

台北市建築師公會 109年度鑑定研討會

鋼筋混凝土結構火災後 傳統與非破壞鑑定方法介紹

報告人： 陳澤修 建築師

2020. 12. 25

火災層出不窮：RC結構

地上 建築、房屋、交通、建設

地中 邊坡、 錨、基礎擋土結構



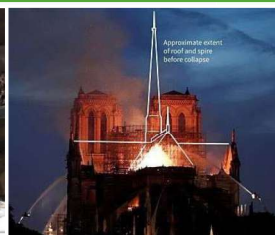
惡火無情



錢櫃惡火



桃園工廠

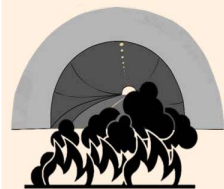


巴黎聖母院



國道邊坡

地下 一次襯砌(噴凝土-鋼網)、二次襯砌(混凝土)



隧道致災



白朗峰



雪山

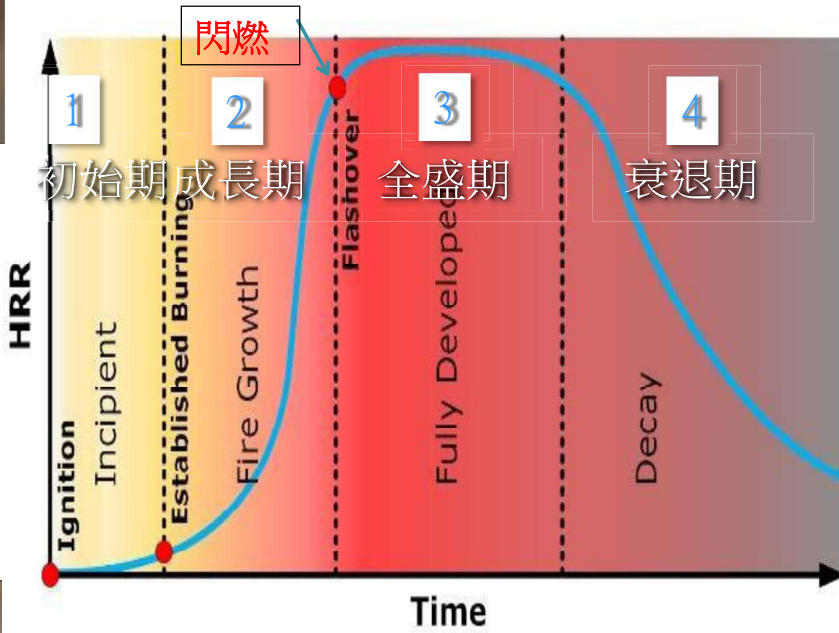
台灣災害人禍 100~108年統計

人數	亡	傷
火災	958	2257
颱風	77	2790
地震	141	933

(wiki)

火災之災損>>颱風與地震！

火災 對人命與建築結構的危害



>800 °C
強度折減
>80%



>600 °C
強度折減
55%

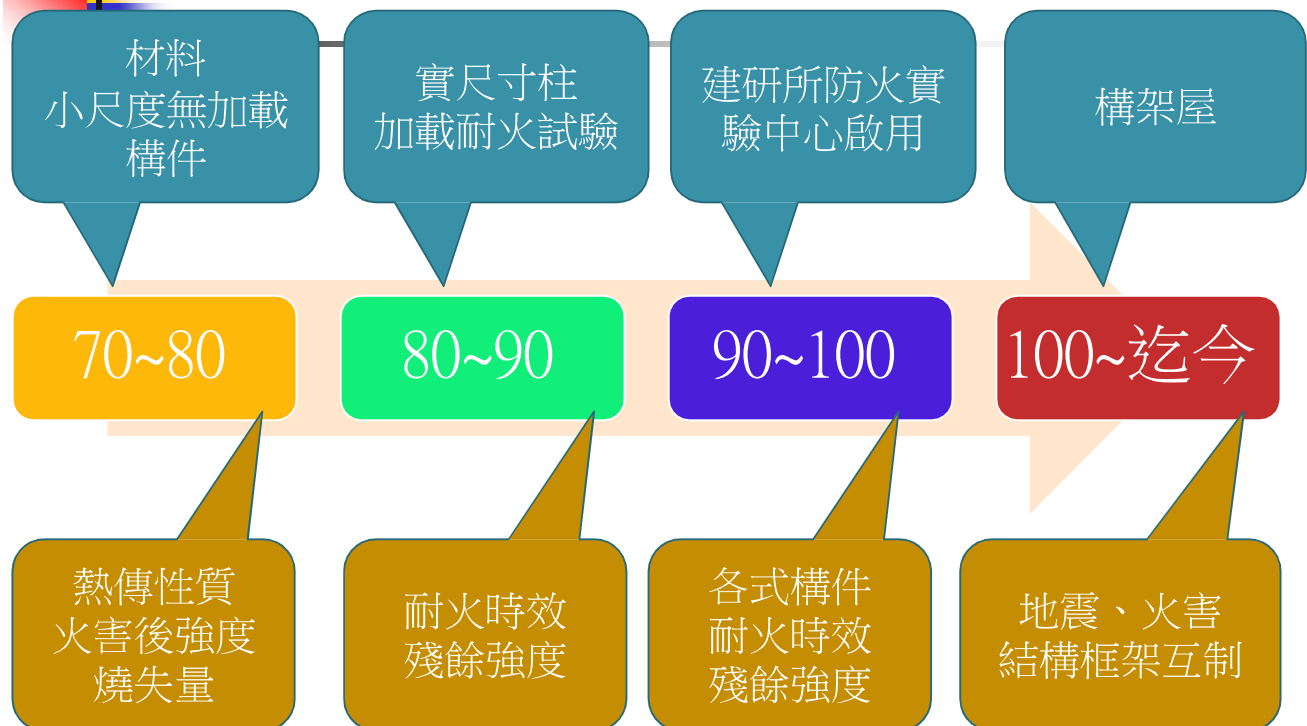


>400 °C
強度快速
衰減



火災成長曲線

建築火害研究歷程



建築火害研究歷程



加拿大NRC柱爐



91年防火實驗中心啟用



複合爐



RC樑柱接頭耐火試驗



平面鋼構架梁耐火試驗

建築火害研究歷程



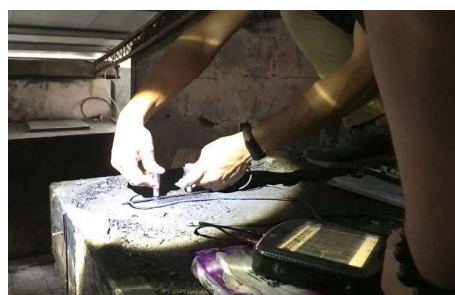
NewRC 版



NewRC 版
(0.1%體積比聚丙烯纖維)



實尺寸構架屋火害實驗



火害現場非破壞檢測



RC柱火害修補後再火害



建築物火害後 傳統鑑定法



建築物火害後傳統鑑定法

建築物火害後之鑑定作業程序

一、建築物火害後安全鑑定，鑑定來源：

1. 經建築主管機關認為有安全之虞者。
2. 保險公司火災後保險理賠需求。
3. 法院函囑鑑定建築物火災後殘餘價值。

現場勘查，必需以確保評估工作人員之安全。

火害鑑定基本資料搜集

(一)、受火害建築物之基本資料搜集：

- 1.建築物之構造類別、建築物之使照竣工圖說。
- 2.火場情況調查
 - (1) 受火燒部位之記錄以平面圖表示之，
 - (2) 標示火害顏色及裂紋區域。(繪圖或拍照)
 - (3) 記錄建築材料與裝修材料。(繪圖或拍照)
 - (4) 各部位燃燒材料之調查記錄。(繪圖或拍照)

9

現場勘驗之安全確認

(二)、現場勘驗之安全必須確認

首先目視結構體損壞狀況，是否有極度嚴重破壞之現象，例如混凝土構件發生爆裂之現象，構材爆裂之斷面積達50%以上，或已造成構材本身嚴重變形，則評為嚴重損壞，有安全顧慮。

此時需要架設臨時安全支撐，必須確認安全無虞，才進入現場勘驗。

火害鑑定項目、方法及損害之判定

1. 混凝土表面火災後之顏色變化觀察

混凝土構件遭受火害後，混凝土表面顏色會隨所受溫度之高低而產生不同之變化，由混凝土表面顏色及外觀之表現，粗略可瞭解火場之溫度。

混凝土表面顏色及外觀表現與未受火害者相近，則評為輕微。

若混凝土表面顏色呈現肉眼可見之微紅色則可評為嚴重。
介於其間者(灰白色)則評為中度。

11

火害鑑定項目、方法及損害之判定

2. 火場溫度可經由下列兩種方式進行評估

(1) .依據火災中燒毀物料之種類、數量、發熱量及火災經歷時間，可評估火場之溫度。

(2) .觀察建築物內燒毀物品之殘留物，亦可依據該物品之融化點或燃點估計混凝土表面所受之最高溫度。

(*故勘查中應仔細檢察構材 混凝土表面附近有何種物品已燒毀？那些物品未著火？何種金屬已變態？何種金屬未變態？然後由已燒毀殘留物品之燃點，或已變形之殘留物品之軟化點可知火場之最低溫度；而從未燃物或未燒損壞形之物件也可以判定火場最高溫度。)

根據以下各種數據，可以判定火場溫度：

1. 某火場中發現鋁門窗已熔化，則此火場溫度可以估計為 650度C 以上；
2. 若檢查發現角鋼支絮已彎曲變形，則估計火場溫度在 750度C 以上；
3. 玻璃門板熔化火場溫度估計為800度C；
4. 發現黃銅門之把鎖已被燒損，則可估計火場溫度達950度C。

12

火害鑑定項目、方法及損害之判定

- (3). 火場溫度之推估，應考慮建築物發生火災時，**建築物之死角其內空氣不流通火場溫度應較低。**
- (4). 火災發生，燃燒之熱量係由燃燒點以 **60 度** 之角度向上擴散，地面或樓版面溫度最低，**上部樓版底、梁底、門窗洞口上方過梁處溫度最高。** 殘留物取證時特別要注意這些部位物品燒損情況，以瞭解其所造成之影響。

