

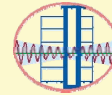
# 110年度內政部建築研究所 研究成果發表講習會



## 場次C1 建築防火科技

- 火害後建築物之結構耐震性能評估(2/3)-鋼筋混凝土造構架屋火害後之耐震性能研究-劉光晏
- 智慧型消防機器人核心功能增值模組與消防人員火場定位技術之先期研究-游坤明
- 建築結構高強度鋼板及螺栓於火害後殘餘機械性質之研究-陳誠直

主辦單位：內政部建築研究所  
中華民國111年5月



## 110年度研究成果發表講習會(線上發表)

### 火害後建築物之結構耐震性能評估(2/3) 鋼筋混凝土造構架屋火害後耐震性能研究

主持人：劉光晏 副教授 (成大土木系)  
共同主持人：黃世建 特聘教授 (台大土木系)  
洪崇展 特聘教授 (成大土木系)  
鍾興陽 副教授 (成大土木系)  
研究人員：施健泰 博士 (土木技師)

中 華 民 國 1 1 1 年 5 月

1

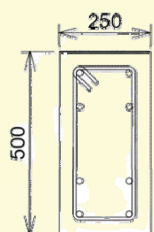
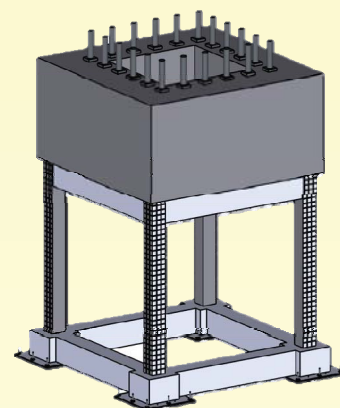
### 工作項目及具體成果

1. 完成1座單層單跨鋼筋混凝土(RC)造構架屋之大型火害實驗。
2. 完成2座單層單跨鋼筋混凝土(RC)造構架屋(一組受火害、一組未受火害)的大型振動台實驗。
3. 完成受火害與未受火害單層單跨鋼筋混凝土(RC)造構架屋大型振動台實驗結果之數值模擬驗證與精進。
4. 完成受火害與未受火害單層單跨鋼構造構架屋受地震之數值模型。
5. 製作2座單層單跨鋼構造構架屋。
6. 研擬鋼筋混凝土造火害後耐震能力評估流程。

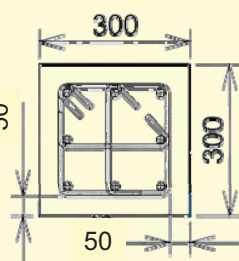
2

## 一、鋼筋混凝土造構架屋實驗規劃

- 結構系統：單層單跨RC建築
- 混凝土強度：280 kgf/cm<sup>2</sup>
- 柱斷面：30×30 cm，淨高300 cm
- 梁斷面：25×50 cm，淨跨度300 cm
- 總重：87 tf
- 柱軸力比：0.1



混凝土梁：  
主筋(SD420W)：8-D19  
箍筋(SD280W)：D10@10

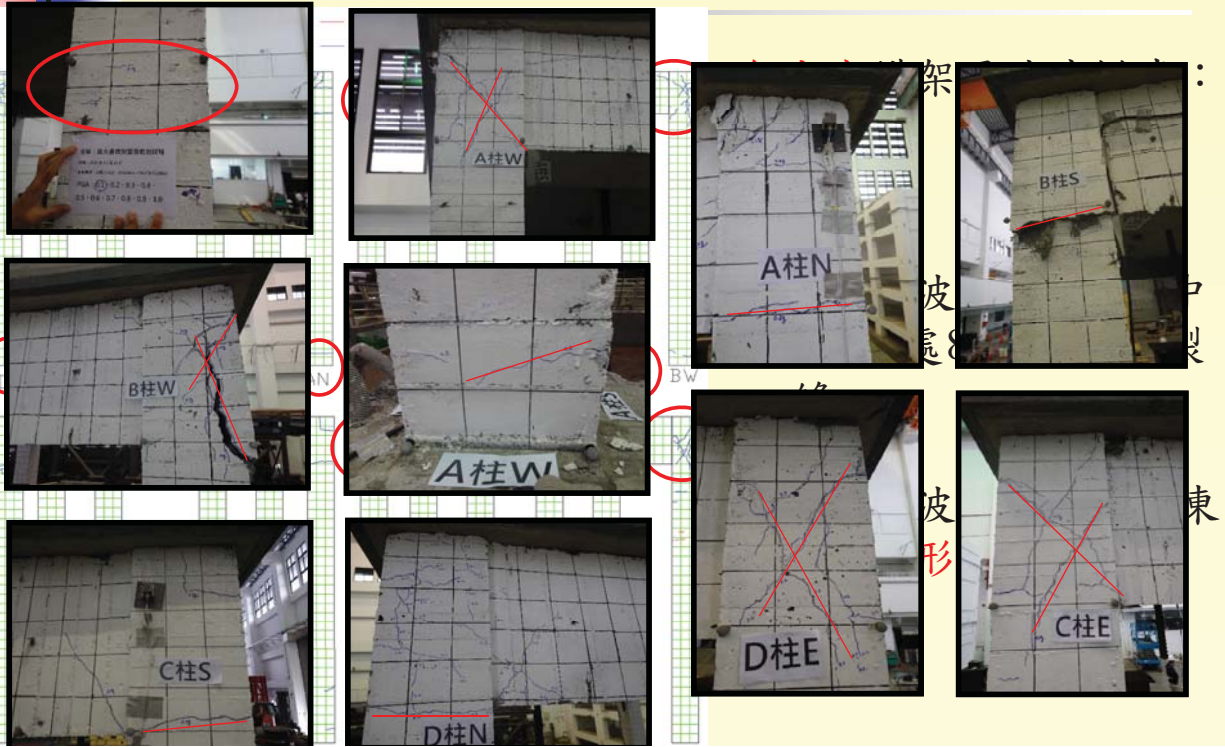


混凝土柱：  
主筋(SD420W)：8-D25  
箍筋(SD280W)：D13@ 7.5  
繫筋(SD280W)：D13@ 7.5

3

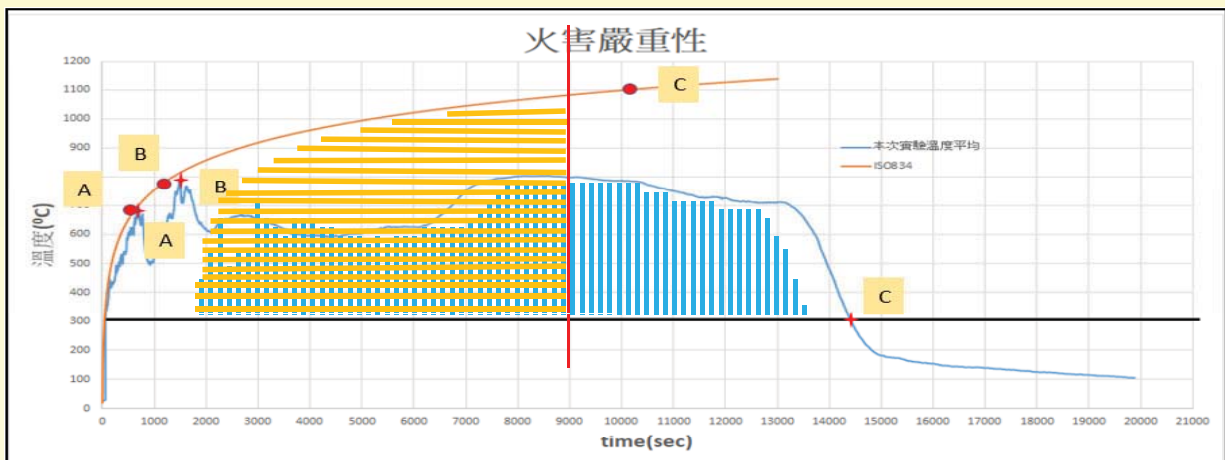


# 鋼筋混凝土造構架屋實驗結果與探討



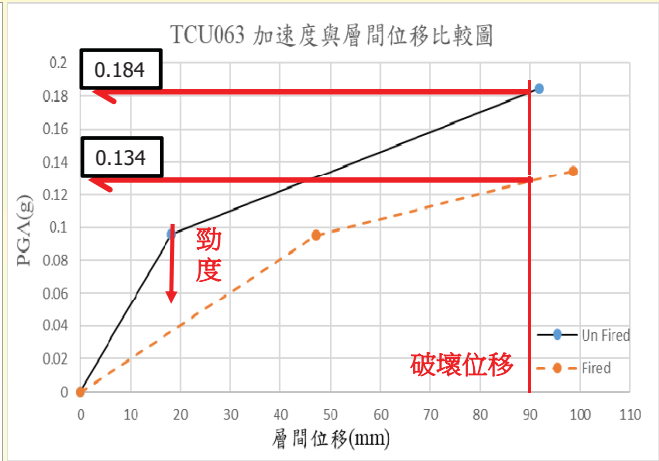
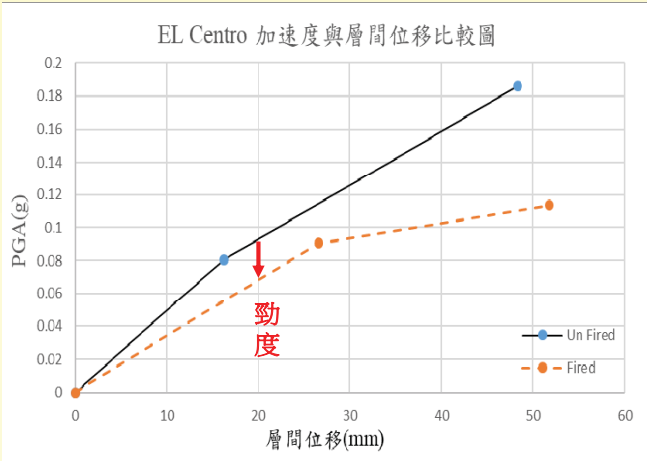
# 鋼筋混凝土造構架屋實驗結果與探討

Ingberg(1928)提出的溫度等校面積法比對ISO 834標準升溫曲線



時間點	編號	平均空氣溫度曲線	ISO834 標準升溫曲線
升溫速率減緩	A	697秒, 696.66°C	630秒, 685.65°C
最高溫出現	B	1504秒, 793.68°C	1290秒, 792.126°C
降至300°C	C	14414秒, 300.05°C	10060秒, 1099.112°C

# 振動台實驗結果探討



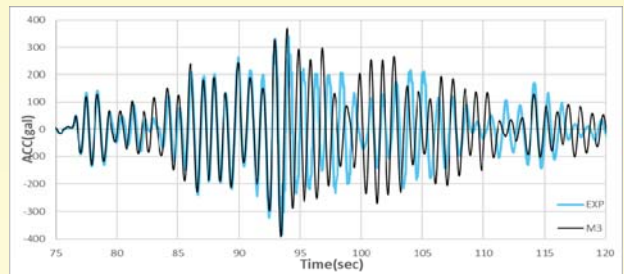
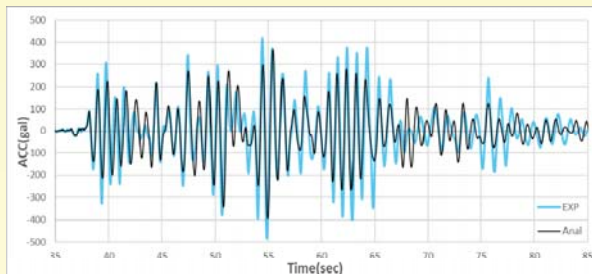
初始勁度明顯下降  
耐震能力從**0.184g**降至**0.134g**，降低**27.1%**

