 $\sqrt{\frac{7160C_b}{F_y}} < \frac{L}{r_t} < \sqrt{\frac{35800C_b}{F_y}}$

$$\frac{L}{r_t} = \frac{800}{7.96} = 100.5$$

因為梁內任一點彎矩大於兩端支撐點，故 $C_b = 1.0$ 。

$$\sqrt{\frac{7160C_b}{F_y}} = \sqrt{\frac{7160(1)}{2.5}} = 53.5$$

$$\sqrt{\frac{35800C_b}{F_y}} = \sqrt{\frac{35800(1)}{2.5}} = 119.7$$

$$\sqrt{\frac{7160C_b}{F_y}} < \frac{L}{r_t} < \sqrt{\frac{35800C_b}{F_y}}$$

(3) 計算容許彎矩

$$\begin{aligned} F_b &= \left[\frac{2}{3} - \frac{F_y(L/r_t)^2}{107600C_b} \right] F_y \\ &= \left[\frac{2}{3} - \frac{2.5(800/7.96)^2}{107600(1)} \right] (2.5) = 0.432F_y = 1.1 \text{ tf/cm}^2 \end{aligned}$$

$$M_a = F_b S_x = 1.08 \times 3890 = 4201 \text{ tf} \cdot \text{cm}$$

$$w_a = \frac{8M_a}{L^2} = \frac{8(4201)}{800^2} = 0.0525 \text{ tf/cm} = 5.3 \text{ tf/m}$$

各點施加力量為

$$\begin{aligned} P &= (w_a - \text{鋼梁自重} - \text{樓板自重} \times 7/8) \times L/4 \\ &= (5.25 - 0.147 - 2.4 \times 0.9 \times 0.125 \times 7/8) \times 8/4 \\ &= 9.7 \text{ tf} \\ &= 95.5 \text{ kN} \end{aligned}$$

附錄四 加溫試驗鋼梁表面熱電偶測點數據表

壹、試體 1

附錄四表 1 試體 1 鋼梁熱電偶測點數據表

時間 (分)	斷面 1 熱電偶測點溫度(°C)				斷面 2 熱電偶測點溫度(°C)			
	1A	1B	1C	1D	2A	2B	2C	2D
0.0	36.5	37.3	37.3	37.3	35.7	37.4	37.9	37.7
0.5	36.5	37.4	37.3	37.3	35.8	37.4	37.9	37.8
1.0	36.6	37.6	37.6	37.3	35.7	38.0	38.4	38.1
1.5	37.4	39.1	39.7	38.4	36.0	40.0	41.6	40.7
2.0	39.1	42.3	44.0	42.9	36.6	43.2	46.8	45.1
2.5	41.0	46.5	48.4	48.8	37.6	47.4	51.4	49.1
3.0	43.3	51.5	52.6	53.7	38.8	52.2	54.9	51.4
3.5	45.6	56.2	56.9	57.1	40.5	57.0	58.6	53.5
4.0	47.7	60.5	61.3	59.7	42.3	62.1	62.4	55.7
4.5	50.0	65.4	65.8	61.6	44.0	67.5	66.1	57.5
5.0	52.3	69.9	70.3	63.2	46.0	73.0	70.0	59.5
5.5	54.5	74.1	74.9	64.3	47.8	78.3	73.8	62.0
6.0	56.8	78.4	79.5	66.2	49.8	83.8	77.8	64.9
6.5	59.3	82.8	84.4	68.5	51.8	89.1	82.0	68.1
7.0	61.8	86.9	89.2	70.8	53.8	94.1	86.4	71.3
7.5	64.4	91.2	93.8	73.5	55.8	99.0	90.6	74.8
8.0	66.9	95.1	97.8	76.4	57.9	103.3	94.8	78.1
8.5	69.3	98.8	101.2	79.2	60.0	105.7	98.7	81.7
9.0	72.0	102.5	104.0	82.3	62.1	111.0	102.4	85.4
9.5	74.6	105.8	107.8	85.5	64.2	116.2	106.0	89.1
10.0	77.2	108.0	110.6	88.6	66.3	120.1	109.8	92.5
10.5	79.8	110.6	113.4	91.9	68.5	123.8	113.4	95.9
11.0	82.4	114.0	117.3	95.1	70.8	127.6	116.7	99.1
11.5	84.9	117.6	121.8	98.0	72.8	132.7	119.6	102.0
12.0	87.5	120.9	126.8	100.6	75.0	138.4	122.9	104.5
12.5	90.1	124.6	131.7	103.1	77.2	144.6	126.4	106.8
13.0	92.6	130.3	137.0	105.0	79.4	151.0	130.2	108.8

13.5	95.0	137.0	142.0	106.6	81.6	157.6	134.5	111.0
14.0	97.2	143.8	147.3	108.1	83.8	164.3	139.3	114.5
14.5	99.5	150.9	152.7	109.8	86.1	171.5	144.7	118.6
15.0	101.1	157.7	158.1	112.7	88.2	178.5	150.3	122.4
15.5	102.4	164.7	163.6	117.8	90.4	186.1	155.8	127.7
16.0	104.2	171.6	169.2	122.9	92.5	193.6	161.0	131.4
16.5	107.9	178.6	175.1	129.1	94.5	201.0	166.4	134.7
17.0	111.0	185.5	180.8	135.7	96.5	208.5	171.8	137.8
17.5	113.9	192.4	186.1	142.1	98.0	215.8	177.2	142.6
18.0	116.7	199.3	191.5	148.3	99.5	222.9	182.9	146.8
18.5	119.6	206.3	196.8	154.3	100.9	230.4	188.8	151.4
19.0	122.5	213.1	201.9	160.0	101.8	237.3	194.7	155.3
19.5	125.3	219.8	207.0	165.5	102.6	244.2	200.6	160.4
20.0	128.0	226.6	212.0	170.8	103.0	251.2	206.4	165.6
20.5	130.8	233.3	216.9	176.2	103.5	258.1	212.1	170.8
21.0	133.7	240.0	221.9	181.5	104.0	265.0	217.5	176.1
21.5	136.4	246.6	226.8	186.8	104.5	271.8	222.9	181.3
22.0	139.2	253.3	231.7	192.1	105.3	276.7	228.5	186.5
22.5	142.0	259.8	236.7	197.5	106.6	283.5	233.9	192.2
23.0	144.7	266.2	241.5	202.6	107.7	290.1	239.1	197.7
23.5	147.5	272.8	246.2	207.8	109.2	295.9	244.2	203.1
24.0	150.4	279.2	251.1	213.0	110.9	302.4	249.4	208.6
24.5	153.4	285.4	255.9	218.2	112.7	308.4	254.4	214.1
25.0	156.3	291.9	260.6	223.4	115.2	314.5	259.5	219.6
25.5	159.5	298.2	265.5	228.6	118.1	320.7	264.6	225.2
26.0	162.5	304.4	270.3	233.8	121.0	327.0	269.7	230.8
26.5	165.6	310.5	275.3	239.1	123.7	333.2	274.9	236.5
27.0	168.7	316.4	280.1	244.3	126.3	339.4	279.9	242.2
27.5	171.7	322.5	284.8	249.5	129.0	345.5	284.8	247.9
28.0	174.7	328.7	289.7	254.7	131.8	351.6	289.8	253.5
28.5	177.6	334.6	294.5	259.9	134.6	357.6	294.7	259.0
29.0	180.5	340.5	299.2	265.0	137.3	363.2	299.6	264.4
29.5	183.6	346.4	303.9	270.0	140.2	369.0	304.4	269.7
30.0	186.5	352.1	308.5	275.1	142.9	374.6	309.1	275.0
30.5	189.4	357.8	313.1	280.0	145.6	380.2	313.8	280.1
31.0	192.5	363.5	317.8	285.1	148.3	385.9	318.7	285.4
31.5	195.5	369.1	322.5	290.1	151.2	391.5	323.4	290.4
32.0	198.5	374.7	327.1	295.0	154.1	397.0	328.2	295.5
32.5	201.4	380.1	331.6	299.8	156.6	402.4	332.9	300.3

附錄四 加溫試驗鋼梁表面熱電偶測點數據表

33.0	204.4	385.6	336.3	304.8	159.5	407.8	337.7	305.4
33.5	207.3	391.1	340.9	309.6	162.1	413.2	342.4	310.2
34.0	210.4	396.3	345.4	314.5	164.7	418.5	347.1	315.1
34.5	213.2	401.6	350.0	319.3	167.4	423.7	351.8	319.8
35.0	216.1	406.8	354.5	324.0	170.1	429.0	356.3	324.8
35.5	219.1	411.9	359.1	328.8	172.8	434.0	360.9	329.5
36.0	222.1	417.0	363.5	333.5	175.5	439.1	365.5	334.4
36.5	225.0	422.1	368.0	338.1	178.2	444.1	370.1	339.1
37.0	227.9	427.1	372.5	342.9	180.9	449.2	374.5	343.9
37.5	230.9	432.2	376.9	347.5	183.7	454.1	379.0	348.6
38.0	233.8	437.2	381.3	352.0	186.5	459.0	383.5	353.5
38.5	236.6	442.1	385.7	356.6	189.2	463.8	387.8	358.3
39.0	239.6	447.0	390.0	361.1	191.8	468.6	392.2	362.8
39.5	242.5	451.8	394.4	365.7	194.6	473.3	396.6	367.4
40.0	245.5	456.6	398.8	370.1	197.3	478.0	401.1	372.0
40.5	248.3	461.4	403.1	374.6	200.0	482.7	405.4	376.6
41.0	251.2	466.0	407.5	379.0	202.8	487.3	409.8	381.2
41.5	254.2	470.6	411.9	383.4	205.5	491.8	414.1	385.6
42.0	256.9	475.3	416.1	387.8	208.2	496.4	418.4	390.2
42.5	259.9	479.9	420.5	392.2	210.8	500.9	422.8	394.7
43.0	262.6	484.4	424.6	396.4	213.5	505.4	427.0	399.0
43.5	265.5	488.9	428.9	400.7	216.1	509.8	431.2	403.4
44.0	268.2	493.3	433.1	405.0	218.8	514.2	435.4	407.8
44.5	271.0	497.6	437.1	409.2	221.3	518.3	439.5	411.9
45.0	273.7	502.1	441.3	413.4	223.8	522.6	443.6	416.2
45.5	276.5	506.5	445.5	417.6	226.5	527.0	447.7	420.5
46.0	279.2	510.7	449.5	421.7	228.9	531.1	451.7	424.9
46.5	282.1	515.1	453.6	425.9	231.5	535.4	455.9	429.0
47.0	284.8	519.4	457.6	430.0	234.0	539.5	460.0	433.1
47.5	287.5	523.6	461.7	434.2	236.6	543.7	463.9	437.3
48.0	290.3	527.6	465.6	438.3	239.1	547.7	467.8	441.3
48.5	293.0	531.7	469.7	442.3	241.6	551.7	471.7	445.3
49.0	295.6	535.9	473.6	446.3	244.1	555.7	475.6	449.4
49.5	298.2	539.9	477.4	450.3	246.5	559.8	479.5	453.3
50.0	300.9	544.0	481.3	454.3	249.0	563.8	483.4	457.4
50.5	303.5	547.9	485.2	458.3	251.3	567.5	487.0	461.2
51.0	306.1	551.8	488.9	462.3	253.6	571.3	490.8	465.0
51.5	308.6	555.8	492.7	466.3	256.0	575.1	494.5	468.8
52.0	311.1	559.8	496.4	470.6	258.3	578.9	498.2	472.8

52.5	313.7	563.8	500.0	474.9	260.6	582.6	502.0	476.6
53.0	316.3	567.5	503.8	478.9	262.8	586.4	505.6	480.4
53.5	318.8	571.3	507.5	482.7	265.2	590.1	509.4	484.3
54.0	321.3	575.0	511.0	486.2	267.3	593.8	513.0	488.0
54.5	323.7	578.8	514.6	489.7	269.6	597.4	516.6	491.8
55.0	326.3	582.3	518.2	493.2	271.9	601.2	520.3	495.7
55.5	328.8	585.8	521.7	496.5	274.1	604.6	523.9	499.4
56.0	331.2	589.3	525.2	500.0	276.2	608.2	527.4	503.2
56.5	333.6	592.8	528.8	503.6	278.5	611.8	531.1	507.0
57.0	336.1	596.3	532.2	507.0	280.7	615.3	534.6	510.5
57.5	338.5	599.8	535.5	510.4	282.9	618.9	538.0	514.3
58.0	340.8	603.3	539.0	513.8	285.1	622.8	541.5	517.9
58.5	343.1	606.6	542.3	517.2	287.2	626.3	544.8	521.5
59.0	345.6	610.1	545.7	520.7	289.4	629.6	548.3	525.0
59.5	347.9	613.4	549.0	524.1	291.5	632.8	551.8	528.5
60.0	350.2	616.7	552.3	527.4	293.6	635.9	555.1	532.1

時間 (分)	斷面 3 熱電偶測點溫度(°C)				斷面 4 熱電偶測點溫度(°C)			
	3A	3B	3C	3D	4A	4B	4C	4D
0.0	36.0	37.4	37.8	37.6	35.8	37.0	37.2	37.0
0.5	36.0	37.4	37.8	37.6	35.8	37.0	37.2	37.1
1.0	36.6	37.6	38.5	37.8	35.8	37.2	37.4	37.2
1.5	39.2	39.8	42.4	38.9	36.0	38.2	38.2	37.5
2.0	43.2	43.8	48.2	40.9	36.6	40.2	39.7	38.2
2.5	46.1	48.5	52.8	43.2	37.6	43.3	42.0	39.5
3.0	48.2	53.8	57.0	45.2	39.1	47.2	44.9	41.2
3.5	50.1	58.3	61.0	47.5	40.5	51.5	48.3	43.2
4.0	52.0	63.4	64.9	49.9	42.2	56.4	52.1	45.7
4.5	53.6	68.6	69.0	52.5	43.8	61.4	56.1	48.4
5.0	55.3	73.8	73.1	55.5	45.5	66.6	60.2	51.4
5.5	57.3	79.0	77.2	58.7	47.2	71.9	64.3	54.6
6.0	59.4	84.4	81.3	62.1	48.9	77.1	68.4	57.9
6.5	61.9	90.0	85.4	65.7	50.7	82.6	72.5	61.4
7.0	64.5	95.5	89.5	69.3	52.5	88.0	76.7	64.9
7.5	66.9	100.8	93.4	73.2	54.4	93.3	80.7	68.6
8.0	69.4	105.0	97.0	77.3	56.4	98.3	84.7	72.4
8.5	71.9	104.1	100.0	81.3	58.3	102.9	88.7	76.2

附錄四 加溫試驗鋼梁表面熱電偶測點數據表

9.0	74.3	104.8	102.4	85.4	60.3	106.5	92.4	79.9
9.5	76.9	106.6	106.3	89.6	62.5	108.5	96.0	83.9
10.0	79.2	106.0	110.4	93.5	64.8	109.5	99.2	87.8
10.5	81.6	107.0	114.3	96.9	67.0	110.9	101.8	91.6
11.0	84.0	109.2	118.6	99.9	69.4	114.2	103.8	95.4
11.5	86.3	112.1	122.9	102.4	71.7	116.9	105.5	98.7
12.0	88.7	115.7	127.0	104.5	74.0	120.5	107.2	101.8
12.5	91.1	119.6	131.3	106.3	76.4	125.9	108.8	104.2
13.0	93.6	124.3	136.0	108.1	78.8	132.3	110.5	106.2
13.5	96.1	129.2	141.3	110.1	81.4	139.1	112.8	107.9
14.0	98.6	134.3	146.6	111.8	83.8	146.0	115.8	109.1
14.5	101.7	139.7	152.0	114.1	86.1	153.1	119.0	108.3
15.0	105.2	145.3	157.6	117.2	88.4	160.3	121.8	110.3
15.5	110.0	151.2	163.2	120.8	90.6	167.3	126.0	112.7
16.0	114.5	157.0	168.8	124.0	92.8	174.5	130.5	115.4
16.5	119.2	162.9	174.4	128.1	94.8	181.7	135.5	118.7
17.0	123.3	168.8	179.8	132.1	96.7	188.7	140.9	122.1
17.5	126.5	174.7	185.4	136.7	98.4	196.1	147.2	125.9
18.0	129.2	180.8	190.8	141.2	100.0	203.3	153.6	129.8
18.5	131.8	187.2	196.1	146.0	101.2	210.6	160.3	133.9
19.0	134.0	193.3	201.5	150.9	102.1	217.8	166.6	138.3
19.5	136.3	199.5	206.7	155.9	103.5	225.0	172.9	142.9
20.0	138.9	205.7	212.0	160.9	105.1	231.9	178.9	147.6
20.5	141.5	212.0	217.4	166.2	106.3	238.9	185.8	152.5
21.0	144.3	218.3	222.5	171.3	107.5	245.8	192.5	157.5
21.5	146.9	224.5	227.8	176.6	108.8	252.6	199.9	162.6
22.0	149.8	230.9	232.9	181.8	109.9	259.4	207.0	167.9
22.5	152.7	237.2	238.1	187.2	111.7	266.2	212.9	173.2
23.0	155.6	243.5	243.2	192.5	113.3	272.8	219.1	178.5
23.5	158.3	249.7	248.3	197.9	115.8	279.4	225.4	184.0
24.0	161.1	256.0	253.3	203.3	118.2	286.1	232.5	189.6
24.5	164.0	261.8	258.4	208.7	120.9	292.6	238.2	195.0
25.0	166.9	268.1	263.5	214.2	123.8	299.1	244.5	200.7
25.5	170.0	274.3	268.5	219.5	126.8	305.4	250.9	206.2
26.0	173.0	280.4	273.5	225.0	129.8	311.8	256.5	211.9
26.5	176.1	286.5	278.7	230.6	133.0	318.3	262.5	217.7
27.0	179.0	292.6	283.5	235.9	135.9	324.5	267.3	223.0
27.5	181.9	298.7	288.5	241.3	138.9	330.6	273.0	228.6
28.0	184.9	304.7	293.6	246.7	141.9	336.8	278.6	234.2