依據火害現場殘留物之狀況，推測構材所受之最高溫。
 若混凝土表面之溫度在 **300度C** 以下則評為輕微；
 若溫度超過 **600度C** 則評為損壞嚴重；
 介於其間者則評為損壞中度。

13



750度以上



600~650度



500~600度



650度以下



角偶處溫度較低



650度以下

火害鑑定項目、方法及損害之判定

3. 混凝土表面裂縫與燒裂情形研判

混凝土構件在遭受火害時，

溫度在**300度C**以下，混凝土表面新增之裂縫極少，

400度C時，有些微裂縫產生，但寬度不大，肉眼不易察覺

500度C時，有些較大裂縫產生；

600度C時，裂縫更明顯增加，

700度C開始，裂縫之量比**600度C**時增加不多，但裂縫寬度加大。

鑑定時應詳細查看構材受火燒表面，梁版類之受撓構材表面，

1. 在**跨度中央及兩端有稀疏裂紋**，則其損壞情況為輕微。
2. 跨度內之全部或局部，顯現**較密集、較寬大之裂縫**時，則為損壞嚴重；
3. 介於其間者則評為損壞中度。

15

火害鑑定項目、方法及損害之判定

4. 混凝土剝落及鋼筋外露情況研判

因混凝土構件受火害後，會造成混凝土之保護層剝落、鋼筋外露及鋼筋強度降低。故從**混凝土剝落之部位、大小範圍與鋼筋外露之損壞程度**，可以判斷**混凝土及鋼筋受火害之程度**。

鑑定時，應注意辨別**混凝土剝落及鋼筋外露現象是否為本次火災所造成**，但安全評估時，**舊有之情況亦應列入考慮**。

其評定標準建議如下：

- (1).若構材僅顯示某些角隅部位有混凝土剝落，其剝落寬度不超過**10公分**，**僅有箍筋外露**但主鋼筋並未外露，且其他表面部位無鼓脹現象者，則該構材評為**輕微損壞**。
- (2).若構材除角隅部位外尚有其他表面混凝土剝落，而剝落之**長度、寬度及總面積均甚大**，使**箍筋及二支以上主筋外露**，則該構材評為**中度損壞**。
- (3).若構材之混凝土剝落及鋼筋外露情況較上述損壞更多者，則該構材為**嚴重損壞**。

16

火害鑑定項目、方法及損害之判定



17

火害鑑定項目、方法及損害之判定

5. 構材變形及撓度情況研判

火害後結構之變形及撓度查驗，主要指梁、版之變形與牆、柱之傾斜檢測。

- **梁版結構跨距中段變形之測量，使用水準儀測其兩端支承之讀數與梁跨中之讀數相比較，即可求得梁版構件之跨中撓度值。
- **牆柱之傾斜檢測，可以使用經緯儀來測定。

1. 構材之變形或傾斜可以肉眼明顯察覺，則評為嚴重。
2. 以肉眼觀察無法察覺者，則該構材評為輕微。
3. 介於其間者則評為中度。

18

火害鑑定項目、方法及損害之判定

6. 構材受燒面積與損壞判定

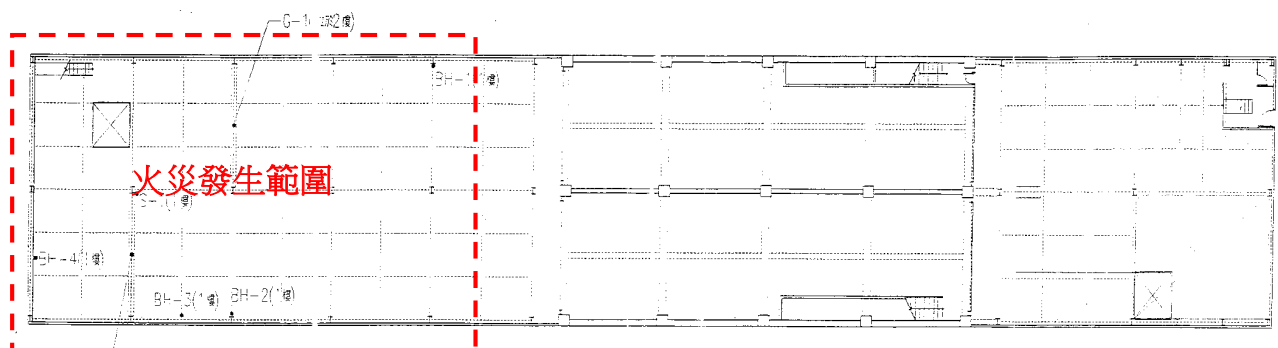
構材火害損壞之程度與受燒面積大小及其溫度有密切關係，可依溫度超過 600度C之受燒面積百分比，決定其燒傷程度。

各種構材損害程度之評估標準如下：

- (1). 版牆類構材，若其受燒面積百分比在30~50%評為中度，小於30%為輕微，大於50%為嚴重。
- (2). 矩形斷面之梁或柱，以矩形斷面各有部位受燒溫度超過600度C為考量。
 - (2. 1). 矩形斷面中僅一面受燒超過600度C者為輕微。
 - (2. 2). 有相鄰兩面受燒超過600度C者為中度。
 - (2. 3). 有三面以上或相對兩面受燒超過600度C者為嚴重。

19

土城鋼構倉庫火害鑑定案例



土城鋼構倉庫火害鑑定案例

六、鑑定要旨：

申請人○○○有限公司於台北縣土城市○○○路○○○號之建築物，於民國○○○年1月21日下午遭受火災侵害，因對鑑定標的物之結構體有安全疑慮，茲向○○○建築師公會申請辦理本鑑定標的物火災後之安全鑑定及標的物損壞部份之費用鑑估。

八、鑑定標的物之構造、用途及現況：

鑑定標的物之構造：

標的物為地上四層鋼構造房屋，無地下室。

鑑定標的物用途：

標的物目前為倉庫。

21

土城鋼構倉庫火害鑑定案例

(測量及試驗)

(一)現場變形測量

(1)水平測量

為瞭解鑑定標的物的結構體受火害造成之變形，經本鑑定選取各層大樑及支撐樓版的小樑做相對高程變化之測量(詳附件六水平測量成果示意圖)，鑑定標的物目前變形量(含火害及原有變形量)，小樑部分最大下陷量達**14.2cm**。大樑最大下陷**12.5 cm**。

(2)垂直測量

經垂直測量(詳附件七垂直測量成果示意圖)成果得知，鑑定標的物向北偏移**12.5cm**，向東偏移**3 cm**。

22

土城鋼構倉庫火害鑑定案例 (載重試驗)

(二)載重現場試驗

為瞭解鑑定標的物經火害後結構體所能承受之載重，經本鑑定選取**1樓頂版及2樓頂版**做載重試驗。1樓頂版最大變位量為**0.55mm**，2樓頂版最大變位量為**0.45mm**。
(詳附件八結構體安全檢測第18頁)。

註：載重試驗費大約10~15萬元。


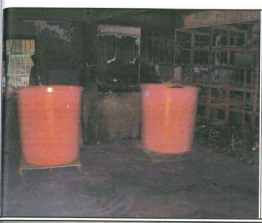




土城鋼構倉庫火害鑑定案例 (載重試驗)

(3) 標載重試驗

項目	內容	依據
載重安排	以滿砂的箱平均分布於樓板上	規範 14.4.1
載重密度	最小載重密度依據規範不得小於 0.85(1.4D.L+1.7L.L)=969kg/m ² ，本試驗最大載重密度採用 1000kg/m ² 加載，分為四階段加卸載重	規範 14.4.2
載重試驗開始時間	應在混凝土澆置 56 天後進行 本標的物為使用多年建築物，符合規定	規範 14.4.3
載重階段	加載及卸載均分為 4 階段，每階段之載重約略相等，每完成一階段之載重施加時，及完成全部試驗載重施加後至少經歷 24 小時，均需量測一組數據	規範 14.5；至少分對 4 階段
認可基準	$\Delta_{max} < \frac{f_c^2}{20000h}$ 本試驗相當於 36.75mm	規範 14.6

●本試驗依據規範為混凝土工省設計規範與解說，中國土木水利工程學會(土木 401-86a)

●加載時，在標下方中央設置設置測微計量測。

	照片 拍攝位置 10 柱位	內容 鋼板拉力試驗		照片 拍攝位置 13 2F	內容 第一次加載
	照片 拍攝位置 11 1F	內容 空載		照片 拍攝位置 14 3F	內容 第一次加載
	照片 拍攝位置 12 2F	內容 空載		照片 拍攝位置 15 2F	內容 第二次加載

土城鋼構倉庫火害鑑定案例

(混凝土鑽心取樣試驗)

(三)混凝土鑽心取樣試驗

為瞭解鑑定標的物經火害後對結構材料性質之影響，現有混凝土之強度及勁度，經取樣之混凝土鑽心圓柱試體共計4處，**含受火害影響較小處一處，做為比較基準值。** (取樣位置詳附件十，並由儀丞儀器工程有限公司取樣，鴻昇工程顧問有限公司中和實驗室做混凝土抗壓強度試驗)

其鑽心圓柱試體

混凝土抗壓強度測試結果在 $139\text{kgf/cm}^2 \sim 174\text{kgf/cm}^2$ 之間，均小於設計值 $fc' = 210\text{kgf/cm}^2$ 之百分之八十五值為 178.5kgf/cm^2 。(詳附件八結構體安全檢測第15頁)

25

土城鋼構倉庫火害鑑定案例

(混凝土中性化試驗)

(四)混凝土中性化試驗

為瞭解鑑定標的物經火害後結構體混凝土對鋼筋之保護是否到受影響，配合混凝土鑽心圓柱試體共計4處(取樣位置詳附件十)，並由取樣單位做混凝土中性化試驗，試驗結果最小為0，最大為2cm，皆未深透4cm原有之保護層。

中性化試驗結果

試驗編號	試體碳化程度(cm)
BH-1	1F 柱(2 cm)
BH-2	1F 柱(0 cm)
BH-3	1F 牆(1.5 cm)
BH-4	1F 柱(0 cm)
備註	試體碳化程度為已扣除粉刷層起算



