

私有建築物耐震階段性補強作業技術講習會 暨觀摩活動(高雄場)

耐震階段性補強設計與案例分享

委託機關：內政部營建署

執行單位：財團法人國家實驗研究院國家地震工程研究中心

簡報者：賴昱志 專案助理技術師

109.09.08

www.narlabs.org.tw

簡報大綱

- 一. 階段性補強評估設計流程
- 二. 階段性A評估設計流程
- 三. 階段性B評估設計流程
- 四. 示範案例目前進度與概述
- 五. 設計方法於示範案例之應用
 - 案例一：階段性補強A(基準一)
 - 案例五：階段性補強A(基準二：模型分析法)
 - 案例二：階段性補強A(基準二：簡易設計法)
 - 案例四：階段性補強B
 - 案例三：完整補強

一. 階段性補強評估設計流程

二. 階段性A評估設計流程

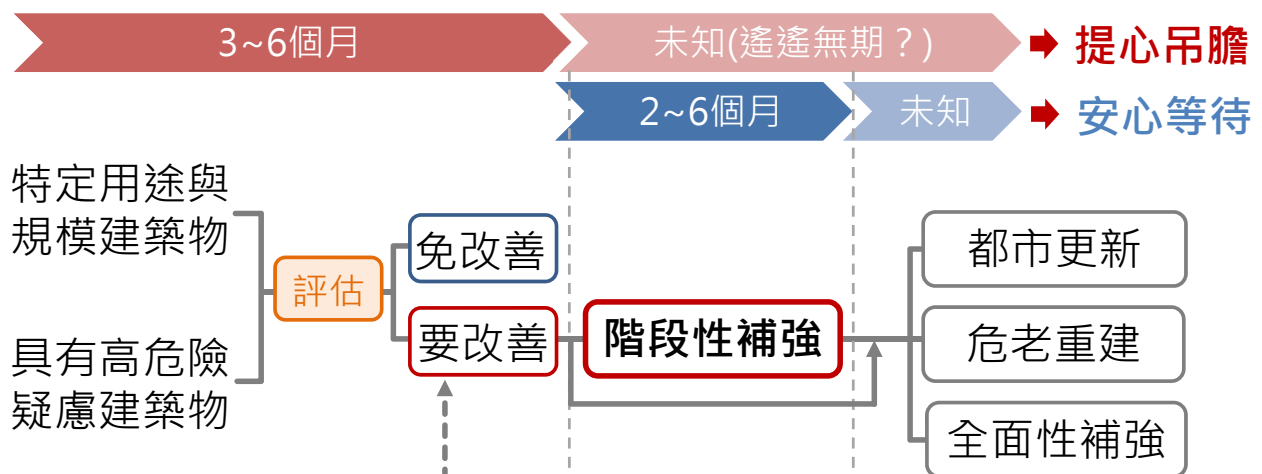
三. 階段性B評估設計流程

四. 示範案例目前進度與概述

五. 設計方法於示範案例之應用

- 案例一：階段性補強A(基準一)
- 案例五：階段性補強A(基準二：模型分析法)
- 案例二：階段性補強A(基準二：簡易設計法)
- 案例四：階段性補強B
- 案例三：完整補強

全國建築物耐震安檢暨輔導重建補強



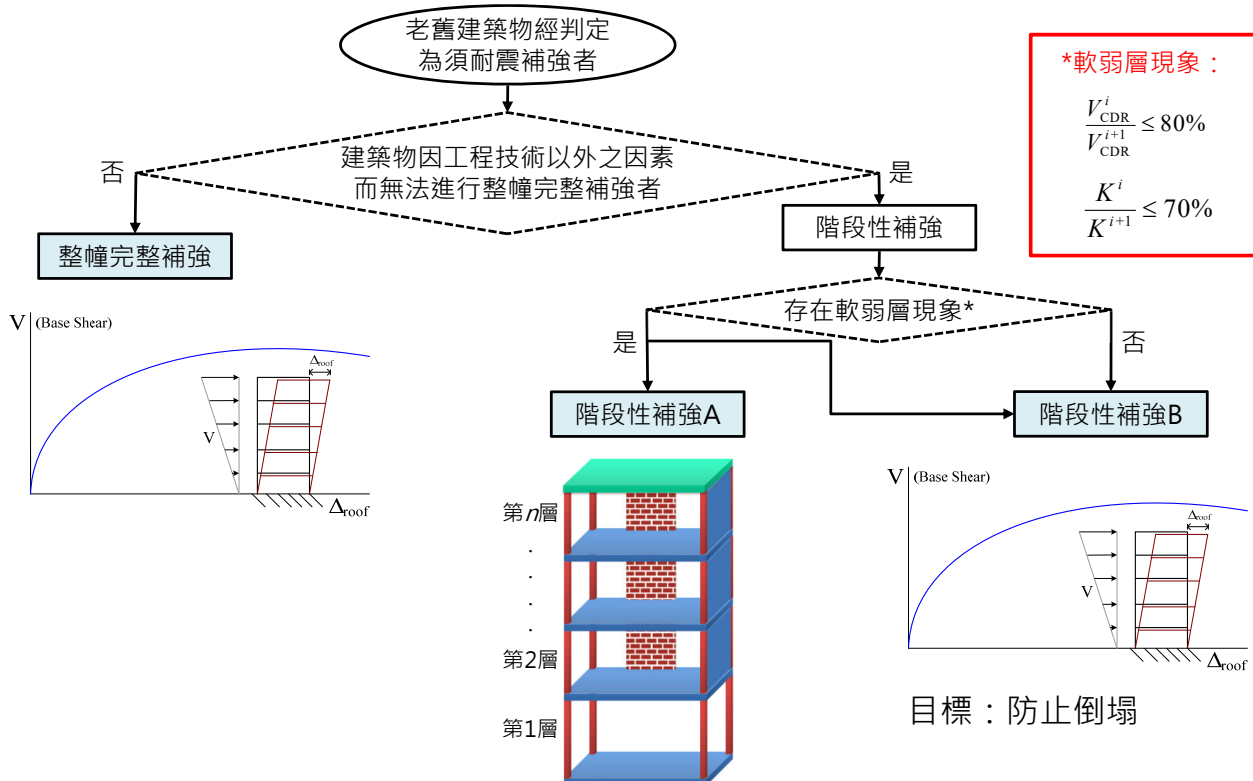
修正建築法第77條之1，增列構造安全不符現行規定者，應令其限期改善；逾期未依限改善者，依建築法第91條裁罰新臺幣六萬元以上三十萬元以下罰鍰，並得連續處罰

經評估後判定為須強制改善之建築物，在等待全數區分所有權人意見進行**完整補強**或**拆除重建**之前，可採取**階段性補強**提供短期應急的保護措施。

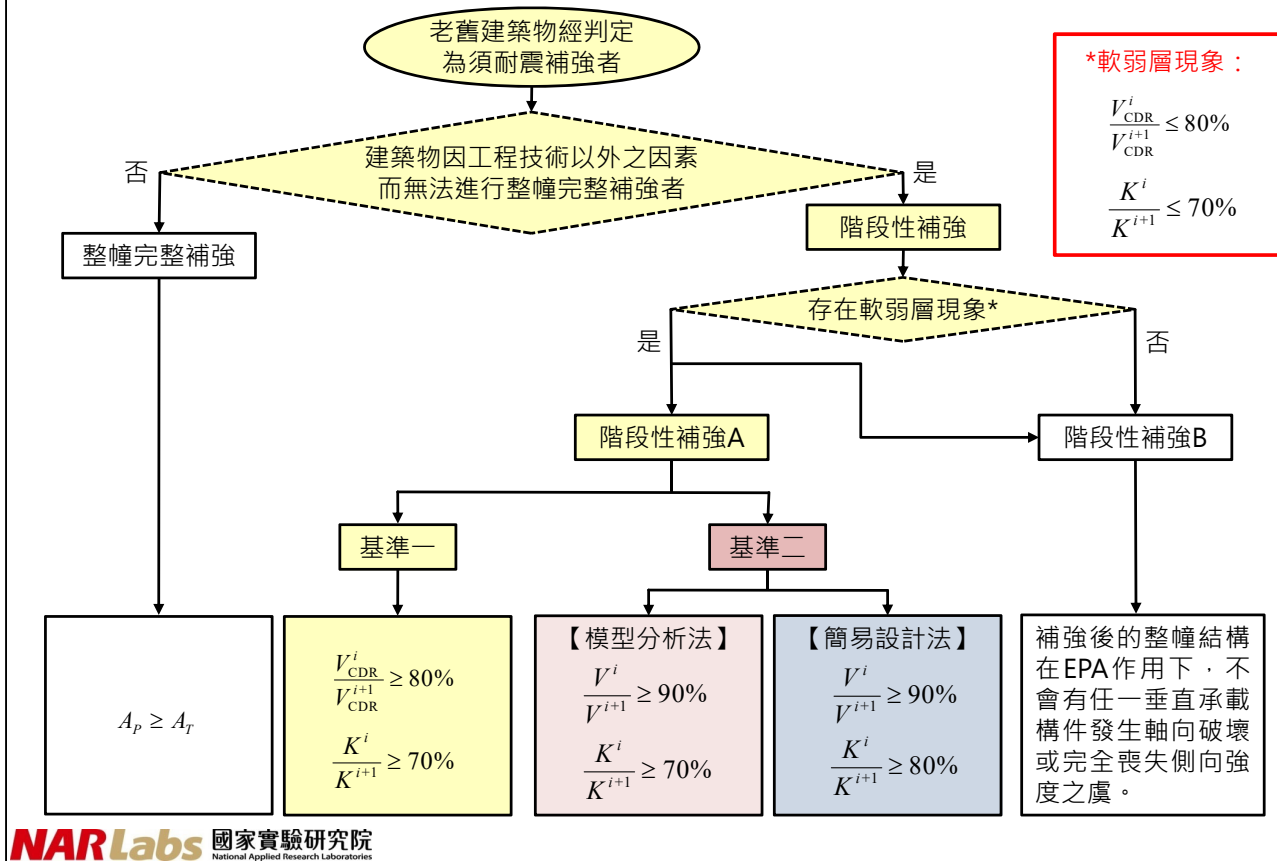
計畫目標

老舊建築物經耐震評估後，判定為危險者，可拆除重建或進行整幢完整補強，然而**因工程技術以外之因素而無法進行整幢完整補強者**，例如：**整合全數區分所有權人的意見同意進行拆除重建或整幢補強，現階段非常困難**，在達成全數區分所有權人的共識以前，可以採用階段性補強。

階段性補強性能目標

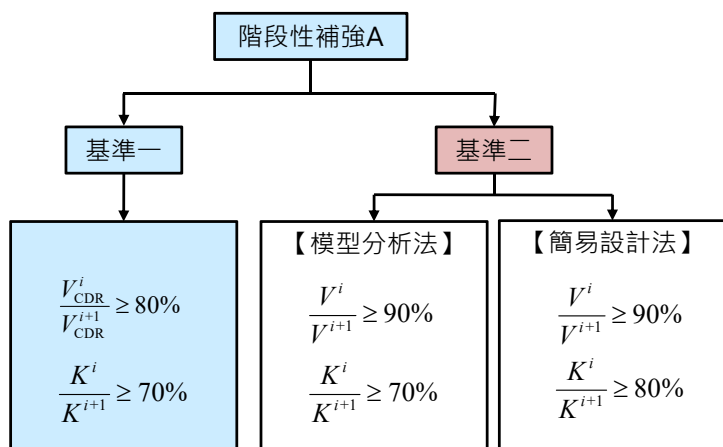


階段性補強性能目標



7

階段性補強A：降低補強施作層發生軟弱層集中式破壞風險



V_{CDR}^i ：目標層之極限層剪力強度與其設計層剪力的比值

V_{CDR}^{i+1} ：目標層上一層之極限層剪力強度與其設計層剪力的比值

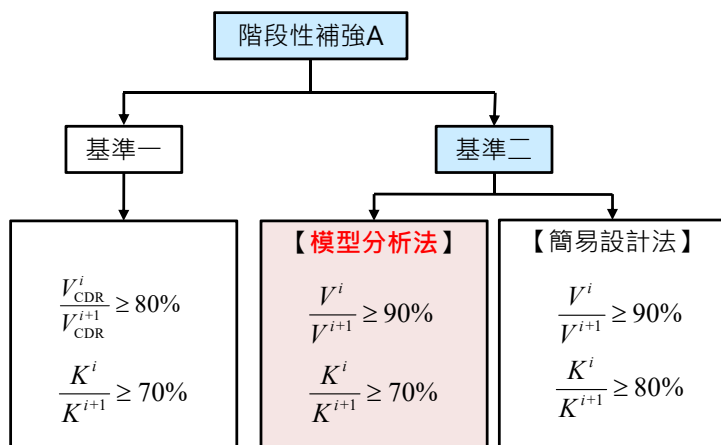
K^i ：目標層之側向勁度

K^{i+1} ：目標層其上一層之側向勁度

依據建築物耐震設計規範與解說2.17節之規定，目標層之極限層剪力強度與其設計層剪力的比值不低於其上一層者之80%；目標層之側向勁度不低於其上一層者之70%。

$$\frac{V_{CDR}^i}{V_{CDR}^{i+1}} \geq 80\% \text{ 且 } \frac{K^i}{K^{i+1}} \geq 70\%$$

