



國立臺灣大學 National Taiwan University

高強度鋼筋混凝土（New RC）結構設計手冊研討會

高強度混凝土品質及控制 與添加鋼纖維之應用

廖文正

助理教授

國立台灣大學土木工程學系

詹穎雯*

教授

國立台灣大學土木工程學系





簡報大綱

- 高強度混凝土品質及控制
 - 材料
 - 材料之準備及貯存
 - 配比與試拌
 - 品質控制
 - 特殊用途規定
- 添加鋼纖維之應用
 - 取代高軸力底柱之圍束箍筋



高強度混凝土品質及控制



高強度混凝土品質及控制

- 適用範圍

本設計手冊之高強度混凝土，係指抗壓強度介於**700 kgf/cm²至1000kgf/cm²**之混凝土，除符合內政部營建署混凝土結構設計規範及結構混凝土施工規範中關於混凝土材料之一般規定外，尚須符合本節規定。



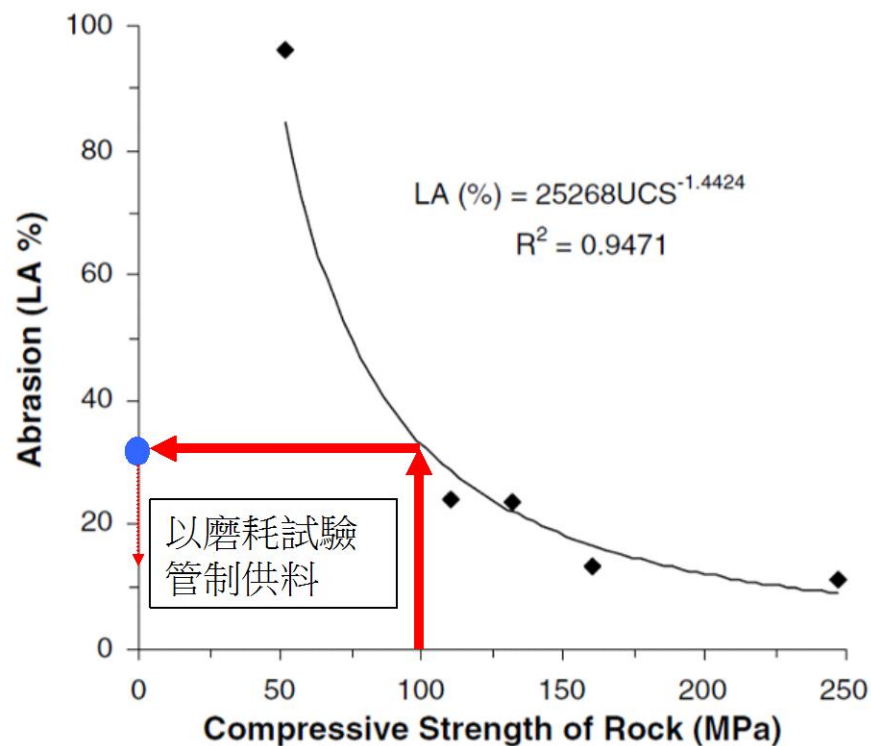
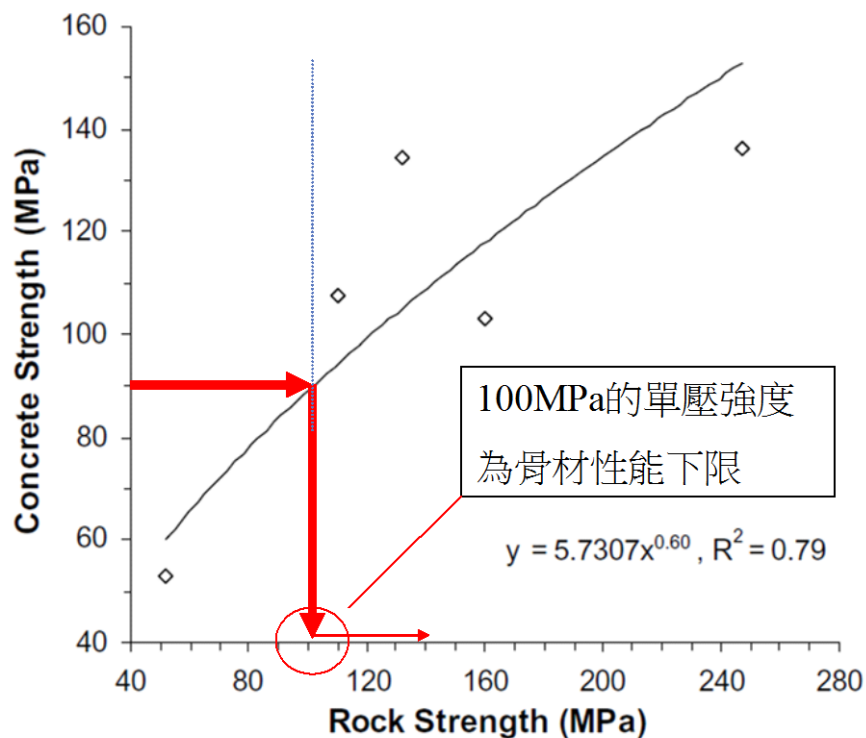
材料

- 強度混凝土須使用符合CNS 61〔卜特蘭水泥〕規定或經核可之水泥，並可使用化學及礦物類摻料，其品質須分別CNS 12283〔混凝土化學摻料〕、CNS 12549〔混凝土及水泥壩料用水淬高爐爐渣粉〕、CNS 3036〔卜特蘭水泥混凝土用飛灰及天然或煅燒卜作嵐摻和物〕及ASTM C1240矽灰之相關規定，所用摻料之性質及用量應報請監造單位核可。高強度混凝土所採用之粗細粒料均應符合CNS 1240〔混凝土粒料〕之規定，且**粗粒料之最大粒徑不宜過大**，且顆粒堅硬並具級配良好者，細粒料之細度模數宜在2.7~3.1間。



材料

- 除要求粗細粒料皆為含泥量較低之潔淨粒料外 (含泥量不宜超過1%)
，並宜使用粒徑較小之**粗粒料**，以**12.5 mm**以下為宜。粗粒料之**洛杉磯磨耗測試數值**宜小於**25%**、硫酸鈉健度試驗損失量宜小於5%。





材料之準備及貯存

- 高強度混凝土各原材料應分隔貯存不得混雜或析離，貯料倉筒並應標示以利識別。任何材料應妥為貯存，若有受損壞、污染或變質者均不得使用。**粒料應以獨立密閉料艙儲放**，避免不同尺寸粒料或與其他物料摻混，以**利控溫及拌和含水量**之管控。



材料之準備及貯存

粗細粒料以密閉料倉儲存，嚴格控制水份





材料之準備及貯存

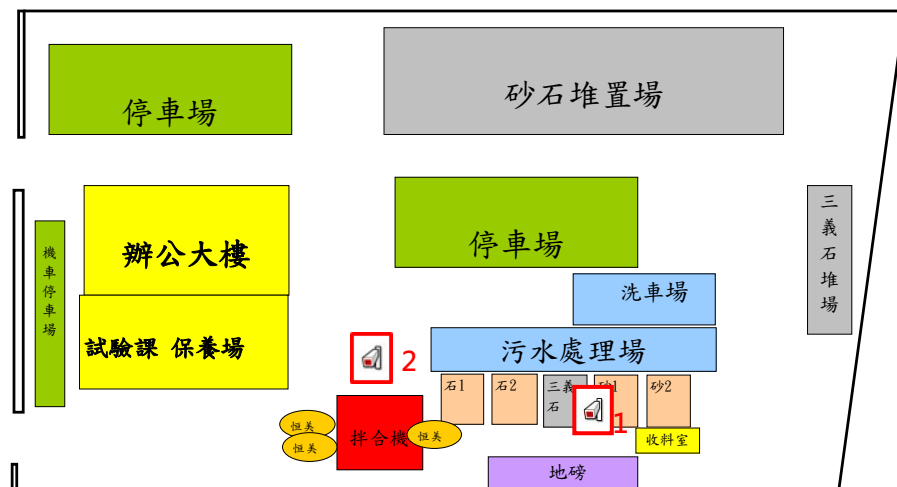
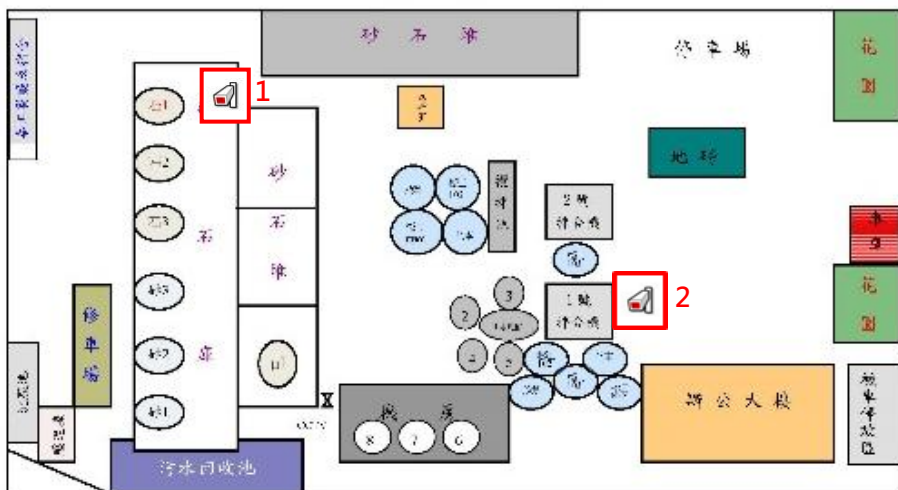
粗細粒料以密閉料倉儲存，嚴格控制水份

