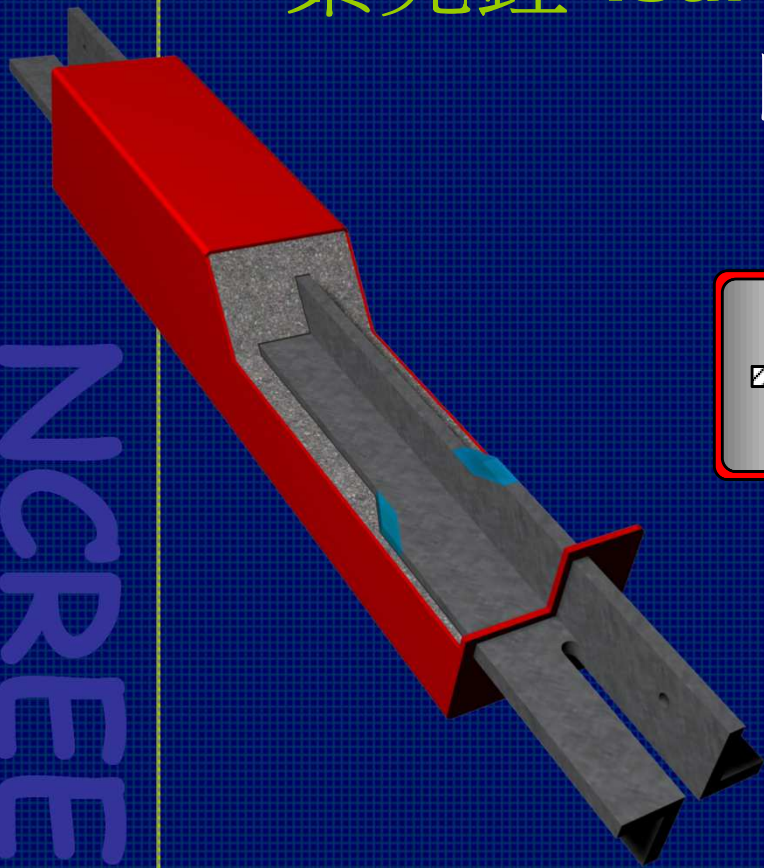
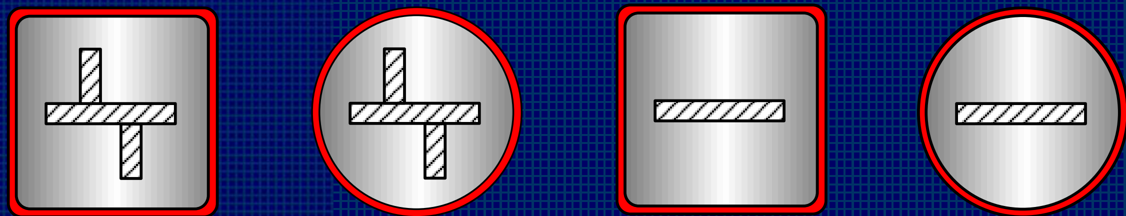
# 槽接式挫屈束制支撐
# 制震技術研發

NCREE


蔡克銓 **Tsai Keh-Chyuan**

國立台灣大學土木工程學系 **(NTU)**
國家地震工程研究中心 **(NCREE)**

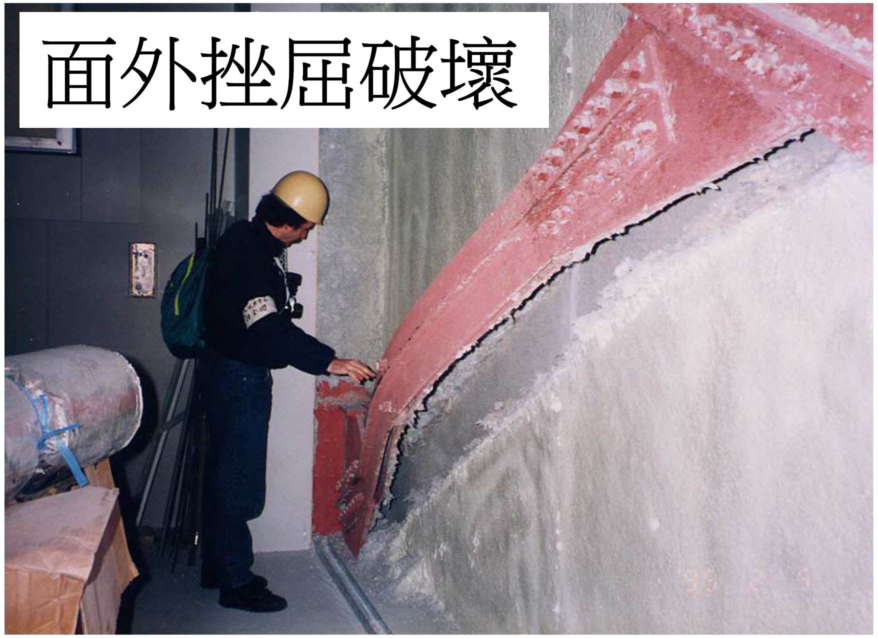





槽接式挫屈束制支撐
設計與應用技術研討會

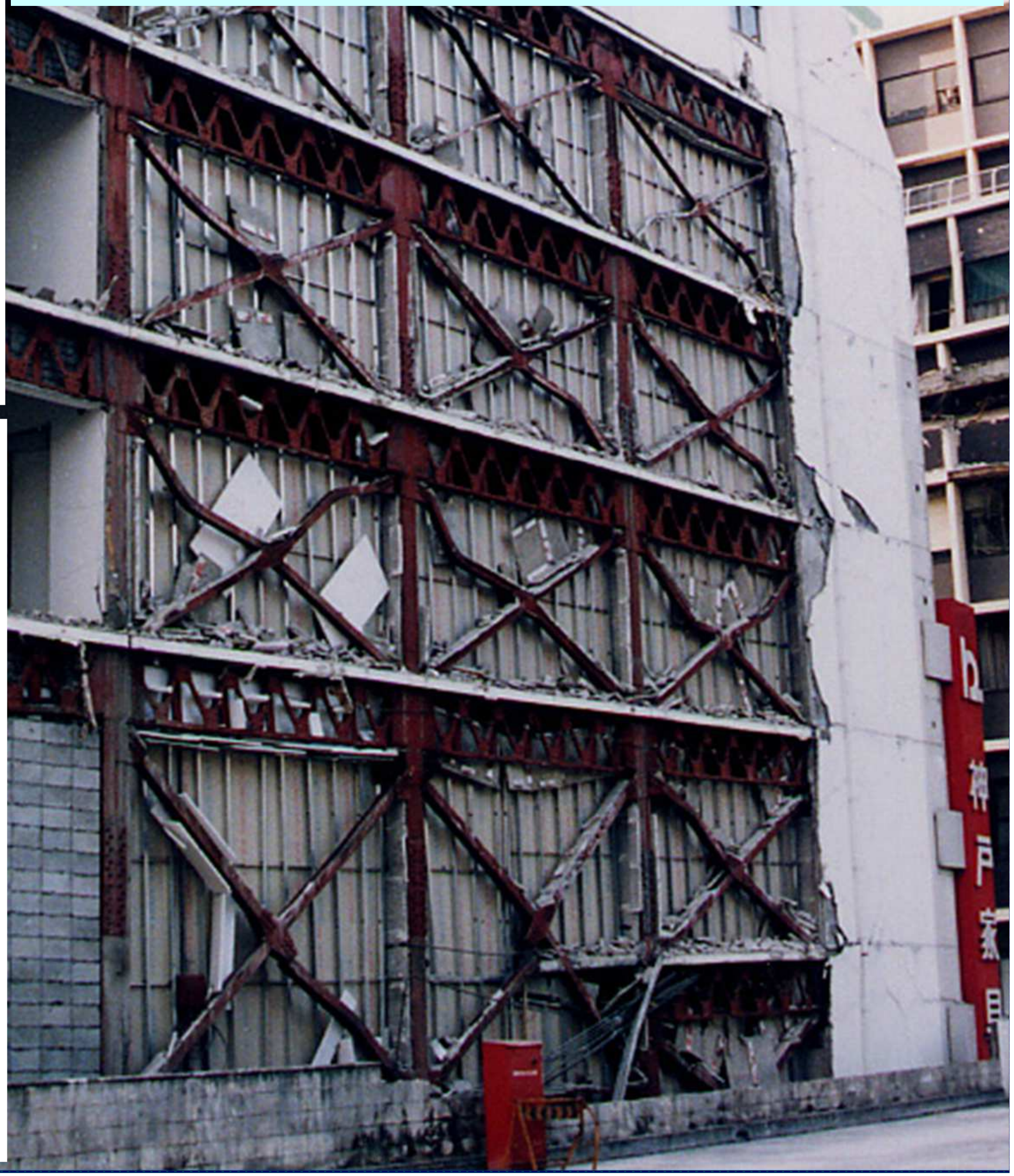
**2012,** 台灣大學應力所**,** 台北市

# 傳統鋼骨同心斜撐破壞實例(1995年阪神地震)



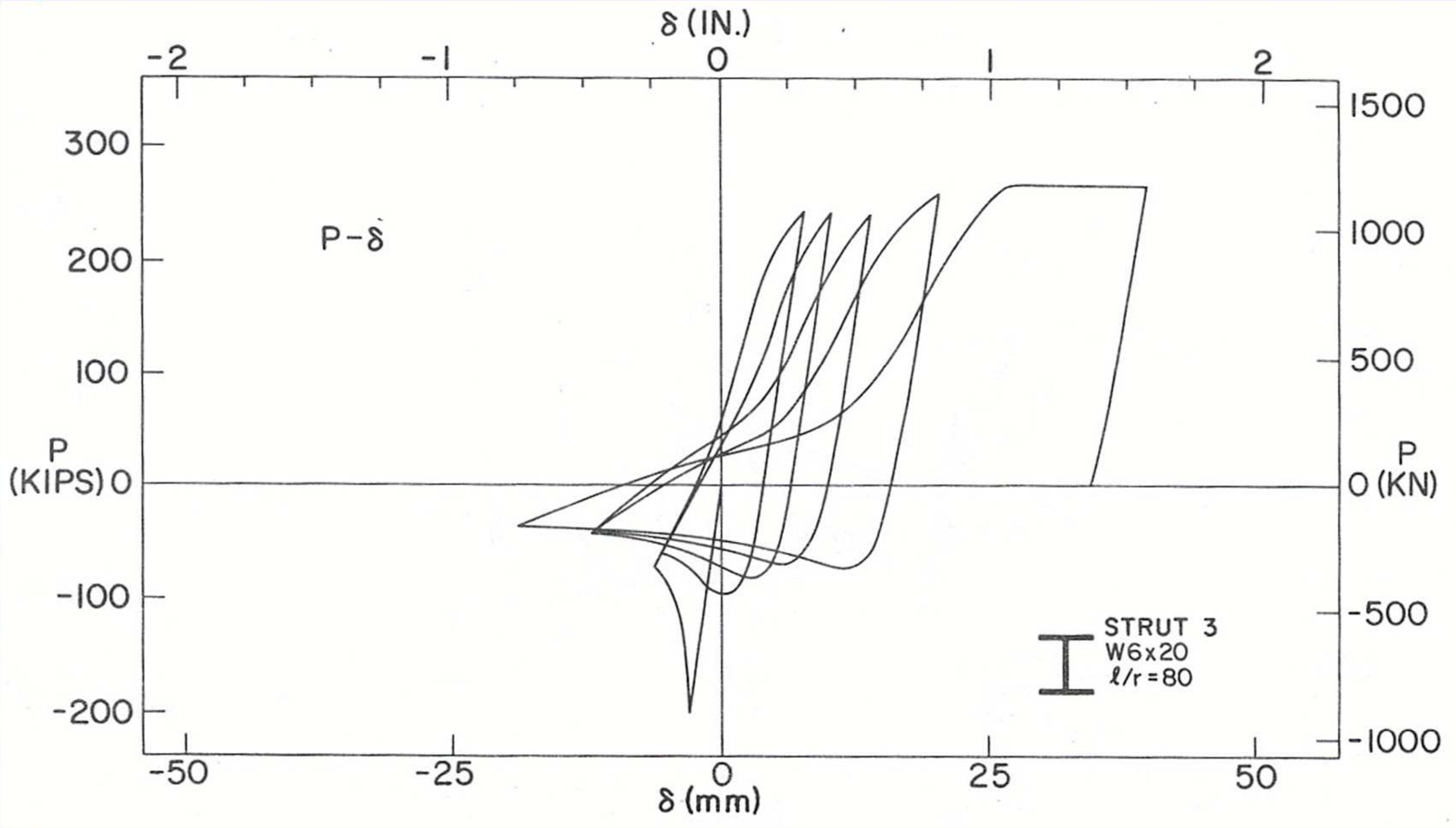
面外挫屈破壞

面內挫屈破壞



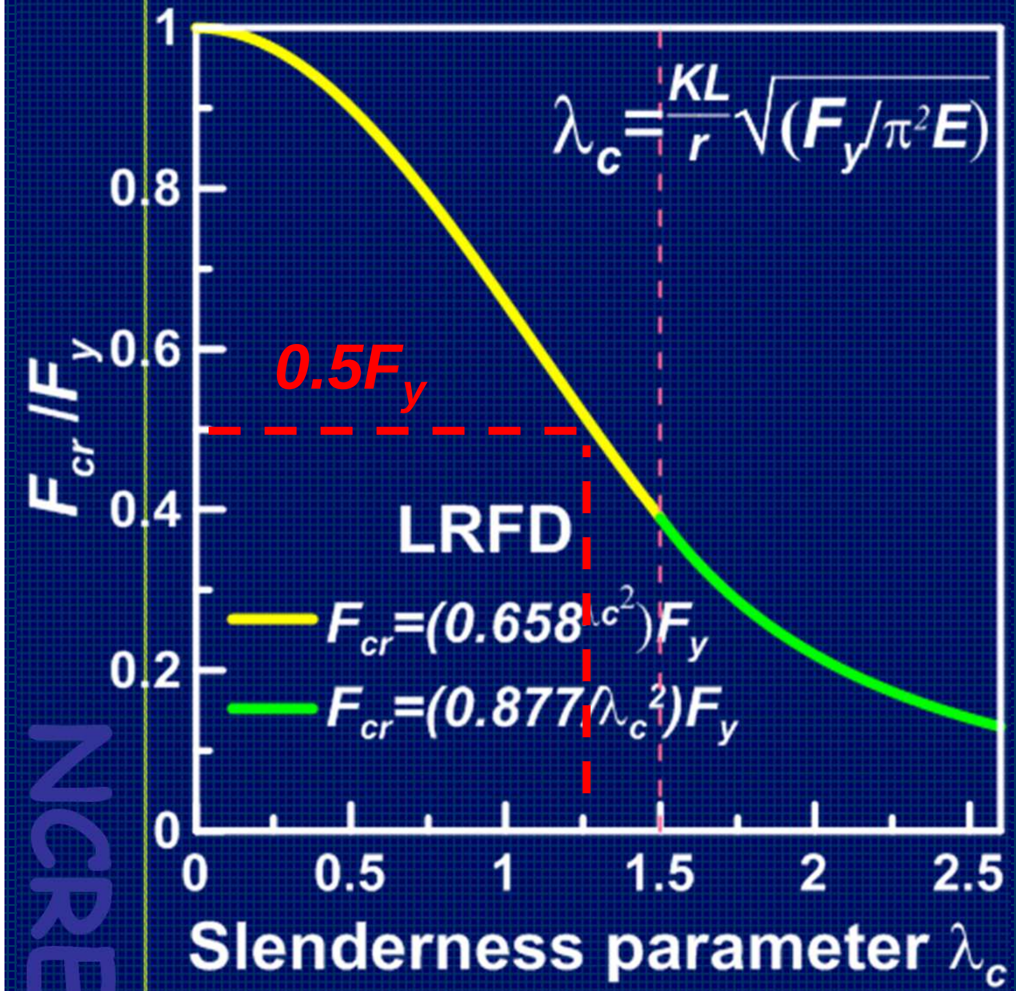
# Experimental Behavior of Brace Under Cyclic Axial Loading

## W6x20 Kl/r = 80

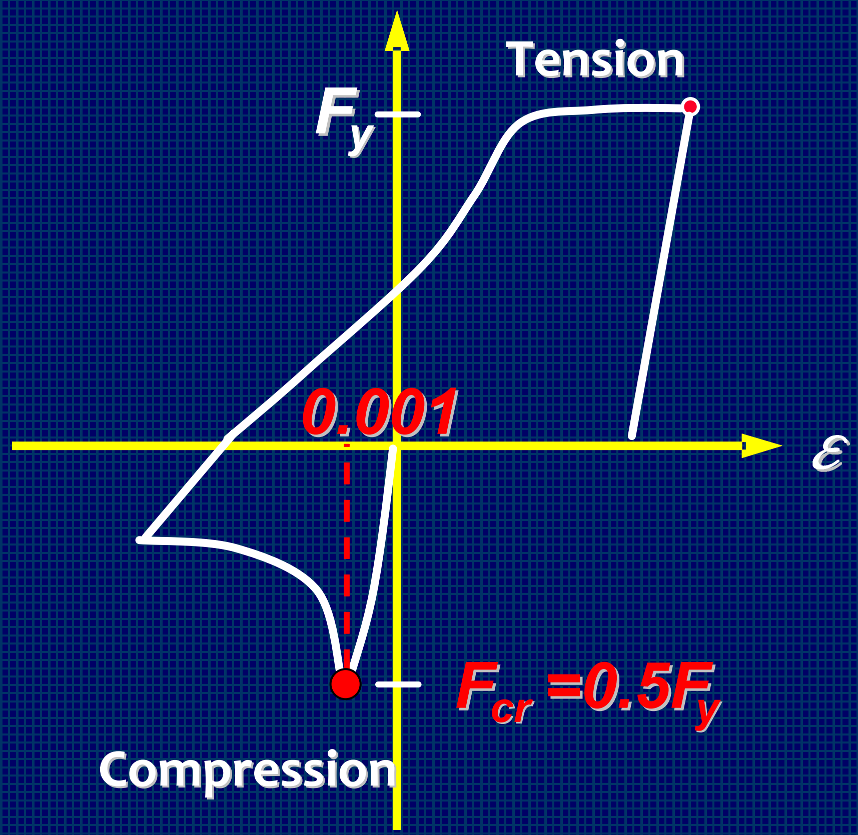



NCREE

# 傳統斜撐挫屈時之應變

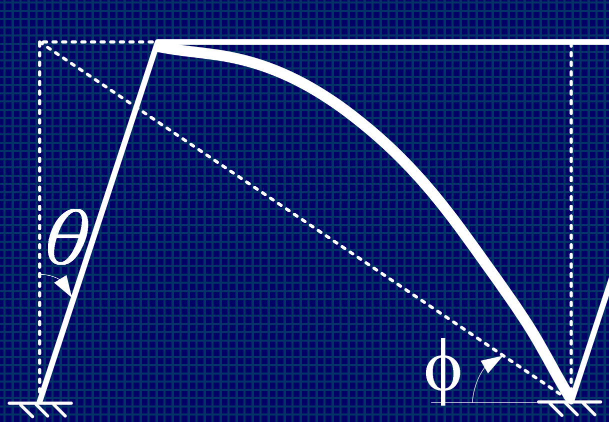


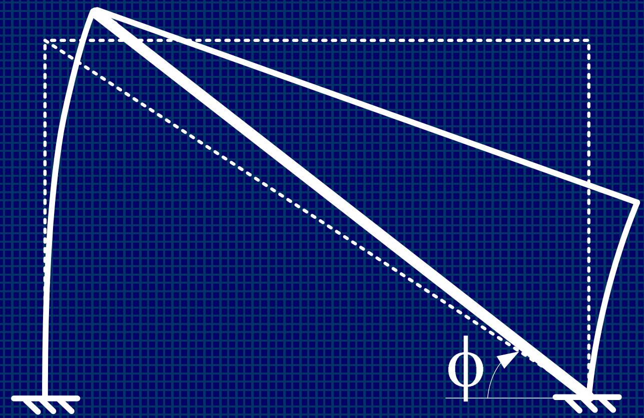
$\lambda_c = \frac{KL}{r}\sqrt{(F_y/\pi^2 E)}$
0.5$F_y$
LRFD
$F_{cr}=(0.658^{\lambda c^2})F_y$
$F_{cr}=(0.877/\lambda_c^2)F_y$
$F_{cr}/F_y$
Slenderness parameter $\lambda_c$