階段性補強A：降低補強施作層發生軟弱層集中式破壞風險



目標層以下之各層其**極限層剪力強度**不得低於其上一層者之90%；且該層**側向勁度**不得低於其上一層者之70%，以降低軟弱層集中式破壞之風險。

V^i : 目標層以下之各層其極限層剪力強度

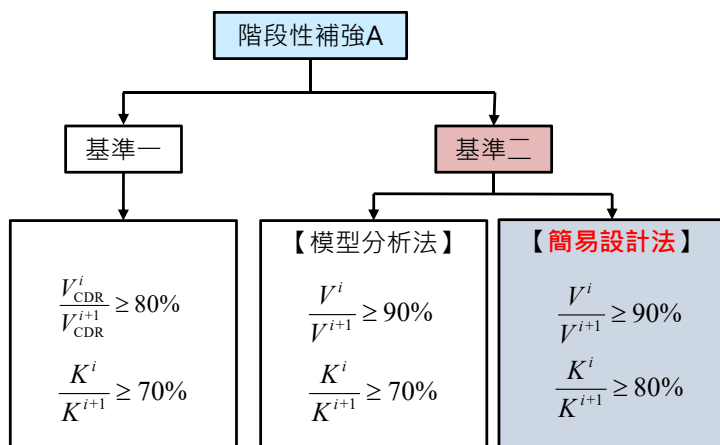
V^{i+1} : 目標層其上一層之極限層剪力強度

K^i : 目標層之側向勁度

K^{i+1} : 目標層其上一層之側向勁度

$$\frac{V^i}{V^{i+1}} \geq 90\% \text{ 且 } \frac{K^i}{K^{i+1}} \geq 70\%$$

階段性補強A：降低補強施作層發生軟弱層集中式破壞風險



目標層以下之各層其**極限層剪力強度**不得低於其上一層者之90%；且該層**側向勁度**不得低於其上一層者之80%，以降低軟弱層集中式破壞之風險。

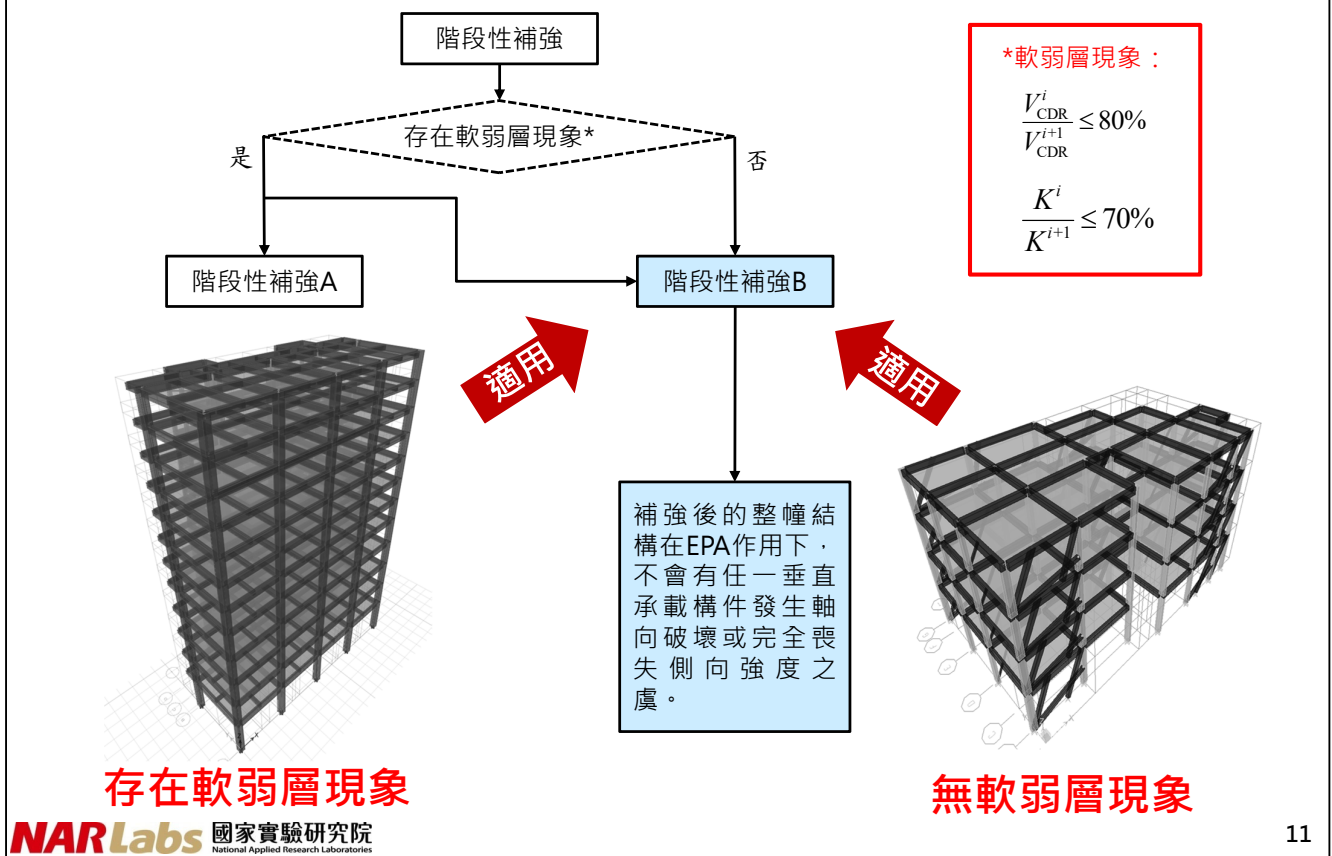
簡易設計法勁度： $K \propto \frac{V}{H}$

簡易之作法，為求保守，勁度可提升為80%。

參考來源：

內政部營建署，「106年度單棟大樓階段性補強技術手冊及示範案例規劃設計監造-期中報告」

階段性補強B適用條件



階段性補強B 性能準則

- 沒有豎向構材產生軸力喪失
- 補強後性能須達法規標準之0.8倍(0.8A_r)以上
- 補強後之耐震性能需較補強前提升

一. 階段性補強評估設計流程

二. 階段性A評估設計流程

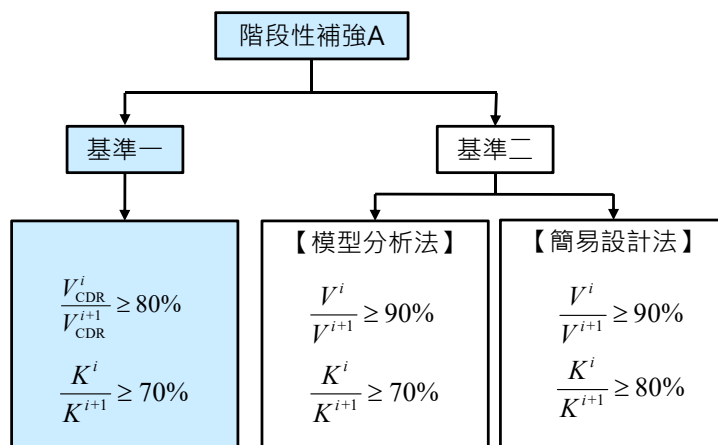
三. 階段性B評估設計流程

四. 示範案例目前進度與概述

五. 設計方法於示範案例之應用

- 案例一：階段性補強A(基準一)
- 案例五：階段性補強A(基準二：模型分析法)
- 案例二：階段性補強A(基準二：簡易設計法)
- 案例四：階段性補強B
- 案例三：完整補強

階段性補強A



V_{CDR}^i : 目標層之極限層剪力強度與其設計層剪力的比值

V_{CDR}^{i+1} : 目標層上一層之極限層剪力強度與其設計層剪力的比值

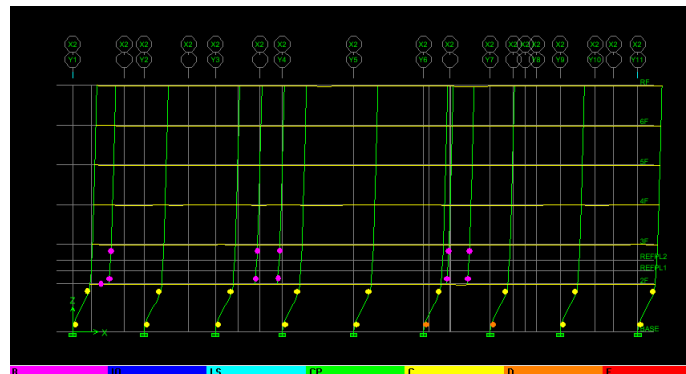
K^i : 目標層之側向勁度

K^{i+1} : 目標層其上一層之側向勁度

依據**建築物耐震設計規範與解說 2.17節之規定**，目標層之極限層剪力強度與其設計層剪力的比值不低於其上一層者之**80%**；目標層之側向勁度不低於其上一層者之**70%**。

樓層剪力強度 (Vc)-1F(模型分析)

$$V_{C,1F} = 842,625 \text{ kg}$$

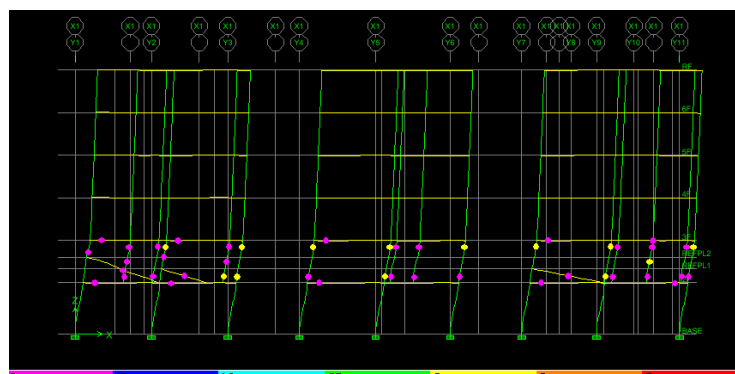
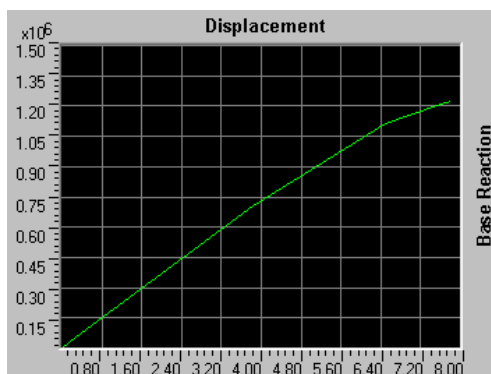


PUSHOVER CURVE

Step	Displacement	Base Force	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E TOTAL
0	0.0076	0.0000	467	0	0	0	0	0	0	475
1	0.3963	81826.7734	388	87	0	0	0	0	0	475
2	3.2993	637798.1875	354	121	0	0	0	0	0	475
3	3.7729	680223.0000	345	70	0	0	0	60	0	475
4	5.3837	748349.0000	342	57	0	0	0	74	2	475
5	9.1454	<u>842625.3750</u>	475	0	0	0	0	0	0	475

樓層剪力強度 (Vc)-2F(模型分析)

$$V_{C,2F} = 1,221,653 \text{ kg}$$



Story	Load	Loc	P	VX	VY	T	MX	MY
RF	PUSHX	Top	790657.57	-333955.38	0.00	210905084.67	501250627.5	-1642022797
RF	PUSHX	Bottom	790657.57	-333955.38	0.00	210905084.67	501250627.5	-1742209410
6F	PUSHX	Top	1543674.22	-600767.62	0.00	398009320.4	1019038835.9	-3291741792
6F	PUSHX	Bottom	1543674.22	-600767.62	0.00	398009320.4	1019038835.9	-3471972077
5F	PUSHX	Top	2296690.86	-843187.03	0.00	565066466.1	1536827044.3	-5021504459
5F	PUSHX	Bottom	2296690.86	-843187.03	0.00	565066466.1	1536827044.3	-5274460569
4F	PUSHX	Top	3049707.51	-1050148.84	0.00	707688905.3	2054615252.7	-6823992951
4F	PUSHX	Bottom	3049707.51	-1050148.84	0.00	707688905.3	2054615252.7	-7139037602
3F	PUSHX	Top	3800621.32	-1221653.03	0.00	825876637.2	2571056099.0	-8685586937
3F	PUSHX	Bottom	3806633.63	<u>-1221653.03</u>	0.00	825876637.2	2575098185.2	-9061170652

設計層剪力 (Vd)

Story	Elevation (hi)	Weight (wi)	wi*hi	wi*hi/Σwi*hi	Vd
RF	1860	752793	1400194980	0.299	0.299Vd
6F	1560	671586	1047674160	0.224	0.523Vd
5F	1260	690065	869481900	0.186	0.709Vd
4F	960	690065	662462400	0.141	0.85Vd
3F	660	690065	455442900	0.097	0.947Vd
2F	360	695366	250331760	0.053	1Vd
1F	0			0	
SUM		4189940	4685588100	1	

$$V_d = \frac{S_{aD} I}{1.4 \alpha_y F_u} W$$

$$F_i = \frac{W_i H_i}{\sum W_i H_{i_u}} V_d$$

弱層現象檢核

$$V_{C,1F} = 842,625 \text{ kgf}$$

$$V_{d,1F} = 1V_d$$

$$V_{C,2F} = 1,221,653 \text{ kgf}$$

$$V_{d,2F} = 0.947V_d$$

$$\frac{V_{CDR}^i}{V_{CDR}^{i+1}} = \frac{842625/1V_d}{1221653/0.947V_d} = 65.3\% < 80\%$$

本建築物存在弱層現象！

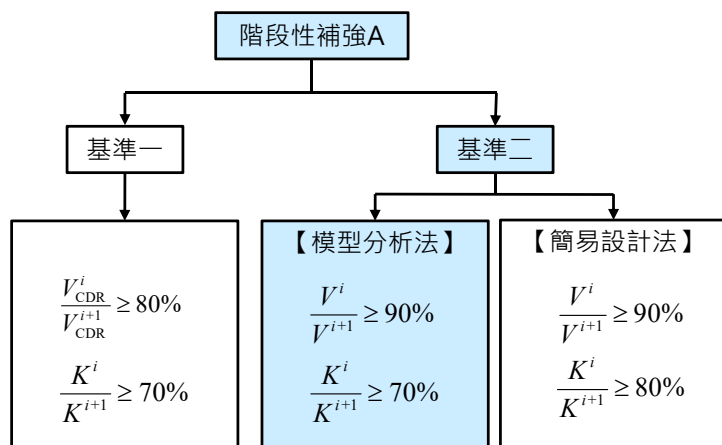
軟層現象檢核

補強前						
	displacement	cm	drift	cm	stiffness	tf/cm
RF	0.6457		0.0855		1169.59064	
6F	0.5602		0.0873		1145.47537	
5F	0.4729		0.0871		1148.10563	
4F	0.3858		0.0869		1150.74799	
3F	0.2989		0.0668		1497.00599	
2F	0.2321		0.2321		430.848772	

$$\frac{K1}{K2} = \frac{430.848}{1497.006} = 28.8\% < 70\%$$

本建築物存在軟層現象！

階段性補強A



目標層以下之各層其**極限層剪力強度**不得低於其上一層者之**90%**；
且該層**側向勁度**不得低於其上一層者之**70%**，以降低軟弱層集中式破壞之風險。