28.5	187.6	310.6	298.4	252.1	144.9	342.9	284.6	239.7
29.0	190.5	316.5	303.3	257.3	147.7	348.8	290.6	245.2
29.5	193.3	322.4	308.2	262.6	150.7	354.7	296.4	250.8
30.0	196.0	328.1	313.0	267.9	153.7	360.6	302.9	256.4
30.5	198.5	333.8	317.8	273.1	156.6	366.5	308.0	261.9
31.0	201.4	339.6	322.6	278.4	159.5	372.2	313.6	267.4
31.5	204.1	345.3	327.3	283.4	162.3	377.8	319.1	272.8
32.0	207.0	350.9	332.1	288.5	165.0	383.3	324.8	278.3
32.5	209.7	356.4	336.9	293.6	168.0	389.0	329.8	283.7
33.0	212.6	362.1	341.6	298.6	170.8	394.5	334.9	289.1
33.5	215.4	367.6	346.3	303.6	173.7	400.0	340.7	294.3
34.0	218.3	373.1	351.0	308.6	176.5	405.4	345.7	299.6
34.5	221.0	378.5	355.7	313.6	179.2	410.8	351.2	304.9
35.0	223.9	383.9	360.3	318.6	181.9	416.1	356.6	310.3
35.5	226.8	389.4	364.9	323.4	184.6	421.2	362.0	315.4
36.0	229.6	394.7	369.6	328.3	187.3	426.5	368.0	320.7
36.5	232.6	400.0	374.2	333.2	189.9	431.8	371.8	325.9
37.0	235.5	405.3	378.7	337.9	192.6	436.9	377.3	331.2
37.5	238.3	410.5	383.2	342.5	195.0	441.9	382.8	336.2
38.0	241.2	415.8	387.7	347.2	197.6	447.0	386.6	341.3
38.5	244.1	420.8	392.2	352.0	200.1	452.1	391.5	346.5
39.0	246.9	425.9	396.7	356.4	202.5	457.0	396.7	351.4
39.5	249.8	430.9	401.1	361.1	205.1	462.0	402.2	356.4
40.0	252.6	435.9	405.7	365.7	207.6	467.0	407.1	361.4
40.5	255.6	441.0	410.1	370.2	210.1	471.9	411.8	366.4
41.0	258.4	446.0	414.6	374.8	212.7	476.8	416.6	371.3
41.5	261.4	451.0	418.9	379.2	215.3	481.6	421.1	376.3
42.0	264.4	455.9	423.4	383.8	218.0	486.3	426.0	381.1
42.5	267.2	460.9	427.8	388.2	220.8	491.1	430.1	385.9
43.0	270.0	465.7	431.9	392.5	223.5	495.7	435.0	390.5
43.5	272.8	470.5	436.2	396.9	226.2	500.4	439.5	395.3
44.0	275.5	475.3	440.6	401.4	229.0	504.9	444.7	400.1
44.5	278.3	480.0	444.8	405.8	231.6	509.2	448.7	404.7
45.0	281.0	484.6	448.9	410.0	234.2	513.5	453.5	409.2
45.5	283.9	489.5	453.2	414.5	237.0	517.9	457.2	413.9
46.0	286.5	493.9	457.4	418.8	239.6	522.4	462.5	418.5
46.5	289.4	498.5	461.4	423.0	242.2	526.7	467.0	422.9
47.0	292.1	503.1	465.5	427.4	244.8	531.1	471.0	427.6
47.5	294.9	507.7	469.6	431.8	247.4	535.4	475.3	432.0

48.0	297.6	512.0	473.4	435.9	249.9	539.7	479.3	436.4
48.5	300.3	516.5	477.4	440.4	252.3	543.7	483.5	440.8
49.0	303.0	520.8	481.3	445.1	254.9	547.5	487.9	445.5
49.5	305.6	525.2	485.3	449.5	257.3	551.2	492.0	449.8
50.0	308.3	529.5	489.2	453.4	259.7	555.2	495.7	454.1
50.5	310.8	533.5	493.0	457.1	262.1	559.1	499.9	458.2
51.0	313.4	537.7	496.9	460.8	264.5	563.0	504.0	462.5
51.5	316.0	541.8	500.7	464.1	266.9	566.9	508.0	466.6
52.0	318.7	545.9	504.5	467.7	269.1	570.8	511.8	470.8
52.5	321.3	550.0	508.4	471.3	271.6	574.6	515.6	475.0
53.0	323.8	554.0	512.2	475.0	273.8	578.3	519.8	479.1
53.5	326.5	558.0	515.8	478.6	276.1	582.0	523.6	483.3
54.0	329.0	561.8	519.6	482.2	278.4	585.7	527.1	487.6
54.5	331.4	565.7	523.6	485.8	280.8	589.5	531.2	491.5
55.0	334.0	569.4	527.4	489.5	283.0	593.0	535.1	495.5
55.5	336.5	573.2	531.3	493.2	285.4	596.7	539.1	499.2
56.0	339.0	576.9	534.9	496.9	287.7	600.3	542.8	502.9
56.5	341.5	580.4	538.5	500.5	289.8	603.8	547.1	506.7
57.0	343.8	583.7	542.0	504.2	292.0	607.3	550.8	510.4
57.5	346.1	587.1	545.3	507.7	294.2	610.6	554.1	513.9
58.0	348.6	590.5	548.6	511.2	296.4	614.0	558.0	517.6
58.5	350.9	593.8	552.1	514.8	298.6	617.5	561.6	521.5
59.0	353.3	597.1	555.3	518.3	300.8	620.8	565.4	525.2
59.5	355.5	600.4	558.7	521.8	303.0	624.4	569.5	529.1
60.0	357.9	603.6	561.8	525.2	305.1	627.7	572.9	532.7

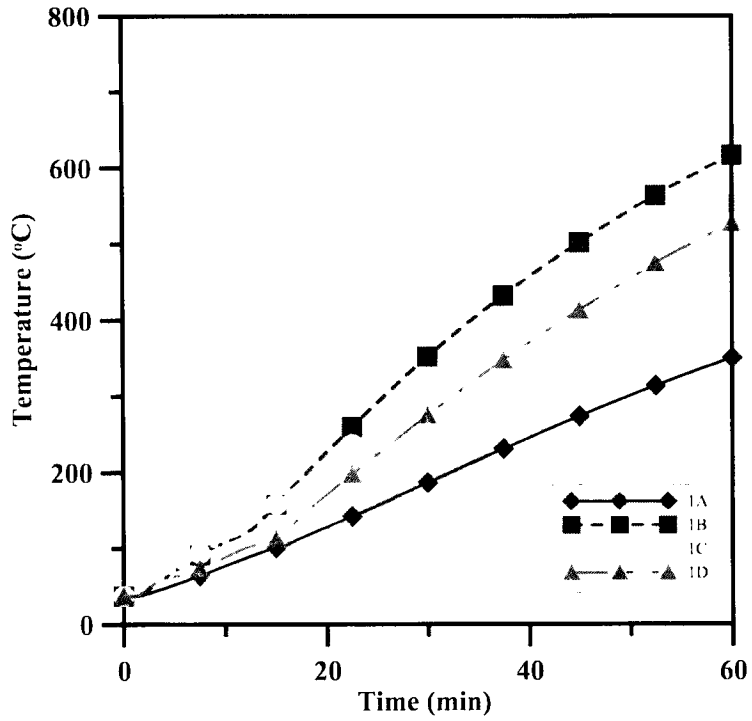
斷面 5 熱電偶測點溫度(°C)				
時間 (分)	5A	5B	5C	5D
0.0	35.3	36.7	37.2	37.4
0.5	35.3	36.7	37.2	37.4
1.0	35.5	36.9	37.2	37.5
1.5	36.9	37.5	37.5	38.8
2.0	39.1	39.2	38.5	41.3
2.5	41.3	42.0	40.2	44.2
3.0	43.5	45.7	42.5	47.5
3.5	45.7	49.7	45.2	50.4
4.0	47.8	53.9	48.2	53.0

4.5	49.9	58.2	51.2	54.9
5.0	52.0	62.7	54.2	56.8
5.5	54.2	67.3	57.3	58.7
6.0	56.3	71.8	60.3	60.7
6.5	58.6	76.4	63.5	62.4
7.0	60.9	81.1	66.7	64.6
7.5	63.4	85.6	69.9	66.8
8.0	65.8	90.1	73.2	69.1
8.5	68.4	94.5	76.5	71.6
9.0	70.8	98.5	79.7	74.0
9.5	73.5	101.8	83.1	76.7
10.0	76.1	104.2	86.5	79.7
10.5	78.7	106.0	89.8	83.0
11.0	81.3	107.5	93.1	86.7
11.5	83.8	108.6	96.2	90.2
12.0	86.3	108.1	99.0	94.0
12.5	88.6	109.5	101.5	98.4
13.0	90.9	112.1	103.6	102.4
13.5	93.1	115.3	105.4	105.6
14.0	95.1	118.7	107.2	107.9
14.5	96.9	122.4	108.7	109.6
15.0	98.4	126.5	110.2	110.9
15.5	99.7	130.8	111.5	112.4
16.0	102.4	135.4	113.3	113.9
16.5	105.5	140.3	116.5	116.3
17.0	108.8	145.2	119.8	119.9
17.5	112.4	150.4	123.5	125.3
18.0	115.2	155.7	127.2	129.8
18.5	117.9	161.1	130.9	135.3
19.0	120.6	166.6	134.8	141.3
19.5	123.2	171.9	138.8	147.3
20.0	125.7	177.5	142.9	153.0
20.5	128.3	183.1	147.1	158.6
21.0	130.7	188.7	151.4	163.8
21.5	133.3	194.3	155.9	169.0
22.0	135.6	199.9	160.3	174.0
22.5	138.2	205.6	164.7	179.0
23.0	140.5	211.1	169.2	183.5
23.5	143.1	216.8	173.7	188.3

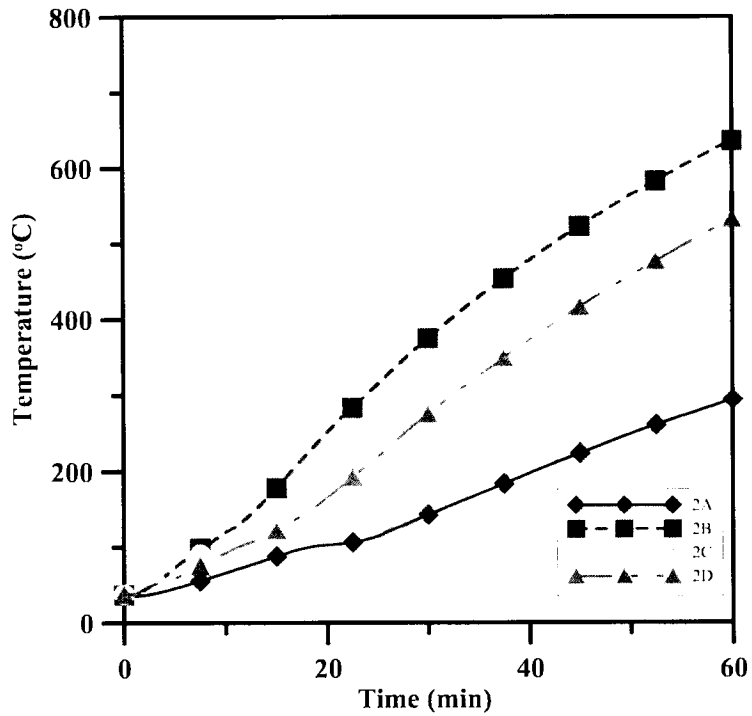
附錄四 加溫試驗鋼梁表面熱電偶測點數據表

24.0	145.6	222.5	178.3	192.9
24.5	148.0	228.2	182.8	197.6
25.0	150.7	233.8	187.3	202.2
25.5	153.3	239.5	191.9	206.8
26.0	155.9	245.2	196.5	211.5
26.5	158.6	251.0	201.2	216.3
27.0	161.1	256.6	205.7	220.8
27.5	163.5	262.1	210.2	225.5
28.0	166.2	267.8	214.8	230.3
28.5	168.7	273.3	219.3	234.9
29.0	171.1	278.7	223.8	239.5
29.5	173.6	284.3	228.3	244.2
30.0	176.2	289.8	232.9	248.8
30.5	178.6	295.2	237.5	253.5
31.0	181.1	300.6	242.0	258.1
31.5	183.6	305.9	246.6	262.6
32.0	186.1	311.2	251.0	267.2
32.5	188.7	316.6	255.6	271.9
33.0	191.1	321.8	260.1	276.5
33.5	193.6	327.1	264.5	281.1
34.0	196.1	332.3	269.0	285.5
34.5	198.6	337.5	273.5	290.1
35.0	201.3	342.8	278.0	294.7
35.5	203.8	347.9	282.4	299.3
36.0	206.5	353.1	286.9	303.8
36.5	209.1	358.3	291.2	308.3
37.0	211.8	363.3	295.7	312.8
37.5	214.5	368.3	300.0	317.2
38.0	217.0	373.2	304.3	321.6
38.5	219.8	378.3	308.8	326.0
39.0	222.3	383.2	313.0	330.1
39.5	225.1	388.1	317.4	334.5
40.0	227.8	393.1	321.9	338.8
40.5	230.6	397.9	326.2	343.0
41.0	233.2	402.8	330.6	347.1
41.5	235.8	407.6	334.8	351.2
42.0	238.4	412.4	339.1	355.3
42.5	241.0	417.1	343.4	359.4
43.0	243.7	421.7	347.7	363.3

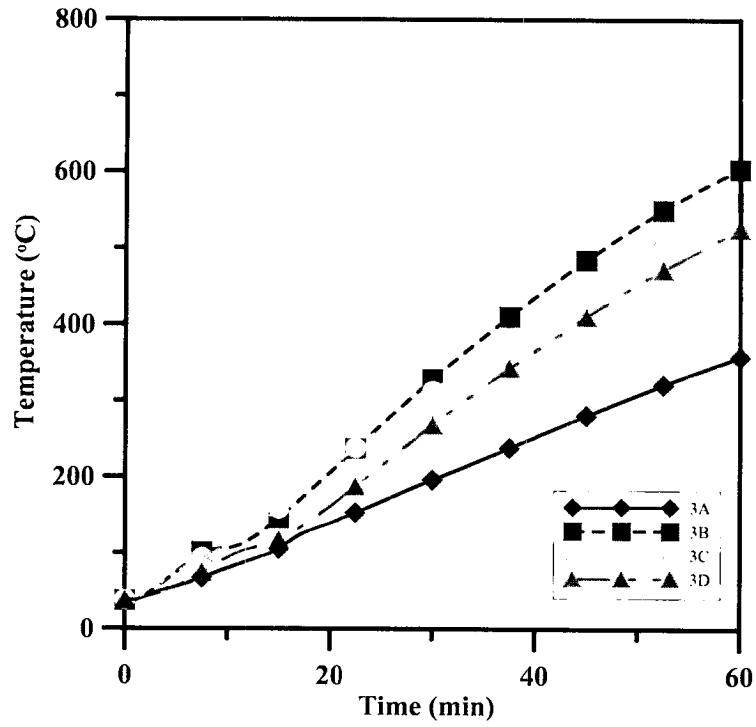
43.5	246.2	426.4	351.9	367.3
44.0	248.9	431.0	356.1	371.3
44.5	251.5	435.6	360.3	375.0
45.0	253.9	440.0	364.3	378.7
45.5	256.6	444.6	368.7	382.7
46.0	259.2	449.1	372.8	386.6
46.5	261.7	453.5	376.9	390.5
47.0	264.4	457.9	381.1	394.4
47.5	266.8	462.3	385.2	398.4
48.0	269.2	466.5	389.1	401.9
48.5	271.6	470.8	393.2	405.5
49.0	274.1	475.1	397.2	409.1
49.5	276.6	479.2	401.3	412.8
50.0	279.0	483.4	405.3	416.5
50.5	281.4	487.5	409.5	420.2
51.0	283.7	491.7	413.7	423.7
51.5	286.1	495.7	417.6	427.2
52.0	288.6	499.8	421.4	430.8
52.5	291.0	503.8	425.2	434.3
53.0	293.3	507.8	429.1	437.8
53.5	295.7	511.8	432.9	441.5
54.0	297.9	515.6	436.8	444.9
54.5	300.3	519.6	440.5	448.6
55.0	302.6	523.5	444.2	452.0
55.5	305.0	527.4	448.0	456.0
56.0	307.4	531.3	451.7	459.6
56.5	309.6	535.1	455.5	463.0
57.0	311.9	538.9	459.3	466.3
57.5	314.1	542.5	463.3	469.3
58.0	316.3	546.2	467.2	472.5
58.5	318.6	549.9	470.9	475.9
59.0	320.8	553.6	474.4	479.2
59.5	323.1	557.4	478.1	482.8
60.0	325.2	560.9	481.6	486.0



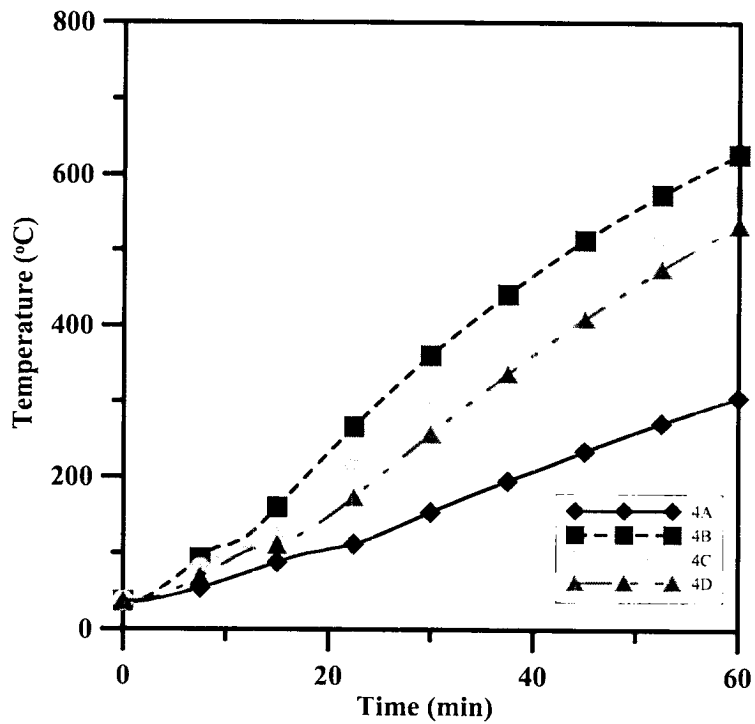
附錄四圖 1 試體 1 之斷面 1 時間與溫度關係圖



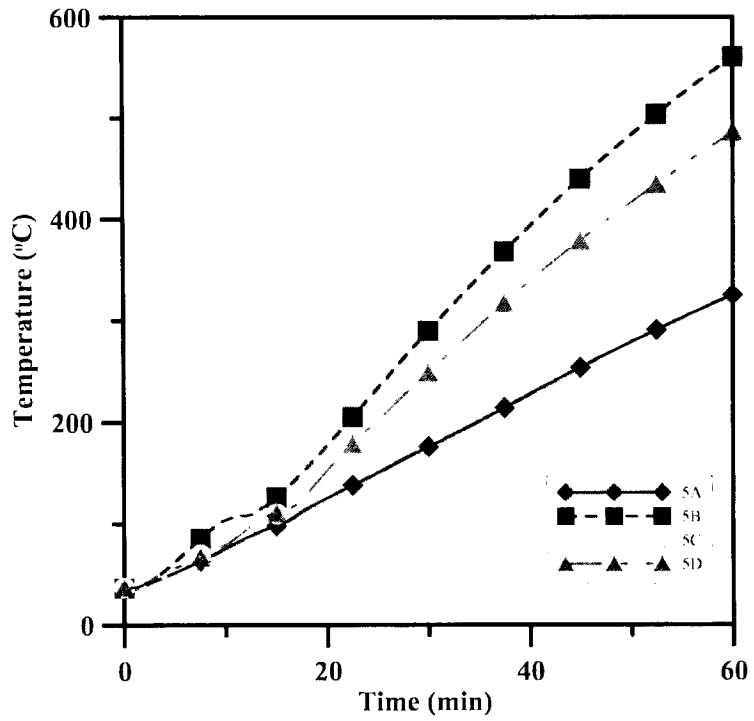
附錄四圖 2 試體 1 之斷面 2 時間與溫度關係圖



附錄四圖 3 試體 1 之斷面 3 時間與溫度關係圖



附錄四圖 4 試體 1 之斷面 4 時間與溫度關係圖



附錄四圖 5 試體 1 之斷面 5 時間與溫度關係圖

貳、試體 2

附錄四表 2 試體 2 鋼梁熱電偶測點數據表

時間 (分)	斷面 1 熱電偶測點溫度(°C)				斷面 2 熱電偶測點溫度(°C)			
	1A	1B	1C	1D	2A	2B	2C	2D
0.0	34.5	35.7	35.7	35.7	34.7	36.1	36.6	36.4
0.5	34.4	35.7	35.7	35.7	34.7	36.1	36.5	36.4
1.0	34.7	35.9	35.9	35.9	34.8	36.6	36.6	36.6
1.5	35.2	36.0	36.0	35.9	35.0	38.0	37.1	36.6
2.0	36.3	36.3	36.5	36.0	35.4	41.0	38.3	36.7
2.5	38.0	37.1	37.3	36.6	36.2	45.2	40.5	37.2
3.0	40.1	38.2	38.5	37.6	37.3	49.4	43.6	37.9
3.5	42.2	39.8	40.2	39.5	38.5	53.1	46.8	39.1
4.0	44.2	41.9	42.2	41.8	39.8	56.7	50.0	40.4
4.5	46.2	44.5	44.5	44.5	41.2	60.1	53.1	42.0
5.0	47.9	47.2	47.1	47.2	42.6	63.2	56.1	43.7
5.5	49.6	50.3	49.9	49.9	44.1	66.3	58.8	45.5
6.0	50.9	53.4	52.7	52.2	45.6	69.2	61.6	47.3
6.5	52.3	56.6	55.5	54.2	47.1	72.4	64.1	49.3
7.0	53.8	60.0	58.3	55.9	48.6	75.5	66.6	51.2
7.5	55.3	63.6	61.3	57.6	50.2	78.8	69.2	53.4
8.0	56.9	67.1	64.2	59.3	51.8	82.2	71.7	55.5
8.5	58.6	70.7	67.3	61.0	53.4	85.9	74.3	57.9
9.0	60.5	74.3	70.3	63.1	55.2	89.6	77.1	60.1
9.5	62.4	78.1	73.4	65.0	57.1	93.3	79.8	62.6
10.0	64.4	81.7	76.4	67.1	59.0	97.1	82.6	65.2
10.5	66.3	85.4	79.6	69.1	60.9	100.6	85.2	67.8
11.0	68.2	89.2	82.7	71.3	63.0	103.9	88.0	70.5
11.5	70.3	93.5	85.6	73.4	64.9	106.5	90.6	73.2
12.0	72.5	98.3	88.8	75.7	67.1	108.5	93.3	76.0
12.5	74.7	102.1	91.6	77.9	69.1	108.3	95.8	78.7
13.0	76.8	104.4	94.4	80.1	71.2	109.4	98.3	81.4
13.5	79.0	106.0	96.9	82.4	73.2	110.9	100.7	84.1
14.0	81.1	107.0	99.3	84.6	75.4	113.0	102.7	86.7
14.5	83.2	107.9	101.4	86.9	77.6	115.6	104.5	89.4
15.0	85.4	108.4	103.0	89.2	79.8	120.5	105.9	92.0

