

地下鉄に近接する地中連続壁・逆打工法の施工報告

—金朋建設大安琉御集合住宅（台北市）—

山崎英樹* ^{リン}林 ^{ペイエン}培元* 富田浩章** 渡辺則雄***

本案件は、台北 101 に通じる信義路に面し、目下その信義路の直下を台北市により地下鉄工事が行われている。本工事の連続壁は幅 80cm・深さ 34m・逆打ち工法である。一方地下鉄側の連続壁は幅 150cm・深さ 74m・順打ち工法である。双方同時期に地下工事が行われる中、逆打ち・順打ち・切梁のバランスを見ながら、安全・品質に気を配り、最も接近したところではわずか 65cm の距離に、地中連続壁の打設を行った。通常の範囲を超えた異例の近接工事の記録である。

キーワード：地下鉄工事, 近接工事, 地下工事, 地中連続壁, 逆打ち工法

1. はじめに

本案件は、長方形(45x20m)面積約 980 m²の敷地に、地下 4 階・地上 14 階の延べ床面積 11,981 m²の集合住宅を建設するプロジェクトである。(Photo. 1)



Photo. 1 完成予想模型

北側は幅員約 4m の通りを隔て、施工中の RC 造 B2F/12F 建てビル。西側は、SRC 造 B4F/14F 建て住宅ビル「信義双璽」。東側は、幅員 4m の通りを隔て、台北市地下鉄東門駅の地下出入り口用通路および SRC 造 12F 建て東門郵便局オフィスビルの建築予定。南側は、幅員 40m の信義路、その地下で東門駅駅舎の施工中である。

今回の工事における最大の問題は、同時並行で南側に施工中の台北地下鉄東門駅駅舎工事と、通常の範囲を超えた異例の近接工事、しかも双方同時期に掘削工事を進めていかなければならないところにあった。(Fig. 1)

* 華熊營造股份有限公司
** 国際支店
*** 技術研究所

2. 工事概要

2. 1 建物概要

- 工事名称：金朋建設大安琉御集合住宅大樓新築工事
- 建築場所：台北市中正区信義路二段 159 号
- 発注者：金朋建設股分有限公司
- 意匠設計：郭旭原建築師事務所
- 構造設計：永峻工程顧問(構造監理)
- 敷地面積：980 m²
- 建築面積：555.83 m²
- 延べ床面積：11,981 m²
- 階数：地下 4 階, 地上 14 階
- 高さ：49.95m
- 構造：SRC 造
- 用途：住宅
- 工期：2008 年 1 月 1 日～2010 年 4 月 30 日
- 工事範囲

地中連続壁, 地下地上躯体工事 (SRC), サッシュ・外装 (石乾式, 二丁掛けタイル), 内装 (床壁大理石, その他の部位はここでは省略), 駐車場 (機械式駐車), 外構工事, 電気・設備工事, 鉄骨・E L V は指定下請工事。

