

台北市三面開挖基地之 大樓結構設計

KAICHU



陳村林

凱巨工程顧問有限公司 總經理

前言

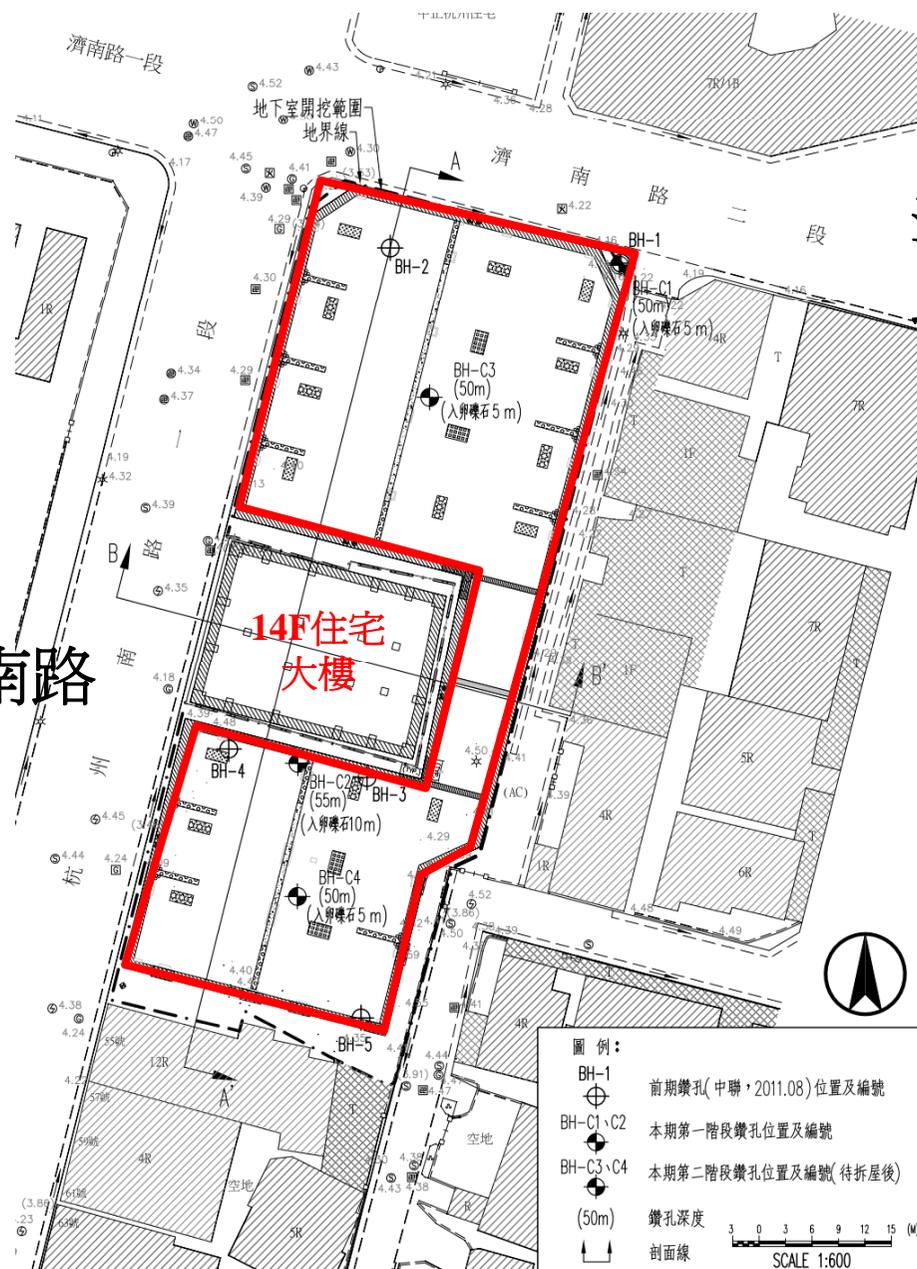
KAICHU

正隆股份有限公司擔任實施者，擬於台北市中正區杭州南路一段與濟南路二段交叉口，規劃興建兩棟SRC造之住宅大樓(一棟地上22樓及一棟地上21樓)，地下室開挖五層深度為20.9公尺，兩棟建築物之地下室呈凹字型連通，基地中央三面包圍一棟14F+B4F之既有住宅大樓，該大樓之地下室開挖深度約20.85公尺，與本案新建大樓之開挖深度相當。為確保新建大樓興建過程鄰房之安全性，本案地上層結構系統採用SRC結構系統，基礎結構採用樁基礎，地下室施工法採用安全性佳之分區逆打施工法，並提高基地開挖施工變位之控制標準，即比照捷運局對站體及軌道設施之容許變位值作為本案開挖變位之管控標準。

工址位置

杭州南路一段

濟南路二段



圖例：

- BH-1 前期鑽孔(中聯, 2011.08)位置及編號
- BH-C1、C2 本期第一階段鑽孔位置及編號
- BH-C3、C4 本期第二階段鑽孔位置及編號(待拆屋後)
- (50m) 鑽孔深度
- 剖面線

3 0 3 6 9 12 15 (M)
SCALE 1:600

建築設計概要及結構系統說明

KAICHU

➤ 建築設計概要

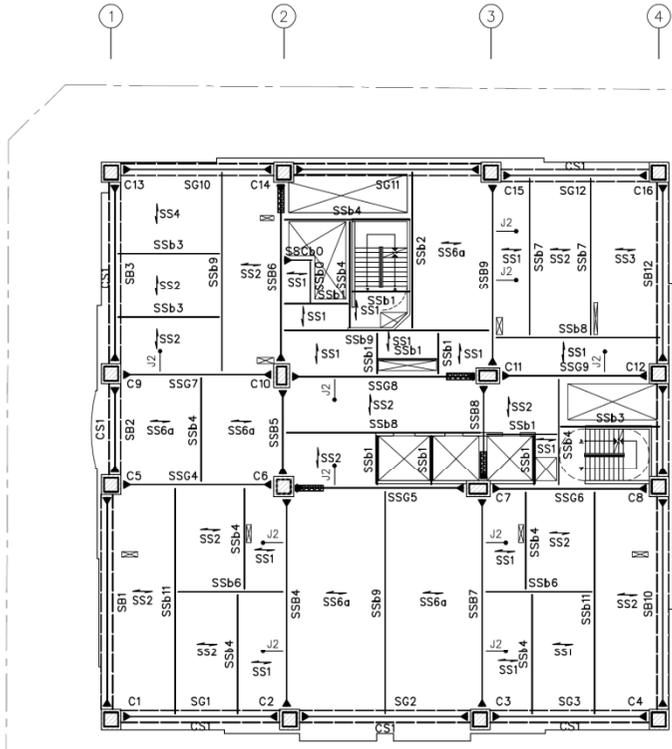
- 本案預計興建兩棟地上22F及21F住宅大樓，1F挑高為 4.20m
標準層樓高為 3.30m，兩棟建物總高度皆為 75.10m
- 地下室規劃為B5F，開挖深度為20.90m

