

附錄九 試驗報告(九)

箱型鋼管混凝土柱防火性能 試驗報告

試驗日期：102年9月25日

報告書編號：CNS-12514-10210

試體名稱：T4R-0.66

委託編號：F2310210

委託單位：正修科技大學(湯兆緯)

1. 上項試體經本實驗中心試驗，報告含封面共26頁。
2. 使用本報告時須整份使用，分離使用無效，不得任意摘錄。
3. 本試驗報告僅對委託試驗試體負責。
4. 試體名稱、試體圖說、送樣人資料係由委託單位提供。
5. 本報告僅供參考，不得作為商業廣告或訴訟之用。
6. 委託單位所送實驗中心試體與工法不得涉及第三者之智慧財產權。
7. 委託單位所申請技術服務項目不得涉及驗證第三者產品之目的，如因此涉及法律責任，本項申請試驗結果與報告書不得作為法律訴訟之依據。

中華民國 102 年 9 月 25 日

1. 委託編號：F2310210
2. 試體名稱：T4R-0.66
3. 標稱性能：防火時效1小時
4. 實驗名稱：CNS 12514(2010)「建築物構造部分耐火試驗法」
5. 儀器名稱：柱爐耐火加熱實驗裝置
6. 委託單位：正修科技大學(湯兆緯)
7. 地 址：高雄市烏松區澄清路840號
8. 收樣日期：102年8月14日
9. 實驗日期：102年9月25日
10. 實驗方法：CNS 12514(2010)「建築物構造部分耐火試驗法」
11. 實驗地址：71150台南市歸仁區六甲里中正南路1段2502號
12. 其 他：無

報告內容目錄

一、加熱加載實驗結果紀錄表

二、試體說明

三、實驗程序

四、觀察紀錄

五、總結

六、附件

- (一) 試驗紀錄相片
- (二) 爐內平均溫度圖
- (三) 爐內各溫度點曲線圖
- (四) 爐內壓力曲線圖
- (五) 溫度時間容許差曲線圖
- (六) 試體斷面各點溫度圖
- (七) 爐內加熱溫度時間表
- (八) 爐內壓力時間表
- (九) 試體斷面溫度時間表
- (十) 試體標稱軸力計算

一、加熱加載實驗結果紀錄表

試驗日期		102年9月25日		
試驗項目		CNS 12514柱構件防火試驗		
柱體	加熱尺度(mm)		高度3060mm	
	斷面尺寸		400mm×400mm×9mm	
	試驗時混凝土強度		519 kg/cm ²	
	配置鋼筋		#6主筋4支與#3箍筋@20cm	
加熱條件	加熱方式	加熱裝置		柱爐耐火加熱裝置。有效加熱開口：長4000*寬4000(mm)以內。
		燃料使用		LPG(液態瓦斯)：36.45m ³
		加熱方向		柱試體四面均勻加熱
	加熱時間	設定加熱時間		60分鐘
		實際加熱時間		43分鐘
加載條件	加載條件	軸向加載噸數		463噸(標稱荷重0.66倍)
		端點束制		上下端均固定
		加載方向		垂直加載
	加載時間	設定加載時間		75分鐘
		實際加載時間		58分鐘
實驗結果	判定基準(I)	(1)	最大軸向壓縮量(mm)不超過 $C=h/100$ 式中h為試體初始高度(mm)	軸向壓縮量於加熱時間42分30秒，達容許最大軸向壓縮量30.6mm。
		(2)	最大軸向壓縮速率(mm/min)不超過， $\frac{dC}{dt} = \frac{3 \times h}{1000}$ ，式中h為試體初始高度(mm)	軸向壓縮速率於加熱時間42分11秒達容許最大軸向壓縮速率9.18(mm/min)
	判定基準(II)	(1)	鋼材溫度最高溫度超過550°C	試驗加熱時間14分58秒，鋼材溫度最高溫度超過550°C
		(2)	鋼材平均溫度超過500°C	試驗加熱時間20分35秒，鋼材平均溫度超過500°C
備註		1. 依判定基準(I)，試體承重能力為41分鐘(42分發生破壞) 2. 依判定基準(II)，試體承重能力為14分鐘		

二、試體說明

- (一) 本試驗之箱型組合鋼結構柱斷面為 400×400 (mm)，厚度 9 (mm)，柱長 3060 mm，試驗時內灌混凝土強度為 519 kg/cm^2 。鋼降伏強度 $F_{ys}=2.5 \text{ tf/cm}^2$ ；鋼彈性模數 $E_s=2100 \text{ tf/cm}^2$ ；

(二) 試體斷面配置說明

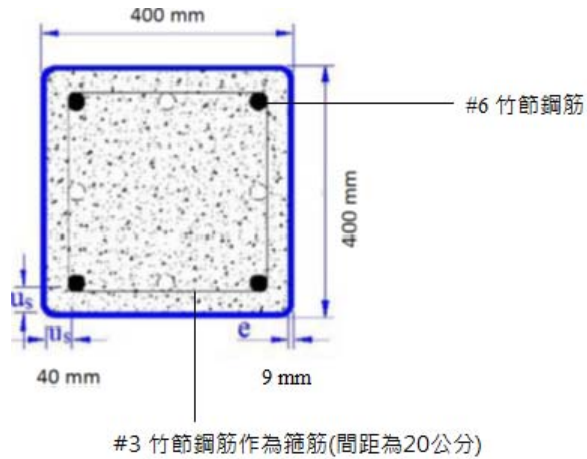
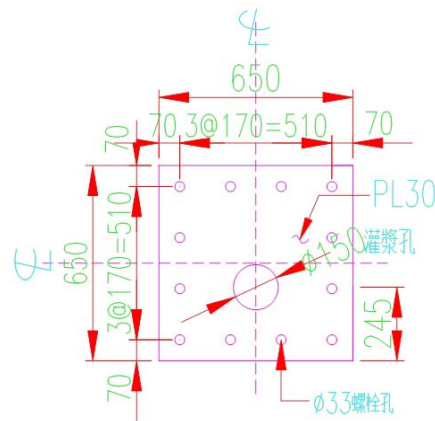
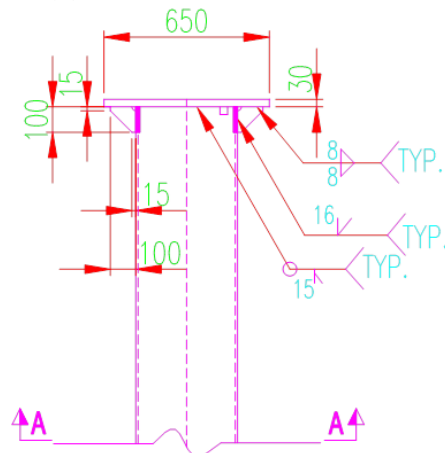


