



# PRELIMINARY RECOMMENDATIONS FOR NEW RC FLEXURAL MEMBER

---

**Min-Yuan Cheng**

National Taiwan University of Science and Technology



## Outline

---

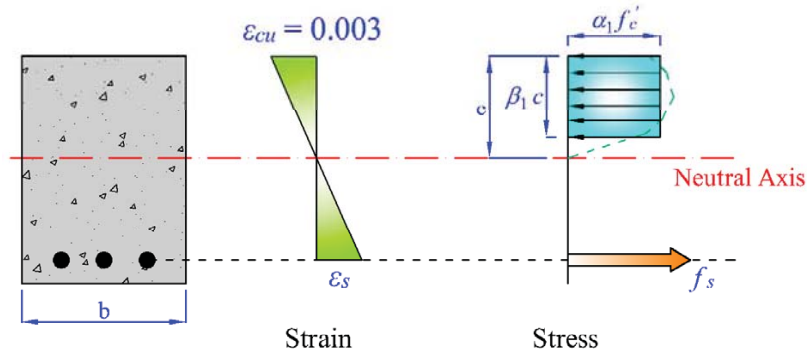
- ✓ **Flexural Design**
- ✓ **Shear Design**
- ✓ **Detailing**



# Flexural Design



## Nominal Flexural Strength



$$C_c = \alpha_1 \beta_1 f'_c b c$$

$$f_s = 685 \text{ MPa (100 ksi)} \quad \text{if } \epsilon_s > \epsilon_y$$

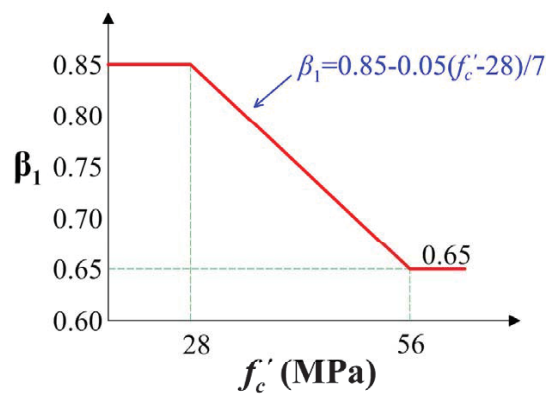
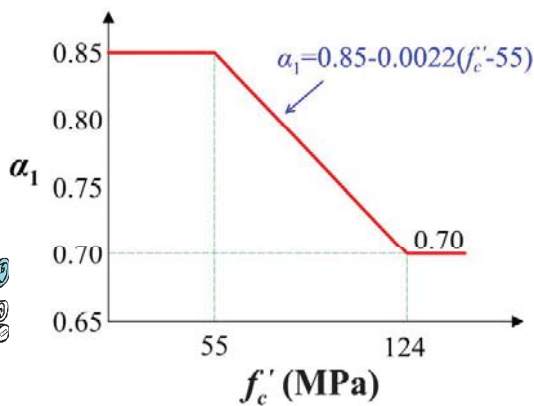
$$= E_s \epsilon_s \quad \text{if } \epsilon_s \leq \epsilon_y \quad (\epsilon_y = 0.0035)$$

4/22/2015

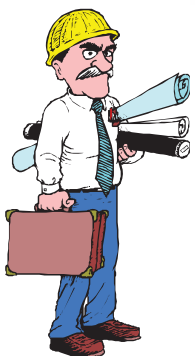
# Flexural Design



— Concrete (According to ACI ITG 4.3R-07)



(remains the same)

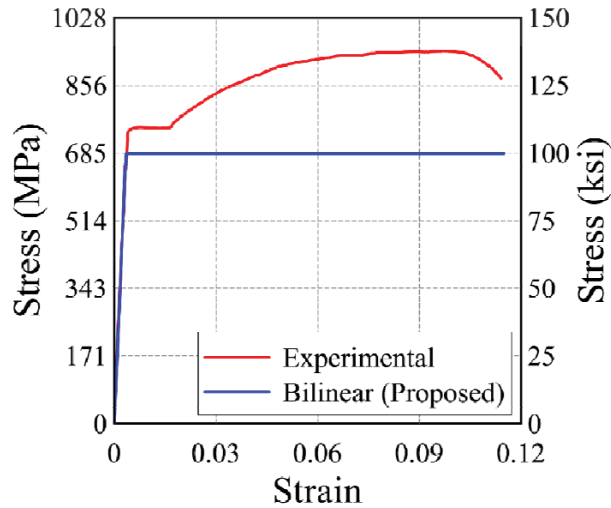


4/22/2015

# Flexural Design



## —SD 685 High-Strength Steel



4/22/2015

# Flexural Design



## —Tension Controlled and Compression Controlled

$$\text{Compression-Controlled} : \varepsilon_s = \frac{685 \text{ (MPa)}}{200,000 \text{ (MPa)}} \approx 0.0035$$

$$\text{Tension-Controlled} : \varepsilon_s = 0.008$$

▷ Based on experimental evidences.



4/22/2015

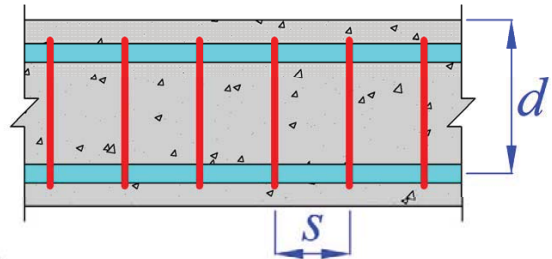
# Shear Design



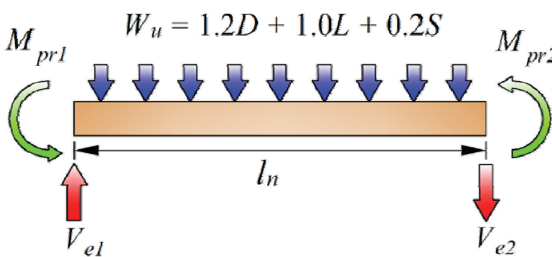
$$V_n = V_c + V_s$$

$$V_c = 0$$

$$V_s = \frac{A_s f_{yt} d}{s} ; f_{yt} 600 \text{ MPa} \leq (85 \text{ ksi})$$



$V_u$  : Evaluated by  $M_{pr}$  using  $f_y = 1.15 f_y$



$$V_u = \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{l_n} + \frac{W_u l_n}{2}$$

$$V_u = \text{larger}(V_{e1}, V_{e2})$$

4/22/2015

# Detailings



Spacing limit for transverse reinforcement  
(ACI 318-14)

- (1)  $d / 4$
- (2)  $6 d_b$
- (3) 150 mm (6 in).

- ▷ Remains the same at this moment.
- ▷ Test will be conducted to verify Item (2) in the near future.



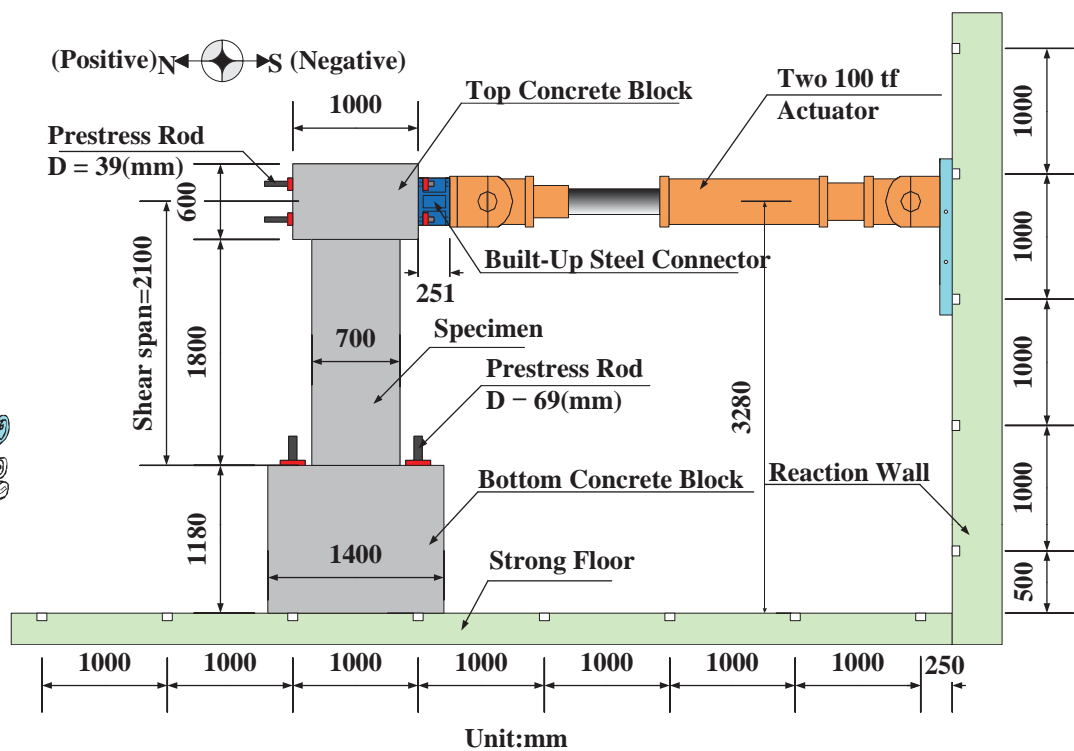
4/22/2015



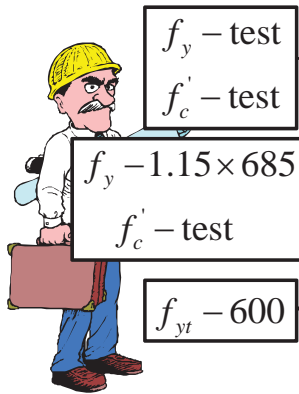
# Thank you for your attention !



## Supplementary



# Supplementary



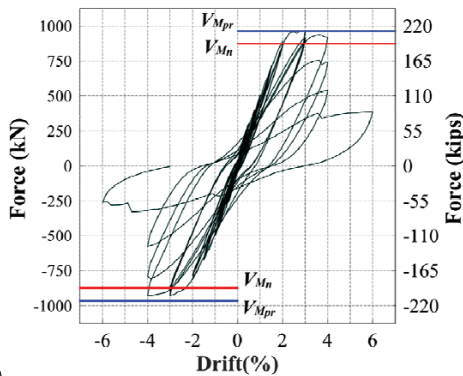
	SP1	SP3
Beam Design		
$M_n$ , kN-m (kips-in) ( $\epsilon_t = 0.00987$ )	1834 (16240)	1022 (90410)
$M_{pr}$ , kN-m (kips-in)	2023 (17910)	1134 (10030)
$V_n - \frac{A_{vd} f_{yt} d}{s}$ , kN (kips)	760 (171)	811 (182)
$V_n/V_{M_n}$	0.87	1.67
$V_n/V_{M_{pr}}$	0.79	1.50

4/22/2015

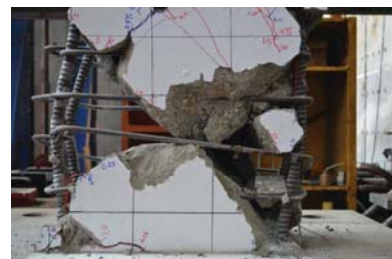
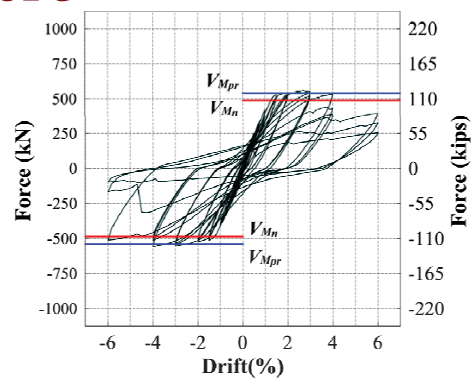
# Supplementary



SP1  $D_u = 4.60\%$



SP3  $D_u = 5.35\%$



4/22/2015

# NEW RC梁鋼筋截斷設計

## Rebar Cut-off Design for NEW RC Beams

王勇智<sup>1</sup>、歐陽文浩<sup>2</sup>、鄭世駿<sup>2</sup>、許禎祐<sup>2</sup>  
國立中央大學土木系教授<sup>1</sup>、碩士<sup>2</sup>

