含挫屈束制支撐之
RC構架耐震補強設計與試驗

潘冠宇、吳安傑、蔡克銓、
李昭賢、林保均、王孔君、楊季軒

國家地震工程研究中心 (NCREE)
國立台灣大學 (NTU)

含挫屈束制支撐之
RC構架耐震設計、試驗與應用研討會
2015.11.13

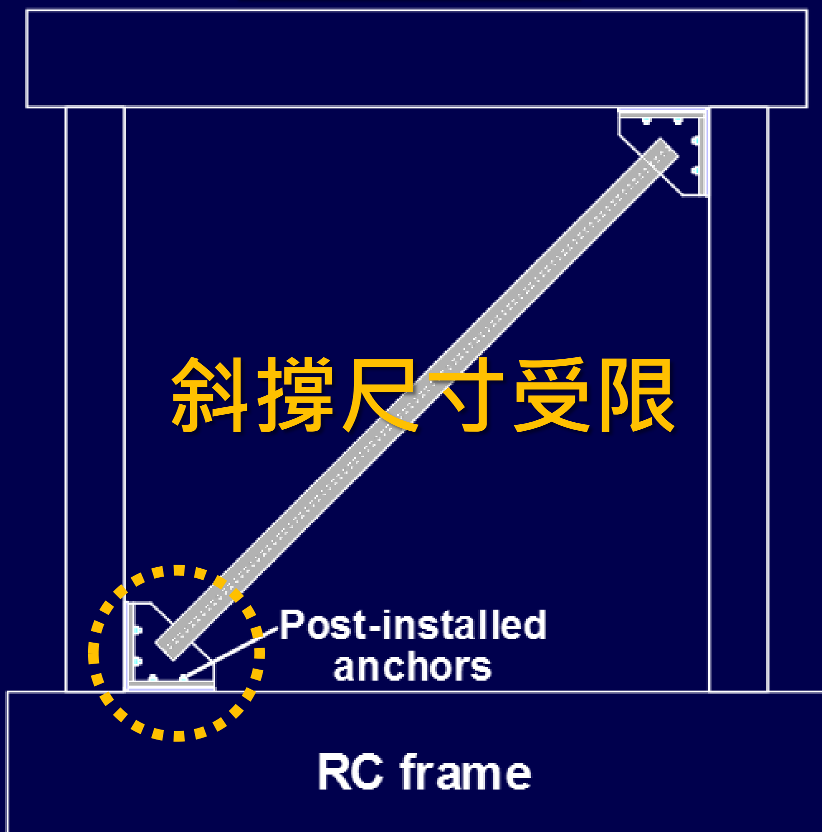
大綱

- 常見之鋼斜撐補強接合方式
- 設計概念與補強特點
- 試體設計
- 試驗結果
- 結論

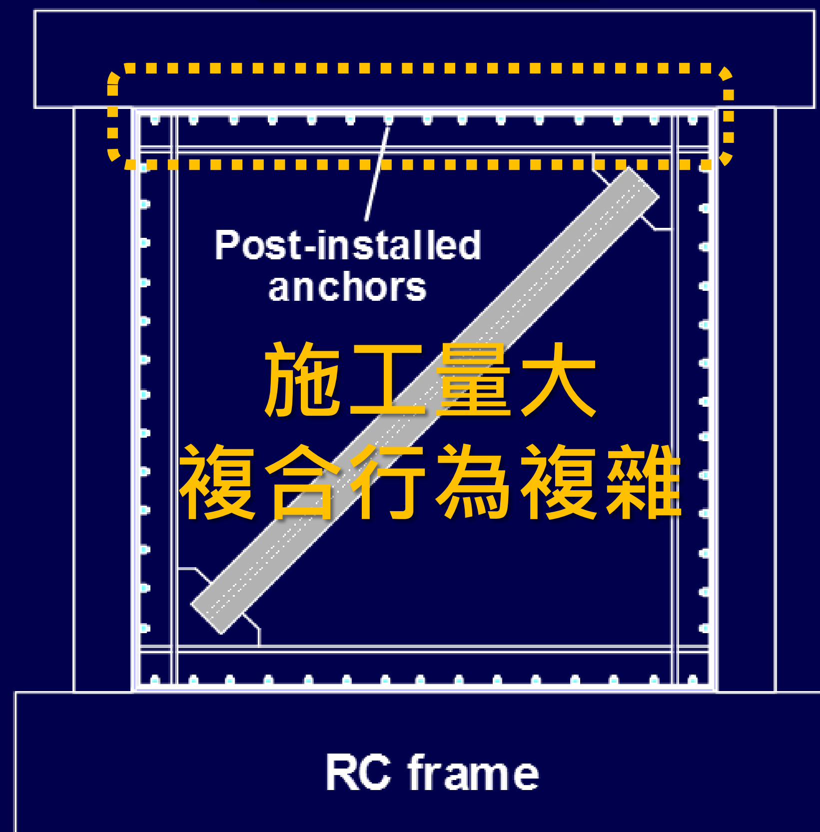
常見之鋼斜撐補強接合方式

Maheri et al. (2003)

直接系統



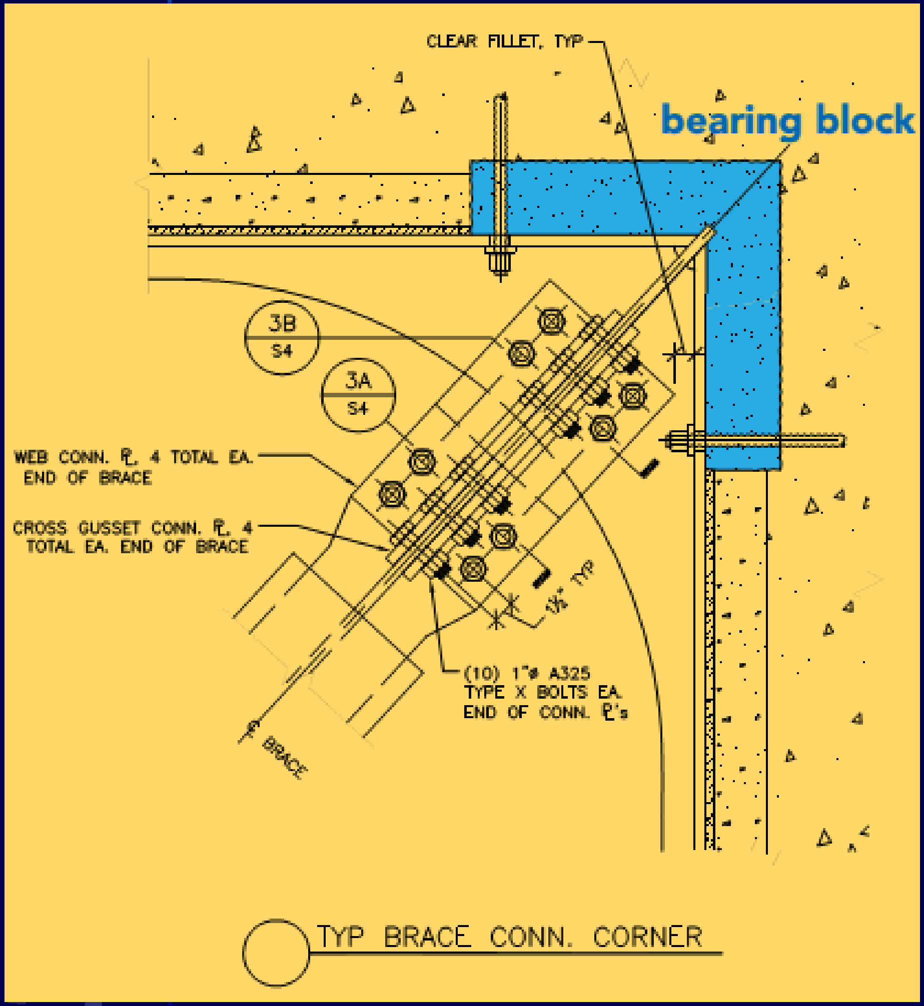
間接系統



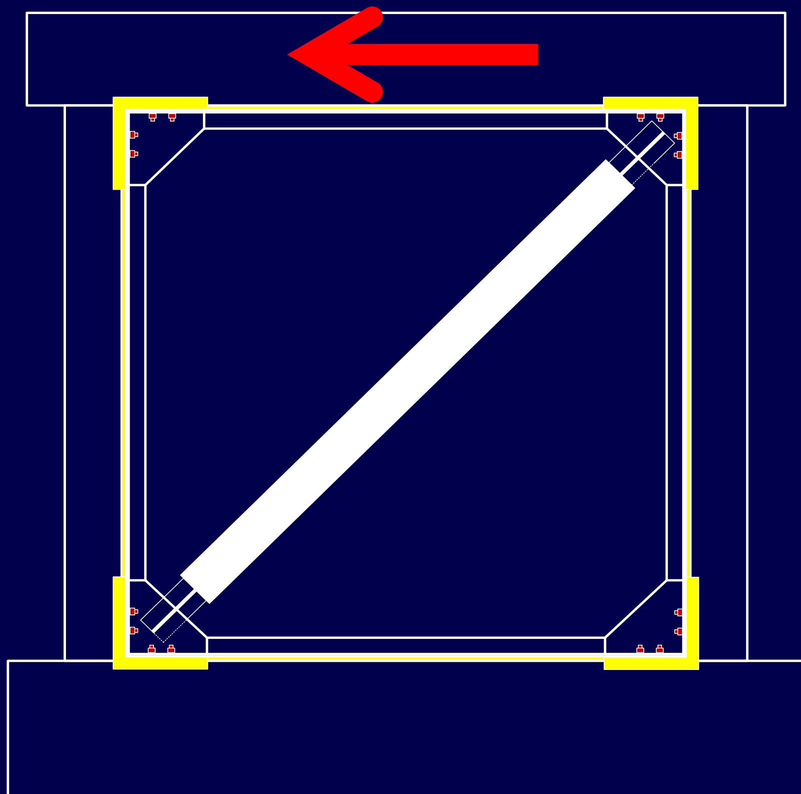
Ex: 2×2-M20, f_c'=210kgf/cm^2, 埋深20cm→拉力強度≈37kN.

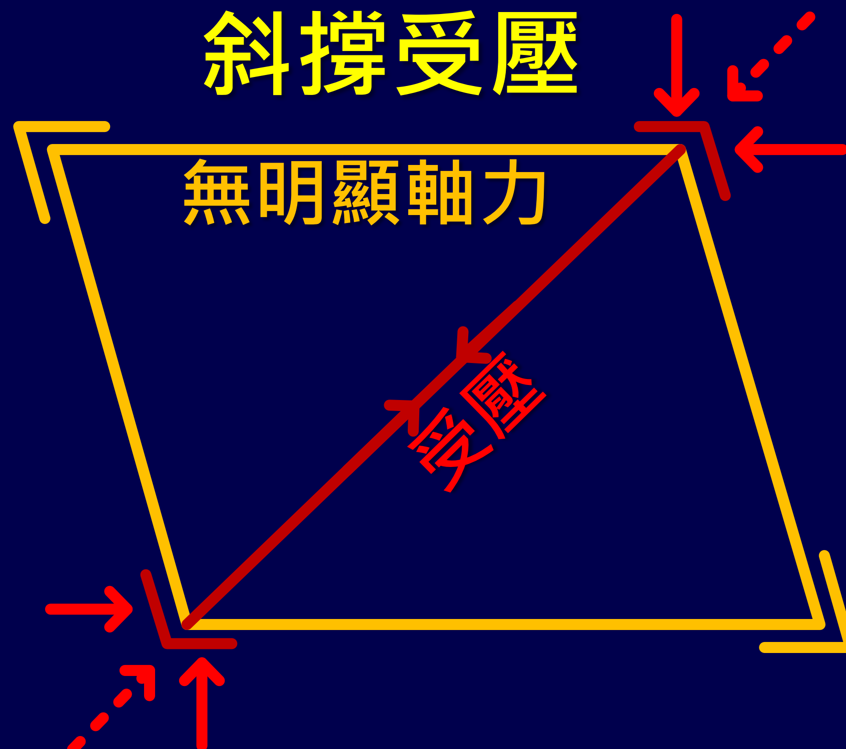
設計概念

Paret (2007) (無相關試驗資料)



