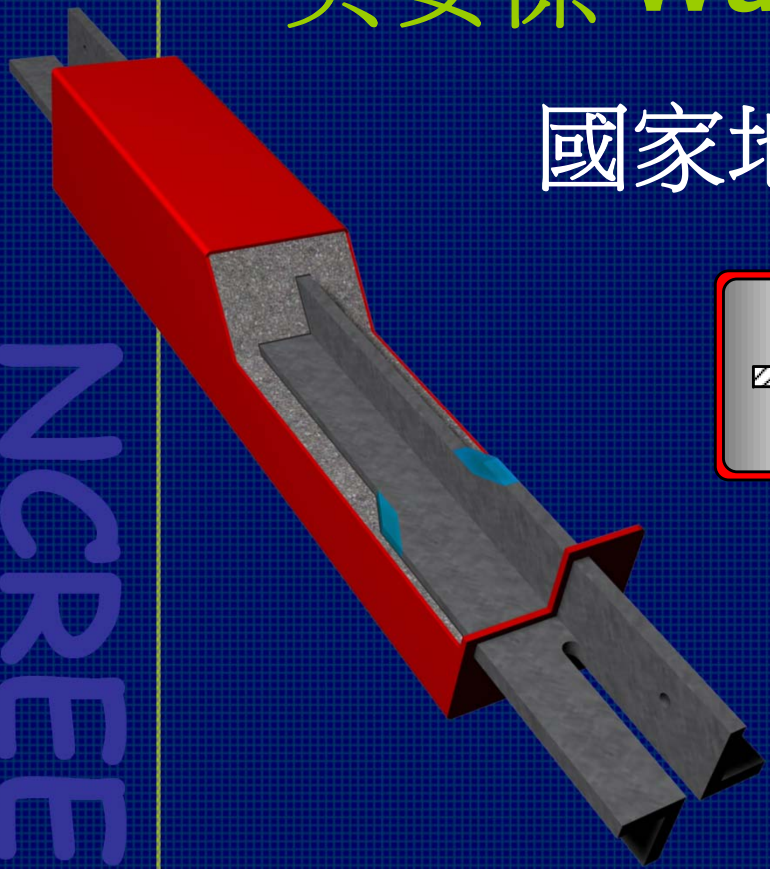
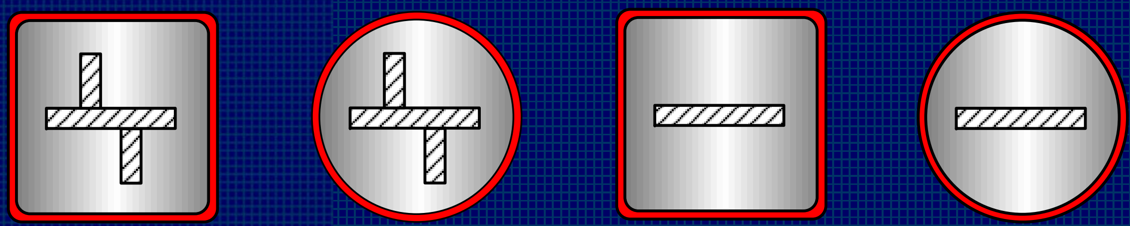
槽接式與薄型化
挫屈束制支撐性能表現

吳安傑 **Wu An-Chien**

國家地震工程研究中心 **(NCREE)**



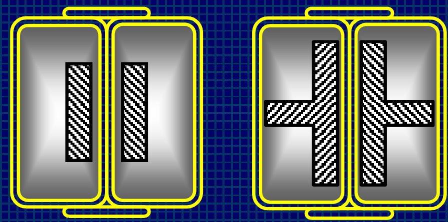


槽接式挫屈束制支撐
應用技術提升研討會

2013, 國家地震工程研究中心**,** 台北市

應用案例統計

新建及補強工程包括：



◎ 辦公大樓、企業總部

◎ 醫院、體育館、寺廟

◎ 高科技廠房、變電所

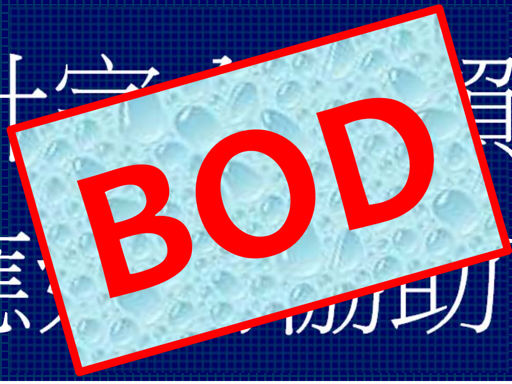
◎ 住宅大樓、酒店

超過60件工程應用案使用

至今已製造安裝超過11,000組

過去經驗的累積

- 產品良率難達100%
- 脫層材料貼覆品質不易控制
- 各授權廠商製程不一
- 生產品質未獲統一管控
- 斷面需求的限制
- 細部設計 業界技師
- NCREE應 協助改善？

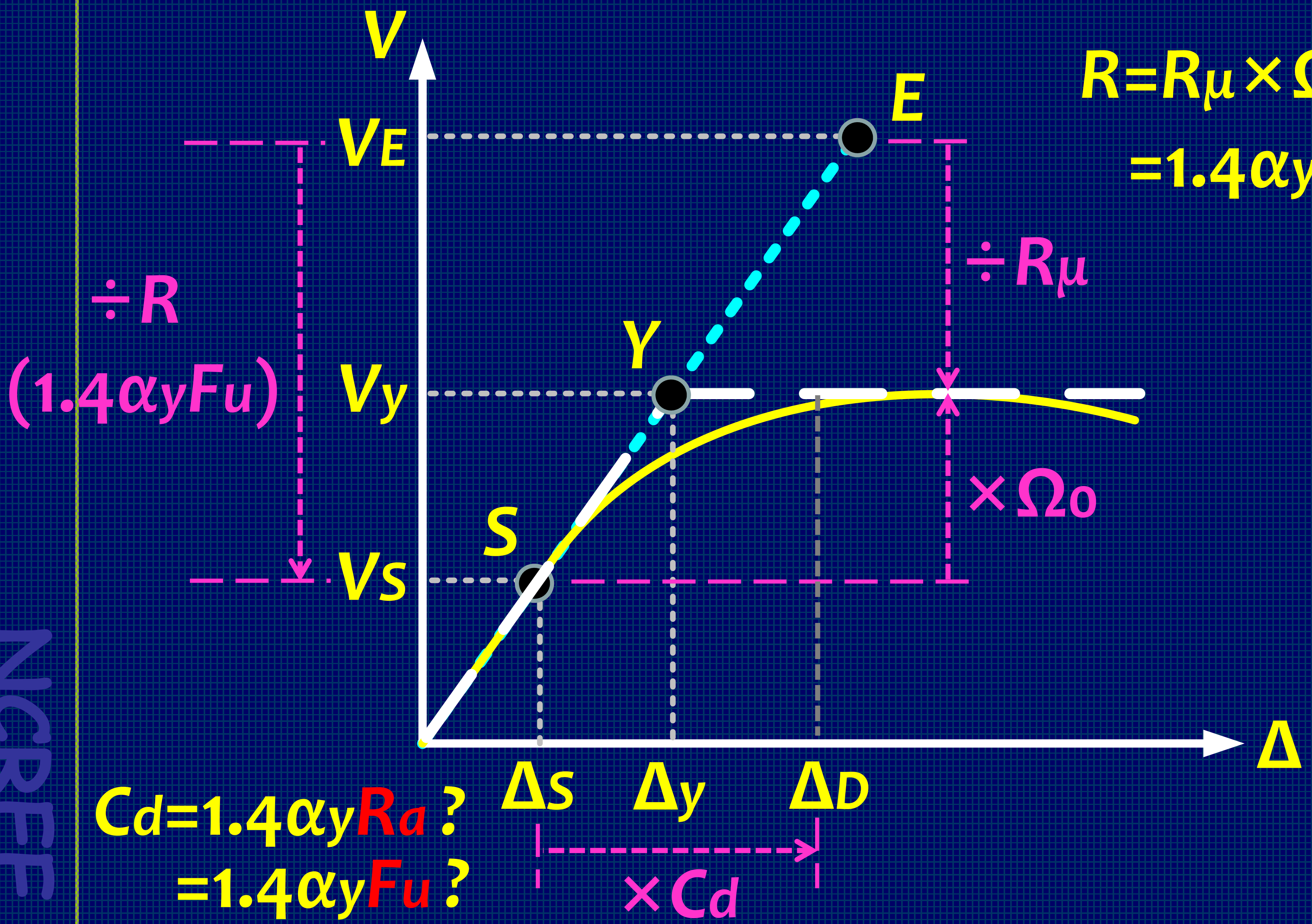


NCREE

內容概要

- 挫屈束制支撐脫層性能要求
- 壓力強度增大效應預測
- 脫層材料性能研究
- 槽接式挫屈束制支撐性能研究
- 槽接式挫屈束制支撐應用案例
- 結論

設計地震力(475年)樓層側位估計

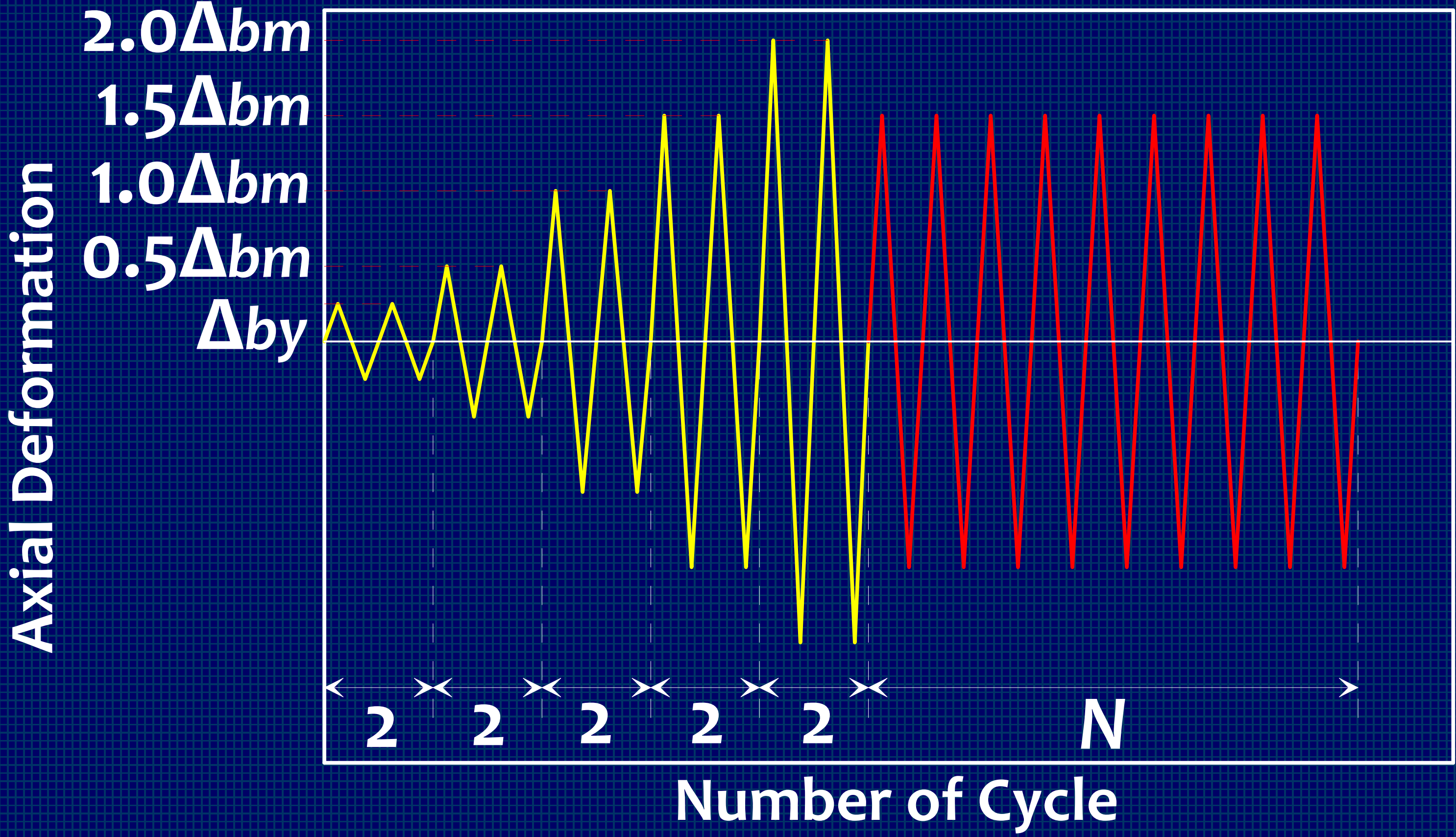


$R = R_\mu \times \Omega_o$
$= 1.4\alpha_y F_u$

$C_d = 1.4\alpha_y R_a$?
$= 1.4\alpha_y F_u$?

NCREE

AISC 2010 試驗加載歷時



Δ_{by} = BRB降伏變形量

Δ_{bm} = 設計樓層側位移(Δ_D)對應之BRB變形量

$\Delta_D \geq 1.0\%$

NCREE

核心應變與樓層側位移成線性比例

0.02

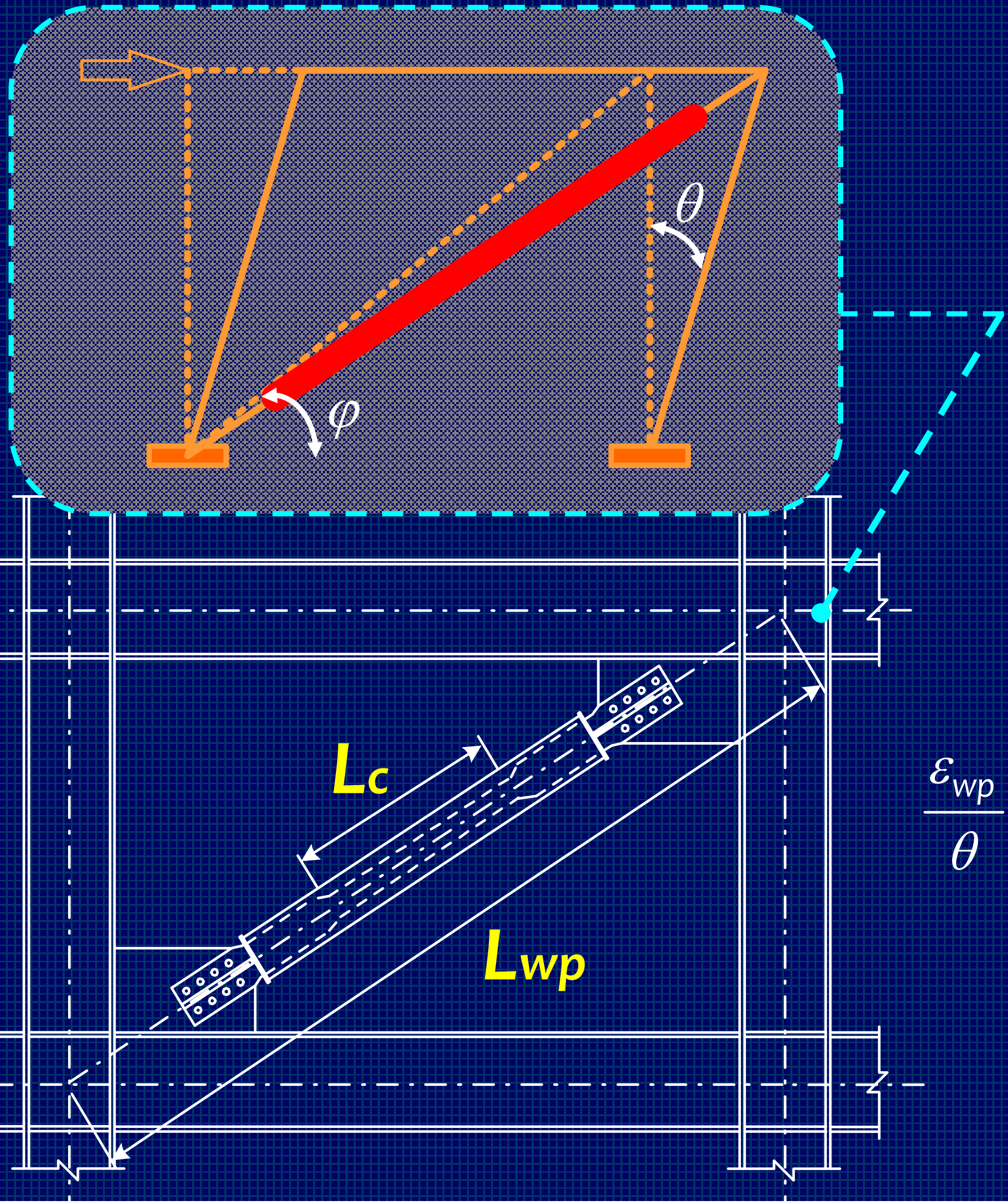
$$\varepsilon_{wp} = \frac{\theta}{2} \times \sin 2\varphi$$

