

中華民國結構工程技師公會全國聯合會
台灣省、台北市、高雄市、新北市、台中市、台南市、桃園市 結構工程技師公會

『新版 RC 規範之主要變革部分說明』研討會

鋼筋直線伸展和機械續接

李宏仁

教授兼系主任

國立雲林科技大學營建工程系

2021.10.30 視訊



簡報大綱

- 鋼筋直線伸展與搭接長度
- 機械式續接設計相關規定
- 機械式續接檢驗
- 結語與展望



鋼筋續接之必要性

- 鋼筋廠庫存 18 m
- 拖板車運輸 9~12 m
- 徒手施工 6~9 m



鋼筋續接(Splice)之種類

- 搭接 (Lap splices)

- 適合小號鋼筋，大號鋼筋搭接長度過長，不適合

- 銲接 (Butt welded joint)

- 銲接高溫會使鋼筋局部變脆而影響強度與韌性

- 增進銲接性鋼筋W、合適銲接程序、技術人員…

- 以國內之施工環境，銲接品質管制是最大挑戰

- 機械式續接 (Mechanical splices)

- 大號鋼筋續接最常用的選擇（強度、韌度、經濟）



直線伸展長度 (詳細法)

我國規範
沒乘 Ψ_g

25.4.2.4 受拉竹節鋼筋及麻面鋼線之伸展長度 ℓ_d 之計算為：

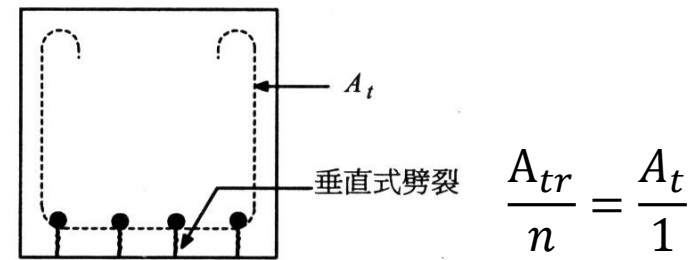
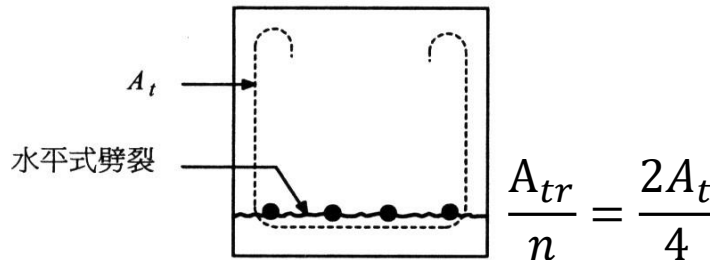
$$\ell_d = \left[\frac{f_y}{3.5\lambda\sqrt{f'_c}} \frac{\Psi_t\Psi_e\Psi_s}{\left(\frac{c_b + K_{tr}}{d_b}\right)} \right] d_b \quad \left[\ell_d = \left[\frac{f_y}{1.1\lambda\sqrt{f'_c}} \frac{\Psi_t\Psi_e\Psi_s}{\left(\frac{c_b + K_{tr}}{d_b}\right)} \right] d_b \right] \quad (25.4.2.4a)$$

式中圍束項 $(c_b + K_{tr})/d_b$ 之值不得大於2.5，且

$$K_{tr} = \frac{40A_{tr}}{sn} = \frac{A_{tr}(4200)}{105sn}$$

即使是高強度箍筋
也只能取4200

式中， n 為在劈裂面上待伸展或續接之鋼筋或鋼線之總根數。為簡化設計，即使有配置橫向鋼筋，仍可使用 $K_{tr}=0$ 計算。



25.4.2.2 當 $f_y \geq 5,600 \text{ kgf/cm}^2$ [550 MPa]之鋼筋，其中心距小於15 cm時，應配置橫向鋼筋使滿足 K_{tr} 不小於 $0.5d_b$ 。

直線伸展長度 (簡算法)

我國規範沒乘 ψ_g

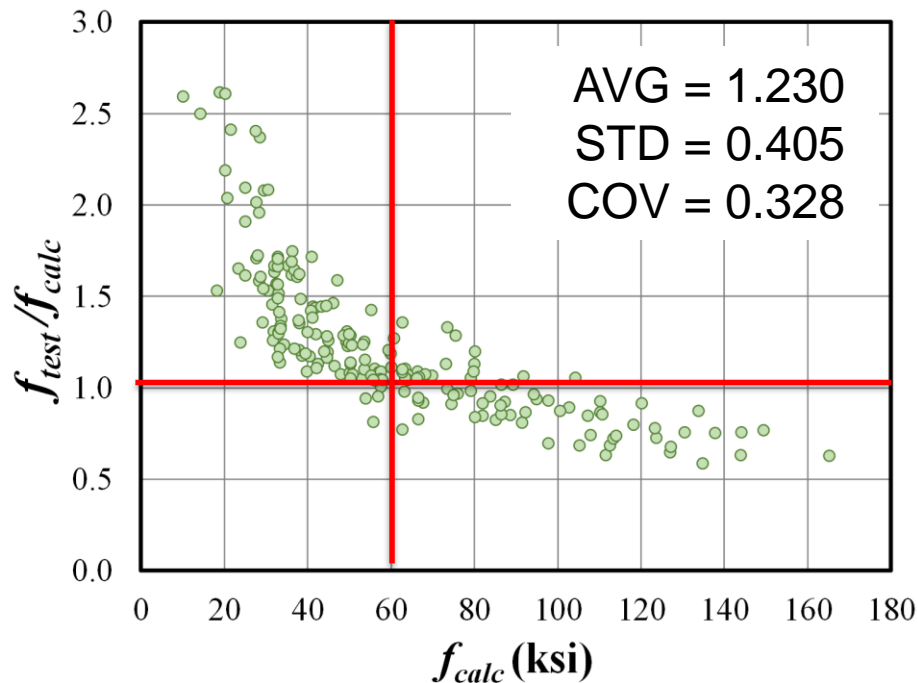
表25.4.2.3 受拉竹節鋼筋及麻面鋼線之伸展長度 (f'_c and f_y in kgf/cm^2)

$\left(\frac{c_b + K_{tr}}{d_b}\right) = 1.5$ 鋼筋間距及保護層厚度	D19及較小之鋼筋 與麻面鋼線	D22及 較大之鋼筋
待伸展或搭接之鋼筋或鋼線之淨間距不小於 d_b ，淨保護層厚至少 d_b ，以及 ℓ_d 範圍內肋筋或箍筋不少於規範規定之最小值。 或 待伸展或搭接之鋼筋或鋼線之淨間距至少 $2d_b$ ，以及淨保護層至少 d_b 。	$\frac{f_y \psi_t \psi_e}{6.6 \lambda \sqrt{f'_c}} d_b$	[公制] $\frac{f_y \psi_t \psi_e}{5.3 \lambda \sqrt{f'_c}} d_b$
其他情況	$\frac{f_y \psi_t \psi_e}{4.4 \lambda \sqrt{f'_c}} d_b$	$\frac{f_y \psi_t \psi_e}{3.5 \lambda \sqrt{f'_c}} d_b$

直線伸展長度 (詳細法)之安全係數

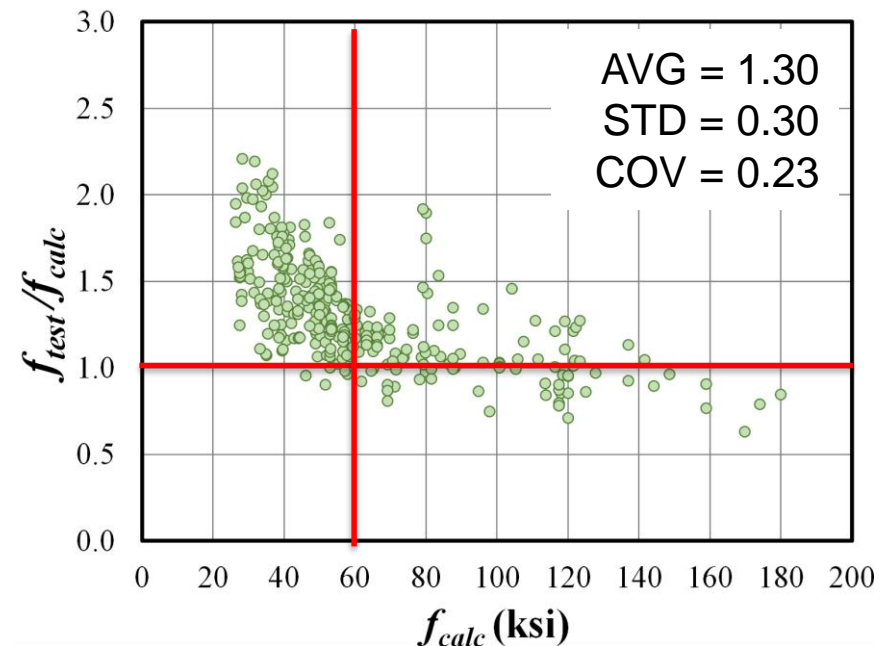
■ ACI 318-14

$$f_b = \frac{40\lambda\sqrt{f'_c}}{3\psi_t\psi_e\psi_s} \left(\frac{l_d}{d_b}\right) \left(\frac{c_b + K_{tr}}{d_b}\right) \text{ psi}$$



無圍束混凝土梁試驗資料庫

$$f_b = \frac{40\lambda\sqrt{f'_c}}{3\psi_t\psi_e\psi_s} \left(\frac{l_d}{d_b}\right) \left(\frac{c_b + K_{tr}}{d_b}\right)$$

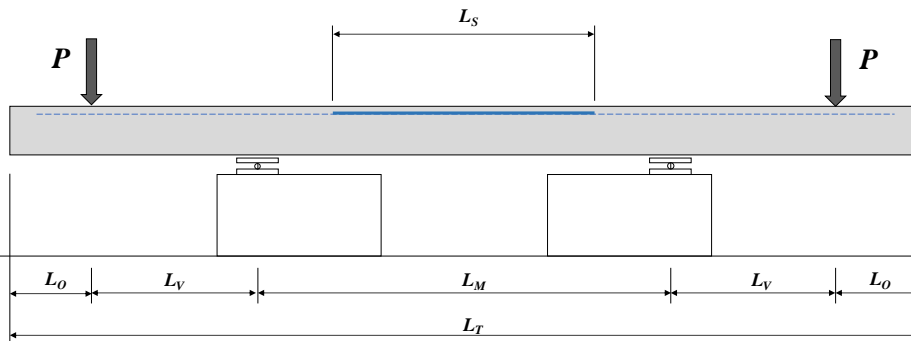


有圍束混凝土梁試驗資料庫

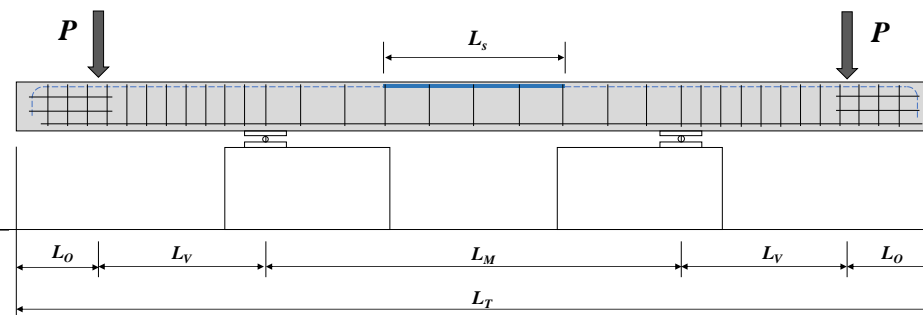
搭接試驗法，假設搭接長度=伸展長度



無圍束混凝土梁試驗



有圍束混凝土梁



Test setup at Purdue University

圖片來源：<https://www.pankowfoundation.org/02-17-development-and-splice-lengths-for-high-strength-reinforcement>

ACI 318-19 新增鋼筋等級修正因數 ψ_g

Reinforcement grade ψ_g	Grade 40 or Grade 60	1.0
	Grade 80	1.15
	Grade 100	1.3

- Modification in general development length equation 25.4.2.4(a)

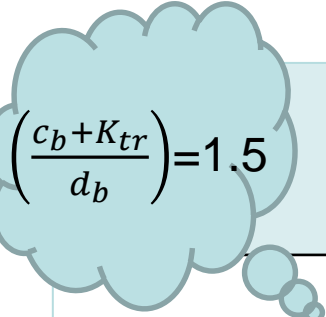
$$\ell_d = \frac{3}{40} \frac{f_y}{\lambda \sqrt{f'_c}} \frac{\psi_t \psi_e \psi_s \psi_g}{\left(\frac{c_b + K_{tr}}{d_b} \right)} d_b \geq 12 \text{ in.} \quad \text{〔英制〕}$$

- Provision 25.4.2.2, $K_{tr} \geq 0.5d_b$ for $f_y \geq 80,000 \text{ psi}$, if longitudinal bar spacing $< 6 \text{ in.}$



ACI 318-19 直線伸展長度 (簡算法)

[英制] (f'_c and f_y in psi)

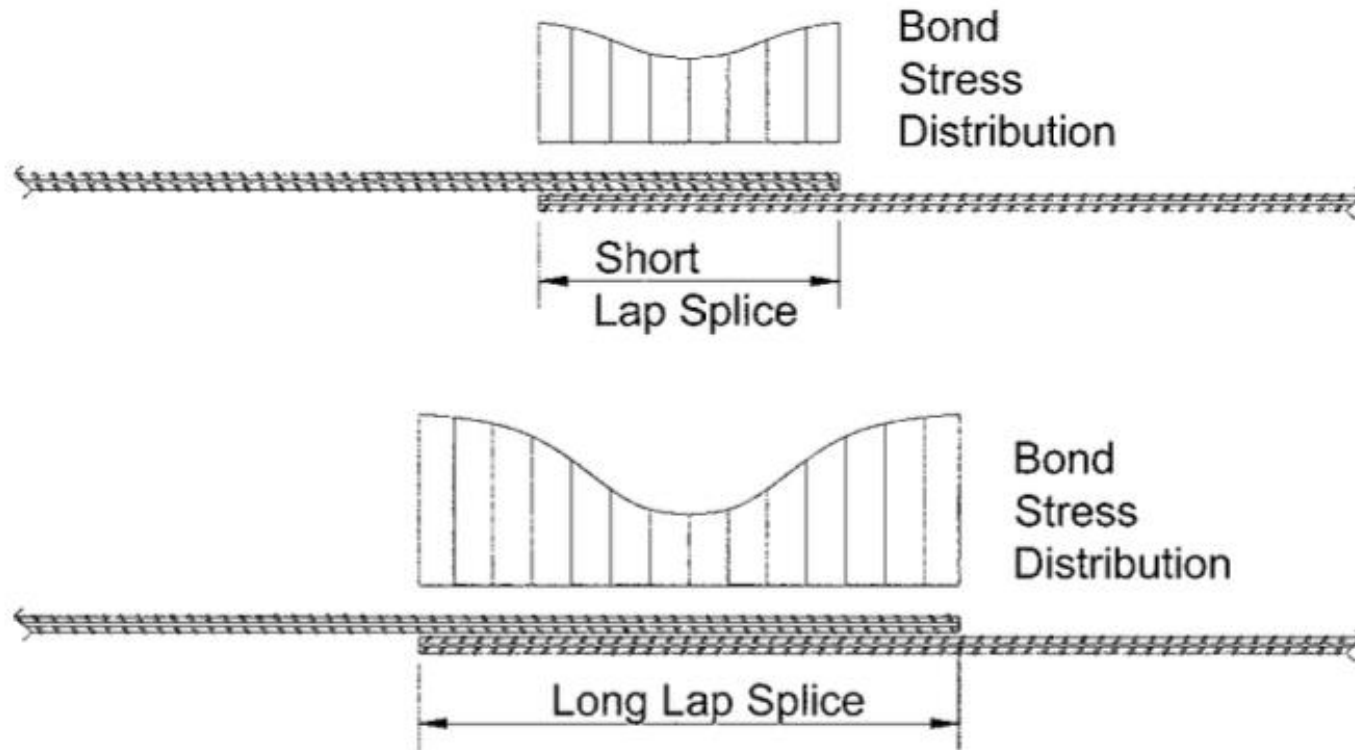


$\left(\frac{c_b + K_{tr}}{d_b}\right) = 1.5$ Spacing and cover	No. 6 and smaller bars and deformed wires	No. 7 and larger bars
<p>Clear spacing of bars or wires being developed or lap spliced not less than d_b, clear cover at least d_b, and stirrups or ties throughout ℓ_d not less than the Code minimum</p> <p>or</p> <p>Clear spacing of bars or wires being developed or lap spliced at least $2d_b$ and clear cover at least d_b</p>	$\frac{f_y \psi_t \psi_e \psi_g}{25 \lambda \sqrt{f'_c}} d_b$	$\frac{f_y \psi_t \psi_e \psi_g}{20 \lambda \sqrt{f'_c}} d_b$
<p>Other cases</p>	$\frac{3 f_y \psi_t \psi_e \psi_g}{50 \lambda \sqrt{f'_c}} d_b$	$\frac{3 f_y \psi_t \psi_e \psi_g}{40 \lambda \sqrt{f'_c}} d_b$

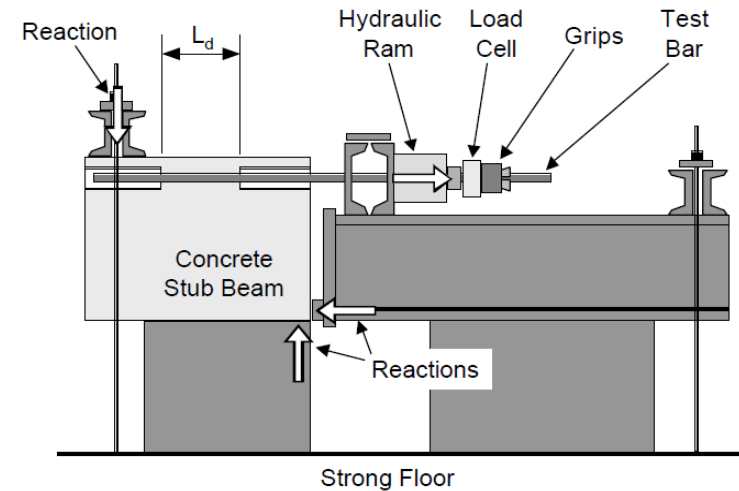
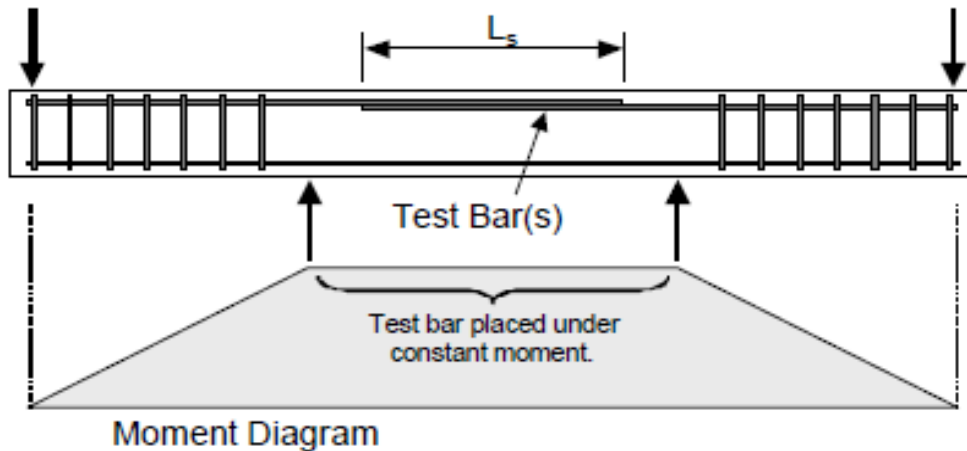
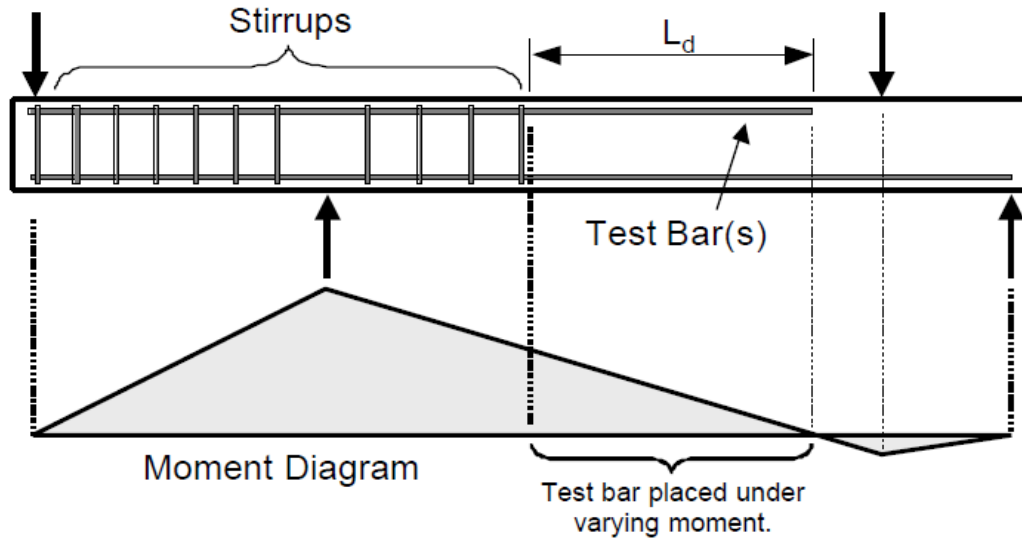


ACI 318-19 新增 ψ_g 之理由

- Canbay, E., and Frosch, R. J., 2005, “Bond Strength of Lap-Spliced Bars,” ACI Structural Journal, V. 102, No. 4, Jul.-Aug., pp. 605-614.

