

台灣省土木技師公會

火損鑑定新技術及防水鑑定修復新工法

火損之結構材料探傷檢測系統 之研用與推廣

簡報： 陳立憲 臺北科技大學 土木與防災研究所

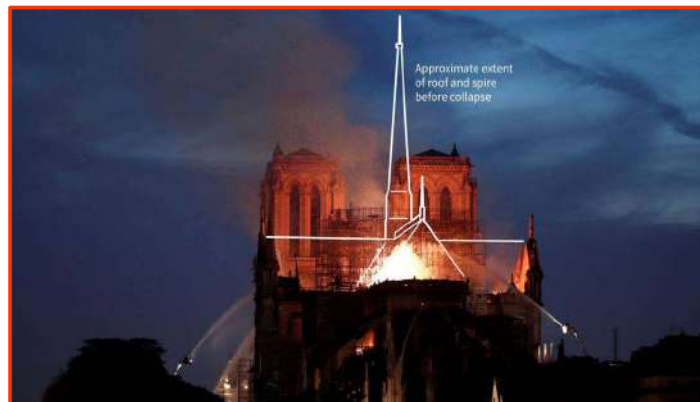
2019 年 06 月 05 日

0

巴黎地標**聖母院(Notre-Dame)**如何浴火重生？專家建議借鏡
聖約翰大教堂, 2019/4/19 ... 2019/4/15 惡火燒毀 850年歷史的聖母院屋頂及尖塔倒塌。

耗5年修復/**2001年紐約聖約翰大教堂(Cathedral of Saint John the Divine)**火災
專家：沒法5年內重建聖母院，檢測
工程先輕敲石材，聽聽有無受損特有的
細微聲音。。。

聖母院與聖約翰大教堂多為**石灰岩材**
遇火速熱，又**遇水**速冷，會因岩裂
削弱建築結構穩定性，表面也會化成
粉末和碎片。為檢修補或更換石材，
測試教堂結構工程團隊耗數月逐一
檢視教堂磚塊發出的「聲響」。。。



※ 建研所之研究成果**更新速實簡**：剪-壓波速比; 及其他**有溫度的關懷**！

https://today.line.me/TW/article/ee2WVn?utm_source=lineshare

1

簡報大綱



動機/目的

動機與目的

旨在建置RC建物「簡速型火害現場結構安全初勘評估方法/工具(含韌體)」(含地上建物、地下隧道)，研探保護層脆性(混凝土)、脆-延複合介面(混凝土+鋼筋、握裹)、受熱力-固力耦合作用引致之破壞特徵與傷損指標：

持續性：

- 脆性構材於熱力-固力耦合作用後，以裂縫開口變位 (COD) 作為加載系統之回饋訊號，求得完整之峰後單壓加載歷程。
- 再佐配主動 (體：超音波脈衝；表：導波)、被動 (聲射法) 之同步化、連續性、複合式音波探傷技術，並利用光學干涉之變形場量測技術，判識構材三項巨觀力學參數 (勁、強、韌度) 之變化與三項微觀破壞特徵 (叢聚、初裂、裂衍) 之演化，其中用以導波研析脆-延複合介面之握裹力傷損段的檢測與定位。
- 結合巨-微觀破壞力學，比對勘災現場，以簡速型非破壞量測正規化指標：剪-壓波速比(V_S/V_P)與導波特徵，研擬作為火害傷損資料庫、損害預測模型建置與現場判識應用。

新研用：

- 藉由上述之硬體與軟體之成果，研製可供火害現場結構材料火損初勘使用之探傷儀設之檢測系統韌體。



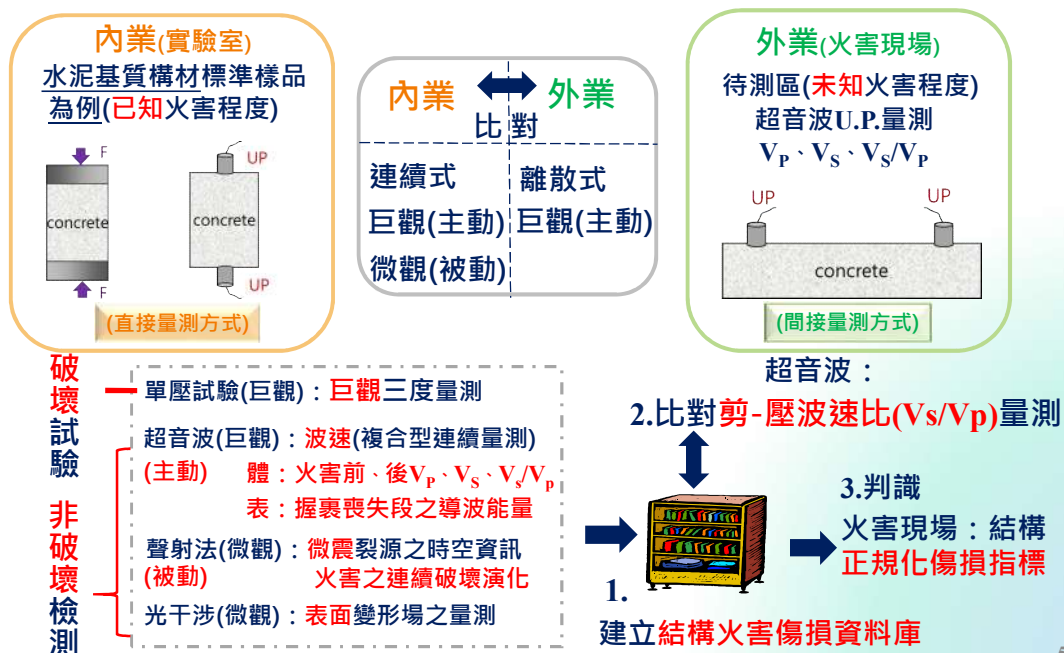
地上：建築物火災



地下：隧道火災

4

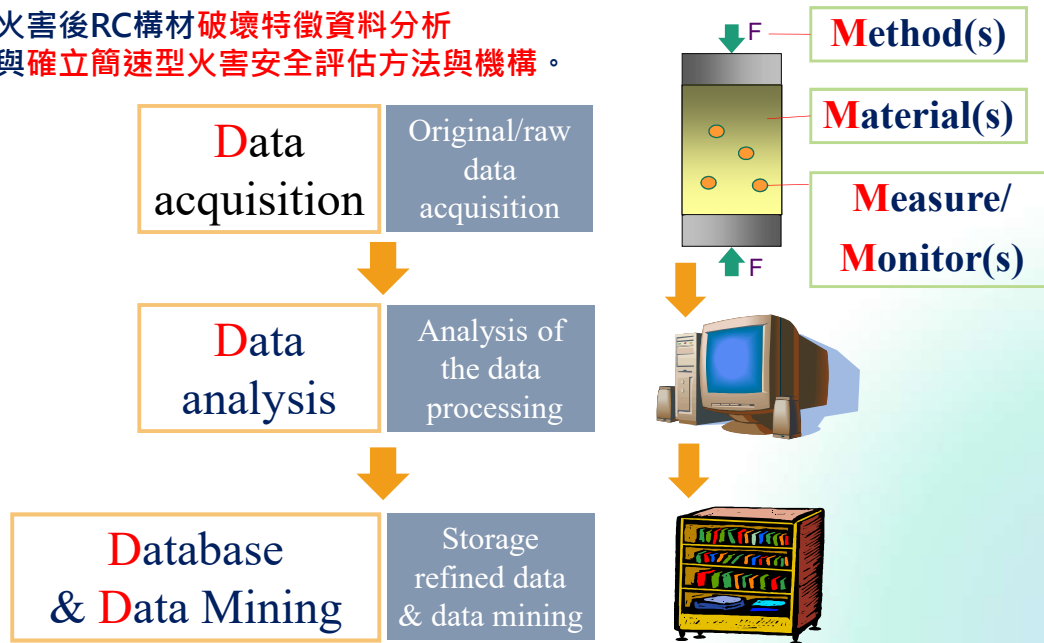
簡速型火害現場結構安全初勘評估方法/工具(含韌體)：水泥基質構材為例



5

建置火害破壞特徵資訊系統 (3M + 3D)

火害後RC構材破壞特徵資料分析
與確立簡速型火害安全評估方法與機構。



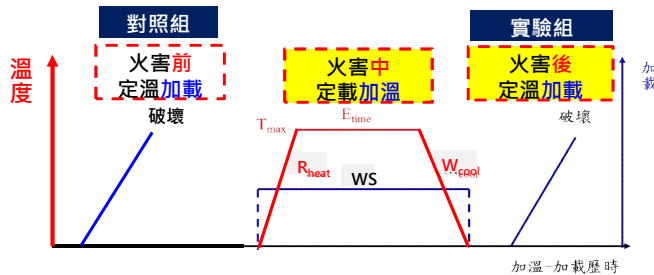
6

範圍/方法

7

熱-固耦合試驗

邊界條件



熱力

R_{heat} 升溫速率: $10\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$
 T_{max} 最高溫度: $25 \sim 600\text{ }^{\circ}\text{C}$
 t_e 持溫時間: 8 min
 W_{cool} 降溫方式: 室溫冷卻

固力

WS 工作應力比:
 $0, 0.3, 0.45$

- 工作應力比 = 加溫過程中耦合加載之定值壓應力與常溫破壞壓應力的比值
- Schneider (1988) 曾說明，邊界之升溫速率控制於 $10\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 以下對混凝土的熱損變化並不顯著。
- 混凝土結構設計規範: 附篇 G 「工作應力法」中規定，混凝土之容許應力不得超過下列之規定值：
 (1) 撓曲應力：最大纖維壓應力： $0.45 f_c'$ ；(2) 承壓應力： $0.3 f_c'$ 。

試驗儀設

M1 試驗材料：保護層(脆性)承壓材	
最大試驗材料尺寸	$4.5 \times 5 \times 12.5\text{ cm}$
M2 試驗設備一：上、下開孔高溫爐	
外部尺寸	$W70 \times H75 \times D60\text{ cm}$
內部尺寸	$W30 \times H35 \times D30\text{ cm}$
軸壓開孔尺寸	$\phi 15.3\text{ cm}$
加熱原理	碳化鎢(陶瓷)加熱
加熱條件	1. 升溫速率：最高 $55\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 2. 最高溫度： $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$

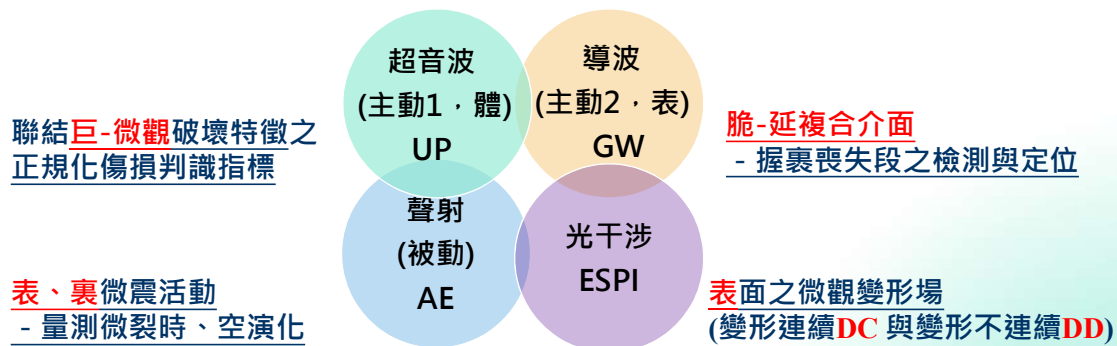


熱-固耦合試驗儀設

8

波基法 (Wave-based Method)

