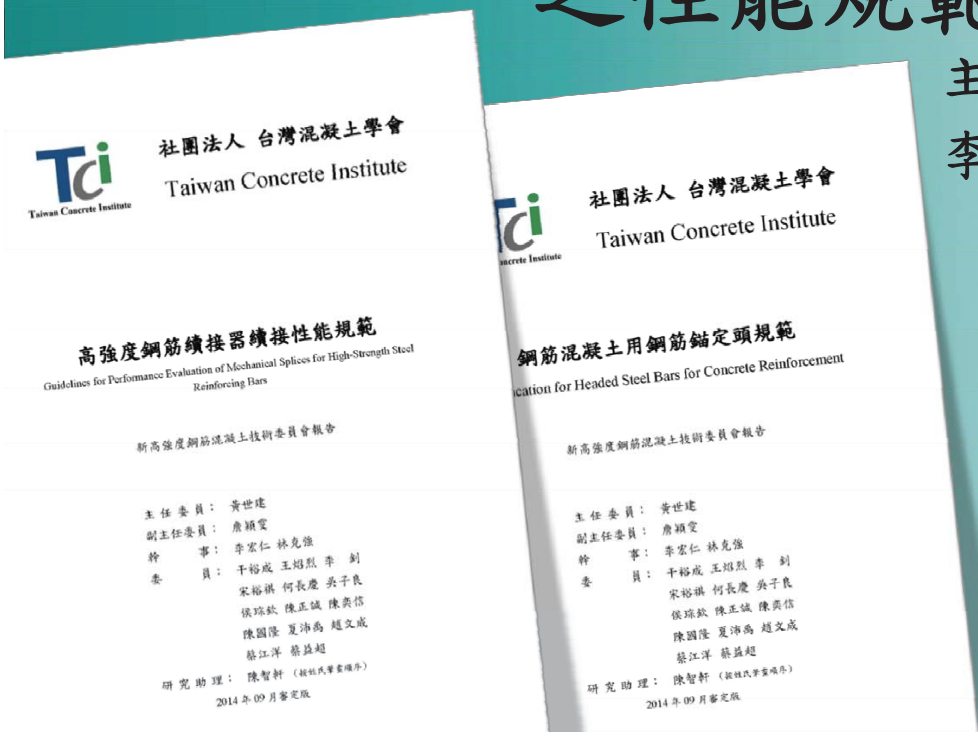
# 高強度鋼筋續接器及錨定頭之性能規範

主講人：
李宏仁 副教授






## 高強度鋼筋混凝土結構設計手冊

## 3.2 鋼筋規格及其配件

New RC新工法因CNS尚無相關標準，無法適用建築技術規則。為配合New RC新工法使用，其鋼筋須符合

台灣混凝土學會TCI高強度鋼筋及其配件規範，2014年10月：
(1)鋼筋混凝土用鋼筋-SD550W、SD685、SD785
(2)高強度鋼筋續接器續接性能規範
(3)鋼筋混凝土用鋼筋錨定頭規範。
(http://www.concrete.org.tw/3931838913/tci-tci-hs001 )

# 簡報大綱

一. 規範背景與目的

二. 高強度鋼筋之規格

三. 高強度鋼筋續接器續接性能規範

四. 鋼筋錨定頭規範

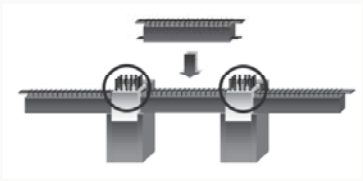
五. 結語

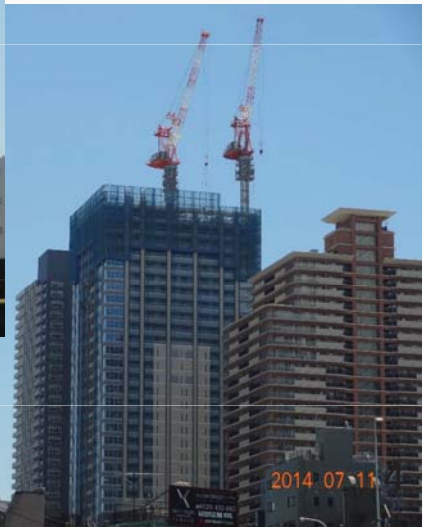


# 參考日本超高層建築發展




高強度鋼筋混凝土預鑄工法






YunTech 國立雲林科技大學 National Yunlin University of Science & Technology

# 鋼筋組立工法之改良

最經濟

經濟、快速、品質

| 工法 / 比較 | 傳統<br>現場組立 | 預組工法 | 預鑄工法 |
|---|---|---|---|
| 混凝土<br>/模板 | 現場一體澆置 | 現場一體澆置 | 工廠預鑄構件<br>現場澆置接合部 |
| **鋼筋續接** | 搭接<br>螺紋式續接 | ~~搭接~~<br>螺紋式續接 | 套管式續接<br>螺紋式續接 |
| 材料 | 中 | 低 | 高 |
| 人力 | 多 | 中 | 少 |
| 工期 | 慢 | 中 | 快 |

YunTech 國立雲林科技大學 National Yunlin University of Science & Technology

***TOTAL COST DOWN !! 總成本降低***

5

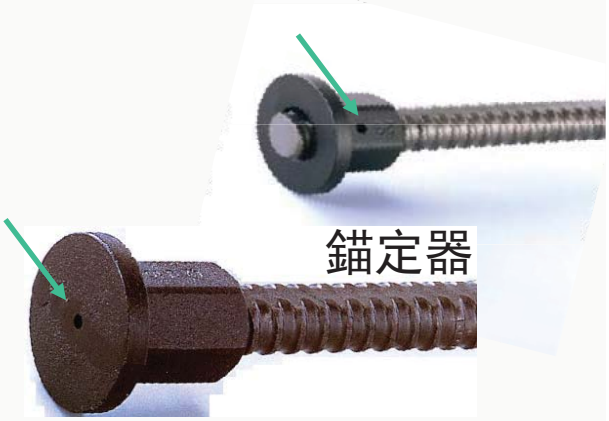
# 機械式續接-鋼筋本身具有螺紋節

TTK

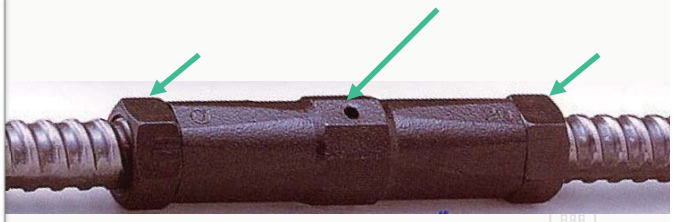
續接簡易 快速 降低施工成本!

- ✓ 熱軋成型
- ✓ 不須再加工螺紋
- ✓ 任何切點皆可接續、錨定
- ✓ 可對應各種施工型式, 施工簡易





錨定器



ACE JOINT

螺紋鋼筋砂漿填充續接器

YunTech 國立雲林科技大學 National Yunlin University of Science & Technology

6

# 預組工法-柱範例

(東京鉄鋼提供)

Prefabricated steel cages

(on- or off-site)

- 在建築現場或是工廠內先將鋼筋籠組合
- 以機具協助組立、節省施工時間
- 現場組模、支撐、澆置混凝土







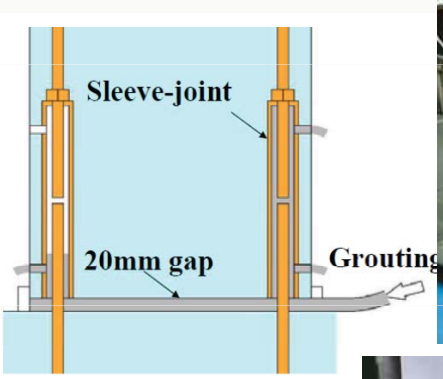





# TOPS JOINT 在預鑄柱之應用












SHIMIZU CORPORATION

SHIMZ

YunTech 國立雲林科技大學

2015/3/25 National Yunlin University of Science & Technology

8

# 鋼筋規格及續接器、錨定頭規範

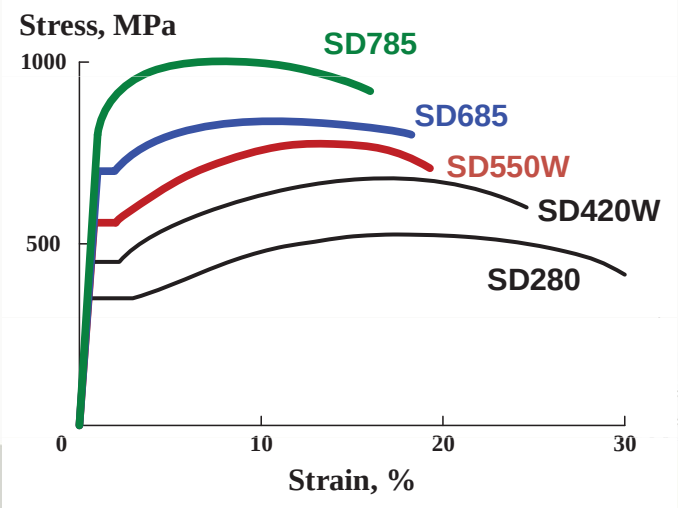
| | Grade | #6 D19 | #7 D22 | #8 D25 | #9 D29 | #10 D32 | #11 D36 | #12 D39 | #14 D43 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 社團法人 台灣混凝土學會 Taiwan Concrete Institute<br>鋼筋混凝土用鋼筋<br>Steel bars for Concrete Reinforcement<br>—SD550W、SD685、SD785 | 685 | | | | | | | | |
| 高強度鋼筋續接器續接性能規範<br>Guidelines for Performance Evaluation of Mechanical Splices for High-Strength Steel Reinforcing Bars<br>錨定頭規範<br>for Concrete Reinforcement | 550 | | | | | | | | |
| CNS 560<br>鋼筋混凝土用鋼筋<br>Steel bars for concrete reinforcement | 490 | | | | | | | | |
| 混凝土工程設計規範與解說<br>土木401-86 &<br>附錄乙 | 420 | | | | | | | | |
| 鋼筋續接器續接規範<br>工作小組工作報告<br>(CSSE 96-01) | | | | | | | | | |



# 簡報大綱

一. 規範背景與目的

二. 高強度鋼筋之規格



# 鋼筋種類與符號

## 表1　鋼筋種類及符號

| 符號 | 外型及稱號 | 備考 |
|---|---|---|
| SD 550W | 竹節或螺紋節<br>(稱號D10至D57) | 1. 增進銲接性<br>2. 耐震結構用 |
| SD 685 | 竹節 (稱號D10至D16)<br>螺紋節 (稱號D19至D57) | 耐震結構用 |
| SD 785 | 竹節 (稱號D10至D16) | – |

11

表 11　鋼筋之機械性質

| 符號 | 機械性質 | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 降伏點或降伏強度 (3) N/mm² | 抗拉強度 N/mm² | 實際抗拉強度 / 實際降伏強度 | 達降伏強度上限之應變 (4) | 試片 | | 伸長率 % | 彎曲角度 | 彎曲直徑 |
| SD 550W | 550~675 | 690 以上 | 1.25 以上 | 0.014 以上 | 2 號 14A 號 | | 12 以上 | 90° | 標稱直徑之 4 倍 |
| SD 685 | 685~785 | 860 以上 | 1.25 以上 | 0.014 以上 | 2 號 14A 號 | | 10 以上 | 90° | 標稱直徑之 4 倍 |
| SD 785 | 785 以上 | 930 以上 | – | – | 母材 | 2 號 14A 號 | 8 以上 | 180° | 標稱直徑之 3 倍 |
| | | | | | 銲接處 (5) | 2 號 14A 號 | 5 以上 | – | – |

註(3) 參考 CNS 2111，降伏點不明顯時以 0.2 %橫距法測定。

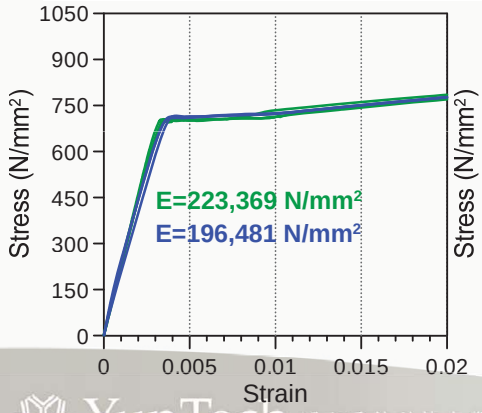
註(4) 參考 CNS 2111 及 2112，拉伸試驗時，以位移計求出伸長量除以標點距離，可求得軸向平均應變。SD 550W 鋼筋應力達 675 N/mm² 時，SD 685 鋼筋應力達 785 N/mm² 時，其對應之軸向應變值均不得少於 0.014。限定此變形範圍內鋼筋應力不超過降伏強度上限，以符合結構設計者所期待的耐震結構整體降伏機制。

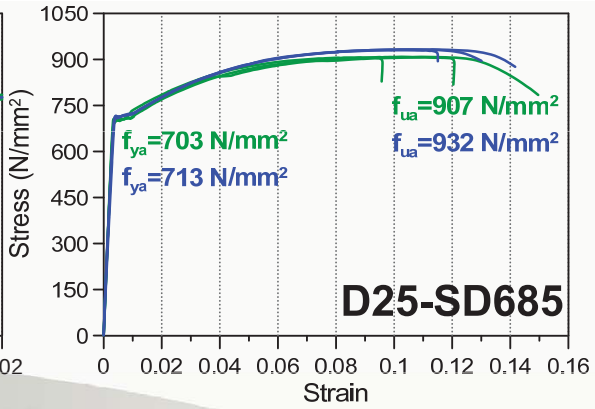
註(5) 鋼筋 SD 785 直線對銲處於施工及試驗時均不得彎曲。

備考：表 11 之鋼筋伸長率規定值適用於稱號 D32 以下，若稱號為 D36 時，則依表 11 之規定值減 1%，D39 時則依表 11 之規定值減 2%，D43 以上時依表 11 之規定值減 3%。

# SD685-D25母材鋼筋拉伸試驗

| Grade, Size | Yield Strength ($N/mm^2$) | Tensile Strength ($N/mm^2$) | Elongation (%) | TS/YS | 達降伏強度上限之應變 |
|---|---|---|---|---|---|
| Criteria | 685~785 | ≧860 | ≧10 | ≧1.25 | ≧0.014 |
| SD685,D25 | 703 | 907 | 16 | 1.29 | 0.022 |
| SD685,D25 (Retest) | 713 | 932 | 15 | 1.31 | 0.0216 |







Tensile tests

YunTech 國立雲林科技大學 National Yunlin University of Science & Technology

13

Taiwan Concrete Institute

# SD785竹節鋼筋(無銲接點)拉伸試驗(2013. 11. 8)

| 稱號 | 編號 | 降伏強度 ($N/mm^2$) | 抗拉強度 ($N/mm^2$) | 伸長率 | E ($N/mm^2$) |
|---|---|---|---|---|---|
| 規範值 | | ≧785 | ≧930 | ≧0.08 | — |
| D10 | 1 | 858 | 1040 | 0.13 | 191,165 |
| | 2 | 858 | 1044 | 0.14 | 190,408 |
| | 3 | 878 | 1045 | 0.14 | 195,685 |
| | AVG | 865 | — | 0.14 | 192,419 |
| D13 | 1 | 882 | 1097 | 0.13 | 200,585 |
| | 2 | 895 | 1120 | 0.13 | 200,473 |
| | 3 | 880 | 1068 | 0.11 | 199,082 |
| | AVG | 886 | — | 0.12 | 200,047 |
| D16 | 1 | 827 | 1013 | 0.12 | 199,119 |
| | 2 | 841 | 1025 | 0.13 | 196,545 |
| | 3 | 840 | 1021 | 0.13 | 198,555 |
| | AVG | 836 | — | 0.13 | 198,073 |

1

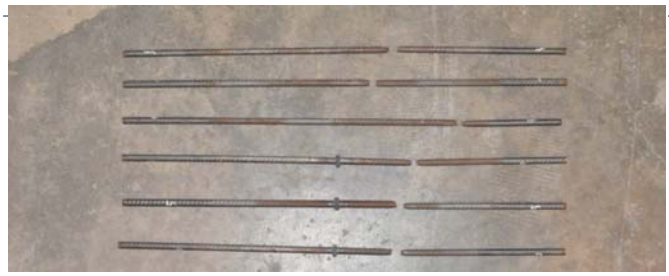
# SD785竹節鋼筋(具銲接點)拉伸試驗(2013. 11. 8)

| 稱號 | 編號 | 降伏強度 ($N/mm^2$) | 抗拉強度 ($N/mm^2$) | 伸長率 | E ($N/mm^2$) |
|---|---|---|---|---|---|
| 規範值 | | ≧785 | ≧930 | ≧0.05 | — |
| D10 | 4(P) | 875 | 1052 | 0.13 | 200,720 |
| | 5(P) | 871 | 1056 | 0.14 | 178,144 |
| | 6(P) | 859 | 1043 | 0.14 | 191,569 |
| | AVG | 868 | — | 0.14 | 190,144 |
| D13 | 4(P) | 872 | 1127 | 0.09 | 195,037 |
| | 5(P) | 872 | 1095 | 0.11 | 179,382 |
| | 6(P) | 859 | 1091 | 0.13 | 196,322 |
| | AVG | 868 | — | 0.11 | 190,247 |
| D16 | 4(P) | 805 | 1020 | 0.12 | 160,148 |
| | 5(P) | 830 | 1029 | 0.15 | 190,864 |
| | 6(P) | 820 | 1017 | 0.12 | 187,761 |
| | AVG | 818 | — | 0.13 | 179,591 |

1

# SD785竹節鋼筋拉伸試驗(2013. 11. 8)

SD785(D10)



SD785(D13)



SD785(D16)



1

# 簡報大綱

一. 規範背景與目的

二. 高強度鋼筋之規格

三. **高強度鋼筋續接器續接性能規範**

四. 鋼筋錨定頭規範

五. 結語



# 工地組立試體

- 預鑄或鋼筋預組工法之工地組立試體應採用同批材料依相同程序於工地現場同時組立試體。




ACE JOINT 試體
(水平 or 直立式注射)



TOPS JOINT 試體
(直立式壓力灌漿)

# TOPS JOINT 續接套管之壓力灌漿






# 續接器性能分級與使用條件

| TCI | | | | | ACI |
|---|---|---|---|---|---|
| 續接性能 | 強度 | 變形能力 | 伸長率韌性 | 鋼筋可能降伏區 | 分類 |
| SA級 | ○ | ○ | ○ | 無條件使用 | 第二類 |
| SA級 | ○ | ○ | *構件試驗* | 有條件使用 | 第二類 |
| B級 | ○ | | | 禁止 | 第一類 |

○ 表示性能與母材鋼筋相近

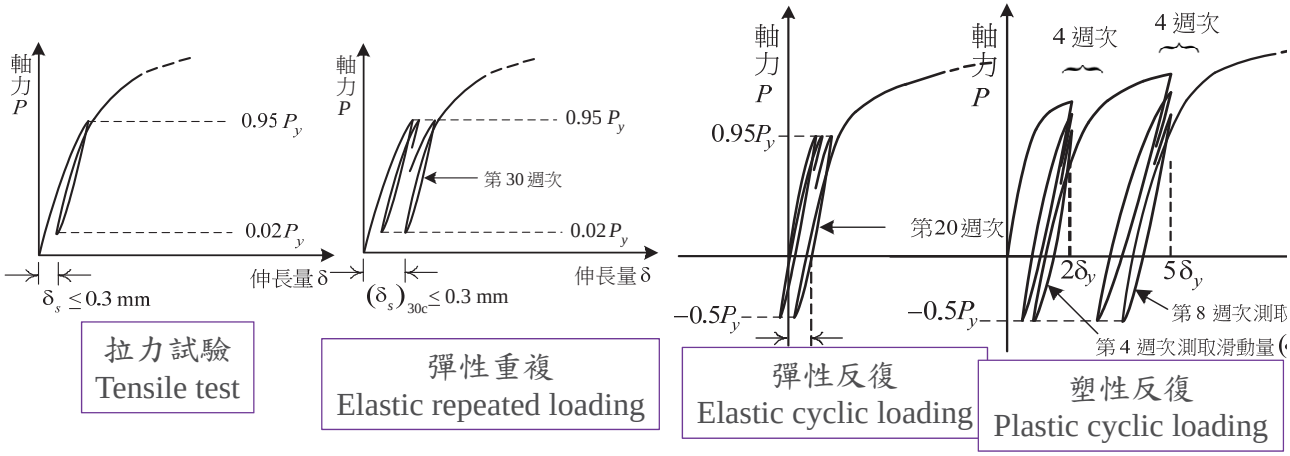
Type 1: 抗拉強度 $\geqq 1.25 f_y$
Type 2: 抗拉強度 $\geqq 1.25 f_y$ & $f_u$

雖然美國、日本以及我國相關規範，皆准許第二類機械式續接可以使用於構材可能的降伏區，但前提是續接器施工品質要受到有效的監督和查驗。

本規範參考日本規範訂定SA級續接允許使用於任何位置，並沒有錯置之規定。B級續接則不允許使用於鋼筋可能降伏區域。

# 2.2 鋼筋續接器續接性能試驗項目

| 續接器接合試體 | | | | | 母材鋼筋 |
|---|---|---|---|---|---|
| 續接性能 | 拉力試驗 | 彈性重複載重試驗 | 彈性反復載重試驗 | 塑性反復載重試驗 | 拉力試驗 |
| SA級 | ○ | | ○ | ○ | ○ |
| B級 | ○ | ○ | | | ○ |




拉力試驗 Tensile test

彈性重複 Elastic repeated loading

彈性反復 Elastic cyclic loading

塑性反復 Plastic cyclic loading

# 2.5 強度、滑動量和伸長率之合格基準

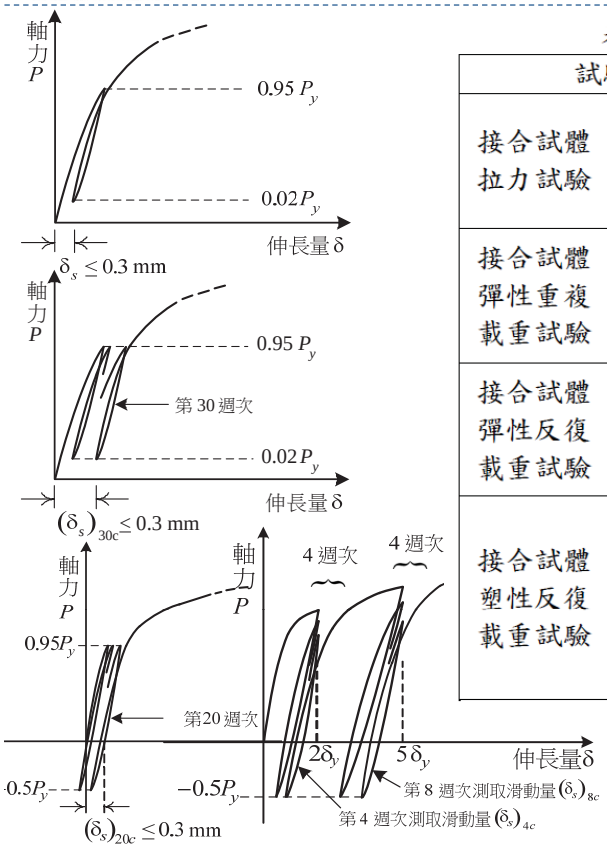



表 2.5.1 鋼筋續接器續接性能合格基準

| 試驗項目 | | SA 級 | B 級 |
|---|---|---|---|
| 接合試體拉力試驗 | 抗拉強度 $f_{uc}$ | $\ge 1.25 f_y$ 且 $\ge f_u$ | $\ge 1.25 f_y$ 且 $\ge f_u$ |
| | 滑動量 $\delta_s$ | $\le 0.3$ mm | $\le 0.3$ mm |
| | 伸長率 $\varepsilon_{uc}$ | $\ge 0.06$ | $\ge 0.02$ |
| 接合試體彈性重複載重試驗 | 抗拉強度 $f_{uc}$ | --- | $\ge 1.25 f_y$ 且 $\ge f_u$ |
| | 滑動量 $(\delta_s)_{30c}$ | | $\le 0.3$ mm |
| | 伸長率 $\varepsilon_{uc}$ | | $\ge 0.02$ |
| 接合試體彈性反復載重試驗 | 抗拉強度 $f_{uc}$ | $\ge 1.25 f_y$ 且 $\ge f_u$ | --- |
| | 滑動量 $(\delta_s)_{20c}$ | $\le 0.3$ mm | |
| | 伸長率 $\varepsilon_{uc}$ | $\ge 0.06$ | |
| 接合試體塑性反復載重試驗 | 抗拉強度 $f_{uc}$ | $\ge 1.25 f_y$ 且 $\ge f_u$ | --- |
| | 滑動量 $(\delta_s)_{4c}$ | $\le 0.3$ mm | |
| | 滑動量 $(\delta_s)_{8c}$ | $\le 0.9$ mm | |
| | 伸長率 $\varepsilon_{uc}$ | $\ge 0.06$ | |





