

台湾新幹線C210 / C215工区の概要紹介

1. はじめに

台湾の西海岸沿いには、政治・経済の中心で台湾第一の都市台北市（人口約270万人）、台湾南部の中心で台湾第二の都市高雄市（人口約150万人）、その間に台湾第三の都市台中市や台湾の旧都台南市などの主要都市があり、これら都市間には旺盛な交通需要がある。台北 - 高雄間約345km（東海道の東京 - 豊橋にほぼ相当）の主な交通手段として、台湾国鉄及び高速道路（いずれも西海岸経由）及び空路がある。国鉄利用の場合、最も速い自強号で約4時間半と、新幹線開通前の東海道本線と類似の状況、高速道路では、高速バスの利用で約5時間と現在の東名高速バスとやはり類似の状況である。空路は、はきわめて頻りに運航されているが、小型機による運行であることと運賃が高いこともあり、大量輸送の中心を担ってはいない。

そこで、これら都市間を結ぶ高速大量輸送機関として、台北 - 高雄間に高速鉄道（以下、台湾新幹線）が計画された。BOTの主体である台湾高速鉄路股份有限公司（以下、台湾高鉄）が設立され、台北市とその近傍の政府直轄工事区間（約15km）を除く約330kmの建設、台湾新幹線の運行（35年間）および新駅周辺の地域開発（50年間）を行うこととなった。以下にその経緯を示す。

| | |
|-----------|---------------------------------------|
| 1996年11月 | 台湾高速鉄路企業連盟設立 |
| 1998年5月 | 台湾高速鉄路股份有限公司登記 資本金500億NTD(増資後700億NTD) |
| 2000年4～5月 | 土木工事契約/着工 |
| 2000年12月 | 機電・車両契約/着工 |
| 2003年1月 | 軌道工事契約/着工 |

日本でも報道されているように、台湾新幹線の機電・車両システムは日本の企業連合が落札し、JR東海と西日本の700系を台湾向けに改造した700T型（図-1）が走行することになっている。台湾高鉄が建設を担当する約330km区間については、設計・施工一括の12工区に分割され（図-2）、国際入札が行われた。3つの日本のゼネコンが台湾のゼネコンとJVを構成して5工区の受注を果たした。台湾高鉄が建設する区間の軌道・機電を含む建設スケジュールの概要を表-1に、土木工事の概要を表-2に示す。

以下では全12工区のうち、最も台北に近く、日本のゼネコンが受注した2工区（C210 / C215、区間長約52km）の土木工事の概要と橋梁・高架工事を紹介した後、C210工区に含まれる2本のトンネルの施工状況について報告する。

2. C210 / C215工区の概要

当工区は、2工区合計の延長51.7kmで、その中に地下駅（桃園駅）を含む（駅の建設工事は別契約）。そのうちトンネルが17.5km、橋梁・高架が31.7km、残りがカット&カバートンネルと地下駅へのアプローチ区間である。以下で橋梁・高架およびトンネル区間の概要を説明する。