■ 主要工事数量

掘削深さ	18.15m	鉄骨	1,730 t
掘削土量	15,427 m ³	コンクリート	8,604 m ³
鉄筋	1,043 t	型枠	46,603 m ²

※地下鉄側工事概要

発注者：台北市政府 捷運工程局
 施工者：中華工程公司・日商大豊營造台湾分公司 JV
 工期：2003.07.01～2013.03.25
 掘削深：31.20m

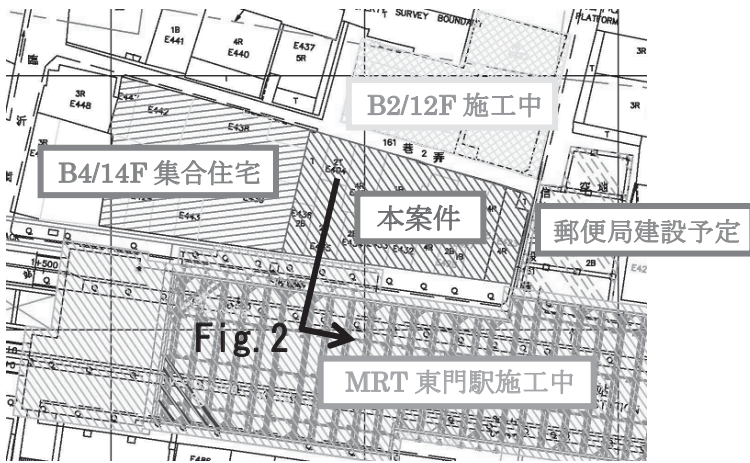


Fig. 1 敷地位置図

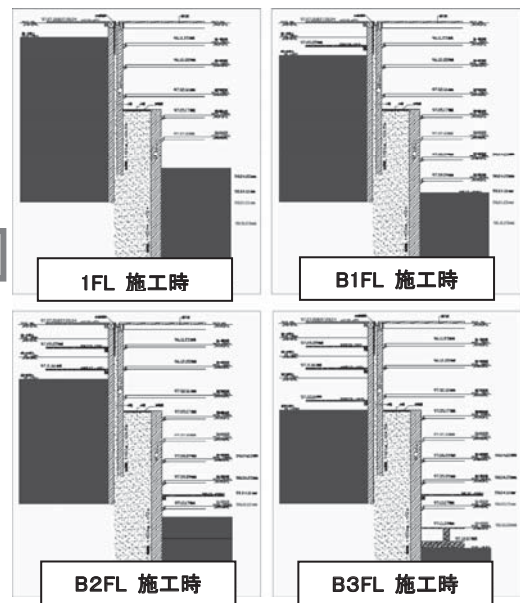


Fig. 2 地下鉄側とのレベル関係図

2.2 地下工事概要

本案件の原設計は、逆打ち工法で地中連続壁および仮設の控壁を利用し、掘削時の山留めを構成するものであった。地中連続壁は将来の地下室の外壁（本体構造物）で、厚さ 80 cm・深さ 34m、外周部の基礎杭の役割も担っており、中央部の基礎杭と耐圧版を介して連結され、建物全体の自重を支える構造となっていた。

われわれは、受注後直ちに地下を中心に施工計画を作成し、今回の懸案事項でもある南側の台北地下鉄東門駅駅舎工事に対しての、掘削時における地下工事の安全性に関する検討を行った。そして構造設計の永峻工程会社に協力を仰ぎ、着工前に施主に対し、地下部基礎工事の施工に関する右記の VE 案を提出した。（Fig. 3）

V E 案

1. 一部の矩形基礎杭の方向および寸法を調整、掘削機械を統一して工期短縮を図る。
2. 仮設の控壁を止め、その代わりに東西南方向約全体 3 分の 2 の位置に、仮設の地中壁（厚さ 50 cm）を 2 枚設けコストダウンを図る。
3. 1F から始まる外周部分の鉄骨柱に関して、連続壁に箱抜きをして打設をし、後施工を行う原設計案から、連続壁施工時に鉄骨柱を先行挿入するという方法に替える事により、第一次掘削および 1F スラブの工期短縮を図る。

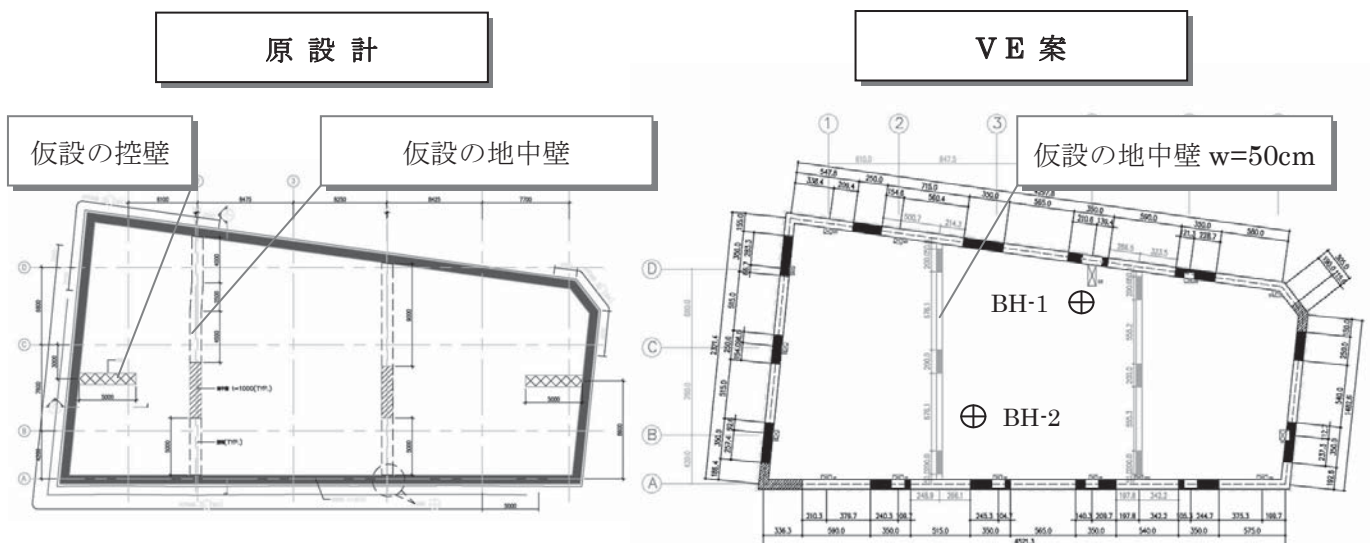


Fig. 3 連続壁・控壁・地中壁配置図

3. 基礎工事の施工管理記録

3.1 地盤概要

本敷地は台北盆地松山層に属し、その構成地盤は6層に分けられて、湖底層および海底層が交互に沈積し、各地層が盆地の中心に近ければ近いほどはっきり見える。盆地の縁に近い地層は、山麓または河川の沖積物の影響を受け、複雑な様相を呈している。一般には、台北盆地は典型的な松山層で、『シルト質粘土(CL-ML または CL) またはシルト(ML)』および『シルト質砂または砂礫(SM)』が交互に堆積する地層である。(Table 1) (Fig.4)

