

西オーストラリア州パース南西鉄道工事報告 REPORT FOR PERTH NEW METRO RAILWAY CONSTRUCTION IN WESTERN AUSTRALIA

赤羽 清彦¹・相川 文宏²

Kiyohiko AKABANE・Fumihiro AIKAWA

New Metro Railway Perth to Mandurah line is now operating and open to the public in Perth Australia. This new lines compose of two major sections. One section is “at grade” rail works, the other is “under ground” rail works. Almost all of 72 kilometer lines are at grade. Only the lines located in the center of Perth city are under ground. Kumagai Gumi constructed the under ground rail way section as an integrated Joint Venture with Leighton Contractors. Leighton Contractors is one of the biggest general contractors in Australia. Kumagai Gumi was asked to contribute to this project because Leighton do not have much experience of under ground construction works within this kind of environment. This project is design and build Contract Works include (see diagram) earth pressure balance TBM tunneling, top down construction utilizing diaphragm wall at William Street Station, bottom up construction of Esplanade Station and Perth Yard/Foreshore cut and cover tunnels. This report highlights the technical features of this project particularly for shallow cover tunneling, building protection, underpinning of heritage building, semi-top down method for open dive section, using Soil Mixing Wall & Deep Soil Mixing method for temporary works, etc.

Key Words : Australia, EPB Shield, Design and Build, Underpinning, Underground Railway at City

1. はじめに

オーストラリアは日本の約20倍の面積を持つ広大な大陸国家である。パースはオーストラリア大陸の南西部に位置し、オーストラリア最大の州、西オーストラリア州の州都である。西オーストラリア州の人口は約190万人でそのうち約140万人がパース近郊に居住している。西オーストラリア州では、鉄鉱石、金、錫、ウランなど鉱物資源が豊富に産出され日本は主要な輸出相手国となっている。

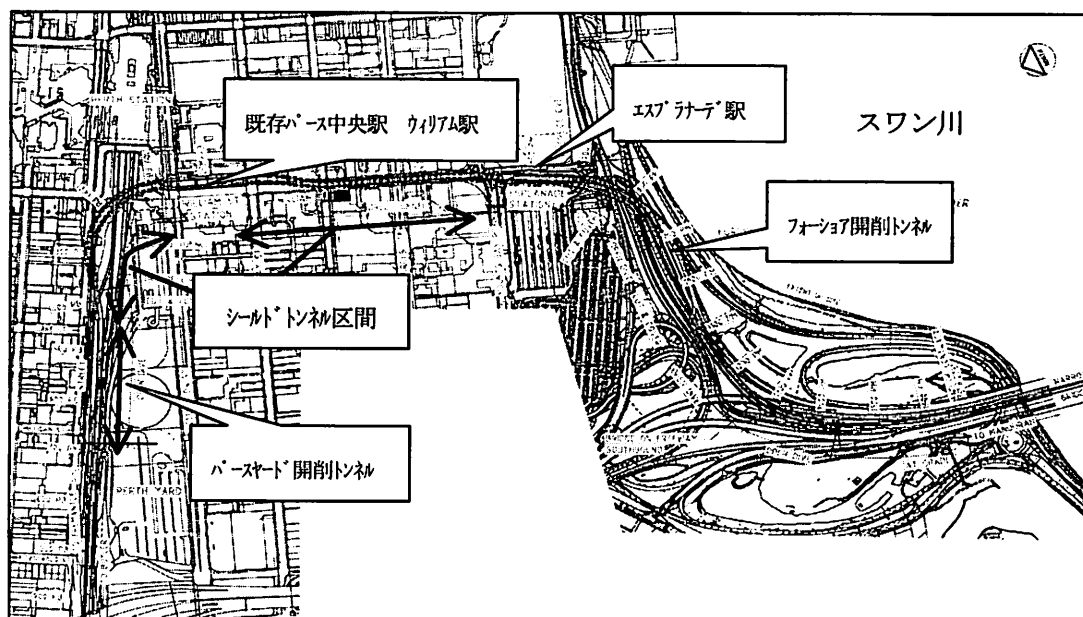


図-1 全体図

キーワード：オーストラリア，土圧式シールド，設計施工，アンダーピニング，都市部地下鉄道

¹非会員 ㈱熊谷組 国際支店パース南西鉄道工事所

²非会員 ㈱熊谷組 国際支店豪州駐在

近年中国・インドなど新興国の資源・エネルギー需要増による鉱物資源輸出増大による鉱山開発に伴い、西オーストラリア州は人口増加が続いており、州都パースにおける自動車交通量増大およびそれによる環境破壊が社会問題化しつつある。この様な状況下において州政府は将来を見据え都市内に流入する自動車交通量を抑制するため鉄道網の充実の施策を掲げ、人口増大が著しいパース南部の郊外都市マンドラまでを鉄道で結ぶ新線を計画した。

この新線は、既存の4本に加え5本目となる郊外都市線で最長の70 kmの距離になるが、市中心部以外のほとんどの区間は地上に通常のバラスト軌道を敷設するものである。当JV施工担当部は市中心部区間約2450 mであり、そのほとんどが地下工事である。パースでは過去にこのようなシールド工事を含む大規模な地下工事が行われたことがなかったため、経験豊かな熊谷組に現地大手建設会社より参加依頼があり、JVとして工事を共同施工した。図-1に工事全体概要図を示す。

2. 入札過程・契約・設計施工体制

(1) 入札過程・契約

入札はEOI (Expression of Interest) と言う段階から始まった。これはいわゆるPQ (入札事前資格書類審査) でこれによりまず入札業者が2者に絞られた。