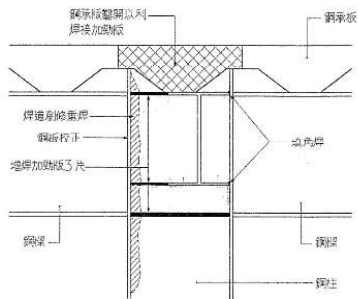
26

土城鋼構倉庫火害鑑定案例

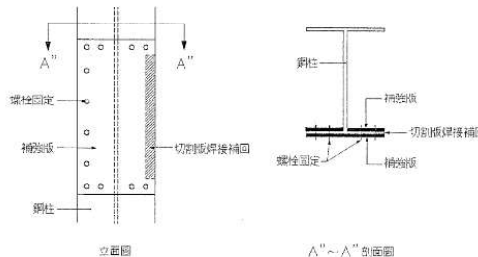
(鋼骨材料拉力試驗)

(五)鋼骨材料拉力試驗

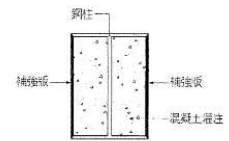
為瞭解鑑定標的物經火害後鋼結構之強度是否到受影響，經取樣之鋼版試體共計1處，(取樣位置詳附件十，並由華禾工程顧問股份有限公司材料實驗室做鋼版強度試驗)其降服強度為31kgf/ mm²，抗拉強度為43kgf/ mm²。



柱頭補強示意圖



鋼板試體切割後補強示意圖



柱身補強示意圖

土城鋼構倉庫火害鑑定案例

(結構分析檢討)

(六)結構分析檢討

1. 鑑定標的物並無使用執照資料或設計圖說料可供參考，故依現場情況及取得資料作分析基本資料。
建築物用途假設為倉庫，活載重600kg/m²。
2. 鋼材料依現場取得數據，再根據目前市面鋼材規格判斷應為：
鋼柱為H-340*250*9*14
鋼樑(大樑)為H-450*200*9*14
鋼樑(小樑)為H-400*200*8*13
3. 依鋼材試驗報告其降伏強度為31kgf/ mm²故取fy=25 kgf/ mm²作為分析檢討之基準。
4. 其他依建築技術規則及規範檢討之。

台北縣土城市大暖路 128、130 號
火災後結構安全檢討

- 一、建築概述：
本鑑定標的物為地上 4 層無地下室，地上結構為鋼骨構造建築物。1FL 抬高約 1M，建築物高度為 13.35 M (齊高)。樓版採用鋼承板上灌築混凝土，地面為水泥粉刷地坪，兩側有鋼筋混凝土牆，有一側開高窗，無原始設計資料，火災前做倉庫使用。
- 二、結構概述：
1 結構系統：採用鋼骨柱、梁剛構架結構系統，樓版為鋼承板上灌築混凝土 7.5-15cm 之混凝土。
2 設計依據與規範：
(1) 中華民國現行建築技術規則。
(2) 中華民國國家標準。
(3) 鋼構造設計規範。
(4) 房屋通用技術規則 (UBC1982)。
- 三、使用材料及強度：
(1) 混凝土 28 天抗壓強度：fc' ≥210 (kg/cm²)
(2) 鋼筋採用竹節鋼筋其降伏強度為：fy=2800 (kg/cm²)
(3) 鋼板及型钢：ASTM A36 fy=2500 (kg/cm²)

四、設計載重：

1. 各層樓版設計載重：(單位：kg/m²)

	RFL	2FL-4FL
靜載重	50kg/m ²	320kg/m ²
活載重	100kg/m ²	600kg/m ² (倉庫)

註：所有隔間牆及外牆均按實計算其重量不包含在本表所列荷重內

土城鋼構倉庫火害鑑定案例

(鑑定結果)

(一)鑑定結果：

1. 鑑定標的物一樓前段作業區並未受火害影響。中段倉庫則受火害側溫及煙燻影響，表面龜裂烏黑。後段倉庫則受火害直接侵襲，部分鋼構樑柱接頭受到樑膨脹推擠破壞，部分鋼樑受熱變形及下陷。二樓北側部分亦受火害高溫波及，南側受煙燻影響電器設備融化損壞，**二樓版因一樓高溫以致鋼樑變形樓版也有下陷達14.2cm的狀況**，三樓四樓部分受到較輕微之火害溫度及煙燻影響。
2. 依混凝土鑽心試驗及中性化試驗結果得知，鑑定標的物**RC部分之混凝土強度受火害之影響輕微**。
3. 由鋼柱鋼版的拉伸試驗得知，**鋼柱支撐強度受火害影響不大，但部份柱樑接頭受鋼樑膨脹影響，柱翼板受擠壓變形，焊道裂開**。
4. 受火害但未有嚴重變形的水平支撐結構樑及樓版，經載重試驗得知，**其支承力及彈性變形能力尚在可使用範圍**。
5. 其他非結構部份之粉刷、天花板、隔間牆、門窗、地毯、水電設施、燈具、升降梯等設備受高溫破壞皆須整修更換。

29

土城鋼構倉庫火害鑑定案例

(建議修復方式)

(二)建議修復方式：

1. **下陷部分C9~C12~C17~C20區及C2~C3~C13~C12區樓版及樑拆除重做。**
(詳附件十二鑑定標的物樑柱編號圖及結構損害位置圖)
 2. **C9、C10、C11、C12樑柱接頭修補及柱身補強。**
(詳附件十二鑑定標的物樑柱編號圖及結構損害位置圖)
 3. 壁體粉刷層復原，**鋼筋外露部分，除銹後再用環氧樹脂砂漿補平。**
- (前項1~3點結構部份修補應交由專業建築師或技師做詳細之補強設計)**

30

三重RC建築物火害鑑定案例

(鑑定過程)

鑑定要旨：申請人○○○有股公司於台北縣汐止市○○○路○○○號之建築物，於民國○○○年八月二十九日清晨遭受火災侵害，因對鑑定標的物RC結構建築物有安全疑慮，委託○○○建築師公會辦理本鑑定標的物火害後之安全鑑定。

鑑定過程

(一)現場變形測量

(二)鑽心取樣，(強度、氯離子、中性化等)

(三)燒失量試驗

為評估鑑定標的物曾經歷之火害溫度，本鑑定取樣敲取混凝土樑角隅爆裂剝落處及敲取部份混凝土鑽心試體之表層作為燒失量試樣，合計共取6個試樣，其取樣位置詳附件十一，由鴻昇工程公司中和實驗室做混凝土燒失量試驗，其各試樣之燒失量試驗結果，未受火害部分試體其燒失量為**10.12%**，受火害部分試樣之燒失量則分佈在**6.04% ~ 6.51%**間，推估火害現場燃燒溫度值大約在**554°C ~ 669°C**之間(詳附件十)

31

三重RC工廠火害鑑定案例

(鑑定結果)

(二) 依據燒失量試驗結果火害之最高溫度推測，鑑定標的物火害後鋼筋殘餘之降伏強度較常溫鋼筋之降伏強度折減**18%**，唯目前鑑定標的物除一處大樑部分有箍筋裸露、二處頂版有小面積鋼筋外露，其他並無明顯之鋼筋銹蝕現象。

(三) 依據燒失量試驗結果，火害之最高溫度推測，鑑定標的物火害後表層混凝土之殘餘抗壓強度較未受火害部份之抗壓強度折減達**79.6%**，此部分由混凝土試驗錘測試獲得佐證，然另據混凝土鑽心圓柱試體之混凝土抗壓強度測試本鑑定標的物結構混凝土強度在火害前即有偏低現象，而在去除受火後之後中性化試驗之混凝土強度測試結果並未產生明顯折損，其原有鋼筋混提土力學行為，應不致產生明顯改變。

(四) 依試驗及分析結果綜合研判，鑑定標的物之受損狀態，應在採用適當之修復補強方式後，可恢復至原有設計結構強度並達使用安全之要求，有關修復補強設計應委請開業建築師與結構專業技師辦理。

三重RC建築物火害鑑定案例

(結構修復補強方法)

十一、修復補強建議：

- (一)對於混凝土強度不足之柱樑結構建部份，可用「**鋼板接著補強法**」先除去粉刷層後，在適當部位加裝鋼板，再用錨釘固定補強鋼板，並於鋼板及混凝土之間注入環氧樹脂 **Epoxy** 使結合為一體。
- (二)亦可採用**複合纖維材料與環氧樹脂 Epoxy**之聯體補強，以增加混凝土構件的抗壓能力。
- (三)對於變形過大之**RC**大樑部份，可考慮以**鋼樑**替換。
- (四)對於**混凝土**強度不足之樓版，可以增設小樑予以補強。
- (五)樓板及梁柱之**裂縫**寬度大於 **0.3 mm**部份，以「**壓力注入法**」灌注環氧樹脂 **Epoxy**，以確保構件強度不致劣化。

33

三重RC建築物火害鑑定案例

(結構修復補強方法)

- (六)樓版及樑柱之保護層剝落，鋼筋外露部份，應先將鋼筋之**銹蝕**及**表層鬆動**部份適當括除並以高壓空氣清除處理，再於表面層塗抹環氧樹脂 **Epoxy**或以輕質樹脂砂漿修補。
- (七)對於**非結構體**之**磚牆**受火燒部份，可敲除表面粉刷層，將縫隙以水泥漿填滿，在予以粉刷油漆處理。