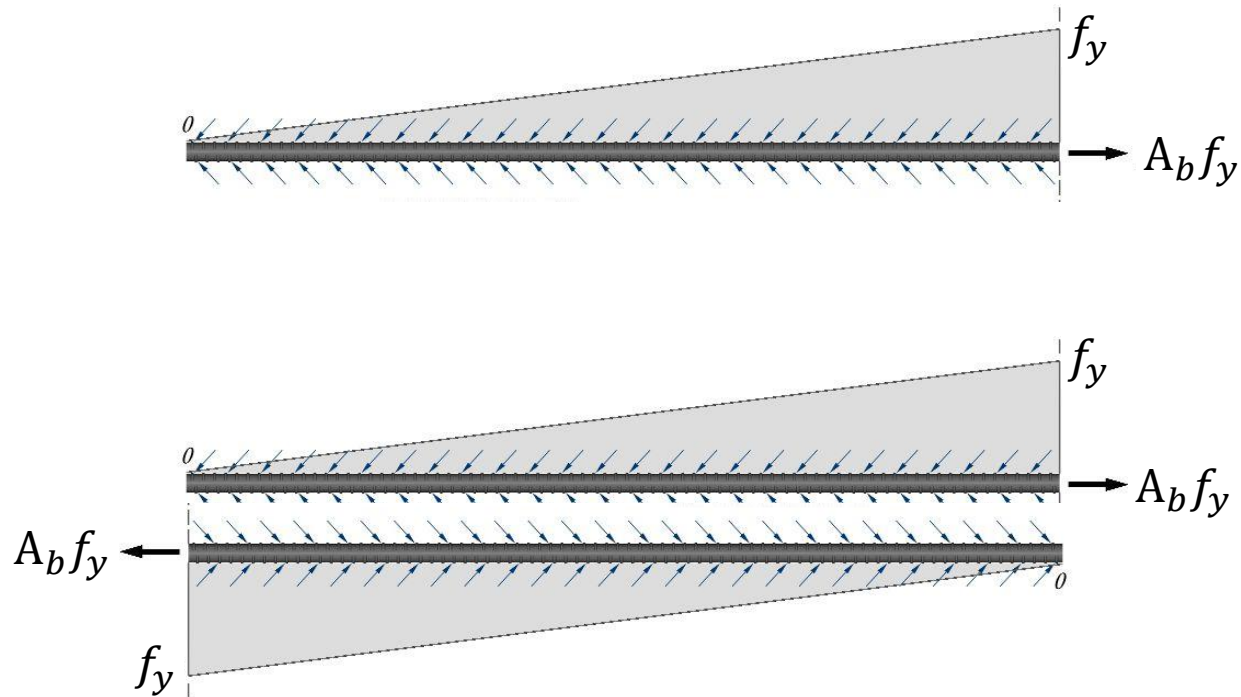


伸展與搭接試驗之差異： $\frac{dM}{dx} = V$



ASTM A944 Standard Test Method for Comparing Bond Strength of Steel Reinforcing Bars to Concrete Using **Beam-End Specimens**

若握裹力均勻分布 則搭接長度等於伸展長度



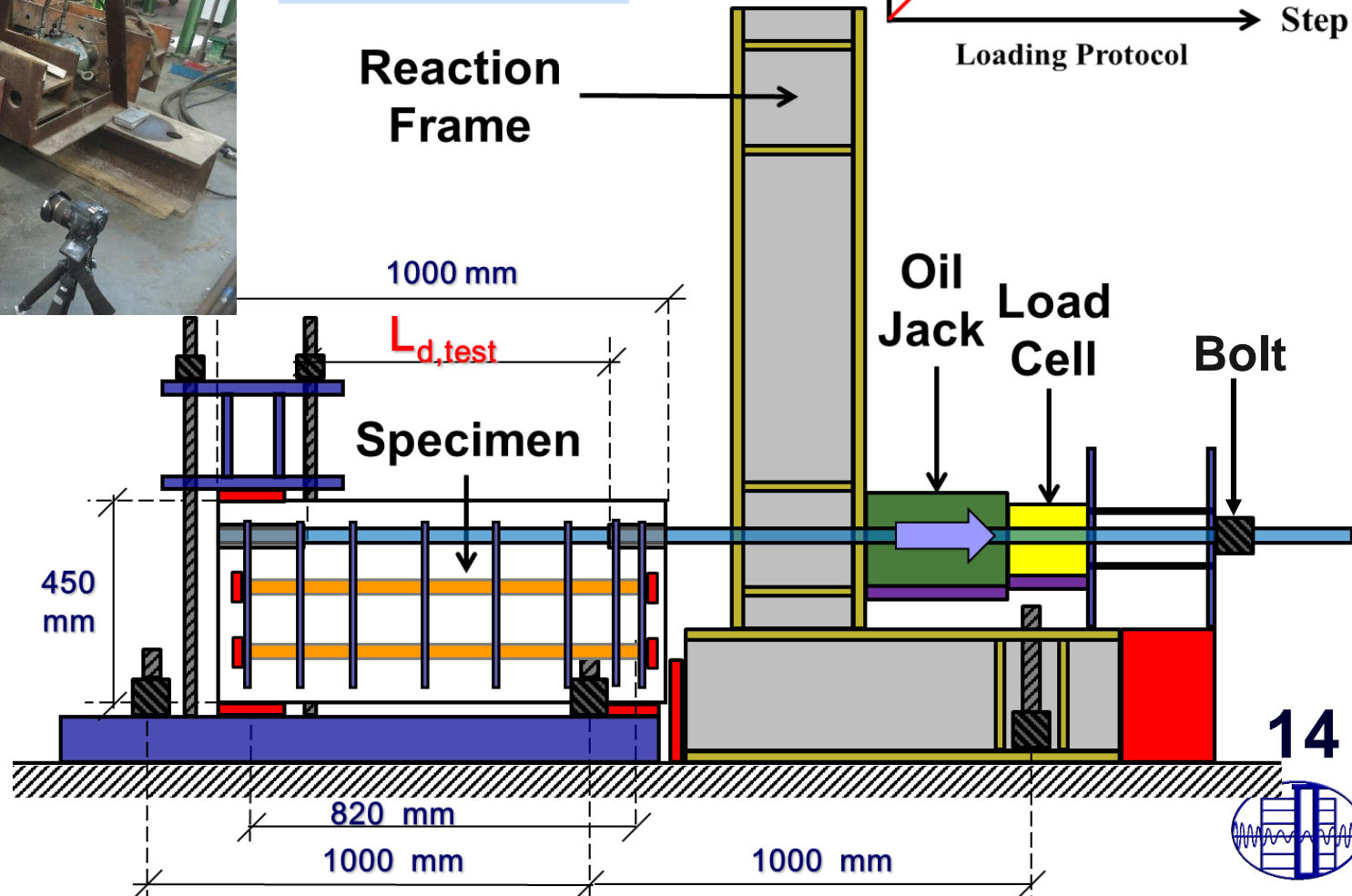
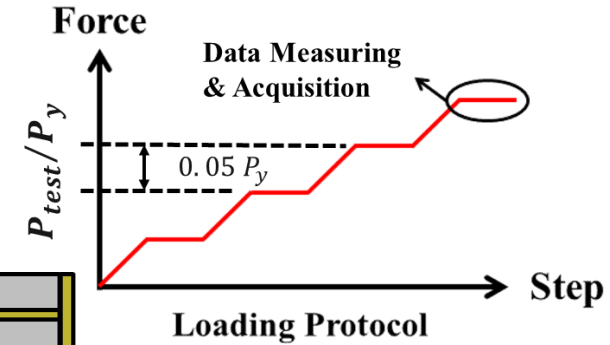
林克強博士在國震執行的握裏試驗

試驗構架及程序



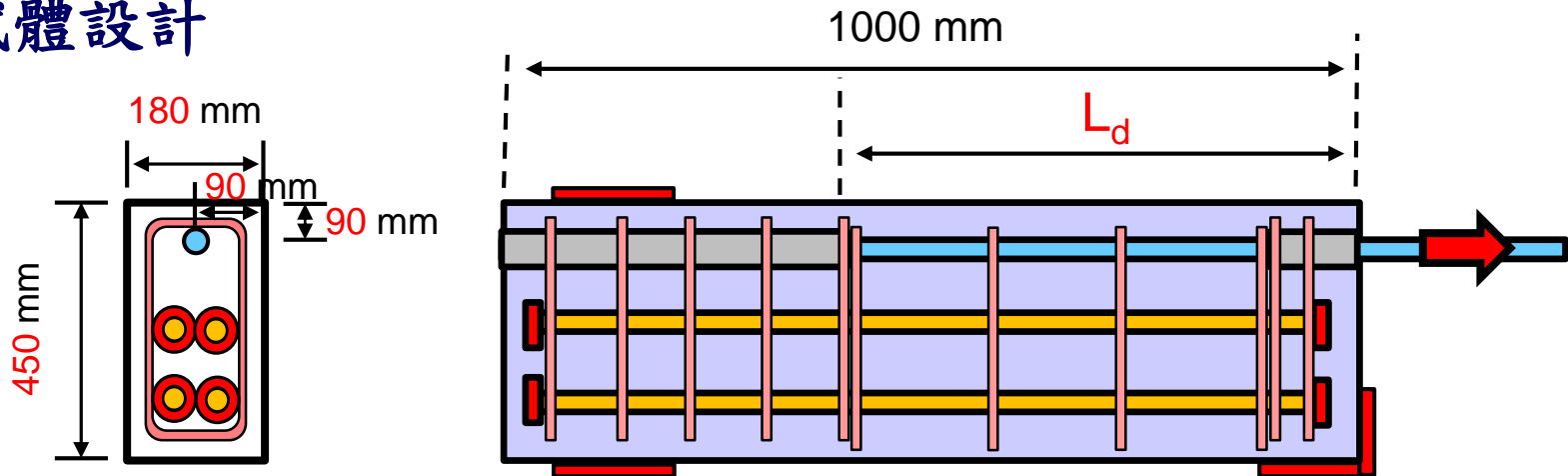
試驗終止

1. 混凝土破壞
2. 鋼筋斷裂
3. 鋼筋拔出



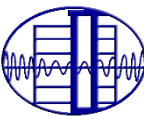
Design Parameters

試體設計



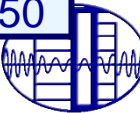
Specimens : 20

1. Bar size : **D32**
2. Geometry : **Deformed bar (Parallelogram, Diamond)**
3. f'_c : **28, 49, 70, 85 MPa**
4. f_y : **420, 550, 690 MPa**
5. f_{yt} : **420 MPa**
6. Splitting index : **3.87, 4.92**



Design Parameters of Specimens ¹⁶

specimen	f'_c (MPa)	f_y (MPa)	d_b (mm)	R_r	$C_{b,s}$ (mm)	$C_{b,t}$ (mm)	S_s (mm)	$\frac{(C_b + K_{tr})}{d_b}$	$L_{d,14}$ (mm)	$L_{d,test}$ (mm)
BF28F42S150DE	28	420	32	0.097	90	90	150	3.87	730	450
BF28F55S150DE	28	550	32	0.094	90	90	150	3.87	956	600
BF28F42S150Di	28	420	32	0.154	90	90	150	3.87	730	450
BF28F55S151Di	28	550	32	0.133	90	90	150	3.87	956	600
BF49F42S150DE	49	420	32	0.090	90	90	150	3.87	607	450
BF49F55S150DE	49	550	32	0.097	90	90	150	3.87	795	600
BF49F42S150Di	49	420	32	0.145	90	90	150	3.87	607	450
BF49F55S151Di	49	550	32	0.138	90	90	150	3.87	795	600
BF70F42S150DE	70	420	32	0.087	90	90	150	3.87	578	450
BF70F55S150DE	70	550	32	0.094	90	90	150	3.87	757	450
BF70F42S150Di	70	420	32	0.134	90	90	150	3.87	578	450
BF70F55S151Di	70	550	32	0.130	90	90	150	3.87	757	450
BF85F55S75DE	85	550	32	0.099	90	90	75	4.92	757	450
BF85F69S75DE	85	690	32	0.102	90	90	75	4.92	950	450
BF85F55S75Di	85	550	32	0.121	90	90	75	4.92	757	450
BF85F69S75DE-BC	85	690	32	0.101	90	90	75	4.92	950	450
BF100F55S75DE	100	550	32	0.093	90	90	75	4.92	757	450
BF100F69S75DE	100	690	32	0.095	90	90	75	4.92	950	450
BF100F55S75Di	100	550	32	0.136	90	90	75	4.92	757	450
BF100F69S75DE-BC	100	690	32	0.099	90	90	75	4.92	950	450



Test Results with ACI 318-14

$$R_{eff,limt} = \frac{R_p}{R_{d,limt}}$$

$$R_p = \frac{P_{test}}{P_y}$$

$$R_{d,limt} = \frac{L_{d,test}}{L_{d,318-14}}$$

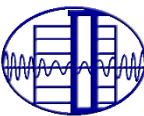
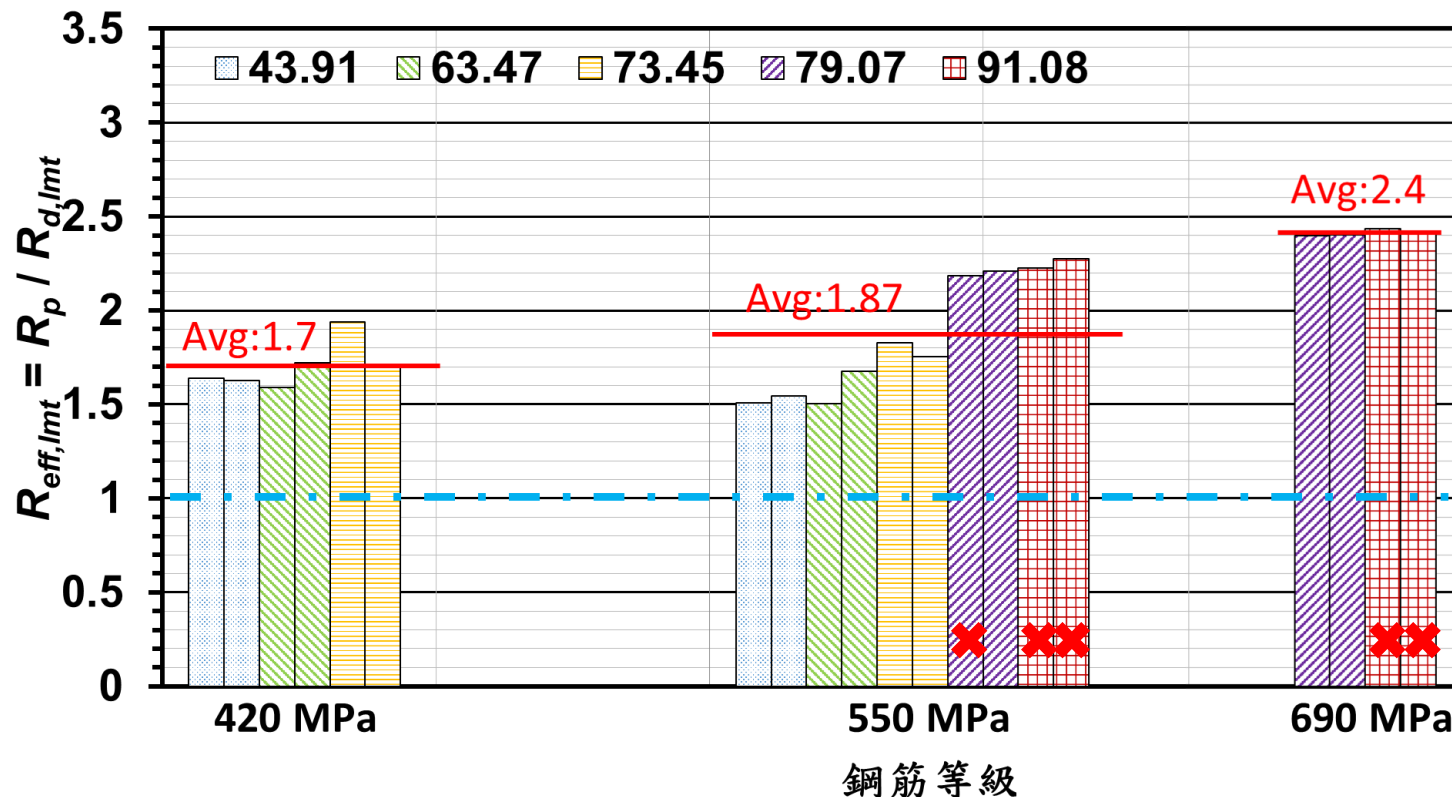
$$f'_c \leq 70 \text{ MPa}$$

$$1.0 \leq \frac{(C_b + k_{tr})}{d_b} \leq 2.5$$

$$L_{d,318-14} = 0.9 \frac{f_y}{\lambda \sqrt{f'_c}} \frac{\psi_t \psi_e \psi_s}{\left(\frac{C_b + K_{tr,ACI 318}}{d_b} \right)} d_b$$

ACI 318-14 Model

MPa 單位



解除混凝土計算強度上限和束制度上限

$$R_{eff,unlmt} = \frac{R_p}{R_{d,lm}}t$$

$$R_p = \frac{P_{test}}{P_y}$$

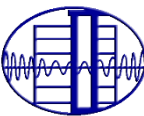
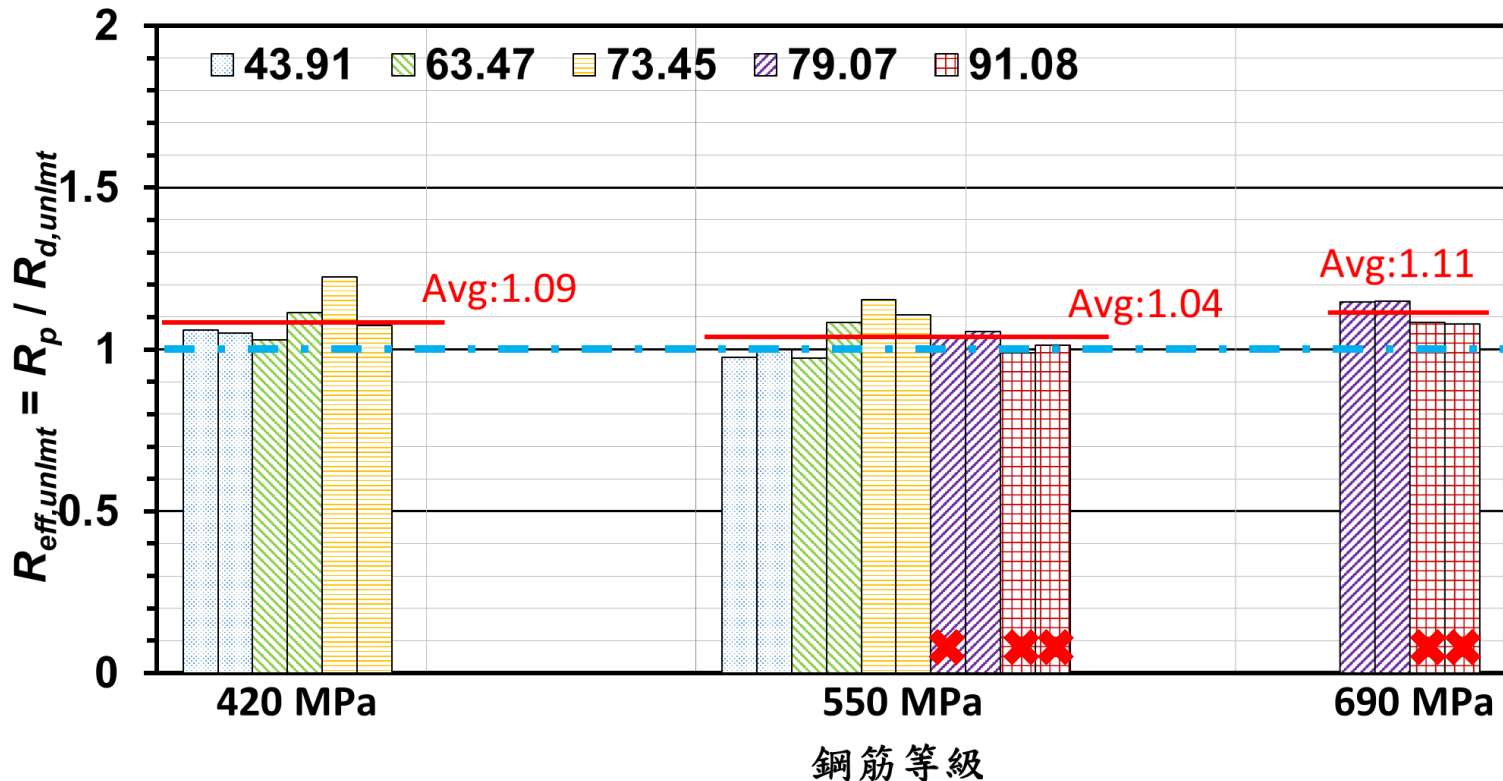
$$R_{d,unlmt} = \frac{L_{d,test}}{L_{d,318-14}}$$

$$f'_c \leq 100 \text{ MPa}$$

$$1.0 \leq \frac{(C_b + k_{tr})}{d_b} \leq 4.92$$

$$L_{d,318-14} = 0.9 \frac{f_y}{\lambda \sqrt{f'_c}} \frac{\psi_t \psi_e \psi_s}{\left(\frac{c_b + K_{tr,ACI 318}}{d_b} \right)} d_b$$

ACI 318-14 Model



Test Results with ACI 318-19

$$R_{eff,limt} = \frac{R_p}{R_{d,limt}}$$

$$R_p = \frac{P_{test}}{P_y}$$

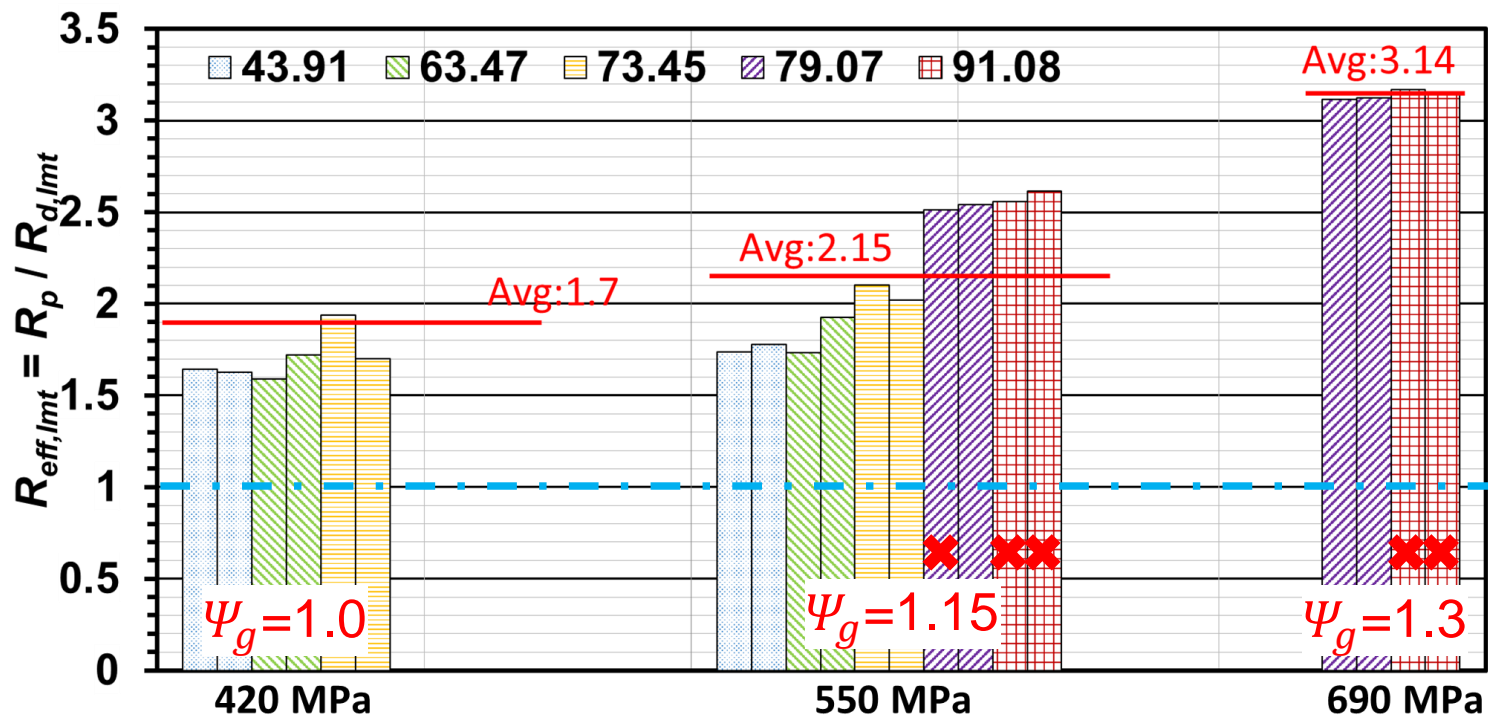
$$R_{d,limt} = \frac{L_{d,test}}{L_{d,318-19}}$$

$$f'_c \leq 70 \text{ MPa}$$

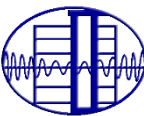
$$1.0 \leq \frac{(C_b + k_{tr})}{d_b} \leq 2.5$$

$$L_{d,318-19} = 0.9 \frac{f_y}{\lambda \sqrt{f'_c}} \frac{\psi_t \psi_e \psi_s \psi_g}{\left(\frac{C_b + K_{tr,ACI 318}}{d_b} \right)} d_b$$

