

內政部建築研究所籌備處專題研究計劃成果報告

計劃名稱：鋼骨結構耐火被覆材檢驗基準研究

執行期間：81年07月01日至82年06月30日

鋼骨結構耐火被覆材檢驗基準研究

計劃主持人：林慶元

共同主持人：林銅柱

顧問：蔡金木

專任助理：蘇蕊芬

研究助理：鄭紹材

研究助理：唐益楚

研究助理：黃育智

研究助理：劉叔松

執行單位：財團法人台灣營建研究中心

中華民國八十二年七月三十一日

鋼骨結構耐火被覆材

檢驗基準研究

成果報告書

鋼骨結構耐火被材檢驗基準研究

摘 要

本研究之目的在如何利用國內現有檢驗設備來建立起小尺度鋼骨結構耐火被覆材料之檢驗基準，並探討大、小尺度耐火試驗結果之相關性，以期利用小尺度耐火試驗之試驗結果來有效控制全尺度耐火被覆材料之安全與可靠性，並同時建立起標準檢驗規範及判定鋼骨結構耐火被覆材料性能之基準。

本研究首先就國內鋼骨表面處理、塗裝及耐火被覆材料的使用現況進行調查，同時也就國內現有檢驗設備進行調查以了解現行檢驗基準的適用情形。

接著就不同尺度耐火試驗的相關關係進行理論探討，以斷面展開的概念及斷面形狀因子來表示兩者間的關連性，進而以(1)6根1.5M長被覆不同厚度耐火材料之鋼樑試體(2)等價被覆之鋼版試體(3)UL全尺度試體之耐火試驗結果來驗證。

最後以上述理論模式與試驗結果之關連及限制，建立起以小尺度試體檢驗耐火被覆材料耐火性能之試驗方法與判定基準。

Examining Standard for Fireproof Coating Materials of Steel Structures

ABSTRACT

The purpose of this study is to establish the examining standard for fireproof coating materials of small scale steel structures by making use of the current local examining equipments. In addition, the relationship between the test results of big and small scale fireproof tests will be studied, and the test results of small one will be used to efficiently control the safety and reliability of the whole-scale fireproof coating materials. Standard methods for testing and judging the properties of fireproof coating materials of steel structures are expected to establish simultaneously.

This starts from the investigation on steel surface management painting, and packing and the domestic usage of fireproof coating materials. Besides, inspection on the current local examining equipment is undertaken to understand the application of existing examining standard.

Next, the relationships between different fireproof tests are theoretically studied, and concept of sectional extension and sectional shape factors are used to explain their interrelationship. Then, the above event will be verified by (1) 6 steel beams of 1.5 M with coating materials of different thickness, (2) isovaluable coating board specimen, and (3) fireproof test result of UL whole scale specimen.

Finally, based on above theoretical model, relationship and restriction between test results, test method for examining the fireproof properties of small scale fireproof coating material and judging standard are established.

目 錄

第一章	緒論	1
1-1	研究動機與目的	1
1-2	研究範圍及內容	2
1-3	研究架構及方法	2
第二章	國內耐火被覆材料現況調查 (包括現行檢驗基準之探討)	4
2-1	國內現有檢驗設備之調查	4
2-2	國內現有耐火被覆材料之調查	10
2-3	國內現有鋼骨表面處理與塗裝之調查	16
2-4	現有檢驗基準的檢討	20
第三章	不同尺度耐火試驗相關關係之探討	22
3-1	斷面形狀因子之檢討	22
3-2	耐火構造斷面展開概念	29
3-3	不同尺度間可能相關關係	32
3-4	相關關係之範圍及限制	34
第四章	被覆材料在不同試體上之耐火試驗	35
4-1	試驗設計與架構	35
4-2	試驗變數及設備	37
4-2-1	試驗變數	37
4-2-2	試驗設備	43
4-3	試驗方法及步驟	47
4-3-1	試驗方法	47
4-3-2	試驗步驟	47
4-4	試驗結果	50

4-5	試驗結果之檢討分析	58
4-5-1	分析方針與整理	58
4-5-2	分析與檢討	75
第五章	小尺度耐火被覆材料檢驗方法之擬議	77
5-1	適用範圍	77
5-2	試體	78
5-3	加熱爐	80
5-4	加熱等級	83
5-5	加熱試驗	86
5-6	判定與報告	87
第六章	結論與建議	91
6-1	結論	91
6-2	建議	91
參考文獻		94
附錄A	國內現有鋼骨耐火被覆材料及防銹塗裝調查問卷	
附錄B	國內現有鋼骨耐火被覆材料及防銹塗裝材料調查結果	
附錄C	美國保險業試驗室(UL) R4339-41 耐火試驗報告(節錄)	
附錄D	會議記錄	

第一章 緒論

1-1 研究動機與目的

爲因應快速成長的社會與都市發展，建築構造的量體不斷地在擴張，鋼骨材料因具備高韌性及低自重的優點，故已然成爲未來建築材料之主流。但鋼材在高溫的作用之下卻有強度遽降及材質軟化的缺點，因此在以鋼做爲結構材料時，不可不先考慮到火災發生時，高溫將破壞鋼骨構架之強度而可能危及使用者生命及財產的安全，因此，鋼骨建築的耐火被覆處理便成爲結構安全上的重要課題。目前國內鋼骨構架建築所選用之耐火被覆材料大多自國外引進，廠牌、種類及各種性質、性能等皆顯得繁雜且難以確定其實用性，而國內到目前爲止對於鋼骨之耐火被覆材料尚未有標準之檢驗設備，同時亦無適當之檢驗基準，雖然可獲得國外之相關檢驗資訊，但由於地理環境的不同，耐火被覆材料的特性也會有所差異。此時光靠國外相關文獻及各進口業者所提供之文件、圖說及實驗數據是不足以應付當前建築市場之進度及安全顧慮的，以致於主管機關現今仍停留在只能做簡單的耐火時效測試及書面審查，而無法有效監督或輔導業界開發出符合本國環境條件之耐火被覆材料。因此，建立簡捷有效的檢驗基準以應實務之需，應是目前建築防火安全上的研究重點。

就國內現況而言，欲建立全尺度標準之鋼骨耐火被覆材料檢驗設備，恐受各項外在因素之影響而曠廢時效，因此如何利用現有設備來建立適切的檢驗方法與基準乃是當務之急。

本研究目的在探討如何利用內政部建築研究所防火試驗室之壁式防火試驗爐及其他輔助實驗設備，來建立起小尺度鋼骨結構耐火被覆材料之檢驗基準，並探討大、小尺度耐火試驗結果之相關性，以期利用小尺度耐火試驗之試驗結果來有效控制全尺度耐火被覆材料之安全與可靠性，同時建立標準試驗方法及判定鋼骨結構耐火被覆材料性能之基準，以應當前之需。

1-2 研究範圍及內容

本計畫研究範圍以探討建築鋼骨構架耐火被覆材料之小尺度耐火試驗為主。因主要考量其安全性能，故試驗設計之範圍著重於柱樑構架在耐火被覆材料保護下之行爲異變，從而據以判定耐火被覆材之性能與等級。

至於研究內容，則包含下列幾點：

- (1) 鋼骨結構耐火被覆材料相關資料調查。
 1. 國內一般使用之鋼骨結構耐火被覆材料及施工方式調查。
 2. 國內現有可供進行耐火試驗設備之調查評估。
- (2) 鋼骨結構耐火被覆材料小尺度耐火試驗方法之建立。
 1. 進行鋼骨結構耐火被覆材料之小尺度耐火試驗。
 2. 比較小尺度耐火試驗與大尺度耐火試驗之相關因素，以利用小尺度耐火試驗模擬鋼骨結構耐火被覆材之大尺度試驗。
- (3) 建立小尺度耐火試驗基準，作為判定鋼骨結構耐火被覆材料性能檢驗之依據。

1-3 研究架構及方法

本計畫之研究架構如下：

1. 針對國內現有之耐火被覆材料之種類、性能、施工方式、代理廠商及國內現有之檢驗設備進行調查整理。
2. 依調查結果設計鋼骨結構耐火被覆材料之小尺度耐火試驗。
3. 比較建立大、小尺度耐火試驗相關因素之關係。
4. 評估小尺度耐火試驗結果，並加以檢討分析。
5. 建立以小尺度耐火試驗為鋼骨結構耐火被覆材之檢驗基準。
6. 報告之提出。

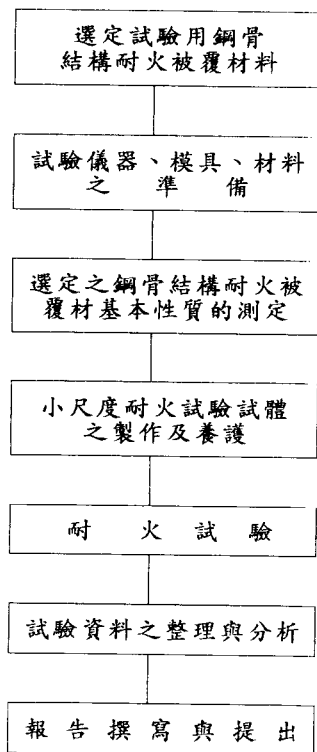
本研究之試驗方法以利用小尺度耐火試驗為主，選用此法主要原因如下：

- (1) 國內目前僅有一梁用全尺度之鋼骨結構耐火被覆材料之檢

驗設備，無法滿足社會需求。如何利用其他中小型設備，如內政部建研所防火試驗室防火門、牆用高溫爐等，研究建立鋼骨結構耐火被覆材料之小尺度耐火試驗來進行耐火性能判定應是可行之道，其不但經濟及節省時間、人力且可充分利用現有之設備。

- (2) 在未設置鋼骨結構耐火被覆材料之耐火性能檢驗用全尺度高溫試驗爐前，期能以小尺度耐火試驗做為日後檢驗之基準。

試驗方法之流程，則以流程圖示如下：



第二章 國內耐火被覆材料現況調查 (包括現行檢驗基準之探討)

2-1 國內現有檢驗設備之調查

國內擁有耐火材料構造試驗設備的機構，目前僅有二處，一處為台北縣五股內政部建築研究所籌備處防火試驗室，另一處為國立台灣工業技術學院營建系。

單 位	設 備	[長x寬x高] 外徑 (cm)	備 註
內政部建築研究所 籌備處防火試驗室	壁用耐火試驗爐	100*120*220	圖2-1、照片2-1
國立台灣工業技術 學院營建系	梁用耐火試驗爐	145*120*110	圖2-2、照片2-2
	汎用耐火試驗爐	420*120*140	圖2-3、照片2-3 照片2-4

各試驗爐概要分述如下：

(1) 壁用耐火試驗爐(內政部建築研究所籌備處防火試驗室)

可供用途：1. (分間) 防火牆的防火時效檢驗。

2. 防火門、窗的防火時效檢驗。

加熱尺寸：220cm*120cm(高*寬)

試體尺度：合乎CNS 12514(A3305)規定的B 尺度

(牆壁B 尺度 —— 高度180cm，寬度90cm以上)

加熱曲線：合乎CNS 12514(A3305)之標準升溫曲線。

(爐溫控制程式自動控制，可因應各國基準設定升溫曲線)。

加熱時間：最長3 小時，適用國內法令規定之各等級防火時效。

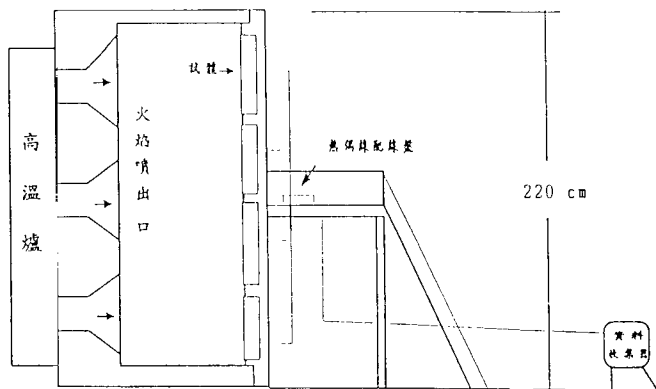


圖2-1 壁式耐火試驗爐示意圖

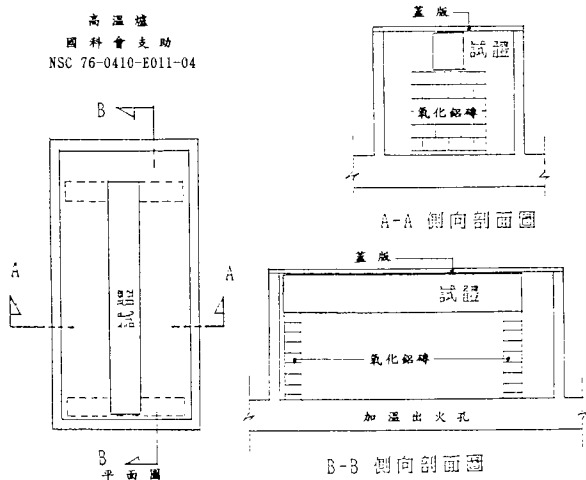
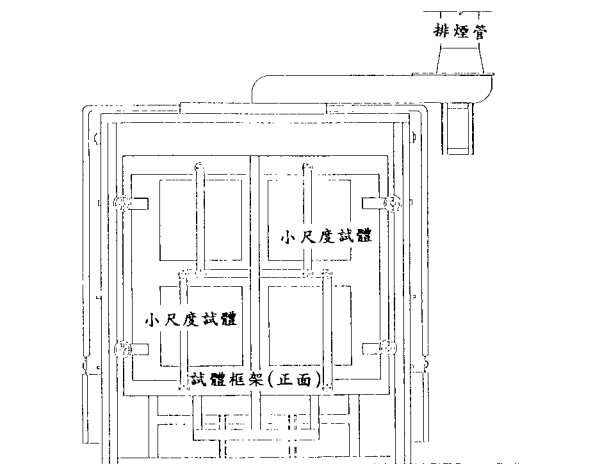
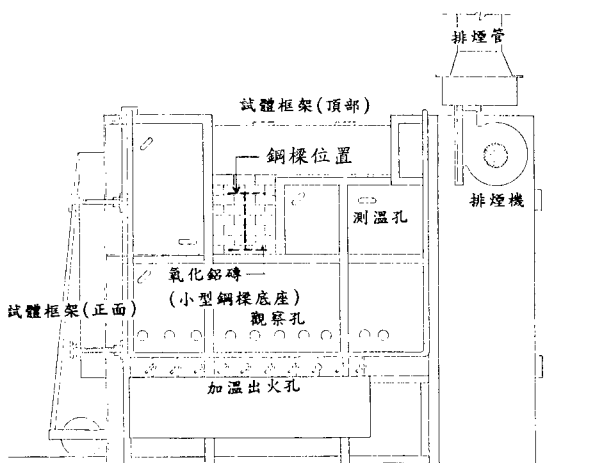


圖2-2 樑用耐火試驗爐示意圖

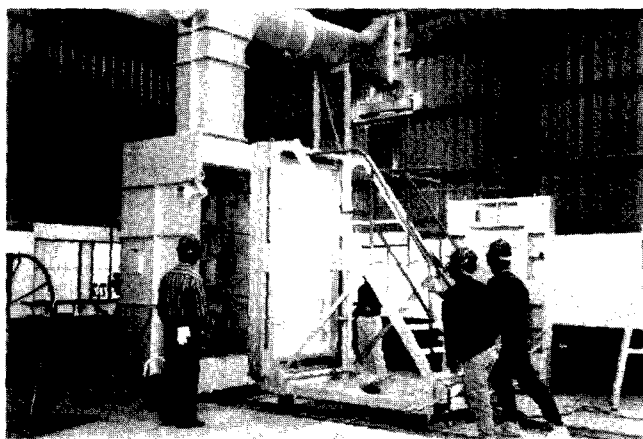


正向立面圖



側向立面圖

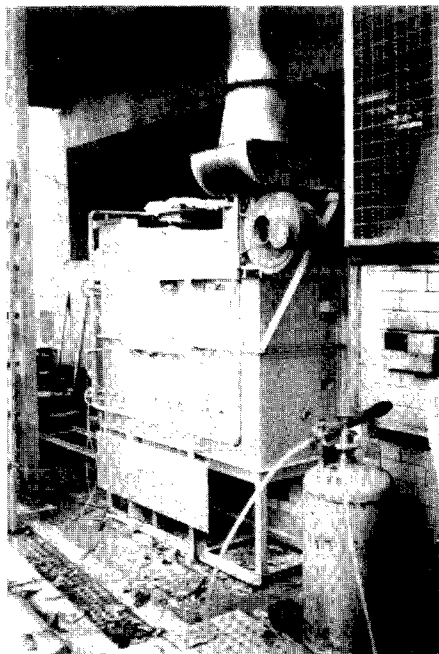
圖2-3 汎用耐火試驗爐示意圖



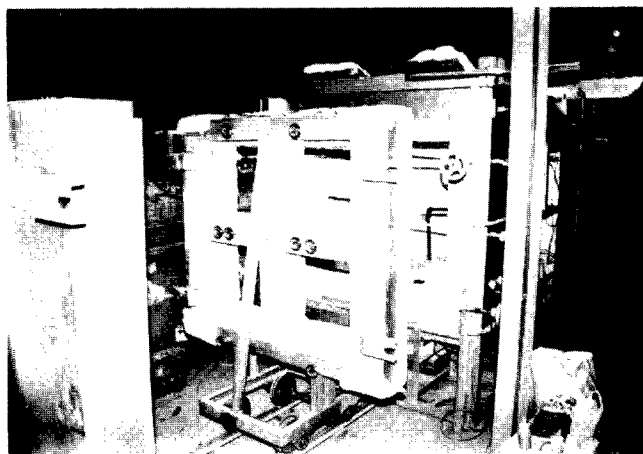
照片2-1 壁用耐火試驗爐



照片2-2 樑用耐火試驗爐



照片2-3 汎用耐火試驗爐(側面及排氣管)



照片2-4 汎用耐火試驗爐(正面及試體框架)

加載條件：目前不進行加載加熱試驗，僅供作非承重牆使用。（可因應需要設計加載框架，予以加載加熱試驗）

使用燃料：柴油（主熱源），都市瓦斯（副熱源）

爐內壁材：瓷陶纖維棉

(2) 梁用耐火試驗爐（國立台灣工業技術學院營建系）

可供用途：1. 梁的防火時效檢驗。

2. 樓板的防火時效檢驗。

3. 屋頂的防火時效檢驗。

加熱尺寸：1. 梁：350cm*60cm*100cm（長*寬*深）

2. 樓板、屋頂：420cm*120cm（長*寬）

試體尺度：1. 梁合乎CNS 12514(A3305)規定之A尺度

（梁A尺度——長度240cm以上）

2. 樓板、屋頂合乎CNS 12514(A3305)規定之B尺度

（樓板B尺度——長度180cm、寬度90cm以上）

（屋頂B尺度——長度180cm、寬度90cm以上）

加熱曲線：合乎CNS 12514(A3305)的標準升溫曲線。

（爐溫手動控制，可調整升溫曲線）

加熱時間：無時間限制，適用各等級防火時效。

加載條件：目前無法行加載加熱試驗。

使用燃料：LPG。

爐內壁材：耐火磚。

(3) 汎用耐火試驗爐（國立台灣工業技術學院營建系）

可供用途：1. 梁的防火時效檢驗。

2. 牆的防火時效檢驗。

3. 樓板與屋頂的防火性能檢驗。

加熱尺寸：1. 梁：150cm*30cm*40cm（長*寬*梁）

2. 牆：110cm*120cm（高*寬）

2.樓板、屋頂：120cm*120cm(長*寬)

試體尺度：1.梁合乎CNS 12514(A3305)規定之B 尺度

2.牆合乎CNS 12514(A3305)規定之C 尺度

加熱曲線：合乎CNS 12514(A3305)的標準升溫曲線。

(爐溫由程式自動控制，可調整升溫曲線)

加熱時間：無時間限制，適用各等級防火時效檢驗。

加載條件：目前無法進行加載加熱試驗。

(可因應需要設計加載框架，對梁或牆試體行加載加熱試驗)。

使用爐料：LPG。

爐內壁材：耐火磚為主，部份瓷陶纖維棉。

2-2 國內現有耐火被覆材料之調查

一、蒐集資料方式

(一)問卷調查：問卷調查設計問題之製作著重於簡單扼要，切合所需求資料。

(二)電話訪問：回收之問卷資料有缺漏，以電話訪問取得補充資料。

(三)拜訪廠商：遴選廠商，收集不同材料之施工方法及資料。

(四)內政部建研所審核資料：由廠商所提送內政部建研所審核之文件中，擷取調查所需資料。

二、問卷調查對象

國內較具主導性之耐火被覆材料代理商，且以噴覆方式施工者。

三、問卷型式

如附錄A-1，針對所需調查要點，進行詢問。

四、問卷回函整理

(一) 問卷回收率

項 目	蒐 集 狀 況	佔全部項目百分率(%)
(一) 問卷調查	寄出件數	19
	回收件數	6
	回收率(%)	32
(二) 電話訪問	訪問廠商家數	5
(三) 拜訪廠商	拜訪廠商家數	3
(四) 內政部建研所 審核資料	擷取資料之廠 家數	11
		44

(二) 資料歸納與分析

耐火被覆材料成份與施工方法之統計

A. 材料主要成份統計

材料主要成份	代理廠商代號及件數	佔百分率(%)
蛭石	102 111-1 109 111-2 110	5
岩棉	101 113	2
其他礦棉	104 108 105 107 112	5
輕質骨材	106	1
其他類	103	1
未填		
備註	參看附錄B-1	

資料中顯示，材料主要使用以蛭石及礦棉類居多。

B. 材料之施工方式統計

施工方式	代理廠商代號	件數	佔百分率(%)
乾式			
濕式	102 108 112 103 109 106 111-1 107 111-2	9	60
半濕式	101 107 113 104 105	5	33
未填	110	1	7
備註	參看附錄B-2		

表中可知，施工方法以濕式為主，落塵少、具環保概念。

C. 噴附厚度統計

柱：

噴附 厚度 材料 成分	1hr (mm)		2hr (mm)		3hr (mm)	
蛭石	*102←19	19	102←21	35	102←51	51
岩棉	101←12 101←25 113←13	12~25	101←37 113←19	19~37	101←48 113←29	29~48
其他礦棉	104←20 105←16 107←25 112←30	16~30	104←25 105←20 107←45 112←40	20~45	104←30 105←35 107←55 112←50	30~55
輕質骨材						
其他類	103←10	10	103←15	15	103←26	26
備註	*102←19:102為代理廠代號，19為噴附厚度。					

樣：

噴附 厚度 材料 成分	1hr (mm)		2hr (mm)		3hr (mm)	
蛭石	*102←11	11	102←21	21	102←33	33
岩棉	101←12 113←13	12~13	113←23	23	113←41	41
其他礦棉	104←20 105←16 112←25	16~25	104←25 105←20 112←35	20~35	104←30 105←35 112←45	30~45
輕質骨材						
其他類	103←12	12	103←19	19	103←29	29
備註	*102←11:102為代理廠代號，11為噴附厚度。					

樓板：

噴附 厚度 材料 成分	1hr (mm)		2hr (mm)		3hr (mm)	
蛭石	※102←10	10	102←10	10		
岩棉	101←12	12				
其他礦棉	104←10 112←25	10~25	104←10 112←35	10~35	104←10 112←45	10~45
輕質骨材						
其他類						
備註	※102←10:102為代理廠代號，10為噴附厚度。					

D. 廠商建議：

- ①對於鋼骨底層噴附粘著劑或設置鐵絲網等有助於被覆材料附著力之措施可多作研究。
- ②對於目前國內市場上各種材料是否可做比較分析。

2-3 國內現有鋼骨表面處理與塗裝之調查

一、蒐集資料方式

問卷調查：利用設計好之表格與問題，啓發調查單位合作意願之方式，進行調查。

二、問卷調查對象

調查對象近四十家，依國內較具主導性的鋼骨構造製造廠商。

三、問卷型式

如附件A-2，針對鋼骨表面處理方式及塗裝料進行調查。

四、問卷回函整理

(一) 問卷回收率

寄出共28件，回函共10件，回收率為26.3%

項 目	件數
寄出件數	38
回函件數	15
回收率(%)	29.5

(二) 資料歸納與分析

針對問卷中項目，將資料整理如下：

A. 表面處理方式：

鋼骨出廠前處理方式	件數	佔百分率(%)
只做噴砂	3	11.5
只塗防銹底漆	0	0
不做噴砂、不塗底漆	1	3.8
做噴砂及塗底漆	22	84.6

由表中知，國內一般鋼骨出廠前，大都有做噴砂及塗漆之處理。

B. 來源及代理廠商

使用底漆材料種類	件數	百分比(%)
國內廠商生產	22	92
國外進口	2	8
備註	參看附錄B-3	

國內所使用底漆之代理廠	件數	百分比(%)
永記	12	52
柏林	4	17
永記或柏林	3	14
其他(未填充)	4	17
備註	參看附錄B-3	

資料顯示，鋼骨底漆，大都使用國內「永記」出產產品為主。

C. 防銹塗裝及種類：

常用防銹塗裝	種 類	選擇此項次數
環氧樹脂類	環氧鋅粉底漆	10
	環氧紅丹底漆	5
	環氧鋅鉻黃底漆	6
預塗底漆類	環氧無鋅底漆	5
無機鋅粉類	無機鋅粉底漆	17
油性樹脂漆類	紅丹底漆	5
其他		