V^i : 目標層以下之各層其極限層剪力強度

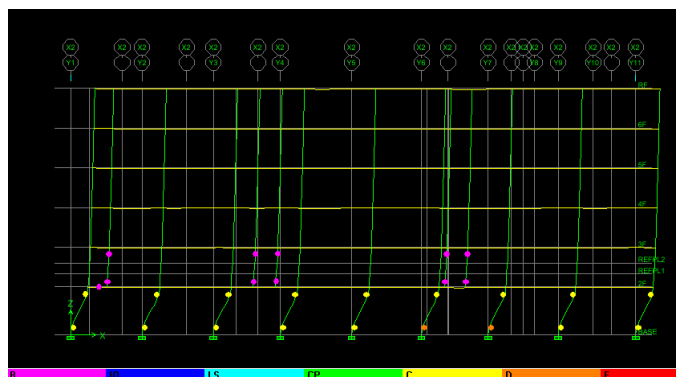
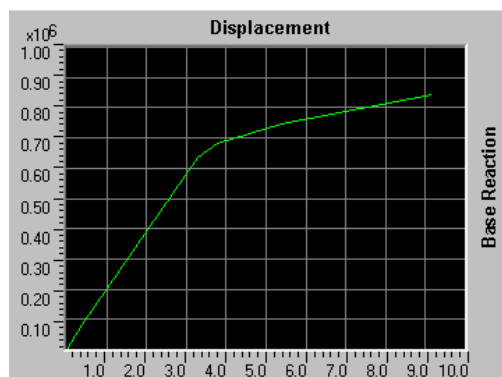
V^{i+1} : 目標層其上一層之極限層剪力強度

K^i : 目標層之側向勁度

K^{i+1} : 目標層其上一層之側向勁度

樓層剪力強度 (Vc)-1F(模型分析)

$$V_{C,1F} = 842,625 \text{ kg}$$

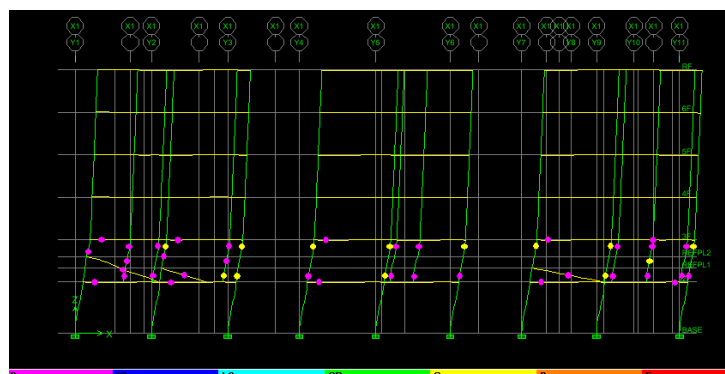
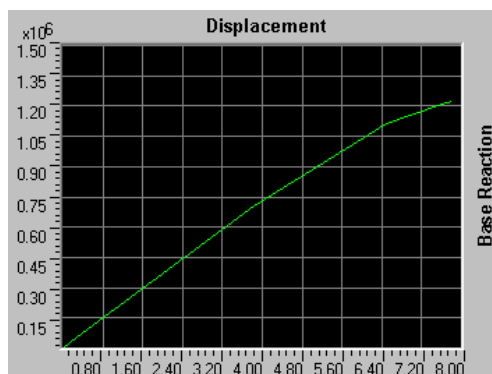


PUSHOVER CURVE

Step	Displacement	Base Force	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	CP-C	C-D	D-E	>E	TOTAL
0	0.0076	0.0000	467	8	0	0	0	0	0	0	475
1	0.3963	81826.7734	388	87	0	0	0	0	0	0	475
2	3.2993	637798.1875	354	121	0	0	0	0	0	0	475
3	3.7729	680223.0000	345	70	0	0	0	60	0	0	475
4	5.3837	748349.0000	342	57	0	0	0	74	2	0	475
5	9.1454	<u>842625.3750</u>	475	0	0	0	0	0	0	0	475

樓層剪力強度 (Vc)-2F(模型分析)

$$V_{C,2F} = 1,221,653 \text{ kg}$$



Story	Load	Loc	P	VX	VY	T	MX	MY
RF	PUSHX	Top	790657.57	-333955.38	0.00	210905084.67	501250627.5	-1642022797
RF	PUSHX	Bottom	790657.57	-333955.38	0.00	210905084.67	501250627.5	-1742209410
6F	PUSHX	Top	1543674.22	-600767.62	0.00	398009320.4	1019038835.9	-3291741792
6F	PUSHX	Bottom	1543674.22	-600767.62	0.00	398009320.4	1019038835.9	-3471972077
5F	PUSHX	Top	2296690.86	-843187.03	0.00	565066466.1	1536827044.3	-5021504459
5F	PUSHX	Bottom	2296690.86	-843187.03	0.00	565066466.1	1536827044.3	-5274460569
4F	PUSHX	Top	3049707.51	-1050148.84	0.00	707688905.3	2054615252.7	-6823992951
4F	PUSHX	Bottom	3049707.51	-1050148.84	0.00	707688905.3	2054615252.7	-7139037602
3F	PUSHX	Top	3800621.32	-1221653.03	0.00	825876637.2	2571056099.0	-8685586937
3F	PUSHX	Bottom	3806633.63	<u>-1221653.03</u>	0.00	825876637.2	2575098185.2	-9061170652

階段性補強A檢核

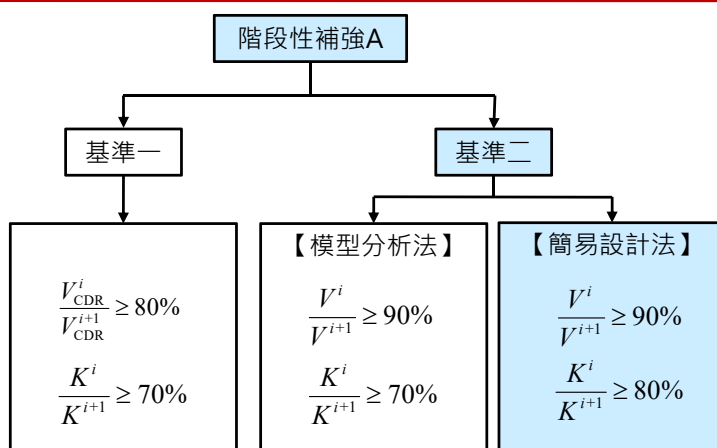
階段性補強A之適用性檢核：

$$\frac{V^i}{V^{i+1}} = \frac{842625}{1221653} = 69.8\% < 90\%$$

$$\frac{K1}{K2} = \frac{430.848}{1497.006} = 28.8\% < 70\%$$

➡ 本建築物存在軟弱層現象！

階段性補強A



V^i : 目標層以下之各層其極限層剪力強度

V^{i+1} : 目標層其上一層之極限層剪力強度

K^i : 目標層之側向勁度

K^{i+1} : 目標層其上一層之側向勁度

目標層以下之各層其**極限層剪力強度**不得低於其上一層者之90%；且該層**側向勁度**不得低於其上一層者之80%，以降低軟弱層集中式破壞之風險。

簡易設計法勁度： $K \propto \frac{V}{H}$

簡易之作法，為求保守，勁度可提升為80%。

參考來源：

內政部營建署，「106年度單棟大樓階段性補強技術手冊及示範案例規劃設計監造-期中報告」

極限層剪力強度

平均單位面積抗側力強度

單位面積抗側力強度 (kgf/cm ²)		五層樓以下 之建築物	十層樓以上 之建築物
柱	一般柱	9	20
	長柱	5	10
RC牆	無開口	22	30
	開口	18	25
磚牆	四面圍束	5.5	5.5
	三面圍束	3.8	3.6

建築物總樓層數介於五到十層樓之間，則以線性內插求得

- 一般柱：柱於評估方向上之高深比低於8者
- 長柱：柱於評估方向上之高深比在8以上者

- 開口RC牆之強度值約為無開口者之0.8倍：

$$\sum A_{rcwi} = \sum A_{rcw4i} + 0.8 \sum A_{rcw3i}$$

- 三面圍束磚牆之強度值約為四面圍束者之0.67倍：

$$\sum A_{bwi} = \sum A_{bw4i} + 0.67 \sum A_{bw3i}$$

內政部營建署，「106年度單棟大樓階段性補強技術手冊及示範案例規劃設計監造-期中報告」

極限層剪力強度

強度參與係數

強度參與係數		RC 牆 α_{rcw}	磚牆 α_{bw}	一般柱 α_c	長柱 α_{lc}
五層樓以下 之建築物	RC 牆破壞	1.00	0.90	0.75	0.55
	磚牆破壞	0.95	1.00	0.80	0.65
	一般柱破壞	0.85	0.80	1.00	0.80
	長柱破壞	0.70	0.55	1.00	1.00
十層樓以上 之建築物	RC 牆破壞	1.00	0.90	0.90	0.70
	磚牆破壞	0.85	1.00	0.95	0.75
	一般柱破壞	0.65	0.95	1.00	0.85
	長柱破壞	0.15	0.75	0.80	1.00

建築物總樓層數介於五到十層樓之間，則以線性內插求得

內政部營建署，「106年度單棟大樓階段性補強技術手冊及示範案例規劃設計監造-期中報告」

初步評估

樓層剪力強度評估公式

A. 五層樓以下建築物

1) RC牆破壞時

$$V_i = 22 \sum A_{rcwi} + 0.90 \times 5.5 \sum A_{bwi} + 0.75 \times 9 \sum A_{ci} + 0.55 \times 5 \sum A_{lci}$$

2) 磚牆破壞時

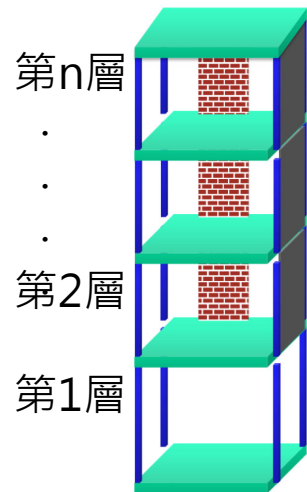
$$V_i = 0.95 \times 22 \sum A_{rcwi} + 5.5 \sum A_{bwi} + 0.80 \times 9 \sum A_{ci} + 0.65 \times 5 \sum A_{lci}$$

3) 一般柱破壞時

$$V_i = 0.85 \times 22 \sum A_{rcwi} + 0.80 \times 5.5 \sum A_{bwi} + 9 \sum A_{ci} + 0.80 \times 5 \sum A_{lci}$$

4) 長柱破壞時

$$V_i = 0.70 \times 22 \sum A_{rcwi} + 0.55 \times 5.5 \sum A_{bwi} + 9 \sum A_{ci} + 5 \sum A_{lci}$$



初步評估

樓層剪力強度評估公式

B. 十層樓以上建築物

1) RC牆破壞時

$$V_i = 30 \sum A_{rcwi} + 0.90 \times 5.5 \sum A_{bwi} + 0.90 \times 20 \sum A_{ci} + 0.70 \times 10 \sum A_{lci}$$

2) 磚牆破壞時

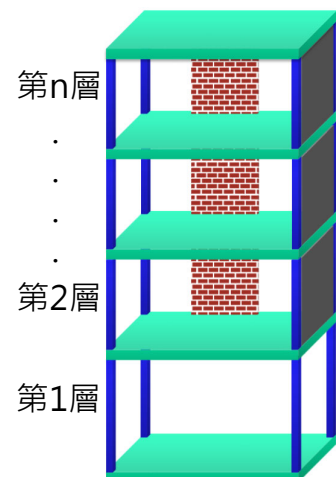
$$V_i = 0.85 \times 30 \sum A_{rcwi} + 5.5 \sum A_{bwi} + 0.95 \times 20 \sum A_{ci} + 0.75 \times 10 \sum A_{lci}$$

3) 一般柱破壞時

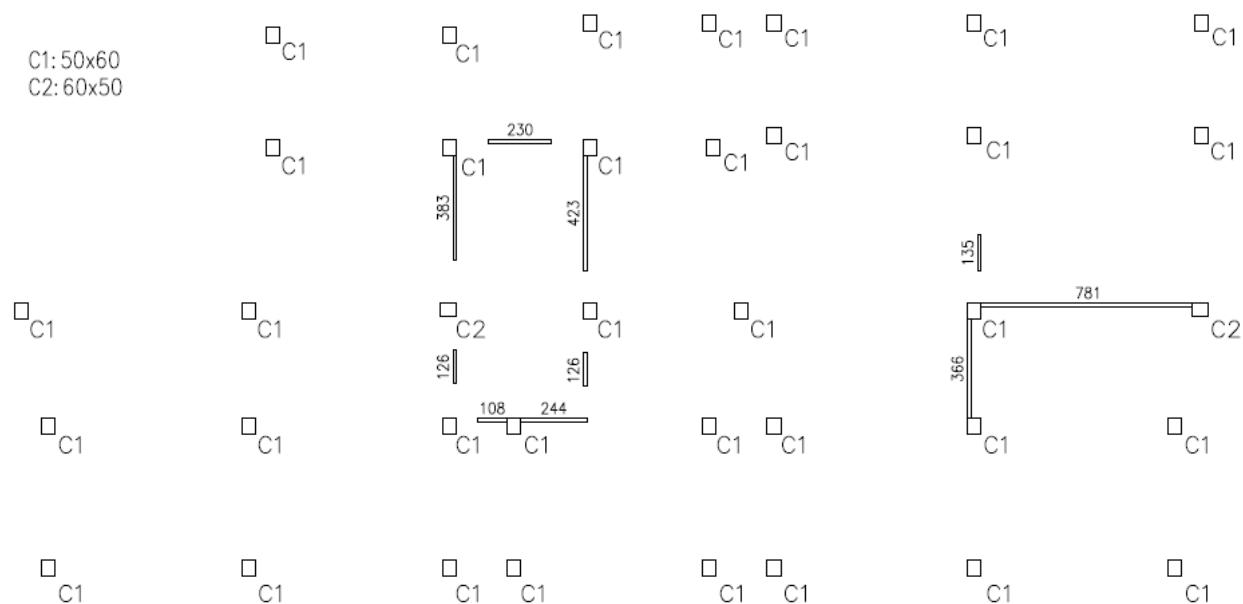
$$V_i = 0.65 \times 30 \sum A_{rcwi} + 0.95 \times 5.5 \sum A_{bwi} + 20 \sum A_{ci} + 0.85 \times 10 \sum A_{lci}$$