図 - 1 台湾新幹線700T²⁾



図 - 2 台湾新幹線土木工事区¹⁾

表 - 1 台湾新幹線建設工事の概略スケジュール¹⁾

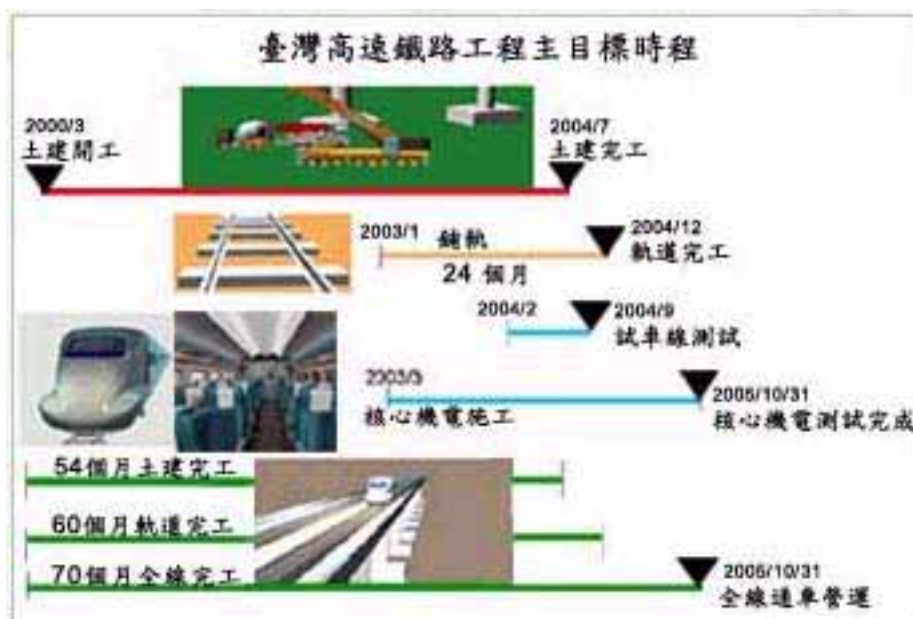


表 - 2 台湾高鉄土木工事全体概要¹⁾

| 構造種別 | 総延長 |
|-------------|-----------|
| トンネル | 3 9 k m |
| カット&カバートンネル | 8 k m |
| 橋梁および高架 | 2 5 1 k m |
| 盛土および切土 | 3 1 k m |

(1) 全体概要

C 2 1 0 / C 2 1 5 工区の土木構造物の概要を表 - 3 に示す。

橋梁・高架工事には、移動式支保工あるいは全支保工による現場打ち P C 単純桁，移動式キャリアを使用した連続架設工法によるプレキャスト P C 単純桁，カンチレバー工法による P C 連続桁およびワーレントラス単純橋が含まれる。これら橋梁・高架工事の様子を撮影したものを図 - 3 に示す。

移動支保工を多用しているのは、用地幅や周辺環境の制限により、地上に支保工を組むことが困難な区間が多く存在することと、桁数が多いことから施工速度を重視したためである。同様の理由で、プレキャストヤードが設置可能な C 2 1 5 工区では、移動式キャリアを利用した連続架設を採用した。

C 2 1 0 / C 2 1 5 工区には、表 - 3 に示すように合計 6 本のトンネルが含まれている。台湾島には、フィリピントラフによる造山活動により創出された山脈が南北に走っており、旧来より東西交通の大きな障害となっている（あまり知られてはいないが、台湾には富士山より高い山がいくつかあり、その最高峰「玉山」(旧日本名「新高山」)は標高 3 9 5 2 m もある)。また、この造山活動により地層が揉まれて複雑になっていることもあって、トンネル工事にとっても大変困難な地質条件となっている。さらに、このトラフの活動が、台湾を地震の国にしていることは良く知られており、工事乗り込み前の 1 9 9 9 年 9 月の集集大地震では、M 7 . 6 を記録、2 千人以上の犠牲者が出た。台湾新幹線は、基本的に西海岸を南北に走ることから、この山脈の本体を横切ることは無いが、支脈のいくつかと交差しているため、1 2 工区のうち 7 工区にトンネルがある。

なお、この表以外に、両工区の契約には3箇所の変電所工事も含まれている。

設計について簡単に述べる。台湾新幹線土木建設工事は、デザイン・ビルトで発注され、設計責任はすべて受注者側にある。これは、日本における一般的な鉄道建設工事と異なる点である。設計仕様書の取り扱いや設計承認システムなどについては、既発表論文³⁾を参照いただきたい。先に述べた地震による、契約後の設計仕様の見直しに起因する混乱により、設計工程が大きく遅れたが、その後の設計・施工部門の努力により、この遅れは回復され、現状ではおおよそ当初の工程に沿った進捗を得ている。なお、主要構造物の設計には100年の耐用年数が要求されている。