Tension
$F_y$
0.001
$\varepsilon$
$F_{cr}=0.5F_y$
Compression

# *Braced Frame Deformations*




**Shear**

$$\theta \neq 0$$

$$\varepsilon_{wp} \neq 0$$

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

**Bending**

$$\theta \neq 0$$

$$\varepsilon_{wp} = 0$$

# 斜撐應變與側位移角之關係

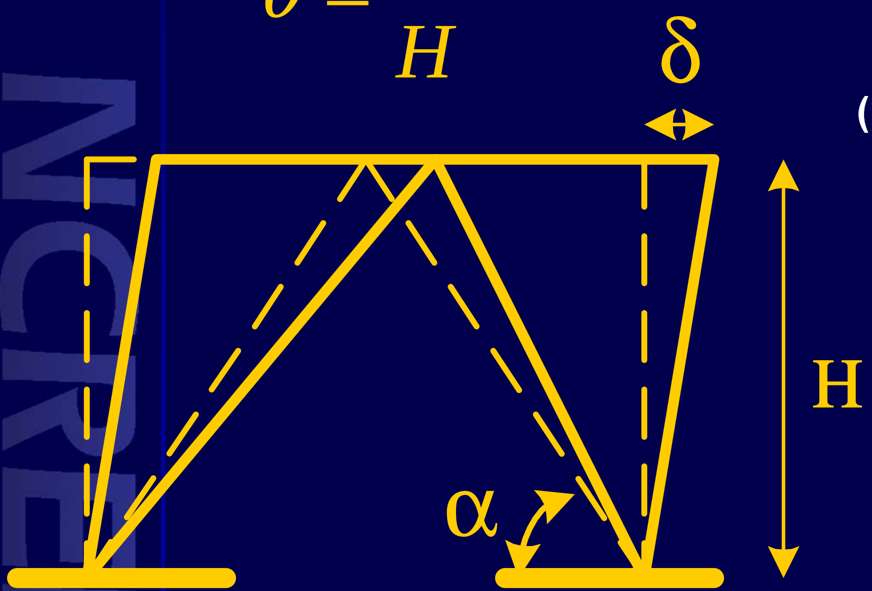
ε=(θ/2)sin2α

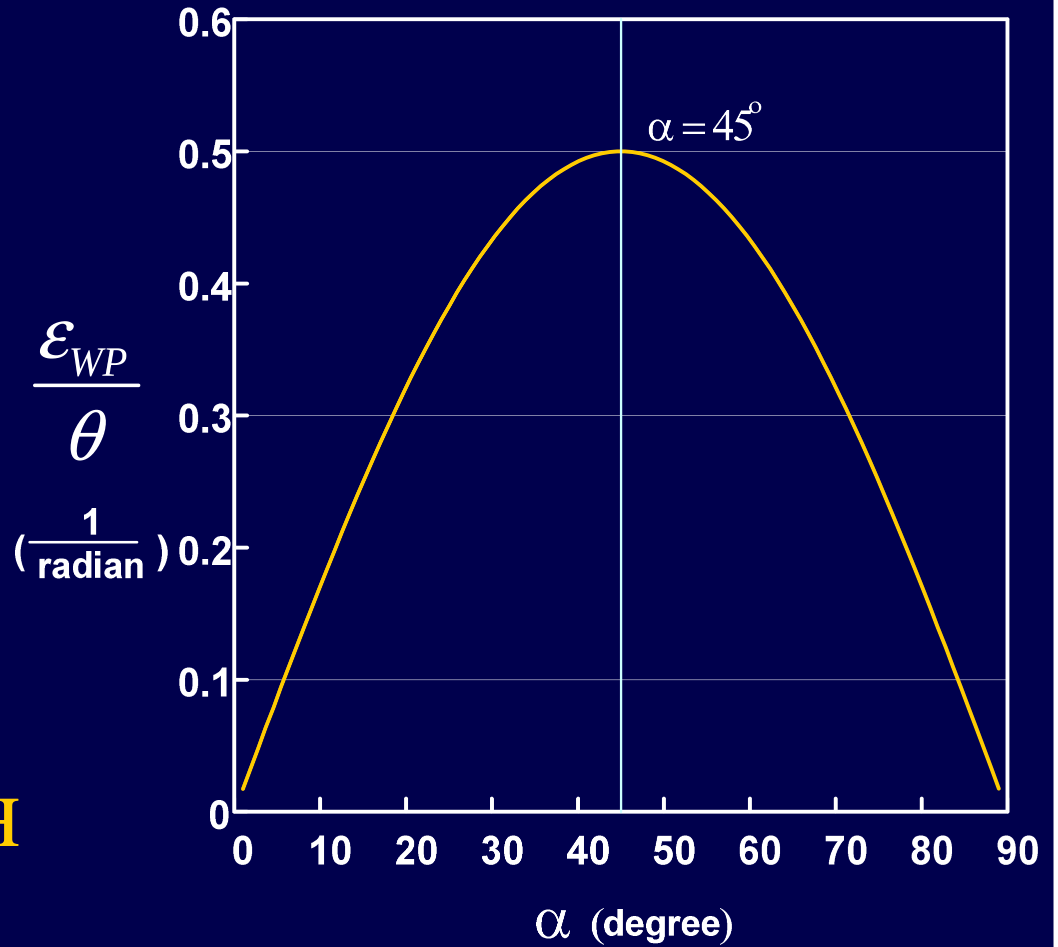
**α=45 degree**

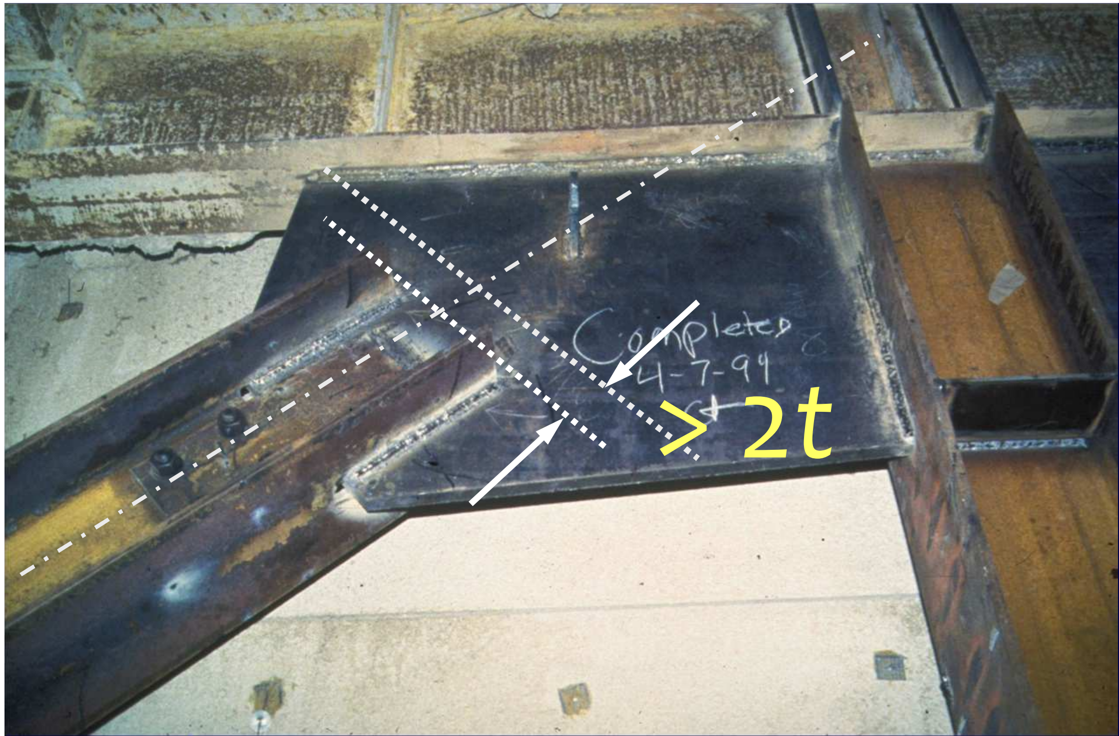
**θ= 0.002 rad.,**

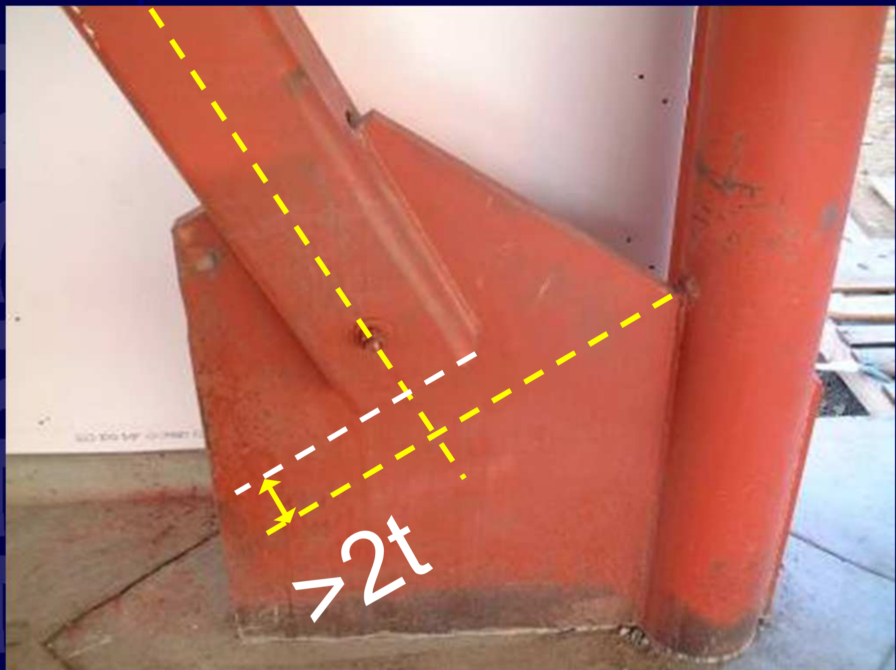
**ε=0.001**

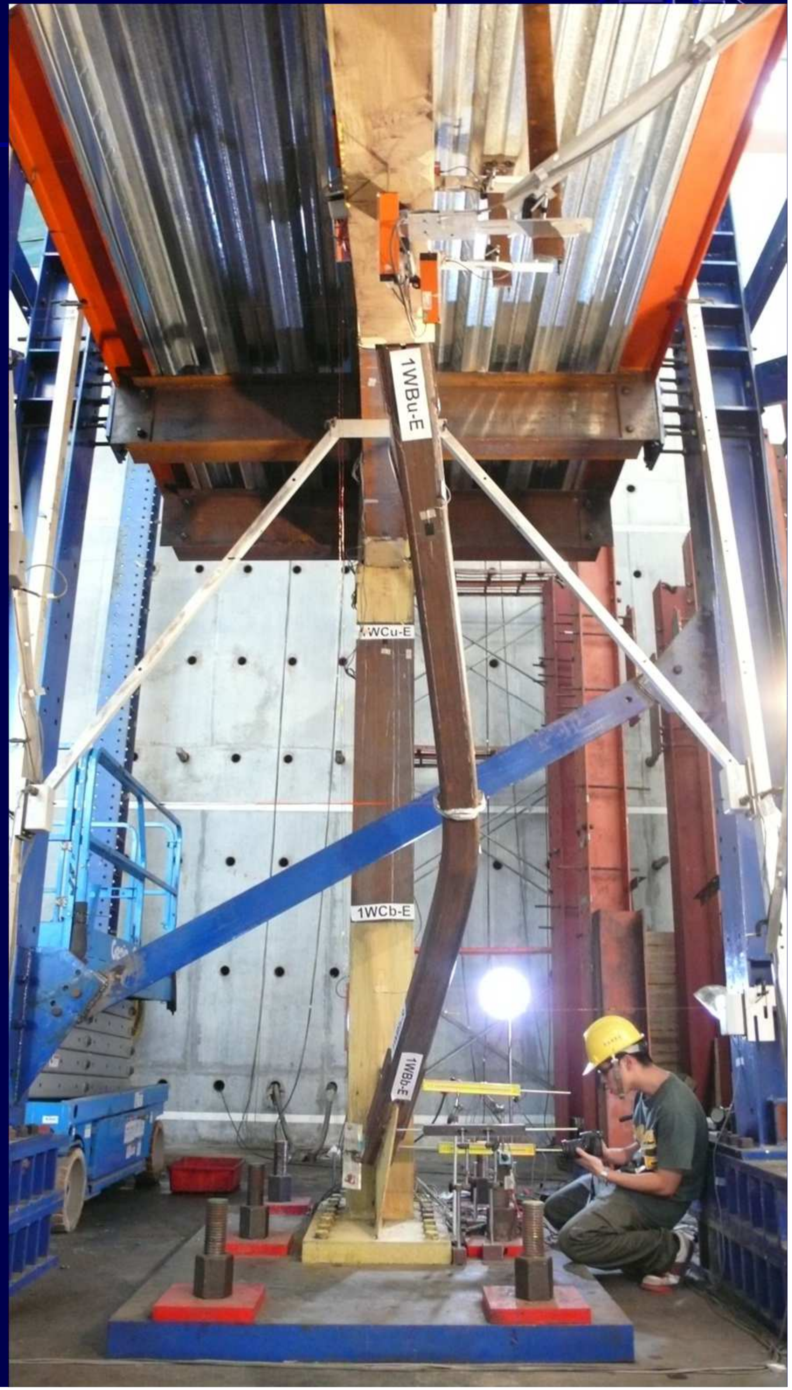