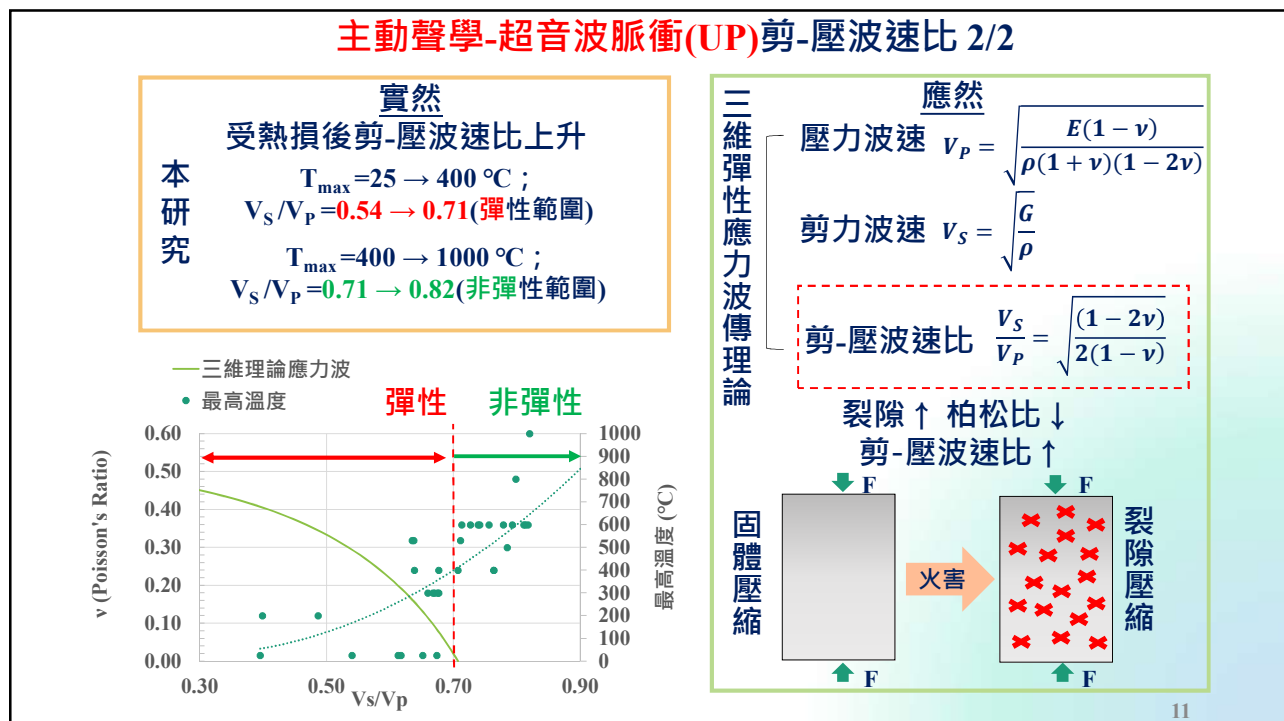
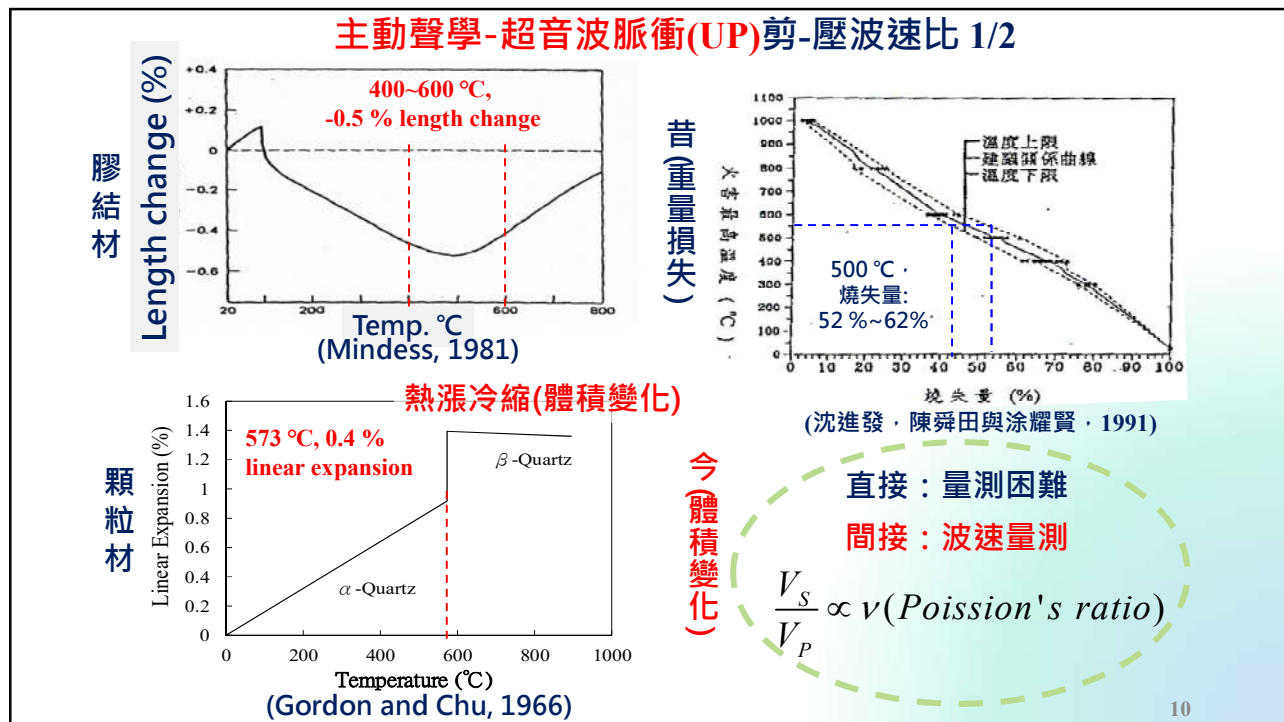
- 建置主、被動音波法 (UP、GW 與 AE)，佐配電子斑點干涉術 (ESPI) 檢測材料內、外部之巨-微觀尺度及複合介面破壞特徵，作為火害傷損之科學辨識。



- 並以簡速之主動音波為應用量測，建立正規化指標(剪-壓波速比， V_s/V_p)與導波特徵，定量判識構材之熱損程度。(註：體波: 剪力波 V_s 、壓力波 V_p)

超音波脈衝 (Ultrasonic Pulse, UP) 導波 (Guide Wave, GW) 聲射法 (Acoustic Emission, AE)
 電子斑紋干涉術 (Electronic Speckle Pattern Interferometry, ESPI)
 DC, Displacement Continuity. DD, Displacement Discontinuity

9



正規化複合式傷損指標



壓力波探頭 100 kHz

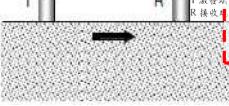


剪力波探頭 50 kHz

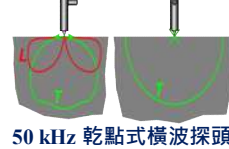
AI220M 乾點式超音波脈衝量測儀

內、外業之直、間接量測

外業(火害現場): 間接量測方式



探頭並排(量測S波):

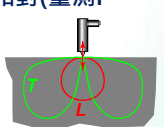


50 kHz 乾點式橫波探頭



剪、壓探頭校驗：
自滿足 (self-contained)

探頭相對(量測P波):

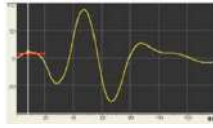


100 kHz 乾點式縱波探頭

註：T=剪力波 V_s ；L=壓力波 V_p



內業(實驗室): 直接量測方式

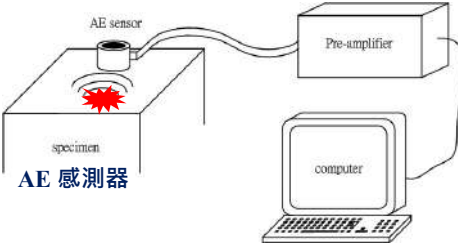
Raw data 擷取示意

外業(火害現場): 直接量測方式

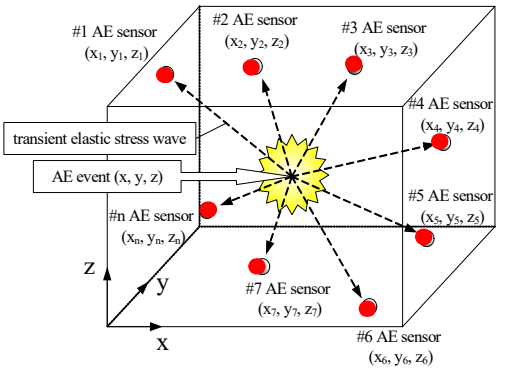


12

被動聲學-聲射法(AE)



AE 感測器



transient elastic stress wave

AE event (x, y, z)

#1 AE sensor (x₁, y₁, z₁)

#2 AE sensor (x₂, y₂, z₂)

#3 AE sensor (x₃, y₃, z₃)

#4 AE sensor (x₄, y₄, z₄)

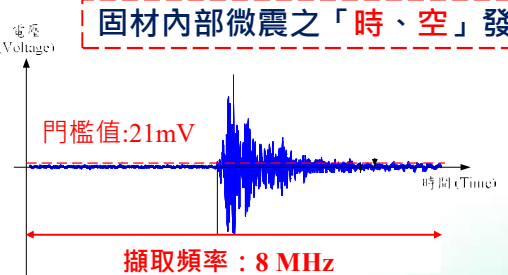
#5 AE sensor (x₅, y₅, z₅)

#6 AE sensor (x₆, y₆, z₆)

#7 AE sensor (x₇, y₇, z₇)

#n AE sensor (x_n, y_n, z_n)

固材內部微震之「時、空」發展



電壓 (Voltage)

門檻值: 21mV

時間 (Time)