表 - 3 C 2 1 0 / C 2 1 5 工区における土木工事概要

| 高架・橋梁 | 構造 | スパン数 | 延長 (m) | 施工法 | その他 |
|------------|---|----------|--------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| | P C 単純桁(場所打コンクリート , ポストテンション) | 228 | 9,357 | 移動式 (自走式) 支保工による地上を使用しない施工 | |
| | | 121 | 3,777 | 通常の全支保工による地上での施工 | |
| | P C 単純桁(プレキャストコンクリート , プレ / ポストテンション) | 563 | 16,499 | 桁上移動式キャリアによる連続架設 | |
| | P C 連続桁(場所打ちコンクリート , ポストテンション) | 5 2 | 2,645 | カンチレバー工法 | |
| ワレン・トラス単純桁 | 1 | 6 5 | ベント・サポートによる現場組立て | | |
| トンネル | 名称 | 延長 (m) | 掘削断面積 (m ²) | 掘削工法 | その他 |
| | 廻龍トンネル | 2,149 | 約 110 | ロングベンチ | 排水トンネル |
| | 林口トンネル | 6,482 | 約 120-140 | ショートベンチ | 非排水トンネル 立坑 2 本 |
| | 桃園第一トンネル | 4 9 2 | 約 1 4 0 | ショートベンチ | 非排水トンネル |
| | 桃園第二トンネル | 8 3 9 | 約 1 4 0 | ショートベンチ | 非排水トンネル |
| | 桃園第三トンネル | 5 2 8 | 約 1 4 0 | ロングベンチ | 非排水トンネル |
| | 湖口トンネル | 4 2 9 0 | 1 4 0 ~ 1 6 0 | ショートベンチ | 排水トンネル + 非排水トンネル 横坑 2 本 |

(2) 橋梁・高架工事

図 - 3 ~ 7 に橋梁・高架工事の状況を示す。

本工区で中心となった施工法は、移動支保工による現場打設 P C 単純桁および移動式キャリアによるプレキャスト P C 単純桁である。桁断面は、図 - 3 に示すような複線用箱型断面が台湾高鉄仕様を示されて



図 - 5 移動支保工による施工



図 - 6 カンチレバー橋施工状況



図 - 7 自走式キャリアによるプレキャスト桁の架橋

プレストレスシステムは、フレシネとV S Lのものを使用した。

ベアリングは、台湾高鉄の仕様により、ユーロコードに従って設計したポットベアリングの使用が規定されていた。地震などの水平力を支えるために、本工区では一部を除きコンクリート・シェアキーを採用し、鋼棒により橋軸方向の固定を実現している。

3. 廻龍トンネルおよび林口トンネルの概要

3.1 廻龍トンネル

(1) 概要

廻龍トンネルは、台湾新幹線では台北に最も近いところに位置する山岳トンネルである。トンネル延長は両坑口の坑門トンネルと本トンネルそして開削トンネルをあわせて 2,597m である。ほぼ全線にわたり台北側から高雄に向かって約 2% の上り勾配である。半径 6,250m の曲線部とその緩和曲線が含まれている。

(2) 断面 (図 - 8)

軌道中心線間 4,500mm の複線軌道用トンネルとなっている。覆工仕上がり時の内面半径は 5,900mm と仕様により規定されており、覆工厚は 400mm で設計した。二次覆工の外側のほぼインバート仕上がり高さに配水管を設置してある。これは、メタンガスを溶存した地下水を外部に排出するためのものであり、坑内に約 50m 毎に設置した点検用のマンホールには、機密性を持たせてあるのが特徴である。両側のケーブルトラフの上が、安全通路スペースとなっている。

(3) 地質概要 (図 - 9)

砂岩を主体とし、頁岩との互層を挟在する地質構造となっている。岩盤の一軸圧縮強度は 5-85N/mm² 程度である。距離程で 19+230 付近と 20+895 ~ 20+970 の位置に断層があった。断層部では切羽一部で若干の剥落が見られたが、施工に支障が出るほどではなかった。むしろ、褶曲されて内部にエネルギーを持った地層が、トンネル掘削により地山応力の一部が開放されたことにより、一次覆工に予想外の変位と変形をもたらしたことがあった。また昔の採炭坑跡が 1 箇所で見られた。

(4) 施工法

油圧ブレイカによる機械掘削による NATM により施工した。坑内からの残土排出は、通常のダンプトラックで行なった。覆工を併進させるために、インバート部の掘削及び覆工を切羽から約 500 ~ 800m 位置で行なった。このために、インバート栈橋を導入した。施工工程を図 - 10, 支保工パターンを表 - 4 に示す。また、施工状況を図 - 11, 12 に示す。

(5) メタンガス

地質調査時にボーリング孔 (UA-2) においてメタンガスを検出した。このため、施工中のトンネル坑内へのメタンガス噴出も避けられないものとして、通常の 2 倍程度の送気量を確保する換気設備とメタンガスの自動計測システムを設置した。掘削中にメタンガスは切羽部およびその後方でトンネル坑内に漏出した。その量が少なく十分な換気量により希釈され施工に支障を与えることはなかった。供用時にメタンガスやガスを溶存している地下水がトンネル坑内に漏出しないように、防気・防水対策を施してある。