次に約3ヶ月にわたる入札期間に入るが、ここで特徴的なことは、設計にかなりの自由度があったということである。トンネルの径はもとより、駅のプラットフォームの幅、長さ、鉄道の線形なども含め仕様書を満たしさえすればかなり自由に設計を行うことができる。逆にいえば、3ヶ月以内で無から有を生み出し、施工法検討、積算まで行うために、アーキテクトや、地質構造設計コンサルタント、電気設備業者と緊密に連携する必要があった。このため、全てのコンサルタントをJV事務所に一同に集め、効率的な設計作業、見積もり作業を行った。

入札提出後約2ヶ月間の査定後、発注者であるPublic Transport Authorityより優先交渉者として選定された。これは受注決定ではなく、あくまで優先交渉権に過ぎない。リレーションシップ契約に特徴的なVE交渉期間が始まった。これは発注者と一緒になってより経済的な設計を模索し、価格を少しでも低下しようと言うものである。発注者とコントラクターがお互いの目的、問題点を話し合いながら仕様書の変更が必要であればその検討を行い、入札期間よりも経済的な設計を行うことができた。

リレーションシップ契約では入札期間中においては発注者とのVE協力などで工事価格の低減を達成できるが、施工開始後は通常の海外における契約と変わりなく運営される。

(2) 設計・施工体制

本工事は、設計施工であり、土木構造物、建築仕上げ、駅電気設備工事（信号関係を除く）、軌道敷設、トンネル換気、架線工事、道路、植生工を含む。発注者、コンサルタントを含む概略組織図を図-2に示す。アーキテクト、構造設計、地質、仮設設計コンサルタントおよび電気設備業者（設計施工で発注）は全てJV事務所常駐とし、密なコミュニケーションをとれるようにした。JVは、基本的にレイトン、熊谷組両者統合した組織としており、工区分けなど縦割り組織にはしていない。ただし、シールドトンネル部は熊谷組主導での施工を行った。

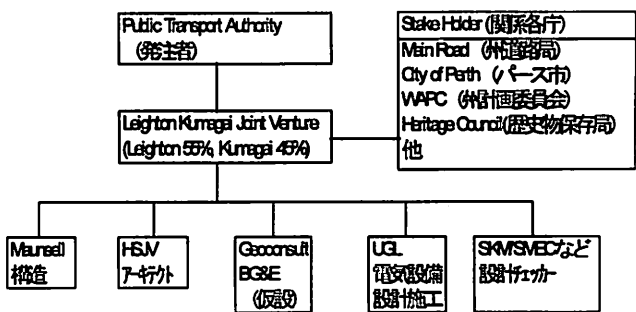


図-2 設計施工体制組織図

3. 工事概要と技術的特徴および施工報告

(1) 全体工事概要および数量

発注者：西オーストラリア州交通局（PTA）
 施工者：レイトン・熊谷組JV（55：45）
 着工日：2004年2月14日
 実施工期：42ヶ月

表-1 工事概要および主要工事数量

表-1 に示すように、本工事は、連続地中壁により土留めを行い、逆巻き工法により構築したウィリアム駅、シートパイルによる山留めを行い、順巻き工法により構築したオープン形式のエスプラナーデ駅、直径 6.9 m の土圧式気泡シールド、杭基礎工事、開削トンネル、アンダーパス用橋梁など多岐にわたる土木工事の工種を含んでいる。また駅建築仕上げ工事、トンネル換気、駅電気設備工事、スラブ・バラスト軌道敷設工事、鉄道架線工事、道路工事、植生工などほぼ鉄道工事全てにわたる工種が範囲に含まれる。

仮設工事もシートパイル、圧入工法、DSM（深層混合処理）工法、SMW工法、ディーブウェル、リチャージウェルによる排水、ジェットグラウトによる地盤改良、アンダーピニングおよびコンペンセーショングラウトによる建築物防護工など多種多様な工法を含んでいる。

これらを非常に限られた工期にて設計、施工を行わねばならず、マルチタスクを考慮した工程計画とそれに合わせた設計のスタートダッシュおよび多岐にわたる設計施工工種を束ねるプロジェクトマネジメントが重要であった。

（2）土質条件

表-2 に主な土質条件を示す。

地下水位は、全エリアで平均して地表面から 2 m のところにある。ただしウィリアム駅からエスプラナーデ駅にかけては UGU 層（シルト質粘性土）の下にもう一つの自由水面があり多少複雑な地層を形成している。

エスプラナーデ駅からウィリアム駅へのシールドトンネル部分は主に GFU 層（粘土混じりシルト質砂質土）を掘削する。比較的良質の粘性土 UGU がトンネル上部に被っており、トンネル掘削においては良好な土質と言える。これに対して、ウィリアム駅からパースヤード到達立坑までは被りが 1 D 以下と浅くなり、主に SS 層（砂地盤）を掘削することになる。地下水位も高く、この部分のトンネル施工は、大きなリスクが予想された。土圧管理や添加剤選択などを含め慎重な施工計画を立てた。

その他、後述する SRA 層と言う軟弱粘土の問題、また杭基礎の摩擦抵抗力が施工法により大きく左右され、マイクロパイルの設計変更が必要になったことなど基礎岩盤である KPF 層（砂岩）の問題など、いくつか設計上特徴的な土質条件があった。

主要工事概要	
工区延長	2,447 m
シールドトンネル（土圧式気泡シールド）	1,498 m
トンネル内径	6.16 m
シールド径	6.9 m
セグメント厚	275mm
ウィリアム駅	
駅全長	138 m
駅幅	22.4m/29.3m
最深部深さ	18 m
エスプラナーデ駅	
駅全長	138 m
駅幅	23.5m~12m
最深部深さ	14.5 m
パースヤードカットアンドカバー（U 字オープン部含む）	327 m
フォーンジョアカットアンドカバー（U 字オープン部含む）	715 m
既存高速道路アンダーパス	42 m
軌道敷設工事	一式
建築仕上げ工事	一式
電気設備工事	一式
主要工事数量	
連続地中壁（壁厚 1 m）	9,500m ²
掘削工（普通土）	205,900m ³
杭基礎工（場所打ち 750mm 径）	319 本
コンクリート躯体	52,760m ³
鉄筋工	11,500ton