ACI 318-19 Model



鋼筋等級



解除混凝土計算強度上限和束制度上限

$$R_{eff,unlmt} = \frac{R_p}{R_{d,lmt}}$$

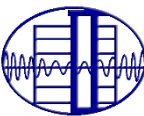
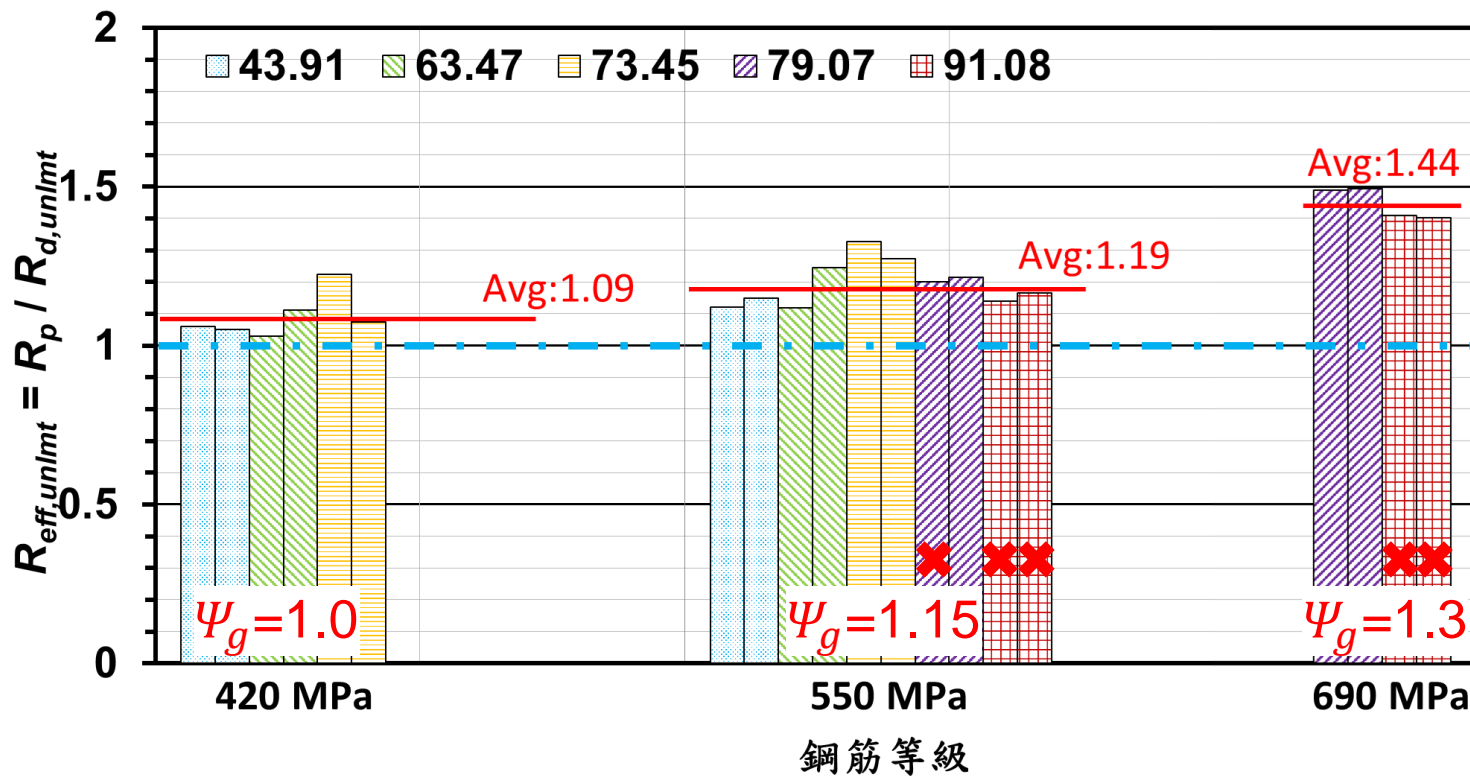
$$R_p = \frac{P_{test}}{P_y}$$

$$R_{d,unlmt} = \frac{L_{d,test}}{L_{d,318-19}}$$

$$1.0 \leq \frac{f'_c \leq 100 \text{ MPa}}{(C_b + k_{tr}) d_b} \leq 4.92$$

$$L_{d,318-19} = 0.9 \frac{f_y}{\lambda \sqrt{f'_c}} \frac{\psi_t \psi_e \psi_s \psi_g}{\left(\frac{C_b + K_{tr,ACI 318}}{d_b} \right)} d_b$$

ACI 318-19 Model



25.5.2 受拉竹節鋼筋及麻面鋼線之 搭接長度

解說：

國震中心研究資料(Lin等人 2020)顯示在混凝土有圍束情況下，高強度鋼筋所需之伸展長度與鋼筋降伏強度呈線性關係。

美國研究資料則顯示鋼筋所需之搭接長度並非與鋼筋之降伏強度呈線性關係(Orangun 等人 1977; Canbay and Frosch 2005)，故只對搭接長度新增強度等級因數 Ψ_g ，係考量鋼筋之降伏強度對搭接長度的影響。



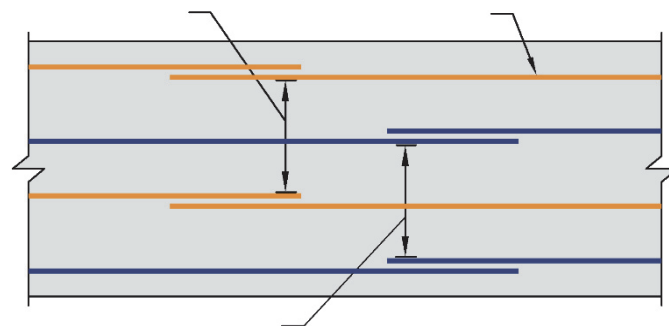
25.5.2 受拉竹節鋼筋及麻面鋼線之搭接長度

表25.5.2.1 受拉竹節鋼筋及麻面鋼線之搭接長度

搭接長度內鋼筋比 (使用 A_s) / (需求 A_s)	所需搭接長度內被搭接 鋼筋面積最高百分比	搭接 分級	$\ell_{st}^{[1]}$	
≥ 2.0	50	甲級	取大值	$1.0 \Psi_g \ell_d$ 及 30 cm
	100	乙級	取大值	$1.3 \Psi_g \ell_d$ 及 30 cm
< 2.0	所有百分比	乙級		

[1] 鋼筋等級修正因數

$\Psi_g = 1.00$ 適用 $f_y \leq 4,200 \text{ kgf/cm}^2$ [420 MPa] 鋼筋；
 $\Psi_g = 1.08$ 適用 $f_y = 5,000 \text{ kgf/cm}^2$ [490 MPa] 鋼筋；
 $\Psi_g = 1.15$ 適用 $f_y = 5,600 \text{ kgf/cm}^2$ [550 MPa] 鋼筋；
 $\Psi_g = 1.30$ 適用 $f_y = 7,000 \text{ kgf/cm}^2$ [690 MPa] 鋼筋。



搭接長度正比於 $f_y\psi_g$ 和 d_b

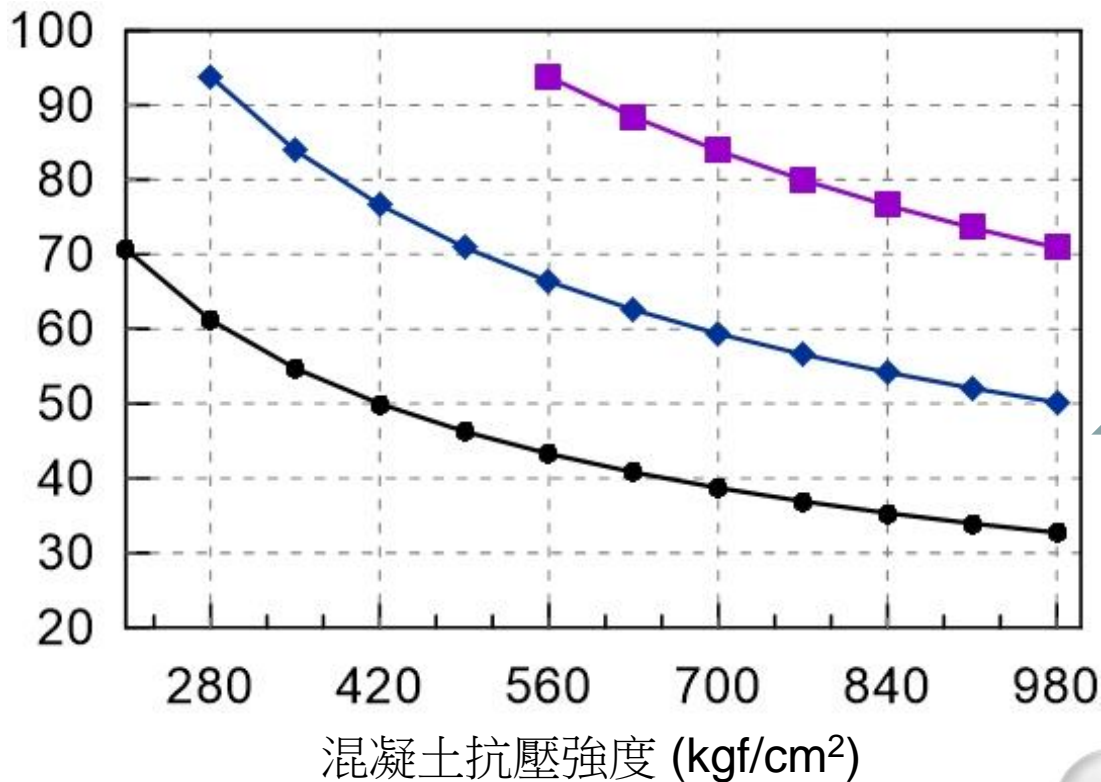
甲級

$$\ell_{st} = 1.0\psi_g\ell_d = \frac{f_y\psi_t\psi_e\psi_g}{5.3\lambda\sqrt{f'_c}} d_b$$

乙級

$$1.3\psi_g\ell_d = 1.3\frac{f_y\psi_t\psi_e\psi_g}{5.3\lambda\sqrt{f'_c}} d_b$$

乙級搭接長
(d_b)



〔公制單位〕

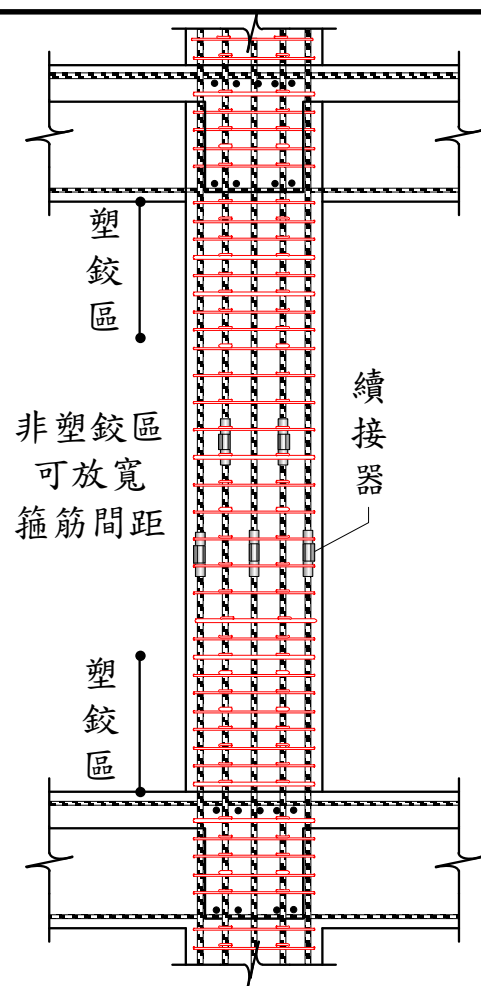
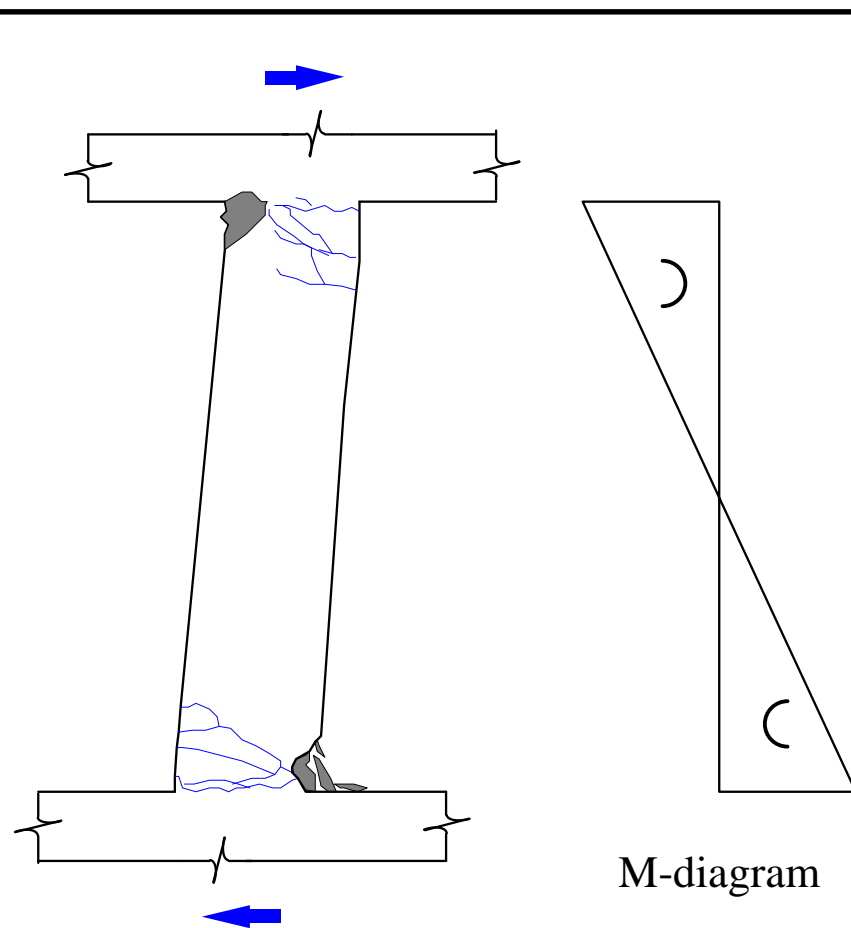
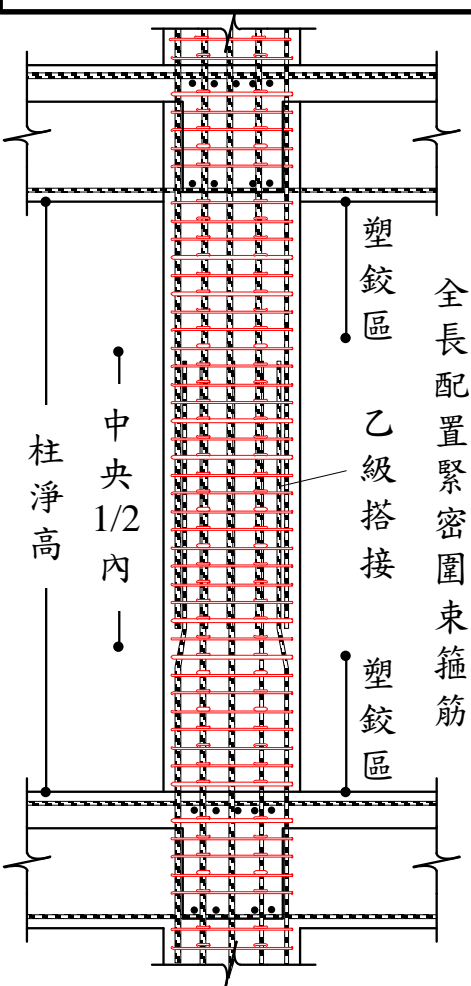
+50%

+114%

18.4.4 縱向鋼筋

...

18.4.4.3 機械式續接須符合第18.2.7節之規定，**銲接續接**則須符合第18.2.8節之規定。**搭接續接**僅容許於構材中央1/2淨高內，並應設計為拉力搭接，且應被圍封於符合第18.4.5.2節與第18.4.5.3節之橫向鋼筋內。



(a) 耐震柱主筋容許搭接位置

(b) 柱受地震側向變位與彎矩分佈圖

(c) 耐震柱主筋續接例

420-550 MPa 鋼筋乙級搭接長度成本

柱筋乙級搭接長度 (cm)

f_y	f'_c	#7	#8	#9	#10	#11
kgf/cm ²	kgf/cm ²	D22	D25	D29	D32	D36
4200	280	137	156	177	198	220
	350	122	140	158	177	197
	420	112	128	144	162	180
	560	97	111	125	140	156
5600	280	210	240	271	304	338
	350	187	214	242	272	302
	420	171	196	221	248	276
	560	148	170	192	215	239

鋼筋單價以24-26元/kg估算

柱筋乙級搭接成本 (元)

一個續接器才多少錢?



f_y	f'_c	#7	#8	#9	#10	#11
kgf/cm ²	kgf/cm ²	D22	D25	D29	D32	D36
4200	280	100	149	215	304	418
	350	89	134	193	272	374
	420	81	122	176	248	341
	560	71	106	152	215	295
5600	280	166	248	358	505	694
	350	148	222	320	452	621
	420	135	203	292	412	567
	560	117	175	253	357	491

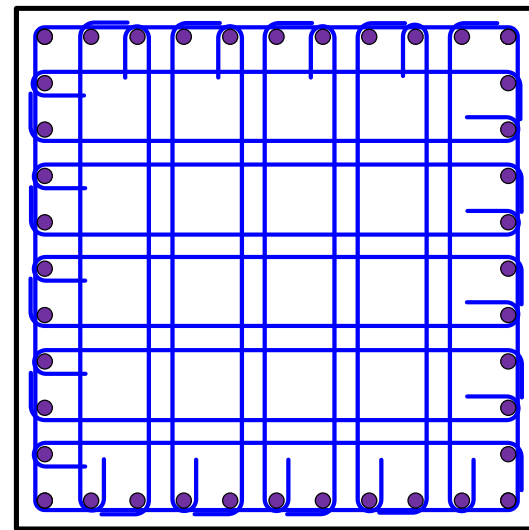
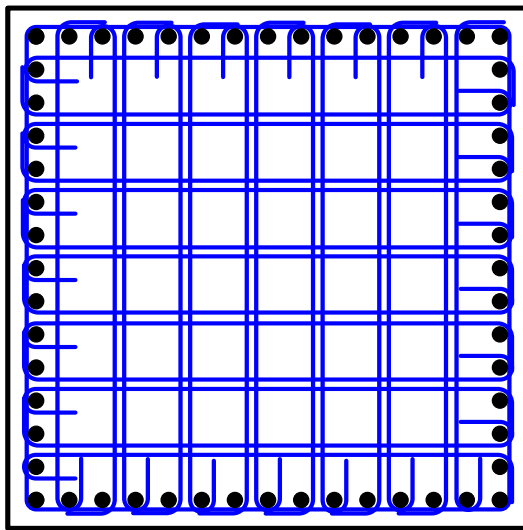
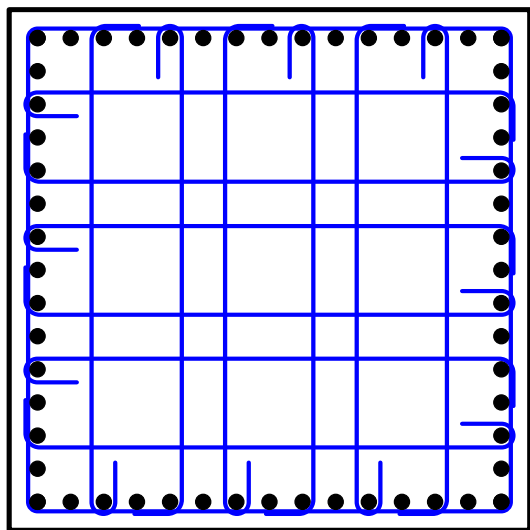
某23層大樓地下室柱斷面例 ($P_u = 0.50 A_g f'_c$)

原尺度 110 cm × 110 cm、設計 $f'_c = 42 \text{ MPa}$ (420 kgf/cm^2)

56 支 D32 (SD420)
主筋比 3.8%

56 支 D32 (SD420)
主筋比 3.8%

44支 D32 (SD550)
主筋比 3%



橫向鋼筋 D13@10 cm $f_{yt} = 420 \text{ MPa}$ (4200 kgf/cm^2)

$$\frac{A_{sh}}{sb_c} = 0.010$$

$$\geq 0.09 \frac{f'_c}{f_{yt}} = 0.009$$



$$\frac{A_{sh}}{sb_c} = 0.0187$$

$$\geq 0.09 \frac{f'_c}{f_{yt}} \text{ \& } 0.2k_f k_n \frac{P_u}{f_{yt} A_{ch}} = 0.0125 \rightarrow 0.0127$$



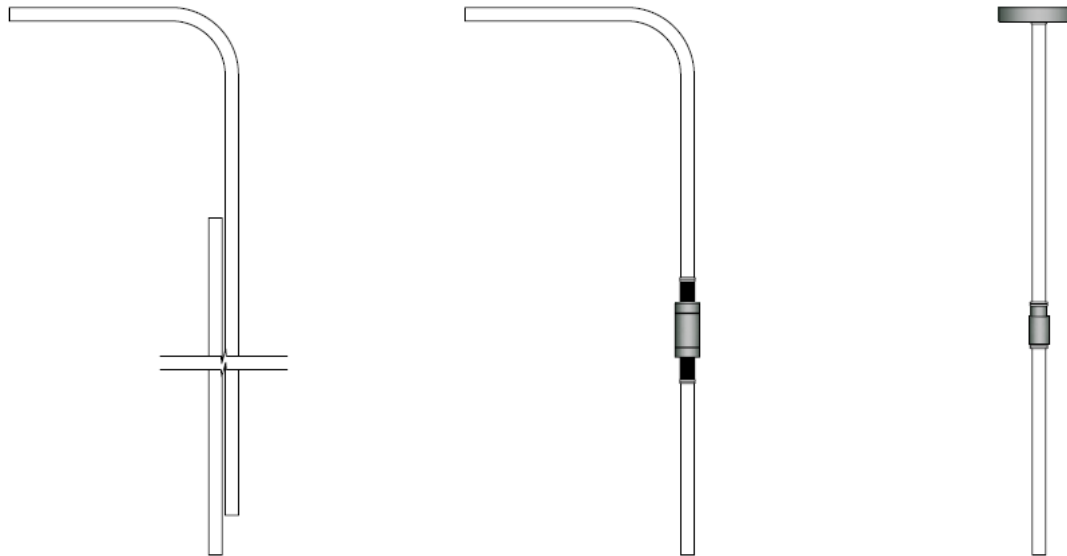
$$\frac{A_{sh}}{sb_c} = 0.0137$$

滿足前版規範要求

但新版規範要求， $P_u > 0.30 A_g f'_c$ 每支主筋都要勾

結語

- 使用高強度鋼筋、減少主筋支數(也省繫筋)
- 機械式取代搭接、T 頭取代彎鉤
- 省料、省工、省時
- 續接性能需要品質保證



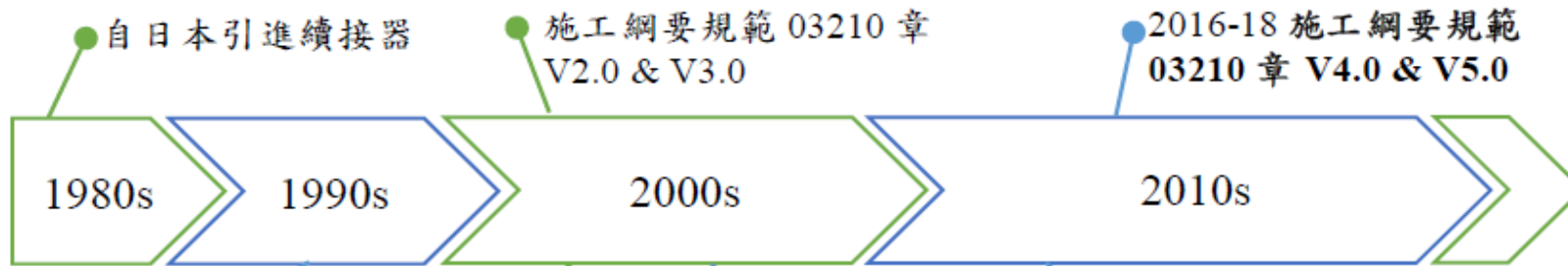
簡報大綱

- 鋼筋直線伸展與搭接長度
- 機械式續接設計相關規定
- 機械式續接檢驗
- 結語與展望

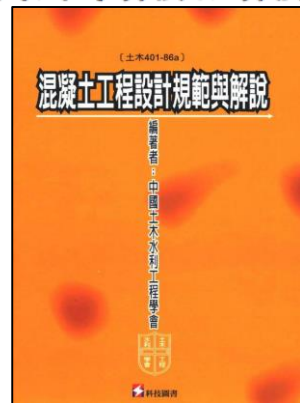


我國鋼筋續接器規範之演進

2021



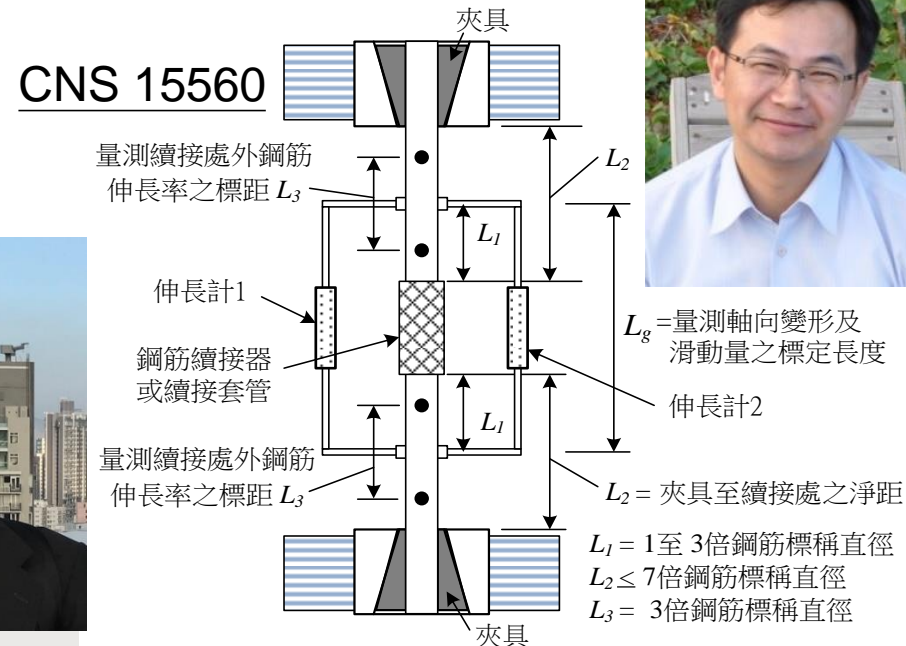
土木401-110



土木401-86a



台科大營建系陳正誠教授、林克強教授



18.2.7 特殊抗彎矩構架與特殊結構牆之機械式續接

18.2.7.1 機械式續接應分為(a)、(b)或(c)類：

- (a) 第一類—符合第25.5.7節及第26.6.5節規定之機械式續接。
- (b) 第二類—符合第25.5.7節及第26.6.5節規定且能使被續接鋼筋發展至規定抗拉強度之機械式續接。
- (c) 第三類—符合第25.5.7節及第26.6.5節規定且能使被續接鋼筋發展至規定抗拉強度並承受多次反復非彈性應變之機械式續接。