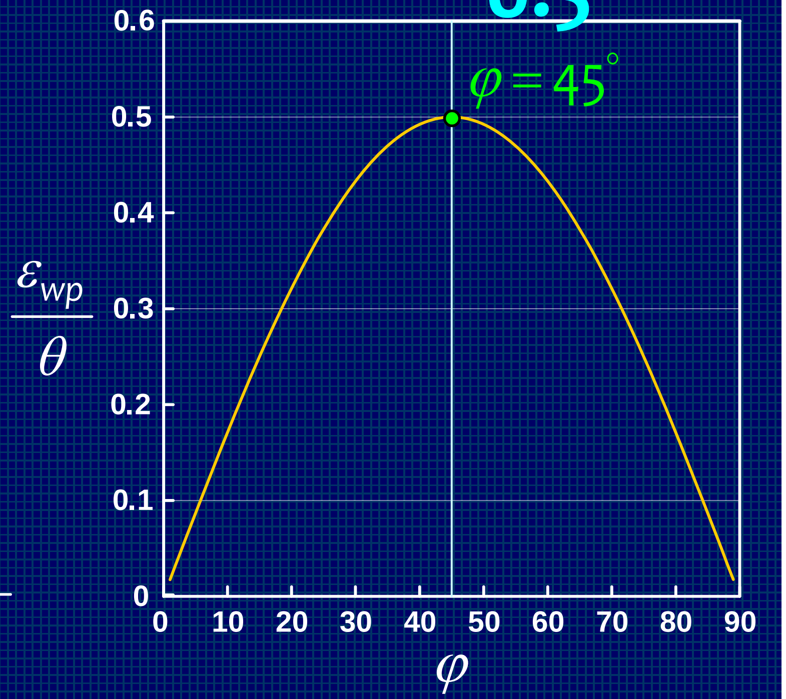
1

0.02

$$\alpha = \frac{L_c}{L_{wp}}, \quad \varepsilon_c = \frac{\varepsilon_{wp}}{\alpha}$$

0.5





BRB尖峰壓拉比值上限(AISC 2010)

- 標稱降伏強度

$$P_y = F_y \times A_c$$

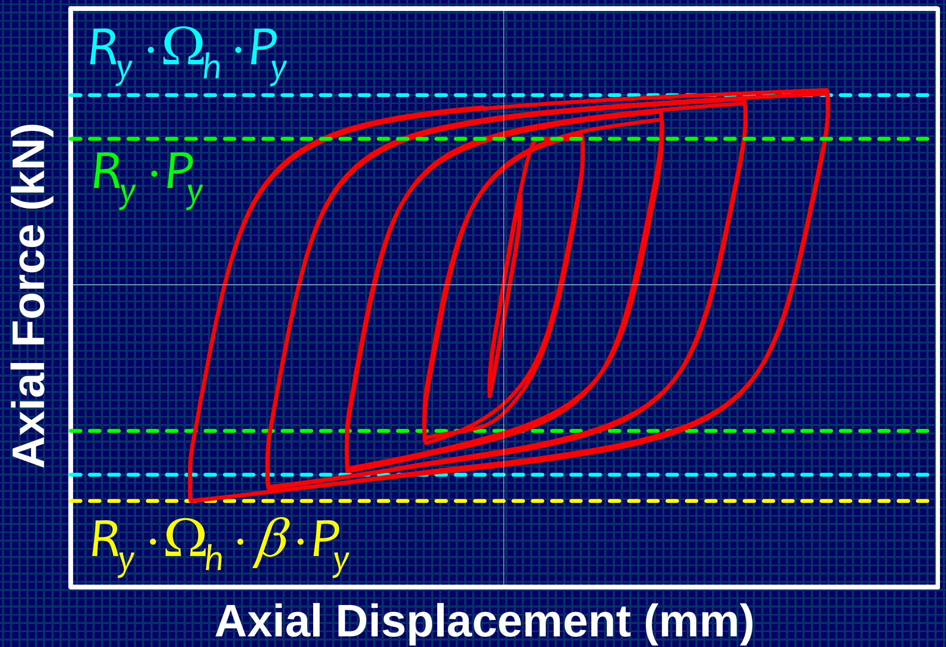
- 最大壓力強度

$$P_{max} = P_y \times R_y \times \Omega_h \times \beta$$

R_y：材料超強因子

Ω_h：應變硬化因子

β: 壓力強度調整因子



AISC 2010 acceptance criteria:

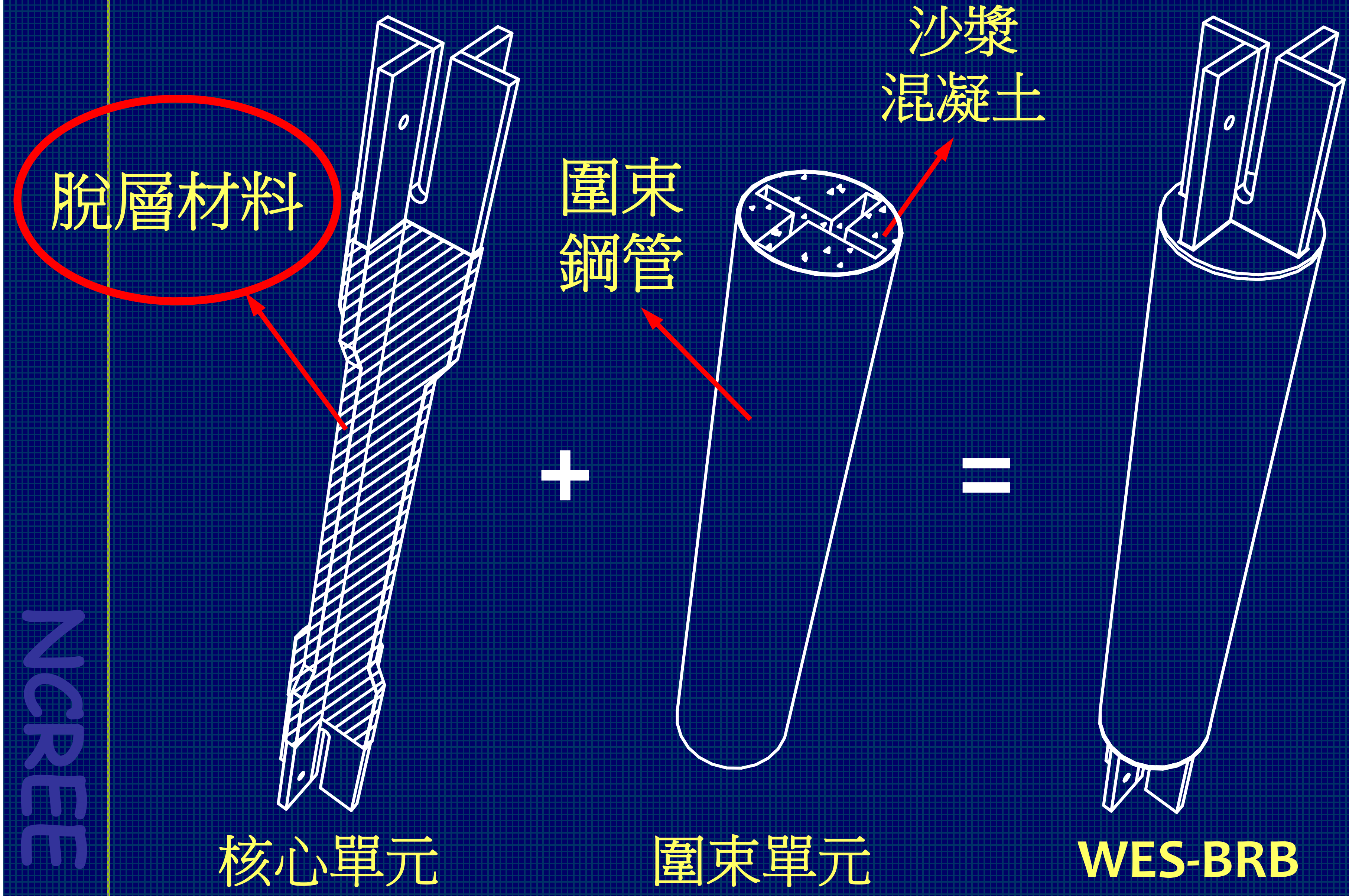
$$\beta_i = P_C^i / P_T^i < 1.3$$

$$CPD > 200\Delta_{by}$$

(累積非線性變形量)

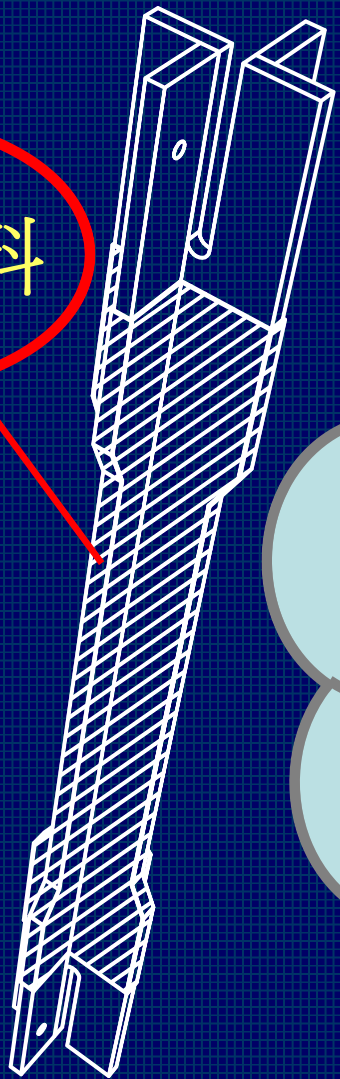
NCREE

脫層材料對性能的影響最大

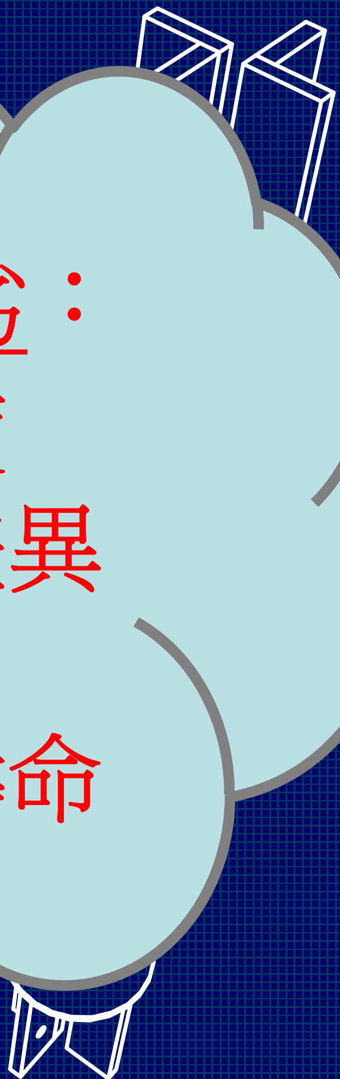


脫層材料對性能的影響最大

脫層材料



沙漿



<u>脫層效果的優劣</u>：

- 反映製造精密度
- 攸關壓拉強度差異性能反應
- 影響構件疲勞壽命

核心單元　　圍束單元　　**WES-BRB**

因柏松比與摩擦力使壓力強度較大

壓力強度增大效應(β factor)預測

= (1) 柏松比與應變量效應 + (2) 摩擦力效應

$$\beta\ factor = \frac{P_C + P_F}{P_T}$$

(1) 柏松比與應變量效應

核心消能段受壓時因柏松比效應，使軸向受壓面積增加的比例隨軸向應變增大而增加。

(2) 摩擦力效應

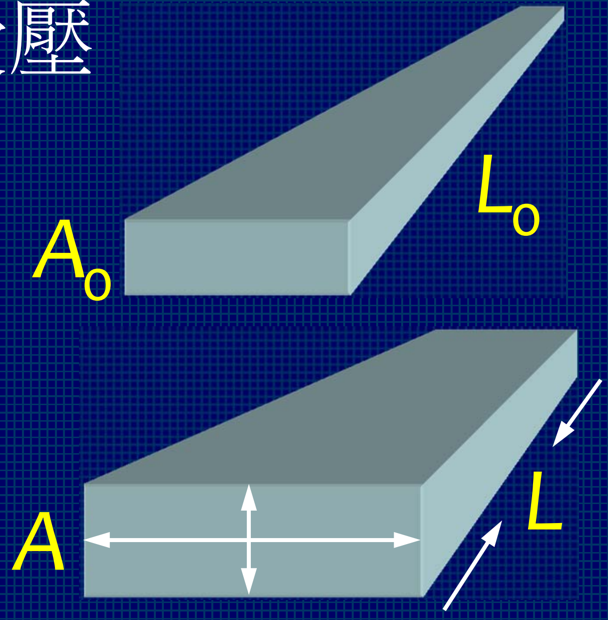
核心消能段受壓時產生高模態挫屈，其波峰波谷與圍束單元接觸並擠壓而產生之摩擦力。

NCREE

(1) 柏松比與應變量效應

- 假設核心消能段於受拉或受壓進入塑性時的體積相同

$$A_o \times L_o = A \times L$$

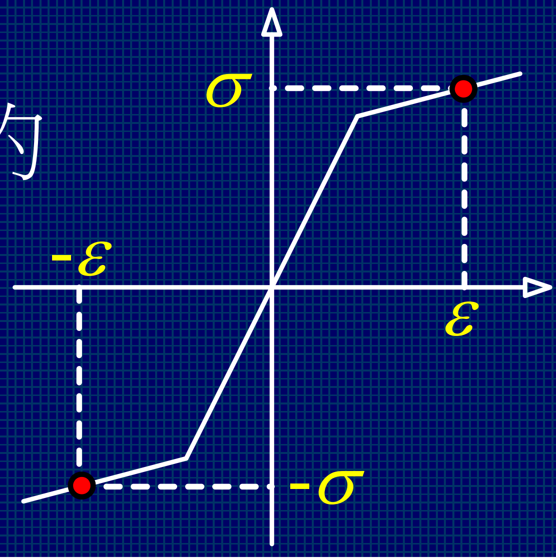


- 斷面積變化與軸向應變之關係式

$$\varepsilon = \frac{L - L_o}{L_o} \rightarrow A = A_o \times \frac{1}{1+\varepsilon}$$

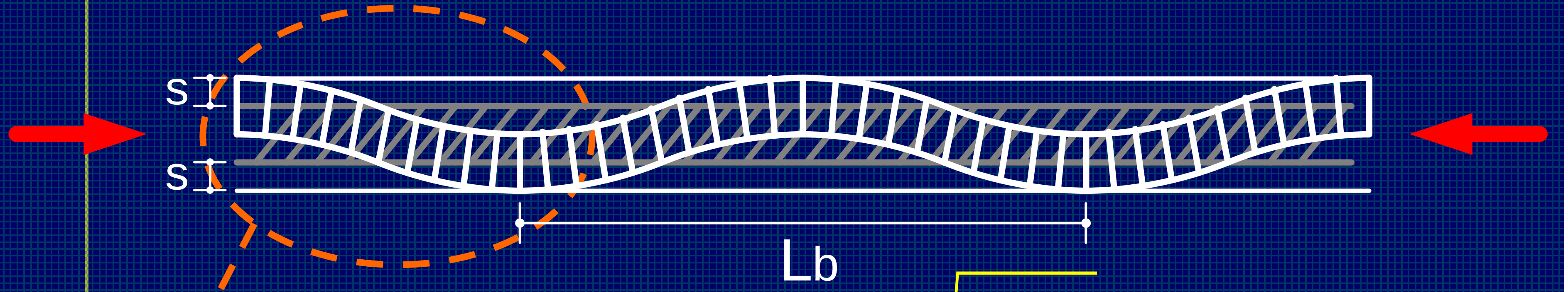
- 假設核心鋼材於受拉受壓時的應力應變關係完全反對稱

$$\frac{P_T}{P_C} = \frac{A_T}{A_C} = \frac{1-\varepsilon}{1+\varepsilon}$$



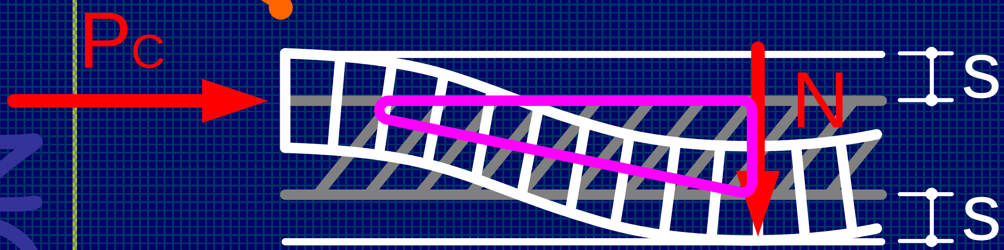
NCREE

(2) 摩擦力計算方法



$$P_{cr} = P_y = \frac{\pi^2 E_t I}{(KL_b)^2} \rightarrow L_b = \sqrt{\frac{\pi^2 E_t I}{K^2 P_y}}\ ,\ K = 0.5$$

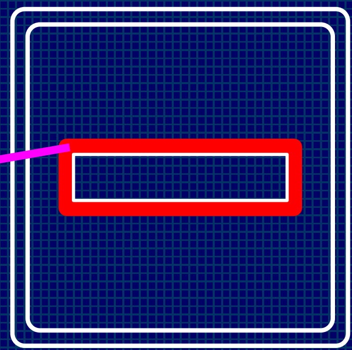
E_t = tangent modulus



$$P_F = \mu N = 0.45N$$

$$N = \frac{4s \times P_C}{L_b}$$

$s =$ *thickness of unbonding layers*



壓力強度調整因子理論值

壓力強度增大效應預測

= 柏松比與應變量效應 + 摩擦力效應

$$\beta\ factor=\frac{P_C+P_F}{P_T}=\frac{1+\varepsilon}{1-\varepsilon}\left(1+\mu\frac{4s}{L_b}\right)$$