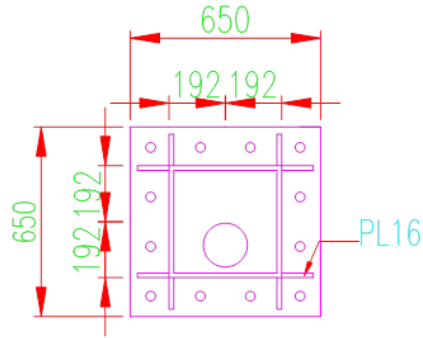
圖1 試體斷面



(a) 試體上部端板尺寸

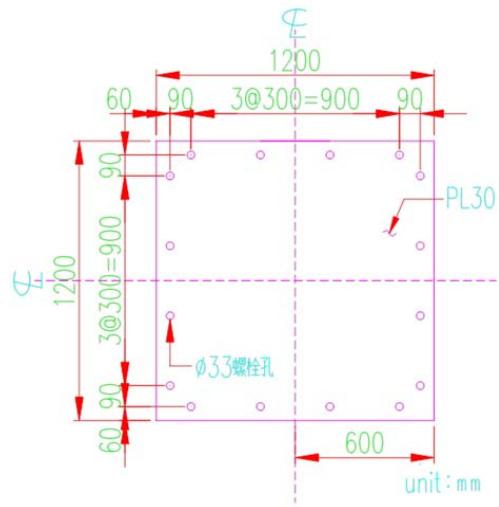


(b) 試體上部端板加勁

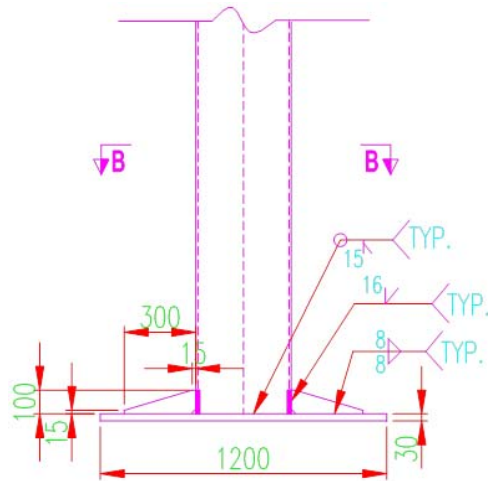


(c) 試體上部加勁板

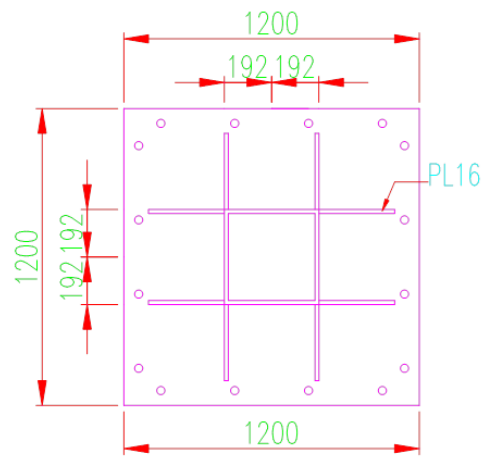
圖 2 混凝土填充方型鋼管柱試體上部端板及加勁板設計圖



(a) 試體下部端板尺寸

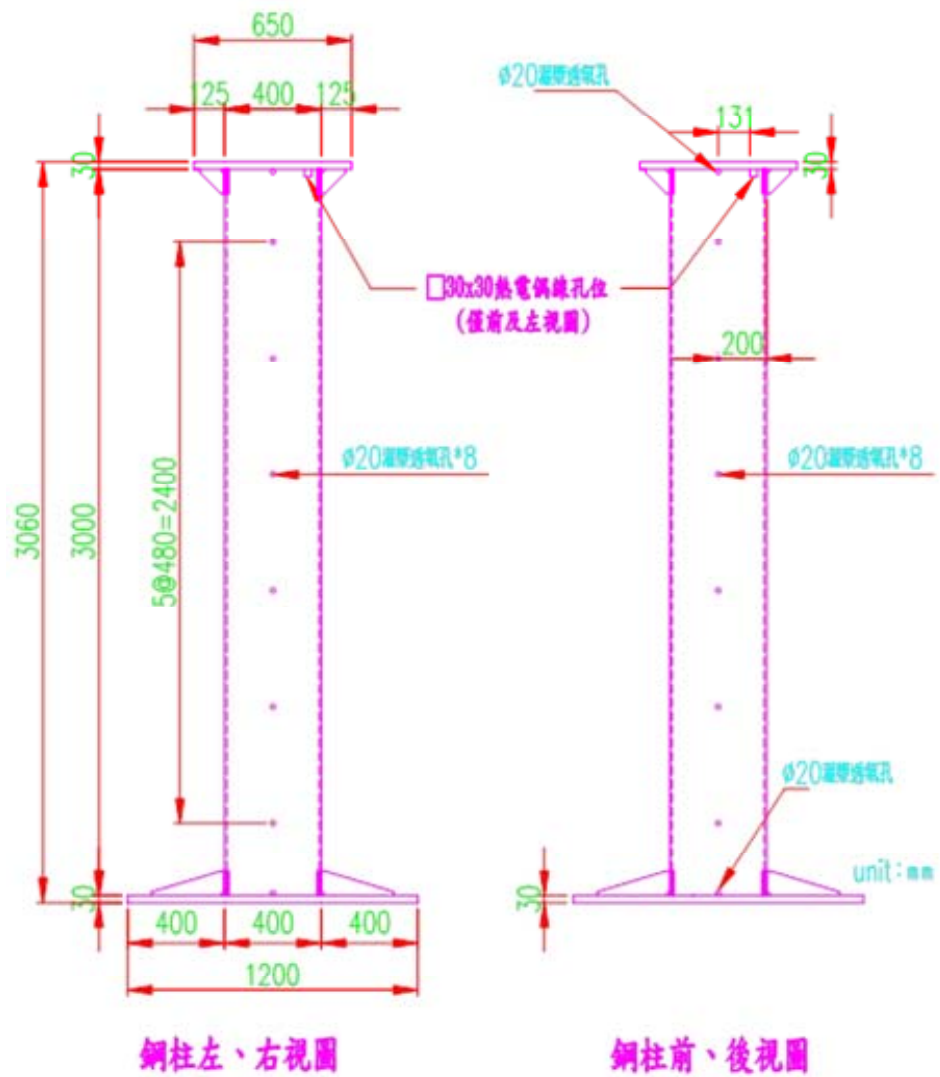


(b) 試體下部端板加勁



(c) 試體下部加勁板

圖 3 混凝土填充方型鋼管柱試體下部端板及加勁板設計圖



鋼柱左、右視圖

鋼柱前、後視圖

圖 4 試體立面圖

三、實驗程序

(一) 試體

1. 試體所用之材料及構成，應與實體一致，並應依實際使用情況之安裝方法製作試體。
2. 試體材料之尺度、組成及比重，應符合原生產條件及標準。
3. 試體數量原則上試體尺度為L者1個、試體尺度為A者2個，分別進行各項相關試驗。若有下列情況，則應酌情增加數量。
 - (1) 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。
4. 試體之形狀及尺度，應與實體相同。但試體尺度與實體相同而有試驗困難者，其形狀及加熱尺度依〈樑柱複合爐試驗之試體規定〉之規定進行。

表：樑柱複合爐試驗之試體規定

單位：cm

試體種類	形狀	加熱尺度		斷面
		L	A	
柱（註）	與實體一致	高度300 以上	高度240 以上	與實體一致

註：鋼構造之柱梁試體，得採一系列之斷面形狀，求得其耐火性能範圍與適用條件。

5. 試體之耐火被覆材等之固著間隔，應採實際施工規範中最大者。
 6. 在建築物實際施工中，若有接縫等其他防火弱點時，應將該弱點置於試體中央部位。同一試體上，不得有不同之接縫方式，應依每種接縫方式進行一次試驗。
 7. 試體之形狀及尺度若無法依第1.4節之規定時，為使試驗能進行所做之任何修改或變更，不得對試體性能有增加之情形，報告並應對修改部分詳細說明。試體修改或變更形狀及尺度時，不應變更試體之材料、構成、耐火被覆材等固著間隔、間柱、墊條材等間隔。
 8. 養護與乾燥
 - (1) 試體試驗時之溫度與溼度應與正常實際使用狀態相接近。
 - (2) 試體應經乾燥達到氣乾狀態。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狀態者，則不在此限。
 - (3) 試體放置在通風良好之室內，經過一定乾燥期間，即可達到氣乾狀態，如混凝土、水泥砂漿粉刷等濕式工法施工者需二個月以上，乾式工法施工者需一個月以上。但以適當方法確認達到第1.11.2 節含水率者，得縮短其乾燥時間。
 - (4) 使用人工加速乾燥方法，應注意不得改變構材性質或試體之含水率分布而影響防火性能。高溫乾燥溫度須低於試體構材變質之臨界溫度。
- (二) 實驗條件

1. 加熱溫度

加熱實驗時爐內溫度應用規範規定之熱電偶測定其隨時間經過之變化值，且應依下列函數式所示數值控制加熱。

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

式中 T = 平均爐內溫度 ($^{\circ}\text{C}$)

t = 實驗經過時間 (分)

依函數式可得標準加熱溫度—時間曲線（以下簡稱標準曲線），如圖一所示。實驗溫度時間曲線許可差 (de) 如下列數值所規定。但對於含有大量可燃物質、材料之試體，若確認可燃成分突然著火燃燒以致平均爐內溫度增加異常情形不超過 10 分鐘，得不受此限。

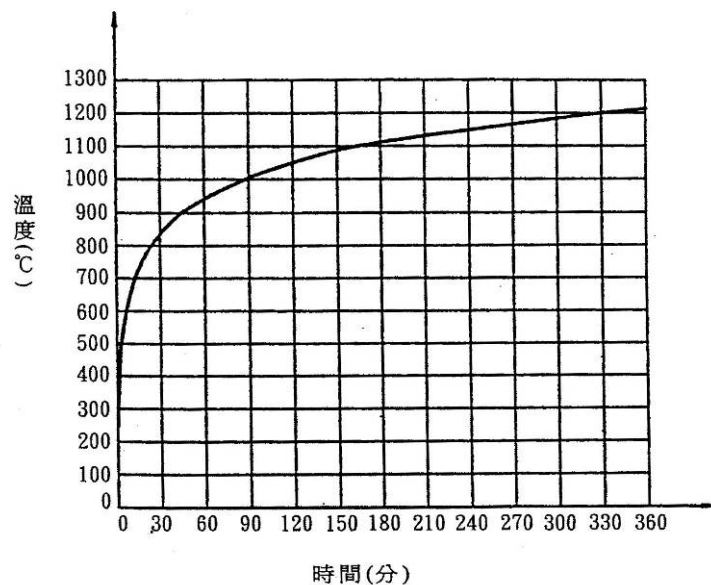


圖 5 耐火標準加熱溫度—時間曲線圖

- (1) $5 < t < 10$ $de \leq 15\%$
- (2) $10 < t \leq 30$ $de = 15 - 0.5(t - 10)\%$
- (3) $30 < t \leq 60$ $de = 5 - 0.083(t - 30)\%$
- (4) $60 < t$ $de = 2.5\%$

$$\text{式中， } de = \frac{A - As}{As} \times 100$$

A = 實際實驗平均溫度—時間曲線以下面積 ($^{\circ}\text{C}$ ，分)

As = 標準加熱溫度—時間曲線以下面積 ($^{\circ}\text{C}$ ，分)

面積計算方法，在 (1) 之間隔不超過 1 分鐘，在 (2)、(3)、(4) 之間隔不超過 5 分鐘情形下將面積相加合計。

在實驗初期 10 分鐘以後之任何時間，任一爐內溫度熱電偶所測得溫度與標準曲線對應溫度不得大於 $\pm 100^{\circ}\text{C}$ ，但若試體含有大量可燃材料，其許可差則不得大於 $\pm 200^{\circ}\text{C}$ 。

2 爐內壓力

- (1) 加熱爐內高度方向之氣壓分布概呈線性梯度狀態，設定每公尺高度壓力差為 $8\sim 8.5\text{Pa}\{0.8\sim 0.85\text{kgf}/\text{m}^2\}$ 。
- (2) 試驗面之平均壓力許可差，在試驗開始初期 5 分鐘須保持在 $\pm 5\text{Pa}\{0.5\text{kgf}/\text{m}^2\}$ ，在試驗開始至 10 分鐘則須保持在 $\pm 3\text{Pa}\{0.3\text{kgf}/\text{m}^2\}$ 。

3. 試體內部熱電偶測點

柱構造內部熱電偶測點配置（如下圖）。

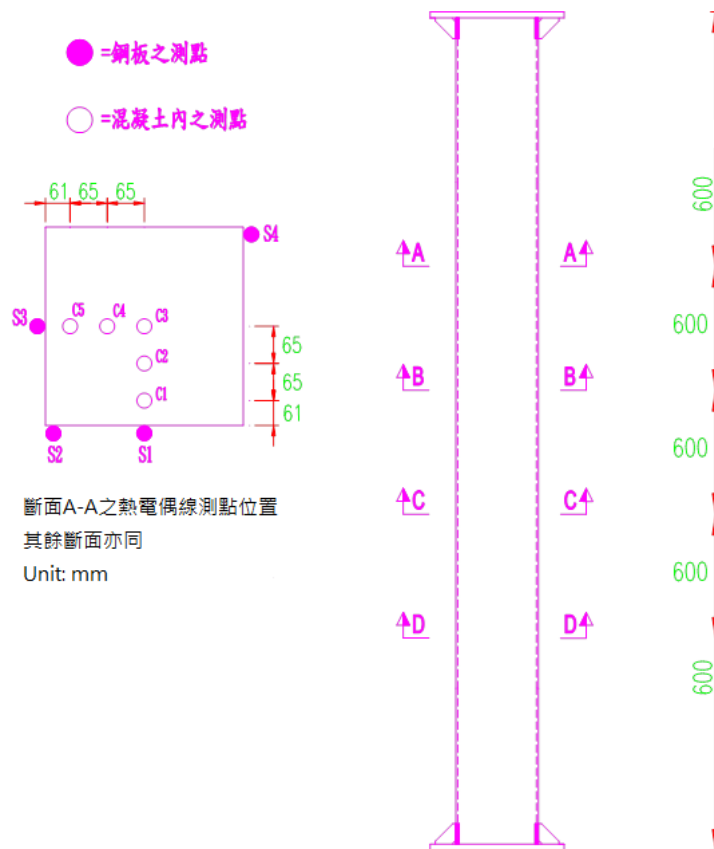


圖6 試體溫度測點分布圖

(三) 試驗步驟

1. 試驗開始前預備事項

- (1) 室內氣溫須以熱電偶量測，須在 $20\pm 10^{\circ}\text{C}$ 範圍內。
- (2) 試驗開始前5 分鐘內，所有熱電偶之初始值須持續記錄並檢查一致性。試體之變形量測值及其他狀態亦須記錄。
- (3) 開始試驗前，爐內溫度須小於 50°C 。當溫度控制程式依循標準加熱曲線開始之際即視為試驗開始。從該點時間起量測經過時間，所有手動及自動量測以及觀察系統須開始進行。
- (4) 試驗開始之際，試體之初始平均內部溫度及非加熱面溫度須為 $20\pm 10^{\circ}\text{C}$ ，且須與初始室內溫度相差 5°C 範圍內。

