

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

『新版 RC 規範之主要變革部分說明』研討會

鋼筋擴頭錨定之設計、施工與 檢驗要領

李宏仁

教授兼系主任

國立雲林科技大學營建工程系

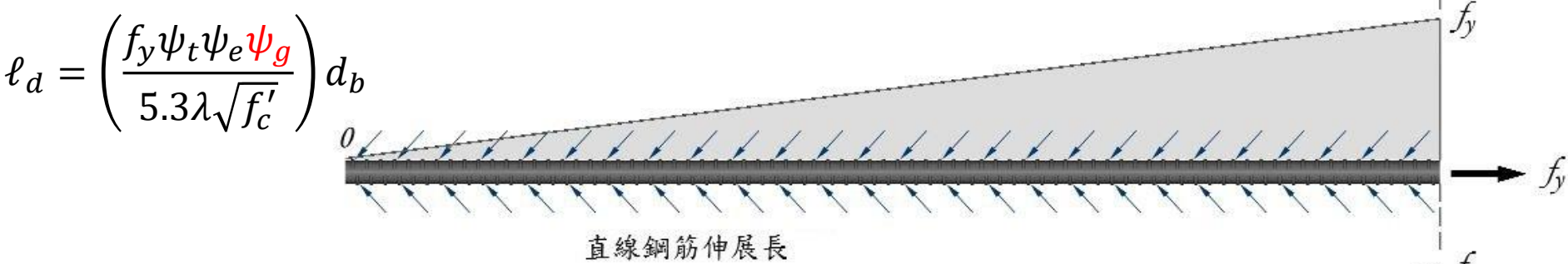
2021.10.30 視訊



鋼筋擴頭錨定之簡報大綱

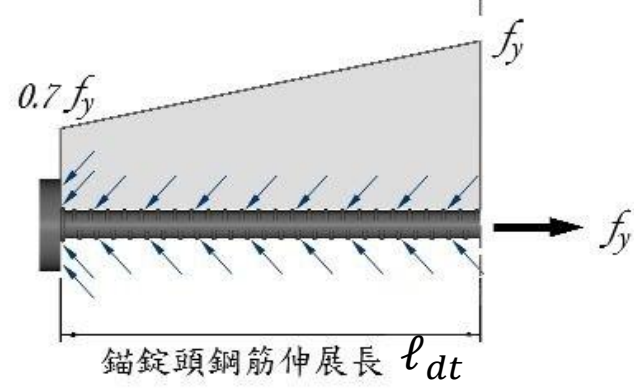
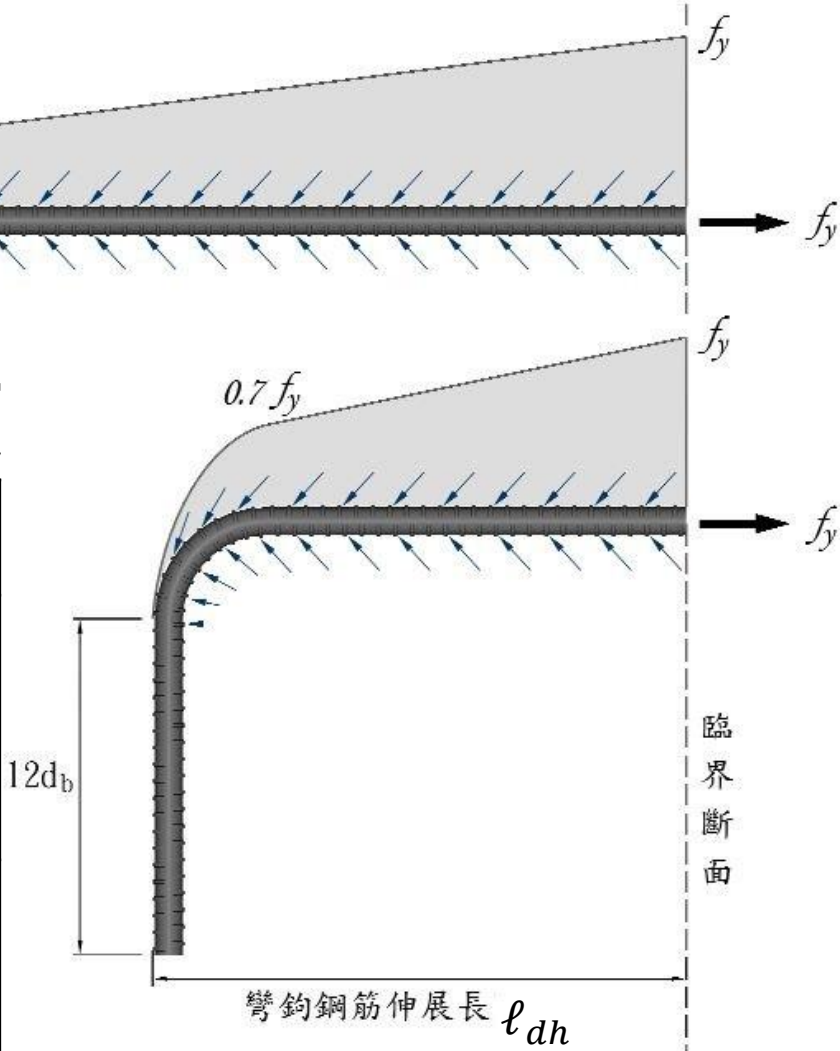
- 規範變革背景說明
- 彎鉤伸展長度設計公式
- 使用擴頭取代彎鉤錨定之條件
- 擴頭伸展長度設計公式
- 問題與討論





彎鉤、擴頭伸展長度

規範	ACI 318-14規範 我國前版規範	ACI 318-19規範 我國新版規範
25.4.3 標準彎鉤 伸展長度 ℓ_{dh}	$\left(\frac{0.075 f_y \psi_e \psi_c \psi_r}{\lambda \sqrt{f'_c}} \right) d_b$	$\left(\frac{f_y \psi_e \psi_r \psi_o \psi_c}{23 \lambda \sqrt{f'_c}} \right) d_b^{1.5}$
25.4.4 擴頭鋼筋 伸展長度 ℓ_{dt}	$\left(\frac{0.06 f_y \psi_e}{\sqrt{f'_c}} \right) d_b$	$\left(\frac{f_y \psi_e \psi_p \psi_o \psi_c}{32 \sqrt{f'_c}} \right) d_b^{1.5}$

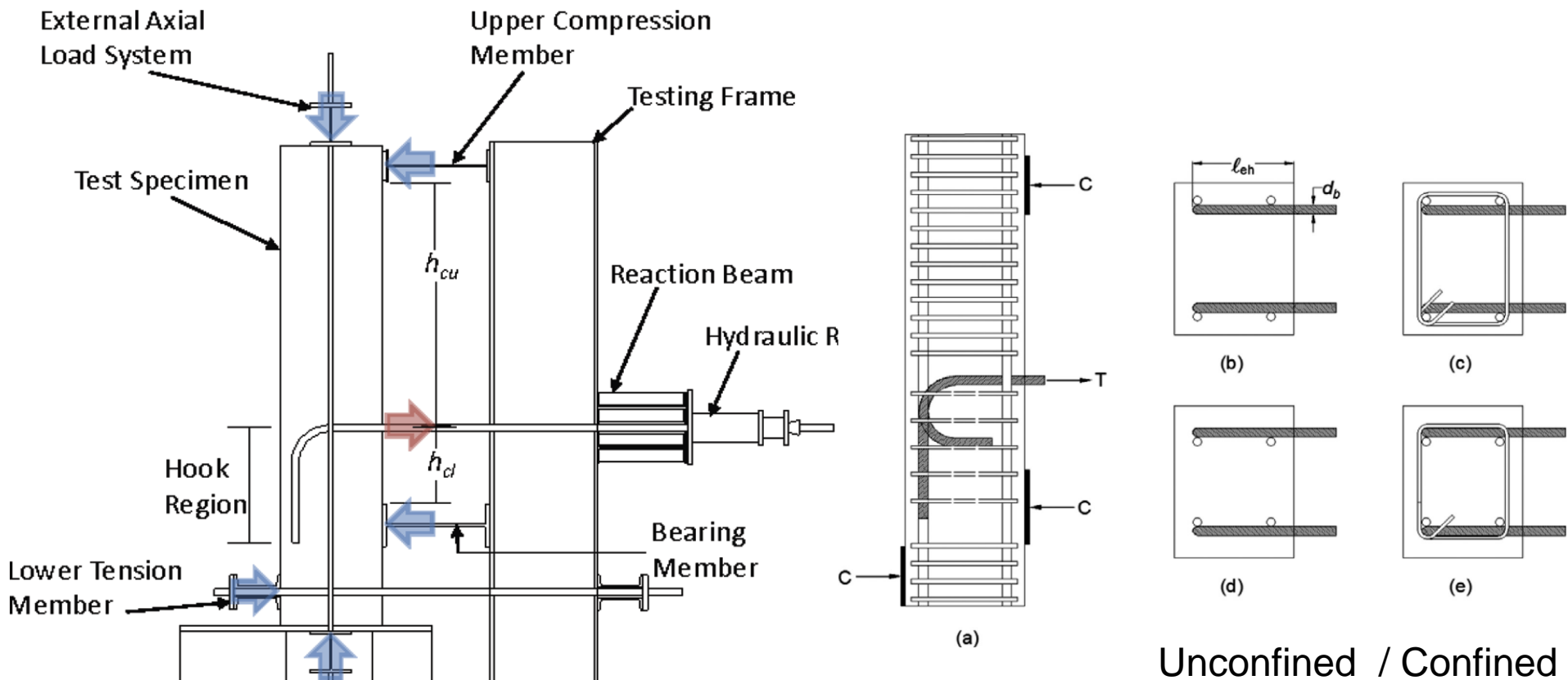


UT Austin
James O.
Jirsa



Kansas U
David
Darwin

Studies in the U of Kansas



Testing frame and forces applied to specimens during testing.

Sperry, J., Yasso, S., Searle, N., Derubeis, M., **Darwin, D.**, O'Reilly, M., Matamoros, A. B., Feldman, L., Lepage, A. & Lequesne, R. D. (2017). Conventional and High-Strength Hooked Bars—Part 1: Anchorage Tests. *ACI Structural Journal*, 114(1), 255-265.

Failure modes



(a) front pullout



(b) front blowout



(c) side splitting



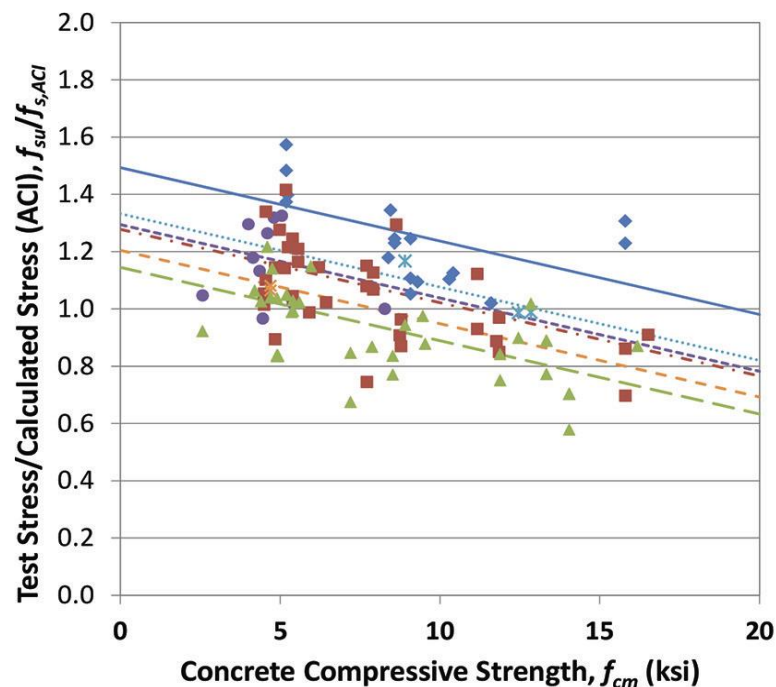
(d) side blowout



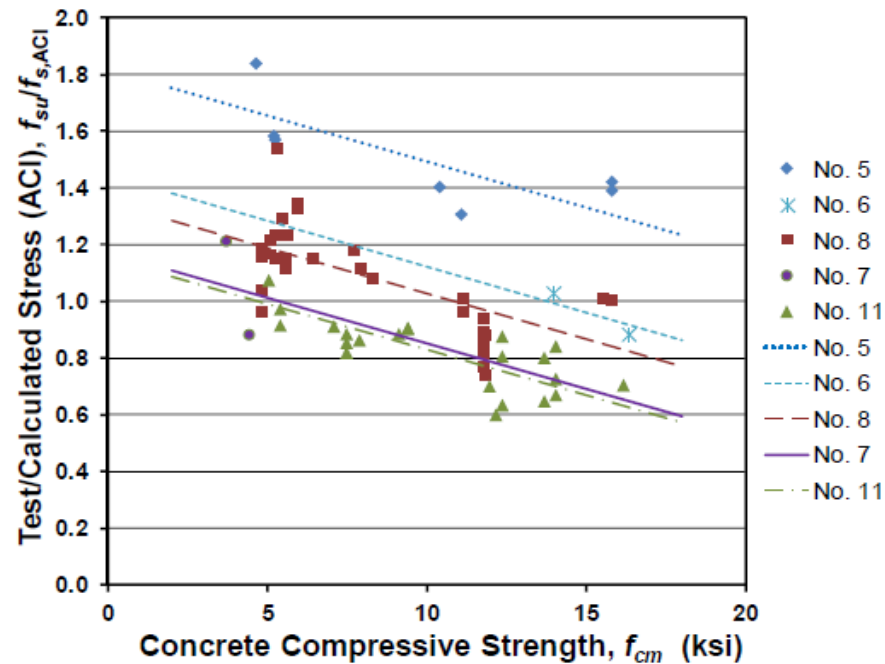
(e) tail knockout

- Mostly, front and side failures Dominant front failure (pullout and blowout)
- **Blowouts** were more sudden in nature

檢討 ACI 318-14受拉標準彎鉤伸展長度



Unconfined concrete



Confined concrete

f_{su} = stress at anchorage failure for the hooked bar

$f_{s,ACI}$ = stress predicted by the ACI development length equation

所以縱軸是公式的安全係數，混凝土強度愈高、鋼筋號徑愈大，愈不保守！



鋼筋擴頭錨定之簡報大綱

- 規範變革背景說明
- ➡ • 彎鉤伸展長度設計公式
- 使用擴頭取代彎鉤錨定之條件
- 擴頭伸展長度設計公式
- 問題與討論



新版規範之彎鉤伸展長度

25.4.3 受拉標準彎鉤之伸展

25.4.3.1 受拉竹節鋼筋標準彎鉤之伸展長度 l_{dh} ，應為下列(a)至(c)之最大值：

- (a) $\left[\frac{f_y \psi_e \psi_r \psi_o \psi_c}{23 \lambda \sqrt{f'_c}} \right] d_b^{1.5} \left[\frac{f_y \psi_e \psi_r \psi_o \psi_c}{23 \lambda \sqrt{f'_c}} \right] d_b^{1.5}$ ，其中 ψ_e 、 ψ_r 、 ψ_o 、 ψ_c 及 λ 符合第25.4.3.2節。
- (b) $8d_b$ 。
- (c) 15 cm。

解說：

彎鉤鋼筋之規定僅適用於標準彎鉤(參見第25.3.1節)。伸展長度 l_{dh} 係量自臨界斷面至彎鉤最外緣。

Sperry等人 (2017a)之研究顯示，混凝土爆裂失敗是彎鉤主要的破壞模式，因此密集排列之彎鉤，每一彎鉤所能提供的強度較寬鬆排列之彎鉤為低，原因是因為密集排列彎鉤之爆裂面積小(Ajaam 等人 2018)。

緊鄰構材外側之鋼筋，其彎鉤出現劈裂破壞的機率隨鋼筋直徑增大而提高。

鋼筋降伏強度、間距，及箍、肋筋圍束等之影響，已根據Sperry 等人 2018之研究成果修訂。最小 l_{dh} 值係為了防止彎鉤靠近臨界面而產生混凝土直接拉破之破壞模式。在梁-柱接頭及托梁內之彎鉤應儘可能配置於接頭之遠側。



表25.4.3.2 具標準彎鉤受拉鋼筋伸展長度之修正因數

修正因數	條件	因數值
輕質 λ	輕質混凝土	0.75
	常重混凝土	1.0
環氧樹脂 ψ_e	環氧樹脂塗布或鋅與環氧樹脂雙層塗布鋼筋	1.2
	無塗布或鋅塗布（鍍鋅）鋼筋	1.0
圍束鋼筋 ψ_r	小於或等於D36， $A_{th} \geq 0.4A_{hs}$ 或 $s^{[1]} \geq 6d_b^{[2]}$	1.0
	其他	1.6
位置 ψ_o	D36以下具彎鉤之鋼筋	1.0
	(1) 在柱核心內終止，垂直彎鉤平面之側向保護層 $\geq 6.5\text{cm}$ ，或 (2) 垂直彎鉤平面之側向保護層 $\geq 6d_b$	
	其他	1.25
混凝土強度 ψ_c	$f'_c < 420 \text{ kgf/cm}^2 [42 \text{ MPa}]$	$(f'_c / 1,050) + 0.6$
	$f'_c \geq 420 \text{ kgf/cm}^2 [42 \text{ MPa}]$	1.0