34



混凝土結構材料 非破壞火害探傷檢測



非破壞火害探傷檢測

建築火害非破壞檢測研究歷程

102年 非破壞性檢測於**鋼筋混凝土**結構火害後安全評估研究

104年 **鋼筋混凝土**構件火害後之非破壞檢測技術鑑定應用研究

105年 複合式**音波**檢測（**主、被動法**）於鋼筋混凝土構件火害傷
損 度判識之應用

106年 複合式**聲-光**探測技術應用於鋼筋混凝土破壞特徵預測及
火 害傷損判識之研究

107年 火害現場結構材料探傷檢測系統**軟體研發**及應用研究

108年 **人工智慧**火害判識應用於結構材料現場火害探傷之研究

非破壞檢測於火害結構鑑定輔助

階段應用

火場初勘(目視及剪壓波速比)有結構安全鑑定之必要

RC火害受損深度調查

受損深度超過保護層

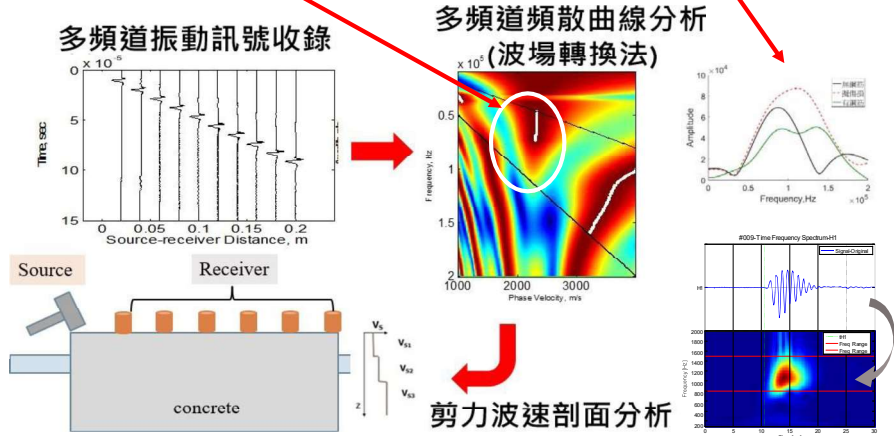
鋼筋握裹力喪失段調查

鋼筋混凝土火害受損厚度調查

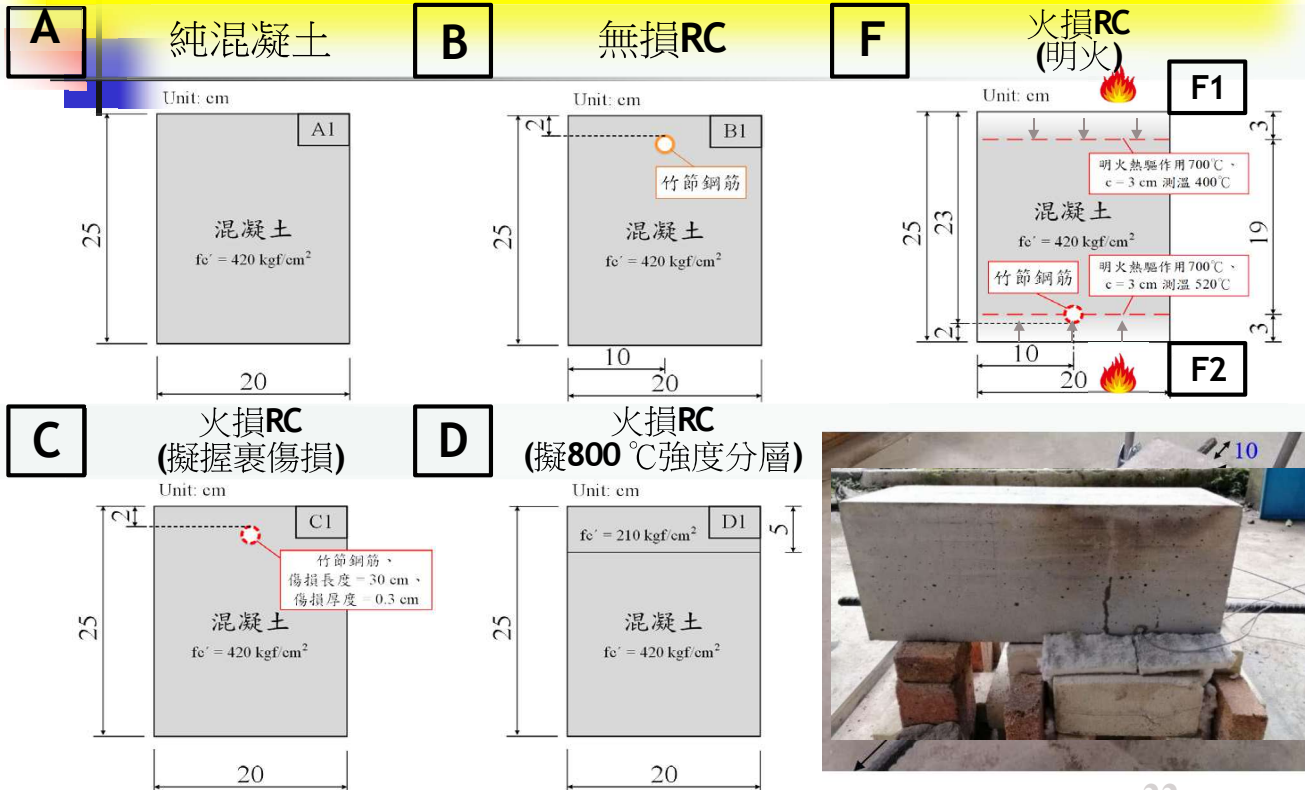
應用在RC表面傳播之雷利波

鋼筋握裹力喪失段調查

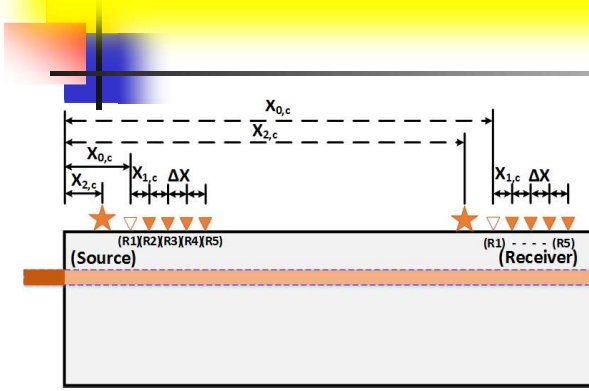
應用在鋼筋中傳播之導波



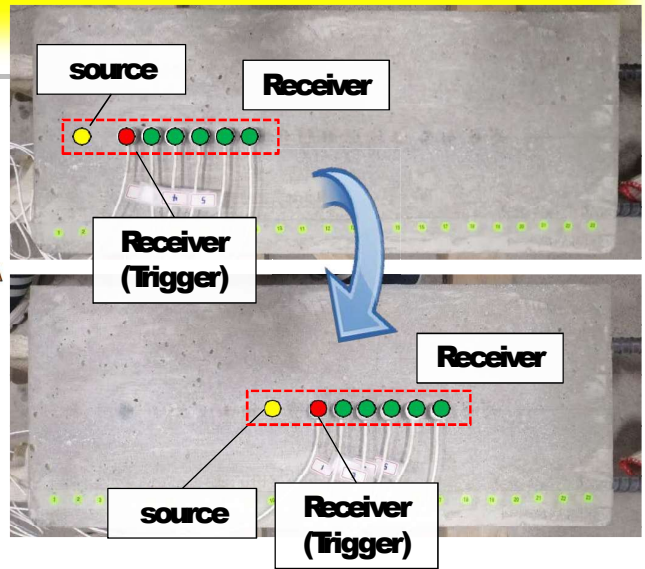
本研究試驗之各試體尺寸示意



施測配置 - 定距接收



導波量測配置示意圖

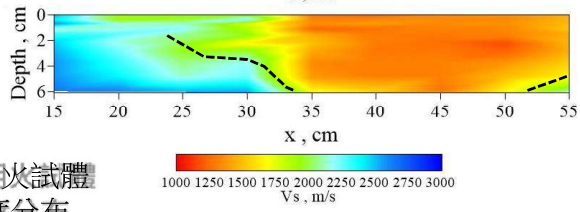
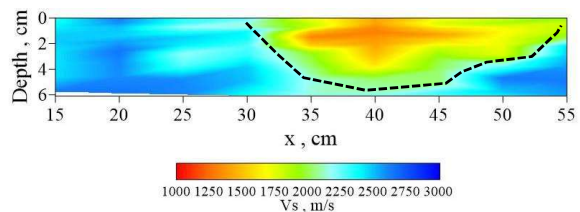
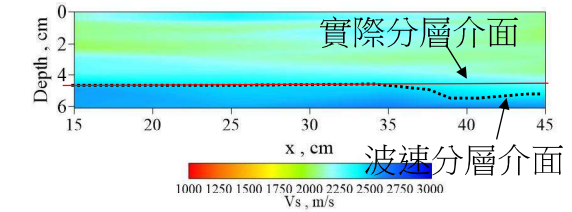
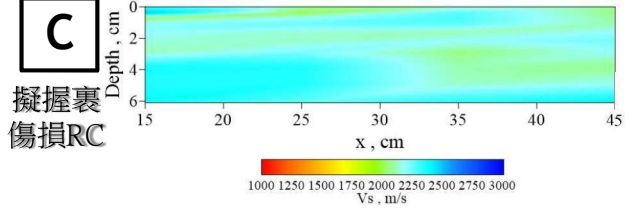
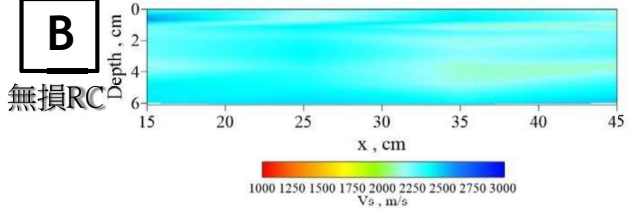
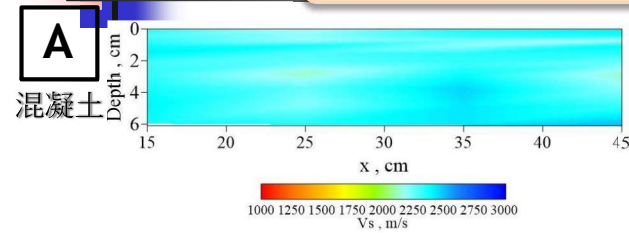


