

NewRC柱撓曲與剪力設計

歐昱辰教授
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
- 軸力與撓曲強度
 - ✓ 極限狀態定義
 - ✓ 壓力區混凝土等值矩形應力塊應力大小係數 α_1 與 β_1
 - ✓ 軸力強度
 - ✓ 軸力與彎矩聯合作用之強度
 - ✓ 最大可能彎矩強度
- 剪力強度
 - ✓ 構材剪力強度
 - ✓ 混凝土抗壓強度上限及混凝土剪力強度
 - ✓ 剪力鋼筋降伏強度上限及剪力鋼筋剪力強度
 - ✓ 最小鋼筋量
- 建議

材料強度



$$f'_c = 70 - 100 \text{ MPa}$$
$$(700 \sim 1000 \text{ kgf/cm}^2)$$



$$f_y = 685 \text{ MPa}$$
$$(6850 \text{ kgf/cm}^2)$$

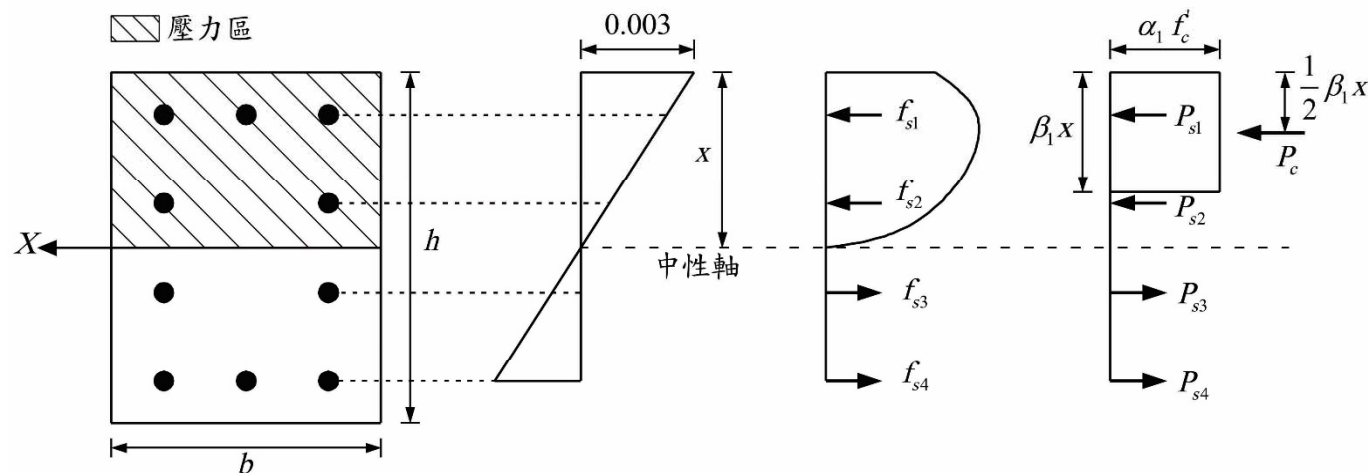


$$f_y = 785 \text{ MPa}$$
$$(7850 \text{ kgf/cm}^2)$$

極限狀態定義

極限狀態定義

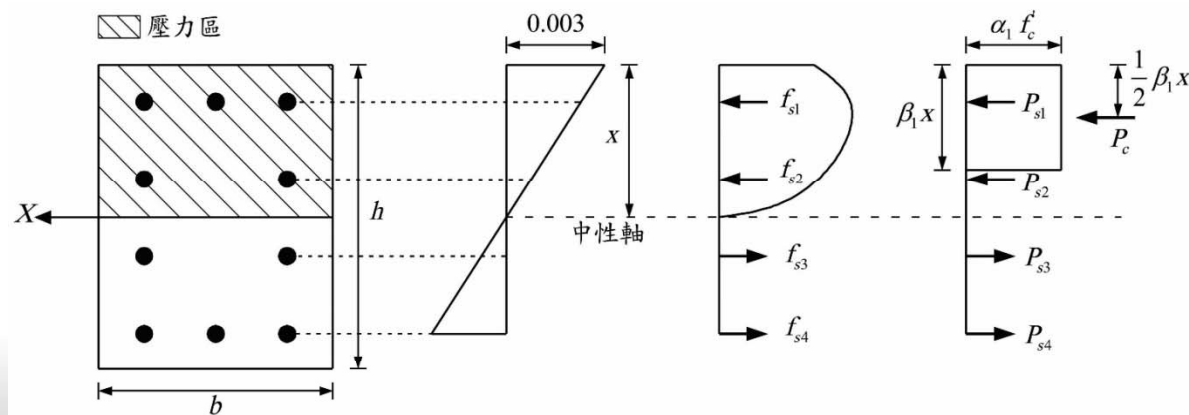
- 混凝土受壓應變達0.003
- 混凝土受拉強度假設為零
- 鋼筋應力應變行為假設為完美彈塑性(應力降伏後保持定值)