$$\theta = \frac{\delta}{H}$$



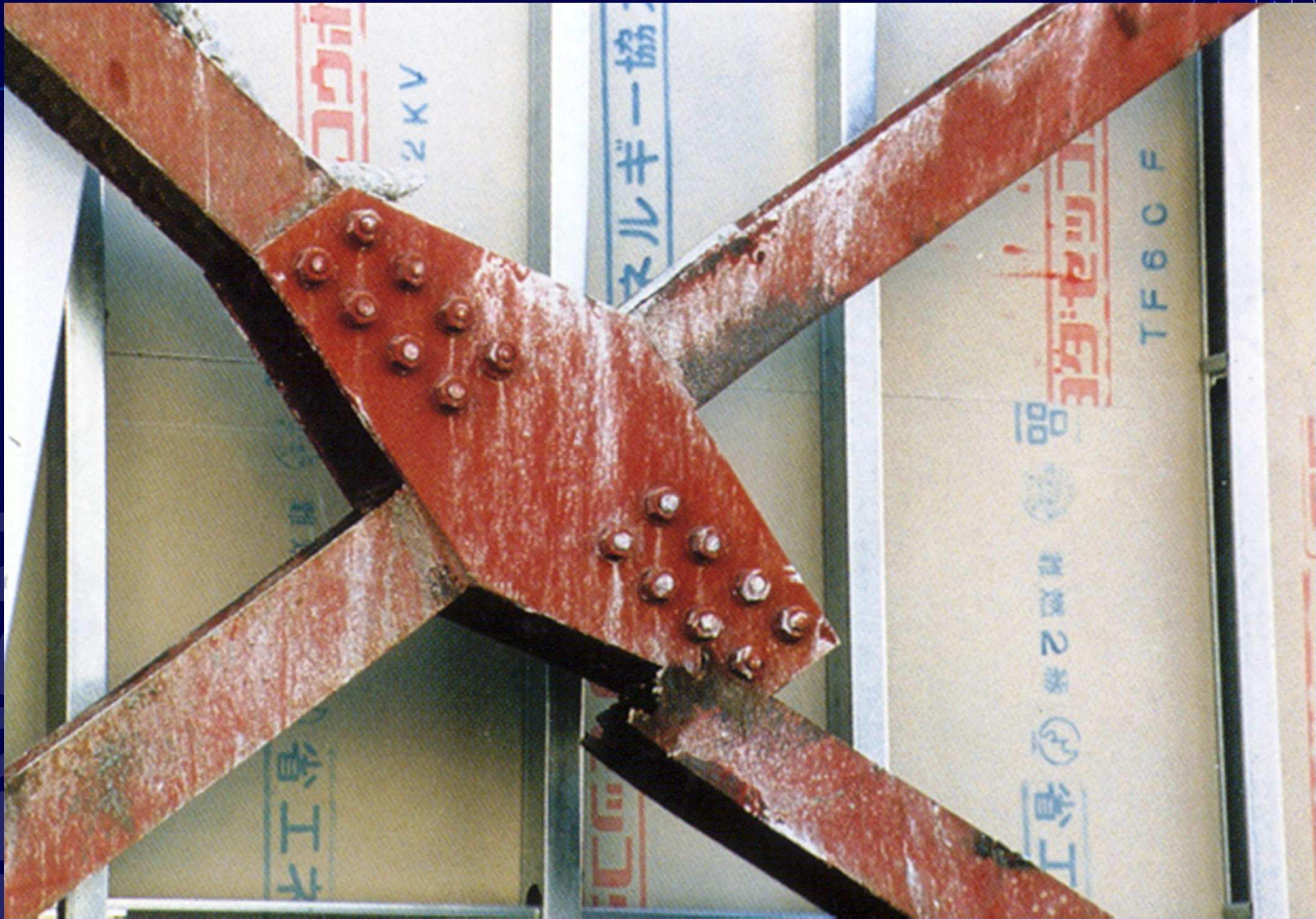

Completed
4-7-99
> 2t

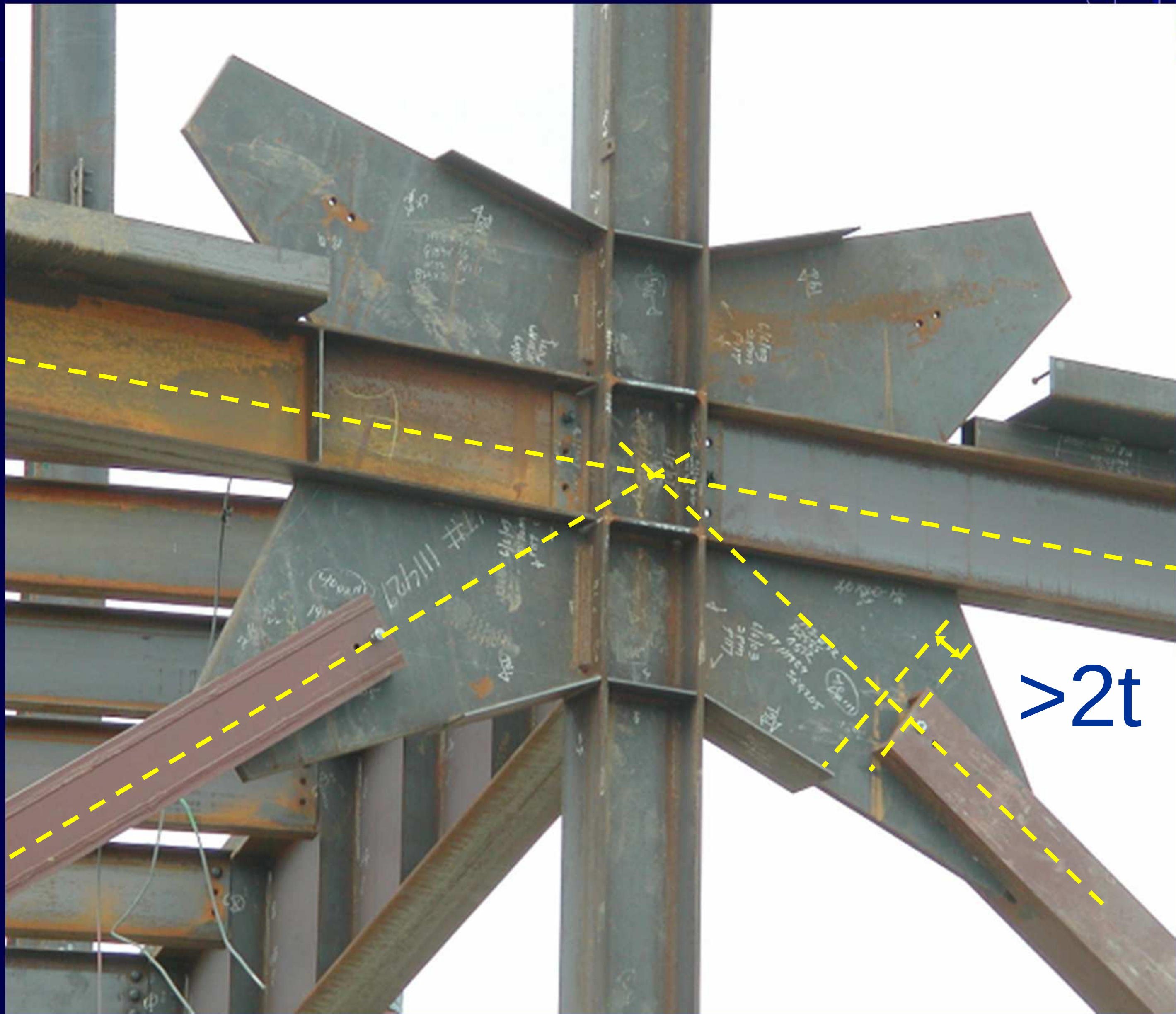

>2t


1WBu-E
1WCu-E
1WCb-E
1WBb-E


$1.1\ R_y\ M_{p\text{-}brace}$


'95 2 17

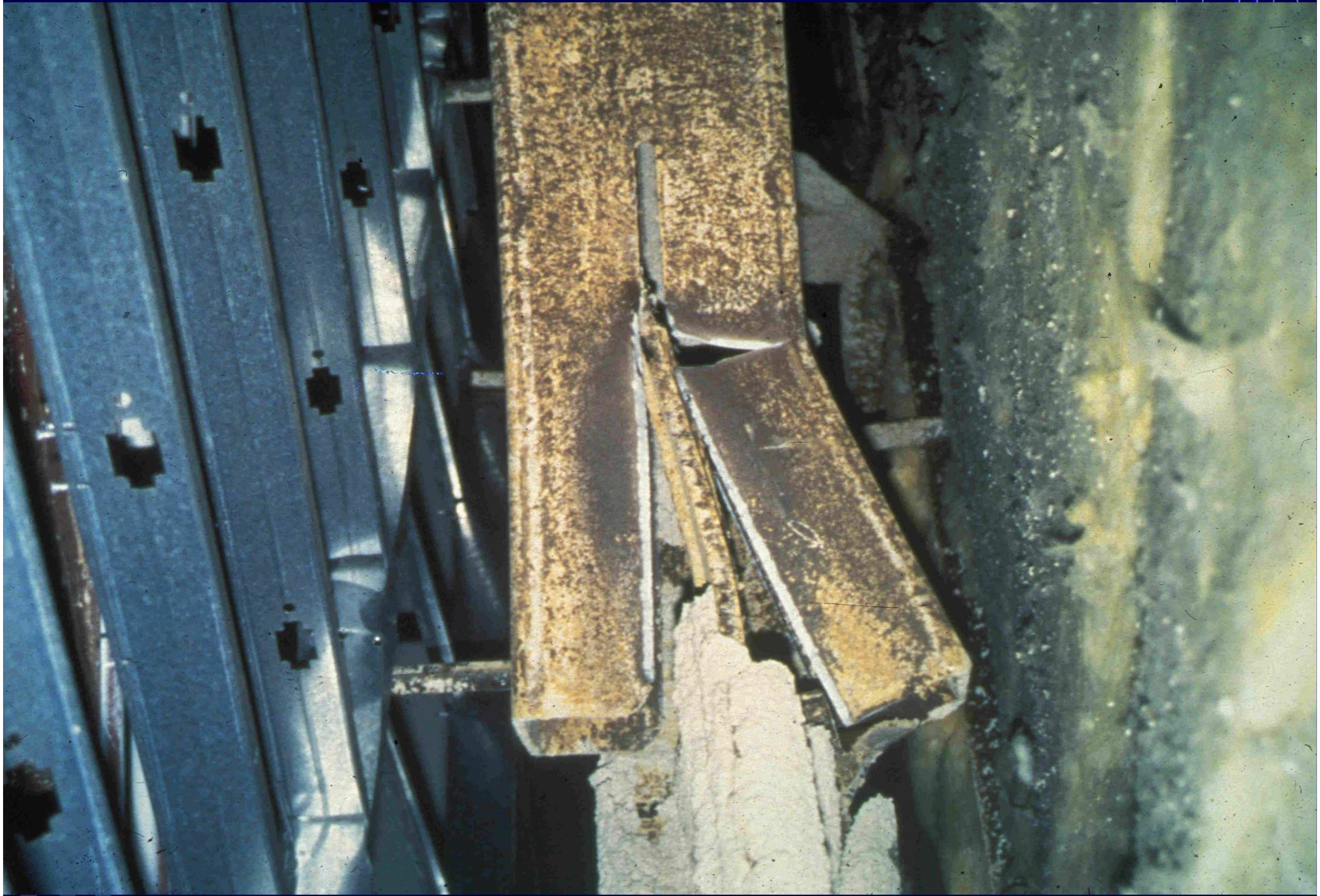





NCREE


> 2t

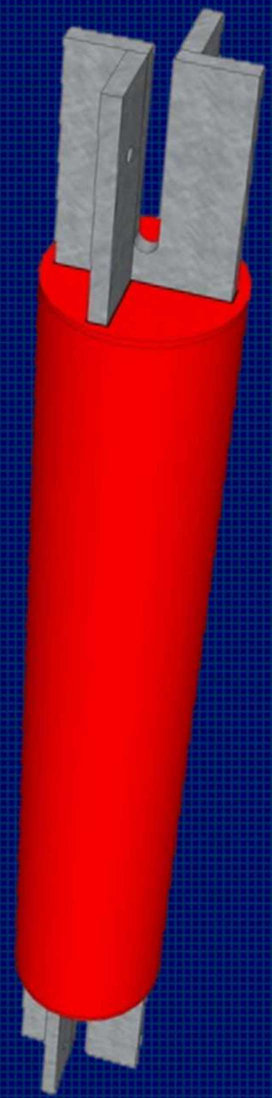
NCREE



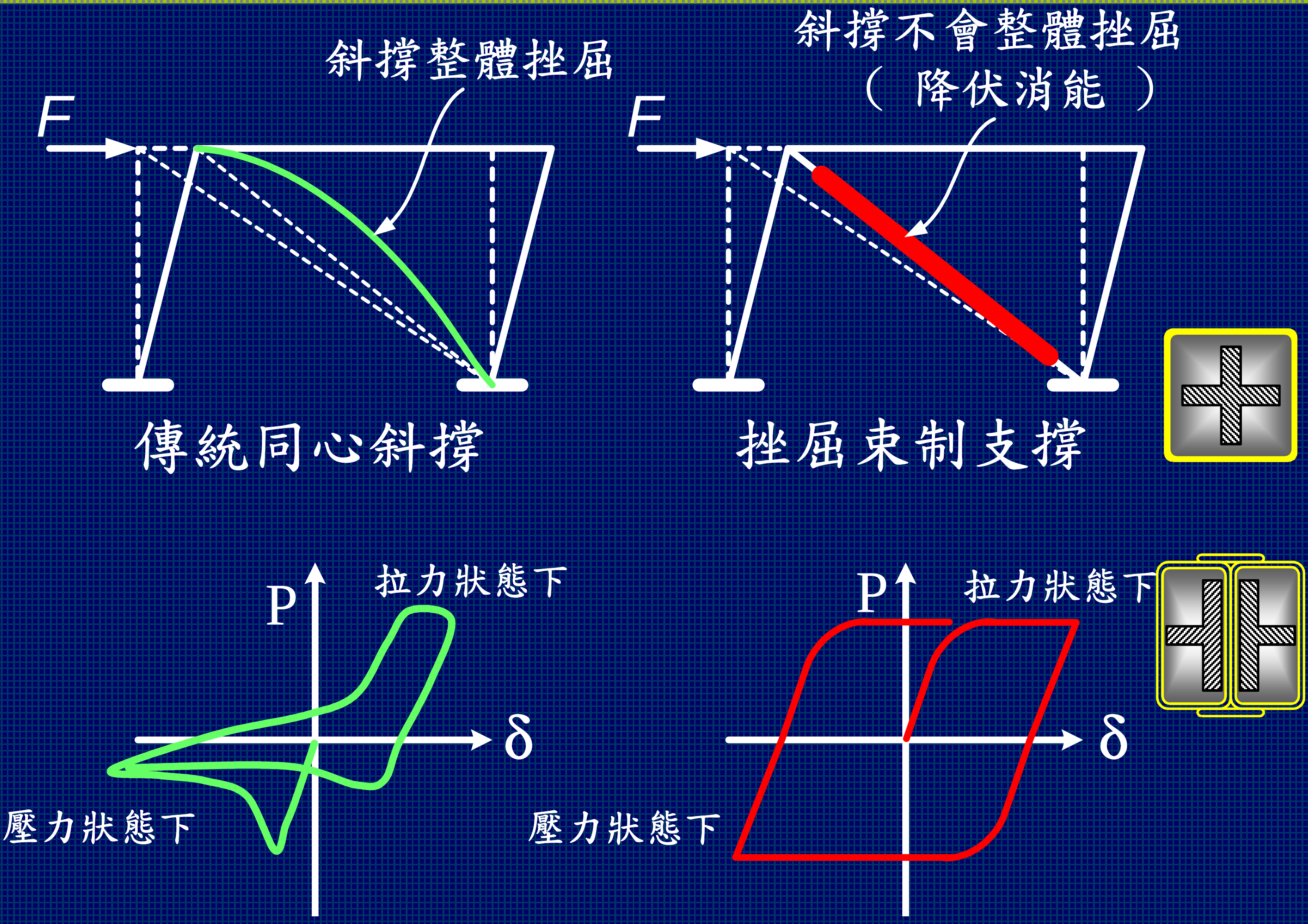

吊昇荷重
33.14T

# 內容概要

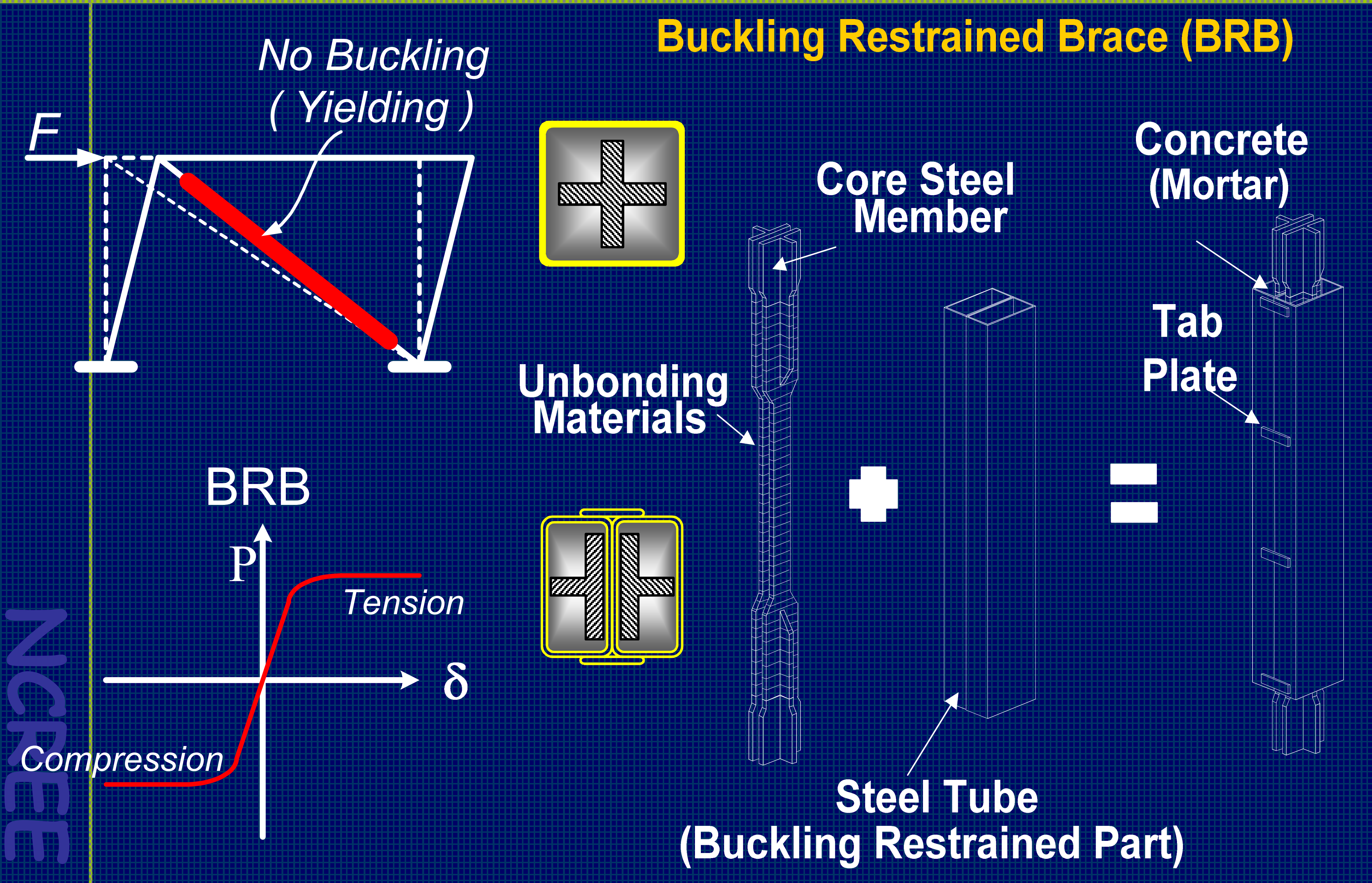
- 特殊同心斜撐構架行為
- 搭接組合式挫屈束制支撐發展與應用
- 槽接式挫屈束制支撐研發
- 槽接式挫屈束制支撐成本分析與經濟效益
- 結論