擷取頻率: 8 MHz

定位: 到達時間差法

$$R_i = \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 + (z - z_i)^2}$$

$$R_i - R_1 = V_p \times \Delta t_i + \varepsilon_i$$

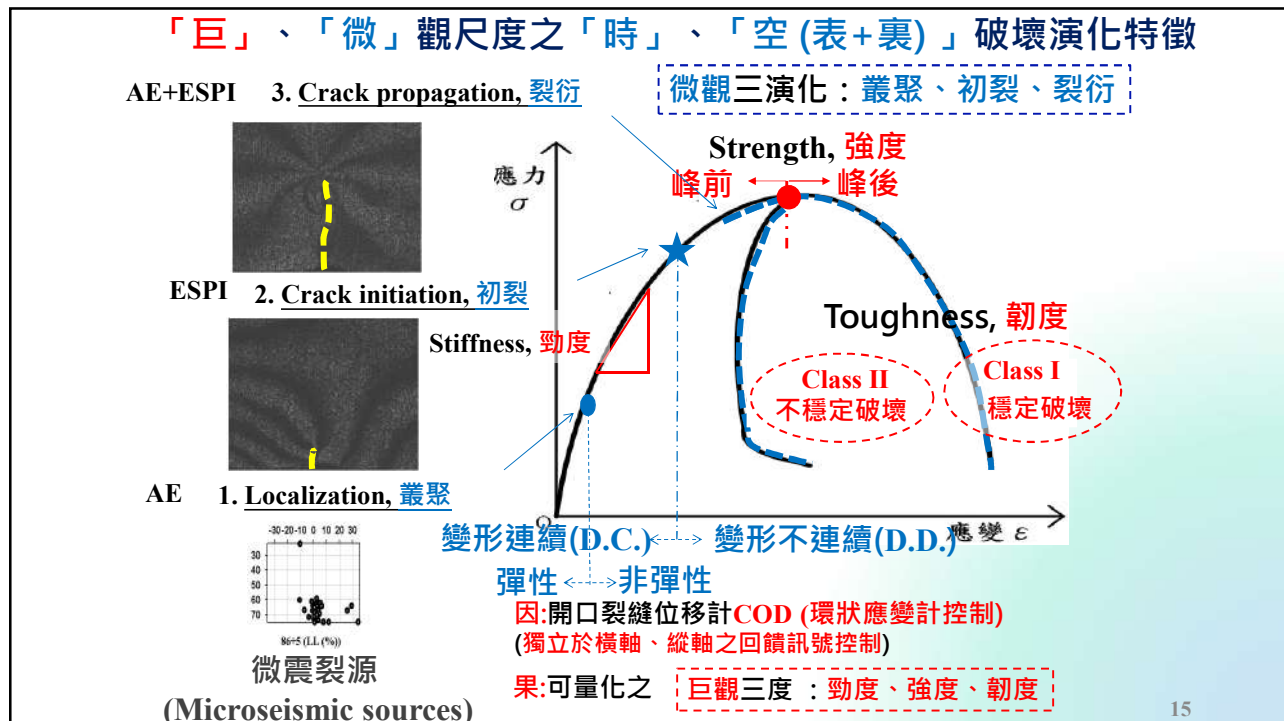
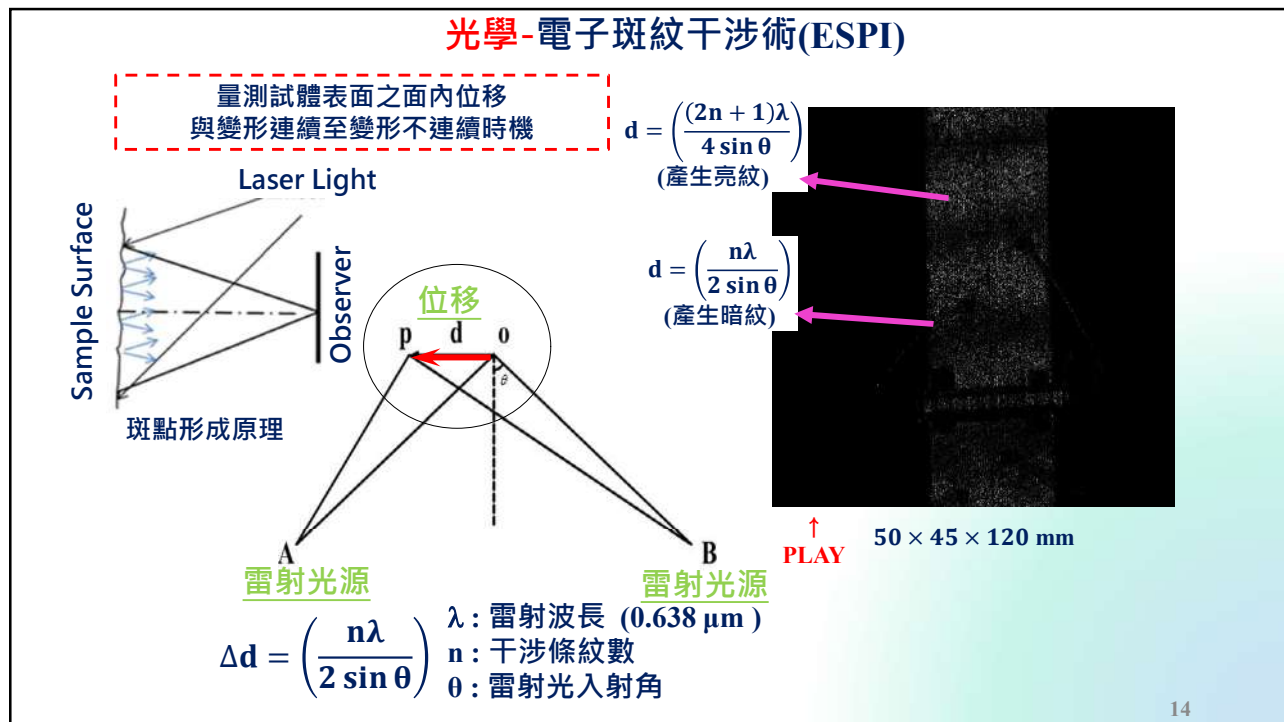
R_i 為 AE 事件至第 i 個感應器之距離

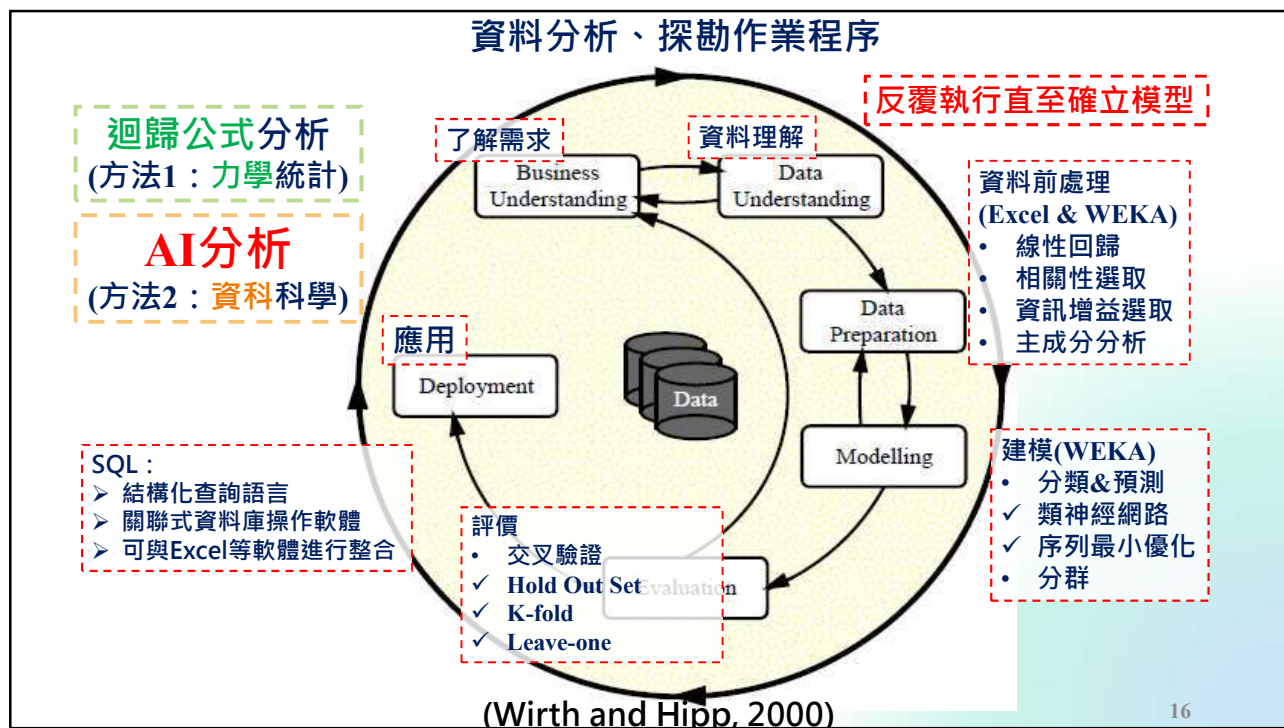
ε_i 為統計之殘差值

4 個未知數

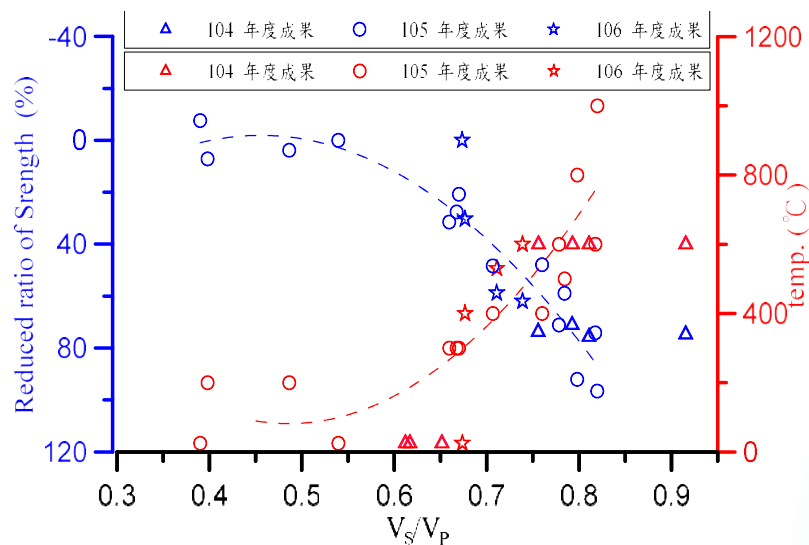
13

光學-電子斑紋干涉術(ESPI)





剪-壓波速比與前因 (火溫Tmax)、後果 (f_c' 折減率) 之關聯性



無耦合工作應力 (WS=0) 之例

查圖例：波速比=0.7
因→火害溫度=400 °C(消防)
果→強度折減=40 % (鑑定)
 與燒失量、碳化比對

- 火害首當其衝(表面)
- 力學折減明顯(短期)
- 結構物壽命減少(碳化、氯離子，長期)
- 脆-延複合介面之握裹損失

機器學習(AI資料方法)：波速作為指標之相關性

- ✓ 最高溫度與多個變數 → 高度相關。
- ✓ 最高溫度與初裂 → 高度相關。
- ✓ 以波速作為指標之相關性： V_S/V_P 、 ΔV_P 和 ΔV_S 、 V_P 和 V_S → 高度相關。

資料科學角度

內業
(20筆)

+

外業
(20筆)