混凝土等值矩形應力塊大小係數 α_1 與 β_1

壓力區混凝土等值矩形應力塊大小係數 α_1 與 β_1 單位：kgf/cm²

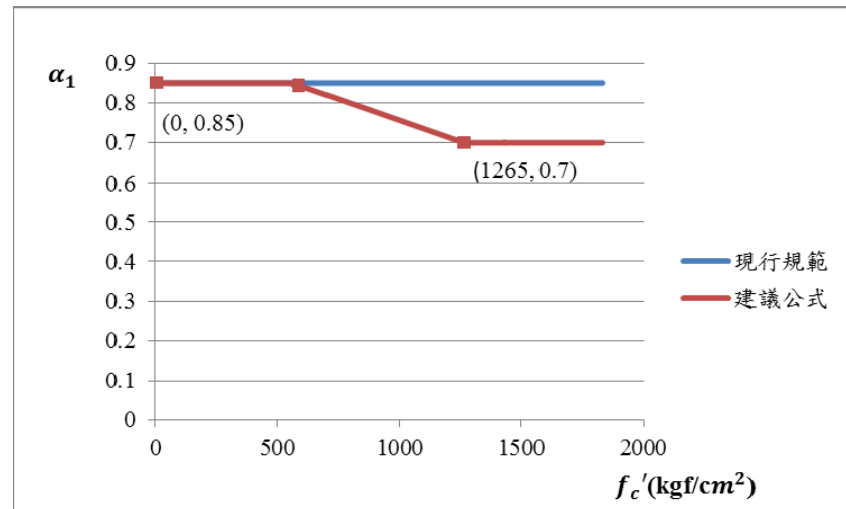
分類	現行規範	建議公式(ITG-4.3R-07)
α_1	0.85	$\alpha_1 = 0.85 - 0.000213(f'_c - 560)$ $0.70 \leq \alpha_1 \leq 0.85$
β_1	$\beta_1 = 0.85 - 0.000711(f'_c - 560)$ $0.65 \leq \beta_1 \leq 0.85$	$\beta_1 = 0.85 - 0.000711(f'_c - 560)$ $0.65 \leq \beta_1 \leq 0.85$



混凝土等值矩形應力塊大小係數 α_1 與 β_1

壓力區混凝土等值矩形應力塊大小係數 α_1 、 β_1

➤ α_1 、 β_1 分別與 f'_c 間之關係曲線圖



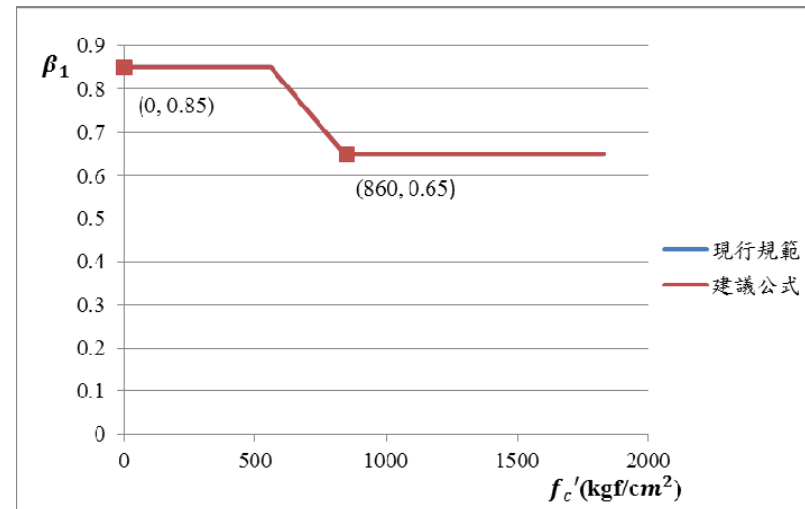
α_1 與 f'_c 間關係示意圖

現行規範： $\alpha_1 = 0.85$

建議公式：

$$\alpha_1 = 0.85 - 0.000213(f'_c - 560) \text{ kgf/cm}^2$$

$$0.70 \leq \alpha_1 \leq 0.85$$



β_1 與 f'_c 間關係示意圖

現行規範、建議公式：

$$\beta_1 = 0.85 - 0.000711(f'_c - 560)$$

$$0.65 \leq \beta_1 \leq 0.85$$

軸力強度

軸力強度

➤ 無偏心載重下之軸力標稱強度 P_0 ， $0.85f'_c \rightarrow \alpha_1 f'_c$ 如下表。

標稱最大軸力強度如下：

採螺箍柱 $\rightarrow P_{n,max} = 0.85P_0$ ；直線型箍筋 $\rightarrow P_{n,max} = 0.8P_0$

➤ 混凝土受壓極限應變為0.003；鋼筋受壓最大應變為0.003；應力為6120 kgf/cm²。

單位： kgf/cm²

分類	現行規範	建議公式(ITG-4.3R-07)
P_0	$P_0 = 0.85 f'_c (A_g - A_{st}) + A_{st} (f_y - 0.85 f'_c)$	$P_0 = \alpha_1 f'_c (A_g - A_{st}) + A_{st} (f_y - 0.85 f'_c)$ $f_y \leq 6120 \text{ kgf/cm}^2$

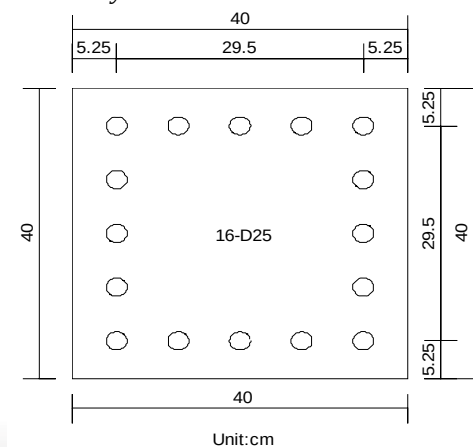
A_g 為鋼筋混凝土總斷面積； A_{st} 為縱向鋼筋之總斷面積； f_y 為鋼筋之降伏強度

軸力與撓曲強度

軸力與彎矩聯合作用之強度

- 假設斷面平面旋轉後仍維持平面、鋼筋和混凝土之間完全握裹。
- 根據前述極限狀態與壓力區混凝土等值矩形應力塊之定義，在滿足力平衡下，可計算斷面於軸力與彎矩聯合作用下之強度。