4) 長柱破壞時

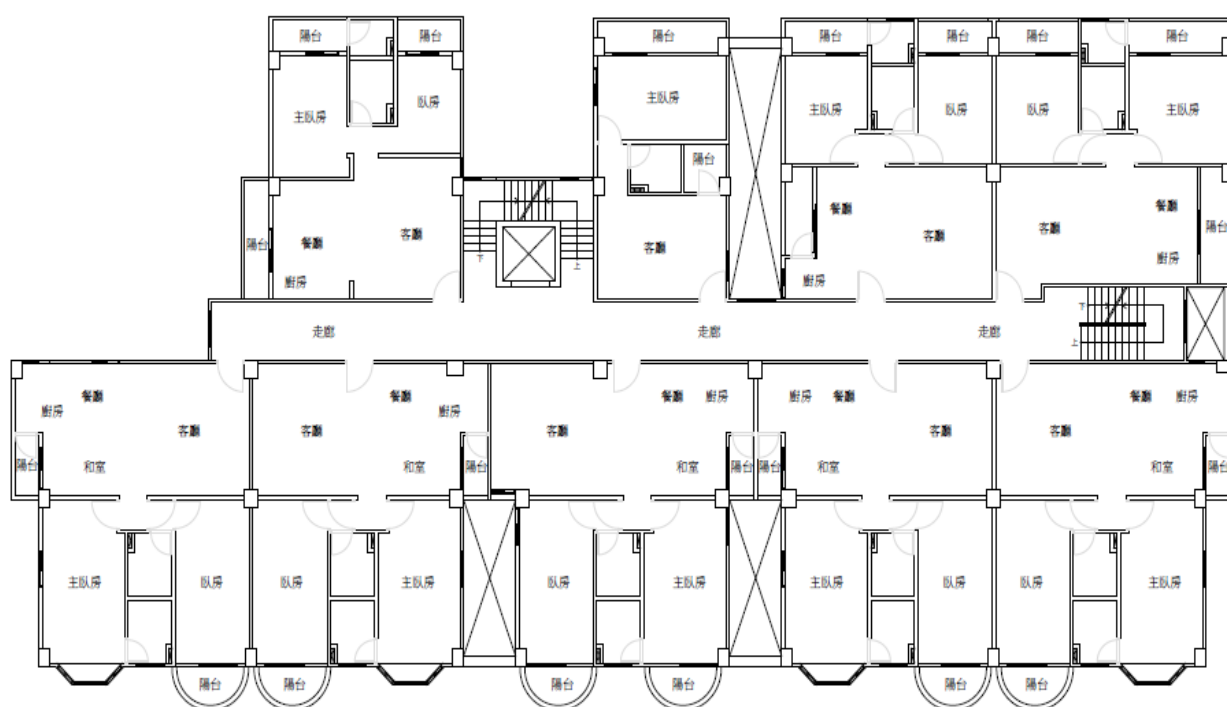
$$V_i = 0.15 \times 30 \sum A_{rcwi} + 0.75 \times 5.5 \sum A_{bwi} + 0.80 \times 20 \sum A_{ci} + 10 \sum A_{lci}$$



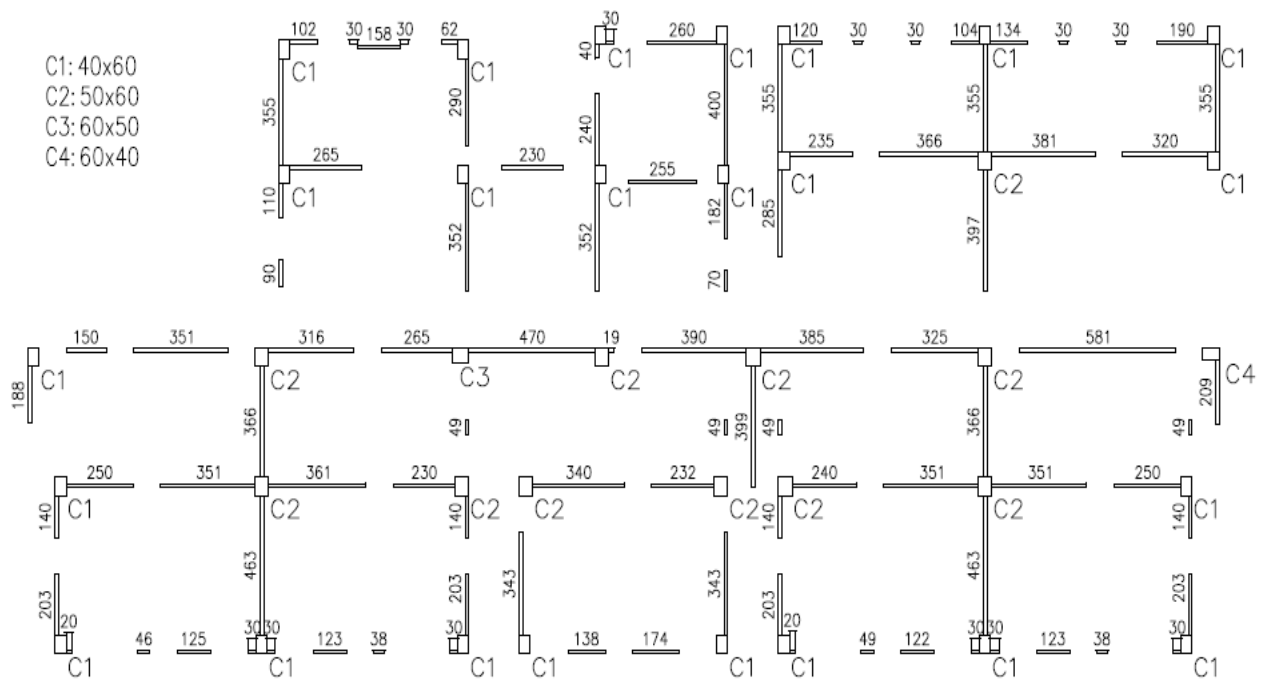
一樓採計柱牆量



二至七樓平面圖



二至七樓採計柱牆量



現況各樓層剪力強度及勁度

X向	樓高 (cm)	X向 $V_{i,rcw}$ (tf)	X向 $V_{i,bw}$ (tf)	X向 $V_{i,c}$ (tf)	X向 $V_{i,lc}$ (tf)	X向 V_i (tf)
1F	300	1582	-	1778	-	1778
2F	300	3682	-	3319	-	3682

$$\frac{K_{1F}}{K_{2F}} = \frac{1778/300}{3682/300} = 48.29\% < 80\%$$

$$\frac{V_{1F}}{V_{2F}} = \frac{1778}{3682} = 48.29\% < 90\%$$

Y向	樓高 (cm)	Y向 $V_{i,rcw}$ (tf)	Y向 $V_{i,bw}$ (tf)	Y向 $V_{i,c}$ (tf)	Y向 $V_{i,lc}$ (tf)	Y向 V_i (tf)
1F	300	1604	-	1795	-	1795
2F	300	3414	-	3113	-	3414

$$\frac{K_{1F}}{K_{2F}} = \frac{1795/300}{3414/300} = 52.58\% < 80\%$$

$$\frac{V_{1F}}{V_{2F}} = \frac{1795}{3414} = 52.58\% < 90\%$$

一. 階段性補強評估設計流程

二. 階段性A評估設計流程

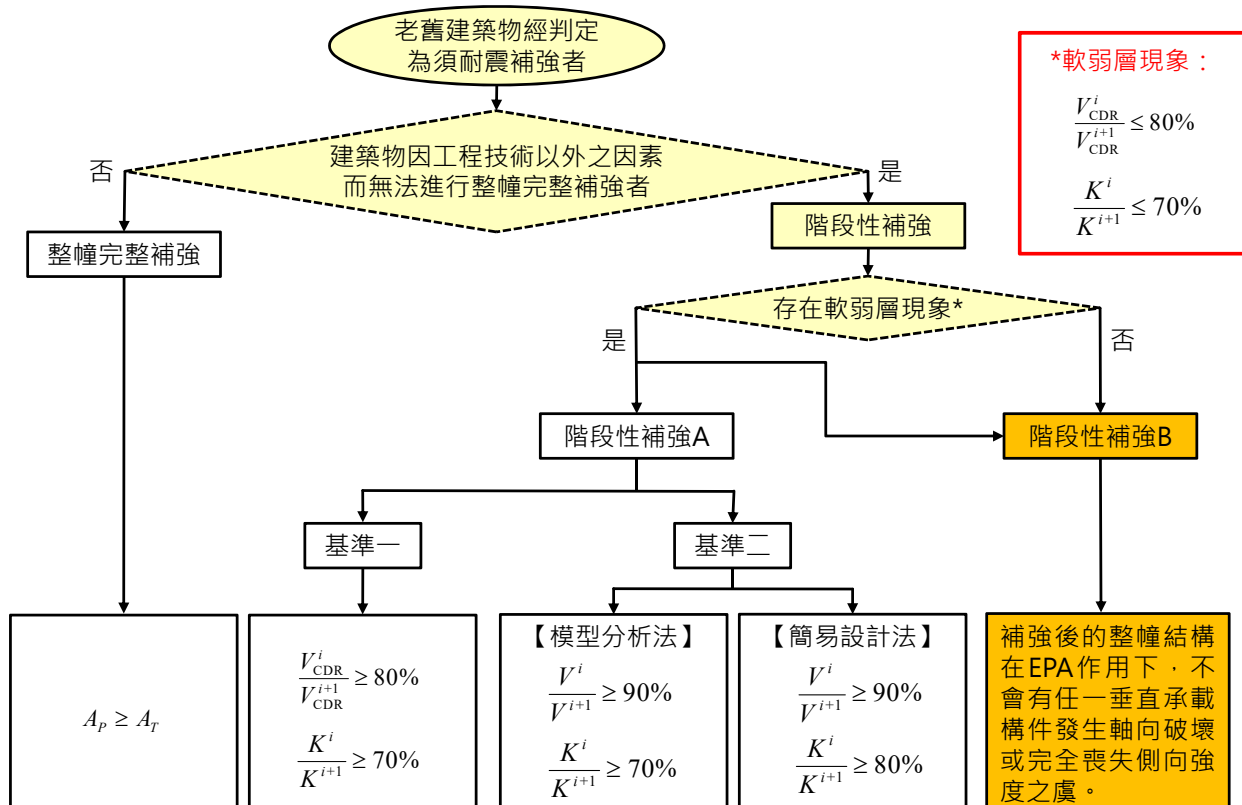
三. 階段性B評估設計流程

四. 示範案例目前進度與概述

五. 設計方法於示範案例之應用

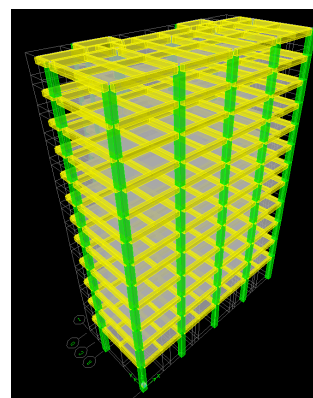
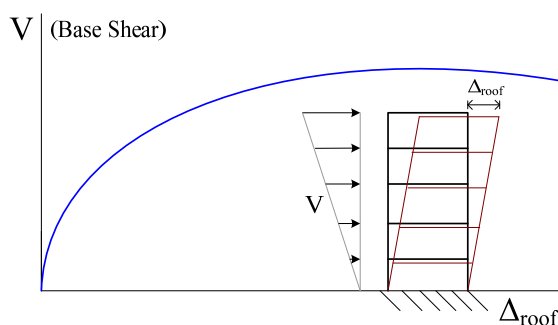
- 案例一：階段性補強A(基準一)
- 案例五：階段性補強A(基準二：模型分析法)
- 案例二：階段性補強A(基準二：簡易設計法)
- 案例四：階段性補強B
- 案例三：完整補強

階段性補強性能目標



整幢完整補強(應達下列基準二者之一)

- 1) 建築物之耐震能力以其能抵抗之最大地表加速度表示，其耐震能力應達現行實施之「建築物耐震設計規範及解說」中所規定工址回歸期475年之設計地震地表加速度乘以用途係數(I)。其性能目標準則為當結構物韌性發展到容量韌性(R)時對應的性能地表加速度(A_p)，需達目標地震地表加速度($0.4 S_{DS} * I$)。



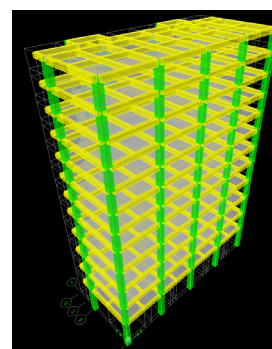
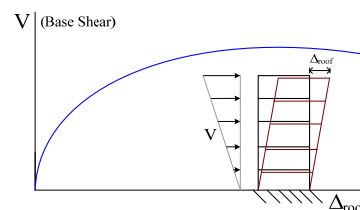
整幢完整補強(應達下列基準二者之一)

- 2) 滿足工址回歸期475年之設計地震作用下應有的性能水準，即結構物不會產生嚴重損壞，對生命及財產有所保障。其性能目標準則如表所示。

用途分組	A_p			A_r
第一類及第二類建築 ($I=1.5$)	$0.80V_{\max}^-$	$D_r^T=1\%$	垂直承載 構件發生 軸向破壞	$0.4S_{DS}$
第三類建築 ($I=1.25$)	$V_{\max}$	$D_r^T=2\%$		
第四類建築 ($I=1.0$)	$0.85V_{\max}^+$	$D_r^T=2.5\%$		

註：

1. 基底剪力 $0.80V_{\max}^-$ 位於容量曲線上升段，並為最大值($V_{\max}$)的 0.80 倍。
2. 基底剪力 $0.85V_{\max}^+$ 位於容量曲線下降段，並為最大值($V_{\max}$)的 0.85 倍。
3. 垂直承載構件發生軸向破壞係指各側推分析步中有任一柱構件之非線性變形到達 Δ_d 。



階段性補強B

- 模型分析
- 沒有豎向構材產生軸力喪失
- 耐震性能須達法規標準之0.8倍($0.8A_r$)以上
- 補強後之耐震性能需較補強前提升

一. 階段性補強評估設計流程

二. 階段性A評估設計流程

三. 階段性B評估設計流程

四. 示範案例目前進度與概述

五. 設計方法於示範案例之應用

- 案例一：階段性補強A(基準一)
- 案例五：階段性補強A(基準二：模型分析法)
- 案例二：階段性補強A(基準二：簡易設計法)
- 案例四：階段性補強B
- 案例三：完整補強

示範案例目前進度

編號	縣市	建築物名稱	公告作業	決標	驗收
1	花蓮	吉興華廈	第一次108.3.27(流標) 第二次108.4.26(流標) 第三次108.5.22(流標) 第四次108.5.31	108.6.11決標	108.11.15完成驗收作業 109.03.17取得補助款
2	花蓮	富臨門	第一次108.5.28(流標) 第二次108.6.19	108.6.25決標	109.02.21完成驗收作業 109.06.04取得補助款
3	花蓮	昇園大樓	第一次109.2.5(流標) 第二次109.2.25	109.03.17	109.05.18 開工 109.11.4預計完工
4	臺北	首都名園	109.1.20 台北市政府核准通過補助資格 109.7.1 審查會	-	-
5	臺南	美麗華大廈	第一次108.10.09(流標) 第二次108.11.05(流標) 第三次109.2.04	109.2.25決標	109.04.01 開工 109.08.10 完工