ACE JOINT 試驗前後





EPOCH JOINT 試驗前後







TOPS JOINT試驗前後





TOPS JOINT（Retest）試驗前後

# SD685鋼筋續接器性能測試結果(2013~2014)

| Grade | Couplers and Sleeves | Nov | Dec | Jan | Feb | Mar | Apr | 判定 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| SD685 D25 | ACE JOINT  | ● | | | | | | SA |
| | EPOCH JOINT  | ● | | | | | | SA |
| | TOPS JOINT  | X | ● | | | | | A~SA |

強度及滑動量符合SA級規定
且經構件試驗證明其韌性符合耐震性能要求，亦可視為SA級續接器，或稱之為「有條件的SA級」，仍可考慮使用於塑鉸區。



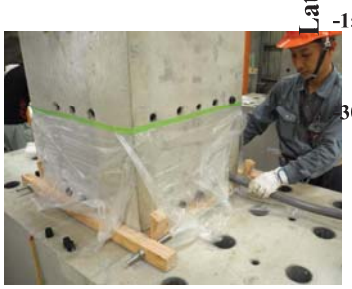
Taiwan Concrete Institute

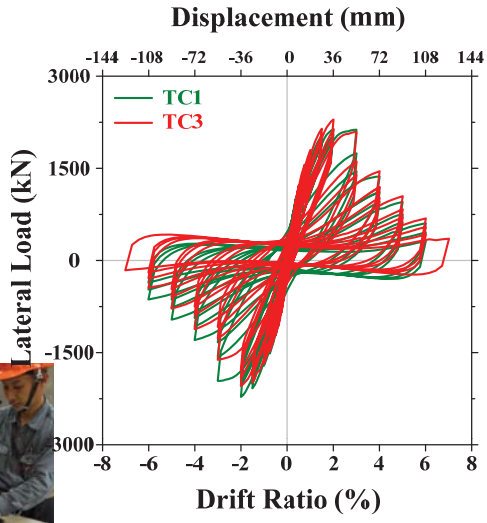
## 或經構件試驗證明其韌性符合要求

- 鋼筋續接器接合試體之強度及滑動量符合表2.5.1中SA級規定且經構件試驗證明其韌性符合耐震性能要求，亦可視為SA級續接器。










(台科大歐昱辰教授提供)

# 彈性模數

| 續接器 | | $E_{sa}$ | $E_j$ | $E_j/E_{sa}$ |
|---|---|---|---|---|
| ACE JOINT |  | 226,076 | 216,844 | 0.96 |
| EPOCH JOINT |  | 226,076 | 224,174 | 0.99 |
| TOPS JOINT |  | 226,076 | 284,505 | 1.26 |
| TOPS JOINT | | 212,084 | 297,543 | 1.40 |







7

# 簡報大綱

一. 規範背景與目的

二. 高強度鋼筋之規格

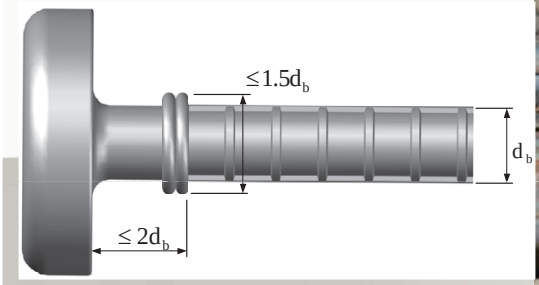
三. 高強度鋼筋續接器續接性能規範

**四. 鋼筋錨定頭規範**

五. 結語

# 鋼筋錨定頭材料和製造

- 錨定頭與母材鋼筋之續接：摩擦銲接之母材鋼筋須符合CNS 560 標準之SD280W 或SD420W鋼筋，其它鋼筋不宜銲接，除非供應商經買方同意能提出相關試驗證明鋼筋銲接後性能符合要求
- 錨定頭之淨承壓面積不得少於鋼筋標稱剖面積之4 倍。錨定頭之淨承壓面積應由垂直鋼筋軸向之投影面積構成，鋼筋因摩擦銲接造成之表面隆起之障礙投影面積，應予以扣除。鋼筋表面之節因摩擦銲接而隆起之不平整範圍，距離承壓面不得超過2 倍鋼筋標稱直徑，直徑亦不得大於1.5 倍鋼筋直徑。



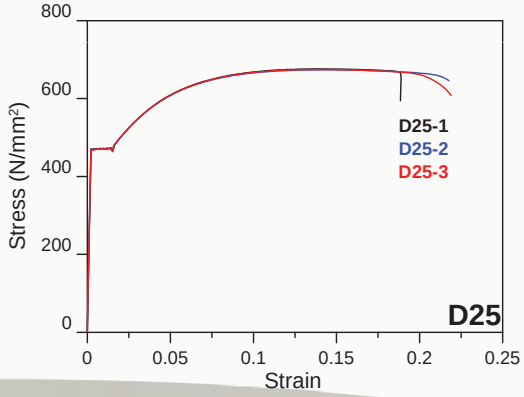



29

# 具錨定頭鋼筋之檢驗(1/2)

■ 拉伸試驗

- 每滿[300][　]個取樣[1個]，但各號數錨定頭鋼筋至少取樣[3個][　]
- 其抗拉強度至少應達到鋼筋規定降伏強度下限值之1.25倍或鋼筋抗拉強度規定值。
- 伸長率應達到母材鋼筋伸長率規定值以上。






# 具錨定頭鋼筋之檢驗(2/2)

- 滑動量試驗
  - 以螺紋接合之錨定頭鋼筋於執行拉伸試驗時應同時量測接合部之殘留滑動量
  - 無滑動量疑慮之銲接或鍛造的錨定頭得省略滑動量試驗







# 簡報大綱

一. 規範背景與目的

二. 高強度鋼筋之規格

三. 高強度鋼筋續接器續接性能規範

四. 鋼筋錨定頭規範

**五. 結語**

# 高強度鋼筋混凝土構架接頭之耐震設計建議

李宏仁

Associate Professor at YunTech, Taiwan
Member of Joint ASCE-ACI Committee 352, Joints and Connections in Monolithic Concrete Structures & Task Group for High-strength materials in beam-column connections

**Acknowledgements**

國科會補助
台灣新型高強度鋼筋混凝土結構研發
子計畫：梁柱接頭耐震性能研究及資料庫建構

## 第六章 梁柱接頭相關規定 (v1)

6.1 剪力強度

剪力需求　$V_j$

剪力強度　$V_n$

6.2 接頭箍筋

柱塑鉸區橫向鋼筋 $A_{sh}$

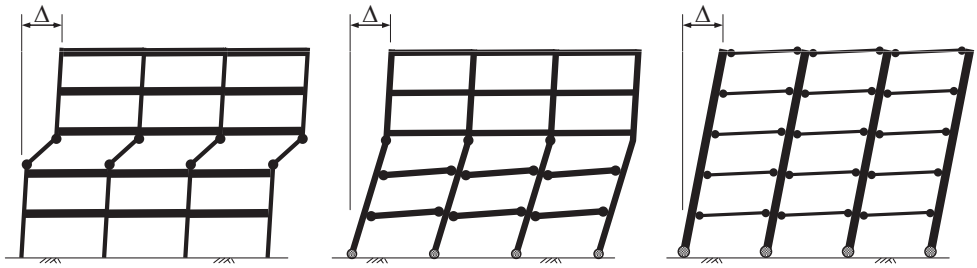
兩對面受梁圍束可以減半

6.3 接頭鋼筋伸展及錨定

梁主筋貫穿梁柱接頭之最小柱深

梁主筋終止於接頭內之錨定長度

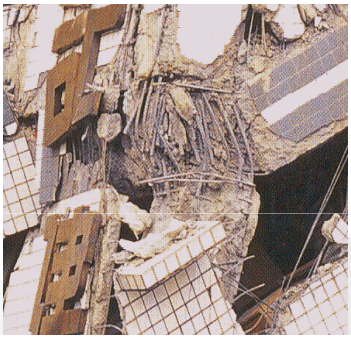
# Frame Mechanisms
# "strong column – weak beam"




(a) Story Mechanism (b) Intermediate Mechanism (c) Beam Mechanism



- Avoid story mechanism
- Avoid joint failure

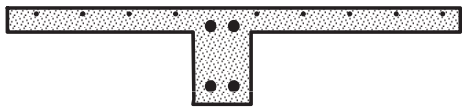


Inadequate confinement

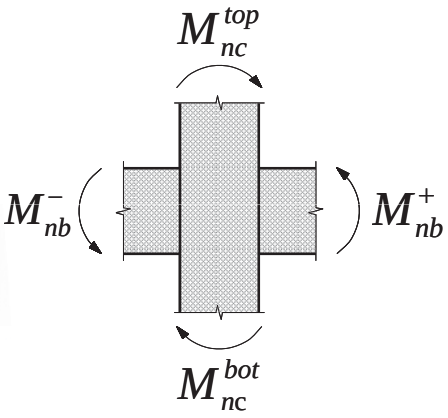
YunTech 國立雲林科技大學 National Yunlin University of Science & Technology

# Required Column Moment Strength

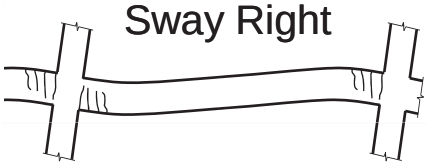
$$M_{nc}^{top} + M_{nc}^{bot} \geq \frac{6}{5}\left(M_{nb}^{+} + M_{nb}^{-}\right)$$

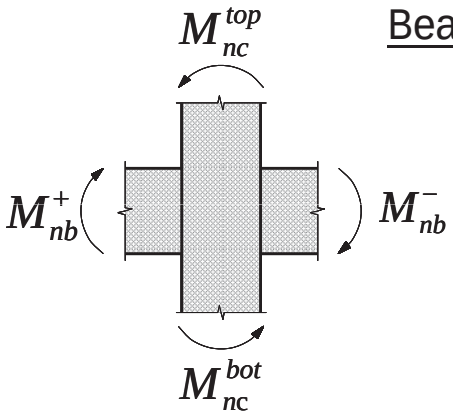


Beam Section

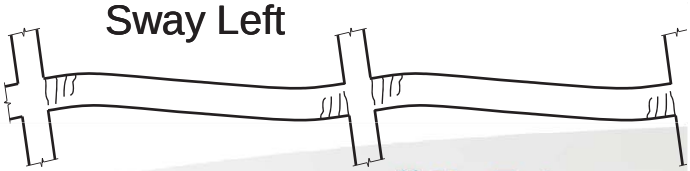



Sway Right





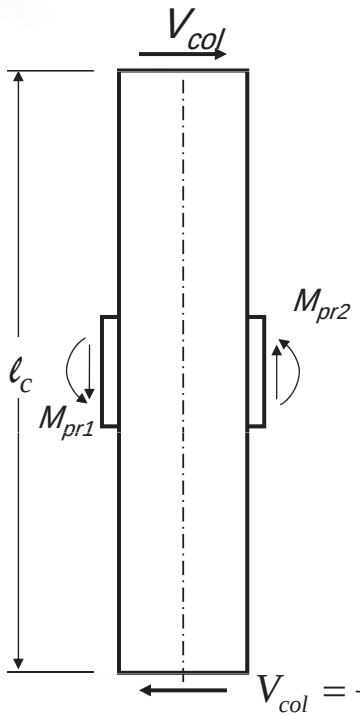

Sway Left

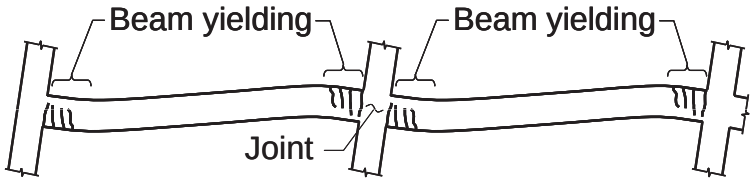


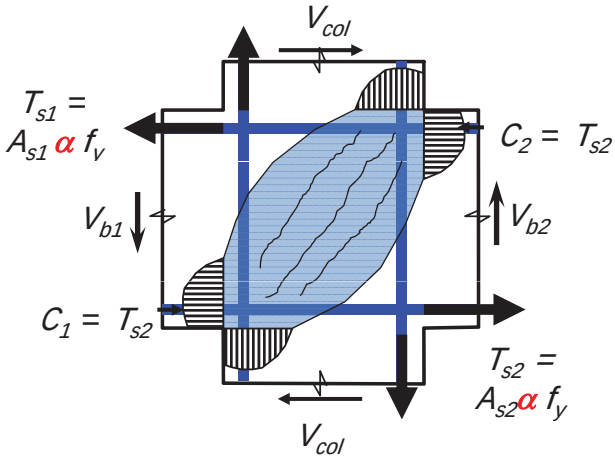
YunTech 國立雲林科技大學 National Yunlin University of Science & Technology

Figures courtesy of Jack P. Moehle

# 6.1.1 接頭剪力需求 $V_j$



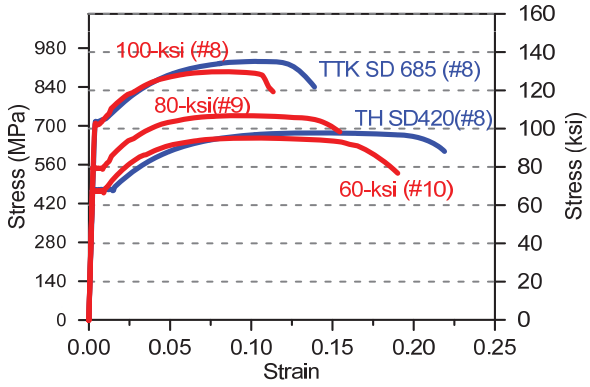

$$V_j = \left(A^-_{s1} + A^+_{s2}\right)\cdot\alpha\, f_y - V_{col}$$

YunTech 國立雲林科技大學 National Yunlin University of Science & Technology

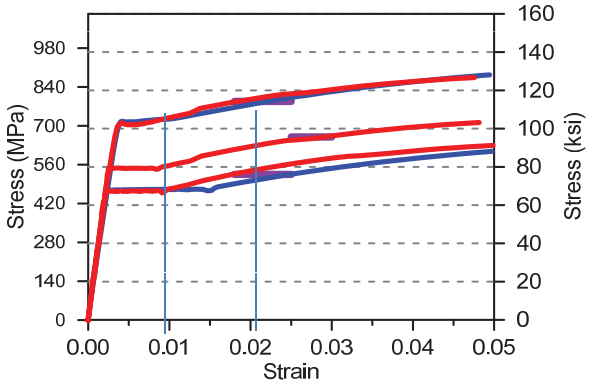
# Over-strength factor for bar $f_y$

表6.1 鋼筋超額強度係數

| 鋼筋強度等級 | SD490以下 | SD550 | SD685 |
|---|---|---|---|
| 超額強度係數 | $\alpha$ = 1.25 | $\alpha$ = 1.20 | $\alpha$ = 1.15 |

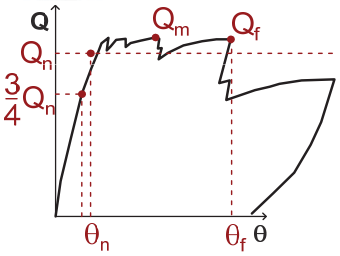


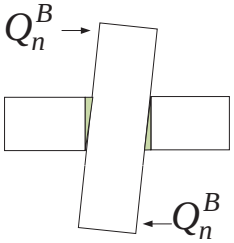

60, 80, 100 ksi 等級熱軋加釩鋼筋
應力應變曲線比較

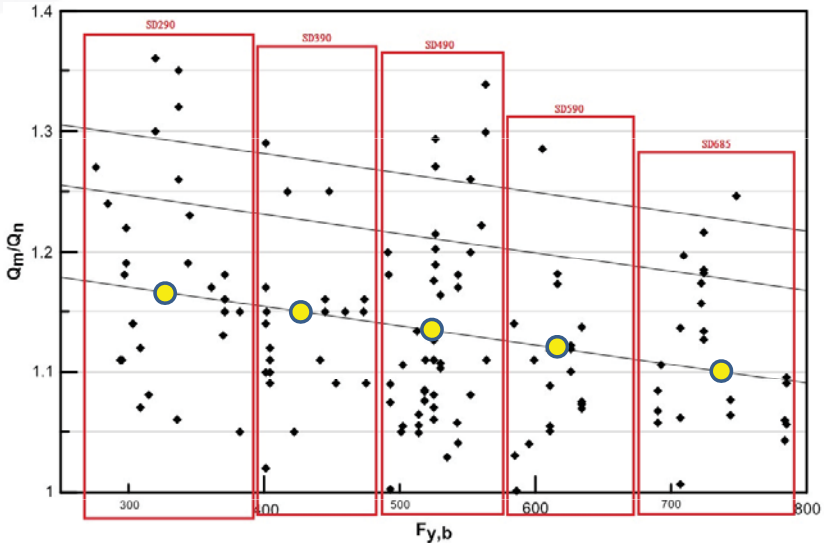



1%開始應變硬化，至5%應變斜率幾乎一樣
增加約 24 ksi (165 MPa) 至5% strain
增加約 30 ksi (210 Mpa) 至極限強度

# Database investigation



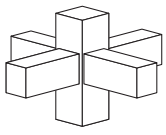

| | SD290 | SD390 | SD490 | SD590 | SD685 |
|---|---|---|---|---|---|
| fy,measured average | 331.31 | 427.43 | 529.17 | 617.94 | 731.16 |
| 材料超強因子 $\alpha_{mat}$ | 1.14 | 1.10 | 1.08 | 1.05 | 1.07 |
| 硬固超強因子 $\alpha_{har}$ | 1.17 | 1.15 | 1.13 | 1.12 | 1.10 |
| 材料*硬固超強因子 $\alpha_{o}$ | 1.33 | 1.26 | 1.22 | 1.17 | 1.18 |

# 6.1.2 接頭剪力設計強度 $\phi V_n$

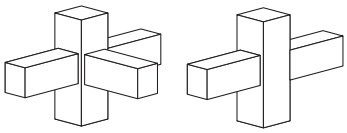
$$V_j \le \phi V_n$$

## 表6.2 接頭剪力計算強度$V_n$

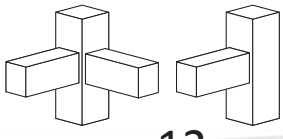
| 接頭配置 | $V_n$ for $f_c'$ in psi | $V_n$ for $f_c'$ in MPa | $V_n$ for $f_c'$ in $kgf/cm^2$ |
|---|---|---|---|
| 接頭四面皆受梁圍束 | $20\sqrt{f_c'}A_j$ | $1.67\sqrt{f_c'}A_j$ | $5.3\sqrt{f_c'}A_j$ |
| 接頭三面或一雙對面受梁圍束 | $15\sqrt{f_c'}A_j$ | $1.25\sqrt{f_c'}A_j$ | $3.9\sqrt{f_c'}A_j$ |
| 其他 | $12\sqrt{f_c'}A_j$ | $1.00\sqrt{f_c'}A_j$ | $3.2\sqrt{f_c'}A_j$ |



γ = 20

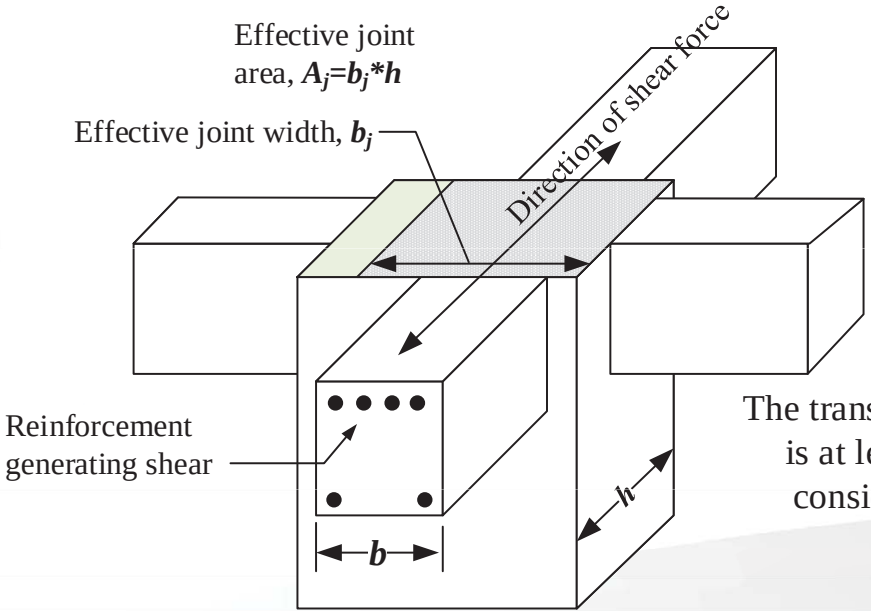


γ = 15



γ = 12

- 若產生剪力方向之梁構材構入接頭面，該梁寬度不小於 3/4接頭有效寬度者，則該接頭面視為受圍束作用。
- 若橫方向構入接頭側面之梁寬度不小於3/4柱寬*，則該接頭面視為受圍束作用。
- 若梁貫穿接頭並延伸超過接頭面不少於一倍梁深時，亦可視該梁之延伸段具有圍束作用。



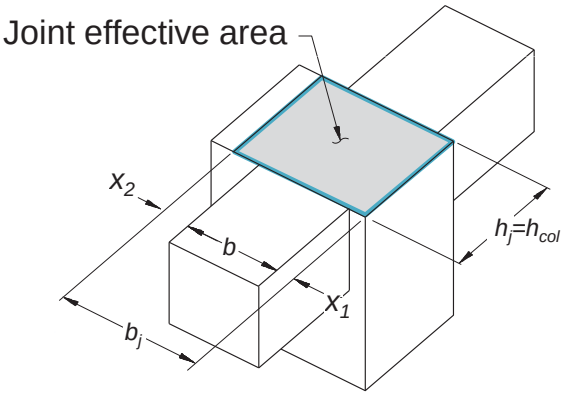

*研究中，可能調降

YunTech 國立雲林科技大學 National Yunlin University of Science & Technology

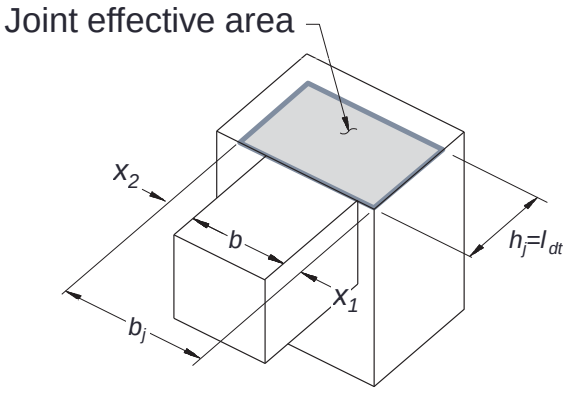
# Effective Joint Area $A_j = b_j \cdot h_j$

$$b_j = b_{beam} + x_1 + x_2 \leq b_{col}$$

其中$x_1$及$x_2$分別為梁兩邊至柱邊之距離(圖6.3)，代入上式計算時，$x_1$或$x_2$值不得超過$h_{col}/4$。[黃世建等人(2014)]