[1] s 為具彎鉤鋼筋之最小中心距。

[2] d_b 為具彎鉤鋼筋之標稱直徑。

A_{th} = 圍束彎鉤鋼筋之箍筋或肋筋總斷面積

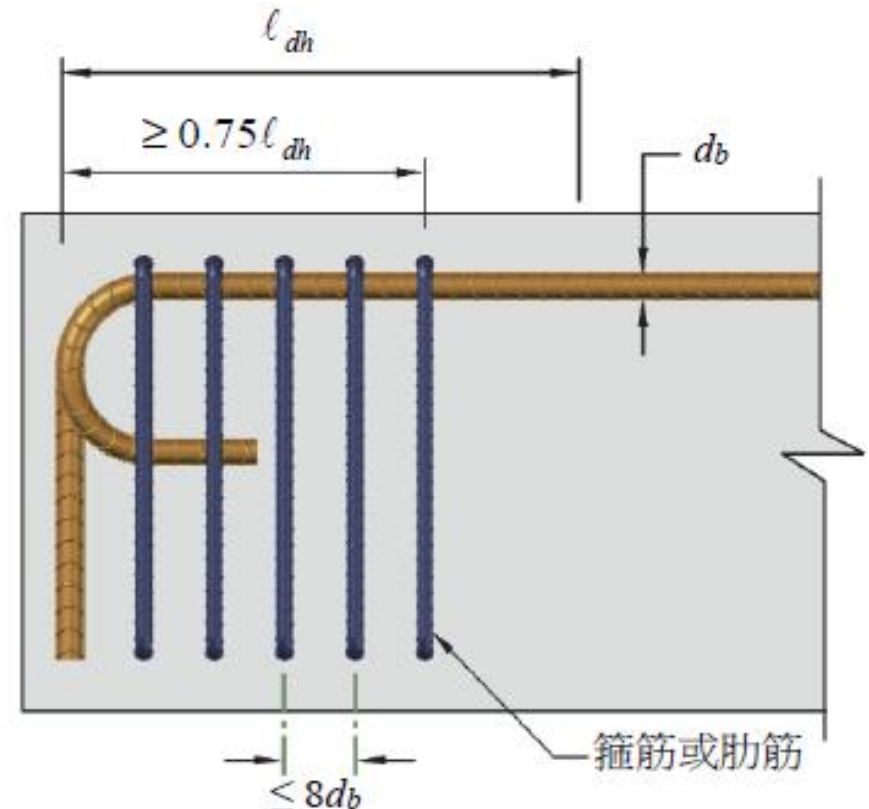
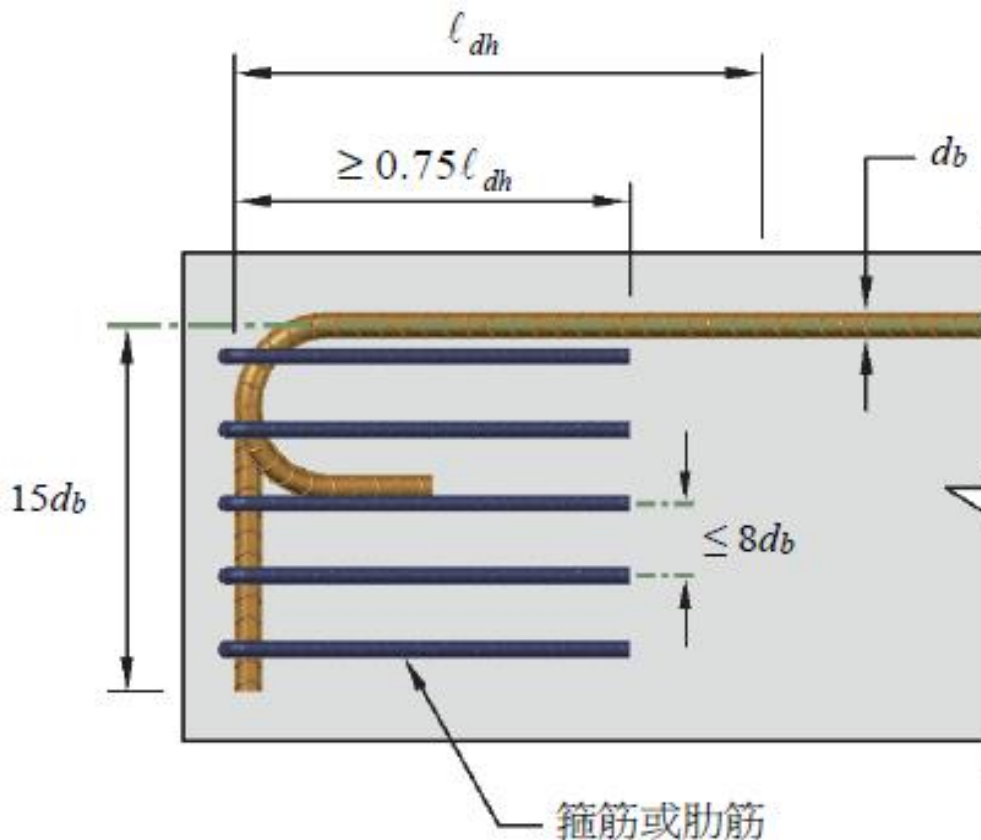
A_{hs} = 臨界斷面上彎鉤鋼筋或擴頭鋼筋之總斷面積

f'_c	Ψ_c
210	0.80
280	0.87
350	0.93
420	1.0

25.4.3.3 圍束彎鉤之箍筋或肋筋之總斷面積 A_{th} 應包含(a)或(b)：

(a) 圍繞彎鉤之箍筋或肋筋，且該箍筋或肋筋符合第25.3.2節之規定。

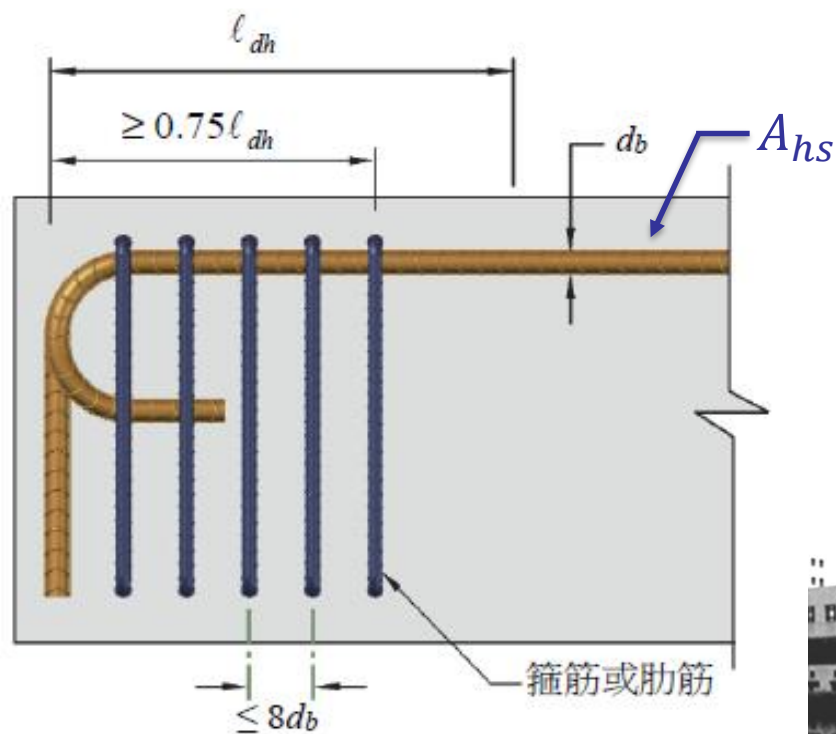
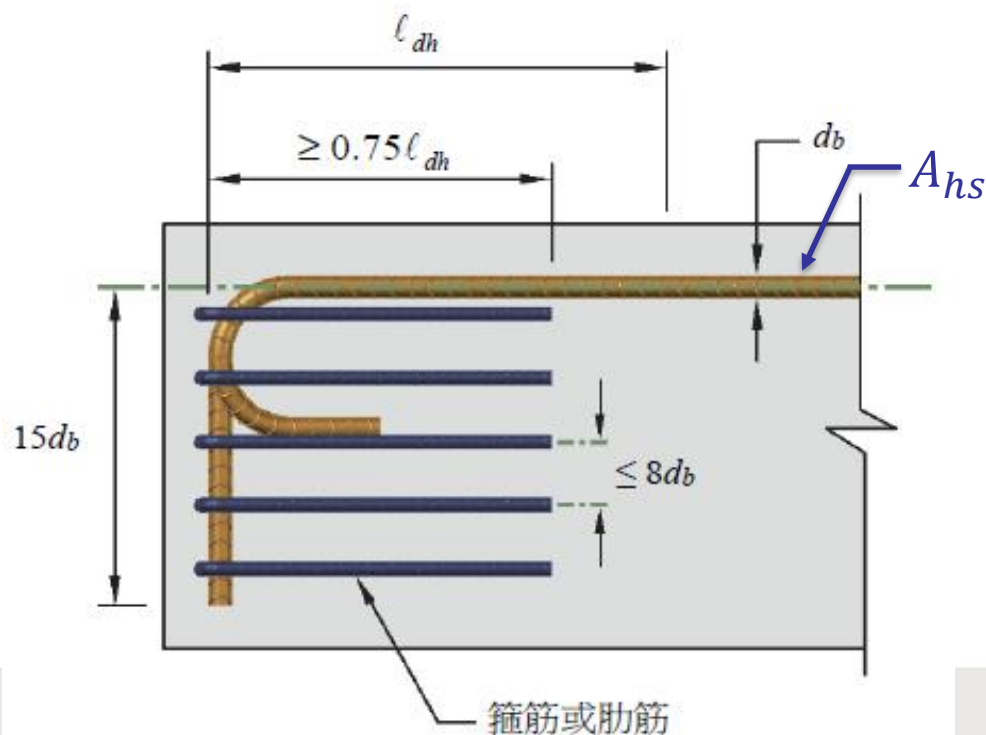
(b) 圍繞彎鉤之其他種類鋼筋，須自被圍繞之彎鉤向鋼筋受拉方向至少延伸 $0.75\ell_{dh}$ 。



A_{th} 應符合(c)或(d)之規定。兼具平行與垂直於 ℓ_{dh} 之圍束鋼筋之構材，應允許使用依據(c)或(d)計得之 A_{th} 值中，可計得較小 ℓ_{dh} 值者。

(c) 2個或2個以上之箍筋或肋筋**平行**於 ℓ_{dh} 方向圍繞彎鉤，並於彎鉤鋼筋直線段中心線 $15d_b$ 之範圍內，以不大於 $8d_b$ 之中心距均勻配置。其中 d_b 為具彎鉤鋼筋之標稱直徑。

(d) 2個或2個以上之箍筋或肋筋**垂直**於 ℓ_{dh} 方向圍繞彎鉤鋼筋，並沿 ℓ_{dh} 方向以不大於 $8d_b$ 之中心距均勻配置。其中， d_b 為具彎鉤鋼筋之標稱直徑。



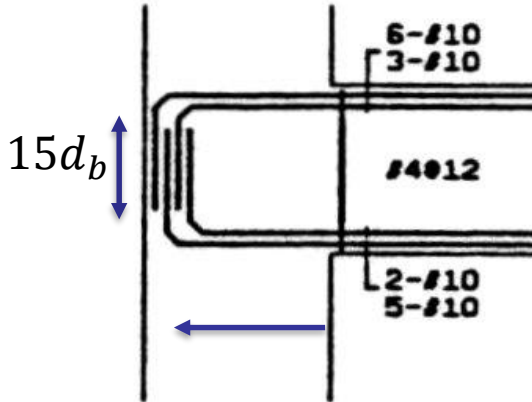
某五層樓新建校舍之標準圖為例

$$f'_c = 280 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\#4 \quad d_b = 1.27 \text{ cm} \quad A_b = 1.27 \text{ cm}^2$$

$$f_y = 4200 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\#10 \quad d_b = 3.22 \text{ cm} \quad A_b = 8.14 \text{ cm}^2$$



$$A_{hs,top} = 9A_{b,\#10} = 73.26 \text{ cm}^2$$

梁主筋間距不可能大於 $6d_b$

$$A_{hs,bot} = 7A_{b,\#10} = 56.98 \text{ cm}^2$$

$$\frac{15d_b}{s} = \frac{15(3.22)}{10} = 4.8, \text{ 保守取 4 組}$$



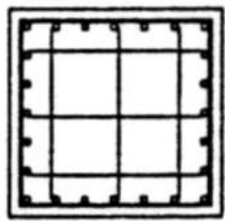
$$A_{th} = 4 \times 5A_{b,\#4} = 25.4 \text{ cm}^2 < 0.4A_{hs,top} = 29.3 \text{ cm}^2$$

箍筋圍束不足 $\rightarrow \Psi_r = 1.6$

(若取 4.8 組 $\Psi_r = 1.0$)

$$A_{th} = 4 \times 5A_{b,\#4} = 25.4 \text{ cm}^2 \geq 0.4A_{hs,bot} = 22.79 \text{ cm}^2$$

箍筋圍束足夠 $\rightarrow \Psi_r = 1.0$



#4@10-15

#4@10 HOOP
#4@10 TIE

o-24-#10

80X80

位置 Ψ_o	D36以下具彎鉤之鋼筋 (1)在柱核心內終止，垂直彎鉤平面之側向保護層 $\geq 6.5\text{cm}$ ，或 (2)垂直彎鉤平面之側向保護層 $\geq 6d_b$	1.0
	其他	1.25

規範	ACI 318-14規範 我國前版規範	ACI 318-19規範 我國新版規範
ℓ_{dh}	$\left(\frac{0.075 f_y \psi_e \psi_c \psi_r}{\lambda \sqrt{f'_c}} \right) d_b$	$\left(\frac{f_y \psi_e \psi_r \psi_o \psi_c}{23 \lambda \sqrt{f'_c}} \right) d_b^{1.5}$

f'_c	Ψ_c
210	0.80
280	0.87
350	0.93
420	1.0



箍筋圍束不足

$$\frac{0.075(4200)(1.0)(0.7)(\mathbf{1.0})}{23 \sqrt{280}} (3.22) = 42.4$$



箍筋圍束足夠

$$\frac{0.075(4200)(1.0)(0.7)(\mathbf{0.80})}{23 \sqrt{280}} (3.22) = 34$$



箍筋圍束不足

$$\frac{4200(1.0)(\mathbf{1.6})(1.0)(0.87)}{23 \sqrt{280}} (3.22)^{1.5} = 88$$

NG



箍筋圍束足夠

$$\frac{4200(1.0)(\mathbf{1.0})(1.0)(0.87)}{23 \sqrt{280}} (3.22)^{1.5} = 55$$

OK

前後版差異：

- 是否圍束之修正因數 差很大
- 高強度混凝土 放大
- 大號鋼筋 再放大 (1.5次方)

規範	ACI 318-14規範 我國前版規範	ACI 318-19規範 我國新版規範
ℓ_{dh}	$\left(\frac{0.075 f_y \psi_e \psi_c \psi_r}{\lambda \sqrt{f'_c}} \right) d_b$	$\left(\frac{f_y \psi_e \psi_r \psi_o \psi_c}{23 \lambda \sqrt{f'_c}} \right) d_b^{1.5}$

f'_c	Ψ_c
210	0.80
280	0.87
350	0.93
420	1.0



箍筋圍束不足

$$\frac{0.075(5600)(1.0)(0.7)(1.0)}{\sqrt{280}} (3.22) = 56.6$$



箍筋圍束足夠

$$\frac{0.075(5600)(1.0)(0.7)(0.80)}{\sqrt{280}} (3.22) = 45.3$$



箍筋圍束不足

$$\frac{5600(1.0)(1.6)(1.0)(0.87)}{23 \sqrt{280}} (3.22)^{1.5} = 110$$

NG



箍筋圍束足夠

$$\frac{5600(1.0)(1.0)(1.0)(0.87)}{23 \sqrt{280}} (3.22)^{1.5} = 69$$

OK

若改為SD 550W鋼筋

$$f_y = 5600 \text{ kgf/cm}^2$$

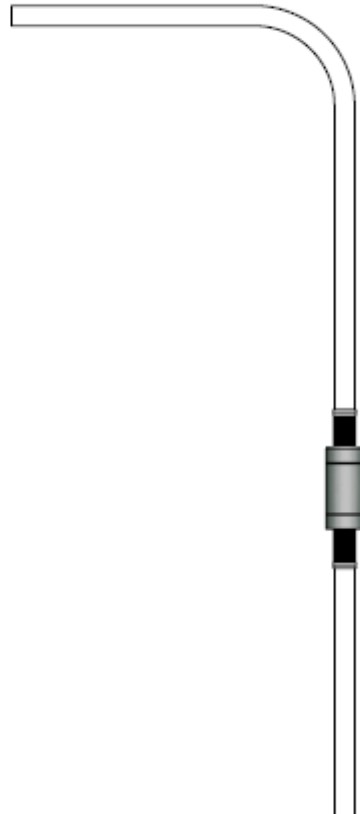
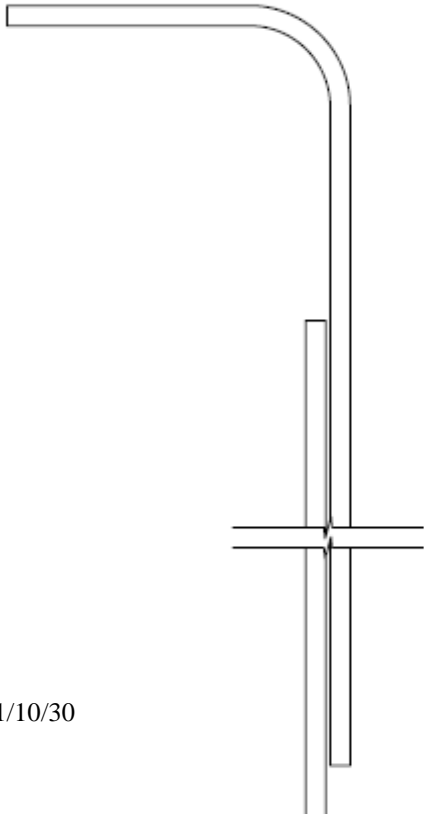
$$f'_c = 280 \text{ kgf/cm}^2$$