2. 量測與觀察

- (1) 除移動式熱電偶以外，所有固定之熱電偶在試驗期間應每隔不超過1 分鐘即量測一次。移動式熱電偶之量測，如溫度在20秒量測時間內未達 150°C ，則須持續量測。
- (2) 爐內壓力之量測及記錄應在監控點連續或每隔不超過5分鐘間隔進行一次。
- (3) 一般性觀察
有關試體構材之變形、裂開、熔化、軟化、剝落、炭化等現象均須記錄。

3. 試驗終止

試驗因下列原因得以終止。

(1) 達到設定指標

試驗中試體已發生第(四)節所規定情況之一或以上，試驗應立即停止；或試驗時間已達預定時間，亦得停止。

備考：試驗中試體發生失敗情況，若為獲得進一步資料，得繼續試驗。

(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

(3) 因試驗委託人之要求，得停止進行試驗。

(四) 性能基準與判定

試驗進行至預定試驗時間終止，試體之耐火性及防火時效須依下列性能基準加以判定。

1. 承重能力

若量測結果超過下列每項性能基準，試體即視為承重能力失敗。

最大軸向壓縮量 (mm)， $C=h/100$

最大軸向壓縮速率(mm/min)， $dc/dt=3h/1000$

式中， h =試體之初始高度，(mm)。

備考：未進行加載試驗但測定構造中鋼材溫度之試體，其鋼材溫度最高值若超過 550°C 或平均值若超過 500°C ，即表示試體構造已達破壞溫度，視為承重能力失敗。

2. 耐火性能標示

試體試驗後，應參照第1節〈試驗結果記錄表〉中所規定承載能力之性能基準決定耐火性能合格時間(分)。

3. 防火時效等級

防火時效等級分為30分鐘，1 小時、2 小時、3 小時及4 小時。試體之防火時效判定，須以試體耐火性能合格時間達到該等級時間者，始為合格防火時效。

四. 觀察紀錄

(一) 加熱過程紀錄

試驗經過時間 (時:分:秒)	試體現象
00:00	1. 試體持壓載重15分鐘以上。 2. 開始點火加熱。
:	爐內試體傳出爆裂聲
:	爐內試體持續傳出爆裂聲
:	加熱加載實驗停止

(二) 加載紀錄

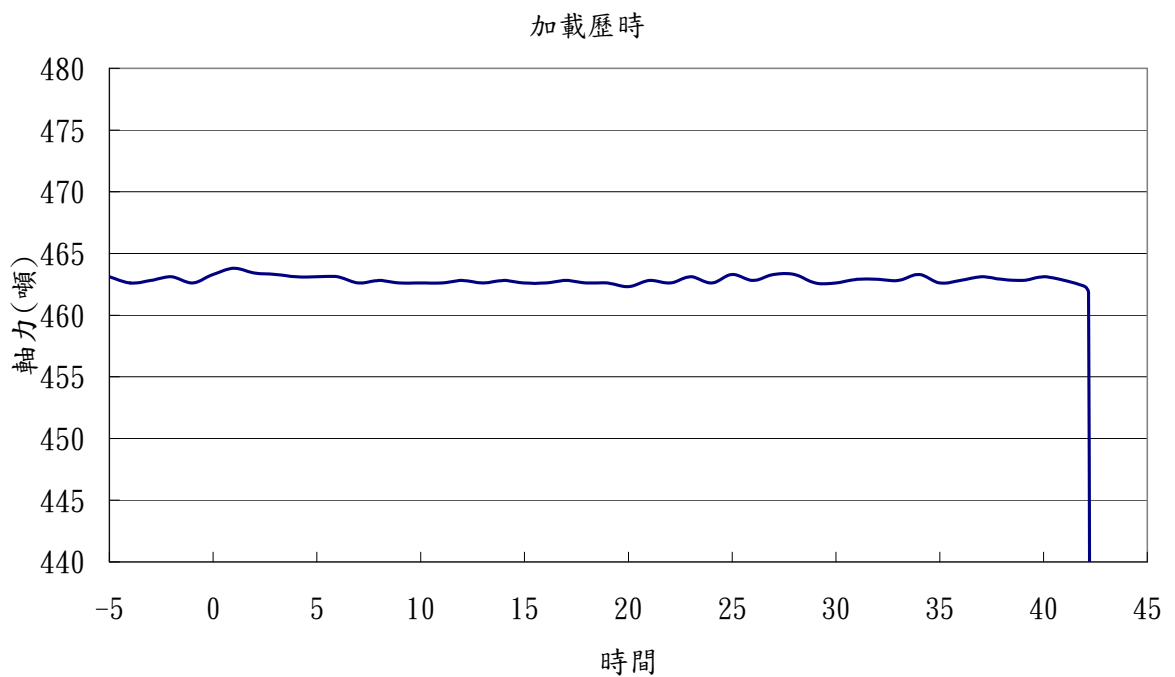


圖 7 加載歷時曲線圖

(三) 軸向壓縮量量測紀錄

最大軸向壓縮量(mm)容許基準值， $C = \frac{h}{100} = 30.6\text{mm}$



圖 8 壓縮量測點位置圖

柱軸向壓縮歷時

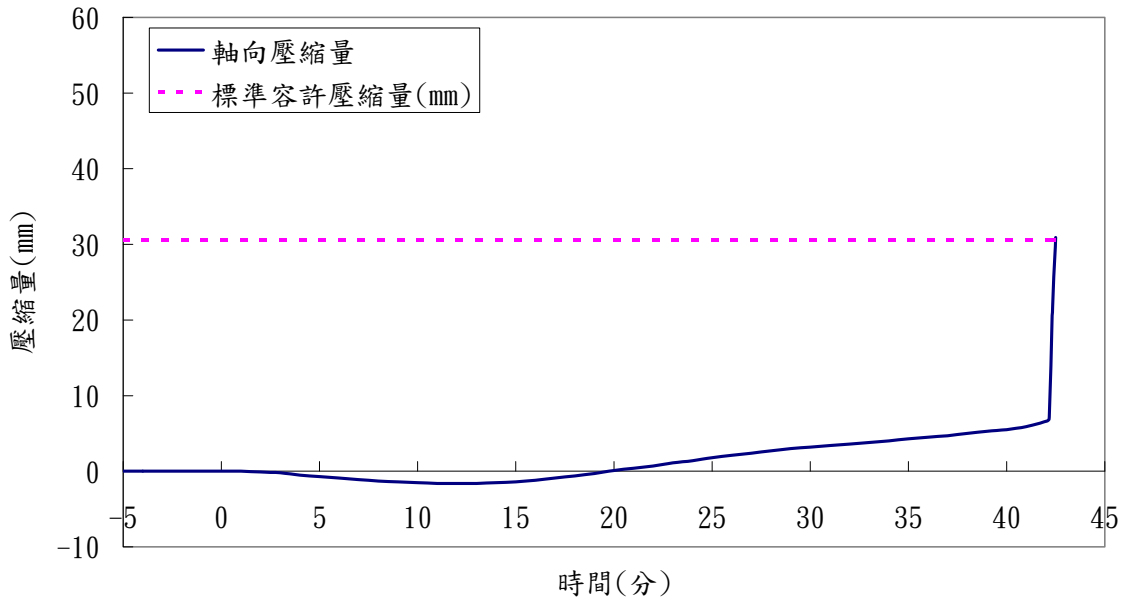


圖 9 軸向壓縮量歷時曲線圖

(四) 軸向壓縮速率量測紀錄

最大軸向壓縮速率(mm/min), $\frac{dC}{dt} = \frac{3h}{1000} = \frac{3 * 3060}{1000} = 9.18 \text{ (mm/min)}$