1

## 研究目的

- 探討現行ACI318規範作為高拉力鋼筋截斷設計之適用性。

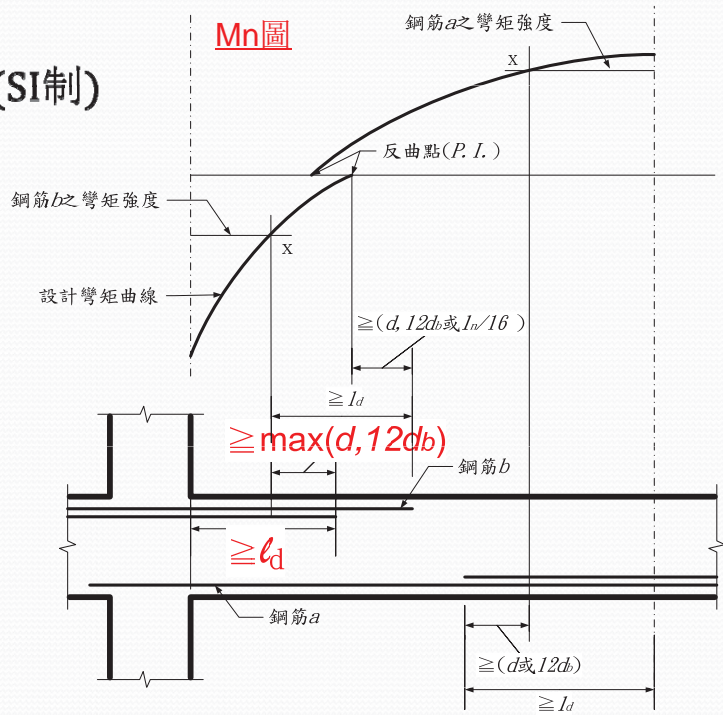
2



# 規範ACI318-11截斷設計

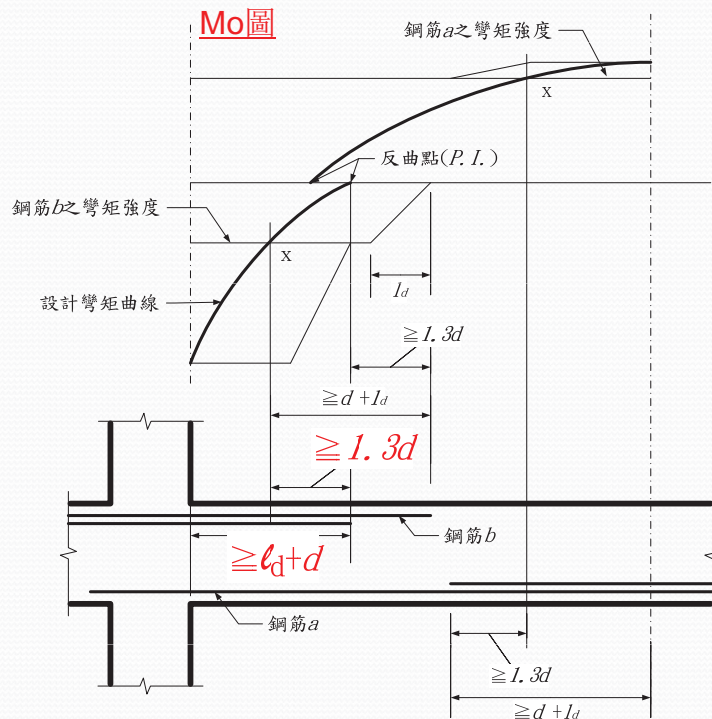
$$l_d = \left( \frac{f_y}{1.1\lambda\sqrt{f'_c}} \frac{\psi_t\psi_s}{\left(\frac{c_b+K_{tr}}{d_b}\right)} \right) d_b \quad (\text{SI制})$$