# 無火害組、有火害組分析與實驗比較

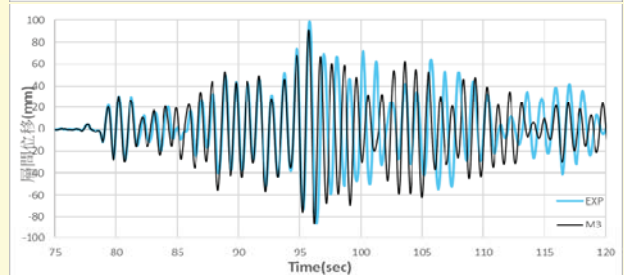
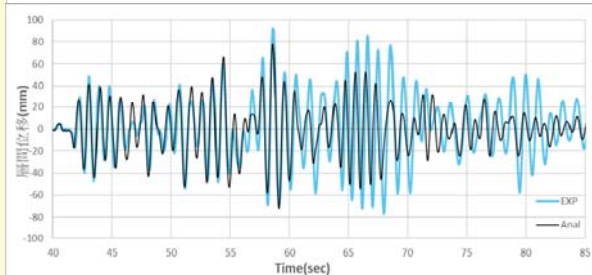
0.2g TCU063

0.125g TCU063

加速度

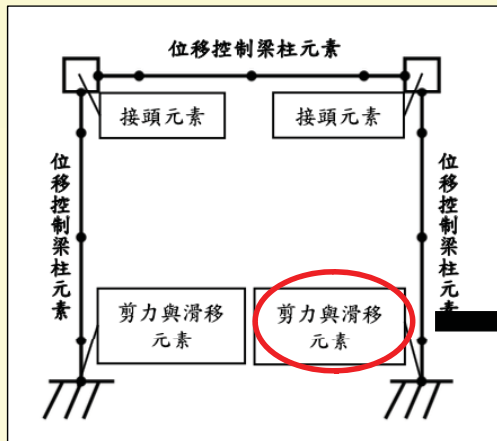


層間位移

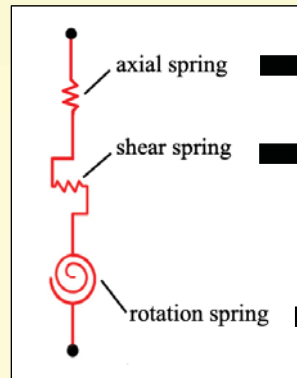


## 二、OpenSees 數值模擬RC構架屋實驗

### ■ 構件元素：



### 零長度元素



軸向彈簧

側向彈簧：  
剪力非線性行為

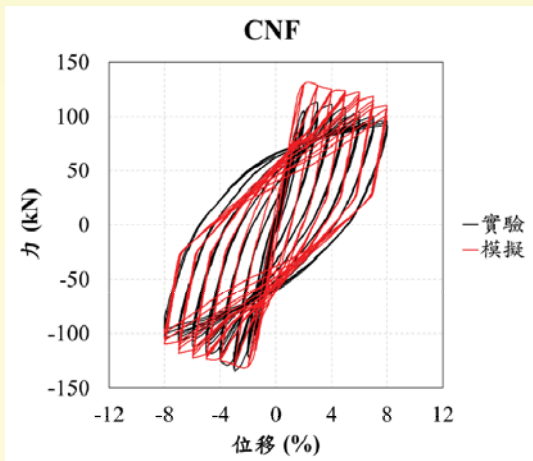
旋轉彈簧：  
鋼筋滑移

數值模型構架屋構件元素分佈

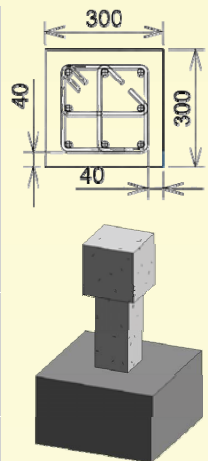
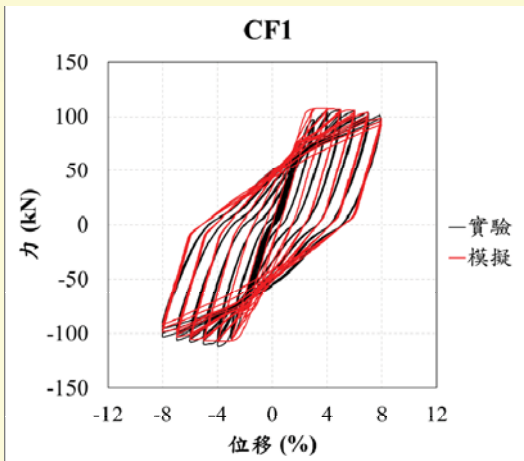
## RC構架屋火害後數值模型建立