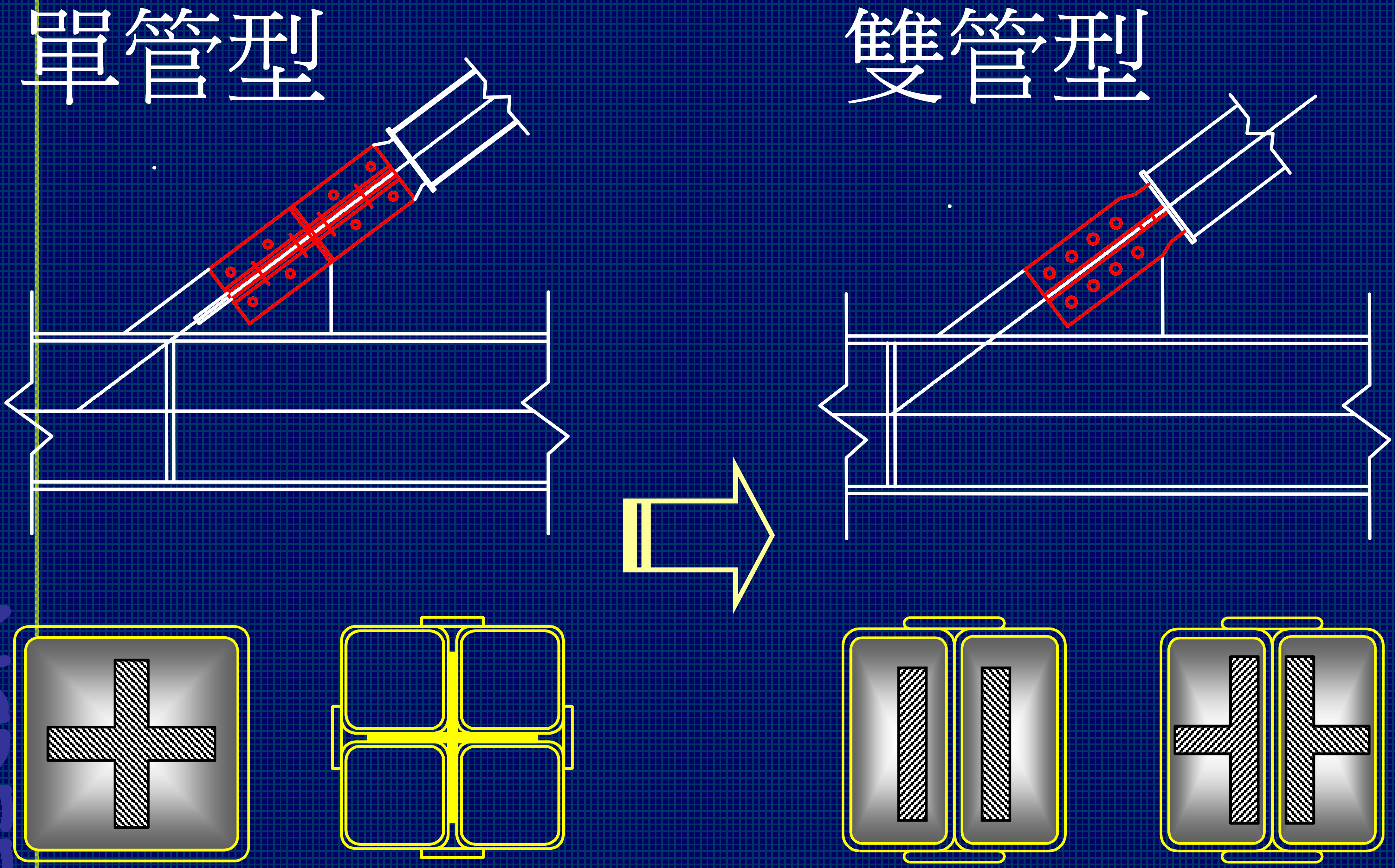
# 挫屈束制支撐組成與原理



# 挫屈束制支撐組成與原理

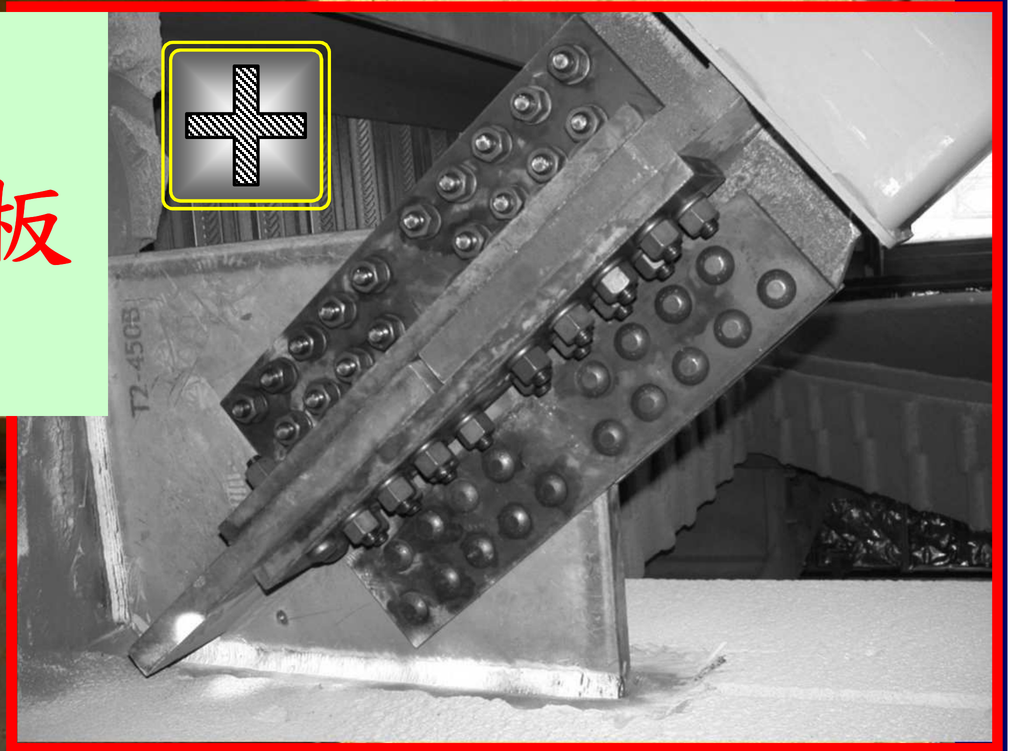


# 挫屈束制支撐斷面與接合型式



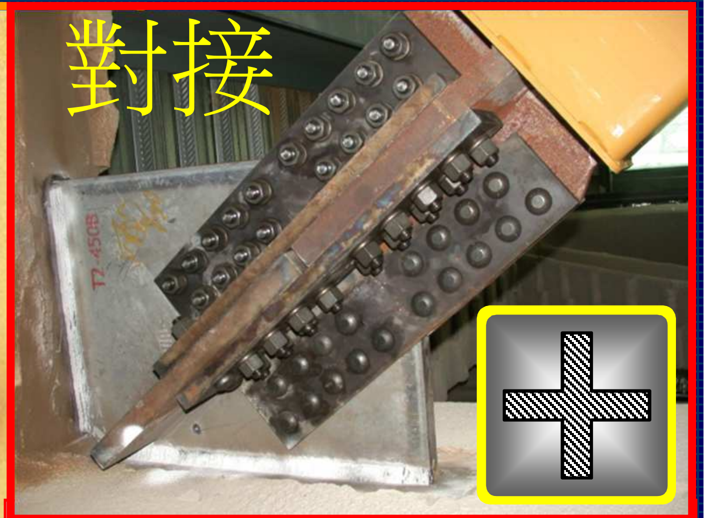
# 挫屈束制支撐之接合

搭接螺栓僅需一套
不須使用多片對接板
不須具備高精準度

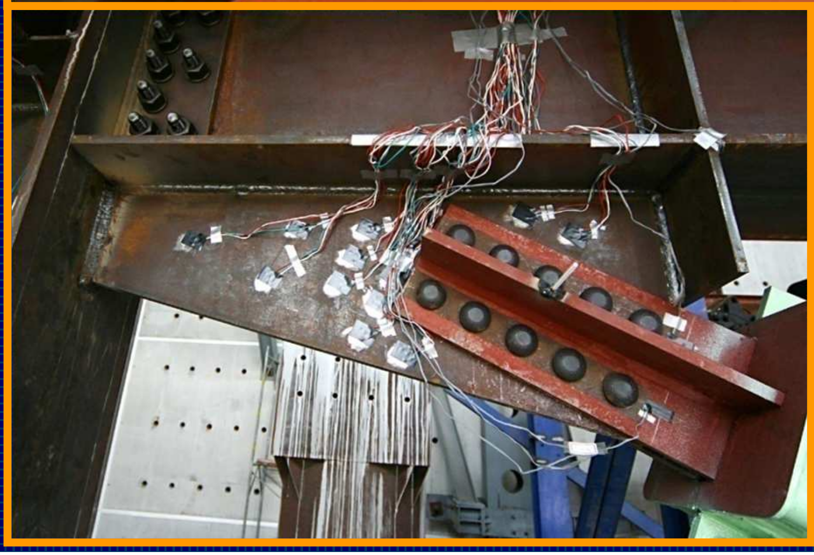


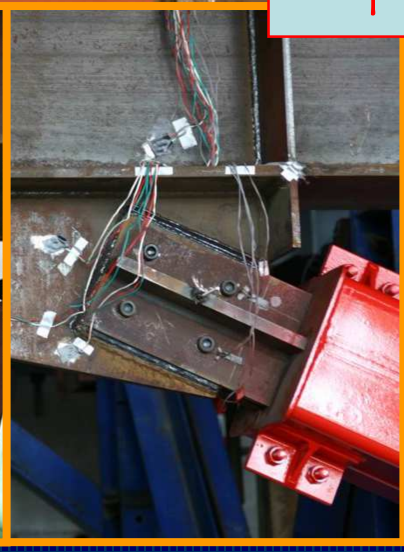
對接螺栓需二套
須使用多片對接板
須具備高精準度

# 搭接 vs. 對接接合型式


搭接螺栓僅需一套
不須使用對接板

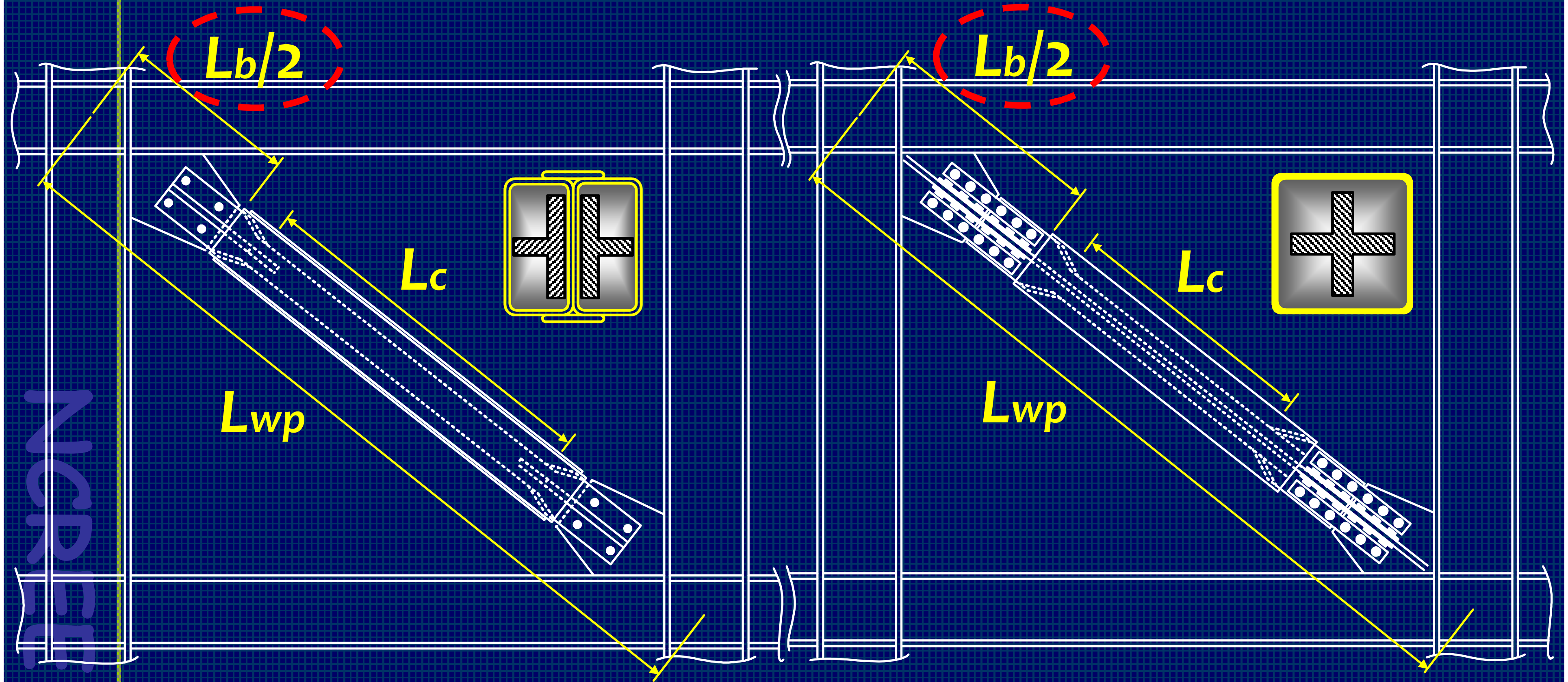




接合方式可另
採用焊接接合

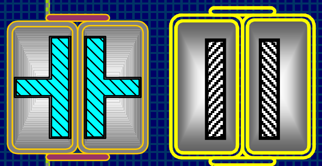
# 雙管型挫屈束制支撐之優點

## 提高核心消能段的疲勞壽命與接合區段的穩定性

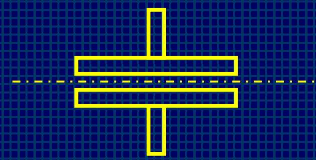


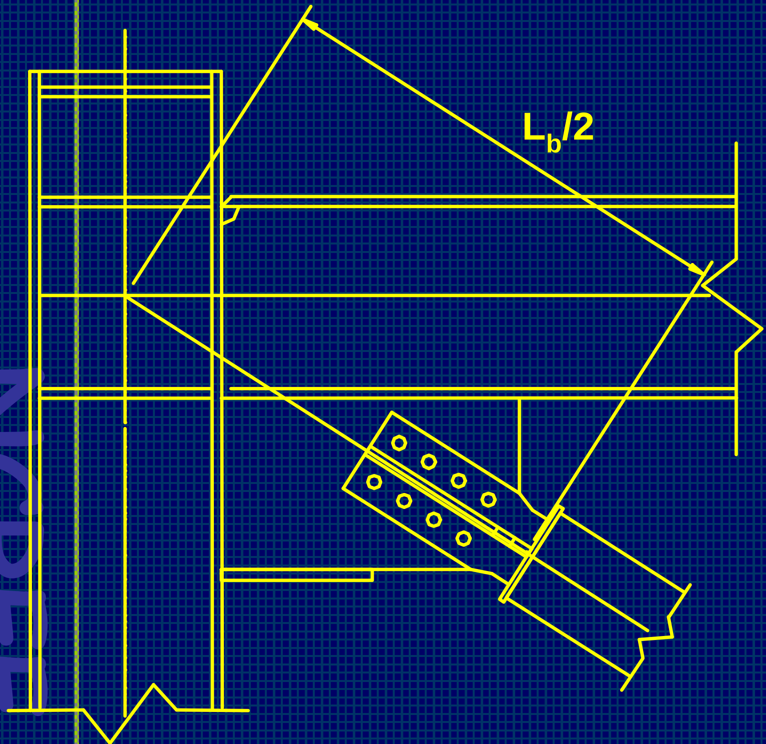
# 雙管型挫屈束制支撐之優點

接合螺栓用量減半，接合長度減短，可簡化接合，並且提高接合區的穩定性。

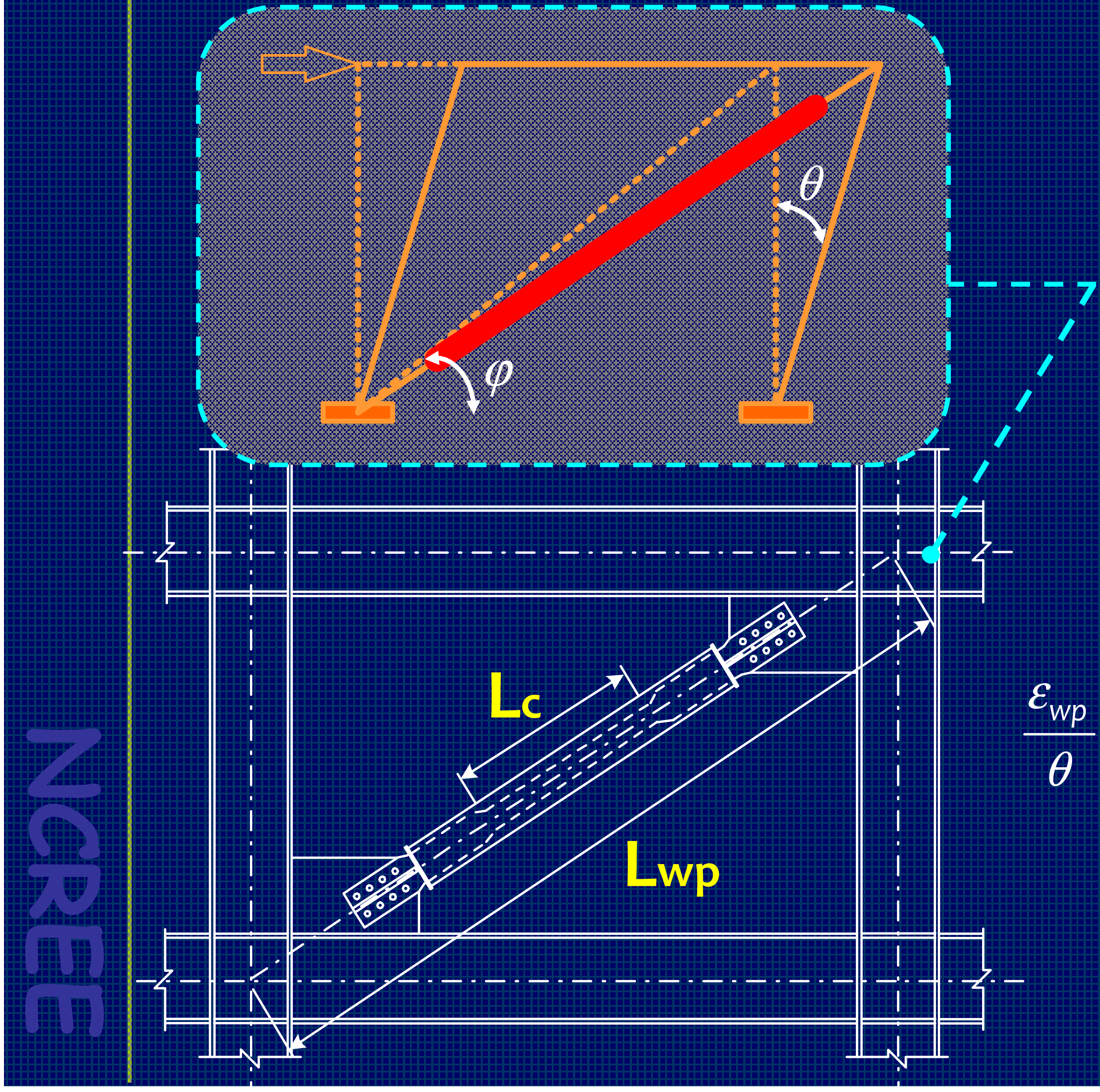


$$P_{e\_trans} = \frac{\pi^2 EI_{trans}}{(kL_b)^2} \geq P_{max}$$



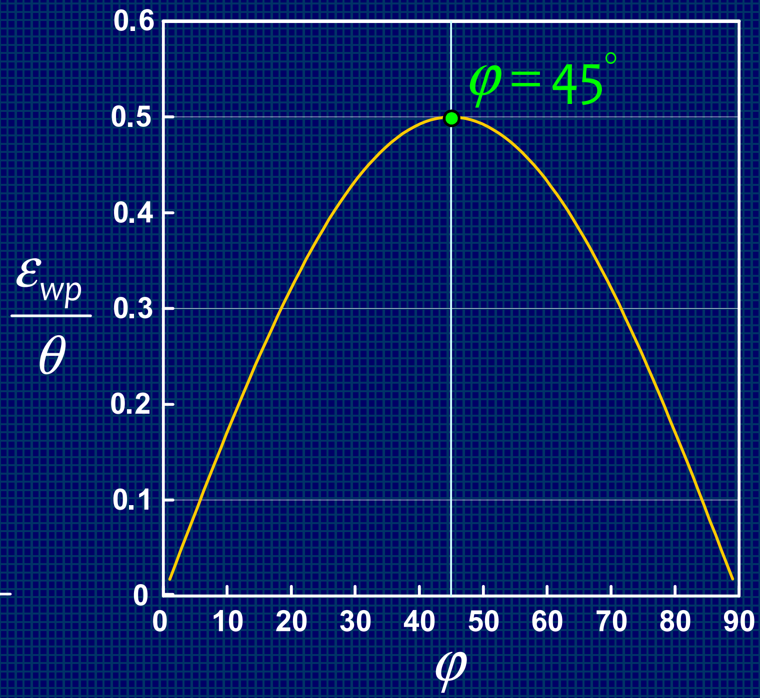



# 核心應變與樓層側位移之關係




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

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



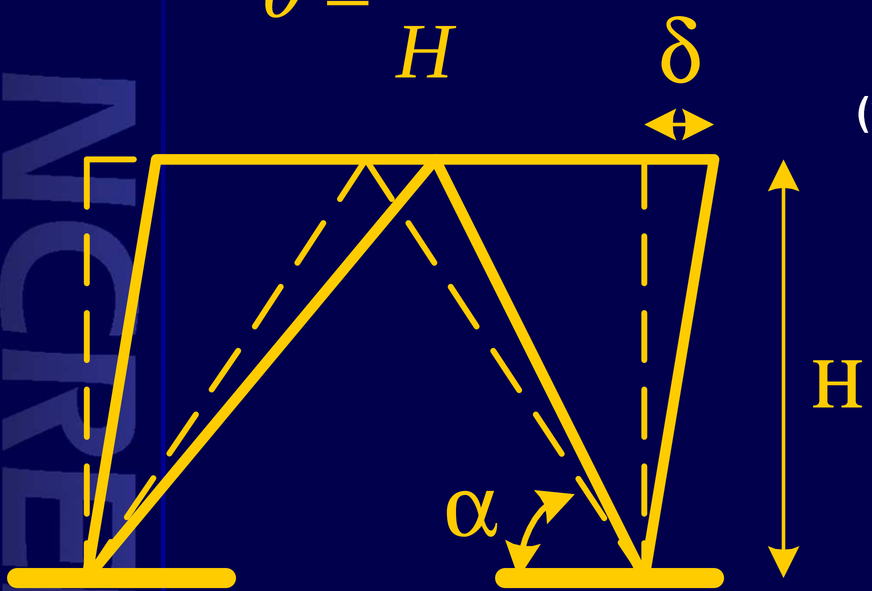
# 斜撐應變與側位移角之關係

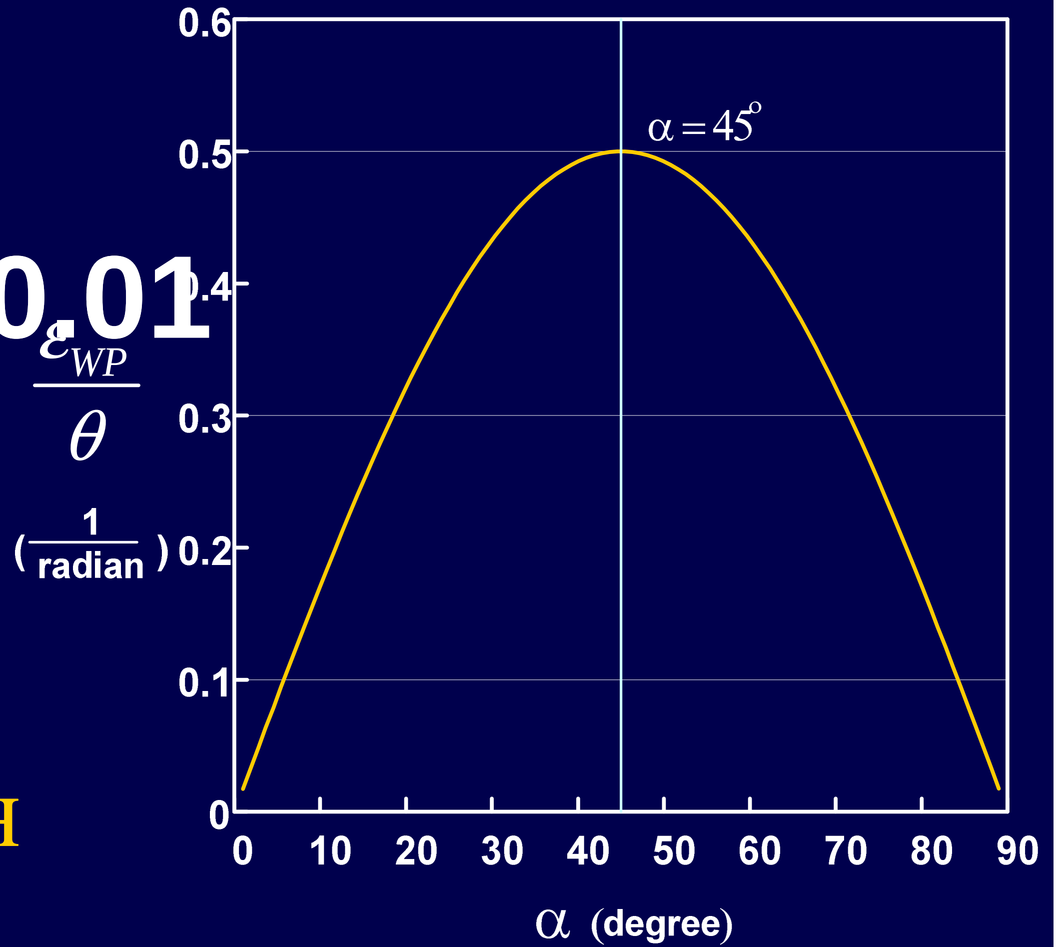
ε=(θ/2)sin2α

**α=45 degree**

**θ= 0.02 rad., ε=0.01**

$$\theta = \frac{\delta}{H}$$

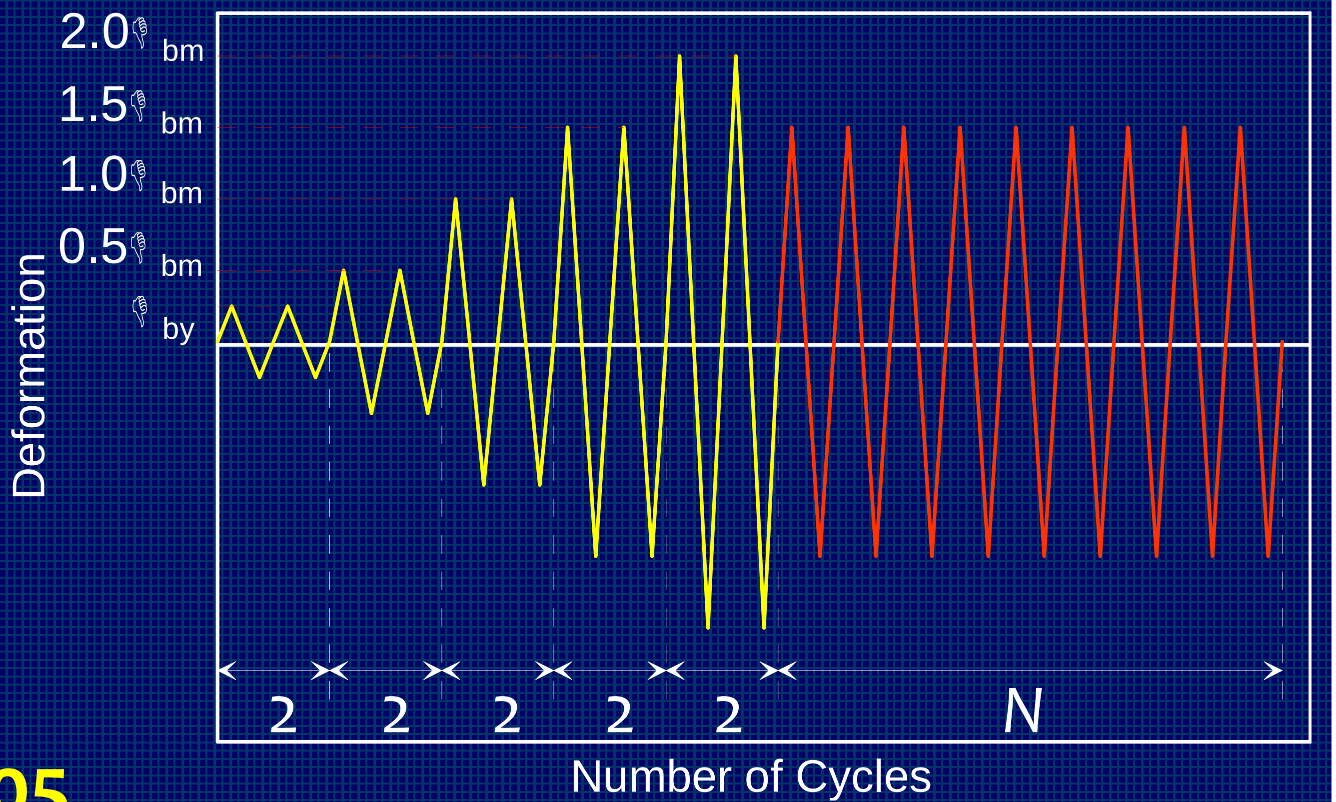


# 構件試驗加載歷時與標準

$\Delta_{by}$ = 降伏變形量

$\Delta_{bm}$ = 設計樓層側位移對應之變形量



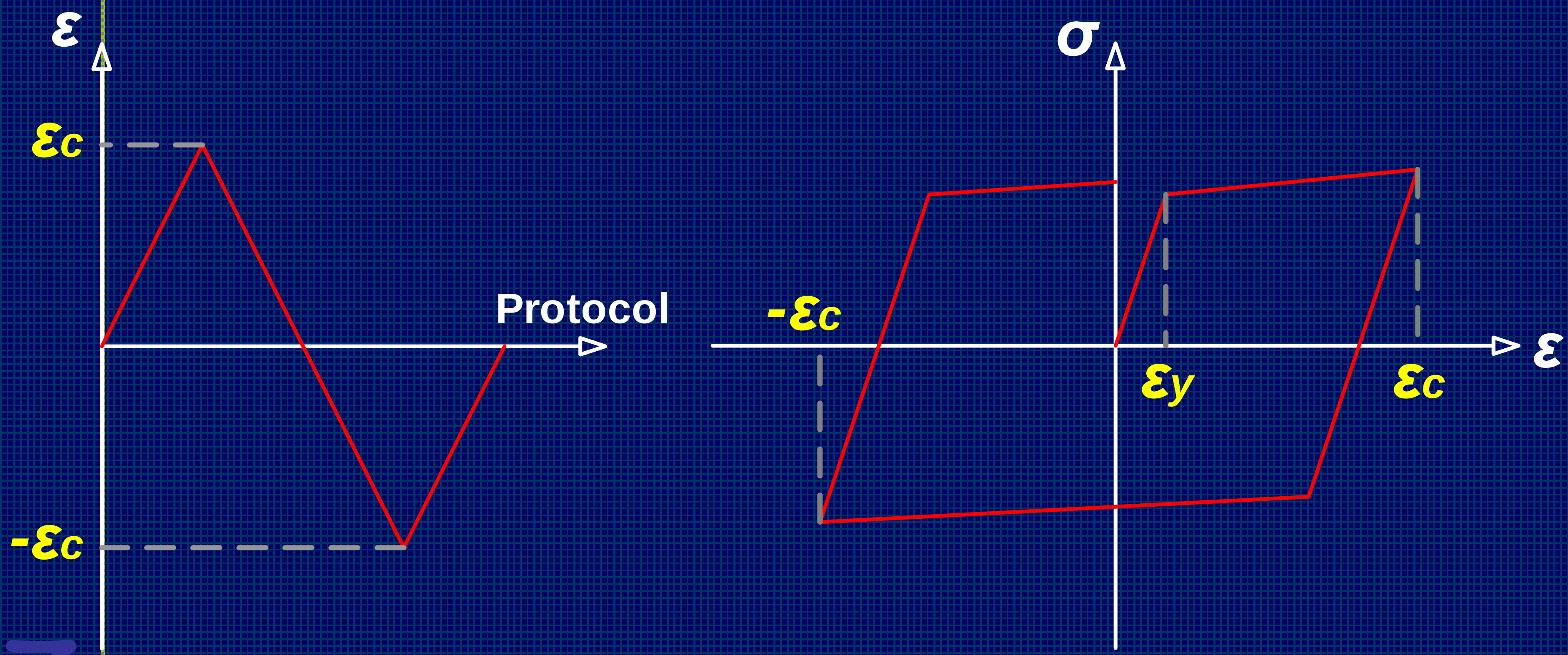

**AISC 2005**

測試接受標準： $\beta_i = P_C^{\,i} / P_T^{\,i} < 1.3$

$CPD > 200\Delta_{by}$

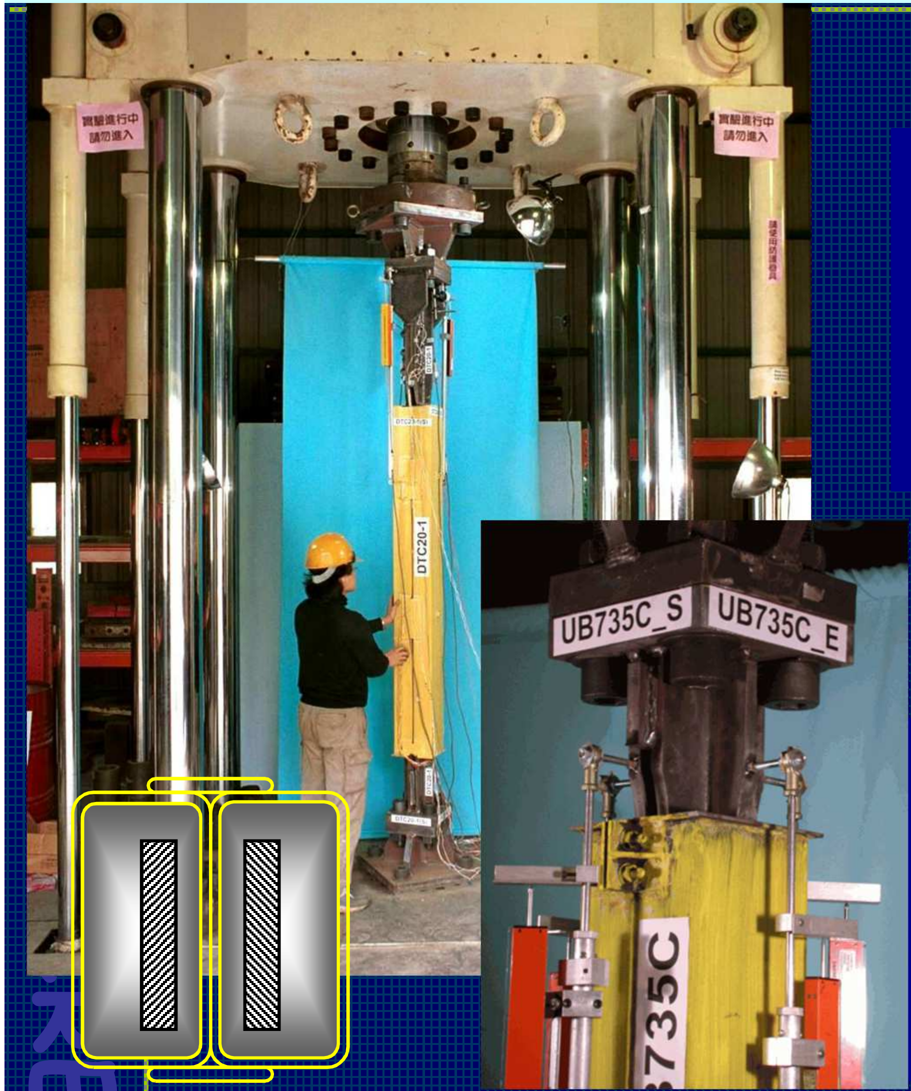
(累積非線性變形量)

# 累積非線性變形量 CPD



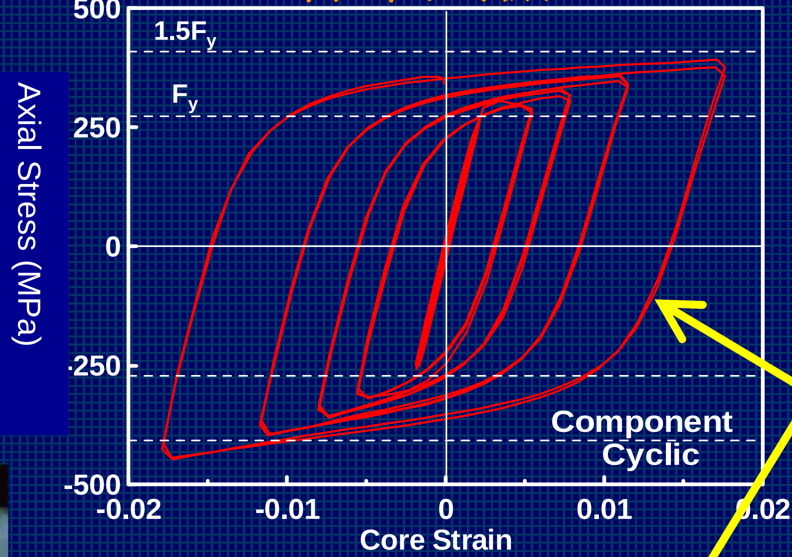

$$If \begin{array}{l} \varepsilon_y = 0.002 \\ \varepsilon_c = 0.022 \end{array} \rightarrow CPD = \frac{4 \times (\varepsilon_c - \varepsilon_y)}{\varepsilon_y} = 40$$

