

高強度鋼筋混凝土之梁構件設計

王勇智

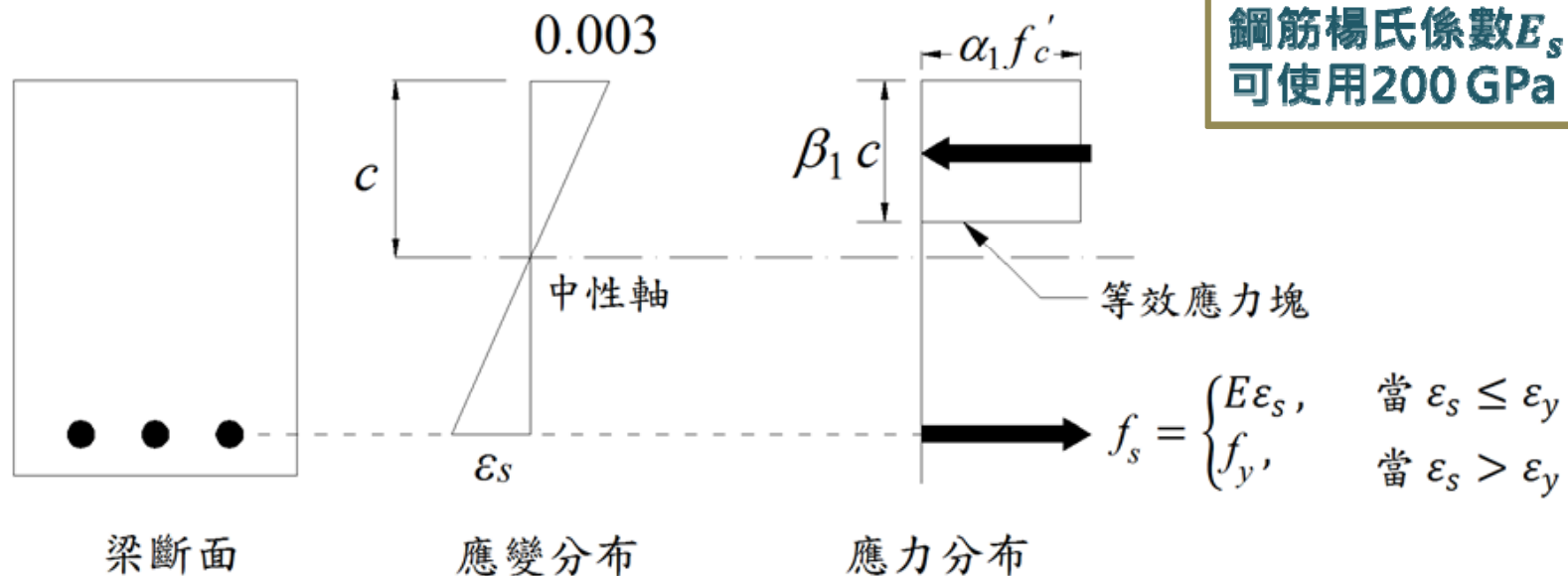
國立中央大學土木系教授



NEW RC 梁相關設計方針

New RC梁 撓曲強度計算

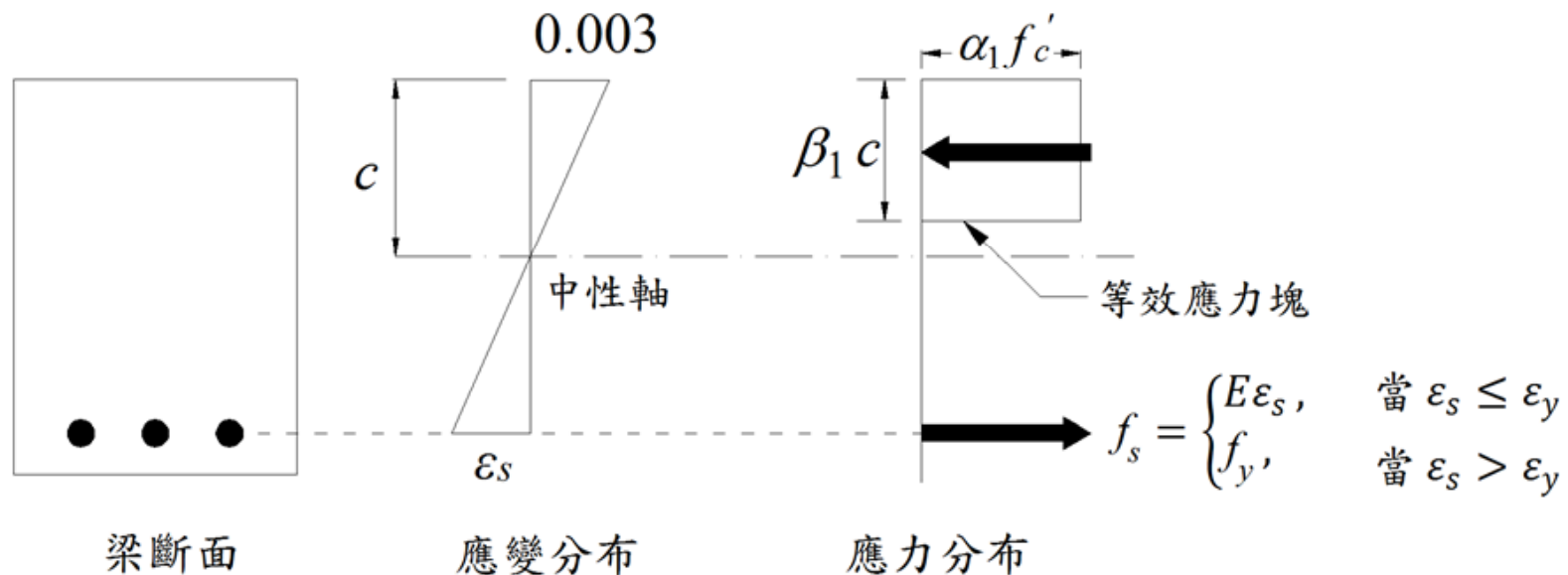
梁桿件標稱撓曲為混凝土最外緣受壓之極限應變達0.003時所對應之撓曲強度，混凝土壓應力以等效應力塊作計算。



New RC梁 撓曲強度計算

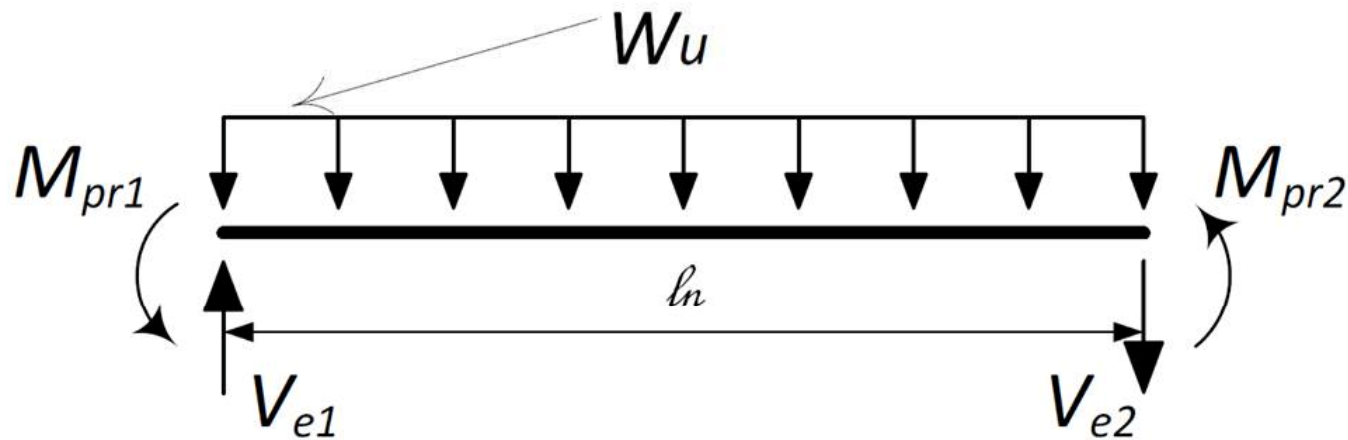
$$0.7 \leq \alpha_1 = 0.85 - 0.0022(f'_c - 55) \leq 0.85 \quad (\text{MPa})$$

$$\beta_1 \begin{cases} 0.85 \\ 0.85 - 0.0073(f'_c - 27.5) \\ 0.65 \end{cases}, \text{ when } \begin{cases} f'_c \leq 27.5 \\ 27.5 \leq f'_c \leq 55 \\ f'_c \geq 55 \end{cases} \quad (\text{MPa})$$