+

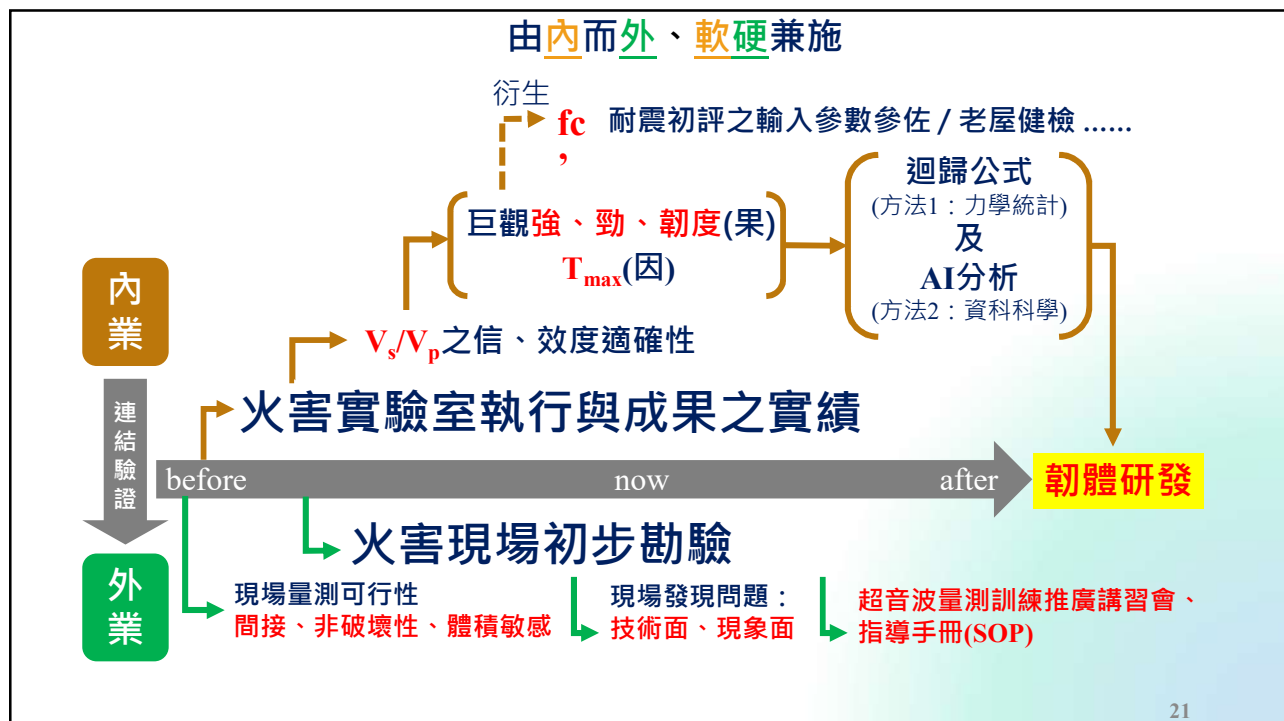
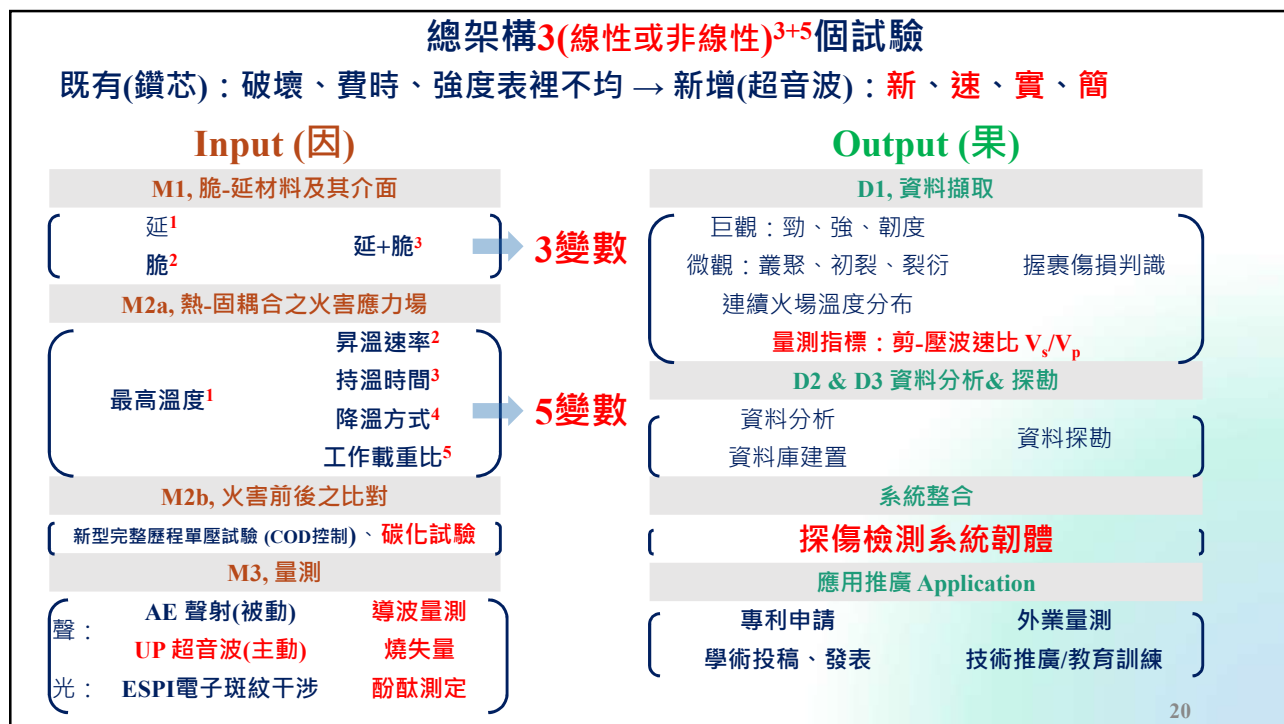
文獻回顧
(104筆)

	設計強度	升溫速率	最高溫度	持溫時間	工作載重比
V_P	0.13	--	-0.91	-0.51	0.32
V_S	0.08	--	-0.81	-0.66	0.48
V_S/V_P	-0.14	--	0.78	0.21	-0.02
ΔV_P	0.15	--	-0.93	-0.49	0.46
ΔV_S	0.26	--	-0.87	-0.66	0.60
$\Delta V_S/\Delta V_P$	-0.12	--	0.34	0.06	-0.16
勁度	0.26	--	-0.83	-0.59	0.38
勁度殘餘比率	0.06	0.23	-0.85	-0.59	0.38
強度	0.54	0.19	-0.63	-0.55	0.08
強度殘餘比率	-0.14	0.18	-0.80	-0.55	0.37
峰前韌度	0.39	--	-0.69	-0.52	0.31
峰前減峰後韌度	-0.15	--	0.68	0.43	-0.18
峰後韌度	0.26	--	-0.72	-0.37	0.28
叢聚	0.45	--	-0.55	-0.57	0.26
初裂	--	--	-0.99	-0.40	--

18

持續研發與新創

19



研究新創與習見技術比對(1/4)

燒失量：傳統短期評估

碳化：長期評估

22

1.內業資料擴充試驗：燒失量試驗推估短期火損因果(1/2)

(Loss on ignition, LOI)

燒失量-試驗步驟

取樣於試體表面之水泥砂漿



試樣各取10g，放入坩鍋中，秤其重為W₂₅



105 °C烘乾24小時後待冷卻秤其重量為W₁₀₅



升溫至1007 °C並至少保持8小時後待冷卻並秤其重量為W₁₀₀₇



計算燒失量



試樣備製

$$\text{燒失量 (LOI)} \equiv \frac{W_{105} - W_{1007}}{W_{1007}} (\%)$$

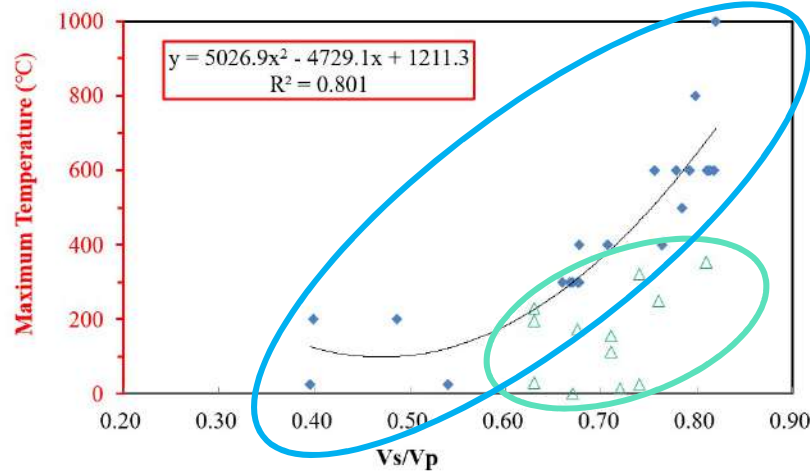
(陳舜田，1999，建築物火害後及災後安全評估法)

23

1.內業資料擴充試驗：燒失量試驗推估短期火損因果(2/2)

- 以燒失量推求火害最高溫度：低估

◆ Vs/Vp推求火害最高溫度 △ 燒失量推估火害最高溫度



(本研究整理)

24

2.內業資料擴充試驗：碳化試驗推估RC長期火損壽命(1/3)

(Carbonization)

受溫損傷試體製備

↓
超音波量測

↓
試體置入加壓桶並灌入二氧化碳

↓
超音波量測

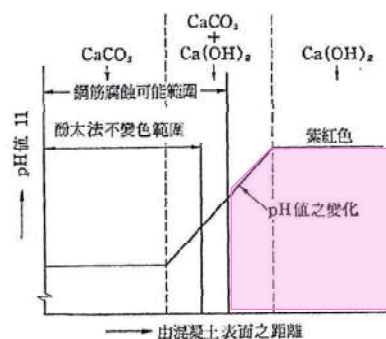
↓
將試體剖半

↓
酚酞試驗：
70g濃度95%乙醇
+
酚酞指示劑製成1%水溶液

二氧化碳濃度：100%
壓力：15 kgf/cm²



600°C 25°C



酚酞試驗原理 (RILEM CPC-18)



加壓桶

25

2.內業資料擴充試驗：碳化試驗推估RC長期火損壽命(2/3)

常溫及受600 °C火害之混凝土試體(高壓碳化三天)

於試體邊量測八個點位求取平均碳化深度

殘餘壽命預測公式：

$$d_k = k\sqrt{t}$$

$d_k(mm)$ ：碳化深度

k ：0.467(莊育泰·2012)

$t(年)$ ：時間

C03-025-1



碳化深度 $d_k = 0\text{ mm}$

C03-600-1



碳化深度 $d_k = 4\text{ mm}$

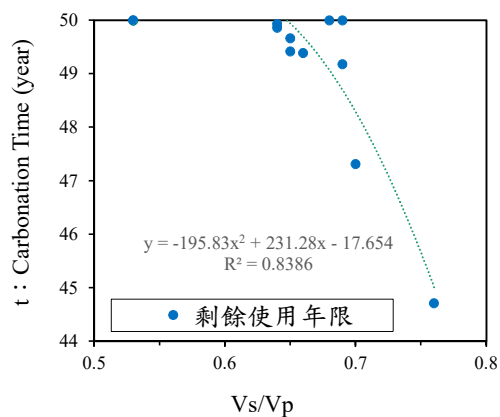
(本研究整理)

26

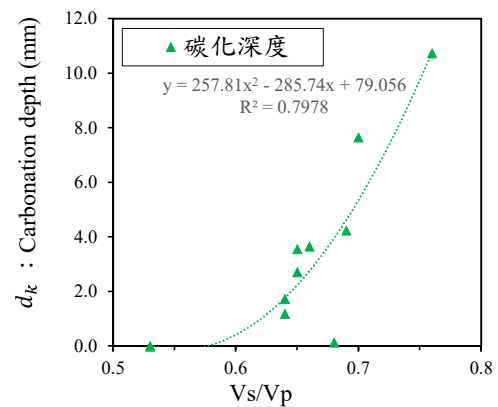
2.內業資料擴充試驗：碳化試驗推估RC長期火損壽命(3/3)

- 推估材料暴露於環境之時間(已使用時間)
- 以設計年限(50年)相減計算建材剩餘使用年限

剪-壓波速比與剩餘使用年限關係



剪-壓波速比與碳化深度關係



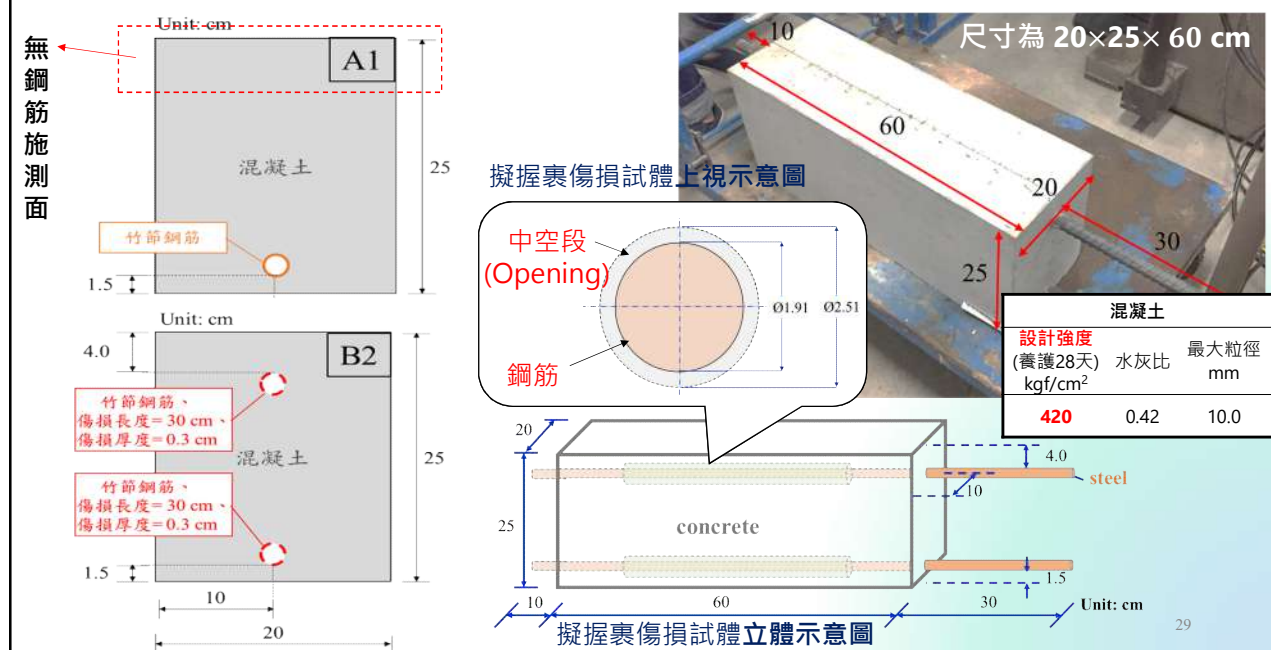
27

持續創新技術(2/4)