$$K_{tr} = \frac{f_{yt}A_{tr}}{10sn} \leq 2.5$$



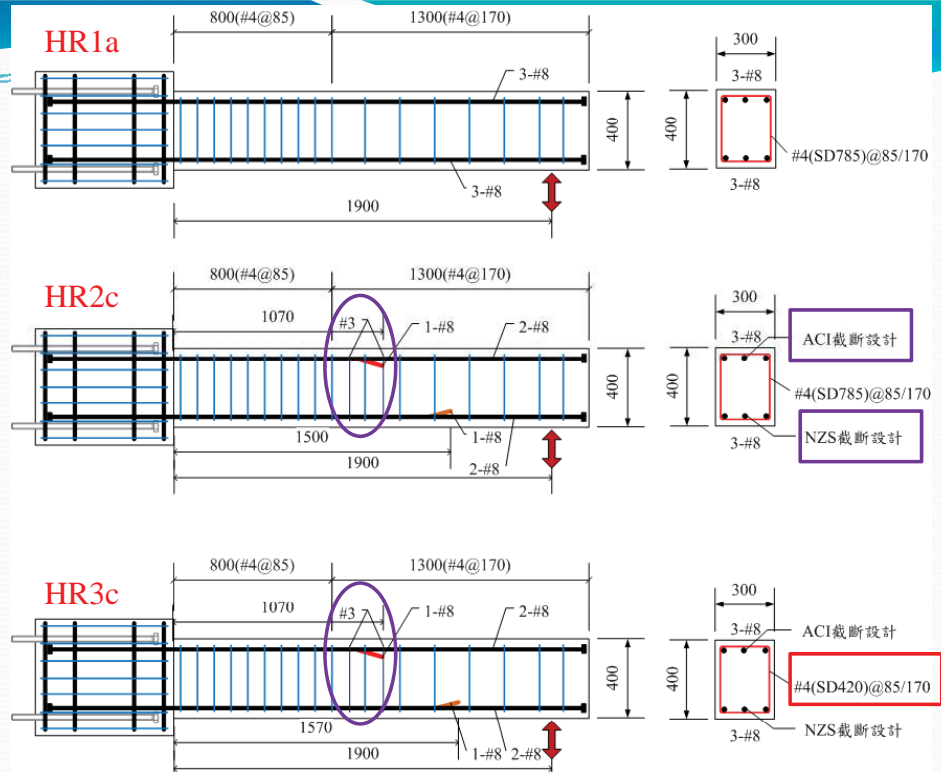
3

# 紐西蘭規範NZS3101-2006截斷設計



4

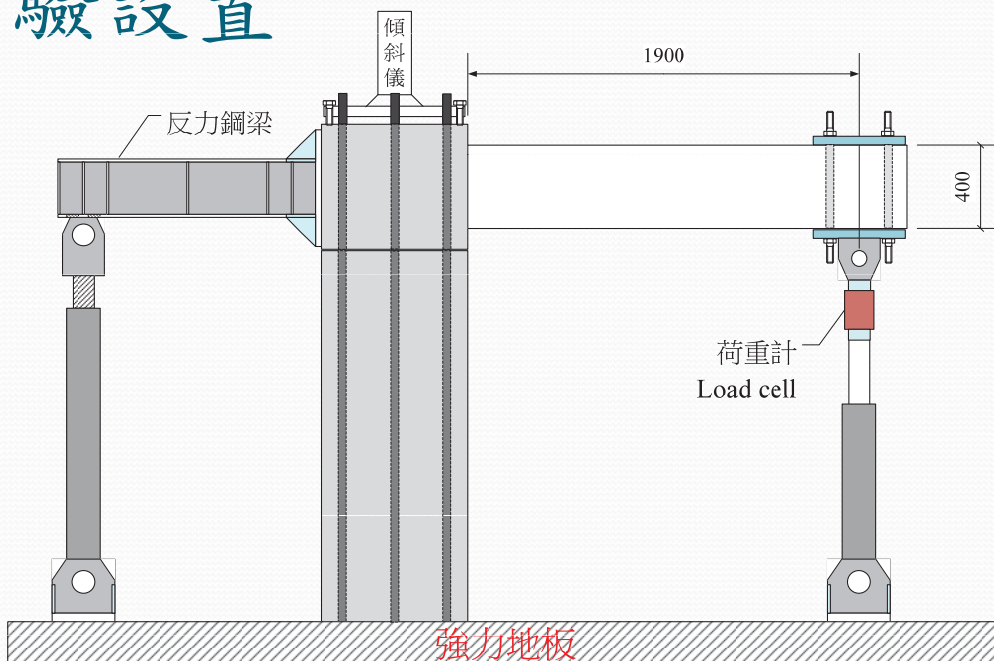
# New RC Beams



	竹節#4-SD420	竹節#4-D785	螺紋節#8-SD685	混凝土
$f_y$ (MPa)	499	841	754	$f'_c$ (MPa)=35

5

## 實驗設置

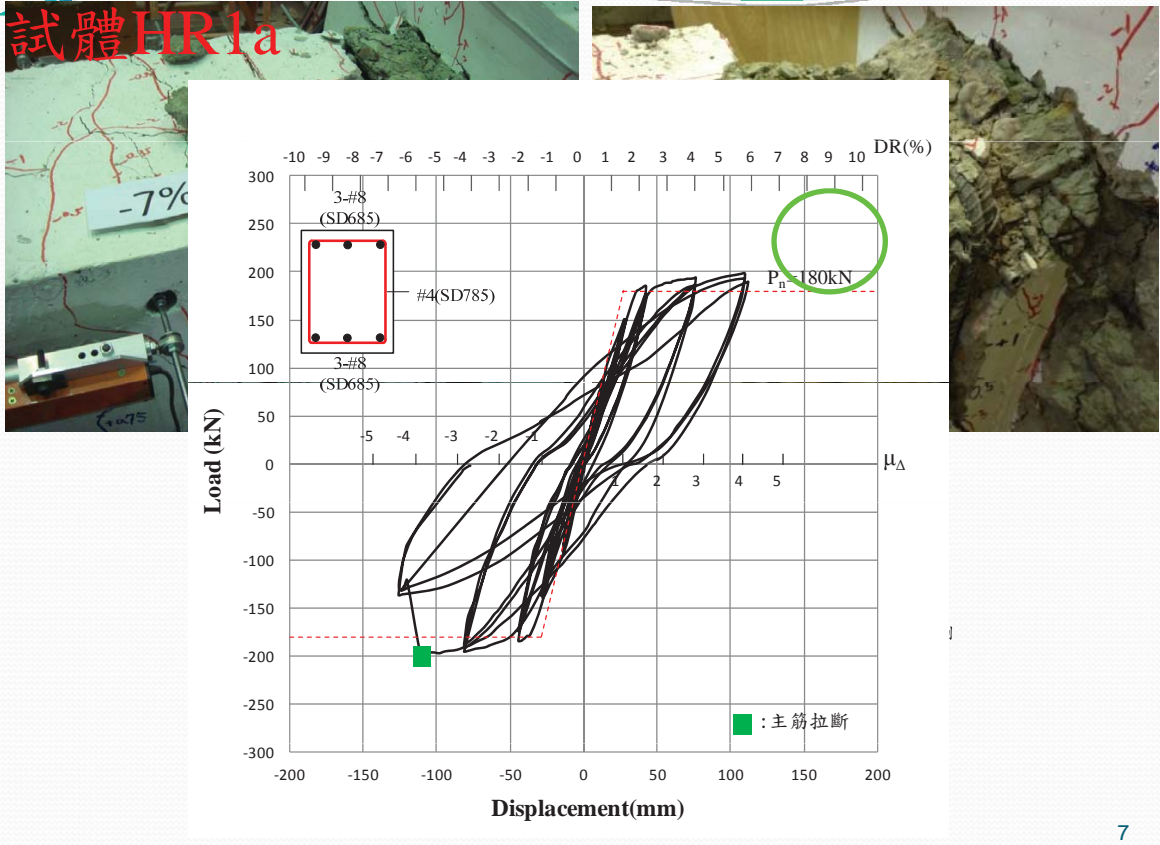


6



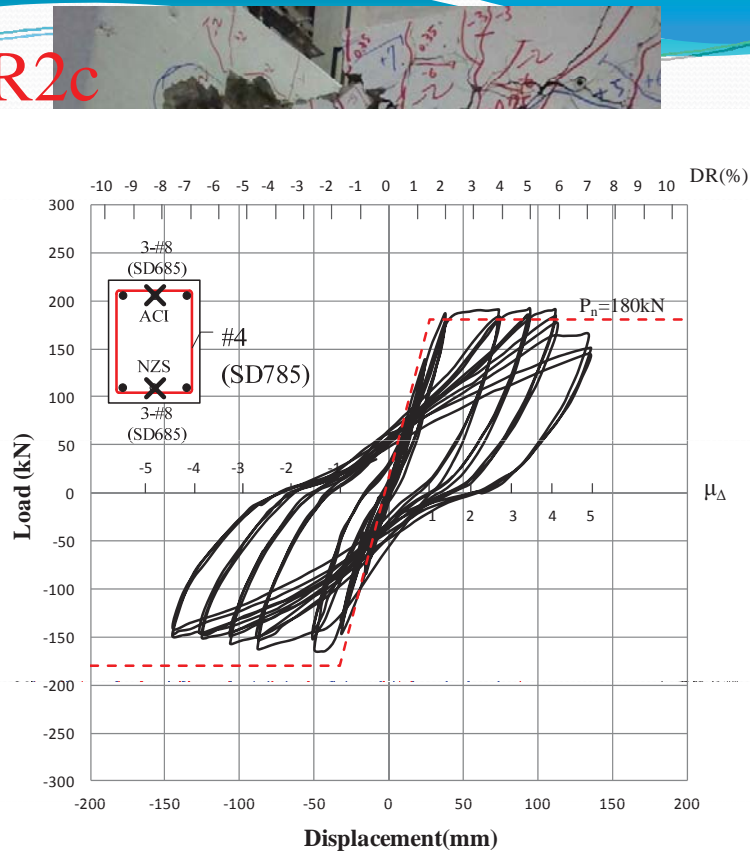
# 實驗結果與討論

試體HR1a



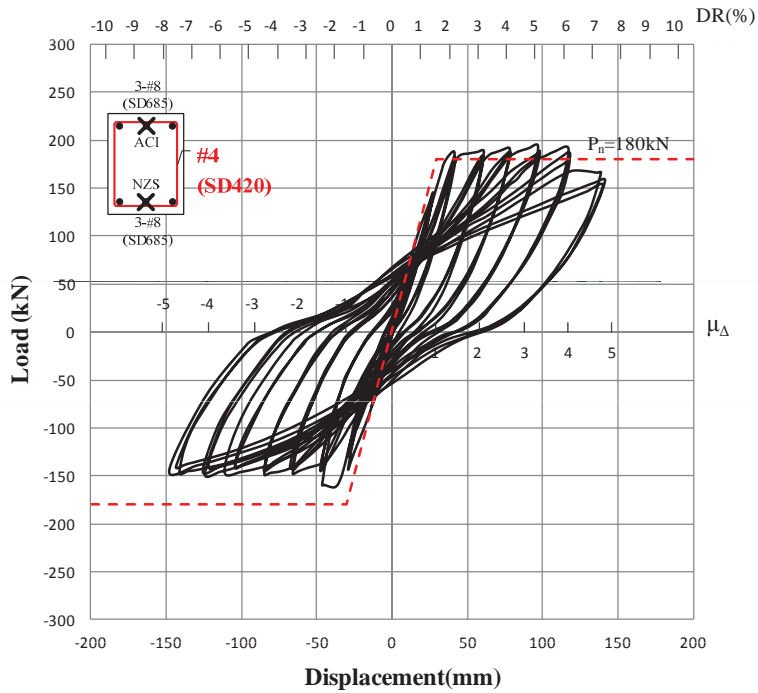
7

試體HR2c



8

# 試體HR3c



9

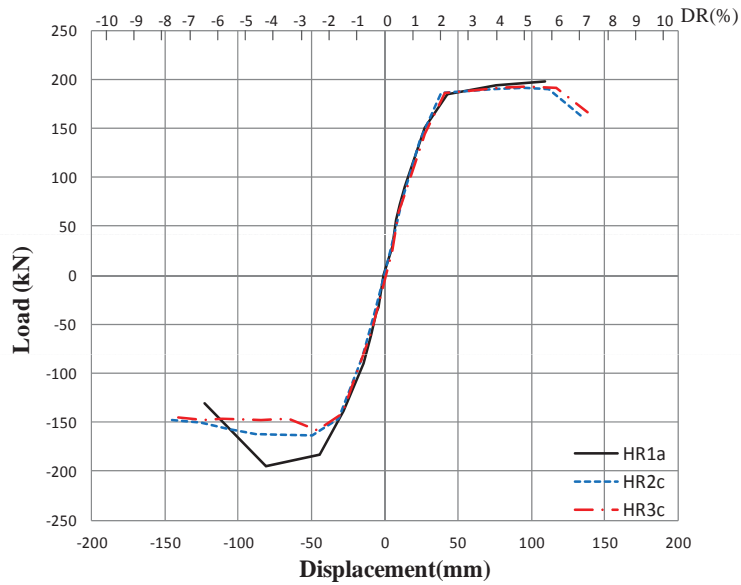
## 各試體初始勁度、最大荷重、與主要破壞模式

試體	正/負向	$P_n$ (kN)	$P_{max}$ (kN)	$K_{im}$ (kN/mm)	$\mu_{\Delta max}$	$DR_{max}$ (%)	主要破壞模式
HR1a	正	180	198	6.65	4.0	6.0	梁端撓曲
	負	-180	-197	6.60	-4.0	-6.0	梁端撓曲
HR2c	正	180	191	6.29	4.0	6.0	梁端撓曲
	負	-180	-163	5.52	-1.5	-2.5	截斷筋滑移
HR3c	正	180	193	6.16	3.8	6.0	梁端撓曲
	負	-180	-159	5.88	-1.5	-2.5	截斷筋滑移

10

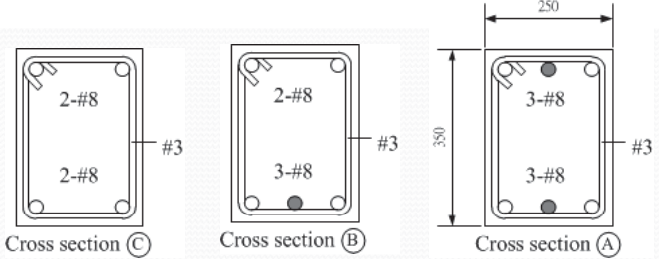
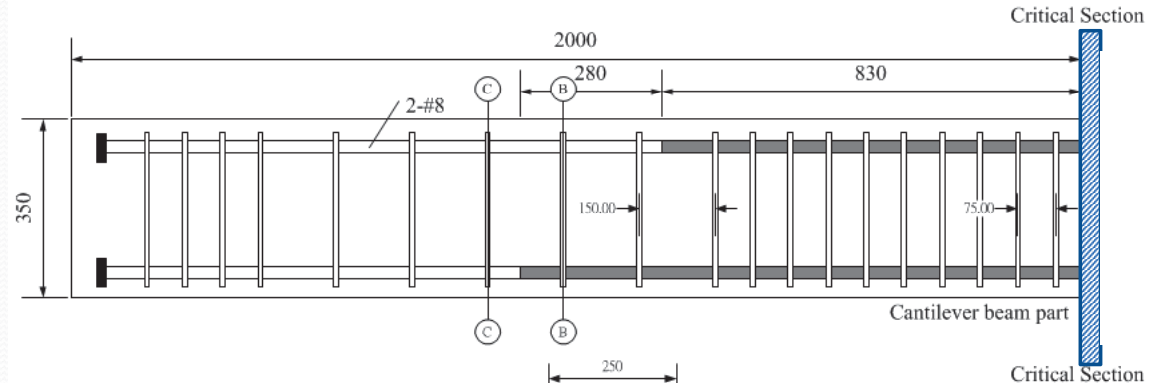


# 各試體位移載重包絡線



## Normal RC Beams

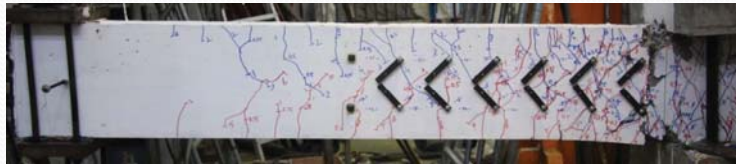
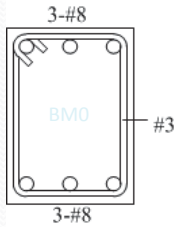
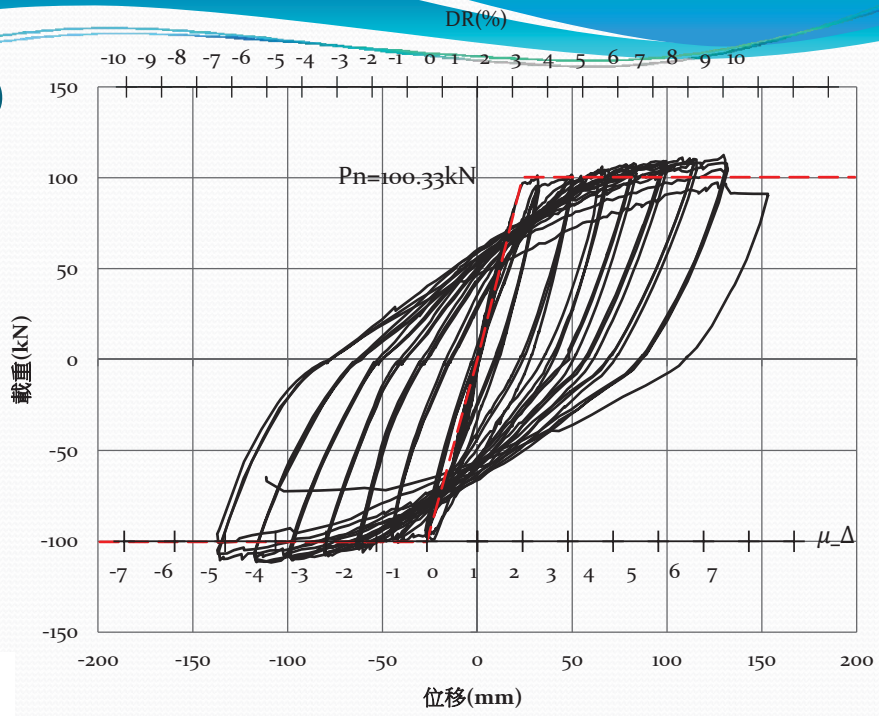
BM0: 無截斷  
BM1: 上下1-#8截斷



	竹節#3-SD280	竹節#8-SD420	混凝土
$f_y$ (MPa)	364	560	$f'_c$ (MPa)=23

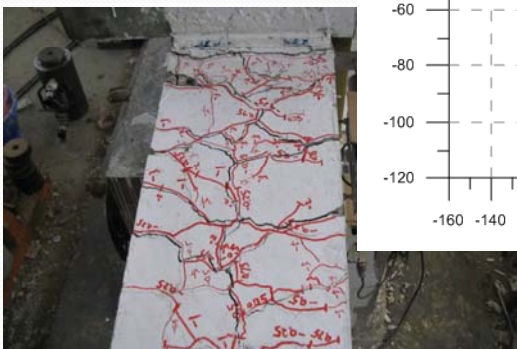
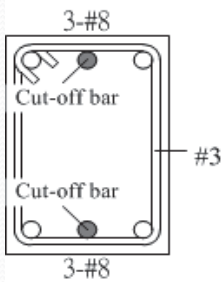
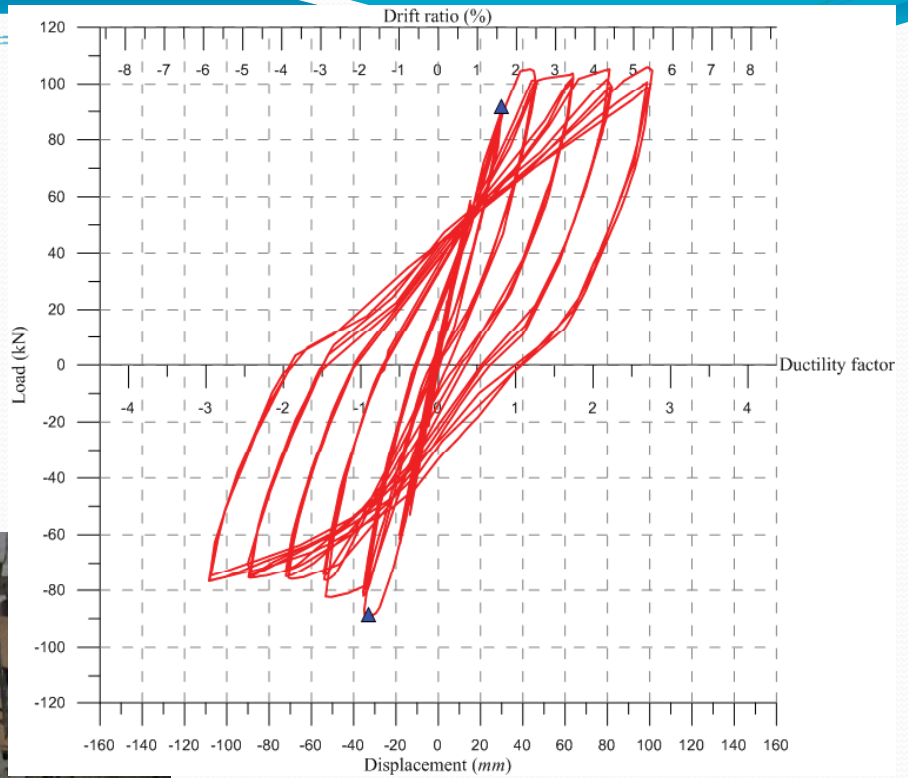


# 試體BM0

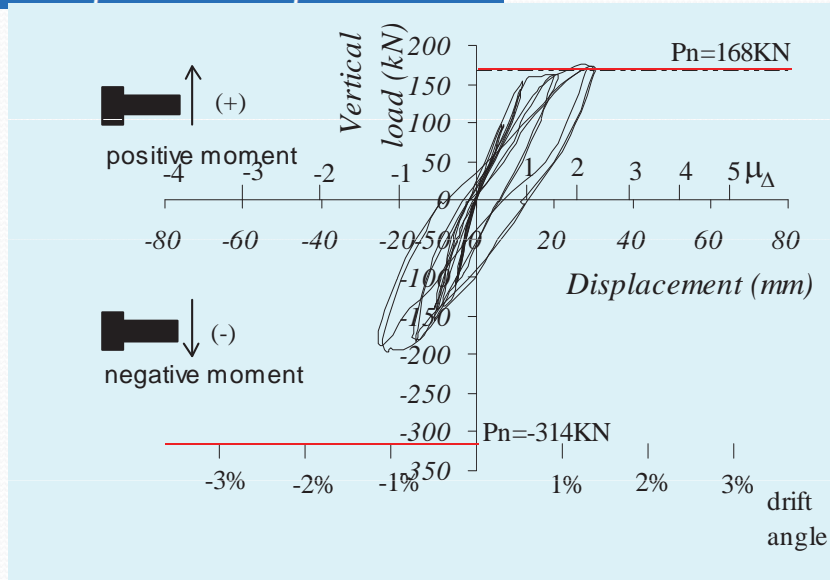
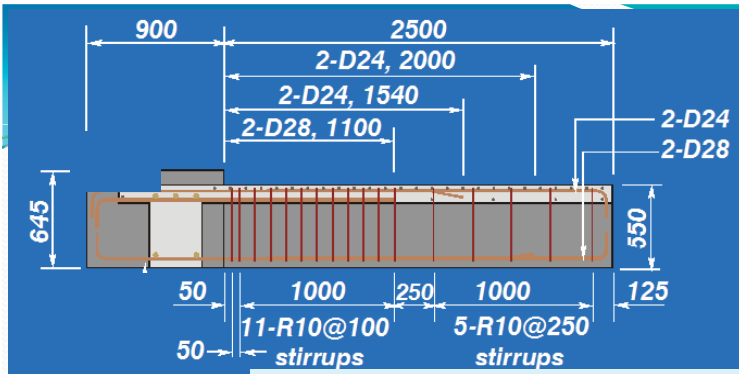