柱軸向壓縮速率歷時

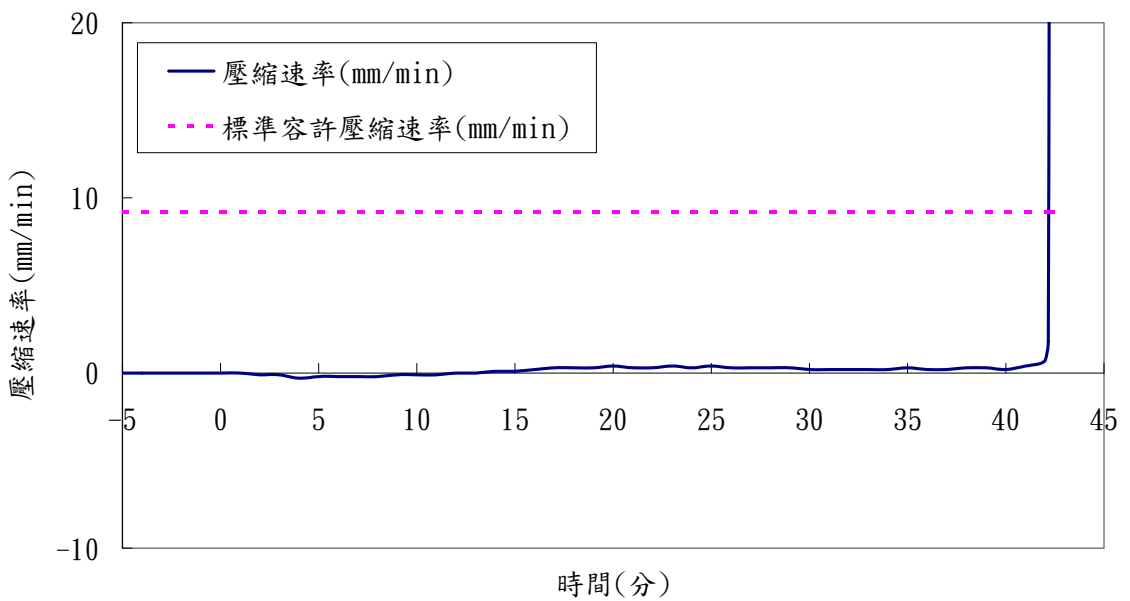


圖 10 軸向壓縮速率歷時曲線圖

(五) 軸力與軸向壓縮量紀錄

柱軸力與壓縮量歷時

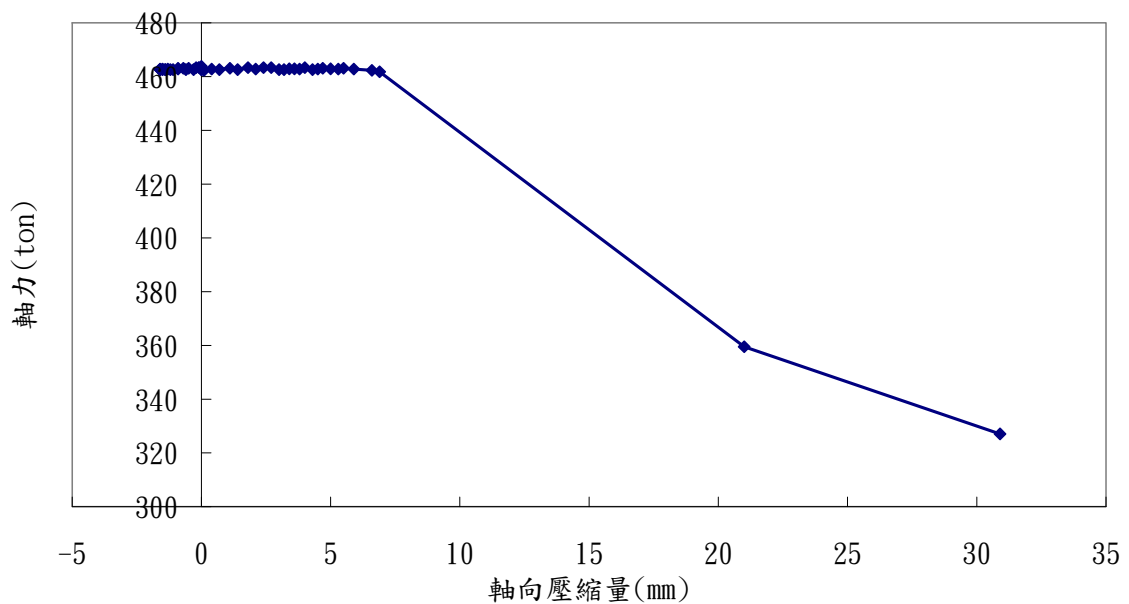


圖 11 軸力與軸向壓縮量歷時曲線圖

五、總結

(一)送測試體標稱防火時效1小時，經加載試驗及加熱試驗後，測試結果如下：

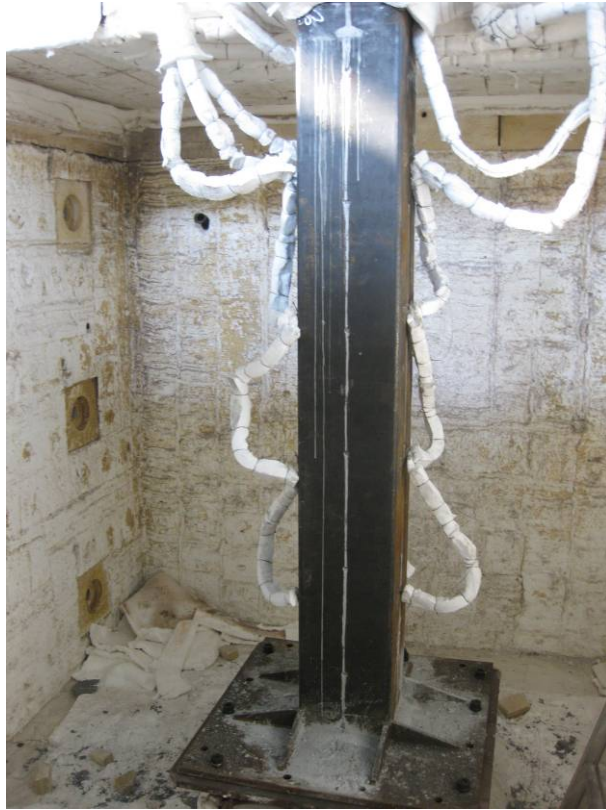
1. 軸向壓縮量於加熱時間42分30秒，達容許最大軸向壓縮量30.6mm。
2. 軸向壓縮速率於加熱時間42分11秒達容許最大軸向壓縮速率9.18(mm/min)。
3. 試驗加熱時間14分58秒，鋼材溫度最高溫度超過550⁰C。
4. 試驗加熱時間20分35秒，鋼材平均溫度超過500⁰C。
5. 試驗過程中試體內混凝土溫度測點BC3、CC3與BC4載22分後即已失效，試驗結束混凝土平均溫度為119.1⁰C。

(二)耐火性能標示：

1. 所送試體耐火性能標示如下
 - (1)依判定基準(I)，試體承重能力為41分(42分發生破壞)
 - (2)依判定基準(II)，試體承重能力為14分
2. 所送試體防火時效為30分鐘。

六、附件

一、實驗紀錄照片



照片1：實驗前試體安裝(I)



照片2：試驗後試體破壞情況(I)

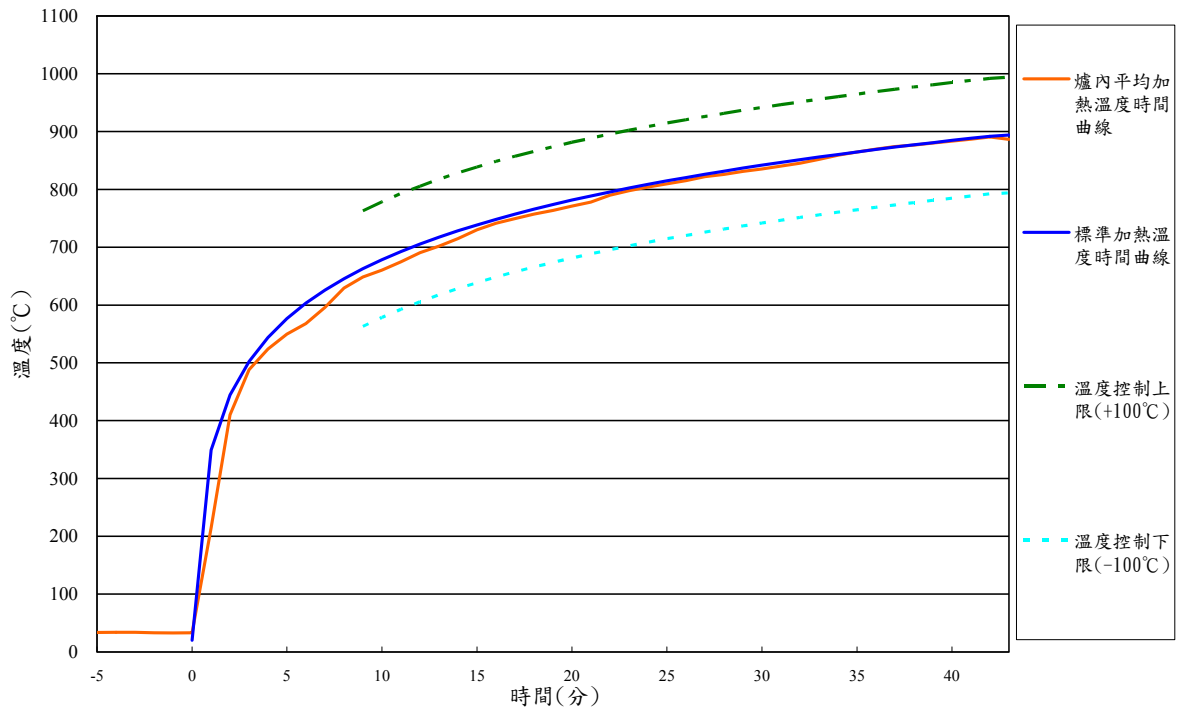


照片3：試驗後試體破壞情況(II)

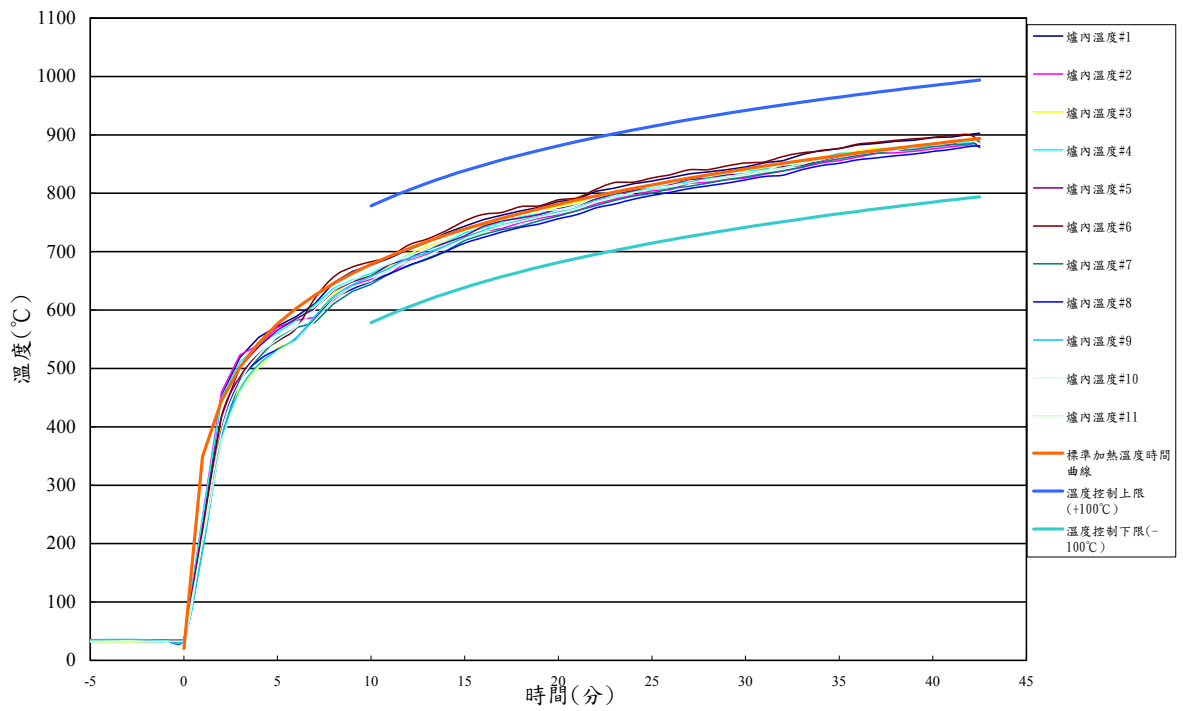


照片4：試驗後試體破壞情況(III)