表面波：延+脆鋼筋混凝土判識

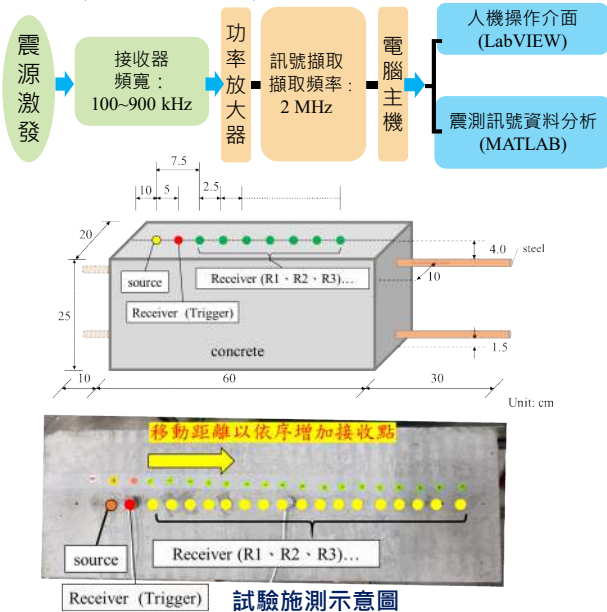
28

1.內業資料擴充試驗：導波量測試驗之試驗試體(1/6)



1.內業資料擴充試驗：導波量測試驗之量測系統(2/6)

欲探討頻率段：50 ~ 150 kHz
(Sharma, et al., 2010)



試驗'收'與'發'之儀器

震源種類

敲擊鋼珠球
直徑(mm)：7



接收器種類

壓電式寬頻差分感測器WD
頻寬(kHz)：
100~900



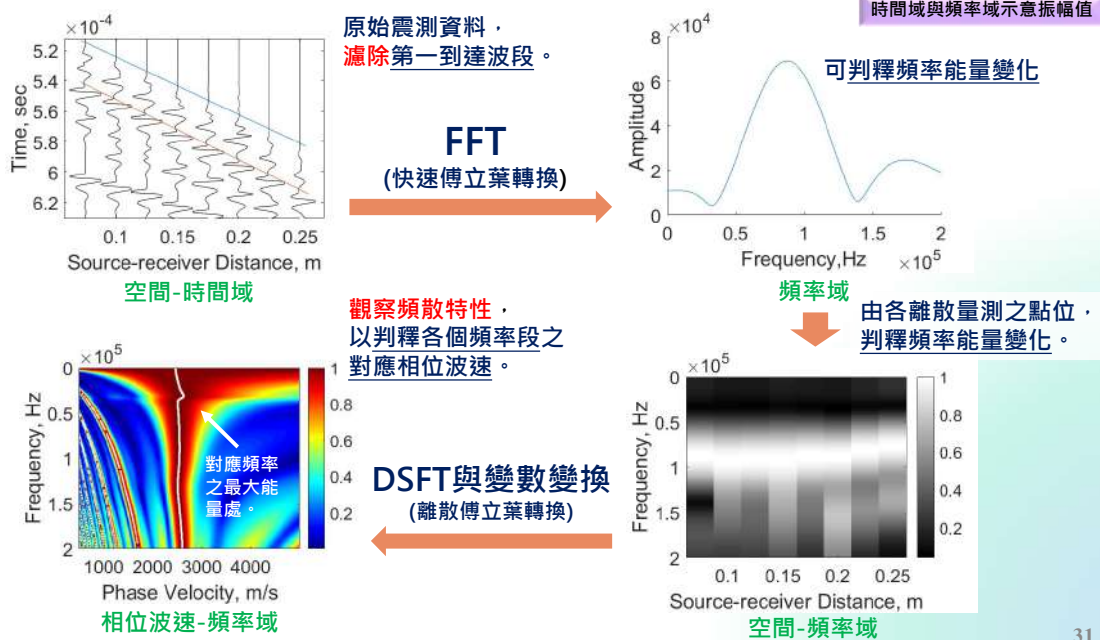
耦合材

蜜蠟



30

1.內業資料擴充試驗：導波量測試驗之分析圖片說明(3/6)

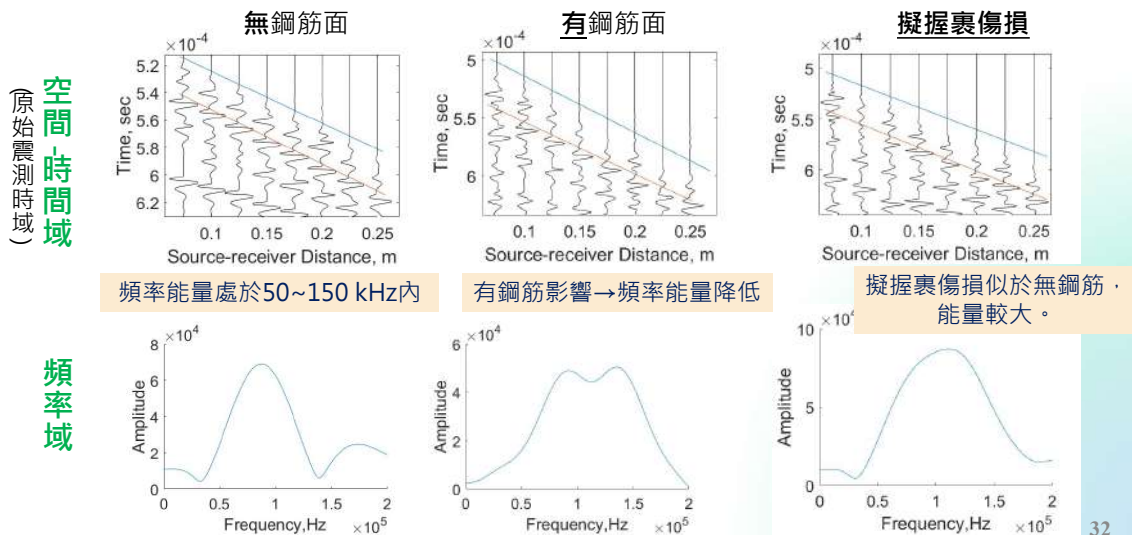


31

1.內業資料擴充試驗：導波量測試驗之震測結果(4/6)

✓ 震測結果可分析至接收器距震源 **7.5 ~ 25 cm**

設計強度(kgf/cm ²)	$f'c' = 420$	傷損厚度 (cm)	$C_t = 0.3$
鋼筋直徑 (cm)	$d_{bar} = 1.91$	傷損長度 (cm)	$C_l = 30$
保護層厚度 (cm)	$c = 4$		

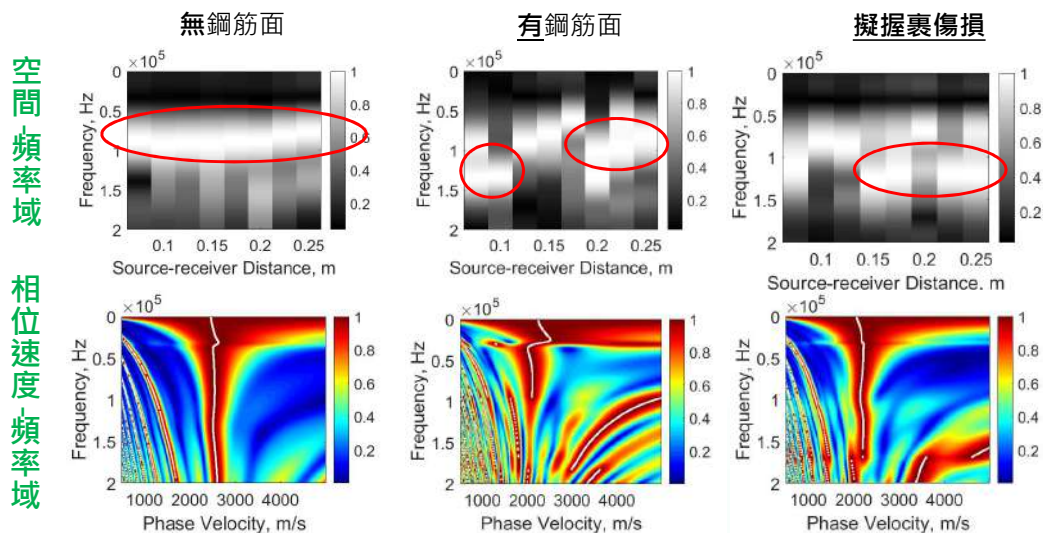


32

1.內業資料擴充試驗：導波量測試驗之震測結果(5/6)

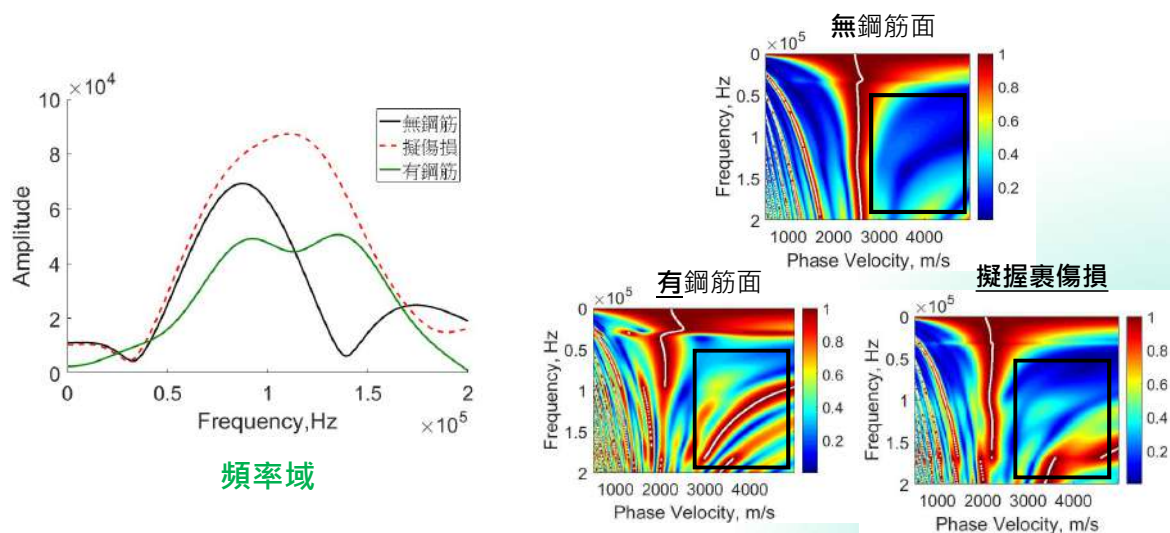
✓ 震測結果可分析至接收器距震源 **7.5 ~ 25 cm**

設計強度(kgf/cm ²)	$f'c' = 420$	傷損厚度 (cm)	$C_t = 0.3$
鋼筋直徑 (cm)	$d_{bar} = 1.91$	傷損長度 (cm)	$C_l = 30$
保護層厚度 (cm)	$c = 4$		



33

1.內業資料擴充試驗：導波量測試驗之震測結果(6/6)



34

成果驗效(3/4)

內、外業之信、效度驗證

外業現場調查

35

1.內業資料擴充試驗：內業(實驗室)直接量測方式之效度驗證(1/5)