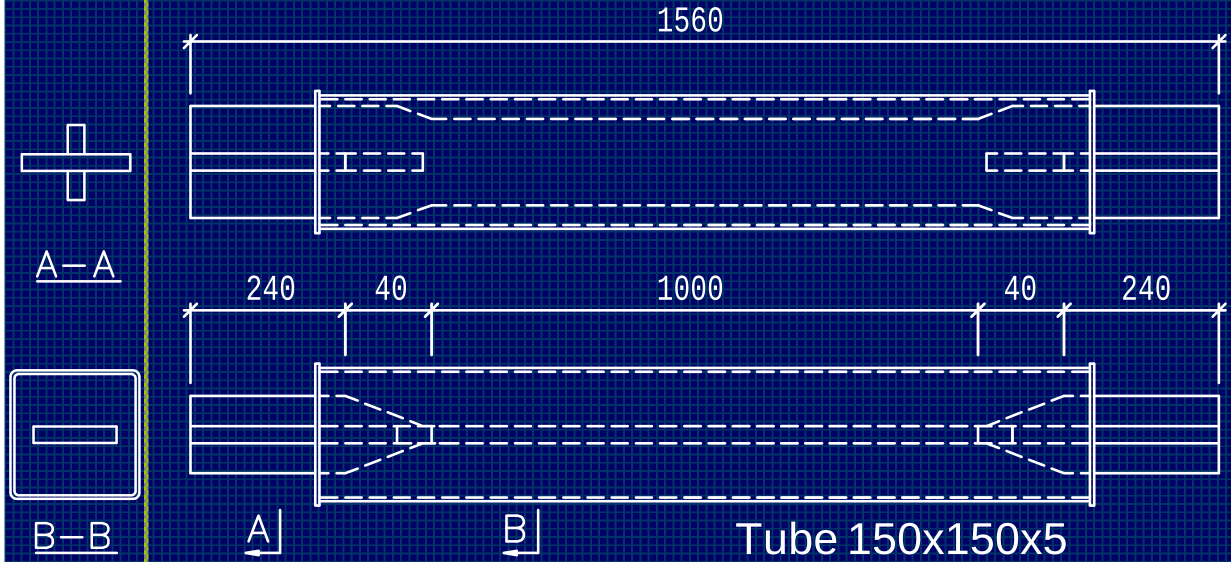
核心受壓應變ε愈大時，

或脫層材料厚度 s 過大時，

壓力強度增大效應β都會增大。

NCREE

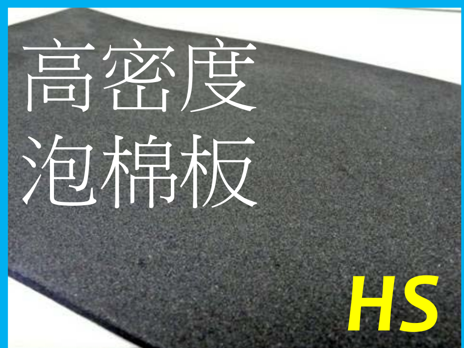
尋求較佳脫層材料研究



A_c (mm^2)	A_t (mm^2)	A_j (mm^2)
2000	3000	4000

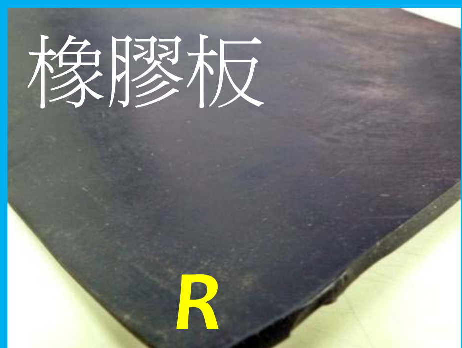
Material	Yield Stress (MPa)
SN490B	380

High Density **S**tyrofoam sheet



Chloroprene **R**ubber

Rubber sheet



Silicone **R**ubber sheet

脫層材料製程難易比較

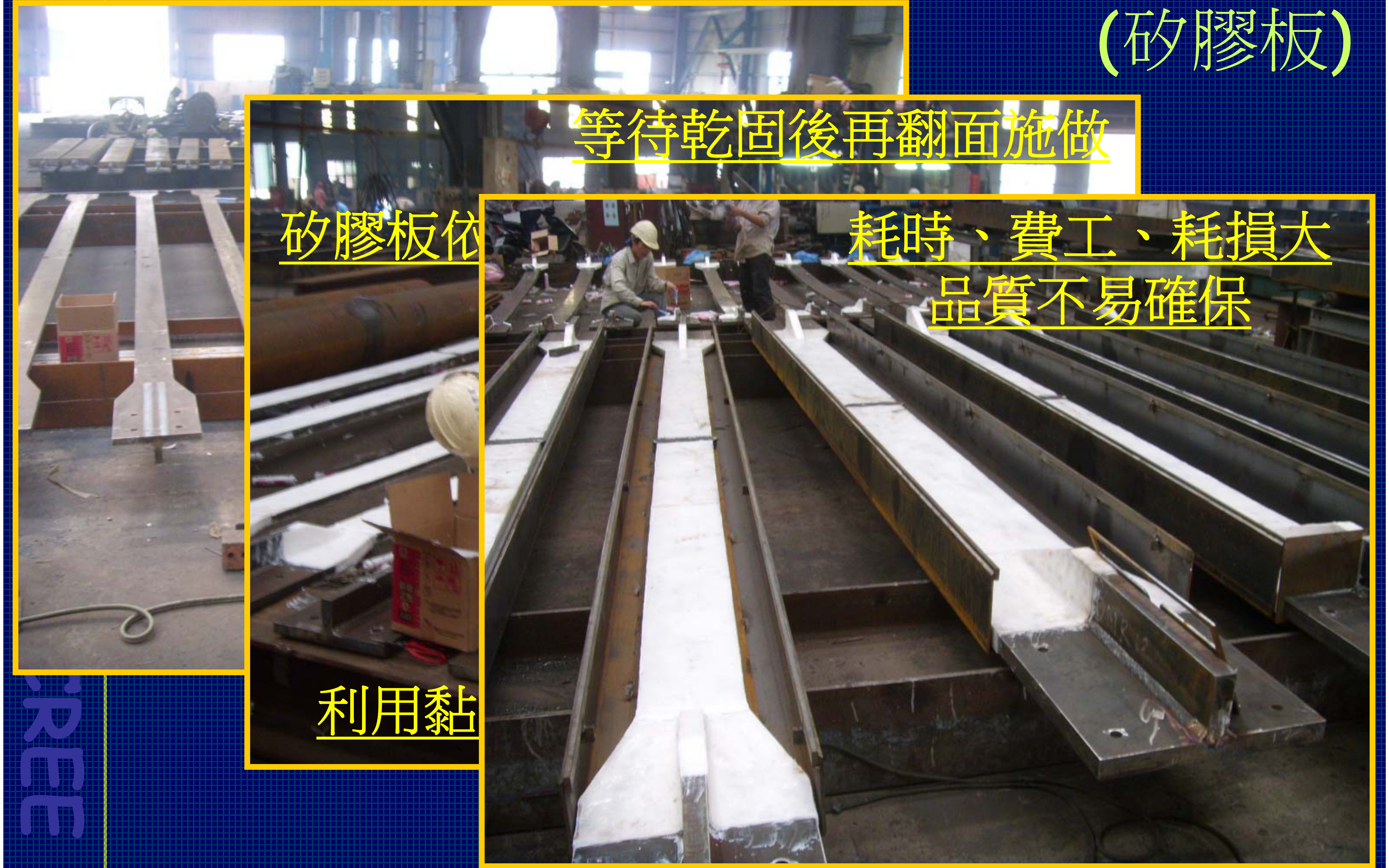
(矽膠板)

脫層材料製程難易比較

(矽膠板)

脫層材料製程難易比較

(矽膠板)



脫層材料製程難易比較

(黏性橡膠)

脫層材料製程難易比較

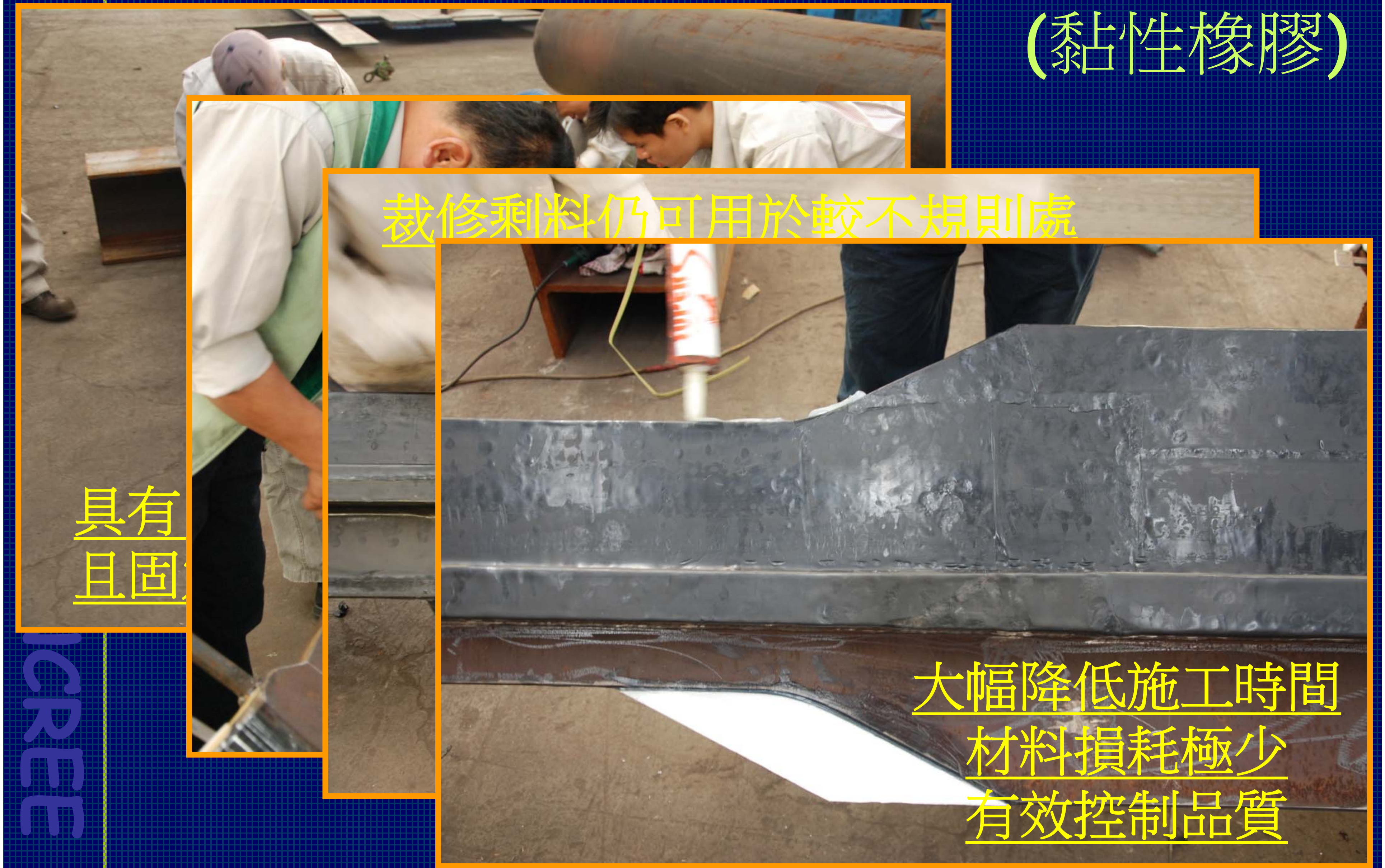
(黏性橡膠)

脫層材料製程難易比較

(黏性橡膠)

脫層材料製程難易比較

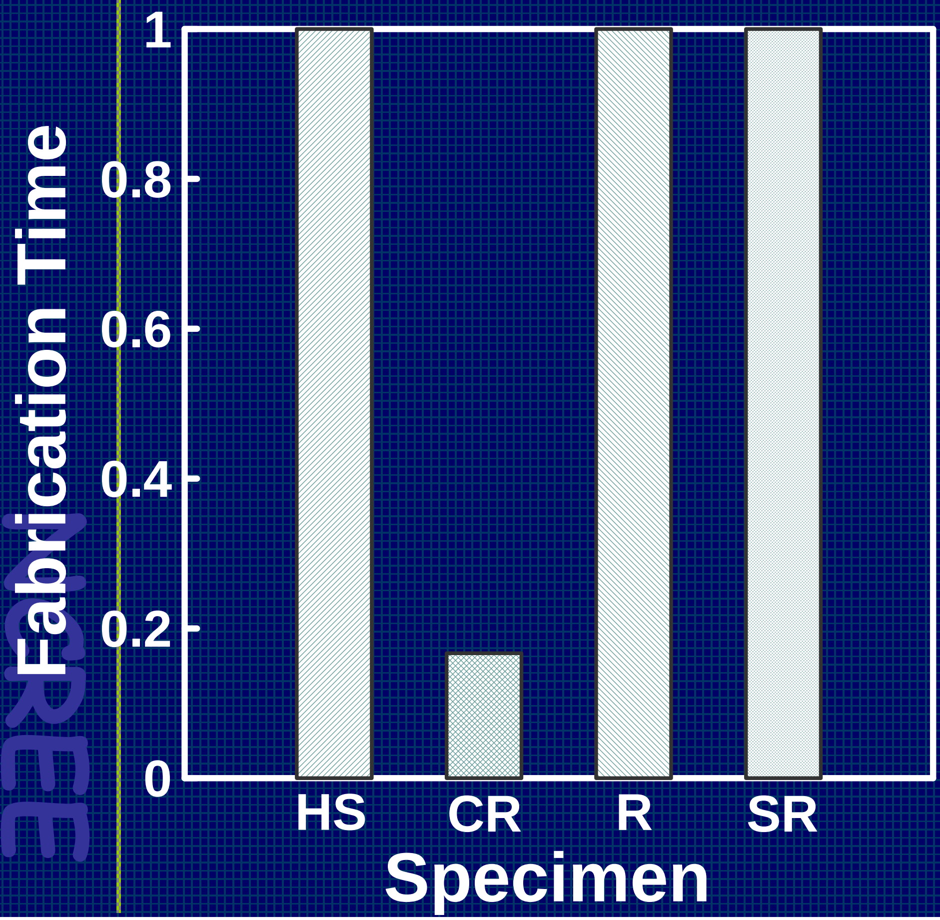
(黏性橡膠)