13

# 試體BM1



14



## New RC 鋼筋截斷設計草案

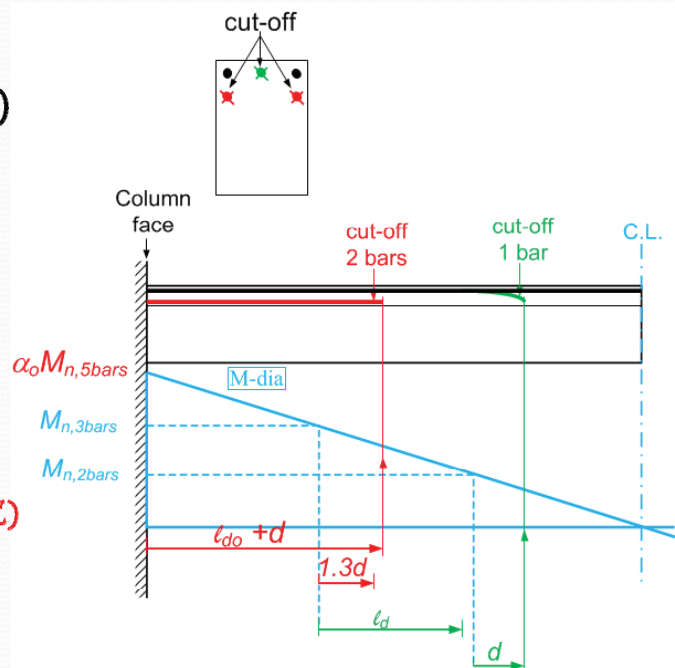
$$l_{do} = \left( \frac{\alpha_o f_{yl}}{1.11 \lambda \sqrt{f'_c}} \frac{\psi_t \psi_s}{\left( \frac{c_b + K_{tr}}{d_b} \right)} \right) d_b \text{ (SI制)}$$

$$K_{tr} = \frac{f_{yt} A_{tr}}{10 s n} \leq 2.5$$

1. 梁主筋  $f_{yl} = 685 \text{ MPa}$  (SD685竹節筋)  
 $= 420 \text{ MPa}$  (SD420竹節筋)  
 橫箍筋  $f_{yt} \leq 600 \text{ MPa}$  (梁剪力設計研究)

2. 耐震超額強度係數  
 $\alpha_o = 1.15$  (SD685竹節筋)  
 $= 1.25$  (SD420竹節筋)

3. 在截斷處，建議按ACI318設計超額剪力筋。





# 高強度鋼筋混凝土梁之 裂縫發展與控制

邱建國 陳少謙 林芳慶  
2015/04/22

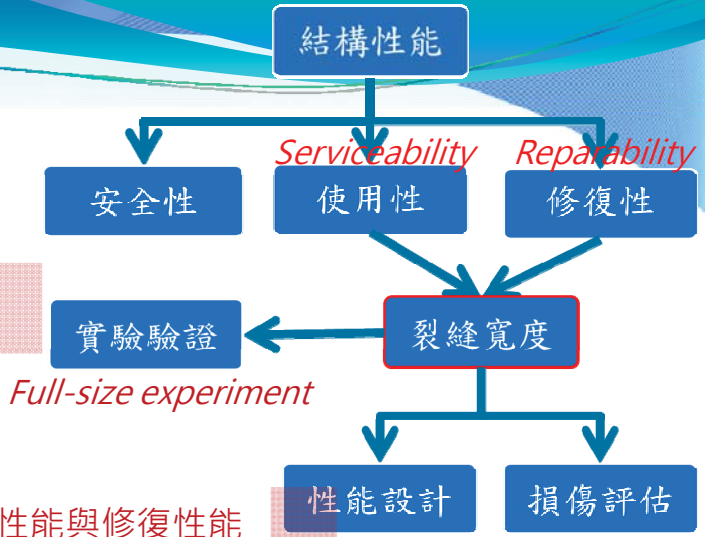
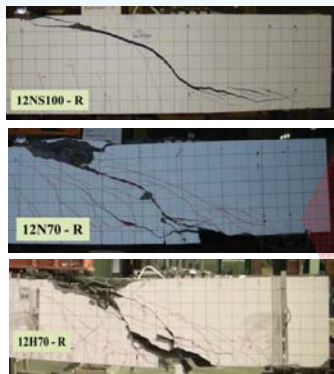
國立台灣科技大學營建工程系  
國家地震工程研究中心

TAIWAN TECH  
National Taiwan University of Science and Technology

臺  
灣  
科  
大

1

## 研究目的(1/2)

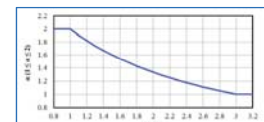


性能設計 – 使用性能與修復性能

AIJ, 2010

	剪力計算公式	對應狀態
使用性確保剪力強度(柱)	$b_j \alpha f_s$ 長期荷重: 靜載+活重	剪力裂縫發生點
使用性確保剪力強度(梁)	$b_j \{ \alpha f_s + 0.5 w f_t (p_w - 0.002) \}$	容許剪力裂縫寬度 0.3 mm
短期容許剪力強度	中規模地震; 修復性能 $b_j \left\{ \frac{2}{3} \alpha f_s + 0.5 w f_s (p_w - 0.002) \right\}$	容許剪力裂縫寬度 1.0 mm 殘餘裂縫寬度 0.3 mm
安全性確保剪力強度	大規模地震; 安全性能 $b_j \{ \alpha f_s + 0.5 w f_t (p_w - 0.002) \}$	極限剪力強度

Allowable shear crack width



# 研究目的(2/2)

本試驗主要使用高強度鋼筋混凝土之足尺寸梁試體以了解剪力裂縫發展行為。各試體於單向載重作用下，分別量測並統計其於尖峰變形角時最大剪力裂縫寬度及殘留最大剪力裂縫寬度與試體斷面平均剪應力關係，再分別以0.3 mm (ACI: 0.4 mm) 及 1.0 mm 為上限並決定其對應之容許剪應力及使用性能確保之剪力設計公式。

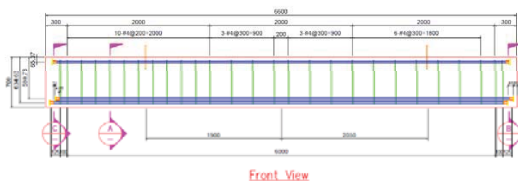
1. 平均斷面剪應力與尖峰變形角時最大剪力裂縫寬度
2. 平均斷面剪應力與殘留最大剪力裂縫寬度
3. 最大剪力裂縫寬度之殘留比(與剪力變形角關係)
4. 最大剪力裂縫寬度與容許應力(平均斷面剪應力)之關係
5. 使用性能確保之剪力設計公式



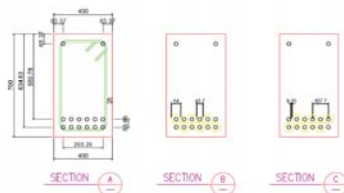
# 實驗規劃(1/2)

- 102~103年 共進行22組高強度鋼筋混凝土梁試驗

年度	試體名稱 <i>Specimen</i>	破壞模式	拉力鋼筋根數		箍筋型式		箍筋間距		主筋降伏強度 $f_y$ (MPa)	箍筋降伏強度 $f_{yt}$ (MPa)	混凝土抗壓強度 $f'_c$ (MPa)	拉力鋼筋比 ps		箍筋比pw (%)		跨深比 $a/d$	保護層厚度 $c$ (cm)	斷面尺寸	
			N*	T*	Left	Right	Left	Right				Left	Right	寬(mm)	深(mm)				
102年	8H70	撓剪	8	H	20	30	685	785	70	1.45	0.32	0.21	3.3	4	400	700			
	8H100	撓剪	8	H	20	30	685	785	100	1.45	0.32	0.21	3.3	4	400	700			
	8N70	剪力	8	H	20	30	685	420	70	1.45	0.32	0.21	3.3	4	400	700			
	8N100	剪力	8	II	20	30	685	420	100	1.45	0.32	0.21	3.3	4	400	700			
	8NS100	剪力	8	-	-	-	685	-	100	1.45	-	-	3.3	5.3	400	700			
	12H70	剪力	12	H	20	30	685	785	70	2.17	0.32	0.21	3.3	4	400	700			
	12II100	剪力	12	II	20	30	685	785	100	2.17	0.32	0.21	3.3	4	400	700			
	12N70	剪力	12	H	20	30	685	420	70	2.17	0.32	0.21	3.3	4	400	700			
	12N100	剪力	12	H	20	30	685	420	100	2.17	0.32	0.21	3.3	4	400	700			
	12NS100	剪力	12	-	-	-	685	-	100	2.17	-	-	3.3	5.3	400	700			



$f'_c$  100MPa  
 $f_y$  685MPa  
 $f_{yt}$  785MPa  
鋼筋 #4



12H100



# 實驗規劃(2/2)

- 102~103年 共進行22組高強度鋼筋混凝土梁試驗

年度	試體名稱 Specimen	破壞模式	拉力鋼筋	箍筋型式	箍筋間距		主筋降伏	箍筋降伏	混凝土抗	拉力鋼筋	箍筋比ρw (%)		跨深比	保護層厚	斷面尺寸	
			根數		N*	T*	Left	Right	強度	強度	壓強度	比 ps			Left	Right
103年	6W70	撓剪	6	W	20	30	685	785	70	2	0.32	0.21	3.33	4	400	700
	6H70	撓剪	6	H	20	30	685	785	70	2	0.32	0.21	3.33	4	400	700
	175R70	剪力	6	H		30	685	785	70	3.5		0.24	1.75	4	350	500
	200R70	剪力	6	II		30	685	785	70	3.5		0.24	2	4	350	500
	275R70	剪力	6	H		30	685	785	70	3.5		0.24	2.75	4	350	500
	325R70	剪力	6	II		30	685	785	70	3.5		0.24	3.25	4	350	500
	175R100	剪力	6	H		30	685	785	100	3.5		0.24	1.75	4	350	500
	200R100	剪力	6	H		30	685	785	100	3.5		0.21	2	4	350	500
	275R100	剪力	6	H		30	685	785	100	3.5		0.24	2.75	4	350	500
	325R100	剪力	6	H		30	685	785	100	3.5		0.24	3.25	4	350	500
	2C100	剪力	12	H	20	30	685	785	100	2.17	0.32	0.21	3.3	2	400	700
	3C100	剪力	14	II	20	30	685	785	100	2.17	0.32	0.21	3.3	3	400	700



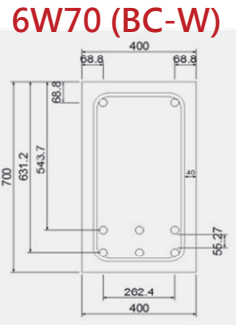
6m



4m



2m



# 設計公式建議(1/7)

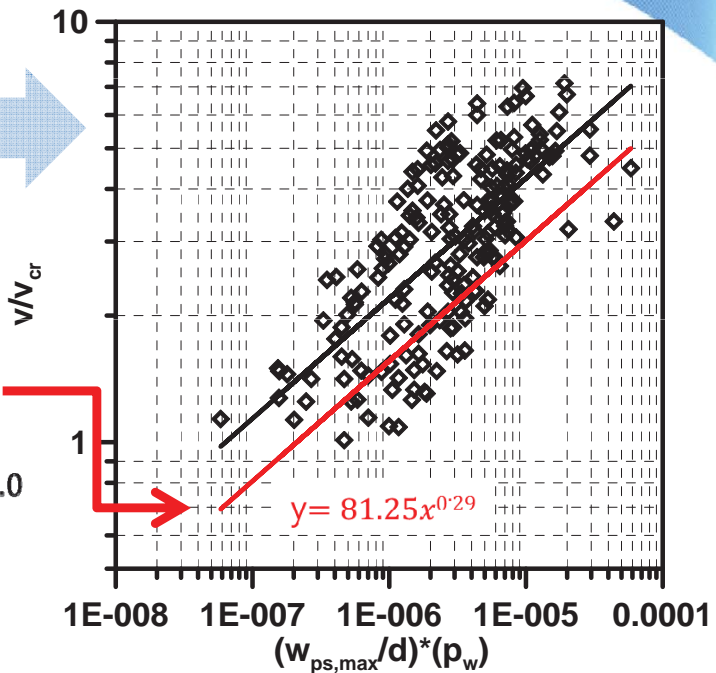
## 使用性確保剪力裂縫控制

斷面平均剪應力與剪力  
裂縫最大寬度  
(箍筋785MPa)

$$V = 81.25 \times \left\{ \left( \frac{W_{ps,max}}{d} \right) \times \rho_{ts} \right\}^{0.29} \times (\eta_{cr} \times (0.33\sqrt{f'_c}) \times bD/1.5)$$

$$\eta_{cr} = 3 \times (a/d)^{-1.8}; 0.35 \leq \phi \leq 1.0$$

$$\rho_{ts} = \frac{A_v}{bd}$$





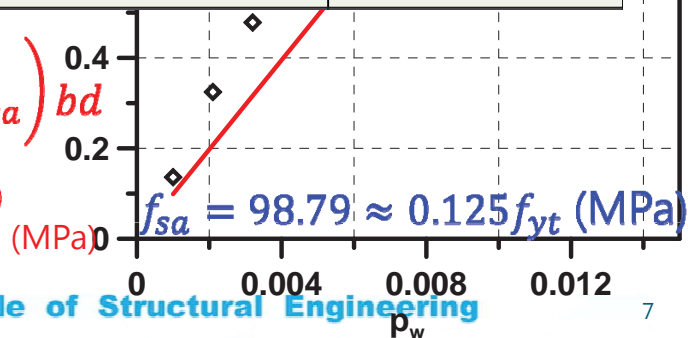
# 設計公式建議(2/7)

