

# 台湾高雄地下鉄 CR4 工区建設工事

## 大都市中心部にて内径 140 m の円形連続壁構築

石塚 一郎

台湾南部に位置する台湾第二の都市、高雄市における初めての地下鉄建設事業は、南北を結ぶレッドライン（紅線）と、東西を結ぶオレンジライン（橘線）の2つの路線で構成される。CR4 工区は、両線が交差する部分が円形地下駅となっていて（美麗島駅と命名されている）、土留工法には内径 140 m の円形連続壁工法（連壁厚 1.8 m、深さ 60 m）を採用し、工事を順調に進めることができた。本稿では、CR4 工区における円形連続壁の設計、施工等について紹介する。

キーワード：地下鉄、円形地中連続壁、EMX 掘削機、コンクリートカッティング工法、海外 JV

### 1. はじめに

高雄地下鉄「紅線」約 28 km と、「橘線」約 14 km の2線は 2001 年に着工し、紅線は 2008 年 3 月に開通、橘線は 2008 年 8 月に開通予定である。紅線と橘線の2つの路線が交差する CR4 工区は、台湾政府系大手建設会社の栄民工程と鹿島建設株の2社 JV が施工を担当している（図-1、2）。

円形連続壁工法は、日本における LNG 地下タンクの技術を客先に提案し、安全性、短工期の面で採用されたものである。日本における LNG 地下タンク施工においては数々の実績を有してはいるが、家屋が密集し交通量の多い大都市中心部において、内径 140 m の大円形連続壁を施工するに当たっては設計・施工計画・施工管理に特に慎重を期した。



図-2 高雄地下鉄路線図



図-1 台湾高雄位置図

CR4 工区は 2001 年 11 月に着工、すでに開削トンネル、シールドトンネル、駅舎構築工事を完了し、現在、駅舎建築内装工事、設備工事、道路復旧工事を施工中で、2008 年 6 月には全体工事竣工を予定している（写真-1）。

### 2. 工事概要

#### (1) 工事規模（図-3、4）

##### ① 駅舎（内径 140 m 円形駅）

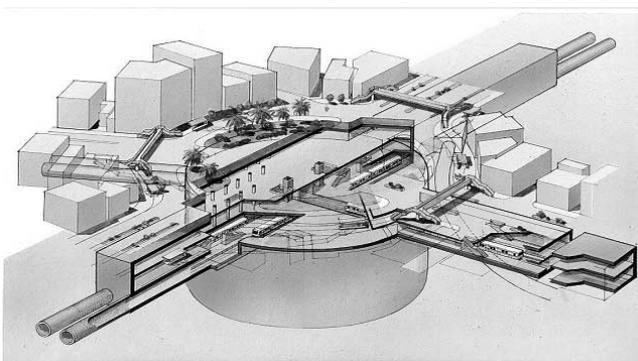
円形部連続壁：内径 140 m、壁厚 1.8 m、深さ 60 m



写真一 円形駅部現在施工状況



図一 3 CR4 工区全体図



図一 4 円形駅部の完成予想イメージ

紅 線：地下 3 階構造，掘削深度 27 m，  
 駅直線部延長 209 m（円形部含む）  
 橋 線：地下 2 階構造，掘削深度 20 m，  
 駅直線部延長 334 m（円形部含む）

#### ②開削トンネル

紅 線：地下 1 階構造，  
 掘削深さ 27 m，延長 359 m  
 橋 線：地下 1 階構造，  
 掘削深さ 20 m，延長 584 m

引込線：掘削深さ 20 ~ 27 m，  
 延長 626 m（円形部含む）

#### ③シールドトンネル

紅 線：土被り 20 m，延長 225 m × 2 本 = 450 m  
 橋 線：土被り 13 m，延長 620 m × 2 本 = 1,240 m

#### (2) 企業者，発注形態，工事場所など

- ①工 事 名：高雄都會區大眾捷運系統紅橋線路網建設  
 CR4 區段標統包工程（設計施工ランプ  
 サム工事）
- ②企 業 者：高雄捷運股份有限公司（KRTC）  
 BOT 入札で企業者となった。
- ③施 工：榮民工程（49）／鹿島（51）JV  
 榮民工程がスポンサー
- ④請負範囲 詳細設計込みのランプサム
- ⑤基本設計：中興工程顧問股份有限公司  
 （SINOTECH）
- ⑥詳細設計：榮民工程／鹿島 JV  
 （協力：中興工程顧問）
- ⑦工事場所：高雄市新興區中山路／中正路
- ⑧工 期：2001 年 11 月～2008 年 6 月  
 工事全体は高雄市政府捷運局が監理する。