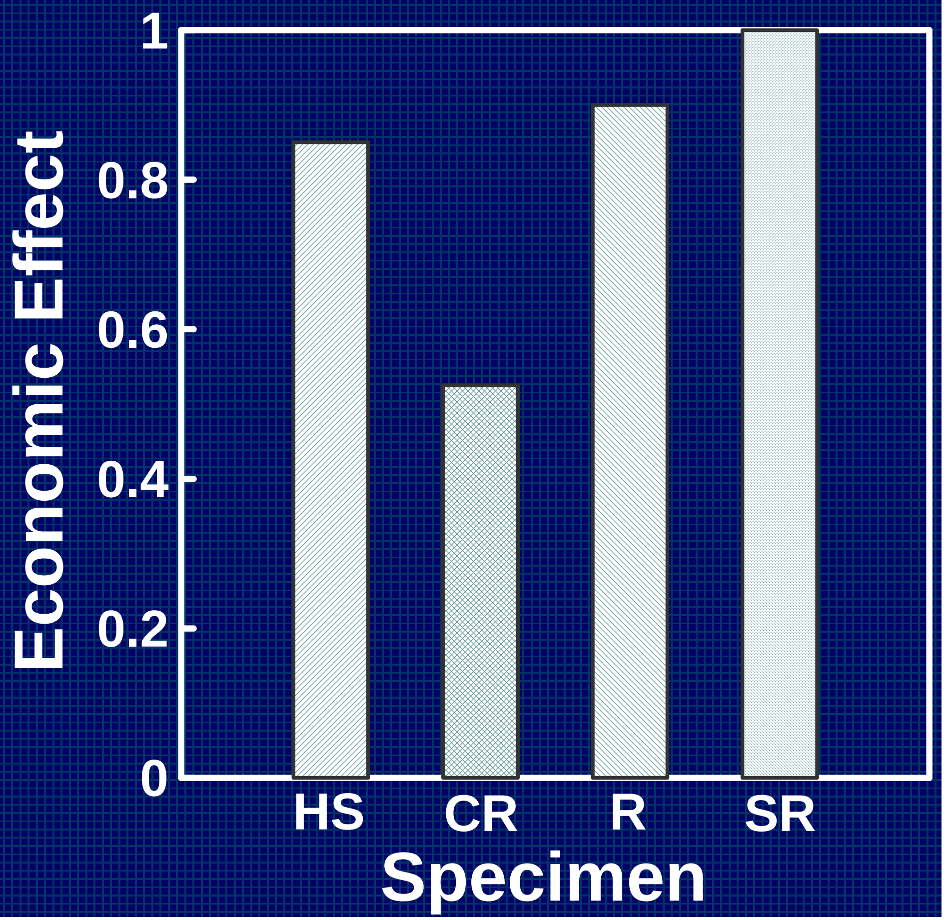


ICREE

脫層材料成本分析

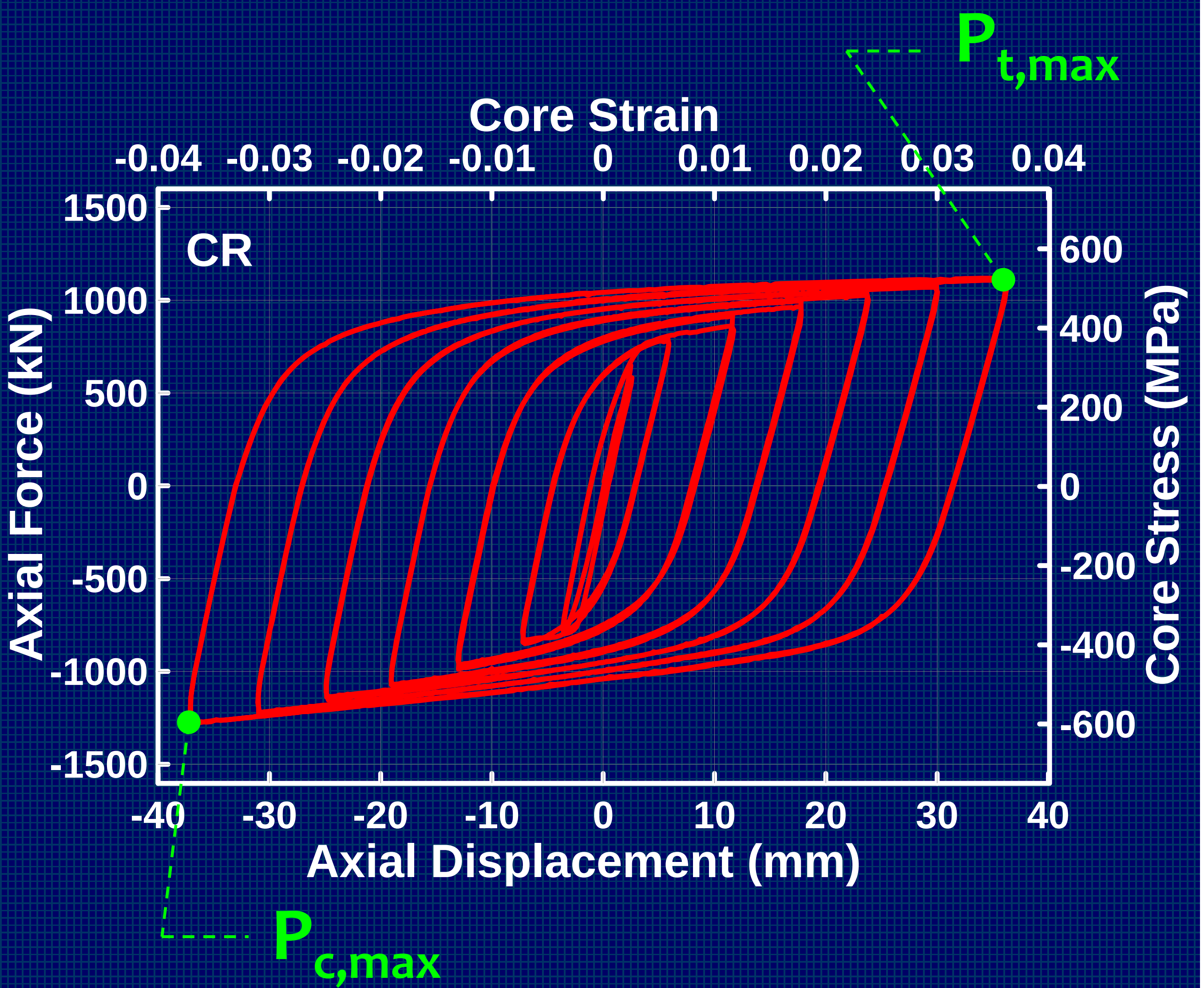

HS
R
SR
CR


1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
Fabrication Time
HS
CR
R
SR
Specimen


1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
Economic Effect
HS
CR
R
SR
Specimen

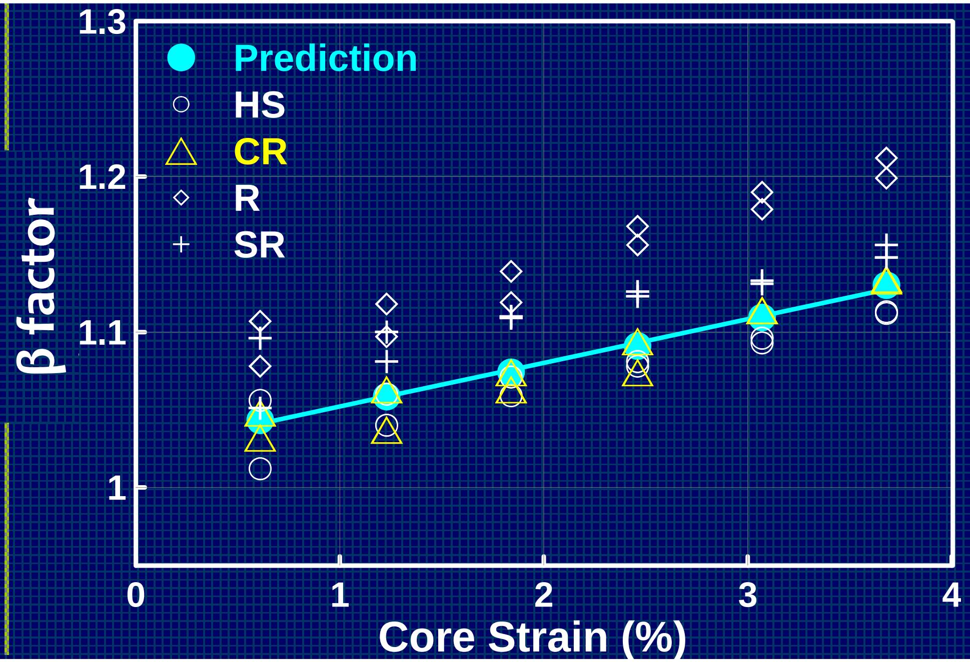
尋求較佳脫層材料研究


黏性橡膠
CR


Core Strain
-0.04 -0.03 -0.02 -0.01 0 0.01 0.02 0.03 0.04
CR
Axial Force (kN)
1500
1000
500
0
-500
-1000
-1500
Core Stress (MPa)
600
400
200
0
-200
-400
-600
-40 -30 -20 -10 0 10 20 30 40
Axial Displacement (mm)
$P_{t,max}$
$P_{c,max}$

黏性橡膠(CR)為最佳脫層材料

	Core strain	0.61%	1.23%	1.84%	2.46%	3.07%	3.68%	CPD
β factor	HS	1.06	1.06	1.07	1.08	1.10	1.11	388
	CR	1.05	1.06	1.07	1.09	1.11	1.13	424
	R	1.11	1.12	1.14	1.17	1.19	1.20	352
	SR	1.10	1.10	1.11	1.13	1.13	1.16	388
	Prediction	1.04	1.06	1.07	1.09	1.11	1.13	-



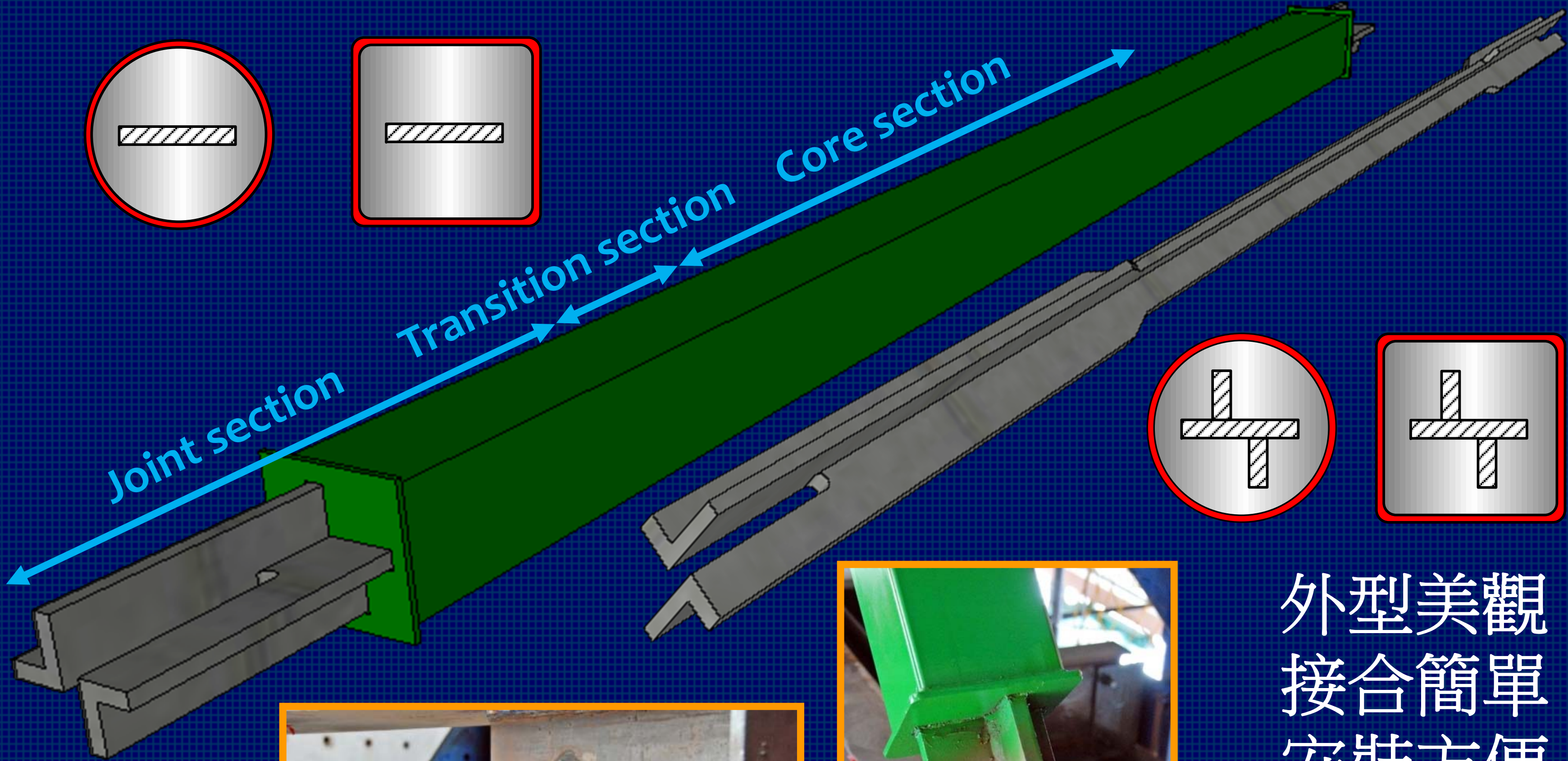
$$\beta\ factor = \frac{1+\varepsilon}{1-\varepsilon}\left(1+\mu\frac{4s}{L_b}\right)$$

β factor 隨軸向變形增加而增大

NCREE

槽接式挫屈束制支撐 (WES-BRB)