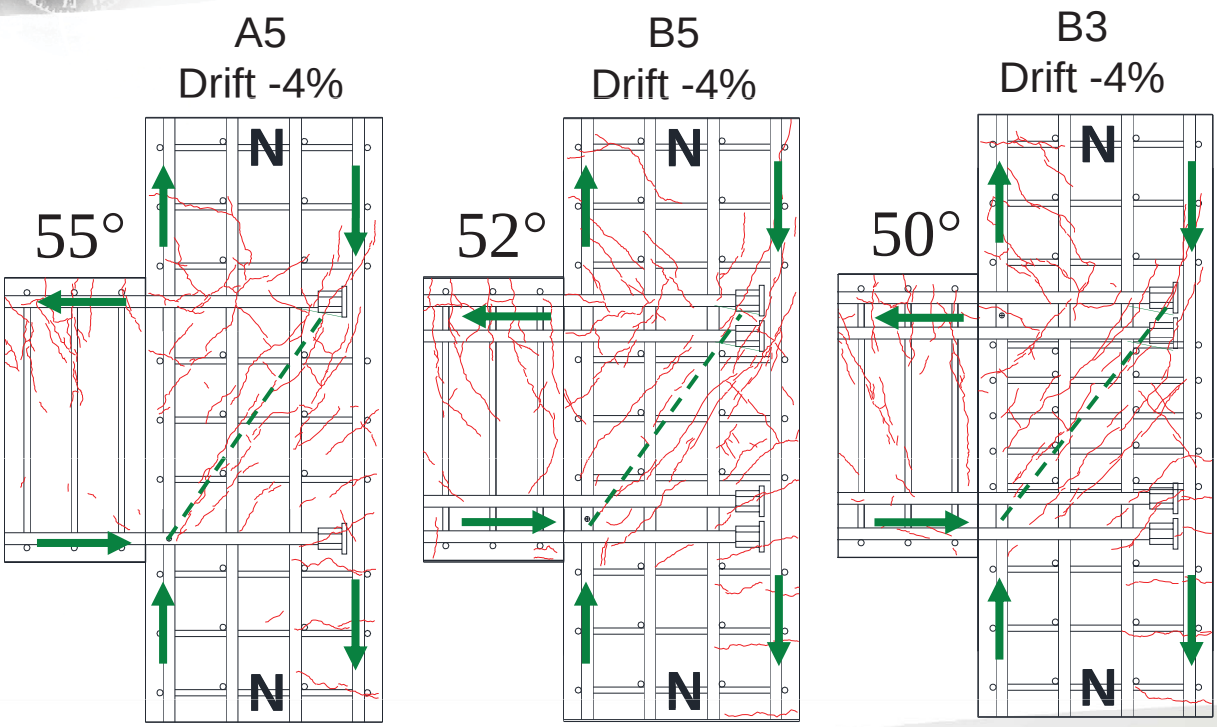

(a)梁主筋貫穿梁柱接頭, $h_j=h_{col}$




(b)梁主筋錨定於接頭內, $h_j=l_{dt}$

YunTech 國立雲林科技大學 National Yunlin University of Science & Technology

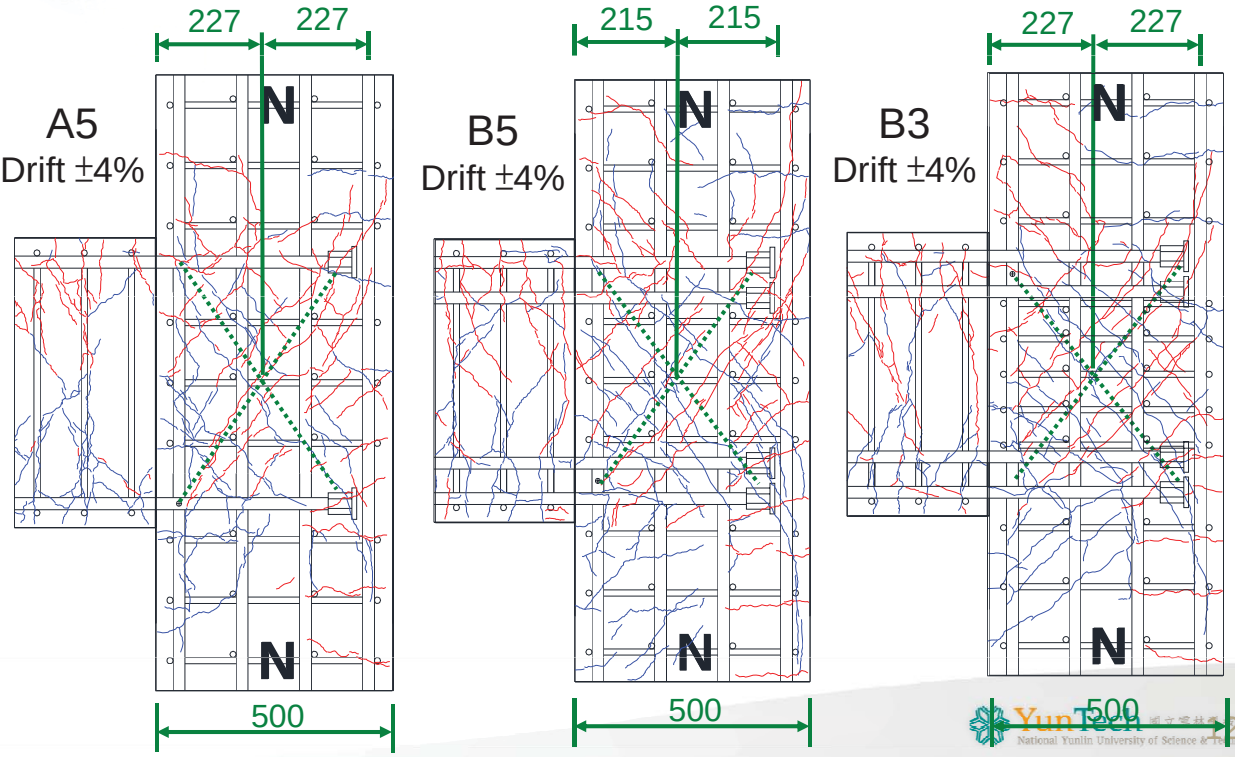
# 接頭剪力裂縫(1/2)





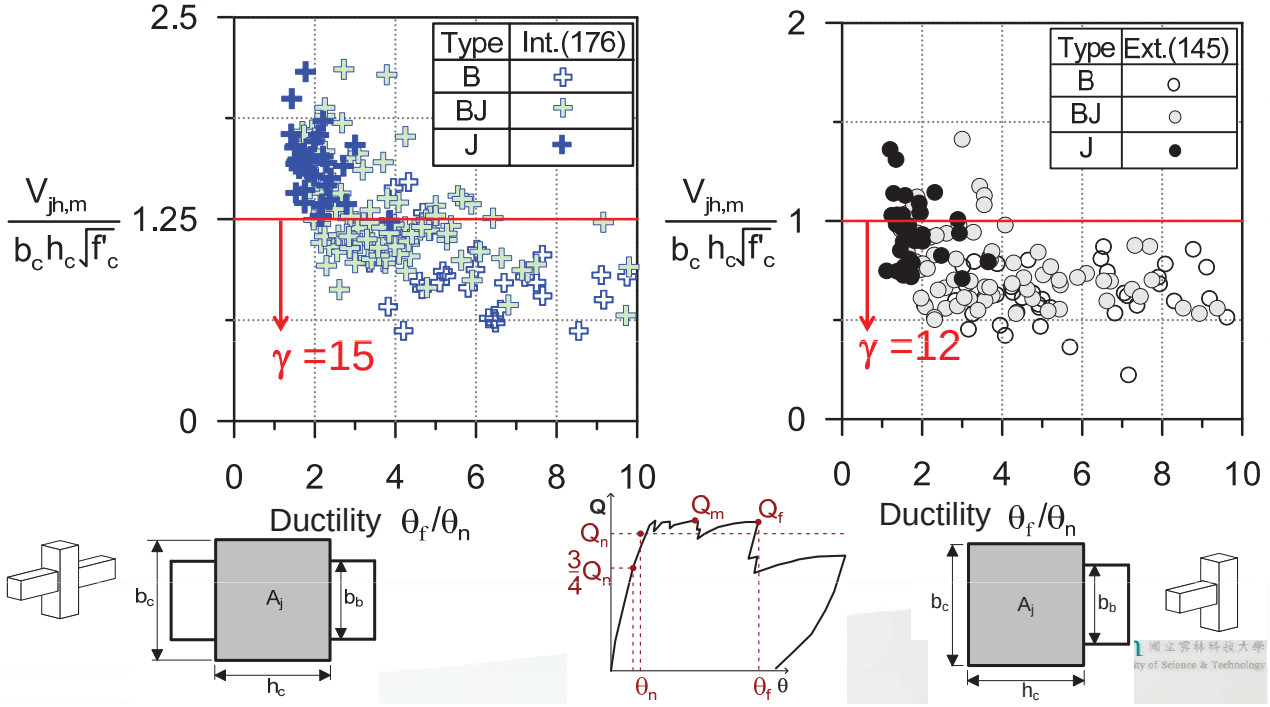

# 接頭剪力裂縫(2/2)

$L_{dt} = 16.3 d_b = 415$ mm



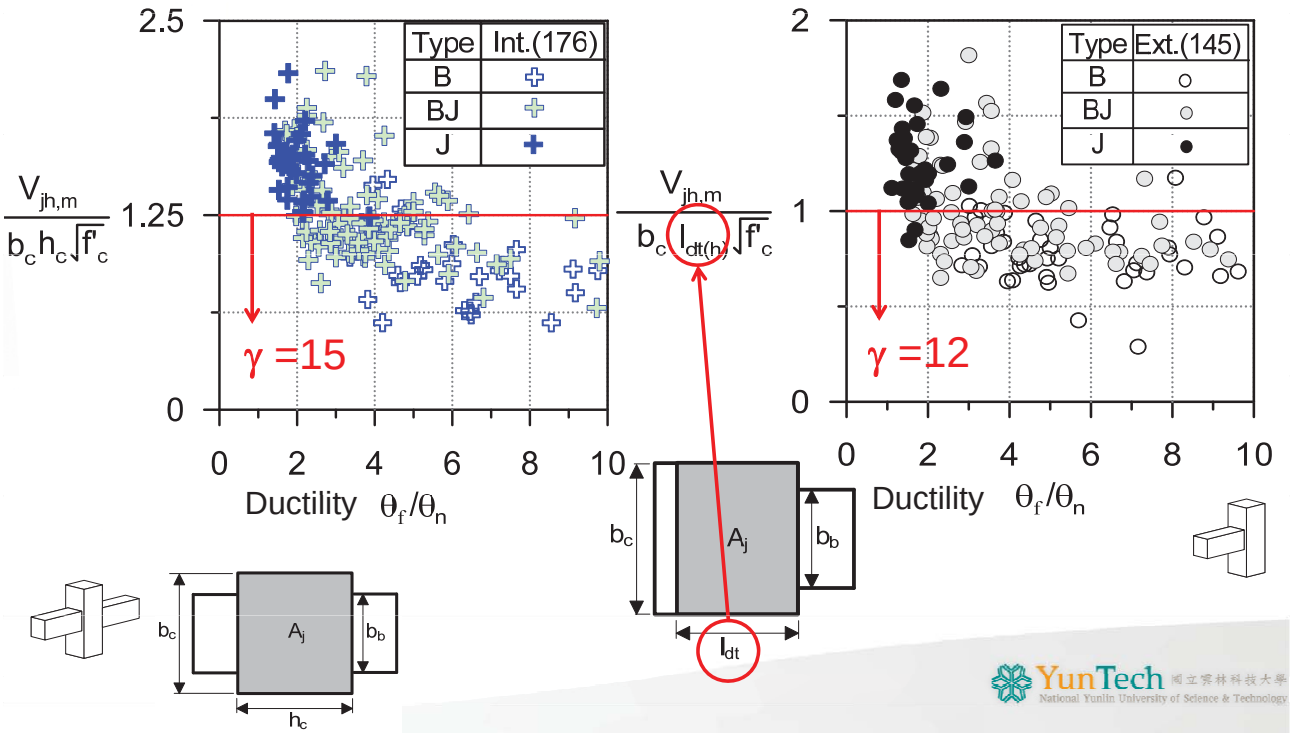
# Joint Shear Strength-Ductility Trends

- Experimental joint shear force, normalized to effective joint area and $\sqrt{f'_c}$ in MPa
- There is no J failures below the γ-value of 15 for interior joints, but quite a few below the γ-value of 12 for exterior joints. (To be evaluated later)

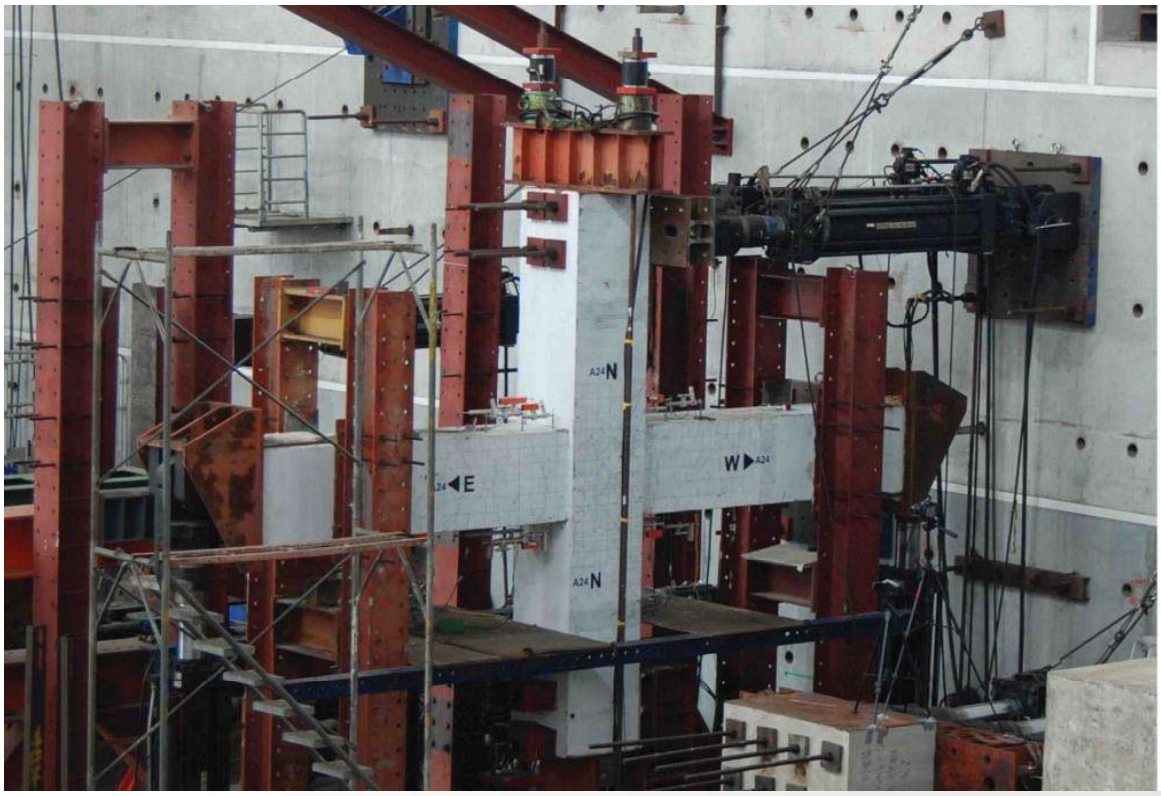


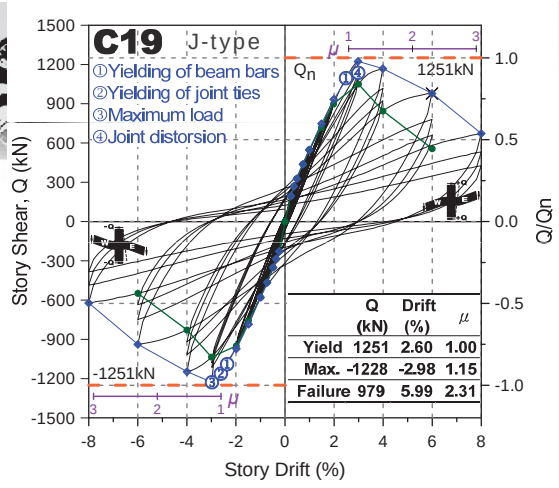

# Change of Effective Joint Depth

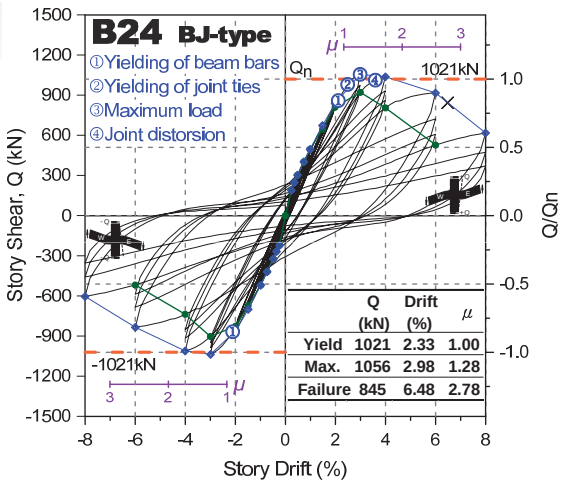
- Obviously improved, but…

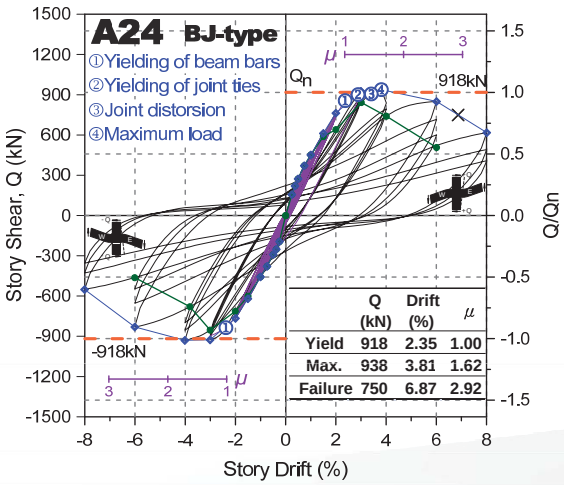


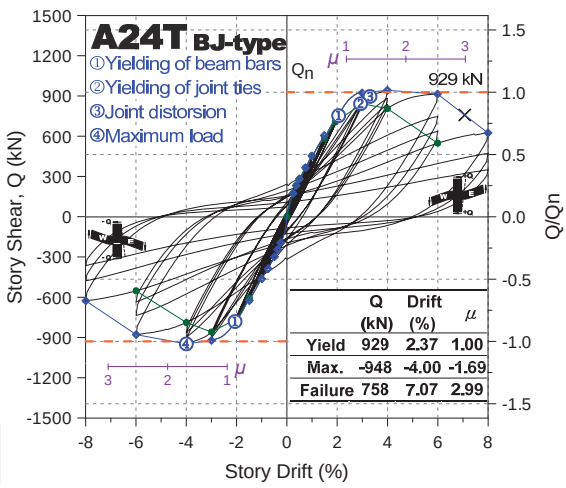
# Seismic Testing for Interior Beam-Column Joints



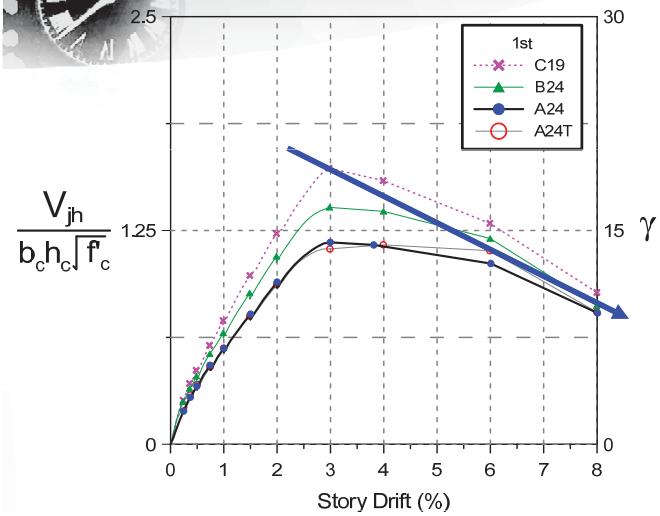


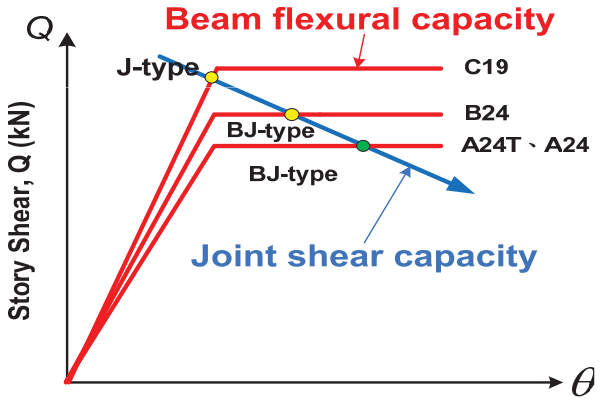



# 結論與建議




- 接頭剪力強度之衰減曲線是可以預測的

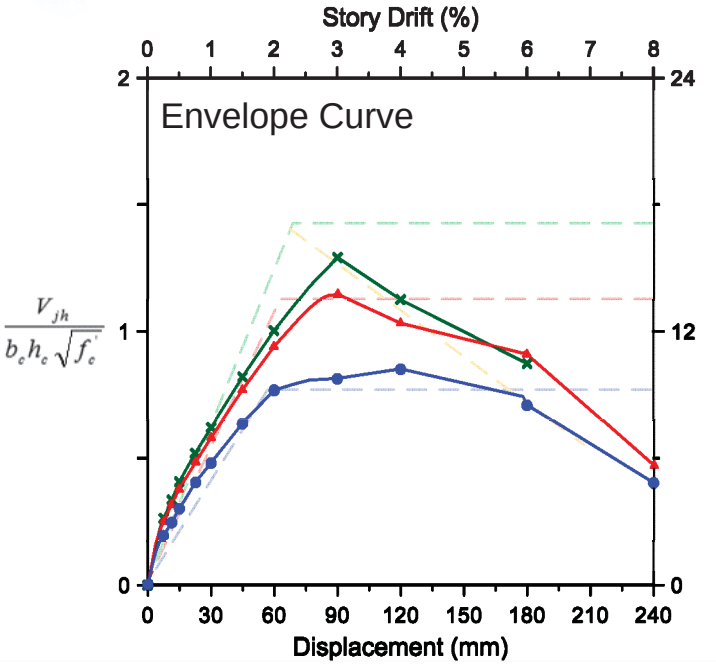
測試結果顯示現行ACI規範之構架接頭剪力計算強度公式沿用至高強度鋼筋混凝土構架接頭仍可以控制梁在2%層間變位產生塑鉸而接頭破壞在4%-6%層間變位

YunTech 國立雲林科技大學 National Yunlin University of Science & Technology

# Seismic Testing for Exterior Beam-Column Joints



# Discussion of γ value




$\gamma$ =17.38

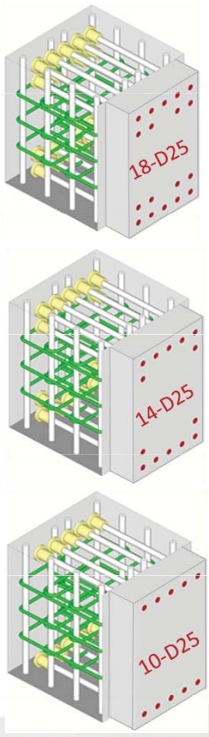
$\overline{A_{sh,ratio}}$ = 1.00

$\gamma$ =13.39

$\overline{A_{sh,ratio}}$ = 1.00

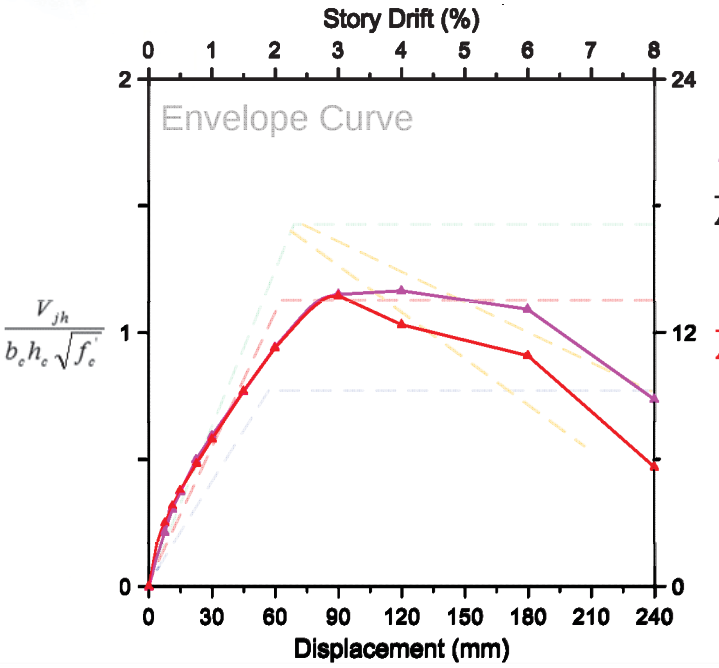
$\gamma$ =9.45

$\overline{A_{sh,ratio}}$ = 1.00






# Discussion of γ value

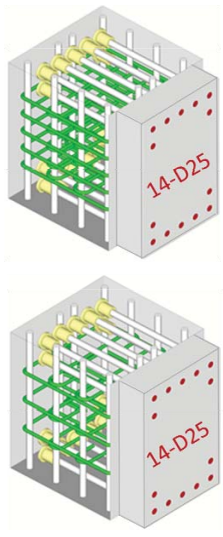



$\gamma$ =13.39

$\overline{A_{sh,ratio}}$ = 1.67

$\gamma$ =13.39

$\overline{A_{sh,ratio}}$ = 1.00

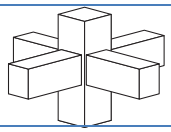
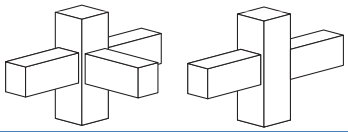
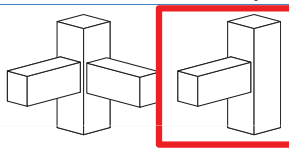


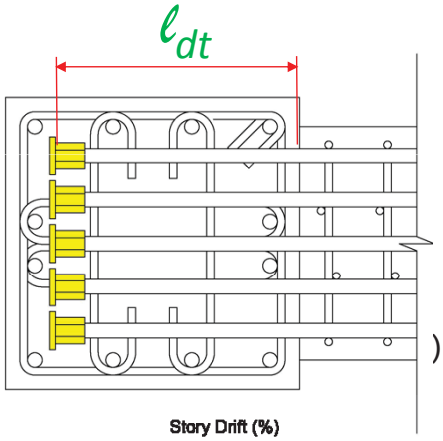
# Concluding remarks - effective joint depth