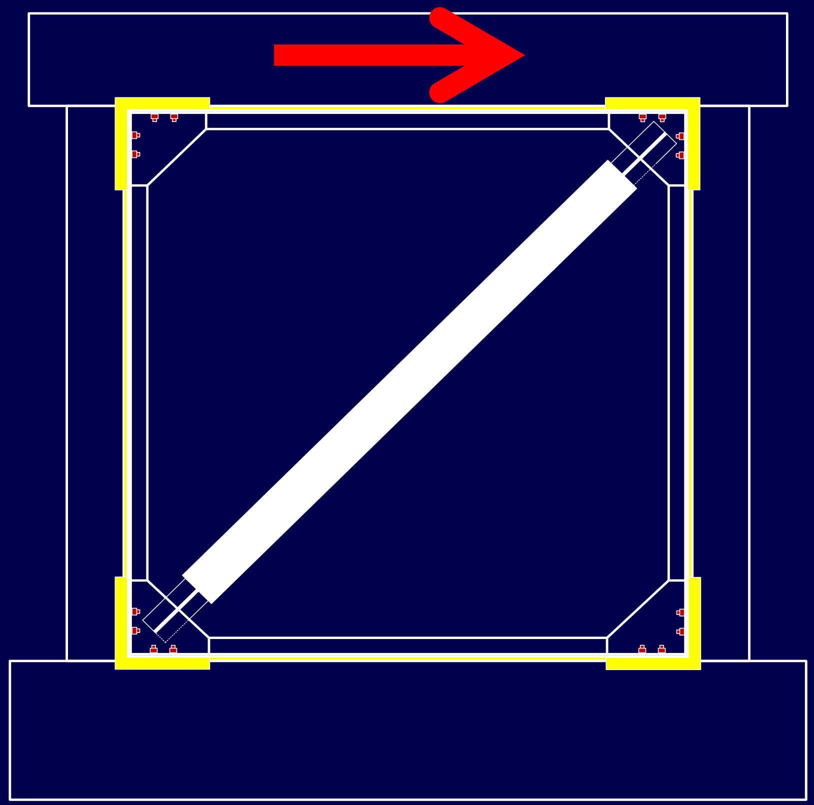
傳力機制

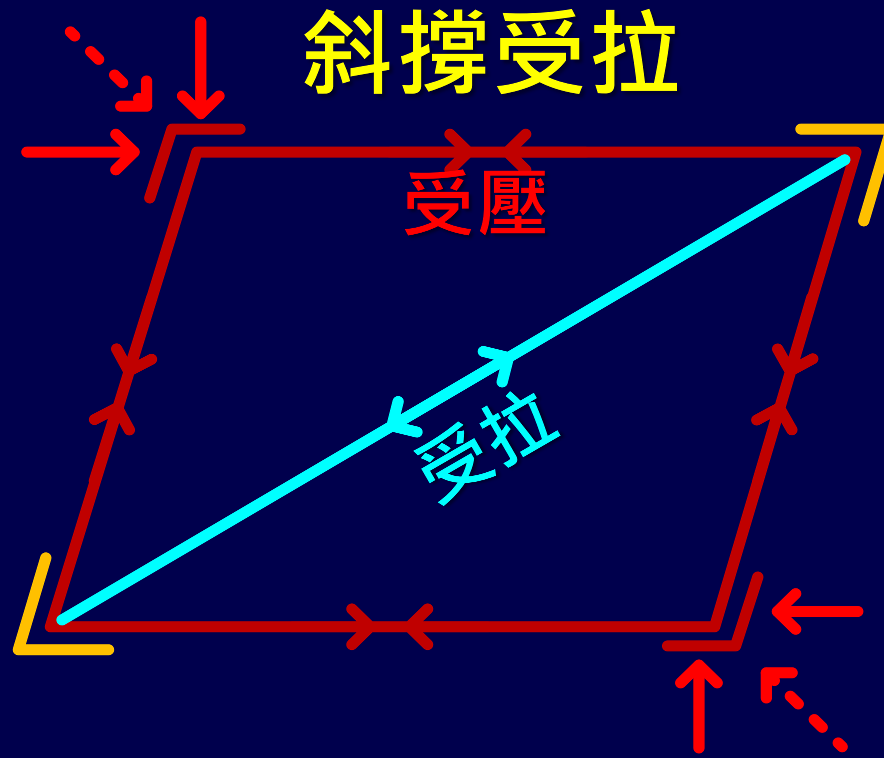




力量由承壓塊直接傳入斜撐
鋼框構件無明顯軸力
設計時假設為0

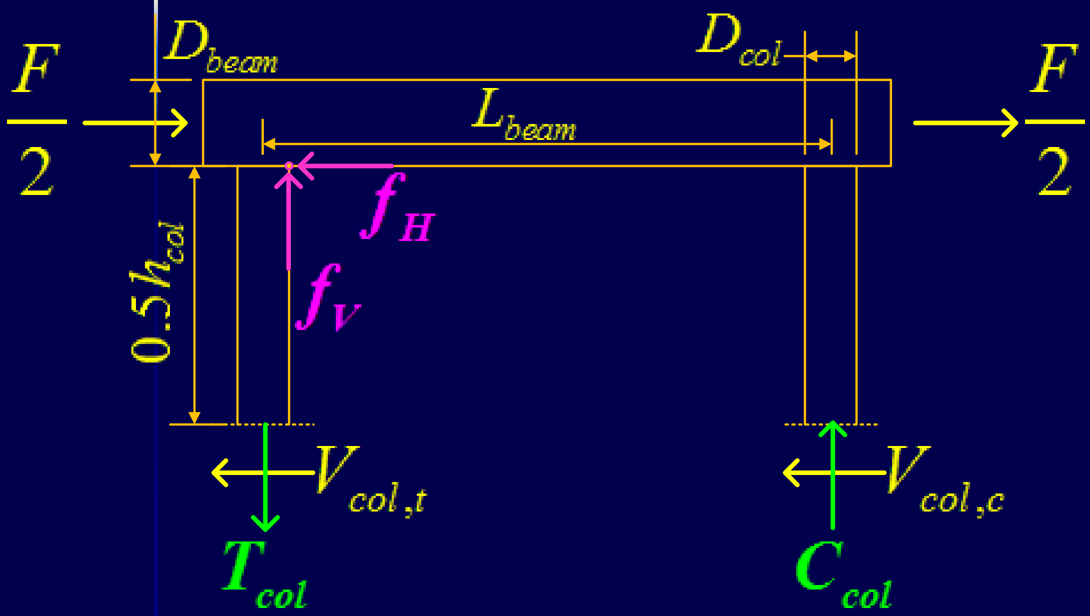
傳力機制

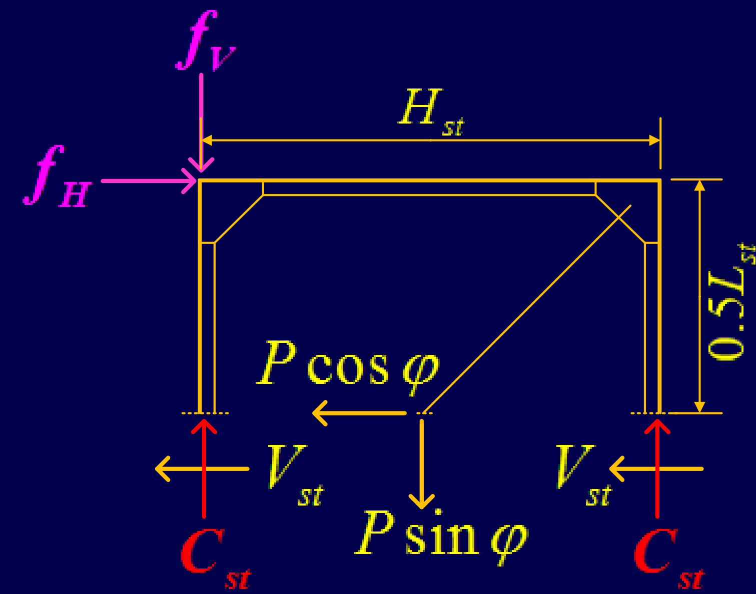




力量由斜撐對角承壓塊傳入鋼框
→鋼框受壓再傳至斜撐
鋼框構件視為受壓構件設計

斜撐受拉時RC與鋼框構件受力





$$f_H = F - 2V_{col} = 2V_{strut} + P_H$$

$$f_V = \frac{H_{sf}}{L_{sf}} f_H$$

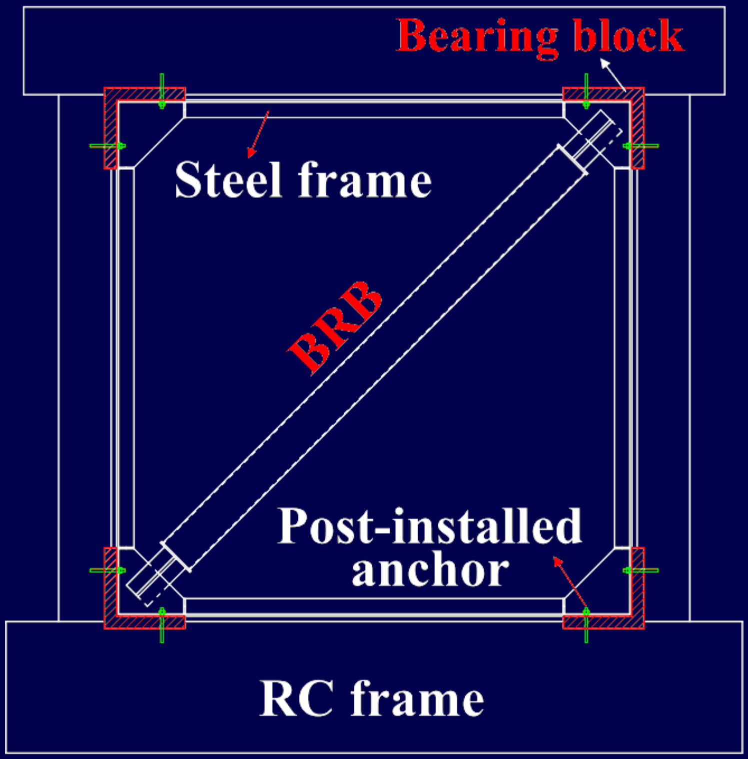
$$C_{col} = \frac{F(d_b + h_{col}) - f_V d_c - f_H h_{col}}{2L_{beam}}$$