表-2 土質条件

土質記号	土質名	場所	土質	単位重量 (γ)	弾性係数 (E_s)	c (kPa)	ϕ ($^\circ$)	q_u (kPa)
MG	Mud Guard (Fill)	全エリア	砂質土	180	20~40	0	33	
SRA	Swan River Alluvium	フォーンジョア	軟弱粘性土	145	45 0.3Pa	0	27	30~24kPa
LSA	Lake System Alluvium	パースヤード ウィリアム北	ビート質 軟弱粘性土	170	4	0	25	20
SS	Spearwood Sand	パースヤード ウィリアム駅 シールドトンネル部	砂	190	50~100	0	35	
UGU	Upper Gifford Unit	フォーンジョアを除く 全エリア	シルト質 粘性土	200	60	0	31	0.6Pa~60
GFU	Gifford Formation	全エリア	粘土混じり シルト質 砂質土	205	100~150	0	34	
LGU	Lower Gifford Unit	パースヤードを除く 全エリア	シルト質 粘性土	175	60	6	29	75~100
KPF	Kings Park Formation	全エリア	砂岩		2MPa (top 2m), 8MPa		30kPa (top 2m), 20MPa	

注：R：パースヤードレベル（水盤がほぼ 0m）

(3) シールドトンネル

a) シールドトンネル区間

シールドトンネル工区は、南のエスプラナーデ駅から市中心部のウィリアム駅までのウィリアム駅区間 471 m とウィリアム駅から既存パース駅構内、軌道下を通りパースヤード開削トンネルに接続するパースヤード区間 269 m の2工区からなる。いずれも2本の単線断面トンネルで、シールドトンネル施工としては、4本の施工となる。短い区間で4回の発進到達を繰り返し、2つの駅との工程、施工面での調整が大きなポイントとなった。

b) 施工上の課題と対策

①ウィリアムトンネルグラウンドアンカー

ウィリアム通り下の掘削では、路線沿いの建物施工時に仮設山留めグラウンドアンカーとの干渉が問題となった。発注者による設計トンネル路線は、計画上、アンカーを避けた位置となっているが、掘削径外縁からの距離は、近接部で約 50 mm から 500 mm でありアンカー施工精度から掘削断面に遭遇する可能性が高いと考えられた。この施工リスクを認識し何らかの対策を施すことが仕様書で施工者に求められた。承認された対策を実施した上で、アンカーに遭遇した場合のリスクは、発注者が負担する契約となっていた。

施工上の対策としては、入札段階よりマシンメーカーと協議しマシンに切羽前方障害物検知装置（実用新案申請）を考案し装備した。またアンカーがカッターへ絡まるリスクを低減するため、バイトカッターを隙間のない連続した特殊形状とし先行カッターには、障害物対応のシェルカッターを配置した。（写真-1）

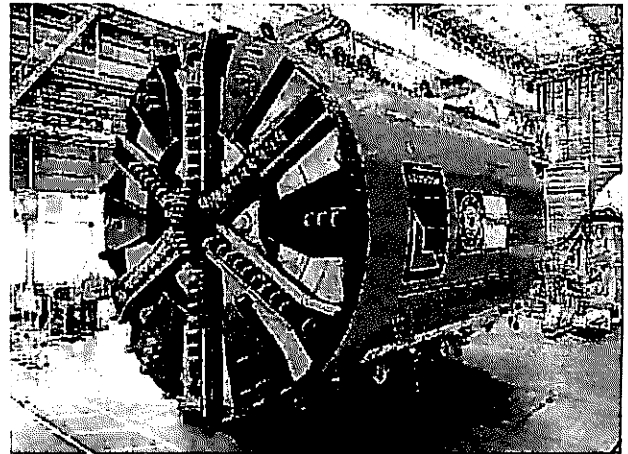


写真-1 土圧式シールドマシン

②建物直下掘削

ウィリアム駅の南側の区画（40 m×150 m）においては、東側トンネルで 107 m、西側トンネルで 53 m が既存建物直下の掘削となる。いずれもパース市メインストリートで店舗として営業しており建物構造への影響のみならず店舗営業への影響を最小にすることが求められた。建物の現状調査、施工による影響を検討し防護工が必要との結論に達したが、区画現状より建物内に入っているいは、周辺から効果的な地盤改良を施工することは、困難であった。このため同じような条件でヨーロッパで施工例があるコンペンセーショングラウト工法（Compensation Grouting Method）を採用した。（図-3）

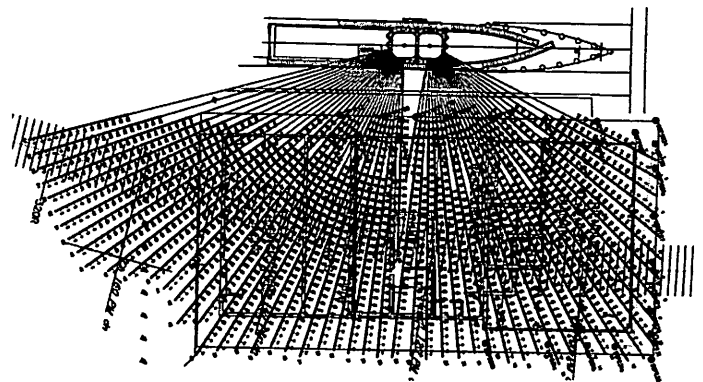


図-3 コンペンセーショングラウト平面レイアウト

コンペンセーショングラウト工法は、防護構造物地下に水平ボーリングで注入パイプ 1.5 m から 2 m 間隔で設置し、同時計測で構造物の挙動を監視しながら、沈下が生じた場合に当該位置の注入パイプからのグラウトにより地盤を隆起させ沈下を compensate（償う、補う）する工法である。本件のような広範囲の地上構造物の経済的防護工として開発されたものでアントワープ駅直下トンネル、ロンドン地下鉄等の施工例がある。