- 砂石品質分析
- 使用噴霧設備，保持含水量穩定
- 砂石分倉儲存



材料之準備及貯存

1. 混凝土供應商以獨立料倉於施工前入倉堆置，由駐廠人員取樣
2. 粗料粒進料出料系統管制，記錄含水率，重新計算拌和水量



進料監視系統管制:

- 全程監視系統監控
- 控制盤定位進料



出料監視系統管制:

- 配比由電腦設定料倉
- 使用量每日回饋

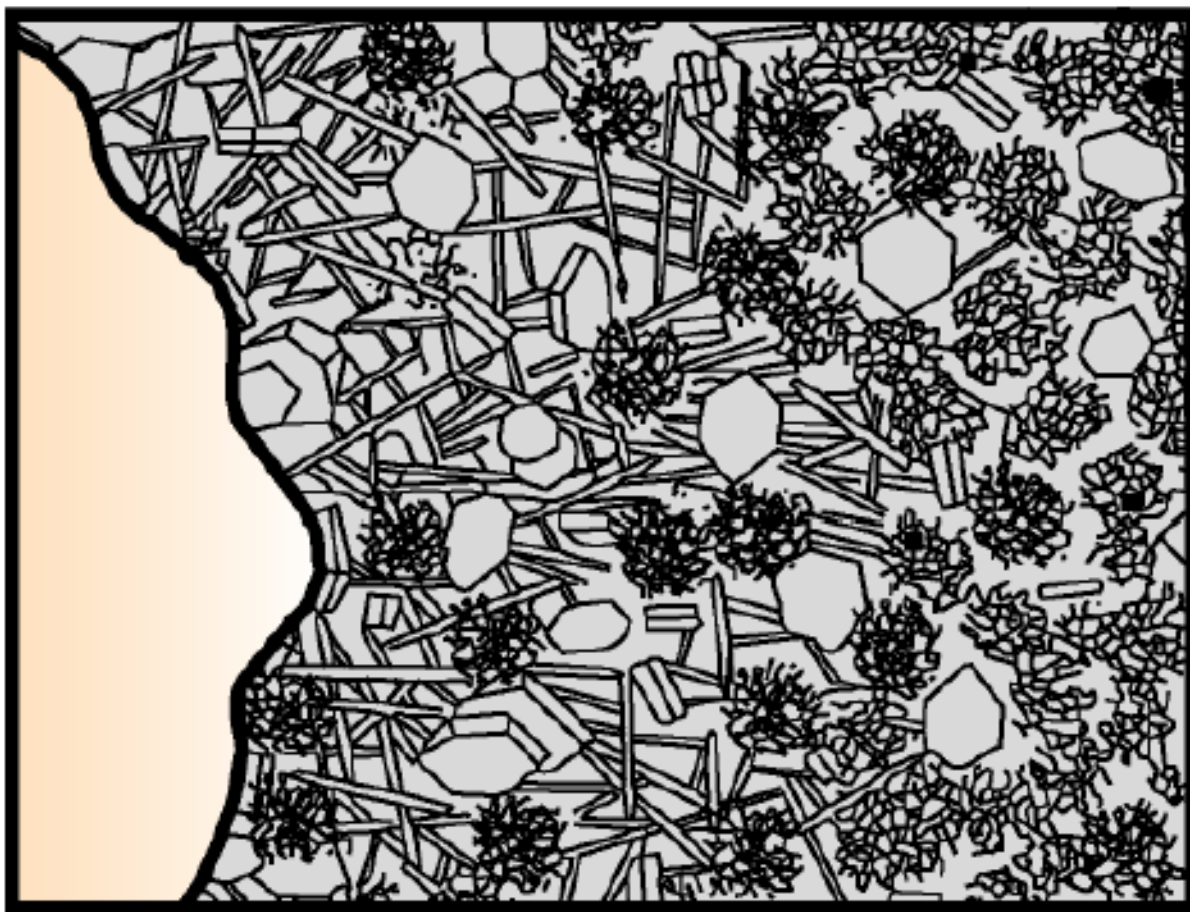


配比與試拌

- 高強度混凝土之水膠比宜在**0.30**以下，其工作性可利用化學藥劑調整之，並應按相關規定試拌，以決定配比。為**強化漿體及粒料間之過渡區性質，建議可採二次攪拌製程**。供料商進行試拌時，應量測建立配比之1、7、28、56、91天齡期之**強度發展及彈性模數**送交審核。



配比與試拌



粒料性質

Aggregate

過渡區性質

Interfacial
Transition Zone

漿體強度

Bulk
Cement Paste



配比與試拌

- 漿體強度

1. 使用新型高性能減水劑

- 由於超高強度混凝土中的用水量較一般普通混凝土降低許多，爲了維持適當的工作性，此類新型的超高效減水劑具有良好的流動性、高減水率（減水率大於30%）、坍保效果佳。目前以羧酸系與氨基磺酸鹽系兩大類減水劑為主。

