

地下鉄直下の分岐シールド工法「地下茎工法」による電力管路の築造 Construction of Cable Tunnels by Ramified Shield Method called the Subterranean Stem Shield System under the Subway Line

磯 陽夫**
Akio Iso

高須賀 洋一*
Yo-ichi Takasuga

渡邊 徹**
Toru Watanabe

山根 淳*
Jun Yamane

堀内 民夫*
Tamio Horiuchi

要 約

分岐シールド工法「地下茎工法」は、掘進中の本線シールド機に内蔵した分岐トンネル用のシールド機を、機械的に開口した発進口から坑内発進させる。そして、分岐用シールド機初期掘進終了後には、本線シールド機と分岐用シールド機とが同時施工を行い、T字型分岐構造のトンネルを築造する。本工法により発進立坑の省略と工期の短縮を図ることができる。

今回、関西電力(株)地中送電線用管路建設工事において、セグメント外径7.1m、掘進延長約2.7kmの本線シールドトンネル約1.1km付近から分岐するセグメント外径4.1m、掘進延長850mのシールドトンネルが計画され、本工法が採用された。分岐地点は、交差点下で、かつ地下鉄直下の土被り50mという厳しい施工条件下であったが、坑内発進作業は順調に終了した。本報は、地下茎工法の概要と施工状況について報告するものである。

目次

- § 1. はじめに
- § 2. 工事概要および土質概要
- § 3. 地下茎工法の概要
- § 4. 施工状況
- § 5. おわりに

の事業の一環である谷町筋管路新設工事において、地下鉄直下の土被り約50mという大深度で分岐する15万4千ボルト地中線送電線管路のシールドトンネル(上二本町線管路)が計画された。

この工事に、本線シールド機から分岐用シールド機が発進する際に地盤改良等の補助工法が不要である分岐シールド工法「地下茎工法」^{1)~3)}が採用された。本報は、地下茎工法の概要と施工状況について報告する。

§ 1. はじめに

関西電力(株)は、将来の大阪市内の十分な電力供給量の確保を目的として、市内へ直接導入する50万ボルトの超高压送電線用トンネルの建設を進めている。今回、こ

§ 2. 工事概要および土質概要

2-1 工事概要

谷町筋管路新設工事は、上本町地区に新設する上二変電所(仮称)内の立坑から、長堀通りを西進、谷町筋を北上して国道1号線にある東天満の共同溝に至る路線延長

* 関西(支)関電上二(出)

** 技術研究所土木技術課

2,650m、セグメント外径 ϕ 7,100mm（シールド外径 ϕ 7,260mm）のシールド工事である。

上二本町線管路新設工事は、谷町筋管路約1.1km付近の谷町3丁目交差点下で谷町筋管路から分岐し、既設の本町変電所に至る路線延長850m、セグメント外径 ϕ 4,100mm（シールド外径 ϕ 4,240mm）のシールド工事である。路線平面図を図-1に、縦断線形は谷町筋を図-2に、上二本町線を図-3に示す。工事概要を表-1に示す。

谷町筋シールド（以下、本線シールドという）は、長堀通り約290m区間では地下鉄鶴見緑地線下を、谷町筋では全区間が地下鉄谷町線下を掘進し、到達付近ではJR東西線の上を横断する。縦断線形は、発進直後から下り5%の急勾配で谷町筋に入り、その後0.2%の上りで掘進し、到達に向けて上り5%の急勾配がある。最大土被りが約50m、最大地下水圧は約440kN/m²（4.4kgf/cm²）である。平面線形は、曲線半径R=60mの曲線区間が、上り下りの急勾配区間に3ヶ所ある。