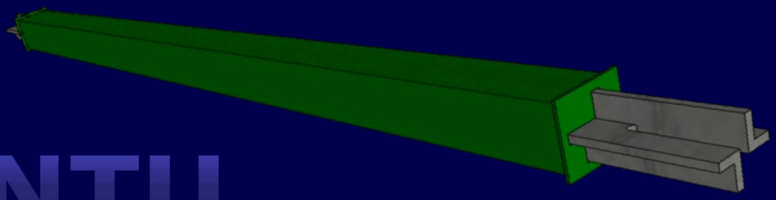
$$T_{col} = f_V + C_{col}$$

$$C_{strut} = \frac{f_V + P_V}{2}$$

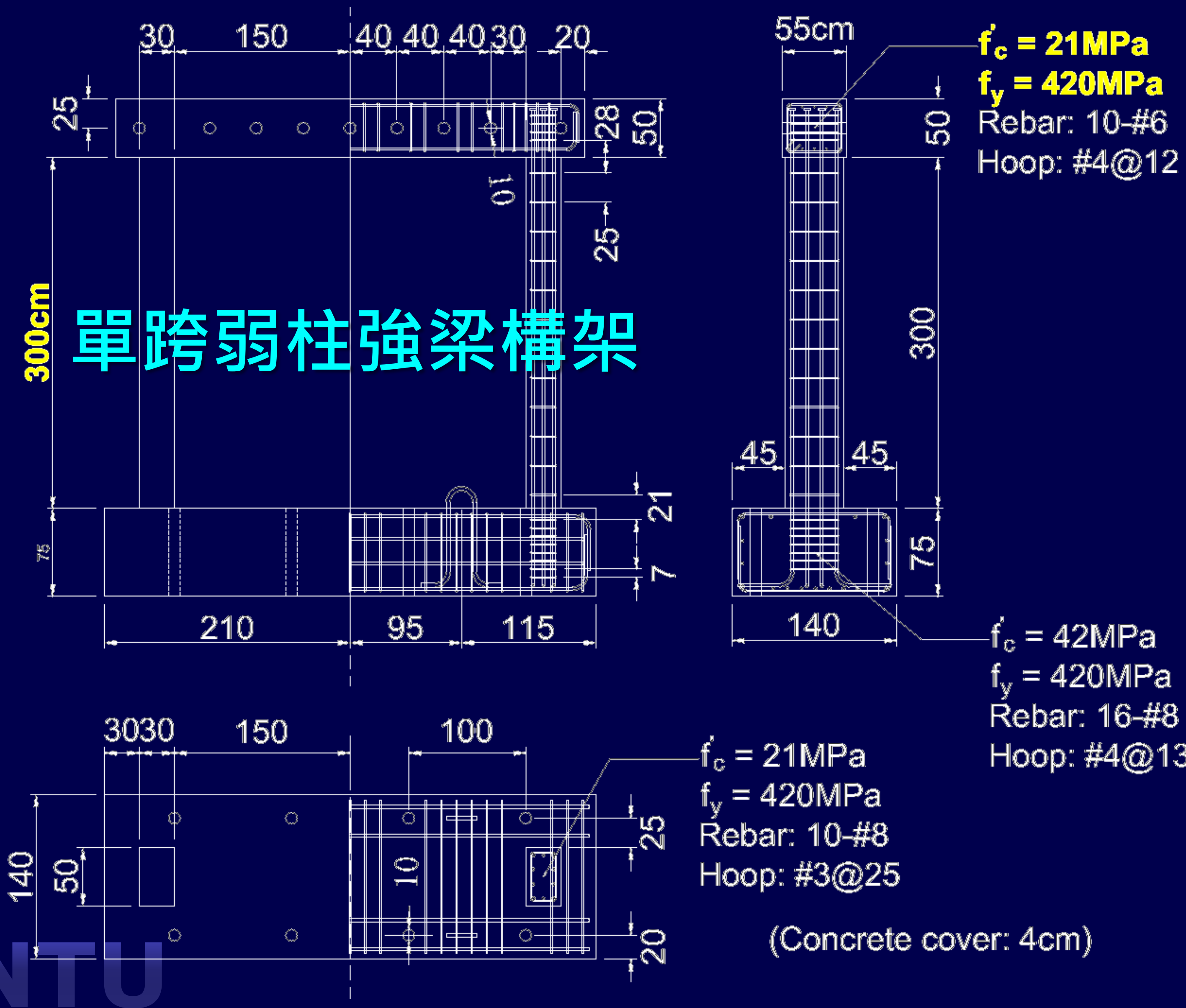
承壓塊+BRB補強特點

- 減少錨栓用量
- 減少RC構架與補強鋼框之複合效應
- 增加BRB容量
- 利用BRB特性：
  高勁度
  高強度
  高韌性與消能容量

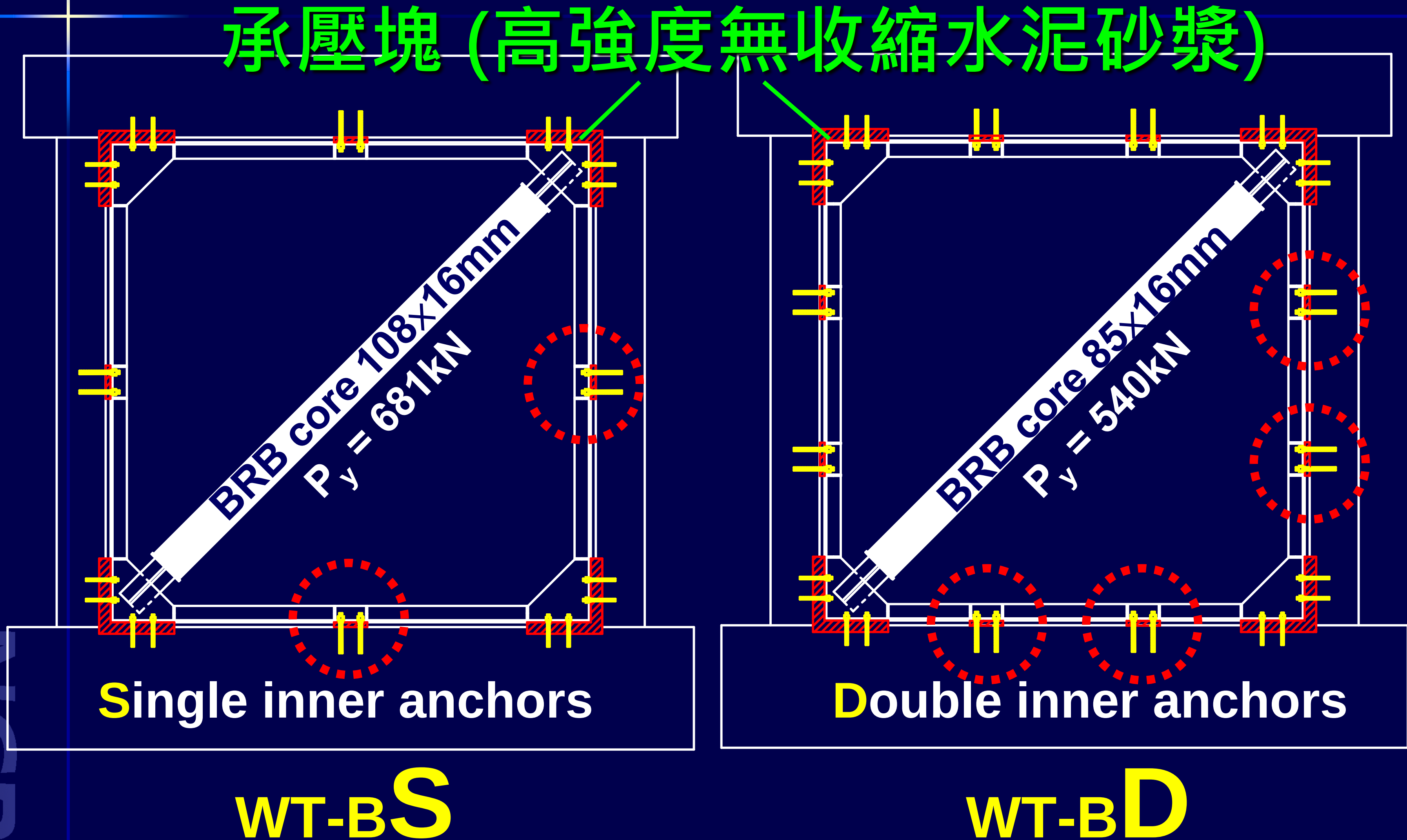




RC構架尺寸及鋼筋配置

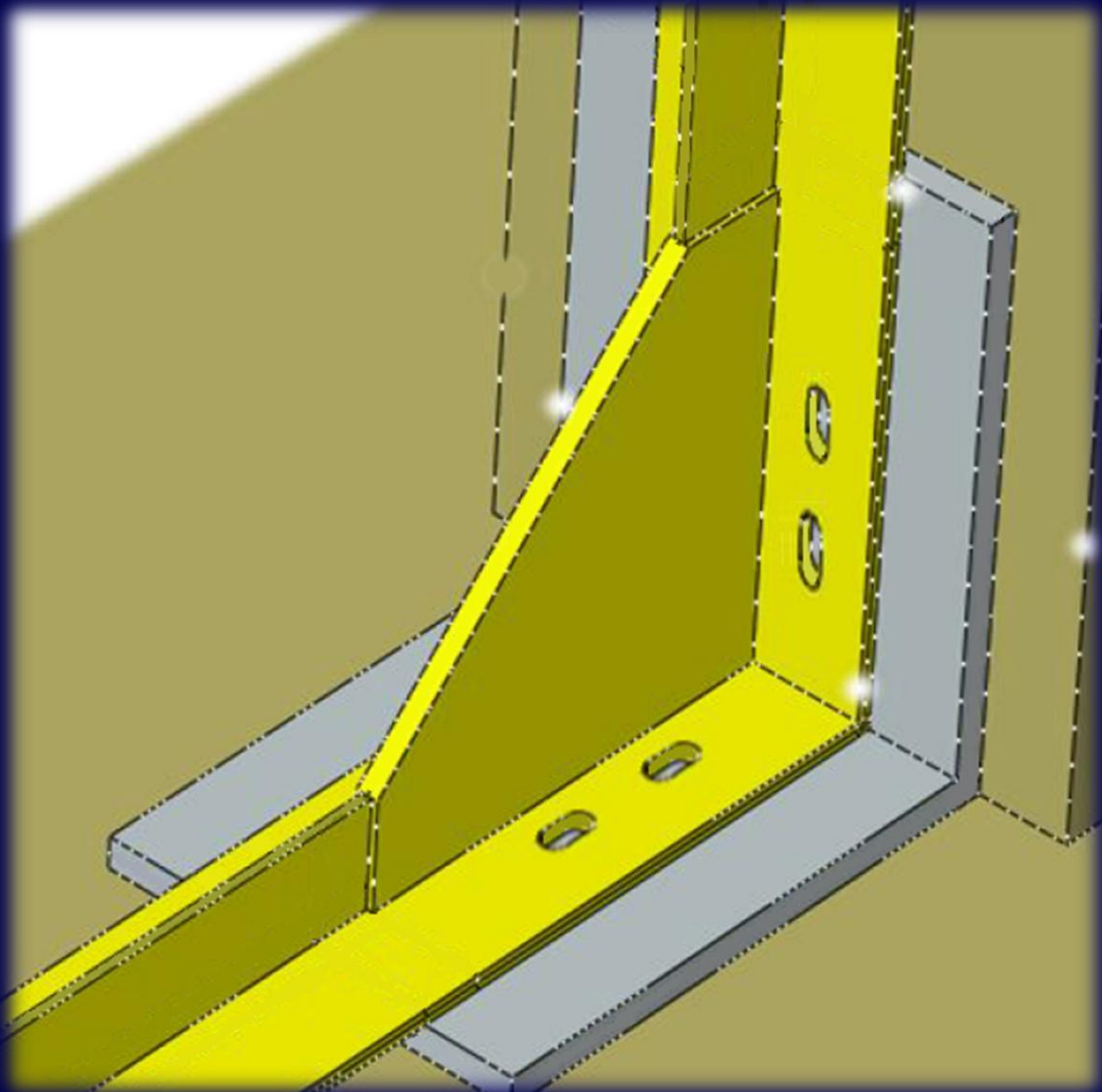


補強構架設計



內部錨栓減少無支撐長度

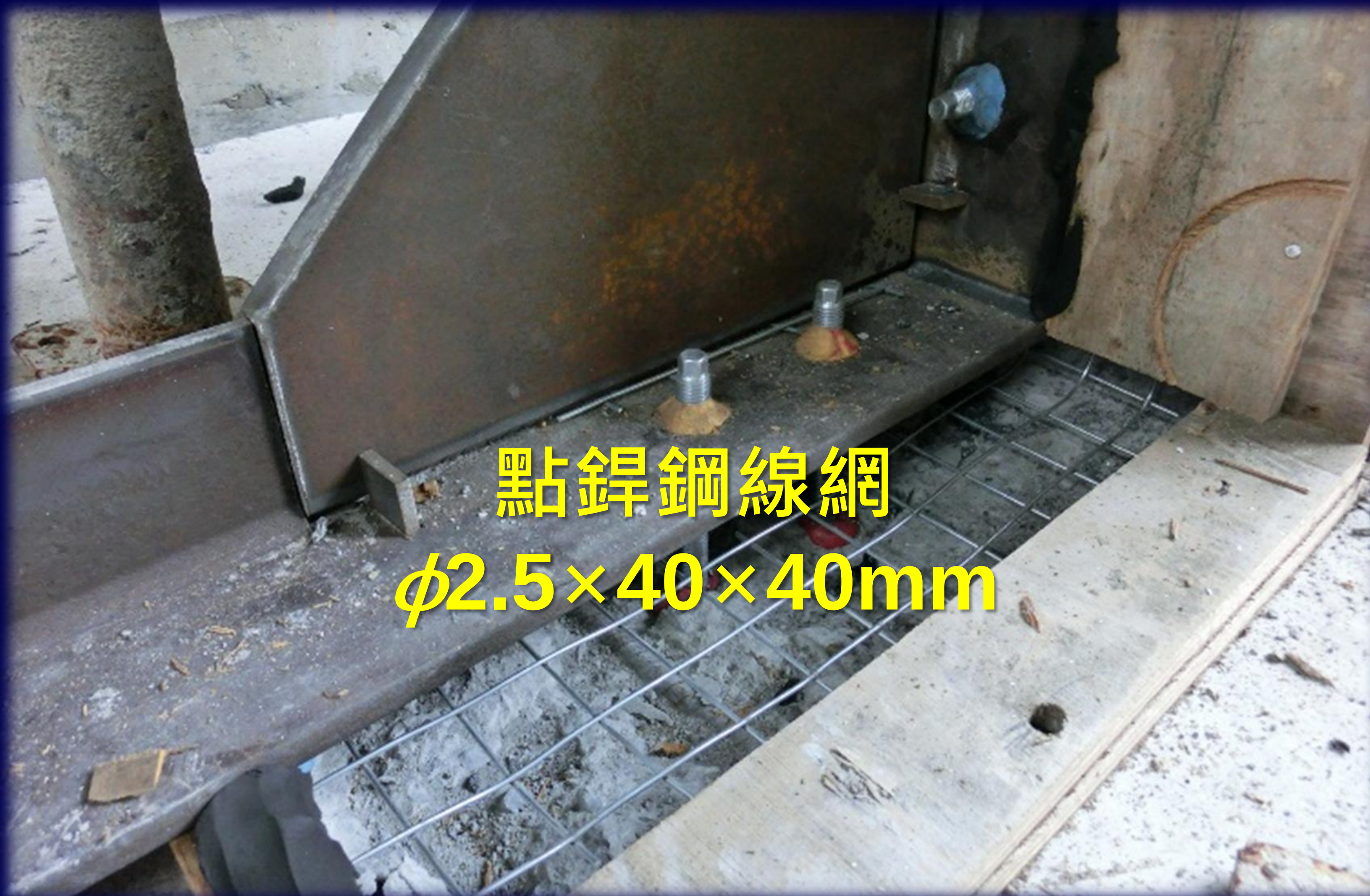
- 錨栓孔原應設計為長型孔，避免錨栓受力破壞。