## 使用性確保剪力裂縫控制

	剪力計算公式	對應狀態
(剪) 使用性確保剪力強度(柱)	$bja f_s$	剪力裂縫發生點
$V_c = \frac{V}{\phi}$ 使用性確保剪力強度(梁)	$bj\{\alpha f_s + 0.5_w f_t (p_w - 0.002)\}$ 長期荷重: 靜載+活重 195MPa	容許剪力裂縫寬度 0.3 mm
短期容許剪力強度	中小規模地震; 修復性能 $bj\left\{\frac{2}{3}\alpha f_s + 0.5_w f_s (p_w - 0.002)\right\}$	容許剪力裂縫寬度 1.0 mm 殘餘裂縫寬度 0.3 mm
安全性確保剪力強度	大規模地震; 安全性能 $bj\{\alpha f_s + 0.5_w f_t (p_w - 0.002)\}$	極限剪力強度

$$V_{sa} = \left( \frac{\eta_{cr} \times 0.33 \sqrt{f'_c}}{1.5} + \rho_{ts} f_{sa} \right) bd$$

$$\eta_{cr} = 3 \times (a/d)^{-1.8}; 0.35 \leq \phi \leq 1.0$$



# 設計公式建議(3/7)

## 使用性確保剪力裂縫控制

### 使用性確保與耐震需求之箍筋比

$$\rho_{ts,a} = \left( \frac{w_a}{2} \times \left( \frac{B}{b} \right) \left( \frac{L}{d} \right) \left( 1 - \frac{B}{2L} \right) - \frac{V_{sc}}{bd} \right) / f_{sa}$$

$$\rho_{ts,a} = \left( \frac{w_a}{2} \times \left( \frac{L/D}{b/D} \right) \left( \frac{B}{L} \right) \left( \frac{L}{d} \right) \left( 1 - \frac{B}{2L} \right) - \frac{V_{sc}}{bd} \right) / f_{sa}$$

$$V_u = \frac{2M_{pr}}{L} + \frac{w_u LB}{2} = \frac{2 \times 0.9 \times 1.25 f_y \times \rho_t \times bd^2}{L} + \frac{w_u LB}{2} \left( 1 - \frac{B}{2L} \right)$$

$$v_u = \frac{2 \times 0.9 \rho_t \times 1.25 f_y d}{L} + \frac{w_u LB}{2bd} \left( 1 - \frac{B}{2L} \right)$$

$$\rho_{ts,u} = \left( \frac{2 \times 0.9 \rho_t \times 1.25 f_y d}{L} + \frac{w_u LB}{2bd} \left( 1 - \frac{B}{2L} \right) \right) / f_{su}$$

$$\rho_{ts,u} = \left( C_1 / \left( \frac{L}{D} \right) + C_2 \left( \frac{L}{D} \right)^2 \right) / f_{su}$$

$$\rho_{ts,a} = \left( C_3 \left( \frac{L}{D} \right)^2 - v_{cr} \right) / f_{sa}$$



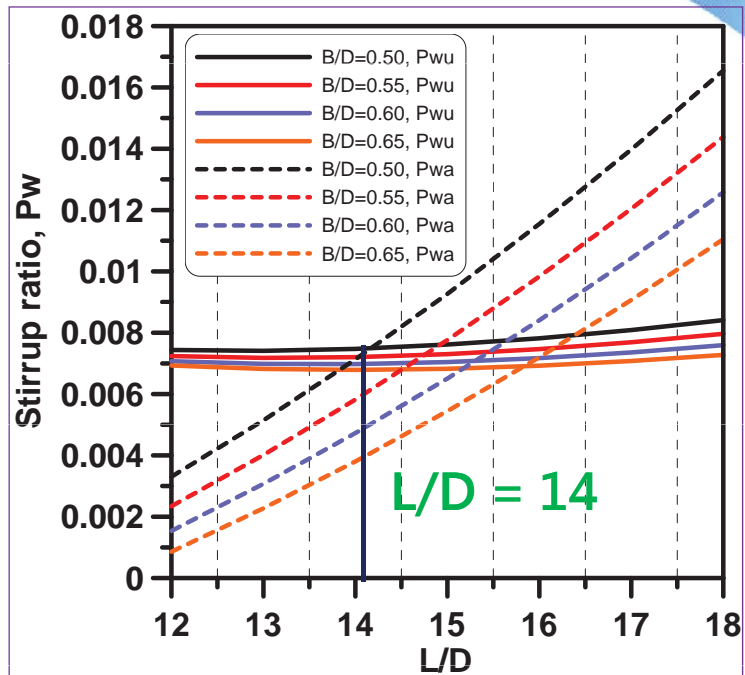
# 設計公式建議(4/7)

## 使用性確保之剪力裂縫控制 – L/D

Assume:

$\rho_s = 0.025$ ;  $d = 0.9D$ ;  
 $f_y = 685 \text{ MPa}$ ;  
 $w_a = 1000 + 300 \text{ kgf/m}^2$ ;  
 $w_u = 1000 \cdot 1.2 + 300 \text{ kgf/m}^2$   
 $f_{sa} = 0.125f_{yt} \text{ (785 MPa)}$ ;  
 $f_{su} = 550 \text{ MPa}$ ;  
 $B/L = 1.0$ .

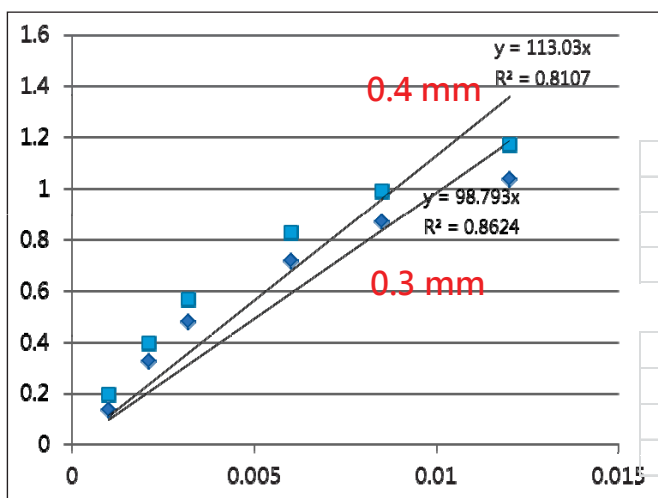
		B/L ( $f_c' = 70 \text{ MPa}$ )		
b/D	1	0.8	0.6	
0.5	14	14	15	
0.55	14	15	15	
0.6	15	15	16	
0.65	15	16	17	
		B/L ( $f_c' = 100 \text{ MPa}$ )		
b/D	1	0.8	0.6	
0.5	14	15	16	
0.55	15	15	16	
0.6	16	16	17	
0.65	16	16	17	



# 設計公式建議(5/7)

## 使用性確保之剪力裂縫控制 – L/D

剪力裂縫最大寬度值 = 0.3 及 0.4 mm



		Pt			
$f_c'$	0.01	0.015	0.02	0.025	
70	12	13	13	14	
100	13	13	14	14	

		Pt			
$f_c'$	0.01	0.015	0.02	0.025	
70	12	12	13	14	
100	13	14	14	15	

$f_{sa} (0.3 \text{ mm}) = 0.125f_{yt} \text{ (MPa)}$

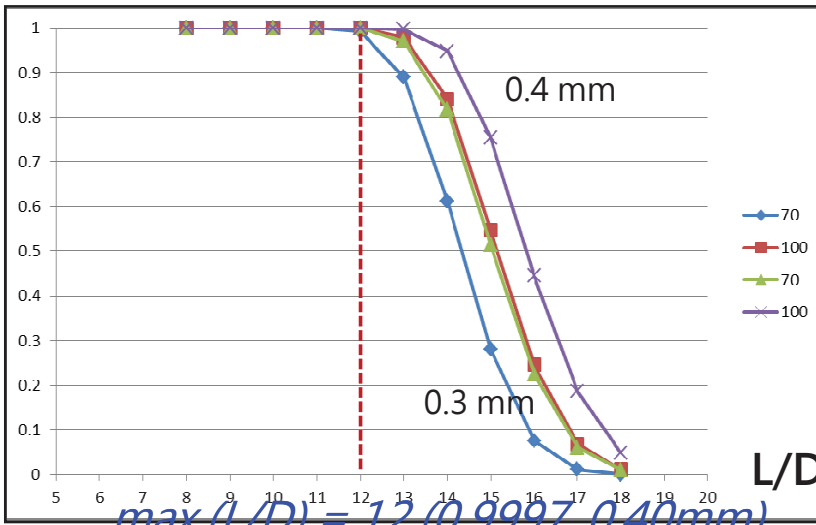
$f_{sa} (0.4 \text{ mm}) = 0.150f_{yt} \text{ (MPa)}$



# 設計公式建議(6/7)

可靠度分析

使用性確保之剪力裂縫控制 – L/D



Random variables  
 b/D: 0.45-0.55  
 B/L: 0.5-1.0  
 Dead Load : 800-1100 kgf/m<sup>2</sup>  
 Live Load: 200-400 kgf/m<sup>2</sup>

$f_y$ : 685 Mpa  
 $f_{yt}$ : 785 Mpa  
 $f_{su}$ : 550 MPa  
 $f_{sa}$ : 0.125 or 0.15  $f_{yt}$

$\max(L/D) = 12 (0.9997, 0.40\text{mm})$

MCS

$$\rho_{ts,u} = \left( c_1 \left( \frac{L}{D} \right) + c_2 \left( \frac{L}{D} \right)^2 \right) / f_{su}$$

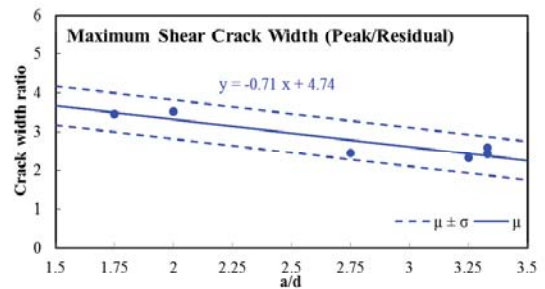
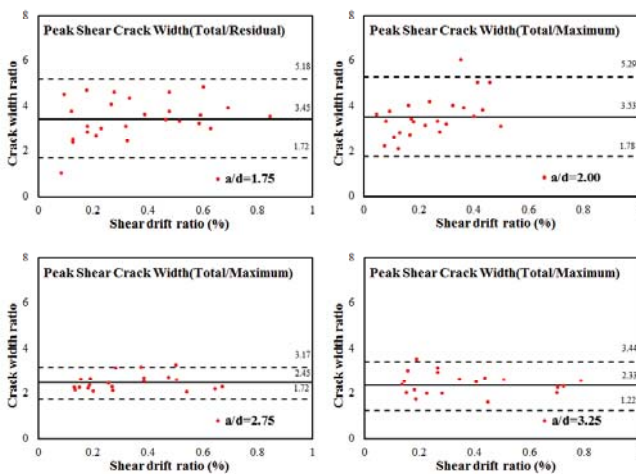
$$\rho_{ts,a} = \left( c_3 \left( \frac{L}{D} \right)^2 - v_{cr} \right) / f_{sa}$$

$$G(L/D) = \frac{\rho_{ts,u}}{\rho_{ts,a}} - 1 \Rightarrow \text{Reliability}$$



# 設計公式建議(7/7)

尖峰變形角時剪力裂縫最大寬度與殘留剪力裂縫最大寬度之比值分佈



$$n_{s\_Maximum} = -0.71 \times \left( \frac{a}{d} \right) + 4.74$$

本研究考量構件於地震後之殘留剪力裂縫最大值以不超0.4 mm為原則，以建立修復性能確保下之箍筋容許應力值。若取尖峰變形角時剪力裂縫最大寬度與殘留剪力裂縫最大寬度之比值2.5計算尖峰變形角時剪力裂縫最大寬度，則約為1.0 mm。若以剪力裂縫最大寬度1.0 mm為控制目標，則其對應之容許箍筋應力可定為162.9 MPa (約為0.29倍之箍筋規定降伏應力)





# 結論

梁構件性能點			容許剪應力計算式 (MPa)
長期荷重	使用性	剪力裂縫發生點	$v_{cr} = \eta_{cr} \times 0.33\sqrt{f'_c}/1.5$ $\eta_{cr} = 3 \left(\frac{a}{d}\right)^{-1.8} \quad (0.35 \leq \eta_{cr} \leq 1.0)$
		剪力裂縫最大寬度 0.4mm	$v_{ser} = \eta_{cr} \times 0.33\sqrt{f'_c}/1.5 + 0.15\rho_{ts}f_{yt}$
短期荷重	修復性	剪力裂縫最大寬度 1.0 mm	$v_{rep} = 0.27\eta_{cu} \times 0.33\sqrt{f'_c} + 0.20\rho_{ts}f_{yt}$ $\eta_{cu} = 18 \left(\frac{a}{d}\right)^{-2.5} ; (1 \leq \eta_{cu} \leq 4)$ <p style="text-align: right;"><i>Or max (L/D) = 12</i></p>