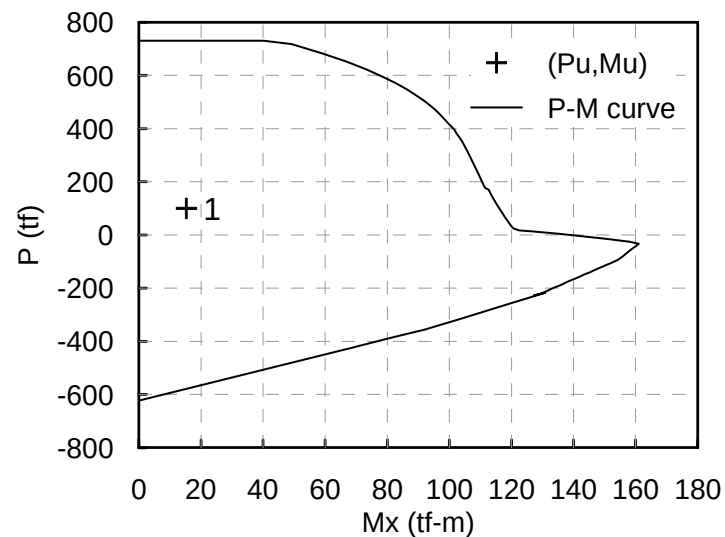
- ✓ 材料性質： $f'_c = 700 \text{ kgf/cm}^2$; $f_y = 8400 \text{ kgf/cm}^2$
- ✓ 設計載重一：單軸向載重→ $P_u = 100 \text{ tf}$; $M_{ux} = 15.25 \text{ tf-m}$
- ✓ 設計載重二：雙軸向載重→ $P_u = 100 \text{ tf}$; $M_{ux} = 240 \text{ tf-m}$; $M_{uy} = 240 \text{ tf-m}$
- ✓ ϕ 值按現行規範之規定(使用直線型箍筋)



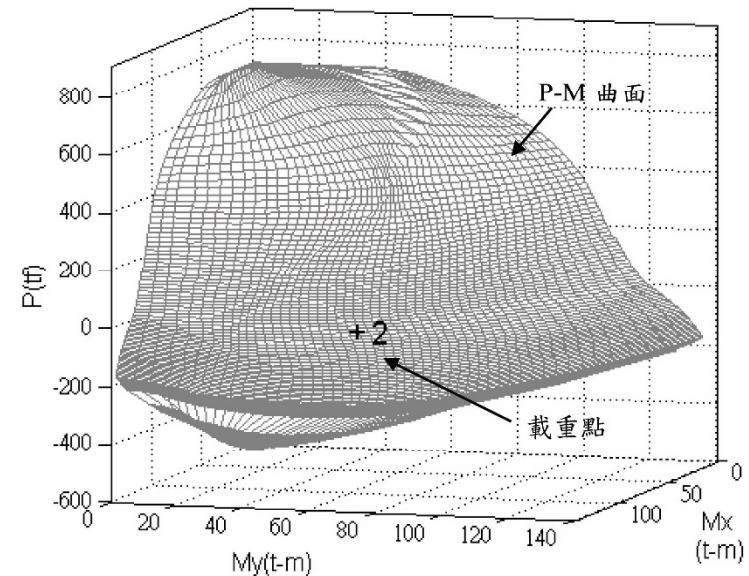
NewRC-PM所繪之斷面圖

軸力與彎矩互制曲線關係程式-NewRC-PM

標稱軸力與彎矩互制曲線關係程式-NewRC-PM



NewRC-PM所繪之單軸P-M互制曲線與設計載重之關係



NewRC-PM所繪之雙軸P-M互制曲線與設計載重之關係

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” New RC-PM

<http://140.118.105.83/NewRC-PM.rar>

9

最大可能彎矩強度

最大可能彎矩強度

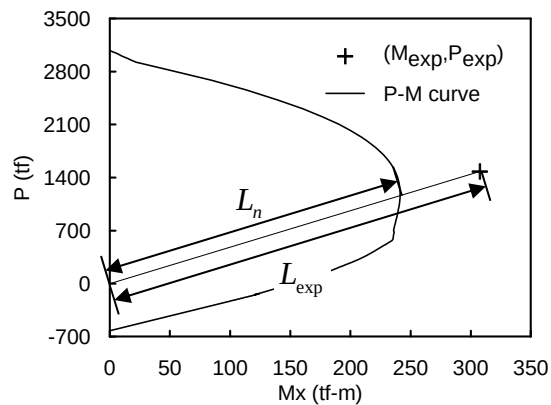
依據現行規範規定，柱之設計剪力應考慮構材兩端接頭面各種作用力所能產生之最大剪力 M_{pr} 。