鋼框尺寸及錨栓設計

製造錯誤：螺栓孔徑僅有20及25mm

WT-BD承壓塊內設置點銲鋼線網

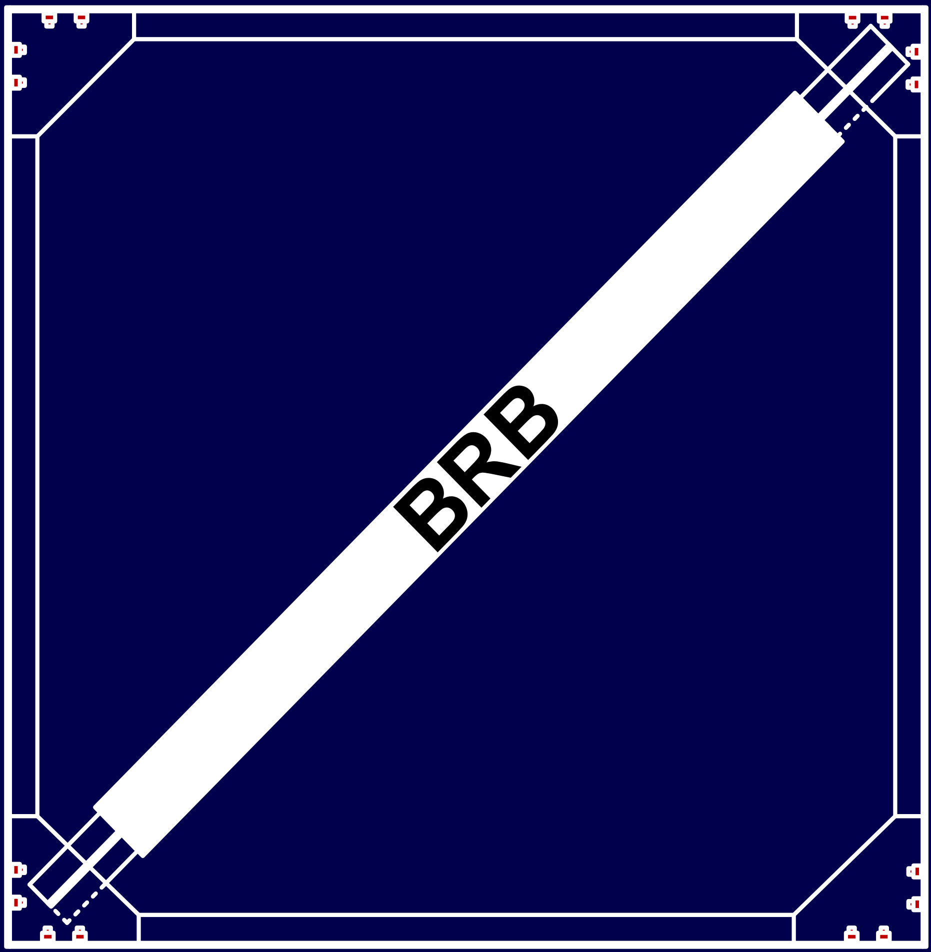


NCREE

NTU

BRB、接合板及鋼WT構件強度檢核

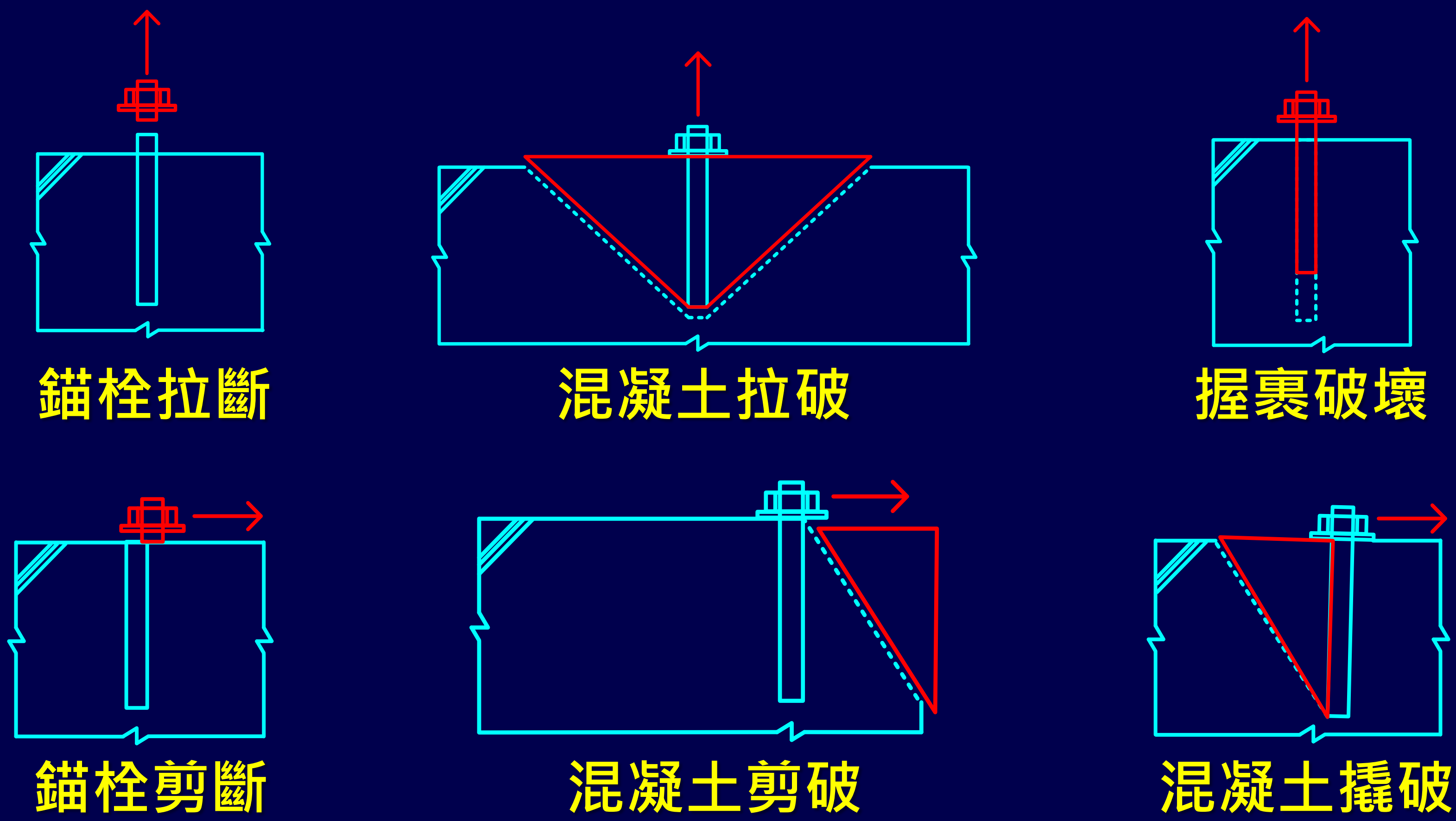
- 外鋼管挫屈
- 接合段降伏
- 接合段挫屈
- 接合板塊狀剪力破壞
- 接合板降伏
- 接合板挫屈
- 接合板梁柱接面強度
    - von Mises
    - 拉力破壞
    - 剪力破壞
- 鋼WT構件挫屈強度



(鋼WT構件設計軸力 = BRB最大軸力之水平或垂直分量)

化學錨栓強度檢核

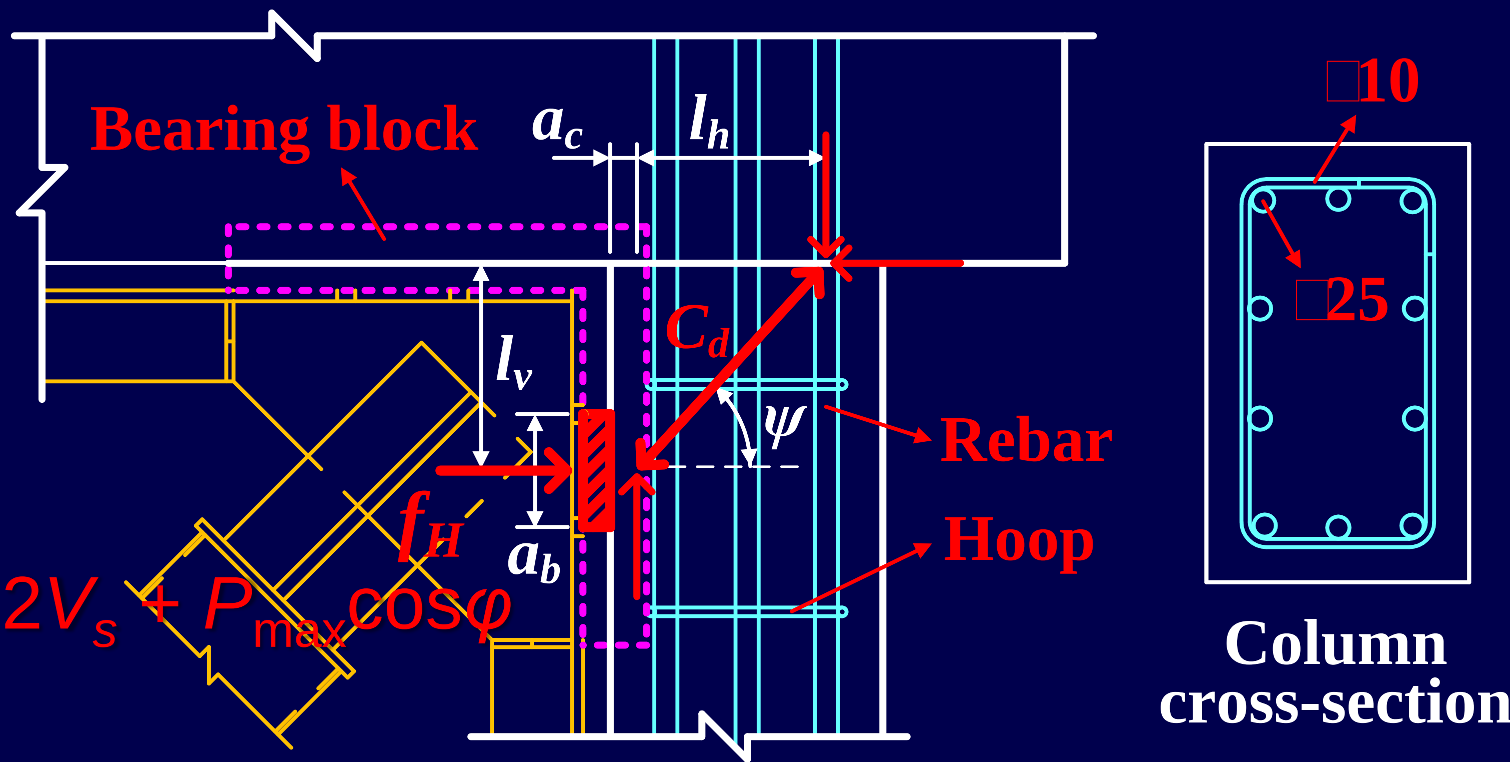
內部錨栓設計力量 = 1% 鋼框軸壓力 (<u>AISC 360-10</u>)
角落錨栓設計力量 = 1% BRB最大軸力分量