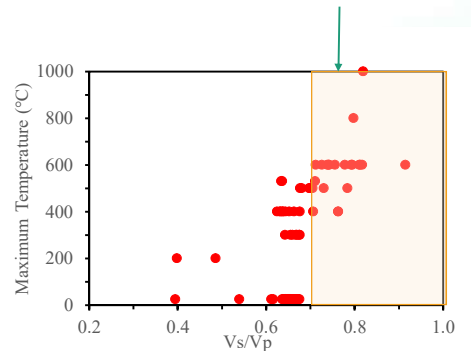
大綱

根據理論值與文獻資料，試驗結果之界線值整理

彈性理論解	unit	彈性變形		非彈性變形
		下限值 lower value	上限值 upper value	臨界值 critical value
ν (混凝土)	-	0.15	0.28	NA
V_s/V_p	-	0.55	0.7	> 0.7
T_{max}	°C	25	600	> 600
$\Delta f c'$	%	0	40	> 40

ν ：柏松比； V_s/V_p ：剪-壓波速比指標；
 T_{max} ：火害最高溫度
 $\Delta f c'$ ：強度折減率 (柯志揚，2016)

- 400 °C，膠結材脫水分解
- 500°C時氫氧化鈣開始產生分解
- 605°C時碳酸鈣開始分解
- **600 °C以上，大於臨界值 0.7**



36

1.內業資料擴充試驗：內業(實驗室)直接量測方式之效度驗證(2/5)

- 礦物之剪-壓波速比
- 文獻：Rock Classification, p.35-37

理論解公式：

$$\frac{V_s}{V_p} = \sqrt{\frac{1-2\nu}{2(1-\nu)}}$$

礦物 V_s/V_p 範圍：	
<0.6	無裂縫
0.6-0.7	微裂縫
>0.7	裂縫

礦物種類		Young's Modulus E		Poisson's Ratio ν	實測		理論解	實驗解	
		10 ⁵ bar	GPa		Longitudinal Velocity V_p km/sec	Transverse Velocity V_s km/sec	V_s/V_p	V_s/V_p	
石英	quartz	9.6	96	0.08	6.0	4.1	0.62	0.68	Max
正長石	orthoclase	6.7	67	0.27	5.7	3.3	0.41	0.58	
斜長石	plagioclase	8.1	81	0.28	6.3	3.5	0.40	0.56	
黑雲母	biotite	7.0	70	0.25	5.1	3.0	0.43	0.59	min
方解石	calcite	8.1	81	0.30	6.7	3.4	0.37	0.51	
白雲母	muscovite	7.9	79	0.25	5.8	3.4	0.43	0.59	
閃石	amphibole	12.9	129	0.28	7.2	4.0	0.40	0.56	
輝石	pyroxene	14.4	144	0.24	7.2	4.2	0.44	0.58	
橄欖石	olivine	20.0	200	0.24	8.4	5.2	0.44	0.62	
磁石	magnetite	23.1	231	0.26	7.4	4.2	0.42	0.57	

37

1.內業資料擴充試驗：內業(實驗室)直接量測方式之效度驗證(3/5)

柏松比(ν 值)與波速之關係 (黃兆龍, 2007, 混凝土性質與行為)

本試驗

$$f_c' = 420 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\text{推估: } \nu = 0.22 \quad \frac{V_s}{V_p} = 0.6$$

- 理論彈性範圍之柏松比 $\nu = 0.33$
- 塑性範圍之柏松比 $\nu = 0.5$

✓ 多孔隙一般混凝土：0.15-0.2

✓ 一般高強度混凝土：0.2-0.28

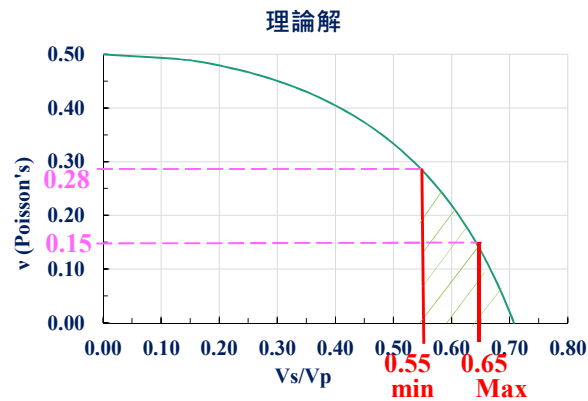
- 關係公式：

$$\nu = 0.135(f_c')^{0.13}$$

式中, f_c' 之單位: MPa

- 三維之彈性波傳理論：

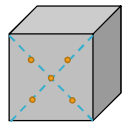
$$\frac{V_s}{V_p} = \sqrt{\frac{1-2\nu}{2(1-\nu)}}$$



38

1.內業資料擴充試驗：內業(實驗室)直接量測方式之信度驗證(4/5)

- 儀器誤差
- 人為誤差



● 量測點位

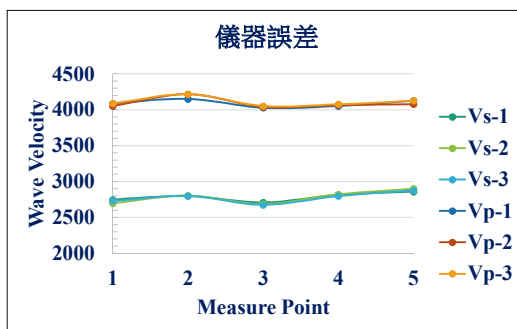
25 °C 混凝土試體

$$f_c' = 420 \text{ kgf/cm}^2$$

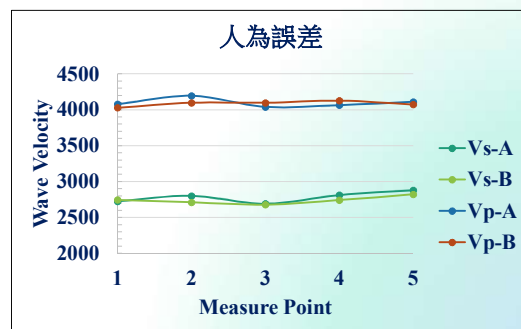
量測距離：13.5 cm

常溫混凝土試體畫取五個點位
每個點量測三次

由不同量測人員畫取五個點位
每個點量測三次取平均



(本研究整理)



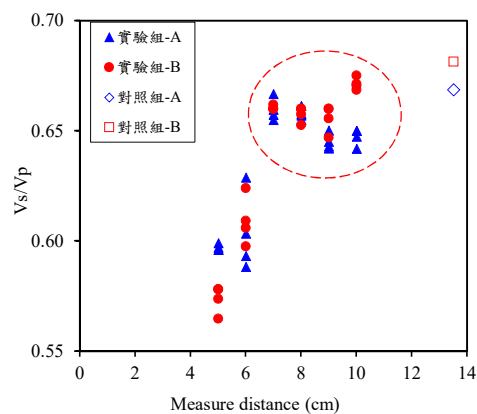
(本研究整理)

39

1.內業資料擴充試驗：外業(火害現場)間接量測方式之效度驗證(5/5)

- 以不同量測間距，量測間接量測之效度
- 量測效度： $\pm 10\%$ → 外業操作指南之建議間接量測距離：6-10 cm
- 效度： $(\text{對照}-\text{實驗})/\text{對照} \times 100\%$

人	d (cm)	Vs (m/s)	Vp (m/s)	Vs/Vp	效度 %
A	10	2762	4273	0.65	95.3
	9	2655	4117	0.65	95.0
	8	2583	3928	0.66	96.8
	7	2500	3791	0.66	97.1
	6	2532	4141	0.61	90.1
	10	2778	4138	0.67	99.6
B	9	2660	4135	0.64	95.9
	8	2595	4020	0.65	96.2
	7	2539	3798	0.67	99.0
	6	2550	4187	0.61	90.8



(本研究整理)

40

2.外業現場量測可行性評估：案例一文獻 (直接、破壞性、燒失”重量”易測 惟信度...)

火災日期：105年2月

$$IL = \frac{W_{105} - W_{1007}}{W_{1007}} \times 100\%$$

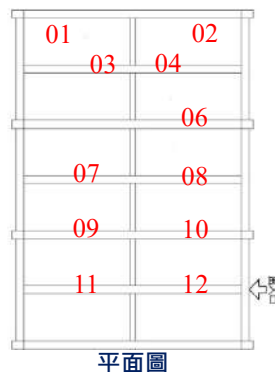
W₁₀₅：試體以 105°C 烘乾24小時，稱其重量W₁₀₀₇：試體以 1007°C 持溫8小時，冷卻後稱其重量。

- ◆ 燒失量精確性不佳
- ◆ 燒失量母材取樣位置不妥
恐導致溫度與抗壓強度 無明顯關係

依混凝土燒失量推估之火害溫度
與 C 型鋼傷損程度待商榷！



現場C型鋼扭曲情形



試體編號	推估火害溫度 (°C)	抗壓強度 (kgf/cm ²)
02	175	229.0
03	163	327.7
04	126	394.9
05	119	308.8
07	85	287.8
10	79	366.7
12	-	360.7

41

2.外業現場量測可行性評估：案例二 塑料工廠大火延燒16小時 (現場量測可行性間接、非破壞、體積敏感)

初勘量測調查

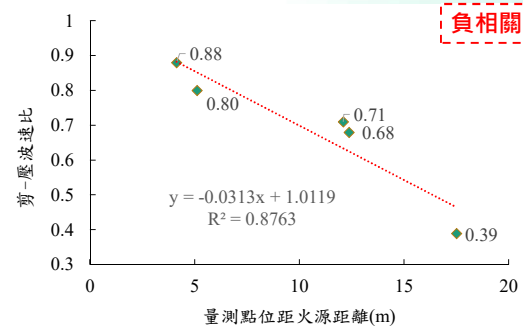
地點：新北市某工業廠房

起火處：四樓之中央處

「新」、「簡」、「速」、「實」？
→ 持續新增外業調查
更能解析構材受燒歷程
可供消防火調參佐!!!



方法	既有消防火災鑑識	剪-壓波速比
屬性		
材料	非結構性 (有機高分子)	結構性
分析	化性	物性
熱傳特性	較快速	較緩慢



負相關

42

初勘視察

2.外業現場量測可行性評估：案例三 (現象面問題)

地點：台北市大安區某公寓私宅

結構：RC混凝土結構

起火處：六樓

調查時間：7月初勘視察

火害傷損 → 結構損害

相關資訊 → 公開？查詢？

死亡事件 → 心理層面

相關資訊 → 可快速查詢

◎ 火宅問題

近年來房地產買賣房屋是熱門的理財工具之一，卻有不當賣家為提高房價，隱瞞房屋曾發生之事故，政府對於抵制非經紀業而經營仲介或代銷業務者，於2015年10月1日提出“內政部新版「不動產說明書應記載及不得記載事項」，即日起賣屋須強制記載是否為凶宅”。

(資料來源：住商不動產)

顯著裂縫 → 結構損害嚴重 → 居安疑慮 → 結構鑑定？



資料來源：聯合新聞網



本研究整理



本研究整理

43

2.外業現場量測可行性評估：案例四

初勘視察

地點：台北市大安區某公寓

結構：RC混凝土結構

起火處：四樓頂樓加蓋

調查時間：9/28、10/26

有火害
VS.
無火害

直接量測
VS.
間接量測

儀器A1220
VS.
儀器UK1401

剪-壓
波速比推估
VS.
燒失量推估



量測之受火害懸臂梁



頂樓受到隔壁鄰房引起之火災延燒

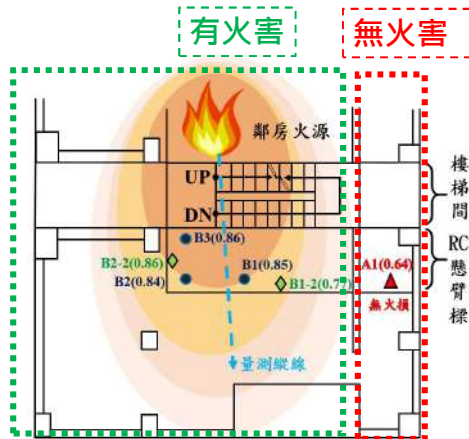


牆壁與鋼架已被燒稱焦黑
(天花板已施工更新)