附錄四 加溫試驗鋼梁表面熱電偶測點數據表

15.5	87.5	108.8	104.1	91.6	82.0	126.6	107.0	94.6
16.0	89.5	109.0	105.3	94.1	84.2	132.9	108.9	97.2
16.5	91.3	108.7	106.3	96.7	86.2	138.4	111.8	99.3
17.0	93.0	108.5	107.5	99.3	88.2	143.5	115.0	101.5
17.5	94.8	108.7	109.1	101.3	90.1	148.4	118.9	103.0
18.0	96.2	109.3	110.7	102.6	92.0	153.4	123.0	104.3
18.5	97.6	110.9	112.8	103.7	93.8	158.4	127.0	105.5
19.0	98.7	113.4	115.5	104.5	95.4	163.6	130.8	106.4
19.5	99.8	116.8	118.6	105.5	96.9	169.0	134.6	107.2
20.0	100.5	120.8	121.8	107.0	98.3	174.2	138.3	107.8
20.5	101.3	125.0	125.0	108.4	99.4	179.4	142.0	108.4
21.0	102.2	129.4	128.5	109.5	100.3	184.7	145.8	108.8
21.5	104.1	133.8	131.9	110.2	101.1	190.1	149.4	110.3
22.0	107.6	138.6	135.4	110.8	102.0	195.6	153.2	111.2
22.5	113.5	143.2	138.8	111.1	103.1	200.8	157.2	112.1
23.0	118.5	148.3	142.3	111.9	104.2	206.2	161.5	113.4
23.5	122.7	153.2	145.8	113.3	105.2	211.5	166.0	115.2
24.0	126.4	158.2	149.5	115.3	106.3	217.0	170.5	117.7
24.5	129.6	163.2	153.0	117.8	107.1	222.4	174.7	120.9
25.0	132.5	168.2	156.6	120.8	108.5	227.9	178.7	124.5
25.5	135.1	173.2	160.1	124.3	110.3	232.9	182.9	128.2
26.0	137.5	178.2	163.7	127.9	112.1	238.2	186.7	132.1
26.5	139.7	183.1	167.0	131.4	113.6	243.5	190.6	136.2
27.0	141.9	188.0	170.6	135.1	115.4	248.8	194.4	140.3
27.5	144.0	192.9	174.0	138.8	117.1	254.1	198.3	144.6
28.0	146.1	197.8	177.3	142.4	119.0	259.3	202.1	149.0
28.5	148.3	202.7	180.8	146.3	121.0	264.6	206.2	153.4
29.0	150.4	207.6	184.2	150.0	122.4	269.7	210.1	157.9
29.5	152.6	212.4	187.6	153.8	124.1	275.0	213.9	162.3
30.0	154.7	217.2	190.9	157.6	125.9	278.7	217.9	166.7
30.5	156.9	222.0	194.3	161.3	127.8	284.0	221.7	170.9
31.0	159.1	227.0	197.8	165.1	129.9	289.6	225.7	175.6
31.5	161.2	231.7	201.1	168.8	132.0	294.7	229.6	180.1
32.0	163.5	236.6	204.6	172.8	134.2	300.0	233.7	184.7
32.5	165.6	241.5	208.1	176.7	136.3	305.4	237.9	189.3
33.0	167.7	246.2	211.5	180.4	138.6	310.4	241.8	193.8
33.5	169.8	251.1	215.0	184.4	140.8	315.5	246.0	198.3
34.0	171.7	255.8	218.5	188.2	143.1	320.5	250.0	202.8
34.5	173.8	260.6	222.1	192.2	145.4	325.7	254.2	207.4

35.0	175.8	265.3	225.6	196.1	147.6	330.7	258.3	211.8
35.5	177.9	270.2	229.3	200.1	150.0	335.9	262.4	216.4
36.0	179.8	274.7	232.8	204.1	152.2	340.8	266.4	220.8
36.5	181.9	279.5	236.3	208.0	154.6	345.8	270.5	225.3
37.0	183.8	284.0	239.8	211.9	156.9	350.6	274.5	229.7
37.5	185.8	288.6	243.5	215.9	159.3	355.4	278.6	234.2
38.0	187.8	293.2	247.0	219.8	161.5	360.1	282.6	238.6
38.5	189.8	297.8	250.6	223.8	163.8	364.9	286.6	242.9
39.0	191.8	302.3	254.2	227.7	166.3	369.5	290.6	247.4
39.5	194.0	306.9	257.9	231.8	168.7	374.2	294.6	251.7
40.0	195.9	311.4	261.5	235.8	170.9	378.8	298.7	256.1
40.5	197.9	315.9	265.0	239.6	173.2	383.2	302.5	260.3
41.0	200.0	320.4	268.7	243.8	175.7	387.8	306.6	264.7
41.5	202.1	324.8	272.4	247.7	178.0	392.4	310.5	268.9
42.0	204.1	329.2	275.9	251.6	180.4	396.7	314.5	273.2
42.5	206.3	333.6	279.6	255.8	182.8	401.2	318.5	277.5
43.0	208.4	337.9	283.2	259.6	185.1	405.6	322.4	281.6
43.5	210.5	342.3	286.9	263.6	187.5	410.0	326.3	285.9
44.0	212.9	346.7	290.5	267.6	189.9	414.4	330.4	290.1
44.5	215.0	350.9	294.0	271.6	192.2	418.6	334.2	294.3
45.0	217.2	355.1	297.6	275.4	194.5	422.9	338.0	298.4
45.5	219.5	359.4	301.3	279.4	196.9	427.1	342.0	302.7
46.0	221.8	363.6	304.9	283.4	199.3	431.3	345.9	306.7
46.5	224.1	367.7	308.4	287.3	201.6	435.5	349.7	310.7
47.0	226.5	371.9	312.2	291.2	204.0	439.7	353.7	314.9
47.5	228.8	376.0	315.7	295.2	206.2	443.9	357.4	319.0
48.0	231.1	380.1	319.4	299.0	208.6	447.9	361.3	323.0
48.5	233.4	384.1	322.9	302.8	210.8	452.1	365.0	327.0
49.0	235.8	388.1	326.6	306.6	213.1	456.0	368.8	331.0
49.5	238.0	392.0	330.1	310.4	215.3	460.0	372.5	334.8
50.0	240.3	396.0	333.4	314.2	217.5	463.8	376.2	338.6
50.5	242.8	400.0	337.1	317.9	219.8	467.8	380.0	342.6
51.0	245.1	403.9	340.7	321.7	222.1	471.7	383.7	346.6
51.5	247.4	407.7	344.1	325.2	224.2	475.4	387.3	350.3
52.0	249.7	411.5	347.6	329.0	226.4	479.3	391.0	354.0
52.5	252.1	415.5	351.2	332.7	228.7	483.3	394.7	358.0
53.0	254.5	419.3	354.7	336.4	230.9	487.1	398.4	361.7
53.5	256.8	423.0	358.3	340.0	233.1	490.9	401.9	365.6
54.0	259.1	426.9	361.7	343.8	235.3	494.6	405.6	369.3

附錄四 加溫試驗鋼梁表面熱電偶測點數據表

54.5	261.5	430.6	365.2	347.4	237.5	498.4	409.2	373.2
55.0	263.8	434.3	368.8	351.0	239.6	502.2	412.8	377.0
55.5	266.1	438.1	372.2	354.7	241.9	505.9	416.4	380.6
56.0	268.3	441.7	375.6	358.3	243.9	509.6	420.0	384.2
56.5	270.6	445.4	379.2	361.8	246.2	513.2	423.6	387.7
57.0	272.9	449.0	382.7	365.3	248.2	516.9	427.1	391.3
57.5	275.1	452.6	386.1	368.8	250.4	520.6	430.6	394.9
58.0	277.4	456.3	389.6	372.2	252.4	524.1	434.2	398.5
58.5	279.6	459.8	393.3	375.6	254.6	527.6	437.7	402.2
59.0	281.7	463.3	396.8	379.0	256.6	531.2	441.3	405.8
59.5	284.0	466.9	400.1	382.4	258.7	534.7	444.6	409.2
60.0	286.1	470.4	403.4	385.7	260.7	538.2	448.1	412.8
60.5	288.3	473.9	406.6	389.1	262.9	541.7	451.4	416.3
61.0	290.6	477.3	409.8	392.4	264.9	545.1	454.6	419.8
61.5	292.6	480.6	412.9	395.6	266.9	548.5	457.9	423.3
62.0	294.8	484.0	416.2	398.9	268.8	552.0	461.4	426.8
62.5	297.0	487.5	419.7	402.4	270.9	555.4	464.7	430.4
63.0	299.1	490.9	422.9	405.7	272.9	558.5	467.9	433.8
63.5	301.2	494.3	426.3	409.0	275.0	562.0	471.2	437.5
64.0	303.4	497.6	429.4	412.4	276.9	565.2	474.8	441.1
64.5	305.5	500.9	432.6	415.5	279.0	568.6	478.0	444.6
65.0	307.6	504.2	435.6	418.8	280.9	571.8	481.1	447.7
65.5	309.5	507.4	438.6	422.1	283.0	575.0	484.1	450.7
66.0	311.7	510.7	441.8	425.4	285.0	578.3	487.3	453.5
66.5	313.7	513.9	445.0	428.6	287.0	581.3	490.3	456.4
67.0	315.7	516.9	448.1	431.7	288.8	584.4	493.3	459.5
67.5	317.7	520.2	451.4	434.9	290.8	587.6	496.5	462.6
68.0	319.8	523.3	454.5	438.1	292.7	590.7	499.7	465.7
68.5	321.7	526.5	457.6	441.3	294.6	593.7	502.8	468.8
69.0	323.8	529.7	460.6	444.4	296.6	596.8	505.9	472.0
69.5	325.8	532.8	463.6	447.5	298.5	599.8	509.0	475.3
70.0	327.8	535.9	466.7	450.6	300.3	602.8	512.0	478.4
70.5	329.8	539.1	469.8	453.6	302.2	605.8	515.1	481.6
71.0	331.6	542.1	472.8	456.6	304.1	608.7	518.1	484.7
71.5	333.6	545.3	475.8	459.7	305.9	611.6	521.1	487.7
72.0	335.6	548.3	478.8	462.7	307.7	614.6	524.1	490.7
72.5	337.4	551.2	481.7	465.6	309.5	617.4	527.0	493.7
73.0	339.4	554.3	484.7	468.6	311.3	620.3	530.1	496.8
73.5	341.3	557.3	487.7	471.5	313.1	623.1	533.0	499.7

74.0	343.1	560.3	490.7	474.4	314.9	626.0	535.9	502.7
74.5	345.1	563.3	493.6	477.4	316.7	628.8	539.0	505.8
75.0	346.9	566.2	496.5	480.3	318.5	631.6	541.8	508.9
75.5	348.9	569.2	499.4	483.2	320.3	634.4	544.9	511.9
76.0	350.6	572.1	502.3	486.0	322.1	637.2	547.8	514.8
76.5	352.5	575.0	505.2	489.0	323.8	639.8	550.7	517.7
77.0	354.3	577.9	508.0	491.7	325.5	642.3	553.6	520.6
77.5	356.2	580.7	510.8	494.6	327.2	644.6	556.3	523.4
78.0	358.0	583.6	513.5	497.4	329.0	647.0	559.3	526.3
78.5	359.7	586.3	516.3	500.1	330.6	649.0	562.2	529.2
79.0	361.5	589.3	518.9	503.0	332.4	651.2	565.0	532.0
79.5	363.3	592.0	521.7	505.7	334.1	653.5	567.9	534.8
80.0	365.0	594.8	524.4	508.4	335.7	655.9	570.5	537.5
80.5	366.8	597.5	527.1	511.3	337.5	658.3	573.2	540.3
81.0	368.5	600.2	530.0	513.9	339.1	660.6	576.1	543.1
81.5	370.2	602.9	532.7	516.6	340.8	662.9	578.8	545.9
82.0	371.9	605.7	535.4	519.4	342.5	665.4	581.6	548.8
82.5	373.6	608.3	538.1	522.0	344.0	667.6	584.2	551.5
83.0	375.3	611.0	540.7	524.7	345.7	669.8	586.8	554.2
83.5	377.0	613.6	543.4	527.3	347.4	672.1	589.5	556.9
84.0	378.6	616.1	546.0	529.9	349.0	674.3	592.0	559.6
84.5	380.3	618.8	548.6	532.6	350.6	676.5	594.8	562.4
85.0	381.9	621.4	551.3	535.2	352.2	678.6	597.4	565.0
85.5	383.5	624.0	553.9	537.8	353.9	680.6	600.0	567.6
86.0	385.2	626.5	556.5	540.3	355.4	682.7	602.6	570.4
86.5	386.8	629.0	559.1	542.9	357.0	684.7	605.3	572.9
87.0	388.3	631.5	561.5	545.3	358.6	686.9	607.7	575.6
87.5	389.9	634.0	564.0	547.9	360.3	688.8	610.3	578.3
88.0	391.6	636.4	566.6	550.4	361.9	690.8	612.7	581.0
88.5	393.1	638.8	569.1	552.9	363.4	692.7	615.2	583.5
89.0	394.7	641.3	571.6	555.5	364.9	694.7	617.8	586.1
89.5	396.4	643.8	574.2	558.1	366.6	696.5	620.2	588.7
90.0	398.0	646.2	576.6	560.6	368.2	698.4	622.7	591.3
90.5	399.5	648.6	579.1	563.0	369.7	700.2	625.1	593.8
91.0	401.0	651.0	581.4	565.4	371.2	702.1	627.4	596.3
91.5	402.5	653.2	583.8	567.8	372.8	703.8	629.7	598.8
92.0	404.2	655.6	586.3	570.4	374.5	705.8	632.0	601.4
92.5	405.6	658.0	588.7	572.9	376.0	707.5	634.3	603.9
93.0	407.2	660.3	591.0	575.2	377.6	709.3	636.6	606.4

附錄四 加溫試驗鋼梁表面熱電偶測點數據表

93.5	408.7	662.6	593.4	577.6	379.1	711.0	638.7	608.7
94.0	410.2	664.8	595.7	580.0	380.6	712.8	640.8	611.1
94.5	411.6	667.0	598.0	582.3	382.1	714.6	643.0	613.5
95.0	413.0	669.1	600.2	584.7	383.5	716.2	645.1	615.9
95.5	414.4	671.3	602.5	586.9	385.1	718.0	647.3	618.1
96.0	415.8	673.4	604.7	589.3	386.6	719.7	649.6	620.4
96.5	417.2	675.5	607.2	591.6	388.1	721.4	651.7	622.8
97.0	418.6	677.6	609.3	593.8	389.6	723.0	653.8	625.0
97.5	420.0	679.7	611.5	596.1	391.1	724.8	655.9	627.3
98.0	421.3	681.7	613.8	598.4	392.5	726.5	657.9	629.5
98.5	422.8	683.8	616.0	600.7	394.0	728.2	660.0	631.8
99.0	424.1	685.9	618.3	603.0	395.6	729.9	661.9	634.0
99.5	425.5	687.8	620.5	605.2	397.0	731.5	663.6	636.1
100.0	427.0	689.9	622.7	607.5	398.6	733.3	665.3	638.3
100.5	428.2	691.8	624.8	609.7	400.1	734.9	666.7	640.4
101.0	429.7	693.8	627.0	611.8	401.6	736.6	668.4	642.7
101.5	431.0	695.6	629.0	614.0	403.0	738.2	670.1	644.7
102.0	432.3	697.5	631.2	616.1	404.5	739.7	672.1	646.8
102.5	433.7	699.4	633.3	618.3	406.1	741.1	673.9	649.0
103.0	435.0	701.3	635.4	620.5	407.5	742.2	675.8	651.1
103.5	436.4	703.2	637.4	622.6	408.9	743.2	677.7	653.3
104.0	437.7	705.0	639.5	624.8	410.5	744.0	679.7	655.4
104.5	439.0	706.9	641.6	626.8	412.1	744.9	681.6	657.6
105.0	440.3	708.6	643.6	628.9	413.5	745.7	683.4	659.5
105.5	441.7	710.5	645.6	630.9	415.0	746.5	685.3	661.7
106.0	443.0	712.2	647.6	633.1	416.4	747.3	686.8	663.6
106.5	444.3	713.9	649.7	635.0	418.0	748.3	688.7	665.7
107.0	445.6	715.6	651.8	637.0	419.4	749.2	690.3	667.6
107.5	447.0	717.4	653.7	639.0	421.0	750.3	692.0	669.6
108.0	448.1	719.1	655.6	640.9	422.4	751.3	693.8	671.6
108.5	449.6	720.8	657.6	643.0	423.9	752.5	695.3	673.7
109.0	450.7	722.3	659.5	644.9	425.3	753.6	696.9	675.6
109.5	452.1	724.1	661.5	646.8	426.9	754.9	698.7	677.7
110.0	453.3	725.6	663.3	648.5	428.3	756.0	700.2	679.5