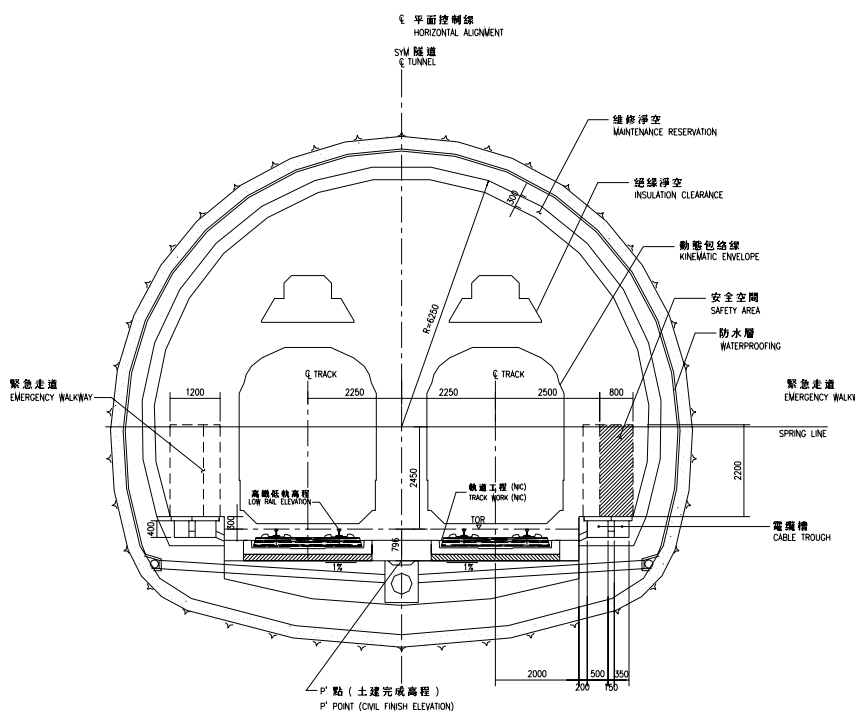


図 8 迴龍トンネル標準断面 (台湾高鉄仕様より抜粋)

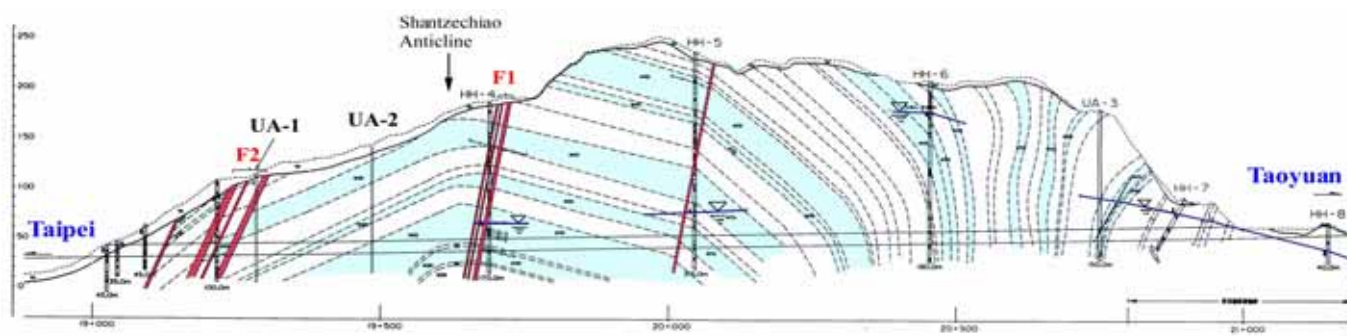


図 - 9 迴龍トンネル地質概要

| | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 |
|------|-------|------|------|------|---------------------|
| 工期 | 4/1起工 | | | | 6/28トンネル部竣工 11/25完工 |
| 設計 | 基本設計 | | | | |
| 設計 | | 詳細設計 | | | |
| 施工 | | | | | |
| 準備工 | 準備工 | | | | |
| 掘削 | | 掘削 | | | |
| 二次覆工 | | | | 上半 | 下半 |
| 附帯工 | | | 附帯工 | | |