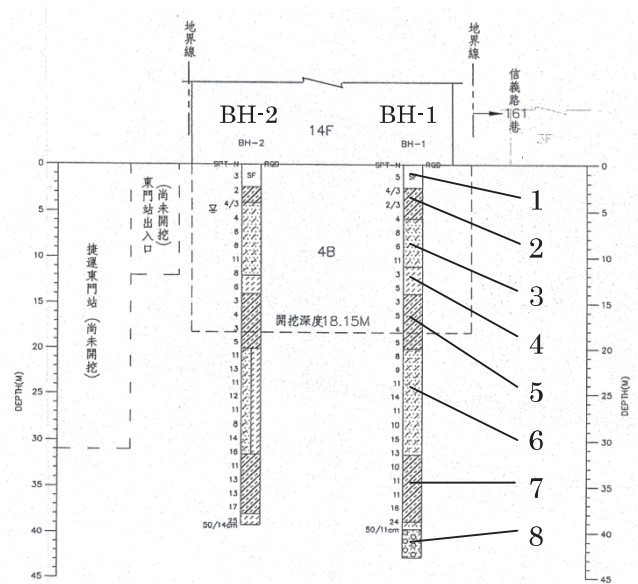


Fig.4 地層断面図

Table 1 ボーリングデータ

層別	地層	平均分布深	平均圧	N値	γ_t	e	Wn	WL	Ip	C	Ψ'	Cc	Cr	Su
		(m)	(m)											
1	砂質細粒土(埋め戻し土)(SF)	0~2.5 (0~2.5)	2.5	3~5 (4)	1.81	0.97	33	-	-	-	-	-	-	-
2	粘土質細粒土(CL1)	2.4~5.8 (2.5~5.0)	2.5	1~2 (1)	1.84	0.98	33	45	20	0	25	-	-	2
3	砂質シルト/シルト質細粒土(SM/ML1)	4.1~14 (5~14.1)	9.1	3~11 (7)	1.92	0.73	24	-	-	0	28	-	-	-
4	粘土質細粒土(CL2)	14~20 (14.1~20.1)	6.0	3~5 (4)	1.85	0.96	33	37	16	0	28	0.35	0.04	4
5	砂質シルト/シルト質細粒土(SM/ML2)	20~31.5 (20.1~31.6)	11.5	8~16 (12)	1.90	0.80	27	-	-	0	30	-	-	-
6	粘土質細粒土(CL3)	31.5~38.8 (31.6~38.5)	6.9	10~17 (13)	1.93	0.83	29	33	12	0	31	0.3	0.03	10
7	砂質シルト/シルト質細粒土(SM/ML3)	38~39.6 (38.5~39.5)	1.0	24~25 (25)	2.01	0.59	19	-	-	0	33	-	-	-
8	れき質粗粒土(GP)	39.2以下	-	>50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

3.2 連続壁工事

本工事の連続壁工事として、地中連続壁、矩形の基礎杭、地下壁および構真柱の建込み作業を行った。

1. 整地および舗装作業-2008年1月5日から入場し、2008年2月25日に完成。
2. 地中連続壁、基礎杭および地下壁作業-合計 54 施工単位に分割され、2008年2月25日から入場し、2008年5月15日に完成。
3. 構真柱の建込み-地中連続壁、基礎杭の施工単位に合わせて建込み作業を行った。
4. 基礎杭底部へのコンクリート充填。
5. 連続壁-厚さ 80 cm、深さ 34m、合計 4396.2m²/ 矩形の基礎杭-厚さ 100 cm、深さ 42.5m、合計 2805m²/ 地下壁-厚さ 50 cm、深さ 26m、合計 1131.5m²

3.2.1 地中連続壁、基礎杭および仮設地中壁作業

本工事は、地中連続壁が 28 施工単位、基礎杭が 16 施工単位、地下壁が 10 施工単位に分割され、合計 54 施工単位となった。連続壁は掘削用支保工および本体構造物の外壁とし、基礎杭は構真柱の建込み作業に合わせて施工され、2 枚の仮設地中壁は、北側の隣接建物と南側の地下鉄工事現場の掘削時に生じる土圧のバランスをとる役割を果たした。

3.2.2 構真柱の建込み

本案件は合計 24 本の構真柱があり、その中の 15 本の建込みが基礎杭の施工に合わせて行われた。(Photo.2)