修正係數 α_1 與 β_1 係根據ACI ITG-4.3R(2007) 之建議

New RC梁剪力需求(V_e)



$$V_e = \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{l_n} \pm \frac{w_u l_n}{2}$$

M_{pr} : 由 αf_y 計算之超額彎矩強度

α 為梁拉力鋼筋之超額強度因子=1.15 (SD690 鋼筋)

剪力設計

梁兩端由柱面(或稱:引起撓曲降伏之斷面)算起
2倍梁深範圍，稱之為塑性鉸區；其餘靠近梁中間
範圍，則稱為非塑性鉸區。

$$V_n = V_c + V_s$$

非塑性鉸區： $V_c = 0.17\sqrt{f'_c}b_wd \text{ (MPa)}$

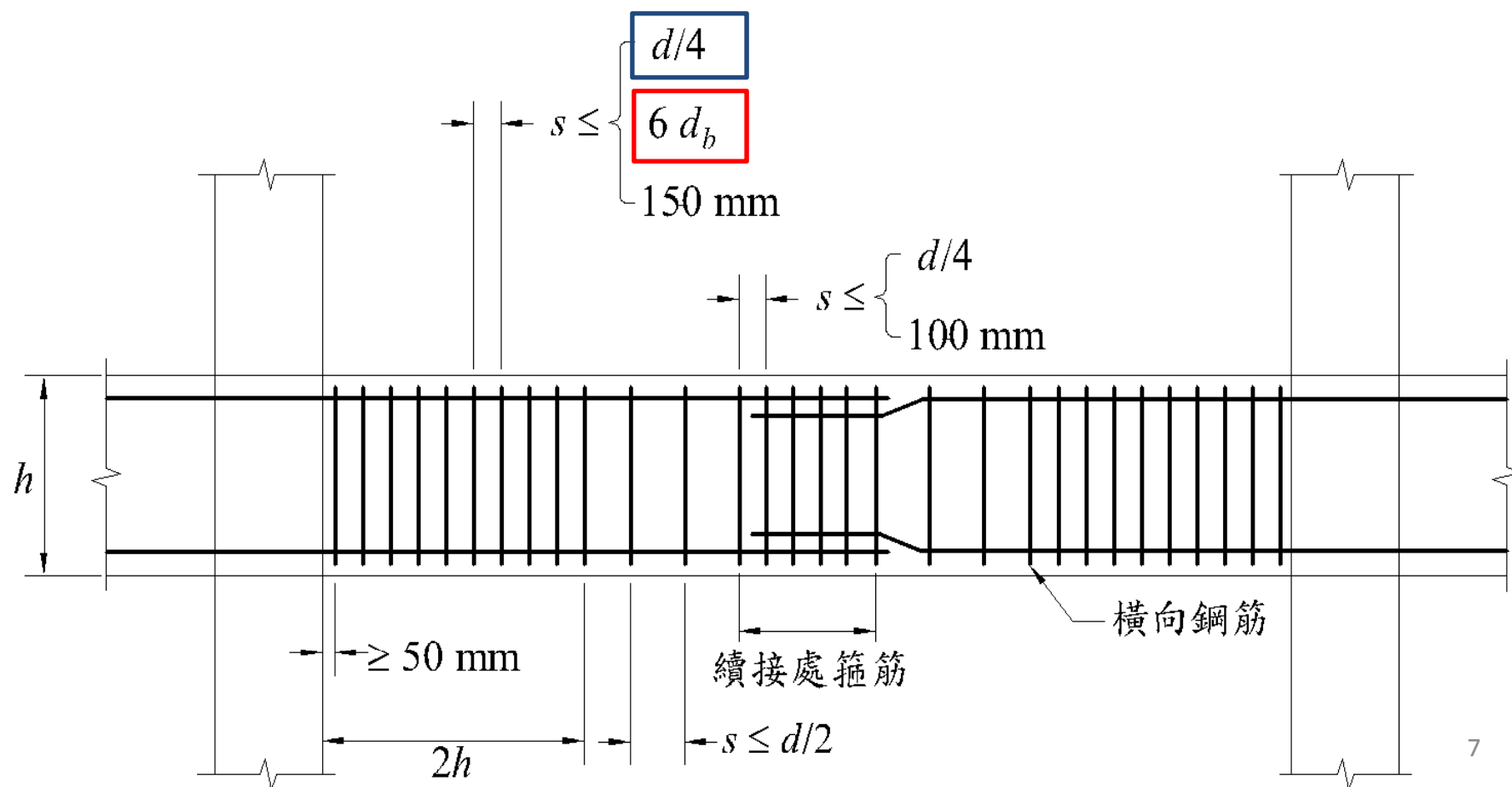
塑性鉸區： $V_c = 0$

$$V_s = \frac{A_v f_{yt} d}{s_v} \leq 0.66\sqrt{f'_c}b_wd \text{ (MPa)} \quad \theta = 45^\circ$$

$$f_{yt} \leq 600 \text{ MPa}$$

橫向鋼筋細部設計

塑性鉸區(離柱面 $2h$ 內)與非塑性鉸區的箍筋間距規定不同，且在預期構件會發生撓曲降伏的長度範圍內，不允許鋼筋搭接。

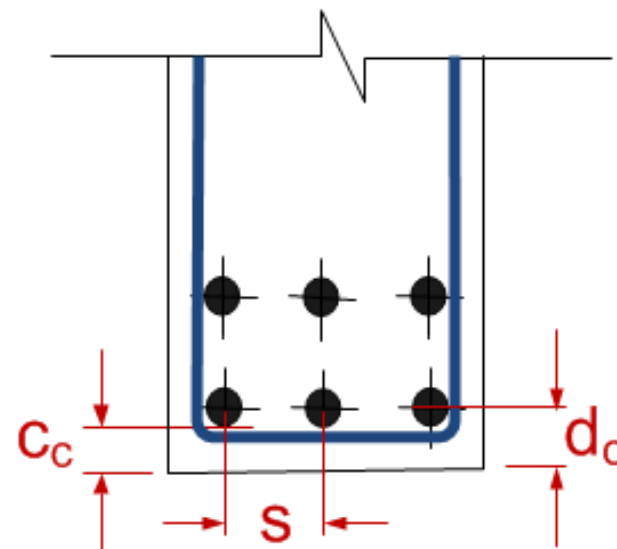


撓曲裂縫控制

參照ACI 318之規定，撓曲裂縫於使用載重下之最大寬度小於0.4~0.5 mm。

$$s \leq 380 \left(\frac{280}{f_s} \right) - 2.5c_c ; \text{ 且 } s \leq 300 \left(\frac{280}{f_s} \right) \quad [\text{SI制}]$$

f_s 為在使用載重下算得之鋼筋應力，若其小於 $0.4f_y$ 時，須以 $0.4f_y$ 取代之。鋼筋中心距 s 之選取不得小於 $2C_c$ 。



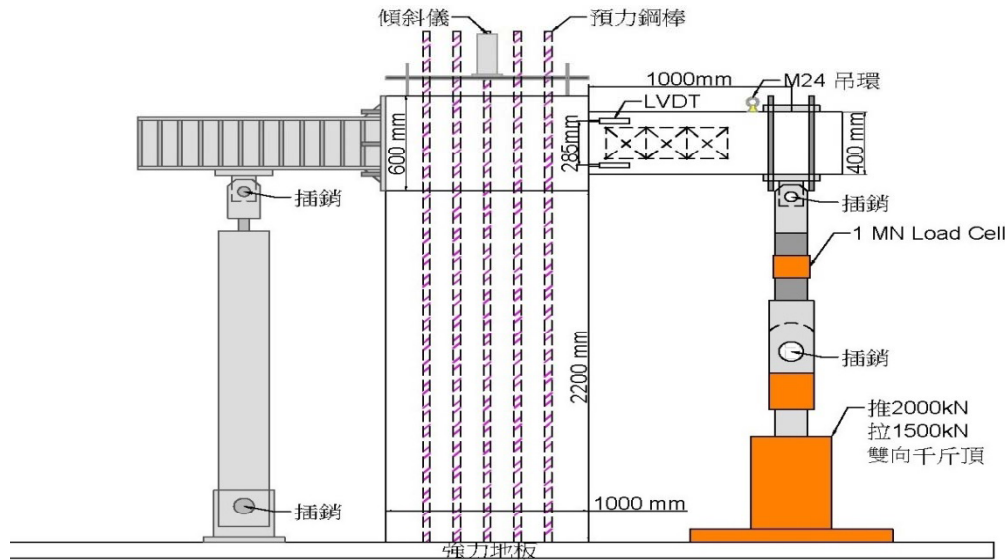
剪力裂縫控制

主要參照日本建築學會日本建築學會-鋼筋混凝土構造計算規準(AIJ, 2010)，適用於梁承受靜載重與活載重下，其斷面設計剪應力不可大於建議之容許剪應力 v_{ser} ，以使剪力裂縫之最大寬度小於0.4 mm。

$$v_{ser} = \frac{0.35 \times 0.33 \sqrt{f'_c}}{1.5} + \frac{A_v f_s}{b_w s} \quad [\text{SI制}]$$