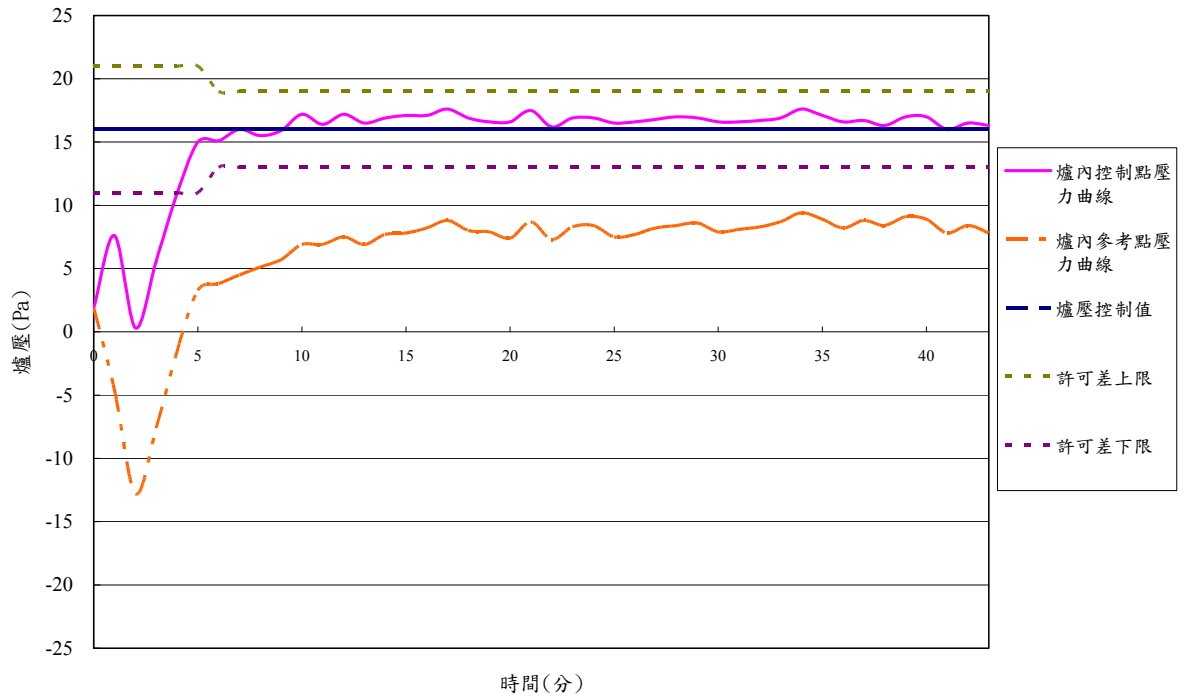
(二) 爐內平均溫度圖



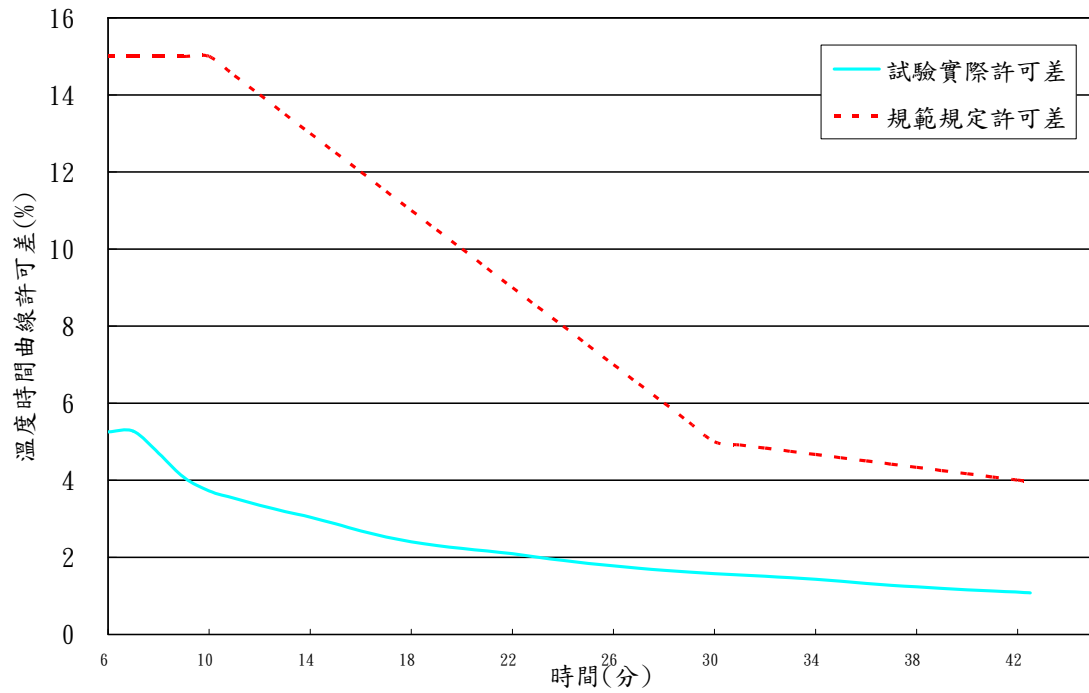
(三) 爐內各溫度點曲線圖



(四) 爐內壓力曲線圖

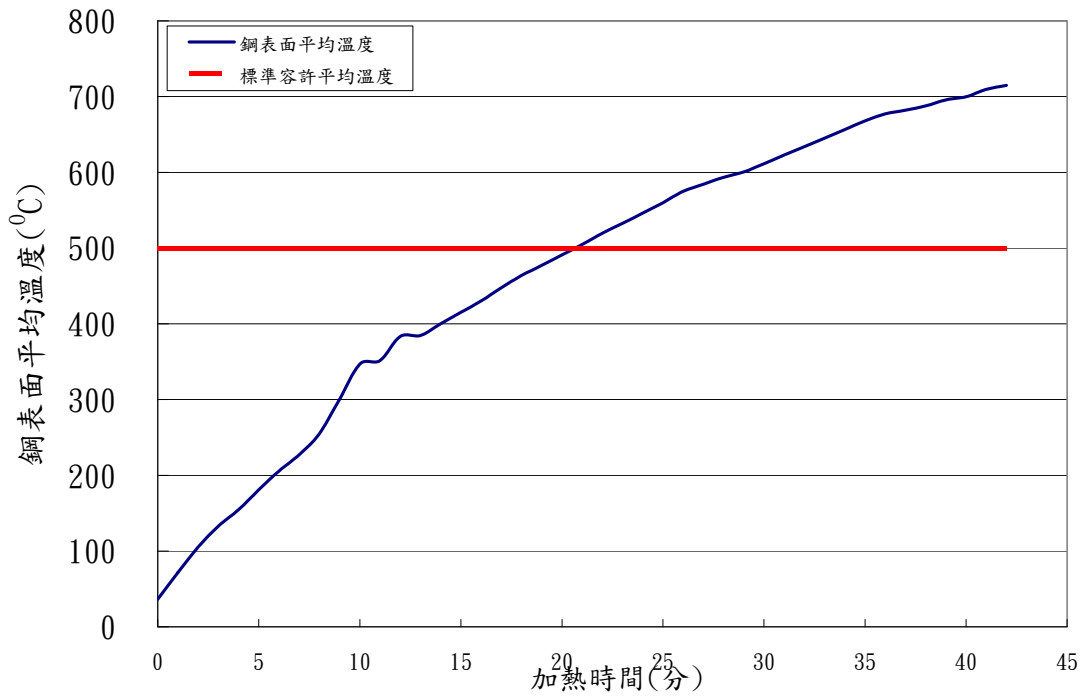


(五) 溫度時間容許差曲線圖

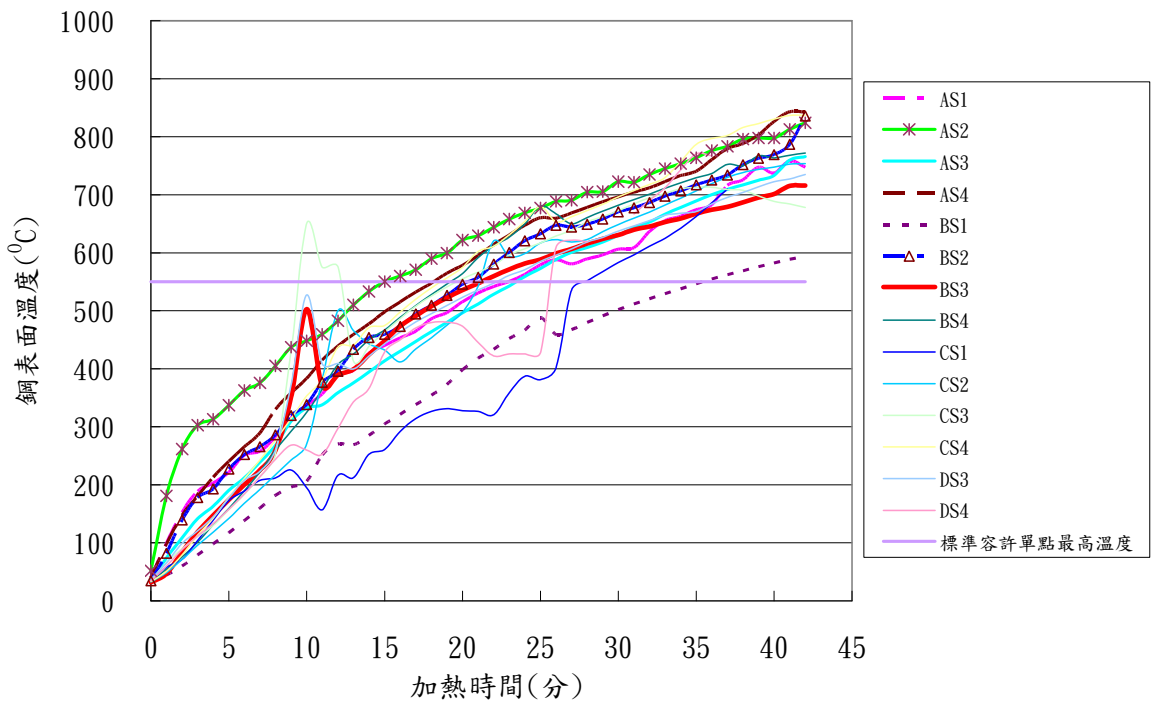


(六) 試體斷面各點溫度圖

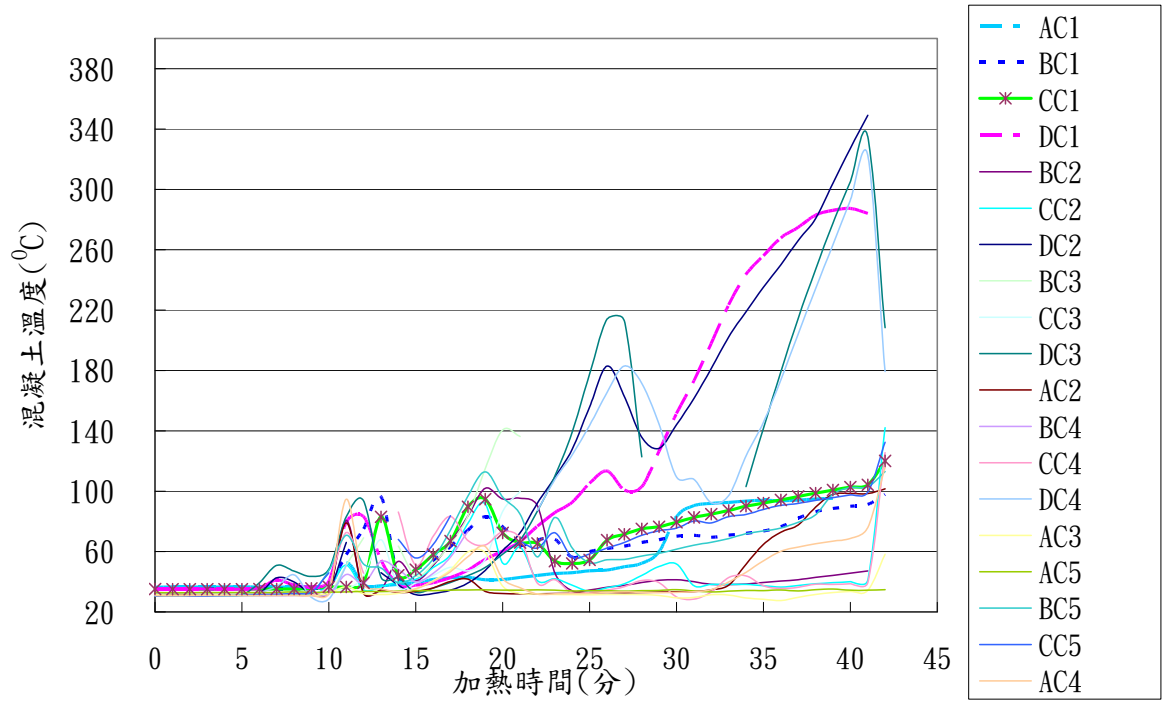
1. 鋼材表面平均溫度



2. 鋼材表面各點溫度



3. 混凝土斷面各點溫度



(七)、爐內加熱溫度時間表

單位: °C

時間 (分)	爐內溫度#1	爐內溫度#2	爐內溫度#3	爐內溫度#4	爐內溫度#5	爐內溫度#6	爐內溫度#7	爐內溫度#8	爐內溫度#9	爐內溫度#10	爐內溫度#11	爐內平均加熱溫度	標準曲線溫度	溫度控制上限(+100°C)	溫度控制下限(-100°C)
-5	34.4	33.5	31.7	32.4	34.6	34.0	33.4	35.1	35.4	31.9	33.1	33.6	-	-	-
-4	34.6	33.6	31.8	32.5	34.8	34.1	33.5	35.2	35.5	32.2	33.3	33.7	-	-	-
-3	34.8	33.8	31.8	32.4	35.0	34.0	33.3	35.4	35.6	32.2	33.5	33.8	-	-	-
-2	34.2	33.2	31.5	32.4	34.5	33.7	32.2	35.0	35.1	32.0	32.9	33.3	-	-	-
-1	34.0	32.8	31.1	31.7	34.4	33.6	31.6	34.5	34.6	31.6	32.8	33.0	-	-	-
0	34.0	33.1	31.6	31.9	34.7	33.6	32.6	34.9	35.1	31.6	32.8	33.3	20.0	-	-
1	229.1	243.9	220.8	242.5	225.6	218.9	190.1	195.3	186.7	208.1	200.5	214.7	349.2	-	-
2	452.5	458.9	399.6	449.4	416.9	416.2	383.7	393.1	375.7	389.9	376.7	410.2	444.5	-	-
3	519.0	523.3	468.0	511.0	502.9	485.3	480.7	478.8	463.2	475.9	459.9	488.0	502.3	-	-
4	553.5	539.8	503.3	540.5	537.4	524.9	518.5	514.4	507.2	523.7	501.8	524.1	543.9	-	-
5	572.5	570.6	535.2	561.2	565.5	546.5	551.7	532.6	530.5	548.8	529.4	549.5	576.4	-	-
6	589.1	582.4	549.3	582.7	585.5	569.0	569.7	549.3	552.7	570.8	547.9	568.0	603.1	-	-
7	611.1	587.8	588.5	608.7	602.5	620.0	578.8	584.7	589.1	600.8	582.3	595.8	625.8	-	-
8	646.9	617.0	628.3	637.4	633.0	656.8	610.5	618.7	623.4	633.8	618.2	629.5	645.5	-	-
9	666.2	641.8	650.5	651.5	648.4	673.7	632.1	636.0	643.4	649.9	640.1	648.5	662.8	762.8	562.8
10	677.3	652.4	660.8	662.9	658.7	682.7	644.3	648.7	657.4	668.3	649.8	660.3	678.4	778.4	578.4
11	689.1	661.8	675.8	678.5	678.4	691.6	662.9	662.2	672.2	679.4	668.4	674.6	692.5	792.5	592.5
12	703.7	684.7	696.1	693.7	688.1	711.3	675.3	676.5	688.8	693.2	683.0	690.4	705.4	805.4	605.4
13	715.9	695.1	709.4	702.4	704.4	721.6	688.4	687.0	698.1	704.4	693.2	701.8	717.3	817.3	617.3
14	731.9	708.0	719.1	715.6	715.1	735.6	701.1	700.3	710.4	720.4	707.4	715.0	728.3	828.3	628.3
15	743.5	724.5	736.0	732.3	727.0	752.7	719.3	714.8	723.9	735.2	722.2	730.1	738.6	838.6	638.6
16	754.9	735.2	746.3	741.1	743.5	764.0	729.6	724.4	736.3	748.0	734.0	741.6	748.2	848.2	648.2
17	762.6	739.8	755.3	750.6	753.0	767.2	738.0	733.8	745.7	754.9	744.7	749.6	757.2	857.2	657.2