國內鋼骨底漆，大都使用鋅粉類(灰色)，其可分有機及無機二種型式，而環氧樹脂即屬有機類。而為景觀或辨識，也有使用紅丹底漆(紅色)，其價格較鋅粉類便宜，(廠商提供：紅丹底漆約 400元/加侖，鋅粉類 800元/ 加侖)。

D.將廠商資料、油漆性質及回函建議，整理如下表：

編號	油漆性質					油漆塗抹厚度(mm)			任何檢驗報告	合件意願	建議和備註
	規格	CNS	價格NT/加侖	顏色	抗蝕性	柱	梁	樓板			
201	IZ-01	K-2088		灰色		0.075	0.075		台電試驗所經 剩部商檢局	否	附2 張檢驗報 告影本
202	EP-03		600 -	灰色	鹼性	0.05	0.05		有	有	日本對大樑鋼 骨有一趨勢只 做噴砂、不油 漆。而台灣很 亂。依業主需 求而施工沒有 統一
203	EP-03	49365		灰色	30% Na	0.05	0.05	0.05	無	否	1.防火被覆鋼 骨工程，應 噴砂而不必 塗漆 2.國內高樓或 大跨距鋼骨 工程均要求 用A558高強 力鋼，沒必 要塗漆
204	IZ-01	K2088		灰色	佳	0.075	0.075		有(可取樣送 成功大學化學 系檢驗)		1.於日本均不 作底漆，直 接附防火被 覆材料施作於 鋼骨上 2.防銹底漆應 考慮其與被 覆材料之附 著性，其粗 糙度、耐火 性
205						0.07 0.12	0.07 0.12	0.07 0.12	有(永記公司 提供檢驗報告)	否	
206	液型	11584	1200 -	灰色		0.075	0.075	0.075	有(永記塗漆 及台電力研究 所檢驗報告)	否	
207	無機錳 粉	K2088	570 -	灰色		0.04 0.05	0.04 0.05		有(成大化學 系試驗報告)	有	附1 張檢驗報 告影本
208						0.05 0.074	0.05 0.075		有(洽代理商 索取)		
209				灰色		0.05	0.05	0.05	有	有	附6 張油漆施 工規範
210		無		灰色 黃色	強	0.075	0.075		有(送公立學 術單位檢驗約 1~2 個月)	有	①研究其成份 、統一製定 CNS ②目前國內大 都以②標誌 認定

2-4 現有檢驗基準的檢討

由各國鋼骨耐火構造之溫度判定基準中，我們可以發現各常見標準對於耐火構造破壞之認定略有不同：

標準 溫度	CNS	JIS	ASTM	DIN	ISO
平均	350 °C	350 °C	538 °C	—	—
	538 °C				
最高	450 °C	450 °C	649 °C	500 °C	—
	649 °C				

註：1. 本表僅列舉鋼骨構造中之柱、樑部份之極限溫度

2. ISO 依加載加熱試驗，以崩壞為判定基準。

3. BS 同上

其中又以JIS與CNS之規定最為嚴格，雖然嚴格要求下可提供較高的安全保障，但此舉是否有導致不必要的材料浪費或增加施工困擾之嫌，則仍有待進一步的探討。

針對現行我國建築物構件耐火試驗規範進行檢討，可見下列未臻圓滿之處：

1. 由裸鋼材於高溫中之力學性質，已知不同鋼材之高溫力學行為並不相同，因此現行規範中所採用單一容許溫度之判定基準，不盡合理。
2. 時下材料科學日新月異，已開發出鋼材外露、而內含混凝土之新構造法，並有無需被覆之新鋼材出現。對於這些新材料及構法，現有規範均無法有效加以認證。

3. CNS及JIS對於鋼骨耐火被覆厚度之要求，同一種材料，不論設計型式與斷面尺寸，依時效不同僅有一種厚度。反觀ASTM (UL)及BS則在同材料及設計型式下，依不同斷面尺寸，以公式調整被覆厚度。理論上而言，鋼材受火後之昇溫速率會受到斷面尺寸的影響，因此就以上兩種不同認定標準看來，ASTM與BS之做法應較為合理。

本研究即欲針對上述缺憾中之第三點進行試驗探討，並於各後續章節中提出分析理論，試驗驗證及改善建議。

第三章 不同尺度耐火試驗相關關係之探討

3-1 斷面形狀因子之檢討

由熱力學及熱傳學中，我們知道物體在受高溫作用時，其溫度上昇速率與其受熱面積以及熱容量、密度等物性有直接的關係。因此鋼骨結構耐火被覆材料之耐火等級(時效)便應該受到鋼骨構件本身的單位重以及表面積的影響，依美國保險業試驗室 Underwriters Laboratories Inc. (UL) 所進行的耐火試驗結果顯示，在同樣的耐火被覆厚度下，材料的耐火時效因鋼骨構件單位重與受火斷面週長二者比值之不同而有差異，其試驗相關數據如表(3-1) 如示。此一單位重與受火週長之比值，即稱為斷面形狀因子(W/D)。

表3-1 UL防火試驗相關數據表

報告名稱	樑尺寸	W/D	被覆材料厚度	極限溫度到達 時間(1100°F)	載重移除時間	t/T
NC505-8	W8*17	0.54	1-1/8 in	95 min	121 min	84.4
NC505-8	W12*14	0.40	1-1/8 in	92 min	112 min	81.8
NC505-8	W16*26	0.55	1-1/8 in	98 min	100 min	87.1
NC505-11	W14*22	0.52	1-1/8 in	99 min	120 min	88.0
NC505-11	W21*22	1.52	2 in	187 min	210 min	93.5
NC505-11	W21*101	1.29	1-1/8 in	165 min	+	146.7
R4339-41	W8*28	0.80	1/2 in	61 min	75 min	122.0
R4339-41	W8*28	0.80	1 in	112 min	131 min	112.0
R4339-41	W8*28	0.80	2 in	240 min	154 min	120.0

+ : 樑於試驗時僅承受容許載重之15%，且在持續258 分鐘的防火試驗中持續作用。

表3-1 中之資料用極限溫度發生時間(t) 除以被覆材料厚度 (T) 之值，做為斷面形狀因子W/D的函數，經分析顯示，W/D

值在表3-1 中各試驗樑之斷面形狀因子範圍內時，鋼骨構件之極限溫度與被覆材料厚度之比值(t/T)與(W/D)值間呈線性關係。

而由ASSI所提供樑溫度資料之電腦分析結果進一步顯示，此一線性關係可以涵蓋所有目前可得之樑斷面。由其結果得知，對應可用之H 型鋼樑(寬翼緣I 型鋼)——W8×10 之斷面形狀因子下限值(W/D)_{min}由0.4 降至0.37，而上限值之限制則全數刪除。

由表3-1 資料，UL利用電腦整理發展出一適當之線性方程式，此方程式如下：

$$t = (80.1W/D + 48.6)T \dots\dots\dots (3-1)$$

由此一方程式可導出被覆材料厚度與不同斷面形狀因子鋼樑間之換算式，意即；鋼樑在規範要求耐火等級下之被覆厚度(T_1)，可由相同防火等級之無束制樑上已知的必要被覆厚度(T_2)推求之

$$T_1 = \frac{(W/D)_2 + 0.6}{(W/D)_1 + 0.6} T_2 \dots\dots\dots (3-2)$$

其中 T = 防火被覆材料之被覆厚度(吋)

W = 樑之單位重(磅/呎)

D = 可能發生熱傳之鋼材與耐火被覆材間之被覆週長(吋)

足標1：表欲設計樑之斷面形狀因子與被覆厚度

足標2：表已知檢測合格樑之斷面形狀因子及被覆厚度。

但上式之適用範圍應在下列基本條件內：

1) W/D 值不得小於0.37

2) 所求得之初覆厚度值(T_1)不得小於3/8吋(0.95公分)

3) 無束制樑之防火時效必須大於1 小時

另外,UL所常用樑斷面之受火週長D值計算法如圖3-1所示

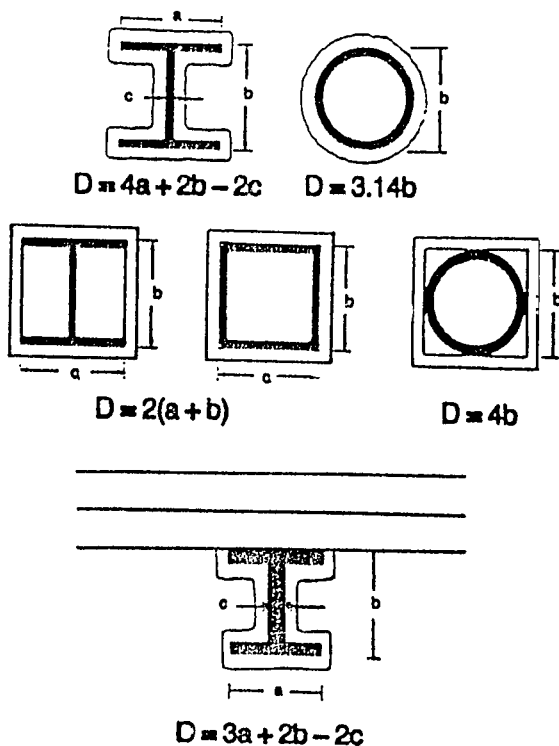


圖3-1 UL常用樑斷面之受火週長D值計算法

3-2 式之應用可由套用式子所得之計算厚度與防火指南手冊中所載明之必要設計厚度兩相比較以檢核其可信度, 比較結果如表3-2所示。

表3-2 公式與試驗求得被覆材料厚度比較表(UL)
足標2 足標1

設計編號	標	指定被覆材	設計編號	標	指定被覆材	計算厚度
編號	(W/D)	材料厚度(In)	編號	(W/D)	材料厚度(In)	(In)
N708	0.80	7/6	D705	0.54	1	1.07
N708	0.80	7/6	D705	0.54	7/6	1.07
N708	0.80	7/6	D703	0.63	1	1.00
N706	0.80	7/6	D722	0.51	1-1/8	1.10
N708	0.80	7/6	D722	0.51	3/4	1.10
N705	0.63	1-1/16	D731	0.51	1	1.17
N814	0.59	1	D602	0.72	3/4	0.98
N814	0.69	1	D814	0.78	15/16	0.93
N814	0.69	1-1/4	D816	0.78	7/8	1.17
N805	0.63	1-1/16	D831	0.51	1	1.18

式3-2係基於W/D值間的關係、被覆材料厚度以及極限溫度到達時間等因素發展而成。基本上W/D與t/T間的線性關係並不因標試體所採用之被覆材料種類不同而受影響。然而，被覆材料的種類卻決定該函數所對應直線上之斜率和截距。

例如，截距是以被覆系統整體熱容量為主的函數，而斜率則是以材料熱傳導率為主的函數。

此一分析模式目前適用於UL耐火被覆材料分類中之水化混合物以及噴附纖維。至於是否同樣適用於其他的被覆材料方面，由於試驗資料有限，因此尚無法加以論斷。

英國方面，防火研究處與ASFPCM會員、大倫敦科學協會分會（現已改為倫敦科學服務處）、以及各實驗室合作以後，已經建立了防火與耐火被覆材料樣品的試驗規劃，包括有負荷的情況，並且訂出了適當保護層厚度的計算方法。這些試驗規劃

的目的乃是為確定防火材料的隔熱性能及其在火害情況之下受鋼材大小所影響的物理性質（以斷面因素及防護層厚度與耐火時間等表示之）。他們用最少的試驗，產生出極多的數據資料。試驗的程序與以前有所不同，不同之處在於以前整體的計算只根據一根樑柱的試驗，如此可能造成有些部份過多防護而有些部份則過少，從而引發不必要之鋼材防護成本的增加或安全性的降低。

由理論分析及實物試驗中，英國防火研究處發現，周長較大的鋼材比較小者吸收較多的熱。而且，斷面積愈大，吸收的熱亦愈大，因此，較小而厚的斷面增加溫度的速率比較大而薄者為慢。故斷面形狀因子成為衡量一鋼材斷面在火中吸熱比率之準則，當其值愈高，則所需防護厚度愈大。斷面形狀因子的觀念可使防火試驗數據被廣泛使用，因此當維持性能不變時可以達到經濟的目的。斷面形狀因子可以 HP/A 表示之，其中：

HP = 曝露於火的斷面周長 (公尺)

A = 鋼材的橫斷面積 (平方公尺)

HP/A 的單位為 (1/公尺)

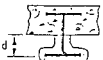
在計算 HP/A 值時應使用橫斷面全面積，不管鋼材是三面或四面向火吸熱。但是 HP 是曝露於火的周長，而這周長係視防火保護層之形狀而異。在箱形的防火處理中，周長為接近方形的內部尺寸取小值之總和，或正方形包住的大小的總和（圓形管斷面除外——參見表3-3、3-4）。而在依形狀的防火處理中，鋼材本身斷面的周長即為提供防火作用時，則在計算 HP 時可略去接觸的表面不計。在實心形的防火處理中， HP/A 值則取箱形防火之值。表3-3及表3-4詳列在各種不同鋼材斷面及被覆型式下，其 HP 值之求法。

美、英兩國所採用斷面形狀因子之表示法雖然互異，然其基本的理論與觀念卻是相同的。

表3-3 英國箱型與實心型防火被覆之HP值計算法

鋼材	箱型與實心型防火被覆				
不能樑、不能柱與桁 (平常型與城堡型)	 四面	 三面	 三面 部份曝露	 二面	 單面 部份曝露
H_p	$2B + 2D$	$B + 2D$	$B + 2d$	$B + D$	B
結構與捲型T字鋼	 四面	 三面 撐角至下端	 三面 腹頂至下端		
H_p	$2B + 2D$	$B + 2D$	$B + 2D$		
角鋼	 四面	 三面 撐角至下端	 三面 撐角頂至下端		
H_p	$2B + 2D$	$B + 2D$	$B + 2D$		
槽型鋼	 四面	 三面 腹至下端	 三面 撐角至下端		
H_p	$2B + 2D$	$2B + D$	$B + 2D$		
正方形或長方形中空鋼材	 4 sides	 3 sides			
H_p	$2B + 2D$	$B + 2D$			
圓形中空鋼材	 πD	註：箱形包覆一圓形鋼材所造成之空間可增加絕緣性及 H_p/A 值， H_p 大於依圓形形狀之防火護層方法之 H_p ，且是不規則的，故而， H_p 應視為適當情形，而與4.2。			
H_p					
	箱型，四面曝露		箱型，三面曝露		
	$H_p = 2B + 2D = 407.8 + 412.4$ $= 820.2 \text{ mm} = 0.820 \text{ m}$ $\therefore H_p/A = 0.820/0.00664 = 123.5 \text{ m}^{-1}$		$H_p = B + 2D = 203.9 + 412.4$ $= 616.3 \text{ mm} = 0.616 \text{ m}$ $\therefore H_p/A = 0.616/0.00664 = 92.8 \text{ m}^{-1}$		

表3-4 英國依鋼材形狀施做防火被覆之HP值計算法

鋼材	依鋼材形狀防火				
下吊鋼梁不用鋼柱 (梁端與牆壁 固定)  H_p	四面  $2B + 2D + 2(B - t)$ $= 4B + 2D - 2t$	三面  $B + 2D + 2(B - t)$ $= 3B + 2D - 2t$	三面  部份曝露 $B + 2d + (B - t)$ $= 2B + 2d - t$	二面  $B + D + 2(B - t)/2$ $= 2B + D - t$	單面  部份曝露 D
結構與造型T字鋼  H_p	四面  $2B + 2D$	三面  撐角至下端 $B + 2D$	三面  腹頂至下端 $B + 2D + (B - t)$ $= 2B + 2D - t$		
角鋼  H_p	四面  $2B + 2D$	三面  撐角至下端 $B + 2D$	三面  撐角頂至下端 $B + 2D + (B - t)$ $= 2B + 2D - t$		
槽型鋼  H_p	四面  $2B + 2D + 2(B - t)$ $= 4B + 2D - 2t$	三面  腹至下端 $2B + D + 2(B - t)$ $= 4B + D - 2t$	三面  撐角至下端 $B + 2D + 2(B - t)$ $= 3B + 2D - 2t$		
正方形或長方形中 空鋼材  H_p	四面  $2B + 2D$	三面  $B + 2D$			
圓形中空鋼材  H_p	 πD				
例： 使用 203x203x52kg/m ² 之萬用鋼柱 $U = 203.9 \text{ mm}$ $D = 206.2 \text{ mm}$ $t = 8.0 \text{ mm}$ $A = 66.4 \text{ cm}^2$	方形狀防火四面曝露 $H_p = 4B + 2D - 2t$ $H_p = 4 \times 203.9 + 2 \times 206.2 - 2 \times 8.0$ $= 1212 \text{ mm} = 1.212 \text{ m}$ $H_p/A = 1.212/0.00664 = 182.5 \text{ m}^{-1}$		依形狀防火 - 三面曝露 $H_p = 3B + 2D - 2t$ $H_p = 3 \times 203.9 + 2 \times 206.2 - 2 \times 8.0$ $= 1008 \text{ mm} = 1.008 \text{ m}$ $H_p/A = 1.008/0.00664 = 151.8 \text{ m}^{-1}$		
註：所示之值為略去所有鋼材角部與根部半徑之約數					

3-2 耐火構造斷面展開概念

在建築構件中，樓板、牆壁屬於平面構造，受火情形可假設其熱流方向係垂直於樓板或壁面，故可視為單向度（一次元）熱傳加以處理。柱樑結構方面，因其斷面形狀及材料構成等在受火時會造成種種方向之熱流，而使得熱傳成為雙向或三向度之模式，是以理論上應以多次之熱傳理論加以分析。但由於多次元之熱傳解析在問題處理上十分複雜，且目前對該領域所知尚未臻完備，再加上受計算機記憶容量或計算時間等觀點之約制，故如將熱傳模式簡化成一次元應屬較簡便而可行之做法。

多次元熱傳簡化為一次元熱傳，係基於下列基本假設：

- ①假定鋼骨部份於材軸方向溫度均一上昇，不考慮構材軸向的熱流。
- ②鋼骨部材，假定其沿部材的週長方向使用同一材料且被覆同一厚度。另包含耐火被覆材使用不同材料但在厚度方向積層的情況。
- ③假定鋼材受熱後，其斷面內溫度分佈是均一的，即將鋼材內部之 K 值視為無限大來處理。

在上述假定條件下，我們可依圖3-2 所示之模式化方法，將實物轉化成一次元問題處理。即將A 圖中之鋼骨耐火被覆部材斷面置換為加熱周長、即將熱容量各條件等價之B 圖模型。

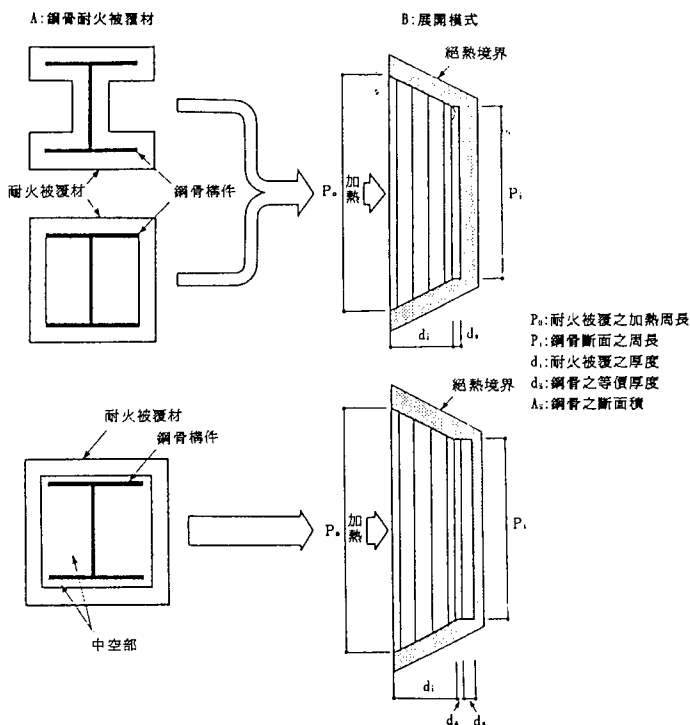


圖3-2 鋼骨耐火被覆材之展開模式化

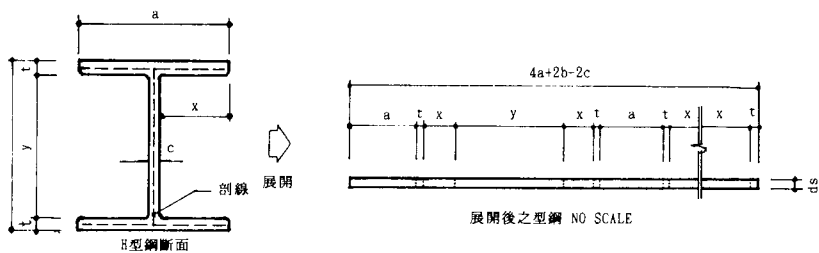


圖3-3 型钢展開示意圖

單向度展開模式係依3-1 節所述之斷面形狀因子理論引入，其展開概念如下：

1. 將型鋼由斷面中線剖開後展開成一線，如圖3-3:

展開後其外週長(受火週長) $P_i = 4a + 2b - 2c$

2. 將型鋼之熱容量轉換到單向度小試體模型上，求得鋼骨之展開等價厚度，其式如下：

展開後鋼骨等值厚度(d_s) = 斷面積(S_a) ÷ 展開長(P_i)

3. 將被覆材料細分成多層後，依同樣模式展開，覆於展開後之鋼版表面，如圖3-4所示：

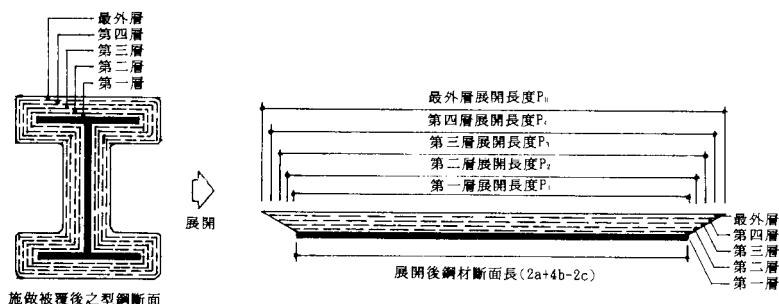


圖3-4 防火被覆材料展開示意圖

4. 若鋼版與被覆材料間有中空層，則將中空部斷面積轉換成等價中空展開厚度(d_a)置於單向度模型之鋼版與被覆材料之間(因中空層之熱傳遞方式為輻射而非一般之傳導)，如圖3-2。

雖然單向度加熱係一簡化後之熱傳模式，但在各週邊條件(熱容量，四週斷熱等)配合得當的情況下，對大部份工程領域而言，其解析結果已與實際狀況相當接近。

3-3 不同尺度間可能相關關係

不同尺度耐火試體間之可能相關關係，可分別由以下幾點來探討：

1. 尺寸效應

在所有試驗中，只要遇上尺寸差異的情形，都會隱含有“尺寸效應”之變數在內。所謂尺寸效應，即試驗材料受其體積、表面積及週邊環境與試驗條件之不同，而產生在同樣試驗方法下，得到不同結果之情形。在耐火試驗上，尺寸效應主要可能導致之變因如下：

a. 被覆材料破壞機率不同

實大尺度試體上可能發生材料瑕疵的機會遠比小尺度試體要大，且被覆材料本身的強度及抗變形能力均不佳，因此大尺度試體耐火在試驗中破壞或失敗的發生機率通常比小尺度試體來得高。

b. 週邊影響條件不同

就整個試驗裝置而言，大尺度試體與外界環境的接觸面積較小。例如，標試體在高溫爐中與可能影響試驗結果之非必要環境條件（如爐壁）接觸面在兩端處，而小尺度版試體之爐壁之接觸卻包含四個邊緣及整個背面，因此可能受到爐壁溫度或接觸面控制不良影響的機率必然增大，因而成為試驗中一較難以量化之變異因素。

2. 材料密度

密度是熱傳上的重要影響因子，在大、小尺度轉換模式當中，材料密度可分兩方面來討論：

a. 鋼材密度——一般而言，大、小尺度試體應選用相同分類編號之結構用低碳鋼，以獲得相同之密度。

b. 被覆材料密度——被覆材料如採用濕式施工，則其密度便與混拌水量及施工條件有關。如欲使大、小尺度間之轉換更加精確，則必須嚴格控制二者所被覆之材料密度一致才行。

3. 鋼材熱容量

鋼材熱容量與其升溫速率及其所能接受之熱能均有關。一般而言，熱容量與材料質量成正比，因此大尺度試體應可接受較多之熱能。但單向度熱傳不考慮軸向熱流因素，在3-2節中所述之展開模型將大、小尺度間鋼材斷面一致化，故而理論上，經3-2節所述模式展開後之大小尺度鋼材間應具備有相同的熱容量。

4. 受火表面積(受火週長)

鋼材受火表面積愈大，便會接受到更多的熱力作用，因此大、小尺度關係間必須考慮受火面積的影響因素。在單向度熱傳模式中，由於忽略了材軸方向的熱流，故受火面積簡化成爲一受火週長(單線)。在大、小尺度展開模式中，同一加熱條件下，相同的受火週長；表示試體接受相同的火害溫度作用，圖3-2 展開模式化圖中顯示，大、小尺度試體間應具備相等之受火週長。在本研究中，基本上假定不論單向度或雙向度之模式，其受火週長上的升溫都是一致的。