時間 (分)	斷面 3 熱電偶測點溫度(°C)				斷面 4 熱電偶測點溫度(°C)			
	3A	3B	3C	3D	4A	4B	4C	4D
0.0	35.0	36.4	36.3	36.3	34.6	35.8	36.0	36.0
0.5	34.9	36.3	36.3	36.3	34.6	36.0	36.2	36.1
1.0	35.1	36.9	36.5	36.3	34.7	36.0	36.3	36.3
1.5	35.4	38.3	37.1	36.6	35.2	36.6	36.7	36.8
2.0	36.0	40.8	38.5	37.3	36.0	38.0	37.8	37.9
2.5	37.3	43.9	40.6	38.2	37.3	40.0	39.4	39.4
3.0	38.5	47.4	42.9	39.6	38.6	42.6	41.5	40.7
3.5	39.9	50.9	45.2	40.9	39.9	45.4	43.8	42.0
4.0	41.5	54.2	47.8	42.5	41.5	48.4	46.4	43.5
4.5	43.1	57.5	50.3	44.1	42.9	51.6	49.1	44.8
5.0	44.7	60.4	53.0	45.8	44.5	54.9	51.9	46.3
5.5	46.3	63.4	55.7	47.6	46.1	58.6	54.7	47.9
6.0	47.9	66.3	58.5	49.6	47.9	62.4	57.6	49.7
6.5	49.7	69.5	61.3	51.5	49.7	66.3	60.5	51.5
7.0	51.3	72.8	64.2	53.6	51.6	70.2	63.4	53.5
7.5	53.2	76.4	67.3	55.8	53.4	74.2	66.5	55.8
8.0	55.2	79.7	70.4	58.4	55.5	78.4	69.6	58.3
8.5	57.2	83.2	73.5	61.0	57.6	82.8	72.8	60.7
9.0	59.2	86.7	76.9	63.6	59.7	87.3	76.1	63.1
9.5	61.5	90.3	80.2	66.2	61.9	91.5	79.3	65.9
10.0	63.6	93.9	84.0	68.9	64.2	95.7	82.6	68.6
10.5	65.9	97.3	87.5	71.7	66.3	99.5	85.9	71.4
11.0	68.4	100.5	90.9	74.3	68.6	102.7	89.1	74.2
11.5	70.7	103.3	94.1	77.2	70.8	104.5	92.2	76.9
12.0	73.0	105.5	97.3	80.2	73.0	105.7	95.4	79.9
12.5	75.4	107.2	100.0	83.4	75.1	106.5	98.2	82.9
13.0	77.8	108.7	102.4	87.1	77.3	107.8	101.4	85.8
13.5	80.2	109.7	104.3	90.5	79.4	108.9	104.1	88.8
14.0	82.6	110.4	106.0	93.7	81.6	110.4	105.6	91.6
14.5	85.1	105.4	107.6	96.7	83.7	112.5	107.2	94.2
15.0	87.5	105.7	109.0	99.6	85.8	115.7	108.7	96.9
15.5	89.8	106.7	110.6	102.2	87.7	119.1	110.2	99.2
16.0	92.1	109.1	112.8	104.5	89.7	123.1	111.9	101.4
16.5	94.2	112.1	115.8	106.4	91.5	126.4	114.2	103.8

附錄四 加溫試驗鋼梁表面熱電偶測點數據表

17.0	96.1	116.2	119.2	108.1	93.5	129.4	117.1	105.9
17.5	97.9	121.0	122.6	109.3	95.1	132.7	120.5	107.9
18.0	99.5	125.7	125.9	110.2	96.7	136.0	124.3	110.0
18.5	100.8	130.1	129.4	111.2	98.3	139.5	128.7	112.7
19.0	101.9	134.4	133.1	112.0	99.9	143.2	133.3	115.9
19.5	103.0	139.4	136.9	113.0	101.2	147.2	138.0	118.6
20.0	104.1	144.3	140.8	113.8	102.6	151.3	142.9	121.8
20.5	105.9	149.0	144.6	114.9	104.1	155.5	148.0	125.4
21.0	107.9	153.3	148.7	117.3	105.8	160.0	152.9	129.3
21.5	109.8	157.9	152.7	120.7	107.6	164.3	157.8	133.0
22.0	111.8	163.2	156.6	124.6	109.3	168.8	162.5	136.5
22.5	113.8	168.4	160.8	128.5	111.2	173.4	167.4	140.0
23.0	116.1	173.7	164.7	132.6	113.1	178.0	172.0	143.5
23.5	118.3	179.1	168.8	136.7	115.1	182.8	176.7	146.9
24.0	120.4	184.6	172.9	140.8	116.8	187.5	181.3	150.4
24.5	122.4	189.8	176.8	144.9	118.7	192.4	185.8	154.0
25.0	124.6	195.4	180.9	149.0	120.5	197.2	190.2	157.5
25.5	127.0	200.8	185.0	153.2	122.4	202.0	194.7	161.2
26.0	129.2	206.2	189.0	157.5	124.3	207.0	199.0	164.9
26.5	131.4	211.5	193.1	161.7	126.1	211.8	203.4	168.6
27.0	133.7	216.9	197.2	166.0	128.0	216.7	207.6	172.5
27.5	136.0	222.3	201.4	170.3	129.8	221.7	211.9	176.3
28.0	138.2	227.7	205.4	174.5	131.7	226.5	216.1	180.1
28.5	140.6	233.1	209.4	178.9	133.5	231.4	220.2	183.6
29.0	142.9	238.6	213.5	183.2	135.4	236.3	224.4	187.6
29.5	145.1	244.1	217.6	187.6	137.4	241.2	228.5	191.6
30.0	147.4	249.4	221.7	191.9	139.4	246.1	232.6	195.7
30.5	149.7	254.7	225.8	196.2	141.3	251.0	236.6	199.6
31.0	152.1	260.1	229.9	200.7	143.3	255.8	240.7	203.8
31.5	154.3	265.2	234.0	205.1	145.3	260.6	244.8	208.0
32.0	156.8	270.5	238.1	209.6	147.3	265.6	248.9	212.1
32.5	159.3	276.0	242.2	214.1	149.3	270.3	252.9	216.3
33.0	161.7	281.3	246.5	218.5	151.3	275.2	256.9	220.5
33.5	164.2	286.5	250.6	222.9	153.4	280.0	260.9	224.8
34.0	166.6	291.6	254.7	227.4	155.4	284.9	265.0	229.1
34.5	169.2	296.8	258.8	232.0	157.5	289.6	269.1	233.3
35.0	171.6	301.9	262.9	236.3	159.5	294.3	273.0	237.6
35.5	174.3	306.9	267.1	240.7	161.6	299.1	277.1	241.9
36.0	176.8	312.1	271.3	245.2	163.6	303.8	281.1	246.2

36.5	179.4	317.2	275.3	249.6	165.8	308.4	285.0	250.5
37.0	181.9	322.1	279.5	254.0	167.9	313.1	289.1	254.8
37.5	184.5	327.1	283.6	258.3	170.1	317.7	293.0	259.0
38.0	187.0	332.0	287.7	262.5	172.3	322.2	297.0	263.2
38.5	189.6	337.0	291.7	266.8	174.5	326.8	300.9	267.4
39.0	192.2	342.0	295.8	271.2	176.8	331.3	304.8	271.8
39.5	194.8	346.9	300.0	275.5	179.2	335.9	308.9	276.1
40.0	197.5	351.9	304.0	279.7	181.4	340.3	312.8	280.3
40.5	200.0	356.6	308.0	284.0	183.7	344.8	316.7	284.6
41.0	202.7	361.4	312.1	288.2	186.2	349.3	320.7	288.8
41.5	205.3	366.2	316.0	292.3	188.5	353.7	324.5	293.0
42.0	207.9	371.0	320.2	296.7	191.1	358.3	328.5	297.4
42.5	210.5	375.6	324.2	300.7	193.5	362.6	332.4	301.5
43.0	213.1	380.4	328.2	304.9	195.8	367.1	336.2	305.8
43.5	215.7	384.9	332.2	309.1	198.4	371.4	340.2	310.0
44.0	218.4	389.5	336.2	313.2	200.8	375.8	344.0	314.2
44.5	220.9	394.1	340.2	317.4	203.4	380.2	347.9	318.4
45.0	223.5	398.5	344.3	321.5	205.8	384.5	351.8	322.5
45.5	226.2	402.3	348.3	325.7	208.3	388.8	355.7	326.6
46.0	228.8	406.4	352.3	329.7	210.8	393.0	359.5	330.7
46.5	231.2	410.9	356.3	333.8	213.2	397.2	363.3	334.7
47.0	233.9	415.3	360.2	337.8	215.8	401.4	367.1	338.8
47.5	236.4	419.7	364.1	341.8	218.3	405.6	371.0	342.8
48.0	239.0	423.8	368.0	345.8	220.7	409.8	374.8	346.8
48.5	241.5	428.0	371.9	349.8	223.1	414.0	378.6	350.8
49.0	244.0	432.4	375.8	353.8	225.6	418.1	382.4	354.6
49.5	246.5	436.6	379.6	357.7	227.9	422.2	386.1	358.6
50.0	248.9	440.6	383.5	361.5	230.4	426.3	389.9	362.5
50.5	251.4	444.6	387.4	365.4	232.9	430.4	393.7	366.3
51.0	254.0	448.9	391.1	369.3	235.2	434.3	397.4	370.2
51.5	256.3	452.7	394.9	373.1	237.6	438.3	401.1	373.9
52.0	258.8	456.6	398.7	377.0	240.0	442.2	404.9	377.7
52.5	261.3	460.7	402.5	380.9	242.4	446.2	408.6	381.6
53.0	263.8	465.5	406.2	384.6	244.7	450.1	412.4	385.4
53.5	266.2	469.8	410.0	388.3	247.1	454.1	416.0	389.1
54.0	268.5	473.7	413.6	392.1	249.4	457.9	419.7	392.9
54.5	271.0	478.0	417.4	395.9	251.8	461.9	423.3	396.8
55.0	273.3	482.1	420.9	399.5	254.0	465.7	427.0	400.8
55.5	275.7	486.3	424.7	403.3	256.4	469.5	430.6	405.0

附錄四 加溫試驗鋼梁表面熱電偶測點數據表

56.0	278.1	490.0	428.3	407.0	258.7	473.3	434.2	408.9
56.5	280.4	493.8	431.9	410.8	260.9	477.1	437.8	413.0
57.0	282.7	497.8	435.4	414.5	263.2	480.8	441.5	416.5
57.5	285.1	501.9	439.1	418.2	265.5	484.4	445.1	420.2
58.0	287.3	506.1	442.7	421.7	267.6	488.0	448.8	423.8
58.5	289.6	509.6	446.3	425.5	269.9	491.6	452.2	427.3
59.0	291.9	513.1	450.0	429.3	272.2	495.4	455.6	431.1
59.5	294.1	516.7	453.5	433.3	274.4	498.9	458.7	434.5
60.0	296.3	520.1	457.1	437.3	276.6	502.4	462.0	438.3
60.5	298.5	523.4	460.6	440.7	278.8	506.1	465.3	441.2
61.0	300.8	527.0	464.2	444.1	280.9	509.5	468.7	444.2
61.5	302.9	530.5	467.7	447.6	283.1	513.1	472.0	447.1
62.0	305.1	534.0	471.2	451.2	285.3	516.7	475.3	450.4
62.5	307.4	538.0	474.9	455.0	287.4	520.2	478.5	453.9
63.0	309.4	541.3	479.0	459.0	289.5	523.6	481.8	457.4
63.5	311.8	544.1	483.0	462.9	291.6	527.0	485.2	460.8
64.0	313.9	547.2	487.3	466.8	293.8	530.3	488.4	464.1
64.5	316.0	550.4	490.8	470.4	295.8	533.7	491.6	467.4
65.0	318.1	553.7	494.2	473.6	297.9	537.1	494.9	470.6
65.5	320.1	556.6	497.9	476.7	300.0	540.7	498.2	473.9
66.0	322.5	560.0	501.8	479.8	302.0	543.9	501.1	477.2
66.5	324.5	563.2	505.6	483.1	304.1	547.4	504.2	480.6
67.0	326.4	566.3	509.3	486.3	306.2	550.7	507.2	483.7
67.5	328.5	569.4	512.9	489.6	308.2	554.1	510.5	486.8
68.0	330.6	572.4	516.7	492.8	310.3	557.3	514.0	489.8
68.5	332.6	575.6	520.0	496.0	312.3	560.5	517.3	493.1
69.0	334.7	578.5	522.2	499.2	314.3	563.7	520.6	496.2
69.5	336.7	581.4	524.0	502.4	316.3	566.8	523.6	499.3
70.0	338.8	584.4	526.1	505.7	318.3	569.9	526.7	502.3
70.5	340.8	587.2	528.1	509.2	320.3	572.9	529.7	505.4
71.0	342.9	590.1	530.4	512.9	322.3	576.1	532.9	508.4
71.5	344.8	593.0	533.2	516.1	324.3	579.1	535.8	511.3
72.0	346.8	595.8	536.0	519.4	326.0	581.9	538.7	514.3
72.5	348.7	598.7	539.0	522.8	328.0	584.7	541.7	517.2
73.0	350.7	601.5	542.2	526.3	330.1	587.6	544.8	520.1
73.5	352.6	604.3	544.8	529.2	331.8	590.4	547.6	522.9
74.0	354.6	607.2	548.0	532.1	333.8	593.3	550.4	525.8
74.5	356.5	610.0	551.2	535.0	335.7	596.3	553.1	528.7
75.0	358.5	612.7	554.1	537.7	337.5	599.1	556.0	531.5

75.5	360.4	615.5	556.9	540.7	339.6	602.1	558.7	534.4
76.0	362.3	618.2	559.5	543.4	341.3	604.9	561.6	537.2
76.5	364.3	620.9	562.5	546.1	343.2	607.9	564.5	540.1
77.0	366.2	623.5	565.5	549.1	345.1	610.6	567.3	542.9
77.5	368.0	626.1	568.4	552.0	346.8	613.3	570.0	545.6
78.0	369.9	628.8	571.3	554.7	348.7	616.1	572.9	548.4
78.5	371.7	631.4	574.1	557.6	350.5	618.7	575.6	551.2
79.0	373.6	634.0	576.9	560.7	352.3	621.6	578.3	554.1
79.5	375.5	636.5	579.6	563.5	354.2	624.2	581.0	556.8
80.0	377.3	638.9	582.5	566.6	356.0	626.9	583.8	559.6
80.5	379.2	641.4	585.2	569.6	357.8	629.6	586.6	562.5
81.0	381.0	643.9	587.9	572.6	359.6	632.1	589.2	565.1
81.5	382.8	646.3	590.5	575.6	361.2	634.7	591.7	567.8
82.0	384.6	648.8	593.1	578.5	363.0	637.4	594.3	570.5
82.5	386.3	651.1	595.7	581.3	364.9	639.7	597.0	573.2
83.0	388.1	653.5	598.3	584.2	366.6	642.2	599.5	576.0
83.5	389.8	655.7	600.8	587.0	368.2	644.5	602.1	578.7
84.0	391.5	657.9	603.4	589.6	370.1	647.0	604.7	581.4
84.5	393.3	660.3	606.0	592.3	371.8	649.3	607.2	584.1
85.0	395.0	662.5	608.4	594.9	373.5	651.6	609.8	586.8
85.5	396.8	664.9	610.9	597.5	375.1	653.8	612.3	589.5
86.0	398.6	667.2	613.3	600.1	377.0	656.0	614.7	592.1
86.5	400.3	669.5	615.8	602.6	378.6	658.3	617.2	594.7
87.0	401.9	671.6	618.1	605.2	380.2	660.4	619.7	597.4
87.5	403.7	674.0	620.8	608.0	382.0	662.6	622.2	600.1
88.0	405.3	676.2	623.0	610.6	383.6	664.8	624.5	602.6
88.5	407.0	678.3	625.4	613.1	385.3	666.9	626.9	605.2
89.0	408.7	680.5	627.8	615.6	387.1	669.0	629.3	607.8
89.5	410.4	682.6	630.2	617.7	388.7	671.1	631.6	610.4
90.0	412.1	684.7	632.6	620.0	390.3	673.3	634.0	612.9
90.5	413.7	686.9	635.0	622.2	392.0	675.5	636.3	615.4
91.0	415.3	689.0	637.2	624.3	393.6	677.4	638.4	617.8
91.5	417.0	691.0	639.6	626.3	395.3	679.4	640.8	620.4
92.0	418.6	693.1	641.8	627.1	396.9	681.7	643.1	622.9
92.5	420.2	695.2	644.1	628.6	398.6	683.7	645.3	625.2
93.0	421.9	697.2	646.4	636.6	400.2	685.7	647.5	627.7
93.5	423.5	699.2	648.6	638.7	401.8	687.8	649.7	630.1
94.0	425.0	701.3	651.0	640.8	403.6	689.9	652.0	629.9
94.5	426.6	703.2	653.1	643.0	405.0	691.9	654.2	632.3

附錄四 加溫試驗鋼梁表面熱電偶測點數據表

95.0	428.1	705.1	655.1	645.1	406.5	693.8	656.3	634.5
95.5	429.6	707.0	657.3	853.1	408.1	695.8	658.3	636.6
96.0	431.2	708.9	659.5	829.5	409.7	697.8	660.6	638.7
96.5	432.8	710.9	661.8	807.2	411.3	699.8	662.7	640.5
97.0	434.3	712.8	663.9	789.3	412.8	701.6	664.8	641.6
97.5	435.9	714.7	665.9	774.2	414.3	703.3	666.8	643.1
98.0	437.4	716.5	668.1	761.6	415.8	705.1	669.0	645.2
98.5	438.9	718.5	670.2	750.9	417.4	706.8	671.0	647.1
99.0	440.4	720.3	672.4	742.3	418.9	708.5	673.1	649.5
99.5	441.9	722.1	674.5	735.1	420.5	710.1	675.1	651.6
100.0	443.6	723.8	676.6	728.4	422.0	711.6	677.4	653.8
100.5	445.0	725.5	678.5	723.4	423.4	712.7	681.7	655.9
101.0	446.5	727.1	680.7	720.2	425.0	713.9	683.5	658.2
101.5	447.8	728.6	682.6	717.4	426.4	715.5	685.1	660.3
102.0	449.3	730.0	684.5	715.4	427.9	717.0	686.7	662.5
102.5	450.8	731.4	686.5	713.6	429.3	718.6	688.4	664.7
103.0	452.2	732.5	688.4	712.1	430.9	720.3	690.0	667.1
103.5	453.6	733.3	690.4	710.6	432.3	721.7	691.8	669.3
104.0	455.1	734.0	692.2	710.0	433.8	723.0	693.3	671.7
104.5	456.6	734.6	694.0	709.2	435.3	724.4	694.7	674.0
105.0	458.0	735.2	695.9	708.5	436.7	725.6	695.9	680.2
105.5	459.5	735.8	697.7	708.2	438.1	726.5	696.7	693.3
106.0	460.9	736.3	699.5	708.2	439.7	727.3	697.8	695.3
106.5	462.3	737.0	701.3	708.5	441.3	727.9	698.8	697.4
107.0	463.7	737.8	702.8	707.9	442.6	728.4	699.9	699.3
107.5	465.2	738.6	704.4	707.6	444.1	729.0	700.9	701.3
108.0	466.5	739.3	705.9	707.5	445.4	729.4	701.8	703.1
108.5	467.9	740.0	707.4	707.3	446.9	730.2	703.1	705.2
109.0	469.3	740.5	708.8	706.9	448.3	730.8	704.4	707.3
109.5	470.8	741.4	710.4	706.5	449.7	731.4	705.7	709.3
110.0	472.0	741.8	711.8	706.2	451.1	732.2	706.9	711.1