18	769.8	749.8	763.4	759.6	757.5	777.4	743.7	741.5	753.4	763.0	751.7	757.3	765.7	865.7	665.7
19	775.8	757.2	769.9	764.9	763.6	778.4	752.9	747.5	760.9	770.3	759.7	763.7	773.7	873.7	673.7
20	785.7	762.7	777.5	772.5	773.2	788.7	760.8	756.3	767.8	771.8	766.2	771.2	781.4	881.4	681.4
21	789.7	769.8	783.9	779.5	779.6	792.3	770.3	763.6	774.9	780.0	774.0	778.0	788.6	888.6	688.6
22	803.4	781.7	795.3	789.7	790.3	806.9	778.9	774.9	787.4	793.2	785.8	789.8	795.6	895.6	695.6
23	808.9	789.7	803.0	797.8	799.1	818.6	787.9	781.6	793.6	800.5	793.7	797.7	802.2	902.2	702.2
24	816.4	796.3	808.8	803.7	804.4	819.2	795.0	789.7	800.8	807.5	800.9	803.9	808.5	908.5	708.5
25	820.9	804.1	814.2	809.1	812.3	826.1	799.9	796.0	806.8	811.1	807.0	809.8	814.6	914.6	714.6
26	827.0	806.1	816.6	817.7	815.3	832.1	808.3	801.7	811.2	817.3	811.4	815.0	820.5	920.5	720.5
27	833.5	817.3	826.2	819.0	823.6	840.2	811.8	808.1	818.9	825.3	817.7	822.0	826.1	926.1	726.1
28	836.7	818.9	828.4	825.3	825.8	840.4	817.5	812.9	825.4	829.3	823.7	825.8	831.5	931.5	731.5
29	840.5	823.5	833.6	832.4	831.9	847.2	823.4	817.5	828.5	833.7	828.5	831.0	836.7	936.7	736.7
30	845.2	826.2	838.3	837.5	833.5	852.0	828.1	822.8	833.9	836.4	833.6	835.2	841.8	941.8	741.8
31	852.5	832.6	841.9	840.7	839.1	853.8	833.8	828.8	841.3	838.9	838.8	840.2	846.7	946.7	746.7
32	855.7	837.9	847.1	843.9	846.2	863.0	838.2	831.2	843.5	848.7	843.1	845.3	851.4	951.4	751.4
33	866.2	844.3	854.7	852.3	847.6	869.4	844.8	840.4	850.8	852.4	849.7	852.1	856.0	956.0	756.0
34	873.4	851.5	861.5	859.2	855.9	872.4	853.7	847.4	857.5	857.0	858.8	858.9	860.5	960.5	760.5
35	876.7	855.9	867.3	868.5	863.3	876.8	858.9	851.2	864.7	864.8	863.5	864.7	864.8	964.8	764.8
36	882.8	861.9	872.3	868.7	870.4	884.4	864.7	857.4	869.5	867.5	868.4	869.8	869.0	969.0	769.0
37	885.4	868.3	877.5	872.1	873.4	887.2	868.5	860.8	874.5	871.8	873.7	873.9	873.1	973.1	773.1
38	888.7	869.3	877.8	878.5	875.1	890.6	873.3	864.3	876.0	873.1	875.7	876.6	877.1	977.1	777.1
39	891.0	871.9	881.0	878.0	880.5	893.3	874.9	867.2	880.9	882.1	879.2	880.0	881.0	981.0	781.0
40	895.6	876.0	884.7	881.4	884.3	895.6	879.5	871.8	883.9	882.7	883.2	883.5	884.7	984.7	784.7
41	896.4	880.1	889.2	886.9	884.7	899.2	883.4	875.1	888.0	886.6	886.7	886.9	888.4	988.4	788.4
42	900.8	883.4	893.0	886.7	892.7	899.8	885.0	880.4	892.3	889.2	892.3	890.5	892.0	992.0	792.0
42.5	902.7	880.6	884.6	879.4	878.1	887.2	888.1	881.3	892.0	885.9	892.2	886.5	895.5	995.5	795.5