5. 斷面形狀因子(W/D)

此一相關關係乃本研究中最重要部份。由於依鋼骨實體所展開之被覆材料受火週長及鋼骨斷面之周長可能達到2公尺以上，如確實依照實物尺寸製作單向度加熱試體，則必定違反「小尺度」檢驗方法之原則，因此本研究經由國外耐火試驗資料之整理，將3-2節中斷面形狀因子的概念引入，利用同樣的W/D值，可將鋼骨構材轉化成相當於45公分受火週長之鋼版試體。簡言之，即表示我們可以用45cm*45cm的小尺度鋼版代替鋼骨構材實體來檢測被覆材料之耐火性能，其間相關關係之轉換，則詳述於第4-2節。

至於實大試體上之熱傳模式係一多向度、由外而內之熱傳，理論上，火害之暫態溫度進入鋼骨構材斷面腹翼版之軸心後，即不再往外溢散，亦即鋼骨構材本身受高溫後不會有熱損失的問題產生。在此理念下，展開後之小尺度鋼版試體

的非受火面，必須控制在良好的斷熱狀態下，以達到有效模擬實況之目的。

6. 含水率

到目前為止，被覆材料之含水率乃是耐火檢測上較難以控制及量化之變因。過去的研究顯示，較高的含水率會造成較長的升溫遲滯時間而導致較佳的耐火時效。因此，如欲利用小尺度試體進行耐火檢驗，則必須考慮其與實體間含水率的關係。一般而言，在相同的材料、厚度及施工條件下，養護是控制被覆材料含水率的主要因素。小尺度試體之養護應實物之環境條件相同，以獲得相同之體含水率，進而求取正確而客觀的耐火試驗結果。

3-4 相關關係之範圍及限制

本研究3-3 節中，大、小尺度間相關關係之範圍及限制如下：

1. 本研究係依UL R4339-41 試驗報告為試驗及分析基礎，故鋼材試體之選擇，必須限制在下列條件內：
 - a. W/D值不得小於0.37。
 - b. 被覆材料厚度值不得小於0.95公分。
 - c. 被覆材料耐火時效之檢測要求在1 小時以上。
2. 依據單向度分析之基本假設，試驗受熱不考慮構材軸向之熱流，亦即構材在受熱時，每個橫切軸斷面上所受之熱作用是均一的。因此，此一轉換模式在材軸方向上有熱特性變化的部材或加熱條件不同的情形下不適用。（例如，變斷面構材或不同耐火被覆的情形）。
3. 在基本假設條件下，沿鋼骨斷面周長方向使用不同材料之複合耐火被覆之檢測不能適用。
4. 小尺度試體之耐火檢測尚無法模擬結構體受載重、束制條件之情形，同時在被覆材料受火時之附著力方面，亦與實物之情形略有出入。

第四章 被覆材料在不同試體上之耐火試驗

4-1 試驗設計與架構

本研究之目的在尋求大小尺度耐火檢測試體間之關係，欲探求此一關係模式必須從以下三個方向著手。

1. 現有標準檢測設備所完成實大試體之耐火試驗結果

國內目前雖有內政部建研所之壁式高溫爐可進行牆版及門之耐火檢測，但對於柱、樑等構件卻仍無合適且合格之檢驗場所及設備。因此實大試體部份必須藉由國外已完成之檢驗結果作為比對分析之依據。本研究取得之現有實大試體耐火試驗結果係由美國G廠商在台分公司所提供之UL R4339-41試驗報告，如附錄C。

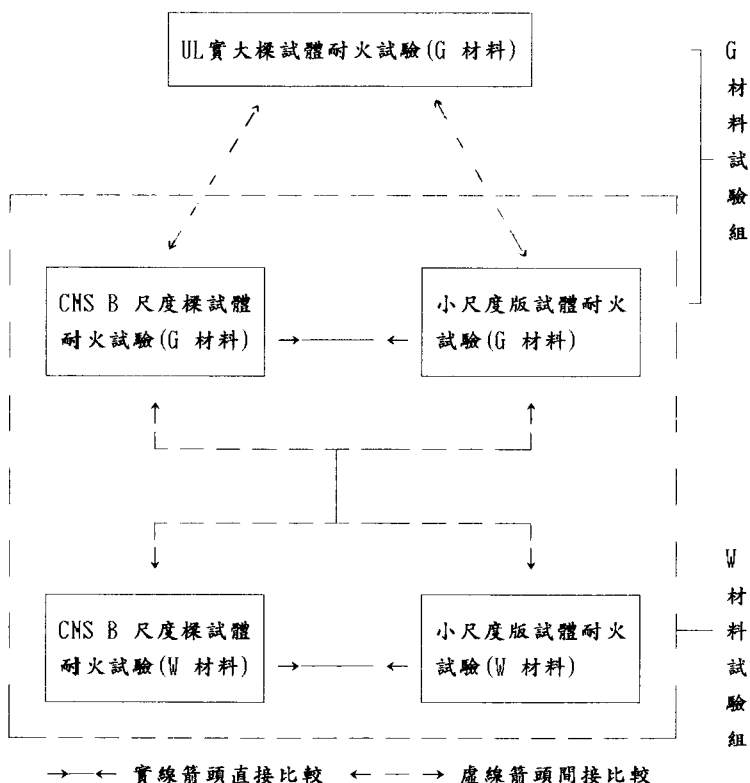
2. CNS B 尺度試體之耐火試驗

由3-1 節中被覆構材之厚度轉換公式，利用B 尺度樑不同之W/D 值將UL R4339-41 試驗報告中所測試合格之耐火被覆厚度，以相同材料換算出B 尺度樑上的被覆材料厚度以利比對，同時利用自配之蛭石加水泥的耐火被覆材料(W 材料)一組同時進行試驗，以驗證B 尺度試體試驗之可靠度。

3. 45cm*45cm小尺度試體之耐火試驗

由B 尺度試體樑上之W/D 值換算出等價斷面因素之鋼版試體，分別噴覆G 材料與W 材料，進行單向度耐火試驗，取其試驗結果與B 尺度樑試體耐火試驗進行比較分析，以瞭解此一轉換模式之可行性。

本研究之試驗及分析架構如圖4-1所示



虛線框內部份為本研究實際進行之試驗部份。

圖4-1 試驗設計概念之架構圖

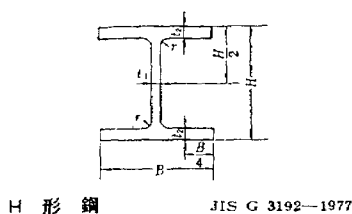
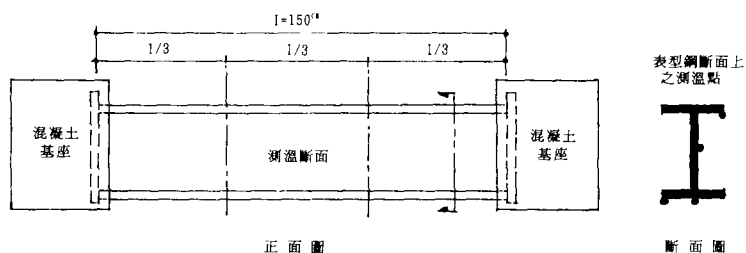
試驗結果之比較分析將針對ASTM E119-88 (UL 263) 及CNS 12514 兩種規範之耐火要求進行個別及比對分析。

4-2 試驗變數及設備

4-2-1 試驗變數

本實驗所選用鋼材試體簡介如下：

1. B 尺度鋼樑試體—樑試體規格尺寸如圖4-2所示



JIS G 3192—1977

標稱尺寸	標準剖面尺寸			剖面面積	單位重量
高×寬	H×B	t ₁	t ₂	r	cm ² kg/m
250×175	244×175	7	11	16	56.24 44.1

圖4-2 B 尺度樑試體及其規格

2. 小尺度鋼板試體—鋼版之規格尺寸如圖4-3：

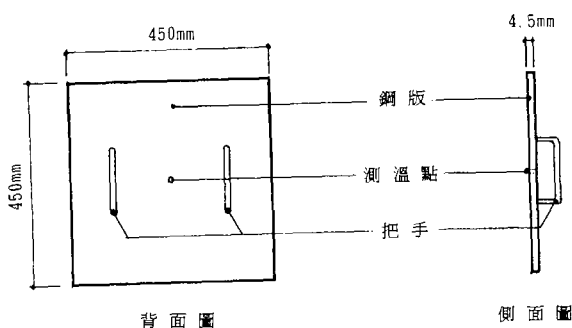


圖4-3 小尺度鋼版試體圖

試驗變數上之選定依據如下：

<一>耐火被覆材料

- 1.G 材料—經美國保險業試驗室合格之耐火被覆材料，採噴覆式（濕式）施工，其測試合格報告 R4339-41 如附錄一，由美國 G 廠商在台分公司所提供。
- 2.W 材料—自配材料，經多次耐火試驗已知具有良好耐火性能者其主要成分為蛭石加水泥

<二>鋼材試體

- 1.B 尺度鋼樑試體—依 CNS 12514 之試體規準規格中 B 尺度樑試體長度。標準要求規格見附錄二。

2. 鋼版試體—配合國內三座高溫爐中設於台灣工業技術學院之汎用高溫爐（如圖 2-3）現有之試體框架尺度，故設定小尺度鋼版試體之長寬為 45cm*45cm。

鋼版厚度則依 W/D 之換算，將 B 尺度樑之斷面熱容量轉換成鋼版之等價厚度，計算式詳列如下：

① B 尺度樑 W/D 值（以英制單位換算以配合 UL 耐火試驗報告）

$$\begin{aligned} \frac{W}{D} &= \frac{44.1}{4t+2H-2t} = \frac{44.1(\text{kg/m})}{29.635(\text{lb/ft})} \\ &= \frac{42.22(\text{in})}{\text{lb/ft}} \\ &= 0.64 \left(\frac{\text{in}}{\text{lb/ft}} \right) \end{aligned}$$

註：各數據來源見圖 4-2

②鋼版之受火週長(D值)=45cm=17.71in

③求版之單位重 W_p

$$\begin{aligned} \left(\frac{W}{D} \right)_{\text{Beam}} &= \left(\frac{W}{D} \right)_{\text{plate}} \\ 0.64 &= \frac{W_p}{17.71} \\ W_p &= 11.36(\text{lb/ft}) \end{aligned}$$

④求版厚

$$11.36(\text{lb/ft}) = 16.90\text{kg/m}$$

$$(1\text{kg/m} = 0.67\text{lb/ft})$$

$$\begin{aligned} \text{版厚 } t &= \frac{16.90}{0.45 \times 7850 (\text{鋼材單位體積重})} \\ &= 4.7 \times 10^{-3} (\text{m}) \\ &= 0.47\text{cm} \end{aligned}$$

然國內目前並無此規格之鋼版，故選用規格品厚度 $t=0.45\text{cm}$ 者以獲得較保守之結果。

三>噴覆厚度

試體表面噴覆耐火被覆材料厚度計算如下：

1.G 材料試驗組

①UL報告檢測合格厚度如下：

無束制標

耐火時效(Hr)

材料厚度(In)

1	1/2
2	1-1/8
3	1-5/8
4	2

依附錄一中ILLI所示UL耐火試驗試體圖所示，鋼樑試體為W8*28，斷面形狀因子(W/D)值=0.8

②求B 尺度樑(見圖4-2) 之斷面形狀因子(W/D)

$$\begin{aligned} \frac{W}{D} &= \frac{44.1}{4B+2H-2t} = \frac{44.1(\text{kg/m})}{82.4(\text{cm})} \\ &= \frac{29.635(\text{lb/ft})}{42.22(\text{in})} \\ &= 0.64 \left(\frac{\text{lb/ft}}{\text{in}} \right) \end{aligned}$$

③求轉換厚度

依UL防火指南(FIRE RESISTANCE DIRECTORY-1992)中，採用被覆材料換算公式(式3-2)

$$T_1 = \frac{(W/D)_2 + 0.6}{(W/D)_1 + 0.6} T_2 \quad \text{可求得對應UL耐火試驗}$$

1、2、3小時耐火時效之等價厚度

a.3 小時耐火時效—— 1-5/8 in

$$T_1 = \frac{0.8+0.6}{0.6412+0.6} \times 1 \frac{5}{8} = 1.833(\text{in}) = 46\text{mm}$$

b.2 小時耐火時效——1-1/8 in

$$T_1 = \frac{0.8+0.6}{0.6412+0.6} \times 1 \frac{9}{8} = 1.26(\text{in}) = 32\text{mm}$$

c.1 小時耐火時效——1/2 in

$$T_1 = \frac{0.8+0.6}{0.6412+0.6} \times \frac{1}{2} = 0.56(\text{in}) = 14\text{mm}$$

2.W 材料試驗組

由自配W 材料經耐火試驗已知性能厚度中，選取1.5cm、3cm、4.5cm 三組，分別噴覆於B 尺度鋼樑及小尺度鋼板上，進行1、2、3小時之耐火時效試驗。

特別值得注意的是，由於本研究中小尺度鋼板輕轉換後已與B 尺度鋼樑具有相同的W/D 值，故而二者表面之被覆材料厚度應該相同，而無需利用式3-2 進行厚度換算。

試驗變數方式，則整理如表4-1。

表4-1 試驗變數整理表

項 目		變 數
被 覆 材 料		G 材料 (G 廠商提供)
		W 材料 (自配)
鋼 材		B 尺度鋼樑 (圖4-2)
		小尺度鋼版 (圖4-3)
噴 覆 厚 度	G 材料	14mm、32mm、46mm
	W 材料	15mm、30mm、45mm

試體數量則詳列如表4-2

表4-2 試體數量表

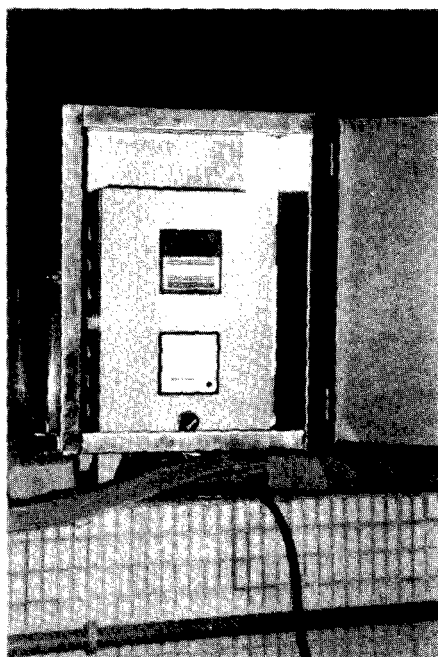
鋼材試體	噴覆材料	噴覆厚度(mm)	數量	小計	合計
B 尺度鋼樑	G 材料	14	1	3	6
		32	1		
		46	1		
	W 材料	15	1	3	
		32	1		
		46	1		
小尺度鋼樑	G 材料	14	2	6	12
		32	2		
		46	2		
	W 材料	15	2	6	
		32	2		
		45	2		

4-2-2 試驗設備

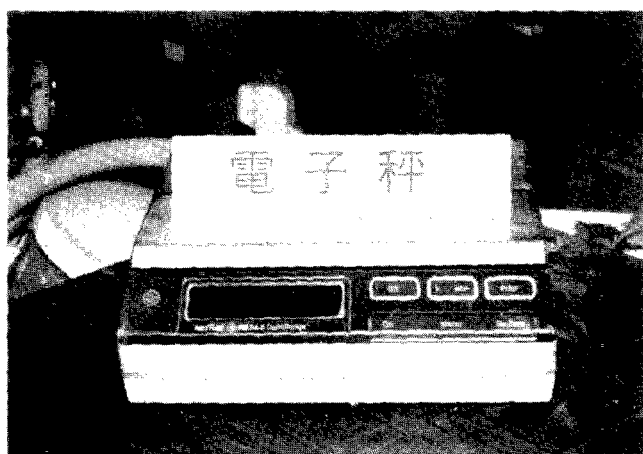
試驗設備整理如表4-3

表4-3 試驗設備一覽表

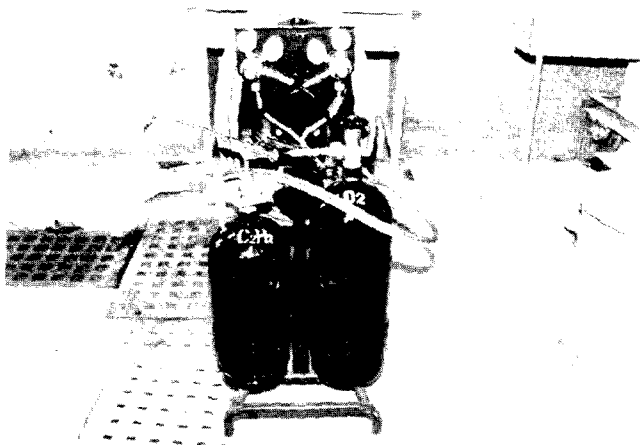
設 備	用 途	附 註
汎用高溫爐	耐火試驗加熱用	圖2-3 照片2-3 照片2-4
含自動控溫儀	控制爐溫於標準時間—溫度曲線	照片4-1
電子秤	試體及材料稱重用	照片4-2
氣焊組(含氧氣、乙炔 氣筒及噴嘴)	將熱偶線端點點焊固定於試體鋼 材上	照片4-3
噴漿機組 (含噴漿機、空壓機)	噴覆耐火被覆材料	照片4-4 照片4-5
數據集錄器組(含數據 集錄器、電腦設備及不 斷電系統)	讀取並記錄耐火試驗數據	照片4-6



照片4-1 自動控溫儀



照片4-2 電子秤



照片4-3 氣焊組



照片4-4 噴漿機組(大型)



照片4-5 噴漿機組(小型)



照片4-6 數據集錄器組(依上而下為數據集錄器，電腦設備及不斷電系統)

4-3 試驗方法及步驟

4-3-1 試驗方法

試驗方法及其依據詳述如后

1. 加熱標準溫度

本研究所進行之耐火試驗加熱係依CNS 12514 加熱等級中所規定之標準時間溫度曲線進行溫度控制(註CNS 12514 所規定之標準時間—溫度曲線與UL 263一致)

2. 鋼樑測溫度

鋼樑測溫依UL 263(ASTM 119)之規定。

3. 試驗標準

選定UL 263有保護無載重樑之條件製做B試體(配合國內耐火試驗設備無法提供加載之現況)。

4-3-2 試驗步驟

1. 試體材料準備

- ①於B 尺度鋼樑之兩端，以混凝土灌置試體基座。
- ②將鋼材試體表面予以砂磨處理
- ③利用氣焊組將熱偶線銀焊於鋼材試體之測溫點上如圖4-2、圖4-3。
- ④兩種噴覆材料進場備妥。

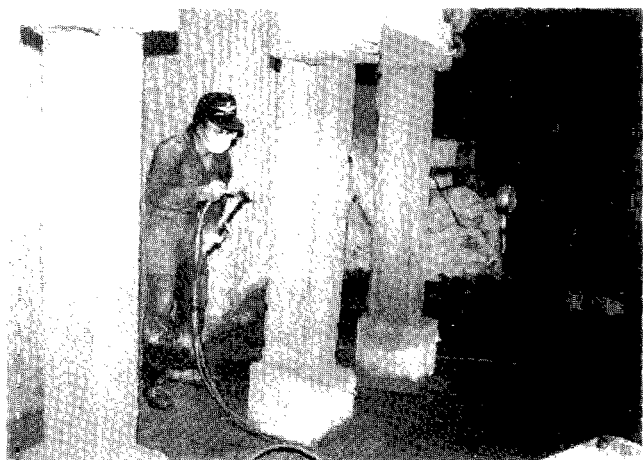
2. 被覆材料噴附

- ①兩種材料分別加水混拌至均勻狀態。
- ②以噴覆機組將之噴覆於鋼材試體上(照片4-7、4-8)。

3. 養護—於室外自然大氣條件下養護35天。

4. 耐火試驗

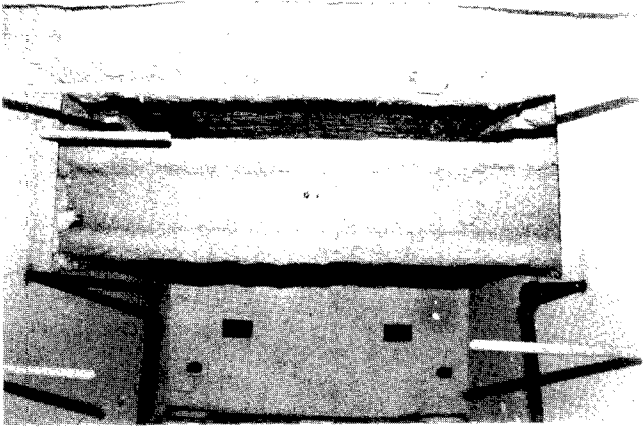
- ①將B 尺度樑置於汎用高溫爐架上(照片4-9)。
- ②將B 尺度樑對應該樑同厚度同材料之兩個鋼版置入鋼板試體框架上(照片4-10)，推入高溫爐口鎖緊。
- ③將測溫熱偶線接上數據集錄器。
- ④設定自動控溫儀依標準加熱等級控溫。



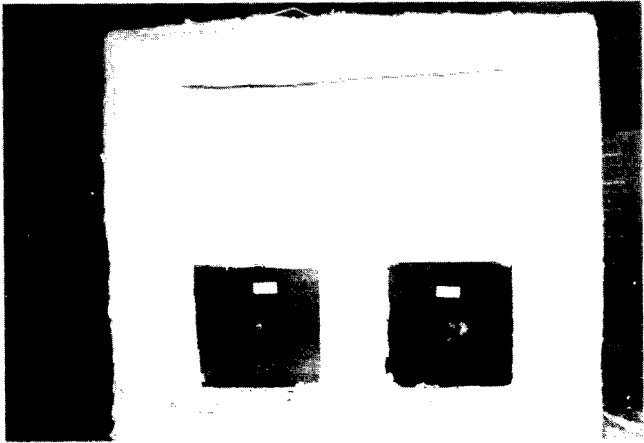
照片4-7 試體噴覆情形(鋼樑)



照片4-8 試體噴覆情形(鋼版)



照片4-9 鋼樑試體在汎用耐火試驗爐中之情形



照片4-10 鋼版試體在汎用耐火試驗爐中之情形

⑤點火進行試體之耐火試驗。

⑥重複耐火試驗步驟①～⑤，其進行W15、W30、W45、G14、G32、G46六組耐火試驗

5.利用數集錄器收蒐集耐火試驗之數據，取回後以電腦進行整理與比對分析。

4-4 試驗結果

試驗結果如圖4-4～4-9所示，其中

CNS.F.T 表標準時間—溫度曲線

F.A.T 表爐內平均溫度

B.A.T 表樑試體上控制斷面上之平均溫度

(註:控制斷面意指樑試體兩測溫斷面上四個點的平均溫度
昇溫較快者)

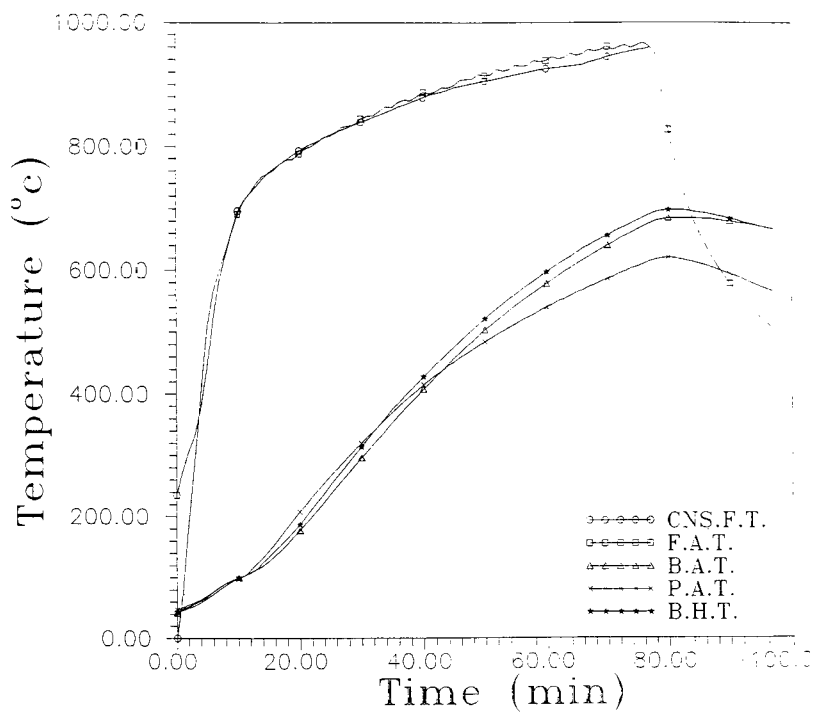
P.A.T 表版試體平均溫度曲線

B.A.T 表樑試體所有測溫點中，昇溫最快者之溫度曲線

試驗中，噴覆W材料30及45cm之B尺度樑因在耐火試驗之烈焰下產生寬大裂縫，造成熱流路徑使鋼樑加速昇溫。故而其極限溫度到達時間明顯提前，(照片4-11)，此情況在4-5-2節檢討與分析中將列入考量，應特別注意。

其餘試體部份，包含噴附G材料之樑、版試體及噴覆W材料之版試體，均在正常且噴附材料未受高溫破壞之條件下完成耐火試驗，試驗後被覆材料表面可見無數細微裂縫如照片4-12所示。