➤ 結構系統說明

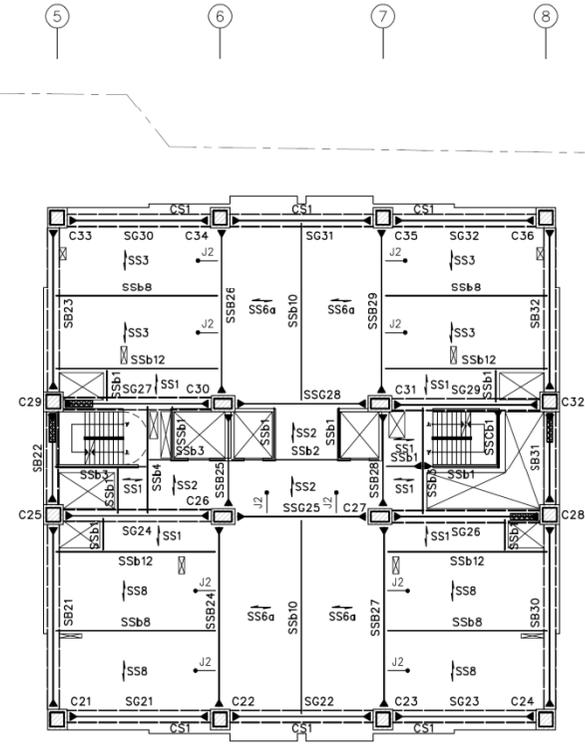
- 工址屬於臺北盆地之臺北三區(台北市中正區文北里，都更案依94年規範)
- 地上層結構系統：
X向及Y向：SRC柱、外周圈SRC梁、內部鋼梁之韌性抗彎矩構架系統
- 地下室結構系統：SRC柱、RC梁之韌性抗彎矩構架系統
- 基礎結構：樁基礎

上部結構平面

KAICHU



A棟



B棟

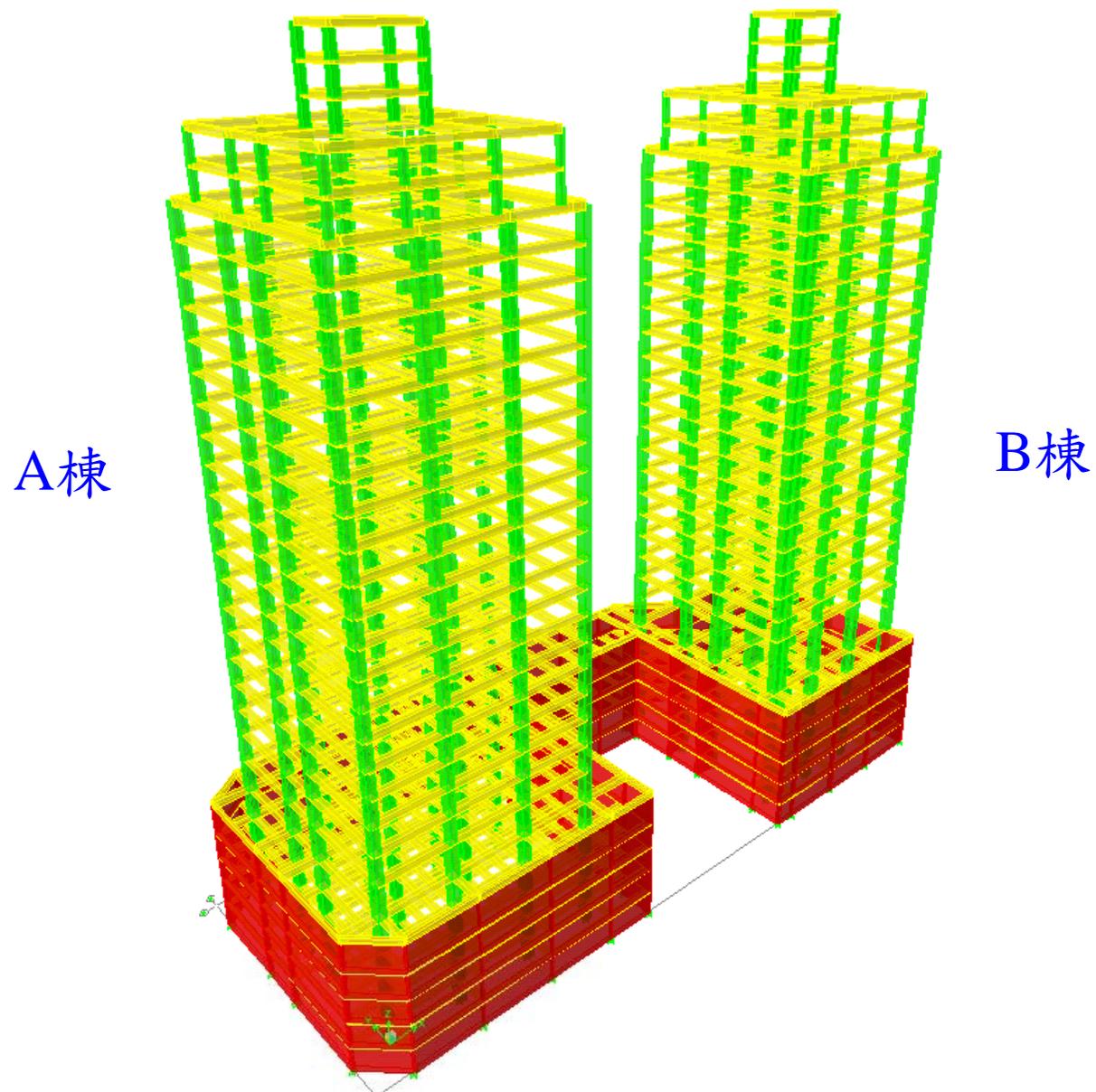
地下室結構平面

KAICHU



結構分析模型

KAICHU



設計荷重：

- a. 靜載重：考慮結構體自重及外加載重(包含水重及覆土重)。
- b. 活載重：B5FL~B1FL：500 kg/m² (停車場)
1FL：500 kg/m² (室內)；1000 kg/m² (室外)
2FL~R1FL：200 kg/m² (住宅)
- c. 風力：本基地位於台北市中正區屬於42.5m/s風力區，基地位於都會區取為地況B，依規範可計算出各向之設計風力，同時須檢核大樓屋頂居室之側向加速度值須小於0.05m/s²，以確保居住使用之舒適性。

✚ 設計荷重：

d. 水平設計地震力：

都更案依據民國94年頒佈施行之「建築物耐震設計規範及解說」

計算如下：

工址類別：台北盆地（台北市中正區文北里屬於台北三區）

水平譜加速度係數： $SDs = 0.60$ ， $SMs = 0.80$

（實際設計採用民國100年修正「建築物耐震設計規範及解說」
規定之台北二區進行設計）

結構材料規格

結構材料強度				
混凝土抗壓強度：				
$f_c' = 420 \text{ kg/cm}^2$ (FG~5FL)				
$f_c' = 350 \text{ kg/cm}^2$ (5F~11FL)				
$f_c' = 280 \text{ kg/cm}^2$ (11F~PRFL)				
鋼筋降伏強度：				
$f_c' = 4200 \text{ kg/cm}^2$ (#3~#10)				
鋼骨降伏強度：				
$F_y = 3500 \text{ kg/cm}^2$ (SN490BM) (鋼梁)				
$F_y = 3500 \text{ kg/cm}^2$ (SN490BM)(鋼柱)(鋼板厚度 < 40mm時採用)				
$F_y = 3500 \text{ kg/cm}^2$ (SN490CM)(鋼柱)(鋼板厚度 \geq 40mm時採用)				