固定量測間距 → 遠場效應 ↓、探測精度 ↑、不受展距影響

非破壞檢測為目標 → 以混凝土表面做擊發 / 接收

剪力波速剖面

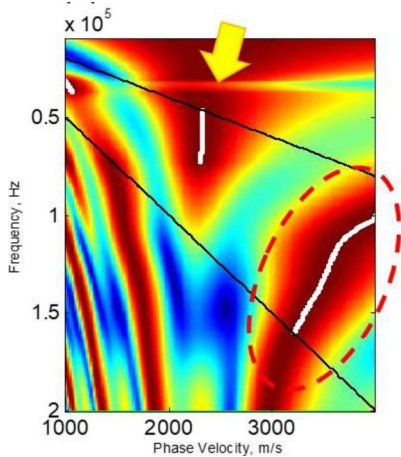
• 無火損波速皆相似；火損波速折減顯著



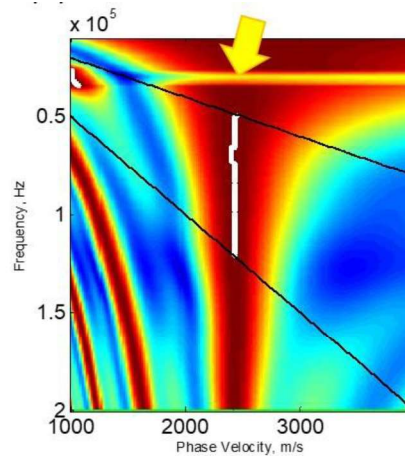
平均2400m/s; std:190m/s

鋼筋之影響

鋼筋影響 頻散圖情況



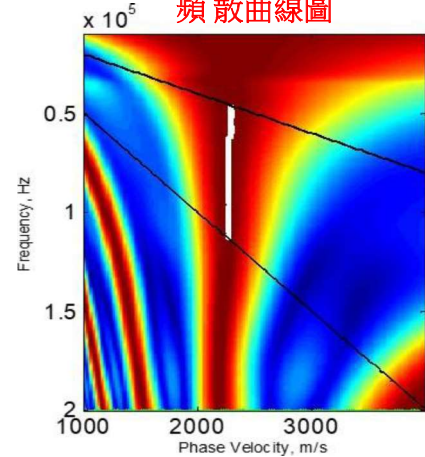
影響類型1：特定頻率有能量消失的情形並且同時在高速側有明顯的另一頻散曲線存在



影響類型2：僅有在特定頻率有能量消失的情形

解決方式

偏移鋼筋正上方3公分之
頻散曲線圖



透過偏移鋼筋正上方做法，降低類型1和2的影響

小結

- 多頻道表面波震測可有效獲得混凝土構造物之S波波速影像剖面
- 應用S波波速影像剖面可協助獲得火害深度並評估隨深度之混凝土強度衰減量
- 但，多頻道震動訊息獲得之訊號眾多，還可有進一步應用



火害後握裏力定性 調查技術

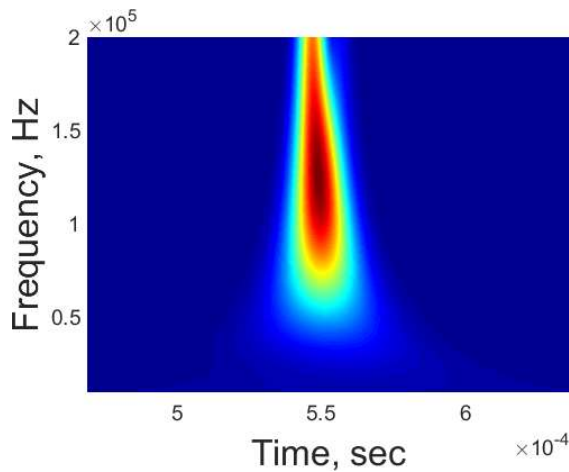


非破壞火害探傷檢測

握裏力受損之時頻特性

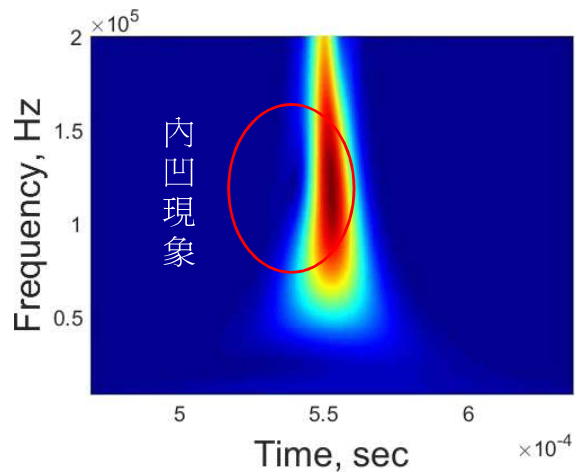
握裏力無損

類水滴狀



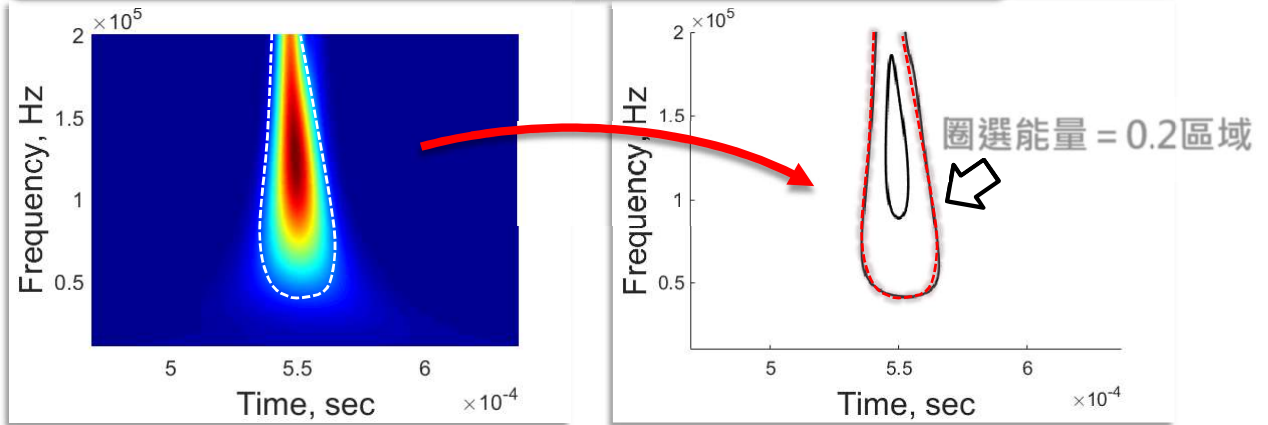
握裏力喪失受損

類馬靴狀



時間-頻率域圖形之判識(1/2)

- 由連續小波轉換 → 等能量之時間-頻率域。

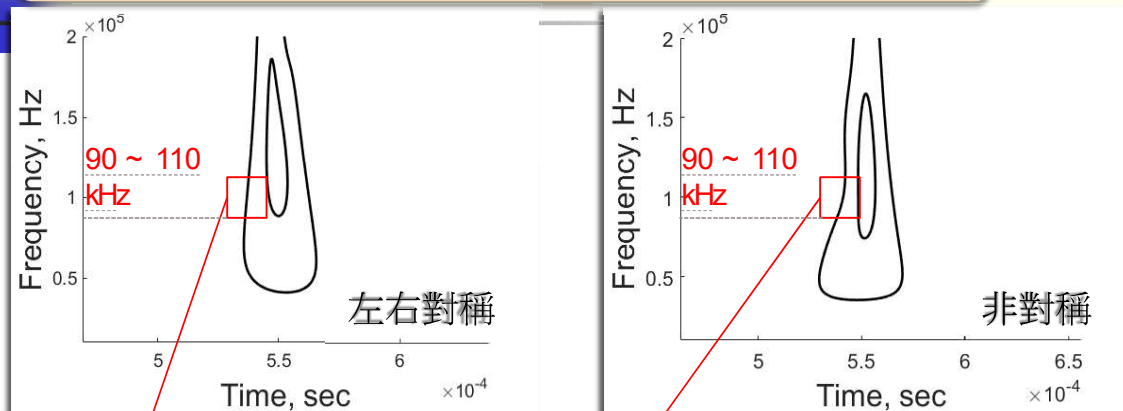


- 能量正規化為1，圈選能量 = 0.2區域
- 由偽彩圖 → 單色圖 (特徵顯著化)

29

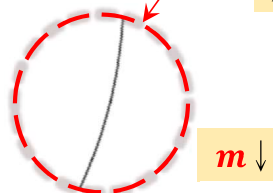
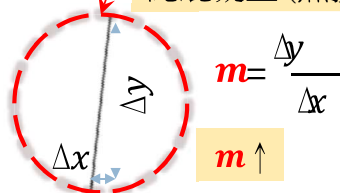
時間-頻率域圖形之判識(2/2)

- 由全域之對稱性 → 局域之90 ~ 110 kHz處梯度變化



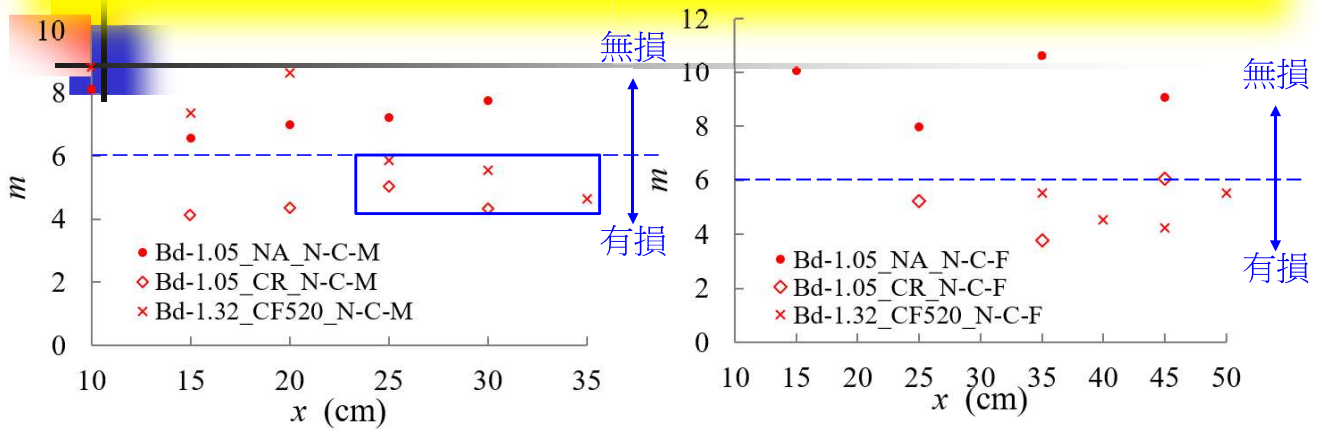
純混凝土(無損)

氣泡墊模擬握裹傷損



判釋頻率及集中段之缺陷及斜率，確認受損狀況

握裹力受損時頻特徵值



C-M

試體	試驗編號	$m(\frac{\Delta y}{\Delta x})$	標準差 3σ
無損RC	NA-1.05_NA_N-C-F	7.34	1.85
擬傷損RC	Bd-1.05_NA_N-C-F	4.46	1.03
明火RC	NA-NA_CF520_N-C-F	5.3	1.24

C-F

m	3σ
9.43	3.06
4.86	1.45
5.15	1.78

✓ 以 $m = 6$ 為分界，
 B1為無損RC、
 C1為擬握裹傷損，
 F2為明火RC，
 $m_{BF} = 7.11$;
 $m_{CF} = 4.6$;
 $m_{FF} = 5.6$

水庫防淤隧道火害後導波量測

目的：導波量測構材 受損深度、握裹傷損 之有無

時間：報案 - 2019 3:12 am

撲滅 - 2019 10:00 am ; 延時估計 7hr.