前後版差異：

- 是否圍束之修正因述差異很大
- 高強度混凝土 放大
- 大號鋼筋 再放大 (1.5次方)

對策：擴頭取代彎鉤

- 省料
- 省工
- 性能更好



鋼筋擴頭錨定之簡報大綱

- 規範變革背景說明
- 彎鉤伸展長度設計公式
- ➡ • 使用擴頭取代彎鉤錨定之條件
- 擴頭伸展長度設計公式
- 問題與討論



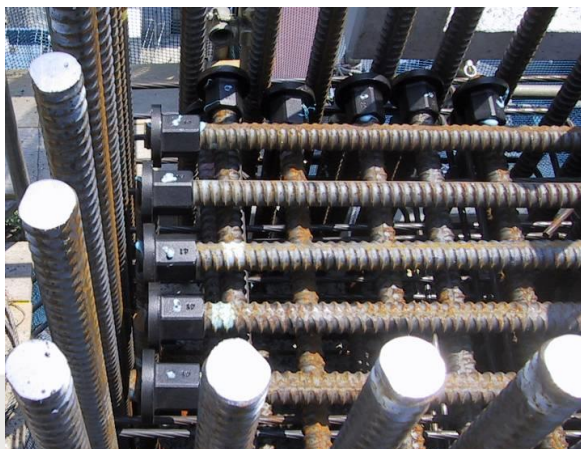
25.4.4 受拉擴頭竹節鋼筋之伸展

25.4.4.1 使用擴頭於受拉竹節鋼筋之伸展，必須滿足下列(a)至(f)條件：

- (a) 鋼筋須符合第20.2.1.6節規定；
- (b) 鋼筋尺度不得大於D36；
- (c) 擴頭淨承壓面積 A_{brg} 應至少 $4A_b$ ；
- (d) 混凝土應為常重混凝土；
- (e) 鋼筋淨保護層應至少 $2d_b$ ；
- (f) 鋼筋間中心距應至少 $3d_b$ 。

#12-D39 鋼筋怎麼辦？

鋼筋淨間距至少
 $2d_b$



註1：改為鋼筋中心距，避免混淆(鋼筋最小淨間距 $2d_b$ ，不是擴頭處最小淨間距)

註2：鋼筋淨保護層，不是擴頭處保護層

20.2.1.6 擴頭竹節鋼筋應符合表20.2.1.6及相關規定。

表20.2.1.6 擴頭竹節鋼筋之機械性質

加載程序 ^[1]	指標	HA級合格標準
0→0.67P _y →0.02P _y →拉至破壞	抗拉強度	$\geq 1.25f_y$ 且 $\geq f_u$
	接合處殘留滑動量 (δ_s) _{1c}	$\leq 0.3 \text{ mm}$

^[1]無滑動疑慮者可直接拉至破壞。

解說：

我國尚無擴頭竹節鋼之CNS標準，機械性質試驗可參考美國ASTM A970或台灣混凝土學會(2011)鋼筋混凝土用錨定頭規範。表20.2.1.6是參考國內最新試驗數據所訂之最低標準，檢驗頻率和取樣方式可參考26.6.5.1節。設計者亦可參考其他相關規範如日本土木學會鉄筋定着・継手指針(2007)或ISO 15698 (2012) 以擴頭竹節鋼筋埋置於混凝土之拉拔試驗替代。



擴頭鋼筋拉伸試驗 vs 錨定拉拔試驗

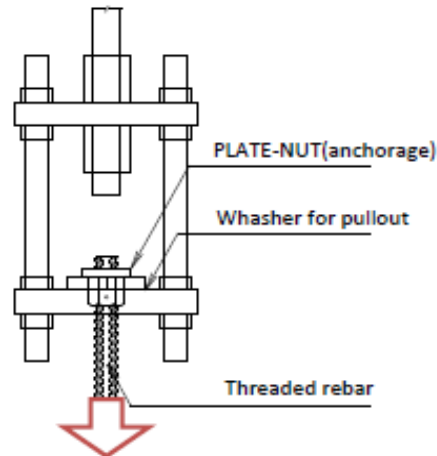
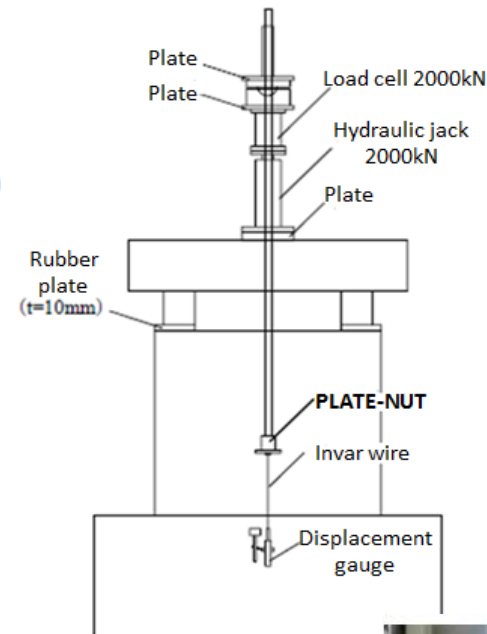


Figure1.1 Loading direction



東京鉄鋼提供

T頭滑動遠小於彎鉤

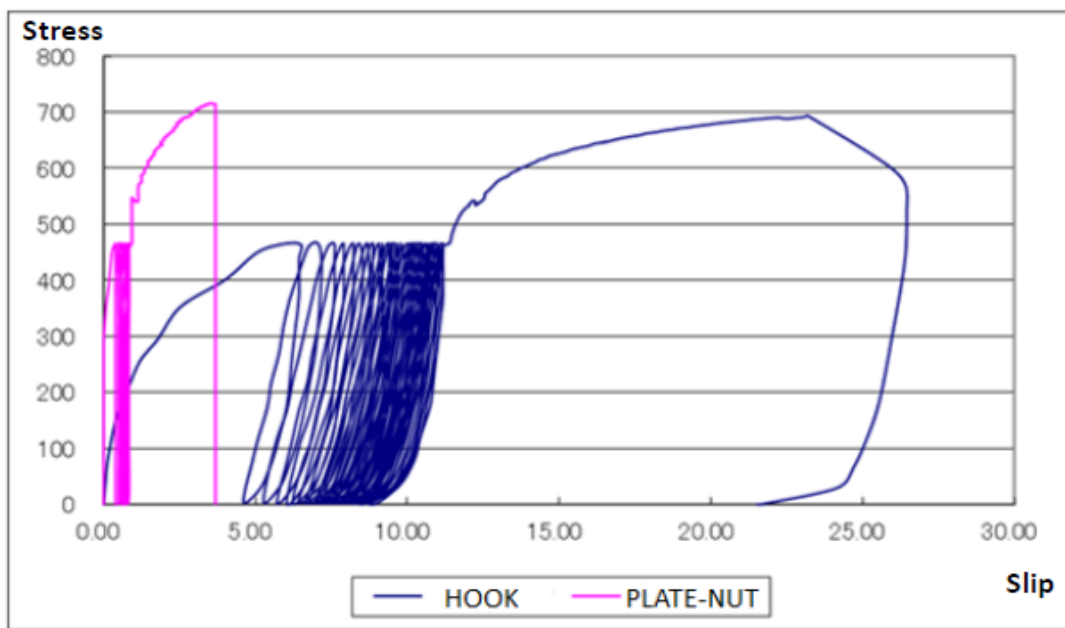


Figure2.2 Bond stress-slip relationship(SD490)

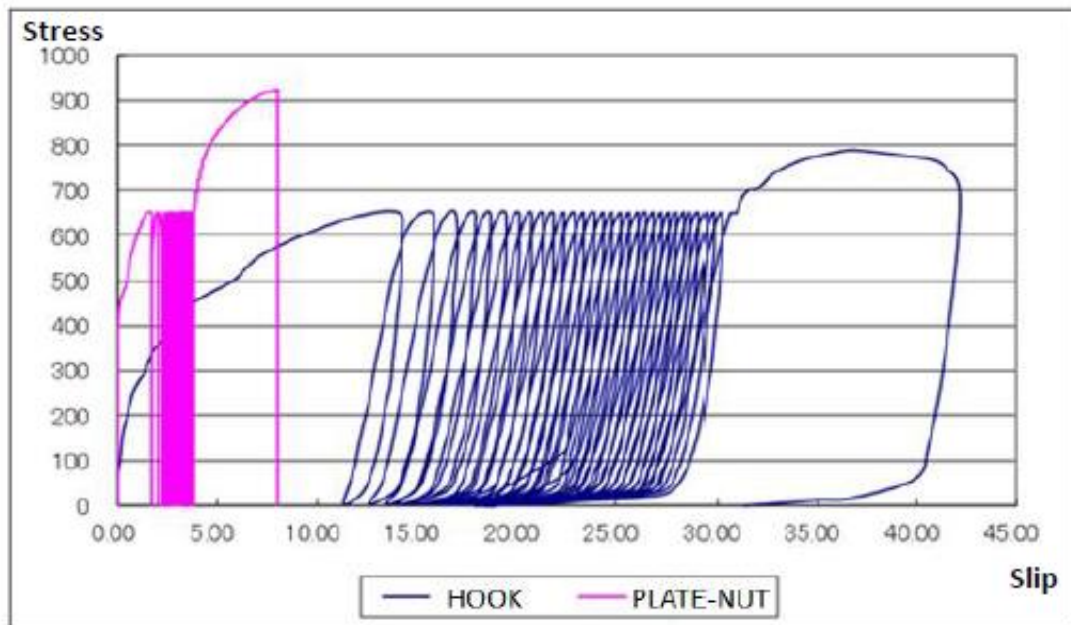
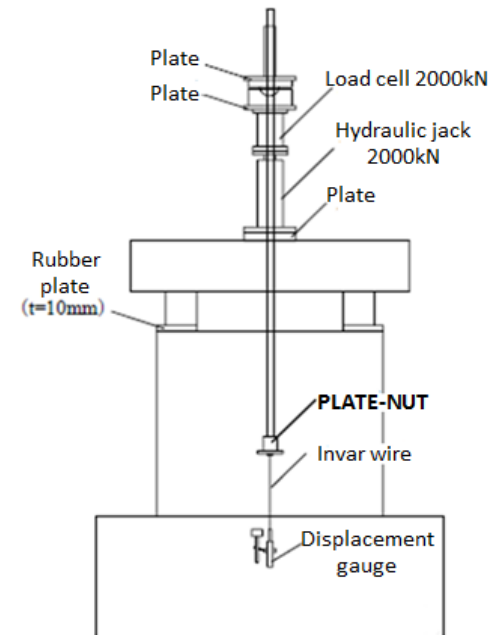


Figure2.3 Bond stress-slip relationship(USD685)



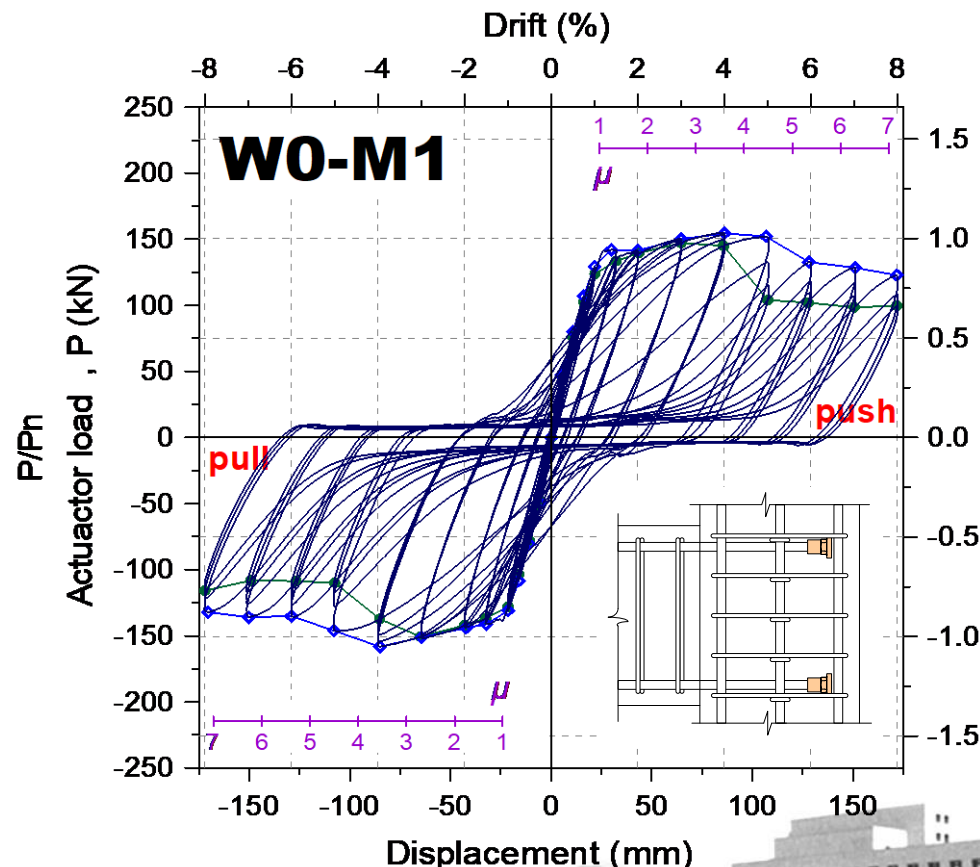
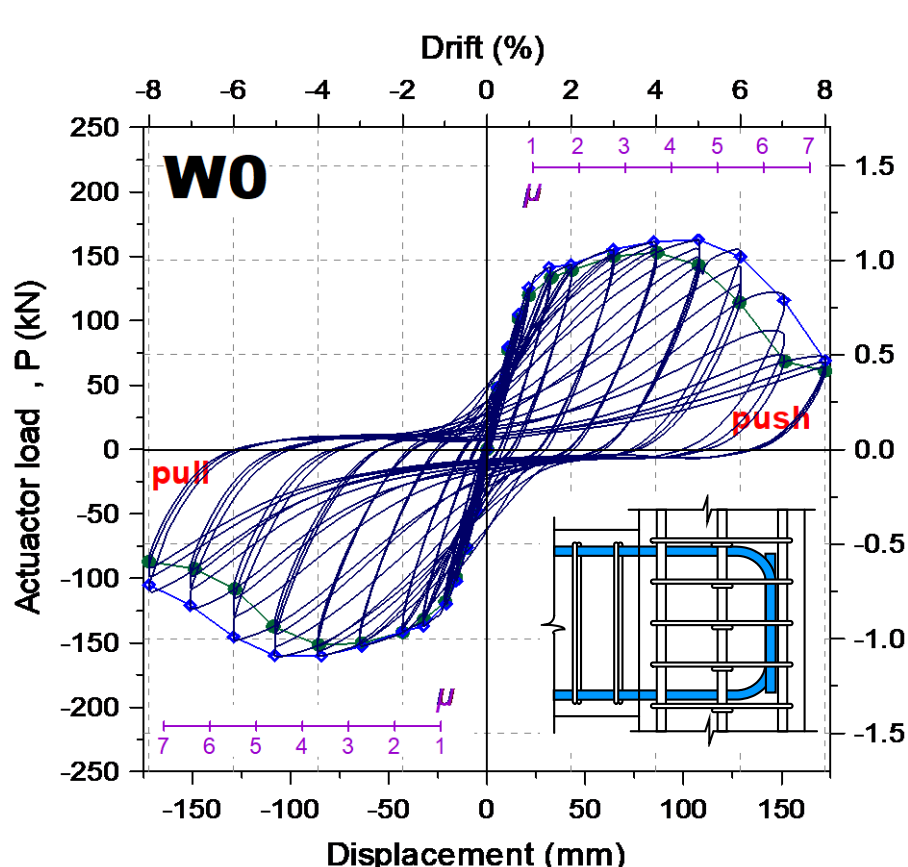
東京鉄鋼提供



外部接頭以擴頭取代彎鉤錨定

- As good as, even better than hooks

普通強度混凝土、SD420鋼筋



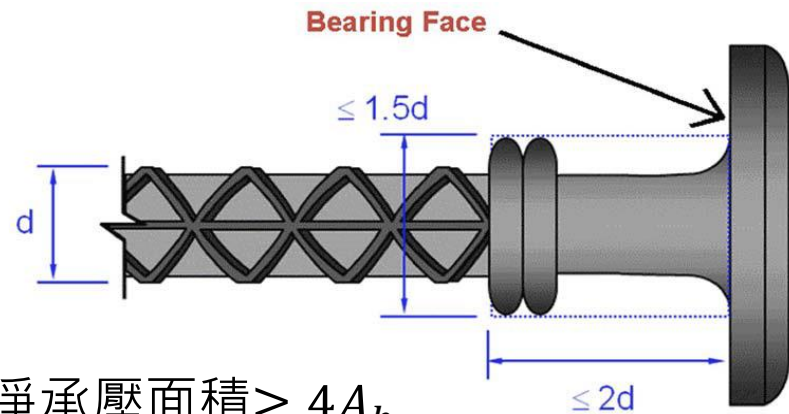
Lee, H. J. & Yu, S. Y. (2009). Cyclic Response of Exterior Beam-Column Joints with Different Anchorage Methods. *ACI Structural Journal*, 106(3), 329-339.