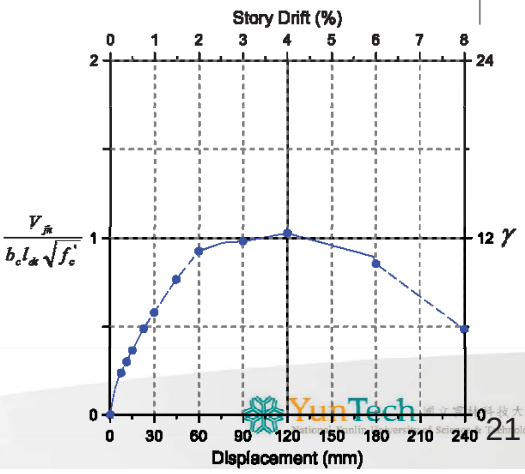
$$V_n = \gamma\sqrt{f_c'}\,b_j h_j \quad (f_c' \text{ in psi}) \text{ or}$$

$$V_n = \frac{\gamma}{12}\sqrt{f_c'}\,b_j h_j \quad (f_c' \text{ in MPa})$$

γ-values for special frame joints

| | |
|---|---|
|  | γ = 20 |
|  | γ = 15 |
|  | γ = 12 |

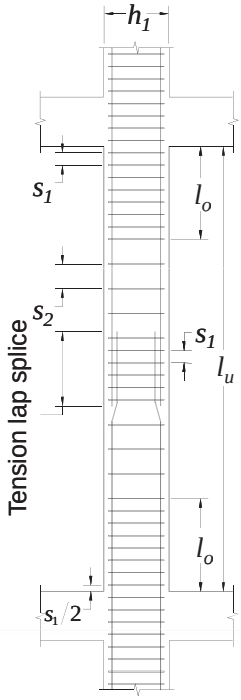





# 6.2 接頭箍筋（參考柱之設計建議）

距離接頭面在$\ell_o$之範圍內，其矩形閉合箍筋及繫筋之總斷面積$A_{sh}$不得小於下式之規定值



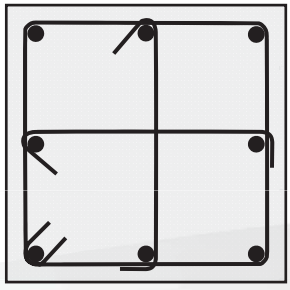

$$15\text{ cm} \ge s_o = 10 + \left(\frac{35 - h_x}{3}\right) \ge 10\text{ cm}$$

$$s_1 \le \begin{cases} h_1/4 \\ h_2/4 \\ 6d_b \\ s_o \end{cases}$$

$$s_2 \le \begin{cases} 6d_b \\ 15\text{ cm} \end{cases}$$

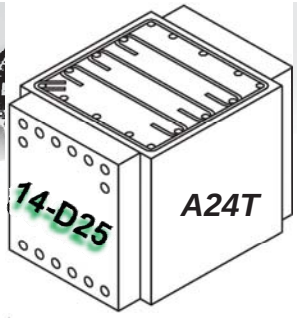
$$l_o \le \begin{cases} h_1 \\ h_2 \\ l_u/6 \\ 45\text{ cm} \end{cases}$$

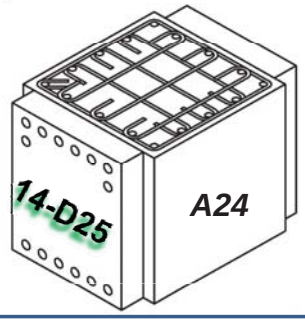
$$A_{sh} = 0.2 s b_c k_n \frac{P}{P_0}\frac{f_c'}{f_{yt}}\frac{A_g}{A_{ch}} \ge 0.09 s b_c \frac{f_c'}{f_{yt}}$$



$$k_n = \frac{n_{ls}}{n_{ls} - 2}\left(\frac{30 + h_x}{50}\right)$$

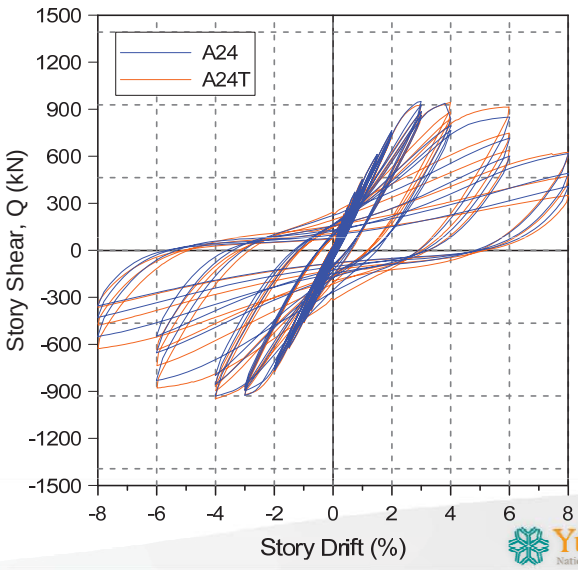
$$f_{yt} \le 800\text{ MPa}$$




除非一梁構材貫穿接頭且梁寬最少為柱寬度之3/4，則在該梁構材方向及構材深度範圍內可配置較少之繫筋，箍筋垂直間距不超過15 cm，且其閉合箍筋及繫筋之總斷面積應至少為上式規定值$A_{sh}$之半。



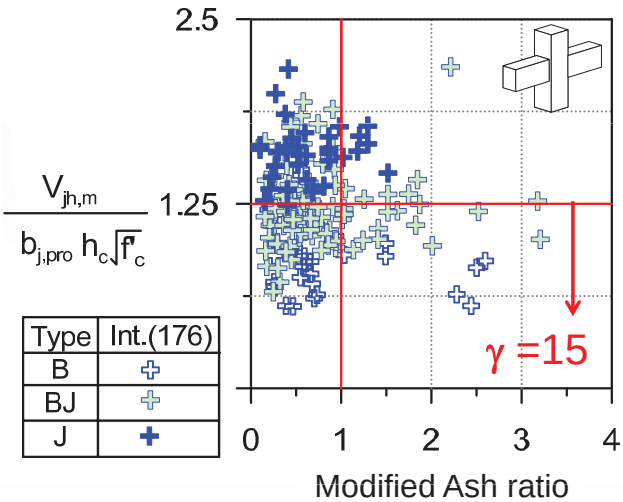



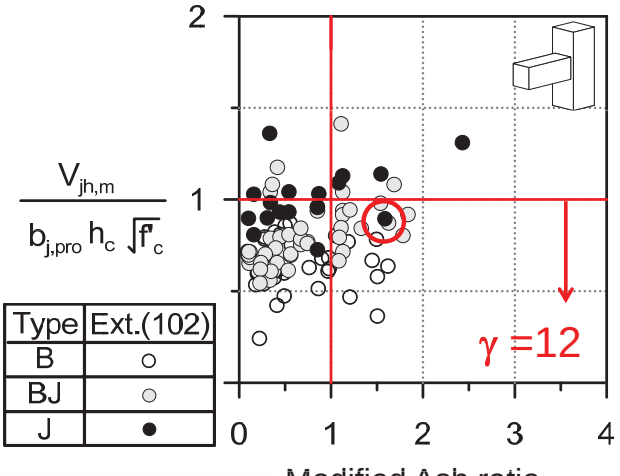

YunTech 國立雲林科技大學 National Yunlin University of Science & Technology

# Confinement Requirements

- Confinement reinforcement in the direction of loading may be reduced by 50% for the joints confined two opposite faces.

- Ash is adequate for exterior joints without transverse beams.



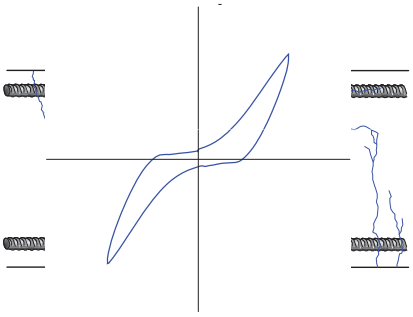

$$\ell_{dt(h)} \geq 0.75 h_c$$

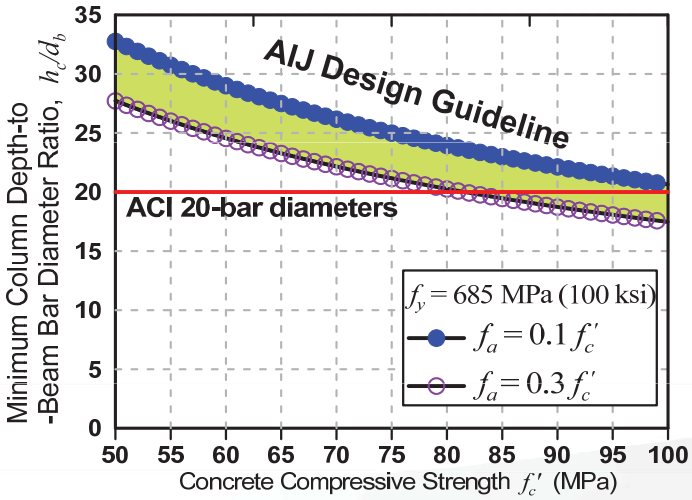
YunTech 國立雲林科技大學 National Yunlin University of Science & Technology

# 6.3.1梁主筋貫穿梁柱接頭之最小柱深

$$\alpha_p k\sqrt{f_c'} \times \pi d_b h_{col} \geq \frac{\pi d_b^2}{4}(\alpha f_y + \beta f_y)$$

$$\frac{h_{col}}{d_b} \geq \frac{2}{4} \cdot \frac{f_y}{\alpha_p k\sqrt{f_c'}}$$






NZS 3101

$$\frac{d_b}{h_c} \leq \left(\frac{\alpha_t \alpha_p}{\alpha_s}\right)\alpha_f \frac{6\sqrt{f_c'}}{\alpha_o f_y} \text{ in N - mm}$$

AIJ Design Guideline

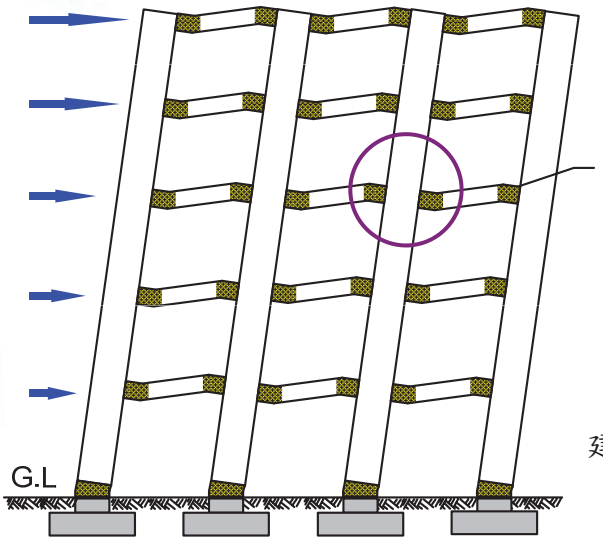
$$\frac{d_b}{h_c} \leq \frac{2.8}{(1+\beta)}\left(1+\frac{f_a}{f_c'}\right)\frac{(f_c')^{\frac{2}{3}}}{\alpha_o f_y} \text{ in N - mm}$$

ACI 318 Code

$$\frac{d_b}{h_c} \leq \frac{1}{20}$$

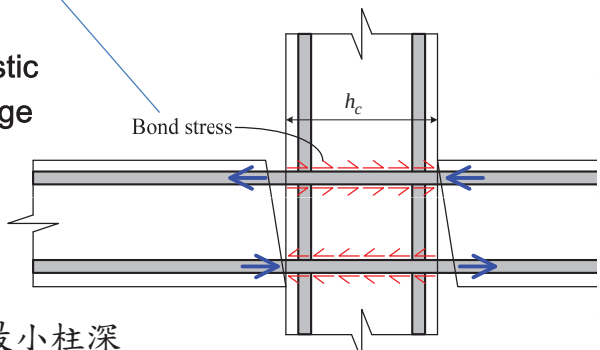
YunTech 國立雲林科技大學 National Yunlin University of Science & Technology

# 梁主筋在接頭握裹劣化、鋼筋滑移、將導致構架消能能力的下降




$$\alpha_p k\sqrt{f_c'} \times \pi d_b h_{col} \geq \frac{\pi d_b^2}{4}(\alpha f_y + \beta f_y)$$

Plastic Hinge




建議最小柱深

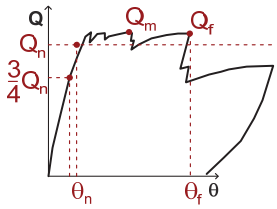
$$\frac{h_{col}}{d_b} \geq \frac{2}{4} \cdot \frac{f_y}{\alpha_p k\sqrt{f_c'}}$$

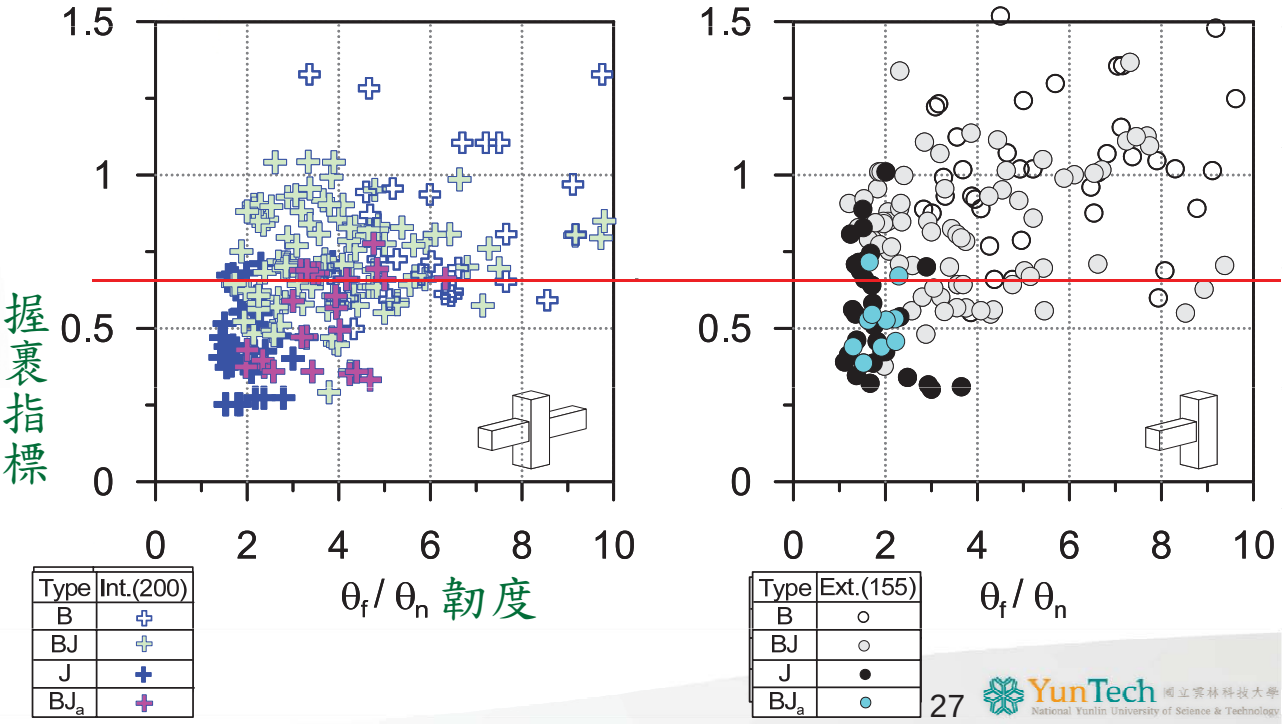
軸力修正因數 $\alpha_p = 1 + \frac{P}{A_g f_c'}$ $1.0 \leq \alpha_p \leq 1.25$

握裹應力規定值 $k\sqrt{f_c'} = 1.5\sqrt{f_c'}\ MPa = 18\sqrt{f_c'}\ psi = 4.77\sqrt{f_c'}\ \frac{kgf}{cm^2}$

YunTech 國立雲林科技大學 National Yunlin University of Science & Technology

# 握裹指標= $\frac{1}{k}$






# 表6.3 耐震韌性抗彎構架之最小柱深度

| | Bar fy | SD420 | SD420 | SD550 | SD550 | SD685 | SD685 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $\frac{P}{A_g f'_c}$ | 0.10 | 0.25 | 0.10 | 0.25 | 0.10 | 0.25 |
| $f'_c(psi)$ | $f'_c(MPa)$ | | | | | | |
| 4000 | 28 | **24** | **21** | 32 | 28 | 40 | 35 |
| 5000 | 34 | **22** | **19** | 28 | 25 | 35 | 31 |
| 6000 | 41 | **20** | **17** | **26** | **23** | 32 | 28 |
| 7000 | 48 | 18 | 16 | **24** | **21** | 30 | 26 |
| 8000 | 55 | 17 | 15 | **22** | **20** | 28 | 25 |
| 9000 | 62 | 16 | 14 | **21** | **19** | **26** | **23** |
| 10000 | 69 | 15 | 13 | **20** | **18** | **25** | **22** |
| 11000 | 76 | 15 | 13 | 19 | 17 | **24** | **21** |
| 12000 | 83 | 14 | 12 | 18 | 16 | **23** | **20** |
| 13000 | 90 | 13 | 12 | 18 | 15 | **22** | **19** |
| 14000 | 97 | 13 | 11 | 17 | 15 | **21** | **19** |

註：陰影部分不推薦使用，軸力介於0.10-0.25$A_g f'_c$間，線性內插。

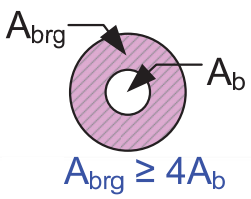
# 6.3.2 梁主筋終止於接頭內之錨定長度

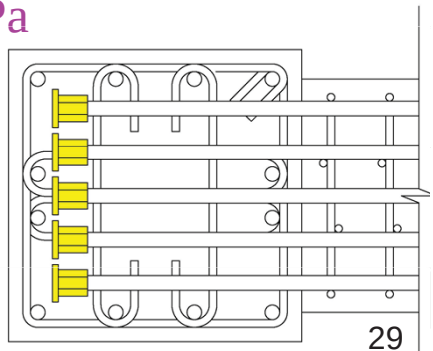
$$\ell_{dt} = 0.016 \frac{f_y d_b}{\sqrt{f_c'}} \ (f_c' \text{ in psi}) \quad \text{or} \quad 0.192 \frac{f_y d_b}{\sqrt{f_c'}} \ (f_c' \text{ in MPa})$$

- fy ≤ 420 MPa ➢ 700 MPa
- Minimum bar spacing **3**$d_b$ ➢ $2d_b$
- f'c ≤ 42MPa ➢ 70 MPa

建議放寬限制條件

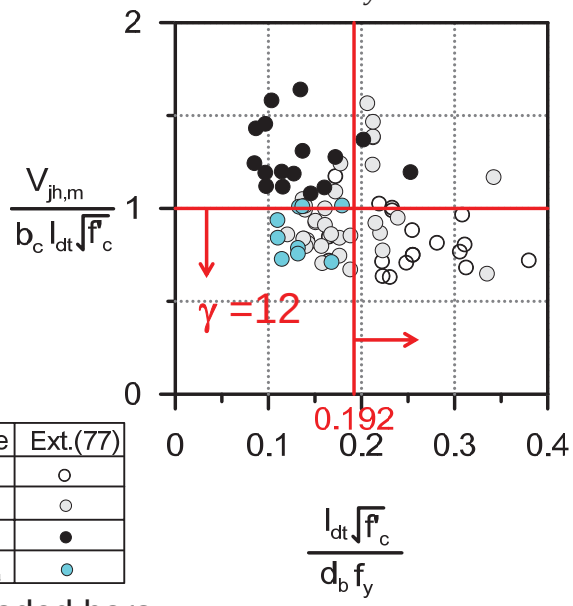
(ACI 318-14)



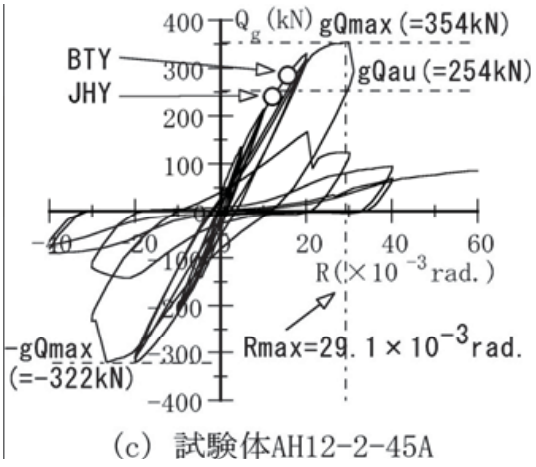
29

## 錨定長度 *解除 $f_y$ & $f_c$' 上限

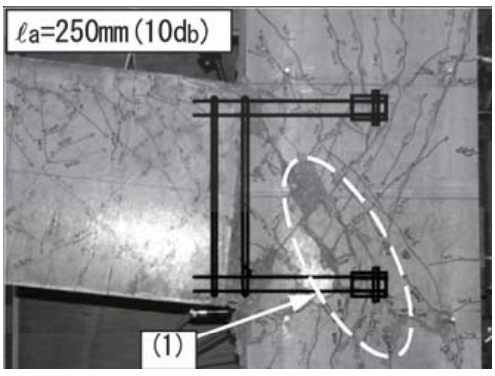



| Type | Ext.(77) |
|---|---|
| B | ○ |
| BJ | ○ |
| J | ● |
| $BJ_a$ | ● |

Headed bars



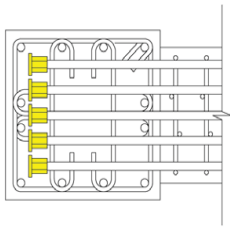

(c) 試験体AH12-2-45A



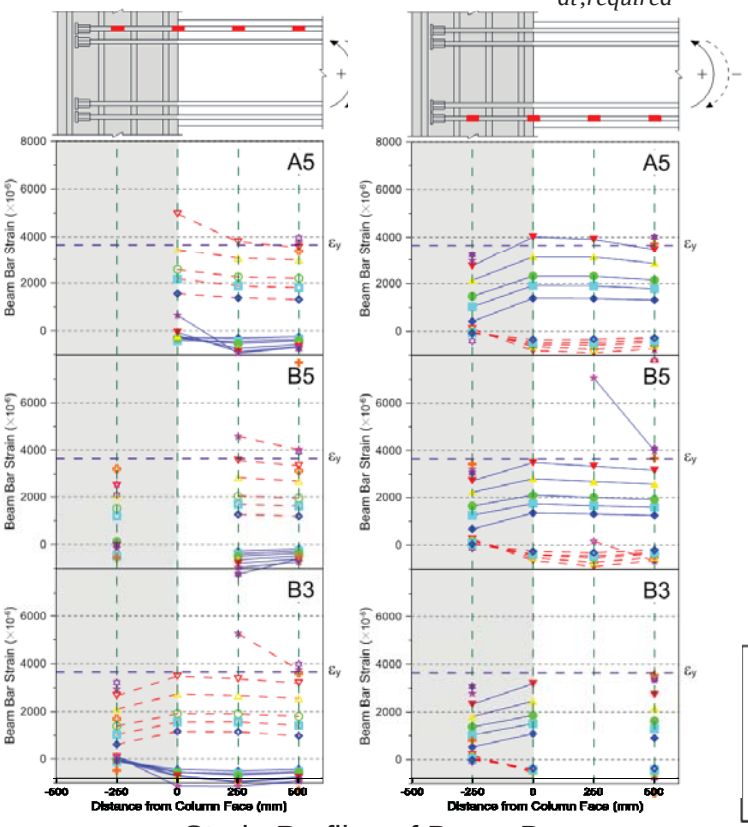

Masuo, K., Adachi, M., and Imanishi, T. (

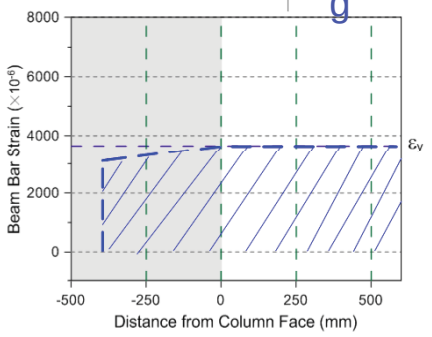
Required $\ell_{dt} \geq 0.192 \frac{f_y d_b}{\sqrt{f_c'}}$

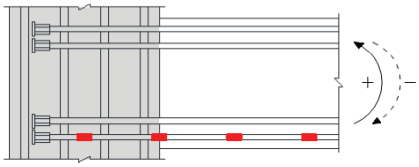
$$\frac{\ell_{dt,provided}}{\ell_{dt,required}} = 1.04$$



$2\ d_b$ Clear spacing



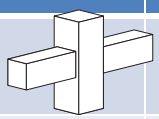
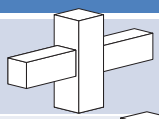
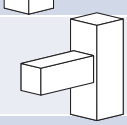
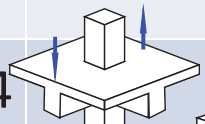
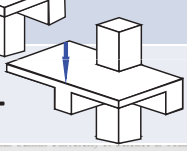
Strain Profiles of Beam Bars