BRB using Welded End-Slot (WES) connection



外型美觀
接合簡單
安裝方便
疲勞壽命長
材料用量少
整體成本低

NCREE

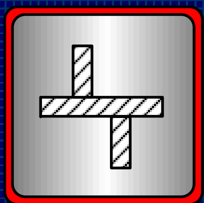
試體WES-R性能佳 易模擬

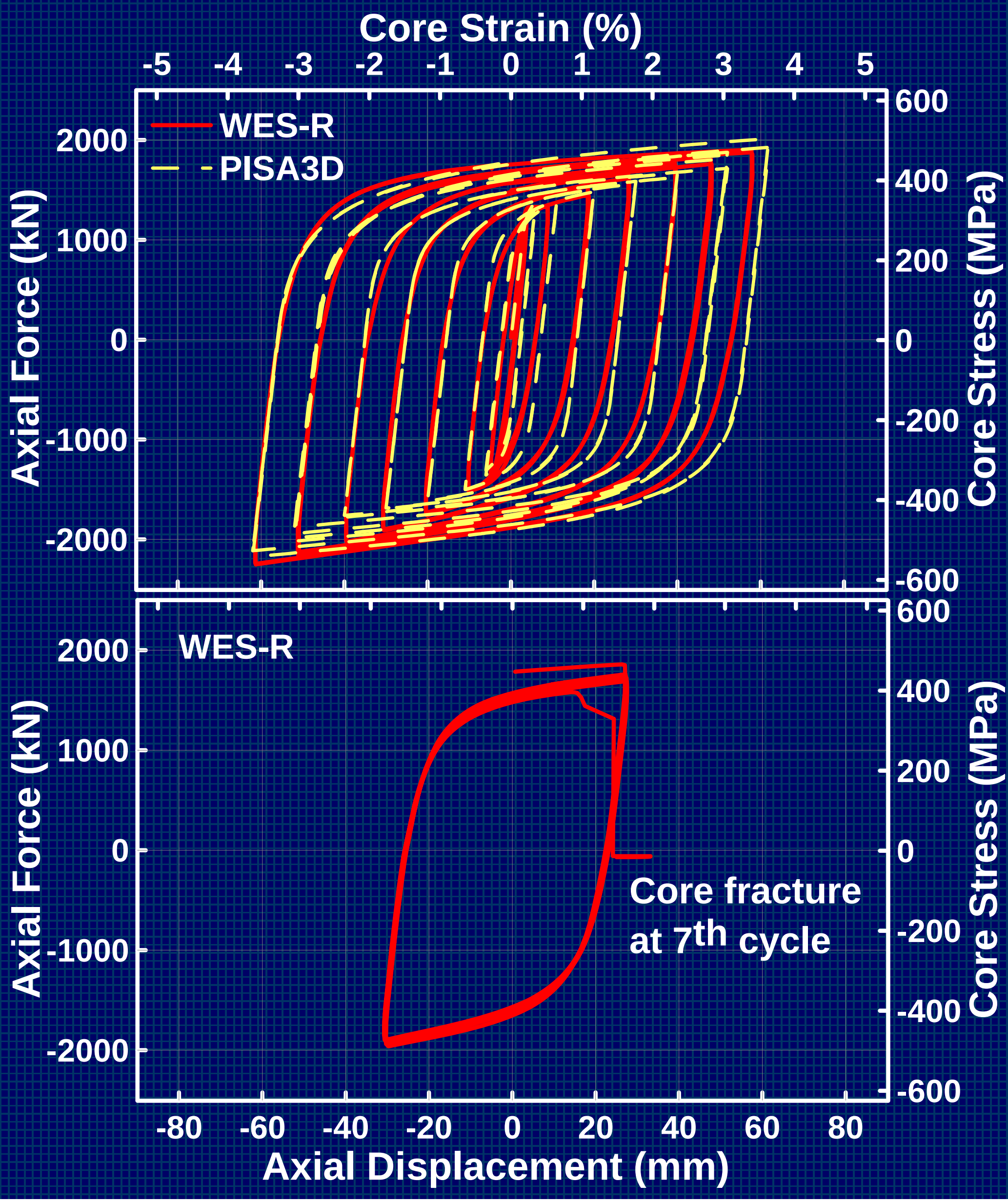
L_{BRB}=2.5m

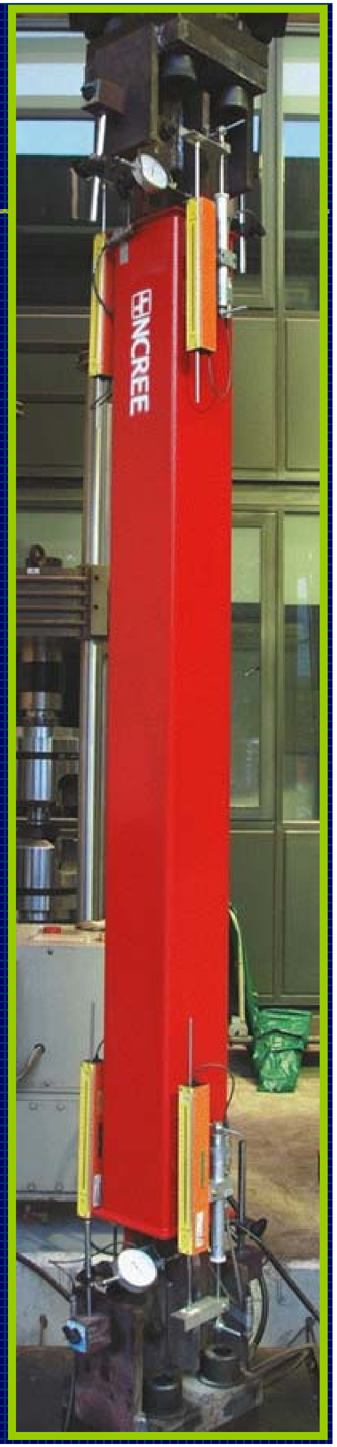
P_y=135ton

β<1.18

CPD=640







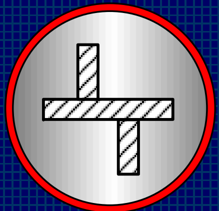
試體WES-C性能佳 易模擬

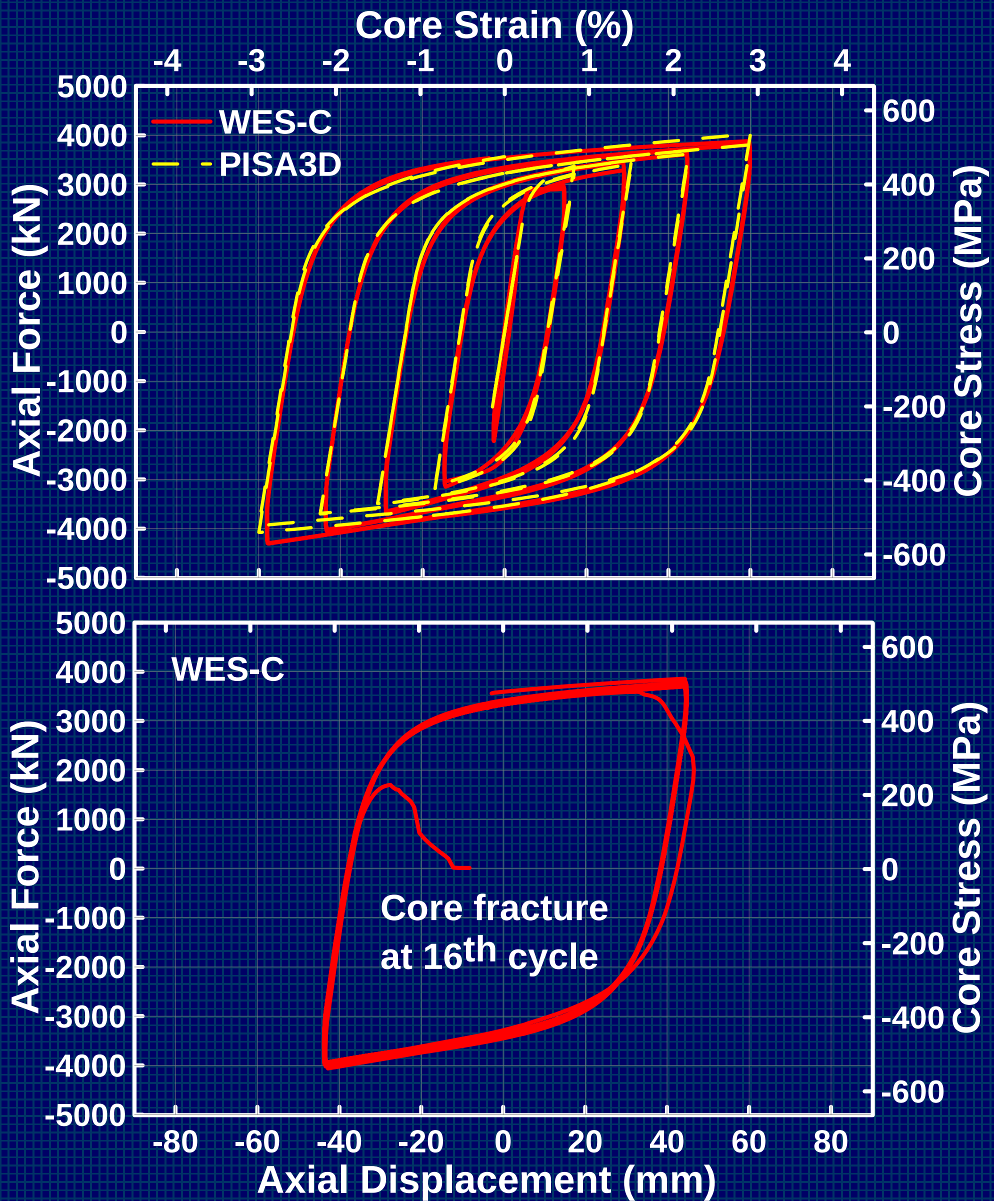
L_{BRB}=3.3m

P_y=305ton

β<1.11

CPD=834



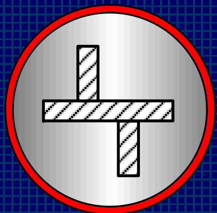


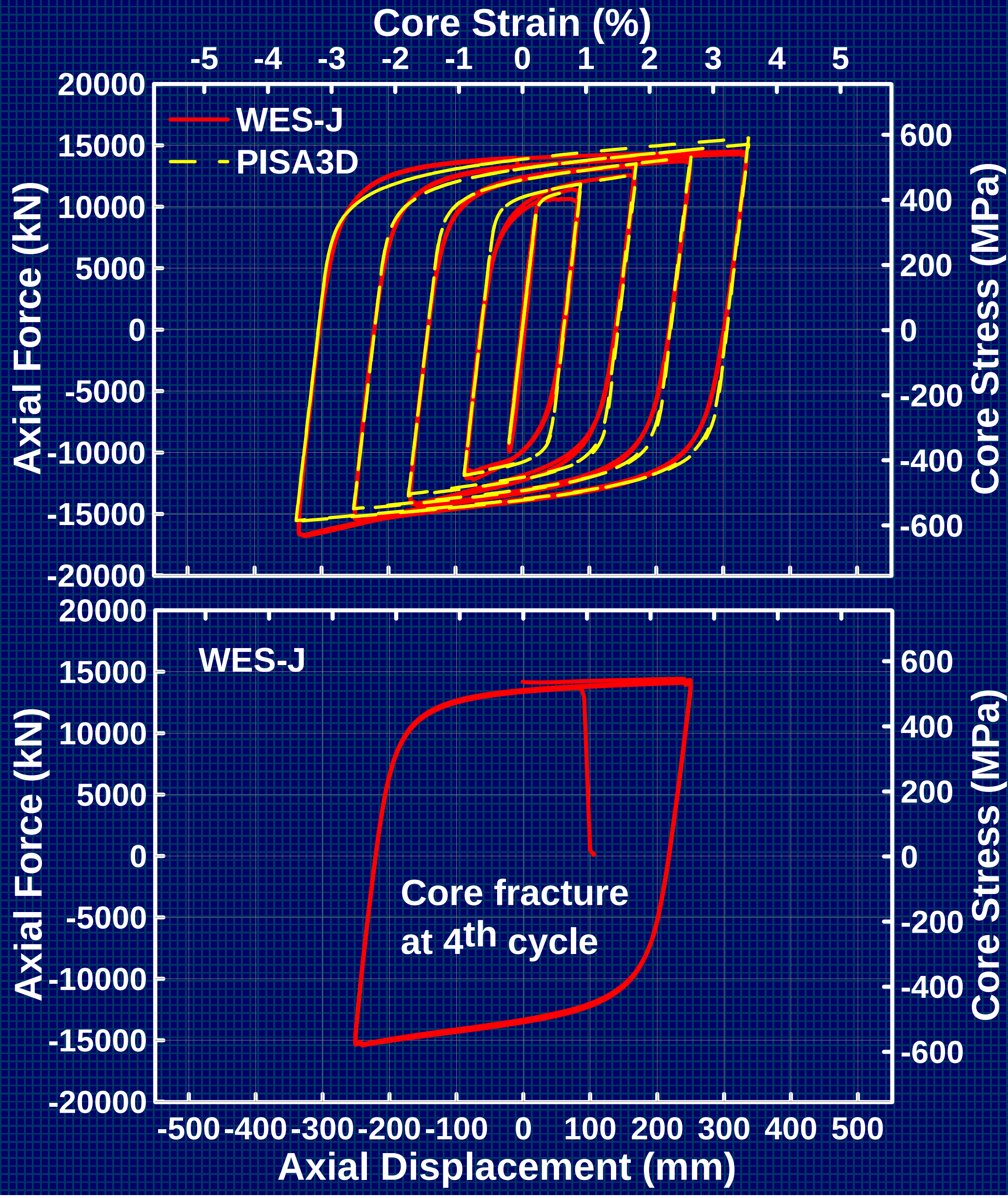
NCREE

試體WES-J性能佳 易模擬

L_{BRB}=12.5m
P_y=1140ton

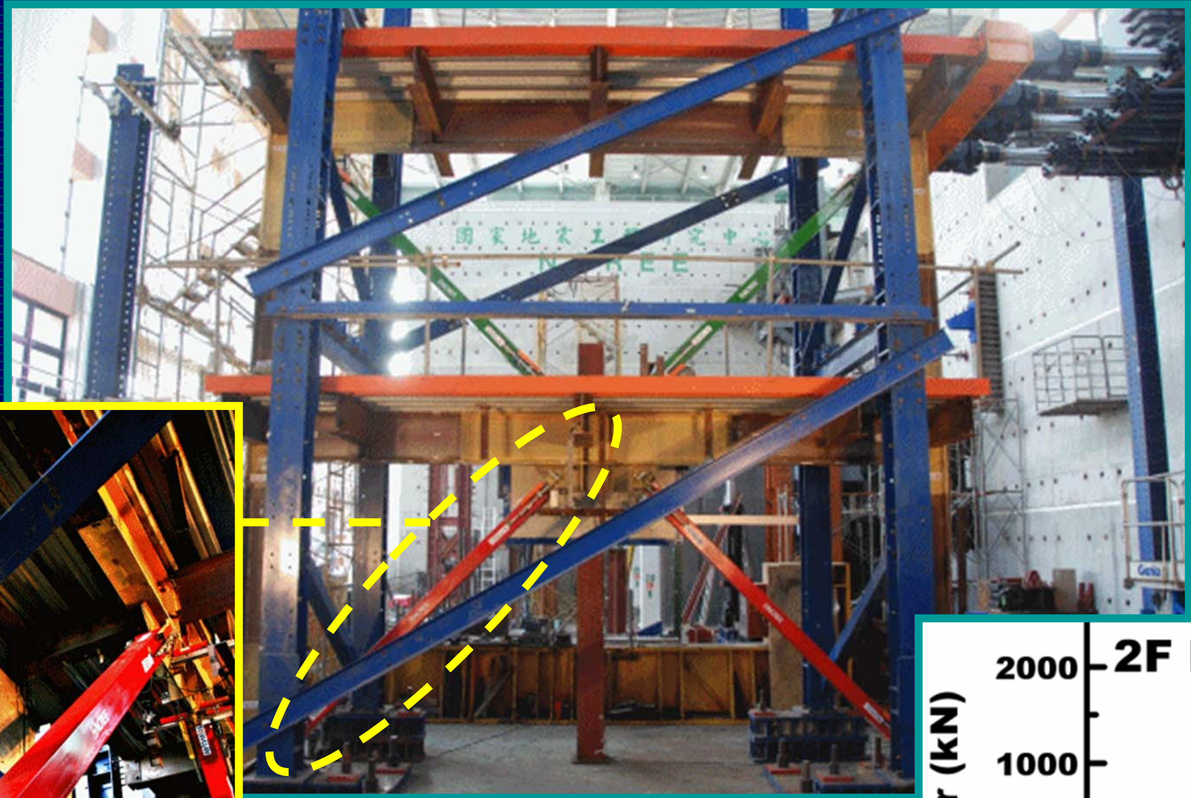
β<1.16
CPD=406

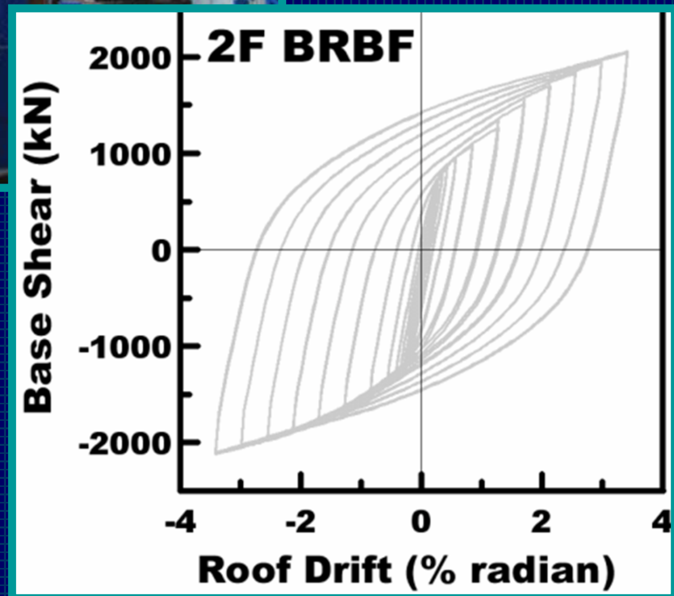




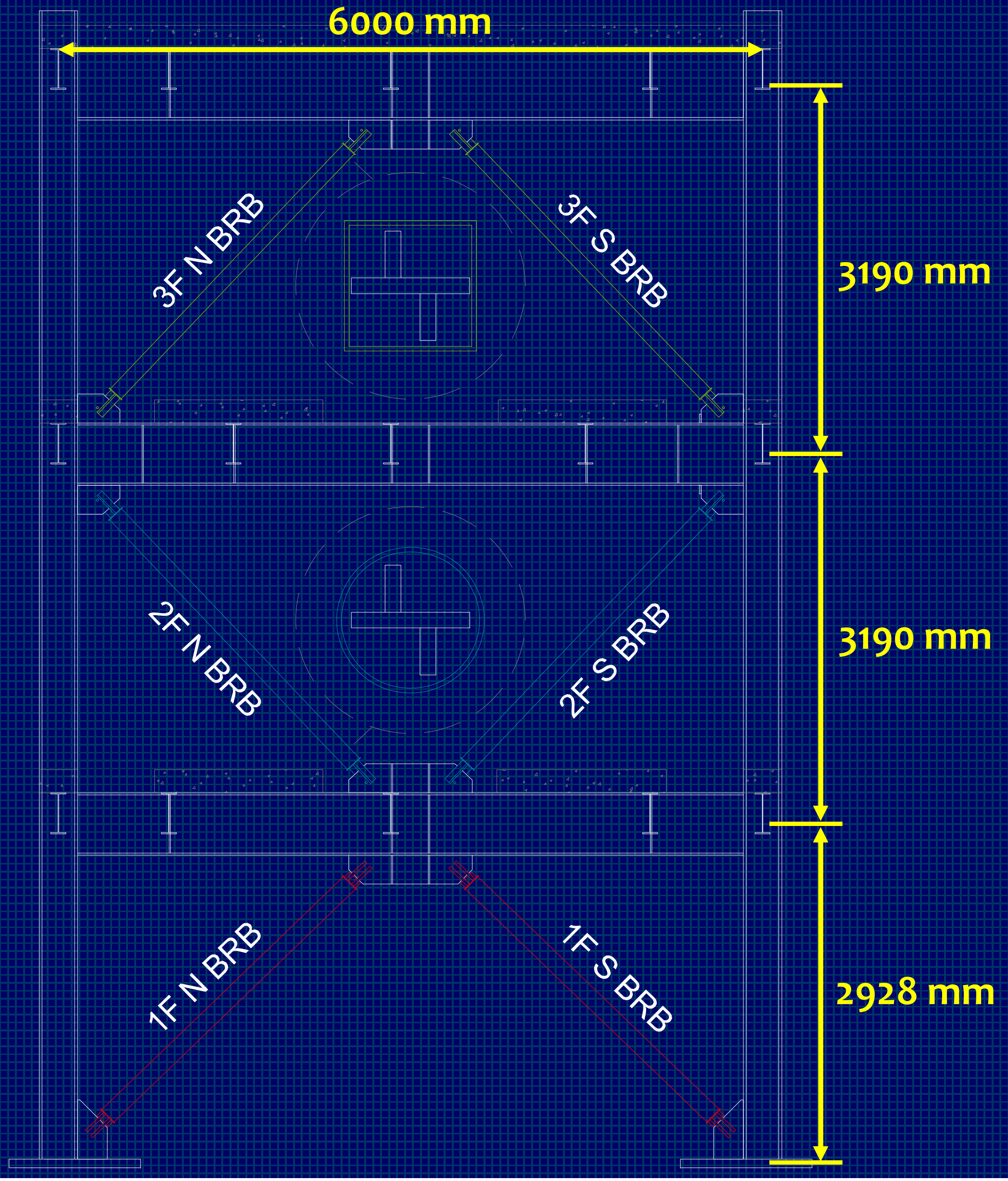
NCREE

兩層實尺寸構架性能良好(>3.5%弧度)