A_v 為剪力鋼筋於 s 距離內之面積； s 為剪力鋼筋之中心距； f_s 為剪力鋼筋之容許應力，最大值為 $0.15 f_{yt}$ ； b_w 為梁腹寬度； f'_c 為混凝土之規定抗壓強度。

梁鋼筋(SD690)之超額強度係數 α_o 調查



15支SD690 RC梁測試數據(30筆資料)，23支SD420 RC梁測試數據(46筆資料)，以NZ學者N.J. Brooke方式作統計。

$$\alpha_o = \alpha_{mat} \times \alpha_{har}$$

$$\alpha_{mat} = \frac{f_{ya}}{f_{yn}}$$

$$\alpha_{har} = \frac{M_{test, DR=4\%}}{M_{a, f_{ya}}}$$

SD420與SD690鋼筋之超額強度係數統計結果

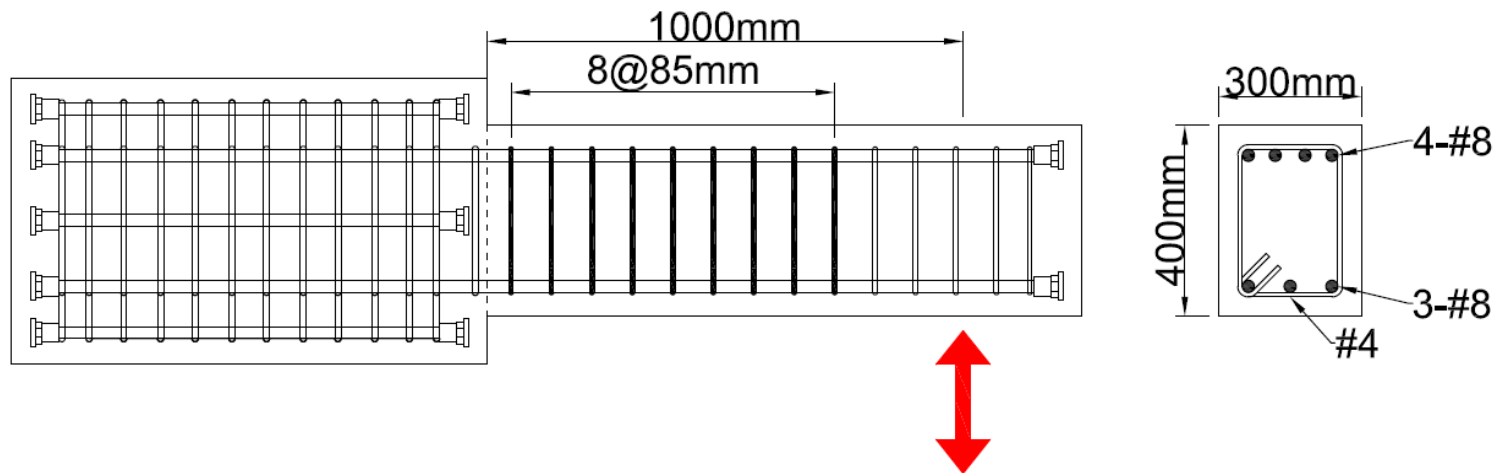
鋼筋強度等級	SD420	SD690
超額強度係數 α_{mat}	1.10	1.06
超額強度係數 α_{har}	1.13	1.09
超額強度係數 α_0	1.24	1.16

表6-1 NEW RC 設計手冊之鋼筋超額強度係數

鋼筋強度等級	SD490以下	SD550	SD690
超額強度係數	$\alpha = 1.25$	$\alpha = 1.20$	$\alpha = 1.15$