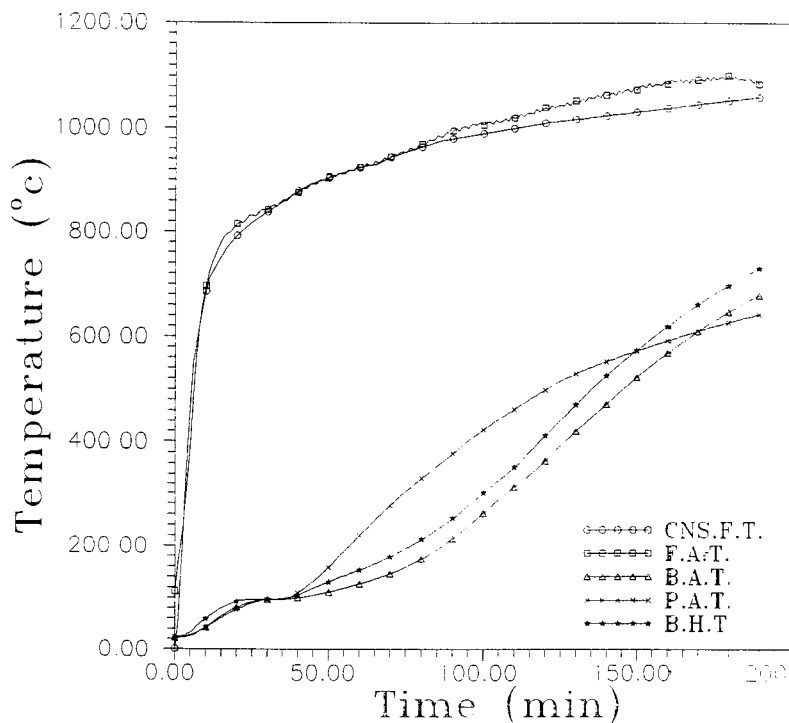
G14



含水量(w%)=29%(衡重)

圖4-4 厚度14mm G材料之耐火試驗結果

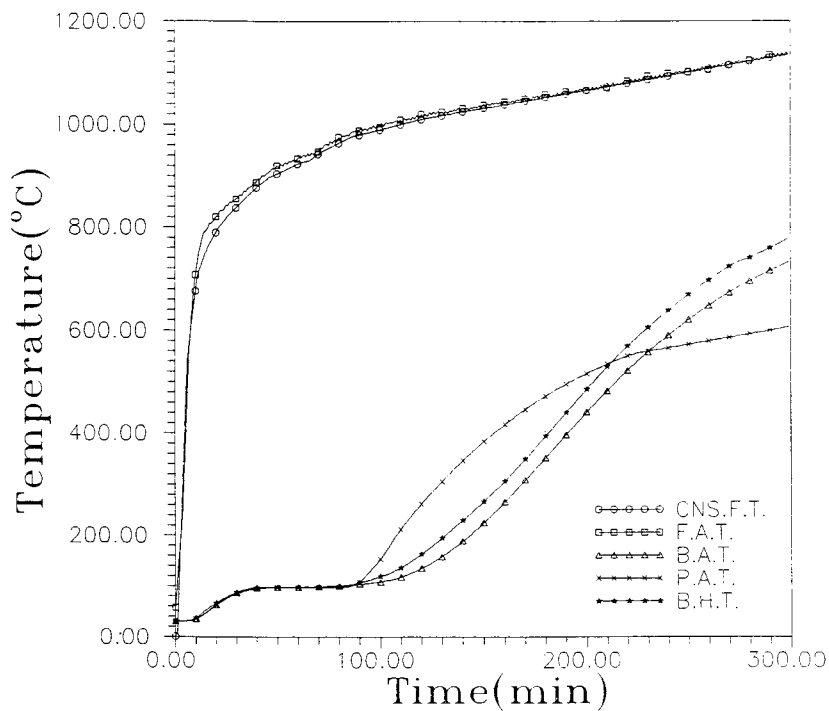
G32



含水率=28% (未衡重)

圖4-5 厚度32mm G材料之耐火試驗結果

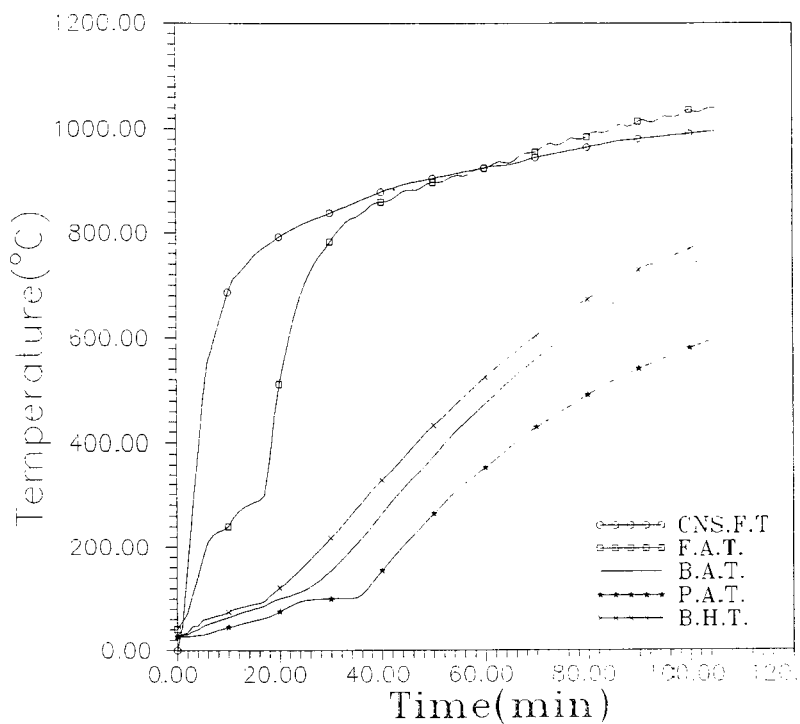
G46



含水率=36%(未衡重)

圖4-6 厚度46mm G材料之耐火試驗結果

W15

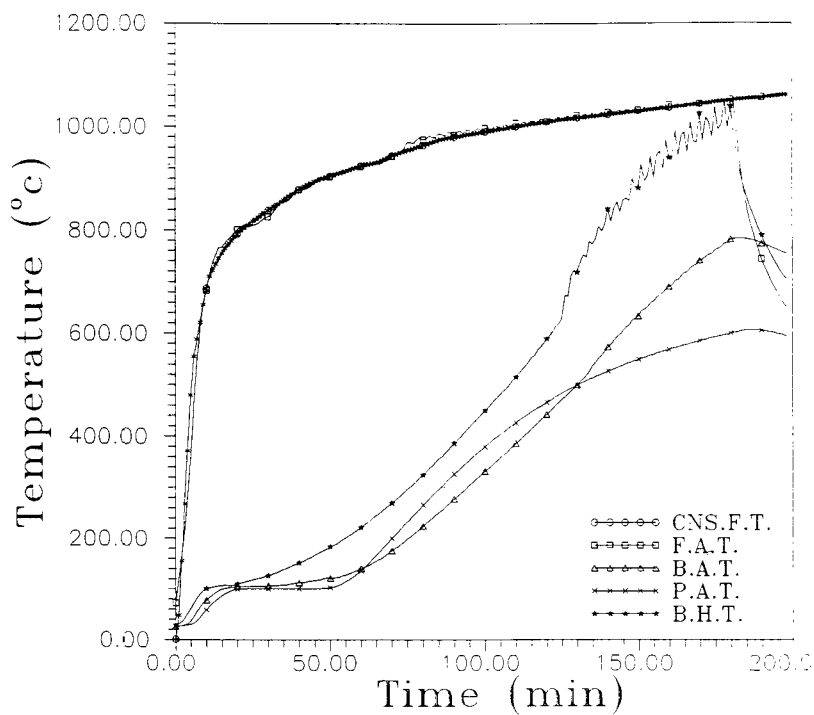


含水率=26%(衡重)

PS:F.A.T(平均爐溫線)前半段的不正常係因錯接K Type Thermocouple所致，一經發現立即更正，溫度即正常上升(Time=6min處)

圖4-7 厚度15mm W材料之耐火試驗結果

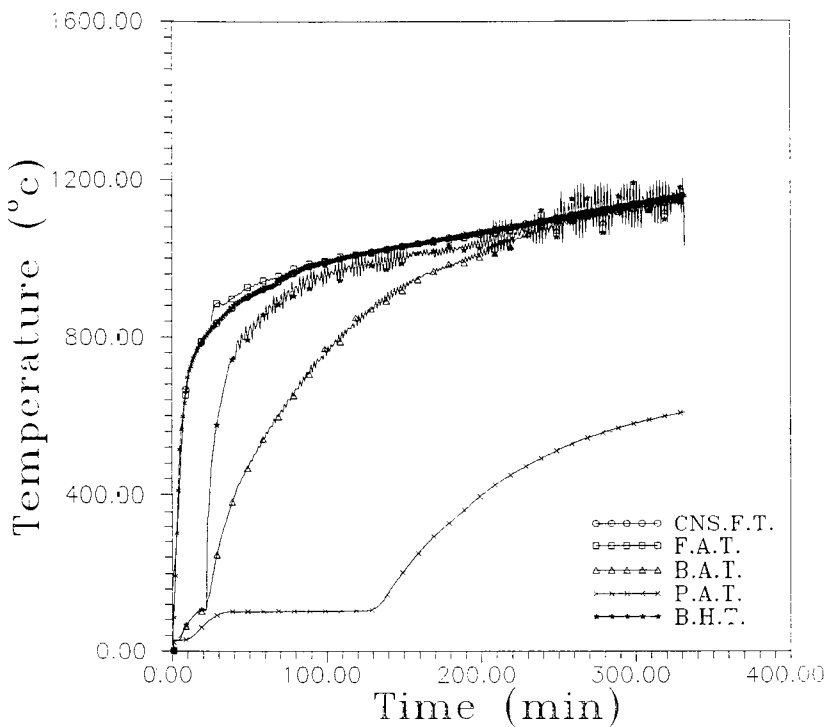
W30



含水率=35%(未衡重)

圖4-8 厚度30mm W材料之耐火試驗結果

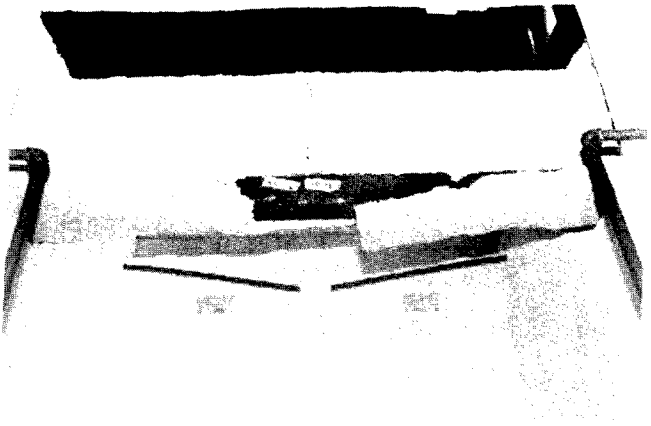
W45



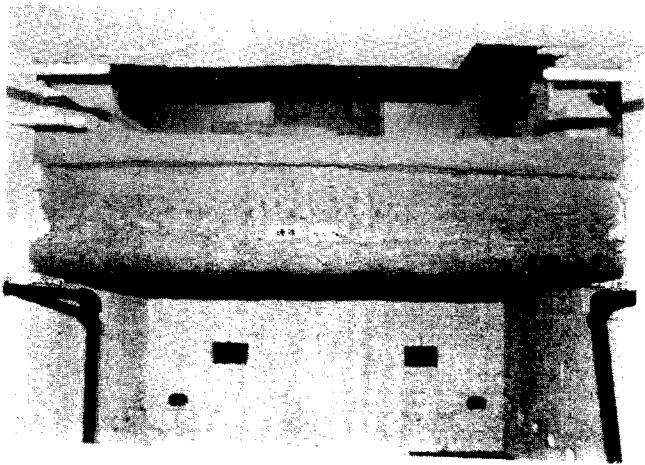
含水率=49%(未衡重)

PS: 標溫曲線因材料整塊掉落，試體到750°C左右試體下方熱偶線已直接暴露噴火口處，故造成極大波動。

圖4-9 厚度45mm W材料之耐火試驗結果



照片4-11 耐火試驗中，試體產生寬大裂縫及剝落之情形



照片4-12 耐火試驗後，試體產生無數細微裂縫之情形

4-5 試驗結果之檢討分析

4-5-1 分析方針與整理

本研究試驗結果之比較分析依下列三方面進行

①B 尺度鋼樑及小尺度鋼版，二者分別與UL比對

—UL測試報告中所載明係採無束制載重樑之測試方法，故以其極限均溫593℃ 進行比對分析(圖4-10～圖4-12)。

(註：本耐火試驗中，所有試體平均極限溫度到達時間均發生於單處最高溫度到達時間之前)

②兩種材料進行模式驗證(圖4-13～圖4-16)。

③CNS 標準與UL (ASTM) 標準進行比對分析 (圖4-17～圖4-20) 各標準所要求之極限溫度見表4-4。

④B 尺度樑與小尺度鋼版進行比對分析(圖4-21～圖4-24)。

表4-4 中、美標準中所訂定鋼構件極限溫度比較表(單位℃)

	CNS		UL 263 (ASTM-E119)		
	3581	12514	柱	樑	
				有載重	無載重
斷面平均溫度	538	350	538	593	538
單點最高溫度	649	450	649	704	649

試驗結果所顯示之材料厚度與耐火時效關係表，如表4-5所示。

表4-5 試驗結果數據整理表

試驗地	試驗 種類	試體 種類	試驗 材料	材料噴附 厚度(mm)	耐火 時效 (hr)	實際求得平均極限溫度到達時間(min)		
						593 °C	538 °C	350 °C
UL	加載	實大 標試 體	G	12.7	1	61	—	—
				28.6	2	130	—	—
				41.3	3	194	—	—
本 研 究 所 採 用 之 汎 用 高 溫 爐 (國 立 台 灣 工 業 技 術 學 院)	無 加 載	B 尺 度 標 試 體	G	14	1	60	55	35
				32	2	155	148	116
				46	3	228	215	174
			W	15	1	69	66	47
				* 30	2	121	124	95
				45	3	—	—	—
		小 尺 度 標 試 體	G	14	1	72	62	43
				32	2	161	134	84
				46	3	281	212	141
			W	15	1	104	90	60
				30	2	176	145	95
				45	3	313	265	185

註1. 材料厚度間依體W/D 值換算後，不同尺度試體上，同一被覆材料並同一時效之被覆厚度具等價關係(見4-2節)

2. 所有試驗結果，試體上測溫點所測得之平均測極限溫度到達時間均發生於單點處最高溫度到達時間之前，故單點最高溫度UL(ASTM)704°C、649°C及CNS 450°C不予比較。

3. 表中劃—記號者表試體於高溫下提前破壞以致無法獲得該數據。

4. * 註標表耐火試驗中其被覆材料有較大裂縫產生，而可能有極厚溫度到達時間被提前之虞者。

UL(Beam) - 593°C

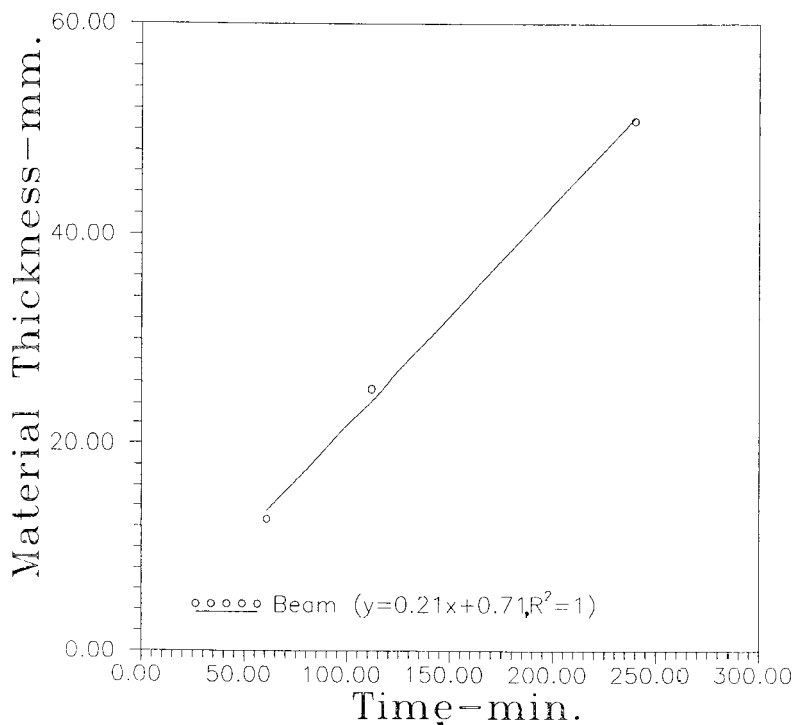


圖4-10 UL R4339-41耐火試驗結果之厚度與耐火時效關係圖(G 材料)

G 593°C

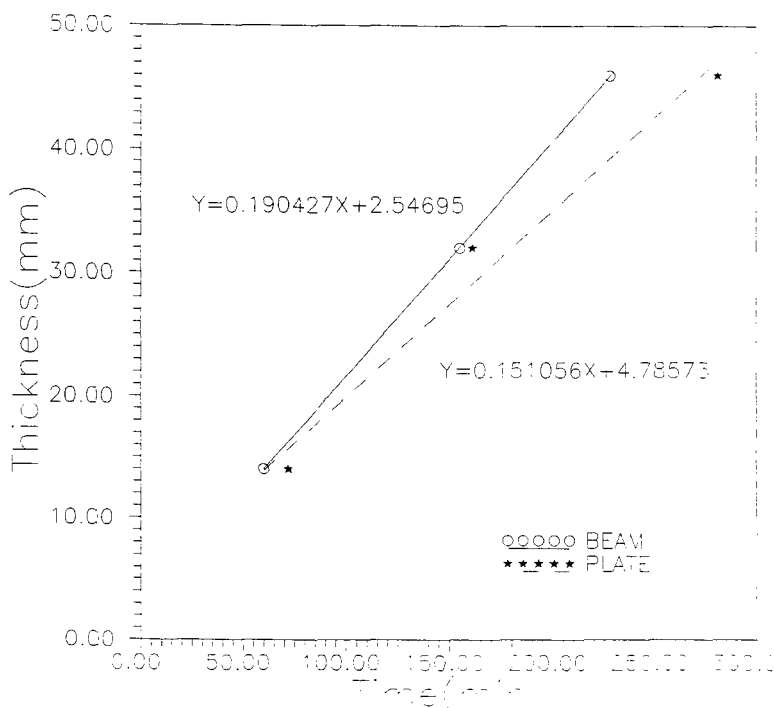


圖4-11 G 材料樑與板試體之厚度與耐火時效關係比較
圖 (593°C)

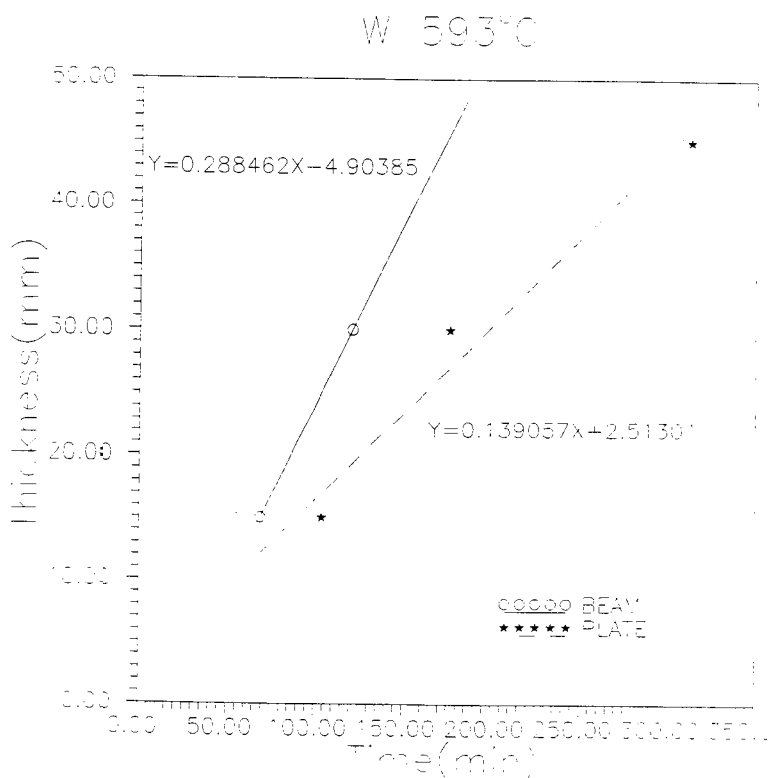


圖4-12 W 材料樑與板試體之厚度與耐火時效關係比較
圖 (593°C)

Beam(size B) 538^oC

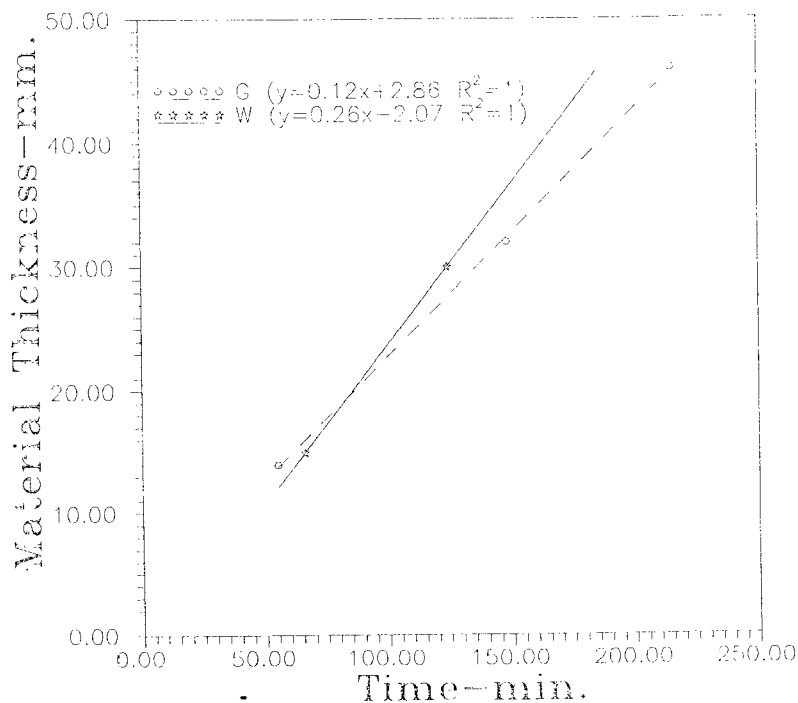


圖4-13 樣試體上，兩種試驗材料之厚度與耐火時效關係圖 (ASTM 標準)

Beam(size B) 350°C

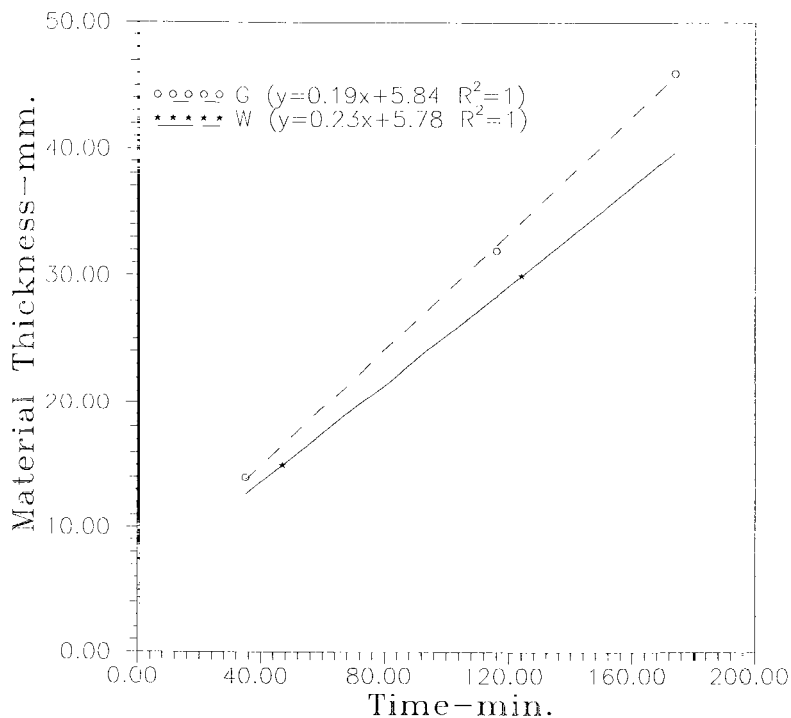


圖4-14 樑試體上，兩種試驗材料之厚度與耐火時效關係圖 (CNS 標準)