斷面 5 熱電偶測點溫度(°C)				
時間 (分)	5A	5B	5C	5D
0.0	34.6	35.7	36.2	36.4
0.5	34.6	35.8	36.3	36.3
1.0	34.7	35.8	36.3	36.4
1.5	35.0	36.1	36.8	36.6
2.0	35.7	36.9	38.0	37.1
2.5	36.8	38.2	39.8	37.7
3.0	37.9	40.0	41.7	38.5
3.5	39.1	42.3	44.0	39.4
4.0	40.4	44.8	46.4	40.6
4.5	41.6	47.5	48.8	41.8
5.0	43.1	50.5	51.2	43.2
5.5	44.5	53.7	53.6	44.8
6.0	46.0	57.3	56.3	46.6
6.5	47.6	60.7	58.9	48.5
7.0	49.3	64.5	61.5	50.6
7.5	51.0	68.2	64.3	52.8
8.0	53.0	72.2	67.3	55.2
8.5	55.0	76.1	70.2	57.6
9.0	57.0	80.0	73.2	60.4
9.5	59.2	83.9	76.4	63.1
10.0	61.4	87.8	79.6	66.0
10.5	63.6	91.5	82.9	69.0
11.0	65.8	95.1	86.0	71.9
11.5	68.1	98.4	89.3	74.9
12.0	70.4	101.4	92.7	78.2
12.5	72.6	103.5	95.7	81.3
13.0	74.9	104.9	98.6	84.5
13.5	77.3	106.0	101.0	87.7
14.0	79.6	106.6	102.7	90.9
14.5	81.8	107.0	103.9	94.0
15.0	84.1	107.4	106.0	97.1
15.5	86.2	107.5	108.8	100.0
16.0	88.3	108.3	110.9	102.3
16.5	90.2	110.3	113.3	103.5

附錄四 加溫試驗鋼梁表面熱電偶測點數據表

17.0	92.3	113.3	115.8	104.9
17.5	94.1	116.7	118.6	106.0
18.0	95.7	120.6	121.8	107.0
18.5	97.2	124.6	125.3	107.8
19.0	98.4	129.1	129.1	108.5
19.5	99.7	133.7	133.2	109.4
20.0	100.8	138.6	137.5	110.9
20.5	102.0	143.5	141.8	113.3
21.0	103.2	148.6	146.2	115.8
21.5	104.3	153.7	150.7	118.4
22.0	106.0	158.9	155.3	121.2
22.5	107.5	164.2	159.7	124.2
23.0	108.6	169.4	163.9	127.3
23.5	110.2	174.7	168.4	130.7
24.0	111.8	180.0	172.6	134.3
24.5	113.4	185.4	177.0	137.9
25.0	115.2	190.7	181.3	141.6
25.5	117.2	196.0	185.5	145.5
26.0	119.0	201.4	189.8	149.4
26.5	120.9	206.7	194.0	153.5
27.0	122.9	212.2	198.3	157.6
27.5	124.6	217.5	202.5	161.7
28.0	126.6	222.8	206.8	165.8
28.5	128.5	228.0	211.0	170.0
29.0	130.4	233.3	215.3	174.2
29.5	132.2	238.6	219.4	178.5
30.0	134.1	243.8	223.7	182.7
30.5	136.1	249.0	227.9	187.0
31.0	138.1	254.2	232.1	191.4
31.5	140.3	259.3	236.3	195.7
32.0	142.3	264.4	240.6	200.0
32.5	144.6	269.4	244.8	204.4
33.0	146.7	274.5	249.0	208.8
33.5	149.0	279.5	253.2	213.3
34.0	151.3	284.6	257.5	217.8
34.5	153.5	289.5	261.8	222.4
35.0	155.8	294.4	265.9	226.8
35.5	158.2	299.4	270.1	231.3
36.0	160.3	304.2	274.4	235.8

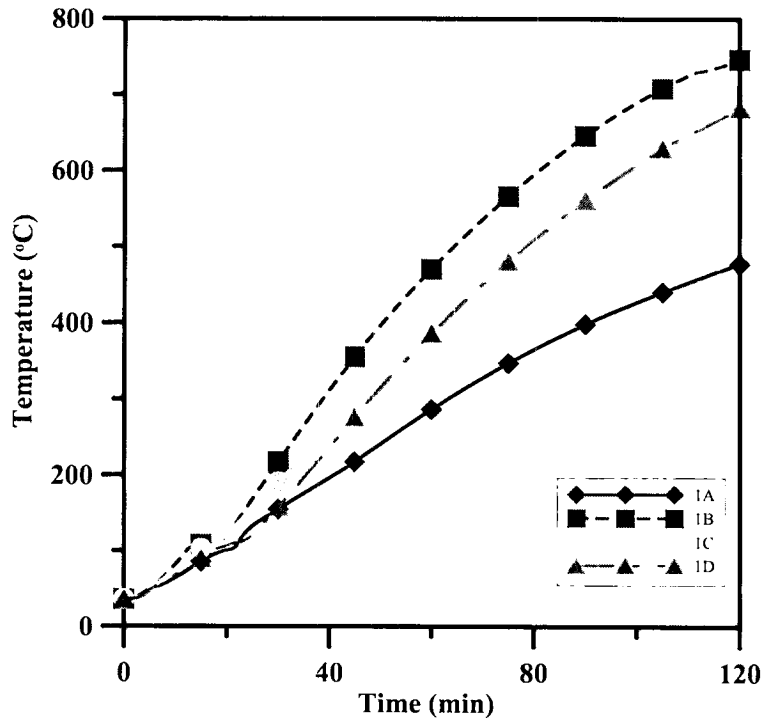
36.5	162.6	309.0	278.5	240.3
37.0	165.0	313.9	282.6	244.7
37.5	167.3	318.8	286.7	249.1
38.0	169.6	323.4	290.9	253.5
38.5	172.0	328.0	294.9	257.7
39.0	174.4	332.9	299.1	262.1
39.5	176.8	337.5	303.2	266.3
40.0	179.2	342.0	307.2	270.6
40.5	181.5	346.6	311.3	274.7
41.0	184.0	351.0	315.3	279.1
41.5	186.5	355.6	319.3	283.3
42.0	189.0	360.2	323.4	287.7
42.5	191.3	364.5	327.4	291.9
43.0	193.6	368.9	331.3	296.2
43.5	196.1	373.4	335.4	300.6
44.0	198.3	377.7	339.3	304.8
44.5	200.7	382.0	343.4	308.9
45.0	203.1	386.4	347.3	313.1
45.5	205.4	390.7	351.2	317.2
46.0	207.7	394.9	355.1	321.4
46.5	210.0	399.1	359.0	325.4
47.0	212.4	403.3	362.9	329.5
47.5	214.5	407.5	366.8	333.6
48.0	216.8	411.7	370.6	337.6
48.5	219.1	415.6	374.5	341.7
49.0	221.3	419.7	378.4	345.7
49.5	223.5	423.8	382.1	349.6
50.0	225.8	427.9	385.9	353.6
50.5	227.9	431.9	389.7	357.5
51.0	230.1	435.7	393.3	361.4
51.5	232.3	439.7	397.2	365.2
52.0	234.5	443.7	400.9	369.0
52.5	236.6	447.5	404.5	372.9
53.0	238.8	451.4	408.3	376.8
53.5	240.9	455.2	411.9	380.7
54.0	243.0	459.0	415.6	384.4
54.5	245.2	462.8	419.2	388.3
55.0	247.2	466.5	422.9	391.8
55.5	249.4	470.4	426.5	395.5

附錄四 加溫試驗鋼梁表面熱電偶測點數據表

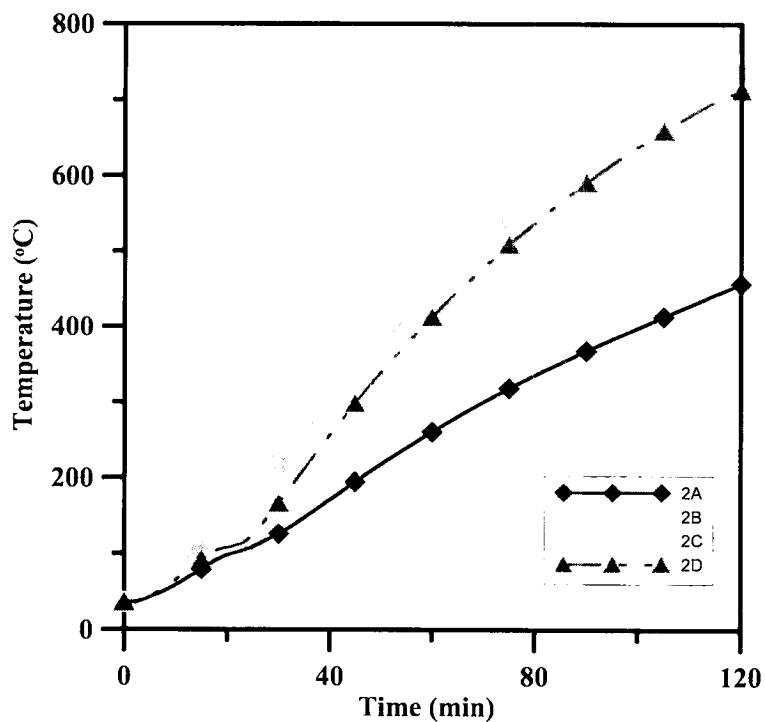
56.0	251.4	474.1	430.1	399.2
56.5	253.6	477.7	433.7	402.9
57.0	255.5	481.3	437.3	406.5
57.5	257.6	485.0	440.8	410.2
58.0	259.6	488.5	444.3	413.6
58.5	261.5	492.1	447.9	417.2
59.0	263.7	495.7	451.4	420.8
59.5	265.6	499.3	454.8	424.6
60.0	267.7	502.8	458.3	428.0
60.5	269.7	506.3	461.6	431.5
61.0	271.6	509.7	465.0	435.0
61.5	273.6	513.2	468.5	438.3
62.0	275.6	516.7	471.7	441.8
62.5	277.5	520.3	475.0	445.0
63.0	279.4	523.7	478.2	448.3
63.5	281.5	527.1	481.5	451.7
64.0	283.3	530.6	484.8	454.9
64.5	285.4	533.9	487.9	458.3
65.0	287.3	537.3	491.1	461.7
65.5	289.1	540.6	494.2	464.9
66.0	291.0	543.8	497.3	468.2
66.5	293.0	547.1	500.5	471.5
67.0	294.8	550.4	503.5	474.7
67.5	296.7	553.6	506.7	477.9
68.0	298.6	556.7	509.8	481.1
68.5	300.4	559.9	512.8	484.3
69.0	302.3	563.2	515.9	487.5
69.5	304.2	566.4	518.9	490.7
70.0	306.2	569.5	522.0	493.9
70.5	308.0	572.5	525.0	497.0
71.0	309.8	575.6	528.0	500.0
71.5	311.6	578.8	531.1	503.3
72.0	313.4	581.8	533.8	506.3
72.5	315.2	584.7	536.7	509.3
73.0	317.1	587.8	539.8	512.5
73.5	318.8	590.7	542.7	515.3
74.0	320.7	593.8	545.7	518.5
74.5	322.5	596.7	548.8	521.5
75.0	324.2	599.6	551.6	524.4

75.5	326.0	602.6	554.6	527.4
76.0	327.8	605.5	557.4	530.3
76.5	329.7	608.3	560.4	533.3
77.0	331.5	611.2	563.3	536.3
77.5	333.2	614.0	566.0	539.1
78.0	335.0	616.7	568.9	542.1
78.5	336.7	619.6	571.7	545.0
79.0	338.5	622.4	574.5	548.0
79.5	340.2	625.0	577.2	550.7
80.0	342.0	627.9	580.0	553.7
80.5	343.8	630.5	582.8	556.6
81.0	345.6	633.2	585.5	559.4
81.5	347.2	635.8	588.1	562.2
82.0	348.9	638.3	590.7	564.8
82.5	350.6	641.0	593.3	567.6
83.0	352.3	643.7	595.8	570.4
83.5	354.1	646.1	598.3	573.0
84.0	355.8	648.7	600.9	575.8
84.5	357.4	651.2	603.4	578.4
85.0	359.2	653.8	605.9	581.0
85.5	360.8	656.3	608.5	583.5
86.0	362.5	658.7	610.9	586.1
86.5	364.2	661.2	613.5	588.6
87.0	365.9	663.7	615.9	591.1
87.5	367.7	666.2	618.5	593.8
88.0	369.2	668.4	620.8	596.1
88.5	370.8	670.8	623.3	598.5
89.0	372.6	673.2	625.7	601.0
89.5	374.2	675.6	628.1	603.2
90.0	375.9	678.0	630.5	605.7
90.5	377.5	680.4	632.9	608.0
91.0	379.1	682.5	635.1	610.3
91.5	380.7	684.8	637.5	612.7
92.0	382.4	687.0	639.7	615.1
92.5	384.1	689.2	641.9	617.5
93.0	385.6	691.3	644.2	619.8
93.5	387.3	693.3	646.4	622.3
94.0	389.0	695.3	648.7	624.8
94.5	390.5	697.4	650.9	627.1

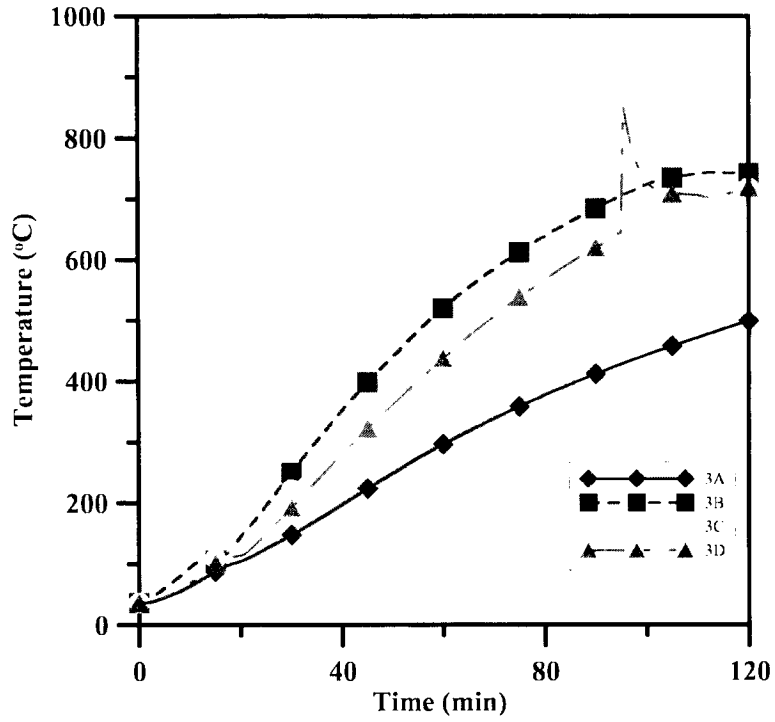
95.0	392.0	699.2	652.9	629.4
95.5	393.6	701.3	655.0	631.8
96.0	395.3	703.3	657.3	634.3
96.5	396.9	705.3	659.5	636.8
97.0	398.4	707.3	661.6	639.2
97.5	400.0	709.0	663.5	641.4
98.0	401.7	711.0	665.6	643.7
98.5	403.2	712.8	667.6	645.7
99.0	404.8	714.6	669.7	647.9
99.5	406.3	716.4	671.8	649.9
100.0	408.0	718.2	673.8	652.1
100.5	409.5	719.9	675.8	654.3
101.0	411.1	721.7	677.8	656.5
101.5	412.6	723.4	679.7	658.7
102.0	414.1	725.0	681.7	660.8
102.5	415.7	726.5	683.4	663.0
103.0	417.3	727.9	685.4	665.2
103.5	418.8	729.0	687.3	667.2
104.0	420.4	729.9	689.1	669.3
104.5	421.9	730.8	690.9	671.3
105.0	423.5	731.5	692.7	673.5
105.5	424.9	732.3	694.6	675.4
106.0	426.6	733.5	696.7	677.7
106.5	428.0	734.3	698.4	679.7
107.0	429.5	735.2	700.1	681.7
107.5	431.1	736.2	701.9	683.6
108.0	432.6	737.2	703.5	685.4
108.5	434.0	738.4	705.3	687.5
109.0	435.6	739.6	707.0	689.4
109.5	437.1	740.9	708.7	691.3
110.0	438.5	742.0	710.4	693.2