<u>ACI 318-11</u>

不連續區域剪力強度檢核

Hwang & Lee 2002: 軟化壓拉桿模型 (SST)



$f_H = 2V_s + P_{max}\cos\varphi$

對角抗壓強度水平分量 = *661*kN

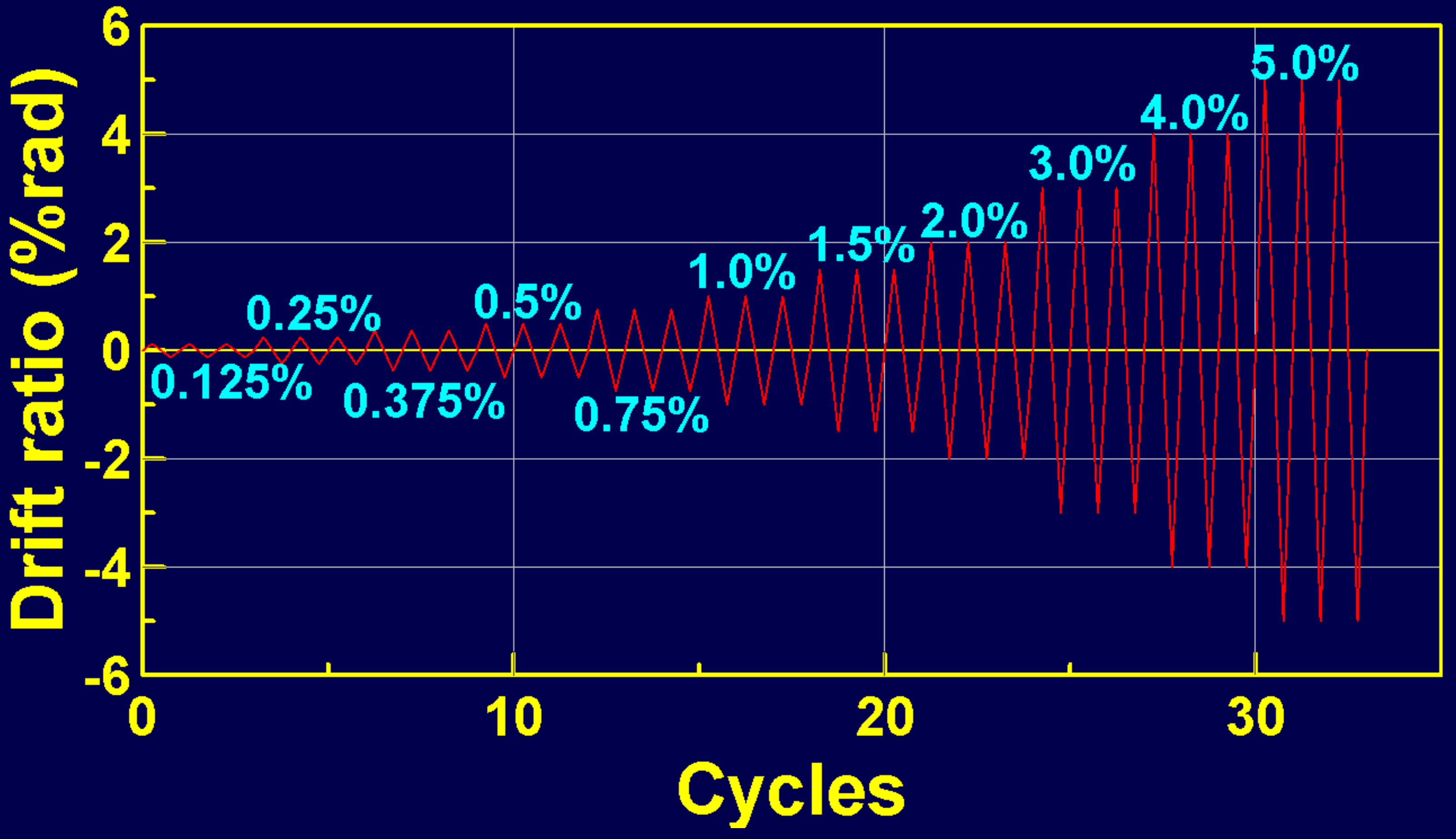
WT-BS: f_H = *756*kN > 661kN (NG)

WT-BD: f_H = *602*kN < 661kN (OK)

試驗配置

加載歷時

ACI374.1

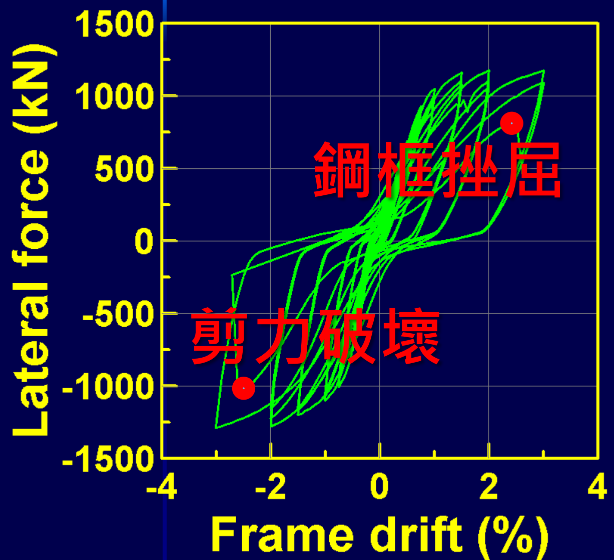


NCREE

NTU

WT-BS試驗

P_y = 686kN, P_{max} = 1026kN.