図 - 10 迴龍トンネル施工工程

表 - 4 廻龍トンネル支保工パターン

| SUPPORT TYPE 支保等級 | I | II | III | P/S |
|-------------------------------------|---|--|--|--|
| EXCAVATION SEQUENCE 開控程序 | | | | |
| ESTIMATED DEFORMATION 預估變形量 (mm) | 3 | 10 | 15 | 20 |
| ROUND LENGTH 輪進長度 | T: 1,500~1,200 B: 3,000~2,400 | T: 1,200~1,000 B: 2,400~2,000 l: 3,600~3,000 | T: 1,000~0,800 B: 2,000~1,600 l: 3,000~2,400 | T: 1,000~0,800 B: 2,000~1,600 l: 3,000~2,400 |
| SHOTCRETE 噴凝土 (mm) | 100 | 200 | 250 | 300 |
| WIRE MESH 鋼線網 | 1-7*150*150 | 1-7*150*150 | 1-7*150*150 | 1-7*150*150 |
| STEEL RIB 鋼支保 | H100X100X6X8 | H150X150X7X10 OR LATTICE GIRDER (PS 115/22/32) | H175X175X7.5X11 OR LATTICE GIRDER (ps 115/26/34) | H200 OR LATTICE GIRDER (PS 130/26/34) |
| ROCK BOLT 岩栓 | 3m (AS REQUIRED) | 5m@1.5 | 5m@1.5 | 6m@1.2 |
| CROWN PROTECTION 頂拱保護工 | 38mmφ FOREPOLINGS OR STEEL BARS (AS REQUIRED) | 38mmφ FOREPOLINGS OR STEEL BARS, L=3 m @ 0.15~0.30 (AS REQUIRED) | 38mmφ FOREPOLINGS OR STEEL BARS, L=3 m @ 0.10~0.20 (AS REQUIRED) | 114mmφAGF OR LONG FOREPOLING |



図 - 1 1 廻龍トンネル プレーカによる掘削



図 - 1 2 廻龍トンネル二次覆工施工

3.2 林口トンネル

林口トンネルは、台湾鉄路において第二の長さ(6,481m)をもつトンネルである。廻龍トンネルから約420m 離れで隣接しており、トンネルの縦断線形に約92mの高低差がある。トンネルの中央部付近の土被りの少ない位置2箇所に緊急時の非難立坑がある。工業・農業用地下水への影響を最小限に抑えるために、非排水トンネルとして設計されている。

(1) 断面(図-13)

廻龍トンネルと同様に、軌道中心線間 4,500mm の複線軌道用トンネルとなっている。仕様に規定されている覆工仕上がり時の内面半径は 5,800mm と廻龍トンネルより 100mm 小さい。覆工厚は 600mm であり、廻龍トンネルよりも 200mm 厚くなっている。これはもともとの土被りと地下水位が高いことと、非排水トンネルの設計条件が排水トンネルよりもおおきな荷重を覆工にかけるためである。両側のケーブルトラフの上が安全通路スペースとなっているのは、廻龍トンネルと同様である。非排水トンネルであるので、ショットクリート吹きつけの一次覆工と二次覆工の間に防水シート(図-17)を敷設している。

(2) 地質概要(図-14)

礫混り砂から礫混り砂質粘土を主体とし、礫の含有率は 60 - 80 % と高く、最大礫径は約 30cm である。また、部分的に砂岩および泥岩を挟在している。

林口礫層には砂層と粘土層が互層となった部分があり、砂/粘土層がレンズ状に存在していた。

小さな断層が予想されたが、施工中の切羽観察においても確認できたものはなかった。

(3) 施工法

施工工程を図-15、支保工パターンを表-5に示す。トンネル全長が約 6.4km と長いことから、北(台北側)と南(桃園側)の両坑口からと、2 箇所ある緊急避難用立坑それぞれから南北方向に掘削を行い、最大で合計 6 箇所の切羽で同時に掘削を行った。廻龍トンネルと比較するとかなりゆるい地山であった。掘削工法は、比較的硬い地山や改良区間には油圧ブレイカ、それ以外にはバックホーを用いた機械掘削による NATM により施工した。以下に示すように、高い水圧ならびに岩盤の強度がさほど高くないことから、かなりの範囲で砂層の切羽が自立せず、そのような区間では、AGF とフェースボルトの打設、さらにシリカレジン注入をすることで切羽の自立を図った(図-16)。坑内からの残土排出は、坑内ではトンネル工事専用のダンプトラックを主に使用し、立坑からの排土は大型のスキップにより行った。覆工を併進させるために、インバート部の掘削及び覆工を切羽から約 500m 位置で行なった。このために、インバート栈橋を導入した。