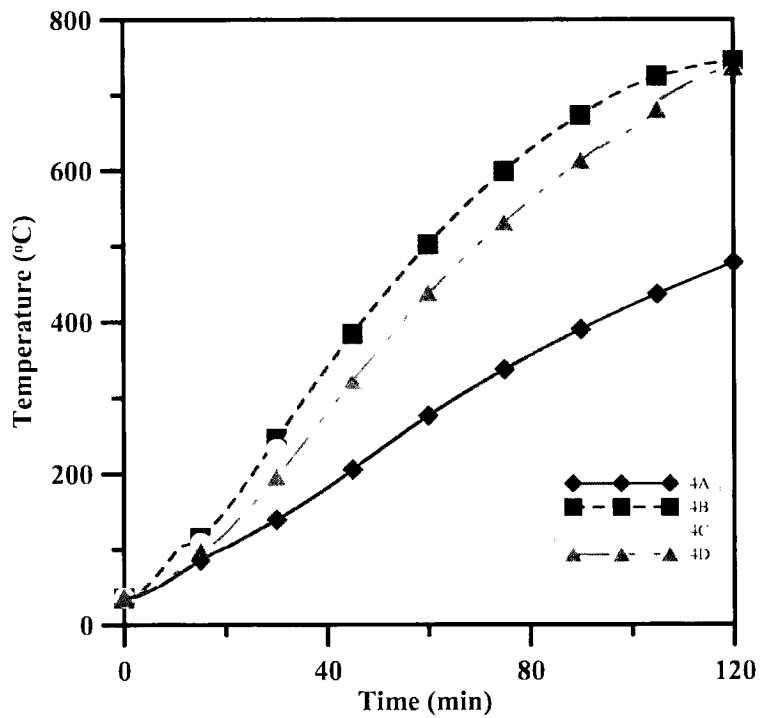
附錄四圖 6 試體 2 之斷面 1 時間與溫度關係圖



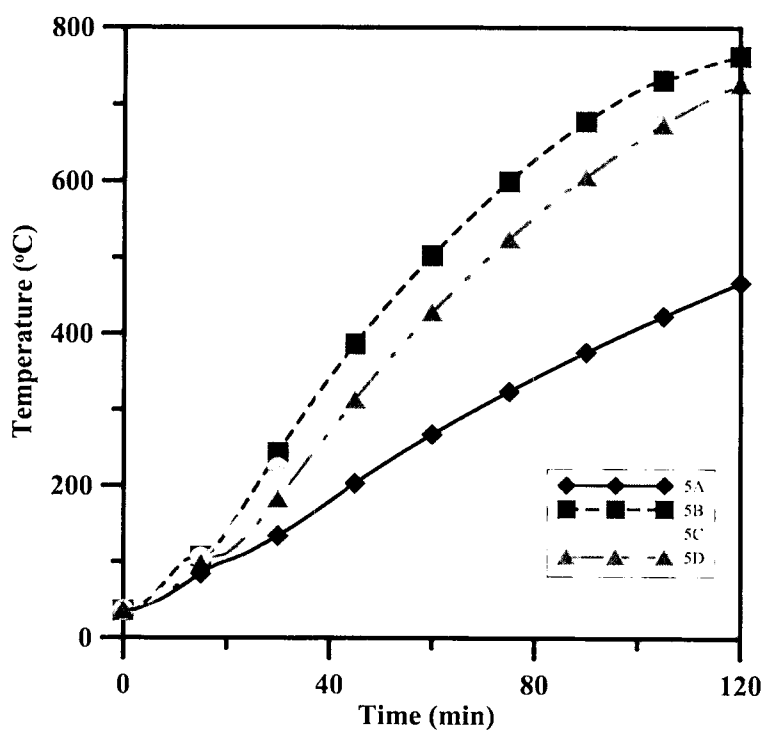
附錄四圖 7 試體 2 之斷面 2 時間與溫度關係圖



附錄四圖 8 試體 2 之斷面 3 時間與溫度關係圖



附錄四圖 9 試體 2 之斷面 4 時間與溫度關係圖



附錄四圖 10 試體 2 之斷面 5 時間與溫度關係圖

參、試體 3

附錄四表 3 試體 3 鋼梁熱電偶測點數據表

時間 (分)	斷面 1 熱電偶測點溫度(°C)				斷面 2 熱電偶測點溫度(°C)			
	1A	1B	1C	1D	2A	2B	2C	2D
0.0	35.6	35.3	35.3	35.1	35.3	36.6	36.7	36.7
0.5	35.7	35.4	35.3	35.1	35.3	36.6	36.8	36.9
1.0	35.7	36.6	35.4	35.5	36.7	36.7	36.9	37.7
1.5	36.4	39.5	36.2	36.7	39.4	36.9	37.6	39.9
2.0	38.1	43.7	37.7	38.5	41.7	37.9	39.4	42.9
2.5	40.9	46.6	39.6	40.4	43.8	39.8	41.7	46.5
3.0	43.8	49.0	41.7	42.0	45.8	42.3	44.3	50.3
3.5	46.7	51.6	43.8	44.1	47.9	45.7	47.5	54.6
4.0	49.6	54.3	45.9	46.2	50.3	49.3	51.2	59.4
4.5	52.3	57.3	48.4	48.7	52.8	53.6	55.5	64.6
5.0	54.6	59.7	50.7	51.1	55.3	57.8	60.0	69.9
5.5	56.5	62.7	53.3	53.9	58.1	62.3	65.1	75.6
6.0	58.5	65.9	55.8	56.4	60.8	66.6	70.2	82.0
6.5	60.6	69.0	58.5	59.1	64.4	71.1	75.6	87.8
7.0	62.8	72.2	61.3	61.9	67.5	75.5	81.0	93.6
7.5	65.0	75.1	64.1	64.6	70.7	79.9	86.2	99.1
8.0	67.5	78.0	67.0	67.5	73.8	84.3	91.2	104.1
8.5	70.0	80.9	69.9	70.4	76.9	88.6	95.9	103.3
9.0	72.6	83.9	73.1	73.3	80.0	93.0	100.3	104.5
9.5	75.3	86.9	76.1	76.2	83.2	97.2	104.1	108.7
10.0	78.2	90.0	79.4	79.1	86.4	101.5	107.2	113.5
10.5	80.8	93.0	82.6	81.9	89.5	104.9	109.2	117.9
11.0	83.5	95.8	85.7	84.7	92.5	107.4	112.1	121.5
11.5	86.5	98.9	88.9	87.5	95.7	109.2	114.6	124.6
12.0	89.2	101.9	91.8	90.1	98.6	110.7	116.6	127.8
12.5	91.9	105.5	94.5	92.7	101.7	111.9	119.0	133.0
13.0	94.6	110.0	97.0	95.4	105.1	112.7	122.4	139.0
13.5	97.0	116.8	99.0	98.0	109.3	114.4	126.0	145.2
14.0	99.2	121.8	100.9	100.3	113.3	118.8	130.3	151.7
14.5	101.0	126.0	103.1	102.5	116.7	124.0	135.3	158.1
15.0	102.7	129.9	106.2	104.9	120.1	127.8	140.5	164.6

15.5	105.2	133.5	109.2	107.6	123.4	134.0	146.0	171.0
16.0	109.9	136.3	112.6	110.4	126.9	140.7	151.9	177.6
16.5	115.4	139.3	116.1	112.7	130.3	147.5	157.8	184.2
17.0	120.9	142.5	119.6	115.4	133.6	154.3	163.8	190.8
17.5	125.7	145.8	123.4	118.3	136.8	161.2	169.7	197.5
18.0	129.8	149.3	127.2	121.2	140.2	168.3	176.0	204.1
18.5	133.7	152.7	131.0	123.7	143.5	175.2	182.2	210.8
19.0	137.2	156.3	134.7	126.5	146.7	182.2	188.7	217.4
19.5	140.6	159.7	138.3	129.3	150.0	189.0	195.0	223.8
20.0	144.1	163.1	141.9	132.1	153.4	196.0	201.7	230.4
20.5	147.6	166.6	145.6	134.9	156.7	202.9	208.2	236.8
21.0	151.1	169.8	149.2	137.7	160.2	209.7	214.6	243.2
21.5	154.6	173.1	152.8	140.6	163.5	216.4	221.1	249.7
22.0	158.1	176.4	156.4	143.4	166.8	223.1	227.8	256.1
22.5	161.6	179.5	160.0	146.1	170.2	229.7	234.4	262.5
23.0	165.0	182.6	163.5	149.0	173.6	236.4	240.9	268.8
23.5	168.6	185.6	167.1	151.8	177.1	240.9	247.6	275.3
24.0	172.0	188.7	170.6	154.6	180.6	247.6	254.0	281.5
24.5	175.4	191.7	174.0	157.5	183.9	254.2	260.4	287.7
25.0	178.9	194.5	177.3	160.3	187.4	260.7	266.8	293.9
25.5	182.2	197.5	180.8	163.0	190.8	267.3	273.2	300.0
26.0	185.4	200.2	184.1	165.8	194.0	274.0	279.5	306.1
26.5	188.6	203.0	187.5	168.5	197.4	280.6	285.7	312.2
27.0	191.9	205.8	191.0	171.3	200.7	287.0	291.9	318.1
27.5	195.0	208.3	194.1	174.0	204.0	293.1	297.9	323.9
28.0	198.1	211.2	197.5	176.9	207.4	299.1	304.1	329.8
28.5	201.3	214.0	200.8	179.8	210.6	305.0	310.1	335.7
29.0	204.2	216.8	204.1	182.7	213.9	310.8	316.1	341.4
29.5	207.4	219.7	207.3	185.6	217.0	316.7	322.2	347.1
30.0	210.4	222.6	210.5	188.5	220.3	322.4	328.0	352.9
30.5	213.4	225.5	213.7	191.5	223.4	328.0	333.9	358.4
31.0	216.5	228.3	216.8	194.4	226.5	333.6	339.7	364.0
31.5	219.4	231.2	220.1	197.2	229.6	339.3	345.5	369.4
32.0	222.5	234.1	223.3	200.2	232.6	344.8	351.4	375.1
32.5	225.6	237.0	226.5	203.1	235.8	350.3	357.1	380.4
33.0	228.5	239.9	229.6	206.0	238.9	355.8	362.8	385.8
33.5	231.4	242.6	232.7	208.9	241.8	361.2	368.4	391.2
34.0	234.3	245.4	235.8	211.8	244.9	366.7	374.0	396.6
34.5	237.5	248.2	239.0	214.8	247.9	372.2	379.6	401.9

附錄四 加溫試驗鋼梁表面熱電偶測點數據表

35.0	240.3	251.0	242.0	217.7	250.9	377.4	385.2	407.1
35.5	243.2	253.5	244.9	220.4	253.7	382.6	390.3	412.2
36.0	246.2	256.3	248.1	223.4	256.9	388.0	395.8	417.5
36.5	249.2	259.0	251.2	226.3	259.7	393.2	401.1	422.7
37.0	252.1	261.7	254.1	229.0	262.6	398.2	406.3	427.6
37.5	255.1	264.6	257.1	231.8	265.6	403.3	411.7	432.6
38.0	258.0	267.3	260.2	234.6	268.5	408.3	416.9	437.5
38.5	260.8	270.0	263.1	237.3	271.4	413.3	422.0	442.4
39.0	263.8	272.8	266.1	240.0	274.4	418.2	427.0	447.3
39.5	266.6	275.5	269.1	242.9	277.4	423.1	432.1	452.2
40.0	269.4	278.1	272.0	245.5	280.3	427.9	437.1	457.1
40.5	272.3	280.8	275.0	248.1	283.2	432.6	442.0	461.9
41.0	275.1	283.3	277.9	250.9	286.1	437.4	446.9	466.7
41.5	278.0	285.8	280.9	253.7	289.0	442.1	451.8	471.4
42.0	280.8	288.5	283.9	256.3	291.9	446.8	456.6	476.1
42.5	283.4	291.0	286.7	258.9	294.6	451.3	461.3	480.7
43.0	286.3	293.6	289.8	261.6	297.6	455.8	466.0	485.4
43.5	289.0	296.1	292.6	264.3	300.2	460.3	470.7	490.0
44.0	291.7	298.7	295.4	266.7	302.9	464.6	475.2	494.5
44.5	294.3	301.2	298.2	269.3	305.6	469.1	479.8	498.9
45.0	297.0	303.7	301.0	271.9	308.3	473.4	484.3	503.3
45.5	299.7	306.2	303.8	274.4	310.7	477.7	488.8	507.8
46.0	302.4	308.8	306.6	276.9	313.4	482.1	493.3	512.2
46.5	305.1	311.3	309.4	279.4	315.9	486.3	497.7	516.5
47.0	307.7	313.7	312.2	282.0	318.5	490.6	502.0	520.8
47.5	310.4	316.3	314.9	284.4	321.0	494.8	506.3	525.0
48.0	313.0	318.8	317.7	287.0	323.6	499.0	510.6	528.9
48.5	315.7	321.2	320.4	289.3	325.9	503.2	515.0	532.7
49.0	318.3	323.6	323.0	291.7	328.2	507.3	519.3	536.2
49.5	320.8	326.1	325.8	294.2	330.6	511.5	523.6	539.7
50.0	323.4	328.5	328.5	296.5	332.8	515.5	527.9	543.3
50.5	326.0	330.9	331.1	298.9	335.1	519.4	532.0	547.1
51.0	328.5	333.3	333.6	301.2	337.3	523.3	536.0	550.7
51.5	331.1	335.7	336.2	303.8	339.5	527.4	540.0	554.5
52.0	333.4	337.9	338.7	305.9	341.5	531.2	544.0	558.2
52.5	335.9	340.2	341.4	308.3	343.6	535.1	548.0	561.9
53.0	338.4	342.5	344.0	310.5	345.7	538.8	552.0	565.6
53.5	340.8	344.8	346.6	312.8	347.7	542.6	555.8	569.0
54.0	343.2	347.1	349.1	315.1	349.7	546.4	559.7	572.6

54.5	345.7	349.4	351.6	317.3	351.9	550.1	563.5	576.0
55.0	348.0	351.7	354.0	319.6	354.2	553.9	567.2	579.5
55.5	350.3	353.9	356.3	321.9	356.5	557.6	570.9	583.1
56.0	352.6	356.0	358.4	323.9	358.3	561.1	574.4	586.3
56.5	355.1	358.3	360.9	326.3	360.4	564.8	578.2	589.8
57.0	357.4	360.4	363.3	328.4	362.0	568.4	581.7	593.2
57.5	359.7	362.6	366.1	330.6	363.6	571.9	585.3	596.6
58.0	361.9	364.7	368.7	332.7	365.4	575.4	588.8	599.9
58.5	364.3	366.9	371.2	334.9	367.4	579.0	592.5	603.3
59.0	366.4	368.9	373.4	336.9	369.0	582.3	595.7	606.4
59.5	368.8	371.1	375.8	339.1	371.0	585.8	599.2	609.9
60.0	370.9	373.2	378.2	341.1	373.1	589.2	602.6	613.3
60.5	373.1	375.4	380.4	343.3	375.2	592.6	606.0	616.7
61.0	375.4	377.5	382.6	345.4	377.4	596.1	609.3	619.8
61.5	377.5	379.6	384.8	347.4	379.4	599.3	612.6	622.9
62.0	379.8	381.7	387.2	349.7	381.6	602.8	616.1	626.1
62.5	382.0	383.8	389.4	351.7	383.7	606.1	619.3	629.2
63.0	384.1	385.8	391.6	353.7	385.6	609.3	622.5	632.3
63.5	386.1	387.6	393.8	355.7	387.5	612.4	625.5	635.3
64.0	388.3	389.6	395.9	357.9	389.6	615.6	628.7	638.3
64.5	390.3	391.6	398.0	359.9	391.6	618.7	631.7	641.3
65.0	392.4	393.4	400.1	361.9	393.6	621.8	634.7	644.3
65.5	394.5	395.4	402.3	364.1	395.8	625.0	637.7	647.4
66.0	396.5	397.3	404.3	366.2	397.8	628.1	640.6	650.3
66.5	398.4	399.1	406.4	368.2	399.7	631.0	643.5	653.2
67.0	400.6	401.1	408.5	370.3	401.9	634.2	646.3	656.2
67.5	402.5	403.0	410.4	372.4	403.8	637.1	649.0	659.0
68.0	404.5	405.0	412.6	374.4	405.8	640.1	651.8	661.8
68.5	406.4	407.0	414.6	376.4	407.9	643.1	654.5	664.6
69.0	408.4	408.7	416.6	378.4	409.9	646.0	657.1	667.5
69.5	410.4	410.5	418.6	380.3	411.9	649.0	659.8	670.2
70.0	412.4	412.4	420.6	382.3	413.9	652.0	662.5	673.0
70.5	414.4	414.1	422.5	384.3	415.9	655.0	665.1	675.7
71.0	416.2	416.1	424.4	386.3	417.8	657.8	667.7	678.5
71.5	418.0	417.8	426.8	388.3	419.7	660.4	670.4	681.2
72.0	419.9	419.6	428.9	390.1	421.6	663.0	673.0	683.8
72.5	421.7	421.4	430.6	392.0	423.5	665.6	675.6	686.3
73.0	423.7	423.3	432.5	394.0	425.4	668.1	678.3	689.0
73.5	425.5	425.0	434.3	395.9	427.2	670.6	680.8	691.5

附錄四 加溫試驗鋼梁表面熱電偶測點數據表

74.0	427.4	426.8	436.3	397.9	429.2	673.0	683.4	694.1
74.5	429.2	428.6	438.3	399.9	431.2	675.5	686.0	696.6
75.0	430.9	430.4	440.3	401.8	432.9	677.8	688.4	699.0
75.5	432.8	432.3	442.1	403.6	434.7	680.2	691.0	701.3
76.0	434.5	434.0	443.7	405.5	436.5	682.6	693.3	703.5
76.5	436.3	435.5	445.4	407.5	438.3	684.8	695.6	705.8
77.0	438.0	437.2	447.2	409.3	440.2	687.0	697.9	708.0
77.5	439.7	438.8	449.0	411.1	442.1	688.8	700.3	710.2
78.0	441.5	440.5	450.9	413.0	443.8	690.8	702.7	712.4
78.5	443.2	442.1	452.8	414.8	445.6	693.0	705.0	714.5
79.0	445.0	443.8	454.5	416.8	447.2	695.0	707.3	716.6
79.5	446.6	445.4	456.3	418.6	448.9	697.1	709.5	718.7
80.0	448.3	447.1	458.1	420.2	450.4	699.0	711.6	720.5
80.5	450.0	448.6	459.8	421.8	452.0	701.0	713.7	722.5
81.0	451.6	450.3	461.5	423.3	453.5	703.1	715.9	724.3
81.5	453.2	452.1	463.3	424.9	455.1	705.1	717.9	726.1
82.0	454.8	453.8	465.0	426.0	456.7	707.1	720.0	727.9
82.5	456.3	455.5	466.9	427.3	458.3	709.0	721.9	729.6
83.0	457.9	457.2	468.5	428.9	459.8	711.0	723.8	731.3
83.5	459.4	458.7	469.8	430.4	461.4	712.8	725.5	732.6
84.0	460.9	460.4	471.3	432.0	463.0	714.8	727.3	733.6
84.5	462.5	462.0	472.1	433.7	464.5	716.7	729.1	734.2
85.0	463.9	463.9	473.1	435.0	466.0	718.5	730.7	734.6
85.5	465.3	465.7	474.3	436.4	467.4	720.4	732.1	735.0
86.0	466.9	467.5	475.7	438.0	469.1	722.3	733.3	735.5
86.5	468.2	469.1	477.1	439.6	470.6	724.2	734.1	735.8
87.0	469.7	470.7	478.5	441.0	472.3	726.0	734.8	736.0
87.5	471.2	472.5	479.9	442.7	473.9	727.9	735.5	736.4
88.0	472.6	474.0	481.3	444.2	475.3	729.6	736.0	736.9
88.5	473.9	475.4	482.5	445.8	476.6	731.4	736.4	737.4
89.0	475.4	476.9	483.8	447.3	478.0	733.1	737.0	738.1
89.5	476.9	478.6	485.4	448.9	479.5	734.7	737.8	738.6
90.0	478.2	480.2	486.8	450.6	480.9	736.1	738.4	739.4
90.5	479.6	481.7	488.1	452.1	482.3	736.9	739.3	739.7
91.0	480.9	483.5	489.5	453.6	483.6	737.6	740.0	739.9
91.5	482.3	485.5	491.0	455.3	485.2	738.4	741.1	740.6
92.0	483.5	487.2	492.5	456.9	486.6	739.3	742.0	740.8
92.5	484.9	488.4	494.1	458.3	487.9	739.9	743.0	741.1
93.0	486.5	490.2	496.0	459.9	489.3	740.8	744.2	741.2