### 3. 内径 140 m 円形連続壁の設計及び施工

#### (1) 円形連続壁工法の特長

円形連続壁工法は，日本国内の LNG 地下タンク工  
 事等で設計・施工実績の多い工法で，「Hoop  
 Compress（円周方向軸力）効果」により面外荷重  
 （土水圧）による曲げ応力の発生を抑え，円形状  
 自体の剛性が連続壁の湾曲を防ぐ「Ring Stiffness  
 効果」を利用することにより，連続壁の変形や周  
 辺地盤の沈下を抑制できる工法である。また，土  
 留支保工が不要なので，掘削及び構築工の施工  
 能率が向上し，工期を短縮できるという特長を  
 持っている。

#### (2) 円形連続壁工法の提案と承認

当工区の駅舎は，紅線と橋線の交差する部分で，  
 地下 1 階がコンコース階，地下 2 階が橋線プラ  
 ットホーム階，地下 3 階が紅線プラットホーム  
 階の 3 層構造である。

この駅部の企業者による当初計画は，複雑な多  
 角形地下連続壁を切梁・腹起しで支保するもので  
 あった（図一 5）。しかし，現場は大都市中心の  
 交差点であるため厳しい交通維持が求められ，  
 また工事掘削による周辺建物の沈下も最小限  
 に抑える必要がある。

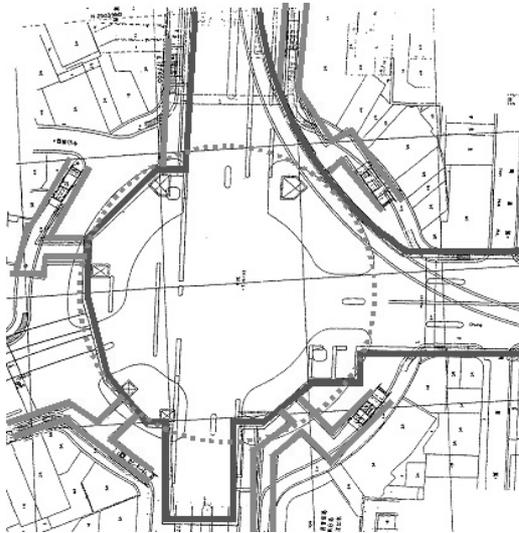


図-5 当初計画図

そこで、円形連続壁工法を採用すれば周辺建物への沈下等の影響を抑制できるうえ、土留支保工が不要となることから工期短縮が可能になることを企業者に提案し、基本設計に採用された(図-6)。

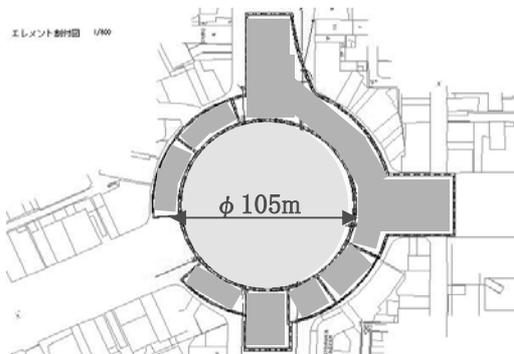


図-6 基本設計図

さらに、詳細設計段階では、基本設計を再検討し、基本設計段階で円形駅外周部に追加された設備空間や出入口躯体を包含する内径140mの円形連続壁工法を提案し、採用された(図-7)。