(八) 爐內壓力時間表

單位:pa

Time (分)	爐內參考點壓力值	爐內控制點壓力值	爐壓控制值	許可差上限	許可差下限
0	1.9	1.9	16	21	11
1	-4.6	7.6	16	21	11
2	-12.8	0.3	16	21	11
3	-7.6	5.6	16	21	11
4	-1.6	10.9	16	21	11
5	3.3	15.0	16	21	11
6	3.8	15.1	16	19	13
7	4.5	16.0	16	19	13
8	5.1	15.5	16	19	13
9	5.7	15.9	16	19	13
10	6.9	17.2	16	19	13
11	6.9	16.4	16	19	13
12	7.5	17.2	16	19	13
13	6.9	16.5	16	19	13
14	7.7	16.9	16	19	13
15	7.8	17.1	16	19	13
16	8.2	17.1	16	19	13
17	8.8	17.6	16	19	13
18	8.0	16.9	16	19	13
19	7.9	16.6	16	19	13
20	7.4	16.6	16	19	13
21	8.7	17.5	16	19	13
22	7.3	16.2	16	19	13
23	8.3	16.9	16	19	13
24	8.4	16.9	16	19	13
25	7.5	16.5	16	19	13
26	7.7	16.6	16	19	13
27	8.2	16.8	16	19	13
28	8.4	17.0	16	19	13
29	8.6	16.9	16	19	13
30	7.9	16.6	16	19	13
31	8.1	16.6	16	19	13
32	8.3	16.7	16	19	13
33	8.7	16.9	16	19	13
34	9.4	17.6	16	19	13
35	8.9	17.1	16	19	13
36	8.2	16.6	16	19	13
37	8.8	16.7	16	19	13
38	8.4	16.3	16	19	13
39	9.1	17.0	16	19	13
40	8.9	17.0	16	19	13
41	7.8	16.0	16	19	13
42	8.4	16.5	16	19	13
42.5	7.8	16.3	16	19	13

(九) 試體斷面溫度時間表

單位: °C

1. 鋼材表面溫度

時間 (分)	AS1	AS2	AS3	AS4	BS1	BS2	BS3	BS4	CS1	CS2	CS3	CS4	DS1(*)	DS2	DS3	DS4	鋼表面 平均溫度	鋼表面 最高溫度	標準容 許平均 溫度	標準容 許最高 溫度
0	40.1	52.0	33.8	40.1	36.0	34.3	32.1	32.7	35.0	32.9	35.2	33.3	35.7	37.8	37.4	34.4	36.4	52.0	500	550
1	99.1	181.1	74.1	98.0	44.5	82.0	46.8	54.4	57.8	48.6	66.1	50.8	51.5	66.3	65.2	60.0	71.6	181.1	500	550
2	152.8	261.5	108.8	147.7	59.8	139.5	84.4	75.8	71.6	71.5	89.9	79.3	59.5	96.9	99.4	88.2	105.4	261.5	500	550
3	189.0	302.8	141.7	180.8	78.8	178.0	118.7	101.3	103.9	96.0	110.7	113.3	62.4	118.8	120.7	112.1	133.1	302.8	500	550
4	203.2	313.0	162.8	213.2	97.9	193.0	147.1	131.0	139.2	118.3	129.9	142.6	63.7	144.7	144.9	133.1	154.9	313.0	500	550
5	221.9	337.2	190.7	240.5	117.5	227.1	174.4	159.4	172.9	142.2	157.4	178.6	65.7	174.5	177.8	158.0	181.0	337.2	500	550
6	251.4	362.6	212.1	265.8	138.4	252.4	200.3	189.8	189.4	168.4	183.7	210.8	68.8	204.6	208.1	184.7	205.7	362.6	500	550
7	257.8	375.8	239.3	289.3	159.9	265.6	225.6	222.4	207.6	192.1	214.3	242.9	72.7	234.3	223.2	213.9	227.3	375.8	500	550
8	281.9	405.1	268.1	330.1	182.0	286.1	259.2	260.0	211.9	217.4	253.3	277.1	77.1	266.2	260.3	244.0	255.0	405.1	500	550
9	316.1	437.3	309.7	358.4	195.9	319.4	351.7	292.4	225.5	242.9	431.8	314.1	77.1	299.4	372.9	268.3	300.8	437.3	500	550
10	336.6	448.4	332.4	383.5	206.5	338.2	502.7	325.0	194.9	270.4	650.5	353.2	75.1	347.0	527.4	259.8	347.0	650.5	500	550
11	356.6	459.8	337.9	414.9	251.6	376.6	370.0	364.6	156.9	381.3	575.1	381.0	103.5	433.6	408.9	252.5	351.6	575.1	500	550
12	389.4	482.7	359.1	439.3	270.2	395.9	389.5	407.4	216.4	500.3	575.9	437.4	108.5	453.5	409.2	297.4	383.3	575.9	500	550
13	397.6	510.2	375.8	459.0	269.1	433.7	399.2	425.4	212.5	466.0	413.4	441.2	101.8	504.5	399.8	342.8	384.5	510.2	500	550
14	426.5	533.4	394.4	477.5	285.0	453.9	424.7	450.1	252.6	443.1	438.6	471.2	95.7	466.7	421.8	366.0	400.1	533.4	500	550
15	440.2	550.2	413.8	498.0	304.7	459.3	448.4	467.1	261.1	432.3	463.7	474.7	104.3	456.8	443.4	429.3	415.5	550.2	500	550
16	453.3	560.2	430.4	515.1	321.3	473.1	473.6	488.7	292.2	411.7	486.7	497.9	101.4	465.5	463.5	450.1	430.3	560.2	500	550
17	464.7	570.7	447.3	532.4	338.1	494.4	491.3	508.9	314.0	434.1	508.0	519.8	104.5	484.2	480.9	470.4	447.7	570.7	500	550
18	486.2	589.9	464.1	547.7	354.2	509.5	507.7	528.1	326.6	453.7	525.5	539.6	109.5	502.0	495.2	479.9	463.7	589.9	500	550
19	496.8	599.5	480.1	564.6	372.9	526.6	522.7	546.2	331.1	475.5	541.4	556.6	113.3	518.9	509.2	480.4	477.2	599.5	500	550
20	515.4	622.1	496.4	578.6	398.6	545.6	535.6	564.2	327.8	497.4	555.2	574.7	119.0	532.9	523.2	473.4	491.3	622.1	500	550
21	530.7	629.5	511.9	595.2	418.7	557.6	547.2	592.0	326.6	543.1	566.8	602.2	124.6	550.8	536.1	445.3	504.9	629.5	500	550
22	541.8	644.1	528.7	614.2	433.5	580.5	559.6	611.9	320.9	620.7	578.5	611.1	127.1	571.8	547.8	422.3	519.7	644.1	500	550
23	550.2	658.0	542.5	630.8	452.2	600.7	571.5	627.1	358.8	593.7	596.4	631.0	130.9	593.3	561.1	425.7	532.7	658.0	500	550
24	562.7	668.7	558.9	647.4	466.7	620.7	581.4	649.6	387.0	598.6	606.8	653.8	133.3	610.5	570.7	425.7	546.4	668.7	500	550
25	579.0	677.0	573.2	660.3	488.4	632.5	588.5	680.8	381.3	616.9	617.0	679.7	142.1	627.7	585.3	427.5	559.8	680.8	500	550
26	588.1	688.4	588.5	659.5	459.1	647.4	599.0	667.1	401.4	622.7	629.1	653.3	141.7	649.6	596.0	609.1	575.0	688.4	500	550
27	580.9	690.6	600.9	668.4	467.3	644.5	606.5	650.0	535.3	618.5	638.8	662.1	125.5	631.0	606.6	621.6	584.3	690.6	500	550
28	589.5	704.7	609.2	678.2	479.8	648.9	615.8	660.8	551.7	623.0	653.4	672.9	127.3	641.9	618.6	618.8	593.4	704.7	500	550
29	596.1	705.5	618.6	688.0	491.2	658.1	624.0	671.8	567.3	636.4	662.3	683.6	129.1	652.6	626.7		600.8	705.5	500	550
30	606.1	722.6	629.9	696.2	502.0	670.4	630.5	682.0	583.1	648.6	672.4	696.3	131.5	662.7	637.5		611.5	722.6	500	550
31	608.4	721.7	643.2	704.7	511.5	677.4	639.7	691.7	596.6	659.8	684.5	707.3	133.0	672.5	646.4	666.8	622.8	721.7	500	550
32	636.7	734.9	653.1	711.9	520.5	686.5	645.4	700.9	611.1	670.2	694.4	718.1	134.2	680.8	655.5	690.4	634.0	734.9	500	550
33	655.4	745.2	666.5	722.5	529.3	697.6	653.1	711.2	624.9	682.2	702.1	729.7	135.9	691.1	664.8	712.1	645.2	745.2	500	550
34	662.9	753.7	678.0	732.9	537.6	706.6	659.1	720.8	642.2	694.2	710.2	757.2	137.5	700.4	668.1	743.1	656.5	757.2	500	550
35	674.1	763.8	689.6	740.8	546.4	716.8	667.6	729.2	662.9	706.9	712.5	786.9	139.2	710.2	671.1	770.6	668.0	786.9	500	550
36	682.8	776.2	700.2	760.6	554.7	725.3	674.3	736.7	686.2	719.4	713.1	796.9	140.0	719.7	684.2	767.3	677.4	796.9	500	550
37	716.3	783.6	709.2	779.4	562.0	734.0	679.2	752.5	710.0	729.9	709.0	802.2	141.9	728.4	695.5		682.2	802.2	500	550
38	725.8	796.0	716.9	788.3	568.9	751.8	686.8	750.0		738.3	707.6	816.1	143.5	735.9	703.8		687.8	816.1	500	550
39	747.3	798.0	725.0	803.4	575.9	762.8	695.1	767.2		743.7	698.0	822.7	145.1	741.0	713.6		695.6	822.7	500	550
40	737.4	798.0	733.2	826.5	582.3	769.2	701.4	763.3		747.9	688.4	830.5	152.5	744.9	722.6		699.9	830.5	500	550
41	758.5	812.6	759.8	843.2	588.7	786.8	715.2	768.0		752.8	684.1	836.7	153.7	747.8	727.2		709.7	843.2	500	550
42	747.3	823.9	765.9	842.9	594.3	835.7	715.9	771.8		753.9	678.3	837.1	155.8	752.3	735.0		715.0	842.9	500	550