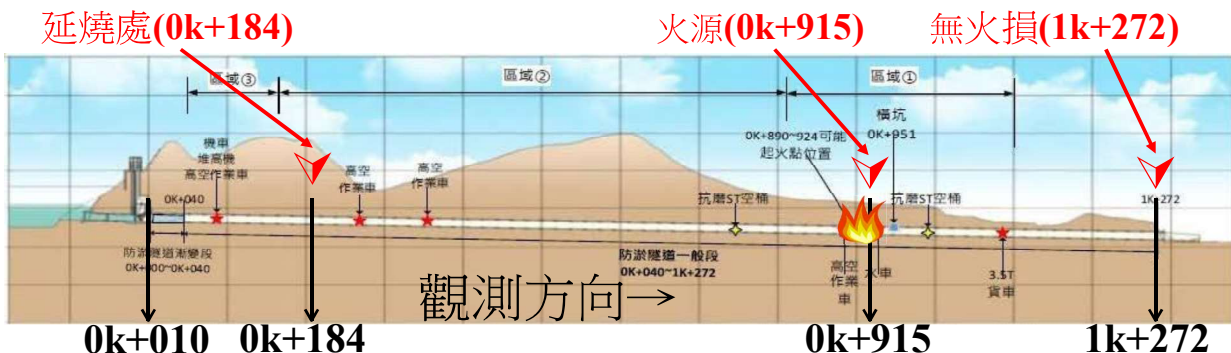
延燒：隧道面漆 → 線型

結構：鋼筋混凝土 $f_c = 350 \text{ kgf/cm}^2$

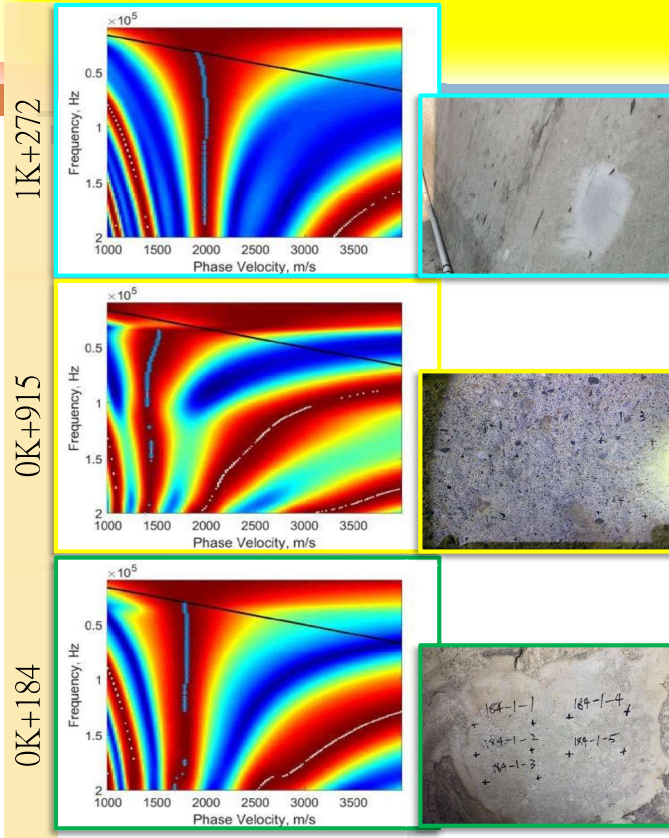
一次襯砌厚度10公分，二次襯砌厚度 70公分，保護層厚度 2.5公分



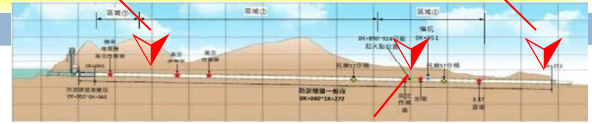
(自由時報, 2019)



隧道縱斷面(同空間) - 頻散影像判識 (RC) (1/2)



延燒處(0k+184) 無火損(1k+272)



火源(0k+915)

隧道縱斷面(同空間)示意圖

V_{ph} :

1K+272(無損) :

- 2000~2100 (m/s)。

0K+915(火源) :

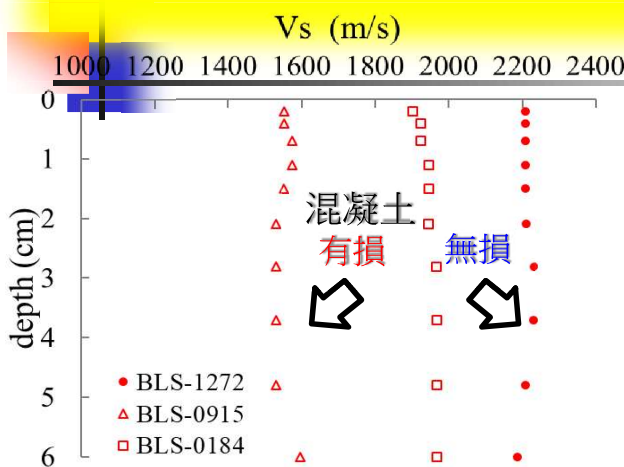
- 顯著下降且一致，受損深度>6 cm，推測火害延時≥3hr。

0K+184(延燒) :

- 下降幅度小，推測為非火源區域。

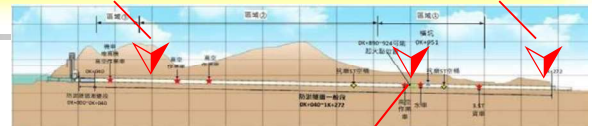
V_p → V_s 判識混凝土傷損情形

隧道縱斷面(同空間) - 頻散影像判識 (RC) (2/2)



隧道縱斷面(同空間)剪力波速-深度圖形

延燒處(0k+184) 無火損(1k+272)



火源(0k+915)

隧道縱斷面(同空間)示意圖

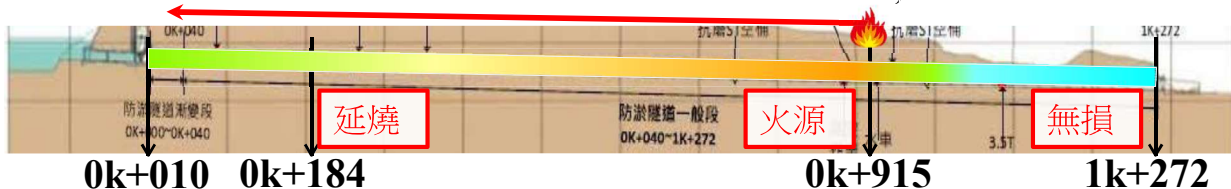
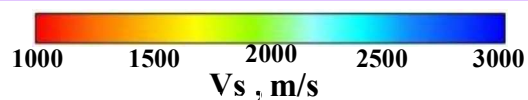
V_s :

✓ 0k+915 顯著下降，0k+184 次之。

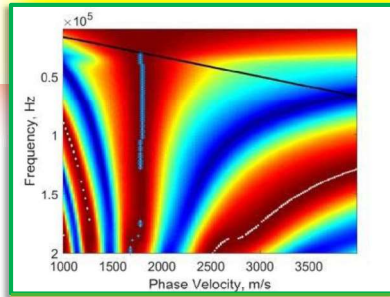
✓ 嚴重程度：0k+915 > 0k+184 > 1k+272

✓ :波速一致，

:火害延時≥3 hr，受損深度>6 cm

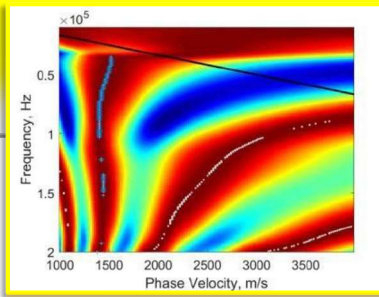


隧道縱斷面(同空間)-超音波脈衝之溫度判識(下側壁)



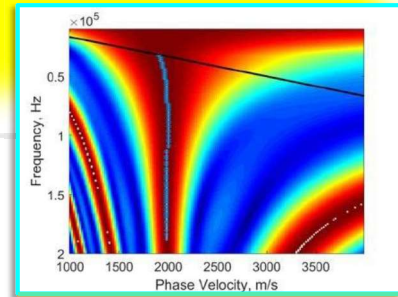
0K+184

(1954, 0.68, 300 ~ 400)



0K+915

(1550, 0.75, 500 ~ 600)