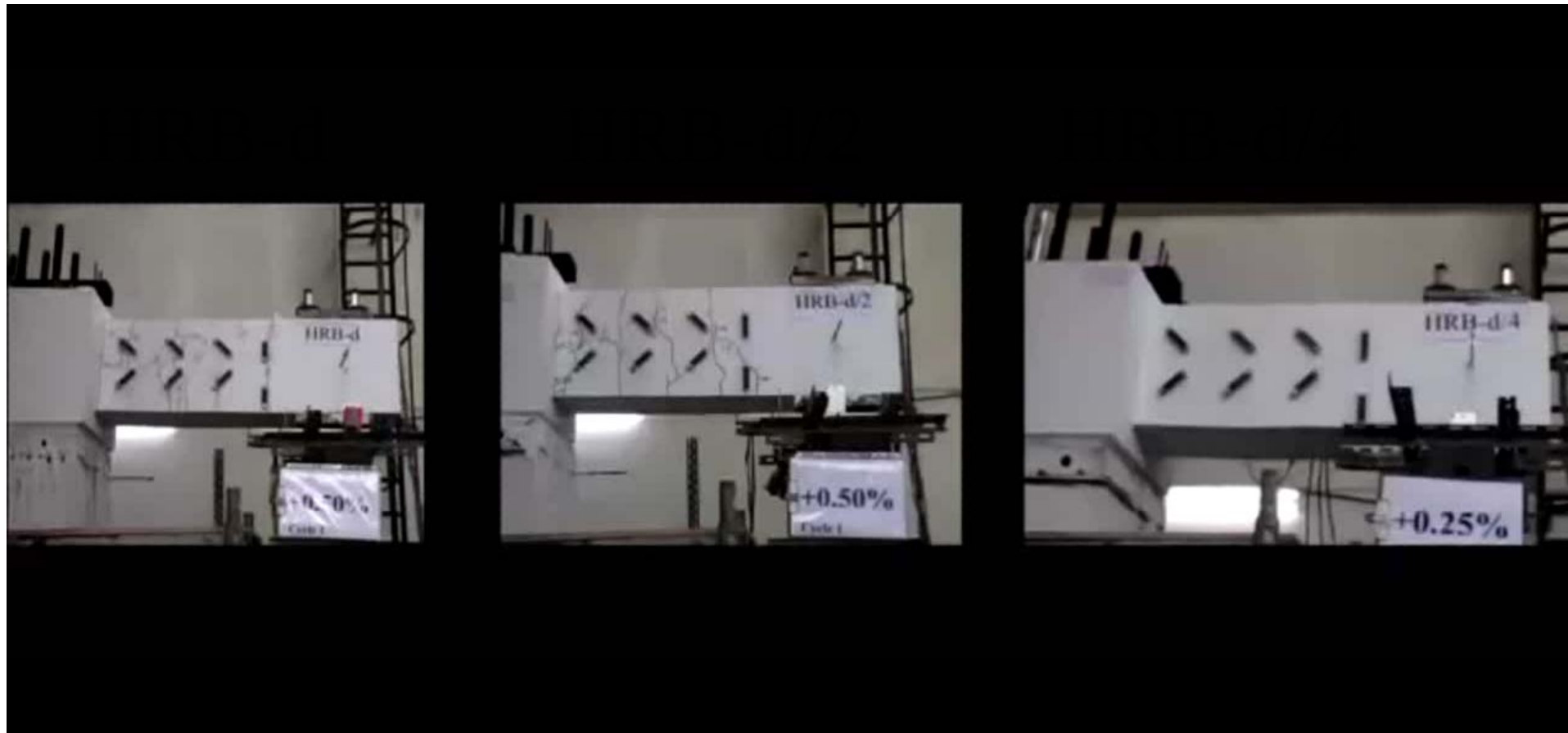
NEW RC 梁撓曲剪力行為驗證1

試體規劃

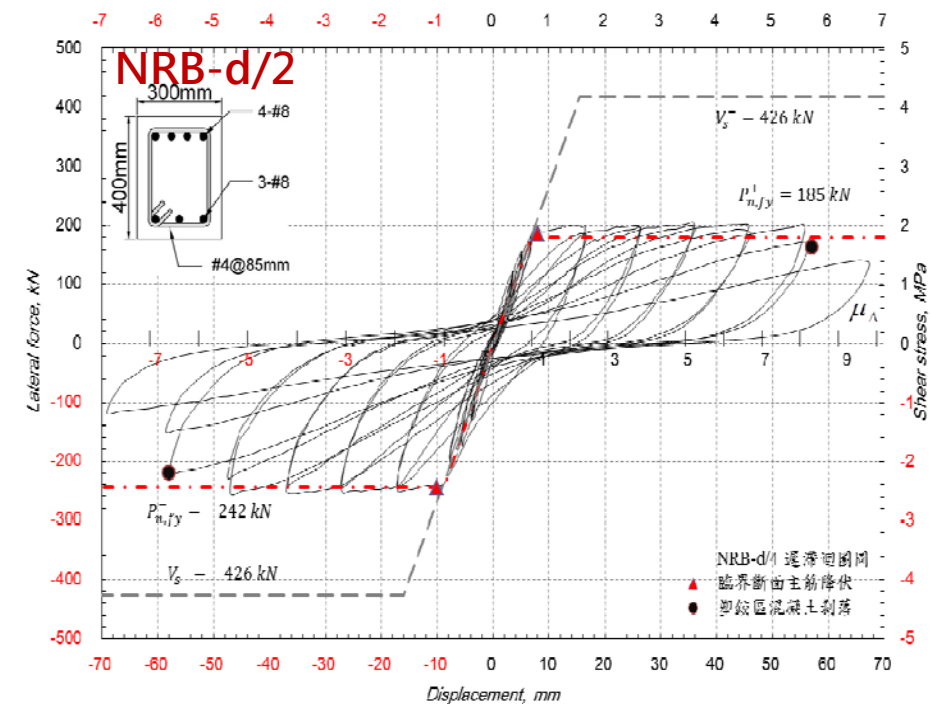
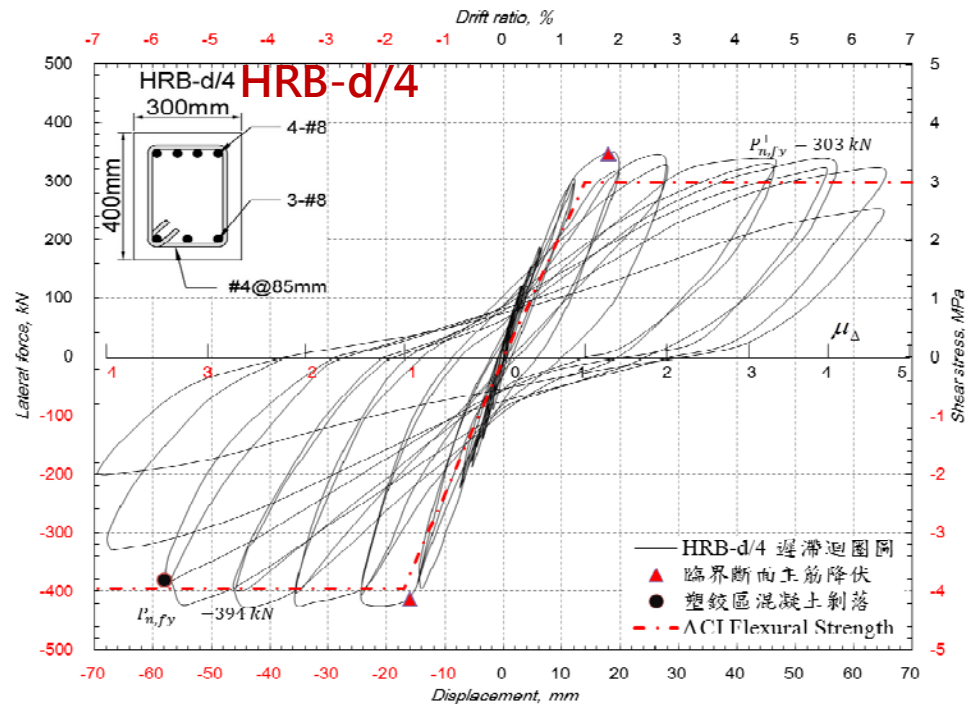
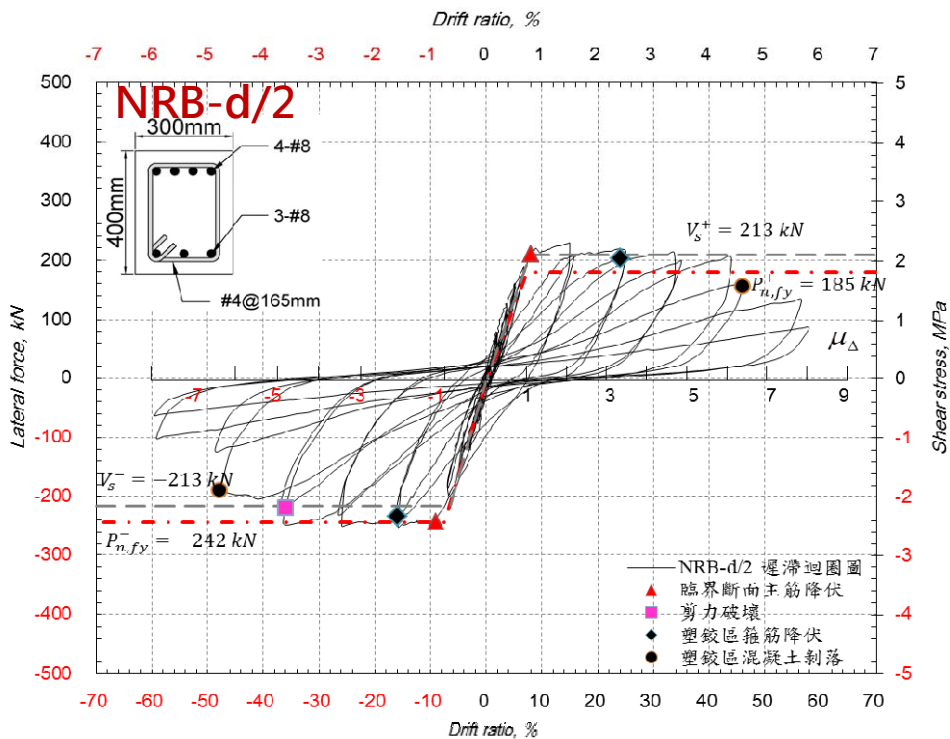
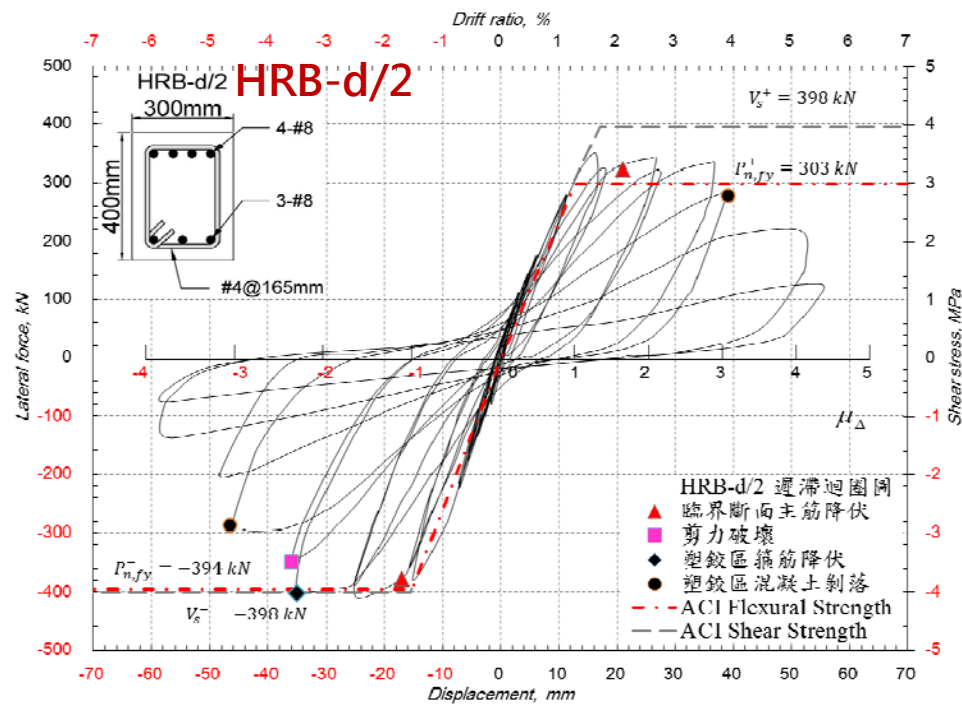