結構斷面尺寸及分析結果

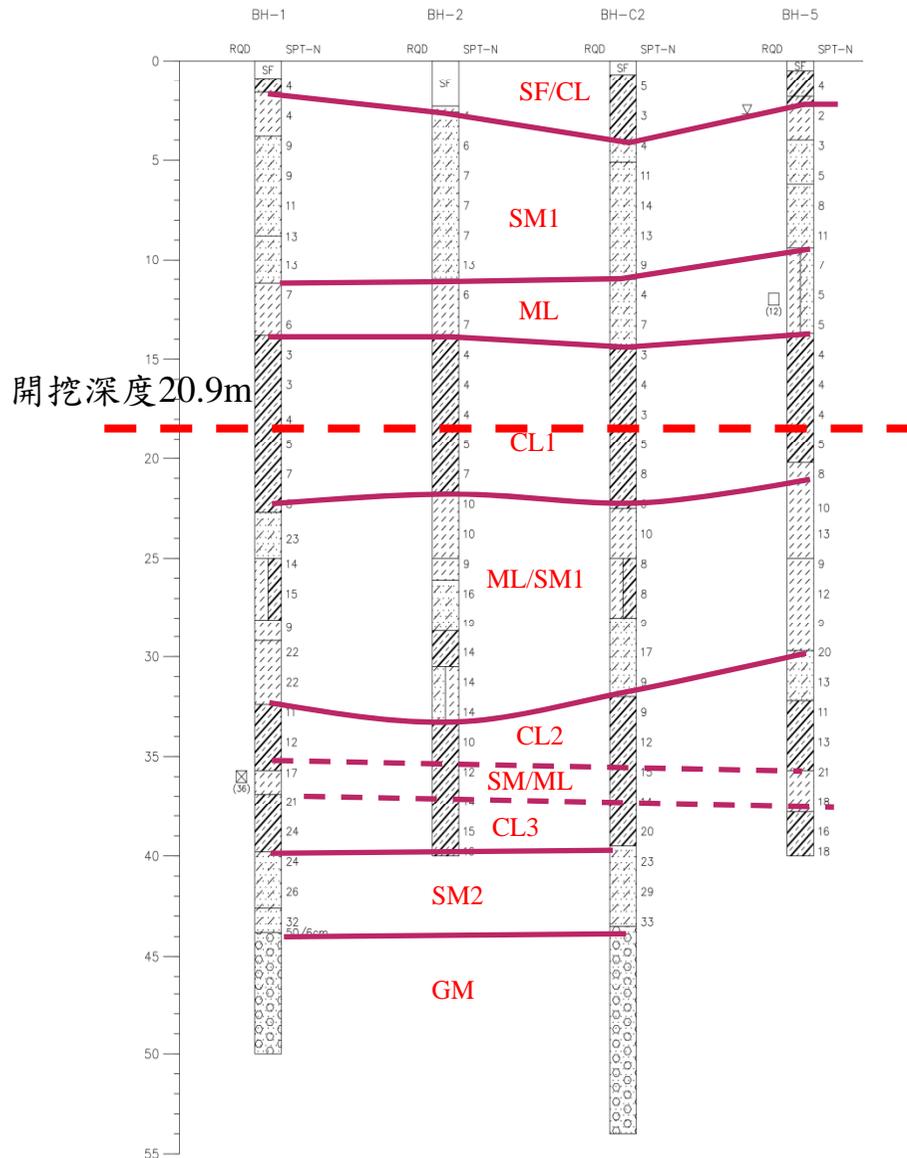
結構斷面尺寸	
大梁	標準層外周圈 SRC 梁 60 × 90 cm
	標準層內部鋼梁 H650 x 400 mm
SRC柱	110 cm x 110 cm (□ 800x800mm) (B5F-1F)
	150 cm x 80 cm (□ 1150x500mm) (B5F-1F)
	100 x 100 cm (□ 700x700 ~ □ 600x600mm) (2F以上)
	120 x 80 cm (□ 900x500 ~ □ 700x500mm) (2F以上)

結構分析成果				
	A棟(22F)		B棟(21F)	
	X	Y	X	Y
最大層間變位角	0.0030	0.00303	0.00278	0.00317
法規週期 (s)	2.50	2.50	2.50	2.50
動力週期(s)	2.41	2.44	1.75	2.03
設計地震力	0.092 W	0.091 W	0.127 W	0.110 W

地下室施工法：

本案為都會區之深開挖個案，加上基地條件呈凹字型，造成三面開挖中央包圍一棟14F/B4F之既有建築物，為確保施工過程鄰房之安全性，本案施工法採用分區逆打工法，基礎結構採用樁基礎，四周擋土結構採用厚度100公分，深度達到GL-43.0 m之連續壁，加上配置多道地中壁及扶壁加強，經RIDO分析開挖變位量最大為5.76cm(開挖變位角約 $1/362 < 1/240$)。

地層分類及地下水位



土層	土層概述	平均分布深度 (m)	N值 (平均)
1	回填層/粉土質黏土層(SF/CL)	0 ~ 3.8	2~5 (3)
2	粉土質砂層(SM1)	3.8 ~ 10.7	4~18 (9)
3	細砂質粉土層(ML)	10.7 ~ 13.7	4~9 (5)
4	粉土質黏土層(CL1)	13.7 ~ 21.3	3~8 (4)
5	砂質粉土層夾粉土質砂 (ML/SM1)	21.3 ~ 31.8	8~23 (11)
6	粉土質黏土層(CL2)	31.8 ~ 34.2	9~21 (9)
7	粉土質細砂與砂質粉土互層 (SM/ML)	34.2 ~ 36.7	15~22 (14)
8	粉土質黏土層(CL3)	36.7 ~ 40.0	13~25 (16)
9	粉土質砂(SM2)	40.0 ~ 43.0	23~43 (30)
10	卵礫石層(GM)	43.0 ~	-

設計常時水位採GL-2.5m；永久之設計地下水位則採現地表面

三面開挖地下室安全性之特別檢討：

KAICHU

本案為都市更新開發案，為確保施工之安全性，地下室採用分區逆打施工法，因基地形狀特殊造成三面開挖，實施者為確實回應審議會及鄰房的安全疑慮，同意提高地下室施工安全性之管控標準，即比照捷運局對站體及軌道設施容許變位之管控值作為本案開挖變位之標準，並委由地工顧問富國技術工程公司進行地工部份3D模擬分析，及提出必要之評估建議。

✚ 本案開挖安全評估標準

- ✚ 比照「台北市大眾捷運系統兩側禁建限建辦法」
- ✚ 地下段明挖覆蓋結構部分：
 - 不得造成地下車站、出土段、明挖覆蓋隧道承載軌道結構之傾斜量超過1/1000。
 - 軌道位移水平、垂直位移量小於1公分。
 - 不得造成通風井、出入口、出土段、地下車站、變電站結構之總沉陷量超過2.5公分。
- ✚ 確保兩棟中央既有14F建物安全，本案分析基準：
 - 基礎版採用軌道的變形標準，即建物傾斜必須小於1/1000，基礎版水平及垂直位移亦不得大於1公分。
 - 其餘地下室樓版則控制變位不得大於2.5公分。

地下室加強措施及逆打工法施工順序：

KAICHU

為避免連續壁挖掘施工時對鄰房大樓之影響，連續壁施工前於鄰房側之連續壁外側施作 $\phi=35\text{cm}$ ，深度為25m之密接預壘樁作為保護措施，新建地下室開挖施工採用分區逆打工法，第一區先同時開挖基地南北兩側面積較大之區域，以避免產生不平衡土壓，並完成該分區一樓版後，再進行東側連通道之第二區開挖施工，以降低連續壁側向變形及開挖解壓對鄰房大樓之影響，其他逆打施工階段皆採相同順序進行分區開挖施工。

南北向剖面

濟南路二段
路面超載(10kPa)

基地開挖區

基地開挖區

南側鄰房超載(50kPa)