# 挫屈束制支撐構件耐震性能表現

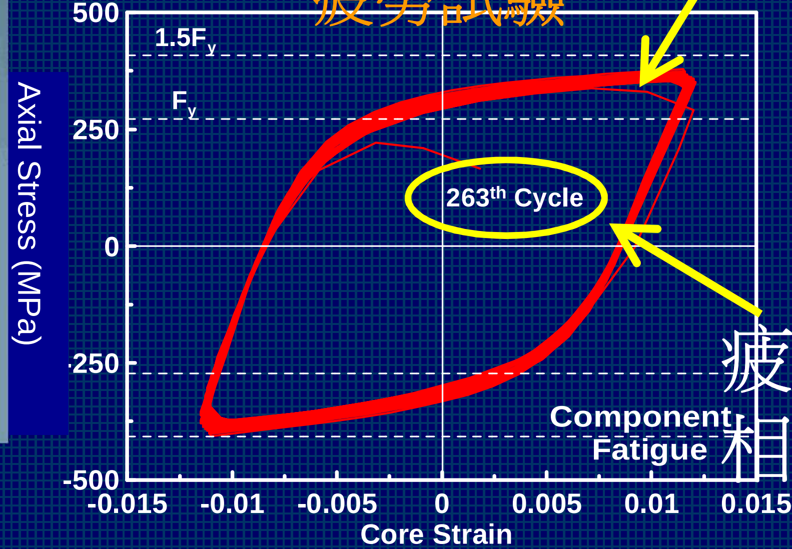



[ Lai and Tsai 2001 ]

標準試驗



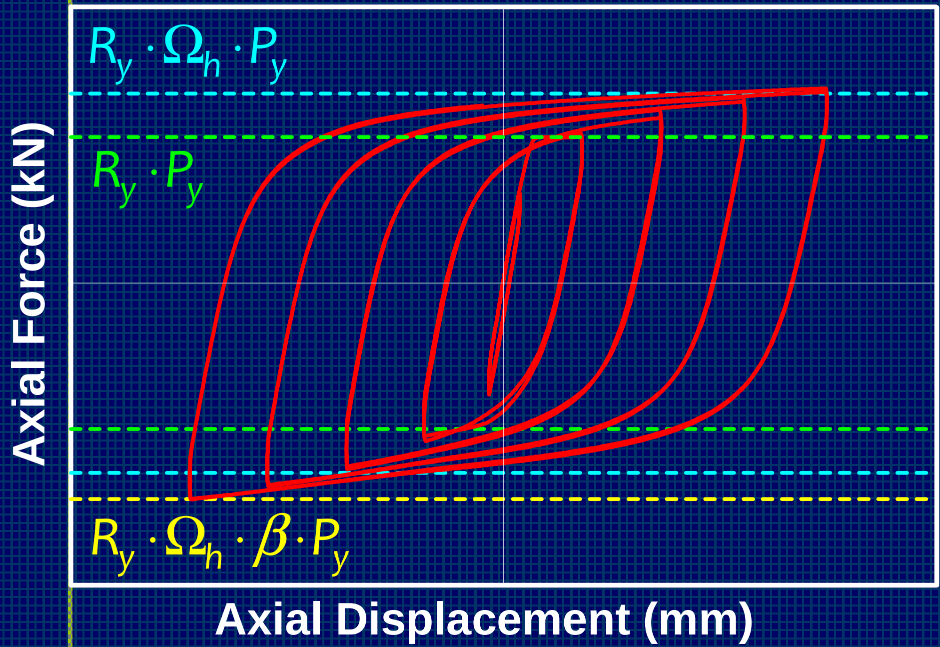

疲勞試驗




同一支挫屈束制支撐在標準試驗過程中(代表數個大地震)不會斷裂，並且可以再進行疲勞試驗。

疲勞壽命相當高

# 挫屈束制支撐　度特性




**Nominal yield strength**

$$P_y = F_y \times A_c$$

**Max. compressive strength**

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

$R_y$ : *material overstrength factor*

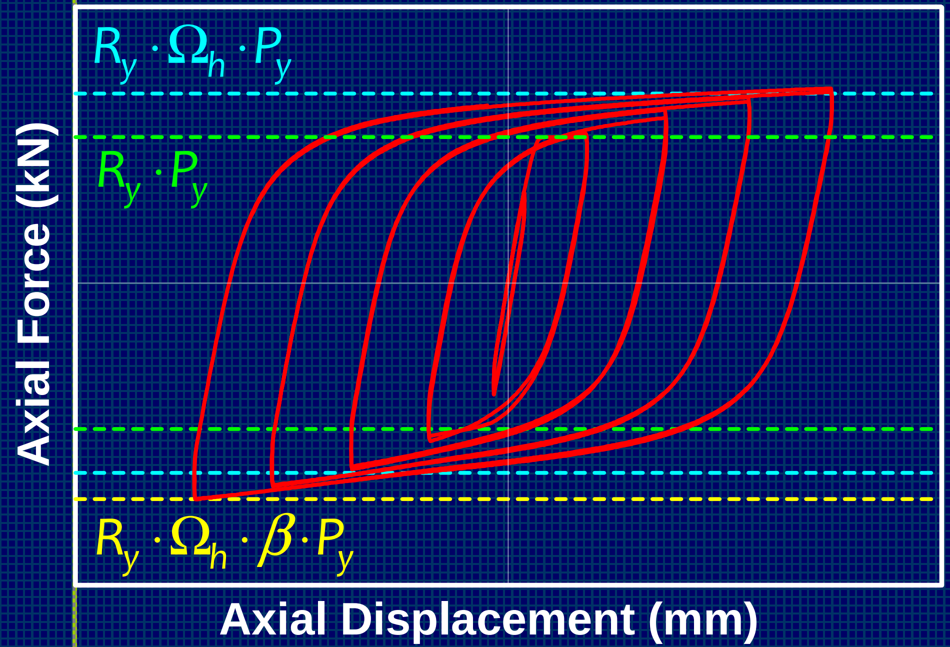
$\Omega_h$ : *strain hardening factor*

$\beta$ : *compression strength adjustment factor*

(　力　度　　　　)

| Material | $R_y$ | $\Omega_h$ | β |
|---|---|---|---|
| SN490B | 1.2 | 1.3 | 1.1~1.2 |
| A572 GR50 | 1.1 | 1.3 | 1.1~1.2 |
| A36 | 1.5 | 1.5 | 1.1~1.2 |

# 挫屈束制支撐外管 度

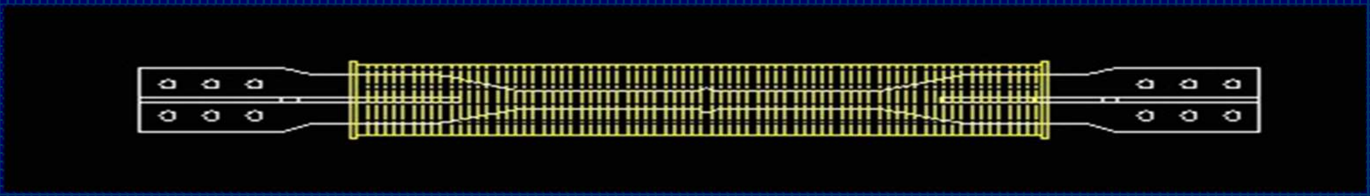


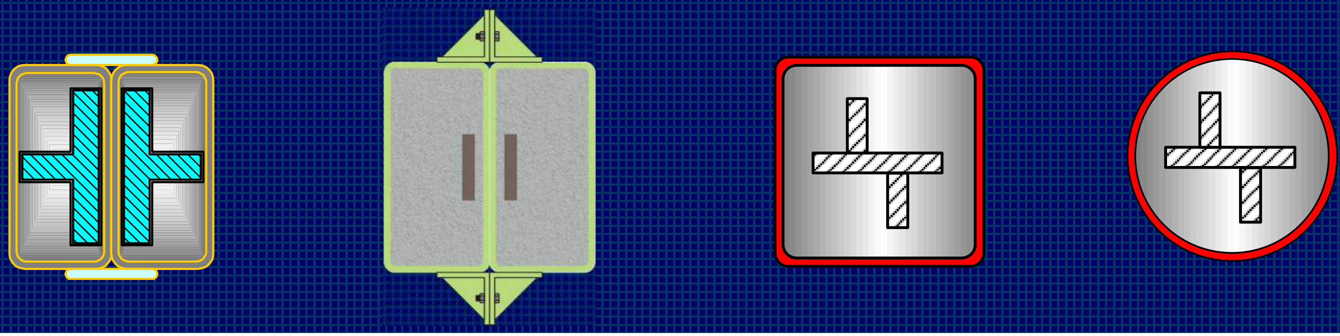

## Global flexural strength

$$P_y = F_y \times A_c \rightarrow$$

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

$$P_{max} \le P_{e\_tube} = \frac{\pi^2 EI_{tube}}{(KL_{tube})^2}$$



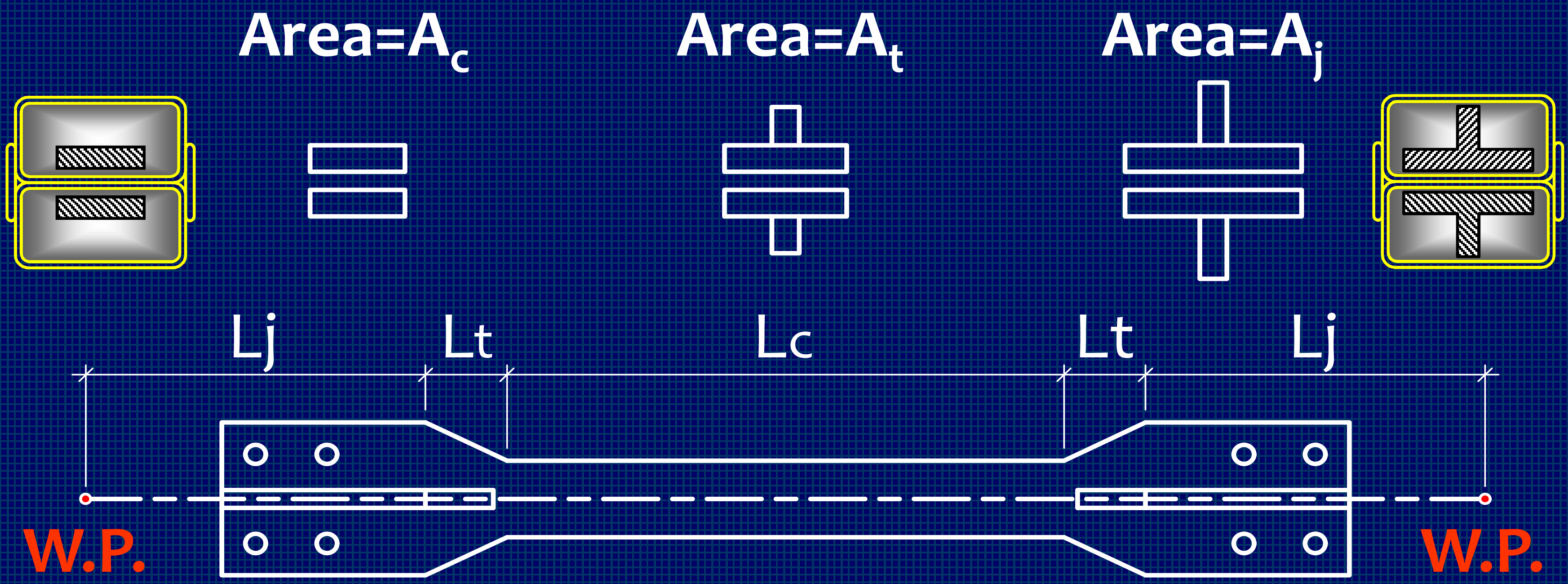


NCREE

# 挫屈束制支撐　效　性　度

**Effective stiffness**

$$K_{eff} = \frac{1}{\dfrac{L_c}{EA_c} + \dfrac{2L_t}{EA_t} + \dfrac{2L_j}{EA_j}} = \frac{EA_cA_tA_j}{L_cA_tA_j + 2L_tA_cA_j + 2L_jA_cA_t}$$



# 挫屈束制支撐構架 設計 程

本 $T=0.070h_n^{3/4}$ $h_n$= 面 面高度(m)

計 設計地震力，
結構系統 性容量(R)可 **4.8**計

計斜撐與 構架之 度 **(SR)**，
設計地震力 分 樓層， 分 斜撐

設計斜撐構件，
定核心消能段斷面積 $A_c=\dfrac{P_{BRB}}{0.9F_y}$

效 力 件 立結構分析 型 $K_{eff}=Q\cdot\dfrac{EA_c}{L_{wp}}$

NCREE

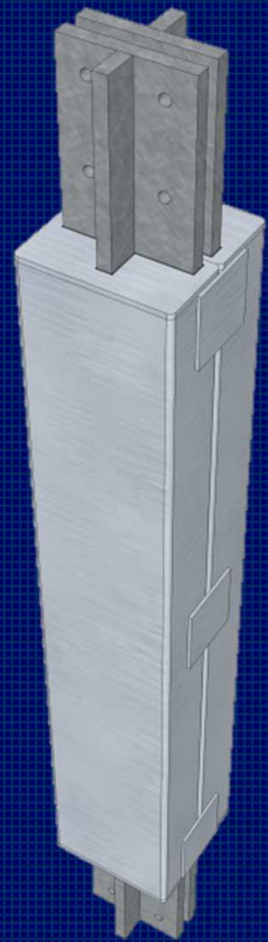
# 雙管型挫屈束制支撐

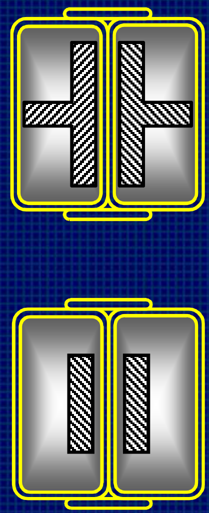
感謝支持

鋼鐵工業(股)有限公司
幾械有限公司
理成工業(股)有限公司
實業(股)有限公司
長　鋼鐵(股)有限公司
鋼鋼結構(股)有限公司
成 幾械(股)有限公司
鋼鐵工業(股)有限公司
工程有限公司
消能工程有限公司
中　鋼構(股)有限公司

鋼
中國鋼　結構(　)