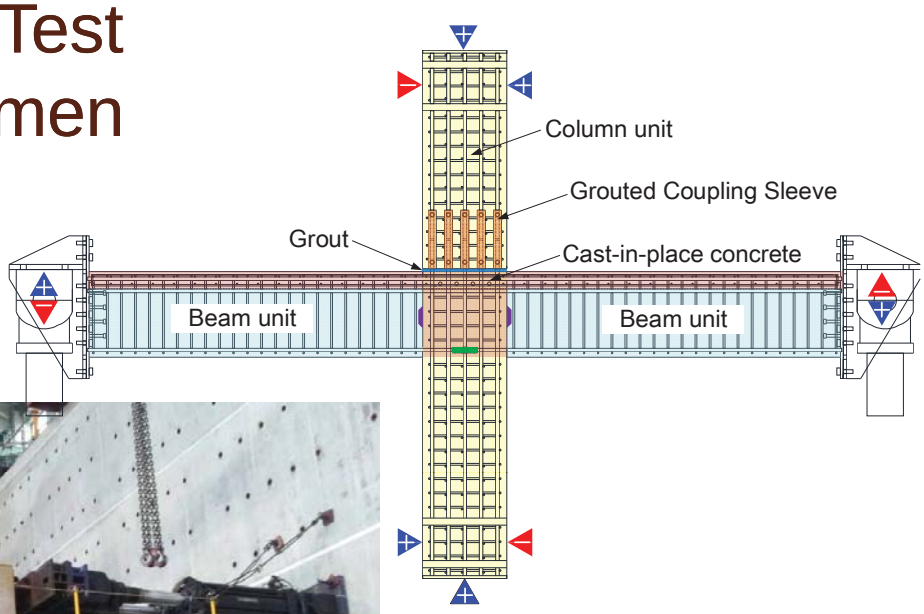


# Further study

- To develop a deformation-based model of the degradation of the joint shear strength.
- In 2014-2015, we plan to test 8 beam-column-slab connections made with HS reinforcement and concrete.

| 2012 | 2013 | 2014 | 2015 |
|---|---|---|---|
| 4  | 4  | | |
| | 5  | | |
| | | | 4  |
| | | | 4  |

# Ongoing Test for Specimen A24S






**Thanks for your attentions**

# 第六章 梁柱接頭相關規定 (草案 v1 )

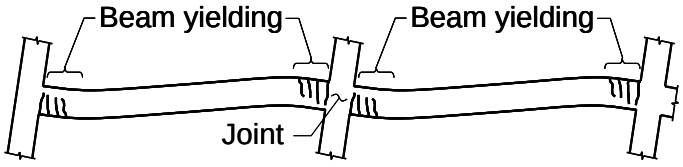
## 6.1 剪力強度

### 6.1.1 接頭剪力需求

大地震時負責抵抗側向力之韌性抗彎構架，耐震設計規範預期梁柱接頭面產生梁塑鉸且有較大之塑性轉角，受拉鋼筋之應變將遠超過降伏應變，因此接頭面上梁撓曲拉力鋼筋之應力，應假設為$\alpha f_y$計算接頭剪力。撓曲拉力鋼筋之超額強度係數$\alpha$依鋼筋強度等級按表 6.1 選取，超額強度係數視鋼筋可能降伏強度及應力應變曲線決定。

表 6.1 鋼筋超額強度係數

| 鋼筋強度等級 | SD490 以下 | SD550 | SD685 |
|---|---|---|---|
| 超額強度係數 | $\alpha$ = 1.25 | $\alpha$ = 1.20 | $\alpha$ = 1.15 |




以梁降伏塑鉸機制決定構架及接頭之剪力需求

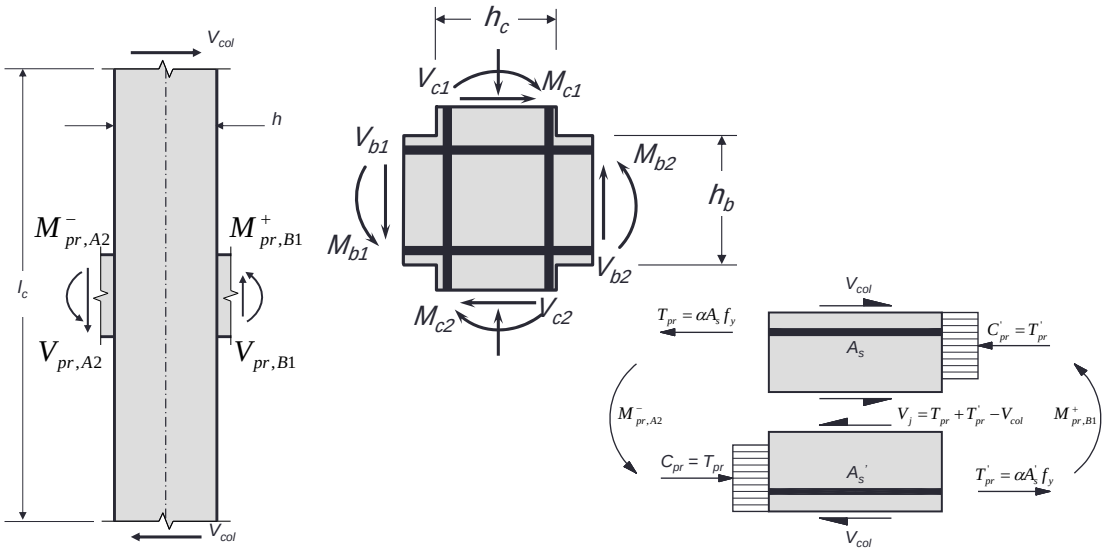


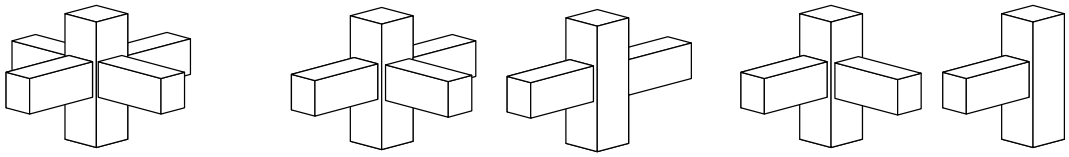

圖 6.1 韌性抗彎構架之接頭剪力需求$V_j$ [Moehle et al. (2008)]

### 6.1.2 接頭剪力設計強度

韌性抗彎構架之接頭剪力$V_j$ (圖 6.1)不得大於接頭剪力設計強度$\phi V_n$，其中強度折減係數$\phi$ =0.85，接頭剪力計算強度按表 6.2 之規定。

表 6.2 接頭剪力計算強度$V_n$

| 接頭配置 | $V_n$ for $f_c'$ in MPa | $V_n$ for $f_c'$ in $kgf/cm^2$ |
|---|---|---|
| 接頭四面皆受梁圍束 | $1.67\sqrt{f_c'}A_j$ | $5.3\sqrt{f_c'}A_j$ |
| 接頭三面或一雙對面受梁圍束 | $1.25\sqrt{f_c'}A_j$ | $3.9\sqrt{f_c'}A_j$ |
| 其他 | $1.00\sqrt{f_c'}A_j$ | $3.2\sqrt{f_c'}A_j$ |



(a)四面皆受梁圍束　(b)三面或一雙對面受梁圍束　(c)其他

圖 6.2 各種接頭配置之剪力計算強度

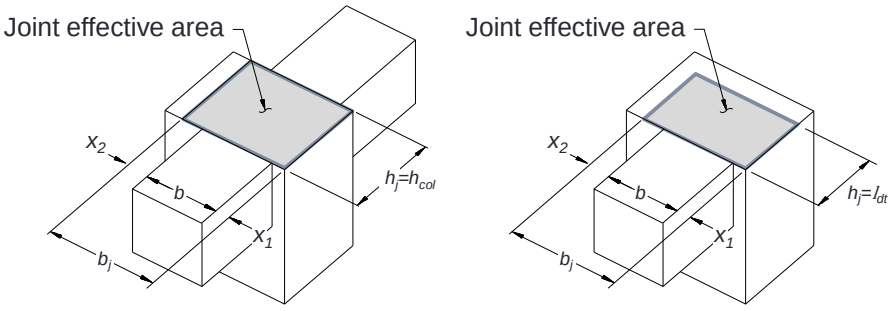
表 6.2 中，若產生剪力方向之梁構材構入接頭面，該梁寬度不小於 3/4 接頭有效寬度者，則該接頭面視為受圍束作用。若橫方向構入接頭側面之梁寬度不小於 3/4 柱寬[*後續研究中，待調整]，則該接頭面視為受圍束作用。若梁貫穿接頭並延伸超過接頭面不少於一倍梁深時，亦可視該梁之延伸段具有圍束作用。梁之延伸段須符合 ACI 318-14 規範相關規定…[18.6.2.1(b), 18.6.3.1, 18.6.4.2, 18.6.4.3, and 18.6.4.4. ]

各種接頭配置之剪力計算強度如圖 6.2 所示。若柱構材未延伸超過接頭一倍深度以上，則表 6.2 之剪力計算強度可參考 ACI 352R。

表 6.2 中，$A_j$為接頭之有效斷面積，為接頭沿剪力方向之有效深度$h_j$乘以接頭有效寬度$b_j$。當梁主筋貫穿梁柱接頭時，接頭有效深度$h_j$為沿剪力方向之柱全深$h_{col}$；當梁主筋錨定於接頭內時，接頭有效深度$h_j$取梁主筋之錨定長度。
接頭有效寬度一般為柱寬度$b_{col}$，但若柱寬大於梁寬度$b_{beam}$，或柱梁中心線未相交形成偏心接頭處，$b_j$按下列規定計算

$$b_j = b_{beam} + x_1 + x_2 \le b_{col}$$

其中$x_1$及$x_2$分別為梁兩邊至柱邊之距離(圖 6.3)，代入上式計算時，$x_1$或$x_2$值不得超過$h_{col}/4$。[黃世建等人(2014)]




(a)梁主筋貫穿梁柱接頭區　　(b)梁主筋錨定於接頭內

圖 6.3 接頭有效寬度及深度

## 6.2 接頭箍筋

接頭區距離接頭面在$\ell_o$之範圍內，依規範箍筋之垂直間距不得超過：(1) 構材斷面最小尺度之 1/4、(2) 6 倍主筋直徑、及(3)間距$s_o$=10+(35-$h_x$)/3 ≤15 cm，其中繫筋或閉合箍筋相鄰各肢之中心距 $h_x$ 不得超過 35 cm。這些規定通常使柱及接頭箍筋間距介於 10 cm 至 15 cm。

在距離接頭面在$\ell_o$之範圍內，其矩形閉合箍筋及繫筋之總斷面積$A_{sh}$不得小於下式之規定值。

柱橫向鋼筋　$A_{sh}=0.2sb_c k_n \dfrac{P}{P_0}\dfrac{f'_c}{f_{yt}}\dfrac{A_g}{A_{ch}}$　but not less　$0.09sb_c\dfrac{f'_c}{f_{yt}}$　[Hwang et al.]

其中…

除非一梁構材貫穿接頭且梁寬最少為柱寬度之 3/4，則在該梁構材方向及構材深度範圍內可配置較少之繫筋，箍筋垂直間距不超過 15 cm，且其閉合箍筋及繫筋之總斷面積應至少為上式規定值$A_{sh}$之半。

梁鋼筋在接頭處未通過柱核心，且未受橫向構入梁之圍束，則在梁柱接頭處應按第 15.5.4 節之規定配置梁之橫向鋼筋以提供柱核心外梁鋼筋之圍束。

若梁構材負彎矩鋼筋以錨定頭鋼筋終止於梁柱接頭內，該柱應延伸高於接頭表面最少一倍接頭深度(提供圍束作用)，否則該梁構材之負彎矩鋼筋應外加垂直接頭箍筋提供接頭表面等值之圍束作用。(Knee joint)

補充解說：ITG report

*Saqan and Kreger (1998) 比較一些高強度 RC 造梁柱接頭實驗數據，指出高強度*

*混凝土接頭區之箍筋量可以減少，儘管在折減之前，軸力承載能力應該先被評估。*

*Noguchi et al. (1998) 評論接頭箍筋量對於增加剪力強度只有輕微效果，遠不如增加混凝土強度來得有效。他們也發現箍筋在外部接頭比在內部接頭要顯得相對有效果。*

*儘管梁柱接頭實驗顯示，具有少量箍筋之接頭也可以達到符合規範標準試體類似的剪力強度，但是增加箍筋量對於梁柱接頭之韌性有幫助，有助於接頭區維持一定的剛度，支持梁塑鉸達到較大的塑性變形。*

## 6.3 接頭鋼筋伸展及錨定

### 6.3.1 梁主筋貫穿梁柱接頭之最小柱深

現行規範規定當梁主筋貫穿梁柱接頭時，則平行於梁主筋方向之柱尺寸不得小於最大梁主筋直徑之 20 倍。即$h_{col} \geq 20d_b$。

此規定源自 Zhu and Jirsa (1983) 】檢討 18 支使用 60-ksi (420 MPa)降伏強度鋼筋的梁柱接頭在反復載重下之表現，歸納最小柱深約 20 至 22 倍梁主筋直徑，對混凝土抗壓強度 4000 psi 到 5000 psi 應屬適當，在 3%層間位移角前可以避免發生握裹損壞。但此規定延伸至 500 MPa 以上之鋼筋及高強度混凝土是否恰當則有待確認。

較近期的實驗研究顯示前述$h_{col} \geq 20d_b$要求並不能完全排除握裹損壞及鋼筋滑移。梁主筋在接頭內之握裹劣化將影響接頭消能能力與變形能力，易因大量滑移加速混凝土於臨界面壓碎。

ACI 僅簡略限制柱深不得少於梁主筋直徑的 20 倍，與柱軸力、材料強度無關，參考日本及紐西蘭規範則均將柱軸力與材料強度納入考慮，經由資料庫調查建議規定如下

假設梁主筋貫穿接頭區之平均握裹應力限制為$\mathrm{k}\sqrt{f_c'}$以避免顯著滑移及握裹損壞，則依力平衡得

$$\alpha_p \mathrm{k}\sqrt{f_c'} \times \pi d_b h_{col} \geq \frac{\pi d_b^2}{4}\left(\alpha f_y + \beta f_y\right)$$

其中梁主筋在接頭面受拉因塑性變形可能達到$\alpha f_y$，而貫穿接頭在另一面之壓應力通常低於降伏應力，假設為$\beta f_y$，設計時$\alpha$值為 1.15 至 1.25，實驗數據及斷面分析顯示$\beta$值介於 0.50 至 0.75，故建議保守採$(\alpha + \beta)$=2.0。

此外，考慮柱軸力可增加握裹強度之因數$\Omega_p$，日本及紐西蘭規範有差異，建議參考日本公式(待議)。則我們的設計公式建議為

$$\frac{h_{col}}{d_b} \geq \frac{2}{4} \cdot \frac{f_y}{\alpha_p \mathrm{k}\sqrt{f_c'}}$$

$$\alpha_p = 1 + \frac{P}{A_g f_c'} \text{ (AIJ)} \quad \text{or } 0.95 + 0.5\frac{P}{A_g f_c'} \text{ (NZS)}$$

$$1.0 \le \alpha_p \le 1.25$$

若規定 $k\sqrt{f_c'} = 1.5\sqrt{f_c'}\ MPa = 18\sqrt{f_c'}\ psi = 4.77\sqrt{f_c'}\ \frac{kgf}{cm^2}$

(暫時由資料庫調查決定之門檻值)

將上述公式轉換為設計用表格

表 6.3 耐震韌性抗彎構架之最小柱深度

| | Bar fy | SD420 | SD420 | SD550 | SD550 | SD685 | SD685 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $\frac{P}{A_g f_c'}$ | 0.10 | 0.25 | 0.10 | 0.25 | 0.10 | 0.25 |
| $f_c'(psi)$ | $f_c'(MPa)$ | | | | | | |
| 4000 | 28 | **24** | **21** | 32 | 28 | 40 | 35 |
| 5000 | 34 | **22** | **19** | 28 | 25 | 35 | 31 |
| 6000 | 41 | **20** | **17** | **26** | **23** | 32 | 28 |
| 7000 | 48 | 18 | 16 | **24** | **21** | 30 | 26 |
| 8000 | 55 | 17 | 15 | **22** | **20** | 28 | 25 |
| 9000 | 62 | 16 | 14 | **21** | **19** | **26** | **23** |
| 10000 | 69 | 15 | 13 | **20** | **18** | **25** | **22** |
| 11000 | 76 | 15 | 13 | 19 | 17 | **24** | **21** |
| 12000 | 83 | 14 | 12 | 18 | 16 | **23** | **20** |
| 13000 | 90 | 13 | 12 | 18 | 15 | **22** | **19** |
| 14000 | 97 | 13 | 11 | 17 | 15 | **21** | **19** |

註：陰影部分不推薦使用，軸力介於 0.10-0.25$A_g f_c'$ 間，線性內插。

### 6.3.2 梁主筋終止於接頭內之錨定長度

評估 ACI 318 規範錨定頭鋼筋受拉伸展長度公式

$$\ell_{dt} = 0.016\frac{f_y d_b}{\sqrt{f_c'}}\ (f_c' \text{ in psi}) \text{ or } 0.192\frac{f_y d_b}{\sqrt{f_c'}}\ (f_c' \text{ in MPa})$$

經本研究團隊前期資料庫調查，上述錨定長度公式延伸到 New RC 繼續使用是恰當的，根據資料庫調查及前期卜字形梁柱接頭試驗，提出修正建議：

1. 鋼筋規定降伏強度 $f_y$ 不得超過 700 MPa (10,000 psi)。
2. 計算錨定長度所使用之 $\sqrt{f_c'}$ 值不可超過 $\sqrt{10{,}000\ \text{psi}}$。[現行 ACI 318 規範對於錨定頭鋼筋伸展長度所使用之 $\sqrt{f_c'}$ 值是不可超過 $\sqrt{6{,}000\ \text{psi}}$ ]
3. 錨定頭鋼筋之淨距不得少於 $2d_b$。[現行 ACI 318 規範是不少於 $3d_b$]

參考書目：(尚未格式化及交互參照)

ACI Committee 318, Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-14) and Commentary, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 2011, 520 pp.

黃世建*, Erwin Lim, 翁樸文, **李宏仁**, "鋼筋混凝土偏心梁柱接頭之抗剪強度設計." 結構工程 29(2): 5-23, 2014.

**Lee, H. J.***, and Hwang, S. J., "High-Strength Concrete and Reinforcing Steel in Beam-Column Connections," Structures Congress 2013, ASCE, Proceedings ISBN: 978-0-7844-1284-8, American Society of Civil Engineers, Pittsburgh, Pennsylvania, United States, May 2-4, 2013, pp. 1606-1615.

**李宏仁**、張又仁、張家榮、黃世建， 「高強度鋼筋混凝土梁柱接頭剪力強度測試」，國家地震工程研究中心報告，NCREE-14-008，台北。

Lee, H.-J.*, Chang, J.-R., and Hwang, S.-J. (2014), "Experimental Investigation and Database Construction of Seismic Performance of New RC Exterior Beam-Column Connections," The 5th Asia Conference on Earthquake Engineering, October 16-18, 2014, Taipei, Taiwan.

國立臺灣大學 National Taiwan University

高強度鋼筋混凝土 New RC專家座談會

# New RC混凝土的產製與供應管理


廖文正 *

助理教授

國立台灣大學土木工程學系

鄭瑞濱

副總經理

潤泰精密材料股份有限公司

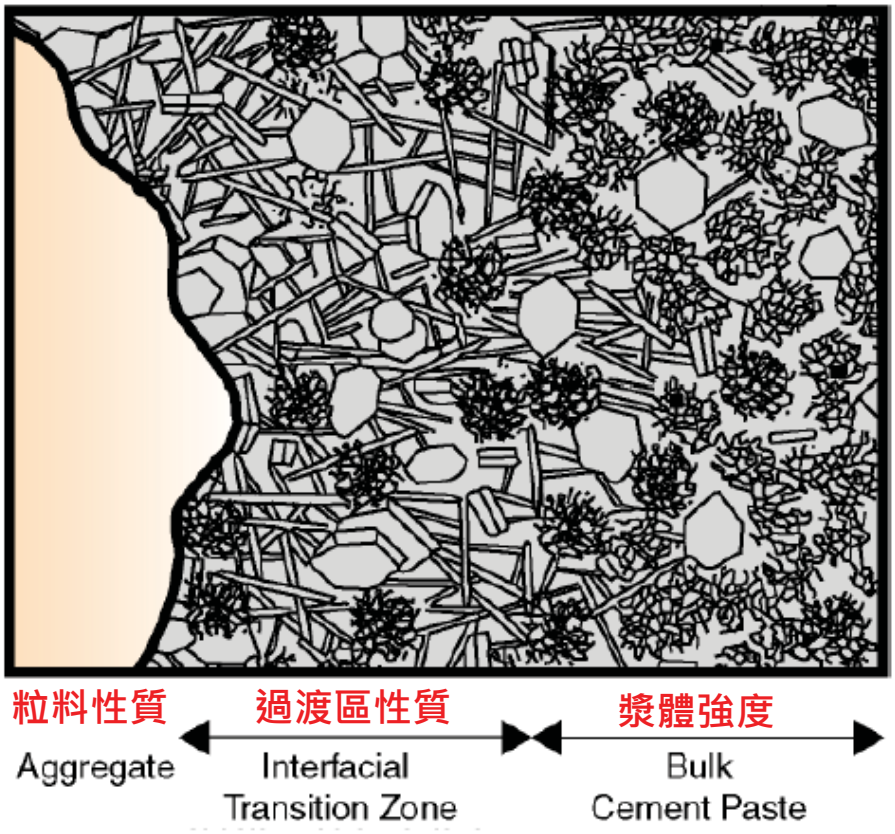





## Outline

- New RC 混凝土材料控制因素
  - 漿體強度
  - 過渡區性質的強化
  - 粒料性質要求
- New RC 混凝土產製主要問題
  - 粒料品質
- New RC 混凝土生產供應管制作業

# New RC 混凝土材料控制因素




國立臺灣大學 National Taiwan University
高強度鋼筋混凝土 New RC專家座談會
台北, March 25, 2015

# New RC 混凝土材料控制因素

- **漿體強度**

**1. 使用新型高性能減水劑**

– 由於超高強度混凝土中的用水量較一般普通混凝土降低許多，爲了維持適當的工作性，此類新型的超高效減水劑具有良好的流動性、高減水率（減水率大於30%）、坍保效果佳。目前以羧酸系與氨基磺酸鹽系兩大類減水劑為主。

**2. 降低水膠比**

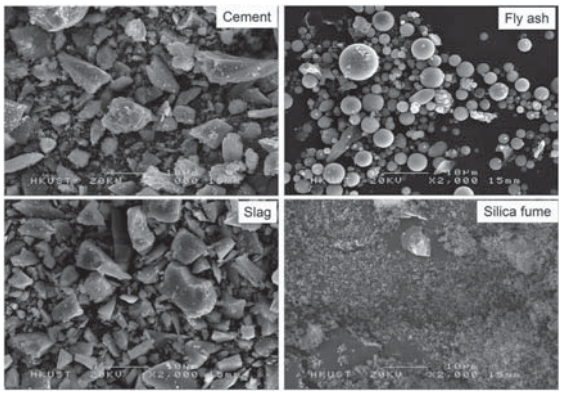
– 爲了盡量減少混凝土中50nm孔洞的數量，水膠比將控制在0.38以下，當製產10000 psi混凝土時，水膠比更需要控制在0.3以下。

# New RC 混凝土材料控制因素

- **漿體強度**

**3. 使用超細礦物摻料**

– 目前超細礦物摻料的比表面積可從6000cm²/g到15000cm²/g以上，有矽灰、120級以上超細爐石粉、超細粉煤灰、超細沸石粉、超細稻殼灰、超細石灰石粉等。此類礦物摻料因為具有卜作嵐活性反應，顆粒粒徑小，具有極大的比表面積，故能填充混凝土中細微的空隙，並快速增加C-H-S膠體數量，降低混凝土中孔隙率，增加緻密度。

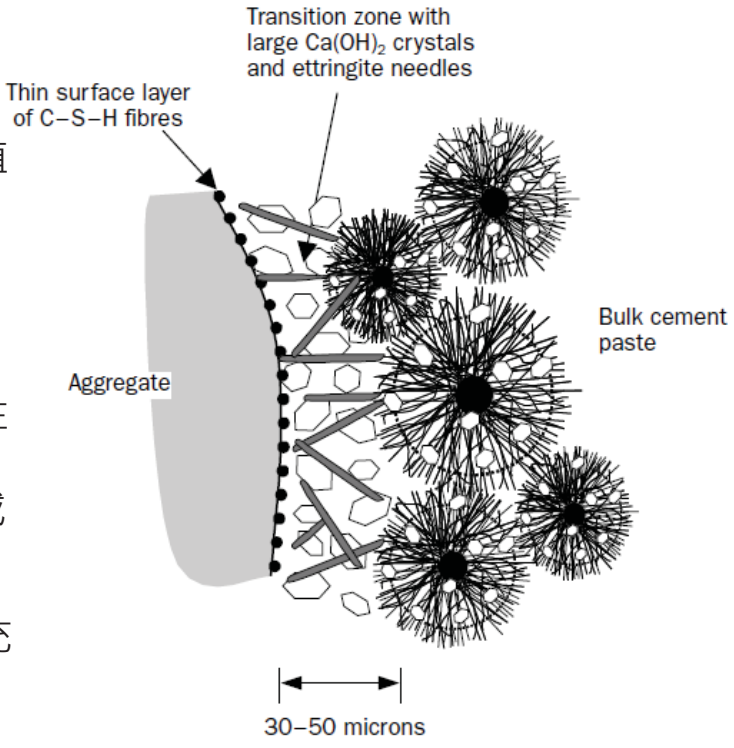



國立臺灣大學 National Taiwan University
高強度鋼筋混凝土 New RC專家座談會
台北, March 25, 2015

# New RC 混凝土材料控制因素

- **過渡區性質**

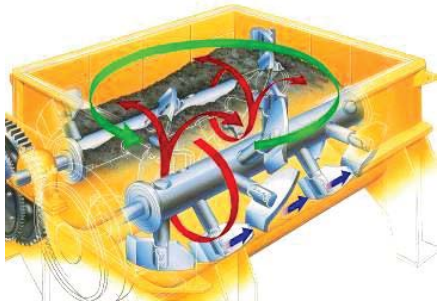
1. 新鮮混凝土粗粒料表面有水層，粒料附近w/c比其遠處值要高。
2. 由$C_3S$, $C_2S$及$C_3A$水化形成ettringite與CH
3. 由於高w/c，在粒料界面產生較大晶體，形成多孔隙構造。且CH呈板柱狀，經常形成於垂直粒料表面。
4. C-S-H, CH與ettringite繼續充於poor structure.