### ■ 柱構件火害後模擬結果驗證：全斷面折減法

無火害柱構件

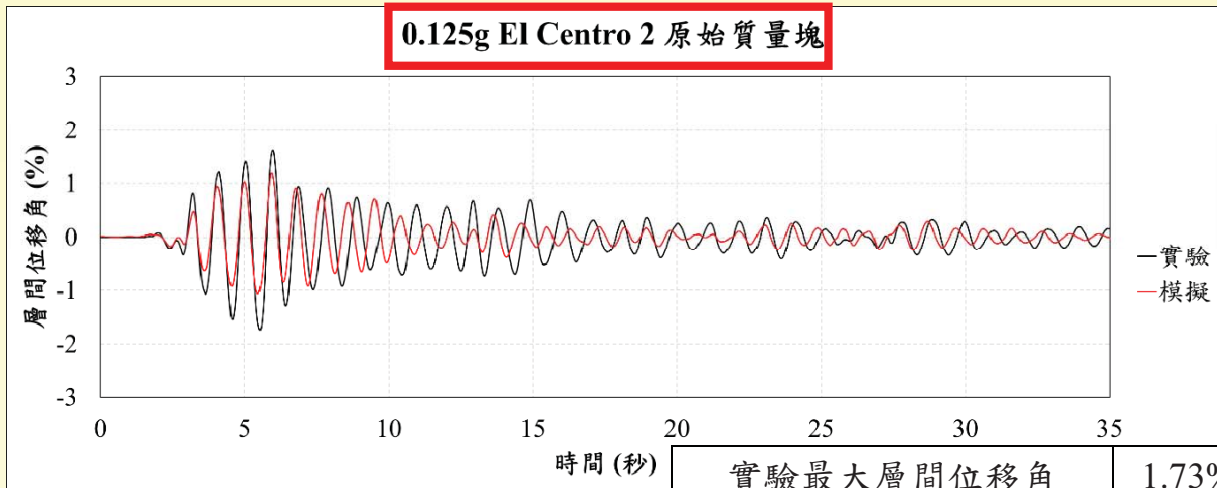


二小時火害柱構件



## RC構架屋火害後數值模擬與分析

- 具原始質量塊之火害後構架之數值模擬結果：

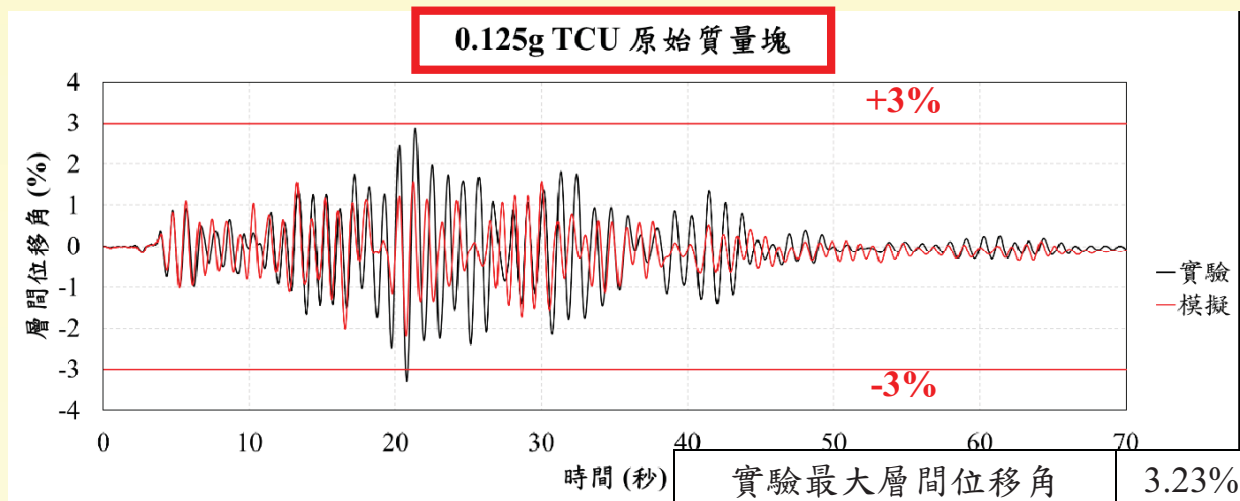


實驗最大層間位移角	1.73%
數值模擬最大層間位移角	1.19%

11

## RC構架屋火害後數值模擬與分析

- 具原始質量塊之火害後構架之數值模擬結果：

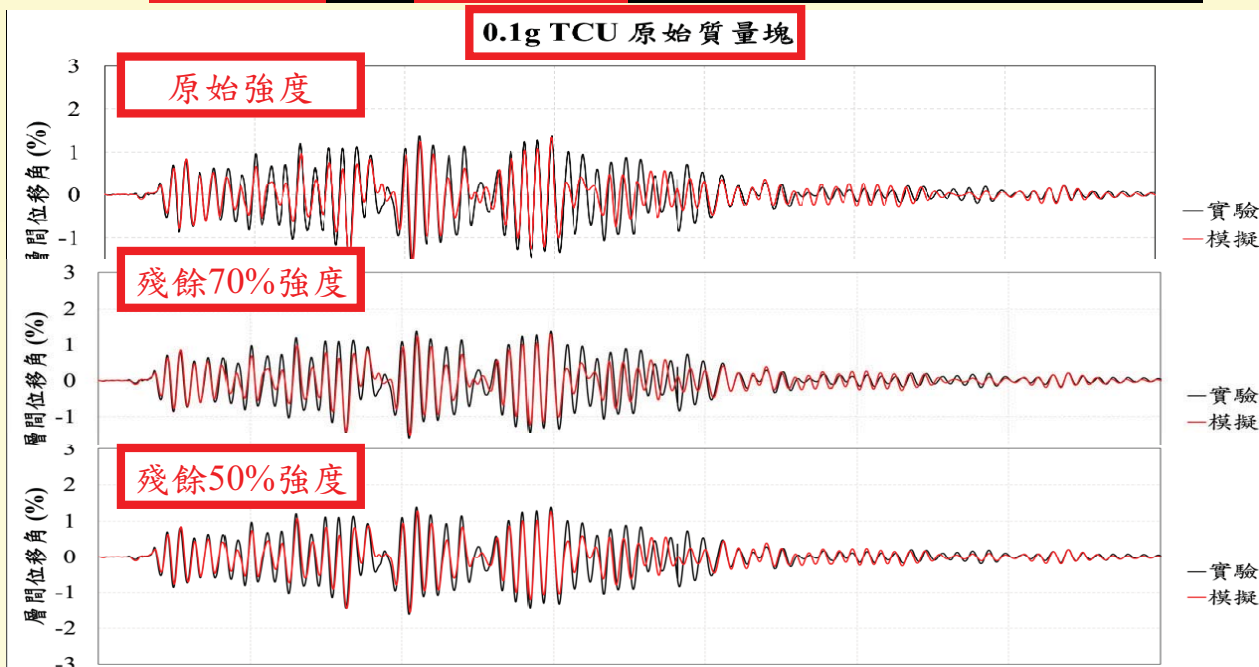


實驗最大層間位移角	3.23%
數值模擬最大層間位移角	2.04%

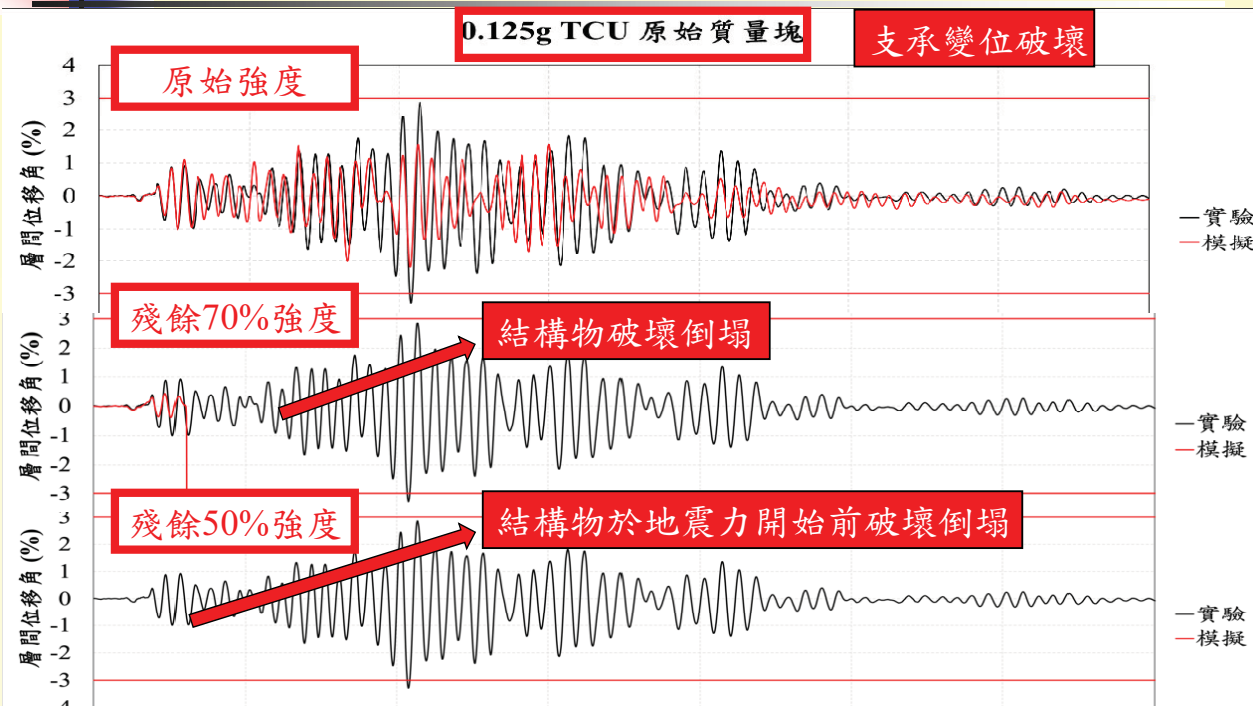
12

## RC構架屋火害後數值模擬與分析

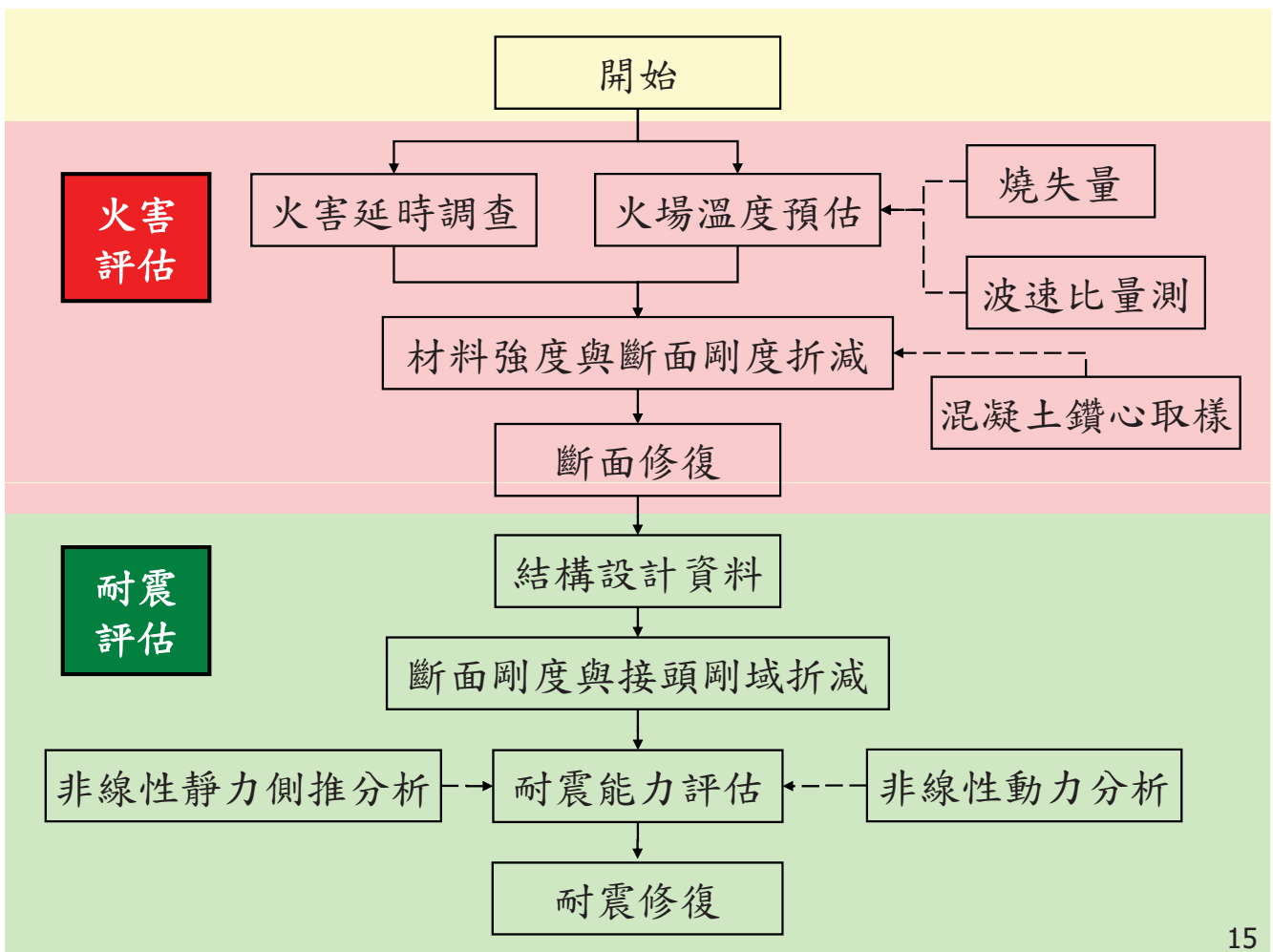
接頭強度折減70%&50%之火害後構架之數值模擬結果：



## RC構架屋火害後數值模擬與分析



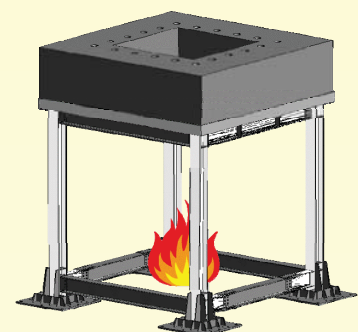
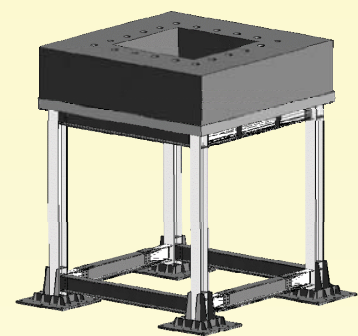




15

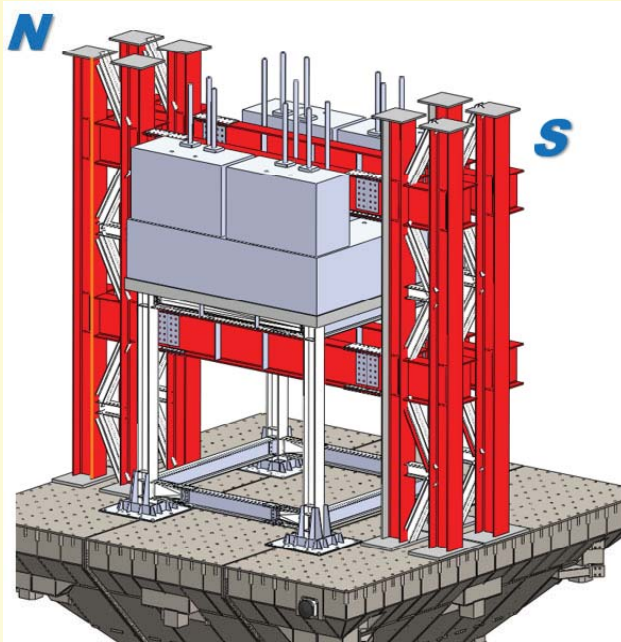
### 三、鋼造構架實驗屋之設計與製作

- 結構系統：單層×單跨鋼構造建築
- 樓層高度：3.5 m (地梁至樓板)
- X、Y向跨度：3.5 m
- 柱底墩座高度：0.5 m (底板至地梁)
- 構件型式：BH柱 & RH大梁、小梁
- 總重：11(自重) + 33(加載) = 44 tonf
- 鋼柱軸力比：4.14%



16

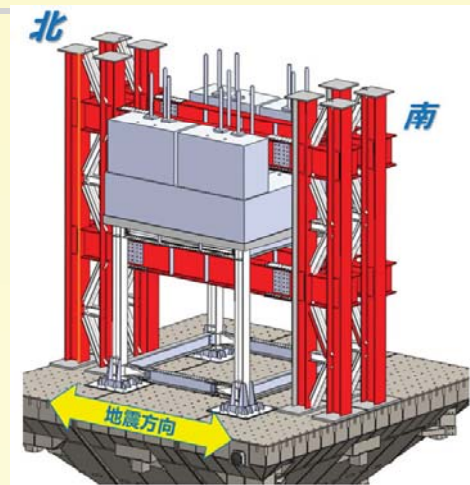
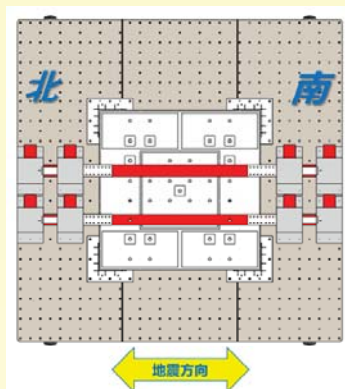
## 國震中心振動台之實驗規劃



- 架設紅色防護架，避免梁柱構件破壞造成倒塌
- 鋼構實驗屋頂放置一塊重33公噸之混凝土載重塊
- 鋼構實驗屋的振動方向為南北向，即造成H型鋼柱強軸彎曲之方向

17

## 鋼構實驗屋歷時分析選用之地震波



- 初步規劃白噪訊號0.03g作系統識別
- 地震波則可選用El Centro南北向地表加速度紀錄或選用集集地震TCU084測站南北向地表加速度紀錄。
- 地表最大加速度從0.1g開始逐漸增加至試體破壞，破壞準則為梁柱接頭到達層間位移角4%或 $0.8M_p$ 之彎矩強度規定

18

## 實尺寸鋼構實驗屋的興建過程



19

## 結論與建議

- RC構架屋之振動台實驗結果顯示，相較於無火害RC構架屋，有火害RC構架屋受近斷層地震作用時，側向勁度折減64%、層間位移放大2.6倍、耐震能力下降27%。
- RC構架屋之梁柱接頭剪力破壞可印證，土木401-110規範草案對於梁柱接頭剪力容量之係數由3.2修正為2.1為合理作法。假設梁柱接頭未發生剪力破壞，依系統識別之參數進行側推分析模擬，火害後構架屋之耐震能力降低28%。
- 根據受火害RC構架屋實驗與分析比較結果，以等效ISO 834火害延時搭配Eurocode2之500度等溫線法，選擇截角斷面可獲得火害後柱斷面之等效混凝土抗壓強度與慣性矩折減係數(0.25)。

20

## 結論與建議

- 本研究驗證使用有限元素分析軟體OpenSees建立之RC構架屋數值模型於模擬火害前後試體受地震力行為之正確性與可行性，並能用於日後模擬RC結構物受火害後之使用性與安全性之評估與預測。
- 本研究依照我國鋼結構耐震設計規範，完成實尺寸鋼構屋結構之分析與設計，並興建2座單層單跨之實尺寸鋼構實驗屋，未來可用來模擬實際三層樓鋼構建築火害前後受震之振動台實驗。
- 鋼構屋之側推分析結果顯示，火害後鋼構屋之最大側推(剪力)強度下降約24%、彈性段之側向勁度下降約8%。另動力分析結果發現，火害後鋼構屋有延長周期、增加層間位移及頂層加速度趨勢。

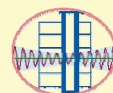
21



內政部建築研究所  
Architecture and Building Research Institute, Ministry of the Interior