③パースヤード区間－1 D 以下土被りでの掘削

パースヤード区間は、歴史的構造物に指定されているホースシュー陸橋をくぐり、地上営業線を横断するパース駅直下の掘削（ほぼ 1 D 土被り）に引き続いてパース駅北側で土被りが 1 D 以下となる極めて厳しい施工条件である。この区間においては、地盤改良が検討されたが土被りが薄い砂地盤では、注入材が水平方向に浸透せずに地上に抜けてしまうので有効な改良結果を得ることが難しい。また地下水汚染による周辺樹木への影響とメインストリー

トの交通を制限して地盤改良することをパース市当局が懸念したこともあり地盤改良なしで安全な掘削が可能かを検討した。その結果、気泡シールド工法による高レベルの施工管理により1 D以下でも地盤改良なしで安全な施工は技術的に可能であると判断された。

技術的に可能であっても不測の事態が発生することを前提に、施工計画の安全確実な実施を行うに当たっては、リスクの把握から始めるリスク管理を実施した。本施工においては、施工計画において考える全てのリスクを抽出把握し、それぞれに対するリスク分析、評価、対策を立案した。

リスク対策実施においては、鉄道局、パース市当局、警察、消防、水道局などの埋設サービス会社との連携、協力が不可欠であるためこれらの関係機関も含めてリスクワークショップ（検討会）を実施しリスクとその対応策、体制の確認を行い万全のリスク管理体制のもとで施工を開始した。

施工レベルでは、プラットホーム、軌道、地上構造物の挙動を24時間体制で計測しその結果を掘削管理値に反映させた。また、軌道、プラットホームの挙動については、保線管理の資格者を配置し肉眼で状況の確認を実施した。トンネル施工チームが中心となって全体システムを管理するとともに、マネージメントレベルで掘削、計測、軌道監視、設計及び発注者を含めた協議会を1日に2回実施し、状況説明、先行した対策検討に努めた。

駅構内、軌道下掘削では、警戒レベルの変位量が10 mmに設定されたが、3-5 mmの範囲で施工することが出来た。

（４）パースヤード開削トンネル

パースヤードは既存の営業線に両側を挟まれた狭いエリアに新線を構築するものである。この部分の技術的特徴は、

- 鉄道営業線および商業地が近接しているため低振動無騒音の圧入式サイレントパイラーを使用したシートパイルの打設。
- 浮き上がり防止杭として、簡易な鋼製スクリーパイル、および仮設シートパイルの本設使用。
- オープンセクションの構築で、シートパイルを利用した、セミトップダウン工法の採用。これにより、仮設切梁を減らし外壁の構築を簡易にし、急速施工が可能となった。

このセミトップダウン工法は、まずシートパイルとスクリーパイルを打設する。スクリーパイルは本設の浮き上がり防止杭として、シートパイルは仮設山留めの目的の他に本設の浮き上がり防止杭としても使用した。設計要求である120年耐用に関してはDurability コンサルタント（耐久性専門コンサルタント）と共同でシートパイルの錆による劣化の検討を行い確認した。次にシートパイルにスタッドを打ち本設仮設兼用の腹起こし梁、切梁を地上にてコンクリート打設する。その後地上より掘削し、途中一段仮設切梁を設置、底版まで掘削する。底床スラブ打設後仮設切梁を撤去する。この段階で写真-2 に示すように全ての仮設材が撤去され良好な作業空間を確保できた。最後に外壁を打設するが、本設腹起こしのカプラーを減らすためH鋼によるせん断キーを設けた。この投入用の穴を利用しコンクリートの打設も効率よく行えた。

図-4 にセミトップダウン工法の施工手順を示す。

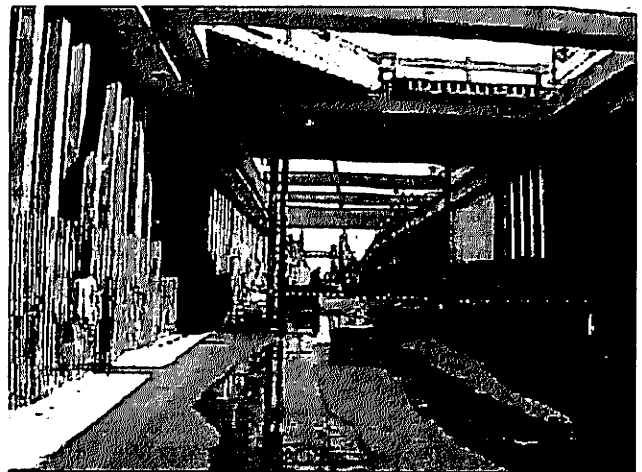
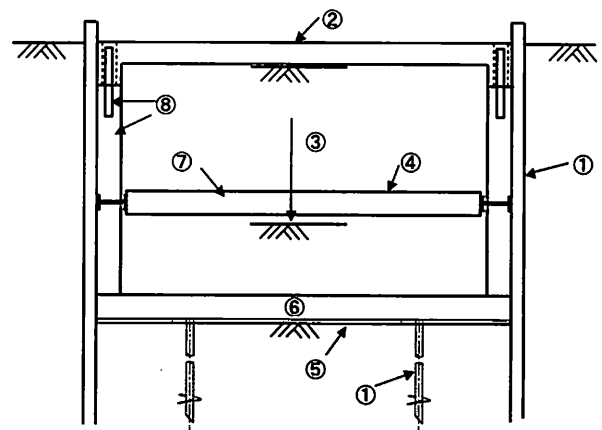