國
高　工程



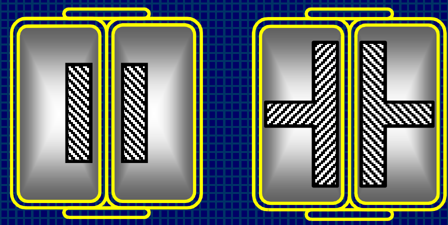


NCREE

# 應用 例統計

工程 ：

大樓



高 技 變 所

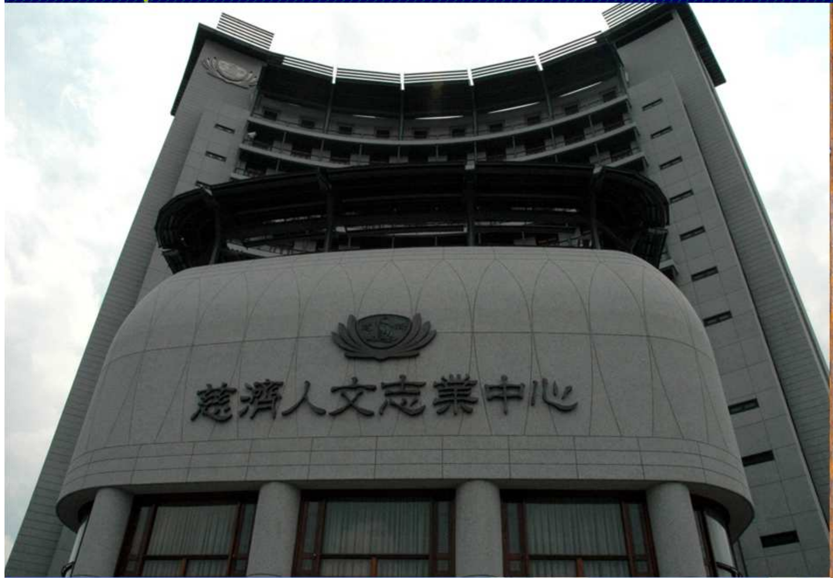
大樓

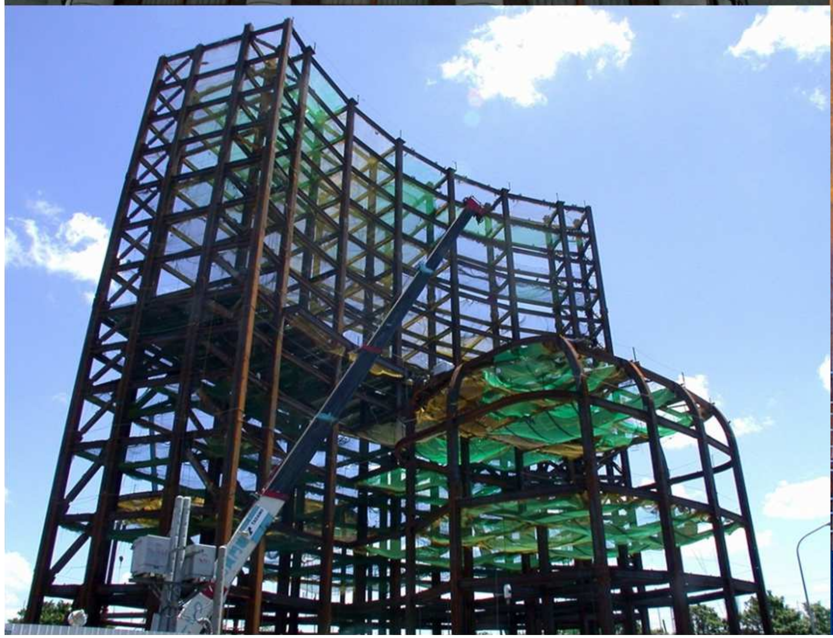
**60件工程應用 使用**

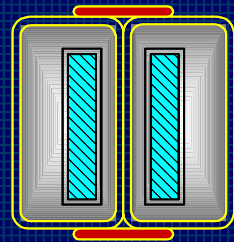
**11,000組**

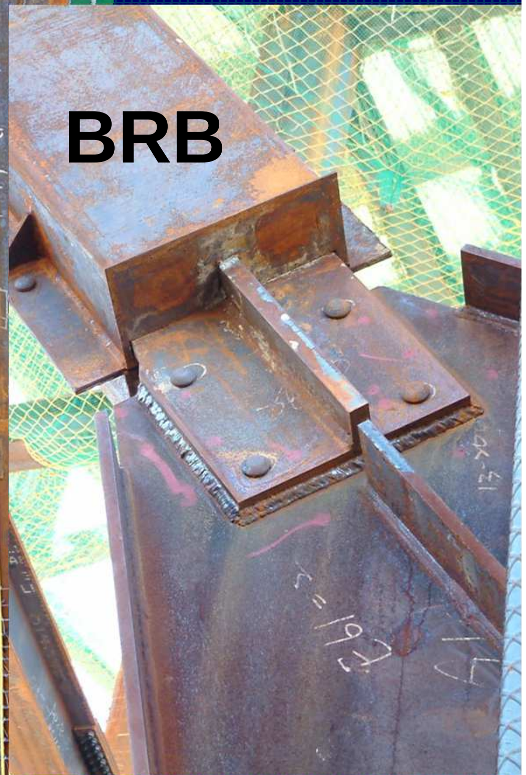
# 應用案例-日月潭中信汎麗雅酒店

# 應用案例-慈濟人文志業中心

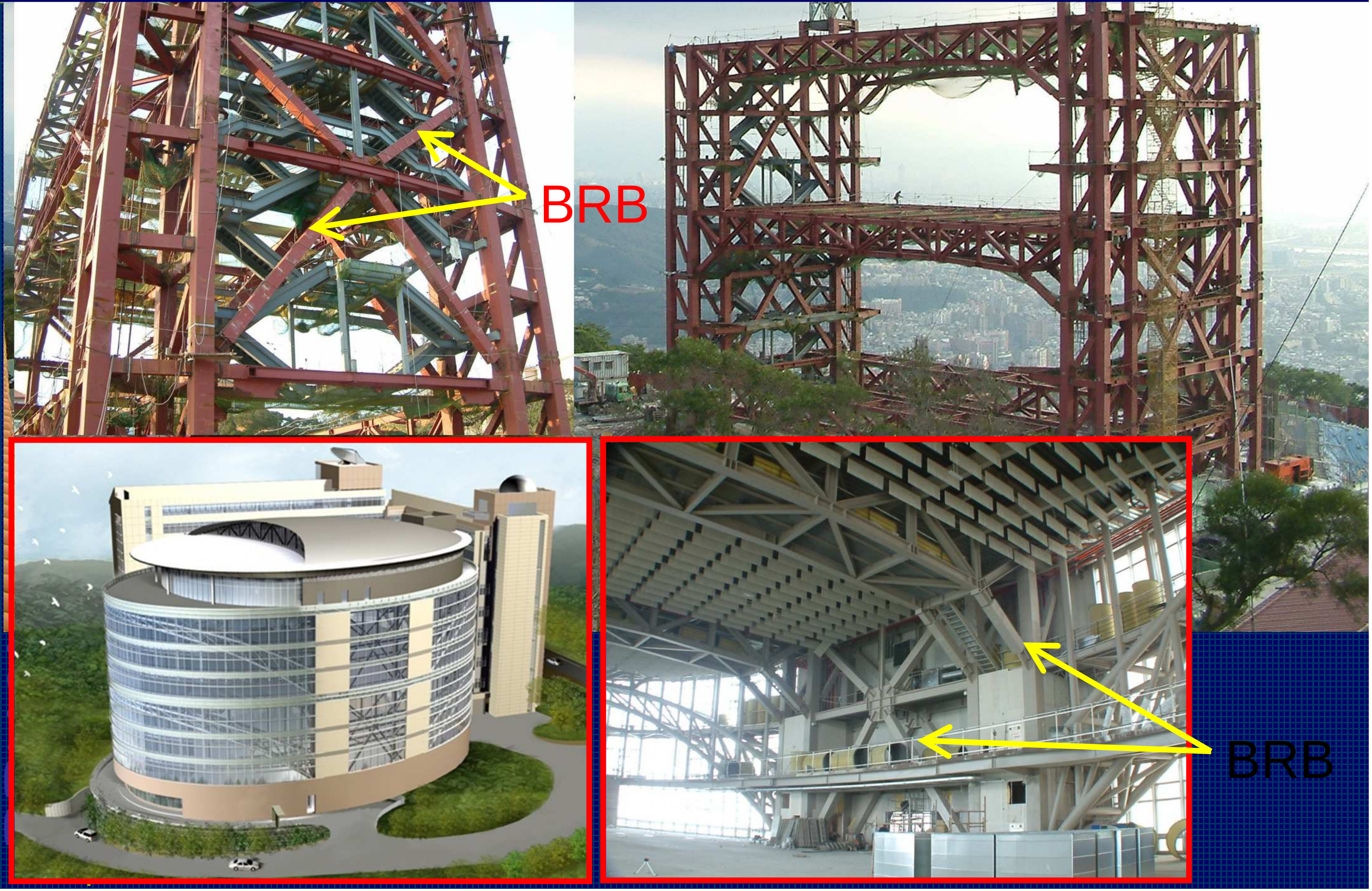


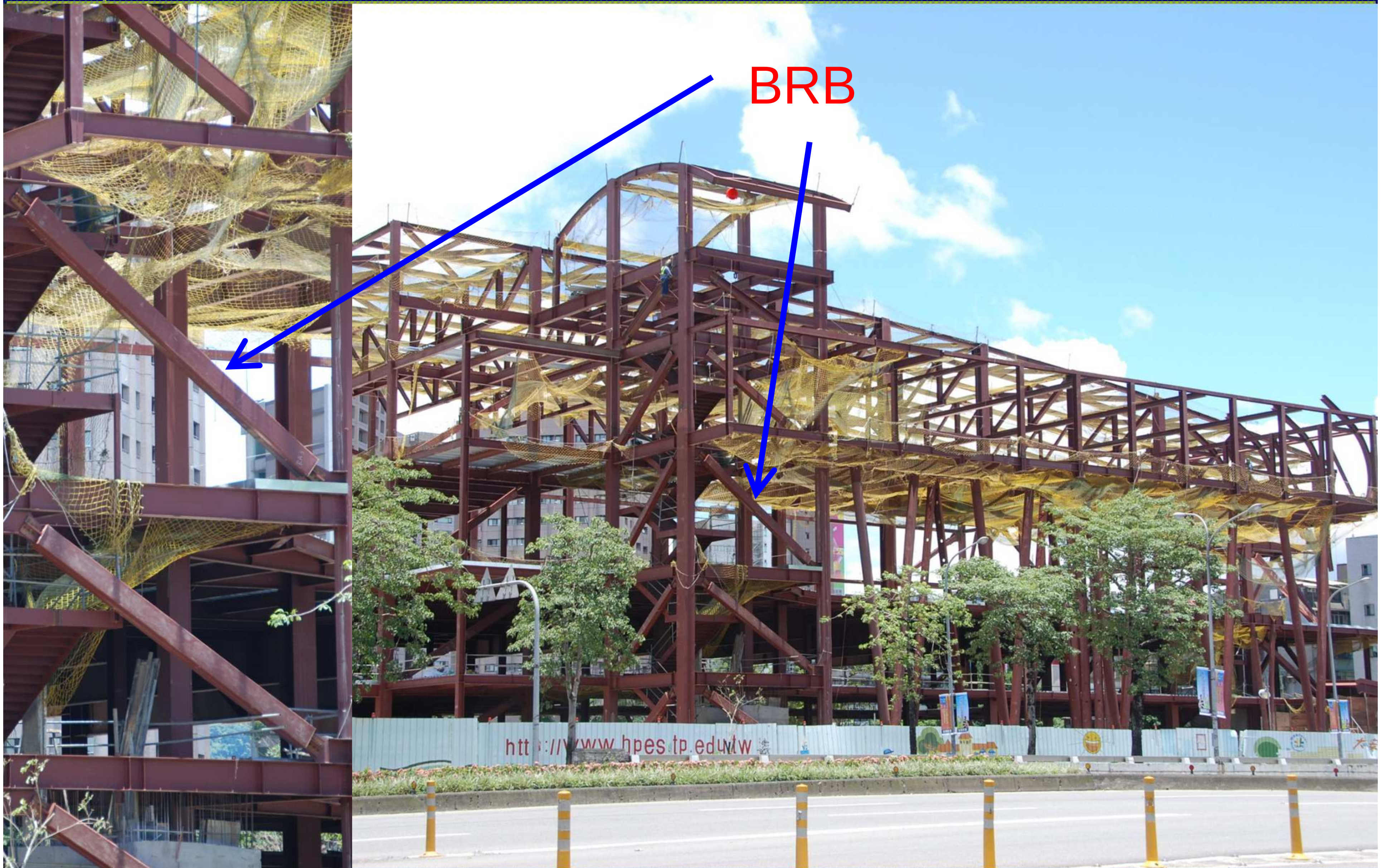


# 應用案例-中國文化大學體育館

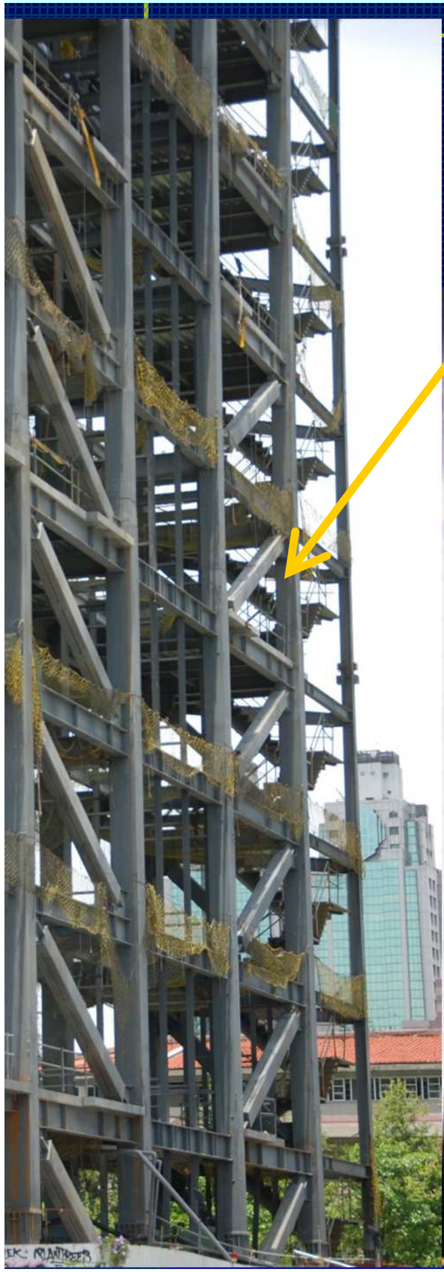


# 應用案例-南投埔里靈巖山寺中殿

# 應用案例-台北市和平國小體育館



# 應用案例-克緹信義大樓




# 應用案例-京城建設34層集合住宅補強工程

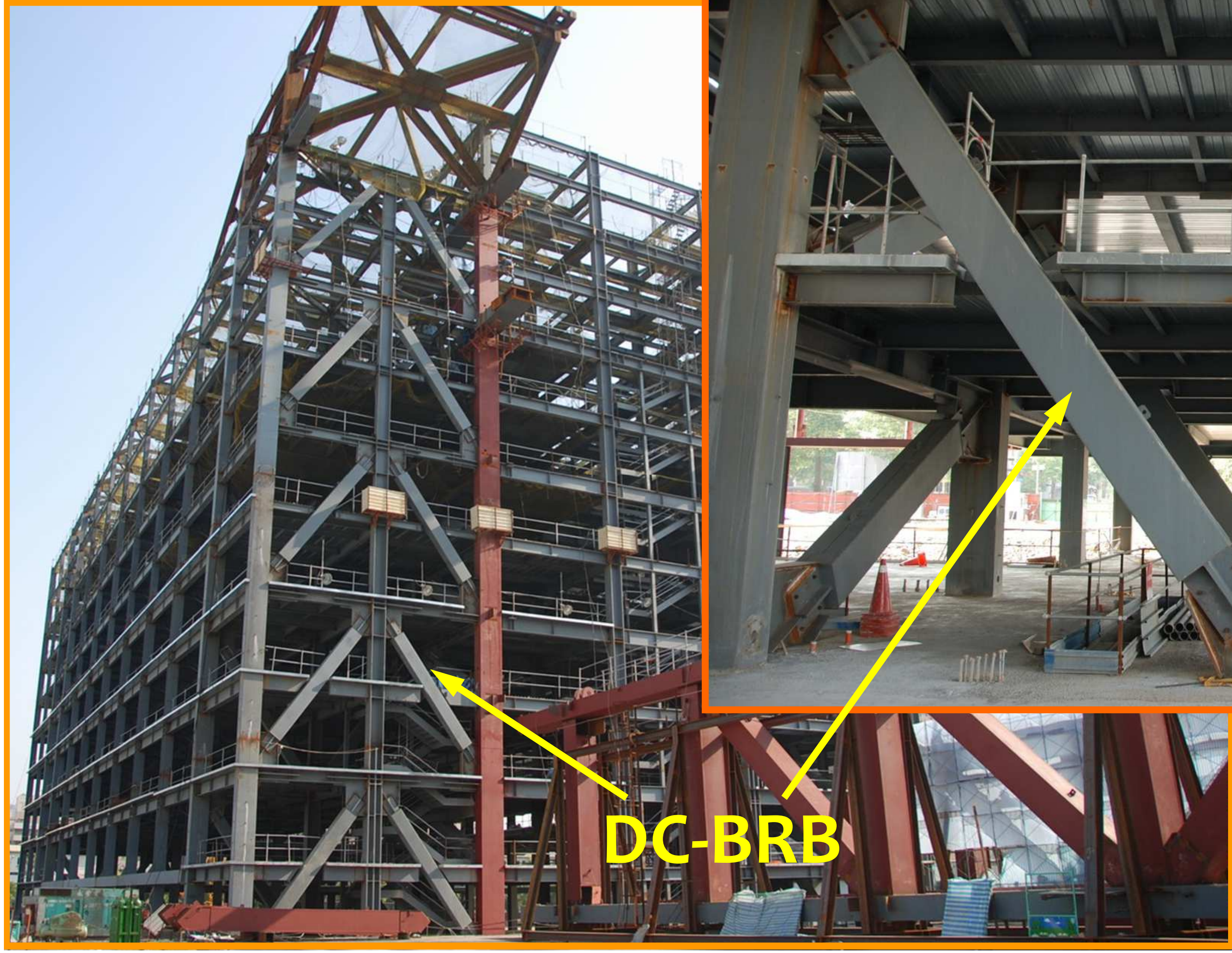
# 中國 行大樓 工程

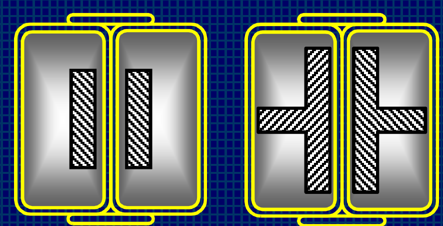
-0.03 -0.02 -0.01 0 0.01 0.02 0.03
15000
10000
5000
0
-5000
-10000
-15000
600
400
200
0
-200
-400
-600
1.3 Py
Py= 8928 kN
Axial Force (kN)
Core Stress (MPa)
-60 -40 -20 0 20 40 60
Axial Displacement (mm)
-0.03 -0.02 -0.01 0 0.01 0.02 0.03
1.3 Py
Py= 8928 kN
43 cycles @1.5Dbm
Axial Force (kN)
Core Stress (MPa)
-60 -40 -20 0 20 40 60
Axial Displacement (mm)
累積 性變形量 (CPD)=1100Dby


Total BRB=1036組
Py,max=10000kN
MTS
A 地 30層
(139.0m)
B 地 21層
(115.4m)
C 地 14層
(70.6m)

# 台中市　大樓　工程

$P_{y,max}$=20000kN



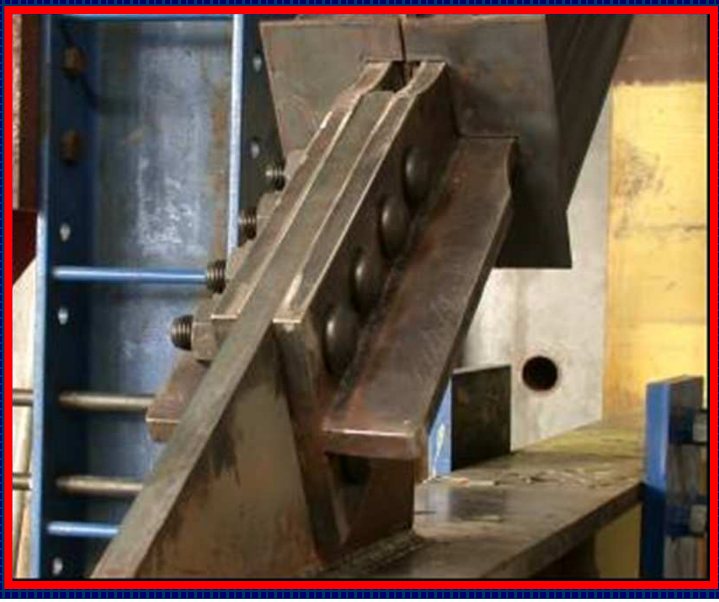
## 面 的

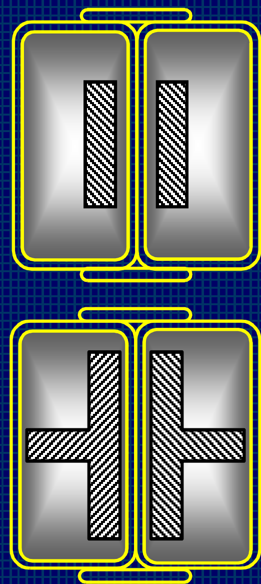
- 大 力容量需
- 設計與 工同時 行
- 要 降 鋼用量成本
- 要 可 且經濟之 層 工程
- 要 **BRB**工地接合之方 與經濟性