Photo. 2 構真柱建込み状況

3. 2. 3 連続壁上の鉄骨柱の建込み方法

本案件は、外周 9 本の柱が連続壁の上に位置しており、そのベース部分は連続壁に埋め込まれる設計となっていた。原設計ではその施工方法として、連続壁に鋼製の箱を埋め込み、ボックスアウトした後、第一次掘削 (GL-2.0m) 完了後、柱周りを一部 GL-3.5m まで掘削し、鉄骨柱を建込む方法が記されていた。(Fig. 5)

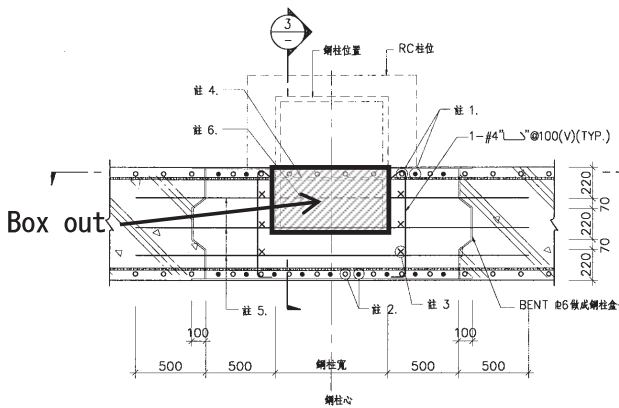


Fig. 5 Box out 平面図

また、第一次掘削完了後、1F スラブの施工前、設計の要求により、構真柱の変位に関する測定・調整、柱内のコンクリート充填 (CFT) および第 1 段鉄骨柱、鉄骨梁の建込み、溶接を行っておく必要があった。

南側の地下鉄工事は、交通量多い信義路の中央部分を占有しており、現場前の幅 6m 一車線の道路に、互いのゲートが向かい合っている状況であった。(Photo. 3)



Photo. 3 前面信義路の状況

また、その地下では GL-17m まで掘削が完了し、掘削工事は継続されていた。(Fig. 6)

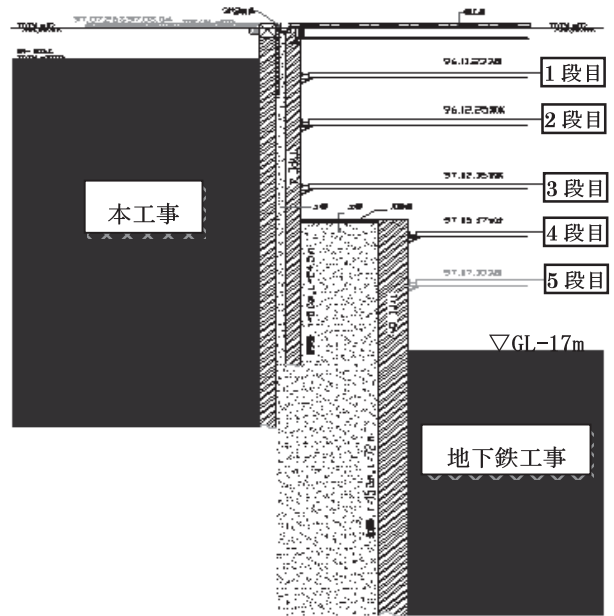


Fig. 6 地下鉄側との位置関係図

以上の条件を考慮し、検討を重ねた結果、以下の結論に達した。

1. 第一次掘削による近隣建物への影響、南側の地下鉄工事との土圧のバランス (地下鉄側の切り梁の軸力が開放されてしまう) を考えると、第一次掘削完了後、できるだけ早く 1F スラブの施工を完了し、連続壁全体の安定性を図らねばならない。
2. 第一次掘削完了後、柱の調整・CFT・第 1 段鉄骨柱・梁の建込み・溶接を行わなければならないため、1F スラブ施工完了まで、約二ヵ月近くの時間を要する。
3. 表層の地質 (埋め戻し土) を考慮すると、たとえ柱周りの一部とはいえ、3.5m まで掘削する事に危険を伴う。
4. 交通量の多い信義路が 6m 幅しか無く、互いのゲートも複層している事から、安全面から考えても、取り付けが非常に困難であると予測される。(Photo. 4)



Photo. 4 鉄骨先行挿入完了状況

5. ボックスアウトを行う事により、後打ち・打ち継ぎ・グラウト部分から、地下への漏水が懸念される。

以上の理由により、原設計のボックスアウト工法ではなく、連続壁の施工と同時に鉄骨柱を先行挿入する工法がベストの選択だと判断し、施主・構造監理者の同意を得て同時施工を行う計画とした。その結果、当初工程より 20 日間短縮する事に成功した。

4. 逆打ち工法による掘削工事の施工管理記録

本案件の地下部は、地下 4 階、掘削深さ 18.15m、軟弱な埋め戻し土による地表面、堆積されている砂質土層と粘性土層の交互で、総掘削土量が 15,427 m³である。