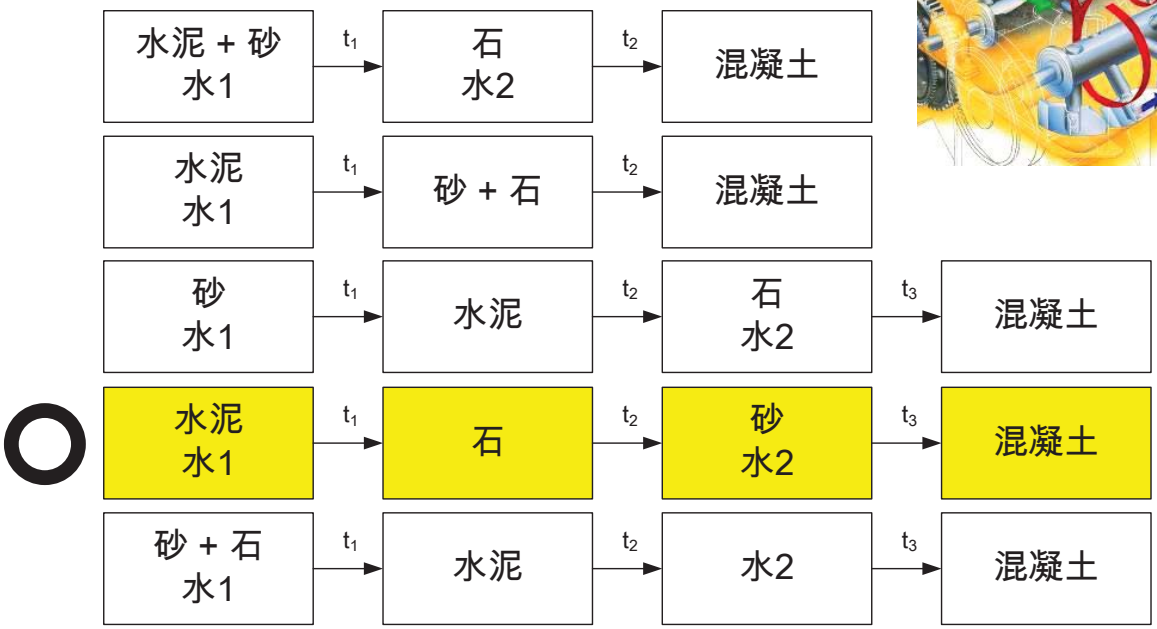


# New RC 混凝土材料控制因素

- **過渡區性質的強化**

  二次攪拌製程使混凝土介面過渡區的粘結強度得到了改善。






國立臺灣大學 National Taiwan University
高強度鋼筋混凝土 New RC專家座談會
台北, March 25, 2015

# New RC 混凝土材料控制因素

- **過渡區性質的強化**

  **配比實際案例 (潤泰台北南山廣場, 15000psi)**

| 測試編號 | 水泥 (kg/m$^3$) | 爐石 (kg/m$^3$) | 飛灰 (kg/m$^3$) | 矽灰 (kg/m$^3$) | 粗粒料 (kg/m$^3$) | 細粒料 (kg/m$^3$) | 用水量 (kg/m$^3$) | 強塑劑 (kg/m$^3$) | 膨脹劑 (kg/m$^3$) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 12K-20 | 400 | 200 | | 50 | 851 | 692 | 165 | 14.3 | 20 |
| 12K-15 | 400 | 200 | | 50 | 851 | 692 | 165 | 14.3 | 15 |
| 12K-10 | 400 | 200 | | 50 | 851 | 692 | 165 | 14.3 | 10 |
| 12K-5 | 400 | 200 | | 50 | 851 | 692 | 165 | 14.3 | 5 |
| 12K-0 | 400 | 200 | | 50 | 851 | 692 | 165 | 14.3 | |
| 10k-20 | 400 | 170 | | 50 | 851 | 720 | 165 | 13.6 | 20 |
| 10k-0 | 400 | 170 | | 50 | 851 | 720 | 165 | 13.6 | |
| 8k-20 | 350 | 140 | 70 | | 838 | 777 | 165 | 8.96 | 20 |
| 8k-0 | 350 | 140 | 70 | | 838 | 777 | 165 | 8.96 | |

# New RC 混凝土材料控制因素

- 過渡區性質的強化
  配比實際案例 (潤泰台北南山廣場, 15000psi)

與一般強度 SCC 差別

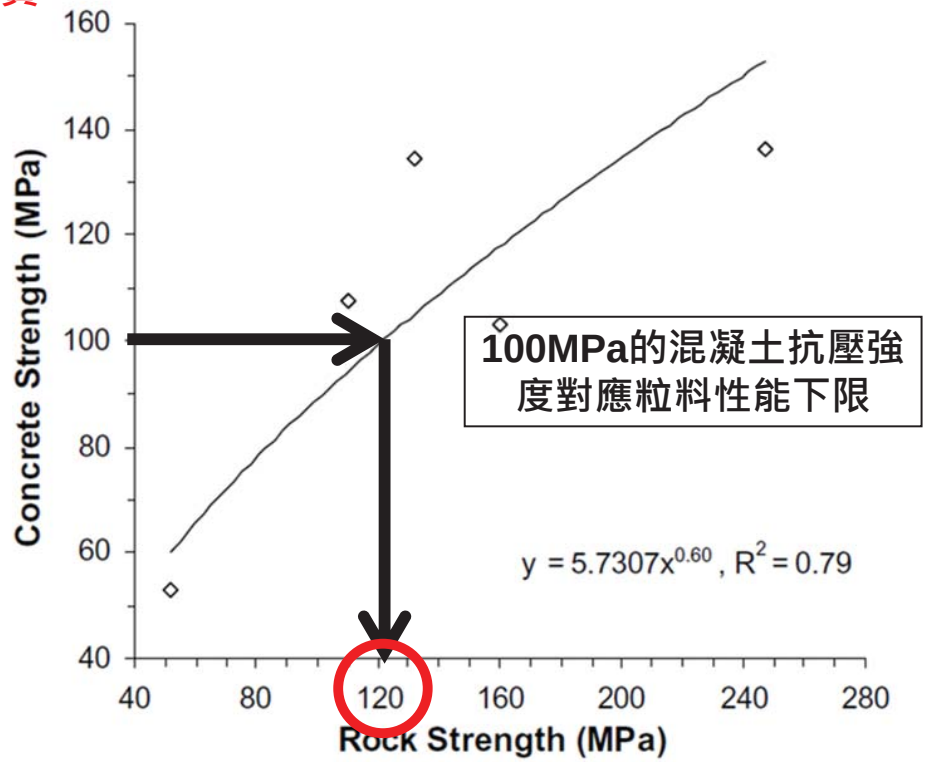
1. 拌和時間220~240秒（較一般SCC長60秒）
2. 穩定安培值為34安培（較一般SCC高2A）
3. 每小時可供應混凝土量24m³（較一般SCC低約10m³）
4. 量產無虞

| 混凝土溫度 ˚C | 流度 cm | 空氣含量 % | U型充填 cm | V漏斗時間 sec |
|---|---|---|---|---|
| 25 | 65 | 2.6 | 33.5 | 15 |

國立臺灣大學 National Taiwan University
高強度鋼筋混凝土 New RC專家座談會
台北, March 25, 2015

# New RC 混凝土材料控制因素

- 粒料性質




A. Kilic, C.D. Atus, A. Teymen, O.Karahan, F.Ozacn,C.Bilim,M.Ozdemir,"The influence of aggregate type on the strength concrete", Cement and Concrete Research",P290-296,2008.

# New RC 混凝土材料控制因素

- 粒料性質

硬質砂岩可以合乎需求

| 種類 | 面乾密度 ( g/cm³) | 吸水率 ( % ) | 抗壓強度 ( N/mm² ) |
|---|---|---|---|
| 安山岩 | 2.62 | 2.55 | 190 |
| 硬質砂岩 1 | 2.65 | **0.44** | **315** |
| 硬質砂岩 2 | 2.72 | **0.68** | **164** |
| 石灰岩 1 | 2.68 | 0.92 | 113 |
| 石灰岩 2 | 2.69 | 0.49 | 116 |
| 石英片岩 | 2.61 | 0.92 | 262 |

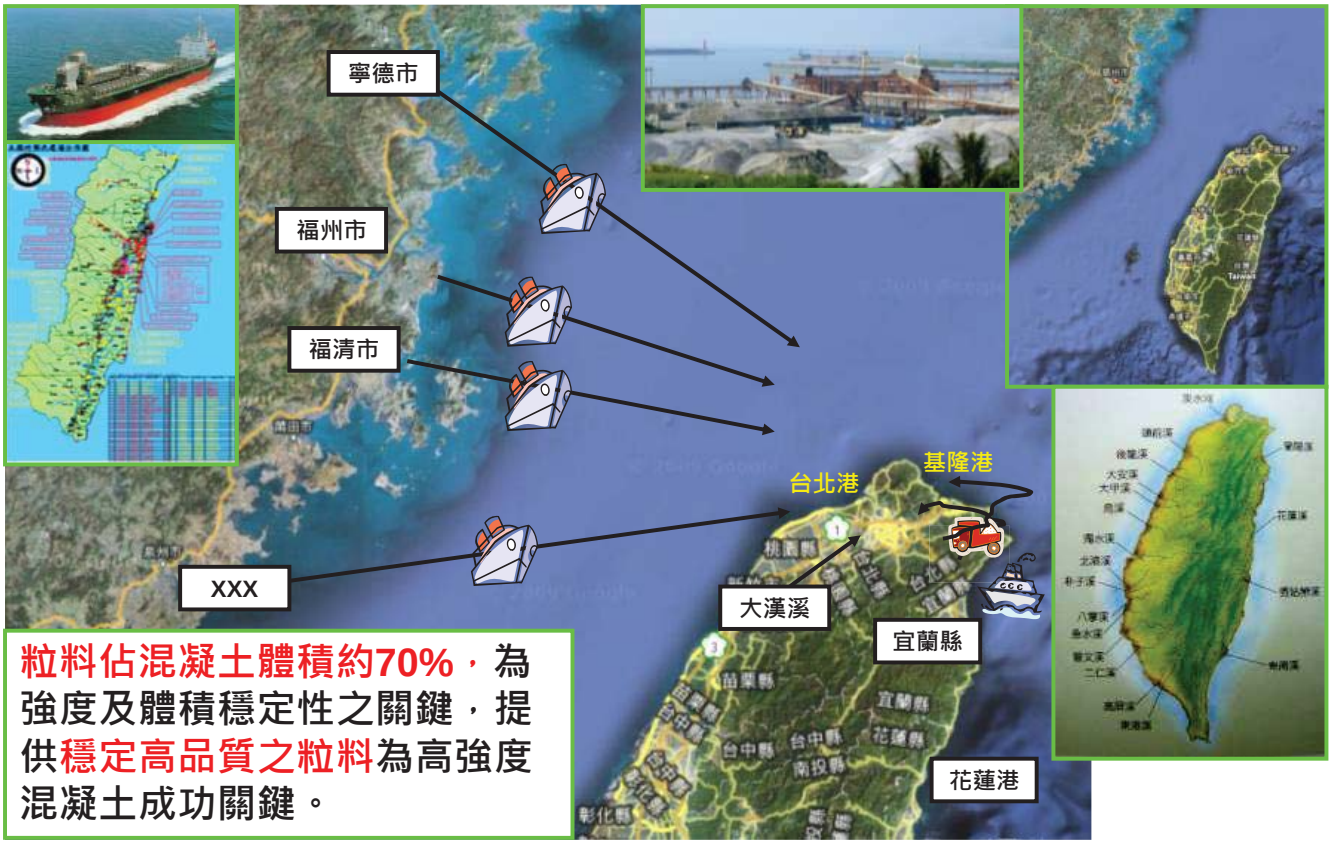
國立臺灣大學 National Taiwan University
高強度鋼筋混凝土 New RC專家座談會
台北, March 25, 2015

# New RC 混凝土產製主要問題

- 粒料品質

1. 粒料來源
2. 粒料硬度
3. 粒料含水量及含泥量

# New RC 混凝土產製主要問題




**粒料佔混凝土體積約70%，為強度及體積穩定性之關鍵，提供穩定高品質之粒料為高強度混凝土成功關鍵。**

國立臺灣大學 National Taiwan University
高強度鋼筋混凝土 New RC專家座談會
台北, March 25, 2015

# New RC 混凝土生產供應管制作業

除依普通混凝土相關品管規定外，

混凝土材料包含水泥、粗細粒料、拌和水及摻料等。其相關品質與品管檢驗規定參考**內政部頒「混凝土結構設計規範」附篇 E 有關材料之品質要求**，及**中國土木水利工程學會出版之土木 402-94a「混凝土工程施工規範與解說」第二～三章**之相關規定。

混凝土材料之品質應事先獲得監造單位認可，未經監造單位同意，其材料來源與品質不得變更。

混凝土之工地檢驗、試體製作、試體準備等工作均需由合格工地檢驗技術人員為之，試驗室之工作則需由合格試驗室試驗技術人員為之。

**建議對粒料作特別管制。**

# New RC 混凝土生產供應管制作業

## 粒料管制

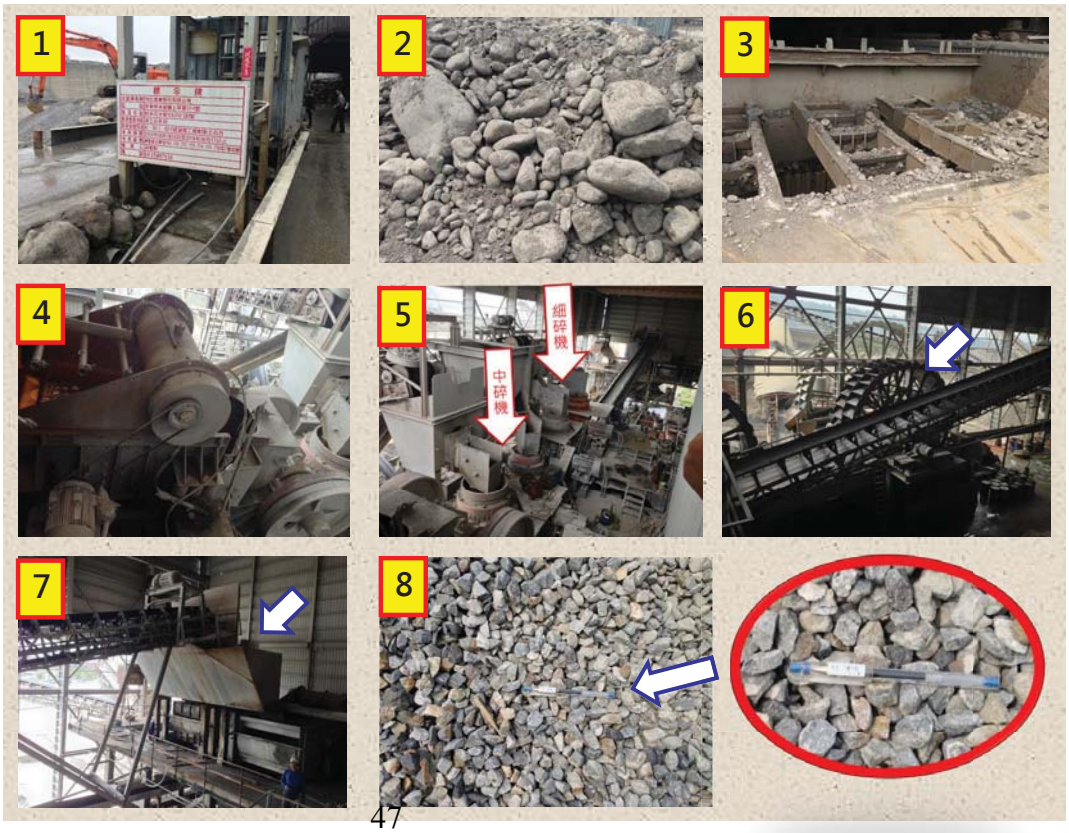
| 原料料源 | 粒料進廠管制 | 生產管制 | 施工管制 |
|---|---|---|---|
| ◆水泥<br>◆矽灰<br>◆無收縮添加劑<br>◆化學摻料<br>◆水<br>◆粒料 | ◆產地<br>◆淘洗去除表面污泥<br>◆專用料倉<br>◆設置監控錄影機<br>◆分批進場，分批檢驗，粒料物化性質驗證<br>1. S.S.D比重<br>2. 吸水率<br>3. 洛杉磯磨損率<br>4. 硫酸鈉健度試驗<br>5. 扁平、細長、扁平率<br>6. 篩分析<br>◆粒料使用量控管紀錄 | ◆配比設計、廠試拌<br>◆根據粒料含水率，重新計算拌和水量<br>◆供料前一天(駐廠)<br>1.取樣作化性<br>2.留樣作物性<br>◆供料當天(駐廠)<br>1. 每車次進行坍流度試驗<br>2. 每車次T50坍流時間<br>3. 塑性沈降量量測<1mm<br>4. 每100m³製作膨脹率試體 | |

國立臺灣大學 National Taiwan University
高強度鋼筋混凝土 New RC專家座談會
台北, March 25, 2015

# New RC 混凝土生產供應管制作業

## 供應料源訪查

1.砂石場勘查
↓
2.疏濬未破碎粒石
↓
3.未破碎石進料口
↓
4.大破—顎碎機
↓
5.中碎機→細碎機
↓
6.泥砂分離機
↓
7.篩分碎石
↓
8.完成品3分石粒料



# New RC 混凝土生產供應管制作業

## 粒源管制

**長期、定期，留樣取樣（顏色，表面等物化性）及確認來源**

- 不同區域確有差異
- 用檢驗以管制料源
- 每二週要求混凝土供應商取樣送驗，建立粒料物化性資料庫

| Sample: | 力泰樣品 | |
|---|---|---|
| Compound | Value | Unit |
| SiO2 | 84.917 | % |
| Al2O3 | 13.629 | % |
| Fe2O3 | 5.45 | % |
| CaO | 0 | % |
| MgO | 1.396 | % |
| SO3 | 0.349 | % |
| K2O | 1.628 | % |
| Na2O | 0.721 | % |
| P2O5 | 0.064 | % |
| TiO2 | 0.643 | % |
| SrO | 0.027 | % |
| MnO | 0.08 | % |

| Sample: | 國產樣品 3/25 | |
|---|---|---|
| Compound | Value | Unit |
| SiO2 | 83.988 | % |
| Al2O3 | 13.961 | % |
| Fe2O3 | 7.107 | % |
| CaO | 0 | % |
| MgO | 1.731 | % |
| SO3 | 0.346 | % |
| K2O | 1.653 | % |
| Na2O | 0.752 | % |
| P2O5 | 0.056 | % |
| TiO2 | 0.74 | % |
| SrO | 0.022 | % |
| MnO | 0.133 | % |

| Sample: | 國產樣品 2/12 | |
|---|---|---|
| Compound | Value | Unit |
| SiO2 | 85.826 | % |
| Al2O3 | 11.542 | % |
| Fe2O3 | 4.458 | % |
| CaO | 0 | % |
| MgO | 1.042 | % |
| SO3 | 0.317 | % |
| K2O | 1.308 | % |
| Na2O | 0.951 | % |
| P2O5 | 0.054 | % |
| TiO2 | 0.54 | % |
| SrO | 0.028 | % |
| MnO | 0.097 | % |

| Sample: | RUENTEX 3/27 | |
|---|---|---|
| Compound | Value | Unit |
| SiO2 | 9.23 | % |
| Al2O3 | 2.458 | % |
| Fe2O3 | 0.224 | % |
| CaO | 86.254 | % |
| MgO | 0.892 | % |
| SO3 | 0.184 | % |
| K2O | 0.119 | % |
| Na2O | 0.093 | % |
| P2O5 | 0.026 | % |
| TiO2 | 0.082 | % |
| SrO | 0.111 | % |
| MnO | 0.028 | % |

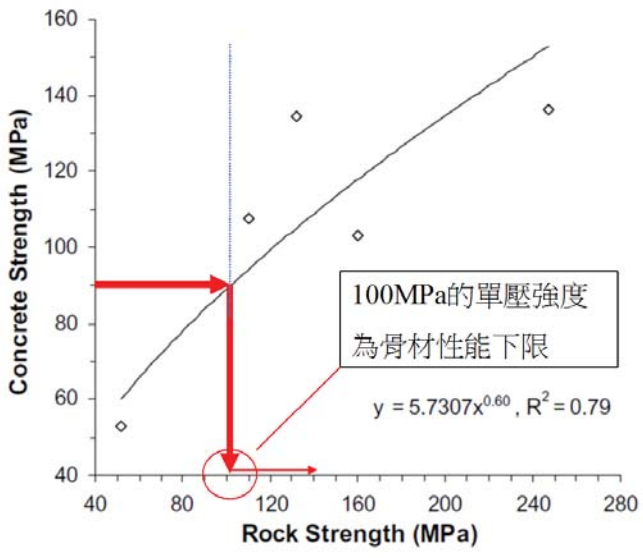
國立臺灣大學 National Taiwan University
高強度鋼筋混凝土 New RC專家座談會
台北, March 25, 2015

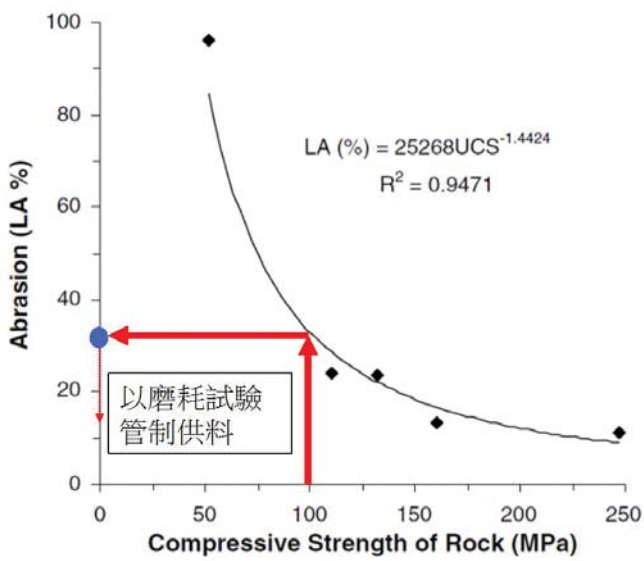
# New RC 混凝土生產供應管制作業

## 粒料物化性質驗證

物理性質（以f'c= 90MPa為例）

1. 母岩鑽心 > 100MPa。
2. **洛杉磯磨耗**數值<30%。
3. 其他依試拌配比使用粒料性能，進行驗證。



# New RC 混凝土生產供應管制作業

## 粗細粒料以密閉料倉儲存，嚴格控制水份




國立臺灣大學 National Taiwan University
高強度鋼筋混凝土 New RC專家座談會
台北, March 25, 2015

# New RC 混凝土生產供應管制作業

## 粗細粒料以密閉料倉儲存，嚴格控制水份

- 砂石品質分析
- 使用噴霧設備，保持含水量穩定
- 砂石分倉儲存

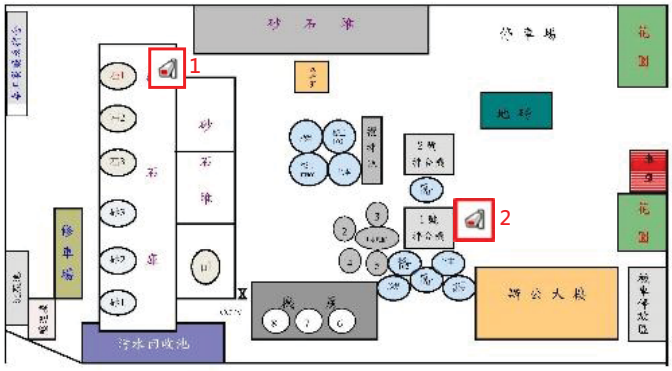


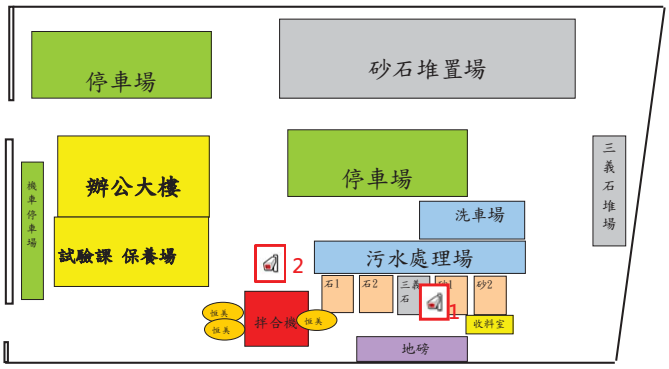




# New RC 混凝土生產供應管制作業

1. 混凝土供應商以獨立料倉**於施工前入倉堆置，由駐廠人員取樣**
2. 粗料粒進料出料系統管制，記錄**含水率，重新計算拌和水量**




1



**進料監視系統管制:**

- **全程監視系統監控**
- **控制盤定位進料**

2



**出料監視系統管制:**

- **配比由電腦設定料倉**
- **使用量每日回饋**

國立臺灣大學 National Taiwan University
高強度鋼筋混凝土 New RC專家座談會
台北, March 25, 2015

# New RC 混凝土生產供應管制作業

建議於合約中，分別針對

1. **配比性能**
2. **使用原物料**
3. **廠試拌驗證作業**
4. **施工前抽驗**
5. **施工管理**

作詳細規定，以確保混凝土品質，減少後續糾紛。

# New RC 混凝土生產供應管制作業

## 實際案例 (潤泰台北南山廣場, 15000psi)　配比性能

2.1　材料

2.1.1　鋼柱內填充無收縮自充填混凝土之硬固混凝土性質要求：

| 試驗項目 | | 品質要求 | 試驗方法 |
|---|---|---|---|
| 91 天齡期試體抗壓強度 | 12000 等級 | >840kg/cm$^2$ | CNS C1232 |
| | 10000 等級 | >700kg/cm$^2$ | |
| 91 天齡期試體膨脹率 | | (0.04±0.02) % | CNS C14603 |
| 24 小時泌水率 | | <0.02cm$^3$/cm$^2$ | CNS 1235 |
| 24 小時試體塑性沈降量 | | 2mm 以下 | JASS 5T-503:2009 |