Plate 538°C

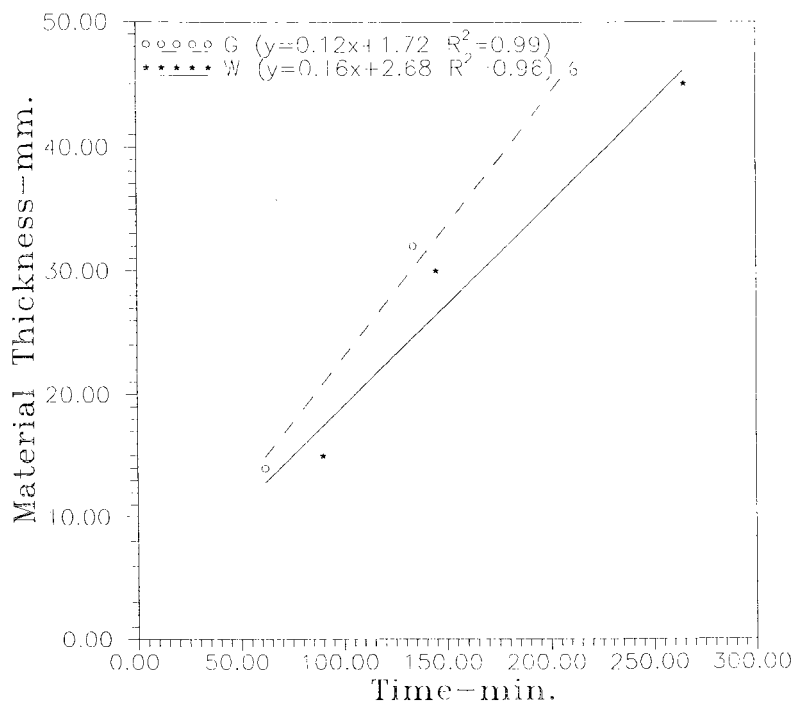


圖4-15 版試體上，兩種試驗材料之厚度與耐火時效關係圖 (ASTM 標準)

Plate 350°C

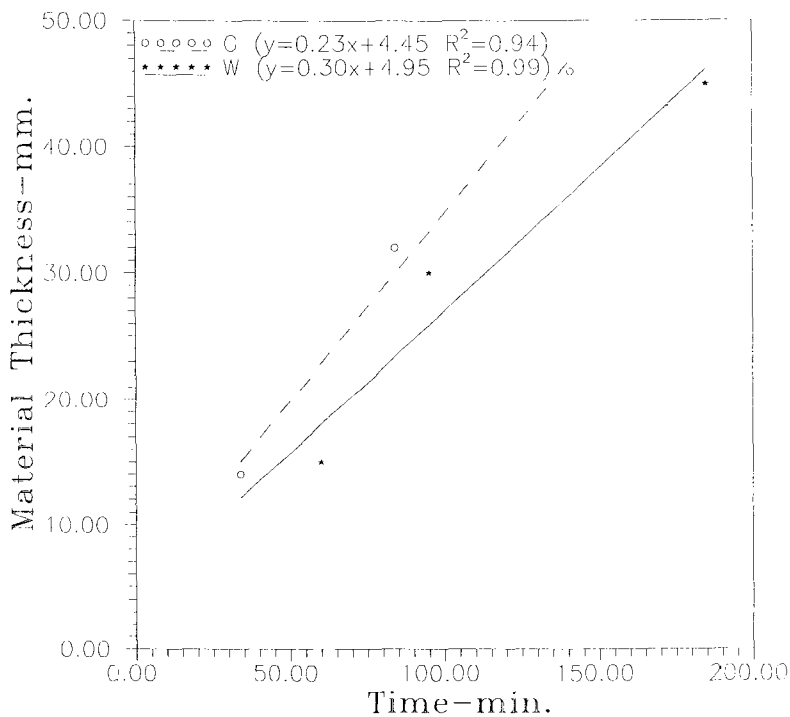


圖4-16 版試體上，兩種試驗材料之厚度與耐火時效關係圖

G -- Beam(Size B)

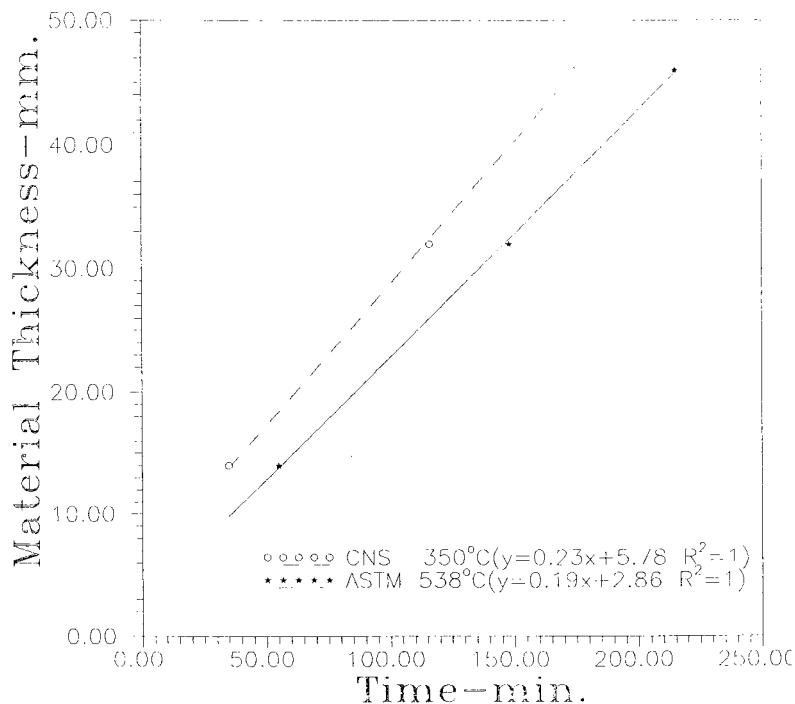


圖4-17 噴覆G 材料之樣試體在CNS 及ASTM 兩種準要求
下之厚度與耐火時效關係圖

G - Plate

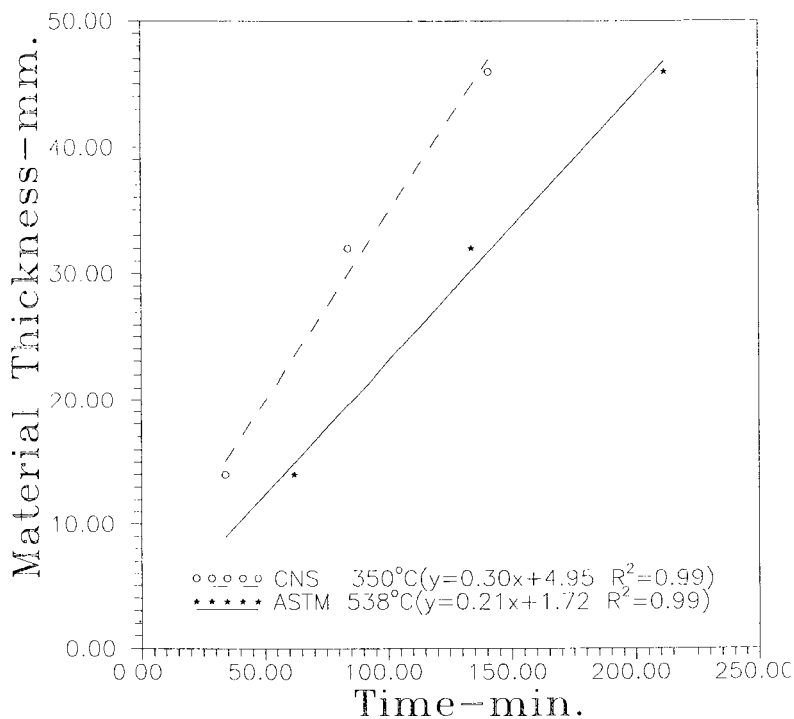


圖4-18 噴覆G 材料之樣試體在CNS 及ASTM 兩種準要求下之厚度與耐火時效關係圖

W - Beam(Size B)

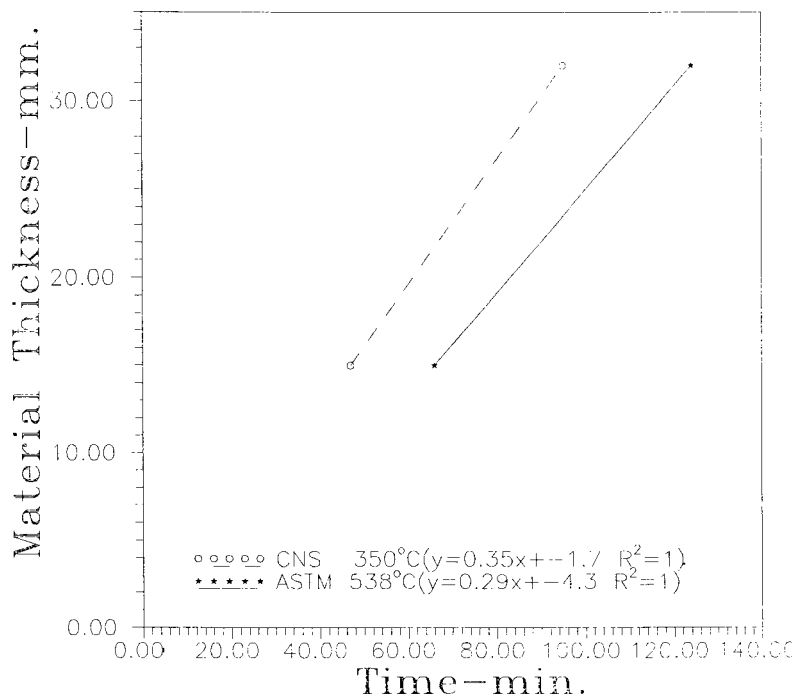


圖4-19 噴覆W 材料之樣試體在CNS 及ASTM 兩種準要求下之厚度與耐火時效關係圖

W - Plate

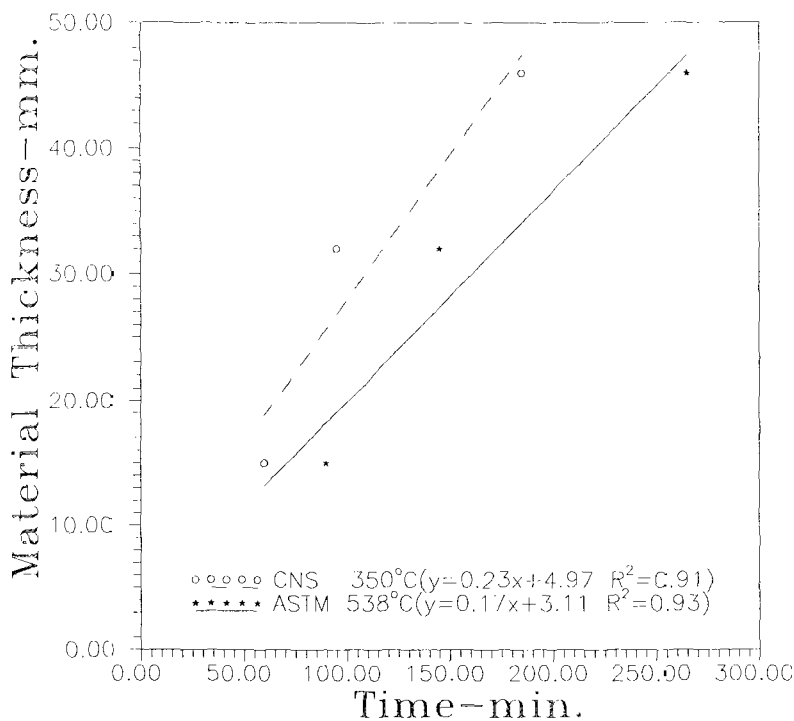


圖4-20 噴覆W 材料之標試體在CNS 及ASTM 兩種準要求下之厚度與耐火時效關係圖

G - 538°C

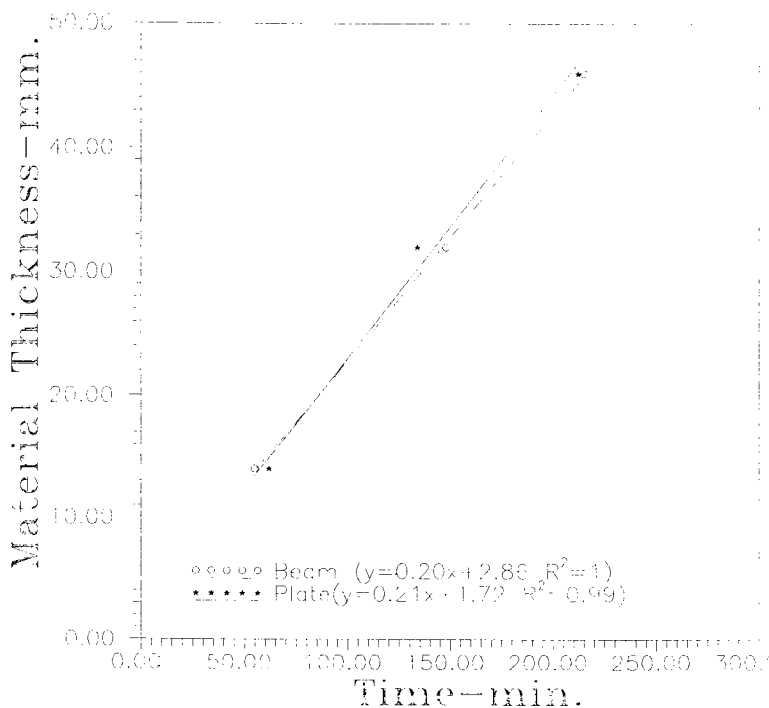


圖4-21 G 材料試驗組，樑、版試體之耐火時效比較圖
(ASTM 標準)

G - 350°C

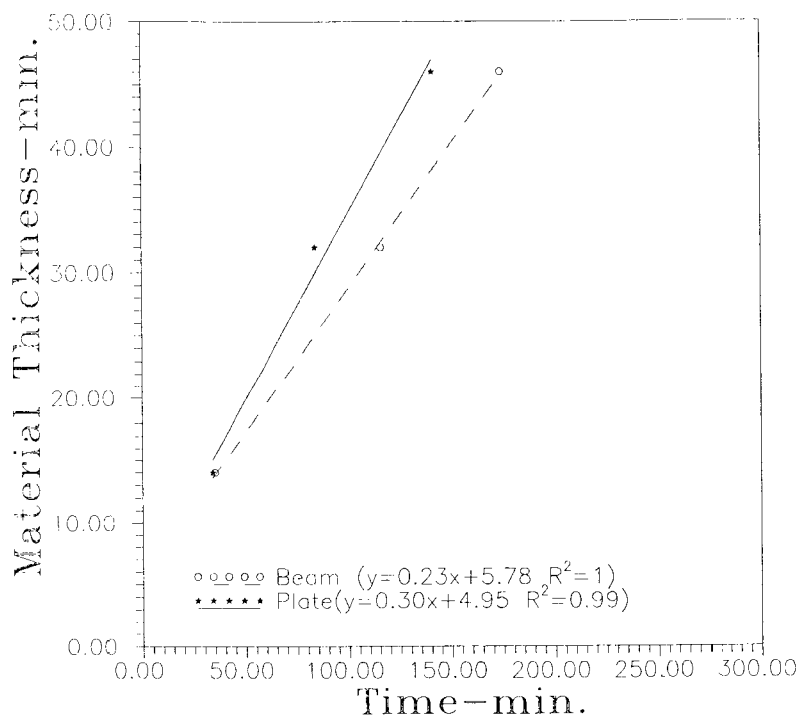


圖4-22 G 材料試驗組，樑、版試體之耐火時效比較圖
(CNS 標準)

W - 538°C

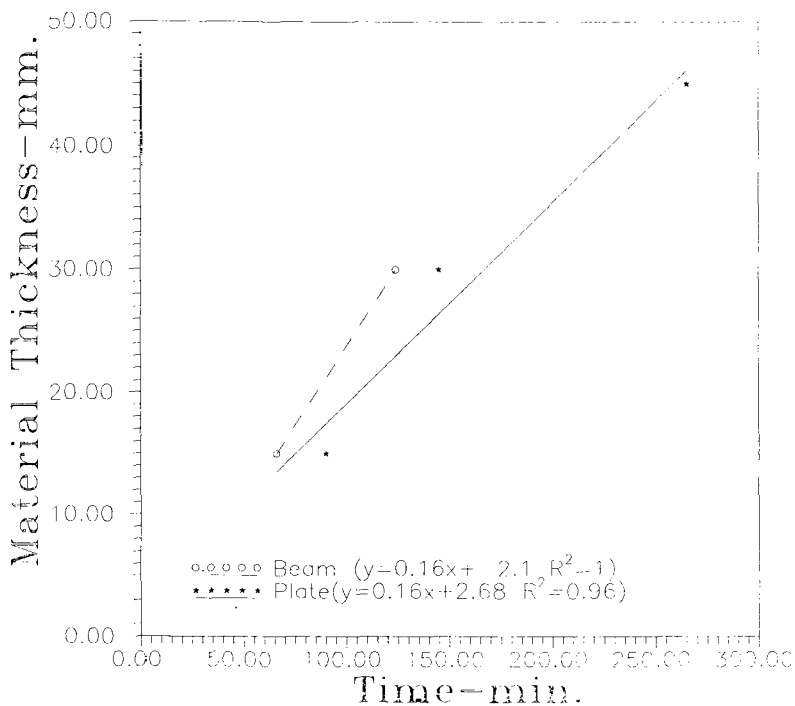


圖4-23 W 材料試驗組，樑、版試體之耐火時效比較圖
(ASTM 標準)

W - 350°C

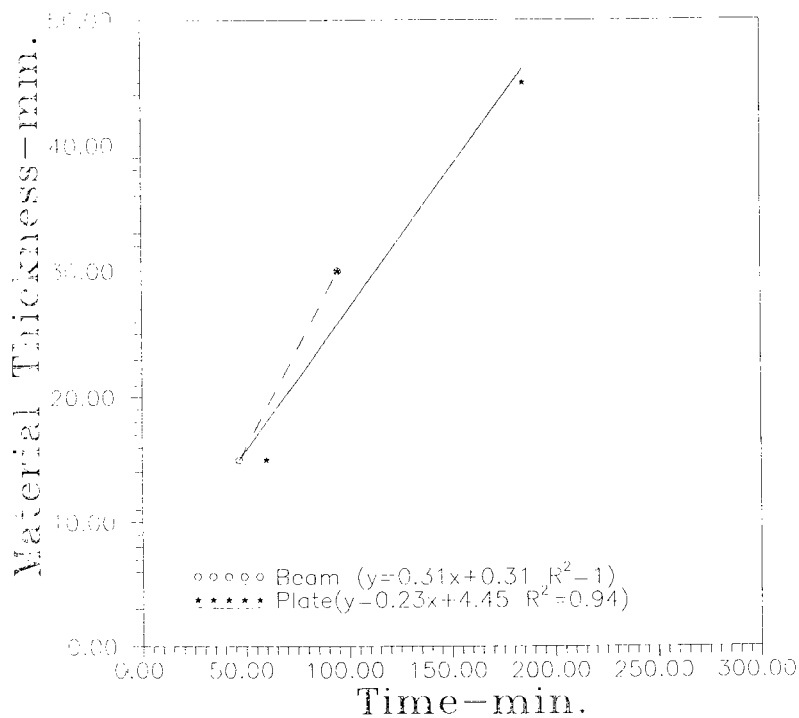


圖4-24 W 材料試驗組，樑、版試體之耐火時效比較圖
(CNS 標準)

4-5-2 分析與檢討

由六組試驗結果與各整理圖表中，我們可以取得下列有效資訊：

- (1) 小尺度版試體與UL實大樑試體試驗之升溫走勢均呈現遞減之正斜率曲線，而B 尺度樑試體則呈遞增之正斜率曲線。
- (2) 小尺度版試體與B 尺度樑試體受含水率所造成遲滯時間之影響程度幾乎完全相同。
- (3) 小尺度版試體在初期昇溫比樑試體要快，但在後期則漸趨緩慢。由本次試驗結果可看出400 °C以前，版試體到達極限溫度的時間均比樑試體要快，即有較偏保守之耐火時效。
- (4) 超過400 °C以後，版試體之極限溫度到達時間即可能比樑試體要慢，也就是說，在此種情形下小尺度試體會有超估被覆材料耐火時效之嫌。
- (5) 噴覆材料的厚度愈大，在CNS平均極限溫度350°C的要求下，版試體所獲得耐火時效之安全係數會愈大。
- (6) 依W/D 值及式3-2 所轉換大、小尺度試體同耐火時效下之被覆厚度，經試驗結果顯示其到達極限溫度之時間相當接近，表示此一轉換模式應具相當可信度。
- (7) 前項(6) 所述之時效接近程度隨試體尺度之縮小而愈見保守，同時也隨厚度之增加而加大其安全係數。

由上述分析結果中可看出，小尺度試體在CNS 的要求下，對耐火被覆材料之檢測具有偏安全側之優點，故實際應用於耐火檢測之體系上應屬可行。但基於分析結果，亦可看出幾點值得探究討論之處，茲列舉如下：

- (1) 小尺度試體主要欲代替柱、樑及樓版結構進行檢測，由試驗結果看來，其模式與連接樓板之樑構件最為接近，這可能跟小尺度版試體背面的斷熱條件有關。
- (2) 隨著被覆材料噴覆厚度增加；小尺度版試體之檢測雖然提供了更高的安全係數，但是否可能因此造成不必要的材料浪費，則有待進一步的檢討。

- (3) 依W/D 值所轉換在不同尺度試體上之噴附厚度，雖呈現相近的耐火時效，但由於各不同尺度試體間之背景條件不同(如UL所檢測試體之含水量較低)，故仍須進一步探討在本島環境條件下，3-2 式之適用程度。
- (4) 由W 組之試驗可知，小尺度版體無法顯現材料受火後附著力不良之情況，故仍應配合B 尺度樑試體做材料附著特性方面之檢測。

第五章 小尺度耐火被覆材料檢驗方法之擬議

在設備及場地不足的情況下，小尺度耐火檢驗方法之建立，不但可以簡化耐火檢驗之設備、手續及時程，更可在最機動的效率下控制耐火被覆材料之品質，本研究依國內外文獻及小尺度試體耐火試驗結果，茲擬議小尺度耐火被覆材料檢驗方法基準如次：

一、適用範圍

將本檢驗測試基準所適合之建築構造部份歸類並列出。

二、試體

對試體規格及要求標準逐一說明。

三、加熱爐

說明加熱爐要求標準及其附屬配件的要求。

四、加熱等級

檢驗基準進行檢驗過程的依據，根據此檢驗基準可客觀判斷建築構造的耐火性能。

五、加熱試驗

加熱試驗之步驟及注意事項。

六、判定與報告

報告要求記錄事項及判定合格的標準。

各項中之方法、規定茲詳列於本章各節。

5-1 適用範圍

本檢驗基準以結構體部份的耐火材料為主。因此，其它部份不予討論。在試驗中並對各構件之功能分類而分別適用下列營建構件之各項分類：

一、柱—受本身自重狀態下之受力情形。

二、樑—同柱。

三、地板或樓板(注意有無格狀板)—量測熱傳量、內部足以點燃棉質廢料之熱空氣流量

。

四、屋頂(注意有無天花板)——同地板。

本分類並非一成不變，可就試體之形式、使用功能等而以合理之小尺度元件模擬。

5-2 試體

一、規格要求

1. 試體規格：

(1) 受測之試體鋼材部份為面寬450mm*450mm之鋼版。

(2) 鋼版材料之編號應與實體之型鋼目錄編號一致。

(3) 鋼板厚度算定依下列公式：

$$t_1 = \frac{W_1 * 0.45}{D_1 * 7850}$$

其中 t_1 = 所求鋼版厚(m)

W_1 = 實體鋼骨構件之單位重(kg/m)

D_1 = 實體鋼骨構件斷面受熱周長(m)

(7,850及0.45為公制下之換算常數)

(4) 若無該厚度之鋼版，則應選用較小而最接者。

(5) 試體表面耐火材料厚度應與實體構件一致。

2. 注意事項：

A. 依實際使用情形製作。

B. 有耐燃性能較弱者，包含該耐燃弱點。

C. 有中空層之試體要求：

中空層應設於檢測材料與鋼材之間。

二、測溫

1. 以熱電偶量測

(1) 熱電偶規格

A. 直徑要求：小於0.7mm(詳加熱爐)。

B. 固定方式：以銀焊方式將測溫端點焊於鋼版受火面正中央，其餘部份可以適當黏劑或不燃性膠帶固定之。

(2) 試體內部溫度量測：

A. 注意事項：熱電偶線之電線儘量接近熱接頭的等溫線。

B. 與熱接頭距離：至少30mm。

試體應加以調整以與實際狀況儘量接近。

1. 試驗條件之標準狀況：

(1) 相對濕度：接近建築結構物所在環境之濕度。標準狀況約為76%。

(2) 乾球溫度： $23^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ (73°F)