試體 編號	f'_c MPa	$f_{y,\#8}$ MPa	$f_{yt,\#4}$ MPa	b mm	d mm	s mm	a/d
NRB-d	30	468	497	300	335	335	3
NRB-d/2						165 ($6.5d_{b,\#8}$)	
NRB-d/4						85 ($3.5d_{b,\#8}$)	
HRB-d	63	754	840	300	335	335	3
HRB-d/2						165 ($6.5d_{b,\#8}$)	
HRB-d/4						85 ($3.5d_{b,\#8}$)	

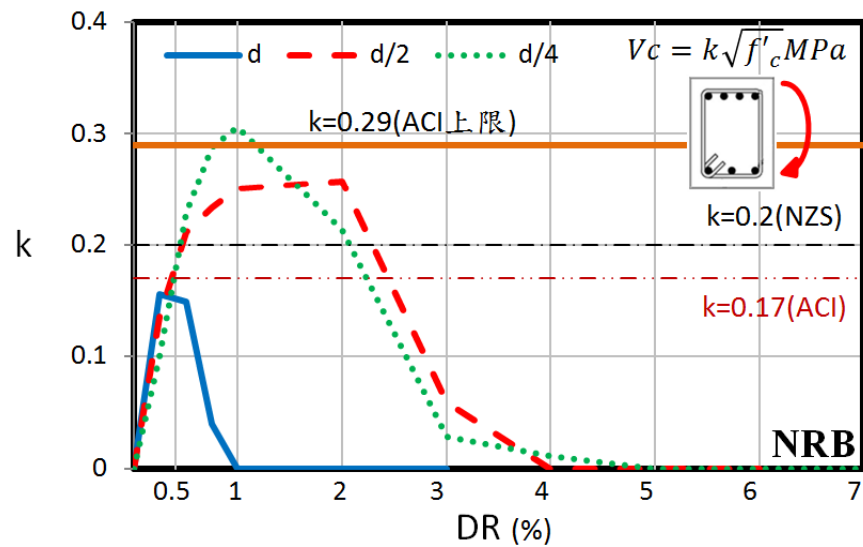
高強度試體試驗影片 (1 min)



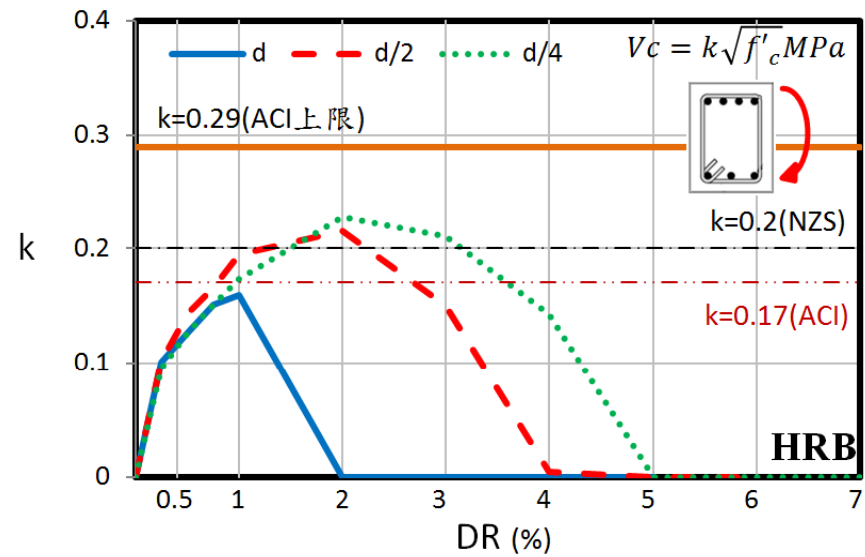
試體編號	加載方向	最大載重 $P_{\max}(\text{kN})$	降伏位移 $\Delta_y(\text{mm})$	初始勁度 $K_i(\text{kN/mm})$	有效慣性矩	最大撓曲裂縫 寬度, mm 容許寬=0.5mm DR=0.75% $\varepsilon_s \approx 0.5\varepsilon_y$	最大剪力裂縫 寬度, mm 容許寬=0.4mm DR=0.75% $\varepsilon_s \approx 0.5\varepsilon_y$
HRB-d	正	335	12.6	26.6	$0.20 I_g$	0.10	0.10
	負	-305	-16.6	18.4	$0.14 I_g$	0.30	0.60
HRB-d/2	正	350	12.7	27.5	$0.21 I_g$	0.30	0.10
	負	-409	-15.2	26.9	$0.20 I_g$	0.45	0.40
HRB-d/4	正	351	13.9	25.2	$0.19 I_g$	0.40	0.15
	負	-426	-17.0	25.1	$0.19 I_g$	0.50	0.25
NRB-d	正	211	7.54	28.0	$0.25 I_g$	0.40	0.05
	負	-203	-9.51	21.3	$0.19 I_g$	0.45	0.60
NRB-d/2	正	229	7.19	31.9	$0.28 I_g$	0.45	0.10
	負	-251	-7.52	33.4	$0.30 I_g$	0.50	0.35
NRB-d/4	正	204	6.86	29.8	$0.27 I_g$	0.45	-
	負	-256	-8.78	29.2	$0.26 I_g$	0.40	0.20



混凝土剪力衰減情形

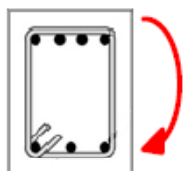


NRB混凝土剪力衰減曲線圖



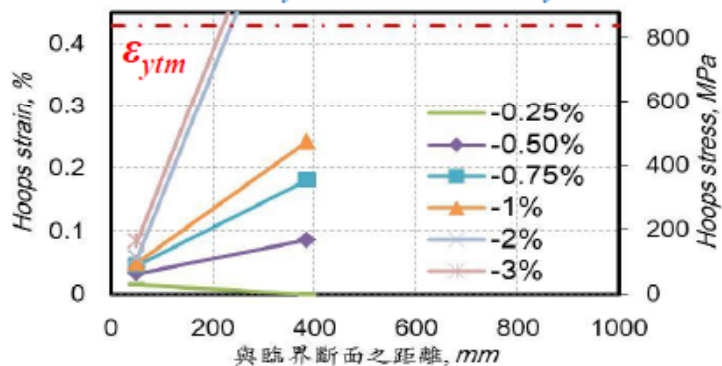
HRB混凝土剪力衰減曲線圖

箍筋應變量測

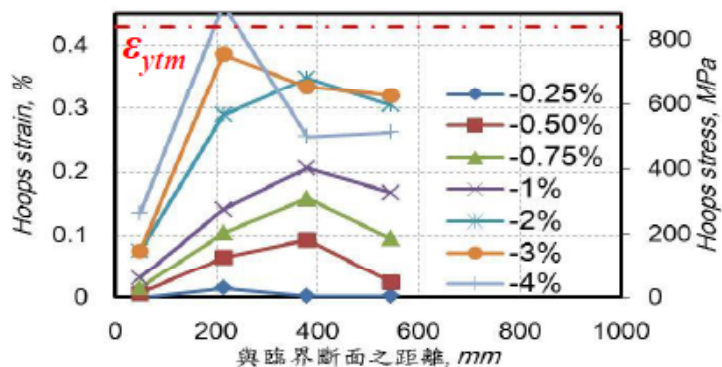


d

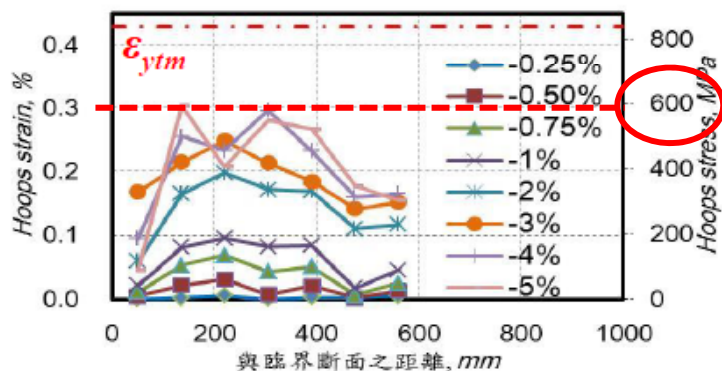
HRB $f_{ytm}=840\text{MPa}$ 、 $\epsilon_{ytm}=0.43\%$