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}	$1.25 f_y$	$1.3M_n$

分析與實驗比對

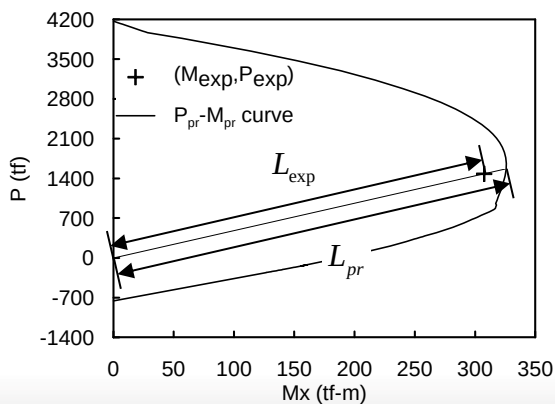
參數定義說明



若 $L_{\text{exp}} > L_n$ ，代表實驗值高於分析值，則分析結果保守。

$$L_n = \sqrt{P_n^2 + M_n^2}$$

$$L_{\text{exp}} = \sqrt{P_{\text{exp}}^2 + M_{\text{exp}}^2}$$



若 $L_{\text{exp}} < L_{pr}$ ，代表實驗值低於預估值，則預估結果保守。

$$L_{pr} = \sqrt{P_{pr}^2 + M_{pr}^2}$$

分析與實驗比對

試體	f'_c (MPa)	f_{yl} (MPa)	$\frac{P}{A_g f'_c}$	$\frac{L_{exp}}{L_{n_current}}$	$\frac{L_{exp}}{L_{n_proposed}}$	$\frac{L_{exp}}{L_{n_design}}$	$\frac{L_{exp}}{L_{pr_current}}$	$\frac{L_{exp}}{L_{pr_proposed}}$	分析破壞模式
E5	97	744	0.10	0.98	1.02	1.15	1.09	0.88	過渡破壞
TC1	78	703	0.10	1.03	1.05	1.08	0.99	0.84	拉力控制
TC2	75	703	0.33	1.26	1.31	1.36	1.36	1.05	壓力控制
B1	85	744	0.56	1.11	1.19	1.34	1.35	1.04	壓力控制
B3	83	744	0.57	1.09	1.16	1.29	1.30	1.00	壓力控制
B5	83	744	0.57	1.12	1.19	1.33	1.34	1.03	壓力控制
B2	112	744	0.53	0.97	1.11	1.19	1.19	0.91	壓力控制
B4	114	744	0.52	0.97	1.12	1.20	1.20	0.93	壓力控制
T70-N29-D4	88	735	0.29	1.16	1.23	1.39	1.39	1.07	壓力控制
T70-N42-D4	95	735	0.42	1.15	1.25	1.49	1.49	1.15	壓力控制
T70-N46-D3	89	735	0.46	1.15	1.24	1.42	1.43	1.10	壓力控制
T100-N43-D4	93	735	0.43	1.18	1.28	1.22	1.23	0.94	壓力控制
T100-1	115	724	0.35	1.16	1.32	1.41	1.41	1.08	壓力控制
T100-2	144	724	0.28	0.96	1.11	1.39	1.39	1.07	壓力控制
T100-3	117	724	0.35	1.20	1.36	1.47	1.47	1.13	壓力控制
NEWRC1	81	735	0.17	0.98	1.00	1.14	0.97	0.83	拉力控制
NEWRC3	81	735	0.17	1.04	1.06	1.13	1.02	0.87	拉力控制
NEWRC4	81	735	0.33	1.06	1.09	1.17	1.11	0.91	拉力控制
NEWRC5	81	735	0.17	1.02	1.04	1.12	1.01	0.87	拉力控制
平均	-	-	-	1.08	1.16	1.28	1.25	0.98	-

current: 依現行規範計算。 proposed: 依建議公式計算。 design: 依建議公式計算，但計算時採用設計材料強度，而非實際強度。

剪力強度

標稱剪力強度計算 $V_n = V_c + V_s$

➤ 構材之標稱剪力強度計算

V_n 為構材之標稱剪力強度； V_c 為混凝土之標稱剪力強度；

V_s 為剪力鋼筋提供之標稱剪力強度。

混凝土剪力強度

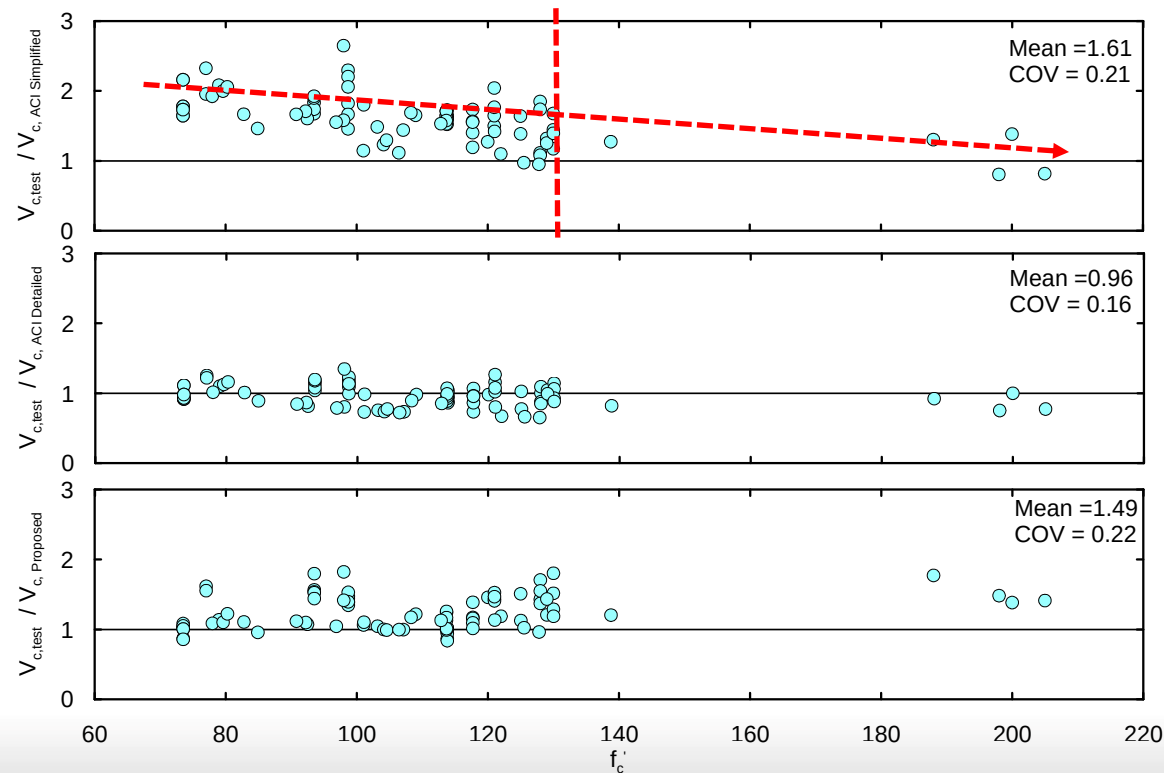
單位： kgf/cm²

分類	現行規範	建議公式
混凝土抗壓強度上限	$f'_c \leq 700 \text{ kgf/cm}^2$	$f'_c \leq 1300 \text{ kgf/cm}^2$
簡單式	$V_c = 0.53 \left(1 + \frac{N_u}{140 A_g} \right) \sqrt{f'_c} b_w d$	
精確式	$V_c = \left(0.50 \sqrt{f'_c} + 175 \rho_w \frac{V_u d}{M_m} \right) b_w d$ $M_m = M_u - P \left(\frac{4h - d}{8} \right)$	
精確式上限	$V_c = 0.93 \sqrt{f'_c} b_w d \sqrt{1 + \frac{N_u}{35 A_g}}$	$V_c = 0.93 \alpha \sqrt{f'_c} \sqrt{1 + \frac{N_u}{1.6 \alpha \sqrt{f'_c} b_w d}} b_w d$ $\alpha = \left(1 - 0.85 \sqrt{\frac{N_u}{A_g f'_c}} \right) \quad \text{for } 0 \leq \frac{N_u}{f'_c A_g} \leq 0.6$