(3) 空氣溫度：空氣溫度應介於 $10 \sim 32^{\circ}\text{C}$ 之間。

(4) 氣流速度：通過背燃面的空氣速度不應超過 $1.3\text{m}/\text{sec}$ 。

(5) 含水量：標準狀況為溫度 23°C ，相對溼度76%之大氣乾燥至平衡的狀態。

2. 含水量：

(1) 應與外界達到平衡。

(2) 乾燥方式不得損及試體原有耐火性質。

(3) 達成要求之含水量所需之乾燥溫度建議為 60°C (140°F) 以下。

(4) 試體上耐火材料之含水量應記錄報告上。

(5) 氣流速度：使用機械通風，不可使氣流越過背燃面。

(6) 乾燥程度：

A. 在通風良好的室內乾燥期內如表5-1

表5-1 自然乾燥規定

分 類	夏 季	冬 季
受檢測為二、三小時耐火時效者	2 個月	3 個月
受檢測為半、一小時耐火時效者	1 個月	1 個月

B. 人工乾燥或以適當方法達到氣乾狀態時，得縮短乾燥時間。

3. 強度

(1) 應與實際使用情況之強度相接近。

(2) 於焚燒期前72小時內應取得實際含水量及分佈資料。
。如果徹底改變，應於24小時內再取樣。

4. 加熱設備的使用——不得對試體產生結構或耐火性能有害之影響。

5. 經12個月仍無法達到要求，仍可進行有關之加熱試驗，但要求之最終時效應符合現行法規之要求。

三、記載項目

1. 材料。

2. 施工方式。

3. 組件尺寸(可代表實際使用情況之結構)、厚度。

4. 組件材質。

5. 樣件成份及其物理性質。

6. 樣件之外型尺寸應等比率於建築同型之規定尺寸並不得影響待測材料性質數值之正確性。

5-3 加熱爐

一、加熱爐之環境為模擬火場溫度，有關本試驗之加熱應有的條件如下列：

1. 能大致均勻施熱於試體之全部。

2. 熱源為燃燒瓦斯火焰、重油火焰或其它適當的火焰。

3. 框架應具有耐熱性之構造，並能將試體面保持在規定位置上。

二、火炬——火炬若為輻射熱，可將火炬的影響變數減至最低。

三、爐溫

影響加熱爐的幾項變數：

1. 加熱爐的幾何形狀。

2. 內視材料的熱性能。
3. 燃料種類。
4. 燃燒器數目、種類及位置。
5. 加熱爐通風的方法
6. 加熱時間—溫度曲線。
7. 調整傳至試體表面的總熱量。
8. 爐內燃燒物質的種類及量(火負荷)
 - (1) 爐內火負荷分佈
 - (2) 火負荷多孔性及粒子形狀。
9. 單位時間空氣供應量。
10. 包含火炬的結構室的熱性質。

四、爐體

1. 爐體內部使用內視材料應具備之特點：
 - (1) 可使其爐內溫度一致。
 - (2) 輻射熱反射均勻。
 - (3) 可降低誤差容許值。
 - (4) 內視材料之規定：
 - A. 內視材料之熱傳係數須小於 $0.05 \text{ W/m} \cdot \text{k}$
 - B. 材料：可為纖維磚、固體磚、陶瓷耐火棉及鑄造材料之類的形式。
2. 燃燒熱量 1Kcal/h 約等於 1.163W 。
3. 試體框架—

爐體之開口可設計為試體框架：

注意事項

 - (1) 試體框架應能有效嵌入試體並固定之。
 - (2) 框架之內視材料應與爐體一致且能有效阻止熱流之傳遞擴散。
 - (3) 檢測試體邊緣與框架間應使無縫隙或以陶瓷棉填塞之，以免成為熱流途徑。

五、爐壓

1. 爐內壓力—

(1) 壓力要求： $10 \pm 2\text{Pa}$ ($1.0 \pm 0.2\text{mm H}^2\text{O}$ 或 $0.04 \pm 0.008\text{ in H}^2\text{O}$)。

(2) 追蹤位置：

A. 垂直元件：距試體約3/4高處。

B. 水平元件：距試體約下方100mm處。

(3) 存在位置：爐壁適當位置。

2. 壓力差—降低背燃面壓力產生壓力差。

六、附加設施

1. 熱電偶—

(1) 設於鋼版試體中央點

A. 依加熱爐尺寸，延試體受熱面1m內至少每 m^2 一支。

B. $\geq$ 八支，且對稱均分佈於加熱爐內。

(2) 熱電偶規格：

A. 規格：

① 以密封瓷管保護：外徑19mm (3/4 in)、管厚3mm (1/8 in)。

② 以標準重量級黑熱鋼管或黑熱鐵管保護（卑金屬熱電偶）：外徑13mm (1/2 in)。

③ 背燃面使用之熱電偶外徑不可大於8mm (5/16 in)。

④ 直徑：大於0.75mm；小於1.5mm。

⑤ 與試體距離：最接近之距離100mm，儘量維持常數。

⑥ 有被覆之熱電偶：以不妨礙測試靈敏度之裸線熱電偶。

⑦ 保護：以陶磁類耐熱材所製之圓管保護，並距熱接點25mm。

⑧組成：16號鎢、鋁合金線兩條熔焊，並置於磁製絕緣管1/2 吋深，再置於公稱尺寸1/2 吋之黑熟鐵管或黑墊鋼管內。

⑨與高溫保護管於火場伸出之長度 $\geq 305\text{mm}$ 。

(2) 暴露長度：不少於305mm(12 in)。在爐溫測量精度內，可使用其它種類之保護管或高溫計。

2. 過壓力測試設備

七、加熱爐環境

加熱爐周圍的環境會影響試驗最終的結果，且較其它項目難控制，但總影響較爐內溫度的對流及輻射要小。

為防止內外溫度差距過大，有以下幾點作法：

1. 通風良好。
2. 容積足夠。
3. 鄰近結構有較高之熱傳導性。
4. 距加熱爐250mm 以外的室內溫度不得超過 $25 \pm 15^\circ\text{C}$ 。
5. 爐內含氧氣—爐內有可燃成份之試體，氧含量應能保證足夠燃燒完全，且排煙氣中含氧量需低於10%。

5-4 加熱等級

一、標準加熱狀況

(1) 誤差容許度與時間的關係—

$$T - T_0 = 345 \log_{10}(8t + 1)$$

t ：時間單位為分。

T ：火焰在時間 t 下的溫度；單位為 $^\circ\text{C}$ 。

T_0 ：火焰最初溫度；單位為 $^\circ\text{C}$ 。

這是實際火場情況之簡化式子。

影響加熱等溫度曲線的因數

(2) 標準加熱時間—溫度曲線如圖5-1。

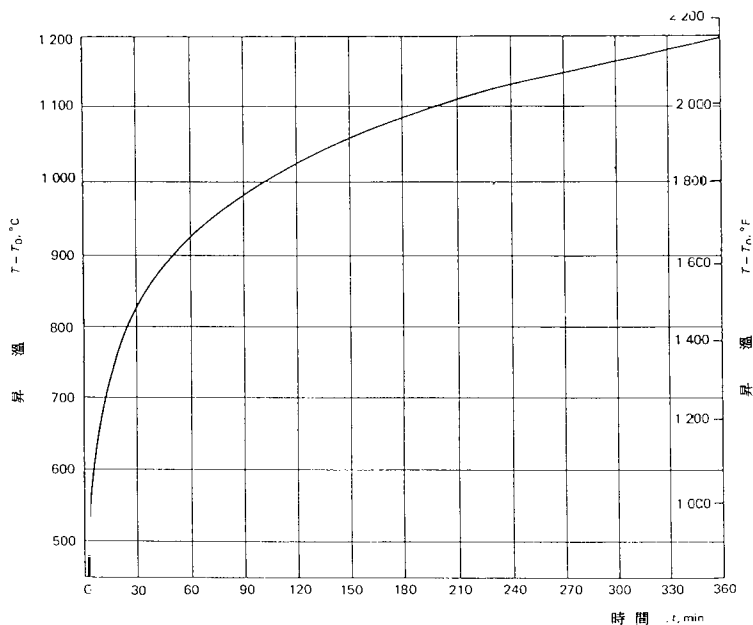


圖5-1 標準加熱時間—溫度曲線圖

(3) 標準加熱時間—溫度對照表。如表5-2。

加熱時間 (分)		5	10	15	30	60	90	120	180	240	360
加熱 溫度	°C	556	659	718	821	925	986	1029	1090	1133	1193
	°F	1001	1186	1292	1478	1665	1775	1852	1962	2039	2147

表5-2 標準加熱時間—溫度對照表

(4) 火炬溫度測量

1. 以熱電測量 (有關熱電偶之規格詳加熱爐)。

2. 誤差容許度

A. 溫度百分率

$$\left| \frac{A-B}{B} \times 100 \right|$$

其中

① 平均爐溫與時間的函數關係積分值。

② 加熱爐於加熱時間 t 之下的積分值。(詳標準加熱狀況)。

B. 爐內溫度分佈

① 與標準加熱時間—溫度曲線之溫度差

—試驗前10分鐘量得之溫差應 $\leq 100^{\circ}\text{C}$ (180°F)。

—含較多量可燃物質之試體量得之溫差應 $\leq 200^{\circ}\text{C}$ (360°F)。

建築各部位之特殊要求

不同溫度要求與熱電偶之關係：

(1) 平均溫度熱電偶配置情形：

—一支置於試體表面中央。

—額外熱電偶則儘量均勻置於背面上。

—測量爐溫之熱電偶不應置於金屬接頭上或離試體邊緣100mm處。

—結構組成之複合元件：試體排列須能確保接頭不會與上述接頭重複。

(2) 最高溫度熱電偶

—測量時間：任何時間之最高溫度。

—最高溫度之測量除非與平均溫度測量點相同，否則不應視為平均溫度之計算依據。

5-5 加熱試驗

一、前置作業

- (1) 試驗面以外之部份應以能夠隔斷火燄之耐火磚或其它材料覆蓋，又該等材料之間若有空隙致加熱達到試驗面外，應以陶瓷耐火棉或及其它材料填塞，並經過適當處理後方可加熱。
- (2) 透氣性、空隙接縫等之構造物之要求：
 - A. 試體加熱側之爐內氣壓應大於一大氣壓。
 - B. 爐體應安裝氣壓計，確認加熱面至少一半承受高於大氣壓之爐內氣壓。

二、試驗步驟

試體經調整後，記錄最初完整性，安裝於加熱爐上，進行加熱試驗並記錄試驗記載之事項，試驗於規定之時間內完成。

三、試驗情況

1. 試體於火場之曝露面—

- (1) 試體置於試體框架內，可水平或垂直使受測面朝爐內放置。
- (2) 方向：
 - A. 單面試驗：單向加熱。

2. 爐內總測溫點的溫度平均，為時間—溫度曲線上的各點。

3. 測溫

- (1) 30分鐘以內每2分鐘測溫一次。
- (2) 測試2小時前，至少每隔5分鐘記錄1次。
- (3) 測試2小時後，至少每隔10分鐘記錄1次。
- (4) 爐溫—最初2小時不超過5分鐘，以後可增長，但不得超過10分鐘。
- (5) 鋼材表面溫度之測定亦需至加熱終了後降溫為止。溫度測定每5分鐘一次。

4. 爐內溫度精度控制

由高溫計量測所繪之時間—溫度曲線下之面積與標準時間—溫度曲線下相對面積作比較：

爐內平均溫度標準許可差，是以加熱時間溫度面積計算：

加熱時間	1 小時內	1-2 小時	2 小時以上
等級誤差	10 %	7.5%	5%

四、注意事項

試驗終止時間：試體以預先設定之方式進行加熱試驗，其終止時間之判斷方式如下：

- (1) 火負荷承受量失效。
- (2) 絕緣失效。
- (3) 完整性失效。
- (4) 失效項可於全部失效後終止試驗，惟需經過委託人及事業單位的協調。
- (5) 試驗終止時間亦可由試驗委託人與試驗單元先行協調決定終止時間。即使試體於終止時間尚未發生失效現象。
- (6) 試驗時間計算之單位應以分鐘為單位。

5-6 判定與報告

一、觀察記錄

- (1) 加熱試驗之觀察注意事項：
 1. 無法承受加熱試驗之時間。
 2. 無法承受加熱而產生的變形、破裂及材料性質的轉變。
 - A. 試驗期間鋼板變形量觀測。
 - B. 試驗期間材料開裂、掉落之觀測。

3. 最終完整性失效。

① 試體於產生最初完整性的失效以後，試驗仍需進行下去，以獲得最終完整性失效的時間。

② 失效定義

—開口：裂縫、孔以及其他開口的產生或變化以致於使火燄或氣體能通過之經過時間即視為產生最終完整性失效的時間。

—試體損毀：材料之全部或部份損毀，即屬最終完整性的失效。

4. 其他：建築物可能產生之破壞、變化，但並非要求之性能標準如由分隔空間之建築構件如牆、樓板或屋頂等。

5. 加熱中

A. 未產生對耐燃性能或構造強度有害之變形、破壞、脫落等現象。

B. 局部之開裂僅止於表層之剝離，及積層材料加熱側之一部份爆裂雖然產生大龜裂、剝離、脫落等現象，但未侵入材料內側或心材者得視為合格。

C. 樓板背面溫度未超過 260°C 。(但背面溫度不在此限。)

6. 加熱時間

超過預定加熱等級之加熱時間時，對陶瓷棉覆蓋熱電偶所示溫度自加熱等級之加熱時間。

7. 構件組件之任何部份在加熱中不得有顯著之火燄產生，加熱終了10分鐘以後不得有殘留的火爐。

(2) 規定之試驗次數：按規定之試驗次數，每次皆需合格。

任一構件所對應之試體應進行三次試驗，每次至少二個。

下列構造應緊以實物試體判定。

A. 材料總厚度很厚，有開裂及掉落之虞者。

B.材料因加熱之伸長、收縮或撓度等變形，有產生間隙、龜裂、剝落等妨害防火性能之虞者。

、判定原則

1.耐火性

(1) 定義

A.決定因素：耐火性是以加熱多少分鐘的時間表示。

B.耐火性定義：試體依規定之加熱標準進行加熱試驗至發生失效情形的現象所經過的時間為其耐火性。

C.失效情況：分成三種如下：

- ①火負荷承受量。
- ②絕緣。
- ③完整性的失效。

(2) 耐火性評定標準：

A.性能憑定標準項目

- ①火負荷承受量。
- ②材料之絕緣及完整性。

B.絕緣

- ①對象，受檢測材料。
- ②其於可阻絕溫度之進入使鋼材表面溫度低於表5-3之規定。

表5-3 構材受火極限溫度表

	斷面平均溫度	單點最高溫度
柱、樑	350℃	450℃
樓版、屋頂	400℃	500℃

C. 完整性

①對象：被覆材料

②最初完整性：試體不得產生火簇或熱氣通過的裂縫、孔隙及其他開口。

③最終完整性：試體產生損壞或較設定標準提早失效即表示發生最終完整性之失效。

2. 判斷系統及耐火設計的幾項原則

(1) 考慮加熱期間。

(2) 考慮理論上整個在火中的程序。

(3) 包括加熱期間的試驗期及加熱結束後之冷卻的影響。

記錄事項

試驗報告應包含下列記錄事項：

(1) 試驗室的名稱。

(2) 委託單位的名稱。

(3) 試驗日期。

(4) 產品製造商名稱及商標名稱。

(5) 試體結構情況細節，包括：

1. 材料相關物性。

2. 機械性質及強度。

3. 施工方式。

4. 重要性質及特徵之細部大樣圖。

5. 試體構成之性質及與試體之比例關係。

(6) 試體固定、加熱方向及限制之方法。

(7) 各種要求之觀察：

1. 完整性失效過程觀察。

2. 隔熱觀察。

3. 火負荷現象觀察。

(8) 試體經過試驗後之失效前停止的狀況。

第六章 結論與建議

6-1 結論

由本研究之市場調查及耐火試驗結果中，我們可以獲得以下結論：

1. 國內廠商對於其所代理之進口耐火被覆材料的特性多半不甚瞭解，且在環境條件及規範要求不同的情形下，在國外檢測合格之材料到了我國則不一定符合標準，故建立我國本身之耐火被覆檢測基準，至為必要。
2. 由裸鋼材在高溫中的性質，可知不同鋼材之高溫力學特性不盡相同，因此我國現行標準中所設定之單一容許(極限)溫度制定，並不合理，簡言之，因應不同鋼材，判定其為破壞的鋼材極限溫度應該有所不同。
3. 現行CNS 標準中，對於同一種耐火被覆材料，不論其設計型式或鋼骨斷面尺寸，依不同耐火時效僅對應一種厚度，經文獻及試驗結果顯示其並不符合理論與實務上的需求。
4. 由電腦分析耐火試驗結果發現，同一鋼骨斷面條件下，耐火被覆材料厚度與其耐火時效間呈線性關係，但隨不同材料會有不同的斜率與截距。
5. 利用小尺度鋼版試體代替鋼樑進行檢測所得之耐火時效，在現行規範之要求下偏向安全側，且隨著耐火等級之提高而益發明顯。由此而知，小尺度耐火檢驗基準之設立應屬可行。

在充份利用現有設備的前提下，本研究中小尺度檢測試體尺寸之訂定，係配合內政部建築研究所籌備處五股防火試驗室之壁式耐火試驗爐所設計，期本檢測基準之擬定能與現存具備公信力之檢定認可機關相結合以便在被覆材料耐火性能之檢測上確收立竿見影之效。

6-2 建議

有鑑於國內目前耐火檢測設備無法跟上被覆材料市場及建設腳步，本研究茲提供以下建議，期可儘速解決此一窘境。

1. 建立兩種標準間之轉換模式

由表6-1 之本研究試驗結果比對表中,可看出CNS與UL所要求之極限溫度間,依不同耐火時效之要求有一近似之比值。如能利用小尺度試體做進一步的試驗比對及分析,則應可找出一有效轉換模式,利用此模式將UL所檢測合格之被覆材料厚度略為增加,而使其符合CNS 較為嚴苛之極限溫度要求,以應眼前之需要實屬當務之急。

表6-1 試驗結果在中、美標準要求下之時效比對表

防火時效 (min)		平均溫度		最高溫度	
		CNS、JIS	UL	CNS、JIS	UL
		350°C	538°C	450°C	649°C
W	15	47	66	52	77
		比值 1.40		比值 1.48	
	30	95	124	100	126
		比值 1.31		比值 1.26	
G	14	35	55	43	69
		比值 1.57		比值 1.6	
	32	116	148	127	167
		比值 1.28		比值 1.31	
	46	174	215	193	243
		比值 1.24		比值 1.26	

2. 利用小尺度試體雖可檢測被覆材料之耐火性能，但對於被覆材料之附著力以及鋼骨構件之受加載狀況卻未能有效模擬，故對於新材料之檢測，仍應配合實大試體做荷載加熱試驗為宜。
3. 針對不同鋼材所對應之不同的高溫性質，建議由鋼結構設計之安全係數以及鋼材受熱後容許應力衰減二方面做全盤地檢討，訂定不同鋼材之受火極限溫度，以兼顧防火工程之安全性及經濟性。

參考文獻

1. 蘇金佳、李廣齊譯, Jones Hawkins 著, "工程熱力學", 曉園, 1988.4。
2. 陳慶鐘、吳瀧川, "熱傳遞", 高立, 1960.8。
3. CNS 3581 Z3011, 建築結構物及材料的焚燒試驗方法, 中國國家標準, 民國62年11月。
4. CNS 12514 A 3304, 建築物不燃構造部份防火檢驗的比較, 中國國家標準, 民國62年11月。
5. CNS 12514 A 3305, 建築物構造部份耐燃檢驗法, 中國國家標準, 民國62年11月。
6. ASTM E119-88, 建築結構防火材料測試標準方法, 美國國家材料測試協會。
7. UL 263, 建築構造及材料的防火測試標準, 美國UL試驗公司(非營利性)。
8. 日本建設省告示第2999號, 耐火構造的認定方法, 日本建設省。
9. JIS A 1304, 建築構造部份的耐火試驗方法, 日本國家標準。
10. JIS A 1302, 建築物的不燃構造部份的防火試驗方法, 日本國家標準。
11. BSI 476 PART 8, 建築構件的耐火測試方法和標準, 英國國家標準。
12. DIN 4102 PART 2, 建築材料及建築構件之防火性能— 建築構件之定義、要件及試驗, 德國國家標準。
13. ISO 3008(834), 營建構件的耐火試驗, 國際標準組織。
14. 建築防火材料, 第四章 防火被覆。
15. 營建材料防火性能試驗體系建立, 陳舜田等, 工業局、國立台灣工業技術學院。
16. 鋼結構耐火被覆工程研討會, 中國生產力中心, 中華民國80年5月。

17. 建築耐火被覆工法，內藤龍夫，鹿島出版會。
18. 建築物の總合防火設計法，第四卷耐火設計法，國土開發計
 衛研究センタ，日本建築センタ發行，日本東京，平成元年
 。
19. 經濟部工業局，「建築構造耐火材料研究發展及應用計劃」
 民國81年6月。
20. 林慶元，「建築物鋼骨結構耐火被覆設計要求及檢驗基準」
 ，建築材料防火性能認定基準研討會，民國八十年八月。

鋼骨結構耐火被覆材 檢驗基準研究

附 錄 A

A-1 國內現有耐火被覆材料調查問卷..... a~1

A-2 國內現有鋼骨表面處理與塗裝調查問卷.. a~7

附錄A-1 國內現有耐火被覆材料調查問卷

您好：

我們是台灣工業技術學院營建系防火材料研究室學生，目前受內政部建築研究所委託，針對國內防火被覆材料之組成、性能、施工方法，進行研究調查，為期得到相關之分析資料，以提供我國建立防火被覆材料檢驗基準之基礎，特編製問卷一份，期望 貴公司能不吝提供寶貴資料及建議，不甚感激！

再次謝謝您的合作，由於您的參與，將使國內防火被覆材料之認定標準研究工作進行更為順利！

* 本問卷所得資料僅供本研究分析用，不作其它用途
* 若 貴公司所代理產品數種，調查表不敷使用時，
請自行影印，謝謝！

一 貴公司資料

公 司 名 稱：_____
電 話：_____
住 址：_____
填 表 人 姓 名：_____
職 稱：_____

二 問卷調查

(一) 貴公司所銷售防火被覆材料

(1) 材料名稱：_____
(2) 總代理商：_____
國 名：_____
公司名稱：_____

(二) 防火被覆材料性質：

(1) 材料主要成分：

☐ 蛭石
☐ 岩棉
☐ 其他礦棉類：_____

(2) 材料主要成分及比例為：

成 分						
百分率						

(3) 材料之物理性：

(請依據所知項目種類，自行填入)

比重	黏著力	抗壓強度	乾密度	熱傳係數		

(4) 材料特性、優缺點：

(5) 防火時效與噴附厚度：

(a) 噴附厚度固定者：

柱：1 hr—_____mm，2 hr—_____mm，3 hr—_____mm

梁：1 hr—_____mm，2 hr—_____mm，3 hr—_____mm

樓板：1 hr—_____mm，2 hr—_____mm，3 hr—_____mm

(b) 引用推算公式者：

引用依據為：_____

(6) 是否有關於材料之任何檢驗報告？

☐ 無

☐ 有

檢驗報告為：

美國 _____

英國 _____

日本 _____

韓國 _____

其他 _____

(7) 是否獲有我國內政部審核認可書？

☐ 是，何時：_____年_____月

☐ 否

(三) 材料之施工方法：

(1) 材料施工方式為：

☐ 乾式

☐ 濕式

☐ 半濕式

(2) 是否於底層先噴附黏著劑？

☐ 否

☐ 是

黏著劑材料為：_____

(3) 噴附前是否應先設置鐵絲網或其他有助於被覆材料附著之措施？

☐ 否

☐ 不一定，原因：_____

☐ 是，鋼架多大尺寸以上設置：_____

鐵絲網尺寸為：_____

(4) 噴附後是否須修飾？

☐ 是，如何修飾_____

☐ 否

(5) 同一地方需噴附兩次以上者，

兩次噴附之間隔時間：_____hr

(6) 噴附後乾燥時間為：_____hr

(7) 請簡述施工步驟 (或請提供施工規範)

(四) 針對此材料，是否有已完工實例？

☐ 否

☐ 是，為：_____

☐ 目前正施工中，為：_____

(五) 貴公司若有其他實貴資料，且不吝提供參考，我們將會再次與您聯絡，資料為：_____

(六) 貴公司是否有提供材料供作實驗研究的意願？ ☐ 有 ☐ 否
若有，我們將會再次與您聯絡。謝謝！

(七) 建議： _____

附錄A-2 國內現有鋼骨表面處理與塗裝調查問卷

您好：

我們是台灣工業技術學院營建系防火材料研究室學生，目前受內政部建築研究所委託，針對國內防火被覆材料與鋼骨防銹底漆間之關係，進行研究調查，為期得到相關之分析資料，以提供我國建立防火被覆材料檢驗基準之基礎，特編製問卷一份，期望貴公司能不吝提供寶貴資料及建議，不甚感激！

再次謝謝您的合作，由於您的參與，將使國內防火被覆材料之認定標準研究工作進行更為順利！

* 本問卷所得資料僅供本研究分析用，不作其它用途

* 若 貴公司所使用鋼骨防銹底漆數種，調查表不敷
使用時，請自行影印，謝謝！

一 貴公司資料

公 司 名 稱：_____

電 話：_____

住 址：_____

填 表 人 姓 名：_____

職 稱：_____

二 問卷調查

(一) 鋼骨出廠前是否有做噴砂處理？

☐ 是

☐ 否

(二) 鋼骨出廠前是否有塗防銹底漆？

☐ 是，請填(三)

☐ 否，請跳至(四)

(三) 鋼骨有塗防銹底漆者：

(1) 貴公司所使用之鋼骨防銹底漆材料：

A・國內生產者：

(a) 產品名稱：_____

(b) 產品規格 (編號)：_____

(c) 代理商：_____

電 話：_____

公司住址：_____

B・材料為進口者：

(a) 產品名稱：_____

(b) 產品規格 (編號)：_____

(c) 總代理商：_____

公司名稱：_____

(2) 鋼骨防銹底漆材料性質：

☐ A・還氧樹脂類

☐ 1・還氧鋅粉底漆

☐ 2・還氧紅丹底漆

☐ 3・還氧鋅鉻黃底漆

☐ B・預塗底漆類

☐ 4・還氧無鋅底漆

☐ C・無機鋅粉類

☐ 5・無機鋅粉底漆

☐ D・油性樹脂漆類

☐ 6・紅丹底漆

☐ E・其他_____

(3) 材料主要性質

(請依據所知項目種類，自行填入)