(4) 地下水と水抜きボーリング

礫混り砂層の透水係数は調査により 3×10^{-3} cm/sec とされており、掘削時の最大湧水量は 6 - 600 m³/hr 程度が予測された。このため 2 つの中間立坑と林口トンネルの接続部付近では、あらかじめディープウェルによる地下水位低下と薬液注入工をおこなった。その他の区間の本トンネル部の湧水量は、事前の情報より予測された湧水量の 2 倍以上となった。地下水とそれに運ばれる微粒砂の噴出を避けるために、トンネル全線で切羽から約 50 m の調査ボーリングを行いながら、地質と湧水状況を確認しつつ施工した。距離程で 26+200 ~ 26+800 付近は、微細砂層に約 4 気圧(実測)の高水圧がかかり切羽が自立しなかったため一時掘削を中断し、地上部からディープウェル(約 85m 深、11 本)とトンネル切羽後方からの排水を行い、切羽頂部の地下水圧を約 1.5 気圧まで下げた。

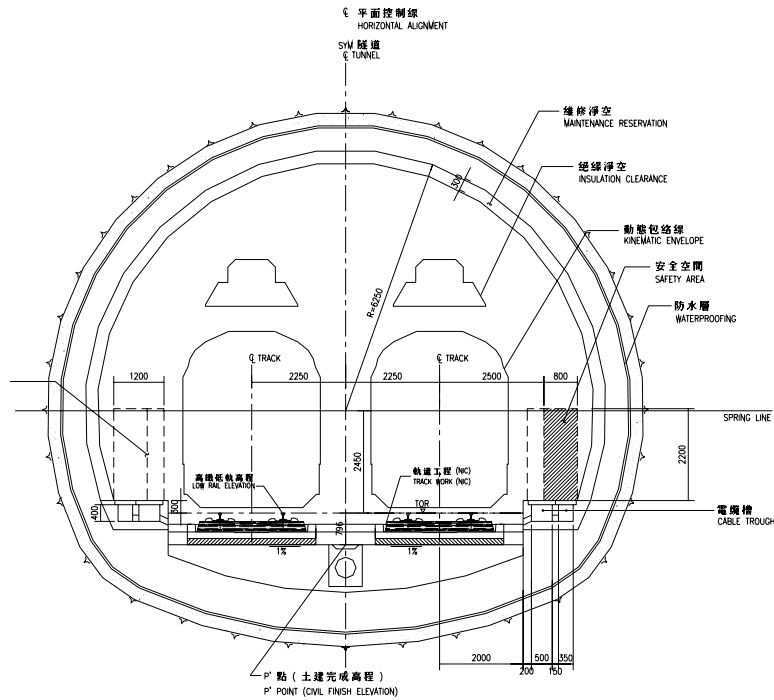


図 - 1 3 林口トンネル標準断面 (台湾高鉄仕様より抜粋)