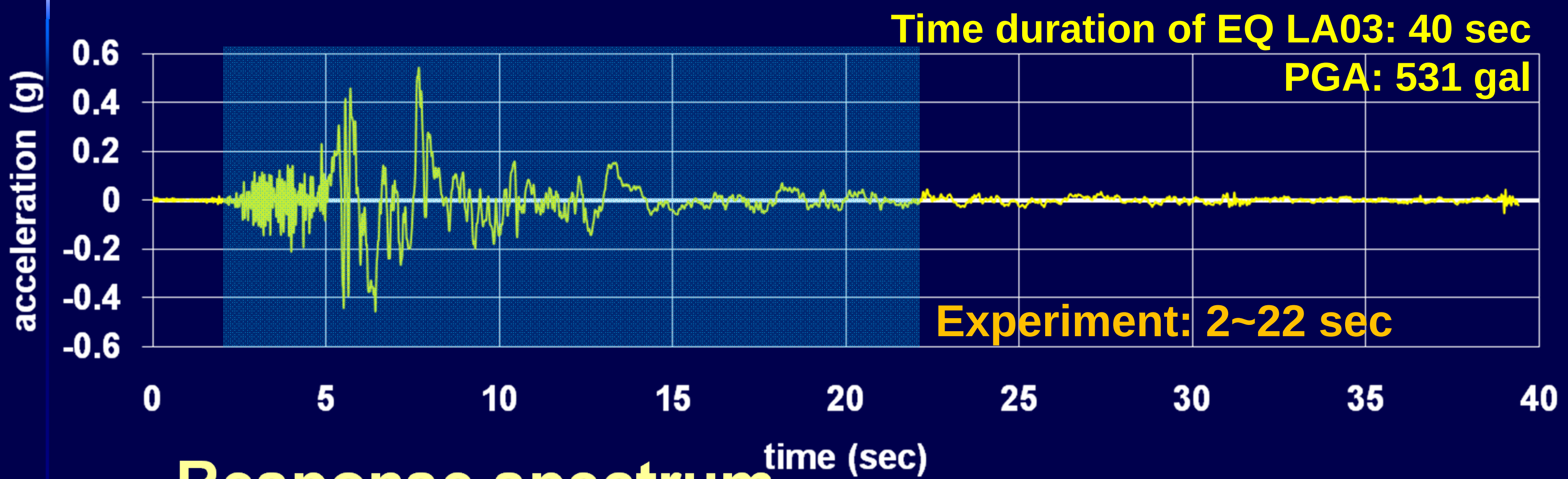
三層實尺寸構架擬動態試驗



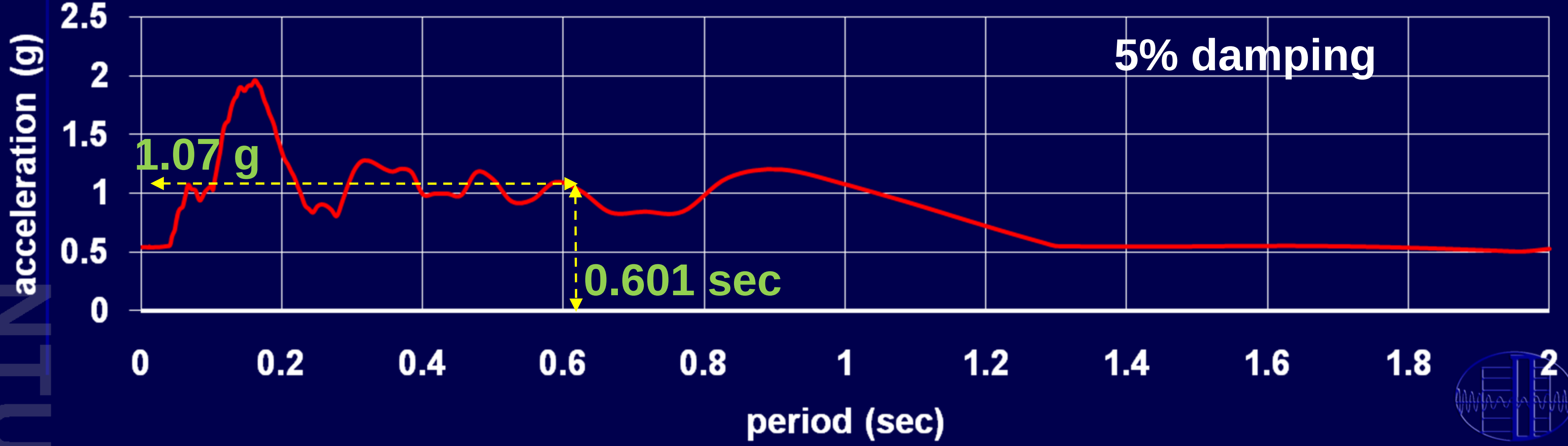
NCREE

擬動態試驗地震歷時(475年, PGA=531*gal*)

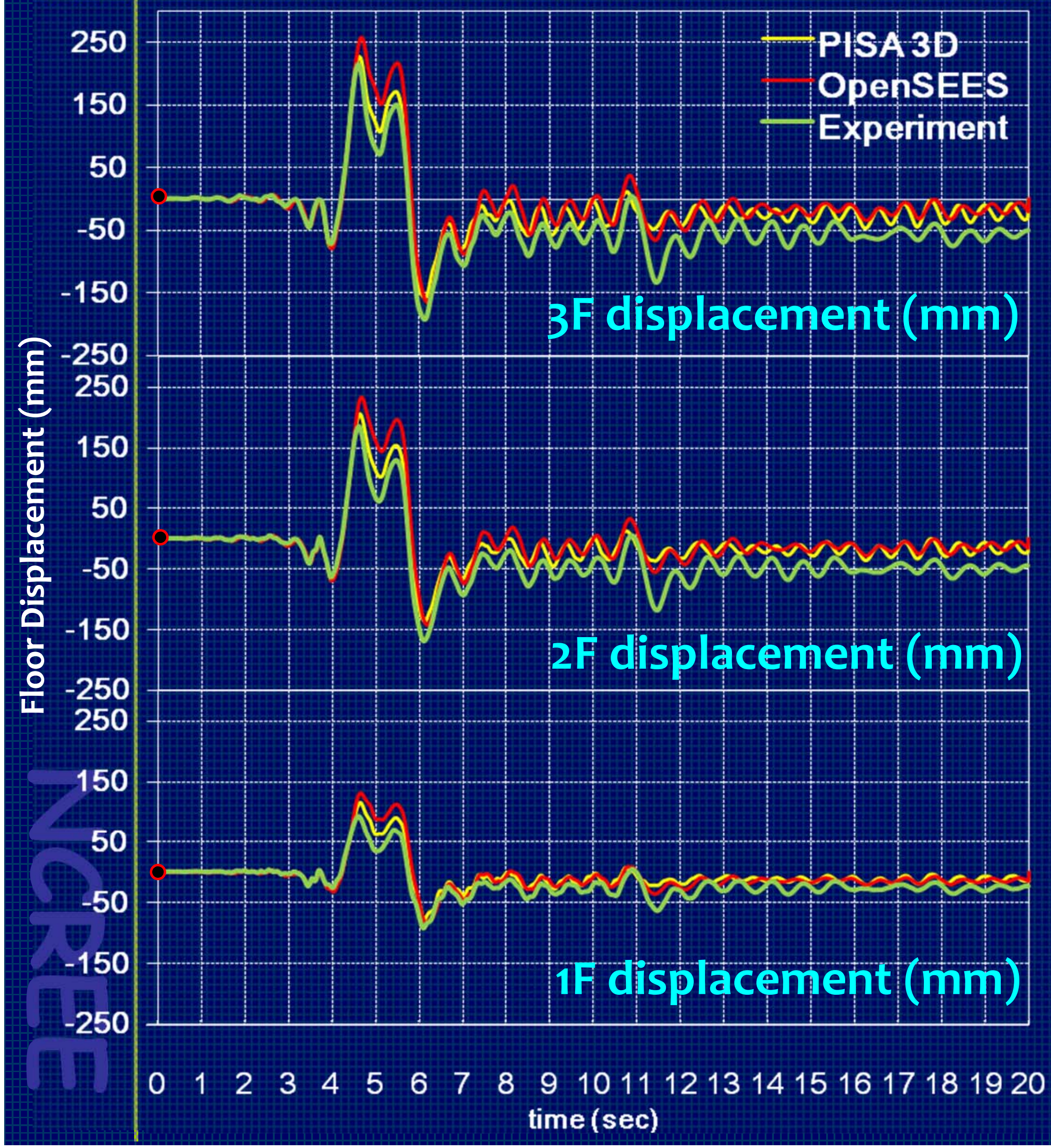
Ground LA03 time history

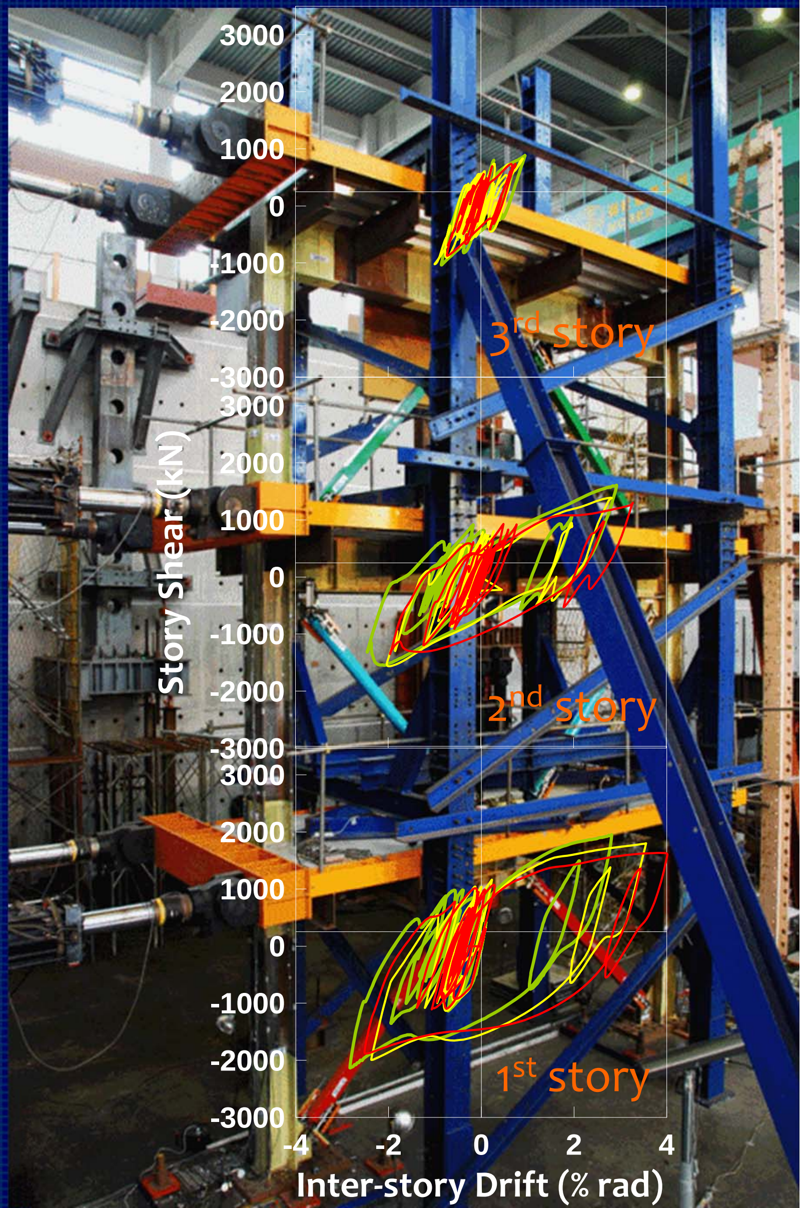


Response spectrum

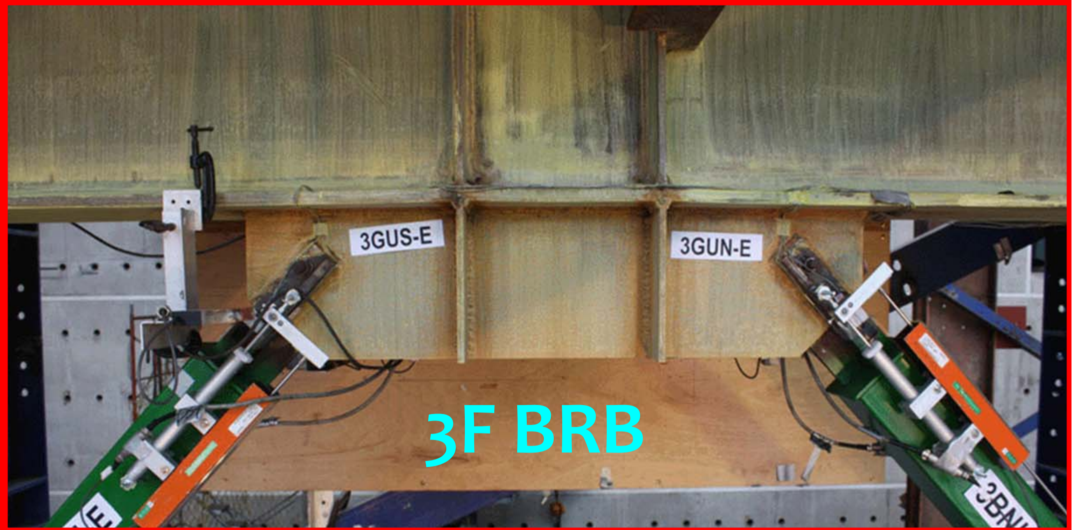


BRBF擬動態試驗結果高度可預測





BRB構件與構架耐震性能良好穩定



NCREE

槽接式挫屈束制支撐授權廠商

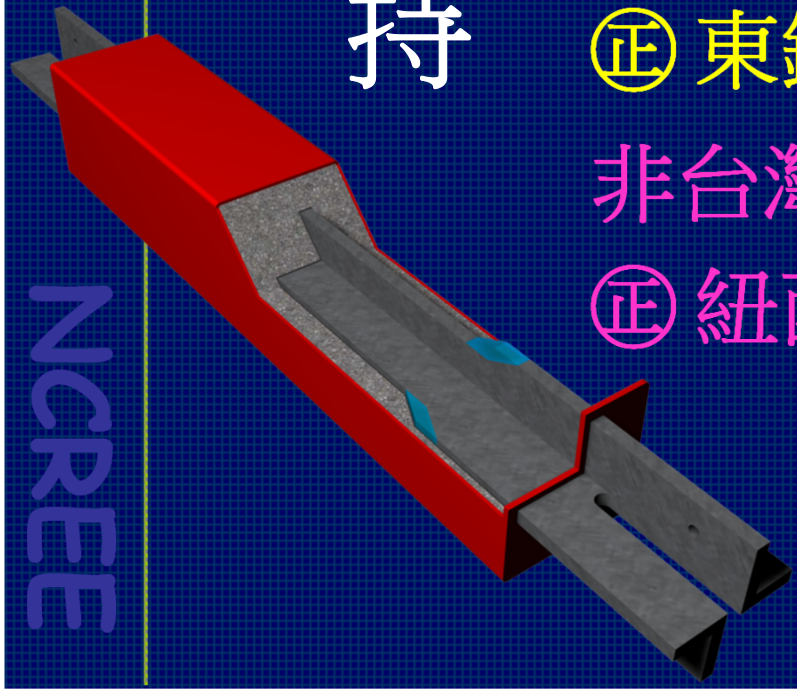
感謝支持

台灣地區：

㊣ 皆豪實業(股)有限公司
㊣ 長榮鋼鐵(股)有限公司
㊣ 春源鋼鐵工業(股)有限公司
㊣ 理成工業(股)有限公司
㊣ 東鋼鋼結構(股)有限公司

非台灣地區 (開放三組廠商代理)：

㊣ 紐西蘭 **Grayson Engineering Ltd.**



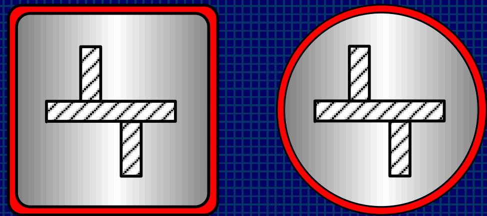
特別感謝：

㊣ 千翔膠業有限公司

NCREE

WES-BRB 應用案例

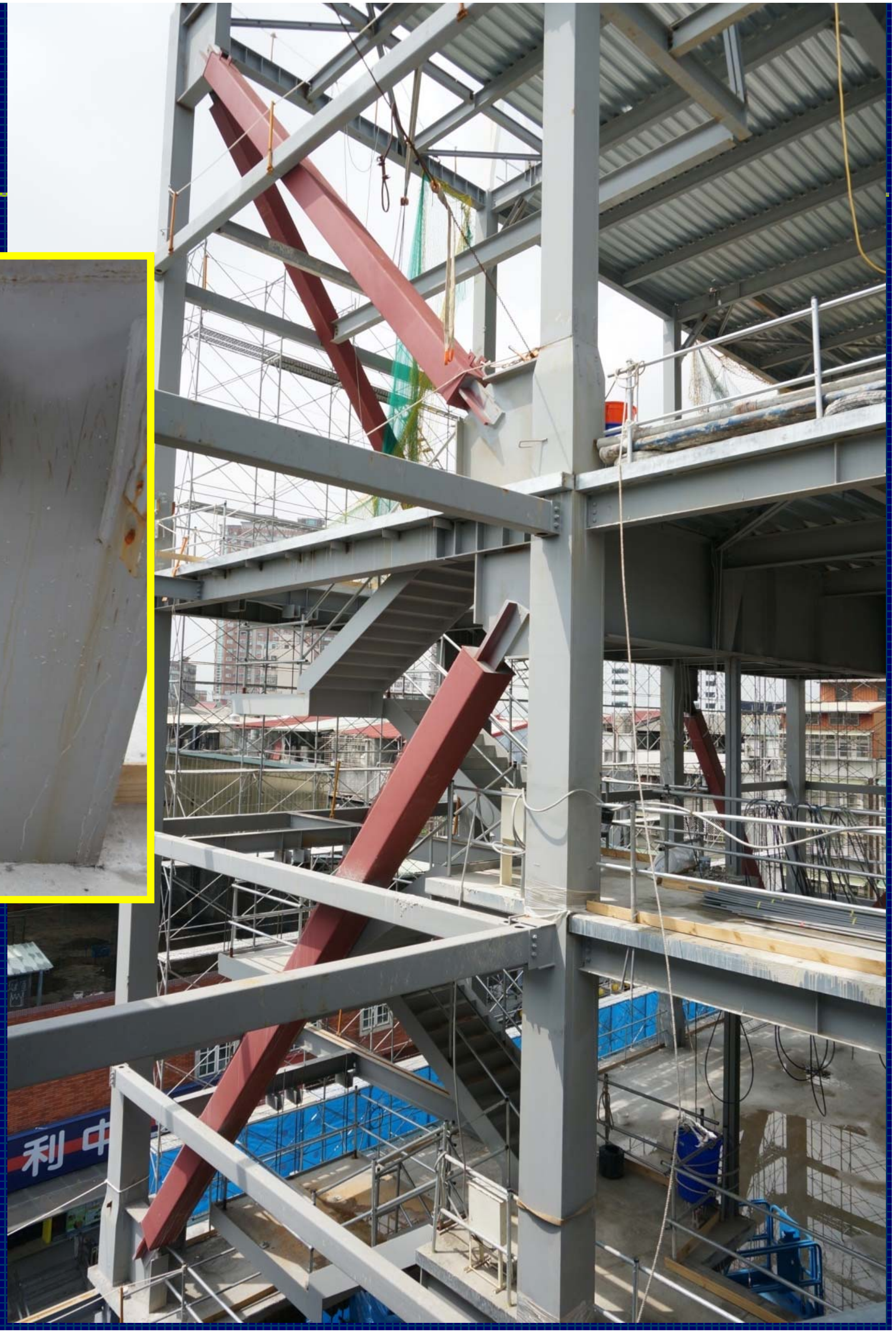
◎ 台灣電力公司萬隆聯合辦公室
◎ 彰化基督教醫院員林分院
◎ 台灣積體電路竹科十二廠六期
◎ 台灣積體電路竹科十二廠七期
◎ 台灣積體電路南科十四廠五期
◎ 宜華國際大直觀光旅館
◎ 合作金庫商業銀行
◎ 五股多功能會館
◎ 新北市三重
◎ 新北市土城
◎ 新北市中和區 運動中心
◎ 三商美邦人壽台中辦公大樓新建工程
◎ 天強建設萬華直興段住宅大樓
◎ 台北捷運信義線安和路站聯合開發大樓
◎ 台北文化體育園區大巨蛋影城/辦公/旅館/商場棟