図-1 路線平面図

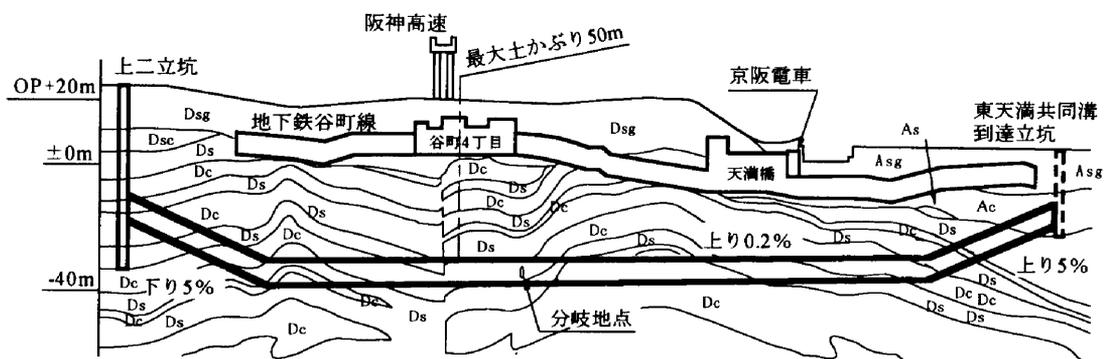


図-2 谷町筋管路土質縦断図

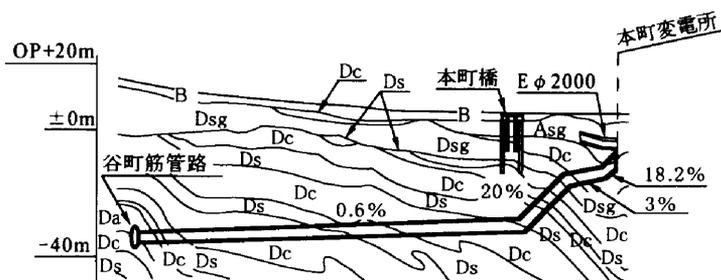


図-3 上二本町管路土質縦断図

表-1 工事概要

工事件名	谷町筋管路新設工事・上二本町線管路新設工事
工事場所	大阪市中央区上本町西1丁目～北区天満橋1丁目 大阪市中央区谷町3丁目～中央区安土町1丁目
企業先	関西電力株式会社中央送変建設事務所
工事期間	平成5年12月～平成12年9月
工事内容	シールド形式 泥水式シールド工法 谷町筋管路(本線シールド) シールド機外径 $\phi 7,260$ mm トンネル断面 セグメント外径 $\phi 7,100$ mm 施工延長 2,650m 最大土かぶり 50m 最小曲線半径 $R=60$ m 最大縦断勾配 $i=5\%$ 上二本町線管路(分岐用シールド) シールド機外径 $\phi 4,240$ mm トンネル断面 セグメント外径 $\phi 4,100$ mm 施工延長 850m 最大土かぶり 50m 最小曲線半径 $R=20$ m 最大縦断勾配 $i=20\%$

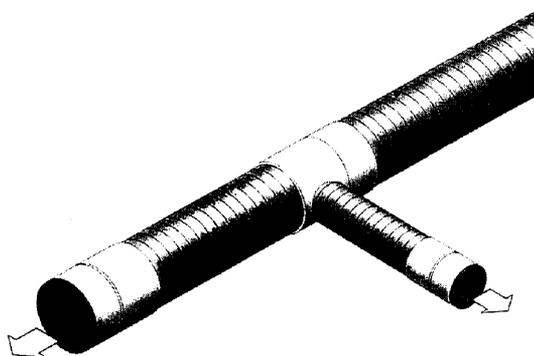


図-4 分岐シールド工法「地下茎工法」概念図

の初期掘進完了後、本線シールド機も掘進し、T字型に交差する両トンネルを同時施工により構築することができる工法である(図-4)。

本工法には、次のような特徴がある。

- ①分岐地点で発進口を機械的に開口するため、分岐用シールド発進部の地盤改良が不要である。
- ②本線シールドと支線シールドとは同時施工ができ、全体工期の短縮が可能となる。
- ③分岐用シールド機径は、内蔵する本線シールド機中胴部の構造から本線シールド機径の約65%以内である。
- ④本線トンネルと分岐トンネルとの接合部には、分岐用シールドのセグメントに止水機構を有する止水セグメントを使用する。

3-2 シールド機

今回採用の地下茎工法のシールド機を設計するにあたっては、施工条件を考慮し、分岐機構の仕様およびマシン仕様について検討した。

(1) 本線シールド機

本線シールド機の分岐地点までの構造および分岐地点以降の構造を図-5に示す。また、仕様を表-2に示す。

a) 分岐機構

① 中胴部構造および発進口エントランス構造

中胴部は、分岐用シールド機の坑内発進時に予定推力 $F=8,610$ kN (861tf) を受ける反力壁を兼ねる構造である。また、本線シールド掘進中のシールドジャッキ反力を均等に伝達するため、発進口の開口部には推力伝達板を装備する。中胴部の設計は、3次元シェルモデルの解析を行い、本線掘進時および分岐用シールド機発進時に支障となる変形量を生じない構造体としている⁵⁾。なお、分岐地点までの掘進および分岐用シールド機発進時に有害な変形の有無を確認するため、中胴部部材の応力計測を行った。管理応力値は、部材許容応力の80%に設定した。

本工事では、中胴部からの発進は大深度・高水圧下で

上二本町線シールド(以下、分岐用シールドという)は、本線シールドトンネルの上り0.2%勾配、直線区間部から分岐する。その土被りは約50mである。

分岐地点の施工条件は次のとおりである。

①分岐地点は、谷町筋と本町通りの交差する谷町3丁目の交差点の直下であり、交通量が多く、作業帯の占有を伴う地上からの施工は困難である。

②分岐部直上には地下鉄谷町線谷町4丁目駅の出入り口部分がある。

以上から、本工事では機械的に発進口を開口して、本線シールド機内から分岐用シールド機が発進し、T字型分岐構造のトンネルを建設できる地下茎工法が採用された。

2-2 土質概要

当地域は、大阪城の西側で上町台地に位置し、シールド通過地質は、主に洪積層の砂質土と粘性土の互層が背斜構造を呈しており、N値は粘性土層で10～20程度、砂質土層では50以上で、いずれも締まった土層である。なお、両シールドともに到達地点付近の土被りが浅いところでは沖積層を通過する。