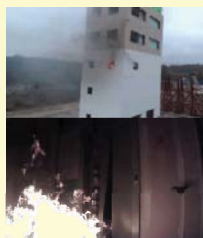
國立成功大學



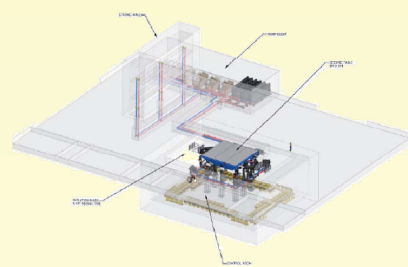
NAR Labs 國家實驗研究院  
國家地震工程研究中心

Structural and Nonstructural Building System Performance During Earthquake and Post-Earthquake Fire

Fire Test Program - Full Report



# 報告完畢 敬請指教




Department of Fire Protection Engineering  
National Chengchi University  
www.nccu.edu.tw/~fireprotection





22


# 建研所110年計畫案

## 智慧型消防機器人核心功能增值模組與 消防人員火場定位技術之先期研究 研究成果發表講習會

 委託單位：內政部建築研究所

 執行單位：中華大學學校財團法人中華大學

 計畫主持人：游坤明 特聘教授兼任副校長、研發長

 協同主持人：陳昀暄 助理教授兼AI+體驗中心執行長

### 網 要

一. 研究背景

二. 先前技術與文獻分析

三. 相關技術探討與成果

四. 驗證場域規劃

五. 結論

# 一. 研究背景

## ■ 研究緣起



### 通訊技術發展

- 無線通訊技術發展進步
- 資料交換整合應用



### 環境探知應用

- 室內環境資訊分析
- 室內火災感知



### 智慧機器人應用

- 智慧服務
- 消防輔助

## ■ 問題發現



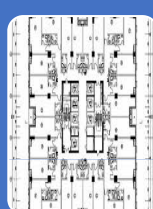
### 消防機器人種類繁多且複雜

- 消防應用機器人種類多
- 分類不足容易造成資源過剩或欠缺



### 火災環境資訊無法即時共享

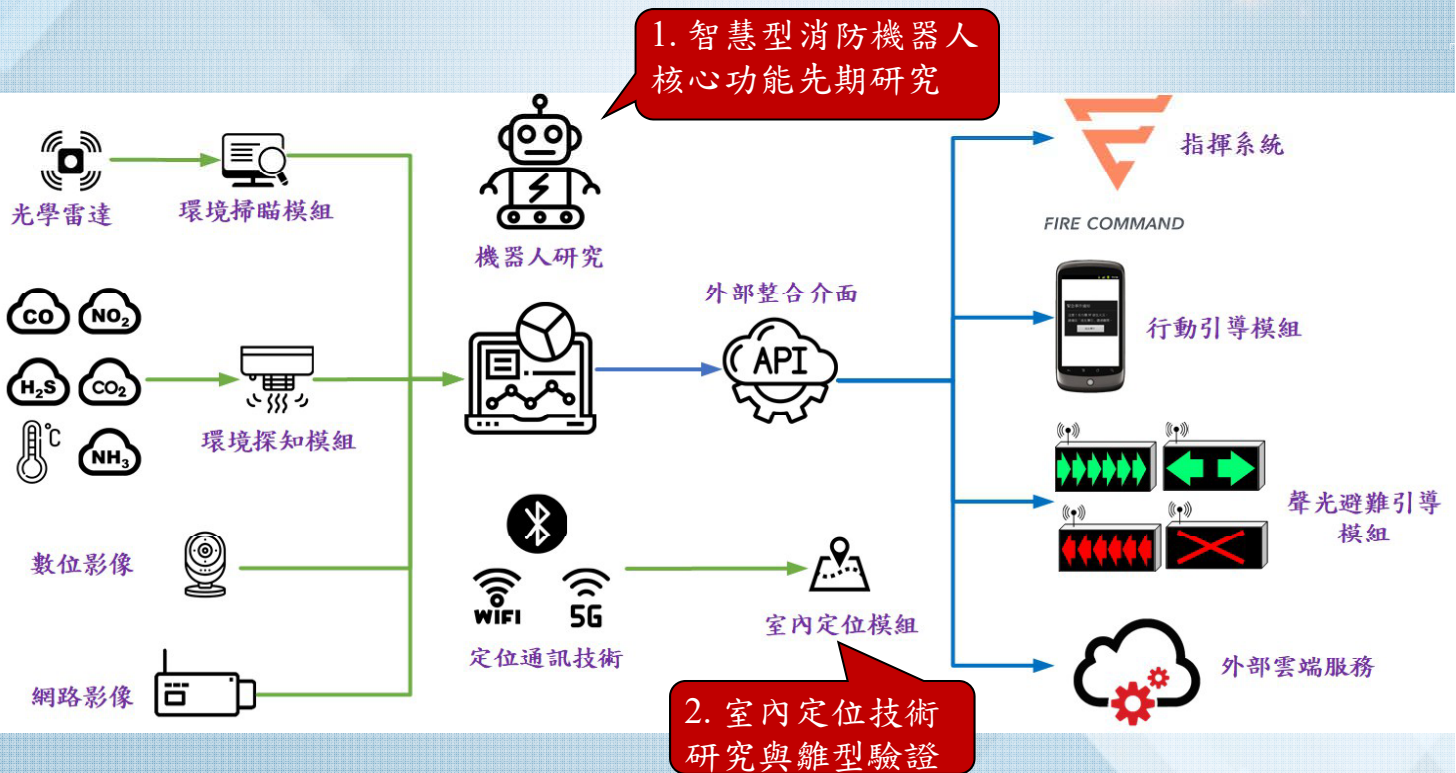
- 火場環境無參考依據
- 火災現場資訊不足，消防人員易陷入危險



### 惡劣環境易迷失方向

- 火災室內環境惡劣、且規劃各異
- 火場環境無法精準定位

# 一. 研究背景- 研究架構與目標 (1/2)



# 一. 研究背景- 研究架構與目標(2/2)

## 1. 智慧型消防機器人核心功能之先期研究

- 探討智慧型消防機器人在消防救災各階段所需具備的核心功能，包含：偵蒐階段、滅火階段及救援階段所需之各項資訊與需求



## 2. 室內定位技術研究

- 提出一個複合型人員定位架構，並實際建構定位系統雛型



5

## 二. 先前技術與文獻分析

### - 消防救災實務之 **火災救援主要三階段**

階段	特徵
<b>極早期偵蒐階段</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 因耐火建築物氣密良好，若門窗等開口緊密，故室內雖有發焰著火，氧氣將銳減。</li> <li>2. 火焰短時間熄滅，而形成煙燻悶燒狀態。</li> <li>3. 多量的煙，充滿室內。玻璃、開口部因高溫破裂，形成空氣流通，因裂孔不大，火勢不熾烈。</li> <li>4. 室內充滿可燃性氣體，消防隊若貿然打開開口部，因多量空氣湧入火舌迅速從開口噴出，造成危險，此現象稱為複燃。</li> </ol>
<b>燃燒初期與旺盛時期階段</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 本階段因空氣形成通路，燃燒轉為激烈，室內溫度急遽上升。</li> <li>2. 室內起火點附近可燃物開始燃燒，並移向天花板。</li> <li>3. 熱經由火源使四周可燃物溫度提升至燃點，而造成閃燃。</li> </ol>
<b>災後探勘救援階段</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 可燃物燃燒殆盡，火勢逐漸轉弱。</li> <li>2. 室內已可一覽無遺。</li> <li>3. 此時開口部尚有火焰噴出，但顏色已淡，煙亦淡薄。</li> <li>4. 此時室溫仍高，但不久即呈垂直下降，可燃物已成餘燼。</li> </ol>

6

## 二. 先前技術與文獻分析

### - 消防救災實務之 火場救災人員之安全管理

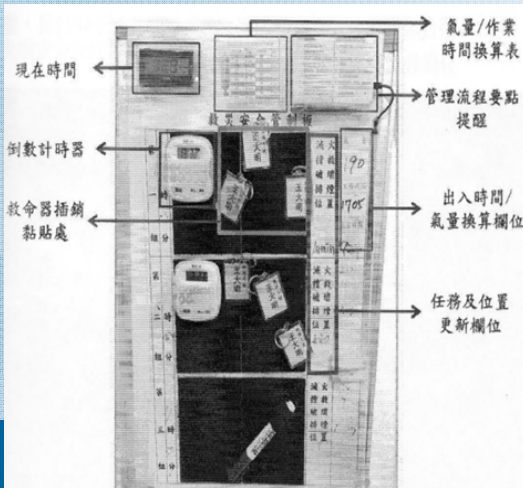
#### 1. 個人救命器



#### 3. 紅外線熱顯像儀



#### 2. 火場安全管制板與個人安全名牌



#### 4. 無線電對講機



## 二. 先前技術與文獻分析

### - 室內定位技術現況

	定位精準度(m)	覆蓋範圍	保密性	穿透性	抗干擾	維護成本	建設成本	功耗
RFID	10-100	小	高	差	好	低	中	低
紅外線	10-100	小	差	差	好	低	中	中
藍芽 Beacon	1-5	大	一般	好	差	高	低	低
ZigBee	3-10	大	一般	好	差	低	低	中
Wi-Fi	3-15	大	差	差	差	高	低	高
UWB	0.1-0.5	小	高	差	好	高	高	高
BLE AoA	0.3-1.0	大	高	好	中	低	中	低

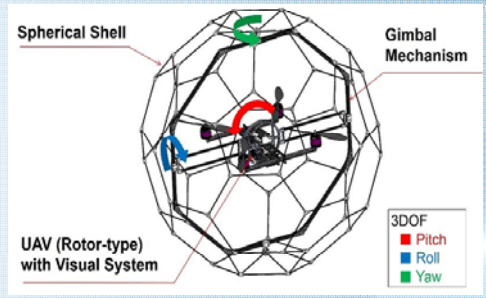
	RFID	ZigBee	Wi-Fi	mmWave相控陣列	藍芽5.1	UWB
定位精準度	區域判斷	5~10m	3~10m	0.01~1m	0.1m* 0.5~5m**	0.01m* 0.1~1m**
工作距離	5m	100m	200m	1~10m	<10m	>100m
應用場景	區域判斷	低精準度	低精準度	高精準度/低密度	中高精準度	高精準度/高密度/高頻度
價格	低	低	中	很高	低	高一低

備註：\* 理論精準度  
\*\* 工程精準度



# 三.相關技術探討與成果

## - 消防機器人-極早期偵蒐時期



基本資訊	名稱/國家	蛇型機器人	日本,東北大學
適用場域		■ 室內	■ 室外
適用建築物類型		■ 木造建築物 □ 高層建築物 □ 地下建築物 □ 廠房建築	■ 公路隧道 □ 鐵皮屋 ■ 半開放空間 ■ 混凝土
外部功能	隔熱機身	N/A	
	自動避障	蛇形身體可越過障礙物(透控)	
	履帶	N/A	
	懸浮	向下噴射空氣,抬高至30公分,越過高低差異之視野不佳處	
模組功能	溫度/氣體感測	□ 溫度	□ 氣體
	火點感知	N/A	
	滅火功能	N/A	
	影像偵測	攝影機(傳輸線連接)	
	聲波探測	N/A	
	資料傳輸方式	N/A	
	接收端裝置	N/A	
	高危險物質探測	N/A	

基本資訊	名稱/國家	Quince 機器人	日本
適用場域		■ 室內	■ 室外
適用建築物類型		■ 木造建築物 □ 高層建築物 □ 地下建築物 ■ 廠房建築	□ 公路隧道 □ 鐵皮屋 ■ 半開放空間 ■ 混凝土
外部功能	隔熱機身	N/A	
	自動避障	遙控	
	履帶	觸覺感知	
	懸浮	N/A	
模組功能	溫度/氣體感測	□ 溫度	□ 氣體
	火點感知	N/A	
	滅火功能	N/A	
	影像偵測	攝影機(無線傳輸)	
	聲波探測	N/A	
	資料傳輸方式	N/A	
	接收端裝置	搖桿操控	
	高危險物質探測	N/A	