混凝土抗壓強度上限

評估混凝土剪力強度與 f'_c 之關係

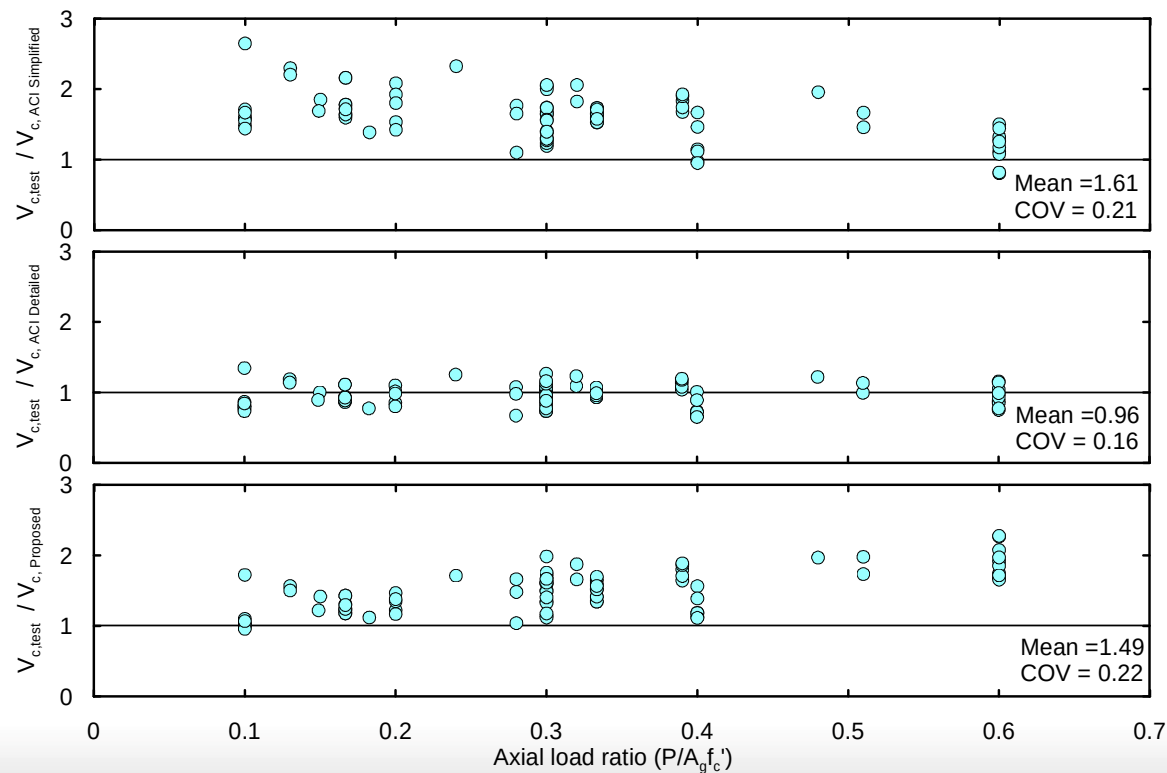
➤ 多數試驗資料落於1300 kgf/cm²以下。



混凝土剪力強度驗證

評估混凝土剪力強度模型($P/A_g f_c'$)

➤ 規範簡化公式及本研究建議公式在不同軸壓比之計算多數保守



規範簡化式- 多數保守

規範詳細式- 多數不保守

建議詳細式- 多數保守

剪力鋼筋剪力強度

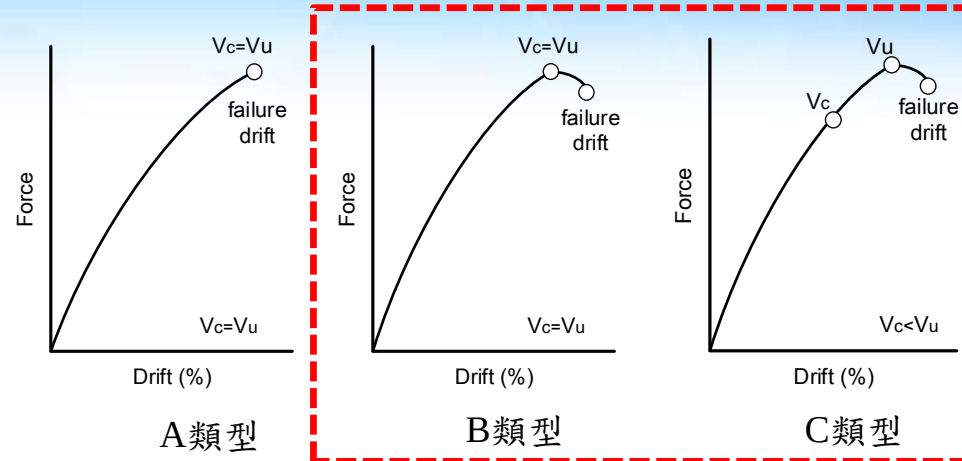
單位：kgf/cm²

分類	現行規範	建議公式
鋼筋應力上限	$f_{yt} \leq 4200 \text{ kgf/cm}^2$	$f_{yt} \leq 6000 \text{ kgf/cm}^2$
鋼筋剪力強度	$V_s = \frac{A_v f_{yt} d}{s}$	
最少剪力鋼筋量	$A_{v,\min} = 0.2 \sqrt{f'_c} \frac{b_w s}{f_{yt}} \geq \frac{3.5 b_w s}{f_{yt}}$	$A_{v,\min} = \frac{0.38 V_c s}{f_{yt} d} \beta$ $\beta = \frac{3 N_u}{A_g f'_c} + 0.4 \text{ for } 1.0 \leq \beta \leq 1.3$
鋼筋最大剪力強度	$V_{s,\max} \leq 2.12 \sqrt{f'_c} b_w d$	