續接性能分級		第一類 (B級)	第二類 (A級)	第三類 (SA級)
抗拉強度		$\geq 1.25f_y$	$\geq 1.25f_y$ 且 $\geq f_u$	$\geq 1.25f_y$ 且 $\geq f_u$
續接組件與母材鋼筋之對比	強度	○	○	○
	變形(滑動量)		○	○
	韌性(伸長率)			○
地震時鋼筋可能降伏區域		禁止使用	有條件使用	無條件使用

○表示性能與母材鋼筋相近。



第25章 鋼筋細節

25.5.7 受拉或受壓竹節鋼筋之機械與銲接續接

25.5.7.1 機械或銲接續接應發展其抗拉或抗壓強度至少達鋼筋 $1.25f_y$ 之強度。

25.5.7.2 鋼筋銲接須符合第26.6.4節規定。

25.5.7.3 除第25.5.7.4節之規定外，機械或銲接續接位置不須錯開。

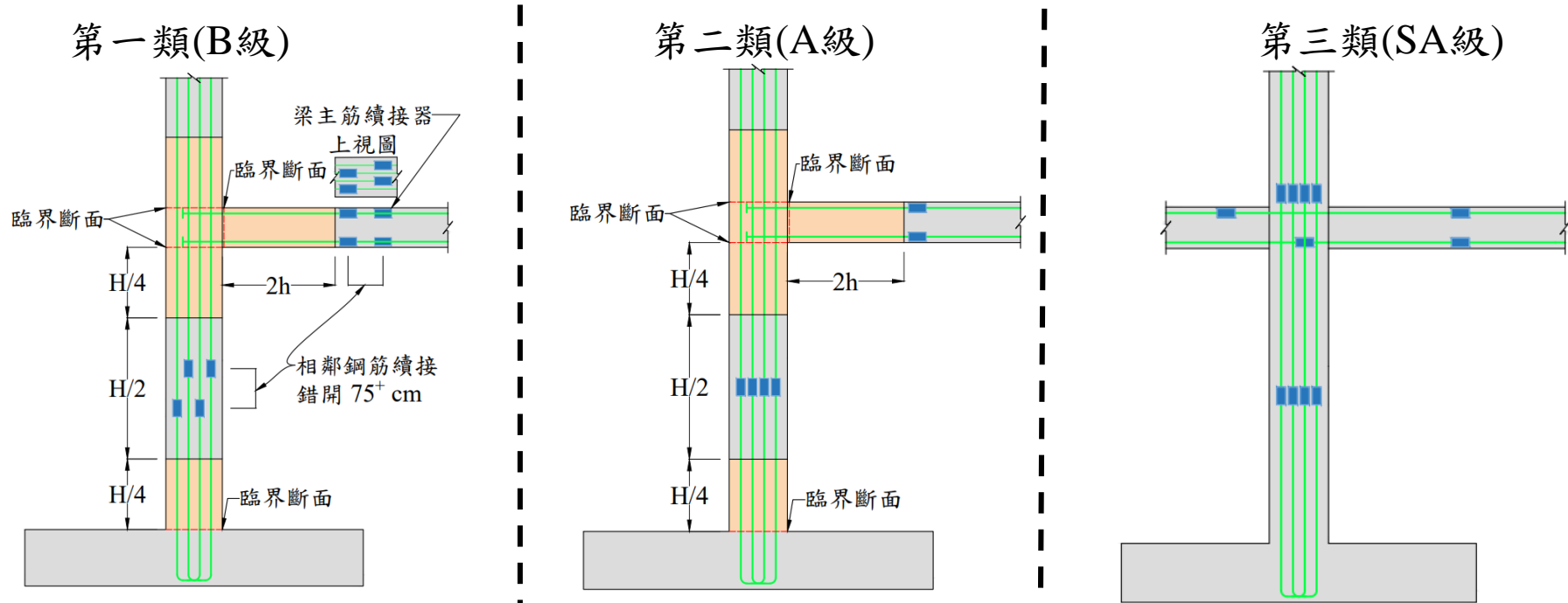
25.5.7.4 受拉構材之鋼筋續接，應依第25.5.7.1節規定使用機械或銲接續接，相鄰鋼筋之續接至少須錯開75 cm。

所以，到底需不需要
隔根錯開 75 cm？

第18章 耐震結構物

18.2.7.2 除第三類機械式續接外，其他機械式續接應不使用於特殊抗彎矩構架之梁或柱接頭面起算兩倍構材深度範圍內，或因側向位移超過線性行為範圍外時，導致鋼筋可能降伏之臨界斷面處起算兩倍構材深度範圍內，但容許使用於柱構材中央 $1/2$ 淨高內。除第18.6.2.1節(c)所述外，第三類機械式續接應可使用於任何位置。

場鑄混凝土造構架鋼筋機械續接位置

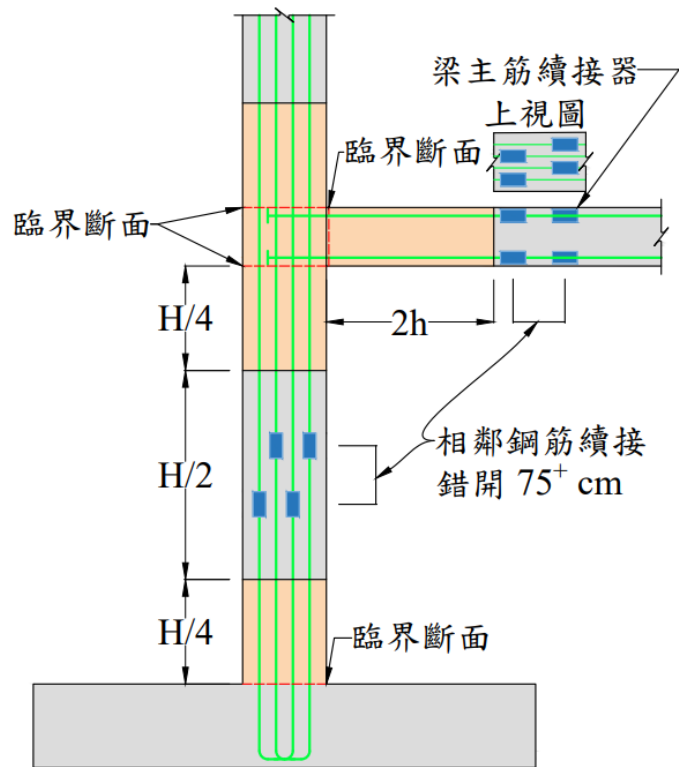


	B級	A級	SA級
錯置 75 cm	必須*	鼓勵	鼓勵
2h 範圍內	禁止使用	禁止使用	允許使用**

* 25.5.7.4節，受拉構材
 ** 18.2.7.2節，新版規範(2021)

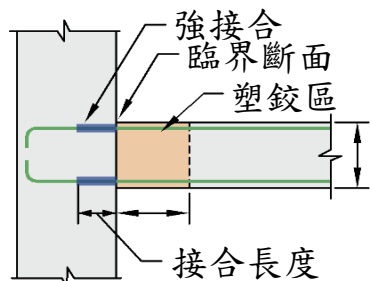
預場鑄混凝土造構架鋼筋機械續接位置

第一類(B級)

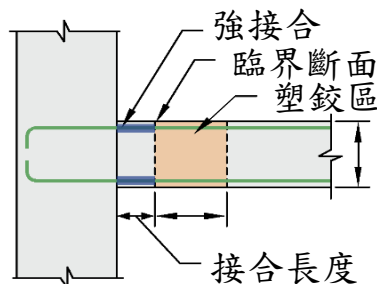


第二類(A級)

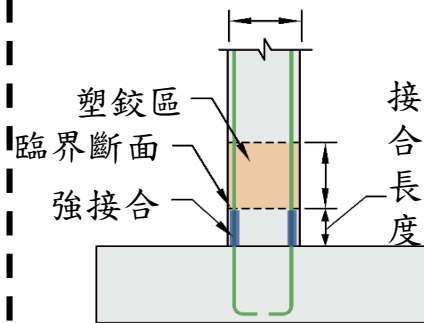
強接合部



(b) 梁與柱接合



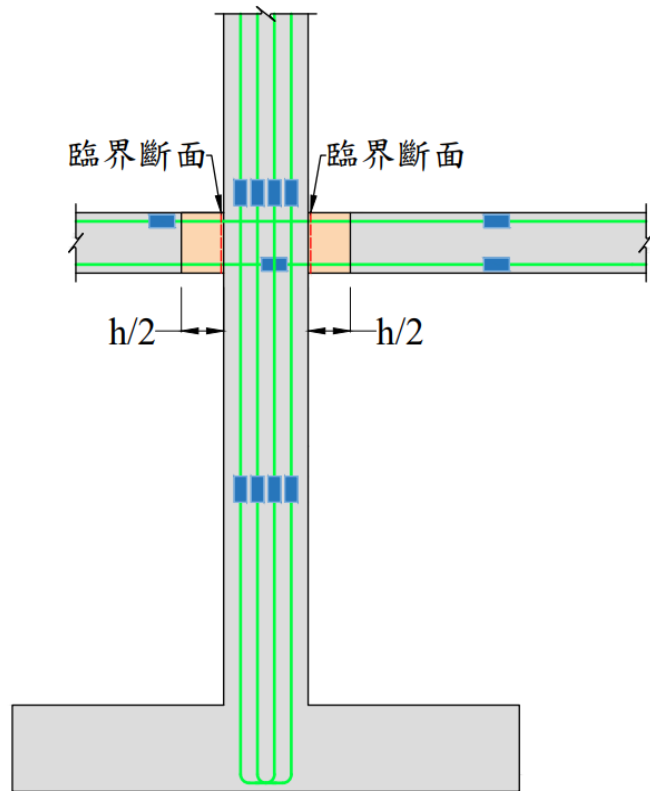
(c) 梁與柱接合



(d) 柱與基礎接合

第三類(SA級)

韌性接合部



18.6 預鑄混凝土造之特殊抗彎矩構架

18.6.1 範圍

18.6.1.1 本節應用於構成抵抗地震力系統一部分之預鑄混凝土造特殊抗彎矩構架系統。

18.6.2 通則

18.6.2.1 預鑄混凝土造具**韌性接合**之特殊抗彎矩構架須符合(a)至(c)之規定：

- (a) 第18.3至18.5節關於場鑄混凝土造之特殊抗彎矩構架之規定。
- (b) 按第22.9節之規定計算之接合部 V_n 應至少為 $2V_e$ ，此處 V_e 應符合第18.3.5.1節或第18.4.6.1節之規定。
- (c) 梁鋼筋之機械式續接應離接頭面應不小於 $h/2$ ，且應符合第18.2.7節之規定。

18.6.2.2 預鑄混凝土造具**強接合部**之特殊抗彎矩構架須符合(a)至(e)之規定：

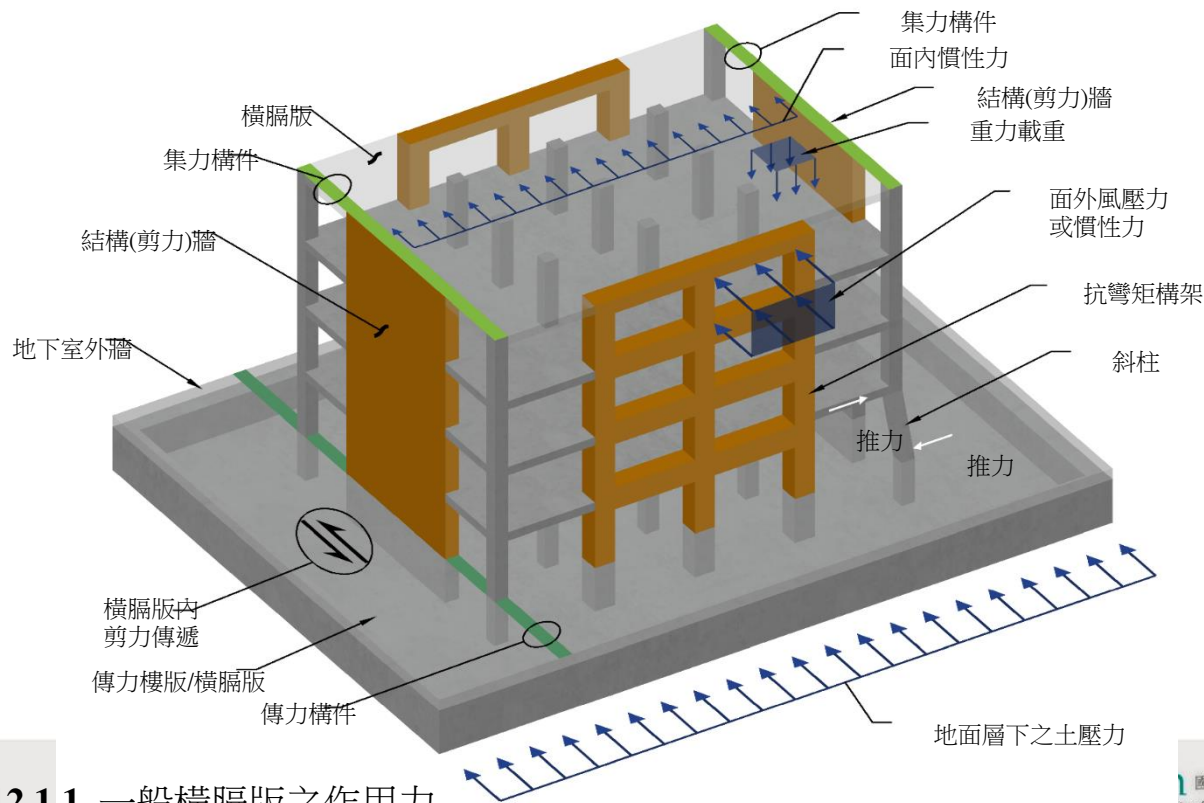
- (a) 第18.3至18.5節關於場鑄混凝土造之特殊抗彎矩構架之規定。
- (b) 第18.3.2.1(a)節條文應適用在設計地震位移作用下，撓曲降伏預期發生處之間的區段
- (c) 強接合之設計強度 ϕS_n 應至少為 S_e 。
- (d) 主要縱向鋼筋應以機械式續接使其連續穿過接合部且應於強接合部外與塑鉸區外發展其強度。
- (e) 對柱對柱的接合部而言， ϕS_n 應至少為 $1.4S_e$ 。在樓層高度內， ϕM_n 應至少為 $0.4M_{pr}$ ，且 ϕV_n 按第18.4.6.1節之規定，應至少為 V_e 。

18.9.3 地震力傳遞路徑

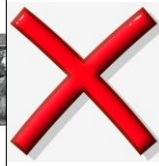
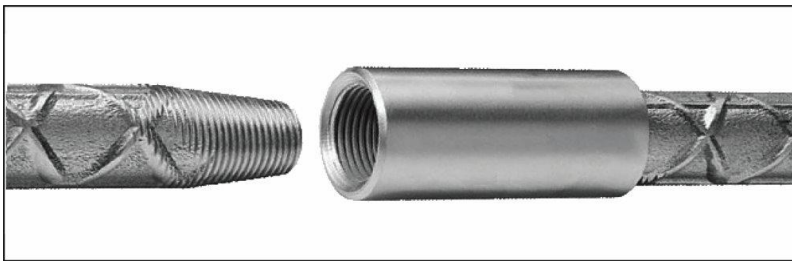
18.9.3.1 所有橫隔版及其接合部應設計使其能傳遞力量至集力構件與抵抗地震力系統之豎向構件。

...

18.9.7.4 鋼筋之機械式續接若用於抵抗地震力系統中傳遞橫隔版與豎向構件間之力量時，應採用第三類機械式續接。



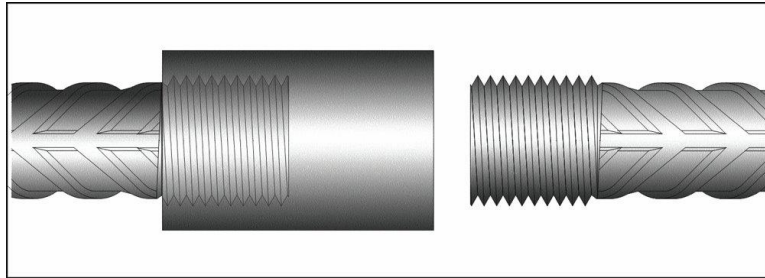
圖R12.1.1 一般橫隔版之作用力



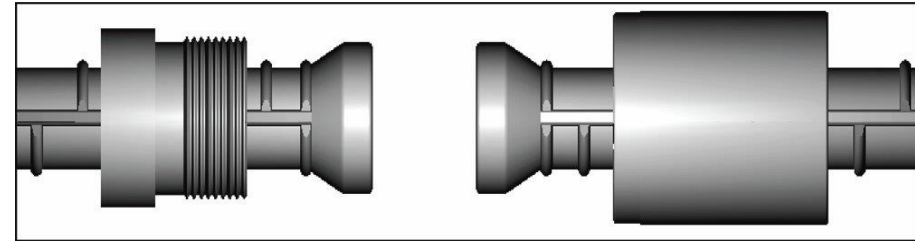
常用之續接器

圖片摘自ACI 439.3R-07報告

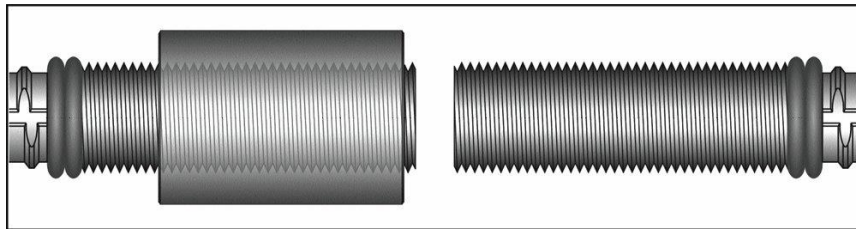
鋼筋車削錐拔螺紋接頭 不推薦，強度不足，見下頁投影片



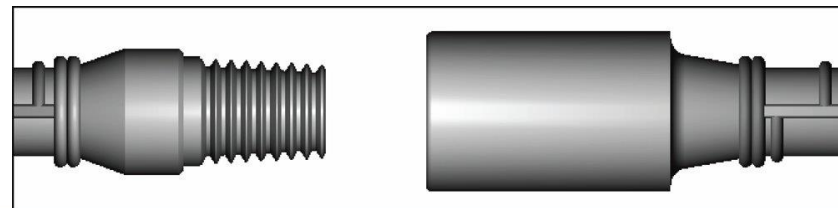
冷鍛擴頭滾牙螺紋接頭



熱鍛擴頭鋼筋及直螺紋續接套管



摩擦銲接續接器(平牙)



最常見

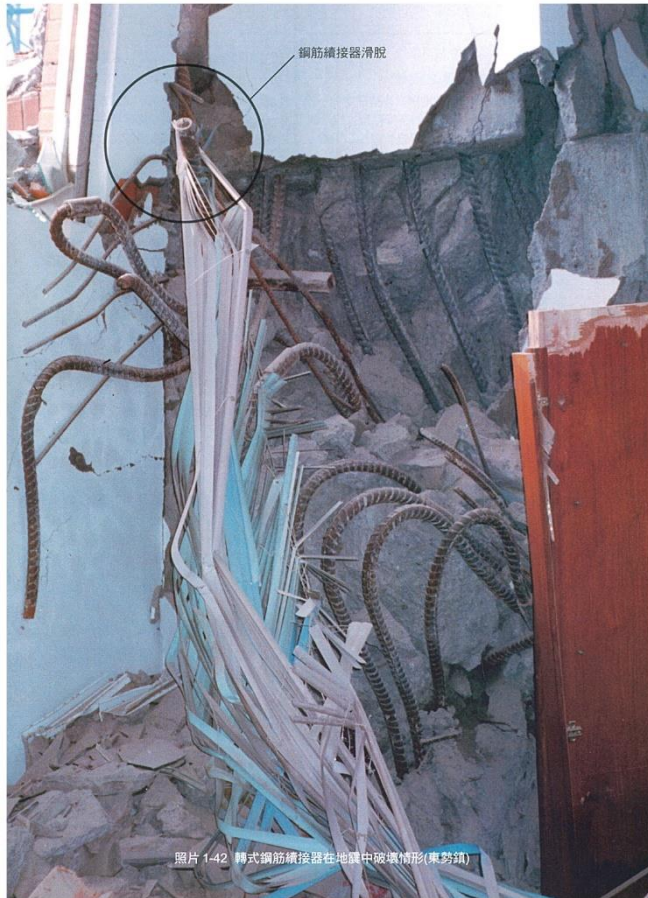
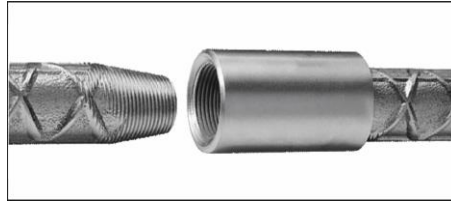
摩擦銲接續接器(錐牙)



1990s或更早期續接器品管不嚴謹



鋼筋車削錐拔
螺紋接頭
(不推薦)



照片 1-42 轉式鋼筋續接器在地震中破壞情形(東勢鎮)

1999.0921.集集地震後照片
(蔡萬來提供)



2016.0206.美濃地震後照片



(杜怡萱教授提供)

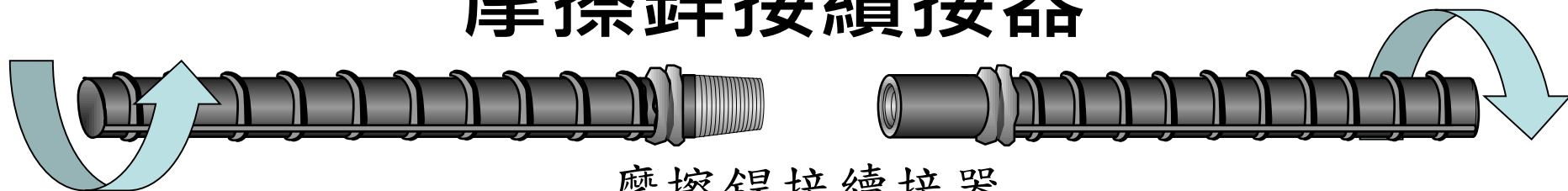


續接強度不足、鋼筋滑脫拔出破壞



台南維冠金龍大樓倒塌現場清理之鋼筋續接接頭照片(蘇模原技師提供)