2. 降低水膠比

- 爲了盡量減少混凝土中50nm孔洞的數量，水膠比將控制在0.38以下，當製產10000 psi混凝土時，水膠比更需要控制在0.3以下。

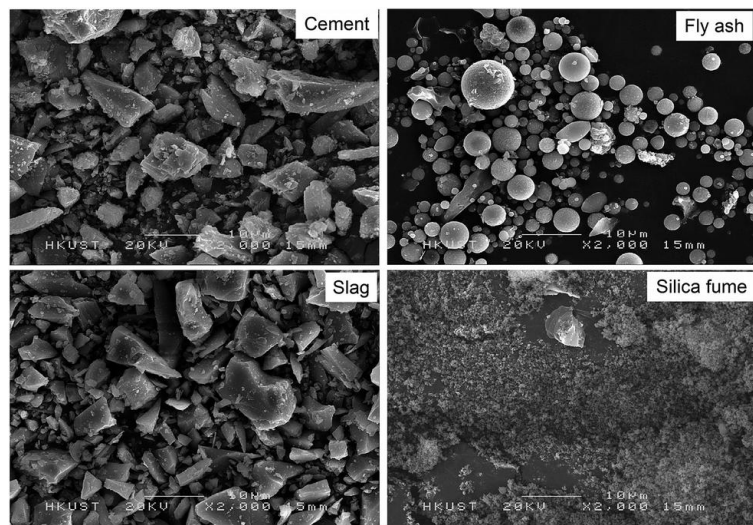


配比與試拌

- 漿體強度

3. 使用超細礦物摻料

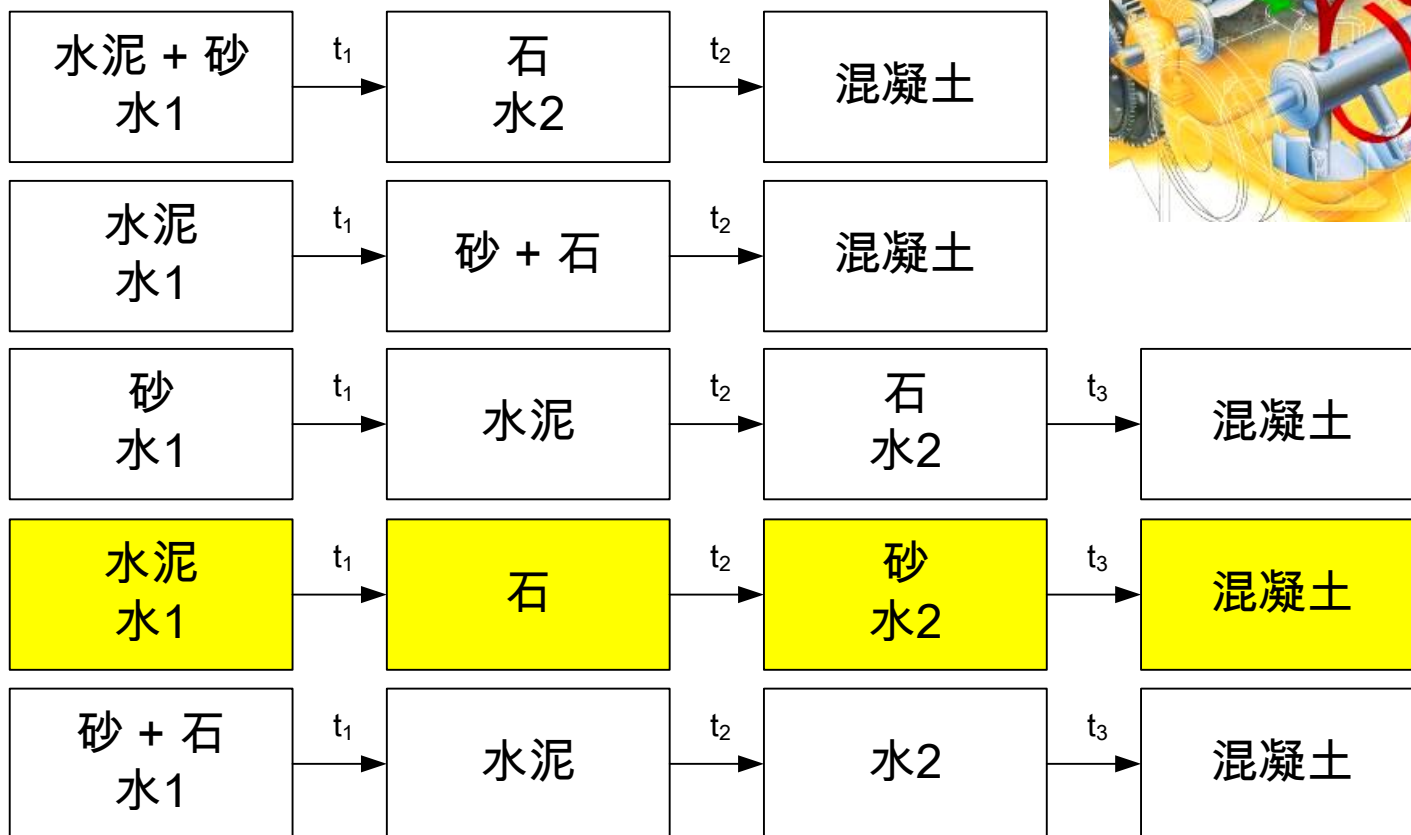
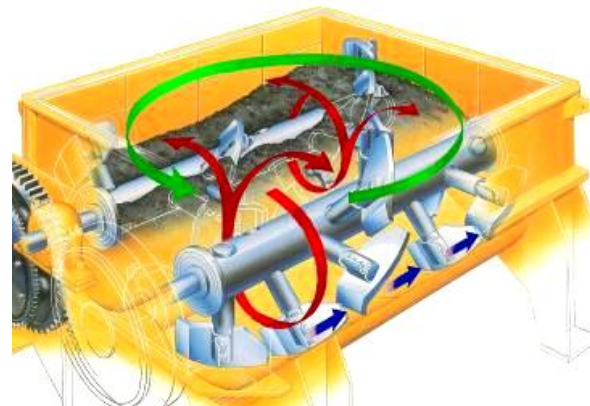
- 目前超細礦物摻料的比表面積可從 $6000\text{cm}^2/\text{g}$ 到 $15000\text{cm}^2/\text{g}$ 以上，有矽灰、120級以上超細爐石粉、超細粉煤灰、超細沸石粉、超細稻殼灰、超細石灰石粉等。此類礦物摻料因為具有卜作嵐活性反應，顆粒粒徑小，具有極大的比表面積，故能填充混凝土中細微的空隙，並快速增加C-H-S膠體數量，降低混凝土中孔隙率，增加緻密度。



配比與試拌

- 過渡區性質的**強化**

二次攪拌製程使**混凝土介面過渡區**的**粘結強度**得到了改善。





配比與試拌

- 過渡區性質的**強化**

配比實際案例 (潤泰台北南山廣場, 15000psi)

與一般強度 SCC 差別

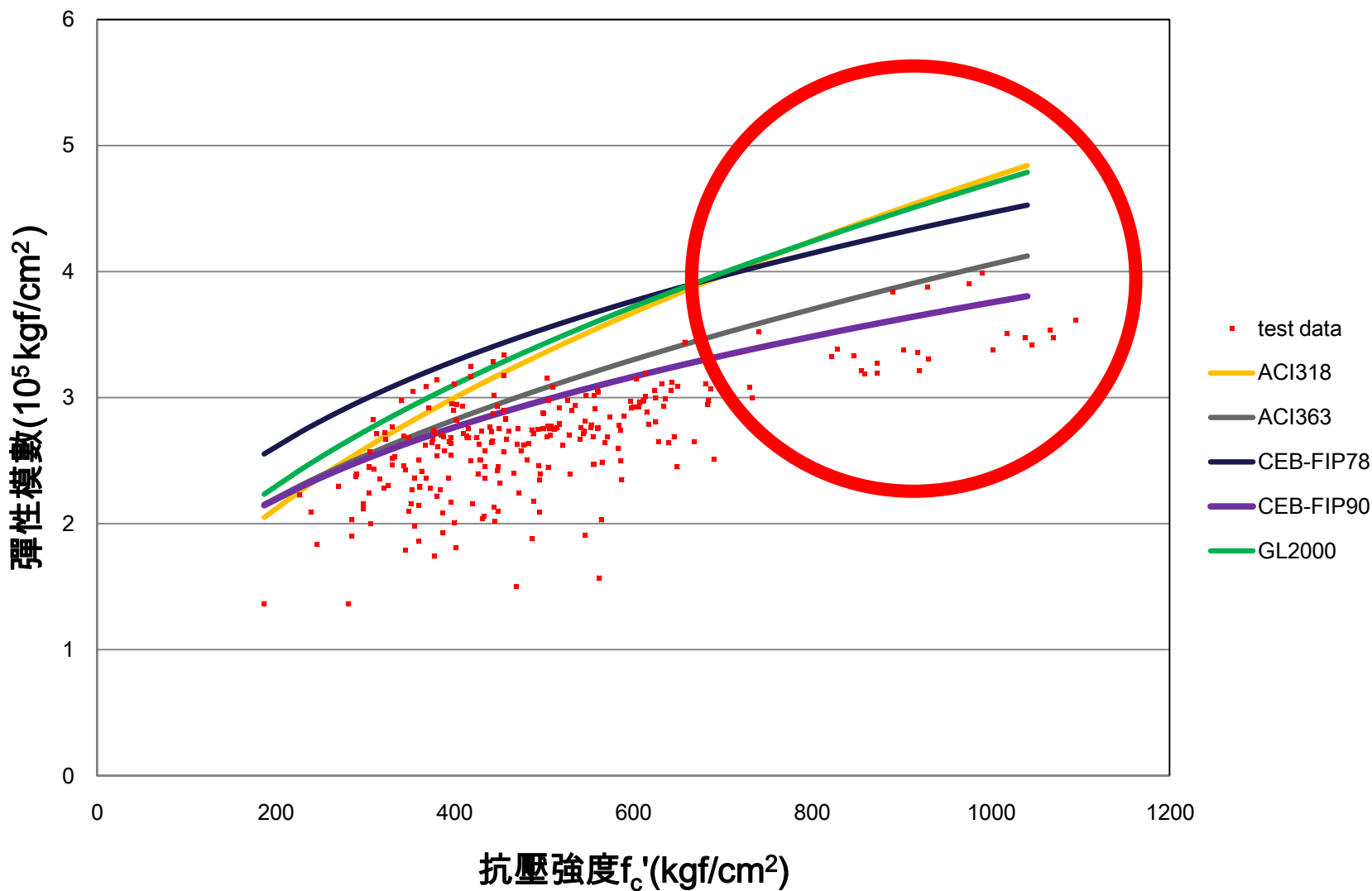
1. 拌和時間**220~240秒** (較一般SCC長60秒)
2. 穩定安培值為**34安培** (較一般SCC高2A)
3. 每小時可供應混凝土量**24m³** (較一般SCC低約10m³)
4. 量產無虞

混凝土溫度 °C	流度 cm	空氣含量 %	U型充填 cm	V漏斗時間 sec
25	65	2.6	33.5	15



配比與試拌

各國規範彈性模數公式





品質控制

- **高強度混凝土產製前六個月內，承包商須擬訂品質保證計畫**，針對料源、材料品質控制、配比設計、施工控制、施工技術、機械、品管設備、組織及執行方式、補救措施等，提出詳盡規畫並經核可後執行，以確保混凝土原料及施工品質。



品質控制

粒源管制

長期、定期，留樣取樣（顏色，表面等物化性）及確認來源

- 不同區域確有差異
- 用檢驗以管制料源
- 每二週要求混凝土供應商取樣送驗，建立粒料物化性資料庫

Sample:	力泰樣品	
Compound	Value	Unit
SiO ₂	84.917	%
Al ₂ O ₃	13.629	%
Fe ₂ O ₃	5.45	%
CaO	0	%
MgO	1.396	%
SO ₃	0.349	%
K ₂ O	1.628	%
Na ₂ O	0.721	%
P ₂ O ₅	0.064	%
TiO ₂	0.643	%
SrO	0.027	%
MnO	0.08	%