## 謝謝....

### 高強度鋼筋混凝土梁之 裂縫發展與控制



# NewRC柱撓曲與剪力設計

歐昱辰副教授  
台灣科技大學營建工程系

臺  
灣  
科  
大

TAIWAN TECH  
National Taiwan University of Science and Technology

## 簡報大綱

- 材料強度
- 標稱軸力與彎矩互制曲線  $P_n - M_n$
- 可能彎矩強度  $M_{pr}$
- 剪力強度  $V_n$

# 材料強度



$$f'_c = 70 - 100 \text{ MPa}$$



$$f_y = 685 \text{ MPa}$$

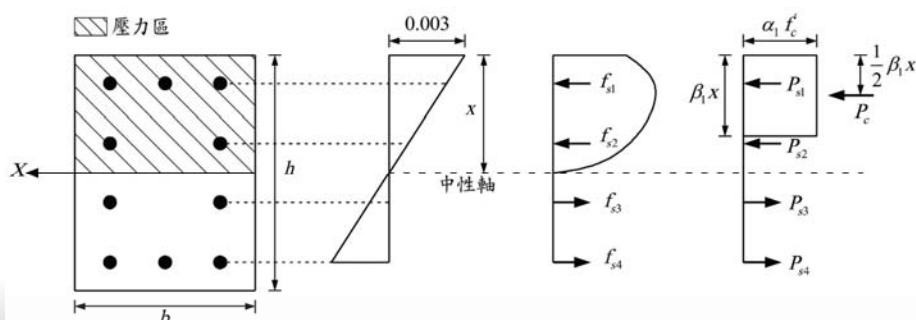


$$f_y = 785 \text{ MPa}$$

## 標稱軸力與彎矩互制曲線

單位 MPa

分類	現行規範	建議公式(ITG-4.3R-07)
$\alpha_1$	0.85	$\alpha_1 = 0.85 - 0.0022(f'_c - 55)$ $0.70 \leq \alpha_1 \leq 0.85$
$\beta_1$	$\beta_1 = 0.85 - 0.0073(f'_c - 28)$ $0.65 \leq \beta_1 \leq 0.85$	$\beta_1 = 0.85 - 0.0073(f'_c - 28)$ $0.65 \leq \beta_1 \leq 0.85$



## 標稱軸力與彎矩互制曲線

單位 MPa

分類	現行規範	建議公式 (ITG-4.3R-07)
$P_0$	$P_0 = 0.85 f'_c (A_g - A_{st}) + A_{st} (f_y - 0.85 f'_c)$	$P_0 = \alpha_1 f'_c (A_g - A_{st}) + A_{st} (f_y - 0.85 f'_c)$ $f_y \leq 600 \text{ MPa}$

## 剪力容量設計之可能彎矩強度

分類	現行規範	建議公式 (公路橋梁耐震設計規範)
$M_{pr}$	$1.25 f_y$	$1.3 M_n$

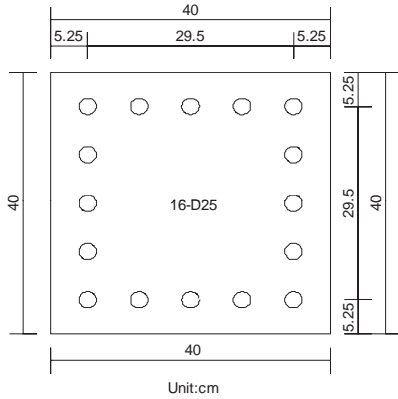
## 分析與實驗比對

$$L = \sqrt{P^2 + M^2}$$

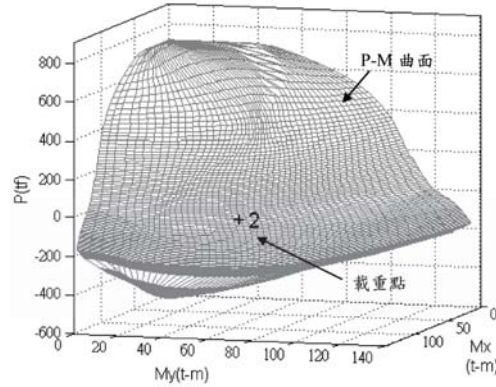
試體	$f'_c$ (MPa)	$f_y$ (MPa)	$\frac{P}{A_g f'_c}$	$\frac{L_{exp}}{L_{pr\_current}}$	$\frac{L_{exp}}{L_{n\_proposed}}$	$\frac{L_{exp}}{L_{pr\_proposed}}$	$\frac{L_{exp}}{L_{n\_current}}$	分析破壞模式
E5	97	744	0.10	0.98	1.02	1.09	0.88	過渡破壞
TC1	78	703	0.10	1.03	1.05	0.99	0.84	拉力控制
TC2	75	703	0.33	1.26	1.31	1.36	1.05	壓力控制
B1	85	744	0.56	1.11	1.19	1.35	1.04	壓力控制
B3	83	744	0.57	1.09	1.16	1.30	1.00	壓力控制
B5	83	744	0.57	1.12	1.19	1.34	1.03	壓力控制
B2	112	744	0.53	0.97	1.11	1.19	0.91	壓力控制
B4	114	744	0.52	0.97	1.12	1.20	0.93	壓力控制
T70-N29-D4	88	735	0.29	1.16	1.23	1.39	1.07	壓力控制
T70-N42-D4	95	735	0.42	1.15	1.25	1.49	1.15	壓力控制
T70-N46-D3	89	735	0.46	1.15	1.24	1.43	1.10	壓力控制
T100-N43-D4	93	735	0.43	1.18	1.28	1.23	0.94	壓力控制
T100-1	115	724	0.35	1.16	1.32	1.41	1.08	壓力控制
T100-2	144	724	0.28	0.96	1.11	1.39	1.07	壓力控制
T100-3	117	724	0.35	1.20	1.36	1.47	1.13	壓力控制
NEWRC1	81	735	0.17	0.98	1.00	0.97	0.83	拉力控制
NEWRC3	81	735	0.17	1.04	1.06	1.02	0.87	拉力控制
NEWRC4	81	735	0.33	1.06	1.09	1.11	0.91	拉力控制
NEWRC5	81	735	0.17	1.02	1.04	1.01	0.87	拉力控制
平均	-	-	-	1.08	1.16	1.25	0.98	-

# 標稱軸力與彎矩互制曲線關係程式-NewRC-PM

- 分析例



斷面設計



雙軸P-M強度與載重關係

歐昱辰, 蔡東均. (2015) “高強度鋼筋混凝土柱軸力與彎矩強度互制關係程式開發與研究, 結構工程 (審查中)”

# 標稱剪力強度計算

- 混凝土剪力強度

單位 MPa

分類	現行規範	建議公式
混凝土抗壓強度上限	$f'_c \leq 70MPa$	$f'_c < 130MPa$
簡單式	$V_c = 0.17 \left( 1 + \frac{P}{14A_g} \right) \sqrt{f'_c} bd$	
精確式	$V_c = \left( 0.16\sqrt{f'_c} + 17\rho_w \frac{V_u d}{M_m} \right) bd$ $M_m = M_u - P \left( \frac{4h - d}{8} \right)$	
精確式上限	$V_c = 0.29\sqrt{f'_c} bd \sqrt{\left( 1 + \frac{0.29P_u}{A_g} \right)}$	$V_c = 0.29\alpha\sqrt{f'_c} \sqrt{1 + \frac{2P}{\alpha\sqrt{f'_c} bd}} bd$ $\alpha = \left( 1 - 0.85 \sqrt{\frac{P}{A_g f'_c}} \right) \text{ for } 0 \leq \frac{P}{f'_c A_g} \leq 0.6$



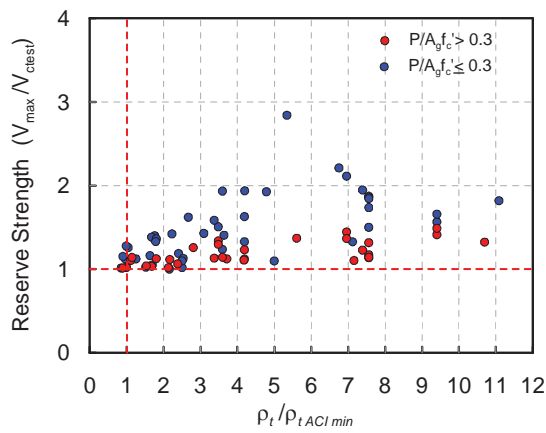
## 標稱剪力強度計算

• 橫向鋼筋剪力強度

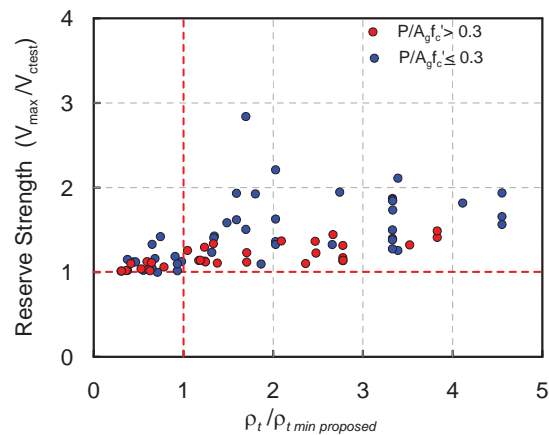
單位 MPa

分類	現行規範	建議公式
鋼筋應力上限	$f_{yt} \leq 420 \text{ MPa}$	$f_{yt} \leq 600 \text{ MPa}$
鋼筋剪力強度	$V_s = \frac{A_v f_y d}{s}$	
最少剪力鋼筋量	$A_{v,\min} = 0.062 \sqrt{f'_c} \frac{bs}{f_{yt}} \geq \frac{0.35bs}{f_{yt}}$	$A_{v,\min} = 0.38 V_c \frac{s}{d f_{yt}}$
鋼筋最大剪力強度	$V_{s,\max} \leq 0.66 \sqrt{f'_c} bd$	

## 最少剪力鋼筋量建議公式驗證

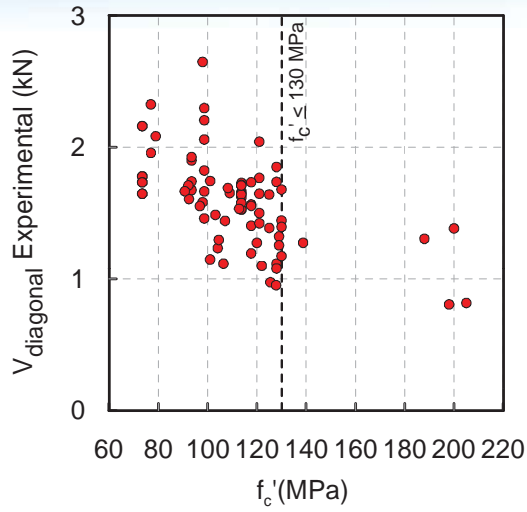


現行規範

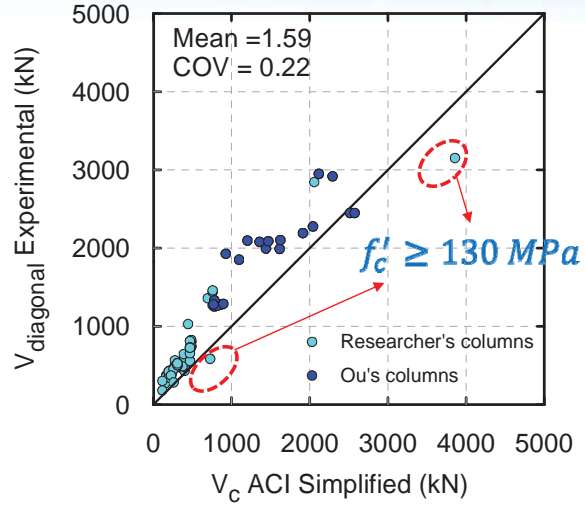


建議公式

## 混凝土剪力強度( $V_c$ )簡單式建議公式驗證

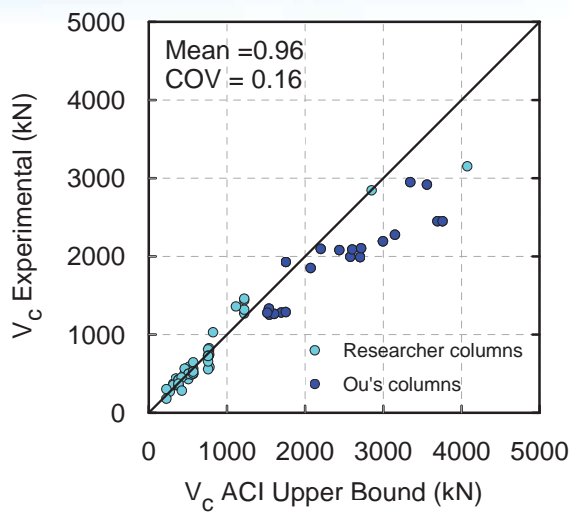


混凝土抗壓強度上限依據

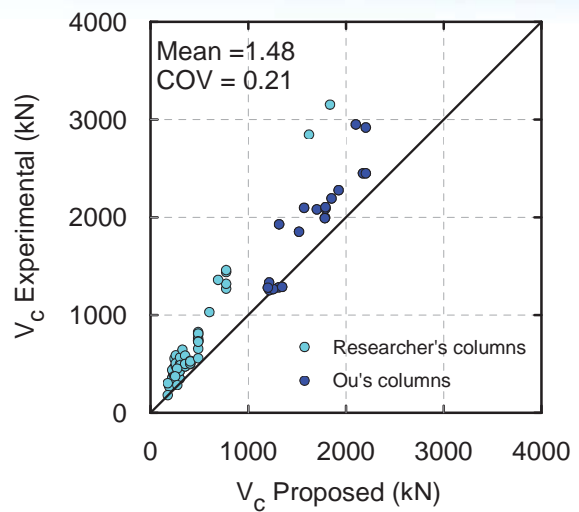


現行規範

## 混凝土剪力強度( $V_c$ )精確式建議公式驗證

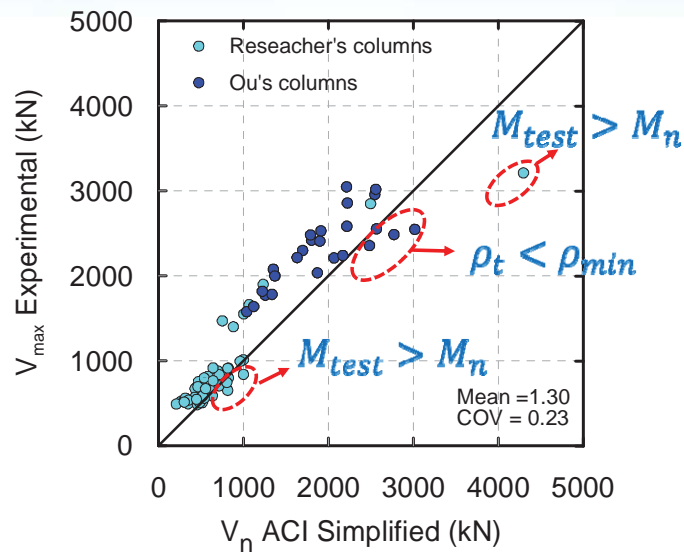


現行規範 (強度不設限)