示範案例之方案與設計監造單價

案例編號	補強目標	施作樓層	施作層面積(m ²)	設計監造費(元)	設計監造施作層單價(元)
案例一	階段性補強A	1F	531.44	250,732	471.80
案例二	階段性補強A	1F	690.5	540,000	782.04
案例三	整幢 完整補強	1F-6F	2,304.74	300,000	130.17
案例四	階段性補強B	B3F-8F	9,772.02	600,000	61.4
案例五	階段性補強A	1F	330.25	292,000	884.18
平均單價(元/m ²)					466

示範案例之方案與**施工**單價

案例編號	補強目標	施作樓層	施作層面積(m ²)	工程費(元)	工程施作層單價(元)
案例一	階段性補強A	1F	531.44	1,481,800	2,788.27
案例二	階段性補強A	1F	690.5	2,550,311	3,699.43
案例三	整幢完整補強	1F-6F	2,304.74	7,288,040	3,162.2
案例四	階段性補強B	B3F-8F	9,772.02	7,200,000	736.8
案例五	階段性補強A	1F	330.25	1,750,000	5,299.02
平均單價(元/m ²)					3,136

一. 階段性補強評估設計流程

二. 階段性A評估設計流程

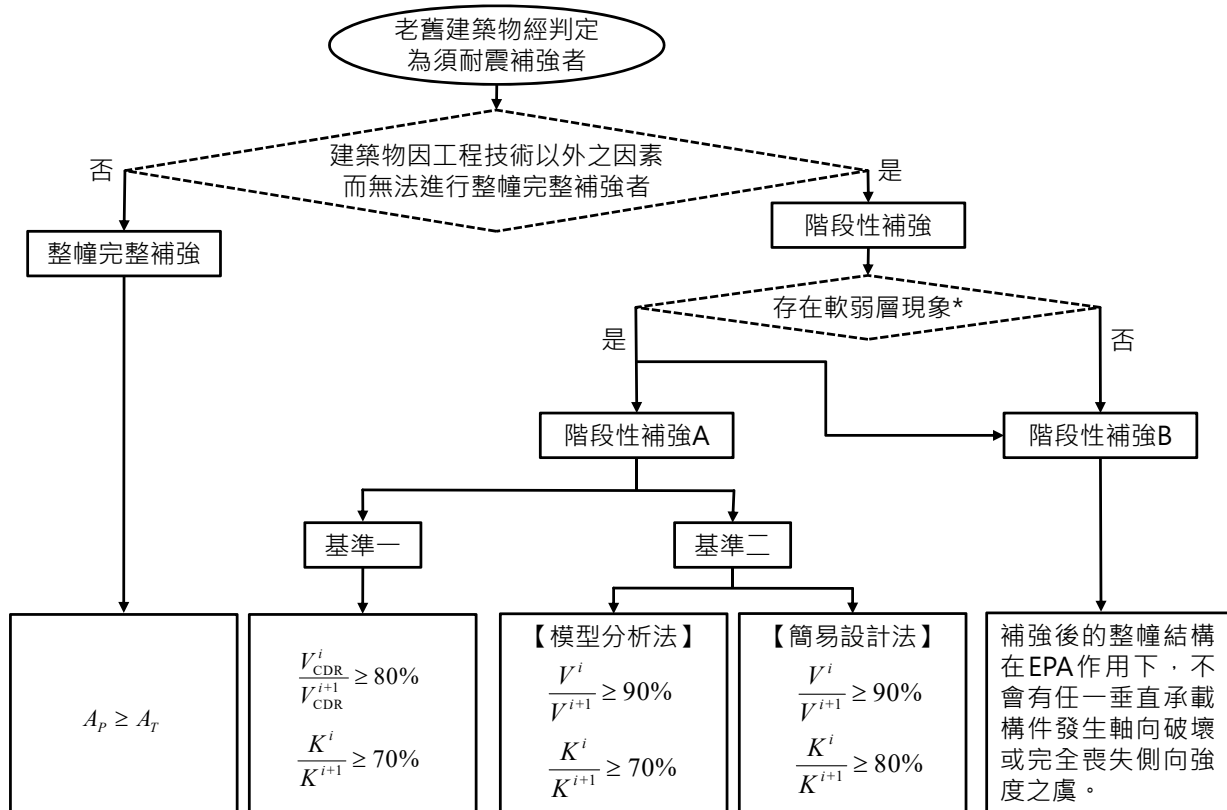
三. 階段性B評估設計流程

四. 示範案例目前進度與概述

五. 設計方法於示範案例之應用

- 案例一：階段性補強A(基準一)
- 案例五：階段性補強A(基準二：模型分析法)
- 案例二：階段性補強A(基準二：簡易設計法)
- 案例四：階段性補強B
- 案例三：完整補強

階段性補強性能目標



一. 階段性補強評估設計流程

二. 階段性A評估設計流程

三. 階段性B評估設計流程

四. 示範案例目前進度與概述

五. 設計方法於示範案例之應用

- 案例一：階段性補強A(基準一)
- 案例五：階段性補強A(基準二：模型分析法)
- 案例二：階段性補強A(基準二：簡易設計法)
- 案例四：階段性補強B
- 案例三：完整補強

案例一 建築物現況概述(花蓮縣，已竣工)

- 樓層：地上6層
- 樓地板面積：3,663.13 m²
- 施作層：1F (531.44 m²)
- 補強方案：階段性補強A
- 設計監造：翔威工程顧問有限公司
- 施工廠商：永信土木包工業
- 決標日期：108年6月11日
- 總補強決算費：1,732,532元整
- 變更設計一次、追加經費 8 萬元、
追加工期6天
- 竣工日期：108年9月3日



補強前

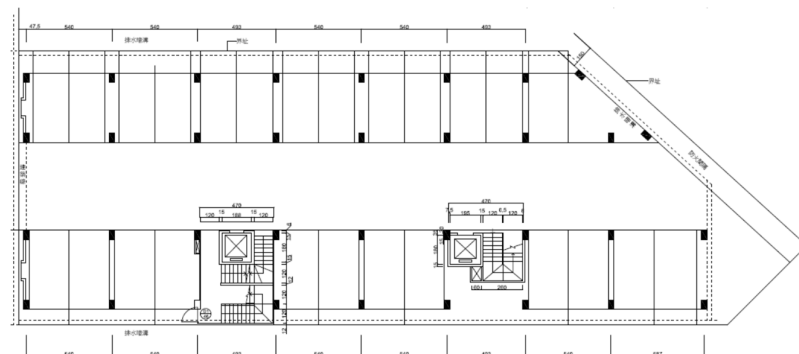


補強後

案例一：建築物現況

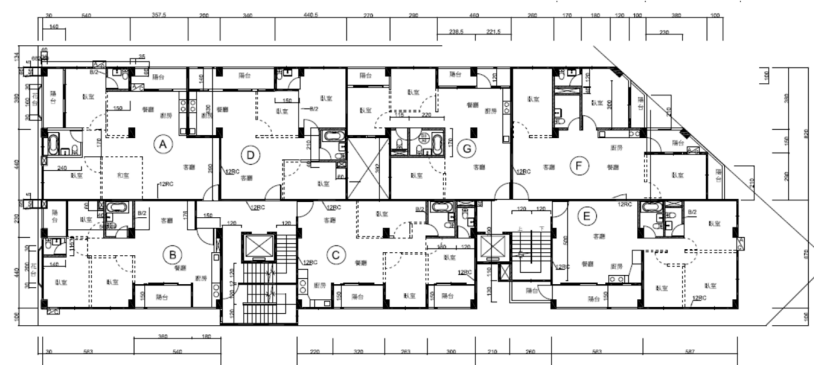
原始平面圖

目標層



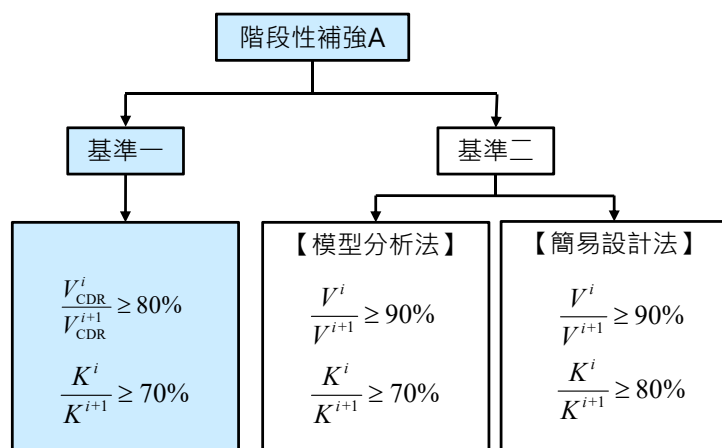
原始1F建築平面圖

標準層



原始2~5F建築平面圖

階段性補強A性能指標



V_{CDR}^i : 目標層之極限層剪力強度與其設計層剪力的比值

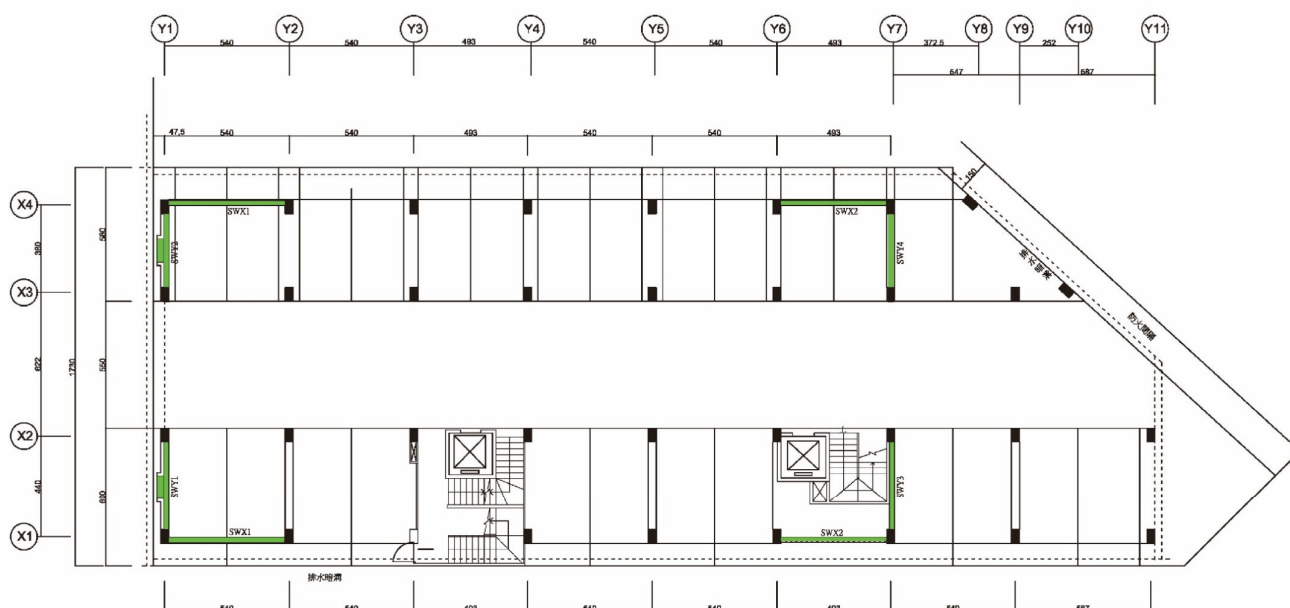
V_{CDR}^{i+1} : 目標層上一層之極限層剪力強度與其設計層剪力的比值

K^i : 目標層之側向勁度

K^{i+1} : 目標層其上一層之側向勁度

依據建築物耐震設計規範與解說2.17節之規定，目標層之極限層剪力強度與其設計層剪力的比值不低於其上一層者之80%；目標層之側向勁度不低於其上一層者之70%。

案例一：建築物補強位置

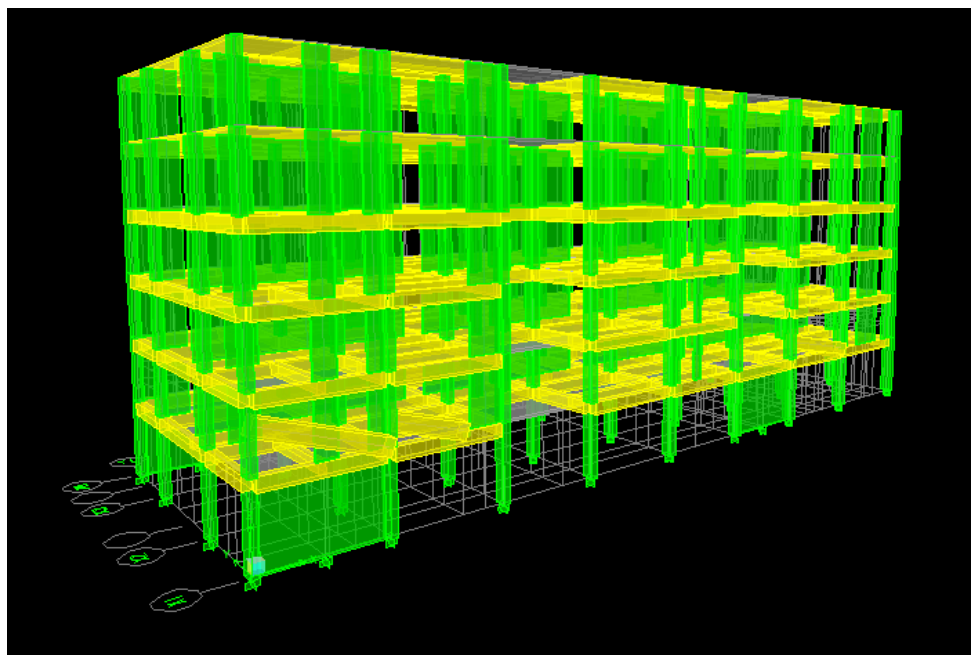


補強位置平面圖

■ 剪力牆補強

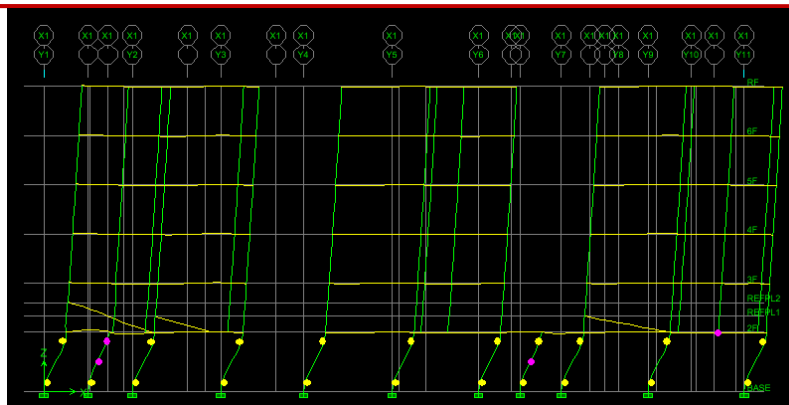
階段性補強A-補強方案檢核

X向模型

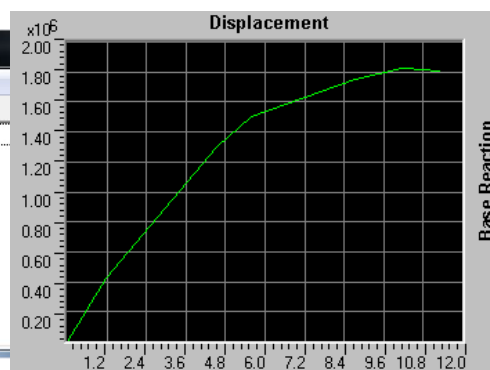


補強後極限層剪力 (V_c) - 1F (模型分析)