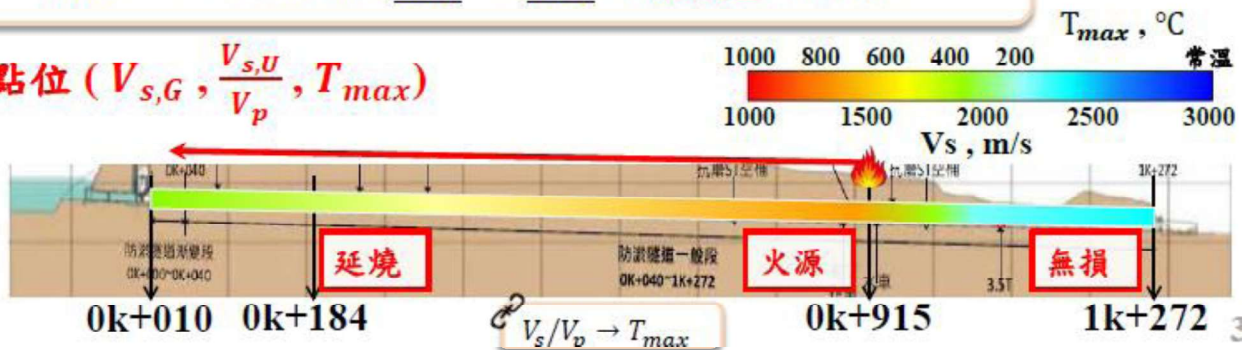


1K+272

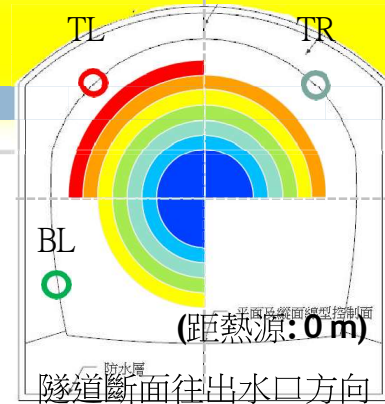
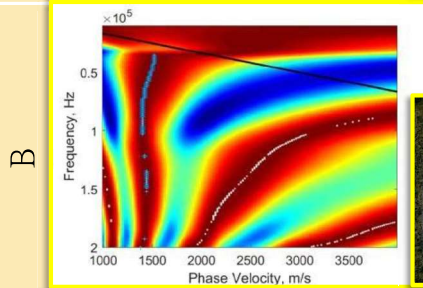
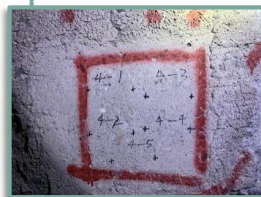
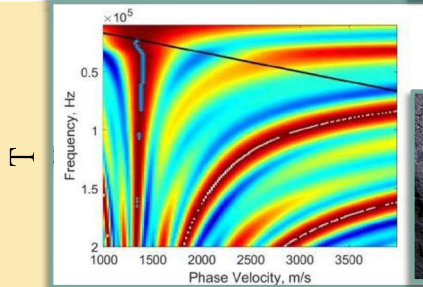
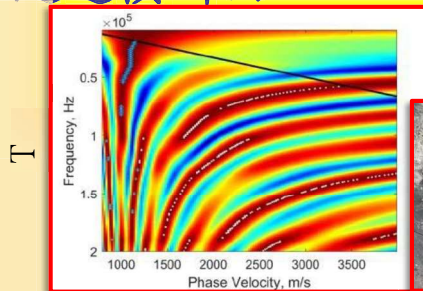
(2200, 0.55, 常溫)

$V_{ph}, V_{s,G} \downarrow ; V_{s,U}/V_p \uparrow \& T_{max} \uparrow$
 剪力波速、剪-壓波速比可互比、並有效判識混凝土傷損情形

點位 ($V_{s,G}, \frac{V_{s,U}}{V_p}, T_{max}$)



隧道橫斷面0K+915(同時間) - 頻散影像判識 (RC) (1/2)

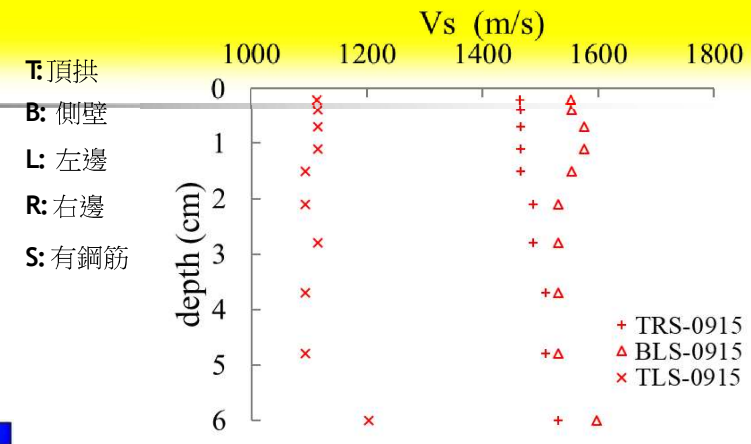
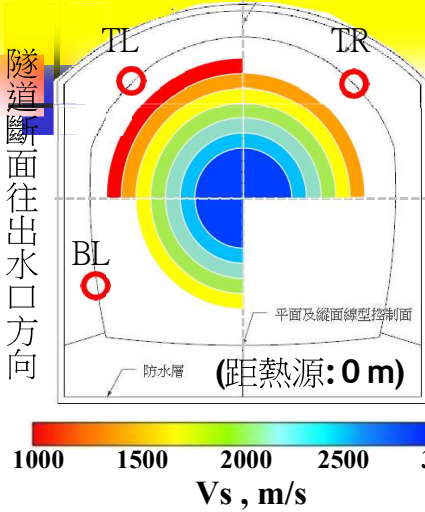


1000 1500 2000 2500 3000
Vs, m/s

里程	試驗編號	波速 (m/s)		標準差 3σ
		V _R	V _S	
0K+915	TLS-0915	1060	1158	51
	TRS-0915	1350	1475	21
	BLS-0915	1450	1585	27

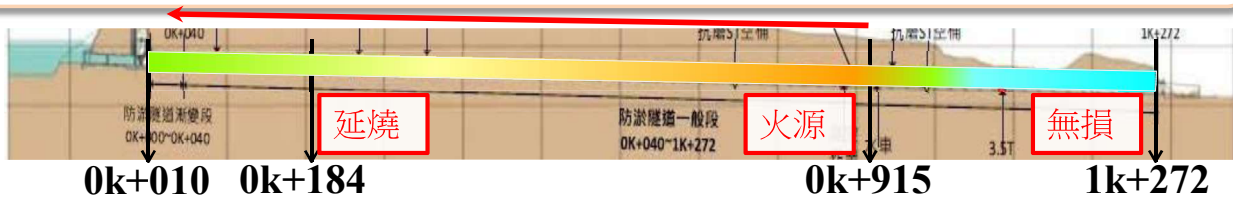
T: 頂拱, B: 側壁, L: 左邊, R: 右邊, S: 有鋼筋

隧道橫斷面0K+915(同時間)-頻散影像判識 (RC)(2/2)

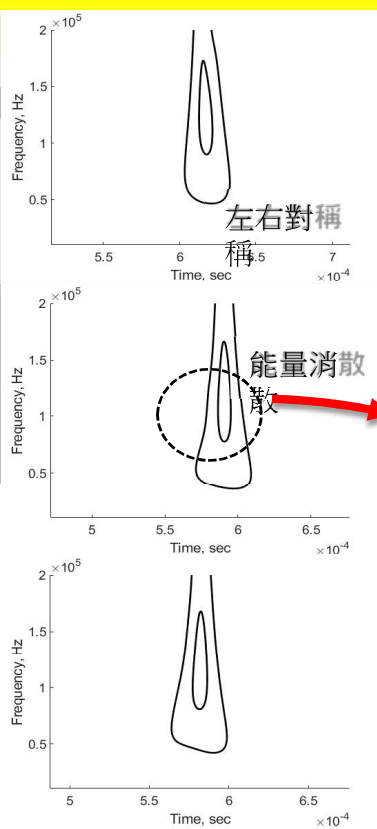
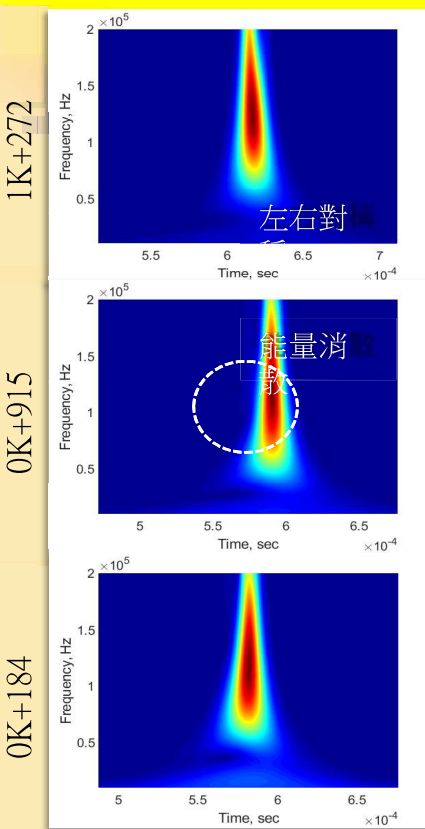


隧道橫斷面(同空間)剪力波速-深度圖形

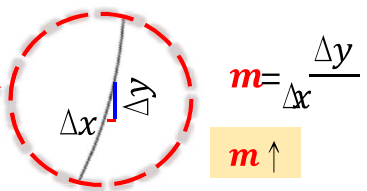
- 0K+915 Vs : TL > TR > BL ; 頂拱較嚴重, 推測火流延頂部傳遞。
- → 0K+000~0K+915之受損深度皆 > 6 cm, 頂拱為重點維修區域。



隧道縱斷面 - 時間-頻率域判識 - 有無握裹受損 (1/2)



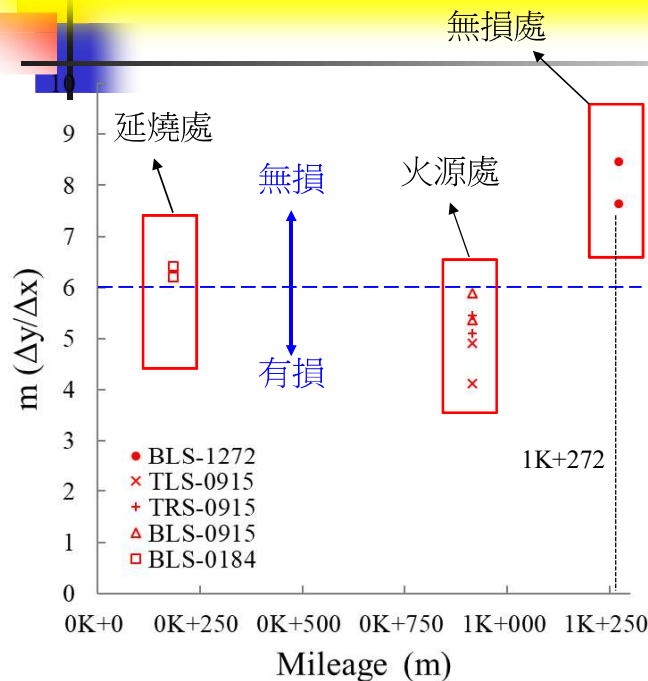
透過斯乃耳定律、波傳
徑與保護層厚度 = 2.5 cm
，於Ch4將出現鋼筋特徵，
→ 以Ch4之時-頻圖形比對