17

剪力鋼筋應力上限

➤ 低軸壓柱試體



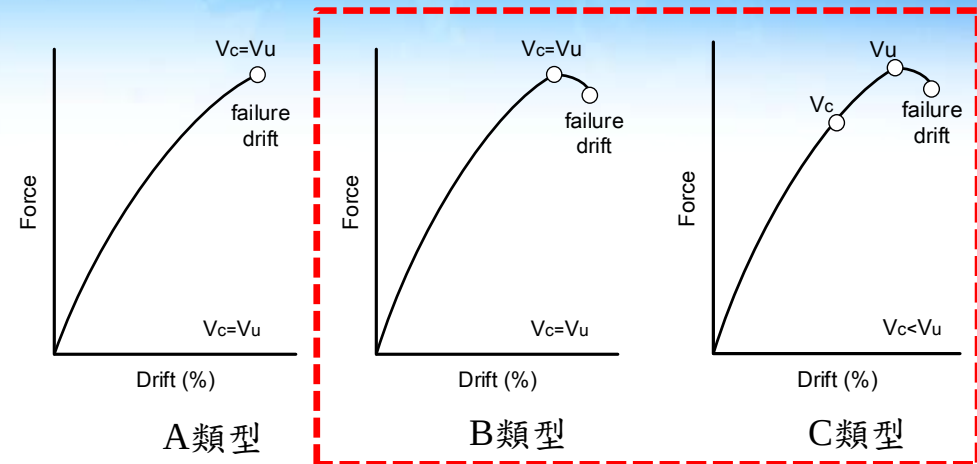
可接受標準

柱試體 名稱	f'_c (MPa)	ρ_t (%)	$\frac{P}{A_g f'_c}$	極限狀態		破壞型 式
				Drift	σ_{st} (MPa)	
A-1	92.5	0.15%	0.1	0.57	638	C
A-2	99.9			0.53	782	C
A-3	96.9	0.26%		0.75	799	C
A-4	107.1			0.79	639	C
A-3.1	92.2	0.26%		0.84	689	C
A-6	90.8	0.59%		1.82	878	C

柱試體 名稱	f'_c (MPa)	ρ_t (%)	$\frac{P}{A_g f'_c}$	極限狀態		破壞型 式
				Drift	σ_{st} (MPa)	
B-1	108.3	0.15%	0.2	0.59	621	C
B-2	125.0			0.50	225	C
B-3	112.9	0.26%		0.54	178	C
B-4	121.0			0.64	471	C
B-3.1	79.0	0.26%		0.52	630	B
B-5	78.0	0.41%		0.68	786	C
B-6	101.1	0.59%		1.19	751	C

剪力鋼筋應力上限

➤ 高軸壓柱試體



可接受標準

柱試體 名稱	f'_c (MPa)	ρ_t (%)	$\frac{P}{A_g f'_c}$	極限狀態		破壞模式
				Drift	σ_{st} (MPa)	
C-1	104.1	0.15%	0.3	0.42	108	A
C-2	138.8			0.60	114	A
C-3	104.6	0.26%		0.70	657	C
C-4	130			0.62	131	A
C-5	79.6	0.41%		0.48	654	B
C-6	80.3	0.59%		1.07	862	C

柱試體 名稱	f'_c (MPa)	ρ_t (%)	$\frac{P}{A_g f'_c}$	極限狀態		破壞模式
				Drift	σ_{st} (MPa)	
D-1	101.1	0.15%	0.4	0.37	281	A
D-2	125.5	0.26%		0.46	149	A
D-3	106.4	0.15%		0.45	184	A
D-4	127.8	0.26%		0.44	158	A
D-5	82.8	0.41%		0.49	726	B
D-6	84.9	0.59%		0.70	868	C

剪力鋼筋應力上限

應變計數據整理結果

- 柱試體破壞類型A，其剪力鋼筋應力範圍為108-281MPa。
- 柱試體破壞類型B，其剪力鋼筋應力分佈範圍為630-726MPa。
- 柱試體破壞類型C，其剪力鋼筋應力分佈範圍為638-878MPa。

透過最少剪力鋼筋量之規定，可將破壞控制在類型B與C，則

$$f_{yt} \leq 600 \text{ MPa (6000 kgf/cm}^2\text{)}$$

最少剪力鋼筋量

最少剪力鋼筋量

- 剪力斜向裂縫之產生會造成混凝土抗剪強度之突然下降，此時剪力鋼筋需有一最少量，方能允許剪力鋼筋能成功承擔內部之應力重分配，避免開裂即產生脆性破壞。
- 最小剪力鋼筋量應與混凝土強度成正比例關係