摩擦鉸接續接器



摩擦鉸接續接器

➤ [摩擦鉸接續接器之製造影片1](#)

➤ [摩擦鉸接續接器之製造影片2](#)

- 可鉸鋼筋、不限節形

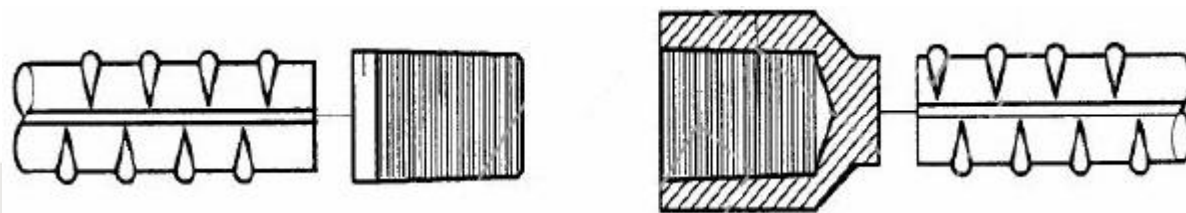
- 摩擦壓鉸續接器

- 續接時須用扳手轉動鋼筋

- 柱主筋又長又重，施工困難

- 梁主筋受模版阻礙，施工困難

- 較不適合預組、預鑄工法



以扭力扳手旋緊否？



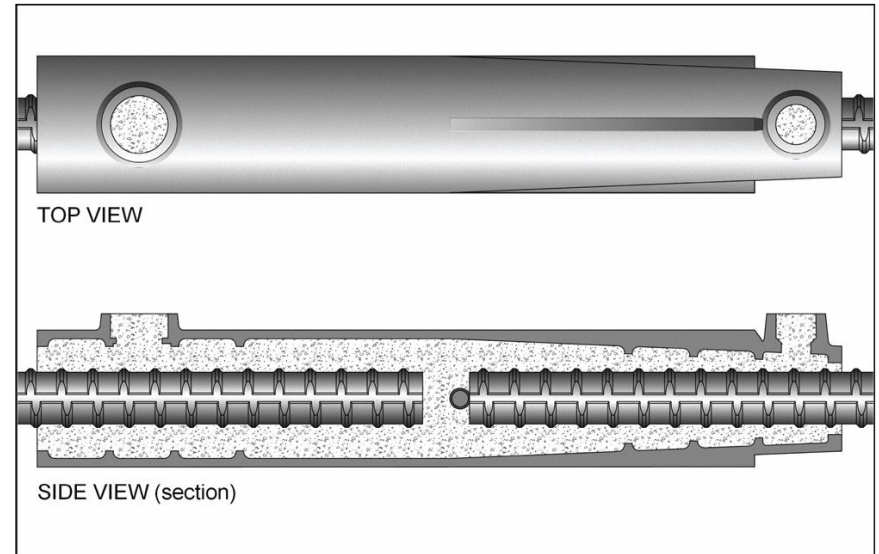
【工程會 施工綱要規範 第03210章V5.0】

2.2.3 (5) D. 螺紋接合之扭力試驗：
鋼筋經加工具有螺紋之接頭，應依製造商建議之扭力值在工地現場鎖緊，在箍筋及繫筋未綁紮固定之前，由工程司以扭力扳手抽驗，其扭力值應大於製造商之建議值，抽驗數量不得低於該批產品數量之[15%][]，不合格部分須鎖緊至扭力值之外，另再加倍抽驗直到合格為止。

預組、預鑄工法用續接器和續接套管



螺紋節鋼筋續接器



砂漿填充式續接套管

螺紋節鋼筋續接器及錨定頭



戸田建設

預鑄梁主筋續接例



①預鑄樑到接合處



②續接器接合



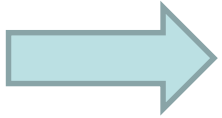
③螺栓固定



④砂漿注入充填

簡報大綱

- 鋼筋直線伸展與搭接長度
- 機械式續接設計相關規定
- 機械式續接檢驗
- 結語與展望



土木 401-110

中國土木水利工程學會 混凝土工程委員會

目 錄

混凝土工程設計規範與解說

(土木 401-110)

引用本規範條文為工程契約文件時，應充分瞭解工程與本規範之適用性，針對工程特性妥訂特別條款

設計規範編審小組

方 文 志	王 承 順	王 勇 智
王 炤 烈	王 韡 蓓	吳 子 良
李 宏 仁	李 釗	李 姿 瑩
兼幹事 李 翼 安	兼幹事 林 佳 蓁	林 炳 昌
邱 建 國	柯 鎮 洋	洪 崇 展
胡 銘 煌	兼幹事 翁 樸 文	高 健 章
張 大 鵬	陳 式 毅	陳 君 弢
陳 清 泉	彭 康 瑜	黃 然
黃 世 建	黃 炳 勳	詹 文 宗
詹 穎 雯	廖 文 正	廖 肇 昌
劉 光 晏	召集人 歐 昱 辰	蔣 啟 恆
鄭 敏 元	兼幹事 蕭 輔 沛	(按姓氏筆劃序)

中華民國一一〇年四月

混凝土工程委員會報告(三十八)

第一章	總則
第二章	符號與名詞定義
第三章	參考標準
第四章	結構系統要求
第五章	載重
第六章	結構分析
第七章	單向版
第八章	雙向版
第九章	梁
第十章	柱
第十一章	牆
第十二章	橫隔板
第十三章	基礎
第十四章	純混凝土
第十五章	梁柱與版柱接頭
第十六章	構材間之接合部
第十七章	混凝土結構用錨栓
第十八章	耐震結構物
第十九章	混凝土：設計與耐久性要求
第二十章	鋼筋性質、耐久性及埋置物
第二十一章	強度折減因數
第二十二章	斷面強度
第二十三章	壓拉桿方法
第二十四章	使用性要求
第二十五章	鋼筋細節
第二十六章	設計圖說及檢驗

[土木401-110]

混凝土工程設計規範與解說

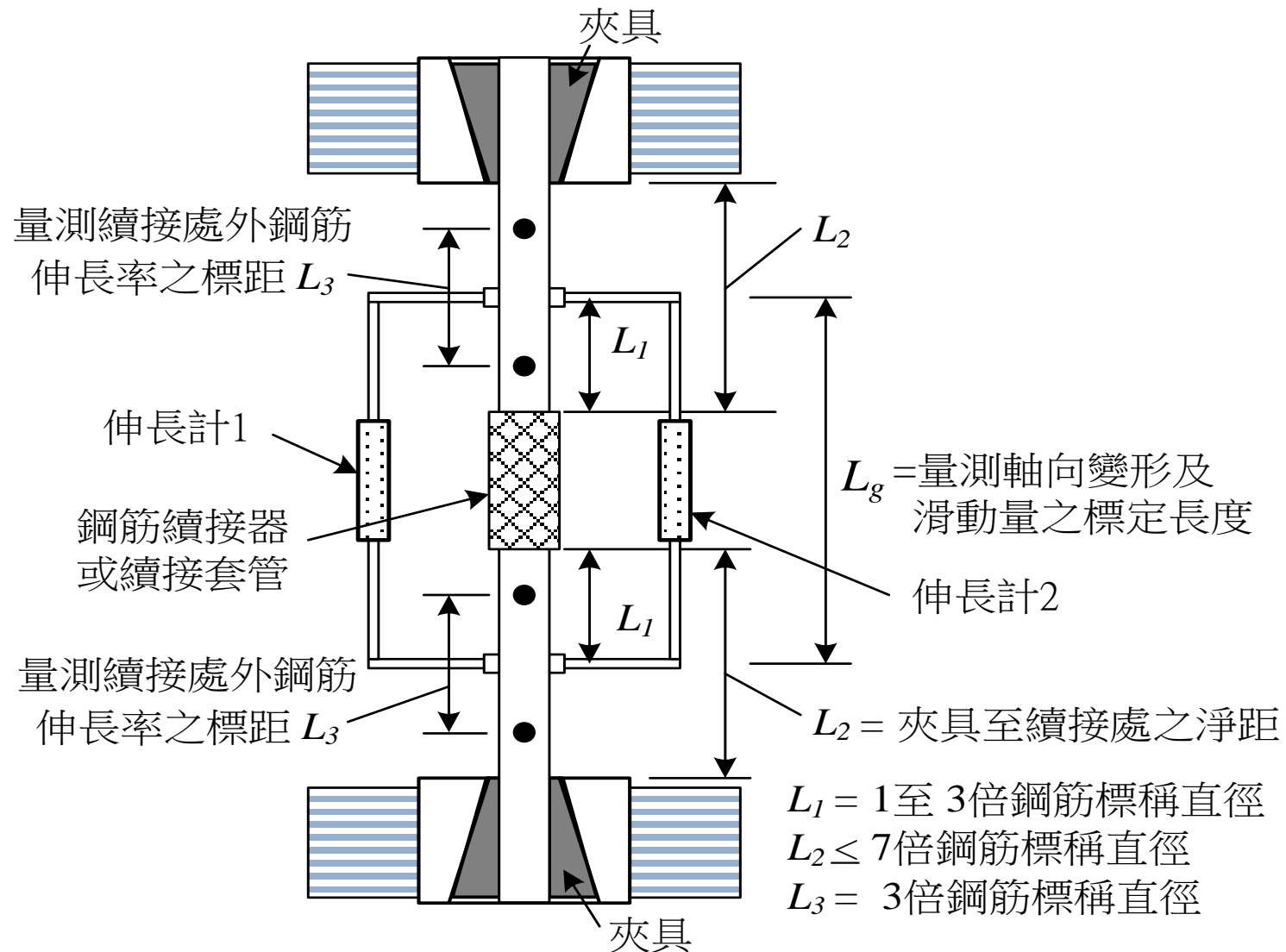


中國土木水利工程學會 編著

科技圖書股份有限公司

110年4月初版

CNS 15560 鋼筋機械式續接試驗方法



圖R26.6.5.2(a) 鋼筋機械式續接試驗裝置

26.6.5 機械式續接

26.6.5.1 檢驗頻率

- 鋼筋機械式續接檢驗包含施工前性能試驗及施工中品質檢驗。
- 鋼筋機械式續接施工前應出具最近試驗室辦理相同製造廠同型號續接組件之性能試驗合格報告，並經監造單位核准。
- 鋼筋機械式續接施工期間施工廠商應全數作執行外觀檢查，並依下表辦理工地取樣執行26.6.5.2節之試驗。

表26.6.5.1 鋼筋機械續接施工期間最低取樣頻率

試驗項目	第三類(SA級)或第二類(A級) 機械式續接取樣頻率	第一類機械式續接(B級) 取樣頻率
單向拉伸及 滑動試驗	1/100	1/100
重複負載及 滑動試驗	不適用	1/1000
高塑性反復 負載試驗	1/1000	不適用

26.6.5 機械式續接

26.6.5.1 檢驗頻率

...

- d) 工地取樣須具有代表性，應由工地內已完成加工之鋼筋及續接組件中抽樣，並在工地比照實際施工程序完成組裝，送試驗室試驗合格後再澆鑄混凝土。
- e) 工地取樣試驗結果不符26.6.5.2節規定時，應依CNS 2608之規定進行重驗，如重驗結果符合規定時，該批續接組件視為合格。若重驗結果仍不合格時，該批續接組件應予以拒收。重驗以一次為限。
- f) 外觀檢查應包括位置、型式、密合度、同軸度等項目。



26.6.5 機械式續接

26.6.5.2 允收準則

- a) 鋼筋機械式續接試驗應依CNS 15560之規定辦理，惟指定負載、加載反復週次及循環週次等應依本節規定辦理。
- b) 續接試體準備及裝置依CNS 15560規定辦理，續接試體在進行試驗前不得預拉。
- c) 鋼筋機械式續接試驗合格標準如表26.6.5.2所列。
- d) 除非另有規定，試體破壞模式如斷裂位置或鋼筋拔出等不作為等級判別或拒收之理由。
- e) 高塑性反復負載試驗過程如發生試體挫曲之現象，該試驗視為無效而非試體不合格。



續接器檢驗準則

與03210章V5.0有差異

表26.6.5.2 鋼筋機械式續接試驗性能合格標準

[新版規範適用高強度鋼筋]

試驗項目 (頻率)	加載程序	指標	合格標準		
			第三類 (SA級)	第二類 (A級)	第一類 (B級)
單向拉伸及 滑動試驗 (1/100)	0→0.95 P_y →0.02 P_y →拉至破壞	抗拉強度	$\geq 1.25f_y$ 且 $\geq f_u$	$\geq 1.25f_y$ 且 $\geq f_u$	$\geq 1.25f_y$
		殘留滑動量 $(\delta_s)_{1c}$	≤ 0.3 mm	≤ 0.3 mm	≤ 0.3 mm
		續接處外鋼筋之伸長率 ^[1]	$\geq 9\%$ ，鋼筋尺度 D32以下	$\geq 4\%$	$\geq 2\%$
			$\geq 6\%$ ，鋼筋尺度 D36以上		
重複負載及 滑動試驗 (1/1000)	0→(0.95 P_y ↔0.02 P_y)×30回 →拉至破壞	抗拉強度	不適用	不適用	$\geq 1.25f_y$
		滑動量 $(\delta_s)_{30c}$	不適用	不適用	≤ 0.3 mm
		續接處外鋼筋之伸長率 ^[1]	不適用	不適用	$\geq 2\%$
高塑性反復 負載試驗 (1/1000)	0→(0.95 P_y ↔-0.5 P_y)×16回 →($n\delta_y$ ↔-0.5 P_y)×8回 →($2n\delta_y$ ↔-0.5 P_y)×8回 →拉至破壞 ^[2]	抗拉強度	$\geq 1.25f_y$ 且 $\geq f_u$	$\geq 1.25f_y$ 且 $\geq f_u$	不適用
		滑動量 $(\delta_s)_{16c} - (\delta_s)_{1c}$	≤ 0.3 mm	≤ 0.3 mm	不適用
		滑動量 $(\delta_s)_{24c}$	≤ 0.9 mm	≤ 0.9 mm	不適用
		滑動量 $(\delta_s)_{32c}$	≤ 1.8 mm	不適用	不適用
		續接處外鋼筋之伸長率 ^[1]	$\geq 9\%$ ，鋼筋尺度 D32以下	$\geq 4\%$	不適用
			$\geq 6\%$ ，鋼筋尺度 D36以上		

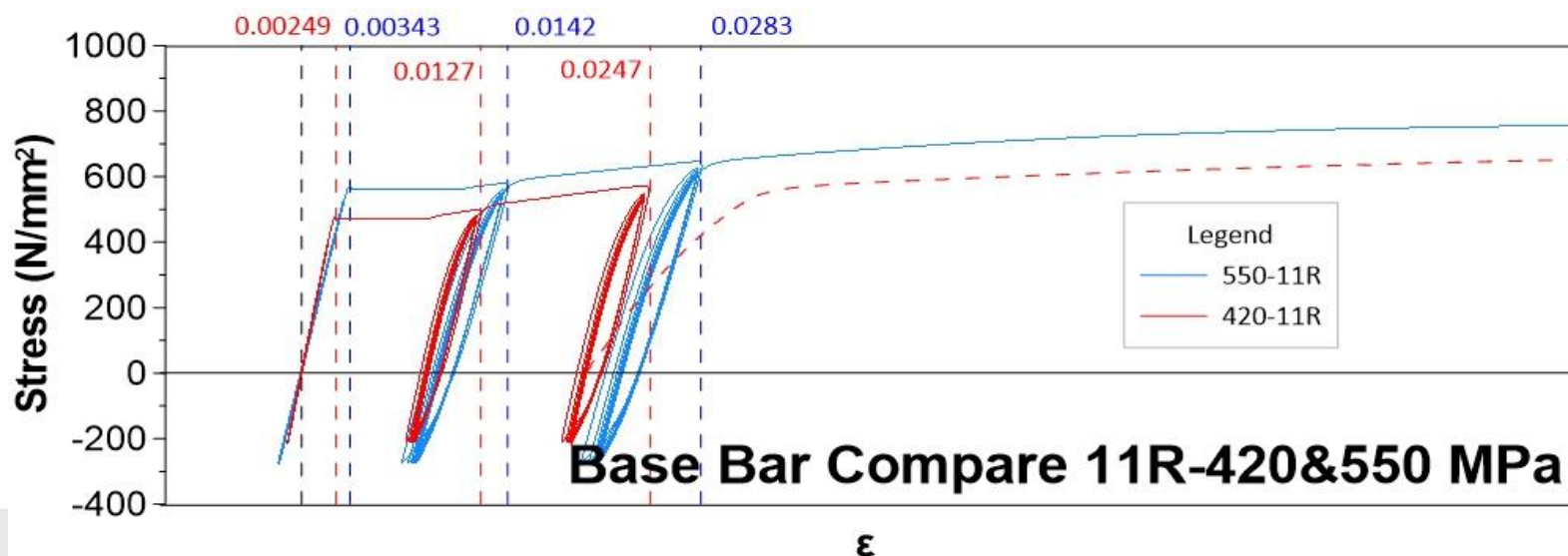
[1] 續接處外兩側鋼筋伸長率之較大值。

[2] 見下頁投影片。

修訂重點：塑性應變值與倍率

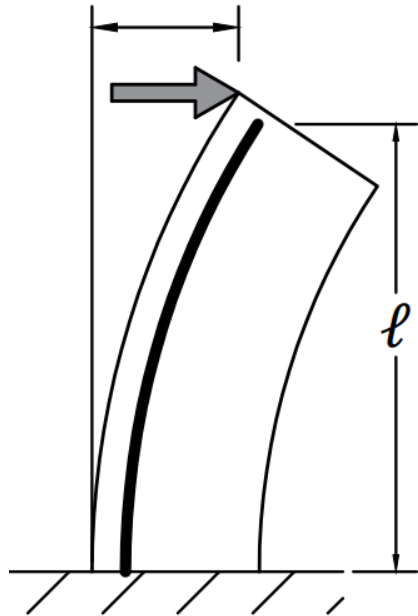
降伏強度 f_y (MPa)	降伏應變 $\varepsilon_y = \frac{f_y}{E_s}$	塑性倍率 n	$n\varepsilon_y$	$2n\varepsilon_y$
420	0.00210	6	0.0126	0.0252
550	0.00275	5	0.0138	0.0275
690	0.00345	4	0.0138	0.0275

$$E_s = 200,000 \text{ MPa}$$

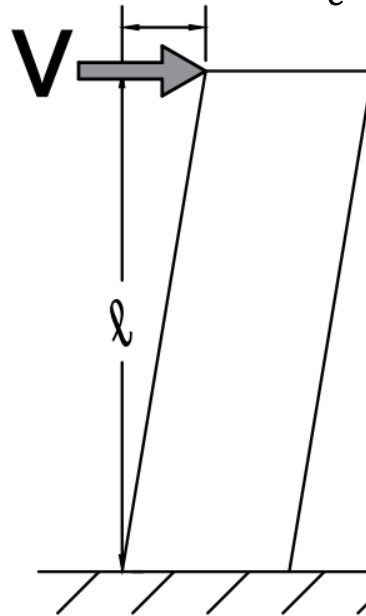


塑性鉸長度法

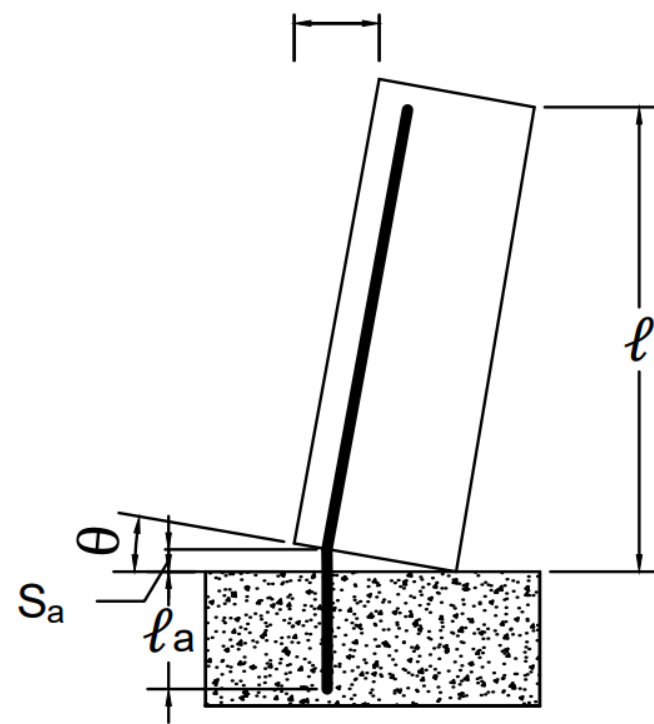
$$\Delta = \Delta_{\text{flexure}} = \frac{\phi_y}{2} \cdot \frac{2}{3} \ell \quad +$$



$$\Delta_{\text{Shear}} = \frac{V \times \ell}{A_e \times G_{\text{eff}}} \quad +$$



$$\Delta_{\text{Slip}} = \theta_{\text{slip}} \times \ell$$



$G_{\text{eff}} = 0.2E_c$ (Elwood and Eberhard 2009 recommended)

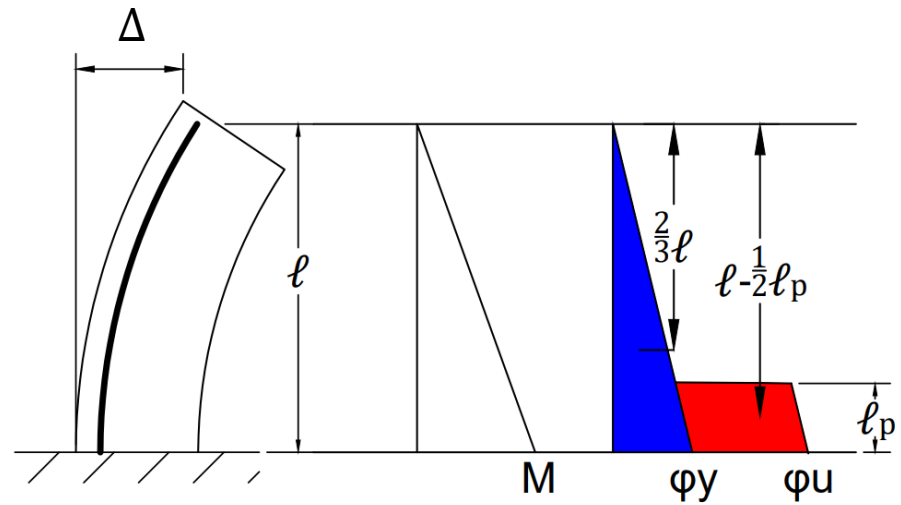
$A_e = \frac{5}{6}A_g$ (rectangular sections)

$$\theta_{\text{slip}} = \frac{d_b f_{s,\text{max}}^2}{8E_s \bar{u}} \frac{1}{(d - c)}$$

$\bar{u} = 1\sqrt{f'c}$ MPa (Lehman and Moehle 2000 and Sezen and Setzler 2008)

$$\Delta = \Delta_y (\text{彈性變位}) + \Delta_p (\text{塑性變位})$$

- $\Delta_y = \frac{\phi_y}{2} \cdot \frac{2}{3} \ell + \frac{V_y \cdot \ell}{A_e \times G_{\text{eff}}} + \frac{d_b f_y^2}{8 E_s \bar{u}} \frac{1}{(d-c)}$
- $\Delta_p = (\phi_u - \phi_y) \ell_p (\ell - \frac{\ell_p}{2})$
- $\ell_p = 0.5h$