附錄四 加溫試驗鋼梁表面熱電偶測點數據表

時間 (分)	斷面 3 熱電偶測點溫度(°C)				斷面 4 熱電偶測點溫度(°C)			
	3A	3B	3C	3D	4A	4B	4C	4D
0.0	36.6	36.9	36.8	36.9	36.9	36.9	36.9	36.3
0.5	36.7	37.0	36.9	37.1	37.0	36.9	37.1	36.4
1.0	36.8	37.7	37.0	38.1	37.1	37.0	37.1	36.3
1.5	37.6	40.0	37.8	42.3	38.2	37.9	38.0	36.6
2.0	39.7	43.0	40.1	48.0	41.6	39.6	39.8	37.1
2.5	42.9	46.5	43.8	52.7	46.6	42.3	42.4	38.1
3.0	46.5	50.6	47.5	55.8	51.8	45.1	45.4	39.3
3.5	50.5	55.2	50.8	58.7	56.5	48.3	48.7	40.7
4.0	55.0	60.3	54.3	61.9	61.3	52.0	52.5	42.6
4.5	59.8	65.8	57.8	64.7	65.0	55.6	56.2	44.6
5.0	64.6	71.4	60.6	67.8	68.1	59.4	59.7	46.8
5.5	69.6	77.3	63.4	71.3	71.2	63.3	63.4	49.1
6.0	74.6	83.2	66.0	74.9	73.9	67.3	67.1	51.7
6.5	79.7	89.1	68.5	79.0	76.4	71.3	70.8	54.3
7.0	84.8	94.7	71.1	83.1	78.9	75.5	74.6	57.2
7.5	90.0	99.7	73.7	87.7	81.4	79.7	78.4	60.0
8.0	95.1	103.5	76.7	92.5	84.4	84.2	82.4	63.2
8.5	100.0	106.2	79.3	97.1	87.5	88.6	86.5	66.3
9.0	104.3	108.9	82.1	101.3	90.7	92.8	90.4	69.5
9.5	105.5	111.8	85.1	105.6	94.1	97.0	94.4	72.9
10.0	106.2	116.1	88.5	109.8	97.2	100.6	98.1	76.4
10.5	107.2	121.9	92.3	114.6	100.0	103.8	101.4	79.9
11.0	108.3	128.2	95.7	120.5	102.2	106.6	103.8	83.5
11.5	110.1	134.8	99.0	127.3	104.0	109.1	106.2	87.3
12.0	114.3	141.4	102.1	135.3	105.7	111.4	109.8	91.1
12.5	119.6	148.2	104.8	141.5	108.5	114.9	113.9	95.0
13.0	125.3	155.2	107.2	146.8	114.4	119.5	118.8	99.0
13.5	131.3	162.4	109.3	151.8	121.8	124.4	129.2	102.0
14.0	137.6	169.8	111.6	157.9	129.8	129.5	142.6	104.1
14.5	144.0	177.0	117.4	163.7	137.7	134.5	155.0	105.6
15.0	150.4	184.4	124.8	169.5	144.4	139.6	166.6	106.6
15.5	157.0	191.9	131.4	175.3	150.4	144.7	177.0	107.5
16.0	163.7	199.5	136.4	181.3	157.1	149.9	186.2	109.1
16.5	170.4	207.0	140.6	187.2	163.8	155.2	197.9	111.5

17.0	177.1	214.5	144.7	193.1	170.1	160.5	205.7	113.8
17.5	183.7	221.8	149.5	198.9	176.3	166.0	213.2	116.7
18.0	190.7	229.4	154.6	204.3	182.2	171.4	220.4	120.6
18.5	197.5	236.9	159.8	209.9	188.0	176.8	227.1	124.8
19.0	204.1	244.2	164.9	215.4	193.6	182.2	233.3	129.1
19.5	210.8	251.5	170.1	220.9	199.1	187.6	239.5	133.5
20.0	217.6	258.7	175.0	226.2	204.3	193.1	245.4	138.2
20.5	224.2	266.0	180.1	231.6	209.7	198.6	251.1	142.9
21.0	230.8	273.1	184.9	236.9	214.7	204.0	256.7	147.9
21.5	237.4	280.2	189.8	242.2	219.8	209.4	262.2	152.6
22.0	243.9	287.3	194.7	247.6	225.0	215.0	267.5	157.6
22.5	250.5	294.1	199.5	252.9	230.0	220.4	272.5	162.5
23.0	256.9	301.0	204.2	258.1	235.0	225.8	277.5	167.6
23.5	263.5	307.9	209.1	263.4	240.0	231.2	282.5	172.7
24.0	269.8	314.6	213.9	268.7	245.0	236.6	287.3	177.6
24.5	276.1	321.3	218.7	273.8	250.0	242.0	292.3	182.8
25.0	282.4	327.9	223.5	279.0	254.8	247.3	297.0	187.9
25.5	288.7	334.4	228.3	284.0	259.6	252.6	301.6	192.9
26.0	294.8	340.9	233.0	289.1	264.6	258.0	306.3	197.9
26.5	300.9	347.3	237.7	294.1	269.2	263.2	311.0	203.1
27.0	307.1	353.7	242.4	299.1	274.1	268.4	316.3	208.1
27.5	313.1	359.9	247.1	304.1	278.7	273.6	320.8	213.0
28.0	319.0	366.1	251.6	308.9	283.4	278.9	325.3	218.0
28.5	325.0	372.2	256.3	313.9	288.0	284.0	329.6	222.9
29.0	330.9	378.3	260.9	318.7	292.7	289.1	333.9	227.9
29.5	336.8	384.3	265.5	323.5	297.4	294.2	338.4	232.9
30.0	342.6	390.2	270.0	328.4	302.0	299.3	342.5	237.7
30.5	348.4	396.1	274.7	333.3	306.5	304.2	346.8	242.6
31.0	354.0	401.9	279.3	338.2	311.3	309.3	351.6	247.5
31.5	359.7	407.6	284.0	343.1	315.8	314.4	355.7	252.4
32.0	365.4	413.3	288.5	347.8	320.4	319.3	359.9	257.3
32.5	370.9	418.9	293.2	352.6	325.0	324.2	364.1	262.1
33.0	376.4	424.4	297.7	357.3	329.5	329.2	368.0	266.8
33.5	381.8	430.0	302.2	362.1	334.1	334.1	372.4	271.8
34.0	387.2	435.3	306.7	366.7	338.5	339.0	376.7	276.5
34.5	392.7	440.9	311.3	371.3	343.1	343.9	380.9	281.3
35.0	397.9	446.1	315.7	375.9	347.6	348.7	385.1	286.1
35.5	403.1	451.3	320.1	380.5	352.0	353.4	389.4	290.8
36.0	408.4	456.6	324.6	385.2	356.4	358.3	393.6	295.5

附錄四 加溫試驗鋼梁表面熱電偶測點數據表

36.5	413.6	461.7	329.1	389.6	360.9	363.1	397.8	300.2
37.0	418.6	466.7	333.4	394.2	365.4	367.7	401.6	304.9
37.5	423.7	471.7	337.9	398.6	370.0	372.5	405.8	309.5
38.0	428.7	476.8	342.1	403.0	374.3	377.0	409.7	314.1
38.5	433.6	481.5	346.4	407.4	378.7	381.7	413.6	318.6
39.0	438.6	486.5	350.8	411.9	383.1	386.3	417.6	323.3
39.5	443.6	491.4	355.1	416.1	387.4	390.9	421.4	327.8
40.0	448.4	496.3	359.4	420.5	391.7	395.5	425.3	332.3
40.5	453.3	501.1	363.7	424.9	395.8	400.0	429.5	336.8
41.0	458.1	505.8	368.1	429.0	400.0	404.5	433.3	341.3
41.5	462.8	510.4	372.4	433.3	404.2	408.9	437.4	345.7
42.0	467.4	515.0	376.7	437.5	408.3	413.4	441.7	350.1
42.5	472.0	519.6	381.0	441.7	412.6	418.0	445.7	354.6
43.0	476.6	524.5	385.2	445.8	416.8	422.3	449.7	358.9
43.5	481.2	529.0	389.5	450.0	421.0	426.7	453.6	363.2
44.0	485.7	533.7	393.4	454.1	425.0	431.0	457.6	367.4
44.5	490.2	538.1	397.5	458.1	429.0	435.3	461.4	371.6
45.0	494.6	542.1	401.4	462.1	432.9	439.6	465.0	375.9
45.5	499.1	546.0	405.8	466.1	436.9	443.8	468.6	380.4
46.0	503.5	550.1	410.2	470.1	440.9	448.1	472.2	385.0
46.5	508.0	554.4	414.5	474.1	444.7	452.2	476.1	388.8
47.0	512.8	558.7	418.2	477.9	448.7	456.3	479.6	392.7
47.5	517.2	562.9	421.8	481.7	452.5	460.4	483.0	396.6
48.0	521.6	567.0	425.4	485.6	456.2	464.6	486.6	400.6
48.5	526.3	571.0	429.1	489.5	459.8	468.6	490.1	404.5
49.0	530.8	575.0	432.9	493.4	463.5	472.6	493.1	408.5
49.5	535.2	579.1	436.9	497.3	467.4	476.7	496.8	412.7
50.0	539.3	583.1	440.5	501.0	470.8	480.6	500.3	416.4
50.5	543.2	586.8	444.3	504.8	474.7	484.6	504.2	420.4
51.0	547.0	590.7	447.9	508.4	478.3	488.5	507.9	424.2
51.5	550.5	594.6	451.7	512.3	482.0	492.3	511.6	428.0
52.0	553.9	598.3	455.4	515.8	485.7	496.3	515.3	431.9
52.5	557.6	602.0	459.0	519.5	489.2	500.0	518.3	435.6
53.0	561.1	605.5	462.5	523.0	492.8	503.8	521.9	439.4
53.5	564.9	609.1	466.2	526.7	496.4	507.6	524.4	443.2
54.0	568.6	612.5	469.7	530.2	500.0	511.4	526.7	447.0
54.5	572.3	615.9	473.3	533.7	503.7	515.1	528.6	450.7
55.0	576.0	619.2	477.0	537.2	507.4	518.9	531.4	454.5
55.5	579.9	622.6	480.4	540.5	510.8	522.5	534.6	458.2

56.0	583.3	625.7	484.0	544.0	514.6	526.3	538.3	462.0
56.5	586.9	629.0	487.5	547.4	518.0	529.8	542.1	465.6
57.0	590.4	632.2	490.9	550.7	521.5	533.4	546.0	469.2
57.5	593.9	635.4	494.4	553.9	524.9	537.0	549.8	472.9
58.0	597.6	638.6	497.8	557.1	528.4	540.5	553.9	476.3
58.5	601.2	641.7	501.1	560.4	531.7	543.9	557.4	479.7
59.0	604.5	644.7	504.5	563.6	535.3	547.5	560.8	483.3
59.5	607.9	647.9	507.9	566.8	538.8	551.0	564.0	486.8
60.0	611.0	650.9	511.0	569.8	542.0	554.2	566.3	490.1
60.5	614.2	654.0	514.4	572.9	545.5	557.8	569.0	493.5
61.0	617.2	656.9	517.8	575.9	548.9	561.2	572.1	496.9
61.5	620.0	659.9	521.2	579.1	552.3	564.6	576.1	500.4
62.0	623.1	662.9	524.4	582.1	555.7	567.9	579.9	503.7
62.5	626.0	665.9	527.6	585.0	558.9	571.1	583.4	506.9
63.0	628.9	668.7	530.8	587.9	562.2	574.3	586.6	510.3
63.5	631.8	671.5	534.0	590.9	565.5	577.7	590.3	513.6
64.0	634.7	674.4	537.2	593.8	568.8	580.9	593.2	516.9
64.5	637.5	677.1	540.3	596.7	572.0	584.0	596.4	520.1
65.0	640.4	679.8	543.4	599.5	575.2	587.1	599.5	523.3
65.5	643.5	682.6	546.6	602.3	578.2	590.3	602.8	526.5
66.0	646.4	685.4	549.6	605.2	581.3	593.3	606.2	529.7
66.5	649.2	687.9	552.8	608.0	584.3	596.4	609.1	532.9
67.0	652.0	690.7	555.8	610.7	587.1	599.4	612.1	536.0
67.5	654.6	693.3	558.9	613.7	590.1	602.6	615.4	539.3
68.0	657.3	695.9	562.0	616.5	593.1	605.7	618.7	542.4
68.5	660.3	698.5	564.9	619.2	595.8	608.6	621.8	545.5
69.0	663.1	701.1	567.9	621.9	598.8	611.3	624.7	548.5
69.5	665.7	703.5	570.8	624.6	601.7	614.2	627.7	551.5
70.0	668.5	706.1	573.8	627.1	604.3	617.0	630.6	554.5
70.5	671.0	708.5	576.8	629.9	607.2	619.9	633.6	557.6
71.0	673.6	711.0	579.6	632.5	609.8	622.8	636.7	560.6
71.5	676.2	713.4	582.6	635.1	612.4	625.5	637.6	563.5
72.0	678.7	715.8	585.4	637.6	615.0	628.3	640.2	566.6
72.5	681.2	718.1	588.3	640.2	617.7	631.1	642.7	569.4
73.0	683.7	720.5	591.1	642.7	620.5	633.8	645.3	572.3
73.5	685.9	722.8	593.9	645.3	623.2	636.6	647.9	575.1
74.0	688.3	725.1	596.6	647.9	626.1	639.3	650.4	578.0
74.5	690.7	727.4	599.5	650.4	629.1	642.1	652.7	580.9
75.0	692.8	729.6	602.2	652.7	631.6	644.6	688.3	583.7

附錄四 加溫試驗鋼梁表面熱電偶測點數據表

75.5	695.0	731.4	605.0	655.4	634.2	647.4	690.7	586.5
76.0	697.0	732.9	607.7	657.7	636.9	650.1	692.8	589.3
76.5	699.0	734.1	610.3	660.1	639.4	652.7	695.0	592.0
77.0	701.0	735.0	612.9	662.5	642.0	655.4	697.0	594.7
77.5	703.0	736.1	615.6	664.8	644.6	658.1	699.0	597.4
78.0	705.0	737.2	618.1	667.1	647.3	660.6	701.0	600.1
78.5	707.0	738.4	620.8	669.3	649.8	663.2	703.0	602.7
79.0	709.0	739.7	623.3	671.7	652.4	665.9	705.0	605.4
79.5	711.0	741.2	625.7	674.0	654.8	668.7	707.0	608.0
80.0	712.8	742.8	628.4	676.3	657.3	671.1	709.9	610.5
80.5	714.6	744.3	630.9	678.3	660.0	673.9	706.5	613.2
81.0	716.5	746.0	633.3	680.7	662.4	676.6	704.8	615.7
81.5	717.9	747.6	635.9	682.9	664.8	678.7	705.2	618.4
82.0	719.8	749.3	638.3	685.0	667.1	681.2	704.8	620.8
82.5	721.5	750.9	640.8	687.2	669.5	683.8	705.4	623.3
83.0	723.0	752.7	643.2	689.3	671.9	686.2	706.5	625.8
83.5	724.7	754.3	645.5	691.5	674.3	689.0	708.5	628.3
84.0	726.8	756.1	647.9	693.5	676.7	692.3	710.7	630.8
84.5	727.6	757.5	650.2	695.5	678.9	694.3	712.3	633.2
85.0	729.0	759.2	652.5	697.8	681.0	697.7	714.2	635.6
85.5	729.6	760.7	654.8	699.8	683.3	700.1	714.9	638.0
86.0	730.2	762.3	657.1	701.8	685.4	702.6	715.4	640.4
86.5	730.2	763.8	659.2	703.7	687.4	704.6	715.4	642.7
87.0	731.0	765.6	661.4	705.6	689.3	706.7	715.7	645.0
87.5	732.0	767.4	663.6	707.3	691.3	709.6	716.0	647.4
88.0	732.6	769.1	665.6	684.1	693.4	711.6	716.6	649.6
88.5	733.8	770.8	667.4	685.9	695.4	714.4	717.7	651.9
89.0	734.9	772.1	669.2	688.1	697.4	716.7	718.4	654.1
89.5	735.0	773.7	670.9	690.2	699.2	717.2	719.7	656.3
90.0	736.0	775.2	672.7	692.2	701.4	721.1	720.6	658.6
90.5	736.6	776.8	674.3	693.9	703.2	722.3	721.5	660.7
91.0	737.6	778.1	676.3	695.8	705.3	723.8	722.5	662.8
91.5	738.1	779.1	678.3	697.6	707.2	725.3	723.7	664.8
92.0	739.2	780.7	680.2	699.3	709.3	726.8	724.9	666.9
92.5	739.9	781.6	682.2	701.0	711.2	728.2	725.8	668.8
93.0	740.8	783.0	684.1	702.6	712.8	729.2	726.4	670.9

	斷面 5 熱電偶測點溫度(°C)			
時間 (分)	5A	5B	5C	5D
0.0	36.5	36.4	36.5	36.9
0.5	36.6	36.6	36.6	37.0
1.0	36.6	36.6	36.7	37.1
1.5	37.1	37.3	37.4	38.2
2.0	38.1	38.8	38.5	40.0
2.5	40.0	40.8	40.3	42.3
3.0	42.0	42.8	42.0	44.5
3.5	44.0	44.8	44.0	46.4
4.0	46.5	47.2	46.4	48.8
4.5	49.0	49.3	48.9	51.2
5.0	51.5	51.7	51.6	53.9
5.5	54.3	54.0	54.8	56.8
6.0	57.3	56.5	58.2	59.9
6.5	60.4	59.0	61.8	63.1
7.0	63.7	61.8	65.7	66.6
7.5	67.2	65.1	69.8	70.2
8.0	70.8	68.5	74.0	74.1
8.5	74.5	71.9	78.2	78.2
9.0	78.2	75.5	82.4	82.1
9.5	82.1	79.2	86.7	86.3
10.0	86.0	83.1	90.9	90.4
10.5	89.9	87.0	94.8	94.5
11.0	94.0	90.8	98.0	98.4
11.5	97.6	94.5	101.0	101.7
12.0	101.0	97.9	103.5	104.0
12.5	103.8	101.4	106.2	106.2
13.0	106.2	104.1	109.9	108.5
13.5	107.9	105.7	113.7	110.4
14.0	109.8	106.9	117.3	113.5
14.5	112.8	109.8	120.9	118.0
15.0	117.4	113.9	125.0	122.9
15.5	123.3	117.4	129.3	128.2
16.0	129.2	121.6	134.2	133.7
16.5	134.9	126.1	139.2	139.3

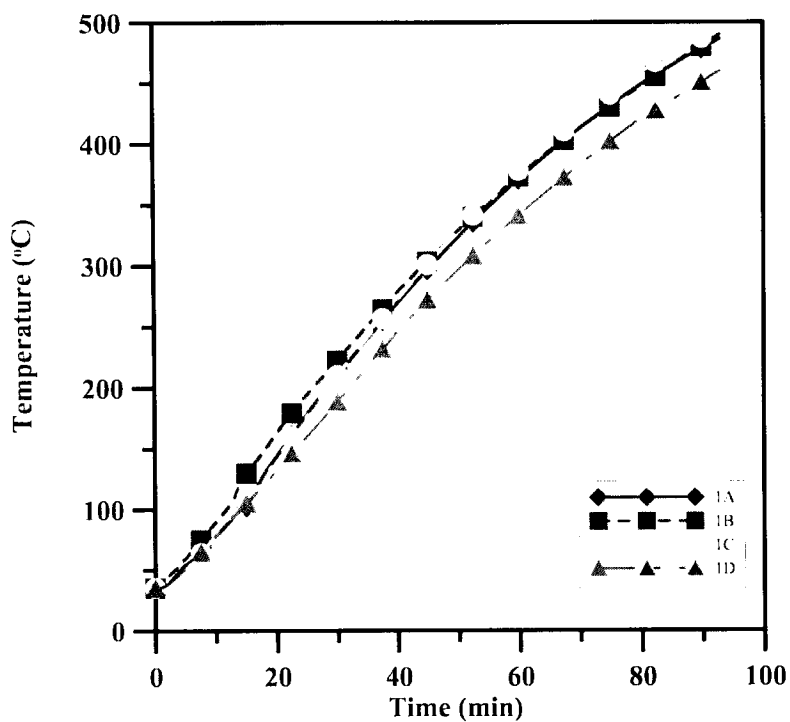
附錄四 加溫試驗鋼梁表面熱電偶測點數據表

17.0	140.3	130.7	144.3	145.2
17.5	146.0	135.1	149.7	151.0
18.0	151.4	139.8	155.2	156.7
18.5	156.9	144.4	160.6	162.4
19.0	162.4	149.2	166.0	168.1
19.5	168.0	154.1	171.7	173.8
20.0	173.5	158.9	177.2	179.5
20.5	179.1	163.8	182.9	185.3
21.0	184.7	168.7	188.3	190.8
21.5	190.1	173.7	194.0	196.5
22.0	195.8	178.8	199.6	202.1
22.5	201.4	183.9	205.2	207.8
23.0	207.0	189.0	210.6	213.3
23.5	212.5	194.0	216.3	219.0
24.0	218.1	199.3	221.7	224.5
24.5	223.6	204.4	227.2	230.2
25.0	229.2	209.4	232.7	235.6
25.5	234.7	214.6	238.0	241.1
26.0	240.3	219.7	243.5	246.5
26.5	245.7	224.9	248.9	251.9
27.0	251.2	229.9	254.2	257.4
27.5	256.5	235.0	259.5	262.6
28.0	261.9	240.0	264.7	268.0
28.5	267.2	245.1	270.0	273.3
29.0	272.5	250.0	275.1	278.6
29.5	277.8	254.9	280.4	283.9
30.0	283.0	259.9	285.5	289.1
30.5	288.1	264.8	290.7	294.4
31.0	293.2	269.8	295.8	299.9
31.5	298.3	274.7	300.9	305.1
32.0	303.3	279.4	305.9	310.4
32.5	308.3	284.3	310.9	315.5
33.0	313.0	289.1	316.0	320.7
33.5	318.1	294.0	321.1	325.8
34.0	322.9	298.8	326.0	330.9
34.5	327.7	303.5	331.0	335.9
35.0	332.5	308.3	335.9	341.0
35.5	337.3	312.9	340.7	345.8
36.0	342.0	317.5	345.6	350.7