- 第 1 次掘削：GL-2.00m、掘削土量 1,700 m³
- 1F スラブの施工：GL0.00m.
- 第 2 次掘削：GL-4.50m、掘削土量 2,125 m³.
- B1F スラブの施工：GL-3.10m.
- 第 3 次掘削：GL-7.60m、掘削土量 2,635 m³.
- B2F スラブの施工：GL-6.20m.
- 第 4 次掘削：GL-12.00m、掘削土量 3,740 m³.
- B3F スラブの施工：GL-10.90m.
- 第 5 次掘削：GL-15.00m、掘削土量 2,550 m³.
- 水平切梁の施工：GL-14.10m.
- 最終掘削：GL-18.15m、掘削土量 2,677 m³.

4. 1 地下鉄工事への影響予測

本案件は、着工前に基礎技術顧問会社の富国工程に委託し、本案件の地下掘削が地下鉄工事におよぼす影響について検討した。報告書によると、敷地南側の地下鉄東門駅の連続壁 (TYPE2) の変位量は約 9.3% の増加が予測された。支保工軸力に関しては、第 1~5 段および第 7 段目には変化がなく、第 6 段目がやや減少、第 8、9 段目がやや増加し、最大増加量が元の軸力の 5.9% であった。(Fig. 7)

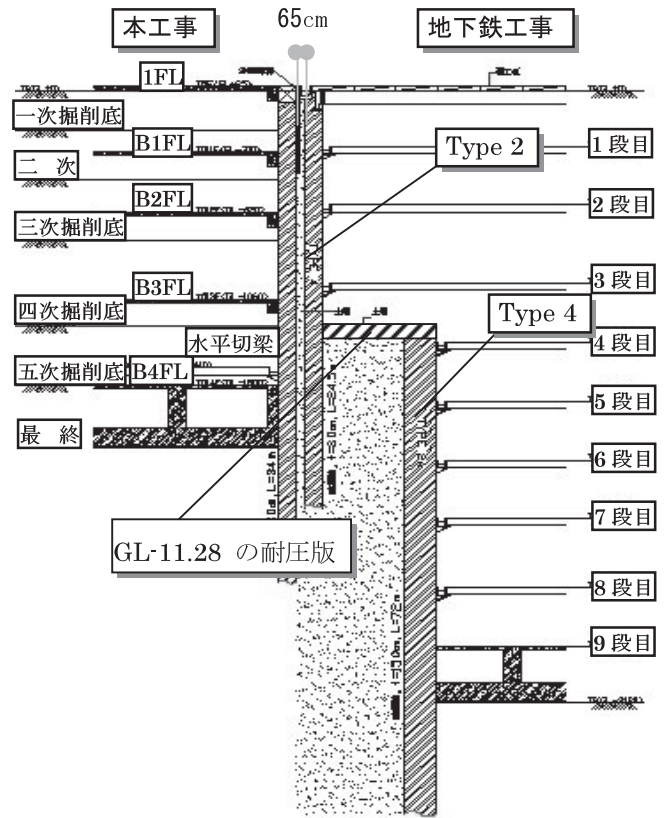


Fig. 7 地下鉄側との位置関係 1

結論として、本案件の地下掘削が、地下鉄連続壁の変位および支保工軸力におよぼす影響は、許容範囲内に収まっている事が確認された。また、連続壁の協力業者とともに掘削時の変位や応力についても検討し、最大変位が 44.72mm で最終掘削段階に発生する事が確認された。(Table3)

掘削工事開始以前に、これらの検討結果をまとめ地下鉄局に対しプレゼンテーションを行い、安全性に関して説明を行った。

Table 2 各掘削段階における設計の応力変形解析結果

各掘削段階における設計の応力変形解析結果	壁上部の変位	最大変位	発生高さ	モーメント正		モーメント負		1F	B1F	B2F	B3F	水平切梁	耐圧版
				t-m	m	t-m	m						
第一次掘削	GL-2.00m	8.86	8.86	0	10.78	5.5	-1.32	17.28					
1F床施工時	GL-0.00m												
第二次掘削	GL-4.50m	9.04	9.04	0	3.46	9.6	-6.62	2.5	-4.43				
B1F床施工時	GL-3.10m												
第三次掘削	GL-7.60m	8.8	11.23	8.6	22	4.5	-18.66	8.1	1.43	-29.12			
B2F床施工時	GL-6.20m												
第四次掘削	GL-12.00m	8.5	24.85	11.3	57.77	4.5	-74.36	11.3	8.74	-23.09	-48.78		
B3F床施工時	GL-10.9m												
第五次掘削	GL-15.00m	8.52	29.52	13	55.66	4.5	-73.12	13	8.27	-20.5	-42.66	-35.52	
水平切梁施工 2×H400×400×13×	GL-14.1m	8.51	26.49	12	56.86	4.5	-65.75	13	8.53	-21.97	-46.13	-15.39	-250
最終掘削	GL-18.15m	8.56	44.72	18.15	51.53	4.5	-68.04	18.05	7.41	-19.73	-35.42	-29.58	-542.73
耐圧版・B4F床施工時	GL-18.15~15.00m												
水平切梁解体	GL-14.10m	8.56	44.59	18.15	53.04	6.2	-56.83	18.15	7.35	-18.34	33.63	-53.19	-59.52
最大値		9.04	44.72	18.15	57.77	4.5	-74.36	11.3	8.74	-29.12	-48.78	-53.19	-542.73