基本資訊	名稱/國家	飛行機器人	日本,東北大學
適用場域		■ 室內	■ 室外
適用建築物類型		□ 木造建築物 ■ 高層建築物 □ 地下建築物 ■ 廠房建築	□ 公路隧道 □ 鐵皮屋 ■ 半開放空間 ■ 混凝土
外部功能	隔熱機身	N/A	
	自動避障	遙控	
	履帶	N/A	
	懸浮	飛行(9.9公尺/秒)	
模組功能	溫度/氣體感測	□ 溫度	□ 氣體
	火點感知	N/A	
	滅火功能	N/A	
	影像偵測	攝影機(無線傳輸)	
	聲波探測	N/A	
	資料傳輸方式	N/A	
	接收端裝置	搖桿操控	
	高危險物質探測	N/A	

# 三.相關技術探討與成果

## - 消防機器人-燃燒初期與旺盛時期階段機器人

### ■ 燃燒初期與旺盛時期階段機器人



基本資訊	名稱/國家	RXR-MC80JD 機器人	中國,中信重工
適用場域		■ 室內	■ 室外
適用建築物類型		□ 木造建築物 □ 高層建築物 □ 地下建築物 ■ 廠房建築	□ 公路隧道 □ 鐵皮屋 ■ 半開放空間 ■ 混凝土
外部功能	隔熱機身	防火、防爆、防水	
	自動避障	遙控	
	履帶	■	
	懸浮	N/A	
模組功能	溫度/氣體感測	■ 溫度	■ 氣體
	火點感知	N/A	
	滅火功能	水、泡沫(每秒80公升)	
	影像偵測	攝影機(3台)	
	聲波探測	N/A	
	資料傳輸方式	無線傳輸	
	接收端裝置	搖桿操控(1公里外)	
	高危險物質探測	N/A	



基本資訊	名稱/國家	XFMH-1001 機器人	中國,中信重工
適用場域		□ 室內	■ 室外
適用建築物類型		□ 木造建築物 ■ 高層建築物 □ 地下建築物 □ 廠房建築	□ 公路隧道 □ 鐵皮屋 ■ 半開放空間 □ 混凝土
外部功能	隔熱機身	N/A	
	自動避障	遙控	
	履帶	N/A	
	懸浮	飛行(10公尺/秒)	
模組功能	溫度/氣體感測	□ 溫度	□ 氣體
	火點感知	N/A	
	滅火功能	4枝滅火彈、可搭載破玻器	
	影像偵測	攝影機(無線傳輸)	
	聲波探測	N/A	
	資料傳輸方式	N/A	
	接收端裝置	搖桿操控(20公里)	
	高危險物質探測	N/A	

### ■ 災後探勘救援階段機器人



基本資訊	名稱/國家	口尔キユ一 (RoboCue)	日本,東京消防廳
適用場域		■ 室內	■ 室外
適用建築物類型		■ 木造建築物 □ 高層建築物 □ 地下建築物 ■ 廠房建築	□ 公路隧道 □ 鐵皮屋 ■ 半開放空間 ■ 混凝土
外部功能	隔熱機身	N/A	
	自動避障	遙控(障礙物清除可達50公斤)	
	履帶	4公里/小時	
	懸浮	N/A	
模組功能	溫度/氣體感測	■ 溫度	■ 氣體
	火點感知	N/A	
	滅火功能	N/A	
	影像偵測	攝影機6台(無線傳輸)	
	聲波探測	N/A	
	資料傳輸方式	N/A	
	接收端裝置	搖桿操控(50公尺)、麥克風	
	高危險物質探測	N/A	



基本資訊	名稱/國家	泰坦 (TITAN)	台灣
適用場域		■ 室內	■ 室外
適用建築物類型		■ 木造建築物 □ 高層建築物 □ 地下建築物 ■ 廠房建築	□ 公路隧道 □ 鐵皮屋 ■ 半開放空間 ■ 混凝土
外部功能	隔熱機身	N/A	
	自動避障	自動跟隨、RPLIDAR 360° 雷射掃描、壓條開關	
	履帶	2公里/小時	
	懸浮	N/A	
模組功能	溫度/氣體感測	□ 溫度	□ 氣體
	火點感知	N/A	
	滅火功能	N/A	
	影像偵測	攝影機(無線傳輸)	
	聲波探測	N/A	
	資料傳輸方式	N/A	
	接收端裝置	N/A	
	高危險物質探測	N/A	

# 三.相關技術探討與成果

## - 智慧型消防機器人核心功能模組

		階段一	階段二	階段三
		極早期偵蒐	燃燒初期與旺盛時期	災後探勘救援
外部功能	隔熱機身	●	●	●
	自動避障	●	●	●
	履帶	●	●	●
	懸浮	●	●	●
模組功能	溫度感測	●	●	●
	氣體感測	●	●	●
	火點感知	●	●	
	滅火功能		●	
	影像偵測	●	●	●
	聲波探測			●
	資料傳輸方式	廣播、wifi		
	接收端裝置	智慧型手機、遙控器、無線遠端電腦操控		
	高危險物質探測	●	●	

# 三.相關技術探討與成果

## - 台灣室內定位應用

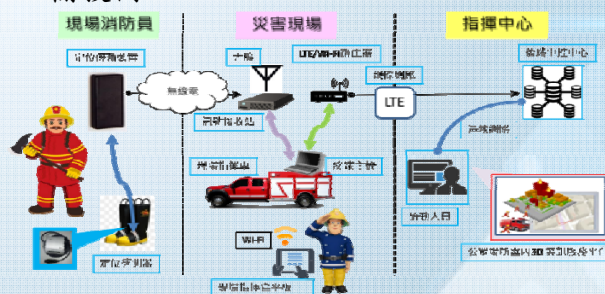
### ● 九軸人員定位追蹤系統

- 研發單位：台灣智頻科技股份有限公司
- 與火場距離約200公尺處架設基地台方式接收火場資訊
- 信號範圍可達建築物40樓至地下三樓
- 可追蹤定位10~30位消防人員
- 若發現消防人員靜止時間過久，立即發送緊急訊息之警報

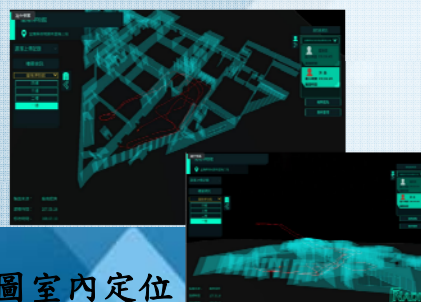


### ● 智慧三維消防實境管制系統

- 研發單位：宜眾資訊公司
- 三維(3D)建築建模
- 個人定位與透視3D模型疊合
- 衛星影像
- 台灣智頻公司研發之Super TaiRa無線電傳輸技術



定位軌跡追蹤設備架構



# 三.相關技術探討與成果

## - 室內定位技術現況

	定位精準度(m)	覆蓋範圍	保密性	穿透性	抗干擾	維護成本	建設成本	功耗
RFID	10-100	小	高	差	好	低	中	低
紅外線	10-100	小	差	差	好	低	中	中
藍芽 Beacon	1-5	大	一般	好	差	高	低	低
ZigBee	3-10	大	一般	好	差	低	低	中
Wi-Fi	3-15	大	差	差	差	高	低	中
UWB	0.1-0.5	小	高	差	好	高	高	高
BLE AoA	0.3-1.0	大	高	好	中	低	中	低

	RFID	ZigBee	Wi-Fi	mmWave相控陣列	藍芽5.1	UWB
定位精準度	區域判斷	5~10m	3~10m	0.01~1m	0.1m* 0.5~5m**	0.01m* 0.1~1m**
工作距離	5m	100m	200m	1~10m	<10m	>100m
應用場景	區域判斷	低精準度	低精準度	高精準度/低密度	中高精準度	高精準度/高密度/高頻度
價格	低	低	中	很高	低	高一低

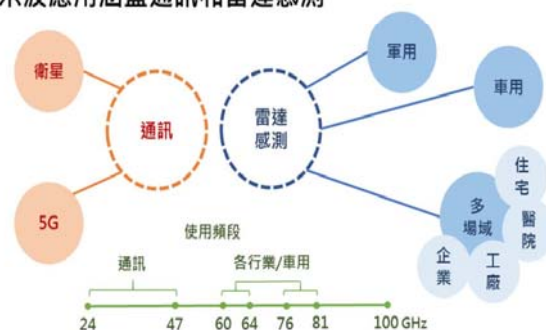
備註：\* 理論精準度  
\*\* 工程精準度

# 三.相關技術探討與成果

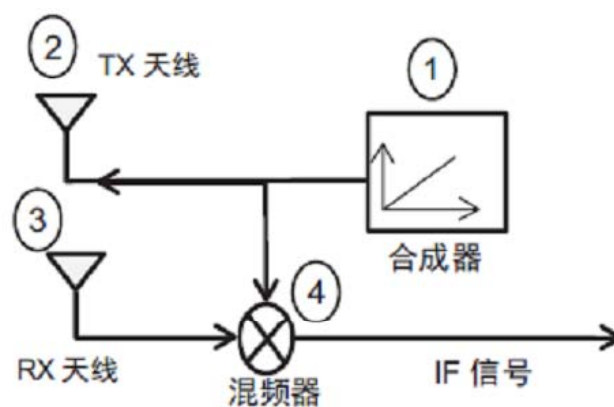
## - 室內定位毫米波雷達

- 毫米波(millimeter Wave ; mmWave)
  - 波長介於1毫米至1公分、頻率介於24GHz至300GHz間的電磁波。
  - 位於微波與遠紅外波相交疊的波長範圍，所以毫米波兼有這兩種波譜的優點，同時也有自己獨特的性質。
- 毫米波應用：
  - 起源於軍事，用於偵測敵軍。
  - 因精確度高，亦被自駕車採用。
- 調頻連續波雷達(FMCW)架構<sup>[1]</sup>
  - 合成器：產生雷達 FMCW 調頻信號來源。
  - TX天線：雷達射頻發射端天線
  - RX天線：捕捉反射電磁波的接收天線。
  - 混頻器：將發射的信號與接收到的信號，進行混頻合併，產生中頻(IF)信號。
- 運用FMCW雷達於室內定位<sup>[2]</sup>
  - FMCW雷達最高耐溫約100度
  - 室內定位中誤差約25公分

毫米波應用涵蓋通訊和雷達感測



註：歐洲電信標準協會(ETSI)和美國聯邦通信委員會(FCC)自2018年9月開始禁止新品使用24GHz，且規定採用24GHz的產品應於2022年前淘汰，使原採用此頻段的感測設備紛紛退出，往更高頻邁進。  
資料來源：DIGITIMES Research - 2020/12

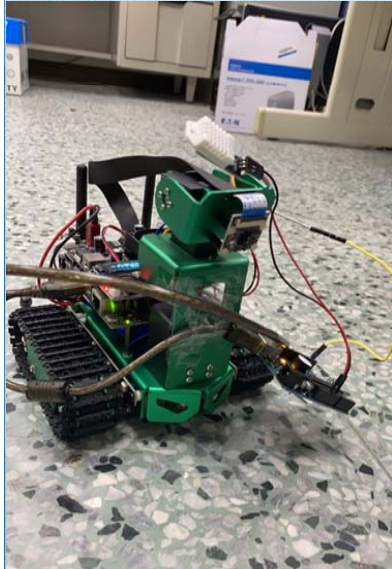


資料來源：[1] <https://www.wpgdatatong.com/cn/blog/detail?BID=B0200>  
[2] <https://www.grb.gov.tw/search/planDetail?id=11263578>

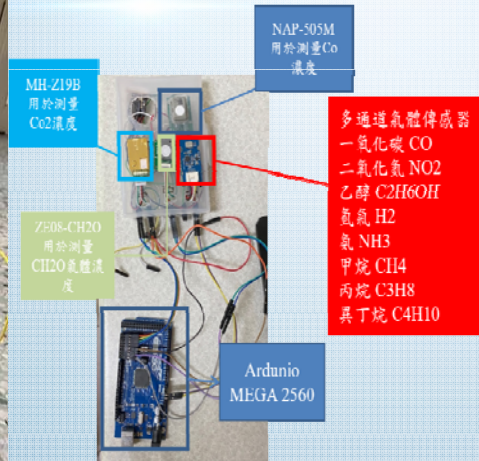
## 四. 驗證場域規劃

### -智慧雛型機器人 Jetbot - 溫度、溼度、氣體感測器

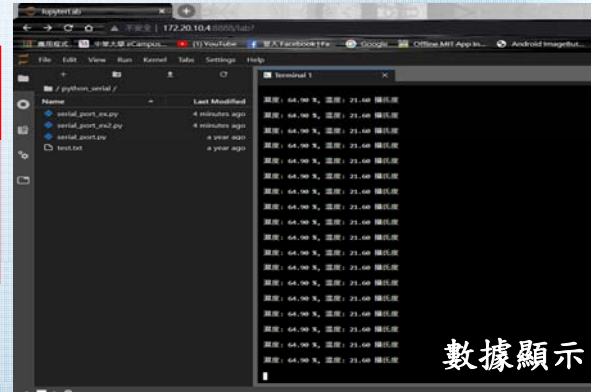
1. 使用Nvidia 所開發之Jetson Nano開發版為主要開發環境，
2. 相同網域下，可透過手機APP與履帶式雛型機器人進行連線及操控
3. 本研究透過Arduino連接感測器並安裝於機器人
4. 可使用PC遠端連接機器人後，接收感測器數據