備註:空白處表示資料有誤

2. 混凝土斷面溫度

時間 (分)	DC1	CC1	BC1	AC1	DC2	CC2	BC2	AC2	DC3	CC3	BC3	AC3	DC4	CC4	BC4	AC4	DC5	CC5	BC5	AC5	混凝土 平均溫度
0	35.3	35.2	35.1	36.3	31.5	31.4	31.3	31.5	31.2	31.2	31.2	31.3	30.9	30.8	30.8	30.8	30.7	30.6	30.5	32.8	32.0
1	35.3	35.1	35.1	36.6	31.4	31.4	31.3	31.4	31.2	31.0	31.1	31.2	30.8	30.7	30.6	30.7	30.7	30.7	30.6	32.7	32.0
2	35.3	35.1	35.1	36.6	31.3	31.4	31.3	31.4	31.1	31.1	31.1	31.2	30.8	30.7	30.7	30.8	30.1	30.5	30.6	32.7	31.9
3	35.2	35.1	35.1	36.5	31.3	31.5	31.3	31.5	31.1	31.1	31.2	31.2	30.9	30.8	30.8	30.9	30.4	30.6	30.7	32.8	32.0
4	35.1	35.1	35.1	36.6	31.3	31.5	31.3	31.4	31.2	31.2	31.2	31.3	30.9	30.9	30.8	30.9	30.9	30.8	30.7	32.9	32.1
5	35.2	35.1	35.1	36.7	31.3	31.5	31.3	31.4	31.5	31.2	31.2	31.3	30.9	30.9	30.8	30.8	31.2	31.1	30.8	32.8	32.1
6	35.8	35.2	35.1	36.3	32.3	31.4	31.4	31.4	39.3	31.2	31.1	31.2	32.8	30.9	30.8	30.8	39.2	31.3	30.9	32.8	33.1
7	41.1	35.2	35.1	36.3	42.6	31.4	31.4	31.3	50.8	31.2	30.9	31.1	36.8	30.9	30.8	30.9	70.8	31.7	31.1	32.9	36.2
8	37.7	35.2	35.2	36.4	39.8	31.3	31.3	31.3	47.0	31.1	30.9	30.9	44.5	31.0	30.8	31.0	49.4	32.2	31.3	33.3	35.1
9	36.6	35.6	36.1	36.5	32.4	31.3	31.4	31.3	43.5	31.4	30.8	30.8	29.6	31.2	30.7	31.0	39.6	33.1	33.0	33.0	33.4
10	40.4	36.6	38.7	37.0	34.1	37.3	32.9	32.9	48.3	35.0	31.8	32.3	28.6	38.2	31.9	32.4	42.8	45.9	47.5	33.1	36.9
11	79.5	36.6	57.9	52.6	66.0	51.0	80.6	79.0	83.2	35.0	51.1	36.7	50.9	72.6	44.8	94.7	72.9		70.8	33.3	60.5
12	83.2	39.3	75.1	38.0		34.6	32.8	32.4	93.6	43.8	69.1	32.1		45.7	39.2	38.8	56.5	62.0	51.8	33.6	50.1
13	54.3	83.0	96.3	37.3	46.0	36.7	35.0	34.5	42.9	67.9		31.6	87.0		53.4	35.3	85.0		49.0	33.5	53.5
14	37.8	44.3	42.7	38.3	37.9	39.9	53.6	32.8	42.5	36.6	63.6	32.4		86.2	48.2	33.4	53.7	68.1	39.1	33.7	45.5
15	37.7	48.0	48.2	39.4	31.5	41.6	41.0	33.6	33.0	39.2	43.9	35.1		50.8	39.9	35.4	44.4	55.8	44.0	34.1	40.9
16	39.4	58.1	53.9	41.6	32.2	49.5	50.8	36.0	35.8	44.2	51.9	40.7		70.2	45.6	40.2	47.0	64.8	55.2	34.2	46.9
17	42.7	67.0	63.3	42.6	34.4	57.9	66.0	40.2	39.6	49.6	65.2	47.9		83.3	56.4	46.6	60.7	83.8	74.3	34.4	55.6
18	47.6	89.7	74.2	42.9	39.2	78.8	83.6	41.7	44.0	47.2	83.6	59.8		67.3	73.5	56.7	86.1		96.8	34.5	63.7
19	54.8	94.7	83.1	41.3	47.5	91.6	101.9	33.6	49.4	54.9	114.9	59.2		64.4		63.4	116.4		112.9	34.6	71.7
20	60.2	72.3	76.5	41.5	60.7	52.4	94.8	32.2	58.3	86.6	140.6	37.1		73.2		42.1	144.7		96.1	34.4	70.8
21	66.7	65.9	64.4	42.9	72.5	63.0	95.3	32.0	67.7	99.9	136.2	32.4		68.8	75.0	36.1	167.9	66.7	84.7	34.4	72.2
22	76.8	65.4	67.7	44.2	92.2	40.7	90.3	32.0	86.9			31.9	87.2	39.0		31.8	196.5	62.3	56.5	34.7	66.8
23	85.7	53.7	68.1	45.4	109.3	42.0	45.8	32.2	110.0			31.6	107.7	41.3		32.0	218.8	72.5	82.6	34.4	71.4
24	92.6	52.2	56.3	46.0	127.7	37.7	34.0	32.4	139.1			31.5	124.0	32.4		32.2	236.0	56.2	62.5	33.9	72.2
25	105.1	54.4	60.0	47.3	155.8	33.8	34.5	32.6	177.6			31.3	143.6	33.1		32.4	255.5	58.4	52.5	34.1	78.9
26	113.3	67.6	62.1	47.8	182.9	36.1	36.3	32.8	214.1			31.6	165.5	34.4		33.0	262.2	62.3	54.6	34.1	86.5
27	100.8	71.5	63.6	49.9	162.7	38.6	37.6	32.6	212.9			31.6	182.9	36.7		33.3	235.3	66.0	54.9	33.8	85.0
28	103.0	75.0	66.1	52.1	135.7	44.2	39.6	32.8	122.7			31.4	171.5	40.8		32.8		70.8	57.0	34.1	69.4
29	126.4	76.5	67.8	59.9	128.4	50.1	41.0	33.1				30.9	144.3	39.4		32.7		73.8	58.9	34.3	66.5
30	151.4	79.4	70.1	83.2	144.1	51.7	41.3	33.4				29.4	109.4	29.9		33.0		75.5	61.6	34.8	68.5
31	173.2	82.6	70.8	90.4	161.4	37.4	40.0	33.5				29.7	107.8	28.5		33.4		80.2	64.2	33.9	71.1
32	197.9	84.8	69.5	91.9	181.3	38.2	38.2	34.6				31.5	92.4	33.1		34.8	246.5	79.0	66.2	33.3	84.6
33	223.4	87.3	70.9	92.5	202.2	38.3	38.1	37.8				31.2	97.2	42.7		39.8	263.2	83.1	68.6	33.8	90.6
34	243.5	90.1	72.1	93.4	218.8	38.2	38.5	51.5	103.1			29.2	123.3	43.9		46.2	272.6	84.6	71.8	34.3	97.4
35	256.0	92.2	73.6	94.0	235.2	37.3	39.5	64.7	141.7			28.4	145.6	37.3		53.8	275.3	87.9	73.6	34.1	104.1
36	267.8	94.2	76.4	93.7	250.1	36.5	40.4	72.8	179.2			27.6	173.8	35.5		60.3	279.6	90.6	75.5	34.5	111.1
37	274.7	96.5	82.0	94.1	266.0	37.5	41.4	77.6	214.4			29.7	204.2	36.3		62.9	288.8	91.9	79.4	33.9	118.3
38	282.9	98.7	86.4	94.9	280.7	38.7	42.9	89.4	247.0			31.6	234.2	38.4		65.1	297.6	93.9	84.4	34.8	126.0
39	286.1	100.8	88.5	95.2	303.9	39.4	44.2	97.9	277.4			32.8	263.3	38.2		66.9	305.9	95.8	97.9	35.2	133.5
40	287.3	102.7	90.1		327.1	40.1	45.7	98.4	305.1			33.6	292.7	38.7		68.7	316.0	97.5	102.4	34.4	142.5
41	284.0	104.2	91.2		349.1	41.0	47.1	98.4	334.8			34.3	322.5	39.4		76.0	328.4	99.3	103.0	34.4	149.2
42		120.0	97.8			142.1		101.5	208.4			58.2	179.3	125.6		115.8		132.4	113.0	34.8	119.1

備註:空白處表示資料有誤

(十) 試體標稱軸力計算

鋼降伏強度 $F_{ys}=2.5 \text{ tf/cm}^2$; 鋼彈性模數 $E_s=2100 \text{ tf/cm}^2$; 混凝土強度 $=519 \text{ kgf/cm}^2$, 配置#6 鋼筋 ($F_{yr}=5362 \text{ kgf/cm}^2$), 依據國內「鋼骨鋼筋混凝土構造設計規範與解說」, 估算填充型箱型鋼柱試體之設計軸壓強度。分別計算箱型鋼骨部分及混凝土部分抗設計軸壓強度, 再以強度疊加法求其總和, 其詳細計算過程如下。

1. 一般要求

(1) 柱斷面最小尺寸 (B) 之規定

$$B=400 \text{ cm} > 300 \text{ cm}$$

OK

(2) 柱短邊—長邊尺寸比值 (B/H) 之規定

$$B/H=400/400=1.0 > 0.4$$

OK

(3) 鋼骨斷面不得小於構材全斷面 2% 之規定

$$\frac{A_s}{BH} = \frac{(400 \times 400) - (382 \times 382)}{400 \times 400} = 8.8\% > 2\%$$

OK

(4) 斷面肢材寬厚比之規定

$$\frac{b}{t} = \frac{382}{9} = 42.4 \leq \lambda_{pd} = \sqrt{\frac{3E_s}{F_{ys}}} = \sqrt{\frac{3 \times 2100}{2.5}} = 50.2$$

OK

(5) 鋼骨部分之標稱受壓強度 (P_{ns})

$$\text{慣性矩 } I_s = \frac{1}{12} \times 40^3 \times 40 - \frac{1}{12} \times 38.2^3 \times 38.2 = 35884.885 \text{ cm}^4$$

$$\text{鋼柱斷面之有效迴轉半徑 } r_s = \sqrt{\frac{I_s}{A_s}} = \sqrt{\frac{35884.885}{140.76}} = 15.967 \text{ cm}$$

內灌混凝土箱型鋼柱構材中鋼骨斷面之有效迴轉半徑為

$$r_{\text{eff}} = r_s + \alpha \times \sqrt{\frac{I_g}{A_g}} = 15.967 + 0.1 \times \sqrt{\frac{40^4/12}{40^2}} = 17.122 \text{ cm}$$

(填充型鋼管混凝土柱 $\alpha=0.1$)

$$\lambda_c = \frac{KL}{\pi r_{\text{eff}}} \sqrt{\frac{F_{ys}}{E_s}} = \frac{1 \times 306}{\pi \times 17.122} \sqrt{\frac{2.5}{2100}} = 0.192 < 1.5$$

箱型鋼柱標稱受壓強度計算式

$$P_{ns} = (0.211\lambda_c^3 - 0.57\lambda_c^2 - 0.06\lambda_c + 1)F_{ys}A_s = 341 \text{ tf}$$

(6) 混凝土部分之標稱受壓強度 (P_{nrc})

$$P_{nrc} = \phi_e (0.85f'_c A_c + A_r F_{yr}) = 0.85 \times (0.85 \times 519 \times [38.2^2 - 4 \times 2.85] + 4 \times 2.85 \times 5362) / 1000 = 560 \text{ tf}$$

(因採方形箍筋，故 ϕ_e 值可以取為0.75)

(7) 填充型箱型鋼柱之標稱受壓強度 (P_n)

$$\phi_c P_n = \phi_{cs} P_{ns} + \phi_{crc} P_{nrc} = 0.85 \times 341 + 0.75 \times 560 = 710 \text{ tf}$$