16m

40m

2.7±0.1m

18.8m

1.9±0.1m

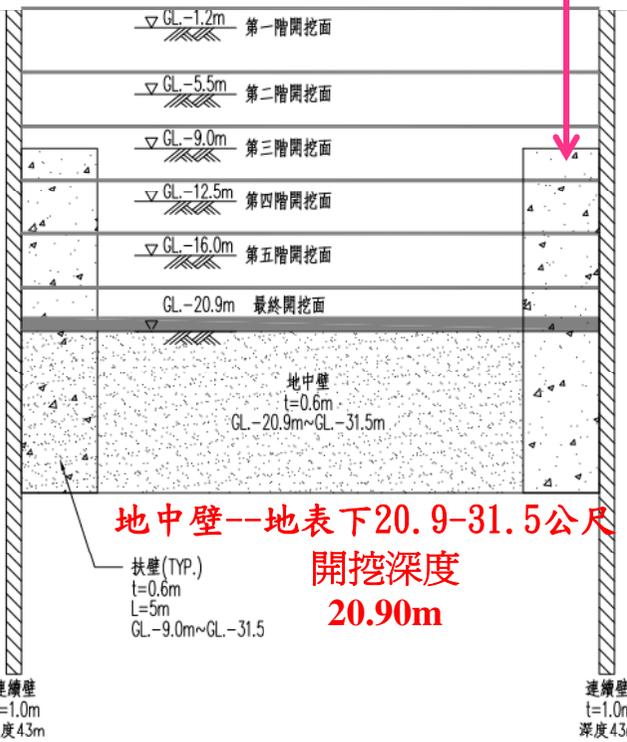
29m

8.3m

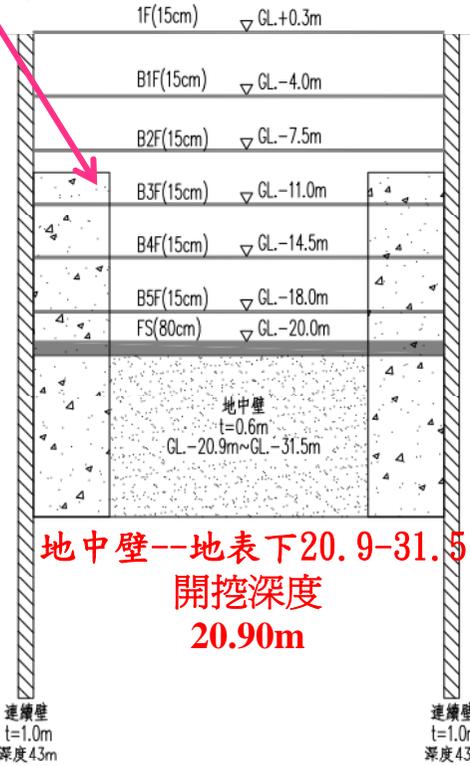
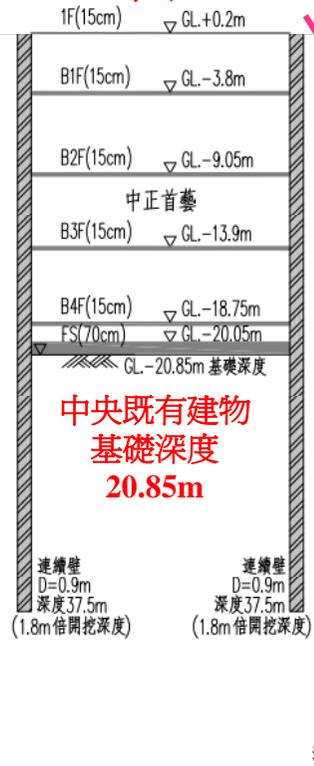
(投影)
BH-2