***More researches are needed !!***

# 搭接接合優點

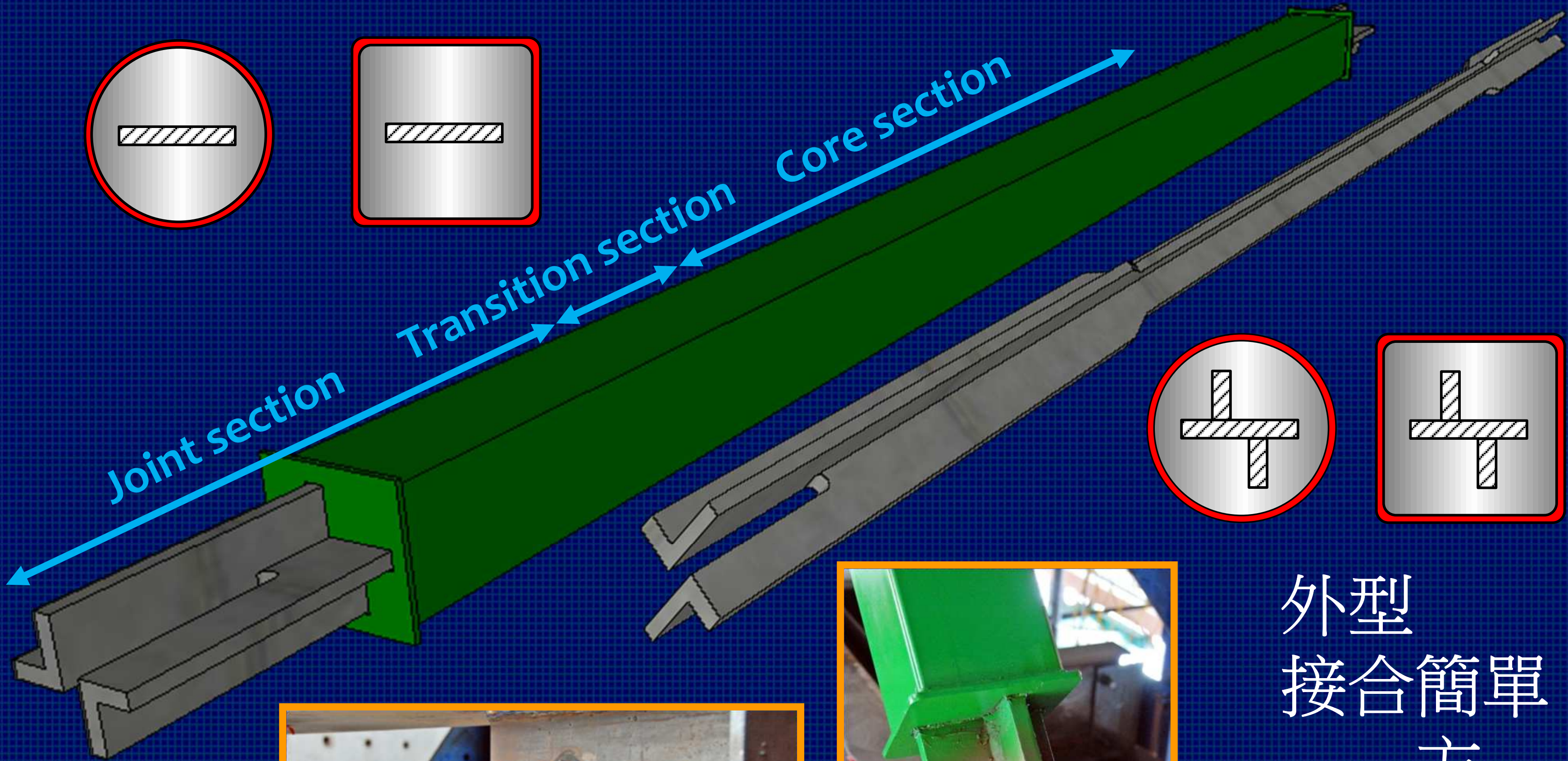
- 短接合長度 降 接合成本
- 提 接合段穩定性
- 加核心消能段長度
- 降 **BRB** 度對結構震 之
- 可採栓接 接接合





# 槽接式挫屈束制支撐 (WES-BRB)

## BRB using Welded End-Slot (WES) connection




外型

接合簡單

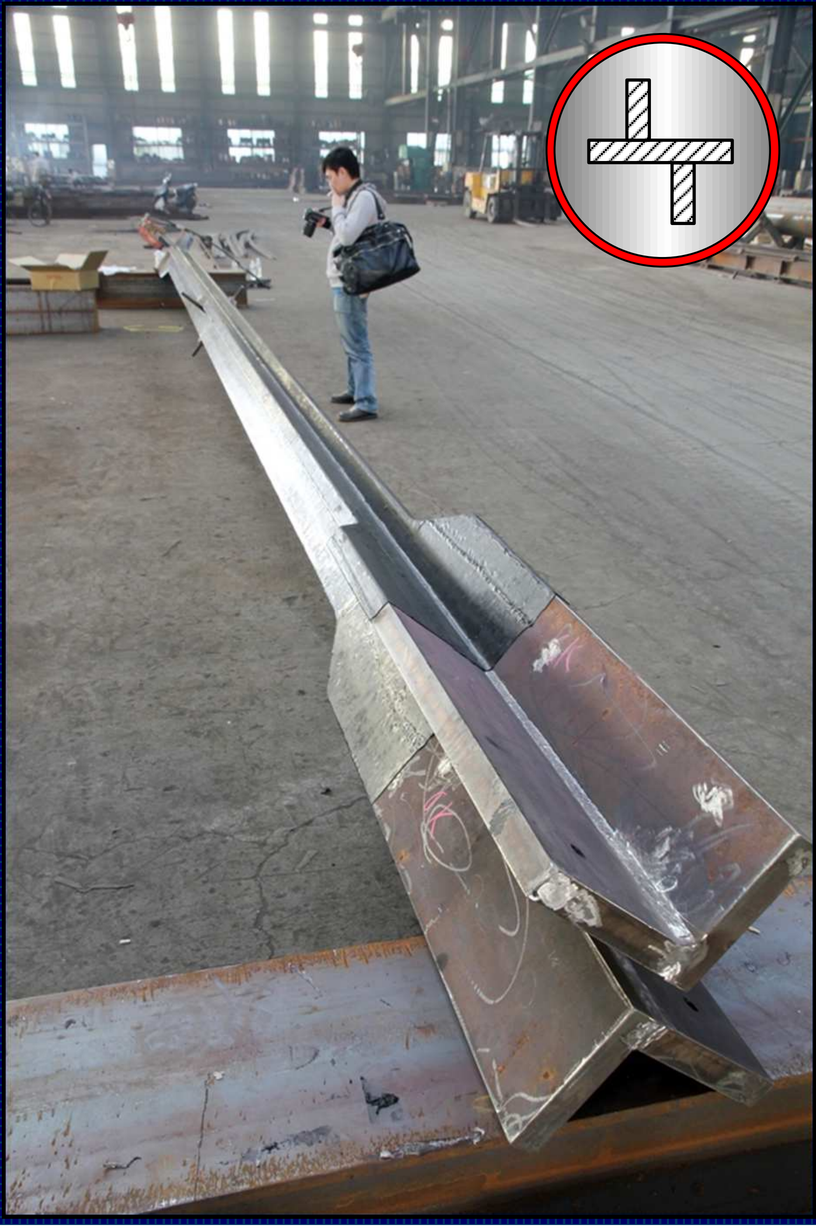
方

疲勞壽命長

用量

成本

# WES-BRB　大構件試驗 (WES-J)




NCREE

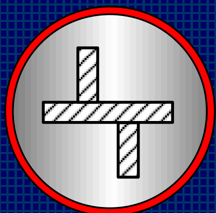
# WES-BRB 構件試驗 (WES-J)

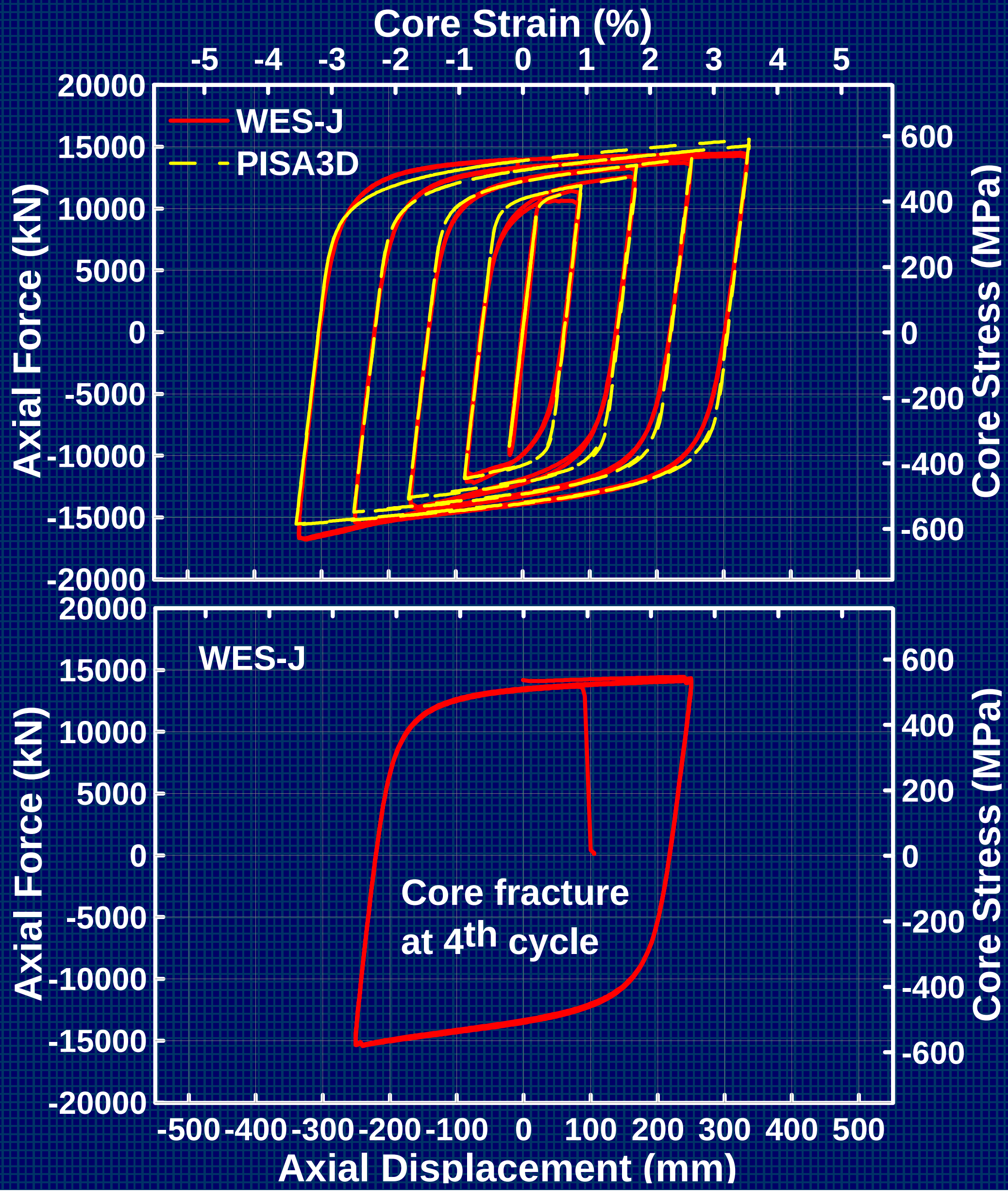
$L_{BRB}$=12.5m

$P_y$=1140ton

β<1.16

CPD=406





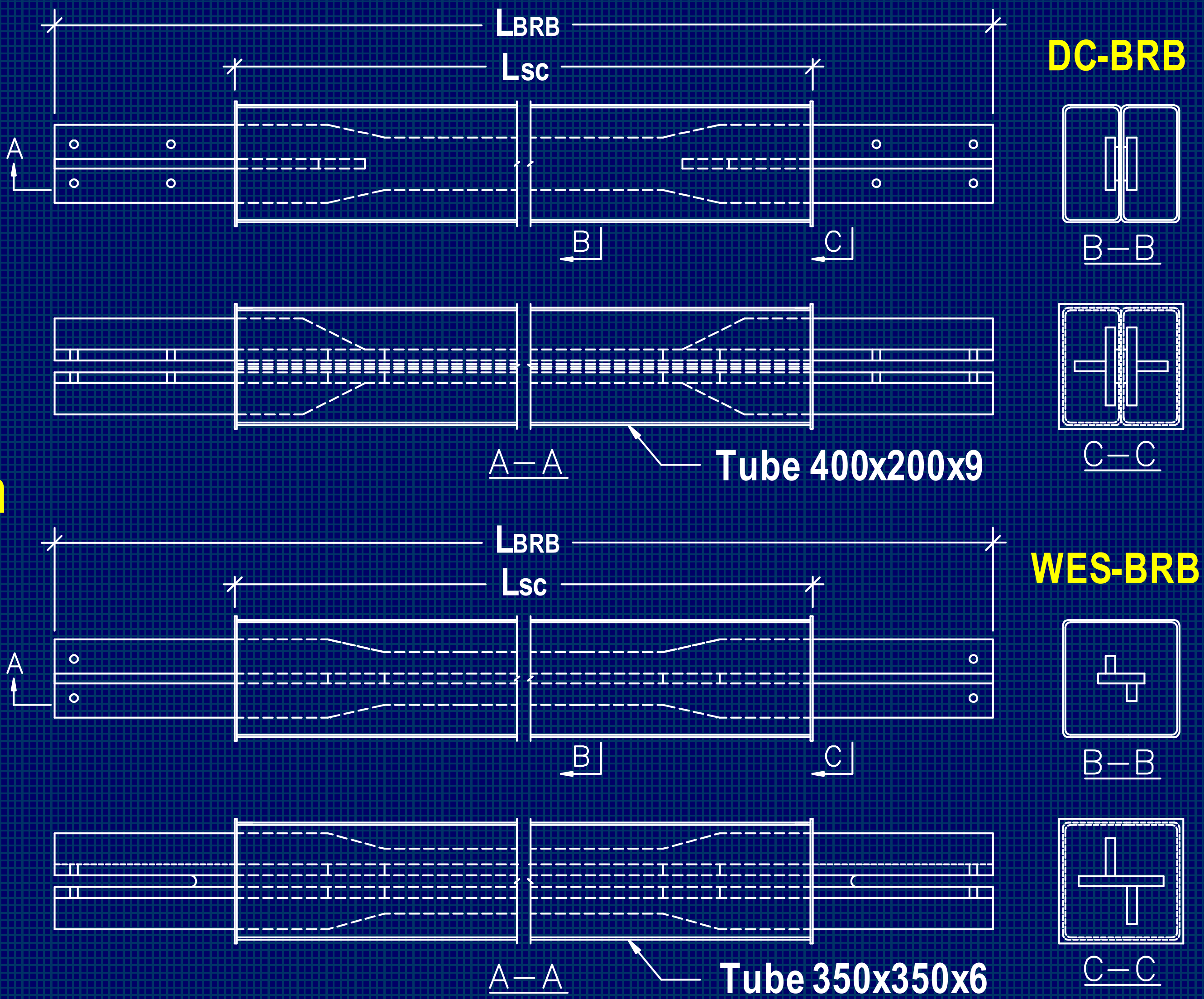

# DC vs. WES BRB 成本

$P_y$ = 400 tf

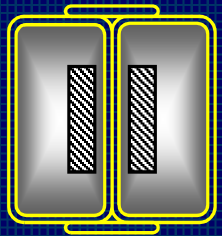
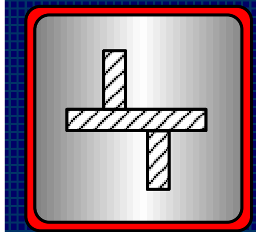
$t_c$ = 38 mm

$L_{BRB}$ = 4.7 m

$L_{sc}$ = 3.8 m



# DC vs. WES BRB 成本

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 搭接式 BRB  | Unit price (NT$) | *** | *** | *** |
| | Amount (NT$) | *** | *** | *** |
| 槽接式 BRB  | Unit price (NT$) | *** | *** | *** |
| | Amount (NT$) | *** | *** | *** |
| Cost saving (%) | | 22 | 53 | 31 |

**Quantity: 200 sets, Date: 2010/04**

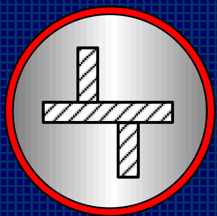
# WES-BRB 構件試驗 (WES-J)