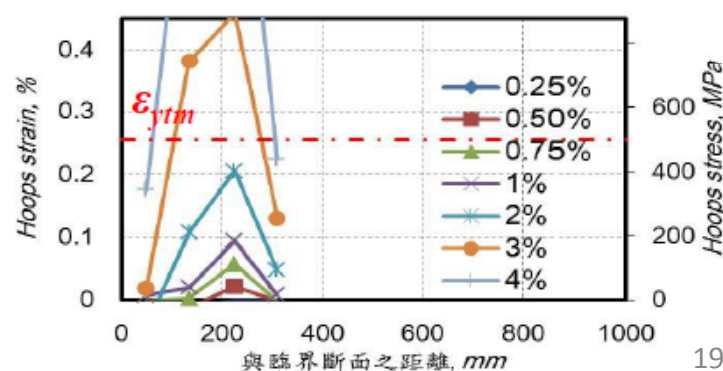
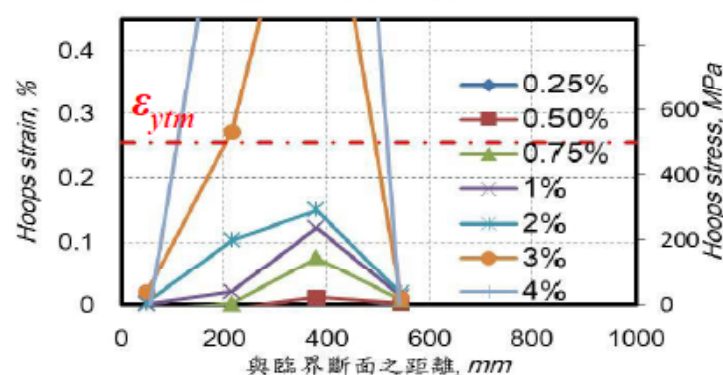
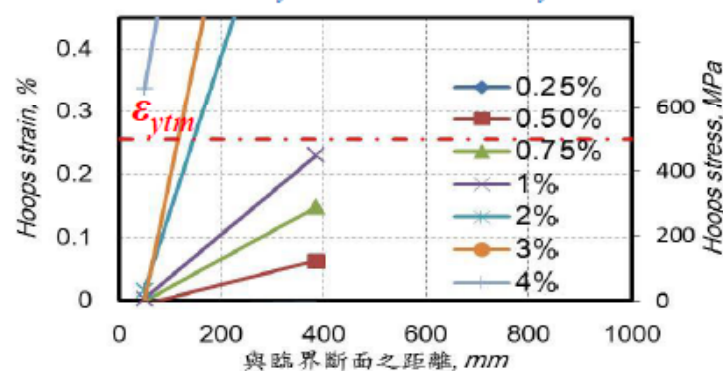
d/2



d/4



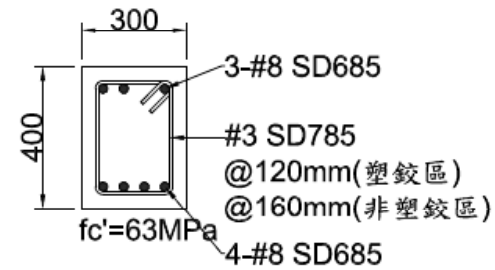
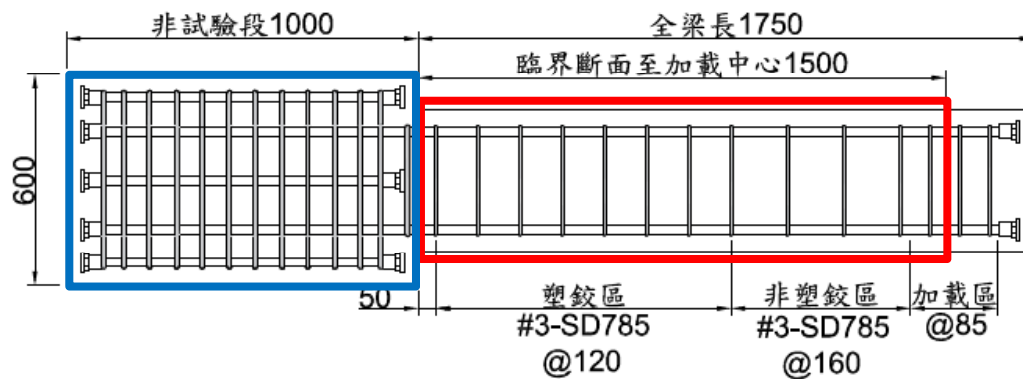
NRB $f_{ytm}=500\text{MPa}$ 、 $\epsilon_{ytm}=0.25\%$



NEW RC 梁撓曲剪力行為驗證2

鋼筋配置

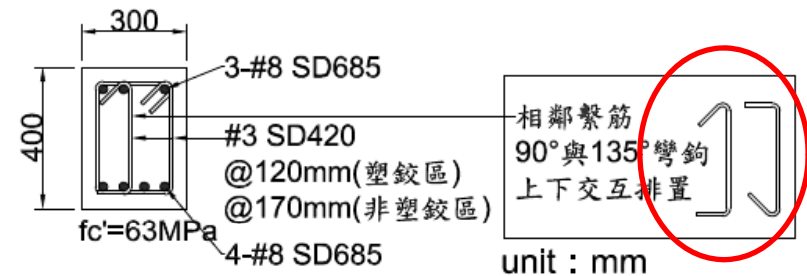
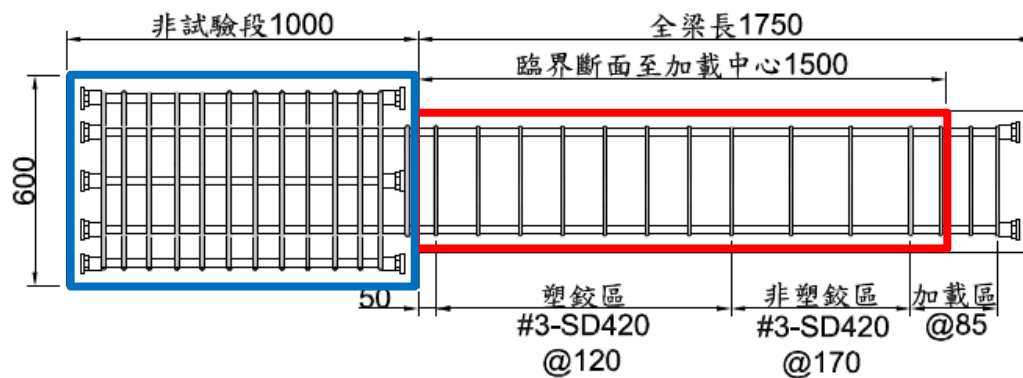
HRB-L1