Table 3 計測管理計画

観測項目	警戒段階			行動段階		
	管理値	要因	予防処置	管理値	危険要因	処理方法
挿入式傾斜計	36mm	1.連続壁側面変位大 2.現場周辺道路沈下(隆起)	1.掘削深さの制限 2.QCDSの確認 3.斜梁の追加 4.路面補修 5.交通警告表示	45mm	1.連続壁変形大による許容応力等構造上の安全の確認 2.地下埋設管線の損傷 3.第三者災害	1.地盤改良或いは控壁増設 2.外部圧力の軽減 3.連続壁外部の臨時地下水汲み上げ 4.地下埋設管線の破損状況確認並に通報・修復 5.原因並にこれ以後起こりうる破損等の検討 6.観測頻度増強
鉄筋応力計	1680kg/cm ²			2100kg/cm ²		
地盤沈下観測点	30mm			40mm		
水位計	±2.0m	1.大雨の要因 2.連続壁外部水道管破裂 3.連続壁漏水及び砂噴出し	1.地下水汲み上げ量或いは下降水位確認 2.注入による止水処理 3.観測頻度増強	±3.0m	1.連続壁外部地盤内の空洞の発生 2.公共施設及び埋設管線の破損	1.地盤空洞内の埋戻し 2.公共施設及び埋設管線の破損状況の検査 3.集中処理後の継続状況確認 4.観測頻度増強
建物傾斜計	傾斜角1/750 傾斜量4'35"	近隣建物の沈下格差大及び構造物亀裂発生	1.QCDSの確認 2.近隣構造物の安全性検討 3.掘削深さの制限 4.観測頻度増強	傾斜角1/500 傾斜量6'53"	1.構造物継続破壊 2.近隣訴訟及び工事停止 3.第三者災害	1.暫定掘削作業中止、切梁の再加圧 2.クラックへのグラウト材注入或いはその他土壌改良、再度近隣構造物資料からの安全性検討 3.近隣構造物に影響する施工による応力を軽減させる 4.観測頻度増強
建物沈下観測点	25mm			32mm		
切梁応力計	H400-200t/台	切梁荷重許容オーバー或いは施工不良による軸力偏心	1.切梁検査強化並に接合部等再確認 2.施工順序の検討 3.加圧時の管制	H400-240t/台	1.切梁破壊、第三者災害 2.工事停止及び賠償	1.掘削作業中止、切梁数追加或いは座屈長さを短くする 2.主要原因の洗い出し・処理並に施工不良箇所の改善 3.観測頻度増強

4. 2 1Fスラブの施工方法

施工動線に配慮し、1Fスラブを2分割する事により、掘削時の変位をより抑える事ができた。

東側は、第1段の鉄骨が建込まれ、溶接を完成された後、1Fスラブの鉄筋・型枠の施工を行った。

西側は、掘削→構真柱の調整→柱内のコンクリート充填→鉄骨の建込み、溶接→1Fスラブの鉄筋・型枠作業を継続して行った。

4. 3 計測管理計画

Table3に示すとおり、「行動値45mm (Table2の最大変位より)」「警戒値36mm (行動値の75%)」「それぞれの対策」をあらかじめ設定し、「2回/週、掘削開始前、掘削期間中は毎日」の頻度で計測を行った。

4. 4 地中連続壁と地下鉄側の変位

地下室の容積率制限があり、施工、設計事務所から連続壁の精度確保が要求された。連続壁外面は山留めを兼ねた本設の地下躯体外壁であり、かつ、連続壁の内面がそのまま部屋内壁に成るというまったく寸法的に余裕のない設計になっていた。内壁の仕上げ代確保のために外側に5cmフカシ、法令の許す範囲で駐車場スペースを確保した。また、地下鉄側のGL-11.28レベルの耐圧版を先行打設してもらい、変位の影響を抑えた。(Fig. 7)