$$V_{c,1F} = 1824551 \text{ kg}$$

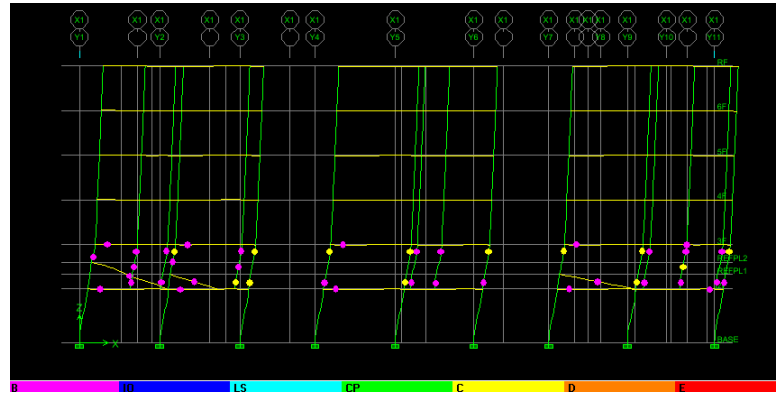


PUSHOVER CURVE								
File								
Step	Displacement	Base Force	A-B	B-I0	I0-LS	LS-CP	CP-C	C-D
0	0.0142	0.0000	200	1	0	0	0	0
1	1.1612	423267.0625	186	15	0	0	0	0
2	4.5467	1297539.5000	134	63	0	0	0	4
3	5.5918	1503985.3750	115	13	0	0	0	73
4	8.7180	1752306.5000	111	16	0	0	0	74
5	10.1332	1820284.2500	111	15	0	0	0	75
6	10.2827	<u>1824550.6250</u>	110	15	0	0	0	76
7	11.2302	1810748.6250	110	15	0	0	0	74
8	11.3346	1800431.8750	201	0	0	0	0	0

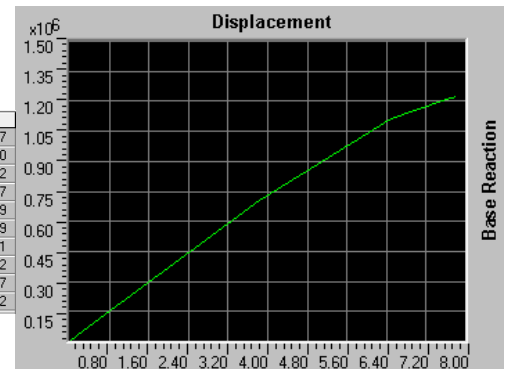


補強後極限層剪力 (Vc) - 2F (模型分析)

$$V_{c,2F} = 1221653 \text{ kg}$$



Story	Load	Loc	P	VX	VY	T	MX	MY
RF	PUSHK	Top	790657.57	-333955.38	0.00	210905084.67	501250627.5	-1642022797
RF	PUSHK	Bottom	790657.57	-333955.38	0.00	210905084.67	501250627.5	-1742209410
6F	PUSHK	Top	1543674.22	-600767.62	0.00	398009320.4	1019038835.9	-3291741792
6F	PUSHK	Bottom	1543674.22	-600767.62	0.00	398009320.4	1019038835.9	-3471972077
5F	PUSHK	Top	2296690.86	-843187.03	0.00	565066466.1	1536827044.3	-5021504459
5F	PUSHK	Bottom	2296690.86	-843187.03	0.00	565066466.1	1536827044.3	-5274460569
4F	PUSHK	Top	3049707.51	-1050148.84	0.00	707688905.3	2054615252.7	-6823992951
4F	PUSHK	Bottom	3049707.51	-1050148.84	0.00	707688905.3	2054615252.7	-7139037602
3F	PUSHK	Top	3800621.32	-1221653.03	0.00	825876637.2	2571056099.0	-8685586937
3F	PUSHK	Bottom	3800621.32	-1221653.03	0.00	825876637.2	2571056099.0	-9061170652



補強後設計層剪力(Vd)

Story	Elevation (hi)	Weight (wi)	wi*hi	wi*hi/Σwi*hi	Vd
RF	1860	752793	1400194980	0.299	0.299Vd
6F	1560	671586	1047674160	0.224	0.523Vd
5F	1260	690065	869481900	0.186	0.709Vd
4F	960	690065	662462400	0.141	0.85Vd
3F	660	690065	455442900	0.097	0.947Vd
2F	360	695366	250331760	0.053	1Vd
1F	0			0	
SUM		4189940	4685588100	1	

$$V_d = \frac{S_{aD} I}{1.4 \alpha_y F_u} W$$

$$\frac{V_{CDR}^i}{V_{CDR}^{i+1}} = \frac{1824551/1Vd}{1221653/0.947Vd} = 141\% > 80\%$$

$$F_i = \frac{W_i H_i}{\sum W_i H_{i_u}} V_d$$

補強後一樓不存在弱層現象!

軟層現象檢核 (模型分析)

補強後						
	displacement	cm	drift	cm	stiffness	tf/cm
RF	0.4374		0.0831		1203.36943	
6F	0.3543		0.0846		1182.0331	
5F	0.2697		0.0843		1186.23962	
4F	0.1854		0.0842		1187.64846	
3F	0.1012		0.0806		1240.69479	
2F	0.0206		0.0206		4854.36893	

$$\frac{K1}{K2} = \frac{4854.37}{1240.69} = 391\% > 70\%$$

補強後本建築物一樓不存在軟層現象!

案例一：補強成果展示



一. 階段性補強評估設計流程

二. 階段性A評估設計流程

三. 階段性B評估設計流程

四. 示範案例目前進度與概述

五. 設計方法於示範案例之應用

- 案例一：階段性補強A(基準一)
- 案例五：階段性補強A(基準二：模型分析法)
- 案例二：階段性補強A(基準二：簡易設計法)
- 案例四：階段性補強B
- 案例三：完整補強

案例五 建築物現況概述(台南市，已竣工)

- 樓層：地上7層、地下1層
- 樓地板面積：2679.56 m²
- 施作層：1F(330.25 m²)
- 補強方案：階段性補強A
- 設計監造：大匠工程顧問有限公司
- 施工廠商：帝景營造有限公司
- 決標日期：109年2月25日
- 總補強費：2,042,000元整
- 開工日期：109年4月1日
- 竣工日期：109年8月10日



補強前

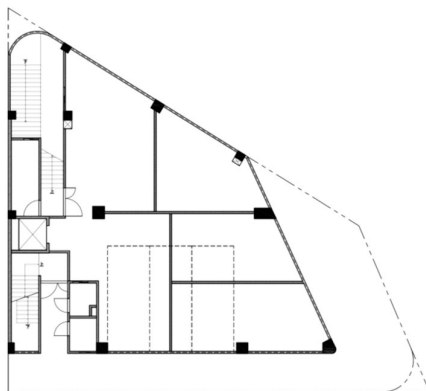


補強後

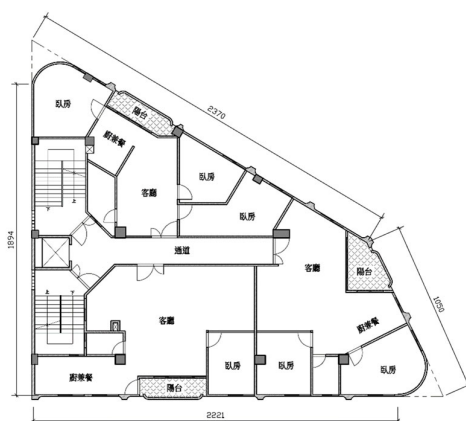
案例五：建築物現況

原始平面圖

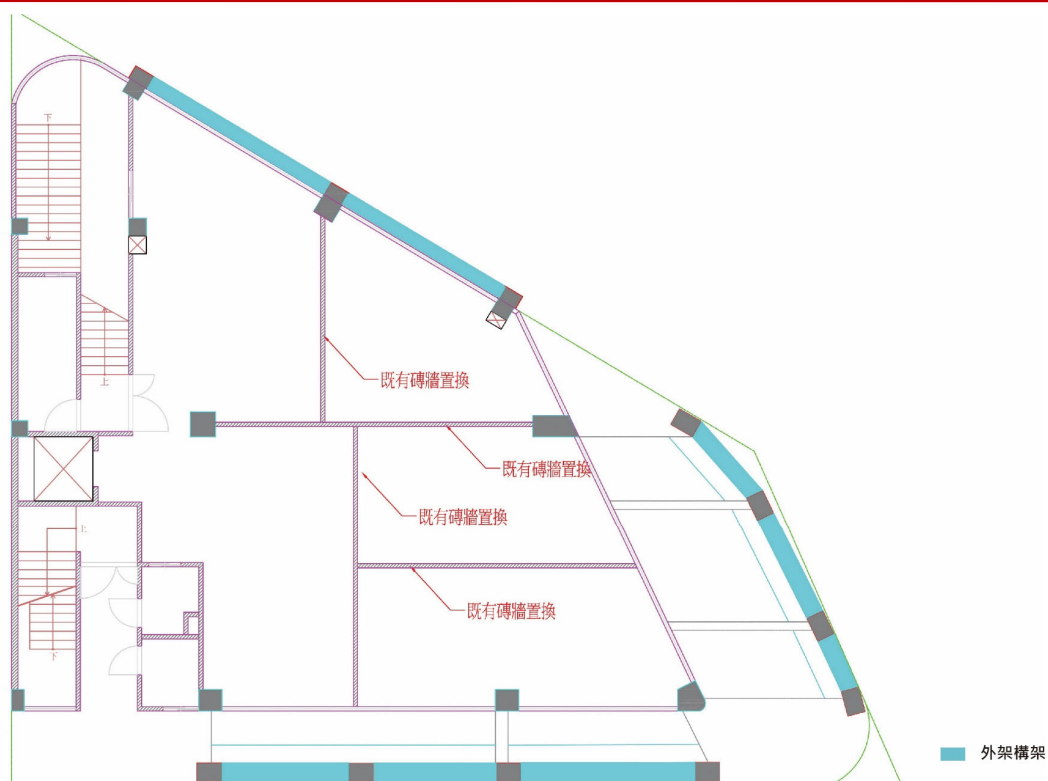
目標層



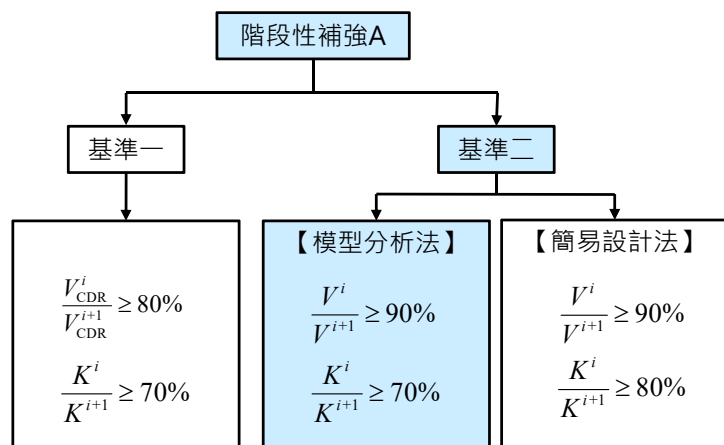
標準層



案例五：建築物補強位置



階段性補強A性能指標



目標層以下之各層其**極限層剪力強度**不得低於其上一層者之**90%**；
且該層**側向勁度**不得低於其上一層者之**70%**，以降低軟弱層集中式破壞之風險。

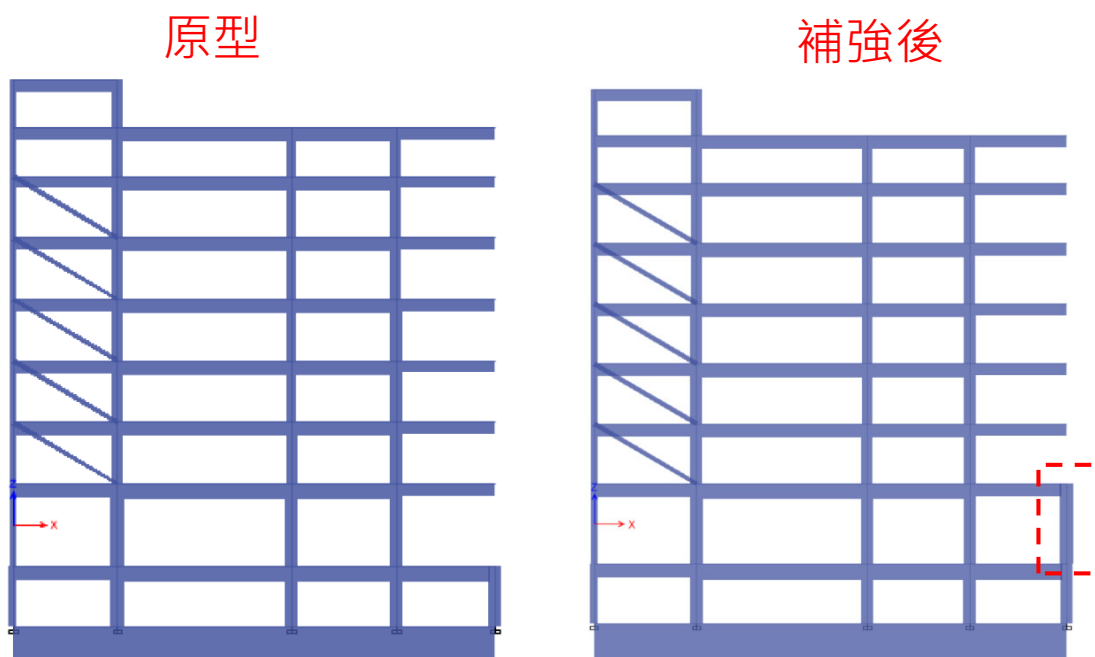
V^i : 目標層以下之各層其極限層剪力強度

V^{i+1} : 目標層其上一層之極限層剪力強度

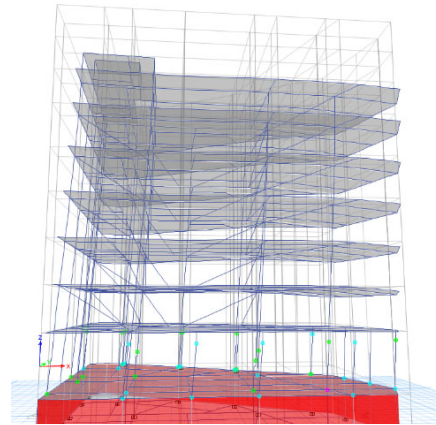
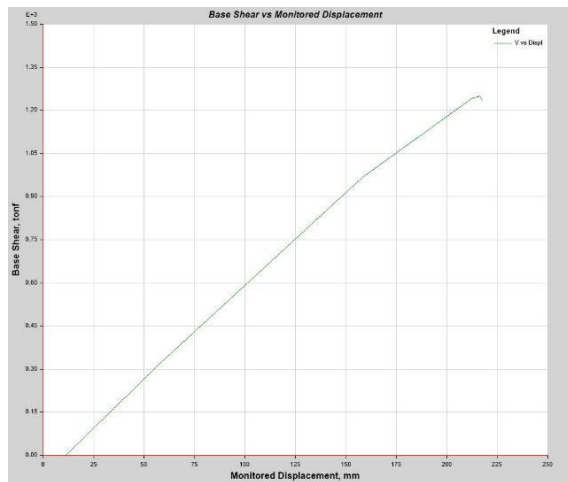
K^i : 目標層之側向勁度