Sample:	國產樣品 3/25	
Compound	Value	Unit
SiO ₂	83.988	%
Al ₂ O ₃	13.961	%
Fe ₂ O ₃	7.107	%
CaO	0	%
MgO	1.731	%
SO ₃	0.346	%
K ₂ O	1.653	%
Na ₂ O	0.752	%
P ₂ O ₅	0.056	%
TiO ₂	0.74	%
SrO	0.022	%
MnO	0.133	%

Sample:	國產樣品 2/12	
Compound	Value	Unit
SiO ₂	85.826	%
Al ₂ O ₃	11.542	%
Fe ₂ O ₃	4.458	%
CaO	0	%
MgO	1.042	%
SO ₃	0.317	%
K ₂ O	1.308	%
Na ₂ O	0.951	%
P ₂ O ₅	0.054	%
TiO ₂	0.54	%
SrO	0.028	%
MnO	0.097	%

Sample:	RUENTEX 3/27	
Compound	Value	Unit
SiO ₂	9.23	%
Al ₂ O ₃	2.458	%
Fe ₂ O ₃	0.224	%
CaO	86.254	%
MgO	0.892	%
SO ₃	0.184	%
K ₂ O	0.119	%
Na ₂ O	0.093	%
P ₂ O ₅	0.026	%
TiO ₂	0.082	%
SrO	0.111	%
MnO	0.028	%



品質控制

供應料源訪查

1. 砂石場勘查



2. 疏濬未破碎粒石



3. 未破碎石進料口



4. 大破—顎碎機



5. 中碎機→細碎機



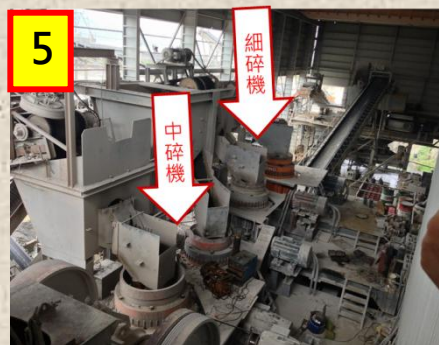
6. 泥砂分離機



7. 篩分碎石



8. 完成品3分石粒料





品質控制

粒料管制

原料料源

- ◆ 水泥
- ◆ 矽灰
- ◆ 無收縮添加劑
- ◆ 化學摻料
- ◆ 水

◆ 粒料

粒料進廠管制

- ◆ 產地
- ◆ 淘洗去除表面污泥
- ◆ 專用料倉
- ◆ 設置監控錄影機
- ◆ 分批進場、分批檢驗、粒料物化性質驗證
 1. S.S.D比重
 2. 吸水率
 3. 洛杉磯磨損率
 4. 硫酸鈉健度試驗
 5. 扁平、細長、扁平率
 6. 篩分析

◆ 粒料使用量控管紀錄

生產管制

- ◆ 配比設計、廠試拌
- ◆ 根據粒料含水率，重新計算拌和水量
- ◆ 供料前一天(駐廠)
 1. 取樣作化性
 2. 留樣作物性
- ◆ 供料當天(駐廠)
 1. 每車次進行坍流度試驗
 2. 每車次T50坍流時間
 3. 塑性沈降量量測<1mm
 4. 每100m³製作膨脹率試體

施工管制



特殊用途規定

- 高強度混凝土如需其他性能，如高流動性、無收縮柱內灌漿或添加纖維等，則須另符合相關規定。



特殊用途規定

- 如應用於**鋼柱內無收縮充填**，因其高粉體量及低水膠比特性，易產生大量**自體收縮及塑性沈陷**，故應就其**91天齡期試體膨脹率**、**24小時泌水率**及**24小時試體塑性沈降量**，分別依**CNS C14603**、**CNS 1235**、**JASS 5T-503:2009**等規定辦理試驗，並於合約中載明相關品質要求，其混凝土用膨脹材料（無收縮性水泥化學摻料）應符合**CNS 10641**或**ASTM C845**之規定。

試驗項目	品質要求	試驗方法
91天齡期試體膨脹率	$(0.04 \pm 0.02) \%$	CNS C14603
24小時泌水率	$<0.02 \text{cm}^3/\text{cm}^2$	CNS 1235
24小時試體塑性沈降量	2mm以下	JASS 5T-503:2009



添加鋼纖維之應用



The figure consists of a stress-strain graph and a schematic diagram of a concrete cylinder. The graph plots compressive stress f_c on the vertical axis against compressive strain ϵ_c on the horizontal axis. Two curves are shown: a black curve for High-Strength Concrete (HSC) and a green curve for Normal-Strength Concrete (NSC). The HSC curve starts at the origin with a slope E_c , reaches a peak stress f'_c at strain ϵ_o , and then descends. The NSC curve also starts at the origin with a lower slope, reaches a peak stress of $0.45 f'_c$ at strain ϵ_{ult} , and then descends. The tensile strength f_t is marked on the negative stress axis. To the right of the graph, a schematic of a concrete cylinder is shown under axial compression, with arrows indicating the applied load. The text 'High S' and 'Early' is partially visible on the right side of the image.

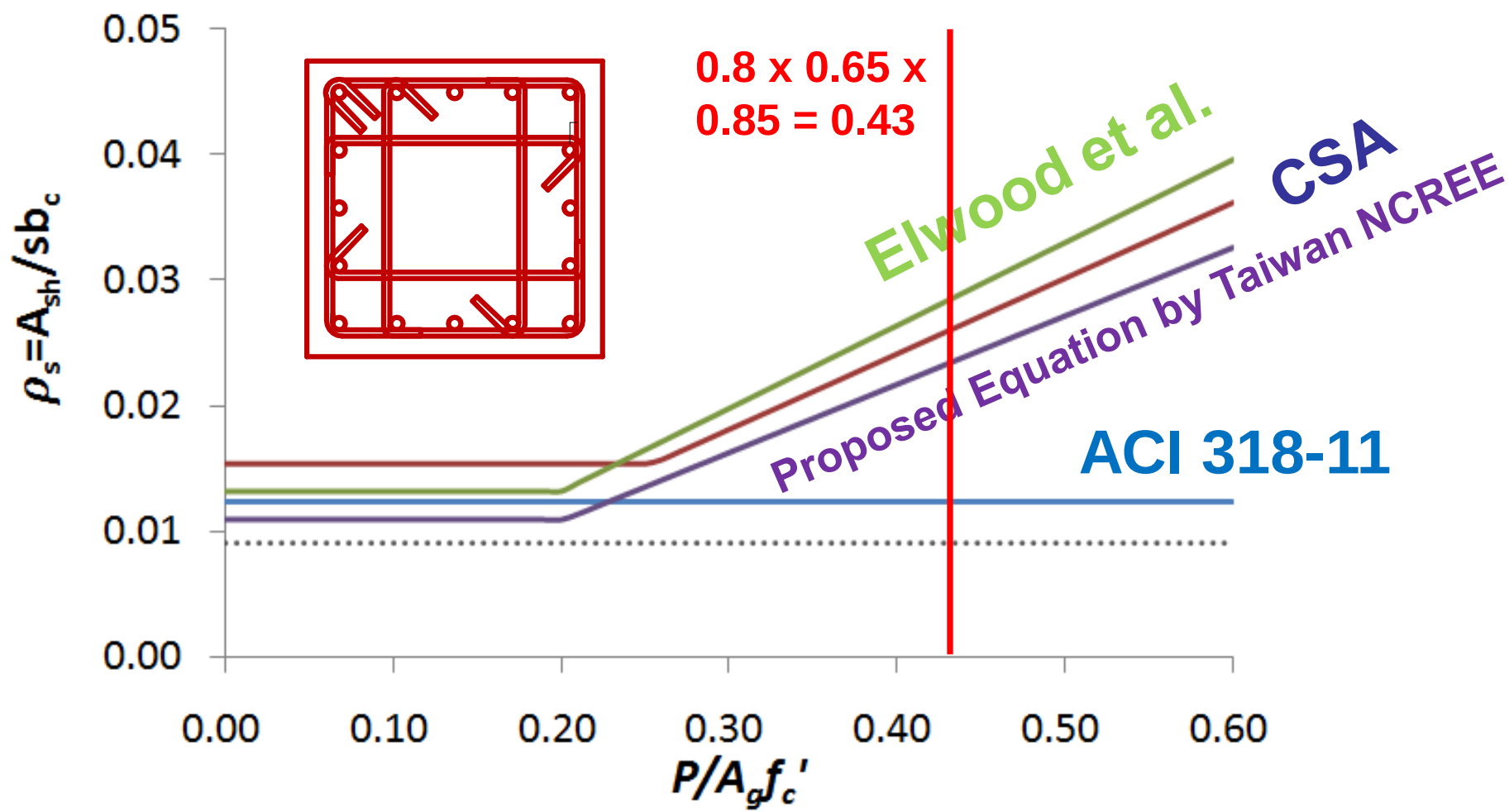
- **Brittle**
- **Less Deformation Capacity**

Early spalling and brittle failure



Background and Objective

The required transverse reinforcement calculated according to ACI 318-11 DO NOT consider different axial loading levels → UNSAFE for HSC ! !