そして、B4Fの支保工図を作成する際、地下鉄側の支保工図も参照し、それを考慮に入れた。

地中連続壁の各面1か所計4か所、さらに南面地下鉄側に1か所追加し、計5か所(SID1~SID5)に計測点を設置した。(Fig. 8)掘削工事開始より地下躯体打設完了まで計測を継続したが、何れの地点においても管理目標値(警戒値36mm, 行動値45mm)を大きく下回った(Fig. 9)。地下鉄側の支保工軸力に関しても、管理目標値(警戒値の赤色)を下回った。(Fig. 10)周辺地盤の沈下、建物の傾斜も、ほとんど見られなかった。

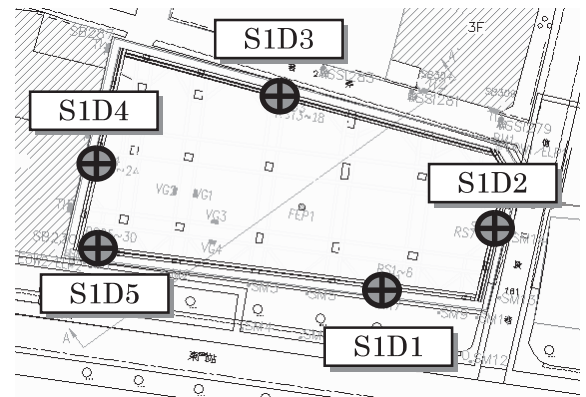


Fig. 8 計測点配置図

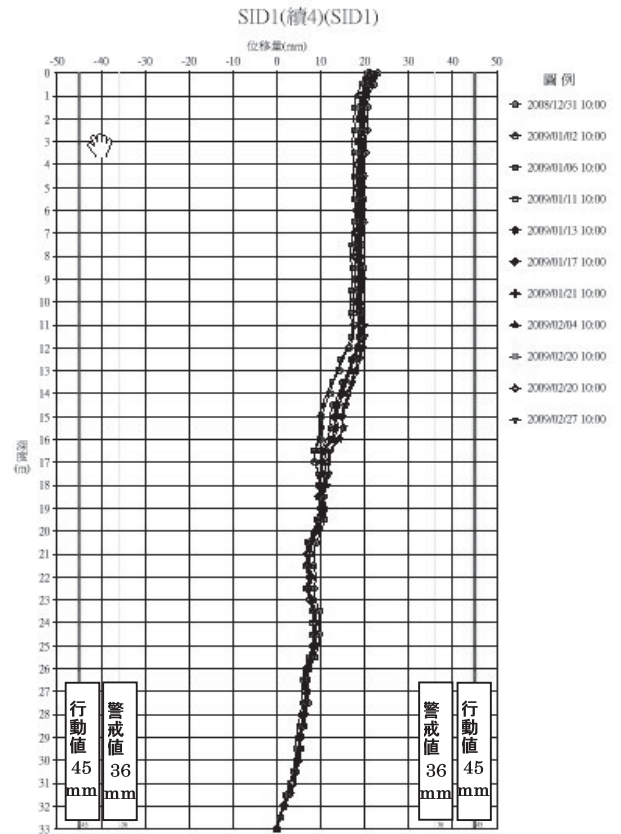


Fig. 9 連続壁変位図 (SID1)

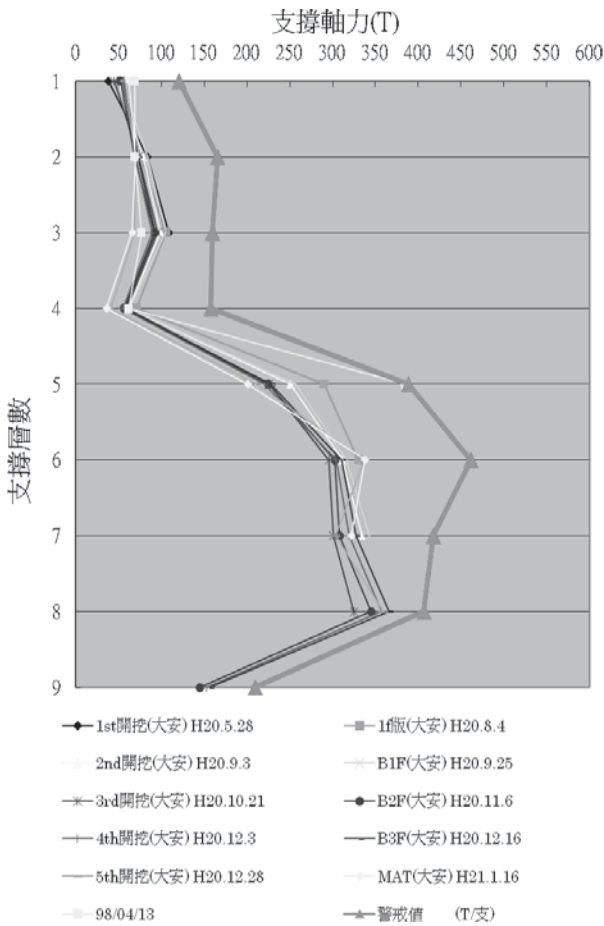


Fig. 10 地下鉄側支保工軸力変移図

5. まとめ

今回のケースの場合三方を工事現場に囲まれ、65cmに近接した地下鉄工事と同時期に地下工事を行うため、偏土圧への対応が不可欠であった。また、台北101に通じる幹線道路に面し、工事動線が施工計画に、最重要ポイントでもあった。そのため、基礎杭の変更、仮設控壁の中止、1F鉄骨柱の先行打設などのVE案を提出し、工期の短縮（計45日）、コストダウン（工期短縮に伴う現場管理費）、周辺環境への配慮を図った。