2.1.2　本工程使用無收縮特性之自充填混凝土，其新拌混凝土的物理特性，應滿足 CNS 14841 粉體系之 R2 等級要求。

國立臺灣大學 National Taiwan University
高強度鋼筋混凝土 New RC專家座談會
台北, March 25, 2015

# New RC 混凝土生產供應管制作業

## 實際案例 (潤泰台北南山廣場, 15000psi)　使用原物料

2.1.3　本工程使用無收縮特性自充填混凝土配比之組成物料除應滿足國家標準外，特別要求如下：

A. 使用 CNS 61 之卜特蘭 II 型水泥。

B. 使用矽灰之 SiO2 成分應大於 90%、LOI 應小於 3%、比表面積應大於 20000 m2/kg，其用以取代部分水泥量，相對於水泥之使用量至少 5%，使用矽灰之性質可詳見附件。

C. 配比使用三分石為粗骨材，其來源應為大雪山系之硬質砂岩；使用骨材之洛杉磯磨耗測試數值應 20%以下、硫酸鈉健度試驗損失量應為 10%以下，供應商應就使用骨材送交本司確認後方得使用，使用骨材性質可參考附件。

D. 細骨材細度模數 FM=2.9±0.2。

E. 本工程使用之無收縮添加劑，應以鈣礬石為主要成分，不同配比使用之無收縮添加劑用量可參考附件，並應以試拌結果確認之。

F. 化學摻料應符合 CNS12833 流動化混凝土用化學摻料。

G. 空氣含氣量小於 3%。

H. 配比用水量不超過 170kg/m3。

# New RC 混凝土生產供應管制作業

## 實際案例 (潤泰台北南山廣場, 15000psi)　廠試拌驗證作業

2.1.5　供料商應以試拌方式，進行無收縮自充填混凝土之廠試拌，用以確認性質符合需求，廠試拌過程，除 2.1.1、2.1.2 節之測試項目外，應統計配比單位重供參。

國立臺灣大學 National Taiwan University
高強度鋼筋混凝土 New RC專家座談會
台北, March 25, 2015

# New RC 混凝土生產供應管制作業

## 實際案例 (潤泰台北南山廣場, 15000psi)　施工前抽驗

3.1.1　每次供應無收縮自充填混凝土前，供料商應以獨立料艙方式，進行骨材原料的儲放，以供駐廠人員抽驗。

3.1.2　施工前，施工承商應確認無收縮化學摻料之添加計畫，內容至少包括每次施工前後無收縮添加劑應進行數量的檢算供駐廠人員確認，以防止無收縮化學摻料添加過量或不足。

3.1.3　施工單位應於施工前擬具施工泵送計畫，內容含括泵送佈設、泵送配管與管徑、泵送設備性能等資料由工程司審核後方可施工。

# New RC 混凝土生產供應管制作業

## 實際案例 (潤泰台北南山廣場, 15000psi)　施工管理

3.2　施工管理

3.2.1　柱內灌漿時，施工單位應控制澆置鋼管內無收縮自充填混凝土升高的速率應於 0.5m/每分鐘以下。

3.2.2　每次無收縮自充填混凝土出貨單上，應載明出廠時間；送抵工地後，應交由現場監造人員確認無收縮自充填混凝土送抵時間，兩者時間不得超過 1 小時，否則予以退車處理。

3.2.3　施工時，無收縮自充填混凝土供應商，應以每 50m3 取樣乙次之取樣頻率，配合進行強度、坍流度的施工檢驗。

3.2.3　若現場檢驗之坍流度值、坍流時間不符規範要求，則依不足比例進行扣款。

3.2.4　若 φ15x30 試體之沈降量大於[1mm]或泌水率超過[0.1cm3/cm2]，則施工單位應即警戒並通知混凝土供應商進行配比的確認與檢討。

國立臺灣大學 National Taiwan University
高強度鋼筋混凝土 New RC專家座談會
台北, March 25, 2015

# Thank you ☺

Wen-Cheng Liao
wcliao@ntu.edu.tw

# 螺紋節鋼筋在高強度混凝土之直線伸展設計




Research Fellow
林克強 Ker-Chun Lin
kclin@ncree.narl.org.tw
國家地震工程研究中心

紀凱甯、邱建國
台灣科技大學

March 25, 2015

## Contents

- Background
- Objectives
- Geometric Pattern of Threaded Bars
- Experimental Program
- Strength Results
- Splitting Results
- Summary
- Verification Test

# Background

- 超高強度鋼筋不允許銲接與製作標準彎曲加工。
- 採用螺紋節鋼筋
- 配合預鑄工法的應用









- 灌漿式鋼筋續接套筒
- 灌漿式鋼筋端部錨定裝置

NCREE

# Objectives

## ACI 318-11 and Taiwan (2011) Codes

### Straight Development length in tension (unit : SI)

$$l_d = \frac{A_b \cdot f_s}{\pi \, u \, d_b} \Rightarrow l_d = 0.9 \frac{f_y}{\sqrt{f_c'}} \frac{1}{\left( \frac{c_b + k_{tr}}{d_b} \right)} d_b$$

### Limitations for Equation

- $f_y \leqq 412$ MPa
- $f_c' \leqq 70$ MPa

$$1.0 \leq \left( \frac{c_b + K_{tr}}{d_b} \right) \leq 2.5$$

$$K_{tr} = \frac{40 A_{tr}}{sn} \quad \text{(ACI 318-11)}$$

$$K_{tr} = \frac{A_{tr} f_{yt}}{10.3 sn} \quad \text{(Taiwan, 2011)}$$

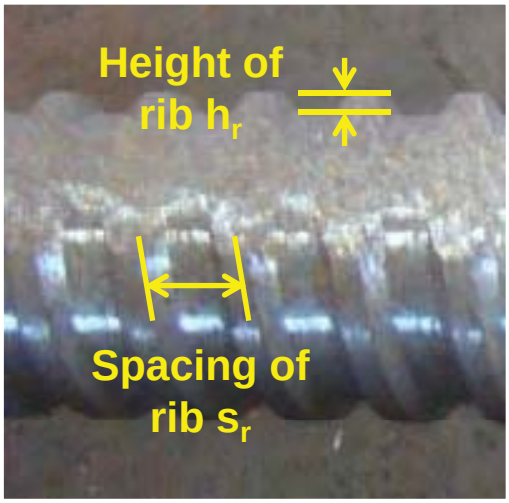
12.1.2 — The values of $\sqrt{f_c'}$ used in this chapter shall not exceed 100 psi.

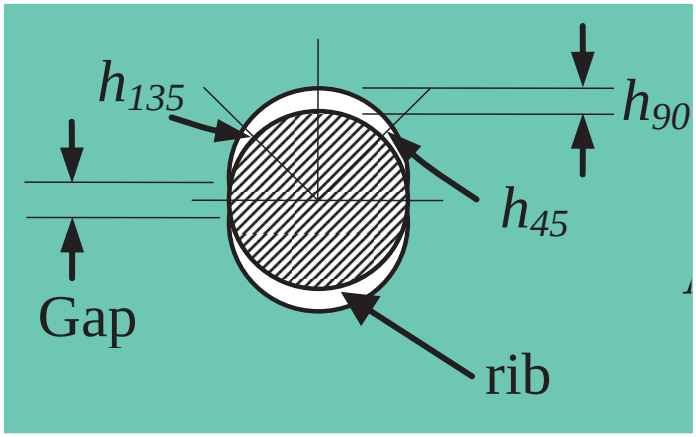
From 1989

NCREE

# Parameter of Threaded Rebar

## Relative Rib Area $R_r$



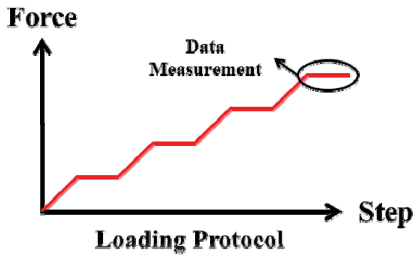

$$R_r = \frac{\text{bearing area}}{\text{shear area}} \approx \frac{h_r}{s_r}$$

Max. $h_r = h_{90}$

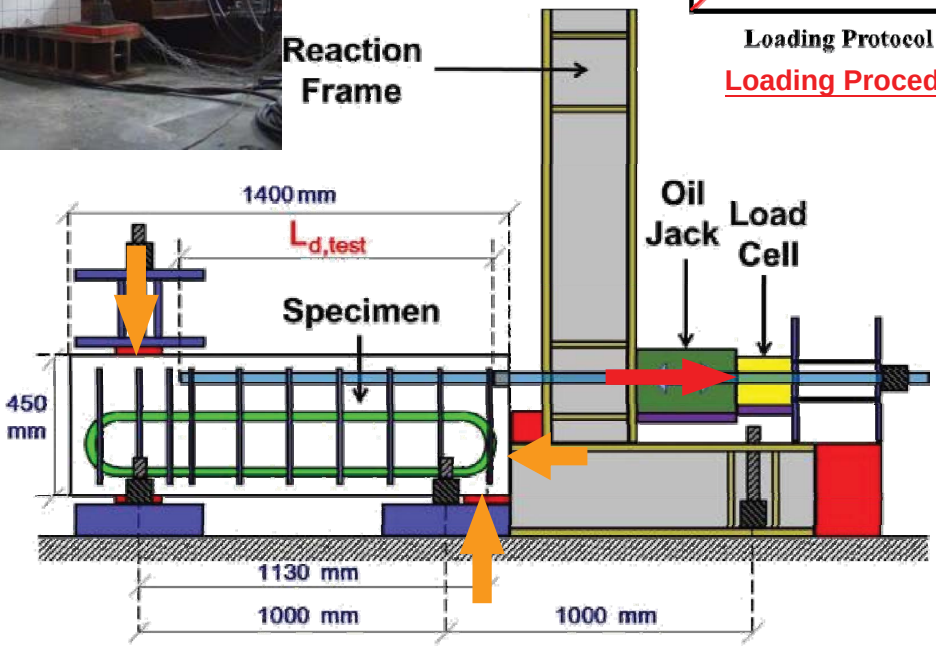
Avg. $h_r = (h_{90}+h_{45}+h_{135})/3$

# Experimental Program

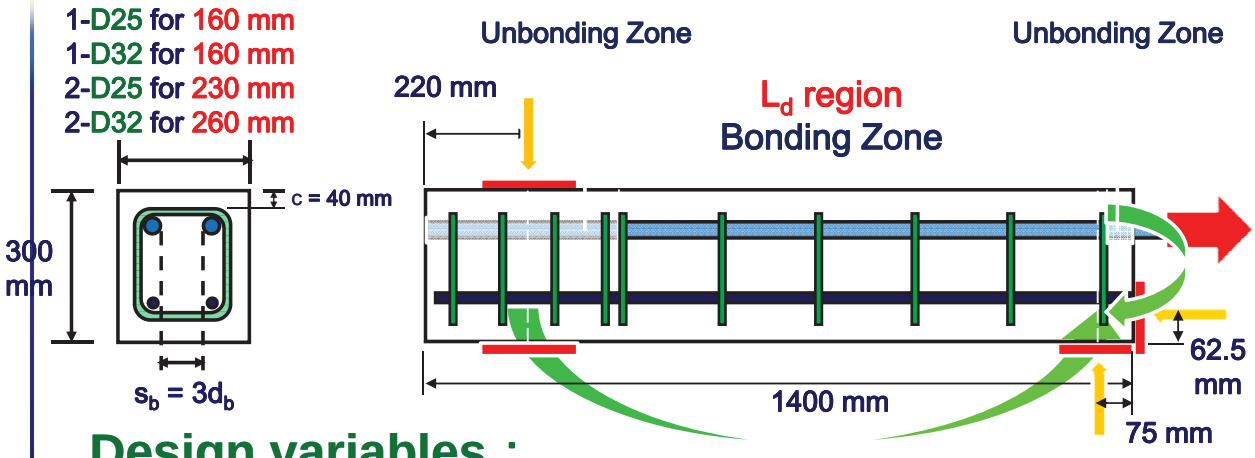





Loading Procedure



# Design Variables of Specimens (I)




## Design variables :

1. Bar size : D25, D32
2. Number of bars : 1, 2-($3d_b$)
3. $L_{d,test}$ / $L_{d,dem}$ : 0.6, 0.8, 1.0
4. $h_r$ / $s_r$ : 0.126, 0.143
5. $f_c$' : 70 MPa



NCREE

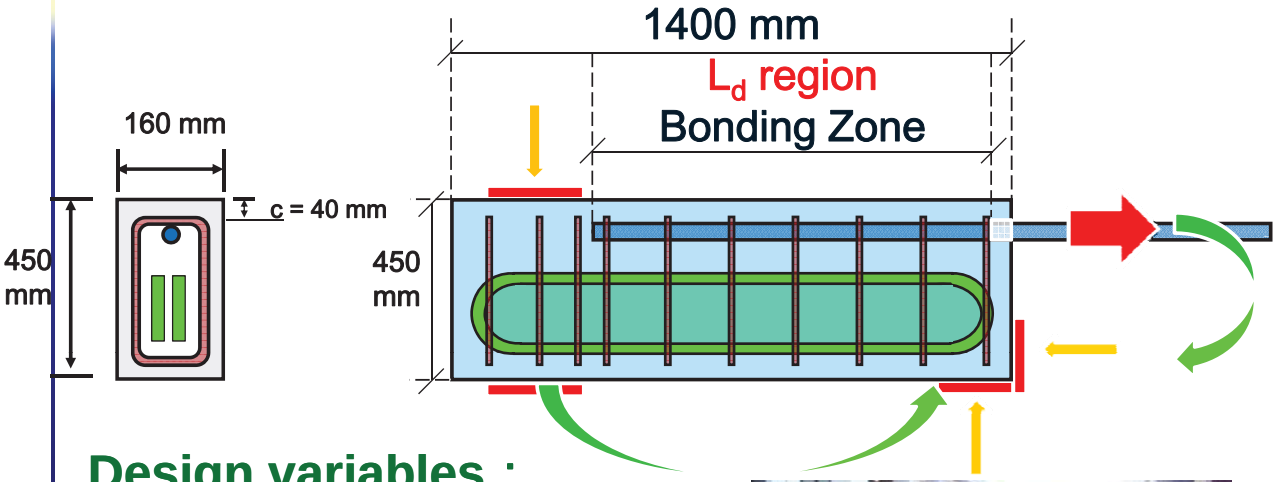
# Design of Specimens (I)

| Spec. | Width (mm) | $d_{b,b}$ (mm) | $d_{b,s}$ (mm) | $f_c$' (MPa) | $f_y$ (MPa) | $c$ (mm) | $n_b$ | $s_b$ (mm) | $S_s$ (mm) | $K_{tr}$ (mm) | D. Length | | Ratio |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | | | | $L_{d,dem}$ (mm) | $L_{d,test}$ (mm) | $\frac{L_{d,test}}{L_{d,dem}}$ |
| BE1 | 160 | 25 | 12.7 | 70 | 685 | 40 | 1 | 0 | 200 | 25.4 | 762 | 750 | 0.98 |
| BE2 | 160 | 25 | 12.7 | 70 | 685 | 40 | 1 | 0 | 200 | 25.4 | 762 | 600 | 0.79 |
| BE3 | 160 | 25 | 12.7 | 70 | 685 | 40 | 1 | 0 | 200 | 25.4 | 762 | 450 | 0.59 |
| BE4 | 230 | 25 | 12.7 | 70 | 685 | 40 | 2 | 76.2 | 100 | 50.7 | 762 | 750 | 0.98 |
| BE7 | 160 | 32 | 12.7 | 70 | 685 | 40 | 1 | 0 | 200 | 25.4 | 966 | 950 | 0.98 |
| BE8 | 160 | 32 | 12.7 | 70 | 685 | 40 | 1 | 0 | 200 | 25.4 | 966 | 750 | 0.78 |
| BE9 | 160 | 32 | 12.7 | 70 | 685 | 40 | 1 | 0 | 200 | 25.4 | 966 | 600 | 0.62 |
| BE10 | 260 | 32 | 12.7 | 70 | 685 | 40 | 2 | 96.6 | 100 | 50.7 | 966 | 950 | 0.98 |

Depth : 300 mm

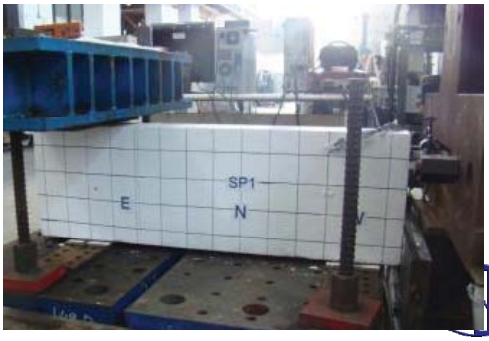
NCREE

# Design Variables of Specimens (II)




**Design variables :**

1. Bar size : D32, D39
2. Geometry : Thread, Plain
3. $f_c'$ : 70, 100 MPa
4. $f_{yt}$ : 280, 420, 785 MPa
5. $R_r = h_r / s_r$ : 0, 0.13, 0.16, 0.18




NCREE

# Design of Specimens (II)

| Spec. | Width (mm) | $d_{b,b}$ (mm) | $d_{b,s}$ (mm) | $f_c'$ (MPa) | $f_y$ (MPa) | $f_{yt}$ (MPa | $c_b$ (mm) | $S_s$ (mm) | $K_{tr}$ (mm) | D. Length | | Ratio |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | | | $L_{d,dem}$ (mm) | $L_{d,test}$ (mm) | $\frac{L_{d,test}}{L_{d,dem}}$ |
| SP1 | 160 | 32 | 13 | 70 | 685 | 420 | 77.8 | 180 | 28.2 | 945 | 950 | 1.00 |
| SP2 | 160 | 32 | 13 | 100 | 685 | 420 | 77.8 | 180 | 28.2 | 945 | 950 | 1.00 |
| SP3 | 160 | 32 | 13 | 70 | 685 | 420 | 77.8 | 150 | 33.8 | 945 | 500 | 0.53 |
| SP4 | 160 | 32 | 13 | 100 | 685 | 420 | 77.8 | 150 | 33.8 | 945 | 500 | 0.53 |
| SP5 | 160 | 32 | 13 | 70 | 685 | 420 | 77.8 | 175 | 29.0 | 945 | 750 | 0.79 |
| SP6 | 160 | 32 | 13 | 100 | 685 | 420 | 77.8 | 175 | 29.0 | 945 | 750 | 0.79 |
| SP7 | 160 | 39 | 13 | 70 | 490 | 420 | 77.6 | 188 | 27.0 | 813 | 800 | 0.98 |
| SP8 | 160 | 39 | 13 | 100 | 490 | 420 | 77.6 | 188 | 27.0 | 813 | 800 | 0.98 |
| SP9 | 160 | 32 | 13 | 70 | 490 | 420 | 77.8 | 183 | 27.6 | 676 | 600 | 0.89 |
| SP10 | 160 | 32 | 13 | 100 | 490 | 420 | 77.8 | 183 | 27.6 | 676 | 600 | 0.89 |
| SP11 | 160 | 39 | 13 | 70 | 490 | 280 | 77.6 | 180 | 28.2 | 813 | 950 | 1.17 |
| SP12 | 160 | 39 | 13 | 100 | 490 | 280 | 77.6 | 180 | 28.2 | 813 | 950 | 1.17 |
| TD1 | 160 | 32 | 13 | 70 | 685 | 785 | 77.8 | 170 | 29.8 | 945 | 950 | 1.00 |
| TD2 | 160 | 32 | 13 | 70 | 685 | 785 | 77.8 | 170 | 29.8 | 945 | 950 | 1.00 |

NCREE

Depth : 450 mm

# Actual Concrete Strength

| Specimen | $f_c'$, Testing Day (MPa) |
|---|---|
| BE1~BE3 | 64.3 |
| BE4 | 62.7 |
| BE7~BE9 | 90.9 |
| BE10 | 91.8 |
| SP1 | 80.4 |
| SP2 | 110.6 |
| SP3 | 84.8 |
| SP4 | 110.7 |
| SP5 | 90.7 |
| SP6 | 106.2 |

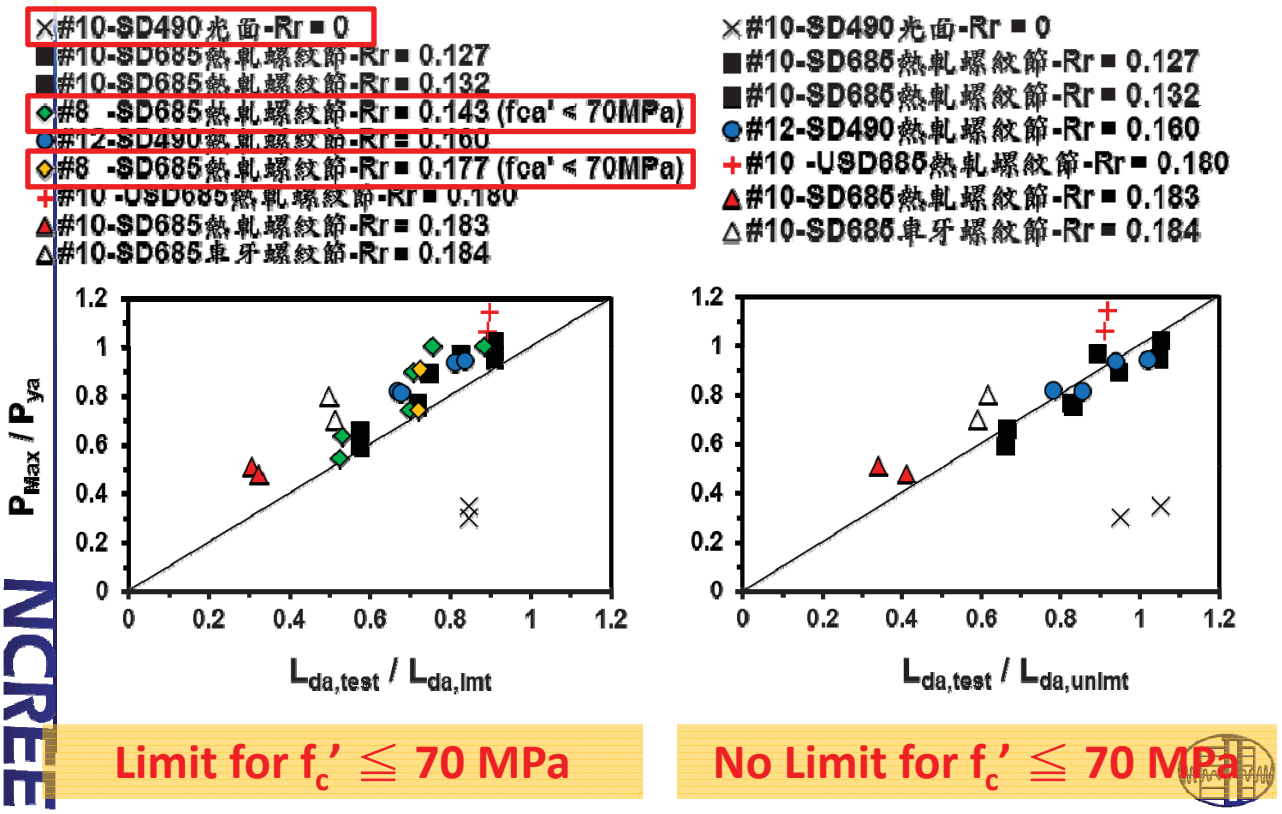
| Specimen | $f_c'$, Testing Day (MPa) |
|---|---|
| SP7 | 93.8 |
| SP8 | 109.0 |
| SP9 | 86.6 |
| SP10 | 106.4 |
| SP11 | 91.4 |
| SP12 | 102.3 |
| TD1 | 71.8 |
| TD2 | 71.8 |