超過15件工程案使用
已設計製造超過1,200組

NCREE

三重運動中心



NCREE

宜華國際大直觀光旅館

NCREE

從經驗中學習與改進

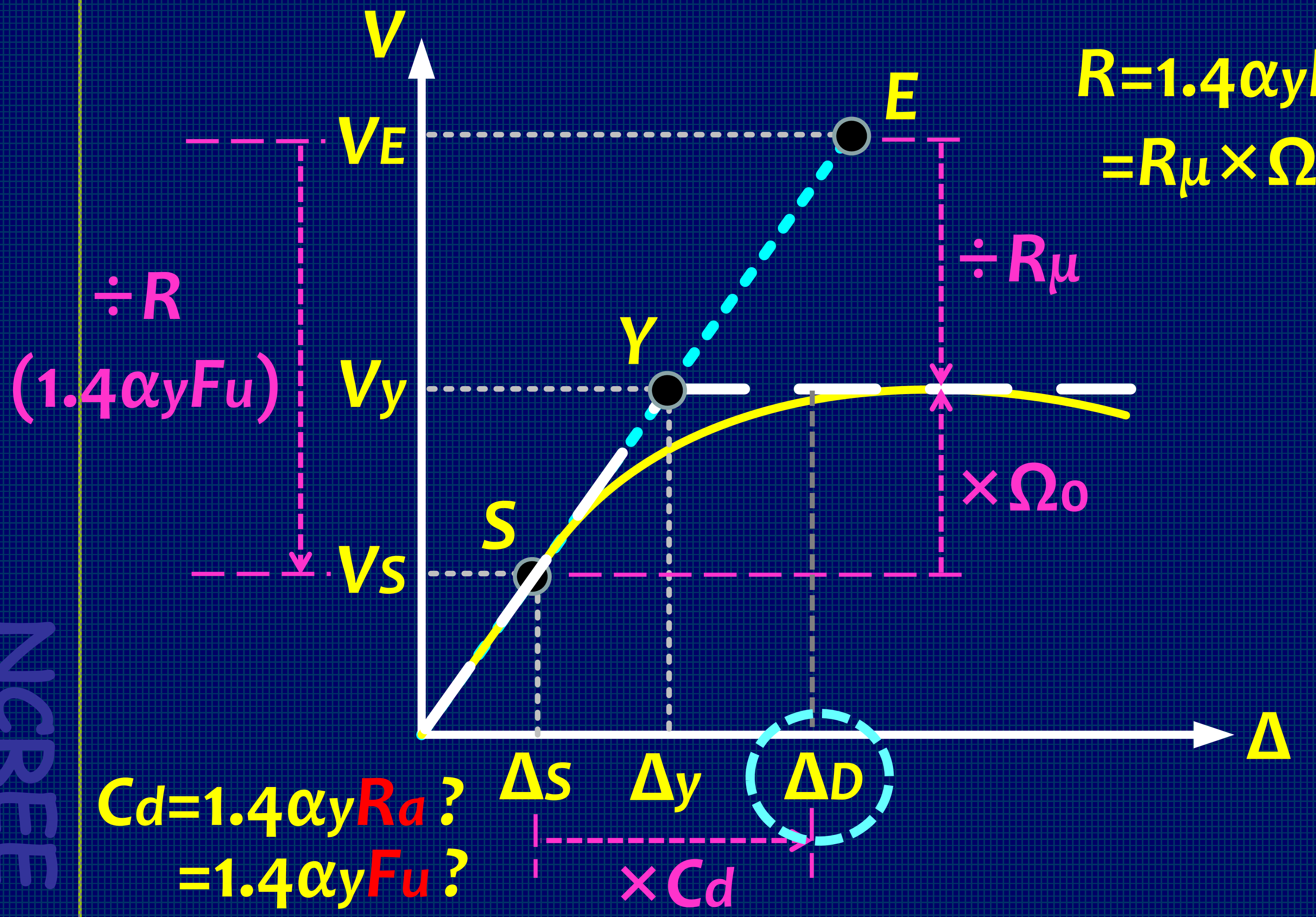
- 挫屈束制支撐性能的保證
- 脫層材料與製程的控管
- 授權廠商統一的製程
- **生產品質檢覈的機制**
- 對個案提供完整的品質證書
- 提供商標與雲端設計輔助軟體

NCREE

應用案中實體抽樣測試

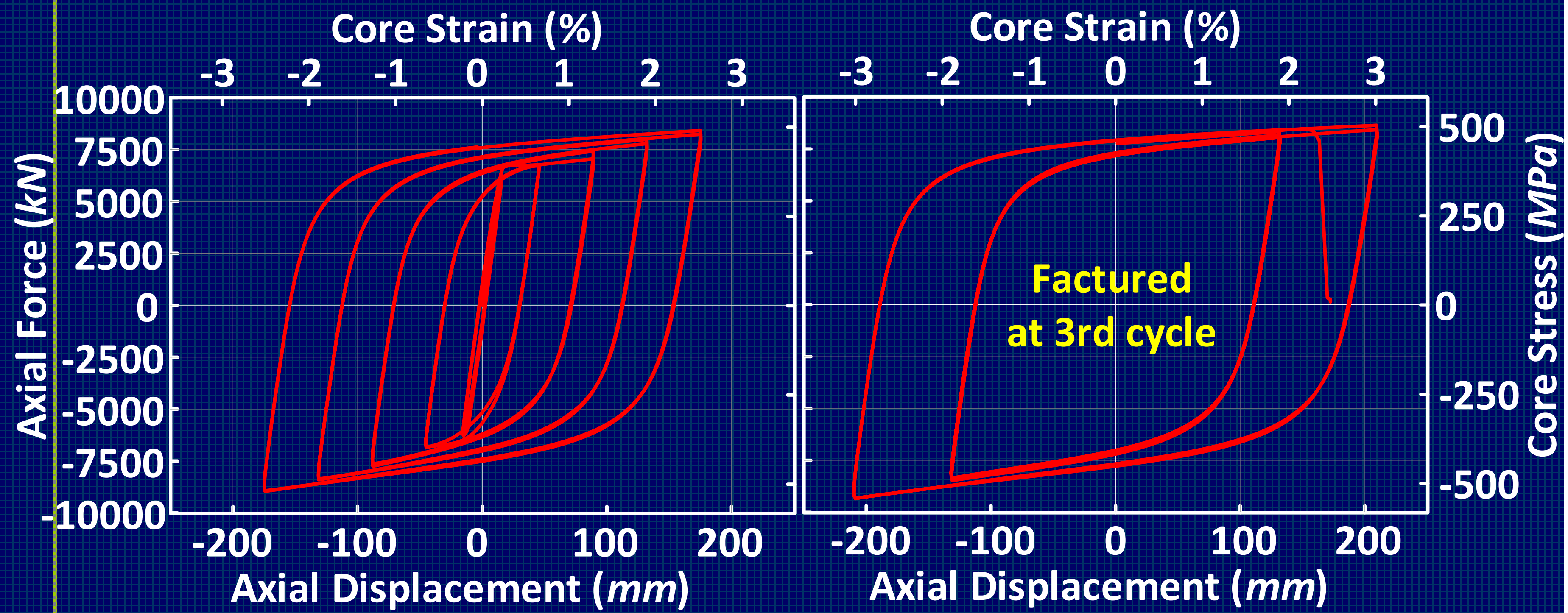
Member	P_y(kN)	L_{BRB}(mm)	Casing(mm)	Strain	CPD
WES-01	5175	7013	449×449×8	3.0%	470
WES-02	6720	9198	465×465×8	3.0%	600
WES-03	2250	4500	250×250×6	3.0%	453
WES-04	7300	4773	Pipe 500×9	3.0%	1036
WES-05	8300	4700	390×390×8	3.0%	952
WES-06	2510	3700	Pipe 318.5×6	1.8%	965
WES-07	3200	3708	Pipe 406.4×9	2.1%	771
WES-08	3750	4250	Pipe 406.4×6	2.2%	790
WES-09	6940	4110	Pipe 500×9	2.7%	898
WES-10	8800	3285	485×485×10	1.9%	1105

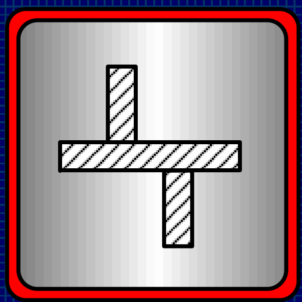
設計地震力(475年)樓層側位估計



Cd=1.4αyRa？
=1.4αyFu？

實體抽樣測試結果





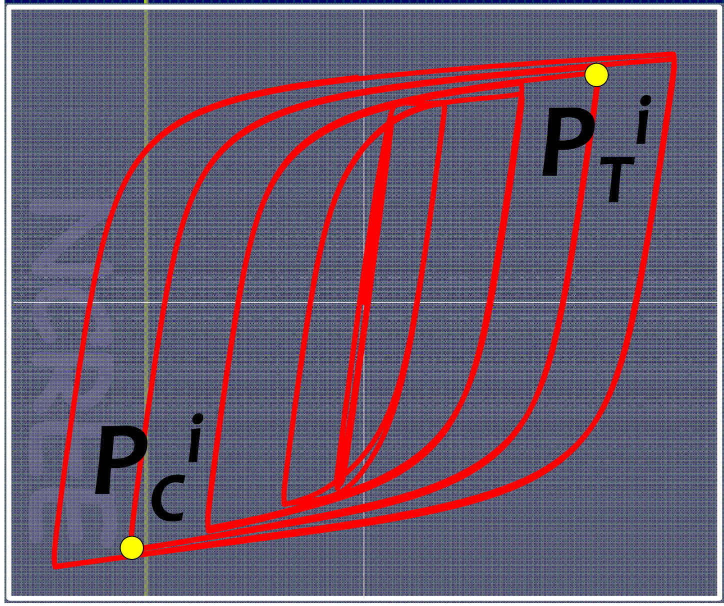
WES-02, A572 GR50

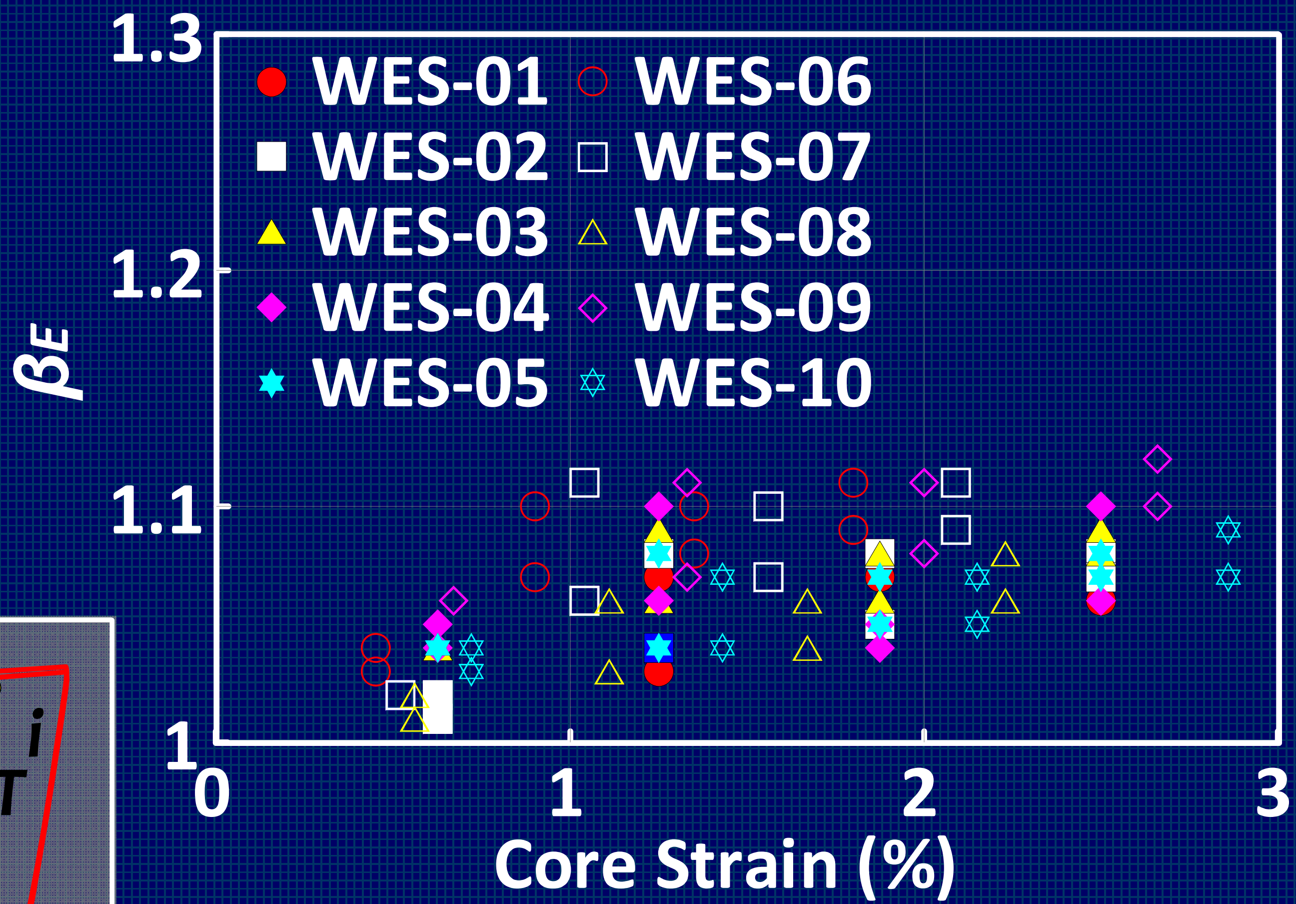
P_y=6720kN, L_{BRB}=9198mm

CPD=600, β<1.08

實體抽樣測試結果脫層效果優良

$$\beta_i = \frac{P_C^{\,i}}{P_T^{\,i}}$$





All the β values < 1.12

彰化基督教醫院員林分院

過去經驗的累積

- 產品良率難達100%
- 脫層材料貼覆品質不易控制
- 各授權廠商製程不一
- 生產品質未獲統一管控
- 斷面需求的限制
- 細部設計完全仰賴業界技師
- NCREE應如何協助改善？