K^{i+1} : 目標層其上一層之側向勁度

模型設計法-建模



一樓極限層剪力(X向)



$$V_{c,1F} = 1248418.06 \text{ kgf}$$

TABLE: Base Shear vs Monitored Displacement

Step	Monitored Displ cm	Base Force kgf	A-B	B-C	C-D	D-E	>E	A-I	IO-LS	LS-CP	>CP	Total
0	1.1207	0	144	0	0	0	0	144	0	0	0	144
1	5.7886	318671.88	143	1	0	0	0	144	0	0	0	144
2	15.8305	966616.16	118	18	8	0	0	144	0	0	0	144
3	21.2341	1241084.3	101	19	24	0	0	144	0	0	0	144
4	21.6107	<u>1248418.06</u>	95	25	23	1	0	144	0	0	0	144
5	21.771	1236542.75	93	23	27	1	0	144	0	0	0	144

二樓極限層剪力(X向)

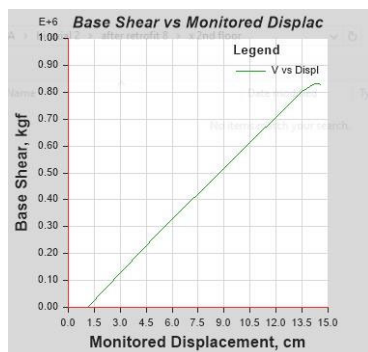


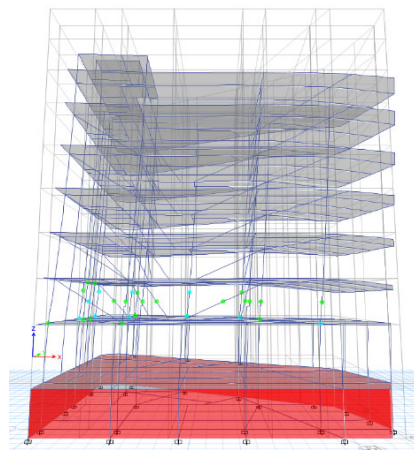
TABLE: Base Shear vs Monitored Displacement

Step	Monitored Displ cm	Base Force kgf
0	1.1349	0
1	5.2054	274997.82
2	13.4668	801108.65
3	14.2355	830594.03
4	14.2735	830709.22
5	14.3205	830650.7
6	14.4023	830419.58
7	14.4892	<u>831306.31</u>
8	14.5758	828591.48

$$V_{c,2F} = 790090 \text{ kgf}$$

TABLE: Story Force

Story	Load Case/Combo	Location	P kgf	VX kgf	VY kgf	T kgf-cm	MX kgf-cm	MY kgf-cm
RFL	PUSHX1 Min	Top	455113.6	-185802	0	-0.00023	3.56E+08	-3.8E+08
RFL	PUSHX1 Min	Bottom	472514.5	-185802	0	-0.00023	3.72E+08	-4.4E+08
7FL	PUSHX1 Min	Top	855490.2	-353789	0	-0.00056	6.67E+08	-8E+08
7FL	PUSHX1 Min	Bottom	877241.3	-353789	0	-0.00056	6.87E+08	-9.3E+08
6FL	PUSHX1 Min	Top	1282443	-503827	0	-0.0009	9.99E+08	-1.3E+09
6FL	PUSHX1 Min	Bottom	1304194	-503827	0	-0.0009	1.02E+09	-1.5E+09
5FL	PUSHX1 Min	Top	1714500	-627531	0	-0.00103	1.33E+09	-1.9E+09
5FL	PUSHX1 Min	Bottom	1738647	-627531	0	-0.00103	1.36E+09	-2.1E+09
4FL	PUSHX1 Min	Top	2149217	-723010	0	-0.00095	1.67E+09	-2.5E+09
4FL	PUSHX1 Min	Bottom	2173365	-723010	0	-0.00095	1.69E+09	-2.7E+09
3FL	PUSHX1 Min	Top	2585182	<u>-790090</u>	0	-0.0009	2.01E+09	-3.1E+09
3FL	PUSHX1 Min	Bottom	2610015	-790090	0	-0.0009	2.03E+09	-3.3E+09
2FL	PUSHX1 Min	Top	3032099	-831306	0	-0.00113	2.36E+09	-3.7E+09
2FL	PUSHX1 Min	Bottom	3101395	-831306	0	-0.00113	2.41E+09	-4.2E+09
1FL	PUSHX1 Min	Top	3207774	-760674	-15359.2	2005727	2.2E+09	-4.2E+09
1FL	PUSHX1 Min	Bottom	3390888	-760674	-15359.2	2005727	2.34E+09	-4.7E+09



樓層勁度 (模型分析)

TABLE: Story Stiffness							
Story	Load Case	Shear X	Drift X	Stiffness X	Shear Y	Drift Y	Stiffness Y
		kgf	cm	kgf/cm	kgf	cm	kgf/cm
PFL	EQX	0	0.6292	0	0	0.0272	0
PR1	EQX	0	1.401	0	0	0.0916	0
RFL	EQX	1000000	2.6331	379779.49	0	0.4277	0
7FL	EQX	1000000	3.7043	269959.92	0	0.4655	0
6FL	EQX	1000000	3.6463	274250.42	0	0.4118	0
5FL	EQX	1000000	3.3453	298924.05	0	0.3644	0
4FL	EQX	1000000	3.1353	318948.31	0	0.3297	0
3FL	EQX	1000000	2.6102	383105.72	0	0.2426	0
2FL	EQX	1000000	2.1015	475843.4	0	0.1133	0
1FL	EQX	908067.9	0.0419	21683038.68	24551.61	0.0137	0

模型分析法檢核(X)

Base shear of 1st and 2nd floor

$$\frac{V^i}{V^{i+1}} = \frac{V^1}{V^2} = \frac{1248418}{790090} = 1.58 \geq 0.9 \text{ (OK!)}$$

Stiffness of 1st and 2nd floor

$$\frac{K^i}{K^{i+1}} = \frac{K^1}{K^2} = \frac{475843.4}{383105.72} = 1.242 \geq 0.7 \text{ (OK!)}$$

案例五：補強成果展示



NAR Labs 國家實驗研究院
National Applied Research Laboratories



65

一. 階段性補強評估設計流程

二. 階段性A評估設計流程

三. 階段性B評估設計流程

四. 示範案例目前進度與概述

五. 設計方法於示範案例之應用

- 案例一：階段性補強A(基準一)
- 案例五：階段性補強A(基準二：模型分析法)
- 案例二：階段性補強A(基準二：簡易設計法)
- 案例四：階段性補強B
- 案例三：完整補強

案例二 建築物現況概述(花蓮縣，已竣工)

- 樓層：地上6層(含一夾層)、地下1層
- 樓地板面積：4899.33 m²
- 施作層：1F(690.5 m²)
- 補強方案：階段性補強A
- 設計監造：永安土木技師事務所
江文卿土木技師事務所
- 施工廠商：永信土木包工業
- 決標日期：108年6月25日
- 總補強費：3,090,311元整
- 開工日期：108年9月16日
- 變更設計兩次
- 竣工日期：109年1月21日



補強前

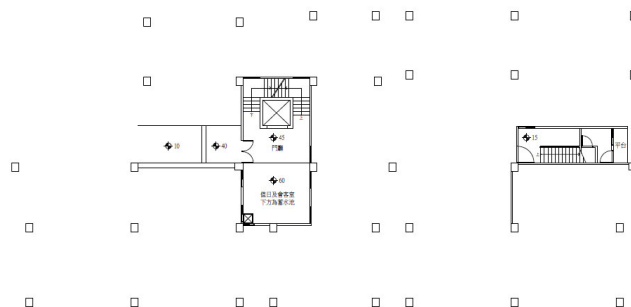


補強後

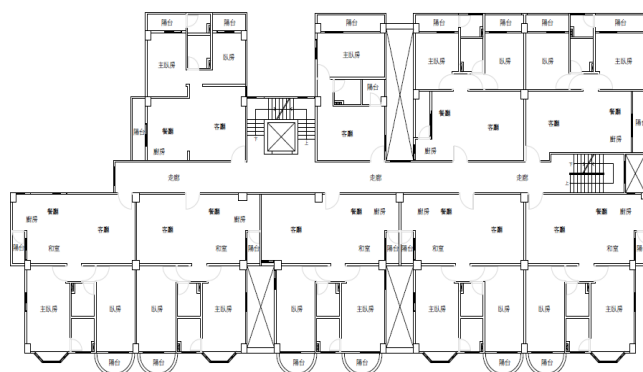
案例二：建築物現況

原始平面圖

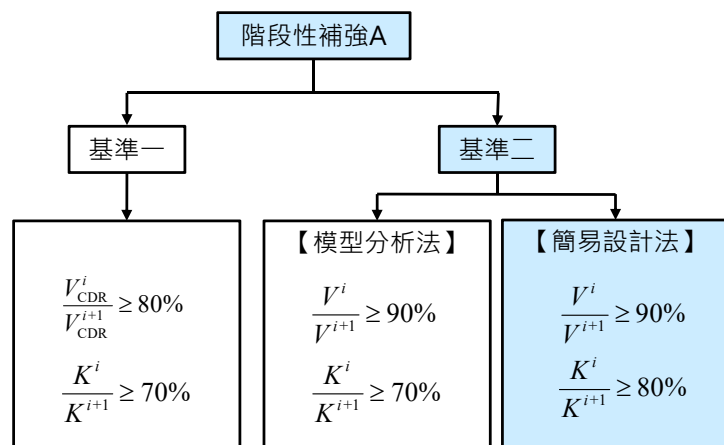
目標層



標準層



階段性補強A性能指標



V^i : 目標層以下之各層其極限層剪力強度

V^{i+1} : 目標層其上一層之極限層剪力強度

K^i : 目標層之側向勁度

K^{i+1} : 目標層其上一層之側向勁度

目標層以下之各層其極限層剪力強度不得低於其上一層者之90%；且該層側向勁度不得低於其上一層者之80%，以降低軟弱層集中式破壞之風險。

內政部營建署，「106年度單棟大樓階段性補強技術手冊及示範案例規劃設計監造-期中報告」

現況各樓層剪力強度

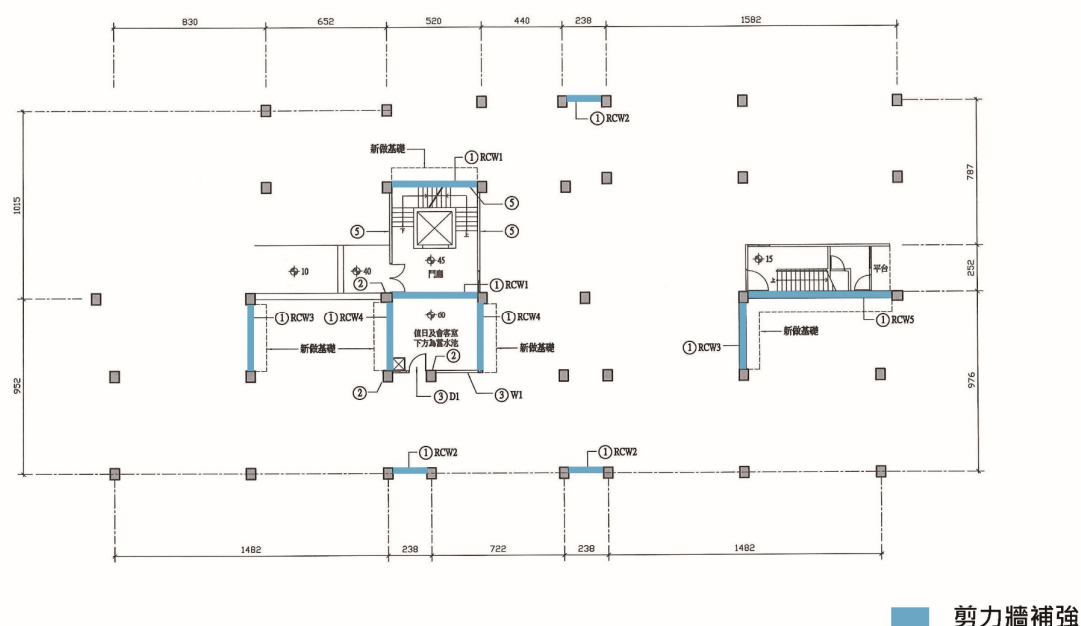
X向	樓高 (cm)	X向 $V_{i,rcw}$ (tf)	X向 $V_{i,bw}$ (tf)	X向 $V_{i,c}$ (tf)	X向 $V_{i,lc}$ (tf)	X向 V_i (tf)
1F	300	1582	-	1778	-	1778
2F	300	3682	-	3319	-	3682

$$\frac{V_{1F}}{V_{2F}} = \frac{1778}{3682} \times 100 = 48.29\% < 80\%(\text{NG})$$