写真-2 パースヤードオープン部セミトップダウン工法にて施工



- ① シートパイル、スクリーパイル打設
- ② 本設仮設兼用コンクリート切梁、腹起こし打設
- ③ 仮設切梁レベルまで掘削
- ④ 仮設切梁腹起こし取り付け
- ⑤ 底版まで掘削
- ⑥ 底床スラブコンクリート打設
- ⑦ 仮設切梁腹起こし撤去
- ⑧ 外壁コンクリート打設、シェアキー挿入

図-4 セミトップダウン工法による開削オープンセクション施工手順

(5) ウィリアム駅と歴史的建造物のアンダーピニング

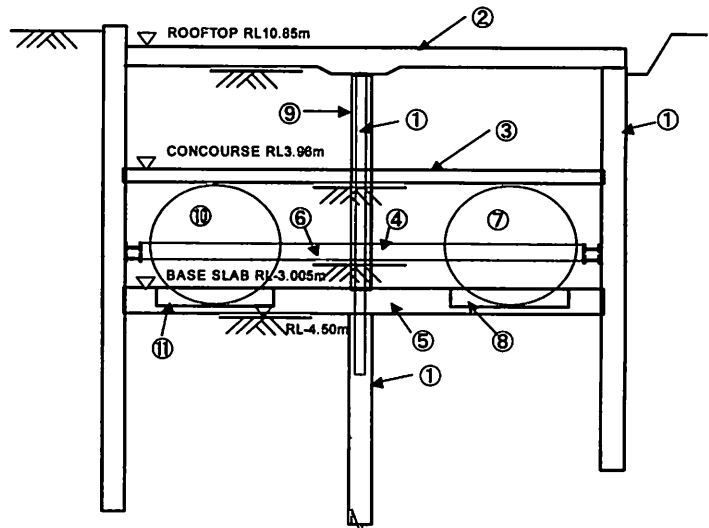
ウィリアム駅は、市中心部のパース駅の連絡駅となる。既存の建造物を撤去し、連続地中壁を施工、トップダウン工法（逆巻き）にて施工した。1 本目のトンネルがエスプラナーデ駅を発進しウィリアム駅に到着するまでに連壁、逆巻きにて掘削し、底床スラブまで打設完了している必要があるため、当プロジェクトの最もクリティカルとなる部分である。ウィリアム駅の技術的特徴は、

- ・ 連続地中壁（1m 厚 30m 深）を利用した逆巻き工法による工期短縮
- ・ 歴史的建造物であるウェリントンビルのアンダーピニング

ウィリアム駅は、シールドマシンが通過できるように、コンコーススラブと底床スラブの間を大きく開けてある。ただし極力掘削深さを減らすため、マシン通過部のみスラブに段差を設けた。マシンとスラブ間の余裕は 200mm とした。図-5 にウィリアム駅施工手順概念図を示す。

駅掘削は、4 箇所の仮開口部を上床スラブに設けそこから行った。この開口部のうち 3 箇所は、コンコーススラブの本設の開口部と一致するようにした。設計段階においても建築設計コンサルタントと相談しながら本設の開口場所を施工しやすい場所に持ってくるようにした。コンコース下の仮設切梁レベルまでの掘削は主にロングリーチ油圧ショベルを、それより深い部分 18 m まではテレスコピック型掘削機を使用した。

アンダーピニングには本設の上床スラブを利用し、仮設構造物を殆ど使用しない工法を考案しコスト削減を図った。また、この上床スラブを支持するための杭としてマイクロパイル（先掘り小口径鋼管杭）工法を採用し、ビル内部の限られた空間での杭基礎施工を可能とした。図-6 にアンダーピニングの施工手順図を示す。また写真-3、写真-4 にアンダーピニング状況を示す。



- ① 連続地中壁、バレット杭施工、中間杭をバレット内に建て込み
- ② 上床スラブ下面まで掘削、上床スラブ打設
- ③ コンコーススラブ下面まで掘削、コンコーススラブ打設
- ④ 仮設切梁下面まで掘削、仮設切梁・腹起し架設
- ⑤ 底床下面まで掘削、シールドマシン移動用のリセスを設けて底床スラブ打設。
- ⑥ 仮設切梁、腹起し撤去
- ⑦ シールドマシン駅内移動（1本目）
- ⑧ 底床リセス部コンクリート打設（1本目）
- ⑨ 本設コンクリート柱打設。鋼製中間杭は柱の中に埋め込み。
- ⑩ シールドマシン駅内移動（2本目）
- ⑪ 底床リセス部コンクリート打設（2本目）