【Moment-Curvature 斷面分析】



NewRC-Mocur2020

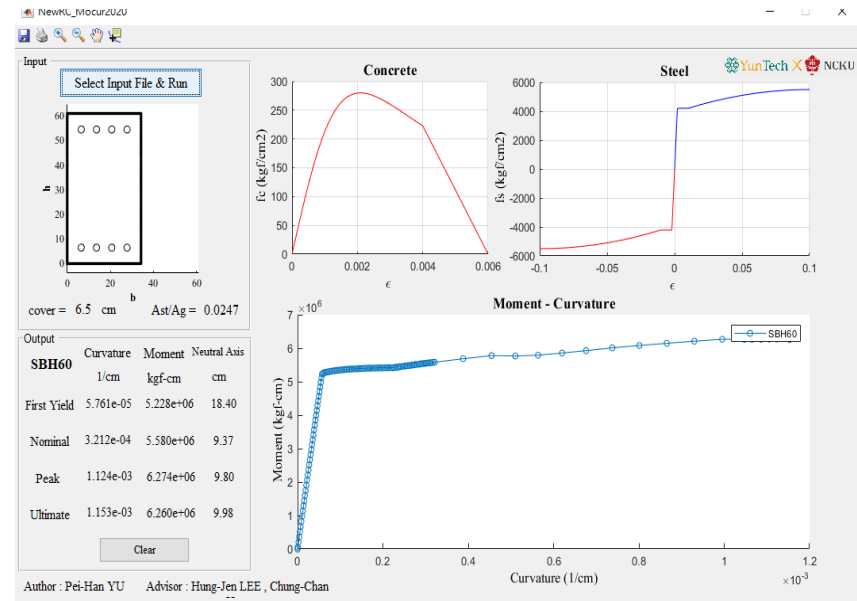
指導教授：李宏仁 博士 & 洪崇展 博士

學生：余沛涵

信箱：peihan105@gmail.com

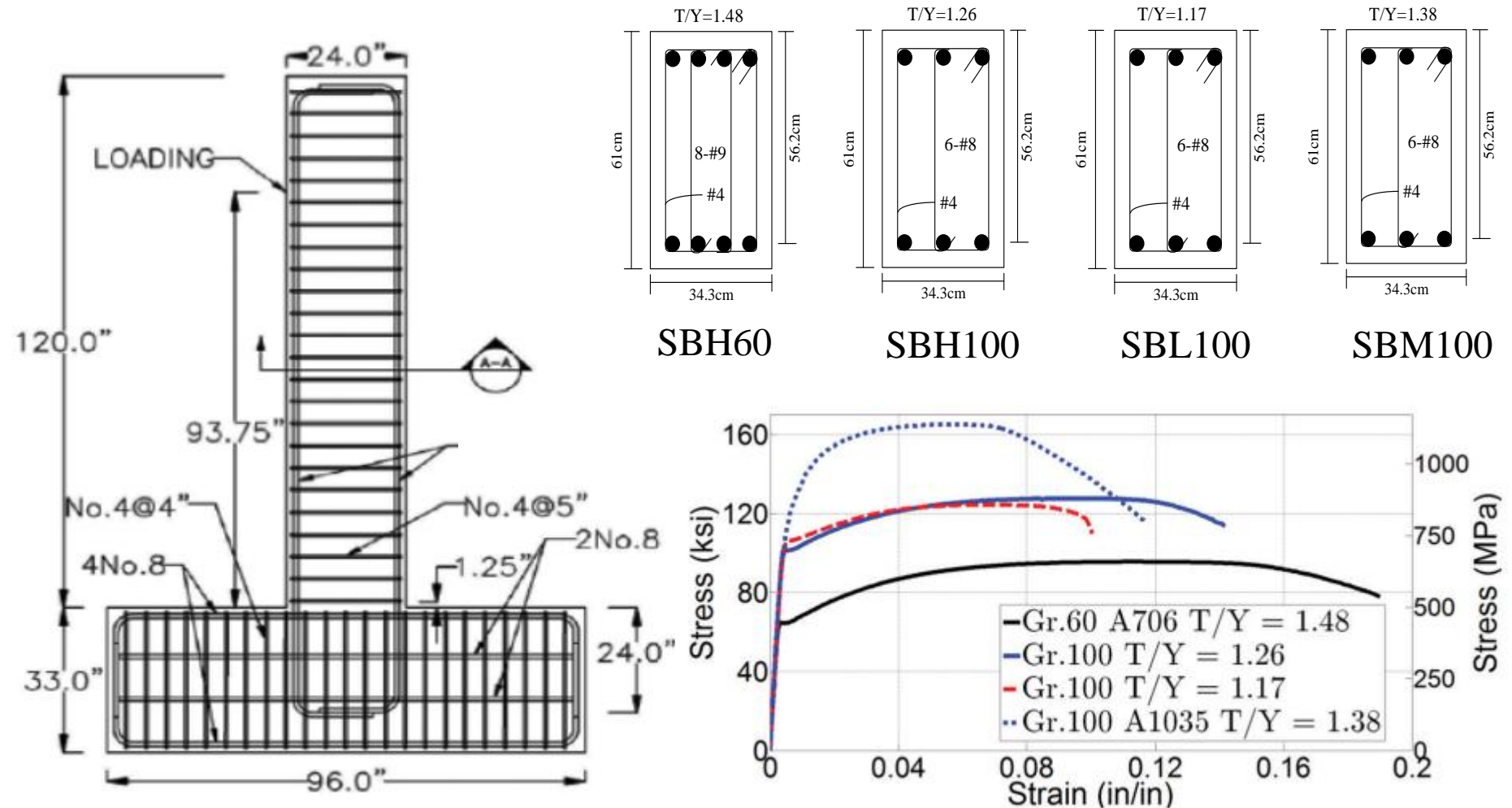
Facebook社團：[NewRC-Biax-2020](#)

DOWNLOAD



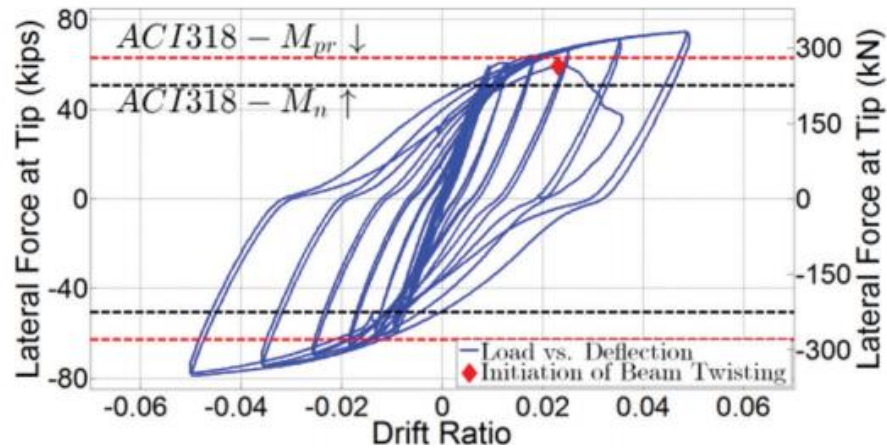
余沛涵; 李宏仁; and 洪崇展, "新高強度鋼筋混凝土矩形斷面彎矩曲率分析程式之開發," 中華民國第十五屆結構工程研討會暨第五屆地震工程研討會, 台南, 2020, pp. 10.

Moment-Curvature 斷面分析

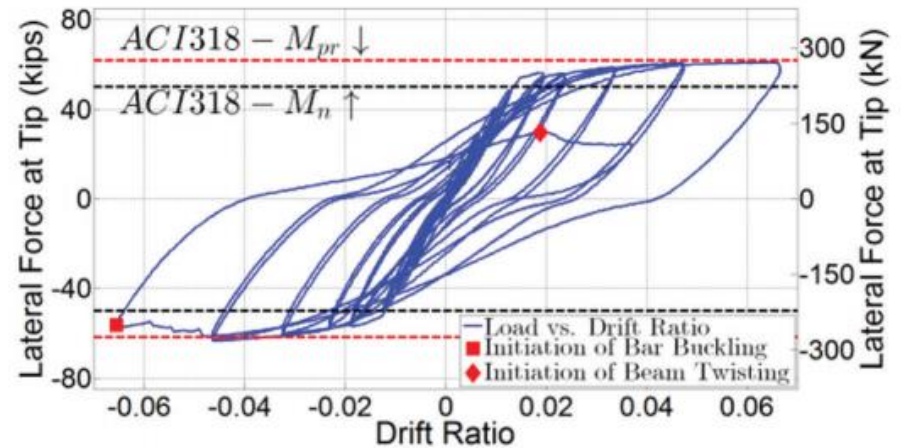


To, D. V.; and Moehle, J. P., "Special Moment Frames with High-Strength Reinforcement--Part 1: Beams," ACI Structural Journal, V. 117, No. 2, 2020.

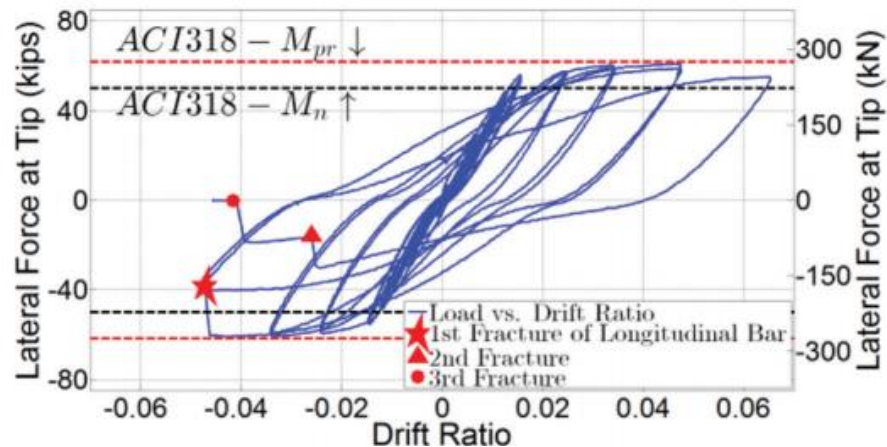
Moment-Curvature 斷面分析



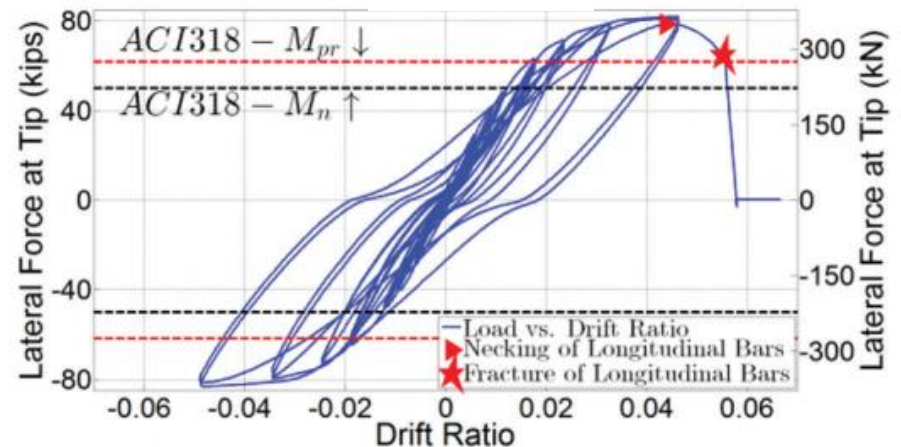
SBH60



SBH100

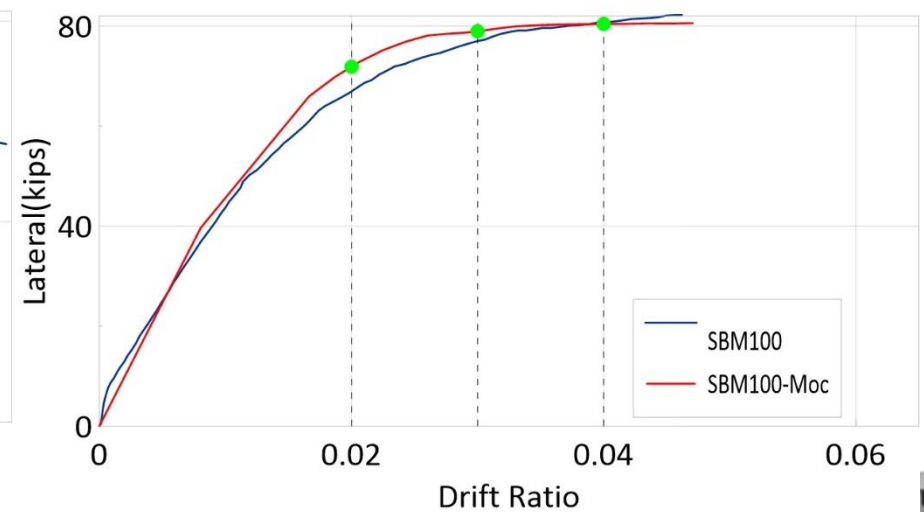
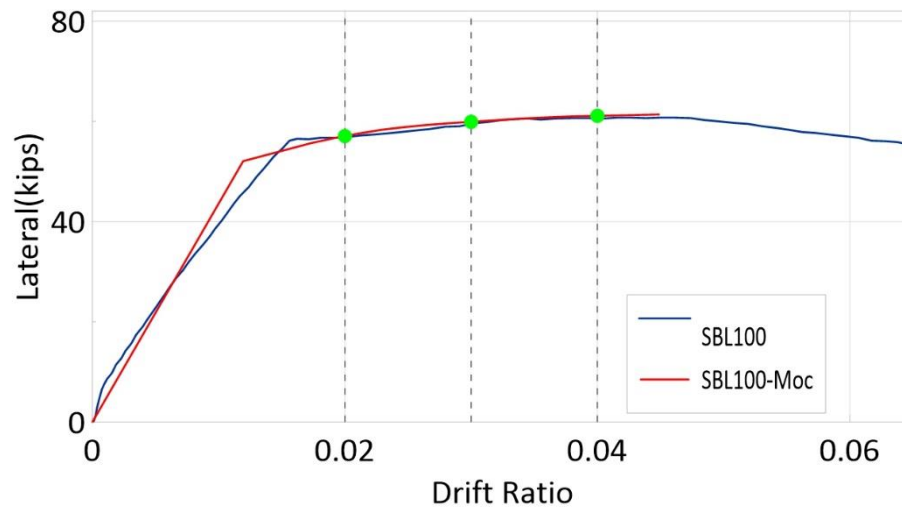
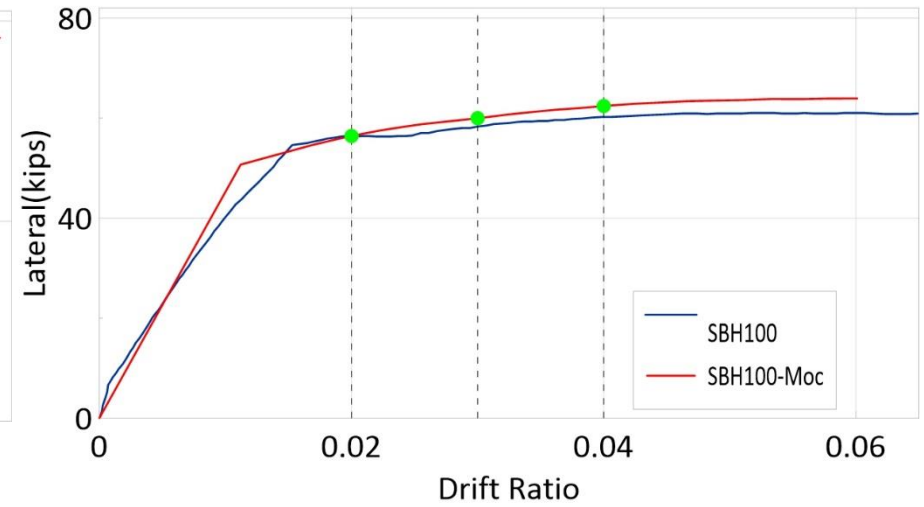
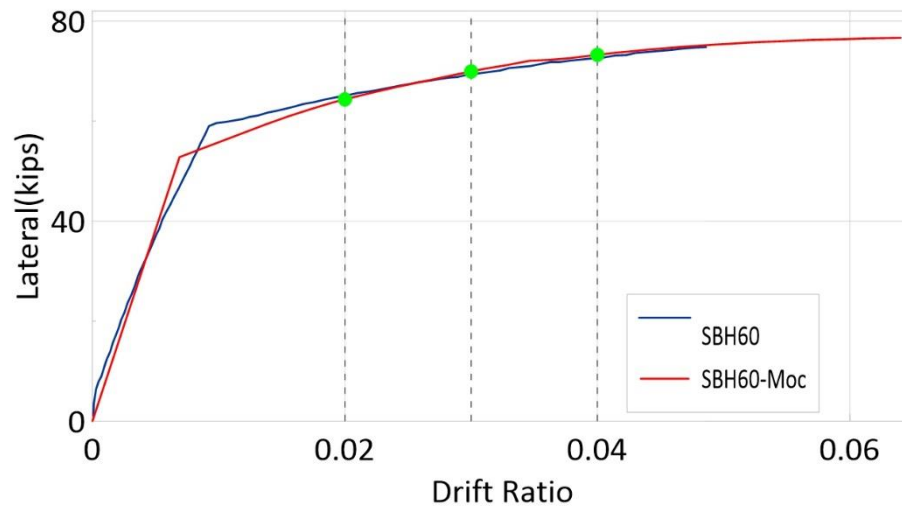


SBL100

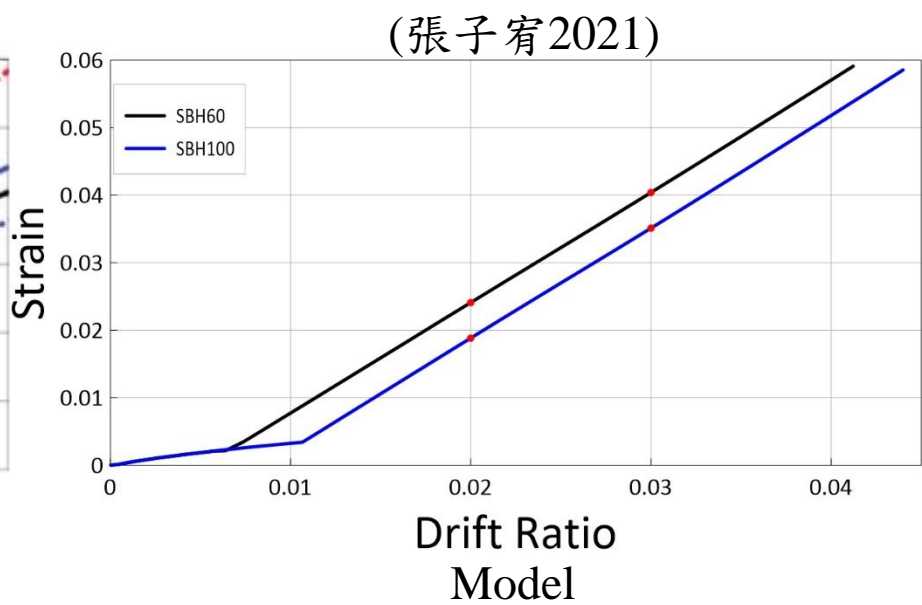
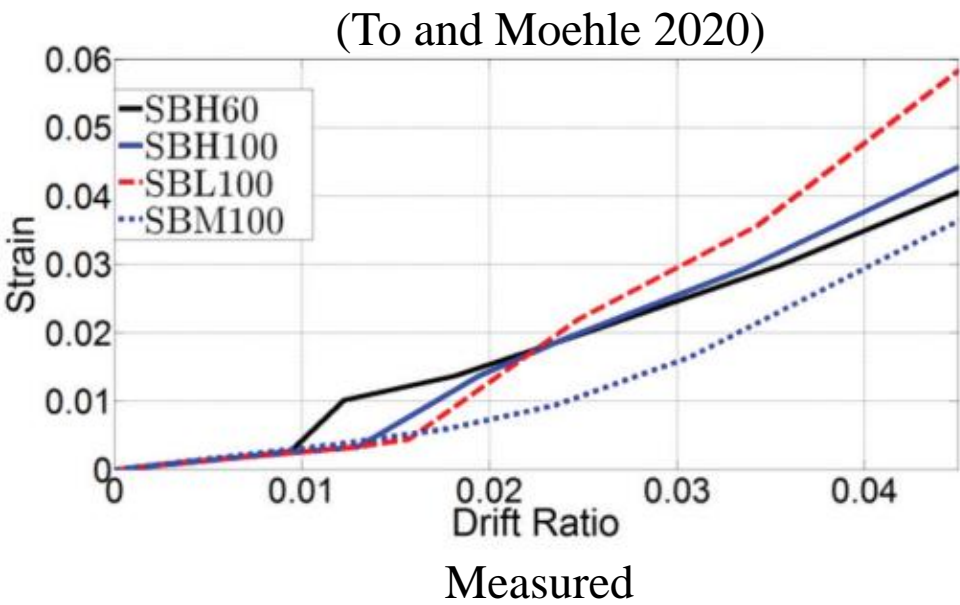


SBM100

Moment-Curvature 斷面分析



負載試驗塑性倍率之決定

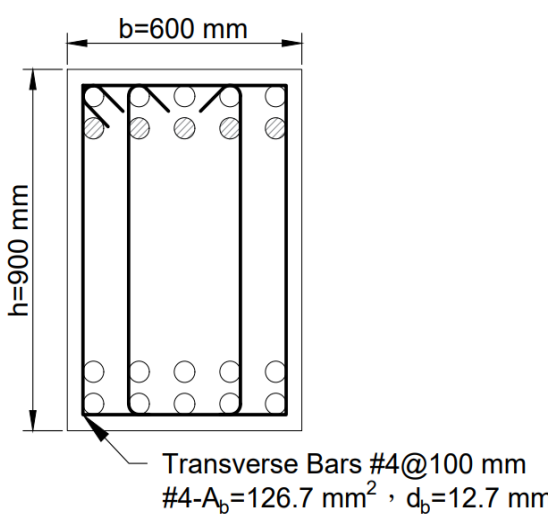


試體名稱	鋼筋等級	降伏應變 ϵ_y	2% D.R.		3% D.R.	
			Measured	Model	Measured	Model
SBH60	420 MPa	0.0021	0.0152 ($7\epsilon_y$)	0.0241 ($11\epsilon_y$)	0.0252 ($12\epsilon_y$)	0.0404 ($19\epsilon_y$)
SBH100	690 MPa	0.0035	0.0148 ($4\epsilon_y$)	0.0188 ($5\epsilon_y$)	0.0263 ($8\epsilon_y$)	0.0351 ($10\epsilon_y$)

鋼筋等級	塑性倍率n	塑性倍率2n	迴圈數
420 MPa	6	12	8
550 MPa	5	10	8
690 MPa	4	8	8

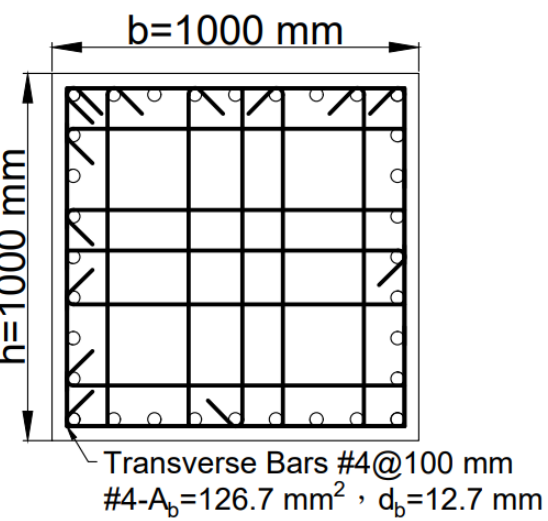
(張子宥2021)

模擬構件斷面參數 (張子宥2021)



	梁斷面參數	種類
f'_c	28 , 49 , 70	3
f_y	420 , 550 , 690	3
ρ	0.6% , 1.0% , 1.6% , 2.0%	4
$\frac{\rho}{\rho'}$	2.0 , 1.0	2
總計:72組		

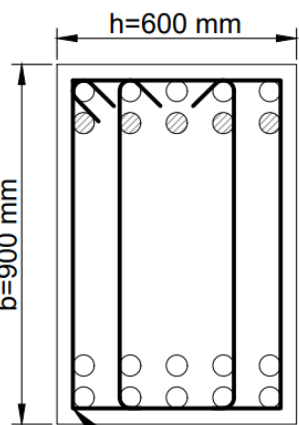
虛擬梁斷面編號:B_60× 90_ f'_c _ f_y _ ρ _ ρ'