Y向	樓高 (cm)	Y向 $V_{i,rcw}$ (tf)	Y向 $V_{i,bw}$ (tf)	Y向 $V_{i,c}$ (tf)	Y向 $V_{i,lc}$ (tf)	Y向 V_i (tf)
1F	300	1604	-	1795	-	1795
2F	300	3414	-	3113	-	3414

$$\frac{V_{1F}}{V_{2F}} = \frac{1795}{3414} \times 100 = 52.58\% < 80\%(\text{NG})$$

案例二：建築物補強位置

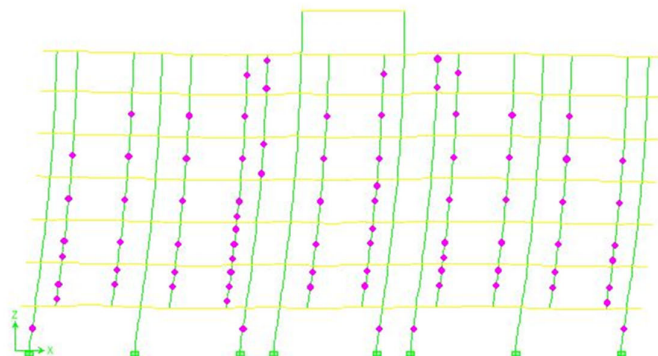
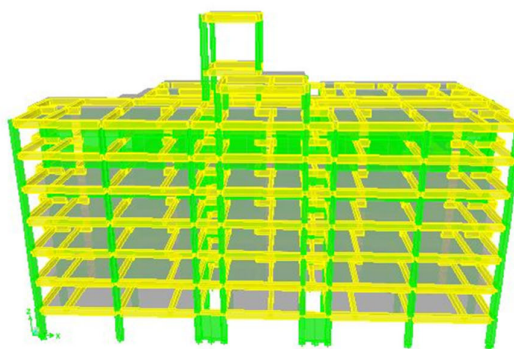


補強位置平面圖

補強後各樓層初步設計之剪力強度

方向	牆編號	牆長度	牆厚度	數量	強度	總強度 (tf)	補強後層剪力強度	強度比
X向	RCW1	480	25	2	528000	1300.2	3078.2	83.60 %
	RCW2	198	25	3	326700			
	RCW5	810	25	1	445500			
Y向	RCW3	390	25	2	429000	825	2620	76.74 %
	RCW4	360	25	2	396000			

補強後以模型法檢核



$$V_{1F} = 3053242 \text{ kgf} = 3053.2 \text{ tf}$$

$$V_{2F} = 3573455 \text{ kgf} = 3573.5 \text{ tf}$$

$$\left(\frac{V_c}{V_d} \right)_{1F} = \left(\frac{3053.2}{V_d} \right) = 82.02 \% > 80\%, \text{ O.K.}$$

$$\left(\frac{V_c}{V_d} \right)_{2F} = \left(\frac{3573.5}{V_d - F_{2F}} \right)$$

$$\frac{K_{1F}}{K_{2F}} = \frac{8244933}{5418131} = 152 \% > 70\%, \text{ O.K.}$$

$$\frac{K_{2F}}{K_{3F}} = \frac{5418131}{5438369} = 99.6 \% > 70\%, \text{ O.K.}$$

案例二：補強成果展示



一. 階段性補強評估設計流程

二. 階段性A評估設計流程

三. 階段性B評估設計流程

四. 示範案例目前進度與概述

五. 設計方法於示範案例之應用

- 案例一：階段性補強A(基準一)
- 案例五：階段性補強A(基準二：模型分析法)
- 案例二：階段性補強A(基準二：簡易設計法)
- 案例四：階段性補強B
- 案例三：完整補強

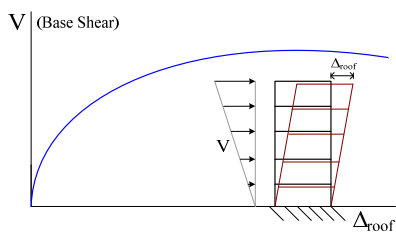
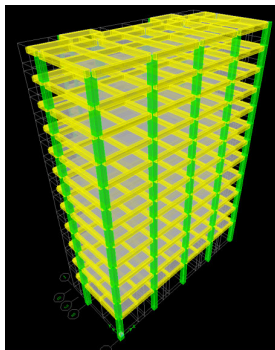
案例四 建築物現況概述(台北市，審查通過)

1. 樓層：地上13層、地下3層
2. 各樓層用途：
 - 1F：店鋪
 - 2F~13F：一般住宅
3. 樓地板面積：12920.71 m²
4. 施作層：B3F-8F (9772.02 m²)
5. 補強方案：階段性補強B
6. 總補強預算費：7,800,000 元
7. 設計監造：大匠工程顧問有限公司



階段性補強B性能指標

- 補強後之整幢(棟)結構在結構分析過程中選取的性能點，不會有任何一垂直承載構件發生軸向破壞或完全喪失側向強度之虞，其耐震性能地表加速度(A_p 值)須大於補強前的 A_p 值，且不得低於0.8倍的设计目標地表加速度(A_T 值)。



NAR Labs 國家實驗研究院
National Applied Research Laboratories

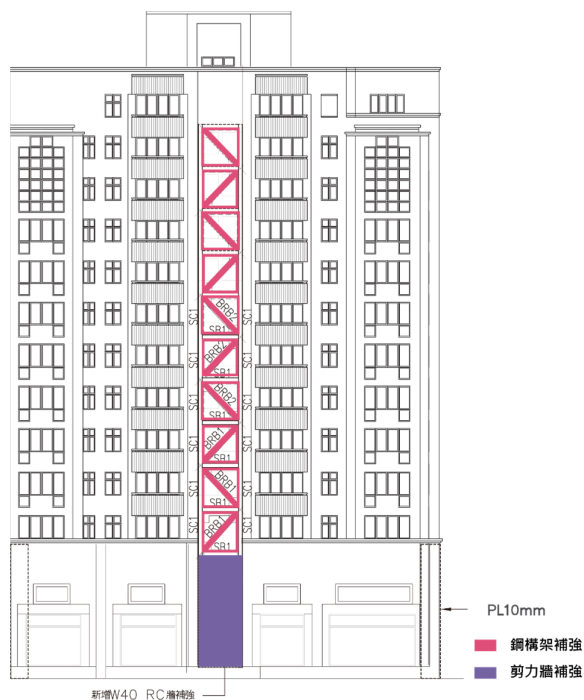
用途分組	A_p			A_T
第一類及第二類建築 ($I=1.5$)	$0.80V_{\max}^-$	$D_r^F = 1\%$	垂直承載構件發生軸向破壞或完全喪失側向強度	$0.4S_{DS}$
第三類建築 ($I=1.25$)	$V_{\max}$	$D_r^F = 2\%$		
第四類建築 ($I=1.0$)	$0.85V_{\max}^+$	$D_r^F = 2.5\%$		

註：

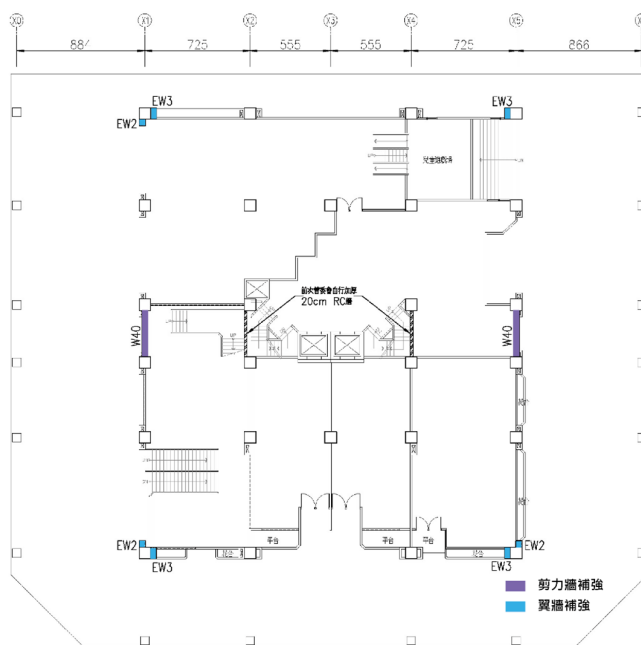
- 基底剪力 $0.80V_{\max}^-$ 位於容量曲線上升段，並為最大值($V_{\max}$)的 0.80 倍。
- 基底剪力 $0.85V_{\max}^+$ 位於容量曲線下降段，並為最大值($V_{\max}$)的 0.85 倍。
- 垂直承載構件發生軸向破壞係指各側推分析步中有任一柱構件之非線性變形到達 Δ_d 。

77

案例四：建築物補強位置



補強立面圖



補強平面圖

NAR Labs 國家實驗研究院
National Applied Research Laboratories

78

補強前結果分析

現況耐震能力檢討				
耐震能力需求 $A_T(g)$	$A_T=0.240$ $I=1.00$; 475年迴歸期地震地表加速度			
地震力作用方向	水平方向		垂直方向	
	+X 向	-X 向	+Y 向	-Y 向
耐震能力 $A_p(g)$	0.206	0.193	0.132	0.172
性能點基底剪力 V_p (kgf)	2787879.0	2737241.2	1630720.3	1648087.0
控制模式	Vmax控制	Vmax控制	Vmax控制	Vmax控制
耐震能力 $A_p(g)$	0.193		0.132	
CDR 值	0.804		0.551	
分析結果	需要補強		需要補強	

補強後結果分析

補強後耐震能力 (Y向)		
耐震能力需求 $A_T(g)$	$A_T=0.240$ $I=1.00$; 475年迴歸期地震地表加速度	
地震力作用方向	+Y向	-Y向
耐震能力 $A_p(g)$	0.231	0.224
性能點基底剪力 V_p (kgf)	1798305.8	1881455.1
控制模式	Vmax控制	Vmax控制
耐震能力 $A_p(g)$	0.224	
CDR 值	0.935	
分析結果	$A_p < A_T$	

案例四:補強成果展示



一. 階段性補強評估設計流程

二. 階段性A評估設計流程

三. 階段性B評估設計流程

四. 示範案例目前進度與概述

五. 設計方法於示範案例之應用

- 案例一：階段性補強A(基準一)
- 案例五：階段性補強A(基準二：模型分析法)
- 案例二：階段性補強A(基準二：簡易設計法)
- 案例四：階段性補強B
- 案例三：完整補強

案例三 建築物現況概述(花蓮縣，施工中)

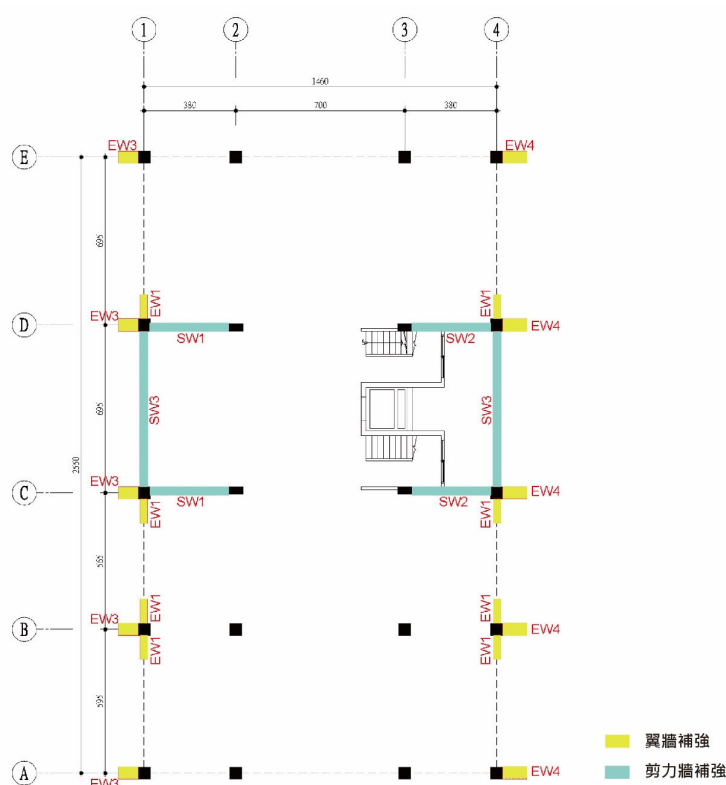
- 樓層：地上6層
- 樓地板面積：2304.74 m²
- 施作層：1F-6F(2304.74 m²)
- 補強方案：階段性補強B
- 總補強決標費：7,588,040元
- 設計單位：江文卿土木技師事務所
- 施工廠商：承太營造有限公司
- 開標日期：109年2月18日



補強前

案例三：建築物補強位置

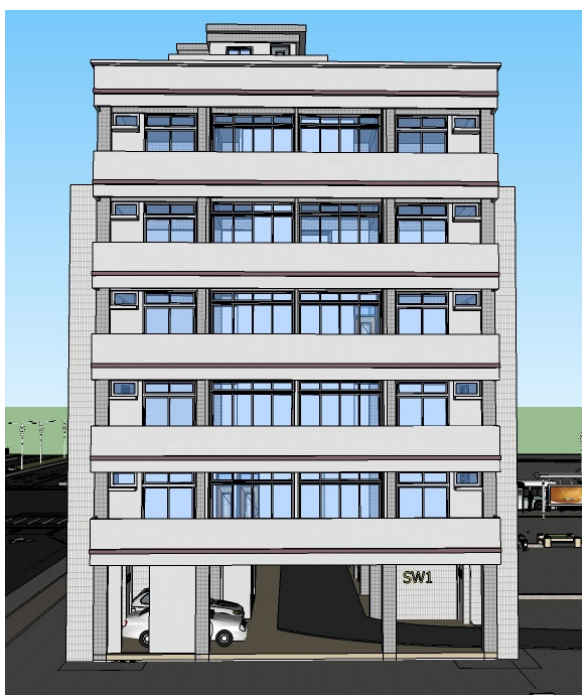
補強位置平面圖



補強結果分析(-X)

項目	補強前	補強後
評估方向	負X向	負X向
性能目標 $A_p(g)$	0.254	0.457
耐震需求 $A_T(g)$	0.4544	0.4544
評估結果	不符合	符合

案例三：補強成果展示



示範案例費用

案例	補強方式	設計監造費(元)	施工費(元)	總補強費(元)	總戶數	費用(元/戶)
案例一 工程竣工	階段性補強A	250,732	1,481,800	1,732,532	36	48,126
案例二 工程竣工	階段性補強A	540,000	2,550,311	3,090,311	45	68,674
案例三 工程發包	階段性補強B	300,000	7,288,040	7,588,040	18	421,558
案例四 工程預算	階段性補強B	600,000	7,200,000	7,800,000	48	162,500
案例五 工程發包	階段性補強A	292,000	1,750,000	2,042,000	34	60,059

報告完畢，敬請指導