図-5 ウィリアム駅逆巻き工法施工手順



写真-3 ウェリントンビル アンダーピニング 全景

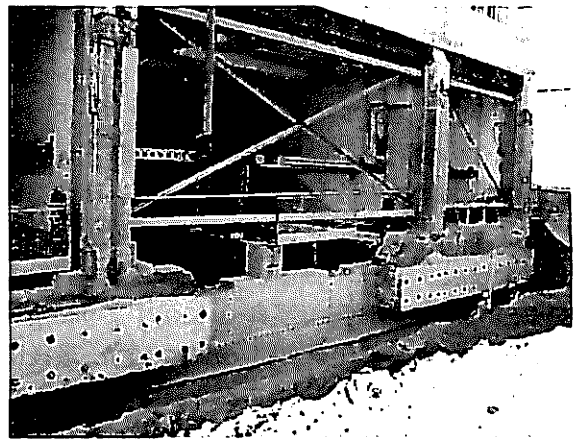


写真-4 アンダーピニング クラッキング 状況

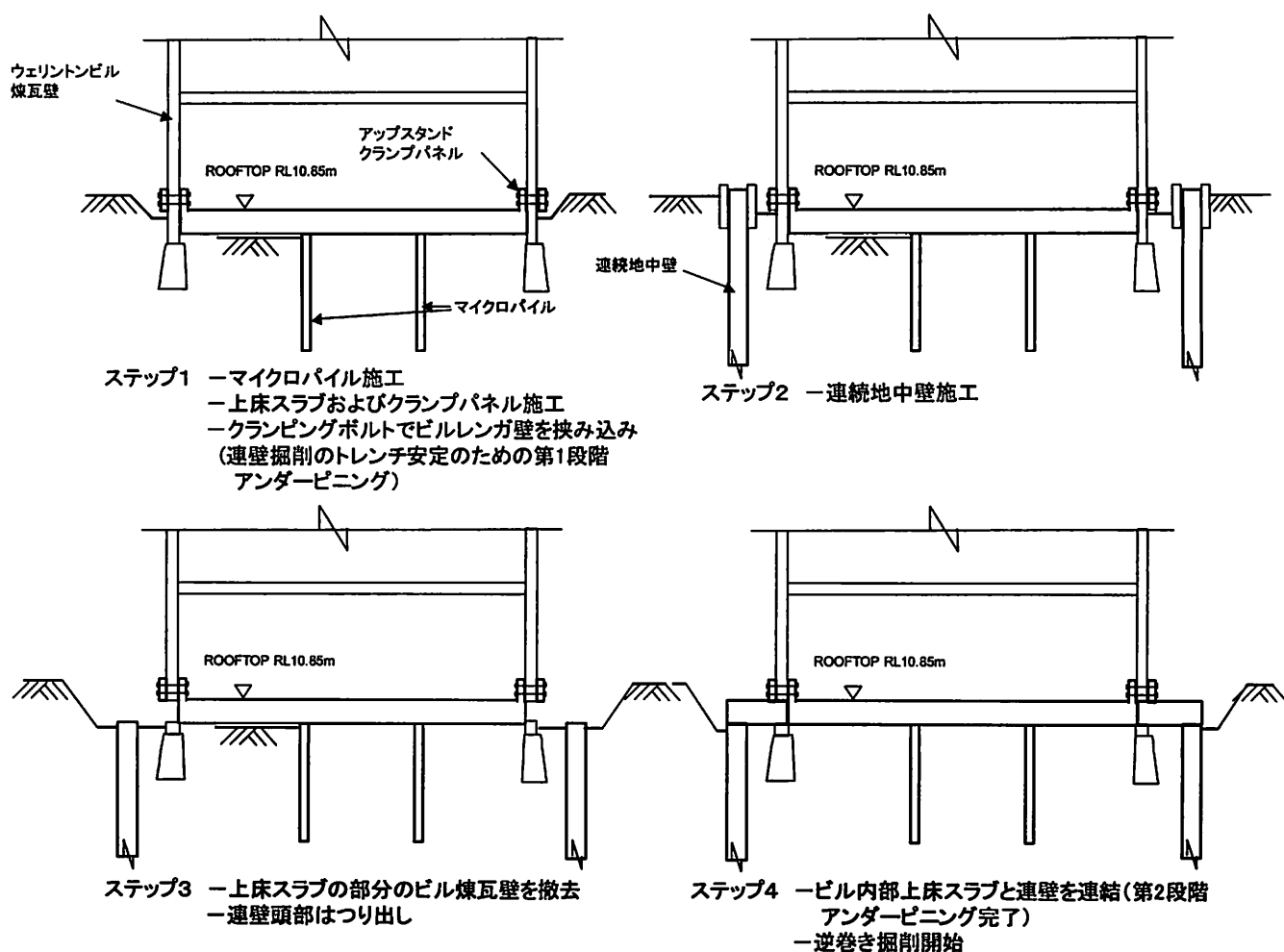


図-6 ウェリントンビル・アンダーピニング施工手順

(6) エスプラナーデ駅

エスプラナーデ駅はウィリアム駅の約 500m 南に位置し、スワン川を臨むパースフォーショア（スワン川河畔緑地帯）への連絡駅となる。駅の構造は完全に地下に隠れる北側部を除いてU字型のオープン構造で、鉄骨の屋根が架けられる。(図-7) 駅北側 30m はシールドの発進立坑として使われるため幅を広くとった。エスプラナーデ駅の技術的特徴は、

- 施主であるPTAと交渉し、駅に1%の縦勾配を設けることにより、南側のフォーショア開削トンネルの掘削深さの減少。
- 駅構築そのものは、通常の鉄筋コンクリート造でシートパイル、鋼製切梁を使用した順巻き工法を採用。駅中央北部に径2mの2本の排水管を始めとする既存の埋設管が4本ありそれらを現位置にて支持、駅構造物に収納。
- 浮き上がり防止に750mm径の場所打ち杭を使用。

駅の設計においては、発進立坑部の拡幅部分に換気、電気設備を収納した。工程を考慮し、1本目（東側）のトンネルの投入、ずり出し開口部に、より時間を要する電気関係設備を配置、2本目（西側）のトンネル側には換気設備を配置するよう建築設計コンサルタントおよびE&M設計者と設計の調整を行った。