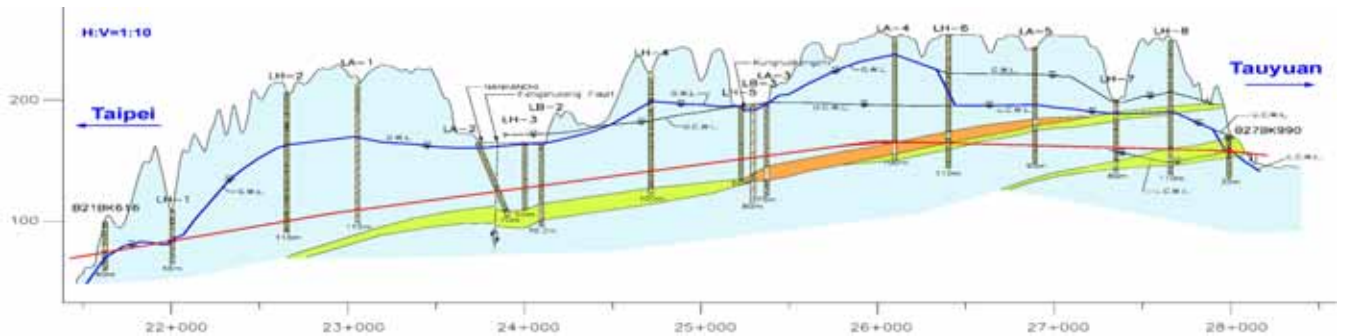


図 - 1 4 林口トンネル地質概要

| | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 |
|------|-----------|------|------|------|---------------------|
| 工期 | 4/1起工 | | | | 6/28トンネル部竣工 11/25完工 |
| 設計 | 基本設計 | | | | |
| 設計 | 詳細設計 | | | | |
| 施工 | 準備工 | | | | |
| 掘削 | 上半 ▼ 下半 ▼ | | | | |
| 二次覆工 | | | | | |
| 附帯工 | | | | | |

図 - 1 5 林口トンネル施工工程

表 - 5 林口トンネル支保工パターン

| SUPPORT TYPE 支保等級 | I | II | III | P/S |
|------------------------------------|---|---|---|--|
| EXCAVATION SEQUENCE 開挖程序 | | | | |
| ESTIMATED DEFORMATION 預估變形量(mm) | 50 | 80 | 100 | 150 |
| ROUND LENGTH 輪進長度 | T: 1,500~1,200 B: 3,000~2,400 I: 4,500~3,600 | T: 1,200~1,000 B: 2,400~2,000 I: 3,600~3,000 | T: 1,000~0,800 B: 2,000~1,600 I: 3,000~2,400 | T: 1,000~0,800 B: 1,000~0,800 I: 2,000~1,600 |
| SHOTCRETE 噴凝土(mm) | 200 | 250 | 300 | 300 |
| WIRE MESH 鋼線網 | 1-7*150*150 | 1-7*150*150 | 1-7*150*150 | 1-7*150*150 |
| STEEL RIB 鋼支保 | H150x150x7x10 OR LATTICE GIRDER (PS 115/22/32) | H175x175x7.5x11 OR LATTICE GIRDER (PS 115/26/34) | H200x200x8x12 OR LATTICE GIRDER (PS 130/26/34) | H200x200x8x12 OR LATTICE GIRDER (PS 130/26/34) |
| ROCK BOLT 岩柱 | 4m@2.00 | 4m@1.5 | 6m@1.5 | 6m@1.5 |
| CROWN PROTECTION 預拱保護工 | 38mmφ STEEL FOREPOLINGS /BARS OR SELF DRILLING BOLTS (AS REQUIRED) | 38mmφ STEEL FOREPOLINGS /BARS OR SELF DRILLING BOLTS (AS REQUIRED) | 38mmφ STEEL FOREPOLINGS /BARS, L=3 m @0.20~ 0.30 OR SELF DRILLING BOLTS (AS REQUIRED) | 114mmφAGF, LONG FOREPOLING L=12.5 m, OVERLAP 3~4m |



図 - 16 林口トンネル 微細砂層の掘削 (AGF, フェースボルトおよびシリカレジンを注入)



図 - 1 7 林口トンネル防水シート工



図 - 1 8 林口トンネル竣工状況

4 . おわりに

台湾新幹線建設工事は、2004年4月現在、土木工事のほとんどが終わり、2005年10月の運行開始を目指して軌道工事および機電工事が盛況を迎えている。台湾新幹線の土木工事については、これまでのところあまり多くの報告がなされておらず、本来であるなら、建設工事の全工区にわたった紹介をすべきところではあるが、契約ごとの独立性が強いことから、他工区の工事についてはなかなか内容を知りえないことと、現在まだ契約期間中であり、施主側でも竣工記録の取りまとめにいたっていない（施工記録が公開されるかどうかは不明であるが）ことから、自分が所属した工区の紹介にとどめたことをご理解いただきたい。

本報告の作成に当たっては、大林組・互助營造JV台湾新幹線210および215の皆様から、工事・設計に関連した数多くの情報の提供をいただくと共に、文章に関するご意見なども頂戴した。

5 . 引用資料

- 1) 台湾高速鐵路股份有限公司HP：<http://www.thsrc.com.tw>
- 2) 社団法人海外鉄道技術協力協会HP：<http://www.jarts.or.jp>
- 3) FUKAYA MASAOKI, Design Codes and Standards – Civil Works in Taiwan High Speed Rail Project - , 土木学会第58回年次学術講演会（平成15年9月）CS2-004