皆取特徵段
95 ~ 100 kHz作比對

梯度變化判識
應力波傳遞路徑

隧道縱斷面 - 時間-頻率域判識 - 有無握裹受損 (2/2)



(隧道) 脆發-定收法 空間-斜率圖形

只取特徵段(Ch4)作比對

里程	試驗編號	$m(\frac{\Delta y}{\Delta x})$	標準差 3σ
1K+272	BLS-1272	8.05	1.23
	TLS-0915	4.52	1.17
0K+915	TRS-0915	5.28	0.51
	BLS-0915	5.62	0.79
0K+184	BLS-0184	6.31	0.30

- ✓ 以內業經驗之 $m = 6$ 為分界，
1K+272(無損) $m=7.9$ ，良好
- ✓ 0K+915(火源) $m=4.6$ ，
又 $m_{BB} > m_{RR} > m_{BR}$ ，推估有握裹
受損情形，需作重點維修
- ✓ 0K+184(延燒) $m=6.5$ ，
推估火害未達鋼筋深度，握裹無受損

小結

1. 傷損深度判識：

1) 0K+915(火源)之Vs顯著下降且波速一致，推測火害延時 $\geq 3hr$ ；
同里程以頂拱受損最嚴重，推測火流延頂部傳遞引致。

2) 0K+184(延燒)之Vs降幅小，推測為非主要燃燒區域。

3) 頻散影像判識混凝土受損適確可行。

2. 握裹傷損判識：

1) 時頻圖95 ~ 100 kHz處斜率判識握裹傷損之方法可行，握裹傷損程度 \uparrow ； $m \downarrow$ 以
 $m=6$ 為有無握裹傷損之分界，握裹傷損程度 \uparrow ； $m \downarrow$ 。

1K+272 $m=7.9$ ；1K+915 $m=4.6$ ，推估有握裹受損情形，需作重點維修；

1K+184 $m=6.5$ ，推估火害未達鋼筋深度，握裹無受損。

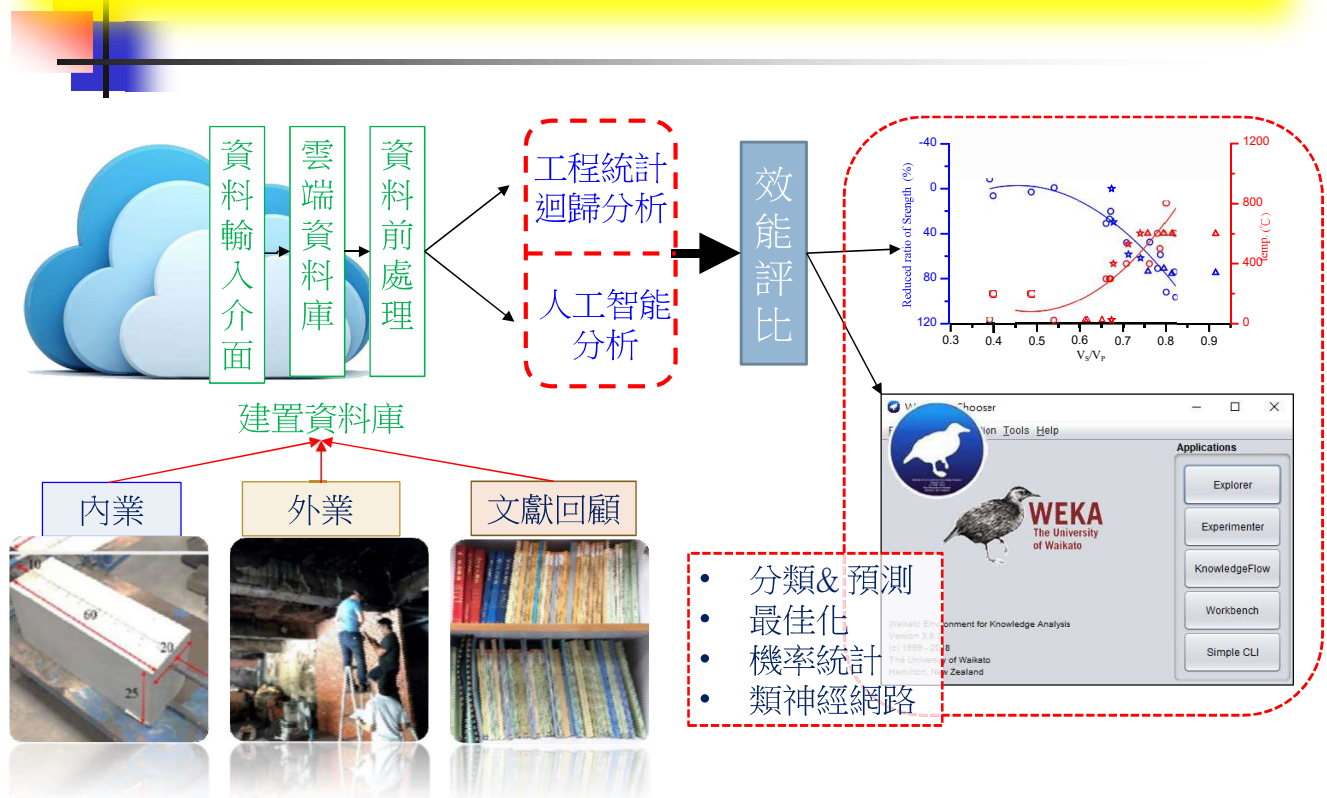


火害現場結構材料 探傷檢測系統與 雲端資料庫

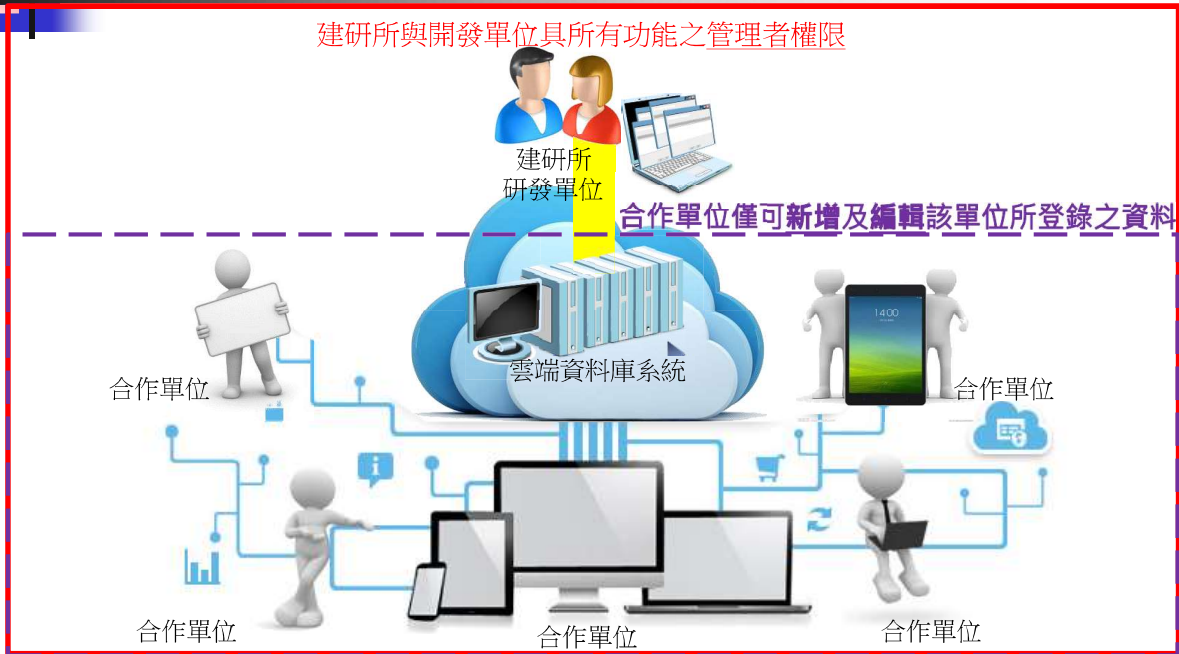


非破壞火害探傷檢測

火害現場結構材料探傷檢測系統資料庫



火害現場結構材料探傷檢測系統資料庫



火害現場結構材料探傷檢測系統資料庫

使用者登入

帳號

密碼

登入 訪客註冊

查詢條件

試體名稱

查詢

試體清單

新增 試算

#	操作	試體名稱	新增人員	新增時間	更新時間
---	----	------	------	------	------

資料試算

壓縮波速 V_p : m/s

剪力波速 V_s : m/s

混凝土構造物火損試算

推估最高溫度 : 219.24531249999995 °C

強度折減比例 : 23.323125000000033 %

The screenshot displays the web application interface. On the left is a '使用者登入' (User Login) section with fields for '帳號' (Account) and '密碼' (Password), and buttons for '登入' (Login) and '訪客註冊' (Guest Registration). On the right is a '查詢條件' (Search Conditions) section with a '試體名稱' (Specimen Name) search box and a '查詢' (Search) button. Below that is a '試體清單' (Specimen List) section with '新增' (Add) and '試算' (Calculate) buttons, and a table with columns for '#', '操作', '試體名稱', '新增人員', '新增時間', and '更新時間'. A '資料試算' (Data Calculation) dialog box is open, showing input fields for '壓縮波速 V_p ' (800 m/s) and '剪力波速 V_s ' (500 m/s), a '混凝土構造物火損試算' (Concrete Structure Fire Damage Calculation) button, and calculated results: '推估最高溫度 : 219.24531249999995 °C' and '強度折減比例 : 23.323125000000033 %'.

火害現場結構材料探傷檢測系統

火害現場結構材料探傷檢測系統
第一代:超音波檢測



- 後續研發
- 資料主動雲端推播功能
- 資料庫演算直接呈現
- 多頻道振動量測能力

結語

- 非破壞性檢測可有效協助火害現場調查工作
快速初勘結構安全性評估
- 多頻道振動訊號可提供混凝土構造深度受損之訊息
混凝土火害受損深度
握裹力受損評估
- 雲端資料庫可協助現場應用之精效度

鑑定結果與安全維護

鑑定之現場勘驗後，應由會勘相關人員及建築物所有人共同討論，因涉及財產價值及賠償金額，須多方交換意見後，再提出具體建議。

基於安全考量，對於損害過度嚴重者，則建議逕行拆除，不需繼續進行鑑定工作。

63

報告完畢
謝謝大家

64