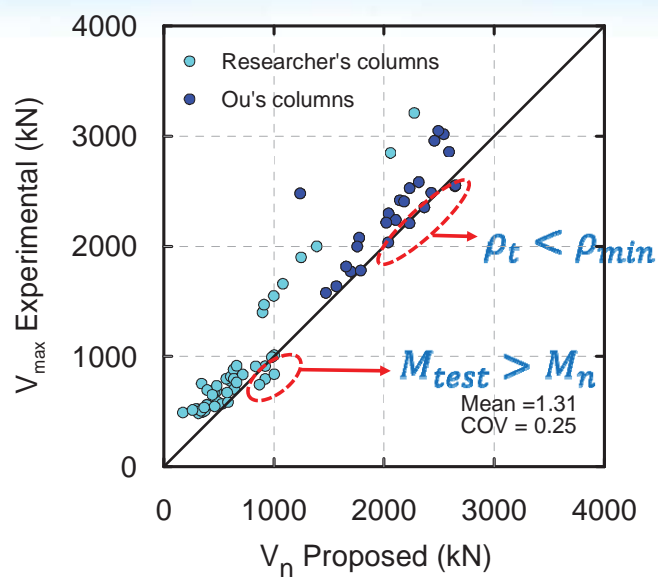


建議公式 (強度不設限)

## 剪力強度(Vn)簡單式建議公式驗證



## 剪力強度(Vn)精確式建議公式驗證





# THANK YOU

# 高強度鋼筋混凝土梁之 裂縫發展與控制

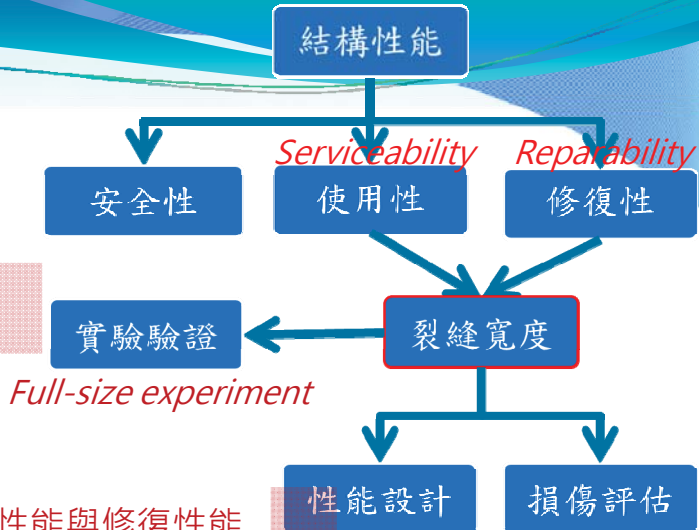
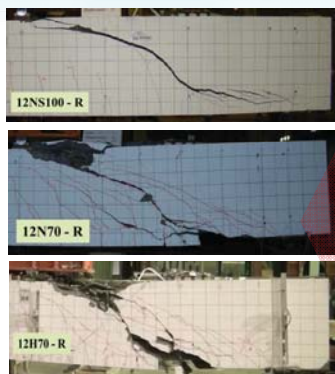
邱建國 陳少謙 林芳慶  
2015/04/22

國立台灣科技大學營建工程系  
國家地震工程研究中心

TAIWAN TECH  
National Taiwan University of Science and Technology

臺  
灣  
科  
大

## 研究目的(1/2)

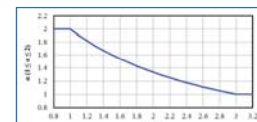


性能設計 – 使用性能與修復性能

AIJ, 2010

	剪力計算公式	對應狀態
使用性確保剪力強度(柱)	$b_j \alpha f_s$ 長期荷重: 靜載+活重	剪力裂縫發生點
使用性確保剪力強度(梁)	$b_j \{ \alpha f_s + 0.5 w f_t (p_w - 0.002) \}$	容許剪力裂縫寬度 0.3 mm
短期容許剪力強度	中小規模地震; 修復性能 $b_j \left\{ \frac{2}{3} \alpha f_s + 0.5 w f_s (p_w - 0.002) \right\}$	容許剪力裂縫寬度 1.0 mm 殘餘裂縫寬度 0.3 mm
安全性確保剪力強度	大規模地震; 安全性能 $b_j \{ \alpha f_s + 0.5 w f_t (p_w - 0.002) \}$	極限剪力強度

Allowable shear crack width



## 研究目的(2/2)

本試驗主要使用高強度鋼筋混凝土之足尺寸梁試體以了解剪力裂縫發展行為。各試體於單向載重作用下，分別量測並統計其於尖峰變形角時最大剪力裂縫寬度及殘留最大剪力裂縫寬度與試體斷面平均剪應力關係，再分別以**0.3 mm (ACI: 0.4 mm)** 及**1.0 mm**為上限並決定其對應之容許剪應力及使用性能確保之剪力設計公式。

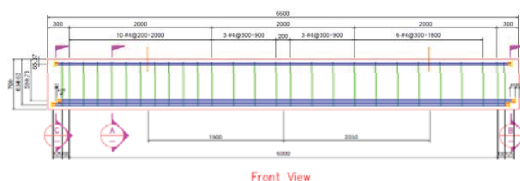
1. 平均斷面剪應力與尖峰變形角時最大剪力裂縫寬度
2. 平均斷面剪應力與殘留最大剪力裂縫寬度
3. 最大剪力裂縫寬度之殘留比(與剪力變形角關係)
4. 最大剪力裂縫寬度與容許應力(平均斷面剪應力)之關係
5. 使用性能確保之剪力設計公式



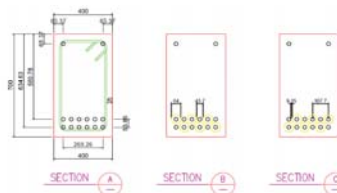
## 實驗規劃(1/2)

- 102~103年 共進行22組高強度鋼筋混凝土梁試驗

年度	試體名稱 Specimen	破壞模式	拉力鋼筋根數		箍筋型式		箍筋間距		主筋降伏強度 $f_y$ (MPa)	箍筋降伏強度 $f_{yt}$ (MPa)	混凝土抗壓強度 $f'_c$ (MPa)	拉力鋼筋比 ps		箍筋比pw (%)		跨深比 a/d	保護層厚度 c (cm)	斷面尺寸	
			N*	T*	Left	Right	Left	Right				Left	Right	寬(mm)	深(mm)				
102年	8H70	撓剪	8	H	20	30	685	785	70	1.45	0.32	0.21	3.3	4	400	700			
	8H100	撓剪	8	H	20	30	685	785	100	1.45	0.32	0.21	3.3	4	400	700			
	8N70	剪力	8	H	20	30	685	420	70	1.45	0.32	0.21	3.3	4	400	700			
	8N100	剪力	8	II	20	30	685	420	100	1.45	0.32	0.21	3.3	4	400	700			
	8NS100	剪力	8	-	-	-	685	-	100	1.45	-	-	3.3	5.3	400	700			
	12H70	剪力	12	H	20	30	685	785	70	2.17	0.32	0.21	3.3	4	400	700			
	12II100	剪力	12	II	20	30	685	785	100	2.17	0.32	0.21	3.3	4	400	700			
	12N70	剪力	12	H	20	30	685	420	70	2.17	0.32	0.21	3.3	4	400	700			
	12N100	剪力	12	H	20	30	685	420	100	2.17	0.32	0.21	3.3	4	400	700			
	12NS100	剪力	12	-	-	-	685	-	100	2.17	-	-	3.3	5.3	400	700			



$f'_c$  100MPa  
 $f_y$  685MPa  
 $f_{yt}$  785MPa  
鋼筋 #4



12H100



# 實驗規劃(2/2)

• 102~103年 共進行22組高強度鋼筋混凝土梁試驗

年度	試體名稱 Specimen	破壞模式	拉力鋼筋	箍筋型式	箍筋間距		主筋降伏	箍筋降伏	混凝土抗	拉力鋼筋	箍筋比 $\rho_w$ (%)		跨深比	保護層厚	斷面尺寸	
			根數		Left	Right	強度	強度	壓強度	比 $\rho_s$	Left	Right	a/d	c (cm)	寬(mm)	深(mm)
			N*	T*			$f_y$ (MPa)	$f_{yt}$ (MPa)	$f'_c$ (MPa)	(%)						
103年	6W70	撓剪	6	W	20	30	685	785	70	2	0.32	0.21	3.33	4	400	700
	6H70	撓剪	6	H	20	30	685	785	70	2	0.32	0.21	3.33	4	400	700
	175R70	剪力	6	H		30	685	785	70	3.5		0.24	1.75	4	350	500
	200R70	剪力	6	II		30	685	785	70	3.5		0.24	2	4	350	500
	275R70	剪力	6	H		30	685	785	70	3.5		0.24	2.75	4	350	500
	325R70	剪力	6	II		30	685	785	70	3.5		0.24	3.25	4	350	500
	175R100	剪力	6	H		30	685	785	100	3.5		0.24	1.75	4	350	500
	200R100	剪力	6	H		30	685	785	100	3.5		0.21	2	4	350	500
	275R100	剪力	6	H		30	685	785	100	3.5		0.24	2.75	4	350	500
	325R100	剪力	6	H		30	685	785	100	3.5		0.24	3.25	4	350	500
	2C100	剪力	12	H	20	30	685	785	100	2.17	0.32	0.21	3.3	2	400	700
	3C100	剪力	14	II	20	30	685	785	100	2.17	0.32	0.21	3.3	3	400	700



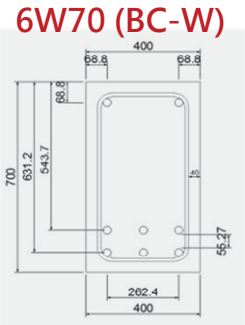
6m



4m



2m



# 設計公式建議(1/7)

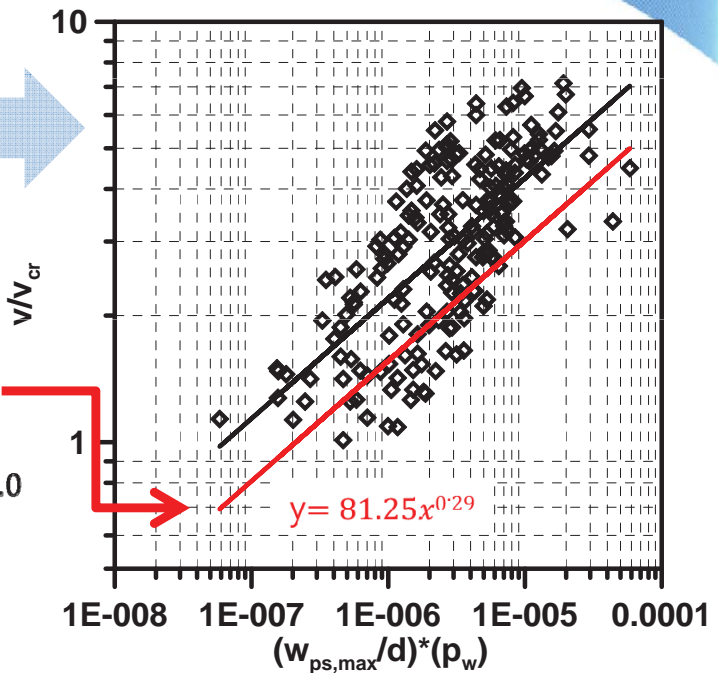
## 使用性確保剪力裂縫控制

斷面平均剪應力與剪力  
裂縫最大寬度  
(箍筋785MPa)

$$V = 81.25 \times \left\{ \left( \frac{W_{ps,max}}{d} \right) \times \rho_{ts} \right\}^{0.29} \times (\eta_{cr} \times (0.33\sqrt{f'_c}) \times bD/1.5)$$

$$\eta_{cr} = 3 \times (a/d)^{-1.8}; 0.35 \leq \phi \leq 1.0$$

$$\rho_{ts} = \frac{A_v}{bd}$$





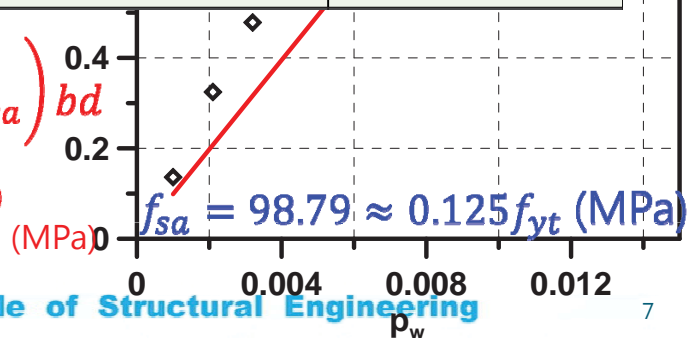
# 設計公式建議(2/7)