**Only BE1-BE4**
**$f_c' \leqq 70$ MPa**

# Actual Reinforcement Strength

| Group | Spec. Name | Bar Size | Type | $h_r$ (mm) | $s_r$ (mm) | Relative of Area, $R_r$ | Yield $f_{ya}$(MPa) | Ult. $f_{ua}$ (MPa) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Series (I) | BE1-BE4 | D25 | SD685 Hot Roll | 1.44 | 10.0 | 0.143 | 738 | 932 |
| | BE7-BE10 | D32 | SD685 Hot Roll | 1.50 | 11.9 | 0.126 | 742 | 966 |
| Series (II) | SP1-SP2 | D32 | SD685 Hot Roll | 1.56 | 11.88 | 0.131 | 710 | 924 |
| | SP3-SP4 | | | 2.21 | 12.06 | 0.183 | 716 | 933 |
| | SP5-SP6 | | SD685 Milled | 2.21 | 12.01 | 0.184 | 777 | 971 |
| | SP9-SP10 | | SD490 Plain | X | X | X | 503 | 698 |
| | SP7-SP8 SP11-SP12 | D39 | SD490 Hot Roll | 2.37 | 14.8 | 0.160 | 534 | 701 |
| | TD1-TD2 | D32 | USD685 Hot Roll | 2.22 | 12.34 | 0.180 | 693 | 925 |

# Test Results - Strength




Limit for $f_c' \leqq 70$ MPa

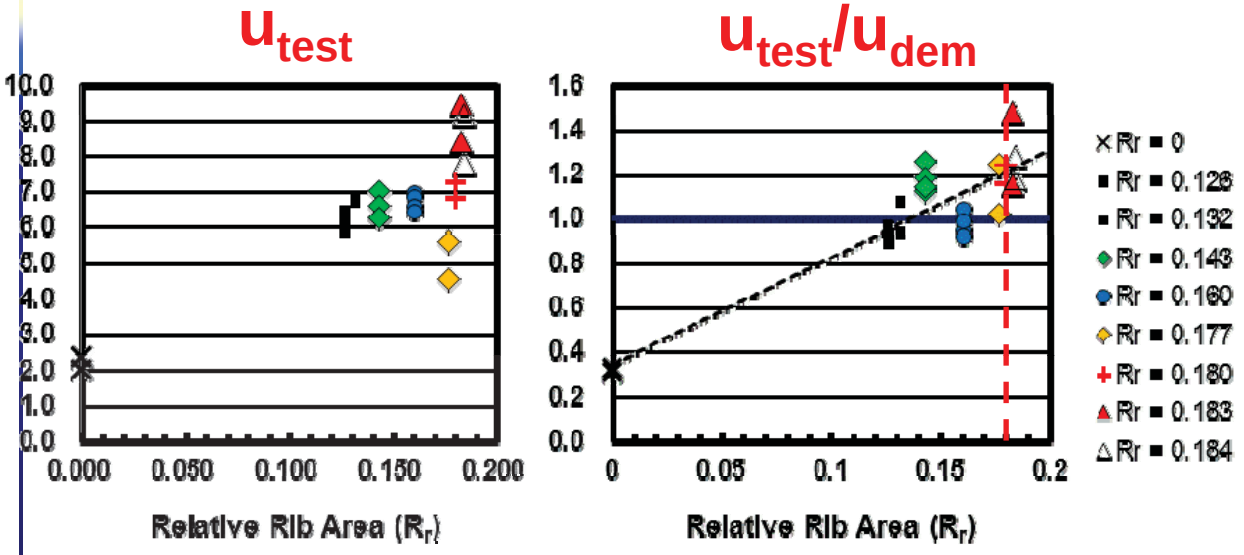
No Limit for $f_c' \leqq 70$ MPa

# Bond Stress

$$u_{dem} = \frac{A_b \times f_s}{\pi \times d_b \times \ell_d} = \frac{\frac{\pi d_b^{\,2}}{4} \times f_s}{\pi \times d_b \times \frac{0.9 f_s \times d_b}{\sqrt{f_{ca}'}\left(\frac{c_b + K_{tr}}{d_b}\right)}}$$

$$= \frac{\sqrt{f_{ca}'}\left(\frac{c_b + K_{tr}}{d_b}\right)}{3.6} = \frac{(1 \sim 2.5)\sqrt{f_{ca}'}}{3.6}$$

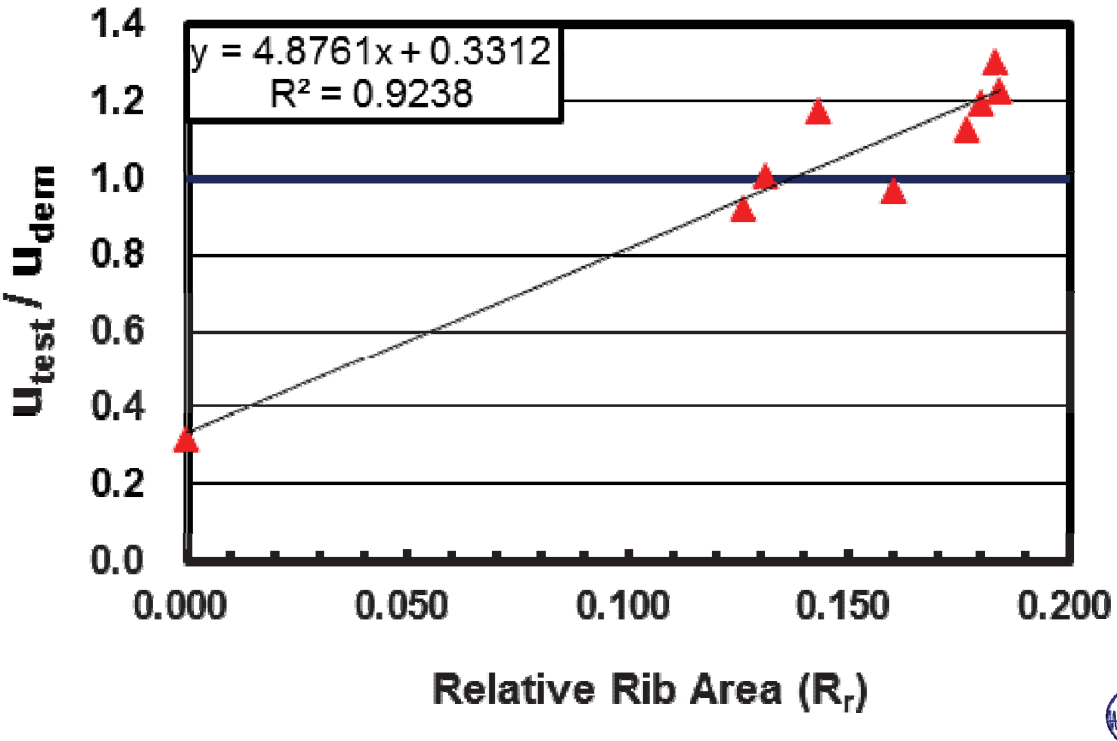
# Bond Stress




$$u_{dem} = \frac{A_b \times f_s}{\pi \times d_b \times \ell_d} = \frac{\frac{\pi d_b^{\,2}}{4} \times f_s}{\pi \times d_b \times \frac{0.9 f_s \times d_b}{\sqrt{f_{ca}'}\left(\frac{c_b + K_{tr}}{d_b}\right)}} = \frac{\sqrt{f_{ca}'}\left(\frac{c_b + K_{tr}}{d_b}\right)}{3.6} = \frac{(1 \sim 2.5)\sqrt{f_{ca}'}}{3.6}$$

NCREE

# Bond Stress




NCREE

# Test Results – Splitting (I)

| Specimen ($n_b$ = 1) | $\frac{c_b + K_{tr}}{d_b}$ | | Splitting | |
|---|---|---|---|---|
| | Top cover | Side cover | Top cover | Side cover |
| BE1 – BE3 | 3.64 | 4.22 | ■ | – |
| BE7 – BE9 | 2.94 | 3.29 | ■ | ■ |

BE1 – BE3




BE7 – BE9




$\left(\frac{c_b + K_{tr}}{d_b}\right) \approx 3.65$ is a upper bound for splitting

NCREE

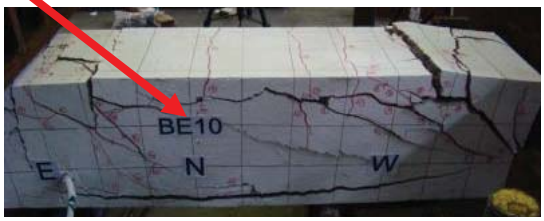
# Test Results – Splitting (I)

| Specimen ($n_b$ = 2) | $\frac{c_b + K_{tr}}{d_b}$ | | | Splitting | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Top cover | Side cover | Bar spacing | Top | Side |
| BE4 | 4.64 | 4.63 | 4.03 | – | – |
| BE10 | 3.73 | 3.65 | 3.58 | – | ■ |

BE4




BE10




$\left(\frac{c_b + K_{tr}}{d_b}\right) \approx 3.65$ is a upper bound for splitting

NCREE

# Test Results – Splitting (II)

| Specimen | $\frac{c_b + K_{tr}}{d_b}$ | | Splitting | |
|---|---|---|---|---|
| | Top cover | Side cover | Top cover | Side cover |
| SP1 – SP6 | 3.36 | 3.43 | ■ | ■ |
| SP7 – SP8<br>SP11 – SP12 | 2.72 | 2.78 | ■ | ■ |

SP1-SP6




SP7-SP8, SP11-SP12



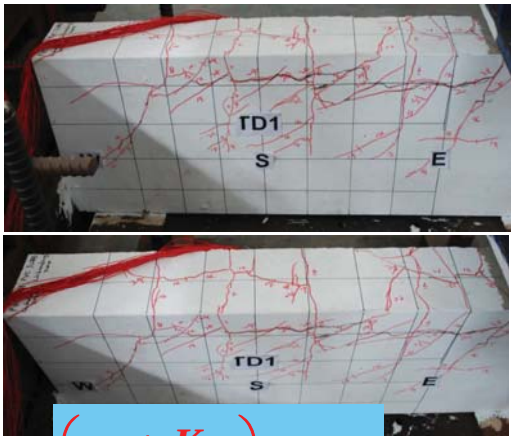

$\left(\frac{c_b + K_{tr}}{d_b}\right) \approx 3.65$ is a upper bound for splitting

NCREE

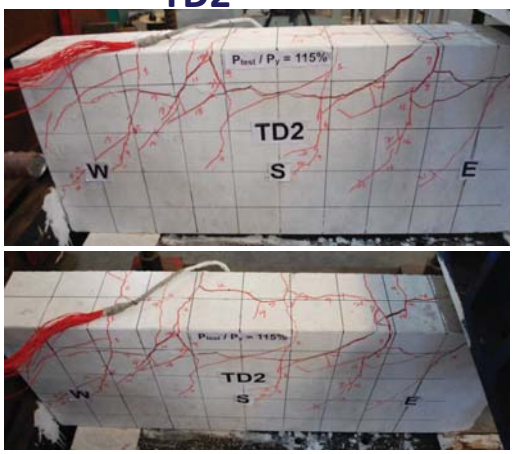
# Test Results – Splitting (II)

| Specimen | $\frac{c_b + K_{tr}}{d_b}$ | | Splitting | |
|---|---|---|---|---|
| | Top cover | Side cover | Top cover | Side cover |
| TD1 – TD2 | 3.34 | 3.41 | ■ | ■ |

TD1




TD2



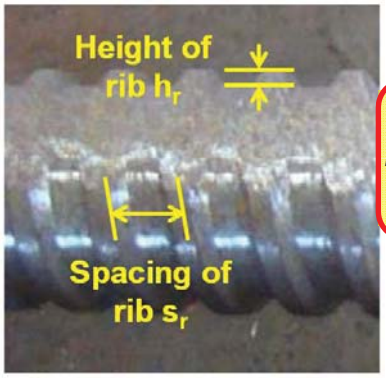

$\left(\frac{c_b + K_{tr}}{d_b}\right) \approx 3.65$ is a upper bound for splitting

NCREE

# Interim Proposed Bond Model of Threaded Rebar within HRC

## Development length in tension following ACI 318 code (unit : SI)

$$l_d = 0.9 \frac{f_y}{\sqrt{f_c'}} \frac{1}{\left(\frac{c_b + k_{tr}}{d_b}\right)} d_b$$




$$R_{r,ave} = \frac{h_r}{s_r} \geq 0.18$$

## Limitations for Bond Equation

- $f_y \leqq 685$ MPa
- $f_{yt} \leqq 420$ MPa
- $f_c' \leqq 100$ MPa

$$1.0 \leq \left(\frac{c_b + K_{tr}}{d_b}\right) \leq 2.5$$

$$K_{tr} = \frac{A_{tr} f_{yt}}{10.3sn}$$

# Summary (II)

社團法人 台灣混凝土學會

Taiwan Concrete Institute

鋼筋混凝土用鋼筋

Steel bars for Concrete Reinforcement

—SD550W、SD685、SD785

新高強度鋼筋混凝土技術委員會報告

主任委員： 黃世建

副主任委員： 詹穎雯

幹　　事： 李宏仁 林克強

委　　員： 王裕成 王旭烈 李　釗
宋裕祺 何長慶 吳子良
侯瑞欽 陳正誠 陳奕信
陳國隆 夏市典 趙文成
蔡江洋 蔡益超

研究助理： 陳智軒 （按姓氏筆畫順序）

2014年09月審定版

**4. 形狀、尺度、質量及許可差**

4.5 鋼筋之節，其高度最小值及最大值依表2之規定。為確保鋼筋在混凝土之握裹強度，**竹節鋼筋稱號D22以上**，其節之高度平均值不得小於其節距平均值之**10%**；**螺紋節鋼筋稱號D22以上**，其節之高度平均值不得小於其節距平均值之**18%**。

表 4　螺紋節鋼筋之標示代號、單位質量、標稱尺度及節之尺度

| 鋼筋稱號 | 標示代號 | 單位質量 (W) kg/m | 標稱直徑 (d) mm | 標稱剖面積 (S) mm² | 標稱周長 (ℓ) mm | 節之尺度 | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | 節距平均值最大值 (P) mm | 節之高度(a) 最小值 (h) mm | 節之高度(a) 最大值 (H) mm | 單一間隙寬度最大值 (b) mm |
| D13 | 4 | 0.994 | 12.7 | 126.7 | 40 | 6.4 | 0.8 | 1.3 | 5.0 |
| D16 | 5 | 1.56 | 15.9 | 198.6 | 50 | 8.0 | 1.0 | 1.7 | 6.2 |
| D19 | 6 | 2.25 | 19.1 | 286.5 | 60 | 9.6 | 1.2 | 2.0 | 7.5 |
| D22 | 7 | 3.04 | 22.2 | 387.1 | 70 | 11.1 | 1.3 | 2.2 | 8.7 |
| D25 | 8 | 3.98 | 25.4 | 506.7 | 80 | 12.7 | 1.6 | 2.6 | 10.0 |
| D29 | 9 | 5.08 | 28.7 | 646.9 | 90 | 14.4 | 1.7 | 2.8 | 11.3 |
| D32 | 10 | 6.39 | 32.2 | 814.3 | 101 | 16.1 | 1.9 | 3.2 | 12.6 |
| D36 | 11 | 7.90 | 35.8 | 1007 | 113 | 17.9 | 2.2 | 3.6 | 14.1 |
| D39 | 12 | 9.57 | 39.4 | 1219 | 124 | 19.7 | 2.4 | 4.0 | 15.5 |
| D43 | 14 | 11.4 | 43.0 | 1452 | 135 | 21.5 | 2.5 | 4.2 | 16.9 |
| D50 | 16 | 15.5 | 50.2 | 1979 | 158 | 25.1 | 3.0 | 5.0 | 19.7 |
| D57 | 18 | 20.2 | 57.3 | 2579 | 180 | 28.7 | 3.5 | 5.8 | 22.5 |

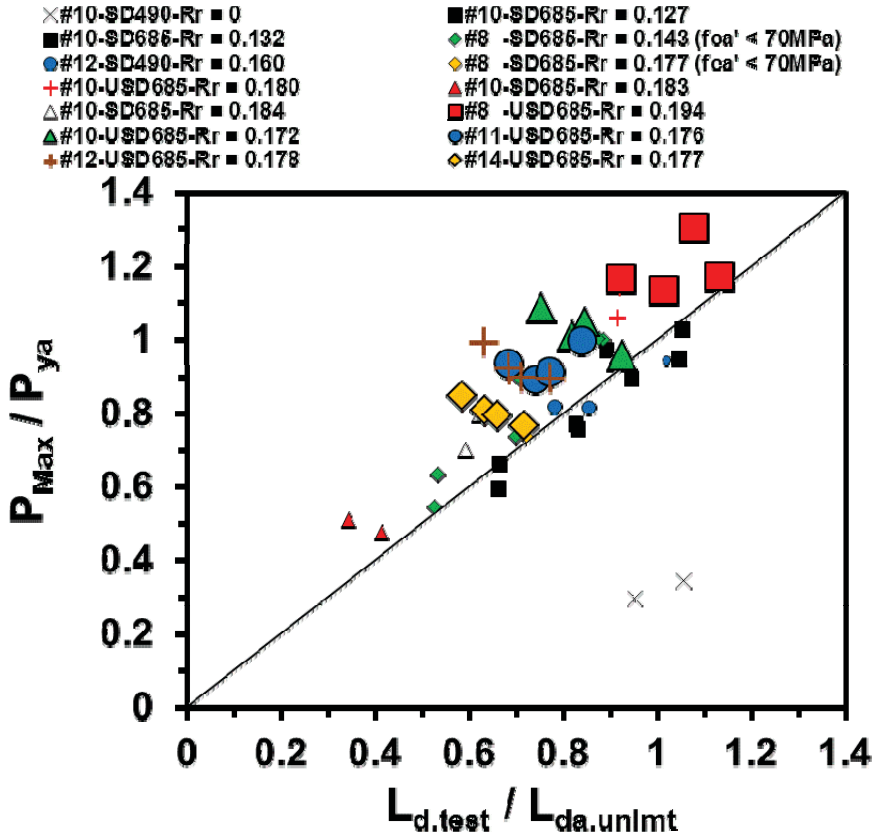
# Design Variables – 2014 Y.

## 變化混凝土強度、鋼筋號數及$c_b$進行探討

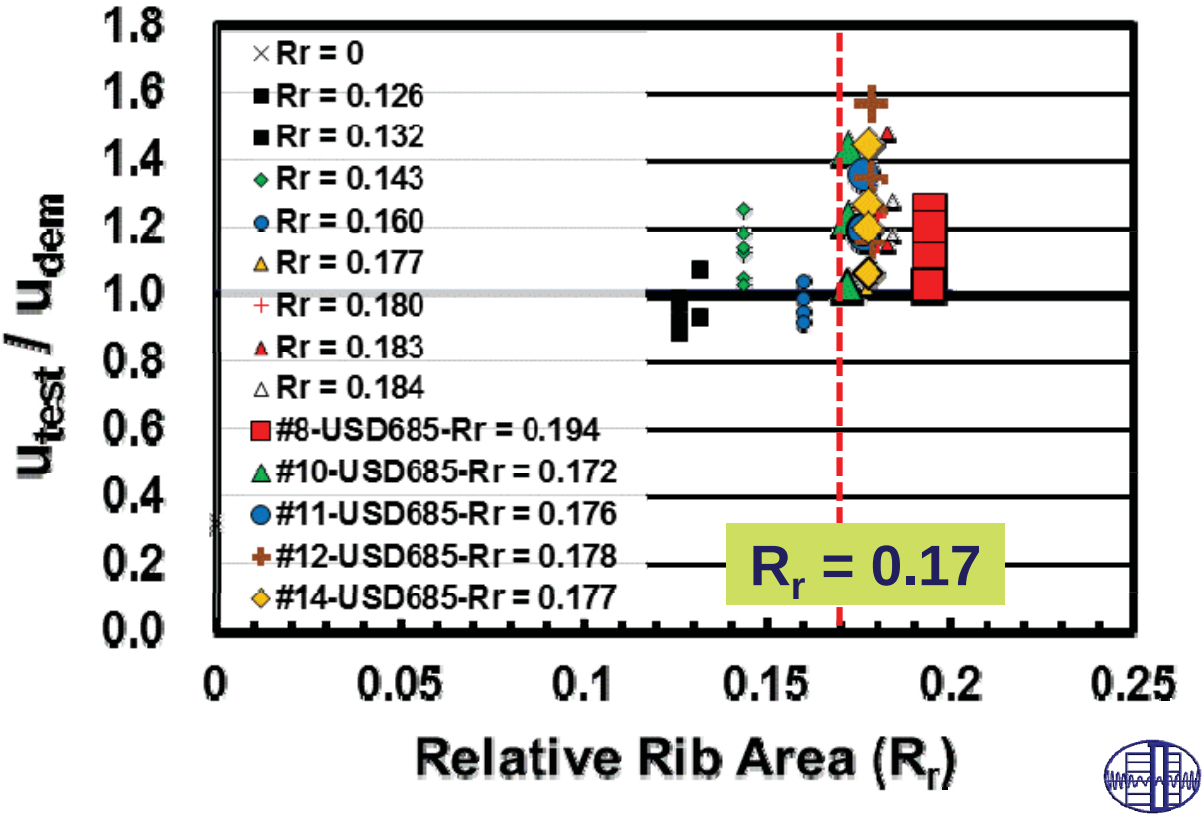
| Specimen Name | $d_{b,b}$ (mm) | $h_r$ (mm) | $s_r$ (mm) | $R_{r,ave}$ ($h_r$/ $s_r$) | $f_c'$ (MPa) | $f_y$ (MPa) | $f_{yt}$ (MPa) | $C_{b,top}$ (mm) | $C_{b,side}$ (mm) | $s_s$ (mm) | $\frac{c_b + K_{tr}}{d_b}$ | D. Length $L_{d,dem}$ (mm) | D. Length $L_{d,test}$ (mm) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| D25C4F56 | 25 | 2.03 | 10.4 | 0.194 | 56 | 685 | 785 | 70.7 | 80 | 200 | 3.84 | 821 | 750 |
| D25C4F8-V | | | | | 80 | | | | | | | 687 | 750 |
| D25C4F10 | | | | | 100 | | | | | | | 614 | 750 |
| D25C7F8 | | | | | 80 | | | 100.7 | | | 4.21 | 687 | 750 |
| D32C4F56 | 32 | 2.28 | 13.3 | 0.172 | 56 | | | 74.2 | 80 | | 3.11 | 1050 | 750 |
| D32C4F8-V | | | | | 80 | | | | | | | 879 | 750 |
| D32C4F10 | | | | | 100 | | | | | | | 786 | 750 |
| D32C7F8 | | | | | 80 | | | 104.2 | | | 3.29 | 879 | 750 |
| D35C4F56 | 35 | 2.46 | 14.0 | 0.176 | 56 | | | 75.7 | 80 | | 2.89 | 1149 | 750 |
| D35C4F8-V | | | | | 80 | | | | | | | 961 | 750 |
| D35C4F10 | | | | | 100 | | | | | | | 860 | 750 |
| D35C7F8 | | | | | 80 | | | 105.7 | | | 3.01 | 961 | 750 |
| D38C4F56 | 38 | 2.72 | 15.2 | 0.178 | 56 | | | 77.2 | 80 | | 2.70 | 1247 | 750 |
| D38C4F8-V | | | | | 80 | | | | | | | 1044 | 750 |
| D38C4F10 | | | | | 100 | | | | | | | 933 | 750 |
| D38C7F8 | | | | | 80 | | | 107.2 | | | 2.77 | 1044 | 750 |
| D41C4F56 | 41 | 2.83 | 16.0 | 0.177 | 56 | | | 78.7 | 80 | | 2.54 | 1346 | 750 |
| D41C4F8-V | | | | | 80 | | | | | | | 1126 | 750 |
| D41C4F10 | | | | | 100 | | | | | | | 1007 | 750 |
| D41C7F8 | | | | | 80 | | | 108.7 | | | 2.57 | 1126 | 750 |

Cross section of specimen : 160 x 450 mm

# Verification Test Results



# Verification Test Results







國家實驗研究院 National Applied Research Laboratories

國家地震工程研究中心 National Center for Research on Earthquake Engineering