Background and Objective

Alternative solution: Fibers



$V_f = 0\%$

brittle



$V_f = 0.75\%$



$V_f = 1.0\%$



$V_f = 1.5\%$

less major cracks



Highly Flowable Strain Hardening Fiber Reinforced Concrete (HF-SHFRC)



Main Obstacles for Fiber Reinforced Concrete

1. Workability
2. Mechanical performances is not as good as expected.

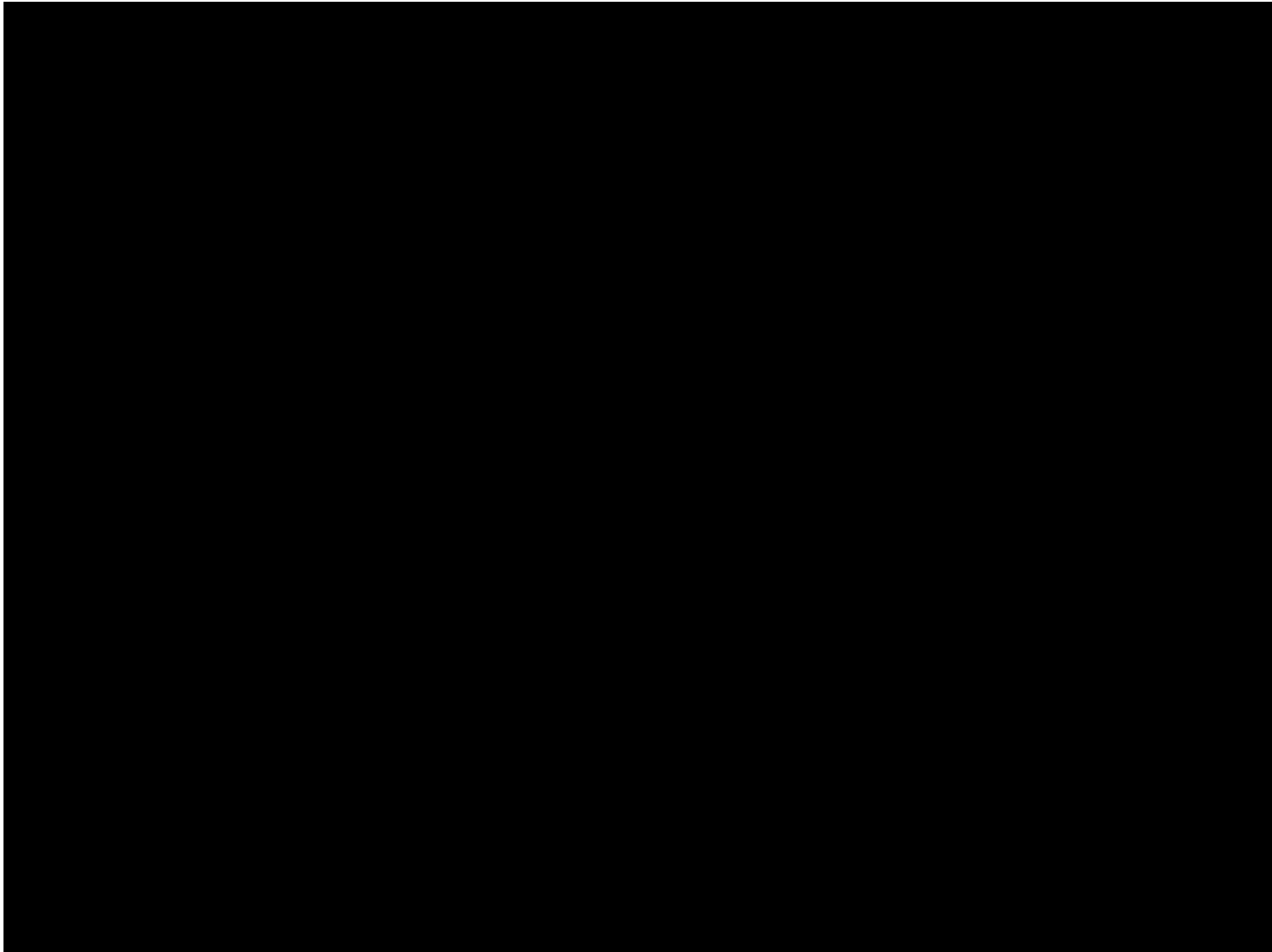
Sol:
**Highly Flowable Strain Hardening Fiber Reinforced
Concrete,
HF-SHFRC**

3. No main advantages on usual structural applications.

Sol:
New RC project, bridge piers, columns and etc.



HF-SHFRC



HF-SHFRC

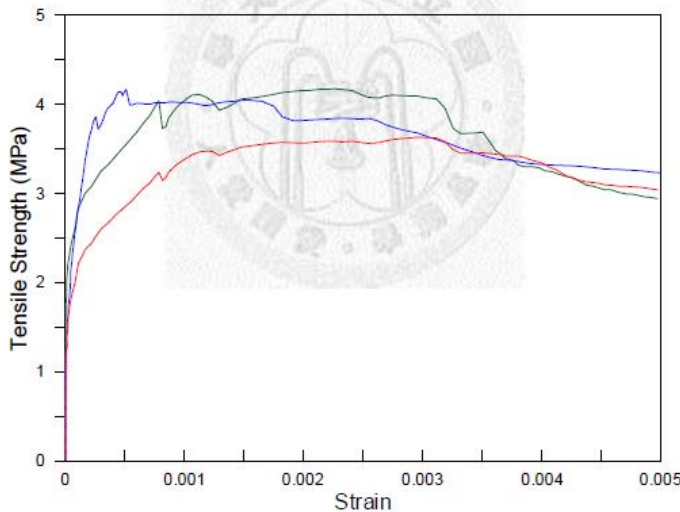


圖 5-12 C30 直接拉力應力應變圖 (0.5%)

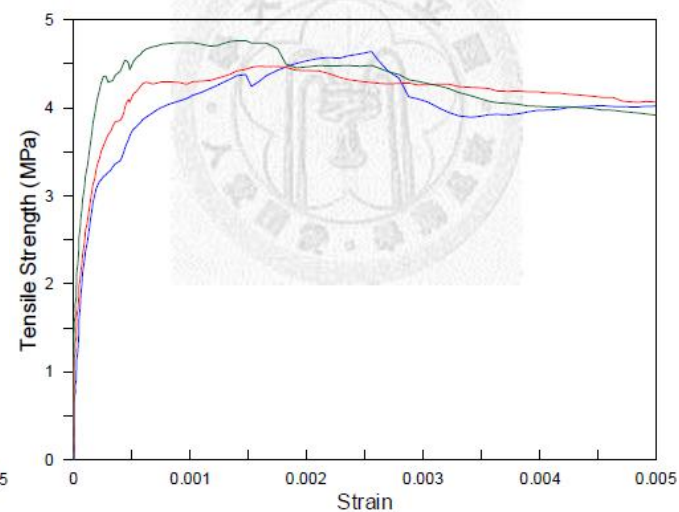


圖 5-14 C40 直接拉力應力應變圖 (0.5%)

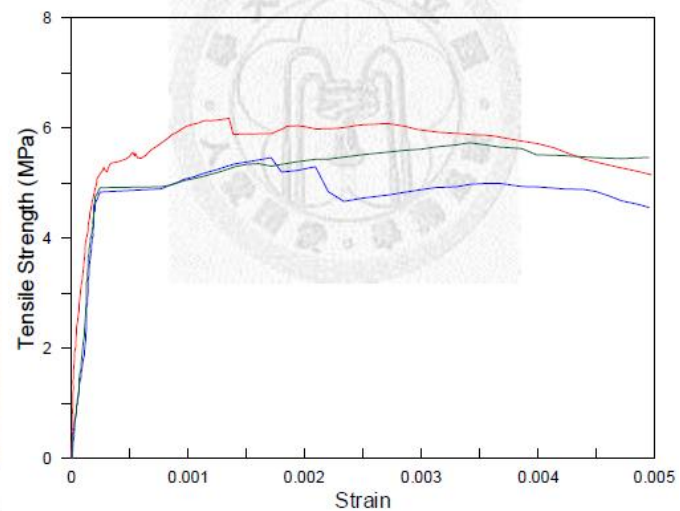


圖 5-16 C50 直接拉力應力應變圖 (0.5%)