## 使用性確保剪力裂縫控制

	剪力計算公式	對應狀態
(剪) 使用性確保剪力強度(柱)	$bja f_s$	剪力裂縫發生點
$V_c = \frac{V}{\phi}$ 使用性確保剪力強度(梁)	$bj\{\alpha f_s + 0.5_w f_t (p_w - 0.002)\}$ 長期荷重: 靜載+活重 195MPa	容許剪力裂縫寬度 0.3 mm
短期容許剪力強度	中小規模地震; 修復性能 $bj\left\{\frac{2}{3}\alpha f_s + 0.5_w f_s (p_w - 0.002)\right\}$	容許剪力裂縫寬度 1.0 mm 殘餘裂縫寬度 0.3 mm
安全性確保剪力強度	大規模地震; 安全性能 $bj\{\alpha f_s + 0.5_w f_t (p_w - 0.002)\}$	極限剪力強度

$$V_{sa} = \left( \frac{\eta_{cr} \times 0.33 \sqrt{f'_c}}{1.5} + \rho_{ts} f_{sa} \right) bd$$

$$\eta_{cr} = 3 \times (a/d)^{-1.8}; 0.35 \leq \phi \leq 1.0$$



# 設計公式建議(3/7)

## 使用性確保剪力裂縫控制

### 使用性確保與耐震需求之箍筋比

$$\rho_{ts,a} = \left( \frac{w_a}{2} \times \left( \frac{B}{b} \right) \left( \frac{L}{d} \right) \left( 1 - \frac{B}{2L} \right) - \frac{V_{sc}}{bd} \right) / f_{sa}$$

$$\rho_{ts,a} = \left( \frac{w_a}{2} \times \left( \frac{L/D}{b/D} \right) \left( \frac{B}{L} \right) \left( \frac{L}{d} \right) \left( 1 - \frac{B}{2L} \right) - \frac{V_{sc}}{bd} \right) / f_{sa}$$

$$V_u = \frac{2M_{pr}}{L} + \frac{w_u LB}{2} = \frac{2 \times 0.9 \times 1.25 f_y \times \rho_t \times bd^2}{L} + \frac{w_u LB}{2} \left( 1 - \frac{B}{2L} \right)$$

$$v_u = \frac{2 \times 0.9 \rho_t \times 1.25 f_y d}{L} + \frac{w_u LB}{2bd} \left( 1 - \frac{B}{2L} \right)$$

$$\rho_{ts,u} = \left( \frac{2 \times 0.9 \rho_t \times 1.25 f_y d}{L} + \frac{w_u LB}{2bd} \left( 1 - \frac{B}{2L} \right) \right) / f_{su}$$

$$\rho_{ts,u} = \left( C_1 / \left( \frac{L}{D} \right) + C_2 \left( \frac{L}{D} \right)^2 \right) / f_{su}$$

$$\rho_{ts,a} = \left( C_3 \left( \frac{L}{D} \right)^2 - v_{cr} \right) / f_{sa}$$



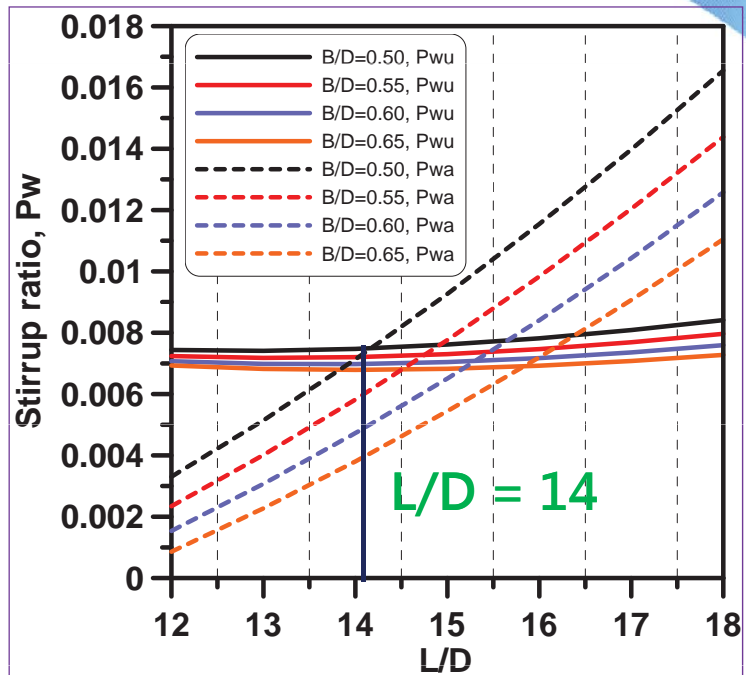
# 設計公式建議(4/7)

## 使用性確保之剪力裂縫控制 – L/D

Assume:

$\rho_s = 0.025$ ;  $d = 0.9D$ ;  
 $f_y = 685 \text{ MPa}$ ;  
 $w_a = 1000 + 300 \text{ kgf/m}^2$ ;  
 $w_u = 1000 \cdot 1.2 + 300 \text{ kgf/m}^2$   
 $f_{sa} = 0.125f_{yt} \text{ (785 MPa)}$ ;  
 $f_{su} = 550 \text{ MPa}$ ;  
 $B/L = 1.0$ .

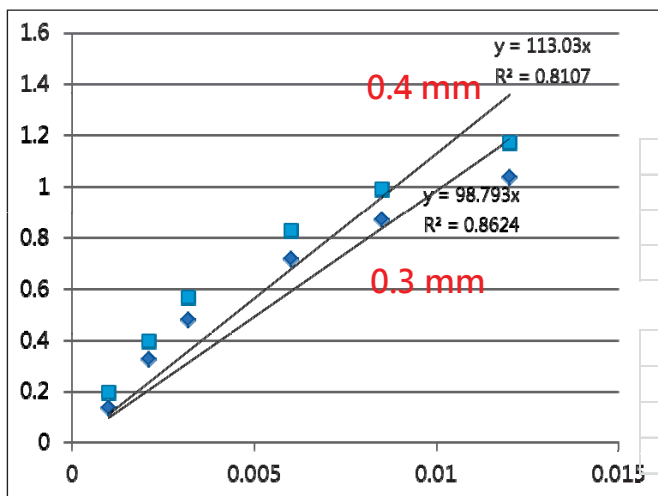
		B/L ( $f_c' = 70 \text{ MPa}$ )		
b/D	1	0.8	0.6	
0.5	14	14	15	
0.55	14	15	15	
0.6	15	15	16	
0.65	15	16	17	
		B/L ( $f_c' = 100 \text{ MPa}$ )		
b/D	1	0.8	0.6	
0.5	14	15	16	
0.55	15	15	16	
0.6	16	16	17	
0.65	16	16	17	



# 設計公式建議(5/7)

## 使用性確保之剪力裂縫控制 – L/D

剪力裂縫最大寬度值 = 0.3 及 0.4 mm



		Pt			
$f_c'$	0.01	0.015	0.02	0.025	
70	12	13	13	14	
100	13	13	14	14	

		Pt			
$f_c'$	0.01	0.015	0.02	0.025	
70	12	12	13	14	
100	13	14	14	15	

$f_{sa} (0.3 \text{ mm}) = 0.125f_{yt} \text{ (MPa)}$

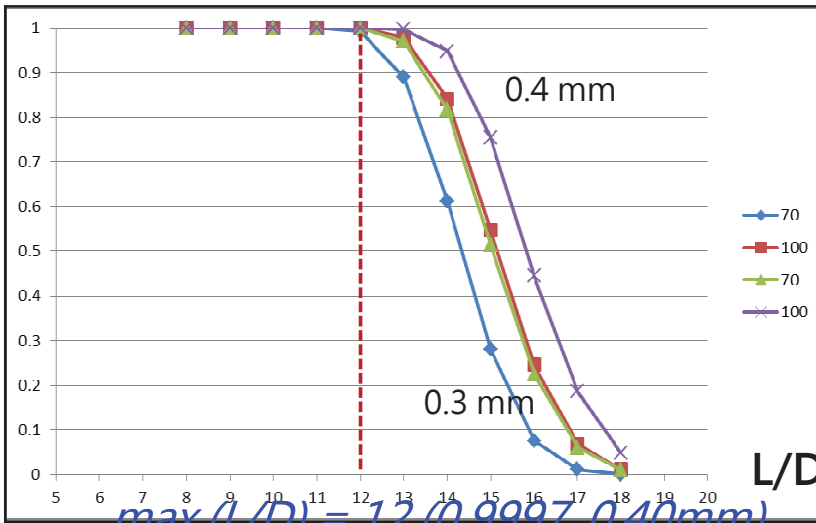
$f_{sa} (0.4 \text{ mm}) = 0.150f_{yt} \text{ (MPa)}$



# 設計公式建議(6/7)

可靠度分析

使用性確保之剪力裂縫控制 – L/D



Random variables  
 b/D: 0.45-0.55  
 B/L: 0.5-1.0  
 Dead Load : 800-1100 kgf/m<sup>2</sup>  
 Live Load: 200-400 kgf/m<sup>2</sup>  
 f<sub>y</sub>: 685 Mpa  
 f<sub>yt</sub>: 785 Mpa  
 f<sub>su</sub>: 550 MPa  
 f<sub>sa</sub>: 0.125 or 0.15 f<sub>yt</sub>

max(L/D) = 12 (0.9997, 0.40mm)

MCS

$$\rho_{ts,u} = \left( c_1 / \left( \frac{L}{D} \right) + c_2 \left( \frac{L}{D} \right)^2 \right) / f_{su}$$

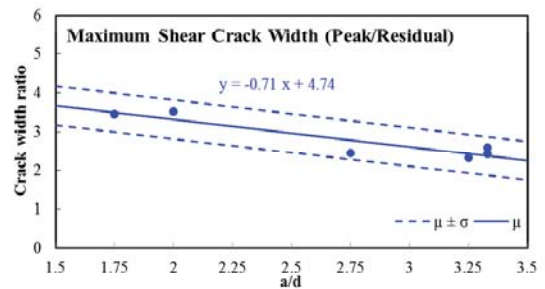
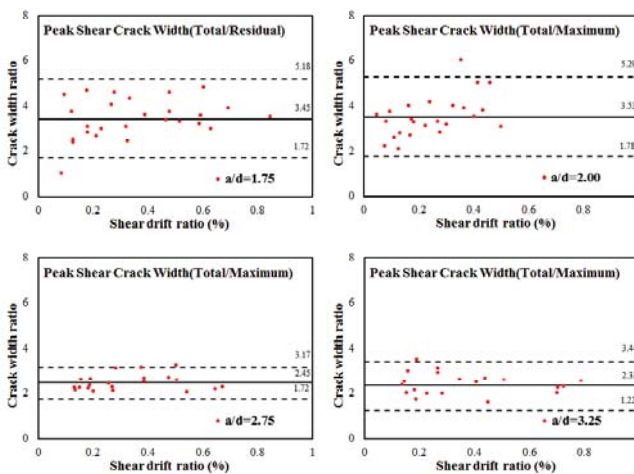
$$\rho_{ts,a} = \left( c_3 \left( \frac{L}{D} \right)^2 - v_{cr} \right) / f_{sa}$$

$$G(L/D) = \frac{\rho_{ts,u}}{\rho_{ts,a}} - 1 \Rightarrow \text{Reliability}$$



# 設計公式建議(7/7)

尖峰變形角時剪力裂縫最大寬度與殘留剪力裂縫最大寬度之比值分佈



$$n_{s\_Maximum} = -0.71 \times \left( \frac{a}{d} \right) + 4.74$$

本研究考量構件於地震後之殘留剪力裂縫最大值以不超0.4 mm為原則，以建立修復性能確保下之箍筋容許應力值。若取尖峰變形角時剪力裂縫最大寬度與殘留剪力裂縫最大寬度之比值2.5計算尖峰變形角時剪力裂縫最大寬度，則約為1.0 mm。若以剪力裂縫最大寬度1.0 mm為控制目標，則其對應之容許箍筋應力可定為162.9 MPa (約為0.29倍之箍筋規定降伏應力)



# 結論

梁構件性能點			容許剪應力計算式 (MPa)
長期荷重	使用性	剪力裂縫發生點	$v_{cr} = \eta_{cr} \times 0.33\sqrt{f'_c}/1.5$ $\eta_{cr} = 3 \left(\frac{a}{d}\right)^{-1.8} \quad (0.35 \leq \eta_{cr} \leq 1.0)$
		剪力裂縫最大寬度 0.4mm	$v_{ser} = \eta_{cr} \times 0.33\sqrt{f'_c}/1.5 + 0.15\rho_{ts}f_{yt}$
短期荷重	修復性	剪力裂縫最大寬度 1.0 mm	$v_{rep} = 0.27\eta_{cu} \times 0.33\sqrt{f'_c} + 0.20\rho_{ts}f_{yt}$ $\eta_{cu} = 18 \left(\frac{a}{d}\right)^{-2.5} ; (1 \leq \eta_{cu} \leq 4)$ <p style="text-align: right;"><i>Or max (L/D) = 12</i></p>



## 謝謝....

### 高強度鋼筋混凝土梁之 裂縫發展與控制