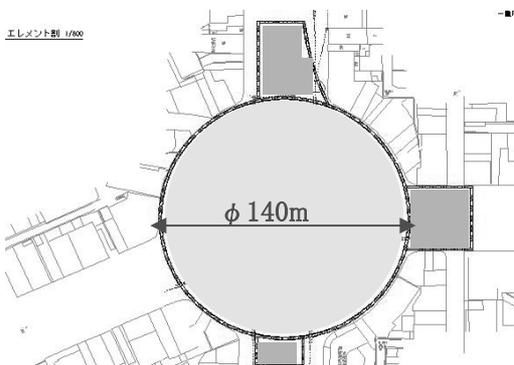


図-7 詳細設計図

### (3) 詳細設計

#### ①設計体制

日本から派遣された現場常駐設計責任者の管理のもと、協力業者として台湾の設計会社を雇用し、詳細設計を進めた。

#### ②現地の地質

現場の地質は、地表面～GL-20m付近：粉土質中細砂(SM)、GL-20～-45m付近：砂質黏土(ML)を主体とするSM/ML/CLの互層、GL-45～-58m付近：粉土質細砂(SM)、GL-58m以深：粘土(CL)から構成され、GL-20m以浅の粉土質細砂層(SM)は細粒分含有率が20%程度、GL-20～-45mの砂質黏土層(ML)は細粒分含有率が90%を超えており、地質区分上シルトに分類されるものの、粘着力を持たない超微細粒砂である。標準貫入試験N値も地表面からGL-40m付近までがN値10前後以下となっており、連続壁掘削時の溝壁崩壊や連壁内部掘削時の漏水時に細粒砂の噴出が発生する危険性が高い地層を形成している。

#### ③設計上の留意点(連壁長, 連壁厚)

設計に際しては、施工の安全性、周辺建物の沈下抑制、工事占有面積の最小化、交差点交通の維持が重要課題であった。周辺地盤に大きな沈下が生じた場合には、計り知れない被害が生じる可能性があったため、周辺建物の沈下抑制は特に重要であった。

このため、当該地点の地質条件を考慮し、連続壁深さをGL-60mに設定し、GL-58m以深の不透水粘土層に2m根入れすることによって、掘削時の床付地盤面の安定を確保するとともに、掘削中のディープウェルによる連続壁内地下水位低下の影響を、連続壁外部周辺地域に及ぼさないよう計画した。

また、周辺建物への影響低減から連続壁外面から周辺建物への離隔を確保し、交通維持の面から工事占有面積を最小限に抑えるため、連続壁施工時の安定液プラント設備を最小限とすること、つまり、連壁掘削土量を最小限にすることが大きな課題であった。このため、連続壁には台湾国内の連続壁水中コンクリートの施工実績としては最大となる設計基準強度 $42\text{ N/mm}^2$ を採用し、壁厚は既往の円形連続壁工事から見た経験上の最小限度厚として1.8mとし、周辺建物との離隔確保と工事占有面積の最小化を図った。

### (4) 施工

#### ①施工体制

円形連続壁の実際施工は、日本の協力業者が掘削機械を提供し、全体的な施工管理を実施する下で、台湾

の連続壁業者が労務提供して施工する体制をとった。

本工事の円形連続壁施工にはコンクリートカッティング工法を選択したため、安定液の管理においては、循環設備設置から安定液の製造、施工中の運転管理に到るまで非常に複雑で、専門的な知識と技術が要求される。台湾ではコンクリートカッティング工法の実績がなく、施工を経験した業者も皆無であるため、技術難度の高いこの業務を台湾の業者で実施することは、安全上、施工上大きな困難が想定された。そのため、全体管理社員、掘削機械オペレータ、安定液製造管理、鉄筋組み立て、コンクリート打設作業に於ける作業指揮者として総勢 10 名以上の日本人技術者が日本から派遣された。

#### ② エレメント分割、掘削機械、設備

エレメント分割は、以下を考慮し、幅 3.2 m の 146 分割、1 ガット 1 エレメント方式を採用した。

- ・ 1 エレメントの開放長を最小とし、溝壁崩壊の危険性を低減すること。
- ・ 安定液プラント設備を最小化し、施工ヤードを最小限にすること。
- ・ 交差点内部におけるコンクリート打設時間を最小化し、作業効率を促進すること。

掘削機械は、先行・後行エレメント間の放置溝をなくし、溝壁崩壊の危険性低減等を考慮して、コンクリートカッティングジョイント工法を採用し、EMX (ERECTRO-MILL EXTRA) - 150 を日本から 2 台調達した (写真-2)。



写真-2 円形連続壁 EMX 掘削機

プラント設備は、1 エレメント当たりの施工に必要な循環槽 (110 m<sup>3</sup>)、回収槽 (450 m<sup>3</sup>)、良液槽 (450 m<sup>3</sup>) の 2 エレメント分 (掘削機 2 台分) となる、合計約 2,000 m<sup>3</sup> の液槽設備とした。