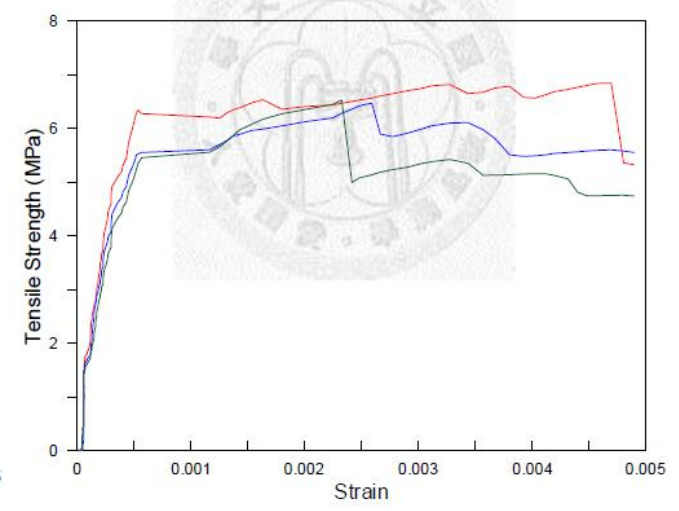


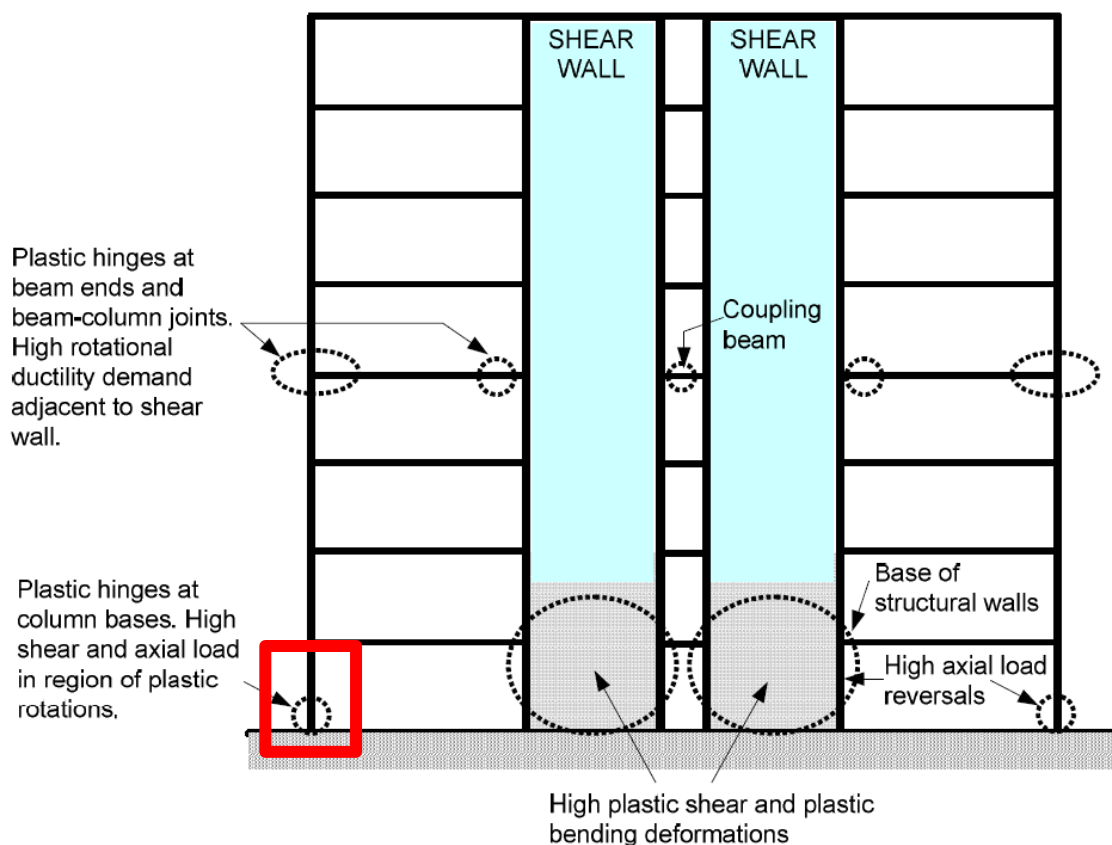
圖 5-18 C60 直接拉力應力應變圖 (0.5%)





Advantages in Structural Applications

Taiwan New RC project (NSC, NCREC)



Bridge Engineering
(also high strength concrete and reinforcement, NEW RC)

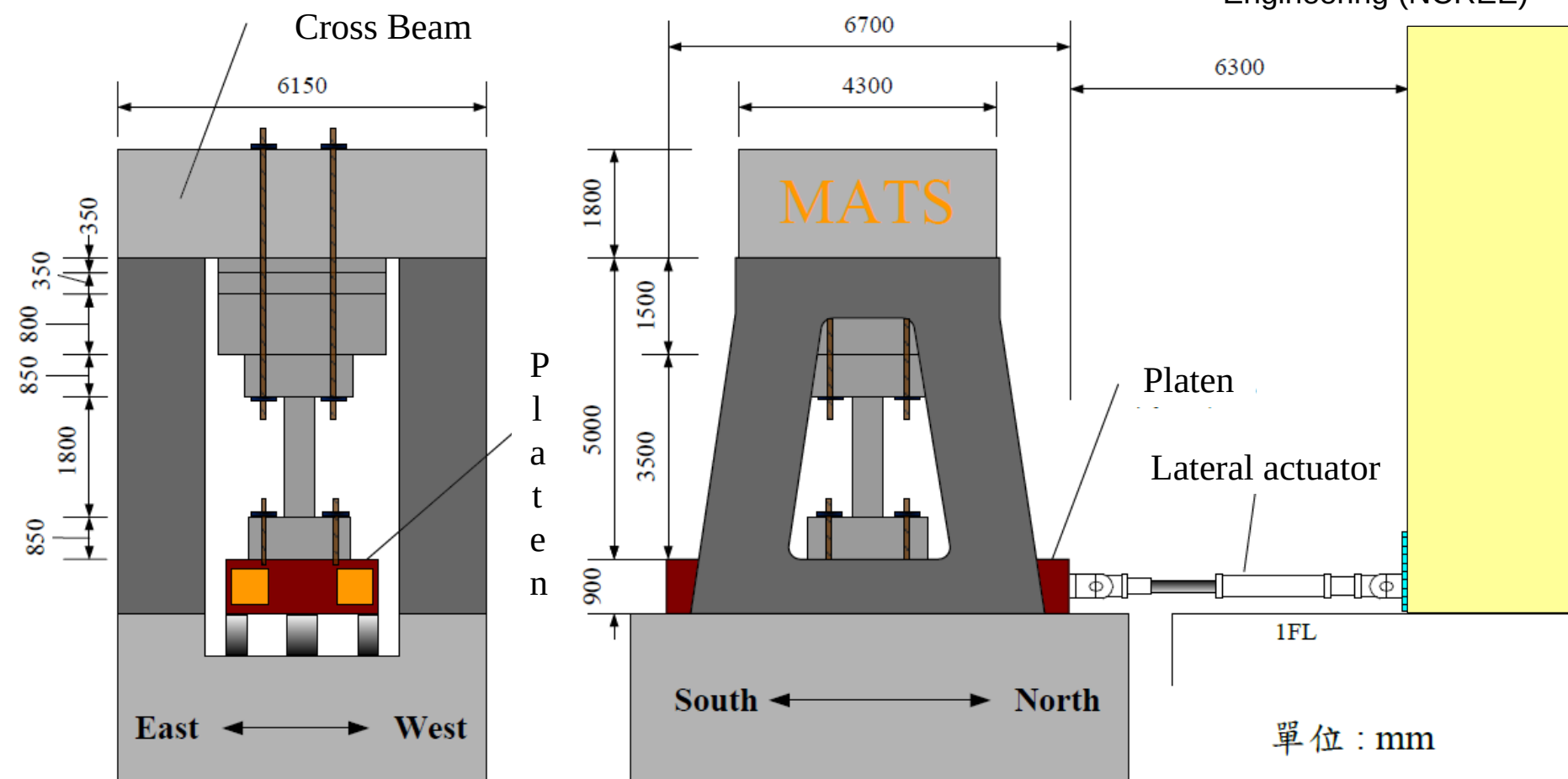


Experimental Program

Multi-Axial Resting System (MATS)

Axial loading capacity: up to 60 MN

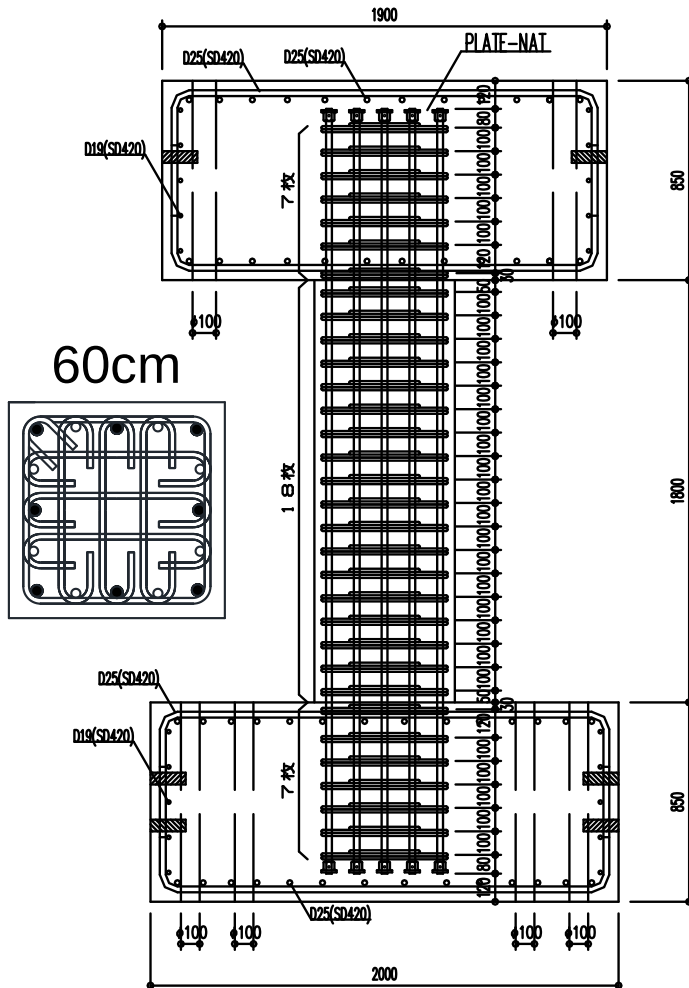
National Center for
Research on Earthquake
Engineering (NCEE)