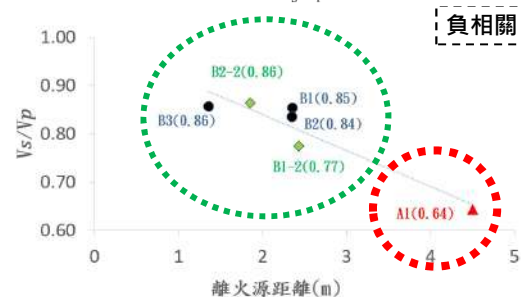
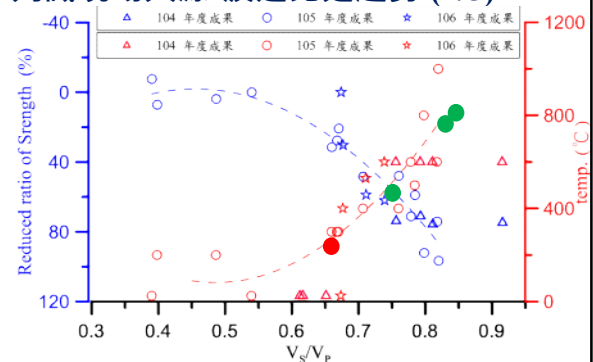
44

2.外業現場量測可行性評估案例四：判識現場火源-波速比之趨勢 (1/5)

有火害
VS.
無火害



- 鄰房火源(頂樓)
 - 受火損之鑽芯點位
 - 起火後向外擴散之火
 - 無火損之鑽心點位
 - 受火損之其他點位
- (本研究整理)



2.外業現場量測可行性評估案例四： 從表(間接)到裡(直接)受火害之混凝土信度比較(2/5)

間
接
量
測
VS.
直
接
量
測

點位		B1	B2	B3	平均值
間 接 量 測	$V_p(m/s)$	2102.10	2448.98	2431.61	2327.56
	$V_s(m/s)$	1794.87	2047.78	2083.33	1975.33
	V_s/V_p	0.85	0.84	0.86	0.85
直 接 量 測	$V_p(m/s)$	3377.76	3437.50	2809.71	3407.63
	$V_s(m/s)$	2972.97	2910.05	2558.14	2941.51
	V_s/V_p	0.88	0.85	0.91	0.86
信度(%)		2.99	1.24	5.90	3.38



表
間接量測



裡
直接量測



鑽芯試體

46

4.外業現場量測可行性評估案例四： 儀器A1220 與 儀器UK1401信度比較(3/5)

儀器
A1220
VS.
儀器
UK1401

點位	儀器	$V_p(m/s)$	$V_s(m/s)$	V_s/V_p	信度(%)
B2	A1220	2448.98	2047.78	0.836	
	UK1401	2005.01	2611.98	0.767	8.93
	UK1401	2553.87	3183.02	0.802	4.22
B3	A1220	2431.61	2083.33	0.856	
	UK1401	2072.53	2617.23	0.791	8.19
	UK1401	3084.04	3526.81	0.874	2.02

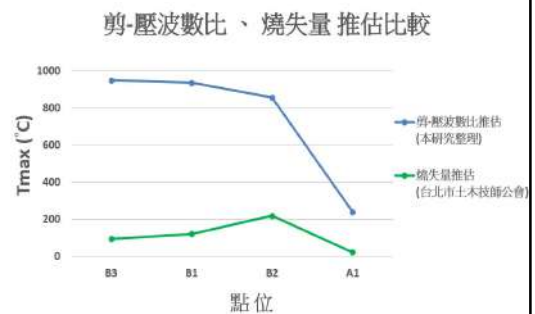


47

4.外業現場量測可行性評估案例四： 剪-壓波數比、燒失量 推估比較 (4/5)

剪-壓 波速比 推估 VS. 燒失量 推估	有無火害		有			無
	點位		B1	B2	B3	A1
	剪-壓 波速比 推估	Vp(m/s)	2102.10	2448.98	2431.61	3478.26
		Vs(m/s)	1794.87	2047.78	2083.33	2240.90
		Vs/Vp	0.85	0.84	0.86	0.64
		Tmax (°C)	937.17	857.61	950.72	242.36
	燒失量 推估	燒失量	13.16	11.68	13.56	15
		正規化 燒失量	87.7	77.89	90.38	-
		Tmax (°C)	123.0	221.0	96.0	25

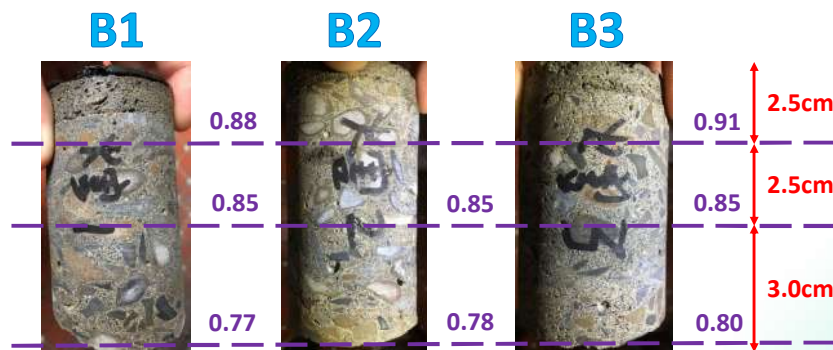
燒失量資料來源：台北市土木技師公會



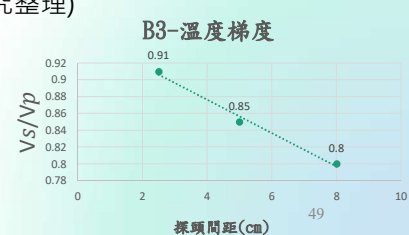
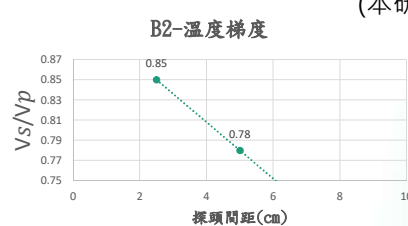
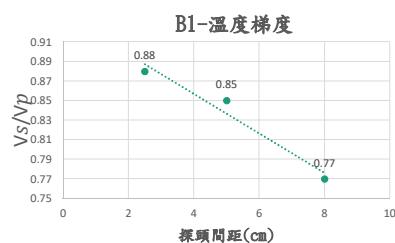
近 ← 離火源距離 → 遠

48

4.外業現場量測可行性評估案例四：直接量測Vs/Vp與深度關係(溫度梯度)(5/5)



(本研究整理)



49

研究成果(4/4)

韌體 研發及應用

50

1.火害探傷檢測系統韌體功能設計(1/8)

功能效益

本年度：

1. 簡速可攜式量測儀。
2. 簡易操作之資訊參數輸入介面。
3. 以工程統計回歸之公式進行現場量測之資料分析，以達內-外業連結。
4. 可儲存原始數據與報表匯出。

未來：

1. 可導入長距離網路傳輸技術LoRa，或NB-IoT (Narrow Band) 以建立無線感測之物聯網 (IoT)。
2. 雲端系統接收彙整多方使用者(端)之量測數據，擴增構材火損資料庫。
3. 以資料庫系統管理大數據之人工智能分析。

※潛在：

導波量測導入與後續進一步蒐整氯離子(單一因子); 及與碳化耦合因子之RC構造服務壽命推估, 含"住"與"行"(橋梁)。

研發進程



51

1. 火害探傷檢測系統軟體功能設計

輸入資訊 (Input)

一般資訊：基本之**人**(人員)、**事**(火場描述)、**時**(調查日期、時間)、**地**(現場地點)、以及調查之火損構件類別(梁、柱、板、牆等)、量測之樓層、座標。

量測資訊：壓力波 (V_p)、剪力波 (V_s)、剪-壓波速比 (V_s / V_p)、構件強度。

執行分析 (Execution)

藉由大量資料之數據處理與分析，與統整、蒐集火害破壞特徵資料，以**工程統計回歸之公式**進行現場量測之系統資料分析。

輸出資料 (Output)

分析資料：**強度折減比率** (f'_c)、**勁度折減比率** (E_r)、**韌度折減比率** (T_r)。

藉由上述之輸入資訊與執行分析，可得知基本之**一般建物資訊**、**火災資訊**、**視勘調查資料**，及**量測資料**所輸出之資料報告等。



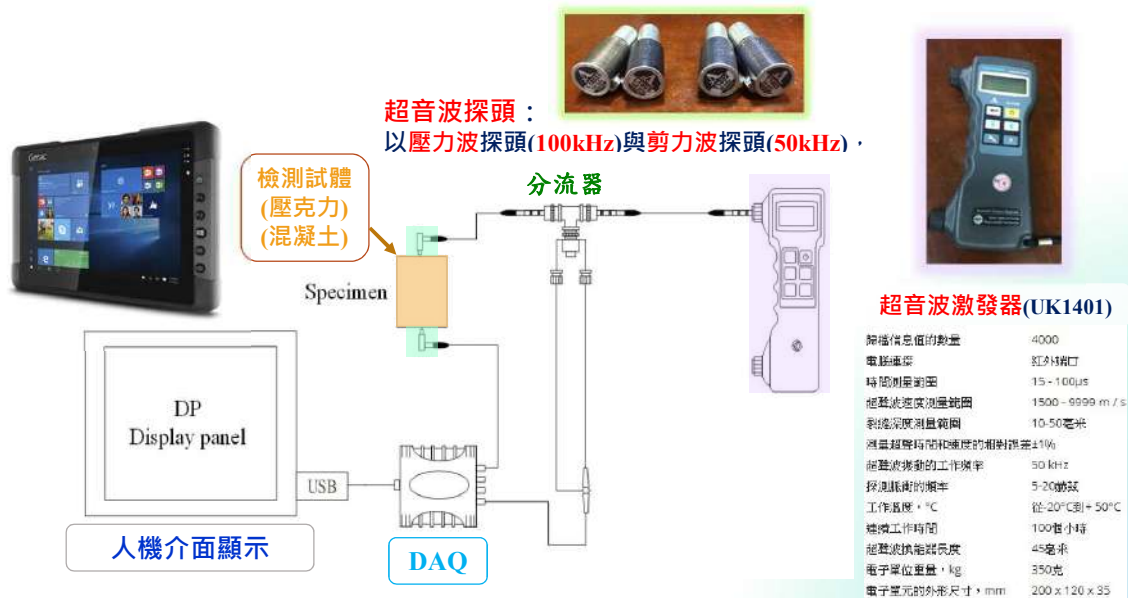
人機介面顯示



壓力、剪力波探頭

52

2. 火害探傷檢測系統軟體I型：硬體整合(1/2)



53

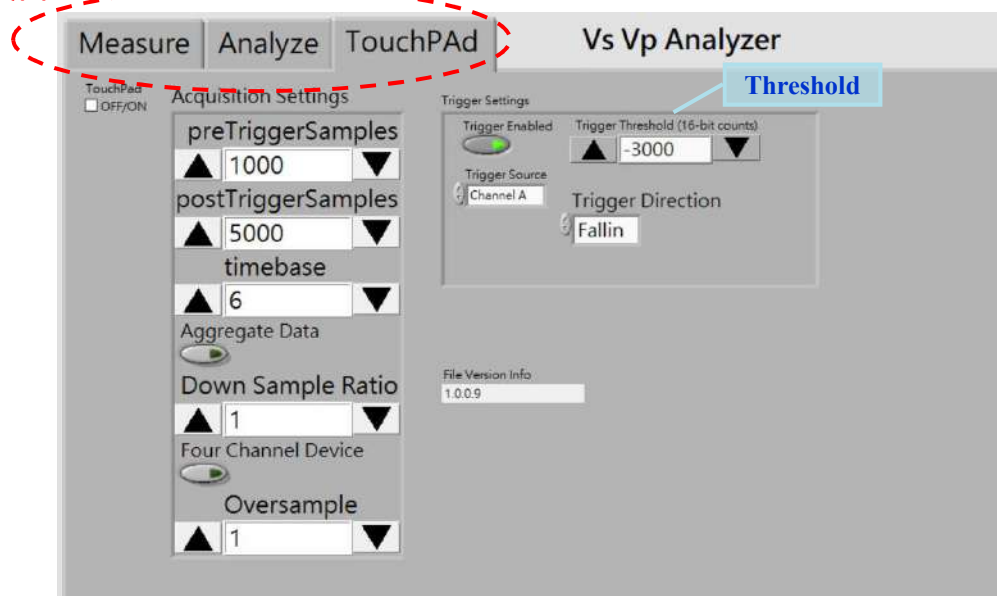
2. 火害探傷檢測系統韌體I型：硬體整合 (2/2)