溫溼度感測器  
安裝於機器人



各類氣體感測器  
安裝於機器人開發板

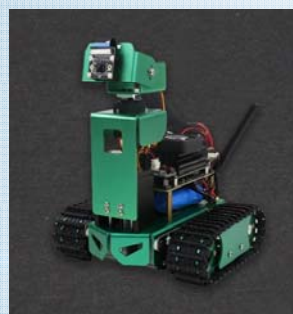


## 四. 驗證場域規劃

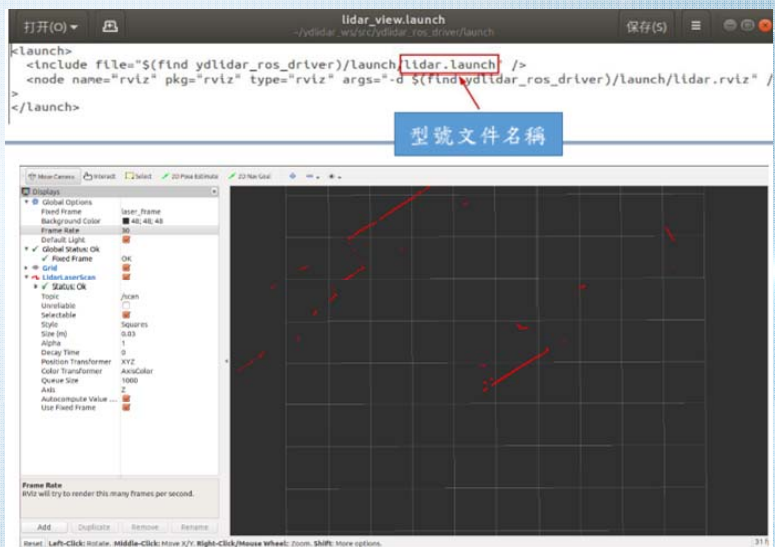
### -智慧雛型機器人 Jetbot - LiDAR感測器



LiDAR感測器



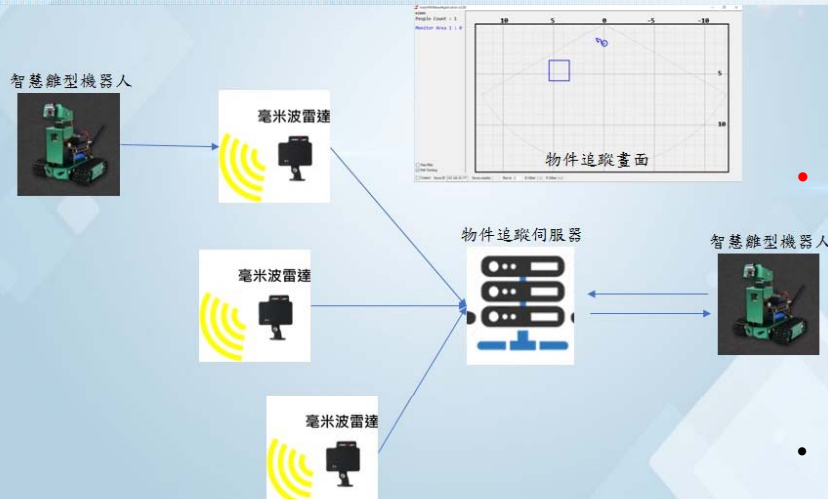
USB轉接板



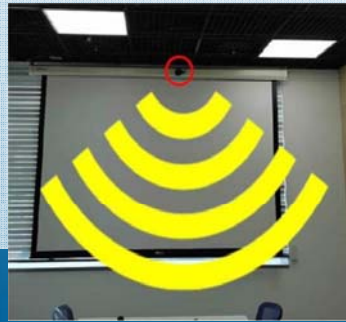
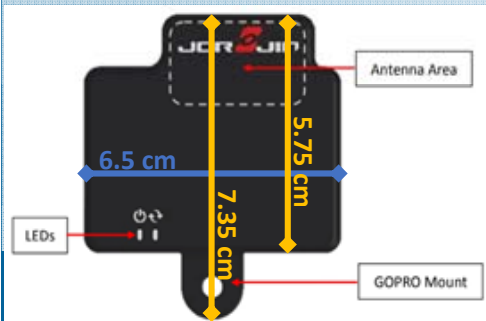
LiDAR點雲資料顯示畫面

- 透過將LiDAR感測器連接USB轉接板後可安裝於機器人
- 使用PC遠端連接機器人後，使用設備軟體，可360°掃描場地資訊

## 四. 驗證場域規劃 -室內定位毫米波技術驗證



- 架設3台MT5A61E01K毫米波雷達
  - 76-81GHz
  - 5V Power
  - 耐高溫能達85°C-100°C左右
  - 偵測範圍為廣角120°、仰俯角±30
- **物件追蹤畫面**
  - 藍點為毫米波雷達偵測到物體時呈現的點
  - 藍點會隨實際物體的移動做相對位置的移動並呈現移動軌跡
  - 同時偵測到3個移動的物體時，會呈現3個不同顏色的點及移動軌跡
- 可設置**觸發區**，如藍色方框所示
  - 當物體移動到藍色方框時，此方框會變為粗線條的方框



17

## 五. 結論

### 結論一：本研究提出智慧型消防機器人各階段核心功能模組

- 極早期偵蒐機器人著重在起火點的偵測與即時滅火及通知功能
- 燃燒初期與旺盛時期階段機器人，需強化滅火及防爆、防水、防火等機器硬體方面的功能
- 災後探勘救援階段機器人則需要較多感測器來收集各種資料，防範閃焰、閃燃及爆燃等現象或是能夠識別傷員及避障等功能

### 結論二：本研究以毫米波雷達進行室內定位系統之研究

- 由本研究之實驗結果得知，毫米波雷達需要透過線纜連接及需要建築平面圖，並且需要架置於一定高度方可偵測的到移動的物體，且能承受溫度尚需加強

### 結論三：智慧型離型機器人建置及驗證

- 針對火場可能發生之閃燃、爆燃或是危害氣體進行資料收集，可使用 Arduino UNO、Arduino Mega 2560開發板，搭配溫溼度感測器及各種氣體感測器，安裝於智慧型離型機器人上，再透過遠端使用Jupyter進行偵測數值接收，即可完成離型之建置

18

# 論文發表

論文發表:本研究成果已發表(接受)於國際(內)會議

## AOSFST 2021

- Yen-Chiu Chen, Kun-Ming Yu, Huan-Po Hsu, You-Xiang Xu, Shang-Wei Tong, Wen Ouyang, Ming-Yuan Lei and Nancy Tsai, "Hdf-RTFD: Heterogeneous-data-fusion based Real Time Fire Detection System in AIoT Environments," The 12th Asia-Oceania Symposium on Fire Science and Technology (AOSFST 2021), Brisbane, Australia, December 07-09, 2021.
- Wen Ouyang, Chung-Hsing Liu, Kun-Ming Yu, Yen-Chiu Chen, Ming-Yuan Lei and Nancy Tsai, "Intelligent Detection and Prediction of Indoor Fires Based on Gamma Distribution Models for Long-Term Care Facilities," The 12th Asia-Oceania Symposium on Fire Science and Technology (AOSFST 2021), Brisbane, Australia, December 07-09, 2021.

## 2022人工智慧技術及應用研討會

- 陳昫暄、游坤明、吳明倫、邱文豐、雷明遠、蔡綽芳, “智慧型消防機器人之現況與核心功能模組,” 2022人工智慧技術及應用研討會(Artificial Intelligence Technology and Application, AITA2022), May 20, 2022. (已接受)

## 2022第二十屆離島資訊技術與應用研討會

- 陳昫暄、吳明倫、游坤明、邱文豐、雷明遠、蔡綽芳, “基於深度學習之火場火焰燃燒成長期辨識系統,” 第二十屆離島資訊技術與應用研討會 (2022 Conference on Information Technology and Applications in Outlying Islands, ITAOI 2022), May 27-29, 2022. (已接受)

# 建築結構高強度鋼板及螺栓 於火害後殘餘機械性質之研究

內政部建築研究所  
110年度研究成果發表講習會

主持人：陳誠直 教授

協同主持人：林克強 研究員

研究助理：黃薪曄、趙俊宇

國立陽明交通大學土木工程學系

## 研究目的與研究內容

### • 研究目的

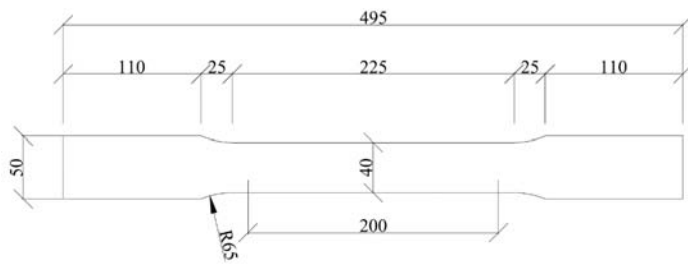
- 建立火害後高強度鋼板及螺栓於不同溫度與冷卻方式下之殘餘機械性質

### • 研究內容

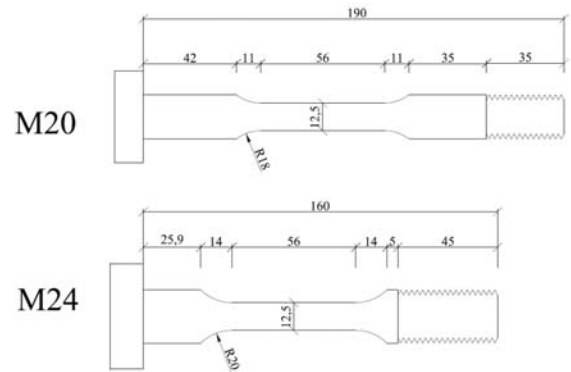
- 進行試件於不同溫度的高溫試驗，進而以水冷與氣冷不同方式的降溫。
- 進行火害後高強度鋼板的拉伸試驗、衝擊試驗、硬度試驗與金相實驗。
- 進行火害後高強度螺栓的拉伸試驗。
- 建立火害後高強度鋼材與螺栓之殘餘機械性質折減係數。

## 試驗研究

- 高強度鋼板採用SM570MB、MC、M-CHW鋼板
- 高強度螺栓選用國內工程常用M20與M24之F10T螺栓。
- 受火溫度為常溫、200°C至1000°C