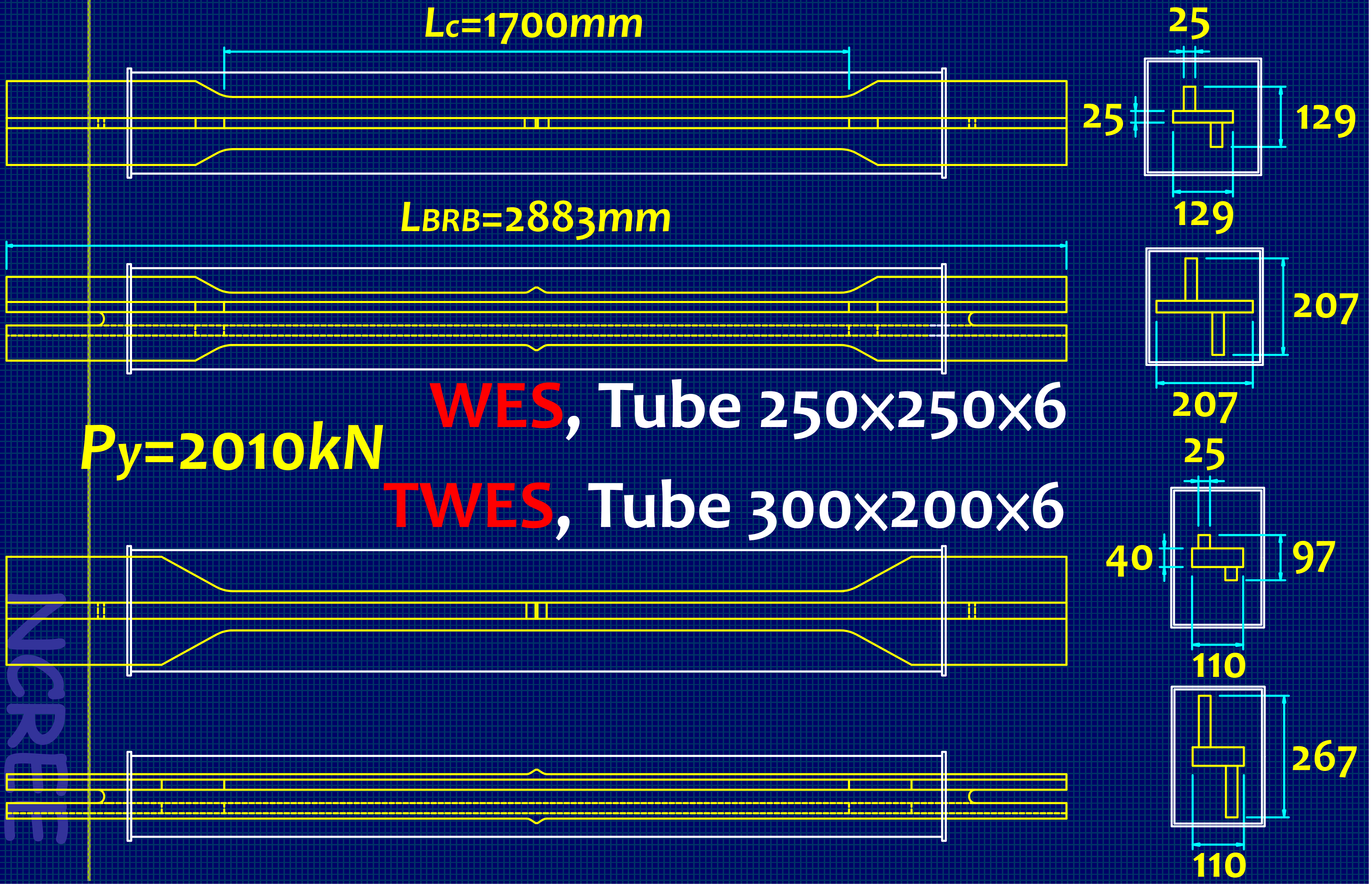
NCREE

應用案中實體抽樣測試

Member	P_y(kN)	L_{BRB}(mm)	Casing(mm)	Strain	CPD
WES-01	5175	7013	449×449×8	3.0%	470
WES-02	6720	9198	465×465×8	3.0%	600
WES-03	2250	4500	250×250×6	3.0%	453
WES-04	7300	4773	Pipe 500×9	3.0%	1036
WES-05	8300	4700	390×390×8	3.0%	952
WES-06	2510	3700	Pipe 318.5×6	1.8%	965
WES-07	3200	3708	Pipe 406.4×9	2.1%	771
WES-08	3750	4250	Pipe 406.4×6	2.2%	790
WES-09	6940	4110	Pipe 500×9	2.7%	898
WES-10	8800	3285	485×485×10	1.9%	1105

NCREE

薄型化WES-BRB性能研究

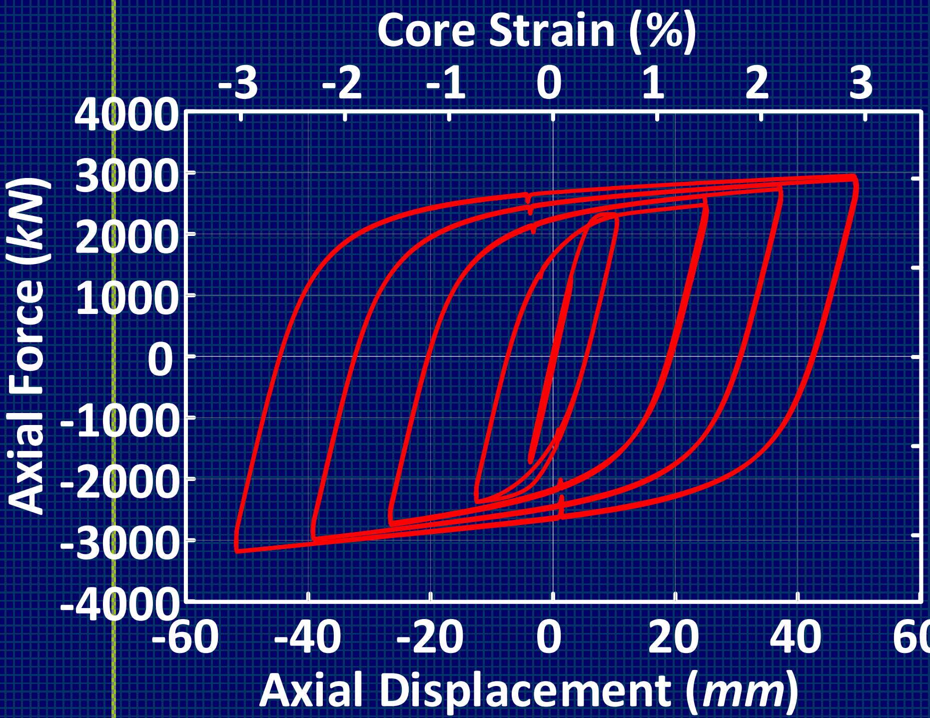


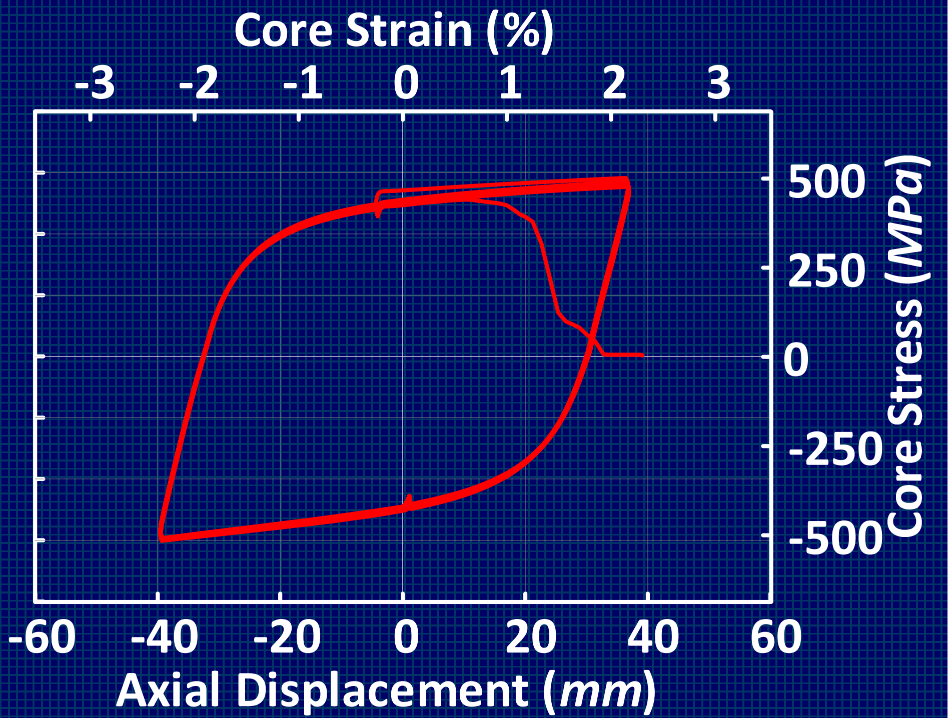
WES, Tube 250×250×6

P_y=2010kN

TWES, Tube 300×200×6

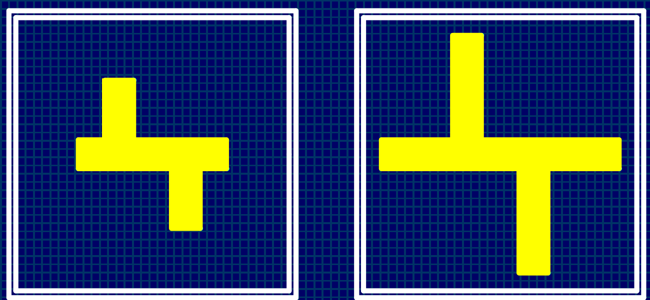
WES-BRB性能反應





Py*=2010*kN

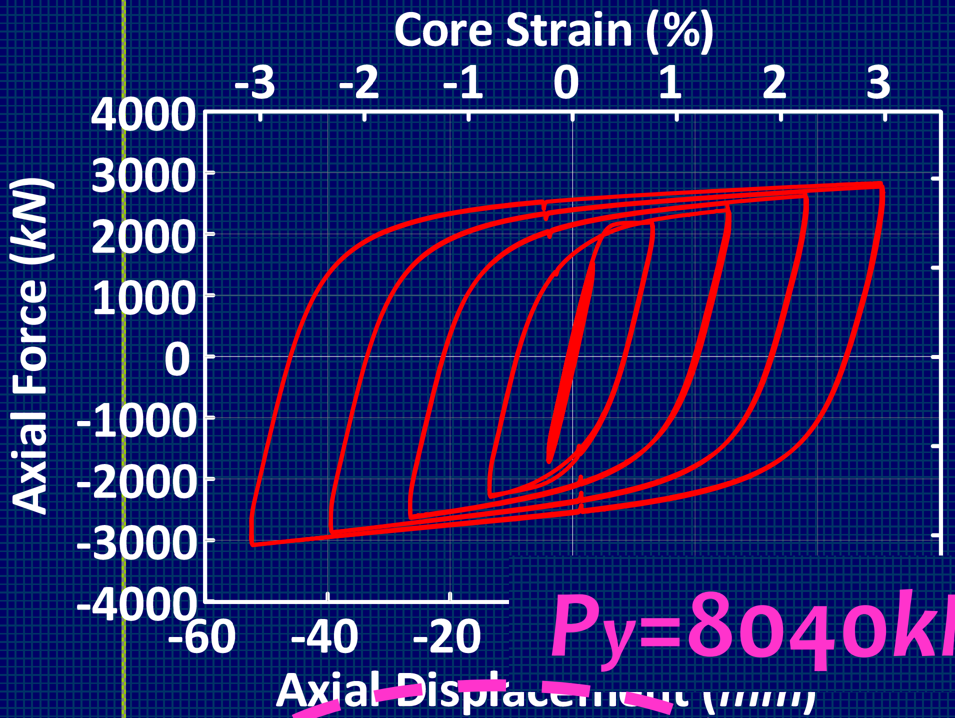
WES, Tube 250×250×6

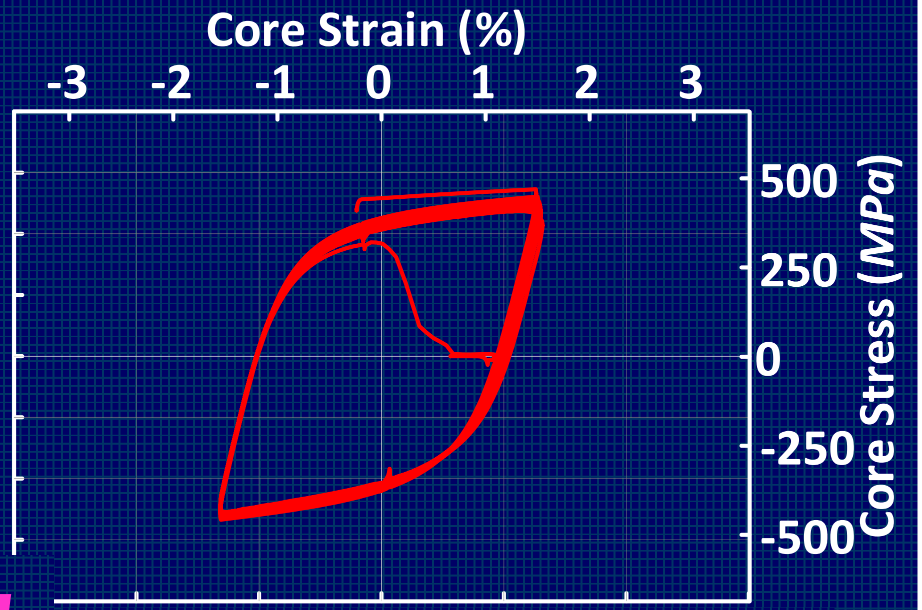


β<1.08

CPD=1189

薄型化WES-BRB性能反應





Py=8040kN

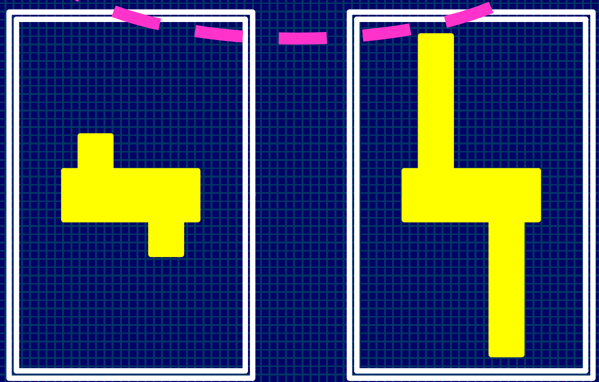
Tube 600×400×12

Py=2010kN

TWES, Tube 300×200×6

β<1.09

CPD=2144

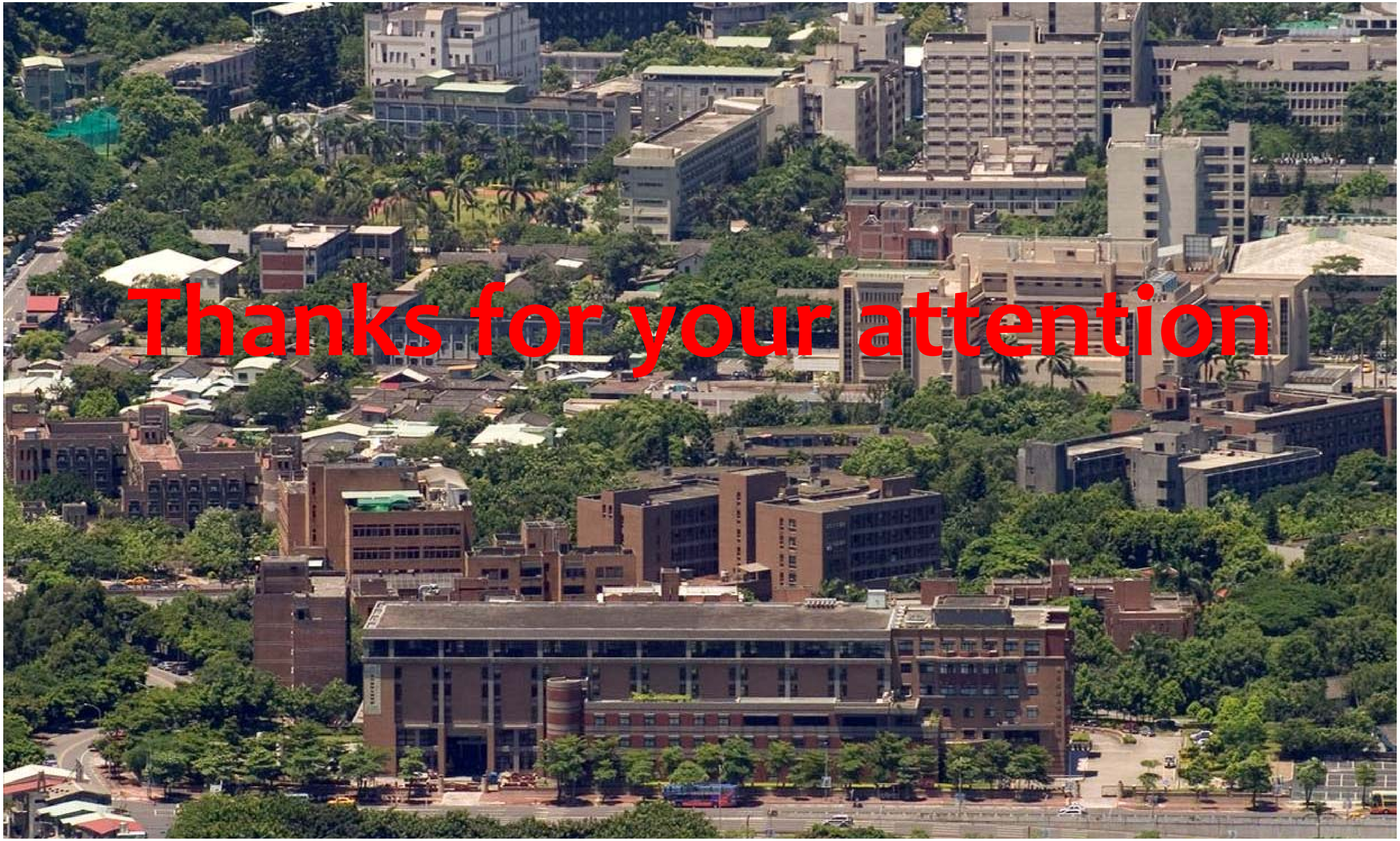


NCREE

結論 <u>http://BOD.ncree.org.tw</u>

- 壓力強度增大效應預測方法，可預估不同應變量造成的壓力與拉力差值，供工程實務應用參考。
- 黏性橡膠性能穩定且施工性優良，可降低製造成本、使壓拉強度反應差值小，有利結構系統之耐震設計。
- 實尺寸的構件與構架試驗顯示，槽接式BRB構件及其接合耐震性能良好穩定。
- 習見之非線性結構分析軟體，能有效預測槽接式BRB及BRBF之受力與變形反應。
- 已建置授權、管理與保證機制，可確保品質。

NCREE



國家地震工程研究中心

NCREE