20.2.1.6 擴頭竹節鋼筋應符合表20.2.1.6及相關規定。

解說：

擴頭竹節鋼筋宜符合**ASTM A970附錄A1之HA級擴頭尺度限制**，係因缺乏不符HA級尺度擴頭鋼筋之試驗資料。

Shao等人(2016)試驗顯示擴頭之凸出隆起物與承壓面特性不符合HA級相關限制時，錨定強度低於第25.4.4節所依據之試驗擴頭特性。



- 淨承壓面積 $\geq 4A_b$
- 抗拉強度 $\geq f_u$ and $1.25f_y$
- 鋼筋伸長率符合ASTM規定 (省略)

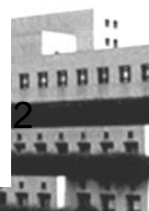


Cold-Swaged Threaded
Coupling Sleeve

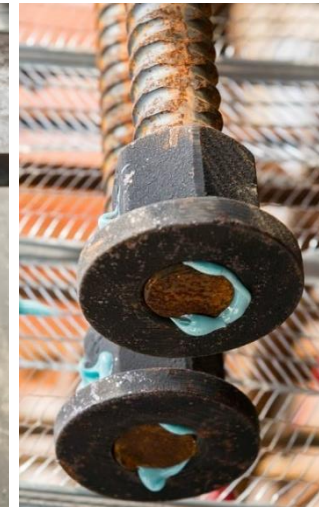
Friction-
Forged

Taper-
Threaded

Cold-
Swaged



台灣常見的擴頭鋼筋型式

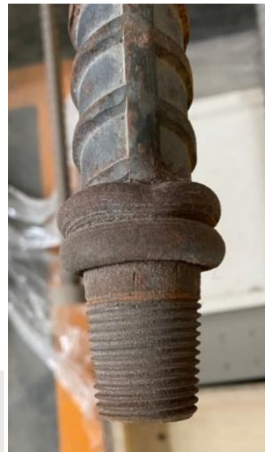


摩擦
銲接
無滑動

摩擦銲接
螺牙接合

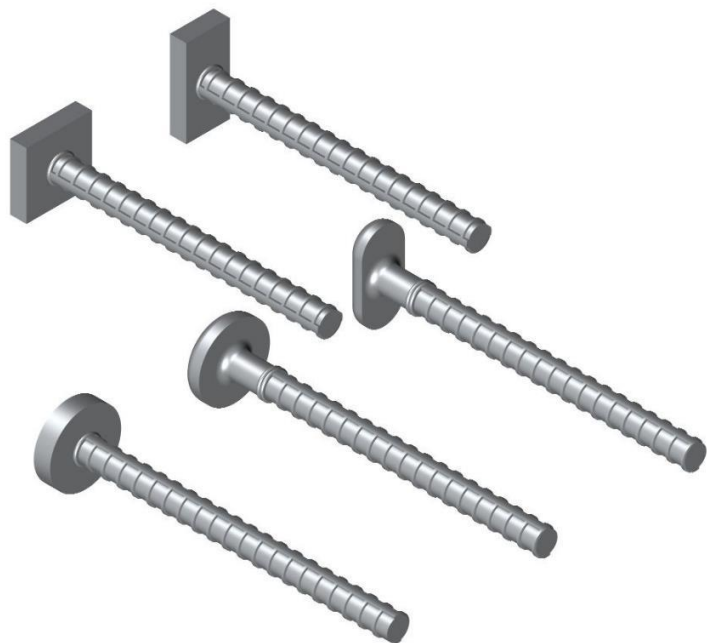
擴頭滾牙

砂漿或樹酯填充

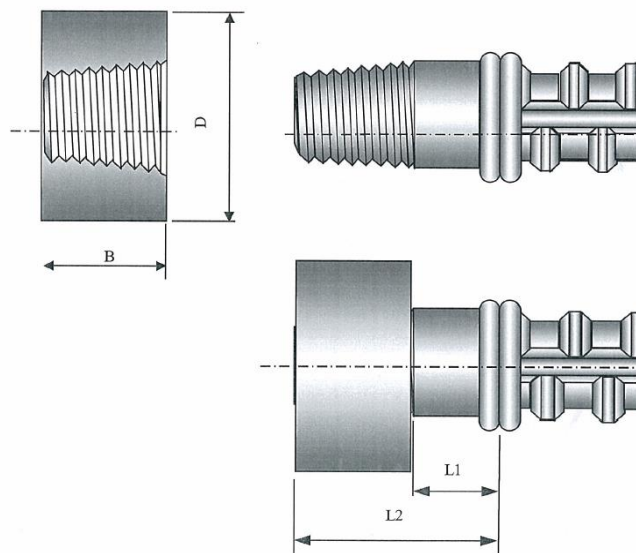


台灣常用的擴頭鋼筋型式

零滑動



Friction welded headed bars



Friction welded with taps threaded ends coupling an anchor plate

須用扭力板手鎖緊



日本常用的擴頭鋼筋型式

須填充高強度砂漿或樹酯

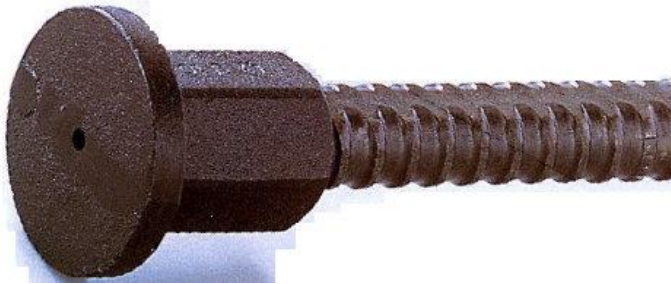


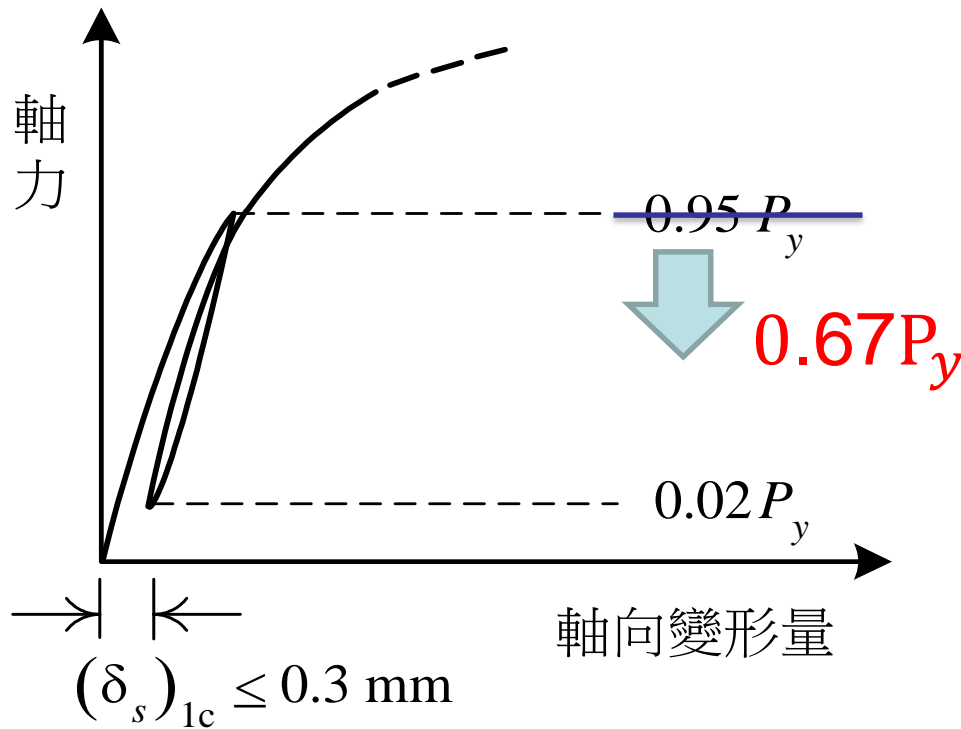
Plate nut for thread-like deformed reinforcing bars



擴頭鋼筋滑動量試驗

解說：

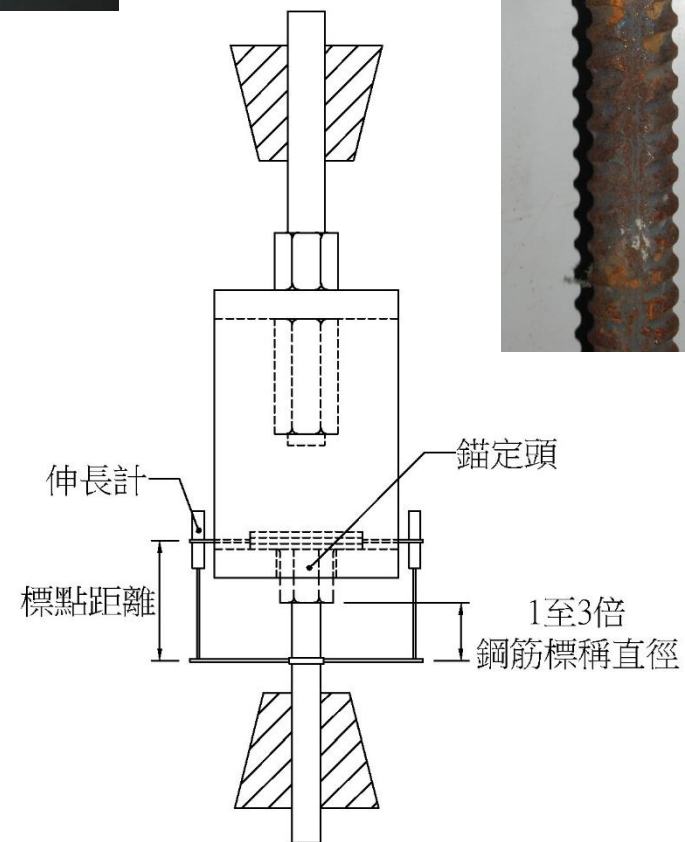
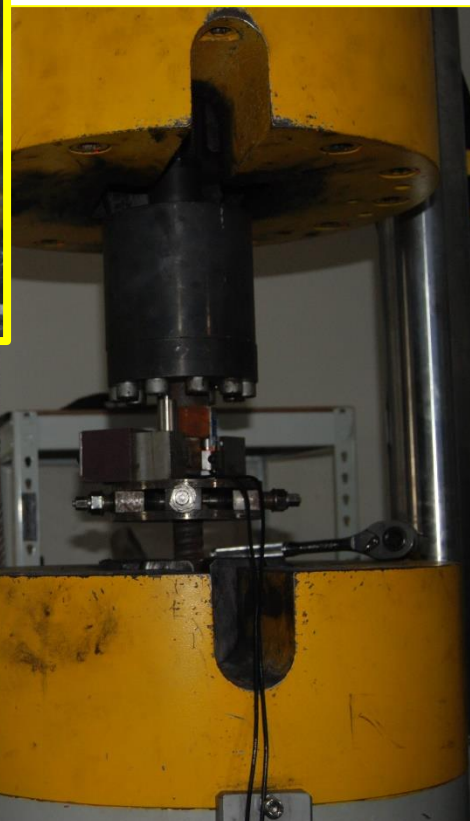
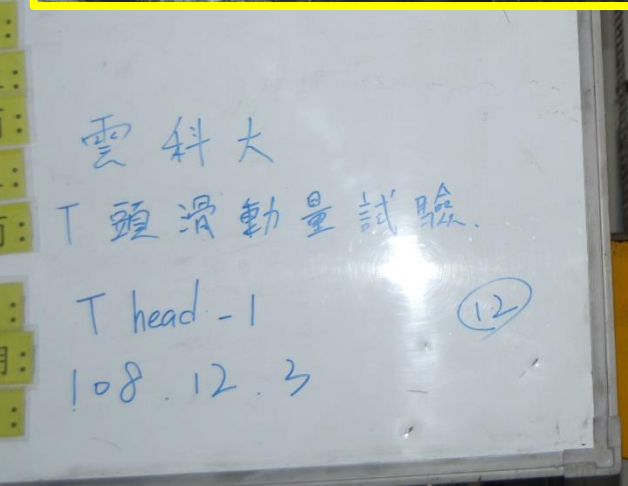
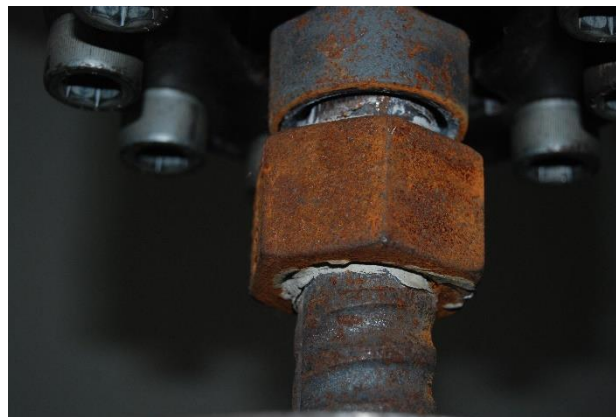
單向拉伸及滑動試驗程序與26.6.5節機械式續接相似，惟加載上限降至 $0.67P_y$ 對應使用載重下之應力約 $(2/3)f_y$ ，減載至下限 $0.02P_y$ 測試接合處之密合程度，接合處殘留滑動量允收值同為 0.3 mm 。



螺紋接合方有滑動疑慮需要檢驗，
銲接接合或鍛造擴頭鋼筋等無滑動
疑慮者可省略滑動量檢驗，直接拉
至破壞測定抗拉強度。

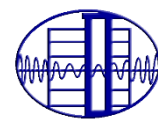
測試報告應包含破壞模式如鋼筋、
錨定頭、或鋼筋與錨定頭接合部之
局部或全部斷裂。

HA級擴頭竹節鋼筋要求拉伸試驗達
到鋼筋規定最小抗拉強度及 $1.25f_y$ 以
上，確保鋼筋發展足夠之韌性。拉
伸試驗之破壞模式除非合約另有規
定，否則不得作為拒收之理由。



試體 (D32-690)

(林克強 2021)