鋼板



螺栓

## 高強度鋼板拉伸試驗

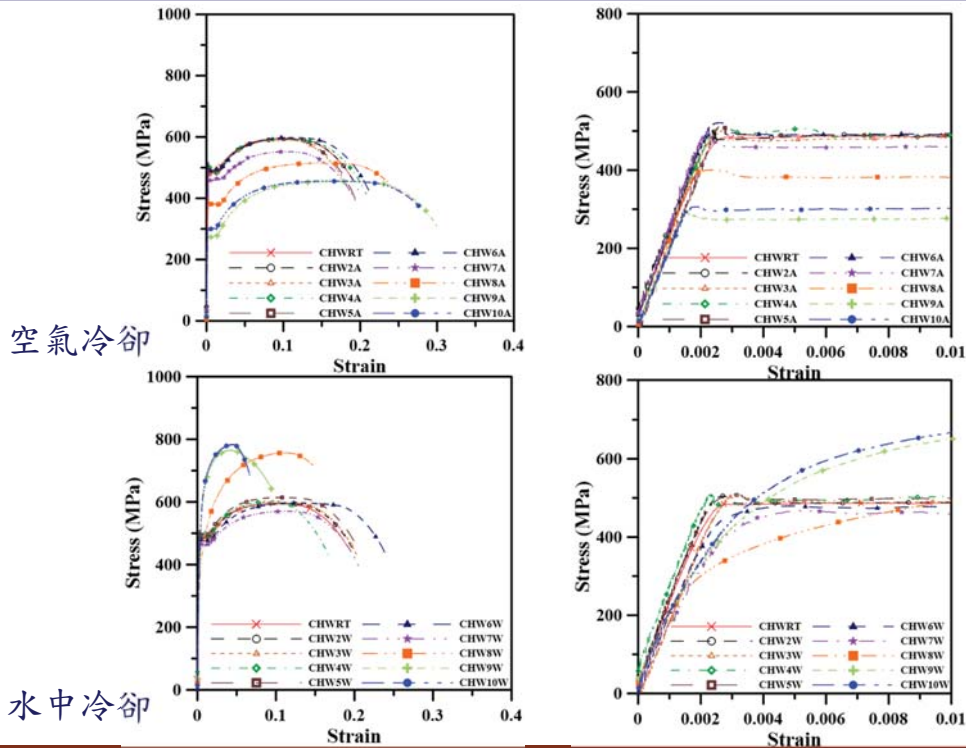
### 應力應變曲線

- 三種鋼板之應力應變曲線當受火溫度低於600°C時，不論何種冷卻方式皆對其應力應變曲線之影響不顯著。
- 當受火溫度為700°C時，不論以何種冷卻方式，其降伏強度及抗拉強度皆略低於常溫試體，導致其應力應變曲線產生些許差異。
- 受火溫度高於800°C且以空氣冷卻之試體，因其降伏強度及抗拉強度皆明顯降低且伸長率較高，導致其應力應變曲線有別於常溫試體之應力應變曲線。
- 受火溫度高於800°C且置於水中冷卻之試體，因其抗拉強度較高及無明顯降伏平台，故其應力應變曲線有別於常溫試體之應力應變曲線。



# 高強度鋼板拉伸試驗

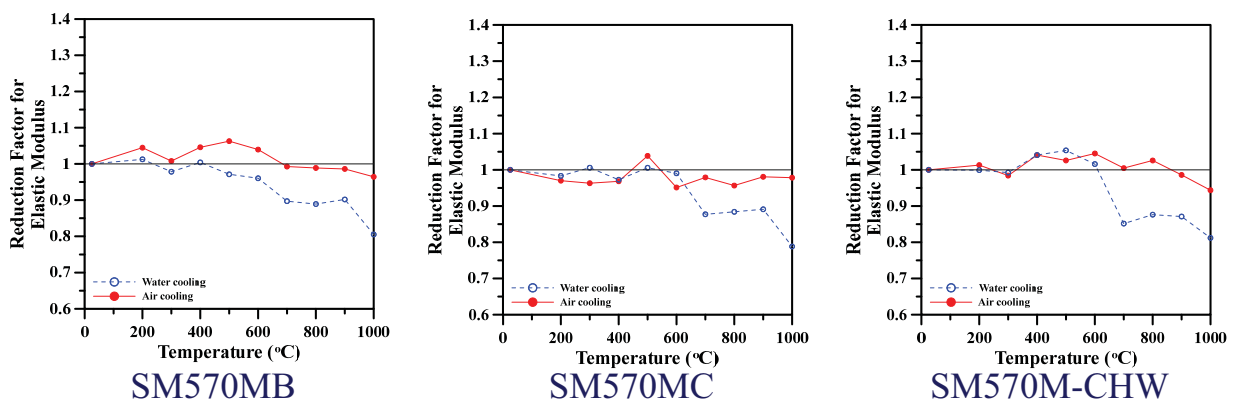
## SM570M-CHW應力應變曲線



# 高強度鋼板拉伸試驗

## 彈性模數

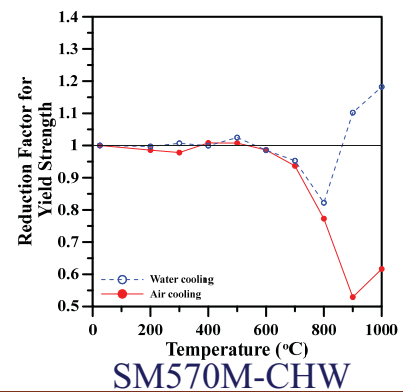
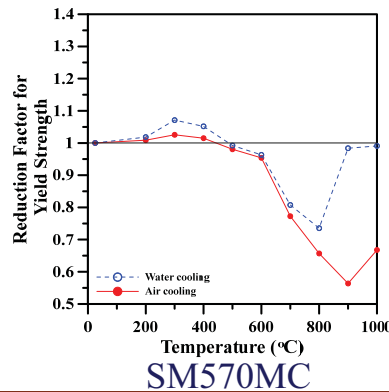
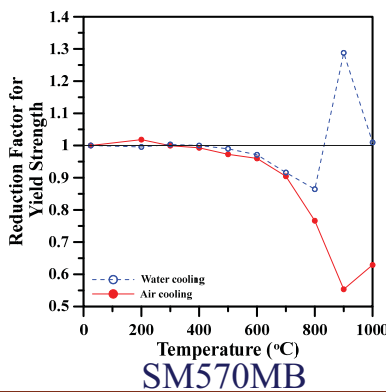
- 三種鋼板以空氣冷卻之試體，不論受火溫度為多少，其彈性模數相較於常溫試體皆無顯著變化。
- 水中冷卻之試體，於受火溫度為600°C前，其彈性模數相較於常溫試體無明顯改變。於受火溫度為700°C後，其彈性模數明顯低於常溫試體之彈性模數。



# 高強度鋼板拉伸試驗

## 降伏強度

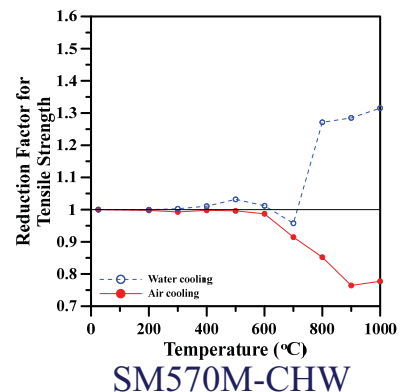
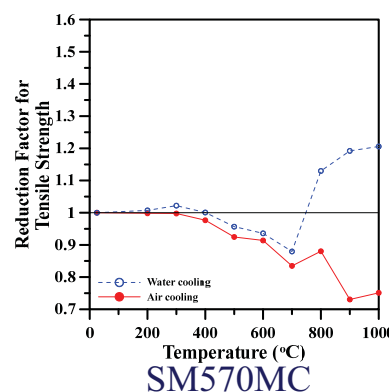
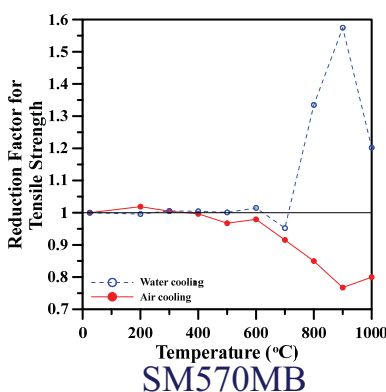
- 若三種鋼板於受火溫度 $600^{\circ}\text{C}$ 前，其降伏強度不因受火溫度或冷卻方式影響。受火溫度為 $700^{\circ}\text{C}$ 及 $800^{\circ}\text{C}$ 時，鋼板之降伏強度皆明顯降低。
- 當受火溫度為 $900^{\circ}\text{C}$ 以上時，鋼材種類、受火溫度及冷卻方式對鋼板之降伏強度皆有顯著影響。



# 高強度鋼板拉伸試驗

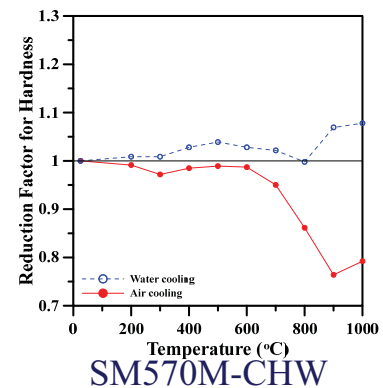
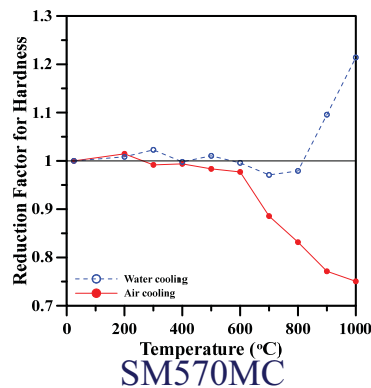
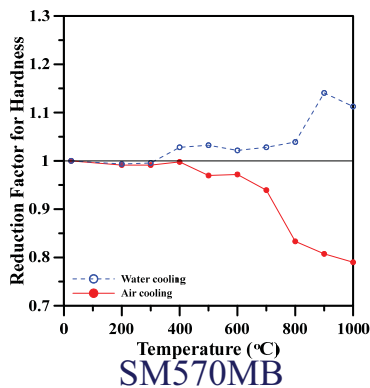
## 抗拉強度

- 三種鋼板於受火溫度為 $600^{\circ}\text{C}$ 前，抗拉強度受火溫度及冷卻方式影響不顯著於受火溫度為 $700^{\circ}\text{C}$ 時，不論何種冷卻方式之試體抗拉強度皆略微降低。
- 受火溫度為 $800^{\circ}\text{C}$ 以上時，空氣冷卻試體之抗拉強度皆顯著下降；置於水中冷卻試體之抗拉強度則明顯上升。



# 高強度鋼板里氏硬度試驗

- 三種鋼板以空氣冷卻之試體於受火溫度為 $600^{\circ}\text{C}$ 前，其硬度將不隨受火溫度影響。
- 受火溫度於 $700^{\circ}\text{C}$ 以上時，硬度明顯降低。
- 置於水中冷卻之試體於受火溫度為 $800^{\circ}\text{C}$ 前，其里氏硬度較無大幅度之變化。
- 受火溫度於 $900^{\circ}\text{C}$ 至 $1000^{\circ}\text{C}$ 時，其硬度皆有明顯提升。



# 高強度鋼板試驗結果討論

## 殘餘機械性質之關聯性

- 三種鋼板以空氣冷卻試體各溫度下里氏硬度及抗拉強度兩者之折減係數幾乎一致。
- 可使用受到空氣冷卻之SM570M系列高強度鋼板各溫度下里氏硬度之折減係數來評估其抗拉強度之折減係數。
- 三種鋼板以空氣冷卻試體各溫度下里氏硬度及降伏強度兩者之折減係數雖相差較大，但變化趨勢相近。
- 受到空氣冷卻SM570M系列高強度鋼板之里氏硬度可用於推測其降伏強度之變化趨勢。