扶壁長5公尺，地表下9.0至31.5公尺

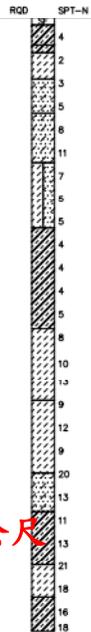
(投影)
BH-5



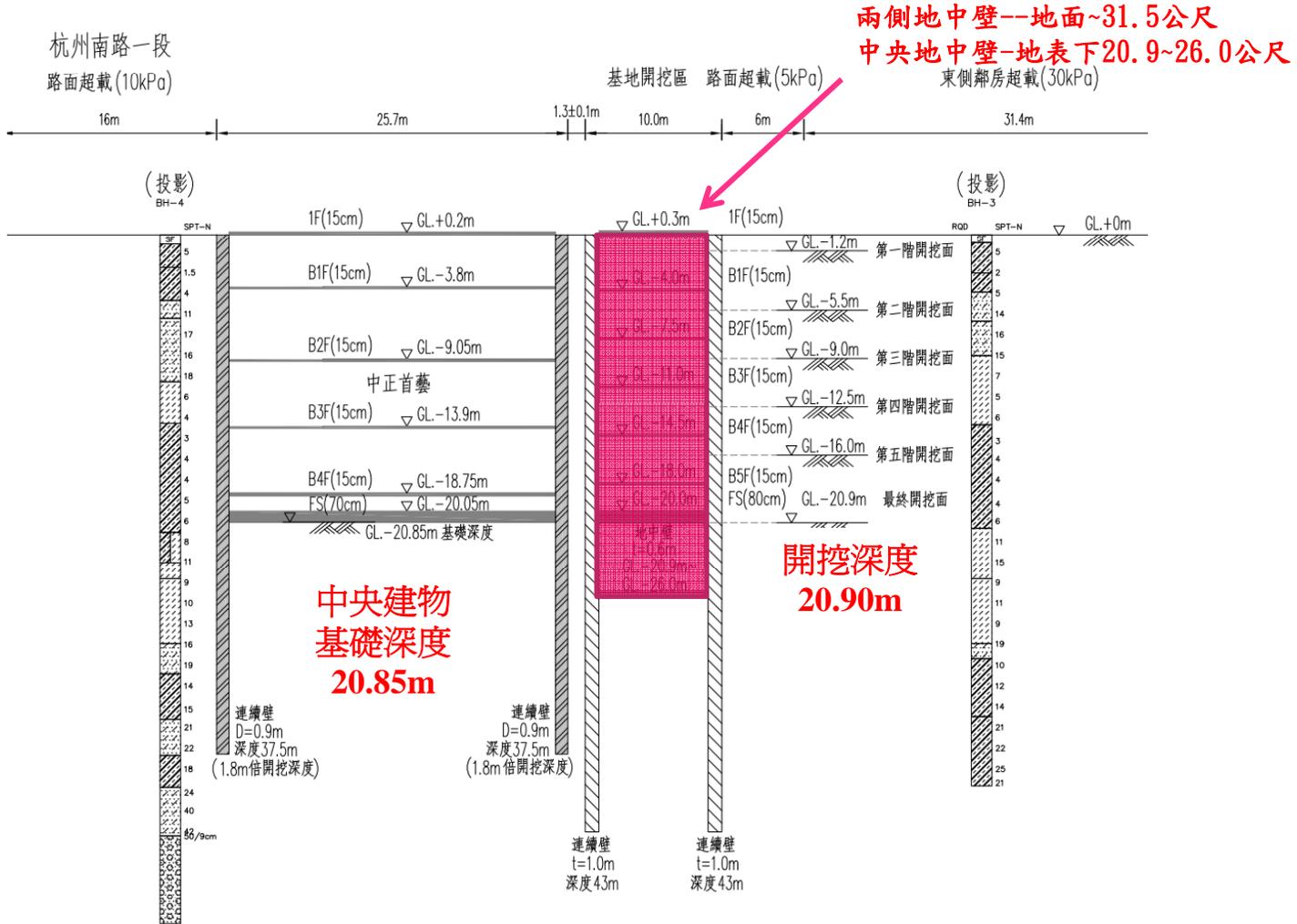
地中壁--地表下20.9-31.5公尺
開挖深度
20.90m



地中壁--地表下20.9-31.5公尺
開挖深度
20.90m

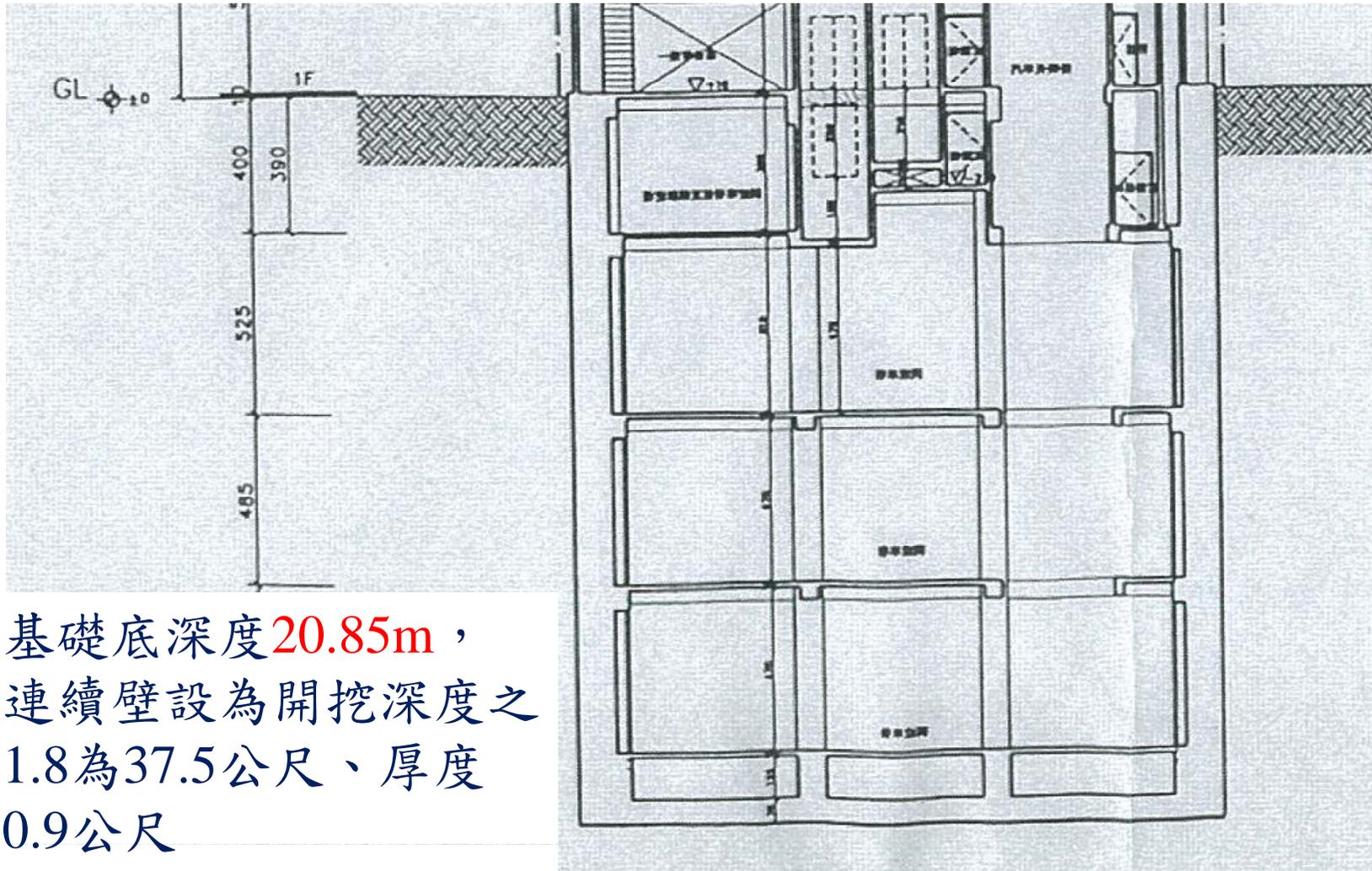


東西向剖面



中央既有住宅大樓(14F/4B)