規格	CNS	價格 ※	顏 色	抗鹼性		

※ 單位 NT / 加侖

(4) 材料特性：

(5) 塗抹厚度：

柱：_____mm

梁：_____mm

樓板：_____mm

(6) 請簡述施工步驟 (或請提供施工規範)

(7) 針對此底漆，是否有已完工實例？

☐ 否

☐ 是，為： _____

☐ 目前正施工中，為： _____

(8) 是否有關此材料之任何檢驗報告？

☐ 無

☐ 有，為 _____

(9) 貴公司若有其他寶貴資料，且不吝提供參考，我們將會再次與您聯絡，資料為： _____

(1 0) 貴公司是否有提供材料供作實驗研究的意願？ ☐ 有 ☐ 否
若有，我們將會再次與您聯絡。謝謝！

(四) 鋼骨不塗底漆者：

(1) 作何處理，請簡要說明之：

(五) 建議：

鋼骨結構耐火被覆材

檢驗基準研究

附 錄 B

- B-1 國內現有耐火被覆材料成份一覽表..... b~1
- B-2 國內現有耐火被覆材料施工方式一覽表... b~2
- B-3 國內現有鋼骨表面處理與塗裝調查一覽表. b~3

附錄B-1 國內現有耐火被覆材料成份一覽表

材料特性 代理商 代號	材料成份 (百分率%)	物理性質				
		比重	粘著力	抗壓強度	乾密度	熱傳係數
101	岩棉、水泥、 油膠、石膏、 粘土	12PCF	7100 PSF	7500PSF	10~12 PCF	0.036
102	蛭石(97) 玻璃 纖維(3) 、石膏	47PCF	300PSF	1000lb/ ft ²	15pcf	
103	CALUM(45) MICA(25) HYDRATED ALUMINA(20)) ALUMINA SILICATE(5)) CALCIUM CARBONATE (5)			550PSI	50~55 lb/ft ³	
104	岩棉(60~ 75)、水泥 (25~40)	0.3g/ cm ³	50g/ cm ³			0.04~ 0.06kcal /m ² ·hr
105	礦纖棉(80) 水泥混合物 (20)					
106	輕質骨材、凝 膠、穩定劑		318lbs /ft ²	40~45 PCF		
107	無機礦物纖 維混合物				200kg/ m ³	0.036kcal /m ² ·hr
108	水泥、接著 劑、無機骨 料、耐火水 泥、耐火骨 料	50~55 lb/ft ³		550PSI		
109	蛭石、石膏 纖維、少量 添加劑		318lbs /ft ²	1820PSF		
110	蛭石、水泥、 石灰、其他				500~ 700mm kg/m ³	纖維 0.209W/m ² c 噴塗 0.094W/m ² c
111-1	蛭石、水泥、 增粘劑			300~350 PSI	38~48 lb/cf	0.136kcal /m ² ·hr °C
111-2	蛭石、水泥、 增粘劑			50~60 PSI	21~28 lb/cf	0.068~ 0.082kcal /m ² ·hr °C
112	岩棉(30)、 水泥(20)、 耐火纖維 (30)	0.51				
113	岩棉(60~ 65)、水泥 (35~40)					

附錄B-2 國內現有耐火被覆材料施工方式一覽表

施工方法 代理商 代號	材料施工 方式	噴附粘著 劑	設置纖維 網	修 飾	兩次噴附 間隔時間 (hr)	乾燥時間 (hr)	施工步驟 (施工規 範)
101	半濕式	否	不一定 依據UL規 定施工	木質鏟刀	12	24	附1 張資 料
102	濕式	否	否		24		附2 張資 料
103	濕式	否	不一定 根據測試 時設計之 情況	不一定 視外觀要 求而定	1~2	24	
104	半濕式	否	否	鏟刀修飾		6	附1 張資 料
105	半濕式	否	一般不用 ，使用大 斷面F906 鋼筋網 152×152			28天	
106	濕式	否	一般不用 ，除非底 塗防銹層 漆		待第一層 材料凝結		
107	半濕式	震動地方 施工使用	震動地方 施工使用 1/2"或1" 纖維網				附1 張資 料
108	濕式	底漆應為 PYROCRE- TE-241生 產之油漆	1.85kg/ m ² 之鍍鋅 處理	鏟刀或滾 輪	1~2	10天	
109	濕式	否	否				
110		否					
111-1	濕式	否	否		1~2 1 1~2	1	
111-2	濕式	否	否		1~2 1 1 2	1	
112	濕式	否	否	否	10	24	
113	半濕式	否	層間應依 規範寬度 裝纖維網	木質鏟刀	4		

附錄B-3 國內現有鋼骨表面處理與塗裝調查一覽表

種類	編號	油漆、名稱、規格	代理商
國內	201	無機鋅粉底漆CNS K-2088	永記
	202	虹牌 EPOXY 紅丹 EP-01	永記
	203	永保鋅粉底漆EP-03 NO-1006	永記
	204	虹牌 無機鋅粉漆	永記
	205	鋅鉻黃底漆	永記
	206	虹牌 NO.1011 無機鋅粉底漆	永記
	207		
	208	EPOXY (Zinc) Inorgnic-Zinc	永記 柏林
	209	柏林—鋅膜可塗 Z-500	柏林
	210	① 無機鋅粉底漆 (GALVO-ZINC) 永保新 鋅鉻黃底漆 (EPOXY ZINC CHROMATE PRIMER) ② 鋅膜可塗 Z-500 (BERLIN EMERC-OTE Z-500)	① 永記 ② 柏林
國外	210	YHA 550 POYSILCO	藍福工程股份有限公司

鋼骨結構耐火被覆材

檢驗基準研究

附 錄 C

美國保險業試驗室 (UL) R 4 3 3 9 - 4 1

耐火試驗報告 (節錄)

摘	要.....	c ~ 1
說	明.....	c ~ 2
試 驗 報 告		c ~ 5
結 論		c ~ 9

摘 要

本報告主題在述明一次三根樑的耐火試驗過程，耐火試驗中，每一試體斷面包含一塊2-1/2 英吋(6.35cm)厚的輕質混凝土版、3英吋(7.62cm)深的鋼製樓板單元，以及一根編號W8*28的鋼樑。三根樑以選定之水化物(cementitious)材料G 材料分別噴覆表面1/2、1、及2英吋厚(1.27CM、2.54CM、5.08CM)。至於鋼製樓板單元則不予噴覆。

本研究目標係欲依標準UL 263(ASTM E119、NFPA NO.251)「建築構造與材料之耐火測試」中“加載束制樑試驗”之試驗方法，建立起樑在各種不同耐火時效需求下，其噴覆之水化物(cementitious)材料之最適宜厚度。

本次接受委託之試驗分類係依試驗資料回顧以及試驗裝置之規劃細節據以分類而設計完成的。

特別值得一題的是，本試驗中採用了用輕質混凝土，故在正常狀況下同時適用於使用常重或輕質混凝土的情形，合成樑之試驗用以限制合成及非合成樑之載重。再者，鋼製樓板單元並未加噴覆，故試驗所得之耐火時效將可適用樓板有被覆或無被覆二種情形。鋼製樓板之種類及設置之選定將限定於任何波浪狀、蜂巢狀及長槽狀單元之組合。使用蜂巢型鋼製品單元而未加被覆時會導致較高的梁溫，因為蜂巢狀板單元與樑之上翼版的接觸面較大。為確保此一較高溫條件的安全，蜂巢型單元在試驗裝置中放置處應與其他單元相鄰接。

本耐火試驗由其他試驗補充有關試驗材料成分及物理性質，以決定其施作及應用上的可行性。

材料：

以下為使用於試驗裝置中的材料

鋼樑——每一試體裝置斷面的中心，由ASTM A36 的W8x28結構鋼樑所支撐每根樑長度為13英尺，9-1/2英寸(420cm)。

鋼製樓板單元——樓板單元在每一試體斷面之西半側係採用長槽型鋼版，東半側則採用蜂巢型鋼版。長槽型鋼版寬36-1/2英寸；依NO.18 MSG (0.049英寸厚)製造，由三個7-1/2英寸寬，3 1/4英寸深且極薄的長槽所組成。蜂巢型單元則由一NO.18 MSG (0.05英寸厚)之平底鋼版上，形成三個7英寸寬的蜂巢單元覆蓋36英寸鋼版的樓板，如圖1所示。蜂巢與長槽型單元長度均做到63英寸長。此一單元分類由美國保險業試驗室依“鋼製樓板與其形成單元”(防火指標)進行以下試驗。

剪力連結物——用於提供樑與混凝土樓板間連接行為的剪力連結物，係採用4-1/2英寸長，直徑3/4英寸之鋼製元件，如圖1及1A所示。

焊接鋼索結構——焊接於混凝土上的鋼索結構係NO.10 SWG 6*6英寸的網狀無外包覆的鋼索。

輕質混凝土——最頂部混合好的混凝土由一份第一型卜特蘭水泥；四份由Rotary Kiln製造的膨脹頁岩級配，以及三份砂所組成。水泥及骨材由大約8加侖的水加以混拌並加入輸氣劑約每94磅水泥1盎斯。其抗壓強度依6*12英寸之圓柱試體試驗得其範圍在2,720到2,830psi之間，平均強度為2,768psi。試驗用之輕質混凝土平均坍度5-3/4英寸(15cm)，而平均濕度則為111.6pcf(約1786kg/m³)。

水化混合物(Cementitious Mixture)——水化混合物係由G 廠商所製造之G 材料。此一混合物現已由美國保險業試驗依以下之試驗結果予以分類。

試體之建立

此三根樑依載明於委託書(Submittor) 上的方法被設置在試驗架上，如圖1及1A所示。

試驗裝置在多位試驗室專員的監督下施做完成，施做時之試體外表如圖2所示。

鋼樑與鋼樑試體間之中心距離5 英尺，4 英尺，其與北面之試驗架壁體平行放置，樑的兩端由托架支撐於試驗架之頂部，其端部並由鋼製的楔片予以束制，以阻止樑受熱後膨脹伸長。

鋼製樓板單元被集中在每根樑上，長槽型單元被置於試體的西半側，而蜂巢型單元則置於試體的東半側。樓板係靠樑上直徑1/4 英尺的剪力連結物與樑結合，剪力連結物焊接距離在每個槽峰處約12英尺。

剪力連結物的焊接情形及位置如圖1 所示，每根樑上焊有28根剪力連結物，每根連結物由鋼製樓板焊穿到樑之翼版上。

焊接鋼索結構放於樓版之上而無任何附屬品。

未澆置混凝土前之樓板外觀如圖2 所示。

混凝土的深度自平板最頂端量至鋼製樓板頂部為2-1/2 英尺，混凝土表面以本製品約略鏟平，成平滑面。除了樑試體之外，混凝土周圍並未設置約束熱膨脹的束制。當混凝土養護207天且相對濕度到達約78% 時，樑上始予噴上水化混合物材料，所有的樑最初先概略地噴上約3/8 英尺的被覆材料。第二次噴附即被要求噴至設計厚度。樑的最後平均厚度如下：南側樑-1

英吋，中央樑-2英吋，北側樑-1/2英吋，每根樑的平均厚度係依90次的量測而確定。被覆材料並未噴覆至鋼製樓板的表面，但所有長槽型鋼與樑間的空間均以噴覆材料填滿。

試驗之水化物材料每袋平均重量44.6磅，每袋須配上平均11.3加侖的水加以混拌1-1/2分鐘，施工期間，混拌好之材料的平均濕密度為46.2pcf(40.8至47.4pcf)，而噴嘴處之材料平均濕密度為56.5pcf(54.1至57.6pcf)，濕密度之測定係將材料充滿6*12in之圓柱試體後稱重而得。

試體噴覆的同時，尚準備了兩個不計重量之試樣，此試樣係利用20in見方之方形鋼板，於其上噴覆與機試體同樣厚度，且同樣濕密度之水化物材料。當試樣之單位重到達衡定狀況，即可求得其乾密度。材料之平均乾密度為21.5pcf。

耐火試驗前，試體暴露面及非暴露面之表面情形，分別如圖3、4所示。

試 驗 報 告

耐火試驗：

試驗係依標準UL 263，建築構造與材料之耐火測試 (ASTM E119 NFPA NO.251)中“加載束制試驗”進行。

試 體

三根樑試體依前章報告標題“試體之建立”製做完成，如圖1 至4。

試體係於混凝土澆置後236 天、水化混合物噴附29天後進行，混凝土在120°F之溫度下養護88天，其餘148天則在室溫下養護。

試驗前混凝土之平均相對濕度：北側試體66%，中央試體71.5%，南側試體70%。濕度之測得係藉由埋在混凝土中之濕氣敏感裝置，配合量測器的附著而讀取。

方 法

三根樑所用耐火試驗採用美國保險業實驗室之標準設備。

高溫爐內之溫度量測係藉由16根對稱的熱偶線置於試體下12英吋處，設置方式如圖5所示。

每根樑的溫度讀取係藉由16根熱偶線鏈入鋼樑中，分四個斷面每斷面各四根熱偶線，如圖6、7、8所示。

試驗中每根樑撓度之測定係藉由撓度計設置於每根樑中央測得，如圖9所示。

每根樑均以油壓千斤頂施加载重，在樑長的中點及1/4 樑長處對各點施加12,800磅的力量。

上方載重加上樑上方之樓板靜重，對樑產生其設計最大彎矩24,000 psi，載重之計算係根據樑與混凝土間組合行為而求得。

試驗過程中，包含火的行為及控制，試體暴露面及非暴露面的情形，以及所有試體防火行為的發展都受到監視。試體在試驗前之暴露面與非暴露面的外觀情形如圖3、4所示。加在試體上的活載重大約於試驗開始前1 小時即已施加。

火的特性及分佈—火係發光、均勻分佈，且爐內溫度依照標準中所定之、標準時間—溫度曲線昇溫，如圖5所示。

試體受火暴露面之觀測—水化混合物的顏色幾乎一開始就轉變為黑色，經過18分鐘，材料則變回其最初的顏色。

30分鐘後，中央部樑之上翼版與腹板間開始出現一些直徑大約1/4 英吋的小孔，類似的孔洞同樣出現在南側及北側的樑上，不過數量要少得多，雖然樑上施予載重，但在試驗過程中並無水化物材料自樑上掉落。

高溫爐在點火254 分鐘後予以熄滅。

未受火面之監測—19分鐘時，板和樑之間的填充絕緣材料開始冒煙，30分鐘時，髮狀細裂紋在三塊版上開始出現，北側版上裂縫多不勝數，69分鐘時所有裂縫開始冒出蒸氣並持續到95分鐘時為止，75分鐘時北側樑上載重移去，且在131 分鐘，南側樑上載重移去，在254 分鐘時，中央樑上載重移去，並將爐火熄滅。

樑之撓度—樑在火中曝露時之向下撓度如圖9 。活載重作用之下立即產生一初始撓度，當活載重移去時，移去時間及撓度值可由下表中顯示：

樑	活載重使用(In)	活載重移去時間(Min)	活載重移去時撓度(In)
北側	0.25	75	3.02
南側	0.25	131	7.00
中央	0.30	154	6.45

樑之溫度—北側樑、中央樑及南側樑的溫度記錄如圖6、圖7及圖8分別表示。

在中央樑，最大封閉斷面溫度由熱偶線第13、14、15及16號決定直到190分鐘時，但自190分鐘到試驗結束之間，由於試體的撓度以及後來熱偶線間的短路，使得熱偶線變成不準確，因為最大橫斷面溫度是決定於這些熱偶線，所以190分鐘之後的樑斷面溫度是用估計的，溫度估計是由溫度上升速率比較及樑初期試驗中各部位溫度分佈情形，最大橫斷面是由此比較決定，如圖1A，由比率結果，估計溫度圖7A是用來代替記錄在圖7的溫度。

樑的極限溫度如UL263 規範所訂定，為任封閉斷面1100°F與任一測溫點1300°F，試驗期間，所有樑的極限平均斷面溫度發生在個別極限溫度之前，極限溫度發生時間如下：

樑位置	水泥混合物厚度(In)	極限溫度發生時間(Min)
北側	1/2	61
中央	2	240
南側	1	112

試驗後監測—在試驗後曝露及非曝露表面狀況分別如圖10及11。

水化混合物材料在曝露面呈灰棕色，而在內部呈金黃色，材料經過4 小時火燒後曝露面很容易以指尖壓碎。

各樑之最大撓度發生於蜂巢狀樓版單元大約距離東方框牆3ft 處，所有樑接近東方末端部皆彎曲。在未受火面，混凝土有多重裂縫，和每根樑頂端翼版上的主要裂縫是延續平行的，三個混凝土斷面都有1in 寬的裂縫連續平行由東方框牆的西方1ft 處，每根樑都有一個裂縫是在梁正中央處。

鋼構造均氧化且彎曲。

分類目的研究

如本報告概要中所述，此一試體目的在建議化(cementitious) 材料在1、2、3及4小時防火等級之無束制樑上最適當之厚度下限值。無束制樑耐火等級是由無束制樑試驗 UL 263Pars. 68到72發展出來。試驗結果如下：

樑上材料厚度(In)	發生極限順序時間(Min)+	活載重移去時間(Min)+
1/2	61	75
1	112	131
2	240	254

+——極限溫度發生之定義為當各橫斷面上最大平均溫度達到 1100°F 或樑上任何單點溫度到達1300°F時。

基於以前試驗資料及電腦分析結果，方程式 $y=0.00827x+0.028$ 為止材料在無束制樑不同時效階段所需厚度。方程式之試驗值及方程式圖解如圖12所示。由於使用此方程式是內插試驗資料，故在此階段之外的耐火等級所需使用材料最小厚度都乘上8%的安全係數，除非試驗結果顯示其可用較小的厚度。資料試驗結果內插值如下：

無束制樑時效(Hr)	材料厚度(In)
1	1/2
2	1-1/8
3	1-5/8
4	2

以下結論代表UL基於此報告依據之原理及以前記錄的資料判定試驗結果而提出。

耐火特性：

在此報告中判定，只要被覆材料的成分及物理性質與本試驗中之水份混合物材料相同，即適用於尺寸相等或大於本試驗體之鋼梁。以下描述提供防火時效1、2、3 及4 小時水化混合物材料最小被覆厚度

無束制標時效(Hr)	材料厚度(In)
1	1/2
2	1-1/8
3	1-5/8
4	2

以上分級是基於標試驗的“承認條件”，此條件詳述於建築物構造及材料耐火試驗規範UL 263(ASTM E119、NFPA NO.251)。

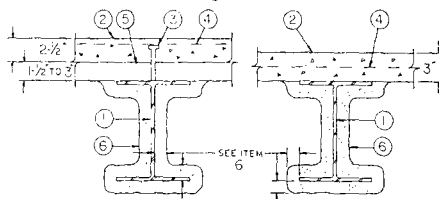
構件將展耐火被覆設計指南NO.N708。

※ 註UL耐火被覆設計指南No.N708原文如次頁所示。

Design No. N708

Restrained Beam Ratings—1, 2, 3 and 4 Hr.

Unrestrained Beam Ratings—1, 1-1/2, 2, 3 and 4 Hr.



1. Steel Beam—W8x28 min size.
2. Normal Weight or Lightweight Concrete—Compressive strength, 3000 psi. For normal weight concrete either carbonate or siliceous aggregate may be used. Unit weight*, 148 pcf. For lightweight concrete, unit weight 110 pcf.
3. Shear Connector—(Optional)—Studs, 3/4 in. diam headed type or equivalent per AISC specifications. Welded to the top flange of beam through the steel floor units.
4. Welded Wire Fabric—(Optional)—6x6-10/10 SWG.
5. Steel Floor and Form Units*—1-5/16 in. deep corrugated units; or 1-1/2 to 3 in. deep fluted or cellular units, welded to beam.
6. Cementitious Mixture*—Applied by mixing with water and spraying in more than one coat to the beam to the final thicknesses shown below. When fluted or corrugated steel floor units are used, crest areas shall be filled with cementitious mixture above the beam. Beam surfaces must be clean and free of dirt, loose scale and oil. Min avg and min ind density of 15/14 pcf respectively. For method of density determination, see Design Information Section.

Minimum Thickness - In.

Rating-Hr.	Restrained Beam	Unrestrained Beam
1	1/2	1/2
1 1/2	11/16	13/16
2	15/16	1 1/16
3	1 7/16	1 9/16
4	1 15/16	2

The thicknesses of cementitious mixture shown in the table below are applicable when the beams are supporting solid concrete slabs or floor assemblies containing only fluted floor or form units.

Minimum Thickness - In.

Rating-Hr.	Restrained Beam	Unrestrained Beam
1	7/16	7/16
1 1/2	1/2	3/4
2	13/16	1
3	1-5/16	1-5/16
4	1-5/8	1-5/8

The thicknesses of cementitious mixture shown in the table below are applicable when the thickness applied to the beams' lower flange edges is reduced to one-half that shown in the table:

Minimum Thickness - In.

Rating-Hr.	Restrained Beam	Unrestrained Beam
1	9/16	9/16
1 1/2	3/4	7/8
2	1 1/16	1 3/16
3	1 5/8	1 3/4
4	2 3/16	2 5/16

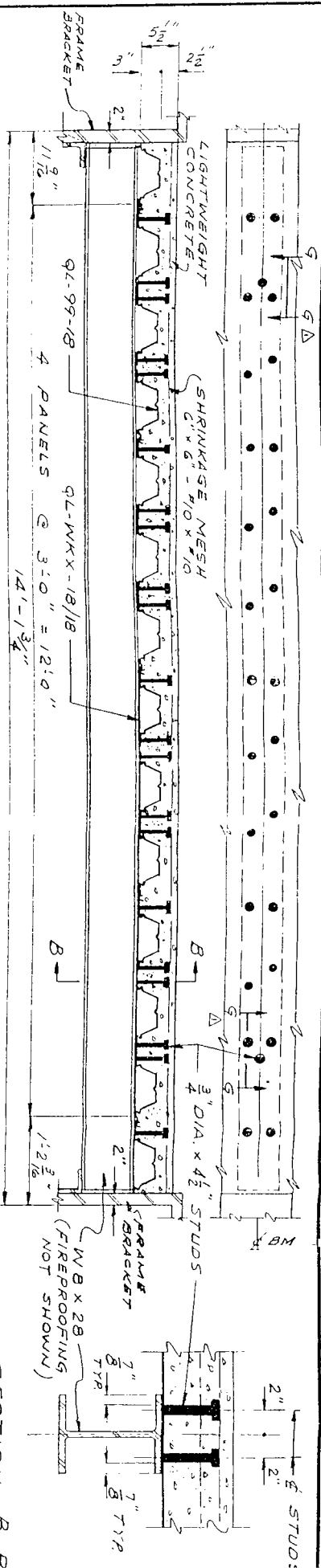
The thicknesses of cementitious mixture shown in the table below are applicable when the thickness applied to the beams' lower flange edges is reduced by one-half and the beams are supporting solid concrete slabs or floor assemblies containing only fluted floor or form units.

Minimum Thickness - In.

Rating-Hr.	Restrained Beam	Unrestrained Beam
1	7/16 +	7/16 +
1-1/2	1/2	3/4
2	13/16	1
3	1-5/16	1-9/16
4	1-13/16	2-1/16

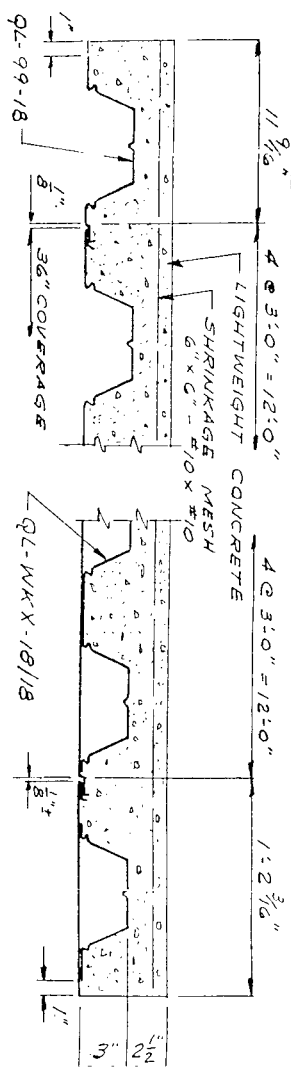
+ Thickness applied to beams' lower flange edges shall be a min. of 1/4 in.

*Bearing the UL Classification Marking



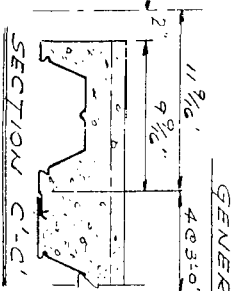
SECTION A-A

SECTION B-B

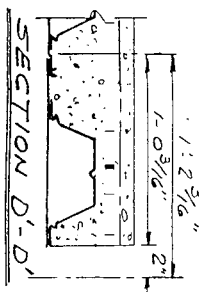


SECTION C-C

SECTION D-D

R 433 

SECTION C'-C'



SECTION D'-D'

GENERAL NOTES - REFER TO DRAWING B.555B

REV Δ 3-5-73 REV'D STUD LOCATIONS & PANEL TYPES
REV. Δ 1-11-73 GEN'L REV. # ADDED SEC. C1,C1D1D1
REV Δ 12-28-72 REV'D 3 STUD CLUSTERS - PH1

RESEARCH AND DEVELOPMENT DIVISION
HH ROBERTSON CO
PUBLICATIONS
AMBRIDGE, PA.