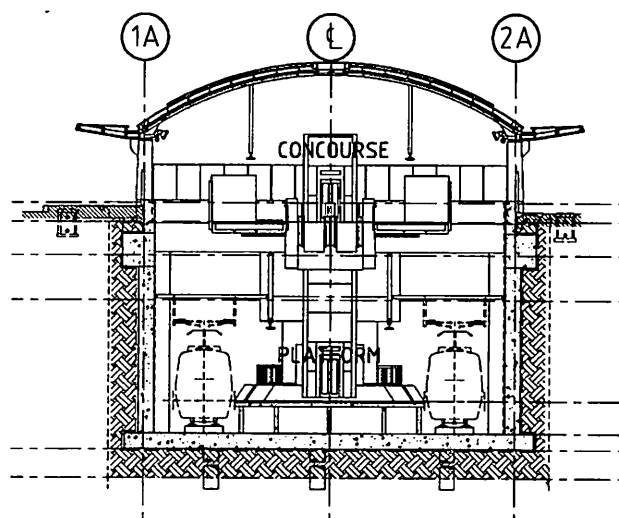


図-7 エスプラナーデ駅断面図

掘削においては、発進立坑部がクリティカルであったため立坑部と駅本体部を2分して掘削、構築を行った。その際、両者の掘削深さが異なるため、立坑部と駅本体部間にアンバランスな力が働く。これを本設の立坑構造物の重量で受けようと当初計画していたが、その完成が遅れ重量を確保できず、杭もその横抵抗力が不足しているため、受けられないと言う事態になった。この事態に対し、アンバランス力を両側の腹起こしの軸力を通してシートパイルに伝達しシートパイルと地盤の摩擦力を利用して受けるという方法を本設設計者、仮設設計者、現場チーム一体となって検討し、解決することができた。この概念図を図-8に示す。

シートパイル打設はパイプロハンマで行ったが、発進立坑部において岩のレベルが予想より高く所要の根入れが確保できない状況となった。この解決策として根入れ部の安定のため、場所打ち杭機で先掘りを行い、H鋼をシートパイル前面に建て込みシェアキーとして機能させた。切梁は鋼管を使用し水平間隔をできるだけ大きく取り、また中間杭の本数を極力減らした。壁の鉄筋は地上で組み立てたものを切梁の間に挿入する形で建て込み、足場や鉄筋工の人工数を減らすことができた。

写真-5、写真-6に駅建設中の写真を示す。

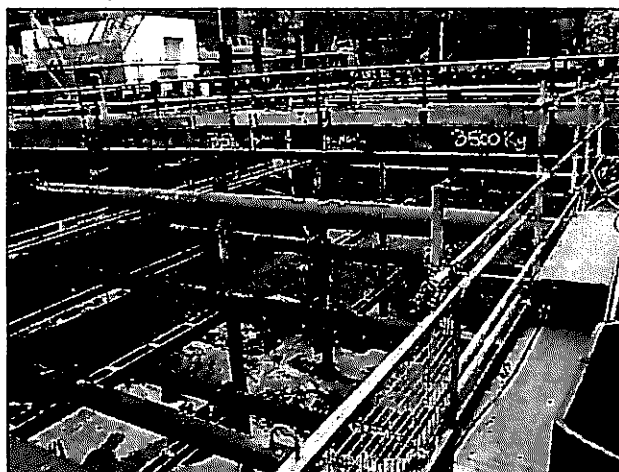


写真-5 イブナーデ駅掘削作業中

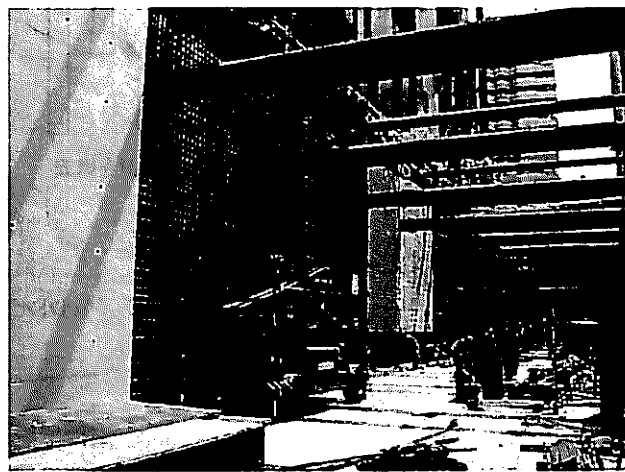


写真-6 イブナーデ駅構築作業中

（7）フォーショア開削トンネル

エスプラナーデ駅の南側、スワン川に面するフォーショアエリアは、主に1960年代に川の一部を埋め立てた区域で、ここに開削トンネル164m、オープンセクション140mを挟んで再び開削トンネル110m、残り一部Freeway下をくぐるアンダーパスを挟んで約340mのオープンセクションを構築する。このエリアはSwan River Alluvium(SRA)と呼ばれる軟弱粘土が深さ約7mから23mにわたって厚く堆積しており、この軟弱粘土対策が一つの重要なファクターであった。このエリアの技術的特徴は以下に要約される。

- パレオチャンネルと呼ばれる以前谷間になっていた部分にSRAが特に深く堆積しており、鉛直

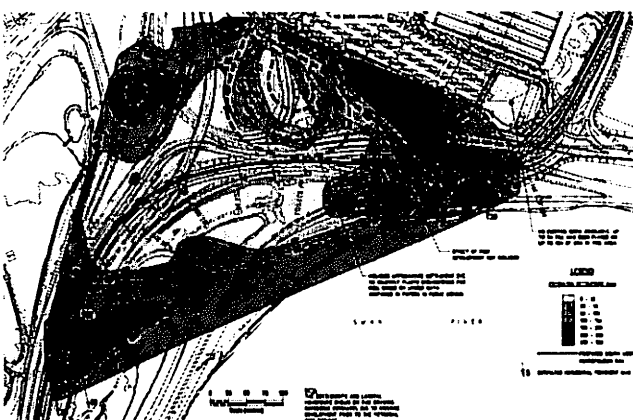
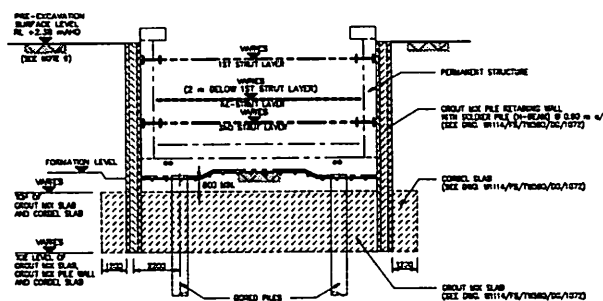