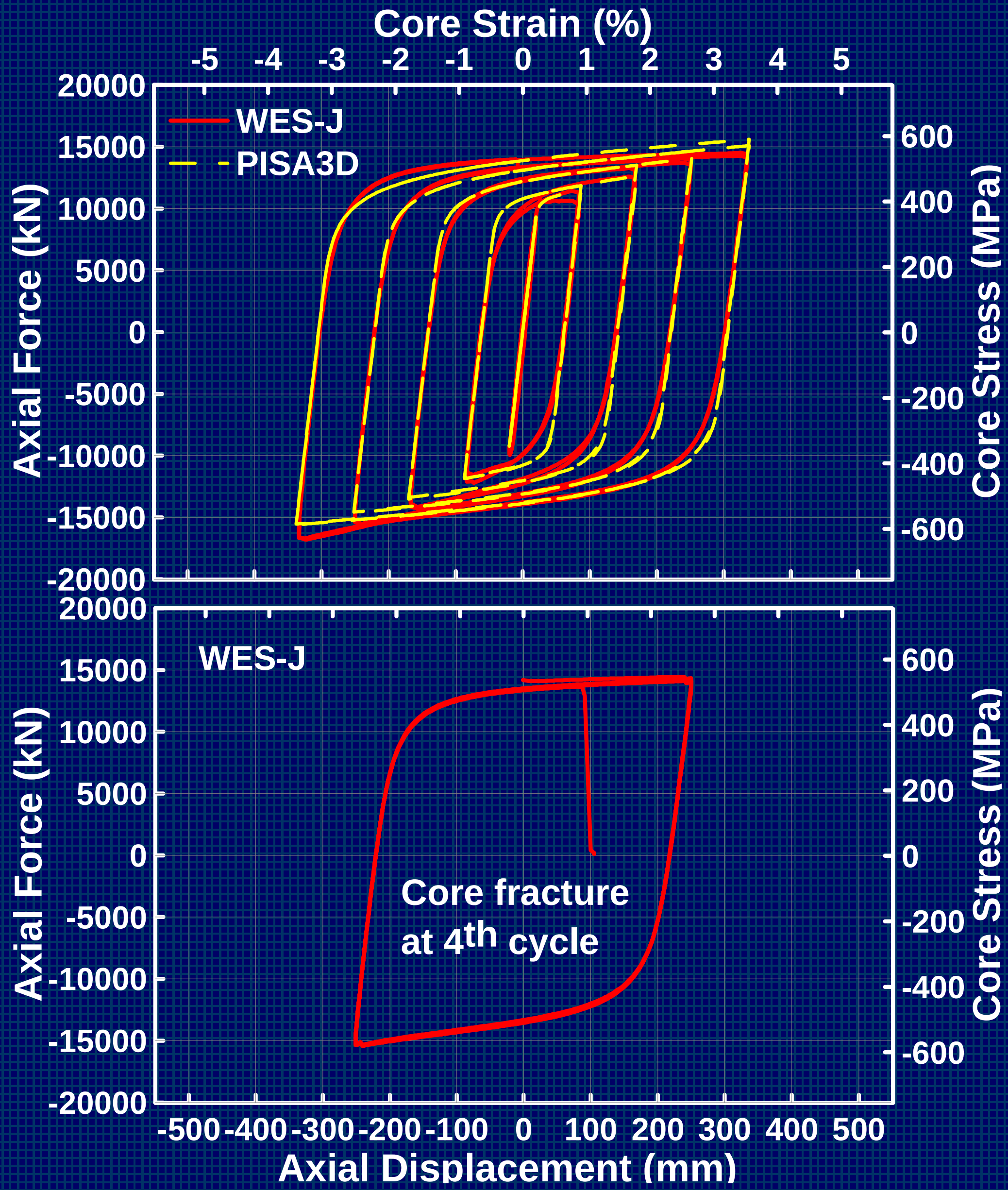
$L_{BRB}$=12.5m

$P_y$=1140ton

β<1.16

CPD=406

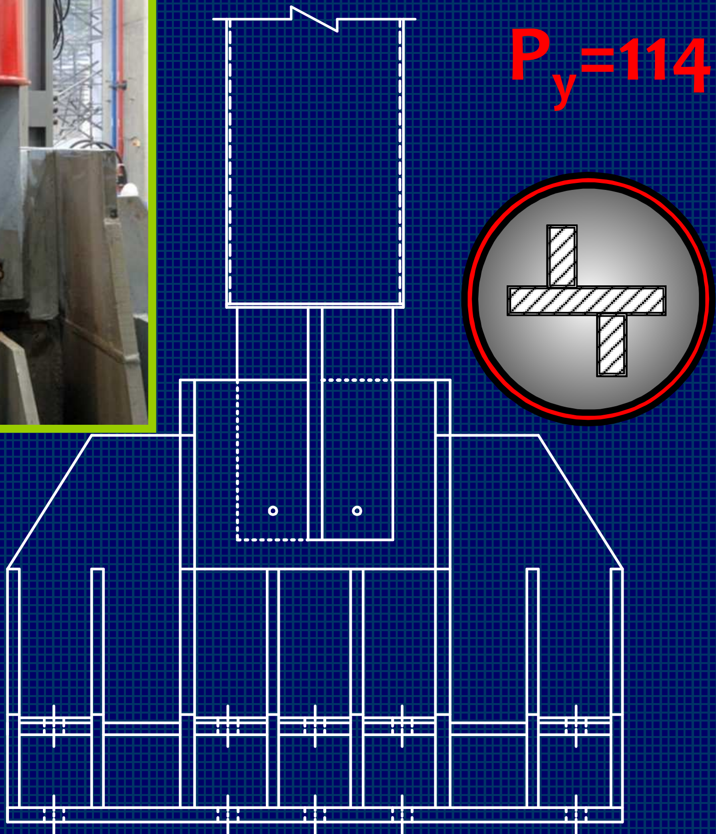





# DC vs. WES BRB 成本

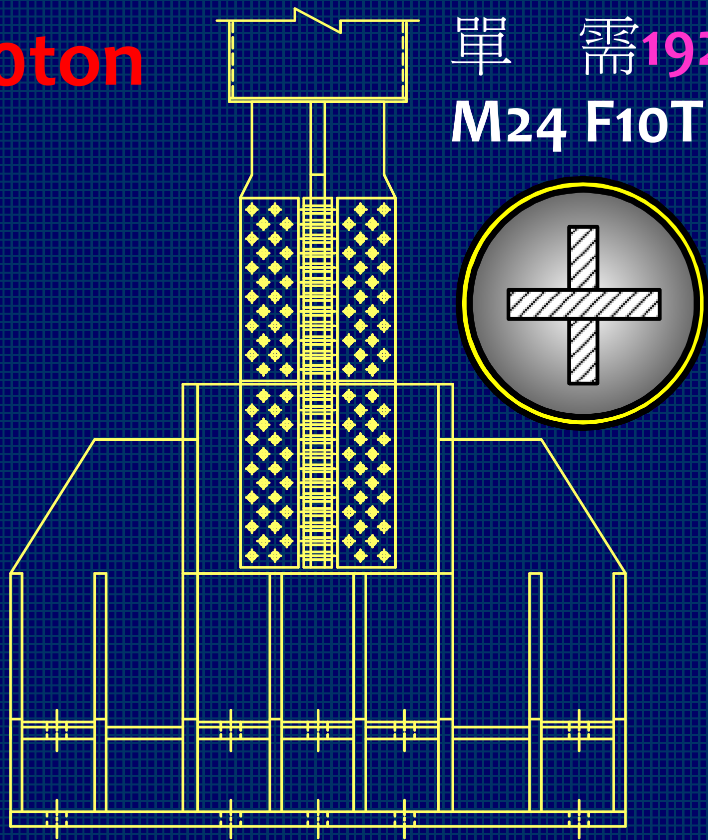
採焊接接合 可提高接 穩定性
成本 可 300% 用

$P_y$=1140ton



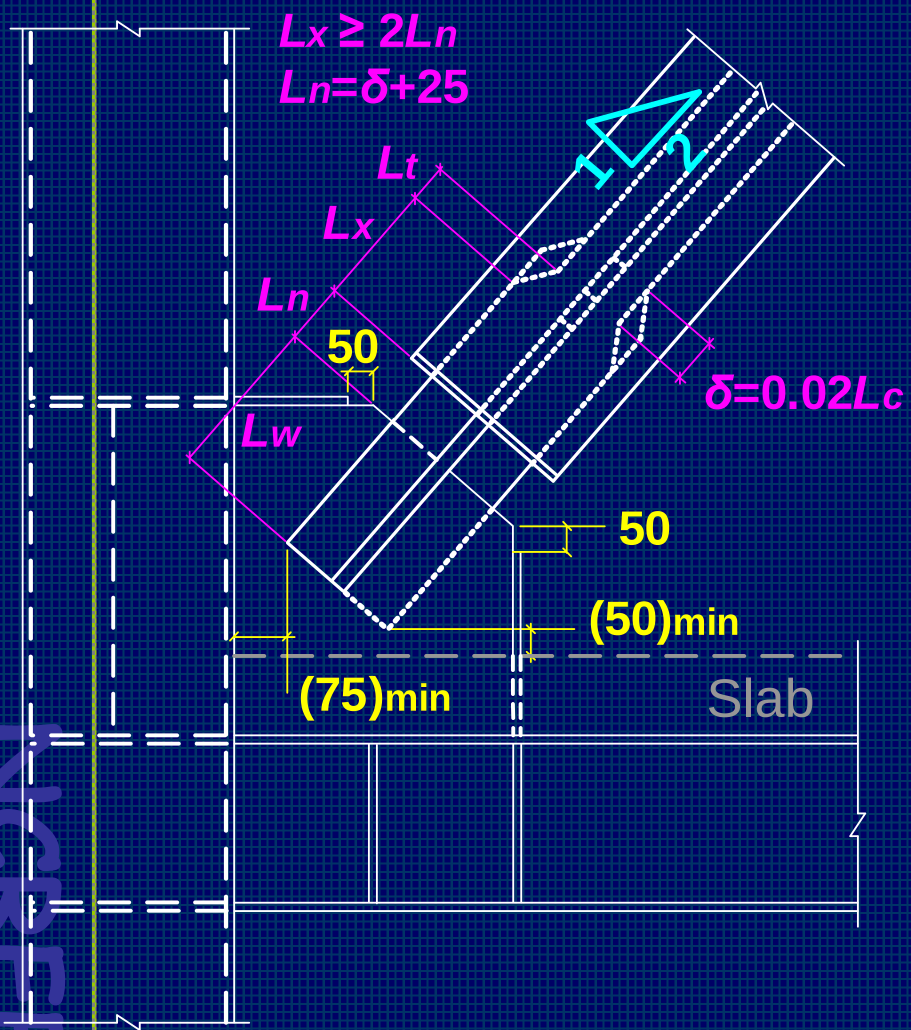
雙 焊接接合
**NT$20,000**

單 需192組
**M24 F10T H.S.B**



雙 螺栓接合
**NT$80,000**

# WES-BRB 接合　　核




的破壞　核：

(1) 鋼管挫屈

(2) 接合段　　　　性

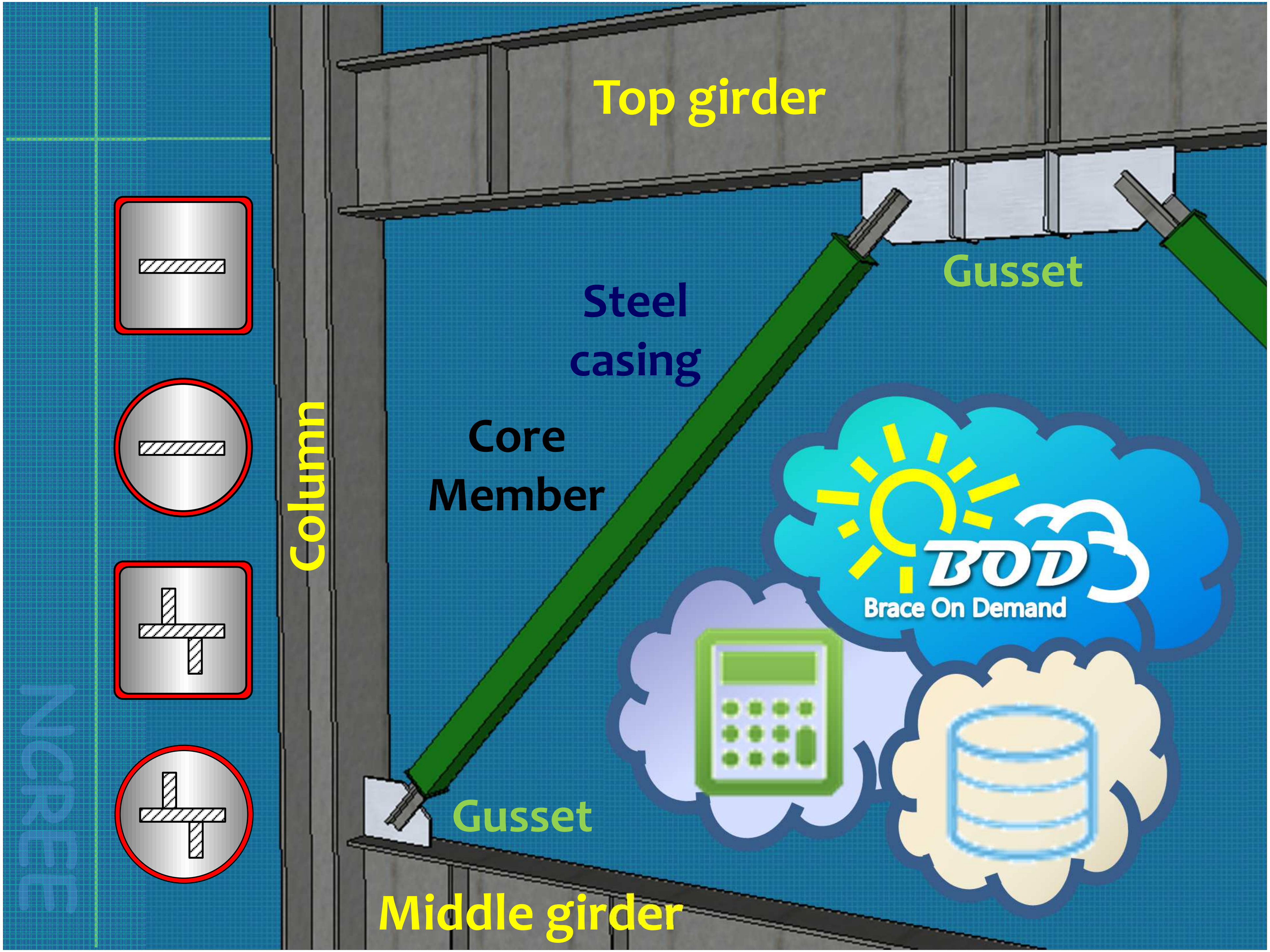
(3) 接合段挫屈

(4)　板　　　　力破壞

(5)　板　力降伏

(6)　板挫屈破壞

(7)　板與　　　接面　度


Top girder
Gusset
Steel casing
Core Member
Column
BOD
Brace On Demand
Gusset
Middle girder
NCREE

# 工程應用實例成本

地位　：　市　區(　　　地　)

：地　14層

用　：　大樓

構　：地　層鋼骨

結構系統：　性　　構架　　挫屈束制支

之　　構架系統

樓層高度：標準層　層4.2m

標準　：8.4~12m

內外　系統：內　採

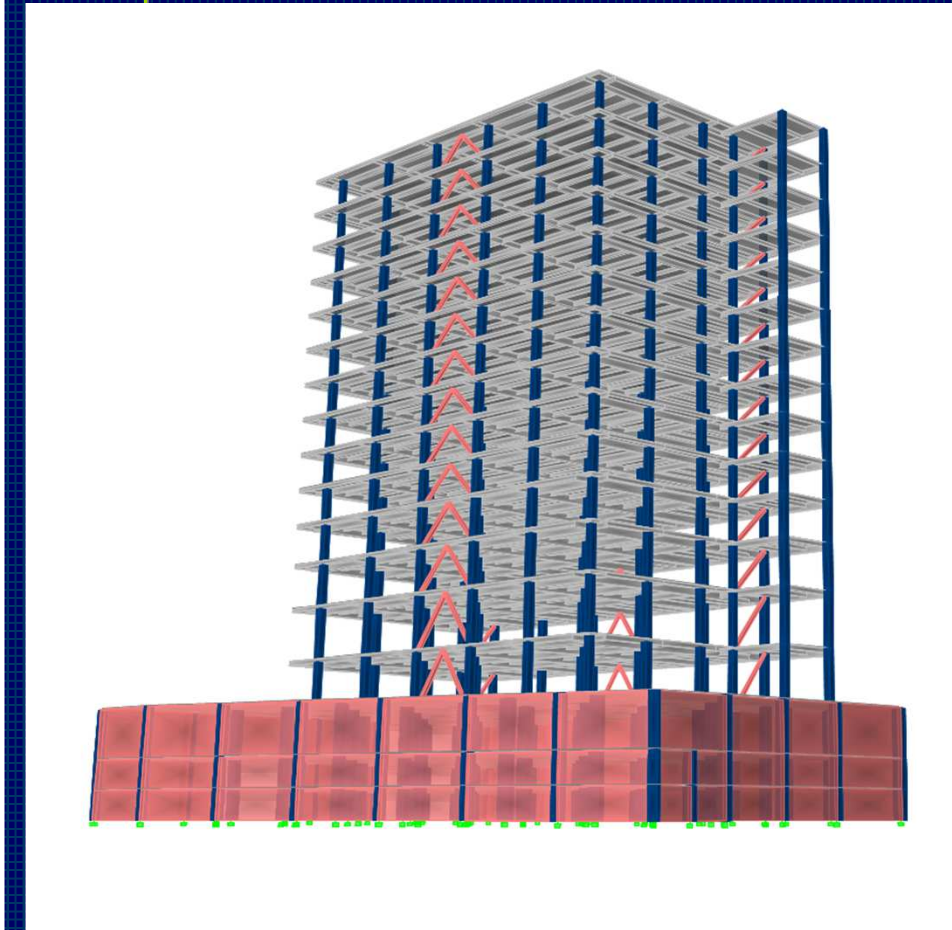
外　　　　　外

樓板　度：地　層15cm　鋼　　RC樓板

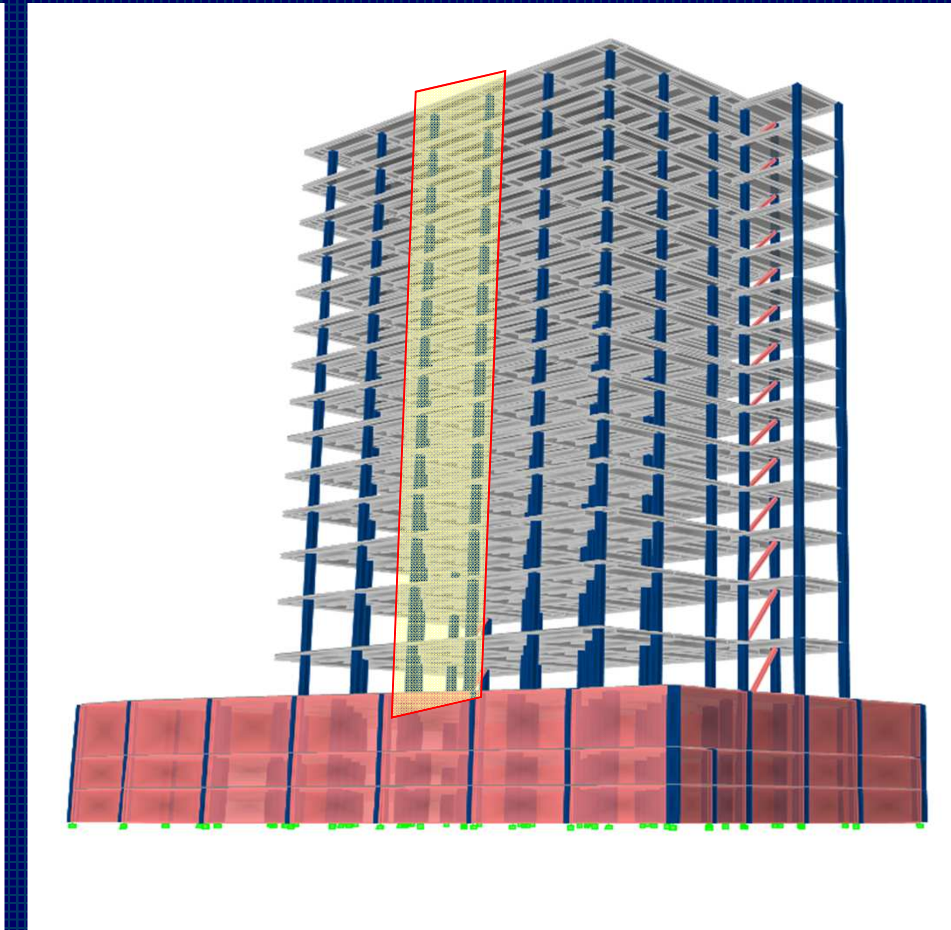
提　：　　工程　( )

NCREE

# 工程應用實例成本



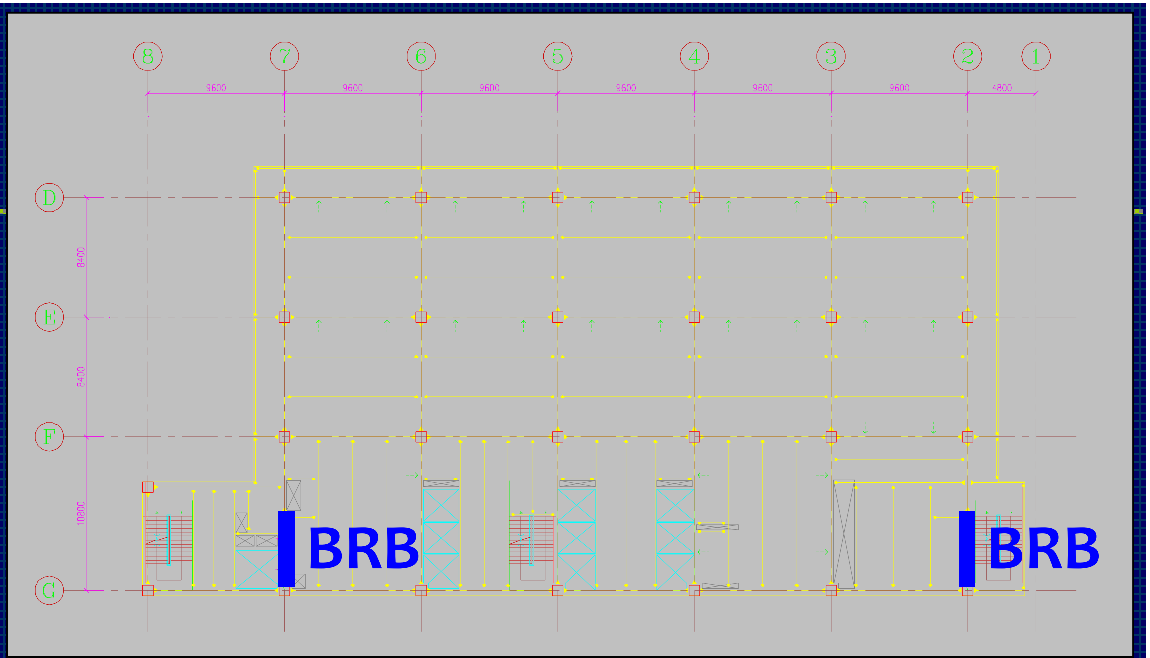
X, Y雙　BRB構架



Y單　BRB構架

提　：　工程　(　)

# A. 單　加BRB




| 鋼 | 量 (ton) | 單　(NT$/ton) | (NT$) |
| --- | --- | --- | --- |
| A572 GR50 | 670 | *** | *** |
| SM490 | 1200 | *** | *** |
| SN490 | 1640 | *** | *** |
| BRB | 量 (支) | 單　(NT$/支) | (NT$) |
| | 28 | *** | *** |
| Total (NT$) | | | *** |

提　：　工程　(　)

NCREE

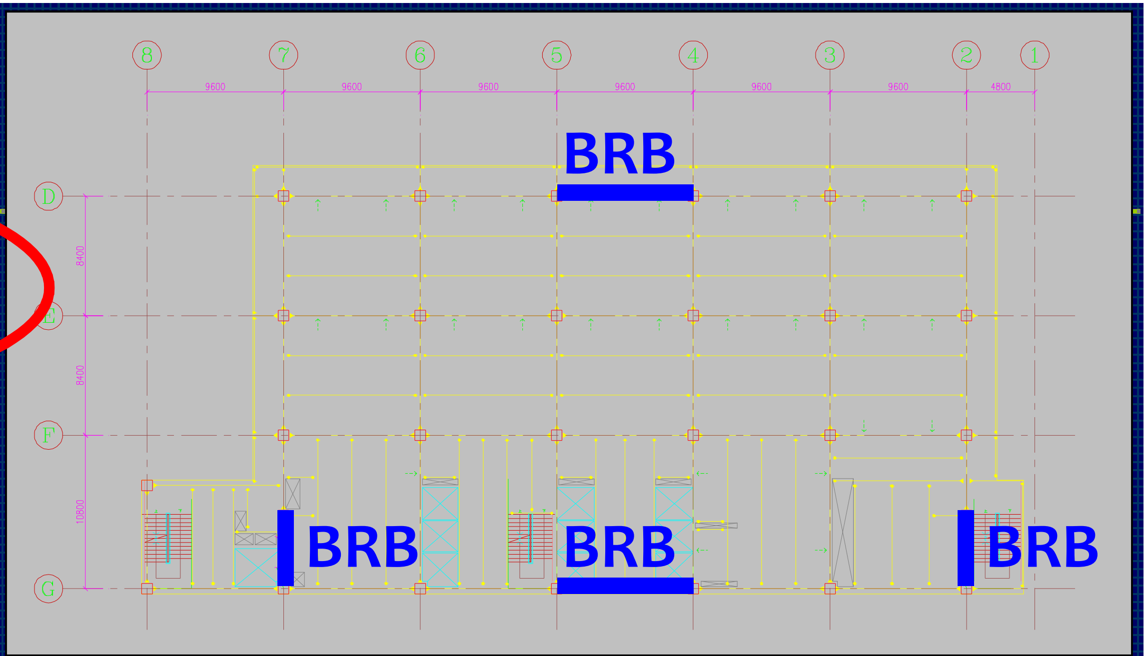
# B. 雙 加BRB

提 結構 耐震性能

降 結構用鋼量，

方 A 1,060

(NT$ 510 / m²)




| 鋼 | 量 (ton) | 單 (NT$/ton) | (NT$) |
| --- | --- | --- | --- |
| A572 GR50 | 655 | *** | *** |
| SM490 | 1060 | *** | *** |
| SN490 | 1470 | *** | *** |
| BRB | 量 (支) | 單 (NT$/支) | (NT$) |
| | 84 | *** | *** |
| Total (NT$) | | | *** |

提 : 工程 ( )

# 研究成　　　　發表

相關研究成　　　　　　　　：

中　　　國結構工程學會

結構工程　　27　　　　3

國101年 9　　　　29-59

槽接式挫屈束制支撐與

層　　　性能研究

：蔡克銓

NCREE

# 結論

- 槽接式BRB 雙管型BRB 接合穩定 工 性的優點外， 大 降 用 與成本。
- 槽接式BRB 接合穩定 疲勞壽命長 用量 與 方 ，外型優點。
- 分析與應用結 ，BRB的使用能使結構耐震性能 穩定，且可降 鋼構 成本。


國家地震工程研究中心

NCREE