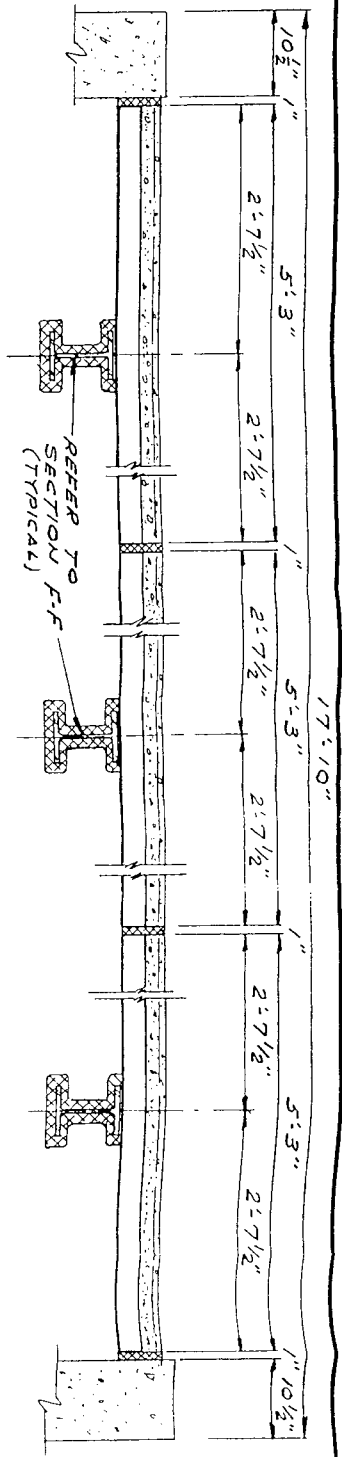
ZONOLITE THREE BEAM TEST
COMPOSITE DECK & STUD LAYO

2 1/2" LIGHTWEIGHT CONCRETE

DATE 12-4-72 SCALE N.T.S.
 DWN. BY PLM PROJECT 201782131
 CNO. BY _____ SHEET 1 OF 2

DRAWING
B-355

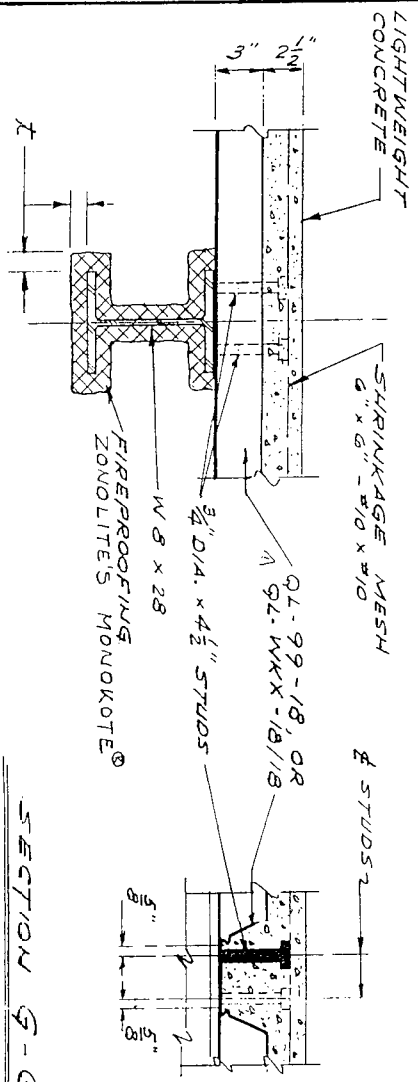
BRUNING 40-21



SECTION E-E

GENERAL NOTES

WELDING PROCEDURE:
FLOOR DECK TO STRUCTURAL STEEL
A #9L-WKX SHALL BE FASTENED TO STEEL FRAMEWORK BY WELDS A LESS THAN 3/4"φ, @ 12"O.C.
SHEAR STUDS TO BE WELDED TO BEAM FLANGES THROUGH THE MET. DECK. ALL WELDING TO BE IN ACCORDANCE WITH APPLICABLE SECTIONS OF AWS SPECIFICATION



SECTION F-F

SECTION G-G

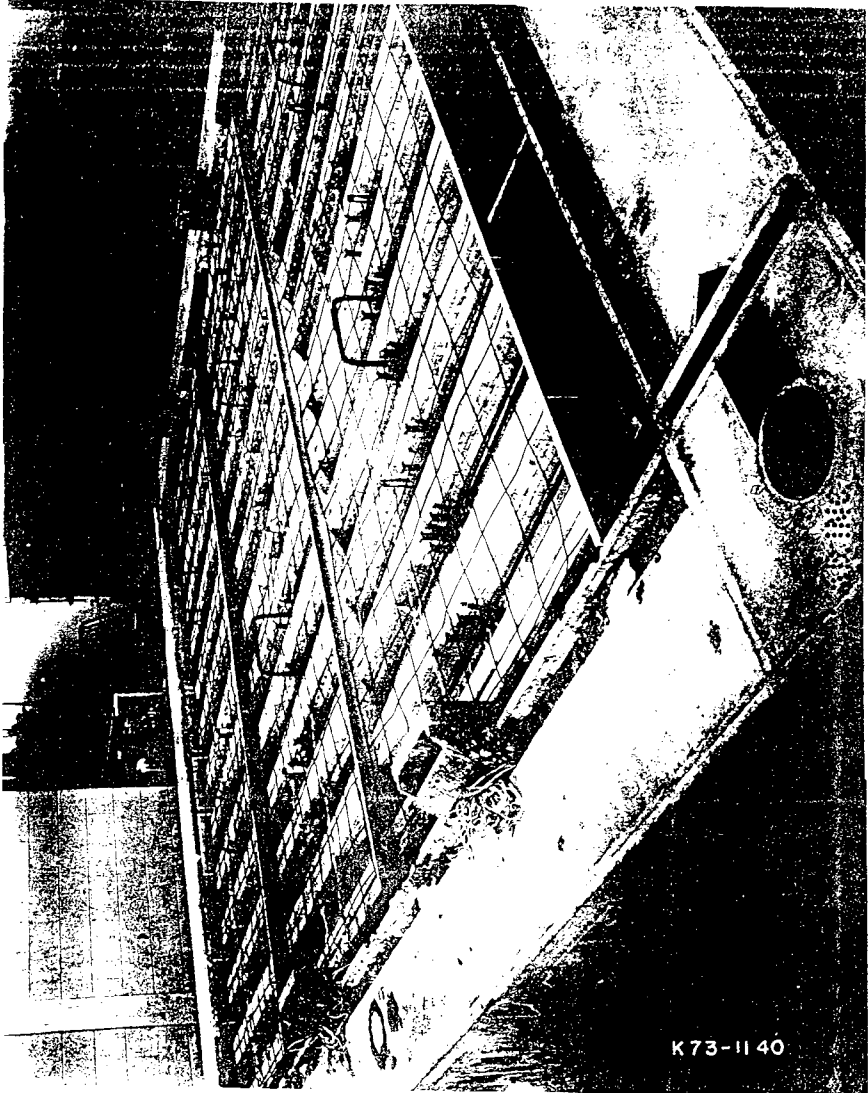
BEAM : t = THICKNESS
NORTH : 1/2" MONOKOTE
CENTER : 2" MONOKOTE
SOUTH : 1" MONOKOTE

REV 3-5-78 REV'D PANEL TYPES - PL

RESEARCH AND DEVELOPMENT DIVISIO
HH ROBERTSON CO
AMBRIDGE, PA.

ZONOLITE THREE BEAM TYPES
COMPOSITE DECK & STUD LAY
2 1/2" LIGHTWEIGHT CONCRETE

DATE 12-4-72 SCALE N.T.S.
DRN. BY PCH PROJECT 201722/31
CRD. BY SNEET 2 OF 2
B-35



Assembly During Construction



Exposed Surface Before Tests

R4339-41

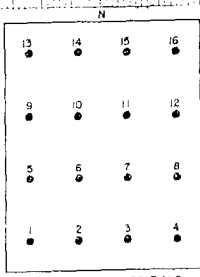
4



K73-5077

FIRE OUT 254 MIN.

FURNACE TEMPERATURES
R 4339-41
OCTOBER 16, 1973
Underwriters Laboratories, Inc.
Fire Endurance Test



• THERMOCOUPLE LOCATIONS

STANDARD TIME TEMPERATURE CURVE

FIRE OUT 254 MIN.

NORTH BEAM TEMPERATURES
R 4339-41

OCTOBER 16, 1973
Underwriters Laboratories, Inc.
Fire Endurance Test

DEG. FAHR.

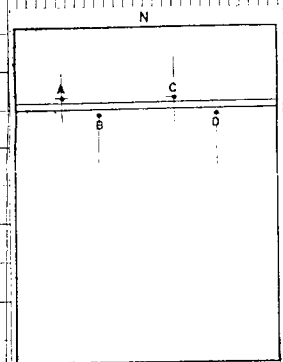
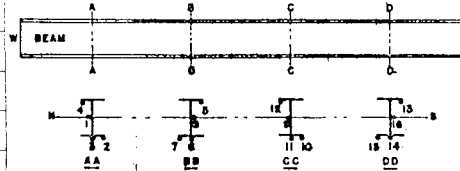
BEAM

THERMOCOUPLE LOCATIONS

DEG. FAHR.

MINUTES

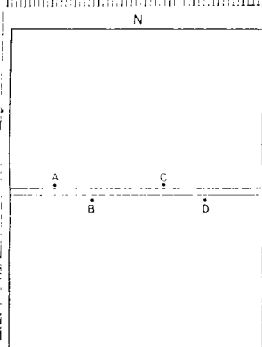
NORTH BEAM TEMPERATURES
R 4339-41
OCTOBER 16, 1973
Underwriters' Laboratories, Inc.
Fire Endurance Test



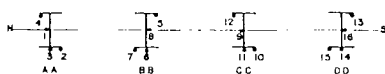
57

FIRE OUT 254 MIN.

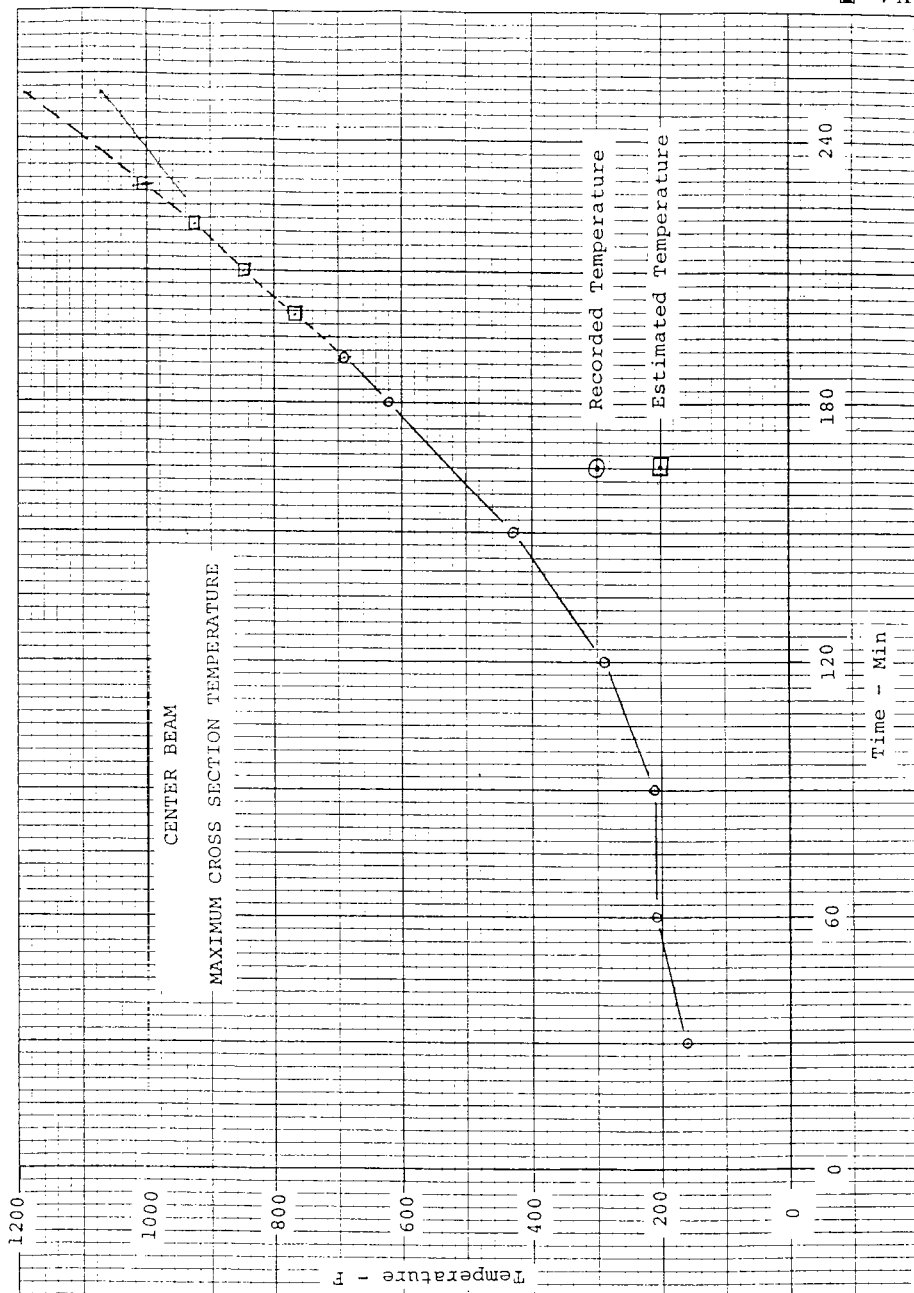
CENTER BEAM TEMPERATURES
R 4339-41
OCTOBER 16, 1973
Underwriters Laboratories, Inc.
Fire Endurance Test



● THERMOCOUPLE LOCATIONS



THERMOCOUPLE LOCATIONS



FIRE OUT 254 MIN.

DEG. FAHR

SOUTH BEAM TEMPERATURES

R 4339-41
OCTOBER 16, 1973
Underwriters Laboratories, Inc.
Fire Endurance Test

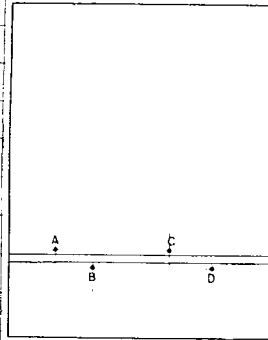
DEG. FAHR

DEG. FAHR

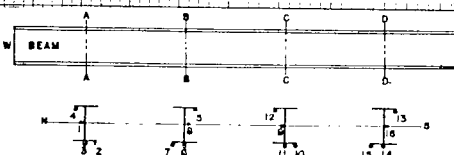
DEG. FAHR

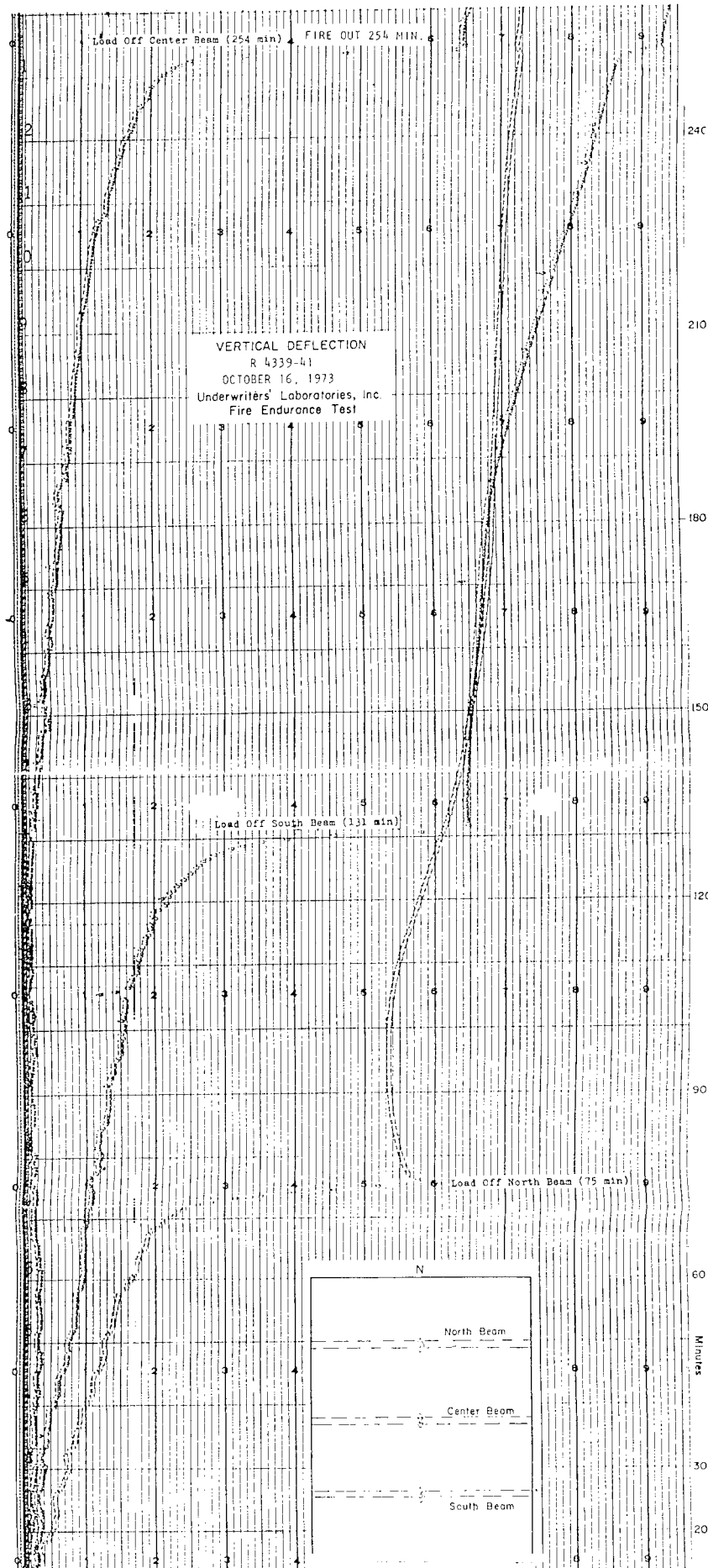
DEG. FAHR

DEG. FAHR



● THERMOCOUPLE LOCATIONS







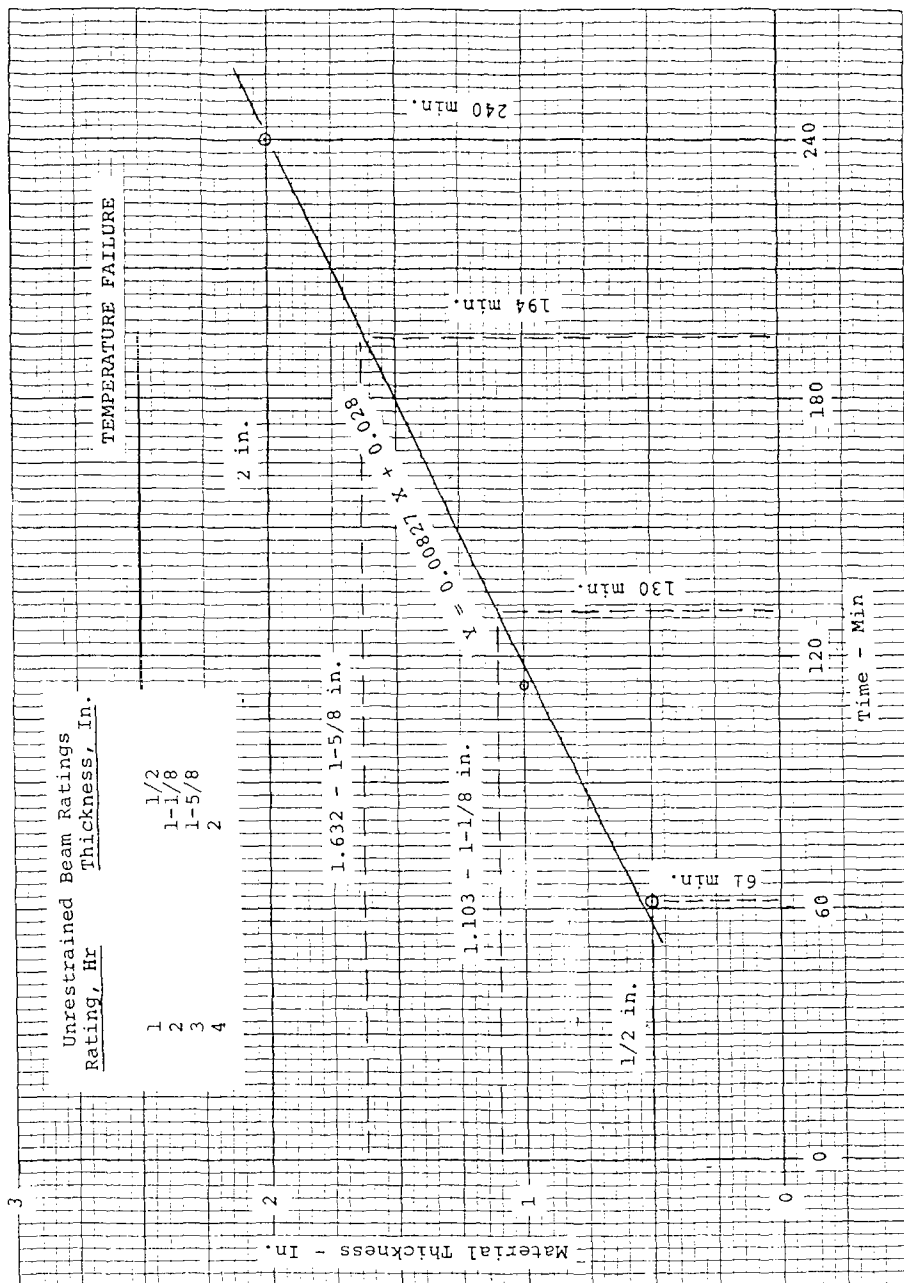
Exposed Surface After Tests

K 73-5076



Unexposed Surface After Tests

K73-5078



鋼骨結構耐火被覆材

檢驗基準研究

附 錄 D

會 議 記 錄

內政部建築研究所籌備處八十二年度研究計劃聯合研討會

地點：中華路經濟研究院

日期：中華民國82年6月9日

研討主題—建築防火之研究(一)

議程：鋼骨結構耐火被覆檢驗基準研究

主講人：林慶元

內容簡報：略

綜合討論：

1. 建研處周組長智中：本案中所謂小尺度耐火檢測之試體，將來檢測地點是否設於建研所五股防火試驗室；或是設於台灣工業技術學院呢？其間是否有差別，請說明之。

回應—林教授慶元：檢測設備當然以內政部建研所的高溫爐為主。基本上建研所的壁式高溫爐及台灣工業技術學院的汎用高溫爐均設定在標準時間—溫度曲線下對試體進行試驗，故其檢測的效果是一樣的，但工技院的汎用高溫爐在設計上可同時進行小尺度鋼版試驗及B尺度的樑試體之耐火試驗，因此實驗階段還是在工技進行耐火試驗較佳。

2. 中科院嚴先生：含水率是耐火試驗上極重要的影響因素，建議此類研究應該將試體放入恆溫恆濕室中養護，以免造成誤差。又本案對含水率的影響，是否列入考慮。

回應—林教授慶元：含水率確實會影響被覆材料的耐火時效。本人目前另案針對含水率問題已研究近年，初步的結論是，測試被覆材料耐火時效時可先將含水量所造成之遲滯時間忽略，待試驗測得材料氣乾狀況下之含水率後，再將該含水量所造成的遲滯時間加入耐火時效中其結果與實物狀況十分接近。

3. 開源公司陳先生：防煙及防火是不同的領域，防火重封閉，防煙卻著重於排放，建議日後的研究專案應明確加以定位。

4. 益企化學余先生：本案僅針對耐火被覆檢測試體之尺度及耐火時效進行研究似嫌不足，因為並未討論到如何規範現場採樣的問題，試體採樣不具可信度，如何確保送審材料之品質。

回應—林教授慶元：目前本校有部份研究已針對被覆材料之流度，粘著力進行檢測的研究，將來必可成為有效管制現場施工之被覆材料的工具，本案之研究目的在希望把混凝土抗壓試驗小試體的觀念及做法帶進耐火檢驗之領域，故現場採樣後養護適當時日再進入實驗室求知其品質良窳應是較適切的做法。但若想仿照混凝土鑽心等破壞性試驗來採樣檢測，則對耐火被覆材料而言，可能不甚恰當。

5. 中標局曾先生：目前中標局正在研擬有關耐火被覆材料檢驗方法之標準，但縱觀目前各國之標準，日本的規範條件無論在試體尺寸上，合格溫度或時效的關係上，均較歐美國家嚴得許多，就因為兩者之間差距太大，故在制定我國CNS標準時便有許多顧慮，為免於日後標準寬鬆問題造成爭議，請提供意見。

回應—林教授慶元：日本的規範目前是採齊頭式的平等，美國(ASTM、UL)則依實況予以調整，兩者立足點已有差異，而以我國目前對防火領域的認知情況及施工技術層面來看，採取較保守的規範標準是比較好的做法。本案中所採用之小尺度試體經試驗已具有偏安全側之特性，如經檢討確實可行將會考慮提供中標局做為制定耐火覆材料檢驗標準之參考。