KAICHU

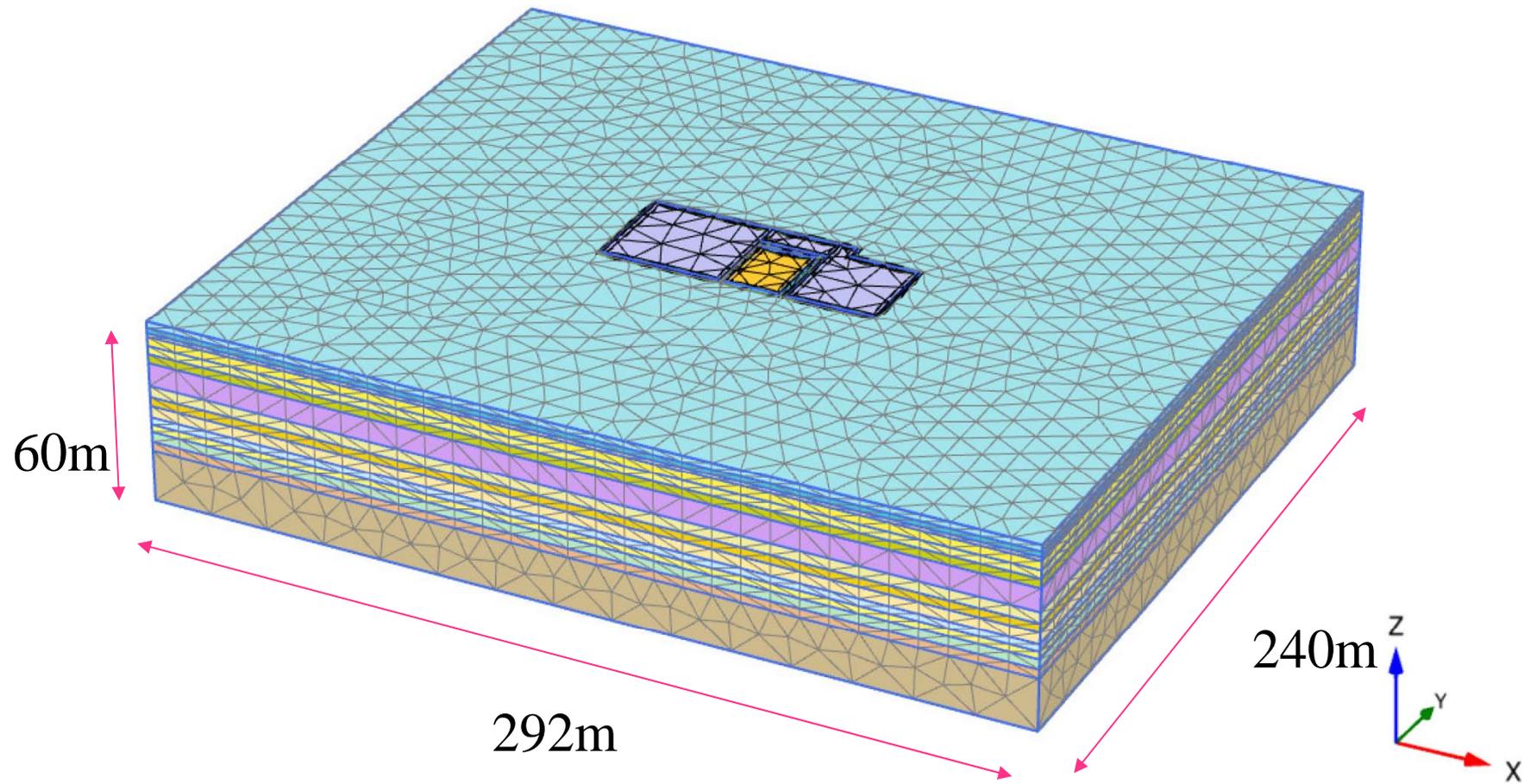


本案開挖深度為20.90m

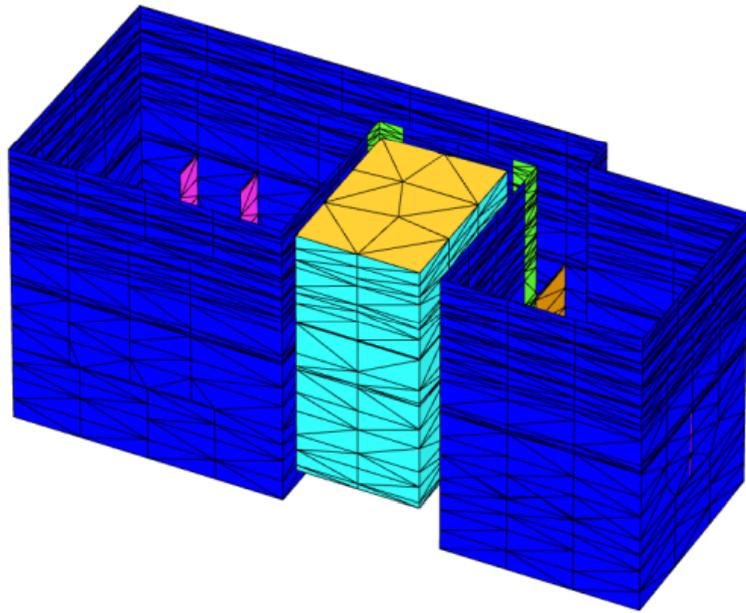
地下室開挖之3D模擬分析方法

- 本案分析採用PLAXIS 3D三維有限元素法進行分析，採用之土壤模式為Hardening Soil(HS)彈塑性模式，此土壤模式除考慮應力-應變非線性行為外，在加壓及解壓狀態下土壤楊氏模數亦分別考量，因此較符合地下室開挖土壤解壓之實際變形行為。
- 分析範圍取新建案開挖深度之5倍範圍，分析模式除考慮新建大樓在開挖階段長期及短期荷重作用時，分別計算四週連續壁之變位量及因此造成鄰房基礎及各層樓版之變位量及傾斜量，模式分析另有考慮中央區既有大樓在短期地震力作用時，基層剪力及傾覆力矩對新建大樓各開挖階段連續壁變位之影響。

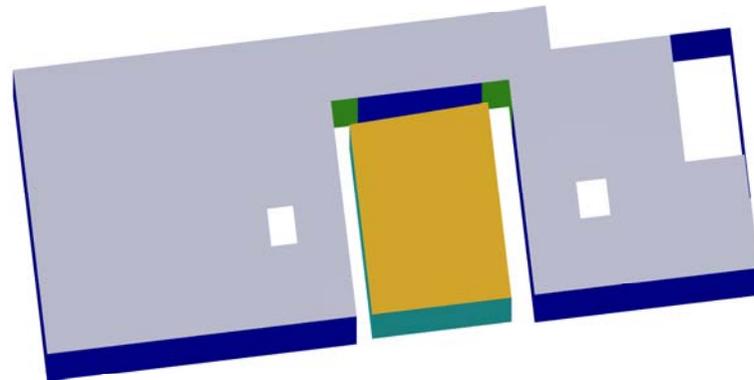
分析模型範圍(開挖範圍外5He)



地下室結構模擬

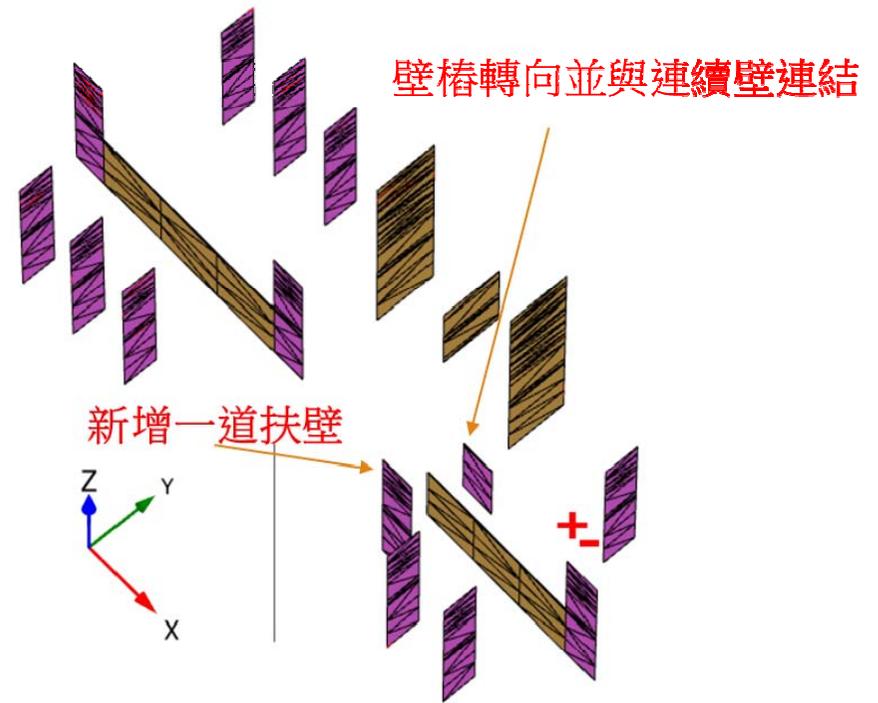
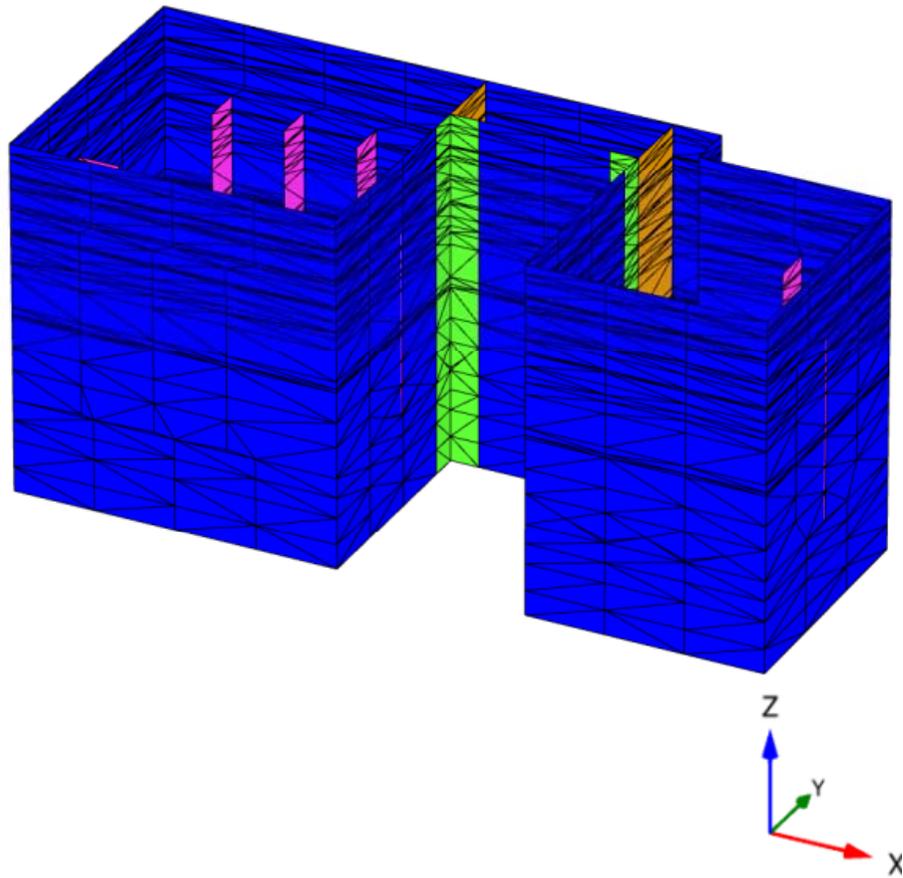