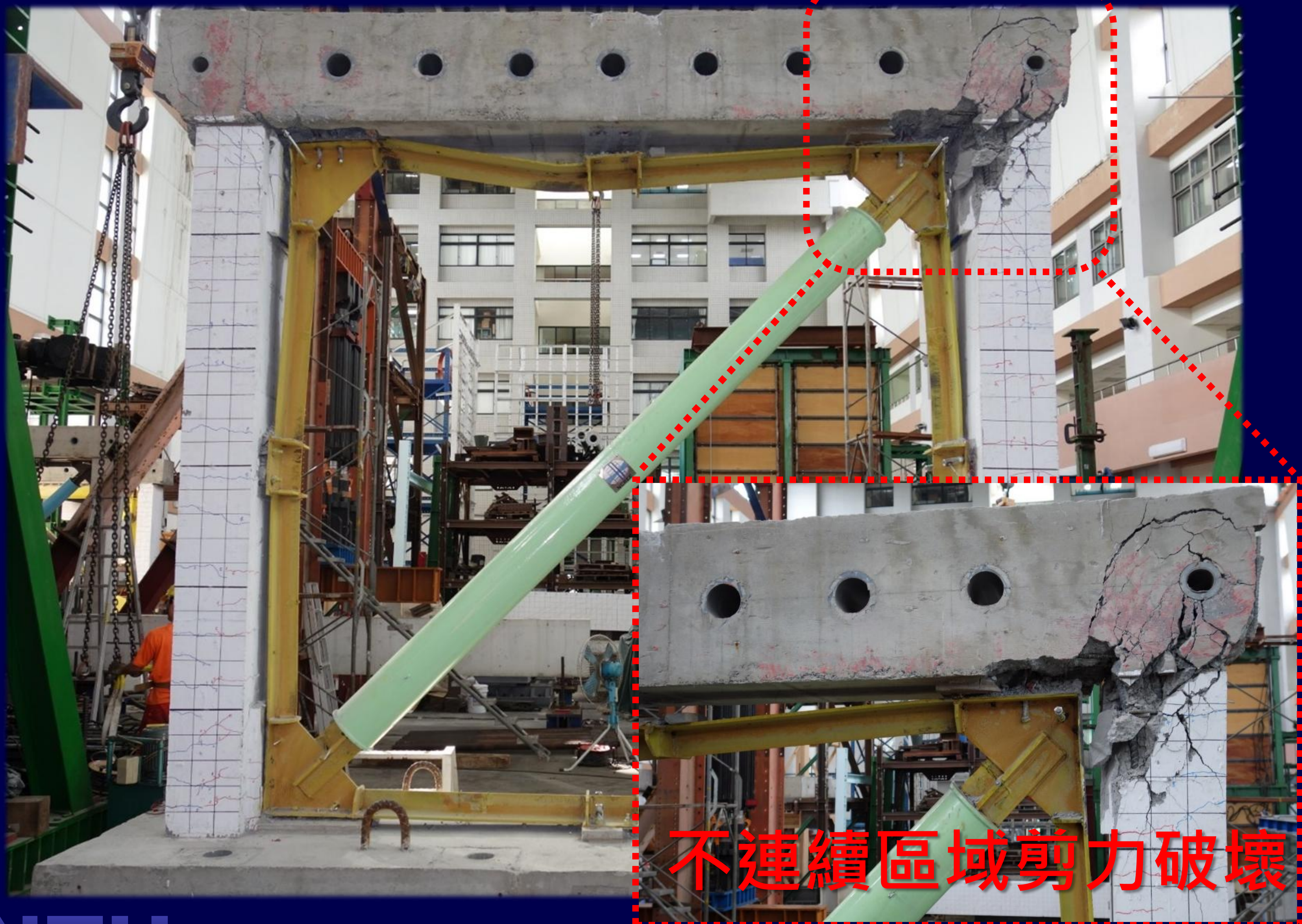


承壓塊明顯碎裂
→框架間隙增加
→錨栓剪斷
→柱端剪力破壞
→鋼框構件挫屈

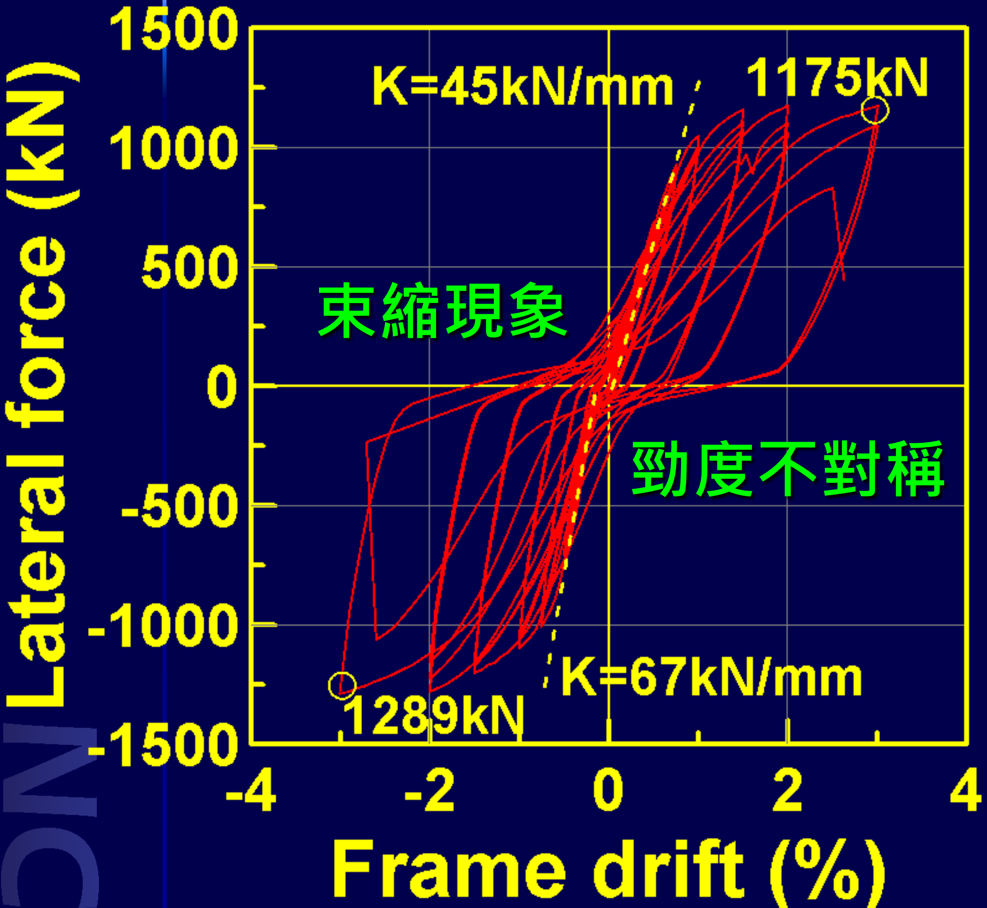
-3.0% Drift第二圈發生D區域破壞
大量錨栓剪斷

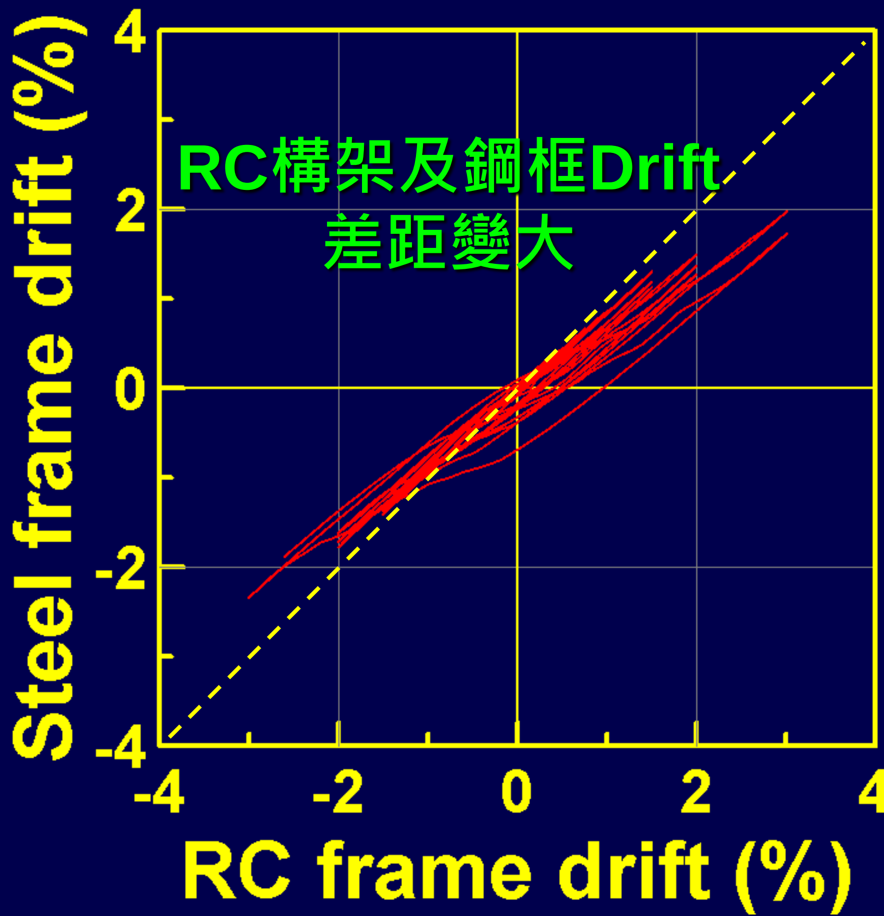
NCREE NTU

WT-BS試體破壞模式(與預測相符)



WT-BS構架受力變形反應

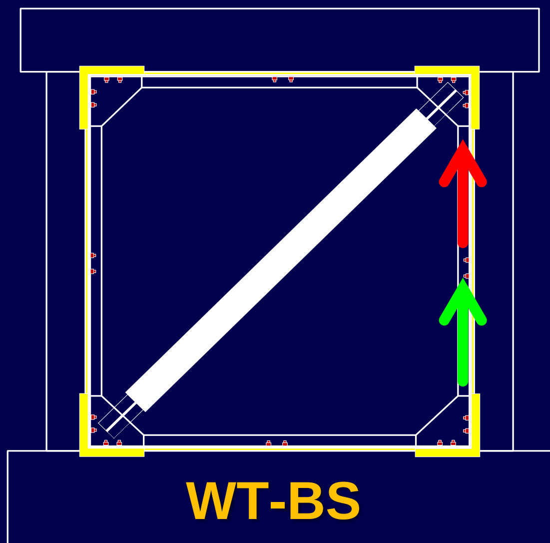


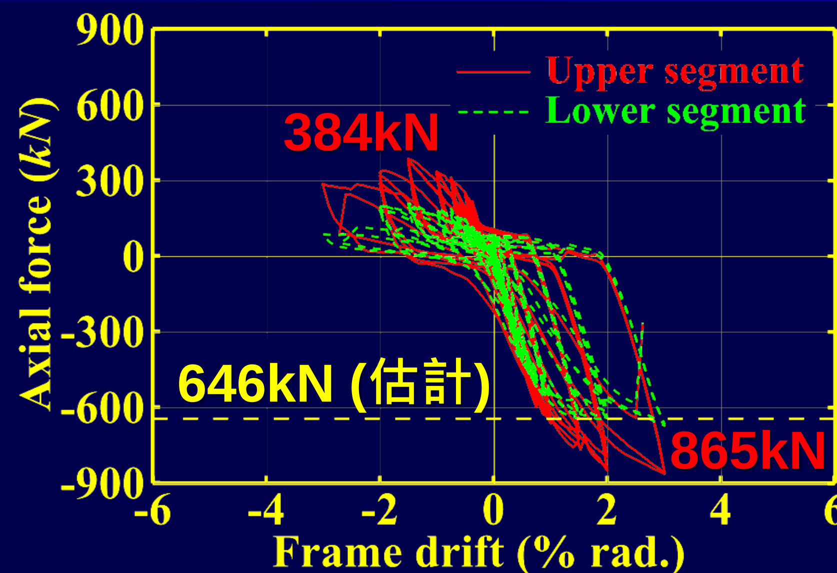


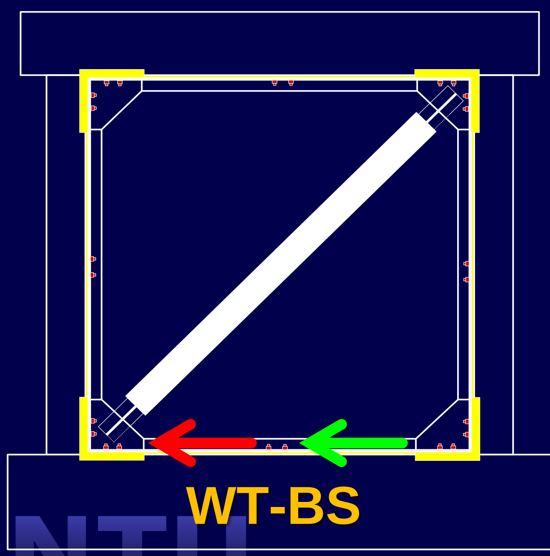
1.5% Drift後承壓塊擠碎產生間隙

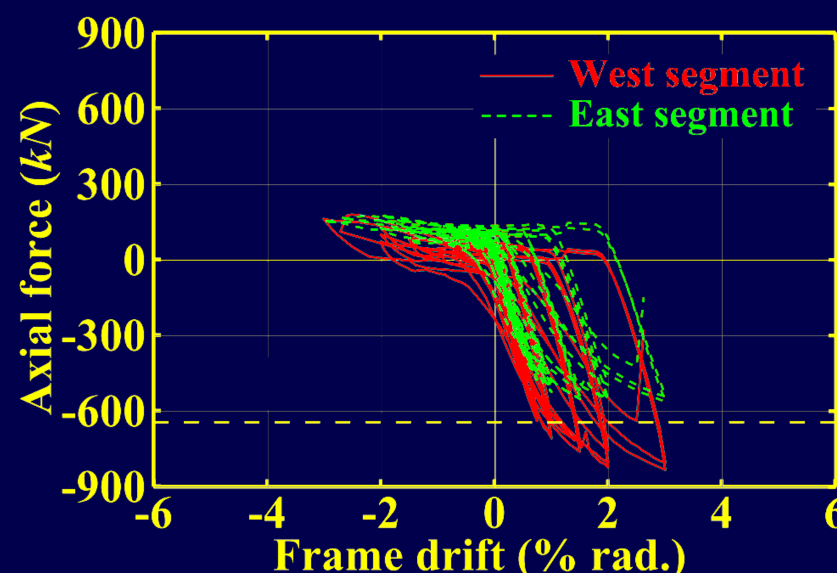
NCREE NTU

WT-BS鋼框受力反應

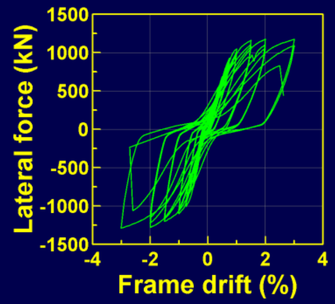

WT-BS


Upper segment
Lower segment
384kN
646kN (估計)
865kN
Axial force (kN)
Frame drift (% rad.)
900
600
300
0
-300
-600
-900
-6
-4
-2
0
2
4
6


WT-BS


West segment
East segment
Axial force (kN)
Frame drift (% rad.)
900
600
300
0
-300
-600
-900
-6
-4
-2
0
2
4
6

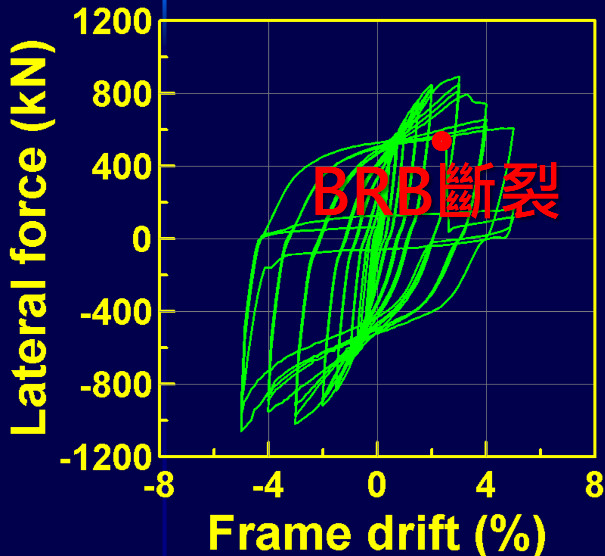
WT-BS試驗小結



- 承壓塊碎裂使RC構架與鋼框產生間隙而使：
  1. 構架受力變形反應產生束縮現象。
  2. 構架側向勁度在BRB受壓時明顯大於BRB受拉時。
  3. 減少鋼框與RC構架間之承壓面積，降低不連續區域之抗剪強度。
  4. 錨栓於構架側移較大時剪斷。
- BRB受拉時，鋼框承受之壓力較預測值大，是因為錨栓已與鋼框發生擠壓。
- BRB受壓時，鋼框承受少許拉力，不為零，原因同上。
- 側位移角3.0%弧度時達最大側向強度。提升之強度及勁度分別為純鋼框補強試體之2.8及4.5倍。