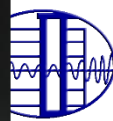
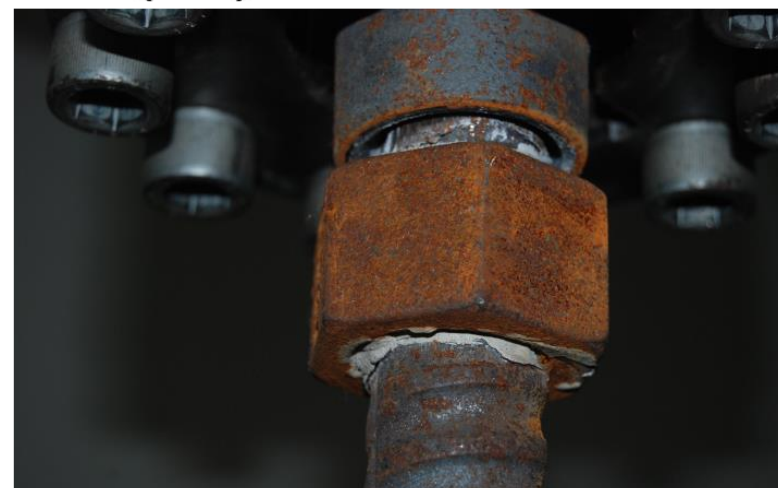
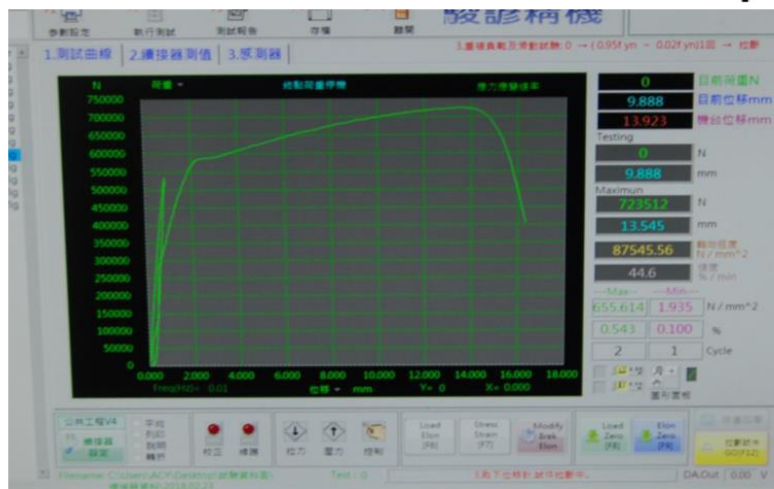
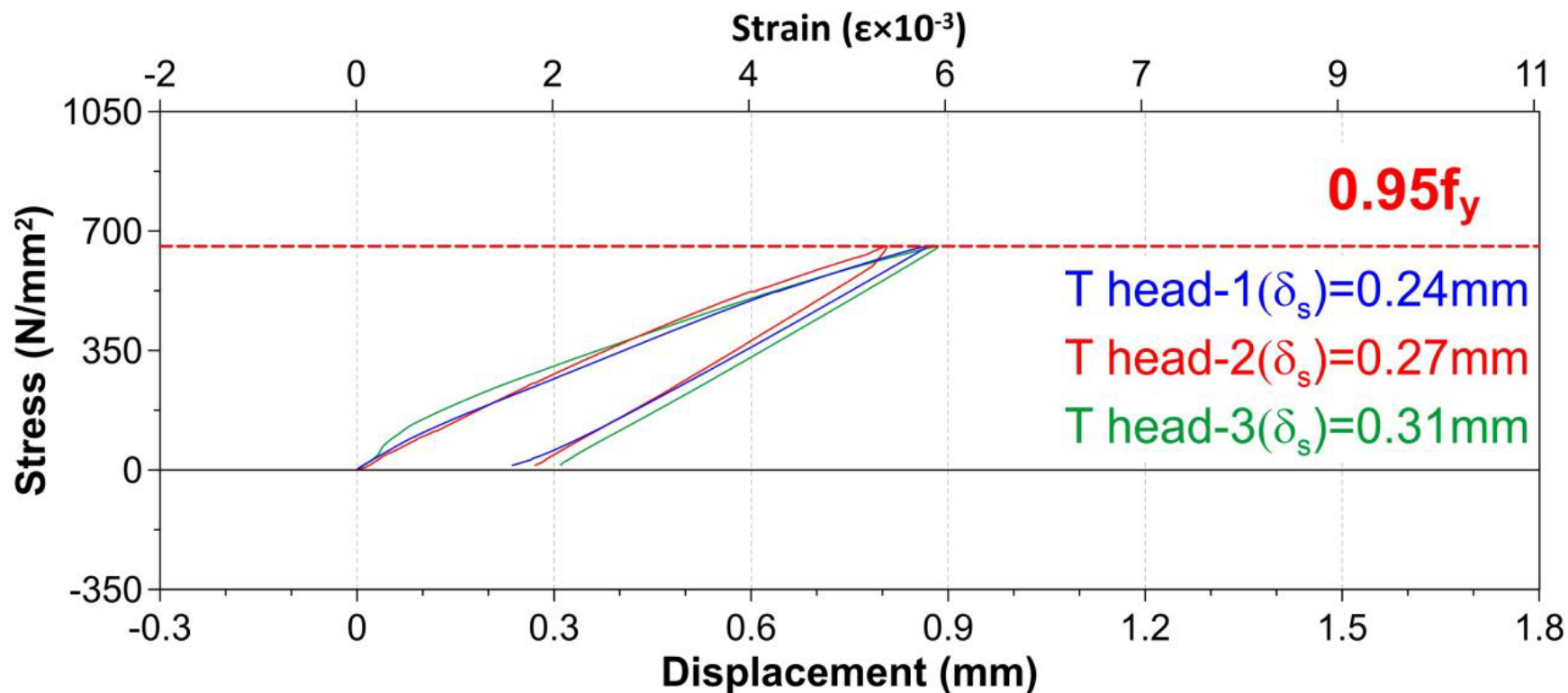
試體架設

(林克強 2021)



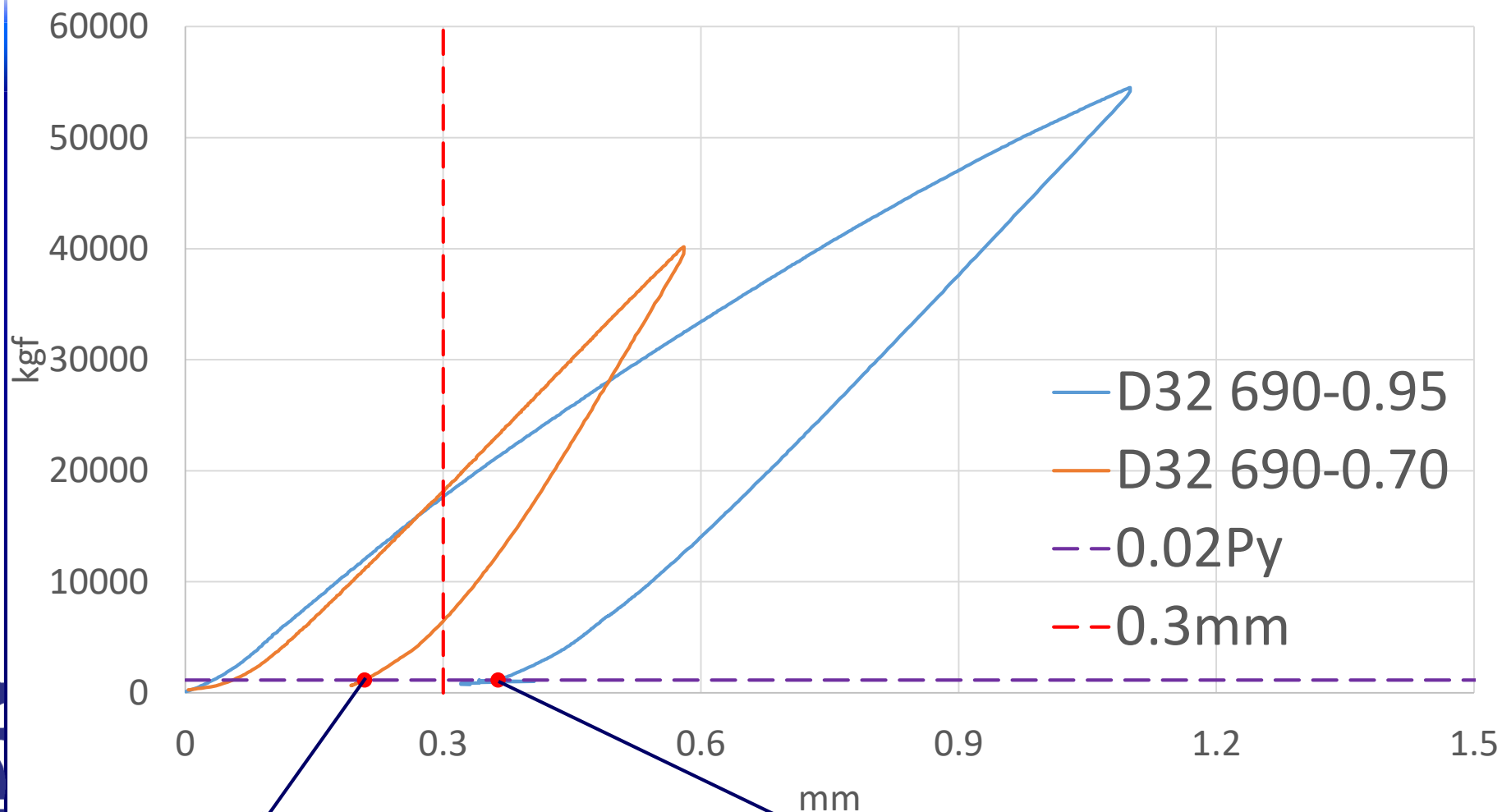
滑移量試驗數據

(林克強 2021)



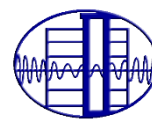
滑移量試驗數據

(林克強 2021)



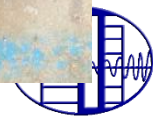
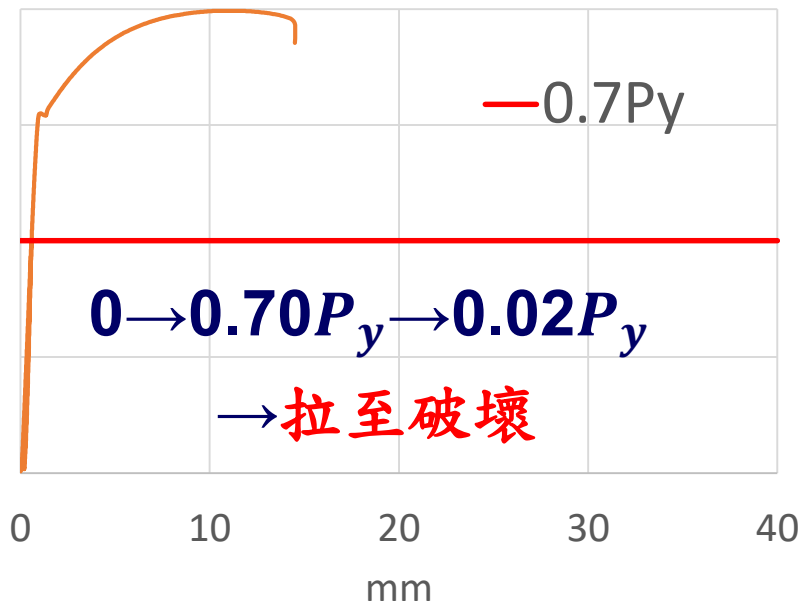
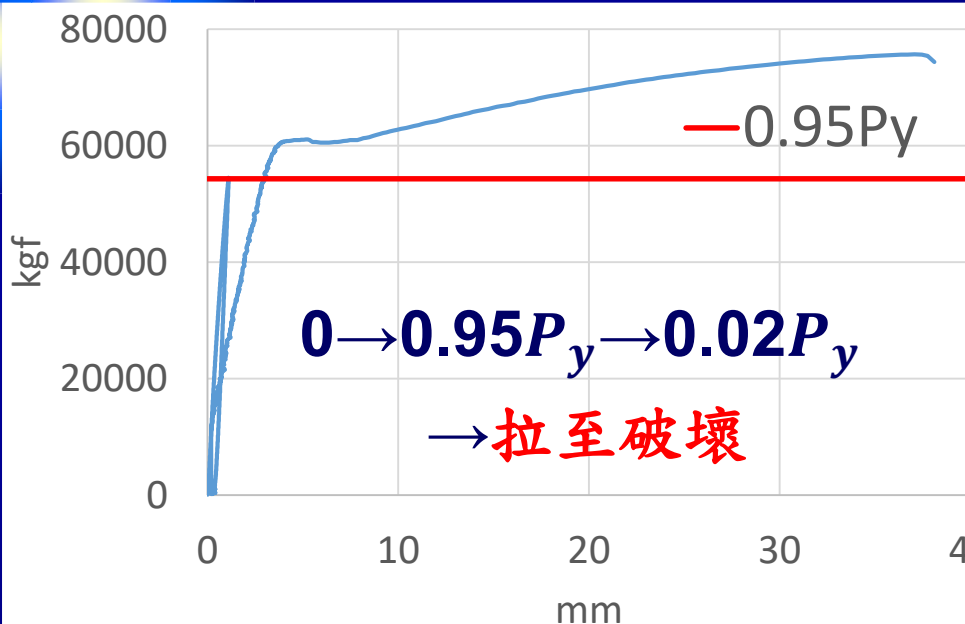
0.2087 mm

0.3642 mm



抗拉強度試驗結果

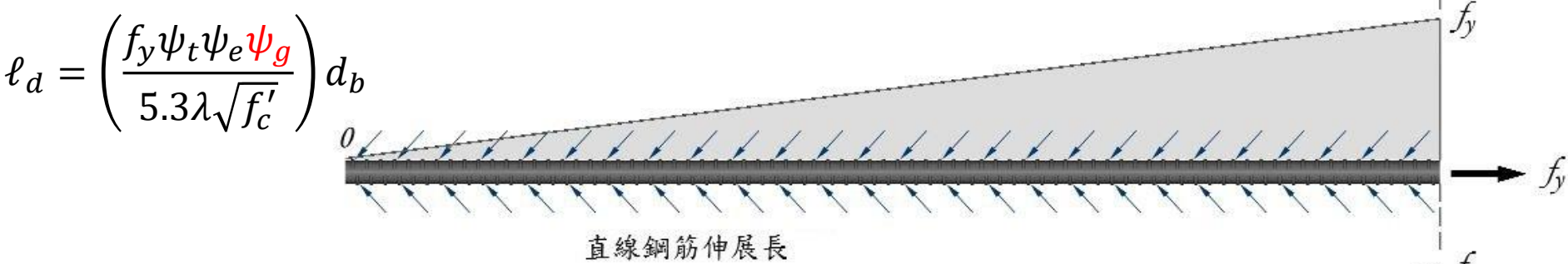
(林克強 2021)



鋼筋擴頭錨定之簡報大綱

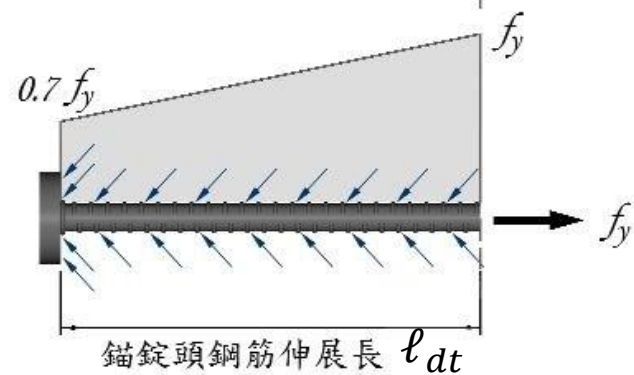
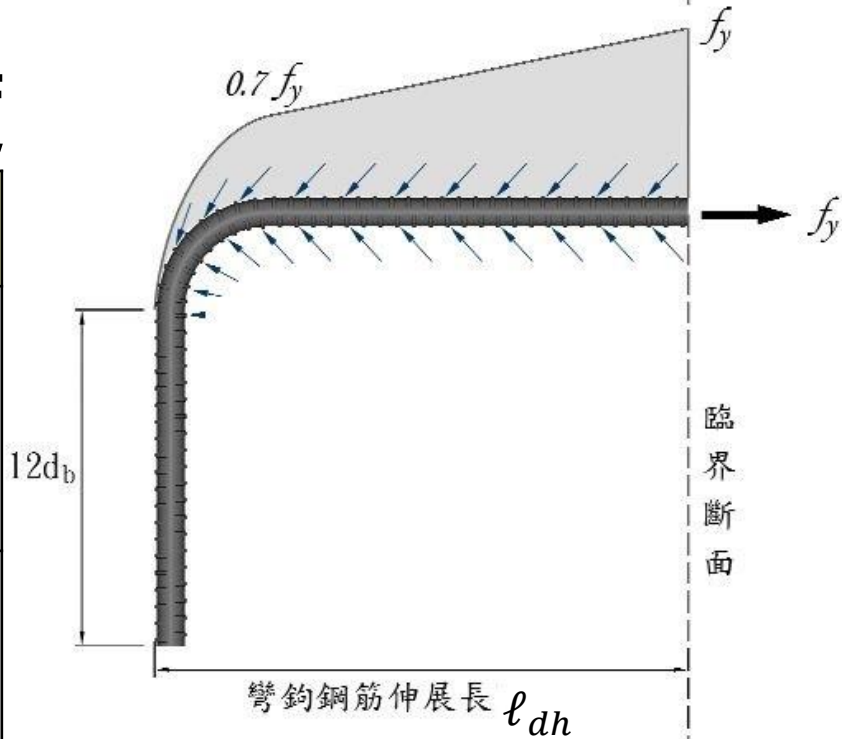
- 規範變革背景說明
- 彎鉤伸展長度設計公式
- 使用擴頭取代彎鉤錨定之條件
- ➡ • 擴頭伸展長度設計公式
- 問題與討論





彎鉤、擴頭伸展長度

規範	ACI 318-14規範 我國前版規範	ACI 318-19規範 我國新版規範
25.4.3 標準彎鉤 伸展長度 ℓ_{dh}	$\left(\frac{0.075 f_y \psi_e \psi_c \psi_r}{\lambda \sqrt{f'_c}} \right) d_b$	$\left(\frac{f_y \psi_e \psi_r \psi_o \psi_c}{23 \lambda \sqrt{f'_c}} \right) d_b^{1.5}$
25.4.4 擴頭鋼筋 伸展長度 ℓ_{dt}	$\left(\frac{0.06 f_y \psi_e}{\sqrt{f'_c}} \right) d_b$	$\left(\frac{f_y \psi_e \psi_p \psi_o \psi_c}{32 \sqrt{f'_c}} \right) d_b^{1.5}$



UT Austin
James O.
Jirsa



Kansas U
David
Darwin



表25.4.4.3 擴頭竹節鋼筋受拉伸展長度之修正係數

修正係數	條件	因數值
環氧樹脂 ψ_e	環氧樹脂塗布或鋅與環氧樹脂雙層塗布鋼筋	1.2
	無塗布或鋅塗布(鍍鋅)鋼筋	1.0
平行肋筋 ψ_p	圍束D36以下鋼筋之肋筋 $A_{tt} \geq 0.3A_{hs}$ 或 $S^{[1]} \geq 6d_b^{[2, 3]}$	1.0
	其他	1.6
位置 ψ_o	擴頭竹節鋼筋在 (1) 柱核心內終止且側面保護層 $\geq 6.5\text{cm}$ ，或 (2) 側面保護層 $\geq 6d_b$	1.0
	其他	1.25
混凝土 ψ_c	$< 420 \text{ kgf/cm}^2$	$\frac{f'_c}{1050} + 0.6$
	$\geq 420 \text{ kgf/cm}^2$	1.0