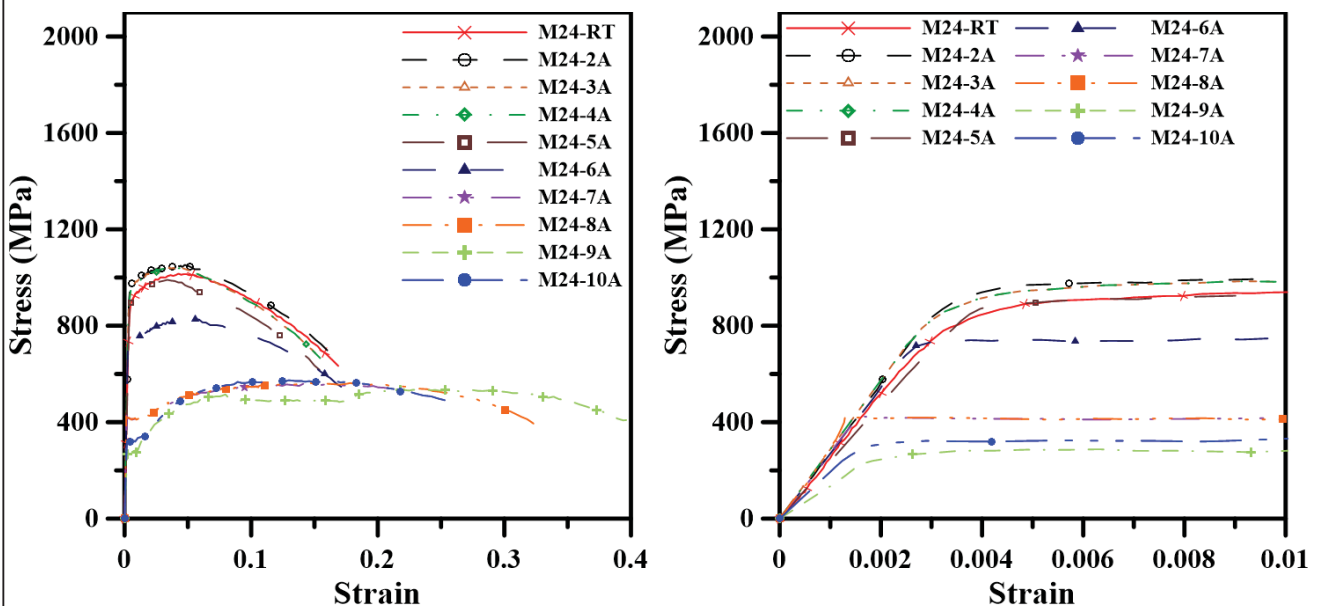
# 高強度螺栓拉伸試驗

## 應力應變曲線

- 兩種螺栓之應力應變曲線當受火溫度低於 $400^{\circ}\text{C}$ 時，不論何種冷卻方式皆對其應力應變曲線之影響不顯著，與常溫試體之應力應變曲線相似。
- 當受火溫度為 $400^{\circ}\text{C}$ 至 $700^{\circ}\text{C}$ 間，不論以何種冷卻方式，應力應變曲線形狀相似於常溫試體，惟降伏強度及抗拉強度皆低於常溫試體。
- 以空氣冷卻之試體在受火溫度高於 $700^{\circ}\text{C}$ 時，應力應變曲線形狀相似於常溫試體，惟降伏強度及抗拉強度皆低於常溫試體。
- 以水中冷卻試體，當受火溫度高於 $800^{\circ}\text{C}$ 時，應力應變曲線無明顯降伏平台，降伏強度與抗拉強度大幅上升。

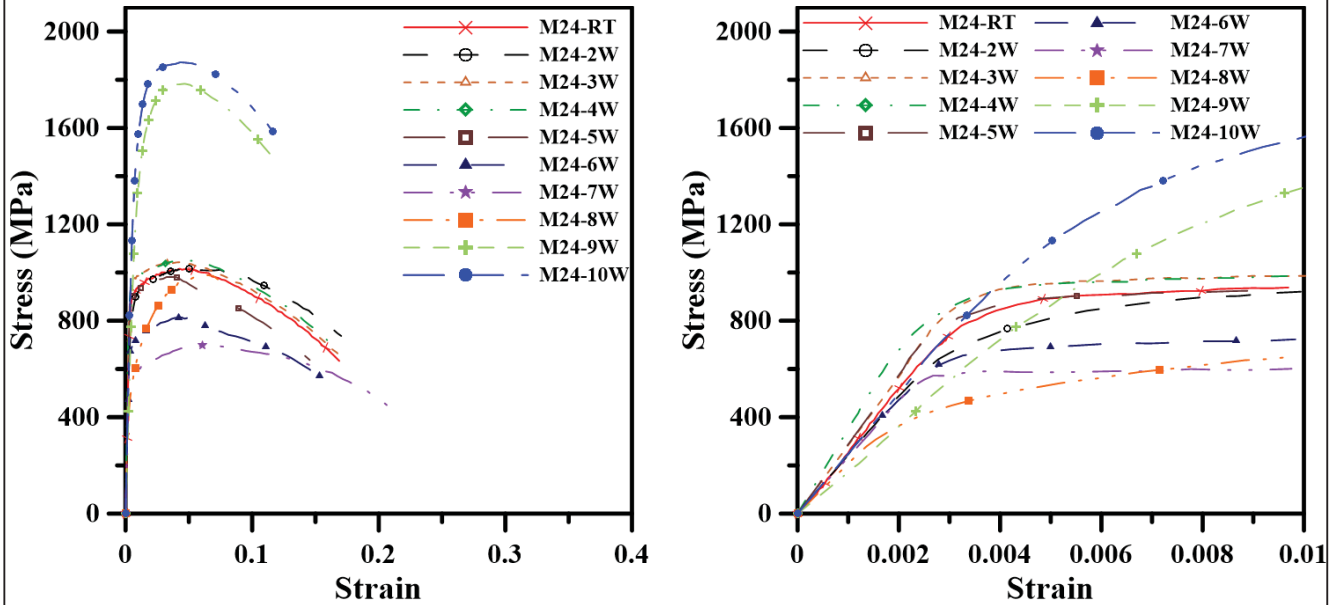
# 高強度螺栓拉伸試驗

## M24空氣冷卻系列應力應變曲線



# 高強度螺栓拉伸試驗

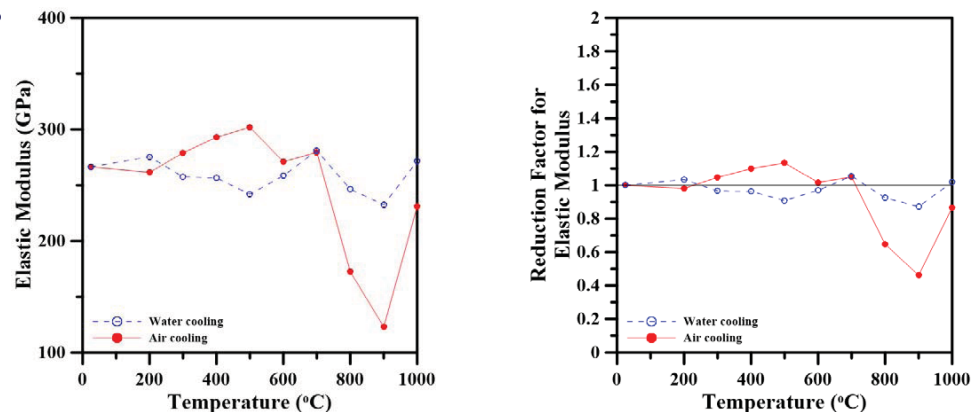
## M24系列水中冷卻系列應力應變曲線



# 高強度螺栓拉伸試驗

## 彈性模數

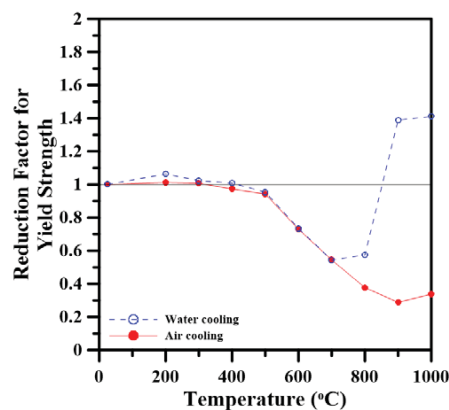
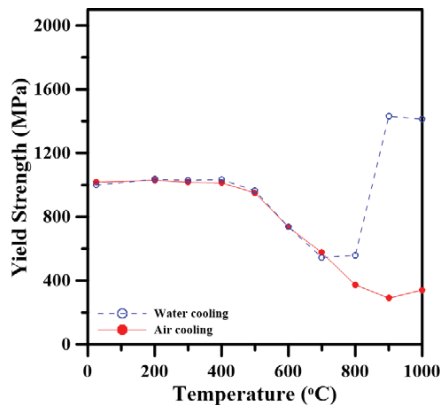
- 以水中冷卻試體之彈性模數並不隨受火溫度變化而出現明顯變化趨勢。以空氣冷卻試體之彈性模數於受火溫度700°C前並受其溫度影響不顯著。在受火溫度700°C至900°C間，試體之彈性模數相較於常溫試體大幅下降，在受火溫度1000°C時，試體之彈性模數回復至略低於常溫試體。



# 高強度螺栓拉伸試驗

## 降伏強度

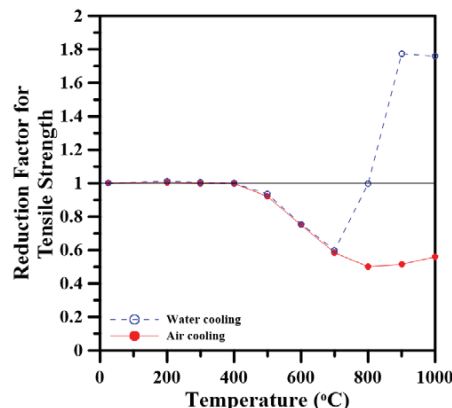
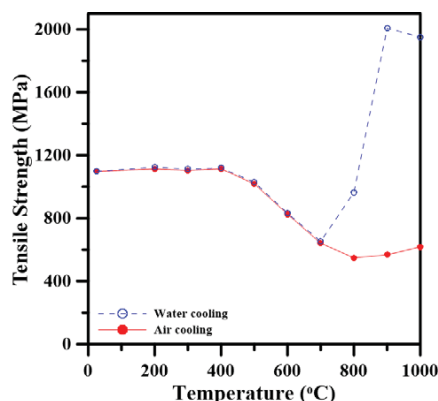
- 在受火溫度 $500^{\circ}\text{C}$ 前，降伏強度之變化並不顯著。
- 在受火溫度為 $500^{\circ}\text{C}$ 與 $800^{\circ}\text{C}$ 間，無論試體於空氣冷卻或置於水中冷卻，其降伏強度皆明顯低於常溫試體。
- 在受火溫度 $800^{\circ}\text{C}$ 後，以空氣冷卻之試體降伏強度持續下降；置於水中冷卻之試體降伏強度大幅上升。



# 高強度螺栓拉伸試驗

## 抗拉強度

- 試體在受火溫度 $400^{\circ}\text{C}$ 前，抗拉強度則變化小。在受火溫度為 $400^{\circ}\text{C}$ 與 $700^{\circ}\text{C}$ 間，不論以何種冷卻方式，其抗拉強度皆明顯低於常溫試體。在受火溫度 $700^{\circ}\text{C}$ 後，以空氣冷卻試體之抗拉強度明顯低於常溫試體。置於水中冷卻試體之抗拉強度大幅上升。



## 結論

- SM570M系列高強度鋼板之應力應變曲線、彈性模數、降伏強度、抗拉強度及里氏硬度等殘餘機械性質於受火溫度為 $600^{\circ}\text{C}$ 前受冷卻方式及受火溫度影響甚微。
- 以空氣冷卻之SM570M系列高強度鋼板於受火溫度 $700^{\circ}\text{C}$ 以上時，降伏強度、抗拉強度及里氏硬度等殘餘機械性質皆顯著下降，彈性模數則受溫度影響甚微。
- 以水中冷卻之SM570M系列高強度鋼板彈性模數於受火溫度為 $700^{\circ}\text{C}$ 以上時將隨受火溫度提高而衰減。降伏強度於受火溫度為 $700^{\circ}\text{C}$ 及 $800^{\circ}\text{C}$ 時皆下降。
- SM570M系列高強度鋼板火害後受空氣冷卻之里氏硬度與抗拉強度變化趨勢幾乎一致，里氏硬度可用以評估火害後受空氣冷卻SM570M系列鋼板之抗拉強度。

## 結論

- F10T系列高強度螺栓之應力應變曲線、彈性模數、降伏強度、抗拉強度等殘餘機械性質於受火溫度為 $400^{\circ}\text{C}$ 前受冷卻方式及受火溫度影響甚微。
- 以空氣冷卻之F10T系列高強度螺栓在受火溫度 $700^{\circ}\text{C}$ 以上之應力應變曲線形狀無明顯變化，惟降伏強度與抗拉強度下降；彈性模數、降伏強度與抗拉強度等殘餘機械性質皆顯著下降。
- 以水中冷卻之F10T系列高強度螺栓在受火溫度 $700^{\circ}\text{C}$ 以上時，應力應變曲線形狀無明顯降伏平台。在受火溫度 $800^{\circ}\text{C}$ 時，試體產生脆性破壞。在受火溫度為 $900^{\circ}\text{C}$ 及 $1000^{\circ}\text{C}$ 時，降伏強度與抗拉強度則顯著上升。彈性模數則受溫度影響甚微。