WT-BD試驗(承壓塊加勁)

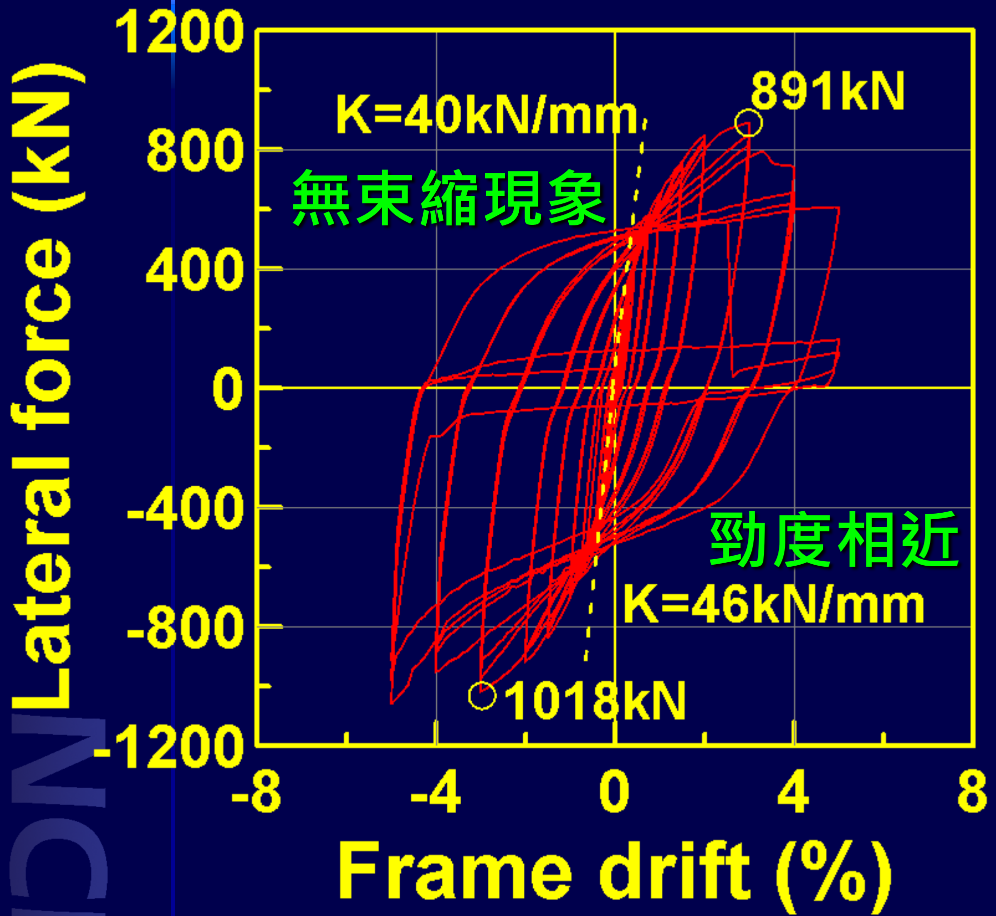
P_y = 540kN, P_{max} = 807kN.

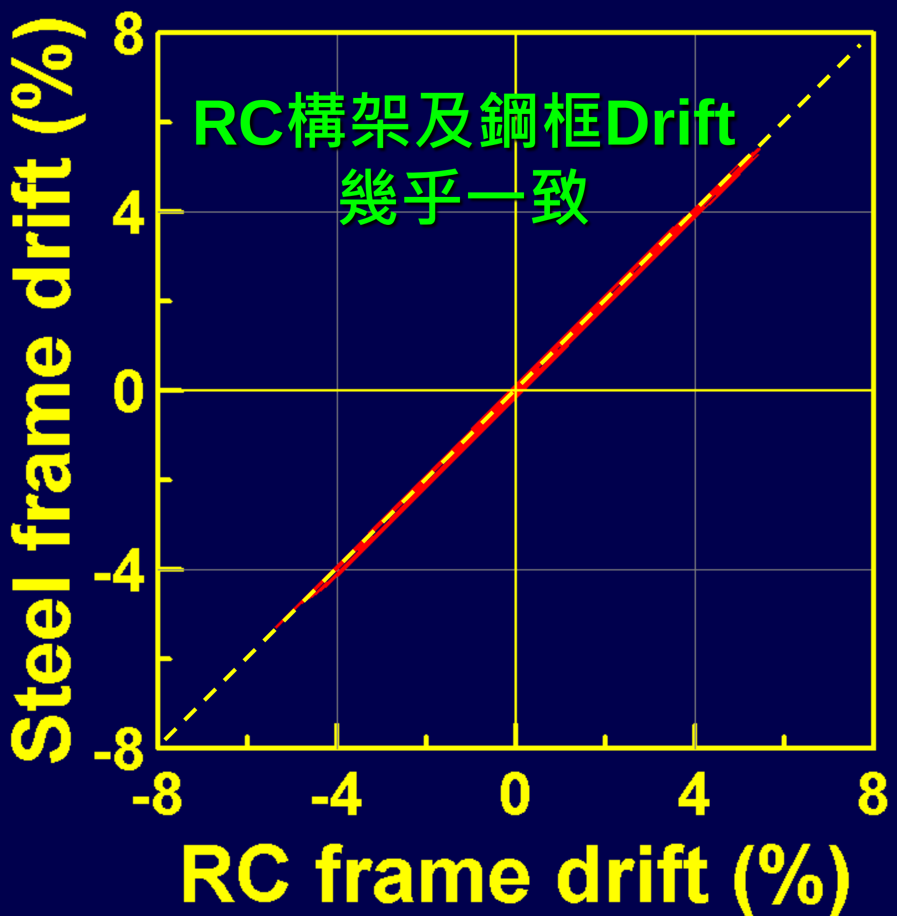


承壓塊不易碎裂
→框架間隙不大
→受力變形對稱
→BRB有效消能
→核心疲勞斷裂
(CPD=494)

+5.0% Drift第二圈BRB發生疲勞斷裂
無發生D區域破壞、錨栓未剪斷

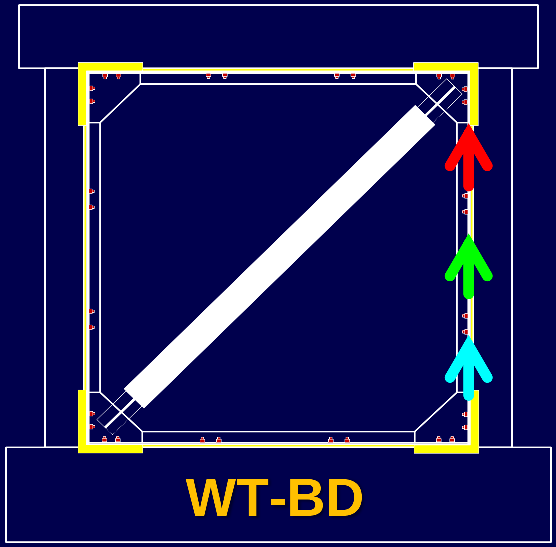
WT-BD構架受力變形反應



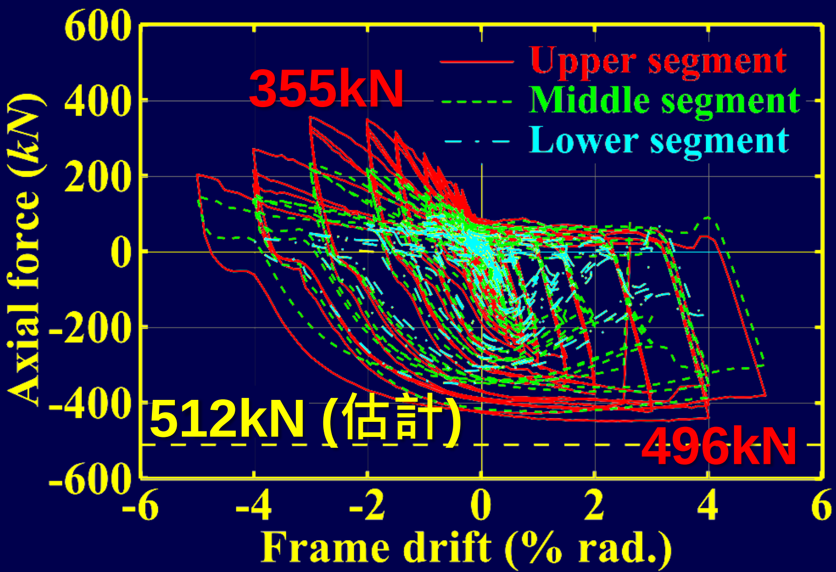


承壓塊加勁使得構架行為提升

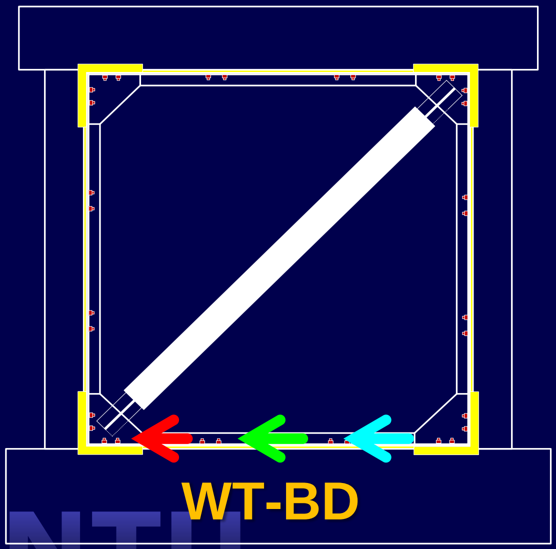
WT-BD鋼框受力反應



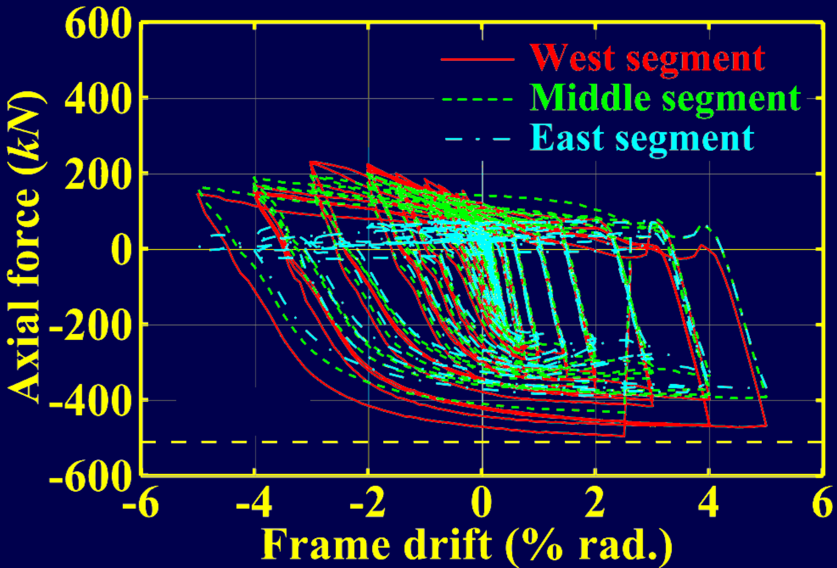
WT-BD



355kN
Upper segment
Middle segment
Lower segment
512kN (估計)
496kN
Axial force (kN)
Frame drift (% rad.)