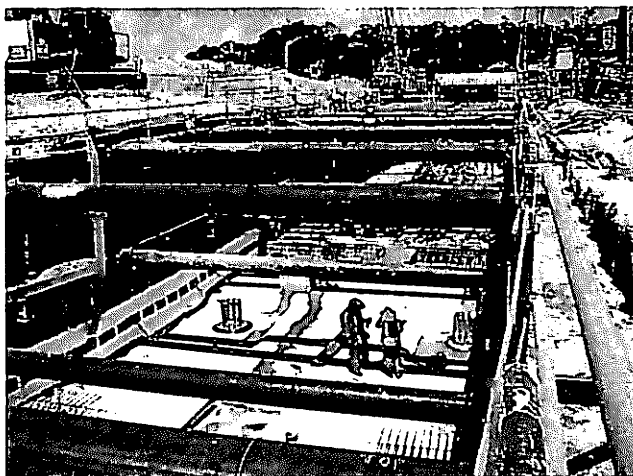
図-9 フォーシアエリア将来120年間の沈下量予想図

- SRAが特に厚く堆積する部分の掘削においてはヒービング対策, 根入れ安定のため一部SMW (Soil Mixed Wall) 工法を使用し, 先行地中梁としてDSM (深層混合処理工法) を施工した。その他の部分の掘削は通常のシートパイル山留めおよびオープンカットにて行った。



SRAは将来 120 年にわたり、最大 150 mmの沈下、川に向かう側方流動最大 30 mmが予測された(図-9)。構造物は750 mm径の場所打ち杭で鉛直方向に支持され、杭は30 mmの側方流動に対する水平移動に十分抵抗する強度を持つようにした。構造物は平面的に弓のような形状となっており、側方流動による水平力、杭との相互作用等を考慮し、途中に伸縮継目を設けず連続体として設計を行った。

パレオチャンネル部分は、DSM（深層混合処理）工法による先行地中梁を施工し、SMW（Soil Mixed Wall）工法により山留め壁を施工した。図-10 に山留め概要図、写真-7 に掘削中の状況を示す。



4. 当プロジェクトの地下利用について

① 景観防護への考慮：

冒頭述べたようにパース市は人口140万人の大都市ではあるが、その人口は南北約140km東西約60kmにわたる広大で平らな地域に広がっており、都市中心部のイメージは日本の20万人都市といった程度の規模である。従って本鉄道の地下化は路線選定によっては経済的合理性の観点からは避けられる可能性はあったと考えられる。しかしながら景観保全への発注者側からの強い要望がこの地下化を決定させた。更にその要望により、地下化による景観を損なう建築物の地上への露出を避けるに留まらず、歴史的建造物の保全による町並景観の維持や、スワン川の眺望を確保（ファッシュョア開削トンネル部は縦断線形上はエスプラナーデ駅を出てすぐに地上に出ることが出来たが、眺望確保のため地下化した）することになった。

② 地上交通・観光客への利便性の確保：

当プロジェクトのような土被りの少ない地下工事は開削工法で行うことがコスト的には通常のことである。しかしながら発注者は工事期間中の地上交通・観光客への利便性を考慮し、市中心部のトンネル部にシールドトンネル工法の採用を入札条件として指定した。

③ 浅い私有地の地下利用：

もう 1 つの当プロジェクトで特徴的なことは、浅い私有地の地下利用である。ウィリアム駅東側のトンネルは営業中の商業ビルの真下を通っておりその土被りは僅か約 10 m ほどである（コンペンセーショングラウト（3.（3）（b）参照）を施工したエリア）。現状パスでは日本の大深度法のような公共の地下利用に関する法律は無く、当プロジェクトの場合は発注者側が利権者と個別に補償問題を話し合ったようである。

5. おわりに

本プロジェクトは、豪州において熊谷組として4つめのトンネル工事である。シールドトンネル工事においては過去の施工経験より現地スタッフ中心のトンネル施工体制を作ることが出来、日本人職員との協調体制で厳しい施工条件下においても順調な施工結果を得ることが出来た。これはわが国の諸先輩方による技術の開発と蓄積があって初めて達成できたことであり誇らしく思えることである。

又今回の事例はオーストラリアであるが、この報告書を書くことによって自分の今までの海外での地下工事を見直し、海外での地下利用の意義を考える機会になった。この機会を与えてくれた関係諸氏に感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 赤羽清彦,山崎裕司,相川文宏,大島正浩,重村誠一,渡邊智彦：西オーストラリア州パース南西鉄道工事報告, 熊谷組技術研究報告第 65 号 2006 年 P175-183
- 2) 赤羽清彦,山崎裕司,相川文宏：オーストラリア パース市に地下鉄を掘る,トンネルと地下 449 号 Vol.39 No.1 2008 年 1 月 P53-59
- 3) 赤羽清彦,相川文宏,山崎裕司,重村誠一,渡邊智彦：パース市街地におけるシールドトンネル工事施工, 熊谷組技術研究報告第 66 号 2007 年 P105-113