Experimental Program

Specimen: 600 x 600 x 1800 mm

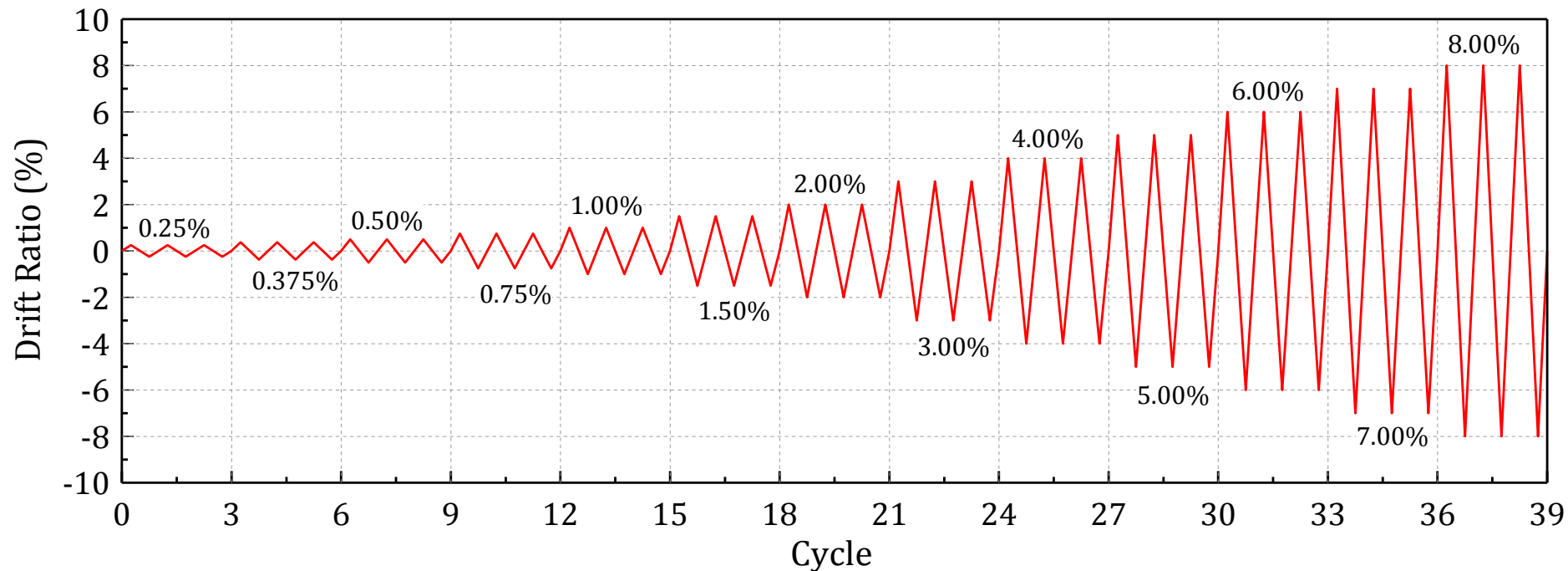


1. Double Curvature
2. Aspect ratio is 3 only



Experimental Program

Loading Protocol



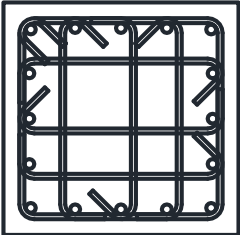
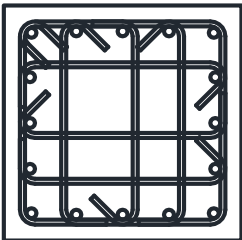
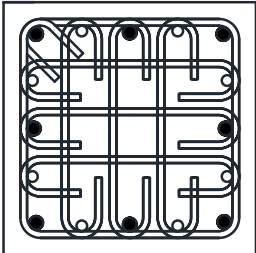
Ref: ACI Committee 374, "Acceptance Criteria for Moment Frames Based on Structural Testing and Commentary(ACI 374.1-05)," American Concrete Institute, 2006.

Passing Criteria:

Ultimate drift ratio, UDR (drift ratio corresponding to 80% Max lateral capacity) > 3.0%



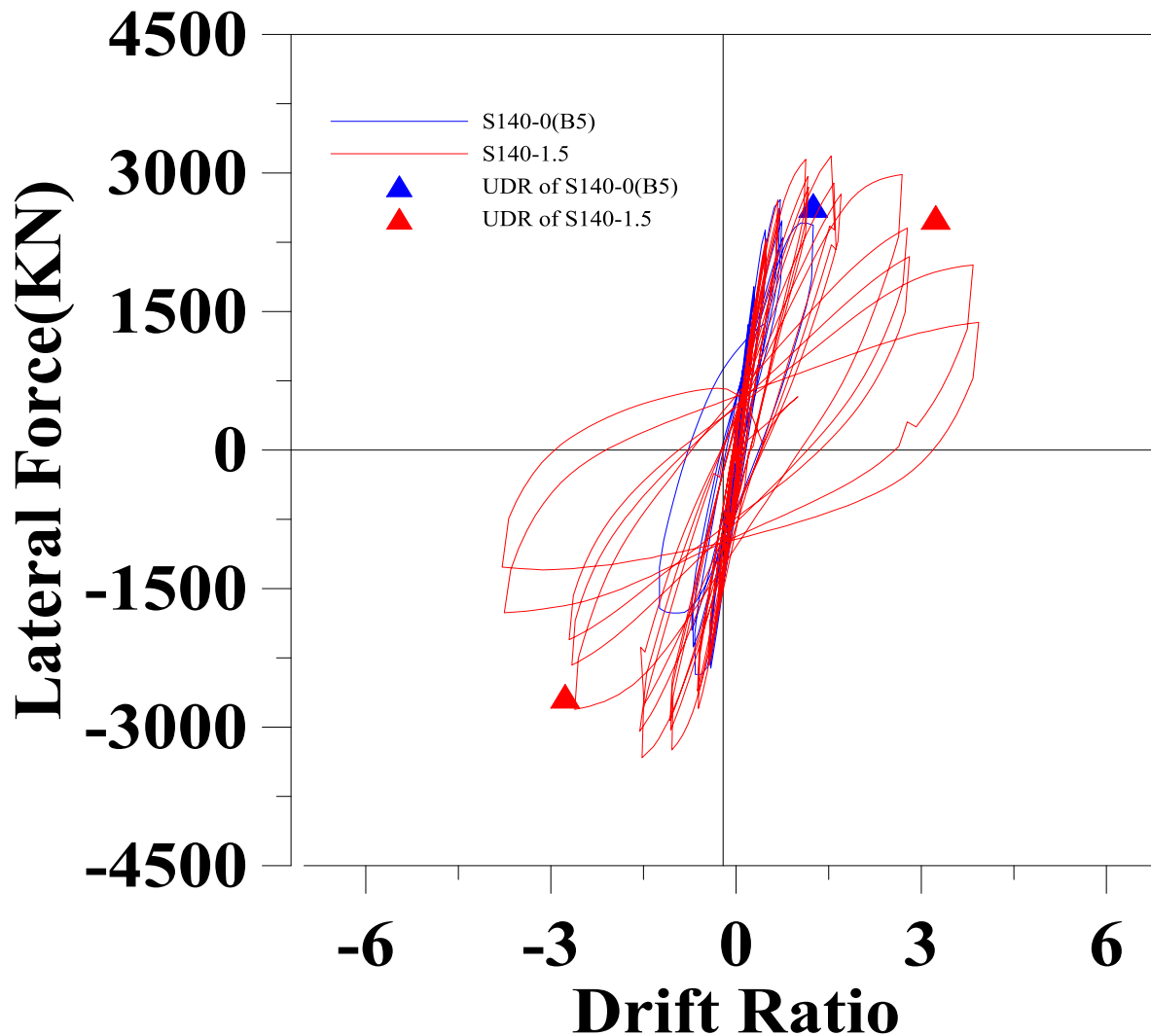
Experimental Program

No.	Section	ρ_s (%)	f'_c (MPa)	f_{yl} (MPa)	f_{yt} (MPa)	s (mm)	$\frac{P}{A_g f'_c}$	TR
S140-0 (ACI 318-11)		0.87	83.4	#8, SD685	#4, SD785	140	0.57	0.71
S140-1.5		0.87	73 ($V_f = 1.5\%$)	#8, SD685	#4, SD785	140	0.57	0.80
S260-1.5		0.73	72 ($V_f = 1.5\%$)	#8, #10, SD685	#5, SD785	260 ($d/2$)	0.43	0.80