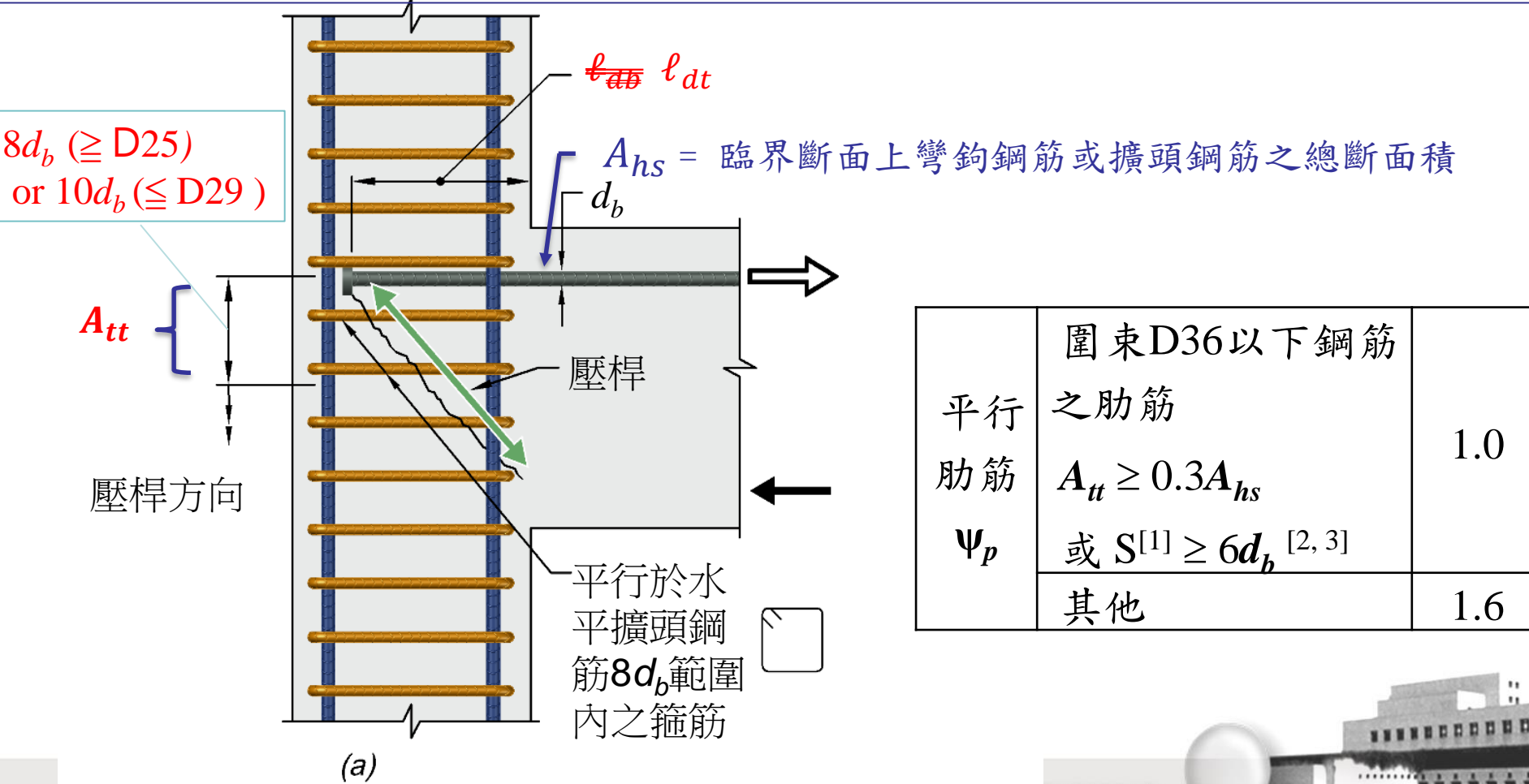
[1] s = 擴頭竹節鋼筋之最小中心距。

[2] d_b = 擴頭竹節鋼筋之標稱直徑。

[3] 參見第25.4.4.5節。



25.4.4.4 梁柱接頭區平行肋筋之總斷面積 A_{tt} 應包含平行於 ℓ_{dt} 之肋筋或箍筋，對D25或較小之擴頭竹節鋼筋而言，前述計入 A_{tt} 之肋筋或箍筋須配置於從擴頭竹節鋼筋中心起向接頭中心 $8d_b$ 的範圍，對D29或較大之擴頭鋼筋而言，則允許該範圍擴大為 $10d_b$ ，其中 d_b 為擴頭竹節鋼筋之標稱直徑。



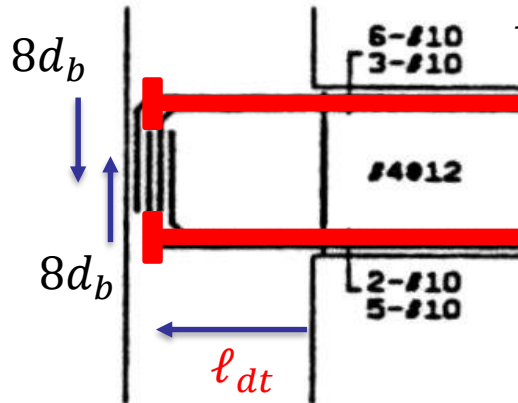
假設以擴頭取代彎鉤錨定

$$f'_c = 280 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\#4 \quad d_b = 1.27 \text{ cm} \quad A_b = 1.27 \text{ cm}^2$$

$$f_y = 4200 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\#10 \quad d_b = 3.22 \text{ cm} \quad A_b = 8.14 \text{ cm}^2$$



$$A_{hs,top} = 9A_{b,\#10} = 73.26 \text{ cm}^2$$

梁主筋間距不可能大於 $6d_b$

$$A_{hs,bot} = 7A_{b,\#10} = 56.98 \text{ cm}^2$$

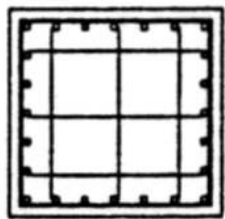
$$\frac{10d_b}{s} = \frac{10(3.22)}{10} = 3.22, \text{ 保守取 3 組}$$

$$A_{th} = 3 \times 5A_{b,\#4} = 19.05 \text{ cm}^2 < 0.3A_{hs,top} = 22 \text{ cm}^2$$

箍筋圍束不足 $\rightarrow \Psi_p = 1.6$ (若取4組就足夠)

$$A_{th} = 3 \times 5A_{b,\#4} = 19.05 \text{ cm}^2 > 0.3A_{hs,bot} = 17 \text{ cm}^2$$

箍筋圍束足夠 $\rightarrow \Psi_p = 1.0$



#4@10-15


#4@10 HOOP
#4@10 TIE

o-24-#10

80X80

位置 Ψ_o	D36以下具彎鉤之鋼筋 (1)在柱核心內終止，垂直彎鉤平面之側向保護層 $\geq 6.5\text{cm}$ ，或 (2)垂直彎鉤平面之側向保護層 $\geq 6d_b$	1.0
	其他	1.25


規範	ACI 318-14規範 我國前版規範	ACI 318-19規範 我國新版規範	f'_c	Ψ_c
25.4.4 擴頭鋼筋 伸展長度 ℓ_{dt}	$\left(\frac{0.06 f_y \psi_e}{\sqrt{f'_c}} \right) d_b$	$\left(\frac{f_y \psi_e \psi_p \psi_o \psi_c}{32 \sqrt{f'_c}} \right) d_b^{1.5}$	210	0.80
			280	0.87
			350	0.93
			420	1.0



$$\frac{0.06(4200)(1.0)}{\sqrt{280}} (3.22) = 48.5$$

單位
kgf - cm


箍筋圍束不足



$$\frac{4200(1.0)(\mathbf{1.6})(1.0)(0.87)}{32 \sqrt{280}} (3.22)^{1.5} = 63$$

OK

箍筋圍束足夠



$$\frac{4200(1.0)(\mathbf{1.0})(1.0)(0.87)}{32 \sqrt{280}} (3.22)^{1.5} = 39.4$$

OK

前後版差異：

- 是否圍束之修正因數 差很大
- 高強度混凝土 放大
- 大號鋼筋 再放大 (1.5次方)

新舊規範標準彎鉤伸展長度比較

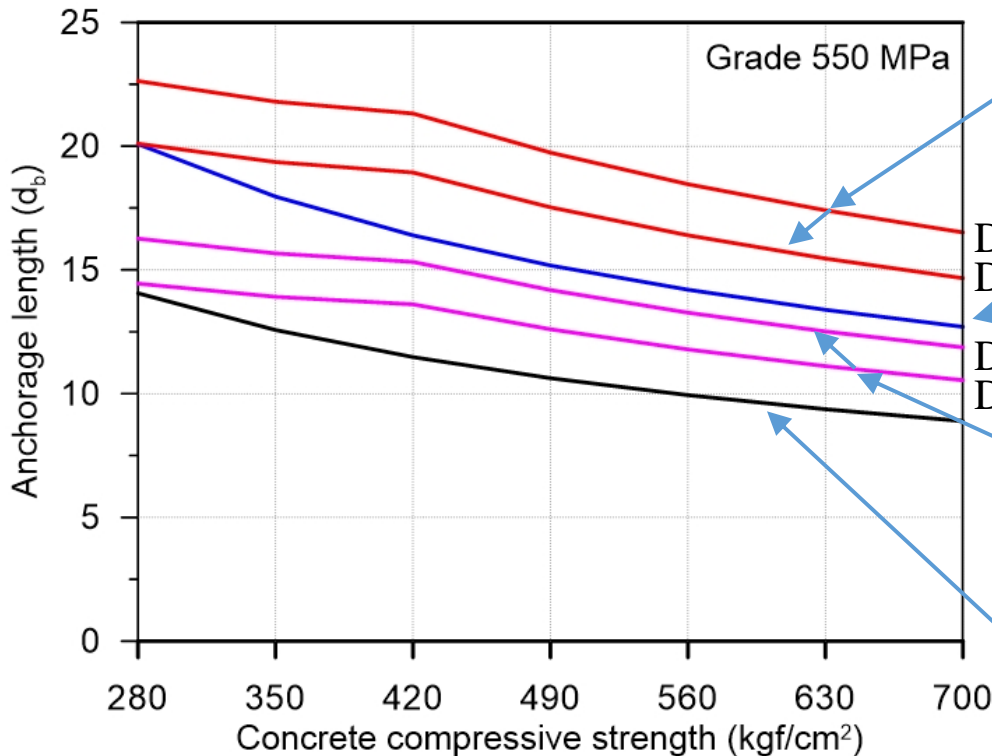
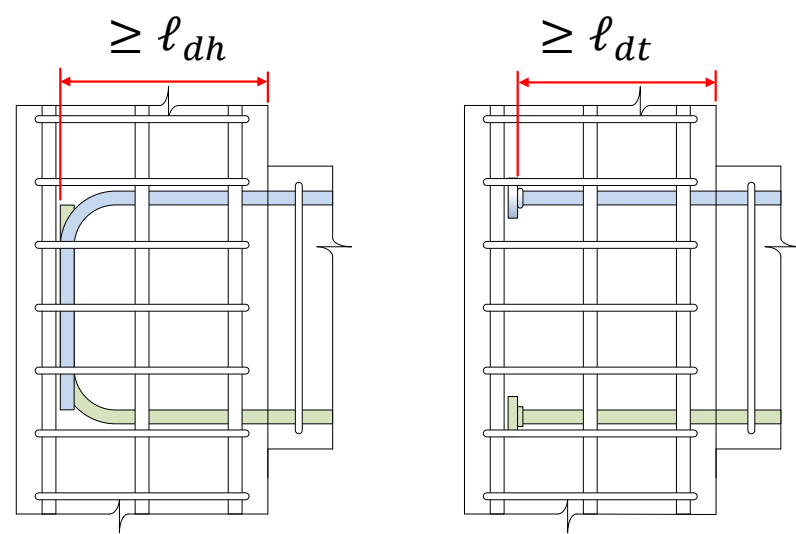
假設彎鉤的保護層厚度和圍束條件足夠

14年版公式 $\psi_c=0.7$ 、 $\psi_r=0.8$

19年版公式 $\psi_o=1.0$ 、 $\psi_r=1.0$ 。

19年版混凝土強度低於420 kgf/cm²有修正因數 $\psi_c = f'_c / 1050 + 0.6$ 。

假設使用SD550W鋼筋 $f_y=5600$ kgf/cm²



$$\ell_{dh} = \frac{f_y \psi_c}{23 \sqrt{f'_c}} d_b^{1.5} \quad \text{新版25章 彎鉤}$$

$$\ell_{dh} \text{ or } \ell_{dt} = \frac{0.06 f_y}{\sqrt{f'_c}} d_b \quad \text{舊版18章彎鉤T頭}$$

$$\ell_{dt} = \frac{f_y \psi_c}{32 \sqrt{f'_c}} d_b^{1.5} \quad \text{新版25章 T頭}$$

$$\ell_{dh} = \frac{0.075 f_y (0.7)(0.8)}{\sqrt{f'_c}} d_b \quad \text{舊版25章 彎鉤}$$

圖5 新舊規範彎鉤和擴頭鋼筋伸展長度之比較

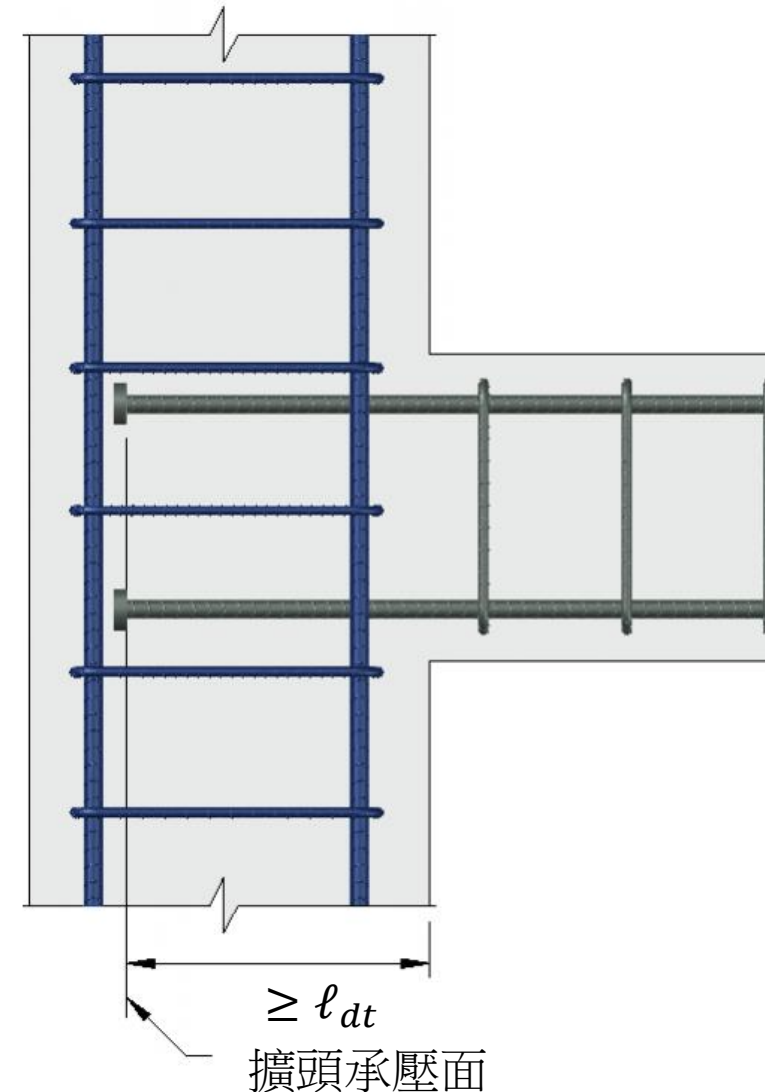
舊版25章 彎鉤

圖R25.4.4.2b 擴頭竹節鋼筋延伸至柱心之遠端面， 其錨定長度超過 ℓ_{dt}

25.4.4.2 解說：

擴頭竹節鋼筋之伸展長度 ℓ_{dt} 係由臨界斷面量測至擴頭之承載面，如圖R25.4.4.2a所示。此條規定係依據模擬梁-柱接頭試驗 (Shao等人 2016)。

若梁、版或托梁中縱向擴頭鋼筋終止於支承構材時，如圖R25.4.4.2b所示之柱，即使錨定長度可能超過 ℓ_{dt} ，鋼筋仍宜穿過接頭並延伸至支承構材圍束區之遠端面，且保有足夠保護層，並避免與柱筋互相干擾。延伸鋼筋至柱核心區之遠端面，可幫助整個接頭參與抵抗錨定力，同時改善接頭性能。