また、地下鉄工事側とも、日ごろから緊密に連絡を取り合い、共通の計測管理会社に計測を依頼し、お互いの計測記録を共有し、施工開始前、各次掘削開始前には必ず会議を行い、徹底的な安全管理を行った。（Photo.5）

十数年前から台北市の地下鉄工事が盛んに行われ、施工中、既に運行を開始している地下鉄に近接するケースが増えてくる事は必定で、特に地下工事においては、苦難が予想される。今後、安全性は勿論の事、周辺環境・低炭素化に対する配慮も考慮した施工計画、工事管理に対する要求がさらに高くなっていくであろう。

ここ台湾では、地下工事における施工方法が構造設計者の設計範囲に含まれているため、安全性を優先するあまり、設計が複雑化し経済性・周辺環境への配慮がおろそかになりがちである。

原設計に忠実な施工を行うだけでなく、施工側の考えを設計者へはっきりと示し、経済性の観点から施主を含め、三者一体となって取り組んでいく姿勢がさらに重要になっていくと考えられる。

一般的に日本国内のほうが高い水準である、と思われる台湾の施工管理技術であるが、こと地下工事に関しては実施事例も多く、日本国内にフィードバックしうる技術がある、と考える。本報告が、日本国内でも参考となれば幸いである。

謝辞

本報告をまとめるにあたり、助言、支援を頂いた、本社建築事業本部、技術研究所、国際支店、関係各位に対して謝意を表します。

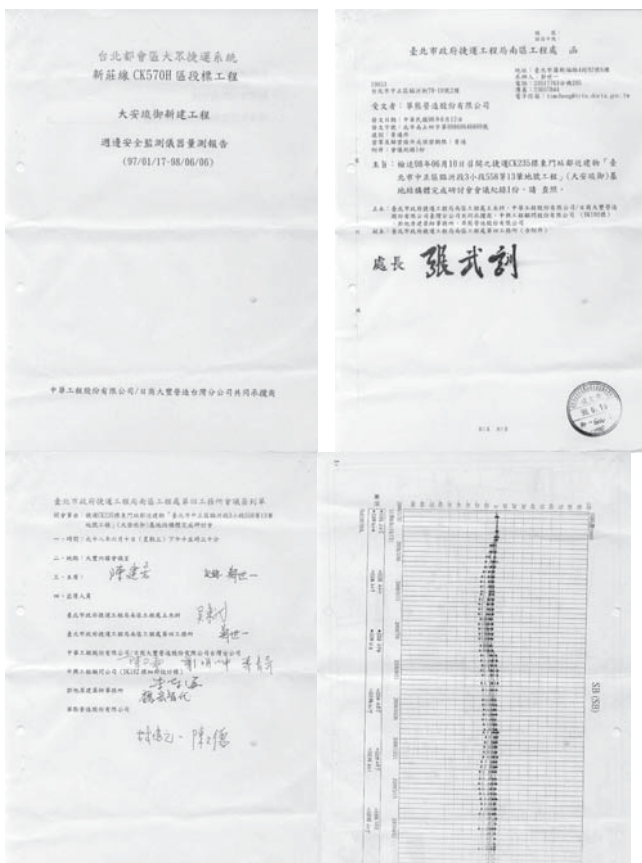


Photo. 5 地下鉄側との会議議事録

Report on underground construction work of slurry wall and top down construction adjacent to subway construction

Hideki YAMASAKI, Lin Pei Yuan, Hiroaki TOMITA and Norio WATANABE

Abstract

This project is facing Xinyi Road, leading down to the Taipei 101, where the work being done by the Taipei subway construction beneath the road. This construction has a slurry wall of width of 80cm and depth of 34m, constructed by top down method. Meanwhile, the Taipei subway construction also has a slurry wall of width of 150cm and depth of 74m, constructed by conventional method. Underground construction is done simultaneously in both, while watching the balance of “top down method”, “conventional method” and “brace strut”, being watchful safety and quality care, where the closest distance of only 65cm, the slurry wall casting is a record of exceptional work over the normal adjacent construction.

Keywords : Subway work, Adjacent construction, Underground construction, Slurry wall, Surroundings,
Top down construction