取土口及車道開口

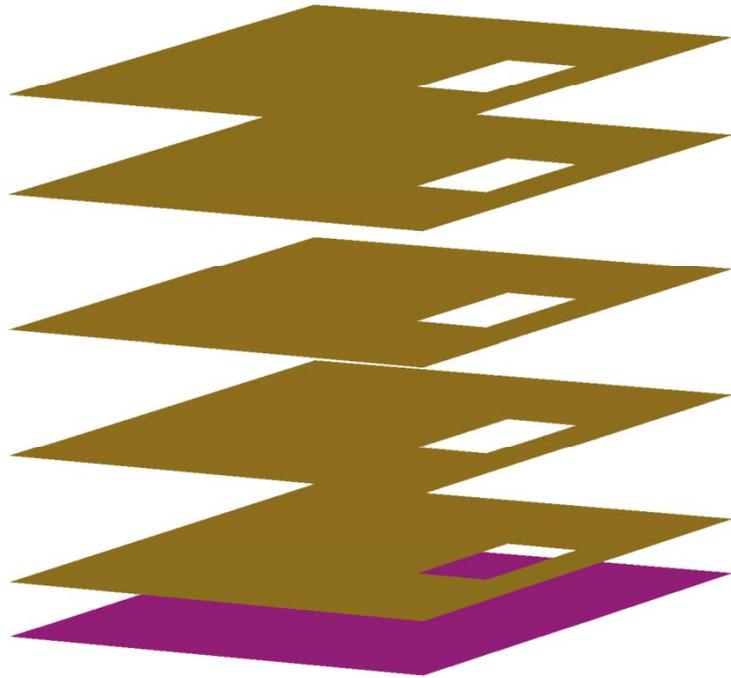


地中壁、扶壁模擬

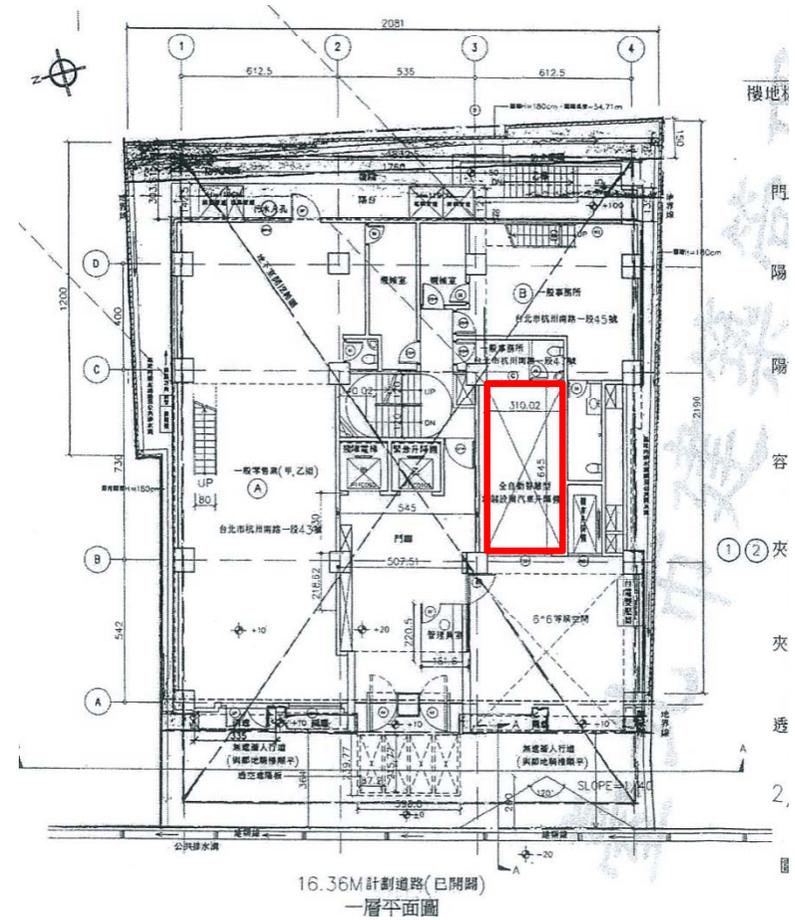
KAICHU



地下室樓版開口模擬



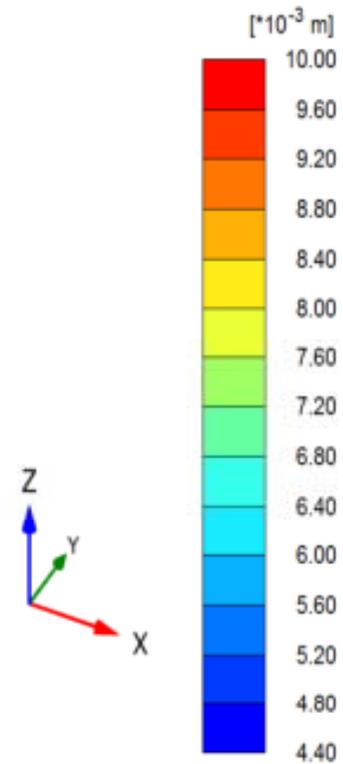
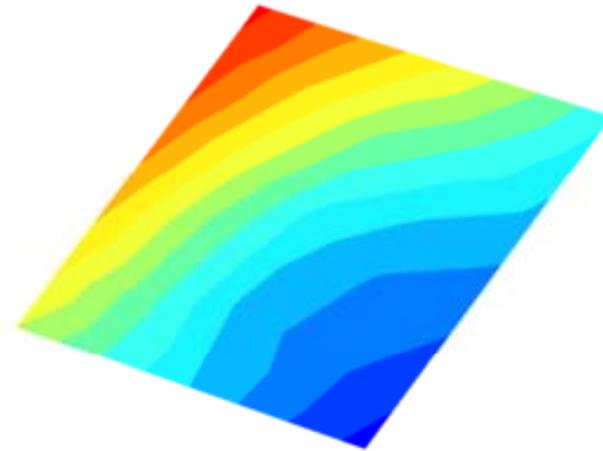
1F、B1、B2、B3、B4 樓版開口 7.3m×3m



開挖階段鄰房基礎變位量分析

(開挖至20.9m + 考量一般設計地震力(0.14g)時之動土壓增量)

Z向：8.937mm(基礎版)