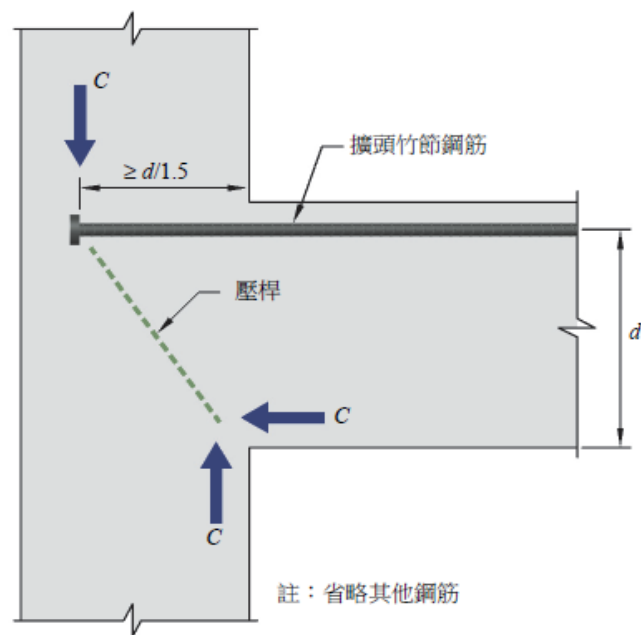


要注意傳力路徑

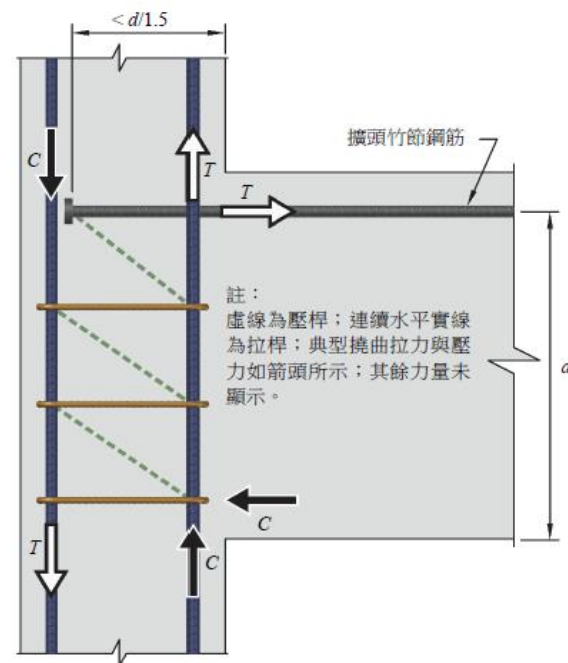
25.4.4.2 解說：

若擴頭鋼筋密排使用時，可能造成混凝土拉破破壞。但如圖R25.4.4.2c和R25.4.4.2d所示之接頭。圖R25.4.4.2c所示之接頭，若錨定長度等於或大於 $d/1.5$ (Eligehausen 2006)通常錨定強度會較高；圖R25.4.4.2d所示之接頭，依據壓拉桿模式之原理，以閉合箍筋及箍筋型式建立傳力路徑。

壓拉桿模式宜依據第23章之規定驗證。圖R25.4.4.2c和R25.4.4.2d所示之壓拉桿模型，係依賴由柱延伸至接頭上方之垂直向壓桿。在屋頂層和門型構架之梁柱接頭易於發生接頭破壞，並宜適當設計梁柱接頭之細節，以抑制斜向裂縫穿過接頭，以及鋼筋拉破頂層表面。



圖R25.4.4.2c 藉由保持等於或大於 $d/1.5$ 之錨定長度，以避免接頭拉破破壞



圖R25.4.4.2d 藉由提供橫向鋼筋產生壓拉桿機制，以排除接頭拉破破壞

屋頂膝式接頭(Knee joint)

25.4.4.6 梁負彎矩擴頭竹節鋼筋在接頭區內終止時，柱須向上延伸至少接頭深度 h ，其中 h 為接頭在受力考慮方向之水平尺度。否則，梁筋須以額外之豎向接頭鋼筋圍繞，以提供接頭區頂面等效的圍束。

解說：

此規定是參考一懸臂梁負彎矩鋼筋在橋柱接頭內錨定的實驗研究，此類膝式接頭(Knee joint)需要圍束接頭頂面的擴頭梁主筋，圍束可由(a)柱延伸超過接頭頂面，或(b)除柱縱向鋼筋外，提供額外的豎向鋼筋圍繞梁頂層鋼筋且向下延伸進入接頭區。額外的豎向接頭鋼筋之設計和細節可參閱ACI 352R報告。



懸臂梁-橋柱接頭承受閉合彎矩之實驗(Wood 1997)

Wood, B. A. (1997). *Investigation of design and repair methods for cantilever bridge bents* (Doctoral dissertation, University of Texas at Austin).

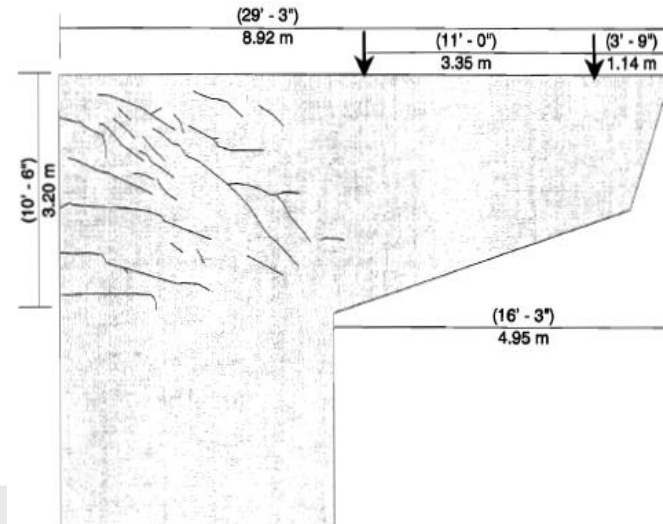
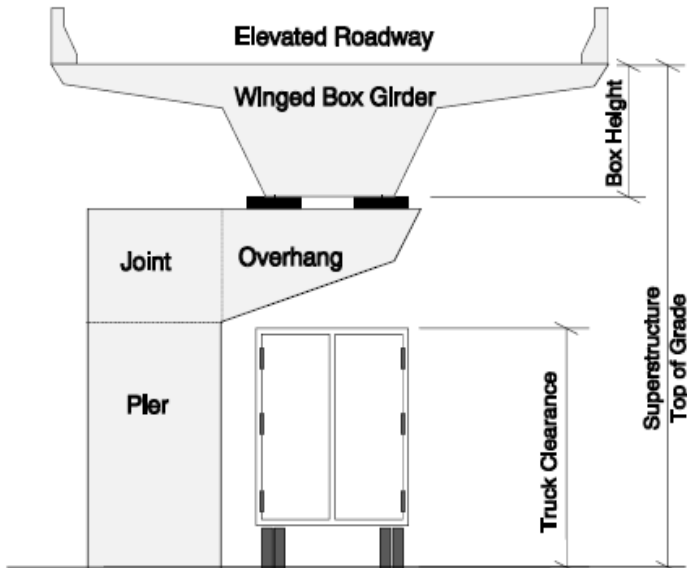
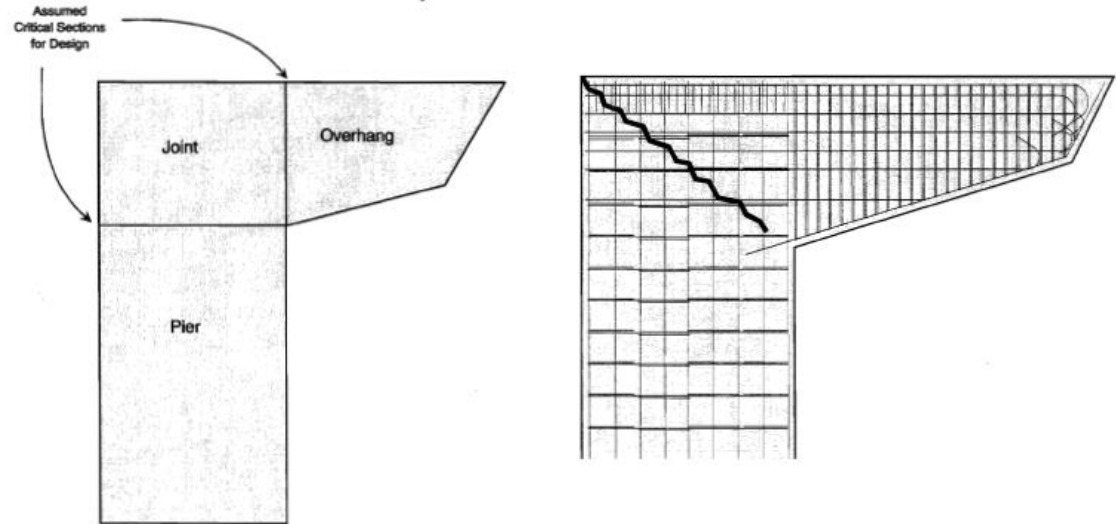


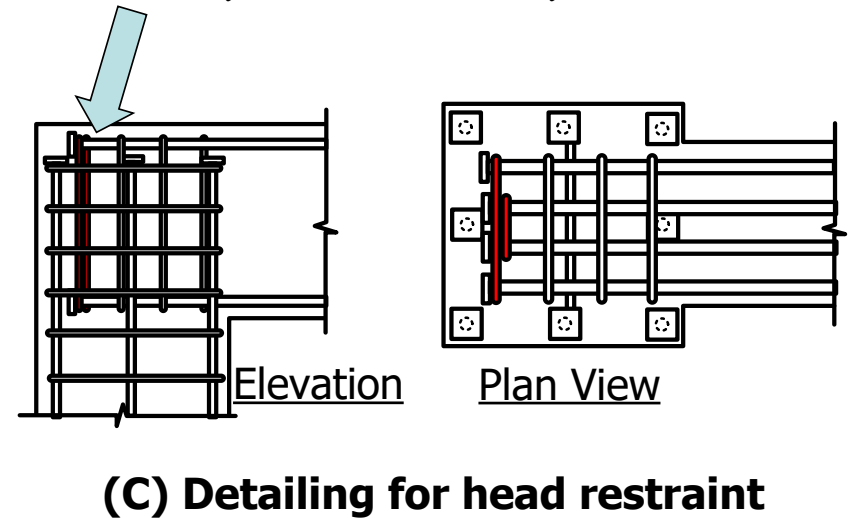
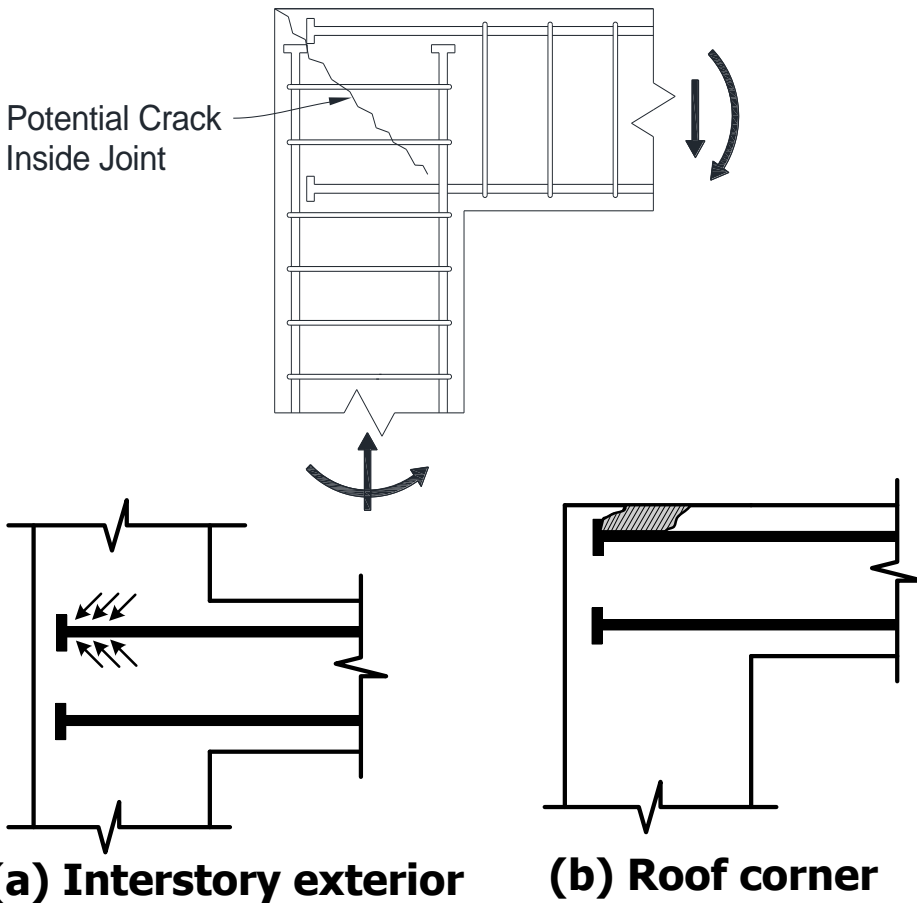
Figure 2. 13 Pattern of cracks in Pier D-36C



屋頂角落接頭

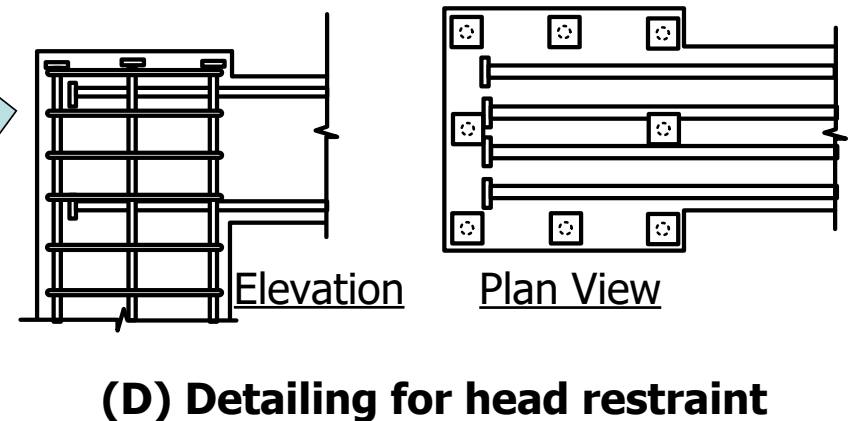
ACI 352R-02 建議補強筋

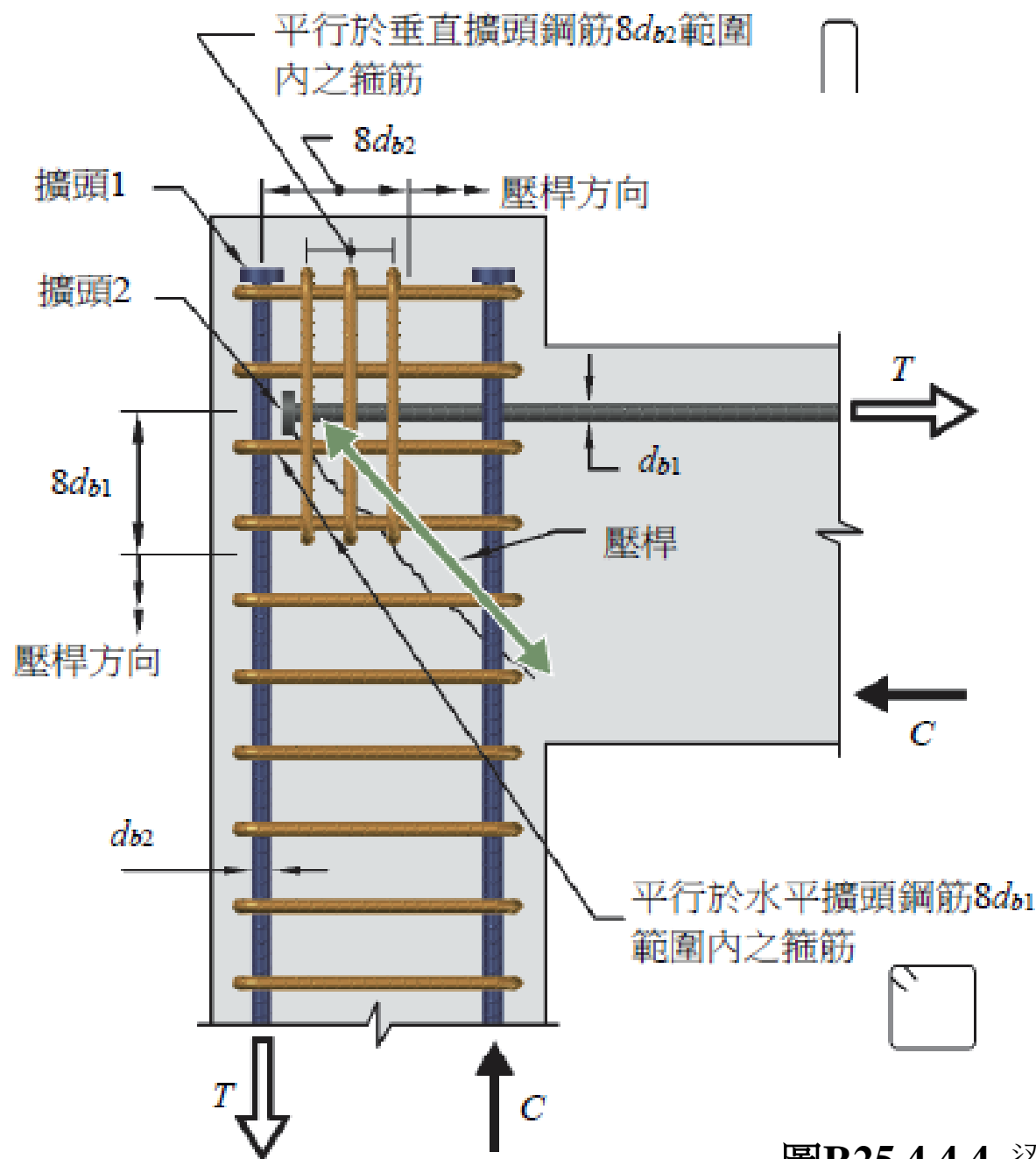
$$A_{s,rst} f_y = 0.25 A_s f_y \sim 0.50 A_s f_y$$