54

3. 火害探傷檢測系統韌體 I 型：操作介面 (1/4)

操作頁面



55

3. 火害探傷檢測系統韌體 I 型：操作介面 (2/4)

案發日期	案發地點(縣、市)	調查日期
107/09/06	台北市	107/09/28
案發時間	案發地點(鄉、鎮、市、區)	調查時間
16:48	大安區	14:00
延燒時間	安發樓層	現場負責人
1hr	4樓(頂樓加蓋)	曾國昌技師
傷亡人數	起火源類別	操作人員
0 人	鄰房起火延燒	黃仁佑
	火害範圍	
	4樓(頂樓加蓋)	
	結構類型	
	鋼筋混凝土建物	

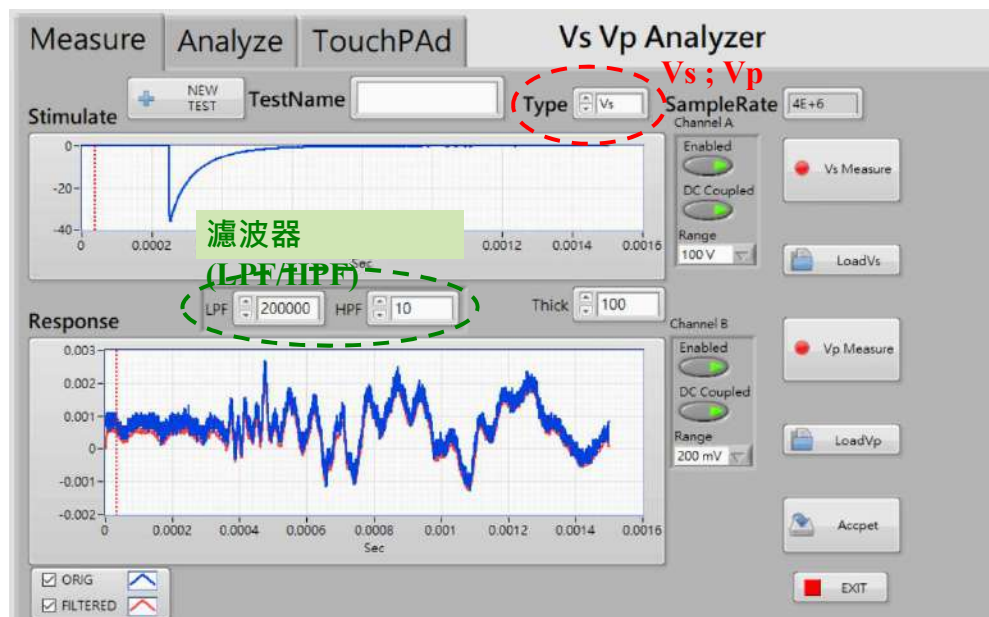
(以外業現場量測案例四填表)

56

3. 火害探傷檢測系統韌體 I 型：操作介面 (3/4)

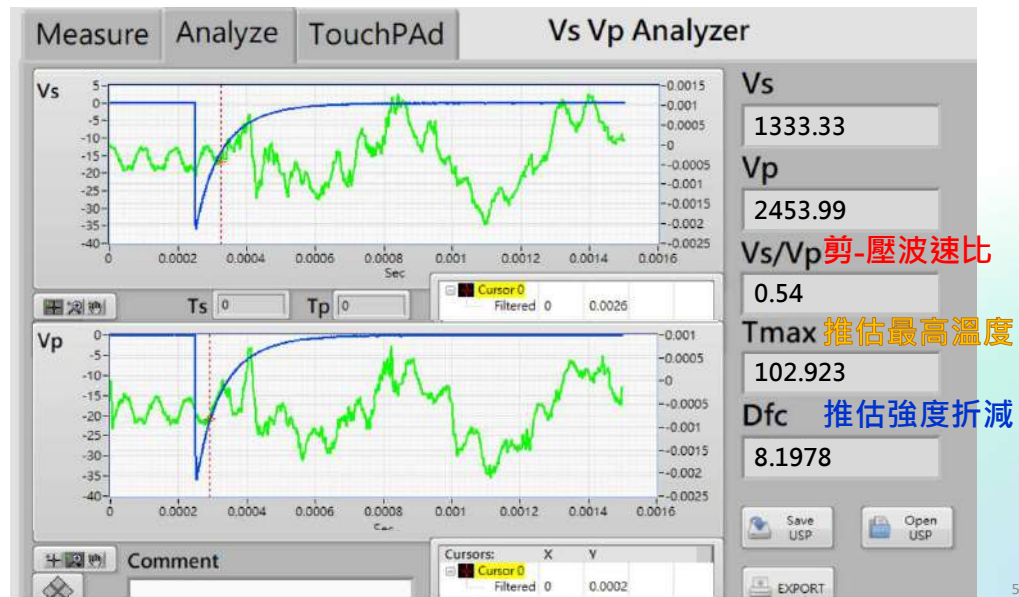
激發波形

接收波形



57

3. 火害探傷檢測系統韌體 I 型：操作介面 (4/4)



4. 火害探傷檢測系統韌體 I 型：現場操作錄影 (視聽媒體操作SOP)

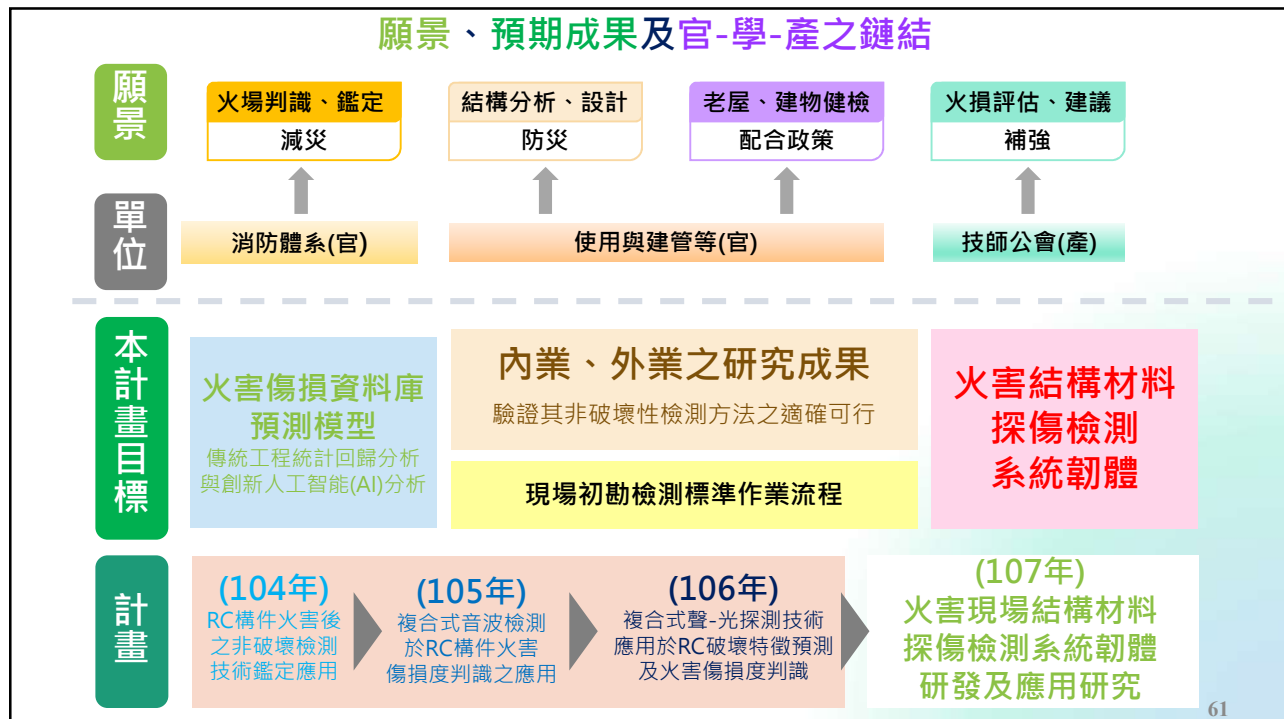
外業調查 案例四 為例

韌體第 I 型 測試開始

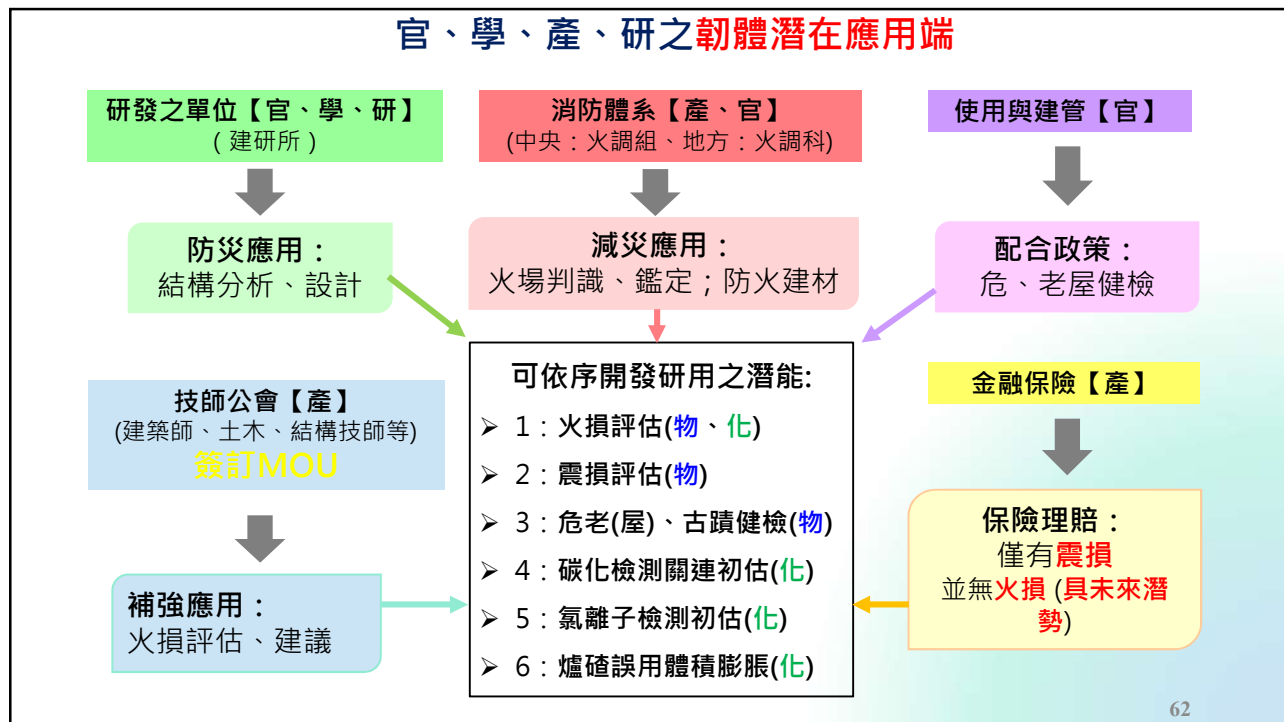
使用威力導演編輯

產官學介接/推廣應用

60



官、學、產、研之韌體潛在應用端



better technologies for a better life