土砂分離機械は、周辺に商業施設や住宅が密集して

いることを考慮し、夜間の騒音問題を回避するため低騒音、低振動であることを選定条件とし、1 次処理機として回転ドラム式のトロンメル 4 型 × 2 台、2 次処理機としてスクリュエデカンタ MW550 型 × 2 台とした。当該地盤は微細砂・シルトが主な地質であるため、分留負担の多くはデカンタにかかると予想し、大型で安定性の高い 2 次処理機を選定した (写真-3)。



写真-3 円形連続壁施工状況

#### ③ 交通維持

施工場所の交差点内の車線として、南北に走る中山路を 6 車線、東西に走る中正路を 4 車線確保することが義務付けられており、大規模な交通規制を行うことは不可能であった。よって、道路部分の施工は、両端部及び中央部の 3 回に分けて実施する必要がある、随時車線を切り回して、全周の施工を行った。

また、この円形交差点施工エリアは、当 CR4 工区内の紅線開削トンネル施工エリア、橋線駅舎開削施工エリアと境界を接しているため、その施工エリアの交通維持を考慮する必要がある、交通動線を度々調整しながら施工した。

#### ④ NEFMAC 工法の採用

同円形連続壁は、当工区の橋線シールドトンネル (外径 6.1 m、延長 620 m × 2 本) の発進立坑としての機能も有している。発進工法には、発進防護用地盤改良工施工時の路上占有、安全性、地盤改良を含めたトータルコスト等を考慮し、シールド機が発進する連続壁鏡部に鉄筋に替えて、シールド機で直接切削可能なガラス繊維素材を使用する「NEFMAC 工法」(New Fiber Composite Material for Reinforcing Concrete) を採用した (写真-4)。

#### ⑤ 施工実績

円形連続壁施工は、2002 年 10 月中から 2003 年 6 月末まで、約 8.5 ヶ月で、26,700 m<sup>2</sup> (48,000 m<sup>3</sup>) の施



写真—4 NEFMAC 工法

工を完了した。平均施工サイクルタイムは、先行エレメント 1.5 日、後行エレメント 2.5 日であった。

#### 4. 円形連続壁終了後の円形駅部の施工

円形連続壁終了後、交通維持計画を変更しながら、中間杭を打設、路面覆工を施工し、2004年2月末から2004年8月までの6ヶ月間で、最下層の地下3階部分、GL - 27m までの約 340,000 m<sup>3</sup> の掘削を完了した。1日当たりの掘削土搬出量は最大で 5,000 m<sup>3</sup>、平均 2,000 m<sup>3</sup> を上回った（写真—5、6）。

掘削中は、円形連続壁の安全管理のため自動計測システムを導入し、周辺建物変位・傾斜のほか、連続壁変位、鉄筋応力、コンクリート応力、内外水位等を監視した。連続壁の最大変位量は約 3 cm で解析結果とほぼ一致し、鉄筋応力度、コンクリート応力度ともに解析結果と同等以下であった。また、周辺地下水位の低下、周辺建物への影響も最小限にて掘削を完了した。

円形駅部コンクリート構築は、2004年8月から底版打設を開始し、2007年4月に頂版打設を完了した。



写真—5 円形駅部路面覆工状況



写真—6 円形駅部掘削状況

その円形駅部コンクリート構築施工期間中に、円形駅地上部及び構築内部に設備を設置し、橋線シールドトンネル（外径 6.1 m、延長 620 m × 2 本）を施工した。日本から調達したシールド機械 2 台を使用し、台湾協力業者からシールド機オペレータを含む労務提供を受けて実施した。2005年10月に1本目のトンネル掘進を開始し、2006年5月に2本目のトンネルが到達完了した（写真—7）。