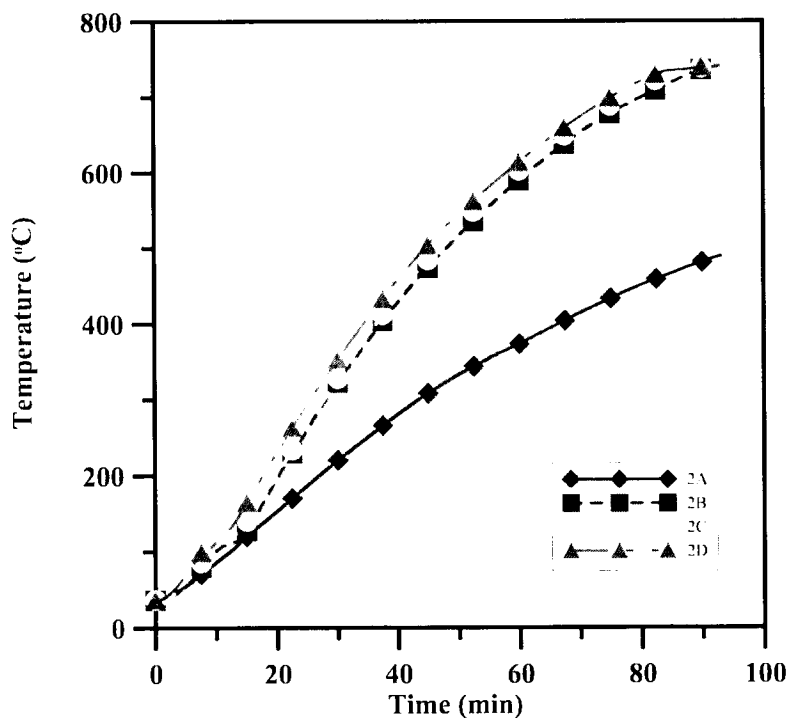
36.5	346.9	322.3	350.3	355.7
37.0	351.6	326.8	355.2	360.4
37.5	356.4	331.5	360.0	365.2
38.0	361.0	335.9	364.6	370.0
38.5	365.7	340.5	369.5	374.9
39.0	370.5	345.1	374.1	379.5
39.5	375.0	349.4	378.7	384.3
40.0	379.7	353.8	383.2	388.8
40.5	384.2	358.2	387.7	393.5
41.0	388.7	362.5	392.5	398.0
41.5	393.2	366.9	396.9	402.7
42.0	397.7	371.6	401.6	407.2
42.5	402.1	376.5	406.2	411.6
43.0	406.6	381.8	410.6	416.0
43.5	410.9	387.4	414.8	420.5
44.0	415.3	393.3	419.1	424.7
44.5	419.7	399.5	423.2	429.0
45.0	424.1	405.8	427.4	433.3
45.5	428.3	412.4	431.5	437.6
46.0	432.6	417.0	435.6	441.9
46.5	436.8	421.7	439.7	446.1
47.0	441.0	426.0	443.6	450.2
47.5	445.1	430.8	447.7	454.4
48.0	449.3	434.4	451.8	458.6
48.5	453.3	438.0	455.9	462.7
49.0	457.5	441.0	460.1	466.7
49.5	461.7	443.7	464.2	470.9
50.0	465.5	447.0	468.0	474.9
50.5	469.6	449.7	472.1	478.9
51.0	473.6	453.0	476.1	482.8
51.5	477.4	456.8	479.9	486.7
52.0	481.3	460.8	483.7	490.6
52.5	485.2	464.4	487.6	494.5
53.0	489.0	467.4	491.4	498.4
53.5	492.9	471.0	495.3	502.2
54.0	496.6	474.5	499.0	506.0
54.5	500.4	478.2	502.9	509.8
55.0	504.2	481.6	506.7	513.6
55.5	507.9	484.9	510.2	517.2

56.0	511.6	488.5	514.1	521.0
56.5	515.3	491.7	517.7	524.6
57.0	519.0	495.3	521.3	528.2
57.5	522.7	498.9	524.9	531.8
58.0	526.3	502.6	528.4	535.3
58.5	529.9	506.3	531.9	538.9
59.0	533.5	510.1	535.4	542.4
59.5	537.1	513.9	539.0	545.9
60.0	540.5	517.3	542.4	549.4
60.5	544.0	521.2	545.8	552.8
61.0	547.6	525.0	549.3	556.4
61.5	551.1	528.7	552.6	559.9
62.0	554.5	532.3	556.0	563.3
62.5	557.7	535.7	559.1	566.6
63.0	561.0	538.9	562.4	569.9
63.5	564.3	542.0	565.7	573.3
64.0	567.7	545.1	569.0	576.6
64.5	571.0	548.0	572.1	579.9
65.0	574.2	551.0	575.3	583.1
65.5	577.4	553.9	578.3	586.4
66.0	580.4	556.9	581.5	589.6
66.5	583.4	559.7	584.5	592.8
67.0	586.3	562.4	587.5	595.8
67.5	589.4	565.4	590.8	599.0
68.0	592.3	568.4	593.9	602.1
68.5	595.2	571.1	596.8	605.1
69.0	598.0	574.0	599.6	608.1
69.5	600.9	577.1	602.5	611.0
70.0	603.8	580.0	605.4	613.9
70.5	606.6	583.2	608.2	616.8
71.0	609.5	586.2	611.0	619.7
71.5	612.3	589.5	613.9	622.7
72.0	615.1	592.6	616.7	625.5
72.5	618.0	595.7	619.4	628.2
73.0	620.8	598.8	622.2	631.1
73.5	623.5	601.6	624.9	633.7
74.0	626.3	604.6	627.7	636.4
74.5	629.2	608.0	630.5	639.1
75.0	631.7	610.5	633.1	641.6

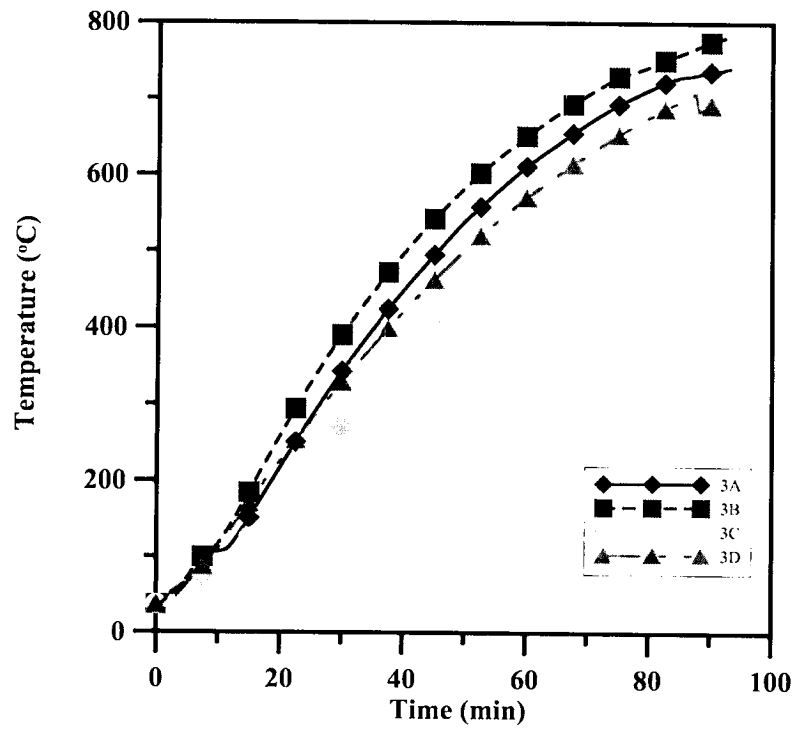
75.5	634.5	612.9	635.9	644.1
76.0	637.1	615.9	638.6	646.6
76.5	639.6	618.6	641.4	649.1
77.0	642.0	621.1	644.1	651.6
77.5	644.6	624.0	646.7	654.1
78.0	647.1	626.8	649.4	656.5
78.5	649.6	629.5	652.0	659.0
79.0	652.1	632.3	654.8	661.5
79.5	654.6	635.0	657.8	663.9
80.0	656.9	637.5	660.4	666.3
80.5	659.3	640.0	663.2	668.7
81.0	661.7	642.5	666.1	671.1
81.5	664.1	645.2	668.6	673.6
82.0	666.3	647.4	671.3	675.9
82.5	668.6	649.9	674.1	678.3
83.0	670.9	652.2	676.8	680.6
83.5	673.2	655.0	679.7	683.0
84.0	675.5	657.6	683.3	685.3
84.5	677.7	660.1	685.9	687.5
85.0	679.9	662.1	689.3	689.8
85.5	682.2	665.0	692.1	692.1
86.0	684.4	667.6	694.8	694.3
86.5	686.4	670.3	696.8	696.4
87.0	688.4	672.7	699.5	698.6
87.5	690.4	675.1	702.7	700.7
88.0	692.6	677.7	704.8	702.8
88.5	694.7	680.4	708.2	705.0
89.0	697.0	683.3	713.7	707.0
89.5	699.0	686.7	717.4	708.9
90.0	701.0	688.4	718.9	710.8
90.5	703.2	690.5	720.5	712.5
91.0	705.3	692.8	722.1	714.5
91.5	707.8	695.1	723.2	716.4
92.0	710.0	697.6	724.8	718.2
92.5	711.9	700.4	725.9	719.9
93.0	713.6	702.8	727.1	721.7



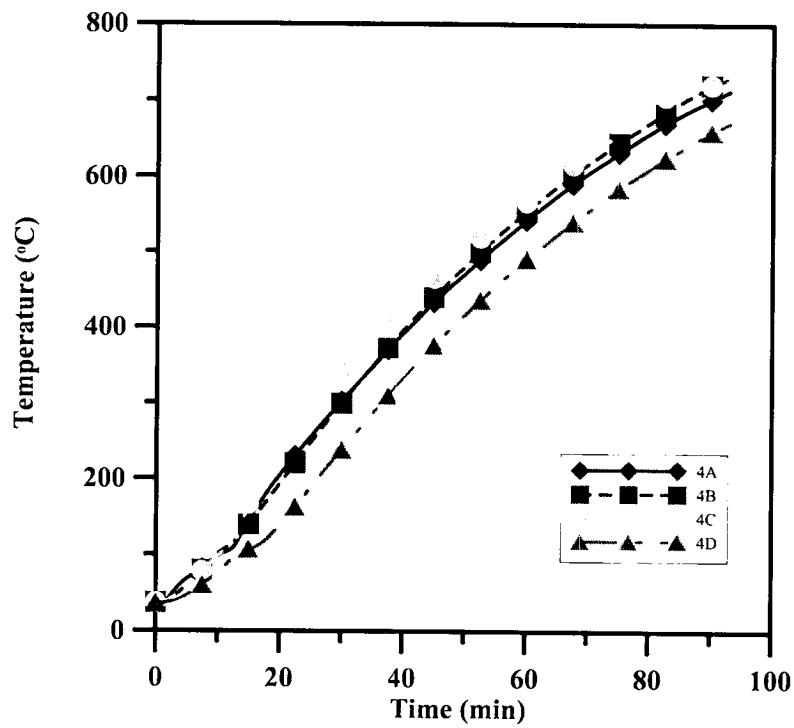
附錄四圖 11 試體 3 之斷面 1 時間與溫度關係圖



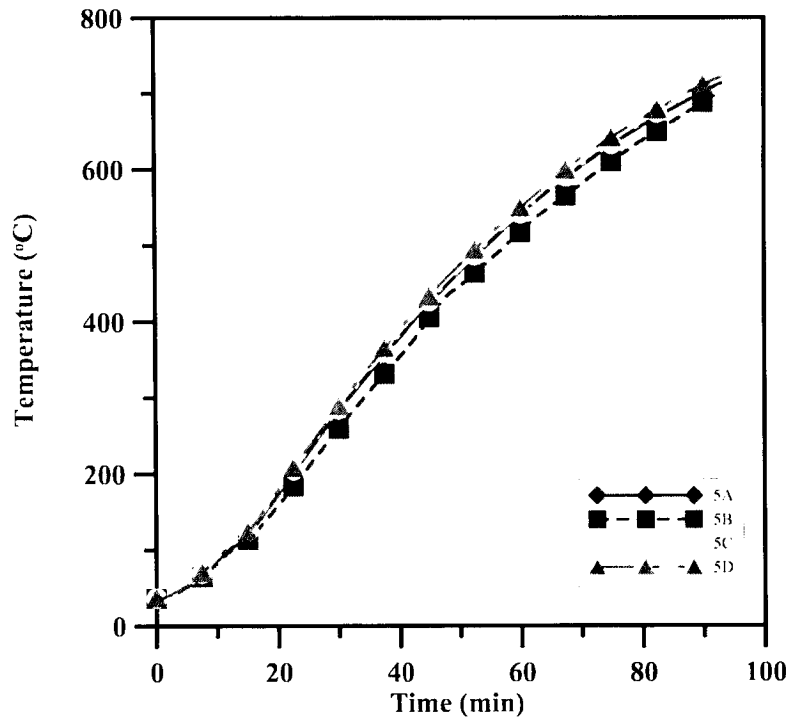
附錄四圖 12 試體 3 之斷面 2 時間與溫度關係圖



附錄四圖 13 試體 3 之斷面 3 時間與溫度關係圖



附錄四圖 14 試體 3 之斷面 4 時間與溫度關係圖



附錄四圖 15 試體 3 之斷面 5 時間與溫度關係圖

參考書目

- ABAQUS (2000), ABAQUS/Explicit User's Manual. Hibbitt, Karlsson & Sorensen, Inc., Version 6.1.
- BS 476 Part 8 (1972), Fire tests on building materials and structures – Part 8: Test methods and criteria for the fire resistance of elements of building construction.
- BS 476 Part 20 (1987), Fire tests on building materials and structures – Part 20: Method of determination of the fire resistance of elements of construction (general principles).
- BS 476 Part 21 (1987), Fire tests on building materials and structures – Method for determination of the fire resistance of load bearing elements of construction.
- Buchanan, A., Moss, P., Seputro, J., Welsh, R. (2004), The effect of stress-strain relationships on the fire performance of steel beams, *Engineering Structures*, Vol. 26 pp. 1505-1515.
- Dharma, R. B. and Tan, K. H. (2005), A numerical study of rotational capacity of steel beams in fire, *Advances in Steel Structures*, Vol. 2.
- Eurocode 3 (2005), Design of Steel Structures—Part 1.2 : General rules – structural fire design.
- Ghojel, J. I., and Wong, M. B. (2005), Three-sided heating of I-beams in composite construction exposed to fire, *Journal of Constructional Steel Research*, Vol. 61 pp. 834-844.
- Guedes, S. C., Gordo, J.M., Teixeira, A.P. (1998) Elasto-plastic behavior of plates subjected to heat loads, *Journal of Constructional Steel Research*, Vol. 45, pp. 179-198.

- ISO 834-1 (1999), Fire-resistance tests – elements of building construction – Part 1: General requirements.
- Liew, J.Y.R., Tang L.K., Holmaas, Tore, Choo, Y.S. (1998) “Advanced analysis for the assessment of steel frames in fire,” *Journal of Constructional Steel Research*, Vol. 47, pp. 19-45.
- Liu, T.C.H. (1999) “Fire resistance of unprotected steel beams with moment connections,” *Journal of Constructional Steel Research*, Vol. 51, pp. 61-77.
- Liu, T.C.H., Fahad M.K., Davies J.M. (2002) Experimental investigation of behavior of axially restrained steel beams in fire, *Journal of Constructional Steel Research*, Vol. 58, pp. 1211-1230.
- Li, G. Q., Wang, W. Y., Chen, S. W. (2007), A simple approach for modeling fire-resistance of steel columns with locally damaged fire protection, *Journal of Constructional Steel Research*, Vol. 63 pp. 1127-1137.
- Rubert, A. and Schaumann, P. (1986), Structural steel and plane frame assemblies under fire action, *Fire Safety Journal*, Vol. 10 pp. 173-184.
- Touloukian, Y.S., Kirby, R.K., Taylor, R.E., and Desai, P.D. (1977) *Thermal expansion metallic elements and alloys*. IFI/Plenum. New York, NY.
- UL 263 (2003), *Fire Tests of building construction and materials*. Underwriters Laboratories Inc.
- Yang, K.-C., Chen, S.-J., Lin, C.-C., and Lee, H.-H. (2005) Experimental study on local buckling of fire-resisting steel columns under fire load. *Journal of Constructional Steel Research*, Vol. 61, 553-565.
- Zhao, J.C., Shen Z.Y. (1999)“Experimental studies of the behavior of

unprotected steel frames in fire,” Journal of Constructional Steel Research, Vol. 50, pp. 137-150.

「建築物構造部分耐火試驗法」(1997)，中華民國國家標準 CNS 12514。經濟部標準檢驗局。

林慶元、林銅柱(1993)，「鋼骨結構耐火被覆材檢驗基準研究」，內政部建築研究所籌備處專題研究計畫成果報告。

許獻鐘(2003)，「高溫中鋼結構行為之研究」，朝陽科技大學營建工程系碩士論文，金文森指導。

鄭紹材(2007)，「建築物結構耐火技術之研究(I)－建築物鋼結構防火被覆耐火性能評估與驗證機制之研究」，內政部建築研究所委託研究報告。

林振吉(2008)，「H型梁-箱型柱彎矩接頭之火害行為研究」，國立成功大學土木工程研究所碩士論文，邱耀正指導。

鋼梁構造以不同性能基準判定耐火性能之研究

出版機關：內政部建築研究所

電話：(02) 89127890

地址：台北縣新店市北新路三段 200 號 13 樓

網址：<http://www.abri.gov.tw>

編者：趙文成、陳誠直

出版年月：98 年 12 月

版次：第 1 版

ISBN：978-986-02-1451-2 (平裝)

ISBN : 978-986-02-1451-2