Test Results

S140-0 (UDR: 1.25%) VS. S140-1.5 (UDR: 3.23%)

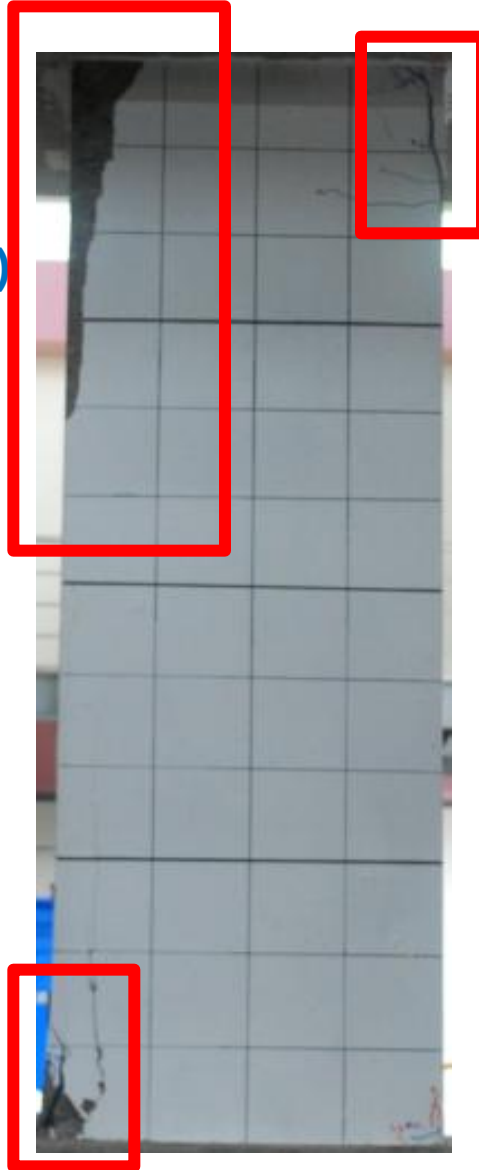




Test Results

Drift ratio: 1.0%

S140-0
(Max
Lateral
Capacity)



S140-1.5

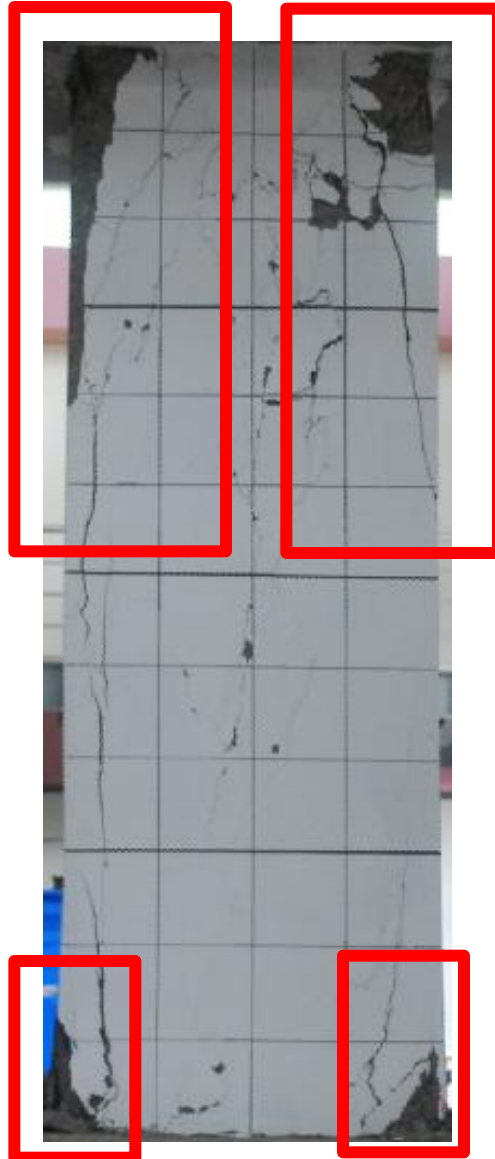




Test Results

Drift ratio: 1.5%

S140-0



S140-1.5
(Max
Lateral
Capacity)





Test Results

Failure

S140-0
(2nd cycle
of 1.5%)



S140-1.5
(4.0%)

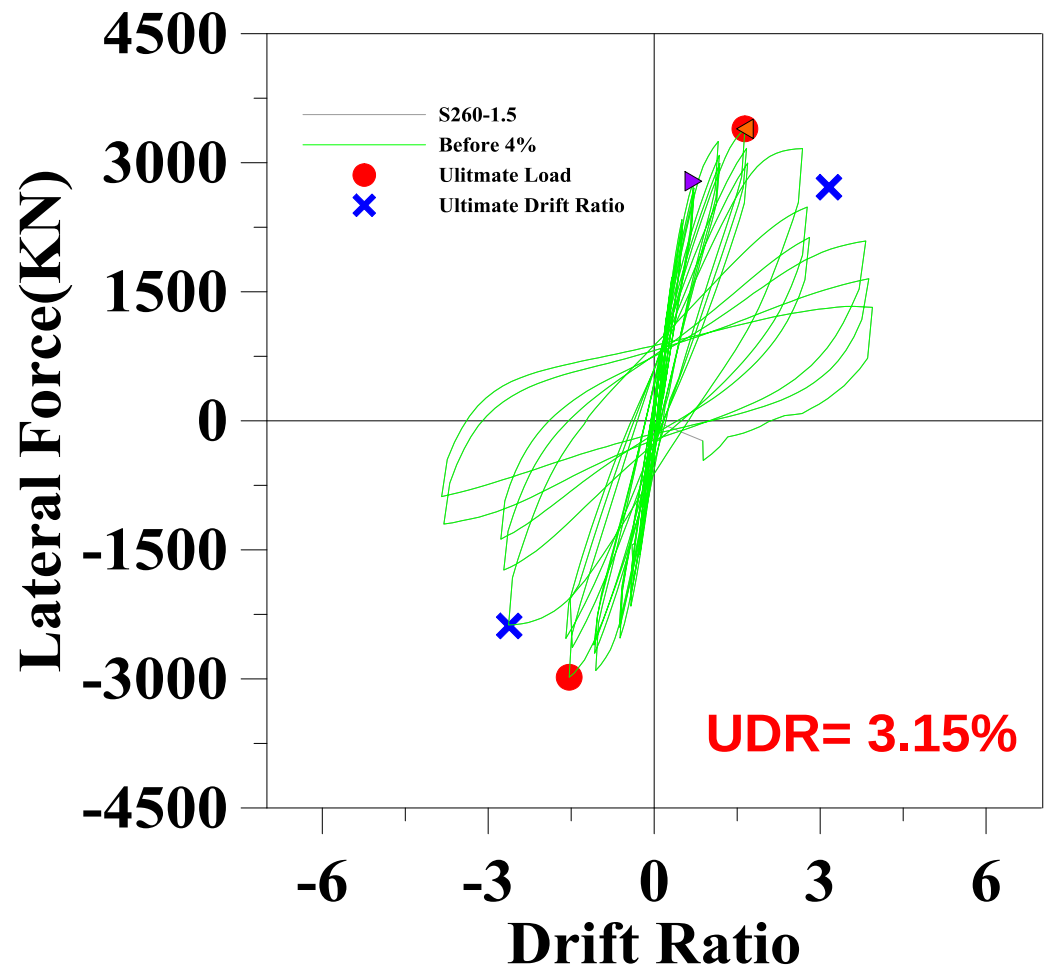




Test Results



S260 – 1.5 (stirrups spacing= $d/2$)





Conclusions

- (1) Addition of fibers provides **high ductility** to brittle concrete, particularly for high strength concrete (NEW RC)
- (2) The transverse reinforcement requirement in **ACI 318-11 seems not adequate for high strength concrete / under high axial loading** (S140-0).
- (3) Compared to HSC, HF-SHFRC presents **high toughness, damage tolerance and excellent shear capacity** while allowing **good workability**. The experimental results shows that addition of **fibers can be an effective alternative** for transverse reinforcement in NEW RC columns.
- (4) By **increasing the spacing to $d/2$ and under 0.43 axial loading level**, excellent performance and damage tolerance can be still observed in S260-1.5. It shows the **great potential** to apply **HF-SHFRC to NEW RC columns**.



Thank you ☺

詹穎雯

ywchan@ntu.edu.tw

廖文正

wcliao@ntu.edu.tw