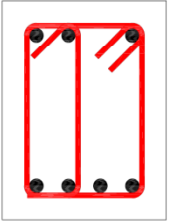


非試驗段

試驗段

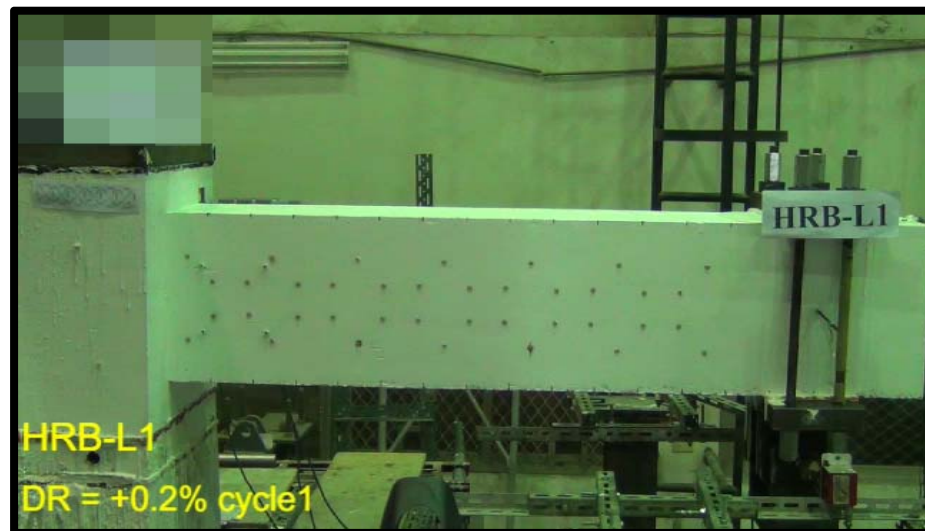
HRB-L2



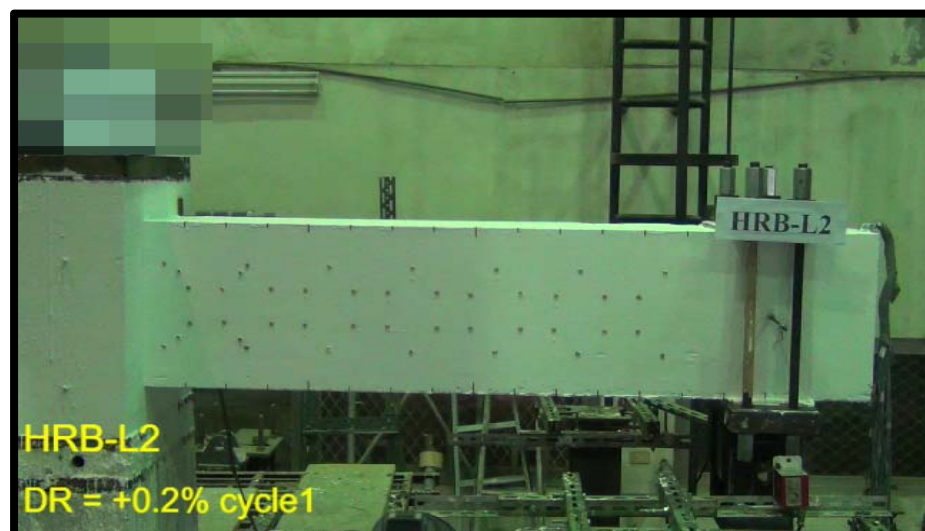
	HRB-L1	HRB-L2
跨深比 a/d	 4.4	 4.4
f'_c (MPa)	63	63
上層主筋	3-#8-SD690	3-#8-SD690
下層主筋	4-#8-SD690	4-#8-SD690
塑鉸區箍筋間距 (不考慮 $d/4$ 設計規定)	#3-SD790 2legs @120($4.8d_{b,\#8}$)	#3-SD420 3legs @120 ($4.8d_{b,\#8}$)
非塑鉸區箍筋間距	#3-SD790 2legs @160	#3-SD420 3legs @170
超額強度因子 α_o	1.15	1.15
塑鉸區混凝土貢獻	$0.5V_c$	$V_c = 0.17\sqrt{f'_c}b_wd$ $0.5V_c$
箍筋降伏強度上限	600 MPa	420 MPa

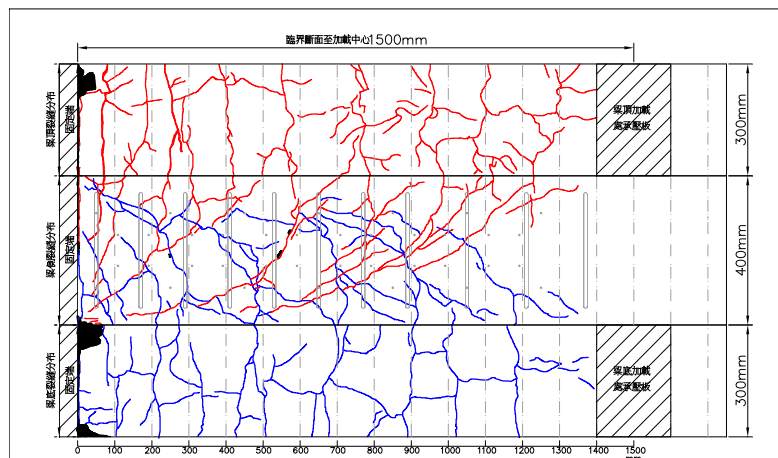
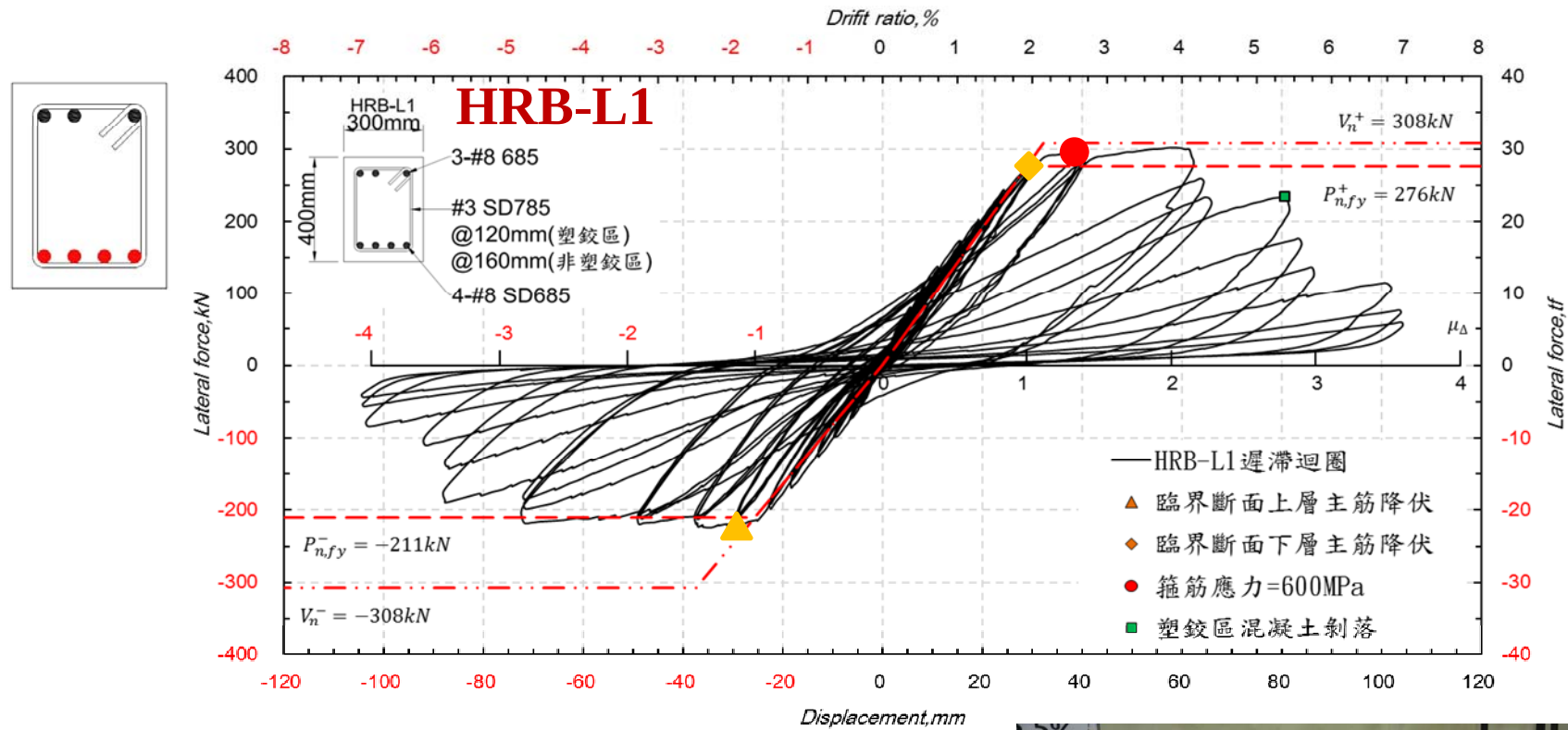
實驗影片