既有建物角隅傾斜量

表 4.6(d) 最終開挖階段動土壓力造成之傾斜量

施工階段	施工項目	動土壓力方向	建物角隅傾斜量(南北向,座標 X 向)										
Phase-21	南北側大開挖區開挖至 GL.-20.9m	X 軸線水平向	角隅編號	編號 1(x=42,y=24.5)					編號 2(x=60,y=25.2)				
			樓層	1F~B1	B1~B2	B2~B3	B3~B4	1F~FS	1F~B1	B1~B2	B2~B3	B3~B4	1F~FS
			傾斜量	0.11/1000	0.1/1000	0.11/1000	0.11/1000	0.11/1000	0.1/1000	0.09/1000	0.1/1000	0.1/1000	0.1/1000
			角隅編號	編號 3(x=42,y=0.0)					編號 4(x=60,y=0.0)				
			樓層	1F~B1	B1~B2	B2~B3	B3~B4	1F~FS	1F~B1	B1~B2	B2~B3	B3~B4	1F~FS
			傾斜量	0.1/1000	0.09/1000	0.09/1000	0.1/1000	0.1/1000	0.1/1000	0.09/1000	0.1/1000	0.1/1000	0.1/1000
施工階段	施工項目	動土壓力方向	建物角隅傾斜量(東西向,座標 Y 向)										
Phase-23	東側小區域開挖至 GL.-20.9m	Y 軸線水平向	角隅編號	編號 1(x=42,y=24.5)					編號 2(x=60,y=25.2)				
			樓層	1F~B1	B1~B2	B2~B3	B3~B4	1F~FS	1F~B1	B1~B2	B2~B3	B3~B4	1F~FS
			傾斜量	-0.04/1000	-0.04/1000	-0.04/1000	-0.03/1000	-0.03/1000	-0.05/1000	-0.04/1000	-0.04/1000	-0.02/1000	-0.04/1000
			角隅編號	編號 3(x=42,y=0.0)					編號 4(x=60,y=0.0)				
			樓層	1F~B1	B1~B2	B2~B3	B3~B4	1F~FS	1F~B1	B1~B2	B2~B3	B3~B4	1F~FS
			傾斜量	-0.06/1000	-0.05/1000	-0.04/1000	-0.03/1000	-0.04/1000	-0.04/1000	-0.04/1000	-0.03/1000	-0.03/1000	-0.03/1000

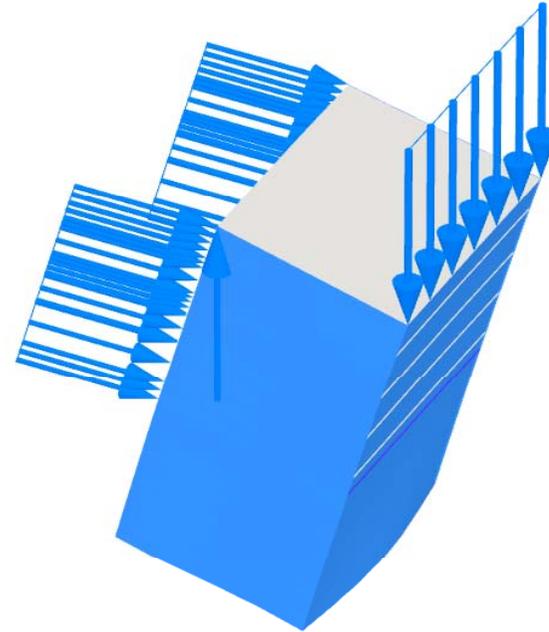
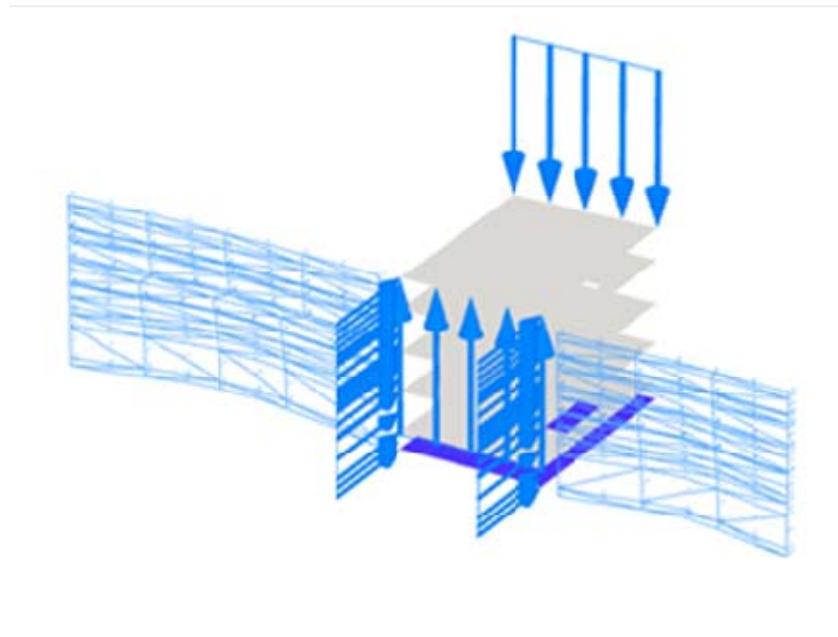
註：傾斜量為各層樓版角隅水平位移差值除以樓層高度計算，其南北向傾斜正值表示朝基地南側，東西向傾斜正值表示朝基地東側。

- 經分析最大建物角隅傾斜量為 **0.11/1000** < 管控基準 **1/1000**

分析結果

		評估項目	分析結果(最大值)			管控要求
			常時	常時 降低參數	開挖至20.9m 0.14g地震力	
地下室樓版	南北向 (X向)	水平方向位移	1.752mm (向基地南側)	1.736mm (向基地南側)	5.328mm (向基地南側)	< 2.5cm
		結構傾斜量	0.04/1000 (向基地南側)	0.04/1000 (向基地南側)	0.11/1000 (向基地南側)	< 1/1000
	東西向 (Y向)	水平方向位移	2.791mm (向基地東側)	3.502mm (向基地東側)	6.669mm (向基地東側)	< 2.5cm
		結構傾斜量	-0.16/1000 (向基地西側)	-0.19/1000 (向基地西側)	-0.06/1000 (向基地西側)	< 1/1000
基礎版	南北向 (X向)	水平方向位移	0.454 (向基地南側)	0.622 (向基地南側)	3.320 (向基地南側)	< 1.0cm
	東西向 (Y向)		2.924 (向基地東側)	3.722 (向基地東側)	6.616 (向基地東側)	< 1.0cm
	垂直向 (Z向)	垂直方向位移	9.668mm(回脹)	9.495mm(回脹)	8.937mm(回脹)	< 1cm
		基礎版垂直角變量	0.534/1000	0.575/1000	0.584/1000	< 1/1000

中央既有大樓受地震作用之傾覆行為模擬



分析結果

(含0.14g動土壓力+中央既有大樓之地震力)

		評估項目	分析結果(最大值)	管控要求
			地上樓層受地震力作用	
地下室樓版	南北向 (X向)	水平 方向位移	0.9 cm (向基地南側)	地下室樓版
		結構 傾斜量	0.27/1000 (向基地南側)	
	東西向 (Y向)	水平 方向位移	1.06 cm (向基地東側)	
		結構 傾斜量	0.3/1000 (向基地東側)	
基礎版	南北向 (X向)	水平 方向位移	0.28 cm (向基地南側)	基礎版
	東西向 (Y向)	水平 方向位移	0.69 cm (向基地東側)	
	垂直向 (Z向)	垂直 方向位移	0.99 cm(回脹)	
		基礎版 垂直角變量	0.216/1000	

✚ 結論與建議

都市更新開發案需解決的問題很多，惟有關鄰房保護及施工安全性的確保是必要的，本案最後能取得鄰房大樓住戶的諒解及審議會的審議通過，有以下二項特點：

1. 本案因基地條件特殊，在都市更新審議過程引起很多施工安全性之質疑，為釐清疑慮乃依照委員會之決議，先行專案委託台大地震工程中心結構外審通過後，再送回都市更新審議會核備。
2. 本案不採用1/240之一般性連續壁開挖變位管控標準，直接提高到符合捷運局對站體及軌道設施容許變位值之較嚴格管控標準進行鄰房安全性檢核。

敬請指教！