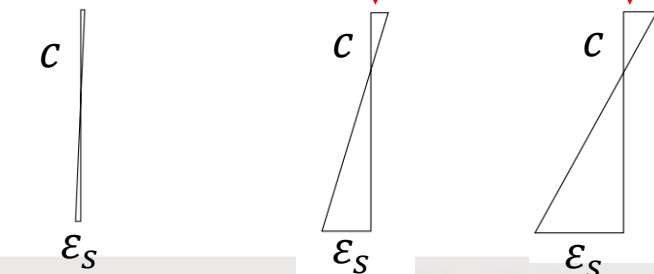
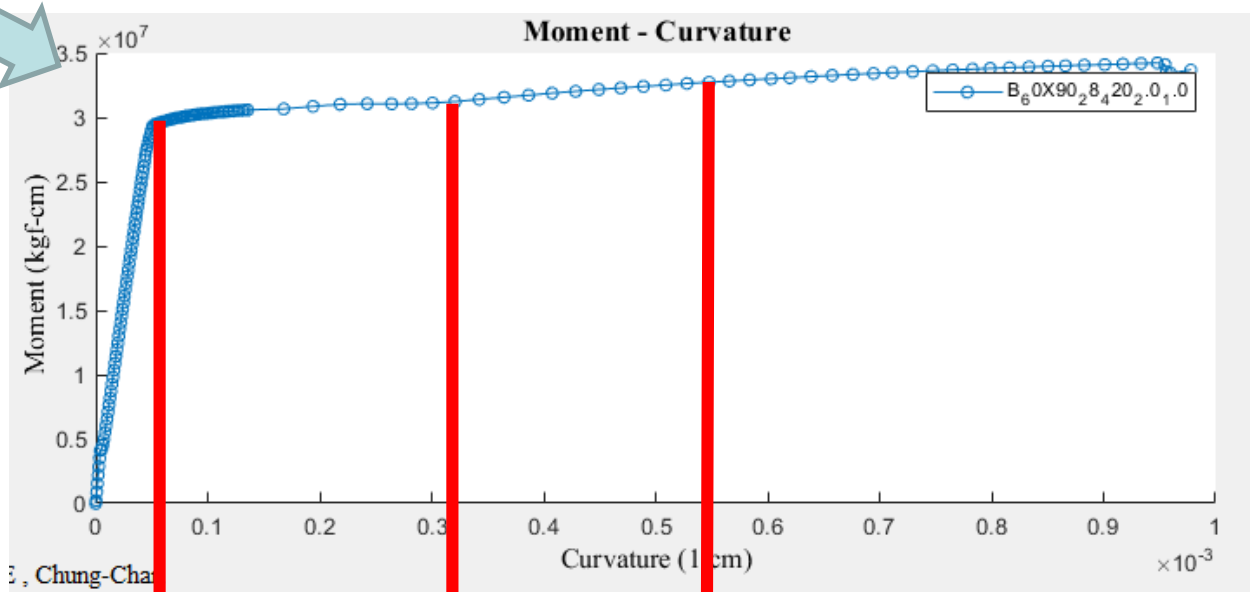
	柱斷面參數	種類
f'_c	28 , 49 , 70	3
f_y	420 , 550 , 690	3
ρ	1.0% , 2.0% , 3.0%	3
$\frac{P}{A_g \times f'_c}$	0.1 , 0.2 , 0.3	3
總計:81組		

虛擬柱斷面編號:C_100× 100_ f'_c _ f_y _ ρ _ $\frac{P}{A_g \times f'_c}$

模擬梁柱斷面鋼筋應變分析



範例: B_60×90_28_420_2.0_1.0

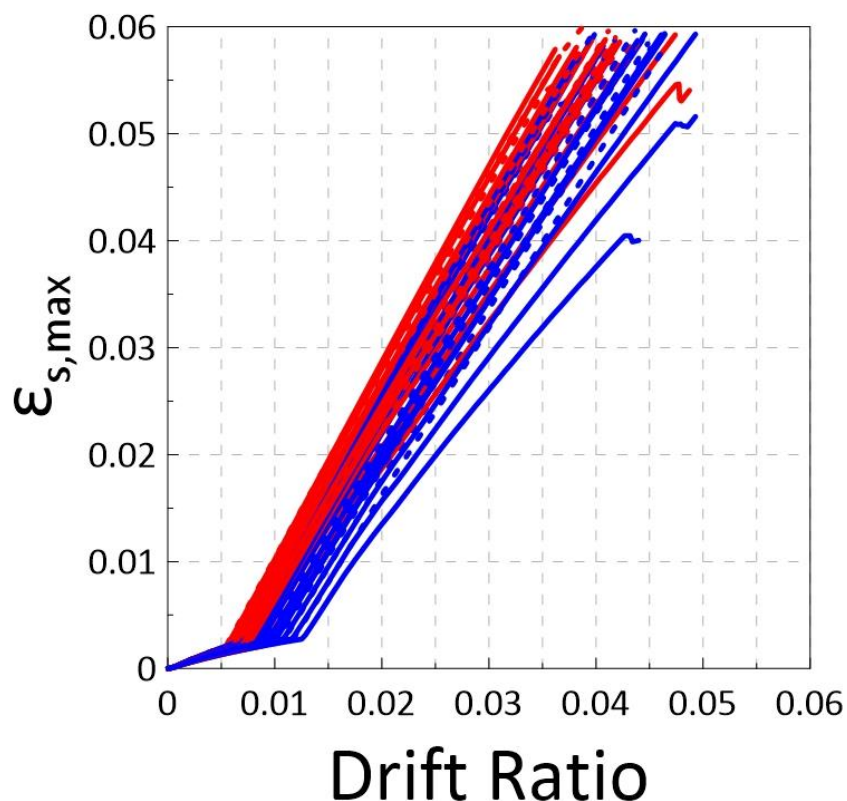
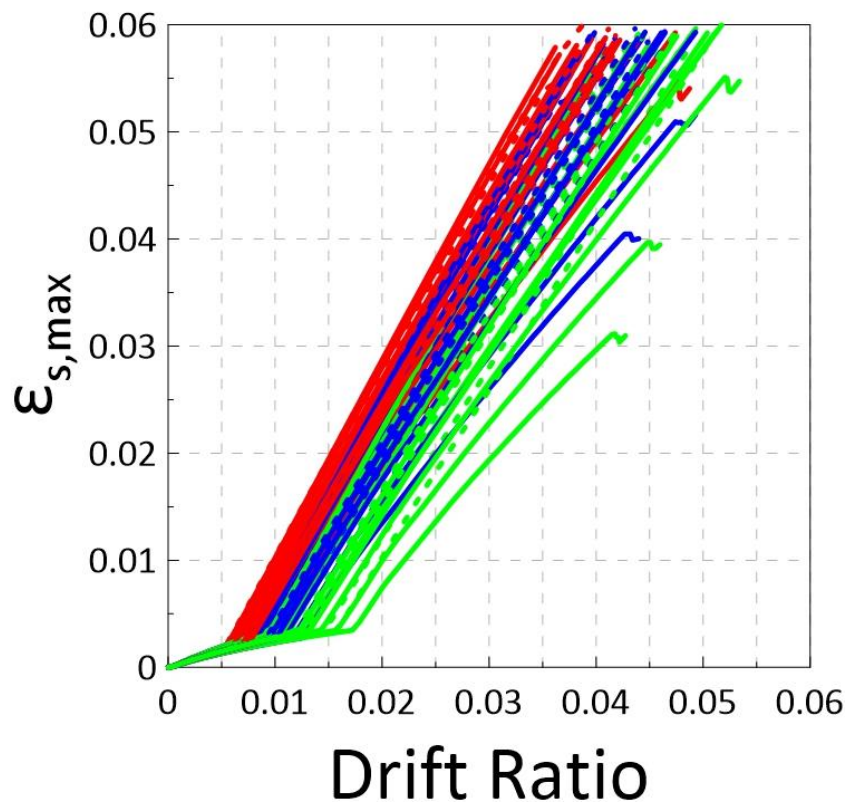


模擬梁斷面分析

紅：420 MPa

藍：550 MPa

綠：690 MPa

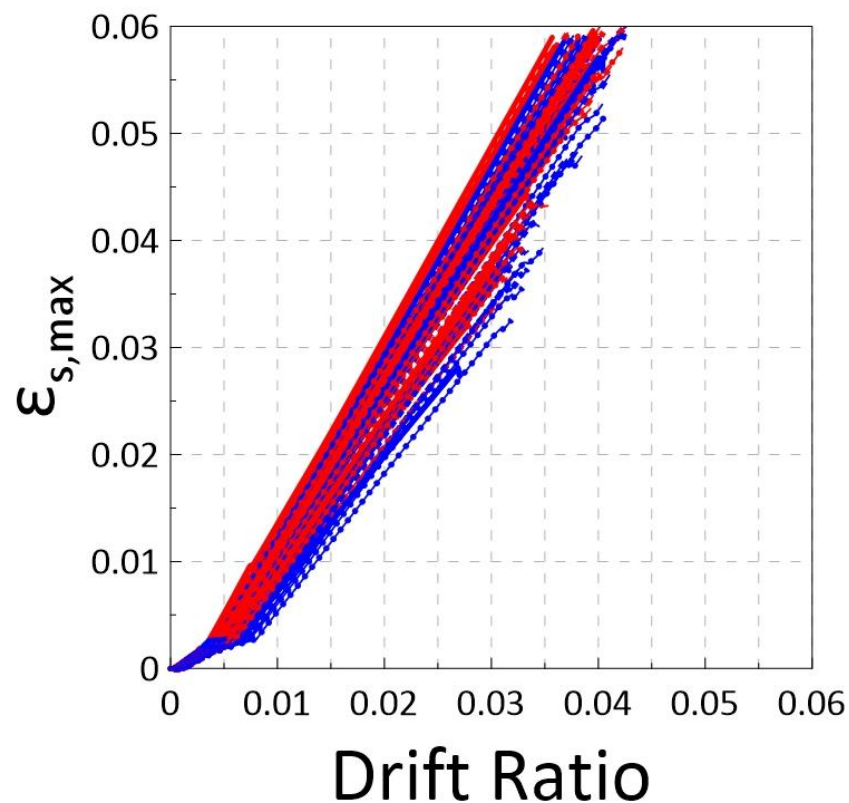
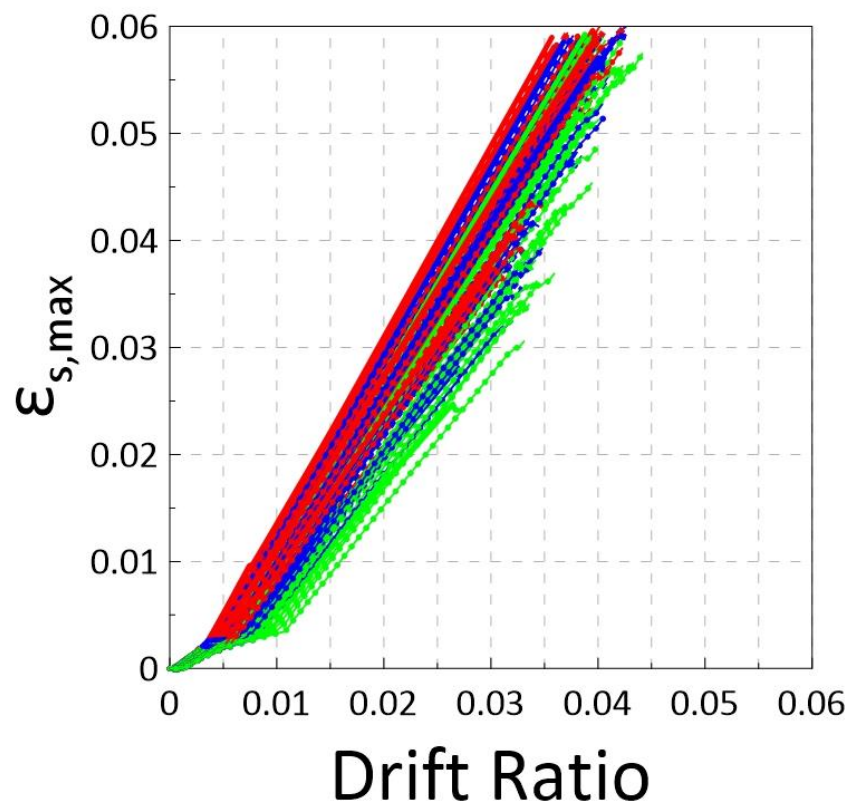


模擬柱斷面分析

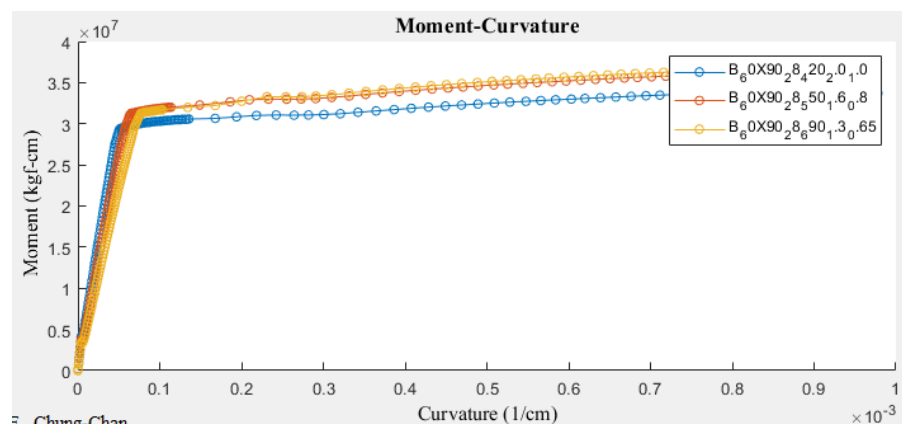
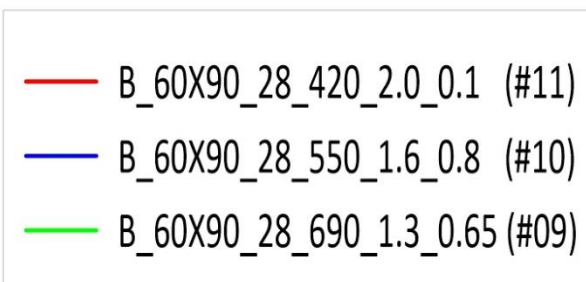
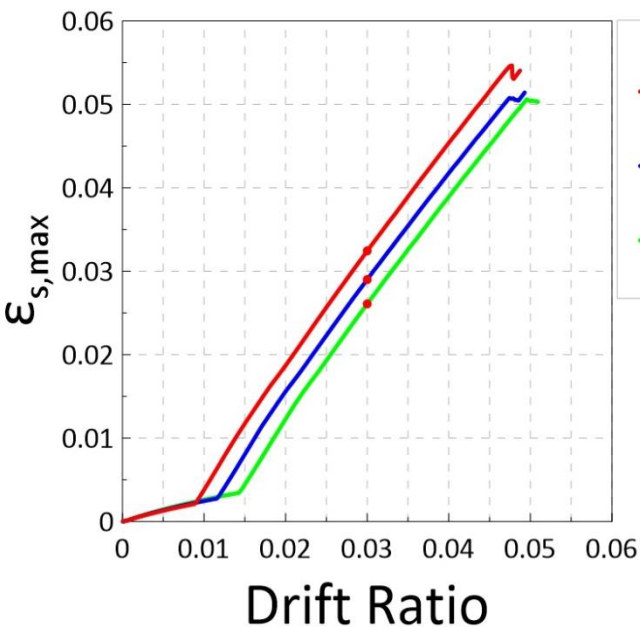
紅：420 MPa

藍：550 MPa

綠：690 MPa



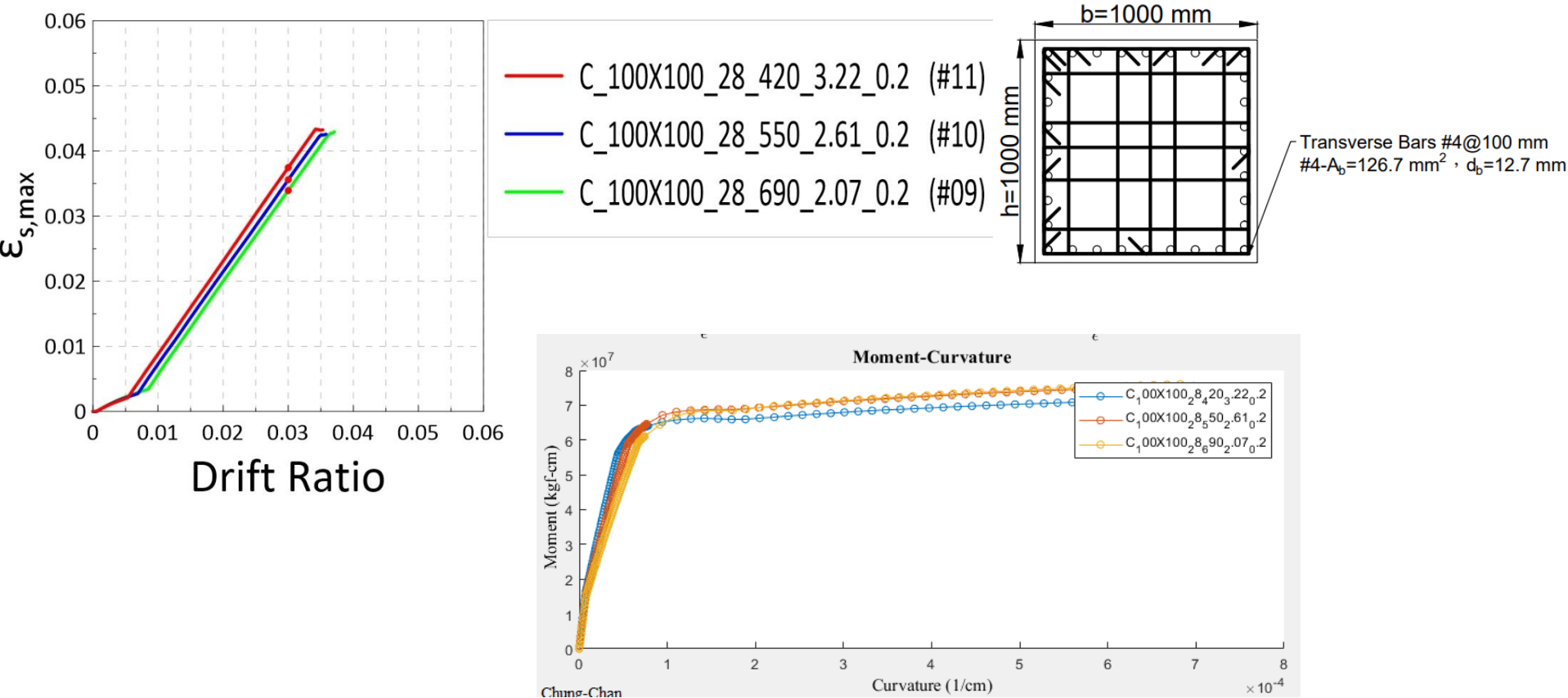
維持 M_n 變化鋼種及號數模擬梁斷面分析



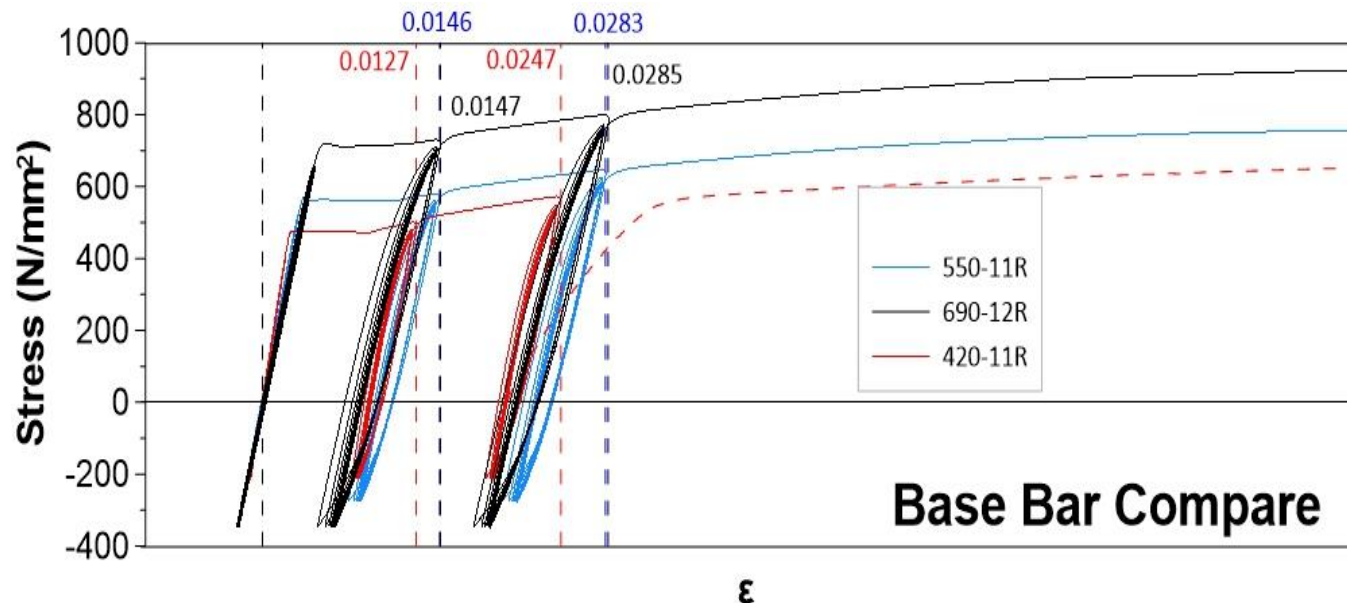
E. Chung-Chan

(張子宥2021)	13.5 cm (3%)		ϵ_s
模擬梁斷面編號	$\Delta\text{shear}+\Delta\text{slip}+\Delta\text{flexure}=\Delta y$ (D.R.)	Δp (D.R.)	
B_60×90_28_420_2.0_1.0	0.16+0.77+3.06=3.99 (0.89%)	9.66 (2.15%)	0.03289
B_60×90_28_550_1.6_0.8	0.18+1.16+3.87=5.21 (1.16%)	8.29 (1.84%)	0.02905
B_60×90_28_690_1.3_0.65	0.18+1.57+4.67=6.42 (1.43%)	7.08 (1.57%)	0.02578

維持 M_n 變化鋼種及號數模擬柱斷面分析



(張子宥2021)	5.4 cm (3%)		ϵ_s
模擬柱斷面編號	$\Delta\text{shear}+\Delta\text{slip}+\Delta\text{flexure}=\Delta y$ (D.R.)	Δp (D.R.)	
C_100×100_28_420_3.22_0.2	0.18+0.30+0.48=0.96 (0.53%)	4.44 (2.47%)	0.03744
C_100×100_28_550_2.61_0.2	0.19+0.45+0.61=1.25 (0.69%)	4.15 (2.31%)	0.03558
C_100×100_28_690_2.07_0.2	0.19+0.61+0.73=1.53 (0.85%)	3.87 (2.15%)	0.03393



ε
420、550、690 Mpa 鋼筋母材反復應力應變曲線之比較

母材種類		420	550	690
塑性倍率n		6	5	4
24圈降伏應變($n\delta_y$)	標稱	0.0126	0.0138	0.0138
	實際	0.0127	0.0146	0.0147
32圈降伏應變($2n\delta_y$)	標稱	0.0252	0.0275	0.0276
	實際	0.0247	0.0283	0.0285

因實際機台誤差造成標稱與實際降伏應變有些微誤差，不同強度鋼種雖降低塑性倍率但應變更高，較自訂程序更為嚴格。

鋼筋續接組件試驗



鋼筋續接工程專業廠商 摩擦壓接工法

BLC鋼筋續接系統
REINFORCING BAR SPLICING



冷鍛擴頭滾牙螺紋接頭續接組件



摩擦銲接續接器具錐螺紋接頭



RUENTEX
潤弘精密工程



螺紋節鋼筋續接器(砂漿填充式)

螺紋節鋼筋續接 (砂漿填充式)



內政部建築研究所

高強度鋼筋機械式續接性能合格標準及驗證研究

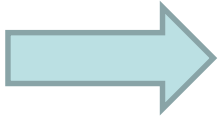
550 MPa等級的測試結果一覽表

李宏仁等人(2020)

續接器製造商	續接器種類 (550 MPa)		完成	試驗日期	判定
常基	擴頭滾牙螺紋接頭	8R	3	03/12	SA級
		10R	3		
東京鐵鋼	螺紋節鋼筋續接器 (砂漿填充式)	12R	9	04/30	SA級
		13R	9	05/07	SA級
東京鐵鋼	砂漿填充續接套管	13R	9	05/14	A級
東和鋼鐵	螺紋節鋼筋續接器 (砂漿填充式)	11R	3	06/04	SA級
東和鋼鐵	摩擦銲接續接器	11R	3	06/11	SA級
豐興鋼鐵(母材) 蘭州工程(續接)	摩擦銲接續接器	11R	3	07/08	SA級