不足，建議往上
延伸一個 h

何必呢？Knee joint 用
彎鉤搭接錨定，或連
續彎轉鋼筋就好





(b) 水平及垂直向擴頭鋼筋

圖R25.4.4.4 梁-柱接頭區內配置平行於擴頭鋼筋之箍、肋筋用以確保錨定強度

ACI 318J Code-change proposal

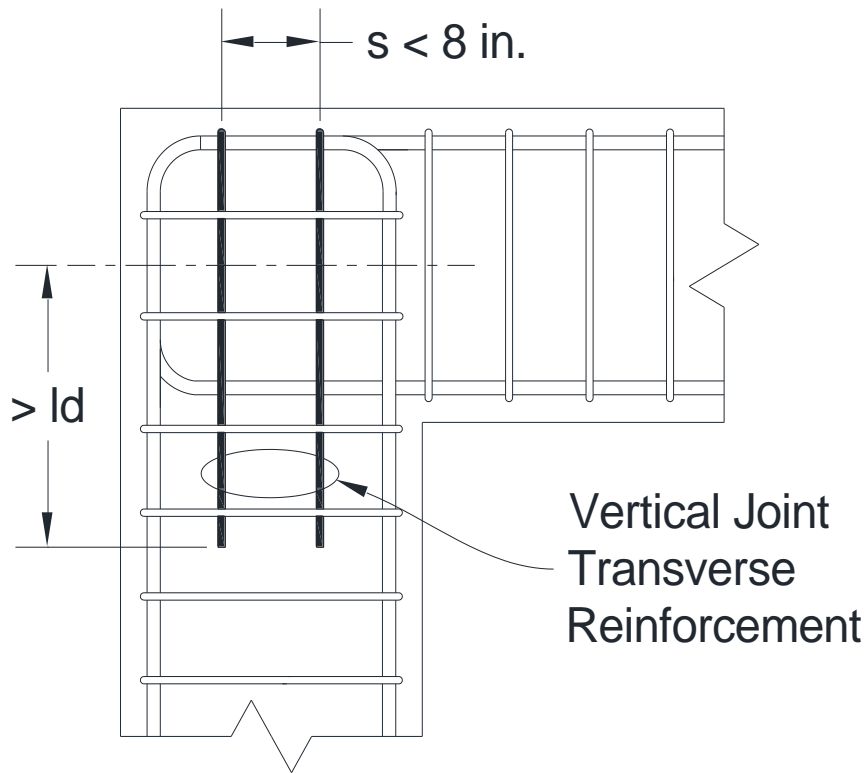


Fig. R15.3.1.2 – Corner joint with vertical and horizontal transverse reinforcement (adapted from ACI 352R)

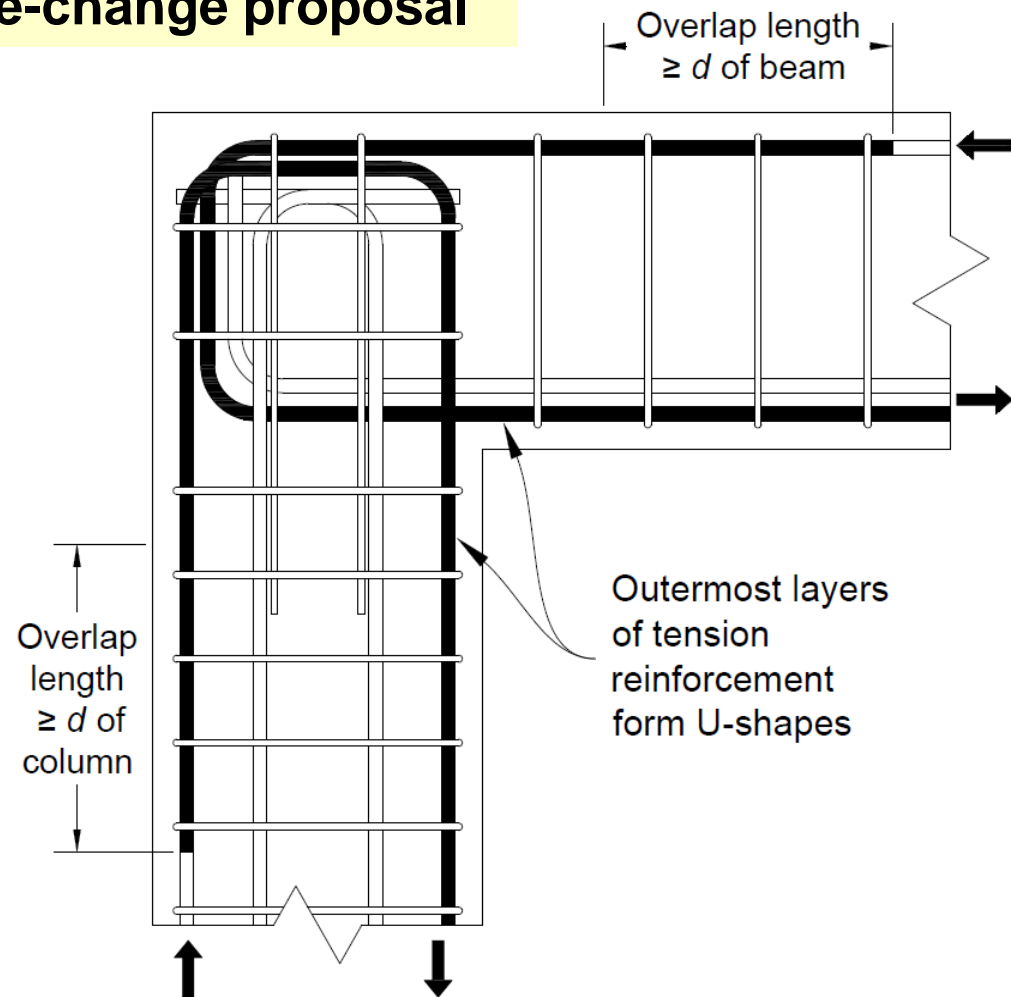
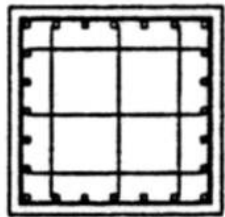
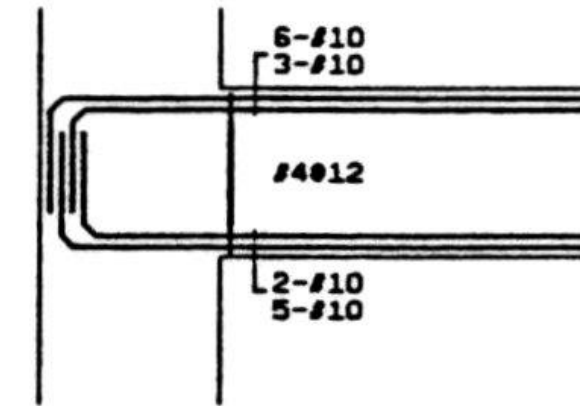


Fig. R15.3.3.3.1 – Corner joint reinforced with overlapping U-shaped bars

理想(幻想) vs 現實

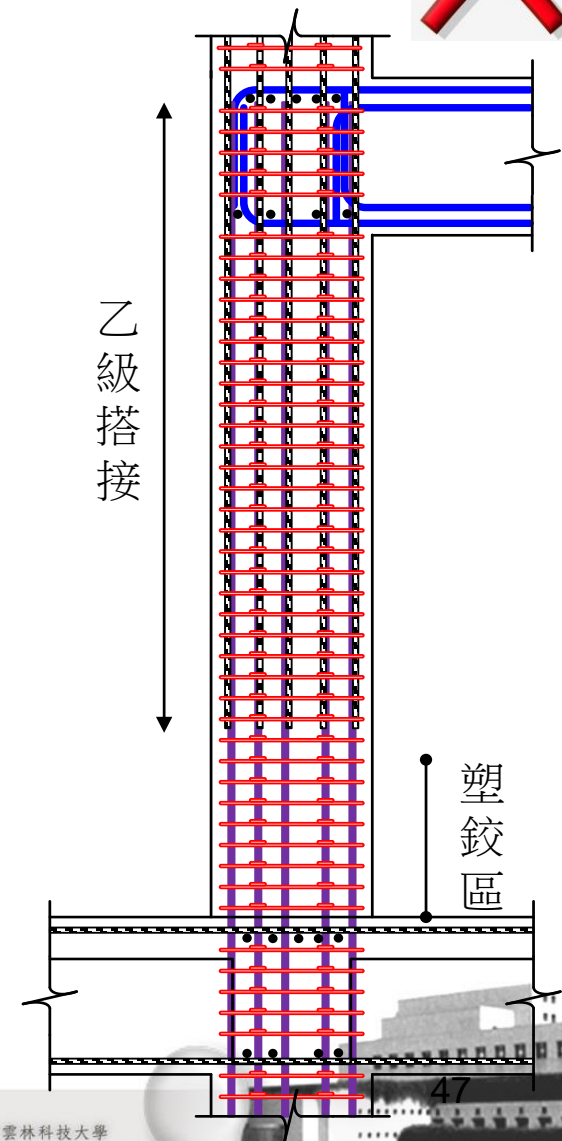
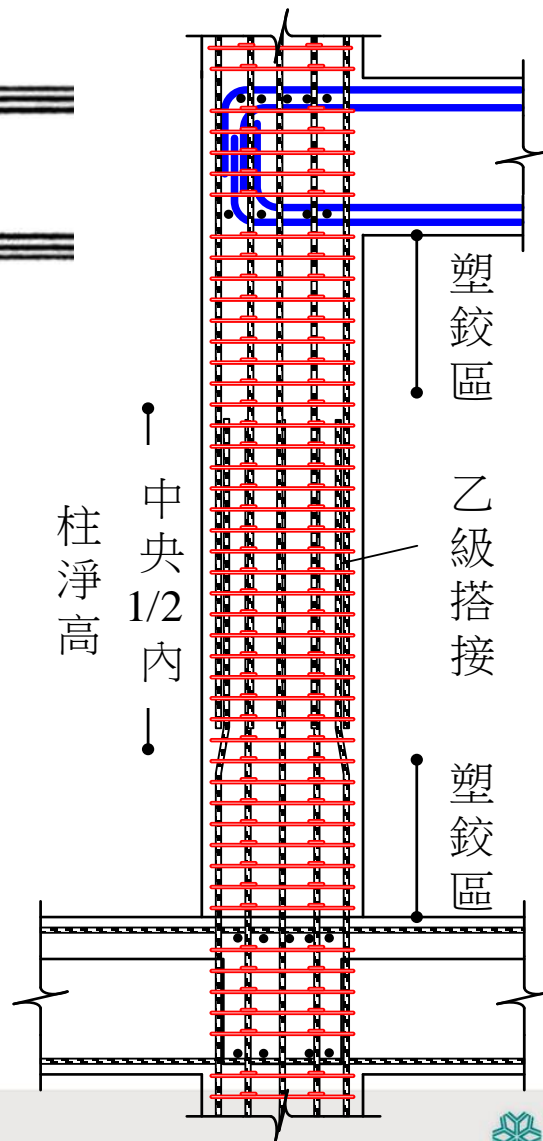


#4@10-15

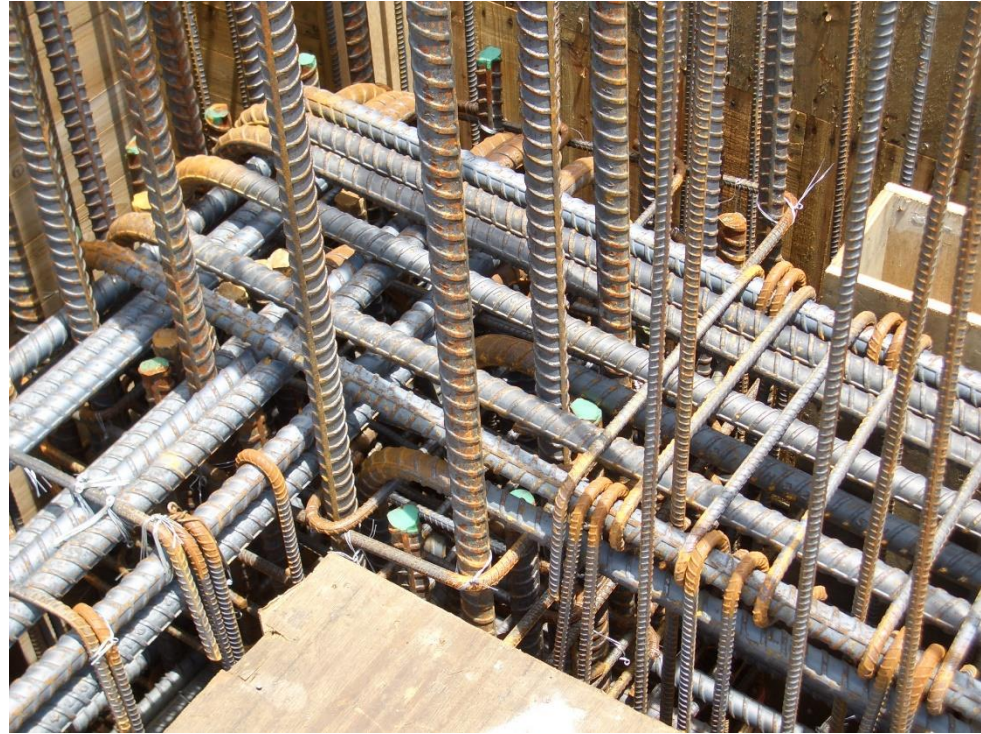
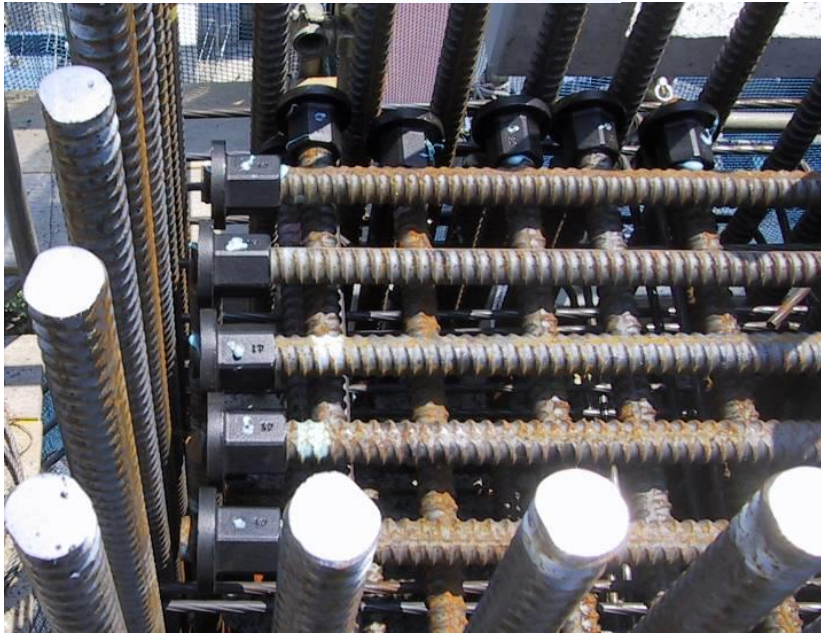
#4@10 HOOP
#4@10 TIE

o-24-#10

80X80



以擴頭取代彎鉤錨定



SD 420 鋼筋，分兩層排列，鋼筋彎鉤無處伸展，鋼筋壅塞間距不足，注意第二段筋根本沒伸入接頭!!



規範18章和25章伸展長度的差異

規範	ACI 318-14規範	ACI 318-19規範
第18章 接頭內梁主 筋彎鉤伸展長 度 ℓ_{dh}	$\left(\frac{0.06f_y\psi_e}{\sqrt{f'_c}} \right) d_b$	$\left(\frac{0.06f_y\psi_e}{\sqrt{f'_c}} \right) d_b$
第18章 接頭內梁主 筋擴頭伸展長 度 ℓ_{dt}	$\left(\frac{0.06f_y\psi_e}{\sqrt{f'_c}} \right) d_b$	$\left(\frac{1.25f_y\psi_e\psi_p\psi_o\psi_c}{32\sqrt{f'_c}} \right) d_b^{1.5}$

ACI 318-19
沒改到

(我國新版規範
18.5.5 受拉鋼
筋之伸展長度)

這款還
有得吵

18.5.5.2 符合第20.2.1.6節規定之擴頭竹節鋼筋，其受拉伸展應符合第25.4.4節之規定，惟梁縱向鋼筋應以 $1.25f_y$ 取代 f_y 進行計算。若其計算結果再放大1.1倍，且擴頭鋼筋終止於符合第18.4.5節橫向鋼筋圍束的構件自由端或符合第18.5.3節橫向鋼筋圍束之接頭核心內，則鋼筋間最小中心距允許降低至 $2.5d_b$ ，柱鋼筋最小淨保護層允許降低至 $1.5d_b$ 。

問題與討論

簡報結束
敬請指教