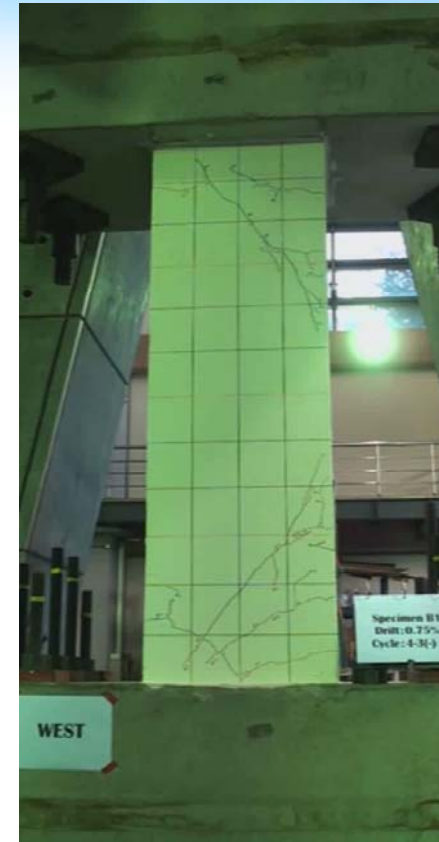
$$A_{V,\min} = \frac{0.38V_c s}{f_{yt} d} \beta$$