駅部プラットフォーム、コンコース等公共区の建築内



写真—7 円形駅部構築施工状況



写真—8 円形駅地下1階コンコース

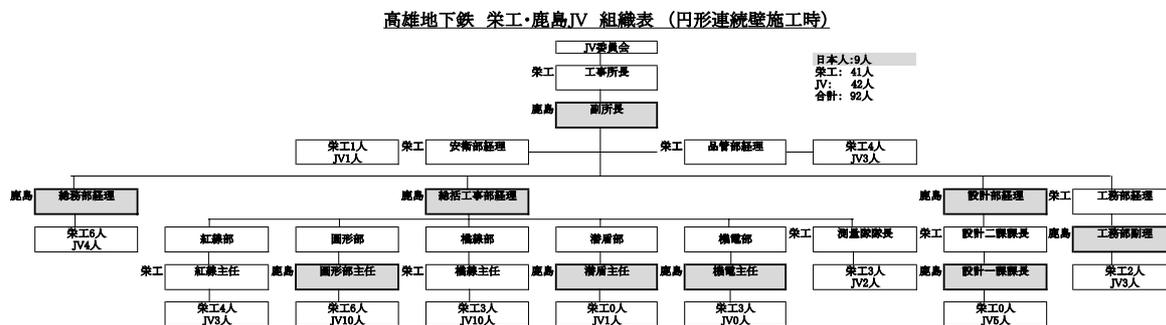


図-8 JV組織表

装の意匠設計は、日本の高松伸建築士事務所によるものである。建築内装工事は、2006年6月から機械室等の非公共区において施工を開始し、2007年2月からプラットホーム、コンコース等の公共区における施工を開始した。2008年3月の紅線開通のため、紅線円形駅部の必要部分は先行して仕上げた。現在、2008年8月橘線開通のため、橘線駅部を2008年6月末までに完成するよう鋭意施工中である（写真-8）。

## 5. 台湾・日本JVによる現場運営の実際

当現場の施工体制は、工事の特殊性を考慮して、全ての責任と権限を台湾・日本2社のJV比率で分ける「完全一体JV」を選択した。その利点を以下に記述する。

### ①台湾籍技術者の手配

円形連続壁施工時の組織表を図-8に示す。円形連続壁施工は難度の高い工事であるが、海外では技術移転への考慮と経費の面で日本人技術者を限定する必要がある。工事最盛期の現場所員数92人のうち、日本籍所員数は9人とした。台湾籍技術者の主要な役職は台湾JVパートナーから派遣し、不足する所員は外部からJVで雇用した。台湾JVパートナーの情報量が非常に豊富であったので、JV雇用所員を容易に集めることができた。

### ②双方の技術力の発揮

日本人技術者は次の通りで、台湾で経験の少ない部分を補強した。

- ・全体詳細設計の責任者（都市土木・シールド及びLNG地下タンクの設計経験者）
- ・都市土木、シールド施工の専門家  
JV副所長，工事担当，機電担当

台湾JVパートナーから派遣された所長は、日本人技術者の円形連続壁、シールド工事などの経験を尊重し全体工事をまとめた。

台湾で起きた問題を解決するに当たって、日本人技術者には十分な能力が備わっているとは言えない。企

業者との交渉が必要な事項は、JV内の意見を調整し、台湾JVパートナーが適切に行った。

### ③工事を通しての技術、文化の交流

台湾・日本の双方所員同士は初対面であり、工事開始当初は意見が異なることも多々あった。しかし、完全一体JVを採用したため、双方の経験に基づく指揮によって現場はひとつにまとまり、考え方の理解も深まり、信頼関係が次第に強くなった。日本人所員が徐々に中国語を習得し、通訳を介さず意思疎通できるようにもなった。建設を通して技術、文化交流を促すには、完全一体JVが有効である。

## 6. おわりに

本工事は、大規模円形連続壁工法という難度の高い日本の技術を採用した海外での設計・施工工事であったが、安全、品質、工期、合理的コストを実現するために、どうしても日本から調達しなければならない技術者、機械などを除き、可能な限り現地調達を図るとともに、ハード面、ソフト面での色々な工夫が必要であった。台湾・日本の2社が、完全一体JVを組み、双方の持てる力を最大限に発揮することにより、工事を順調に進めることできた。本報文が今後、海外工事を担当する技術者の参考となれば幸甚である。

JICMA

### 《参考文献》

- 1) 周禮良・多田幸夫・奥本現：市街地幹線道路直下での世界最大級円形連続壁の施工，土木学会誌，**90** [2]，p.048-051 (2005.2)
- 2) 多田幸夫：市街地幹線道路直下での世界最大級円形連続壁の施工，建設機械，p.41-47 (2005.8)
- 3) 石塚一郎：台湾高雄地下鉄CR4工区建設工事における現場運営，土木施工，**48** [12] p.037-044 (2007.12)

### 【筆者紹介】

石塚 一郎 (いしづか いちろう)  
鹿島建設株  
海外支店  
台湾・高雄地下鉄出張所  
所長