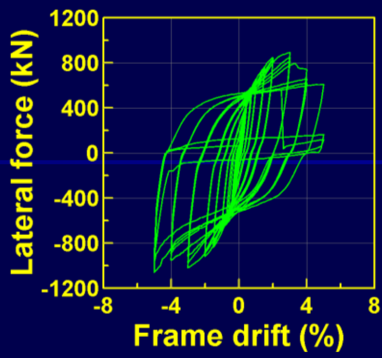


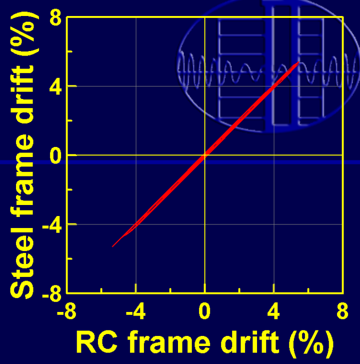
WT-BD



West segment
Middle segment
East segment
Axial force (kN)
Frame drift (% rad.)

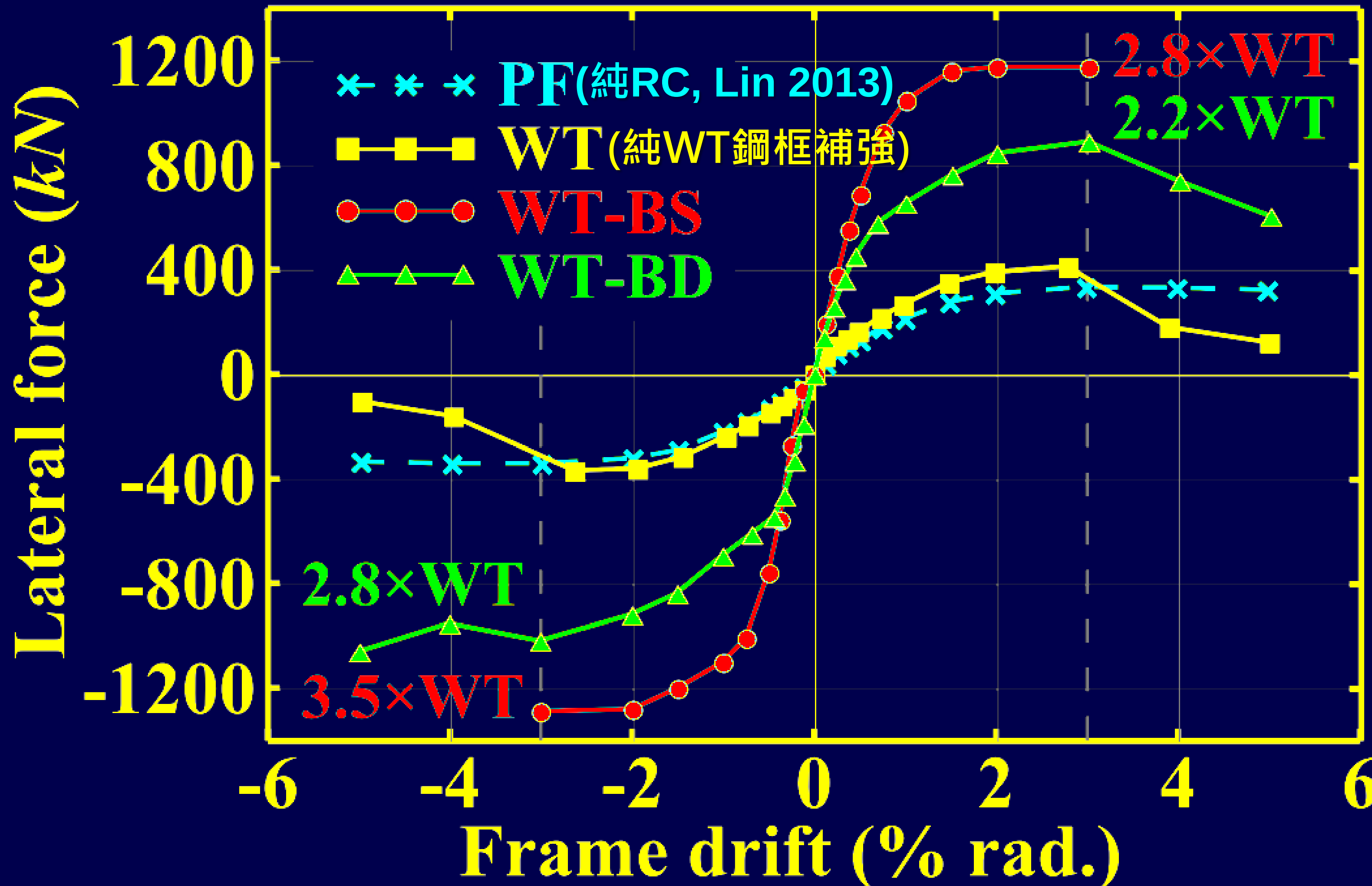
WT-BD試驗小結



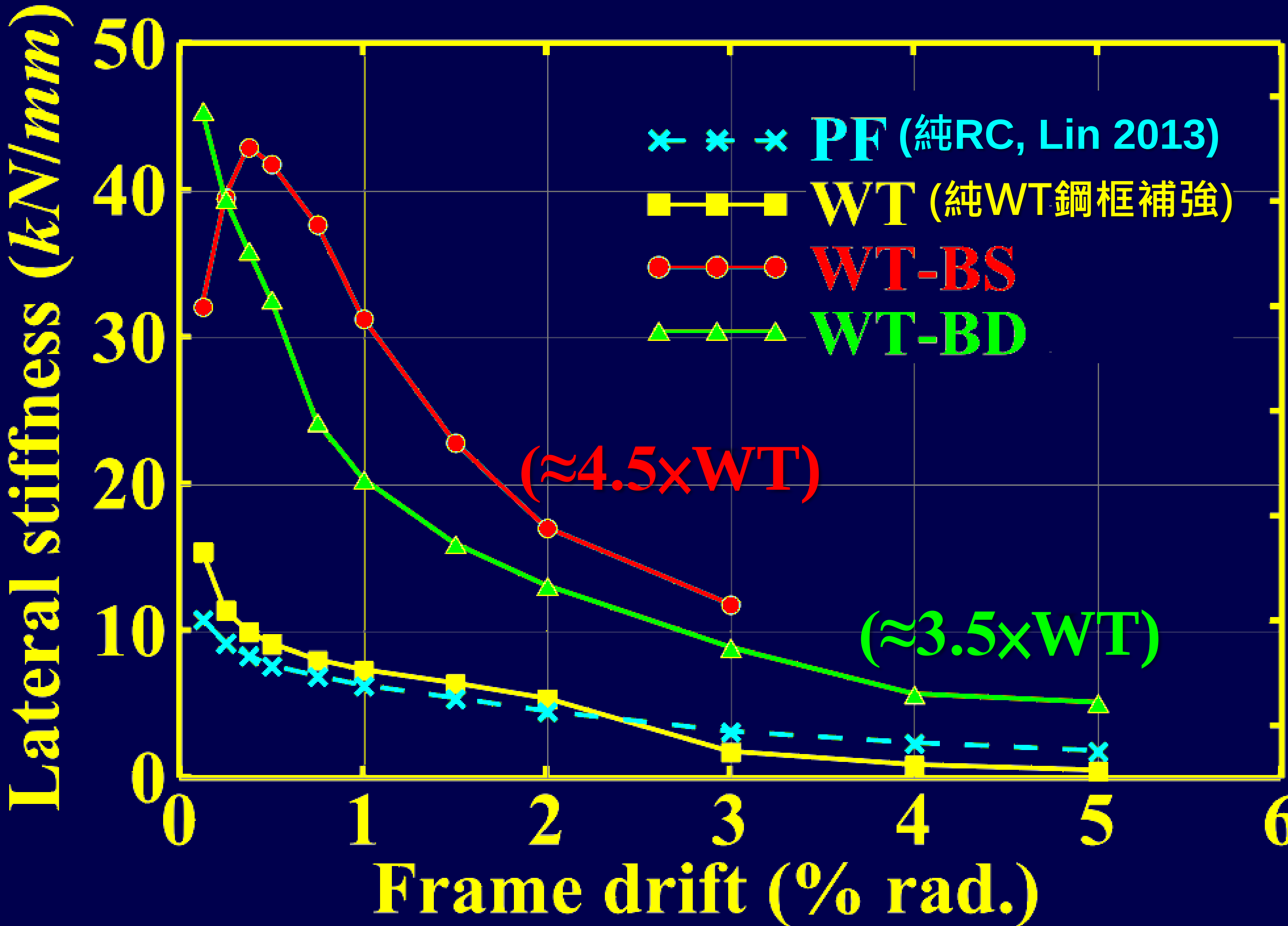


- 採用點銲鋼線網可減少承壓塊碎裂，使RC構架與鋼框側向變形較一致，因此構架正負向側向勁度無明顯差異。整體受力變形反應良好，較無束縮現象。
- 因此錨栓與鋼框擠壓程度較小，BRB受拉時，鋼框承受之壓力與預測值接近。
- BRB受壓時，鋼框仍因錨栓與鋼框擠壓而承受少許拉力，但最大值在構架側移角達3%弧度時才發生。
- 側移角3.0%弧度時達最大側向強度。補強後提升之強度及勁度分別為純鋼框補強試體之2.2及3.5倍。BRB於5.0%弧度側位移角時發生疲勞斷裂。

試體受力變形反應包絡線



試體側向勁度衰減反應



NCREE NTU

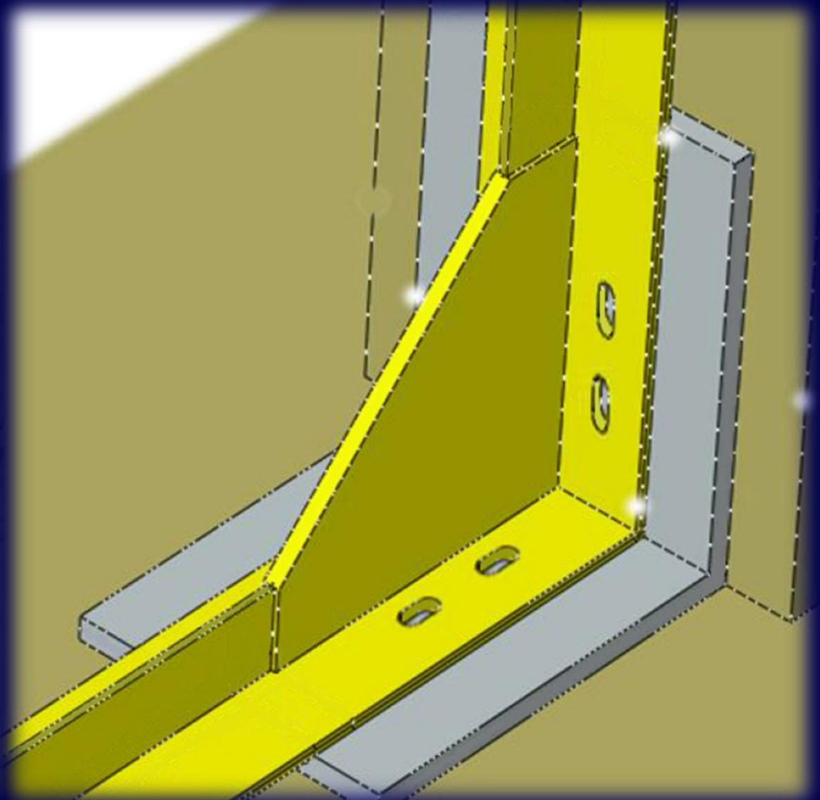
結論

- BRB經承壓塊對RC梁及柱端造成額外剪力需求，利用SST模型簡算法，僅取角隅錨栓間距為有效承壓塊範圍，計算壓桿有效深度，可保守評估D區域之剪力強度。
- WT-BD試體以點銲鋼絲網加勁承壓塊，使BRB能發揮功能，其累積塑性變形(CPD)為494，遠大於AISC 341-10在BRB單軸反覆載重試驗之規定值200。
- 槽接式BRB端部接合短而穩定，受力變形反應良好。

NCREE NTU

建議

- 應使用點銲鋼線網以加勁承壓塊
- 錨栓孔應設計與加工為長型孔，以免鋼框受額外軸力，並避免構架大變形時錨栓破壞。



Thank you!