$$\beta = \frac{3N_u}{A_g f_c} + 0.4 \text{ for } 1.0 \leq \beta \leq 1.3$$

剪力開裂後應力重分配

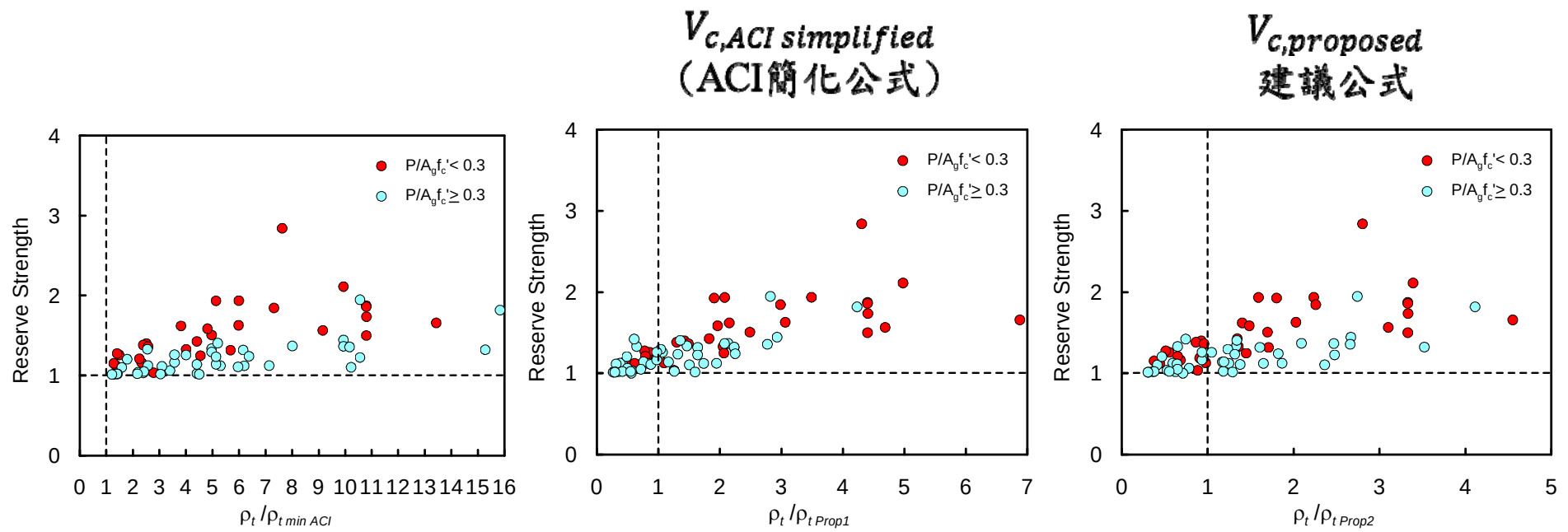


剪力鋼筋抗剪力不足以承擔混凝土開裂造成之力量重分配

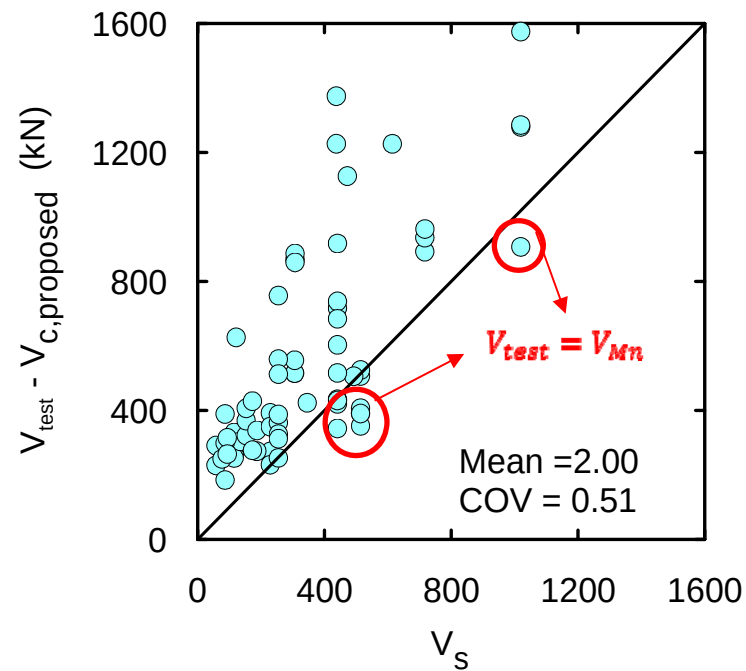


剪力鋼筋抗剪力有效承擔混凝土開裂造成之力量重分配

最少剪力鋼筋量驗證



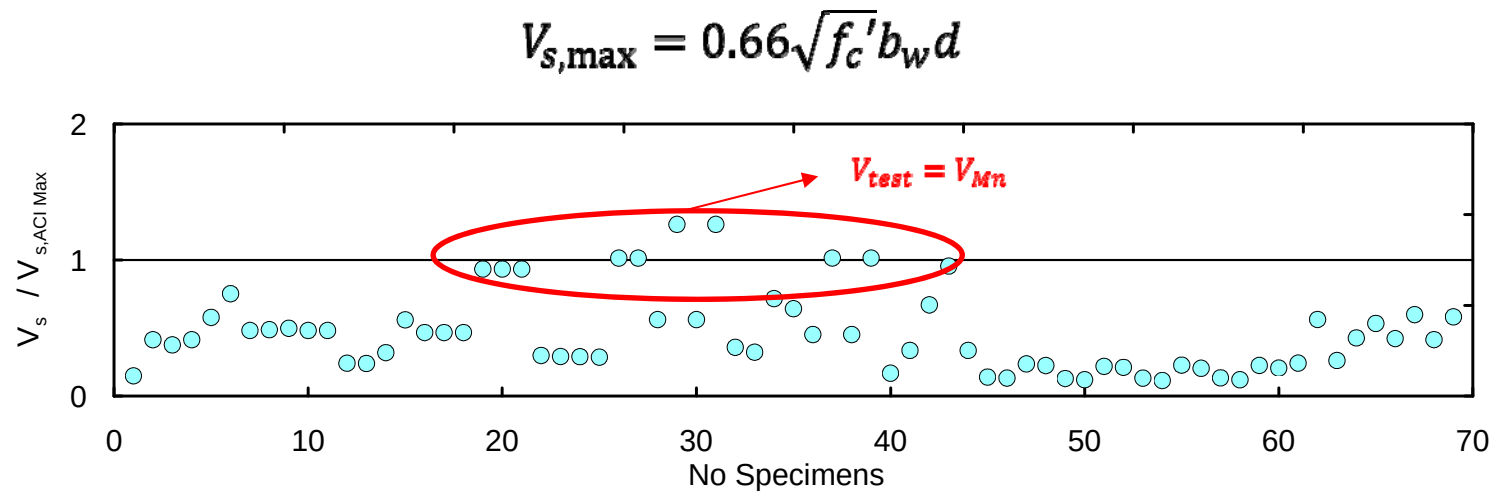
剪力鋼筋抗剪強度



$$V_s = \frac{A_v}{s} f_{yt} d \text{ and } f_{yt} \leq 600 \text{ MPa}$$

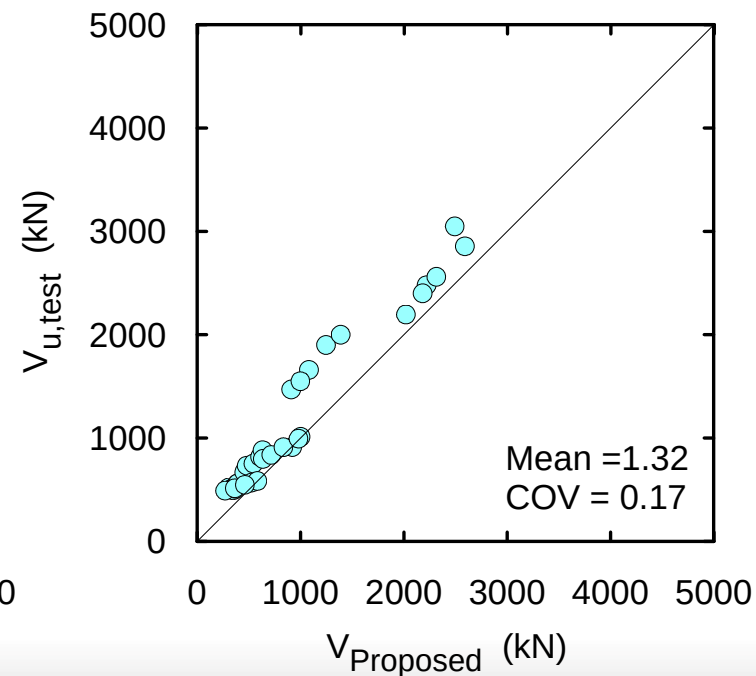
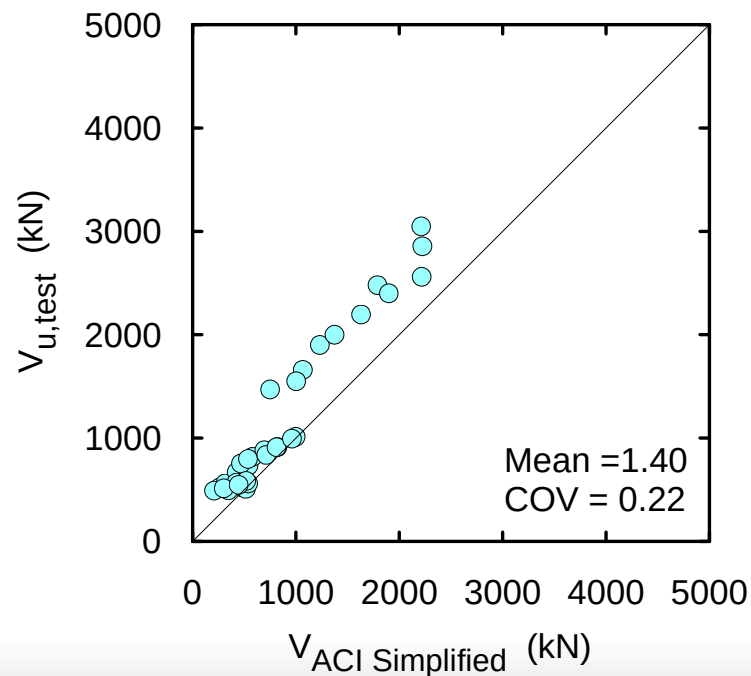
剪力鋼筋最大剪力強度

- $V_{s,max}$ 此上限值之訂定，為避免因剪力鋼筋過多，使得剪力鋼筋未達最大應力前，壓力區混凝土已先壓碎。



剪力強度公式驗證

- 現行規範剪力強度簡化式或建議之強度計算精確式可保守預測資料庫內試體之剪力強度。



簡報結束

敬請與會貴賓指教、提問給予我們寶貴之意見