HRB-L1

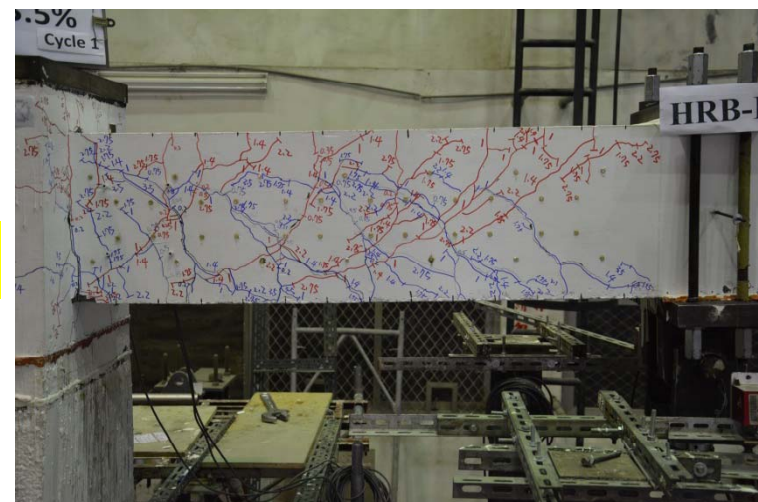


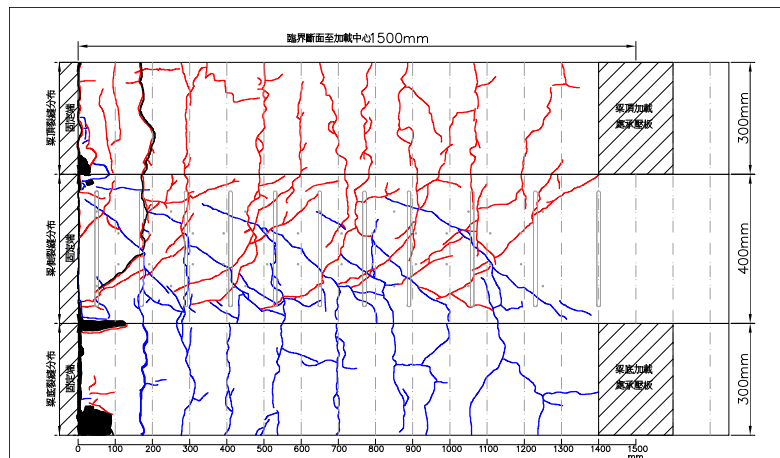
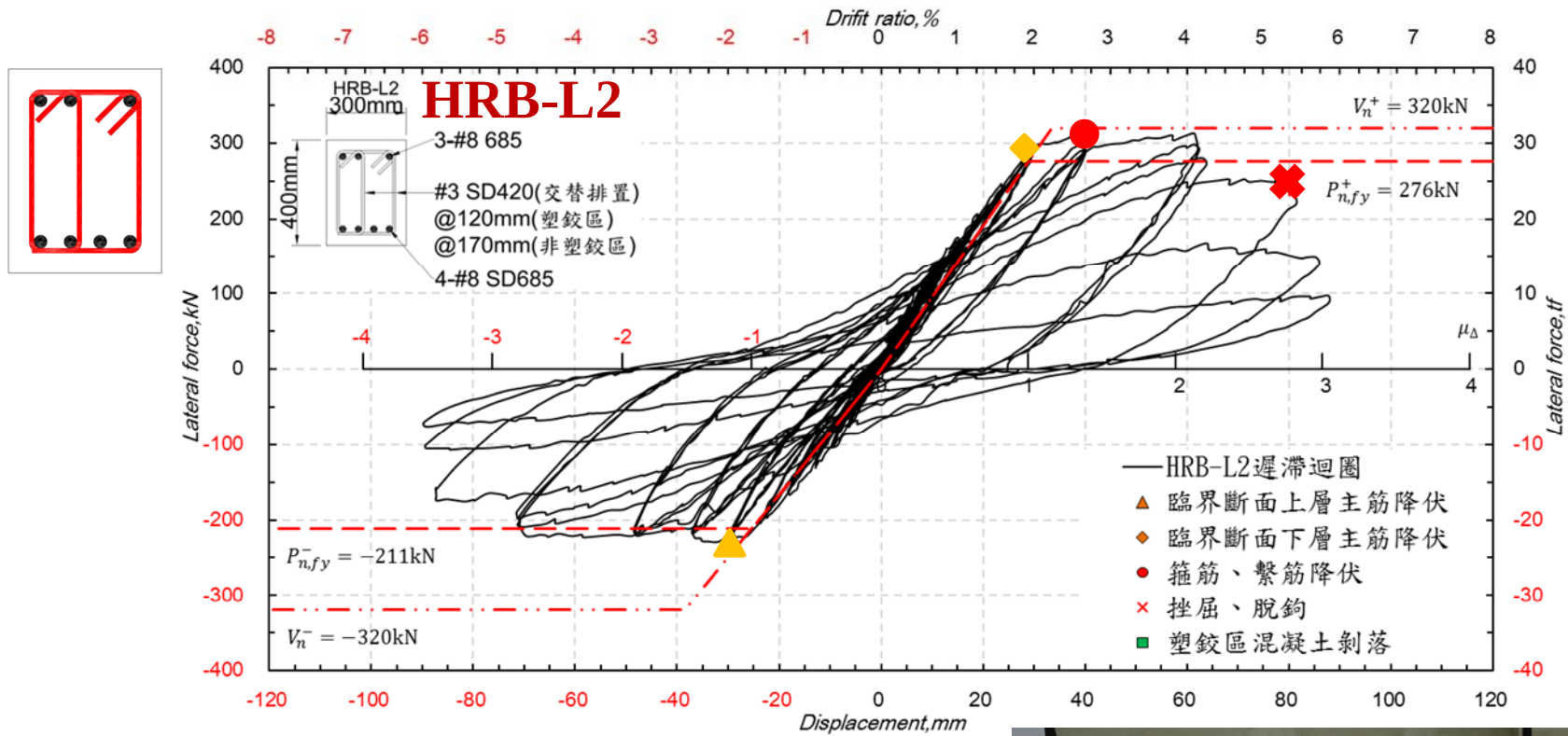
HRB-L2



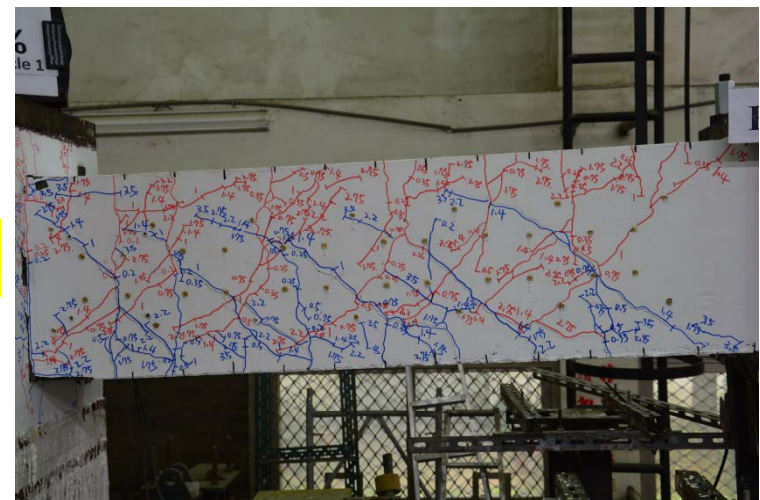


DR=3.5%





$DR = 3.5\%$



結論

1. 兩支試體在 $DR=3.5\%$ 皆屬撓曲破壞，具有良好的耐震行為，但HRB-L2(34.15%)略大於HRB-L1(28.14%)。
2. New RC梁設計時除了滿足剪力強度需求，應考量增加繫筋為中間主筋提供較佳的握裹能力。
3. New RC試體塑鉸區混凝土貢獻平均值仍有 $0.5V_c (V_c=0.17\sqrt{f'_c}b_wd)$ 。
4. SD785箍筋於設計時，其降伏應力上限限制於 $600MPa$ 是合理的。

報告完畢，謝謝聆聽