簡報大綱

- 鋼筋直線伸展與搭接長度
- 機械式續接設計相關規定
- 機械式續接檢驗
- 結語與展望



建議一：續接器性能分級

18.2.7 特殊抗彎矩構架與特殊結構牆之機械式續接

18.2.7.1 機械式續接應分為(a)、(b)或(c)類：

- (a) 第一類—符合第25.5.7節及第26.6.5節規定之機械式續接。
- (b) 第二類—符合第25.5.7節及第26.6.5節規定且能使被續接鋼筋發展至規定抗拉強度之機械式續接。
- (c) 第三類—符合第25.5.7節及第26.6.5節規定且能使被續接鋼筋發展至規定抗拉強度並承受多次反復非彈性應變之機械式續接。

續接性能分級		第一類 (B級)	第二類 (A級)	第三類 (SA級)
抗拉強度		$\geq 1.25f_y$	$\geq 1.25f_y$ 且 $\geq f_u$	$\geq 1.25f_y$ 且 $\geq f_u$
續接組件與母材鋼筋之對比	強度	○	○	○
	變形(滑動量)		○	○
	韌性(伸長率)			○
地震時鋼筋可能降伏區域		禁止使用	有條件使用	無條件使用

○表示性能與母材鋼筋相近。

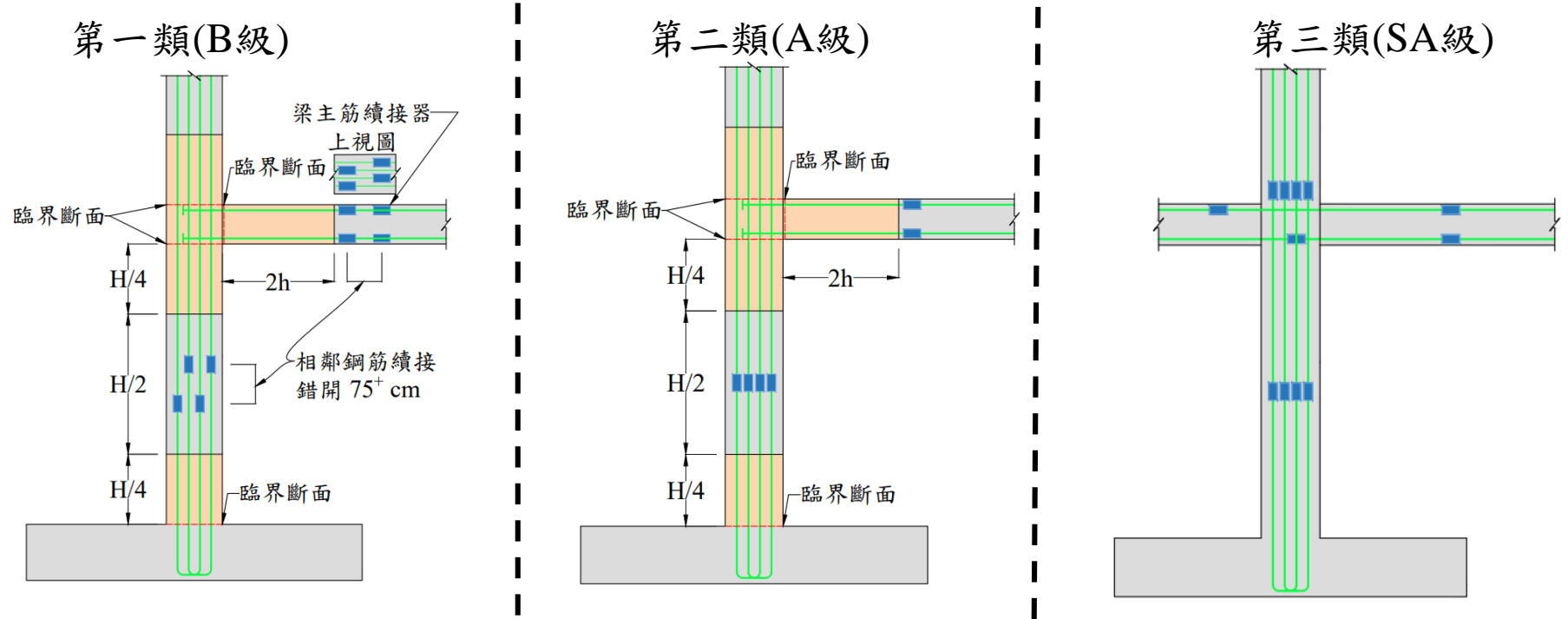
建議二:鋼筋機械式續接試驗性能合格標準

試驗項目 (頻率)	加載程序	指標	合格標準		
			第三類 (SA級)	第二類 (A級)	第一類 (B級)
單向拉伸及 滑動試驗 (1/100)	0→0.95 P_y →0.02 P_y →拉至破壞	抗拉強度	$\geq 1.25f_y$ 且 $\geq f_u$	$\geq 1.25f_y$ 且 $\geq f_u$	$\geq 1.25f_y$
		殘留滑動量 $(\delta_s)_{1c}$	≤ 0.3 mm	≤ 0.3 mm	≤ 0.3 mm
		續接處外鋼筋之伸長率 [1]	$\geq 9\%$ ，鋼筋尺 度D32以下	$\geq 4\%$	$\geq 2\%$
			$\geq 6\%$ ，鋼筋尺 度D36以上		
重複負載及 滑動試驗 (1/1000)	0→(0.95 P_y ↔0.02 P_y)×30 回 →拉至破壞	抗拉強度	不適用	不適用	$\geq 1.25f_y$
		滑動量 $(\delta_s)_{30c}$	不適用	不適用	≤ 0.3 mm
		續接處外鋼筋之伸長率 [1]	不適用	不適用	$\geq 2\%$
高塑性反復 負載試驗 (1/1000)	0→(0.95 P_y ↔-0.5 P_y)×16 回→(n δ_y ↔-0.5 P_y)×8回 →(2n δ_y ↔-0.5 P_y)×8回 →拉至破壞 ^[2]	抗拉強度	$\geq 1.25f_y$ 且 $\geq f_u$	$\geq 1.25f_y$ 且 $\geq f_u$	不適用
		滑動量 $(\delta_s)_{16c} - (\delta_s)_{1c}$	≤ 0.3 mm	≤ 0.3 mm	不適用
		滑動量 $(\delta_s)_{24c}$	≤ 0.9 mm	≤ 0.9 mm	不適用
		滑動量 $(\delta_s)_{32c}$	≤ 1.8 mm	不適用	不適用
		續接處外鋼筋之伸長率 [1]	$\geq 9\%$ ，鋼筋尺 度D32以下	$\geq 4\%$	不適用
			$\geq 6\%$ ，鋼筋尺 度D36以上		

[1] 續接處外兩側鋼筋伸長率之較大值。 [2] 第二類(A級)完成24回後可拉至破壞；

$f_y \leq 4,200$ kgf/cm² [420 MPa]之鋼筋，塑性倍率n=6；
 $f_y = 5,600$ kgf/cm² [550 MPa]之鋼筋，塑性倍率n=5；
 $f_y = 7,000$ kgf/cm² [690 MPa]之鋼筋，塑性倍率n=4。

建議三:續接器組件使用範圍



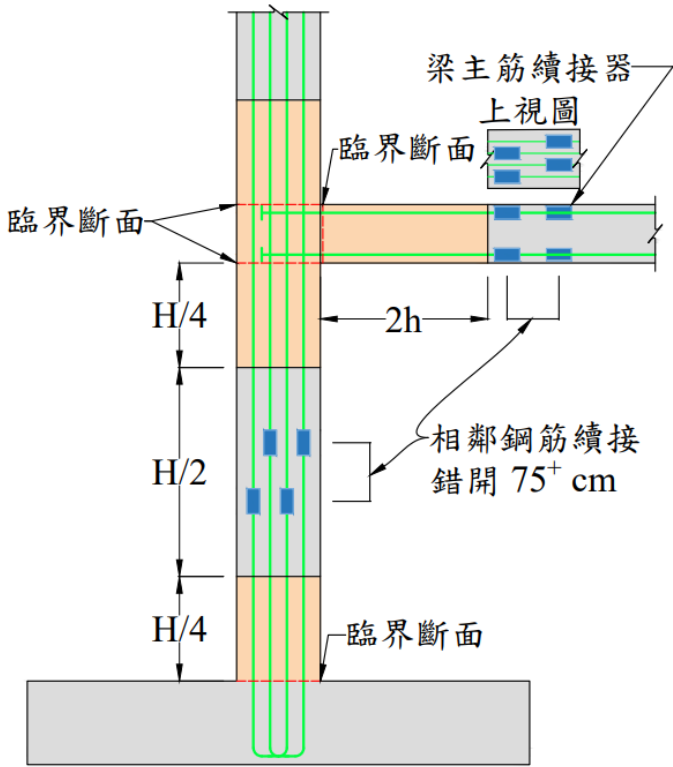
	B級	A級	SA級
錯置 75 cm	必須*	鼓勵	鼓勵
2h 範圍內	禁止使用	禁止使用	允許使用**

* 25.5.7.4節，受拉構材
** 18.2.7.2節，新版規範(2021)



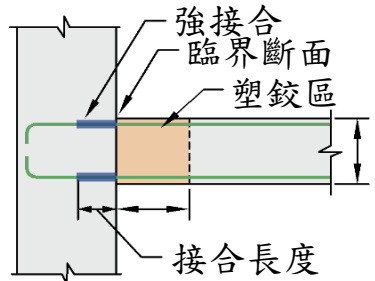
建議三:續接器組件使用範圍

第一類(B級)

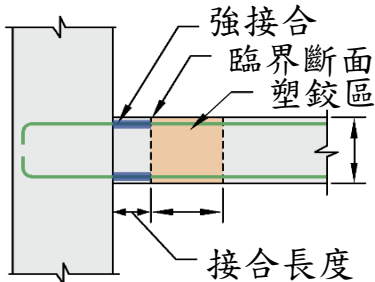


第二類(A級)

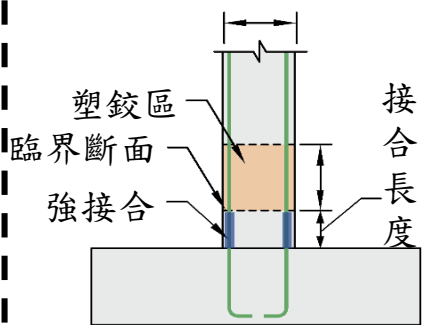
強接合部



(b) 梁與柱接合



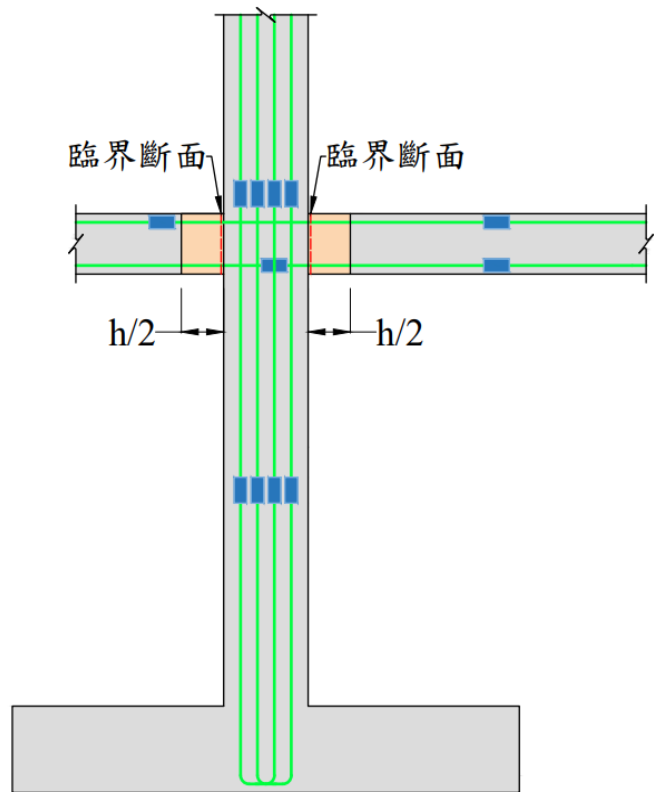
(c) 梁與柱接合



(d) 柱與基礎接合

第三類(SA級)

韌性接合部



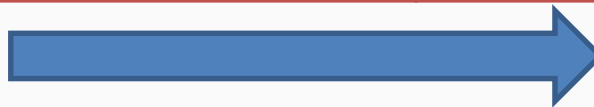
鋼筋組立工法之改良

最經濟

經濟、快速、
品質

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

主筋支數要減少易於機械續接



高強度鋼筋！

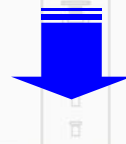


YunTech

國立雲林

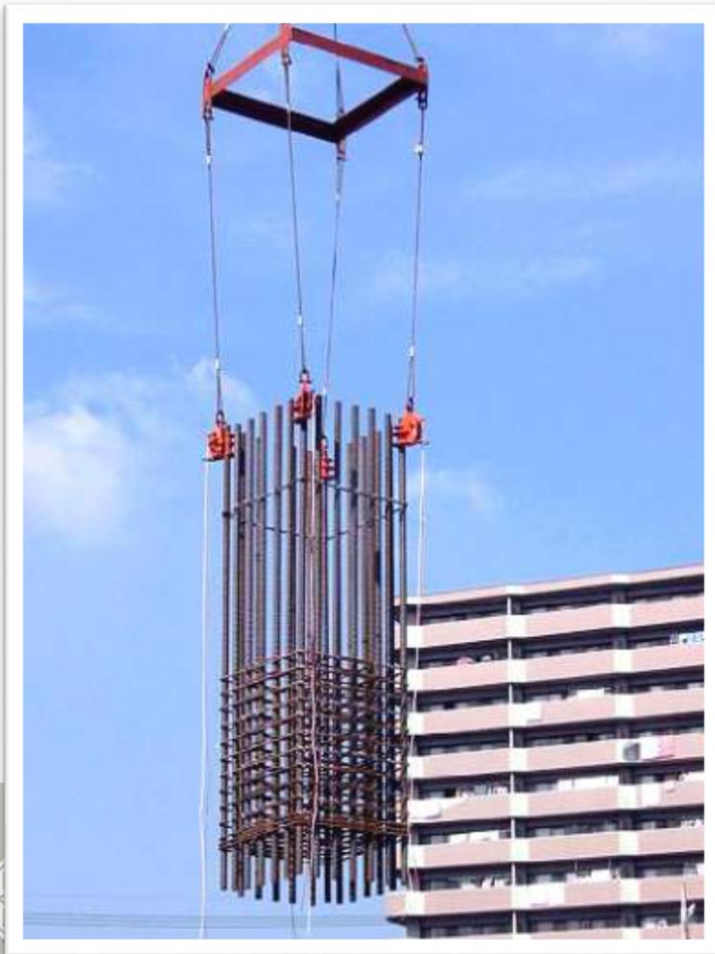
National Yunlin University of Science & Technology

TOTAL COST DOWN !! 總成本降低

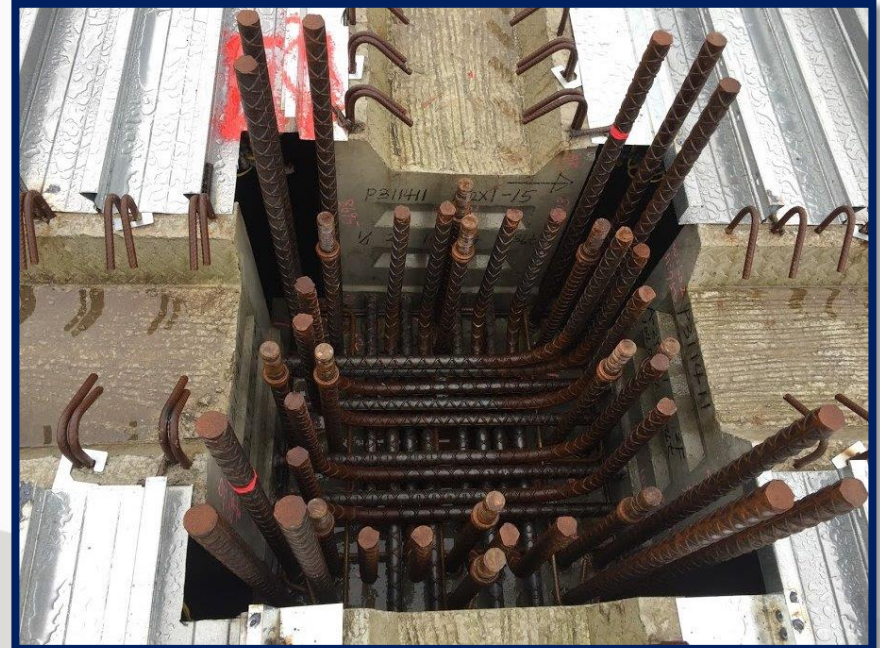
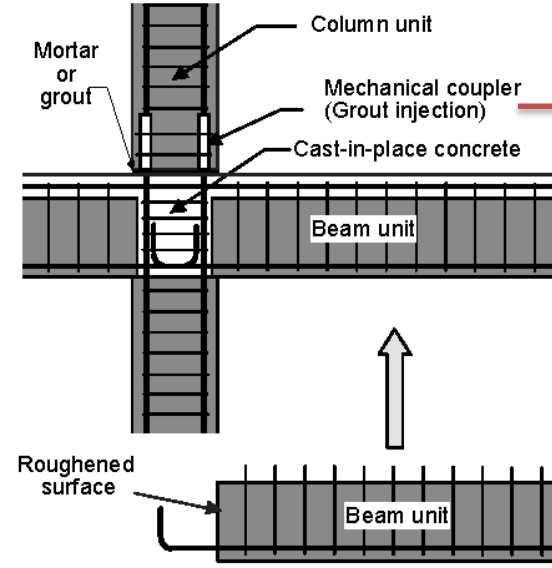
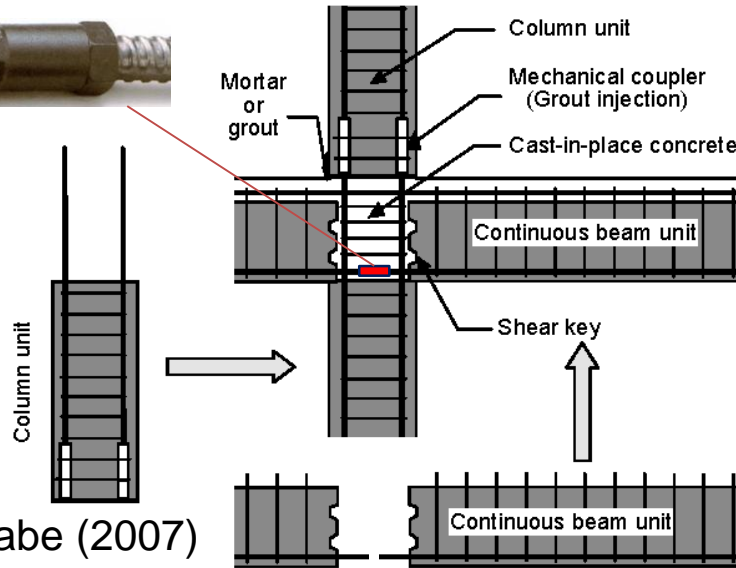


預組工法

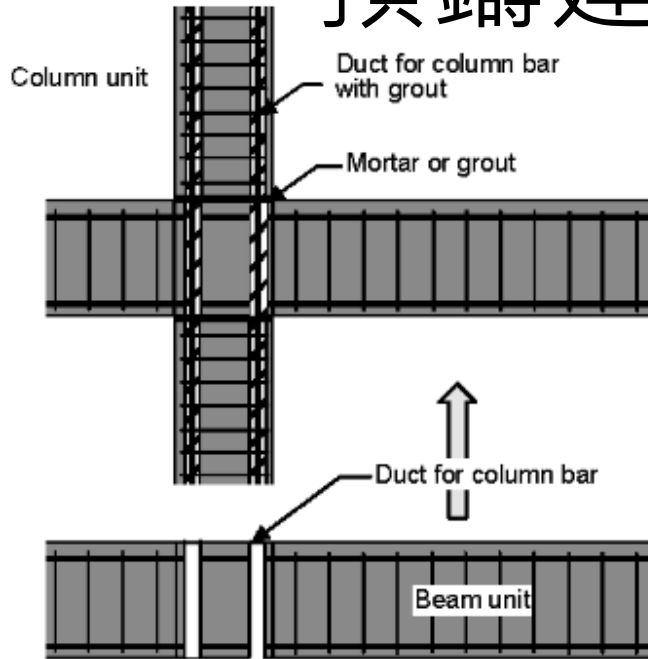
- 預組、吊裝、續接
- 省工、省時



預鑄建築工法之演進 Stage I



預鑄建築工法之演進 Stage II

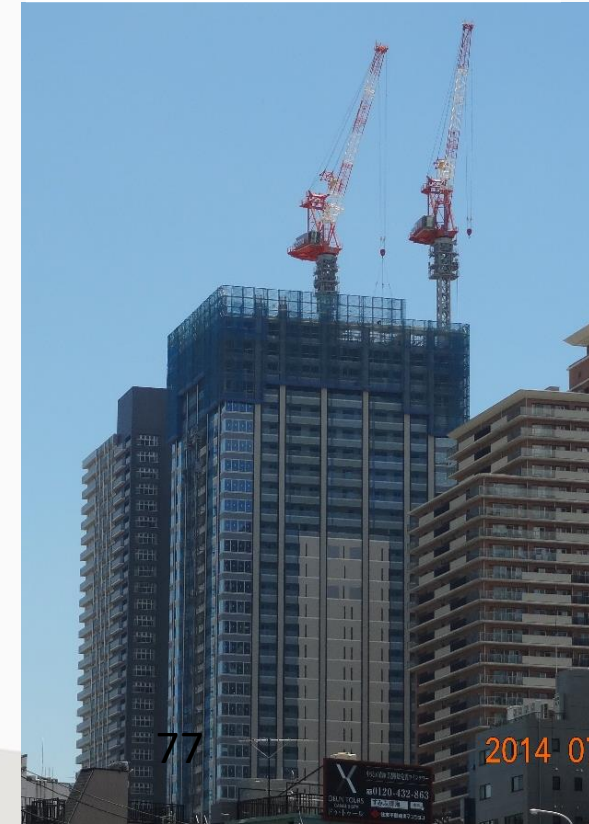
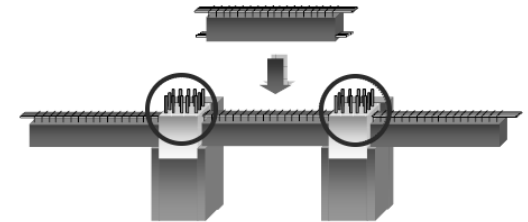


參考日本都市更新經驗

The Tokyo Towers, 2008年完工時為日本最高
(58F, 192m)之New RC住宅

(都市再生開發案)

New RC 預鑄工法



展望

- 預鑄工法：工廠化製造+模組化施工
- 如期、如質、如度
- 提高建築工程品質、減少環境汙染
- 國內依循規範文件也已完成，預鑄實績將越來愈多

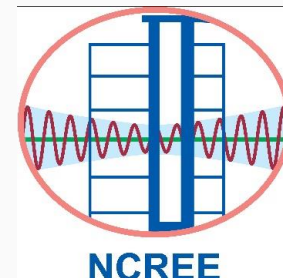


2018台中



2019
在板橋

Acknowledgement



簡報結束
敬請指教



內政部建築研究所
Architecture and Building
Research Institute

參考書目

- **李宏仁, 林克強, 張子宥, 林明志.** (2020), 高強度鋼筋機械式續接性能合格標準及驗證研究, 內政部建築研究所, 台北. ISBN: 978-986-5450-43-4
- **李宏仁,** 2016, 建築工程鋼筋續接器的合理應用, 混凝土科技, Vol.10, No.2, pp.56-64.
- 工程會施工綱要規範 第03210章鋼筋V5.0 (2018)
- 台灣混凝土學會 (2017) , 預鑄混凝土工程施工規範與解說 (第8章預鑄構材之接合)