§ 3. 地下茎工法の概要

3-1 地下茎工法の特長

本線シールド機は前胴・中胴・後胴の3つに分かれており、中胴部は二重構造になっている。本線シールド機は分岐用シールド機を中胴部に内蔵して掘進し、分岐地点で中胴部・後胴部を切り離した前胴部と中胴部の発進口を覆っている中胴部の外筒が中胴部を反力にして掘進することで、発進口を地山中に現す。分岐用シールド機

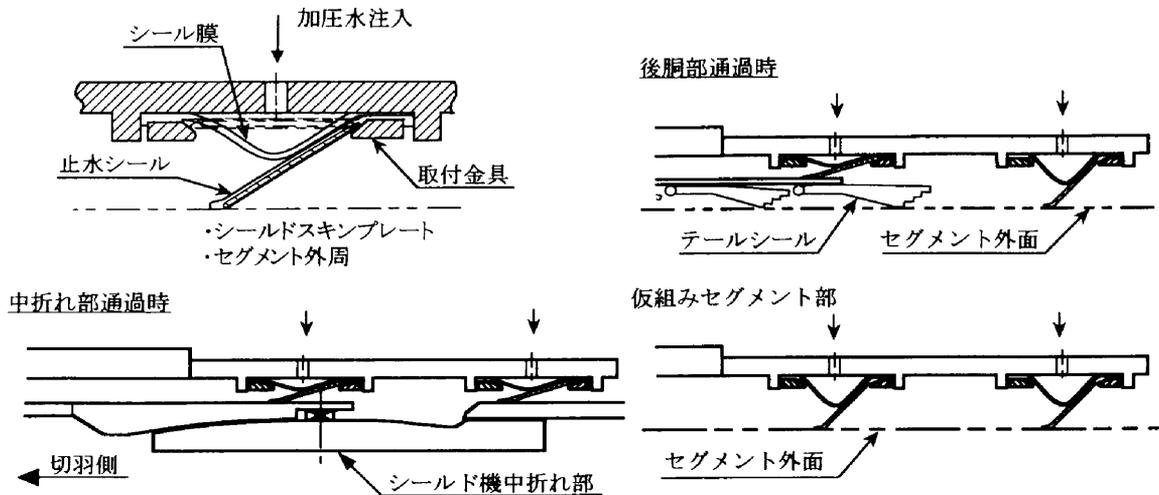


図-6 中胴部発進口エントランスシール

③ マシン機長が長いことによる推力の確保および地山抵抗の低減

分岐地点以降のシールド機長8.35mに対して、分岐地点までは機長が17.49mである。これは、分岐用シールド(外径 ϕ 4.24m)を内蔵し、中折れ機構を2箇所装備するためである。

掘進諸抵抗に対して十分な推力を確保するとともに急曲線急勾配シールドジャッキパターンを考慮し、装備推力を60,000kN (6,000tf) (掘削断面積当たり1,450kN/m² (145tf/m²))とした。

また、掘進時の地山の抵抗による推力増大を防止する減摩材の注入管をマシン前胴部の外周部に4ヶ所設置し、また中胴部後方に設置している注入管を必要に応じ減摩材注入用として使用する。

④ 分岐地点以降のマシン機長の確保

分岐地点以降のマシンテール部は、中胴部の開口部を覆っている外筒である。今回外筒の長さは7.25mであり、セグメントの組立長さやテールシールの段数などより決定する長さ(本工事では4.35m)に比べると長いため、分離後の所要テール長の位置で分割できる機構²⁾とした。

b) マシン仕様

① 発進にあたりNOMST壁を約1.3m切削

NOMST部材は、専用の先行ビットおよびフィッシュテールビットで切削する。先行ビットの取り付け高さは、一般部の先行ビットより10mm高く、かつメインビットより25mm高く取り付けした。フィッシュテールビットは多数の超硬チップをインサートした。

② 洪積層での長距離掘進

洪積粘性土を通過するため、カッタヘッド面板への粘

性土の付着防止対策として、スリット幅を260mm、開口率は36%とした。

カッタビットの配置は、仕事量の多い最外周部を10条、外周を6条、中間部を3条、内周を2条配置し、ビット1個当たりの負荷を平均化した。また、ビットのチップ材質は、耐摩耗性に優れたSINTER-HIP製法のものを使用した。カッタビットの摩耗検知として、油圧式摩耗検知器と経時的にカッタビットの摩耗状況を計測する超音波式を装備した。

③ 大深度高水圧下での掘進

テールシールの構造は、バネ板を補強し、ブラシ量を増大した長距離耐高水圧型を3段装備するとともに、グリース自動供給システムを採用し、止水性の向上を図った。

④ 急曲線(R=60m)、急勾配(i=5%)の施工

下り5%勾配区間内での急曲線R=60mに対応するため、上下左右方向に屈曲する中折れ装置を、中胴部の前後2か所に装備した。中折れ角度は左右方向に6.8°、上方向に1°、下方向に0.5°とした。

なお、急曲線施工時の余掘り量を確保するため、ストローク250mmのコピーカッタを2本(内1本は予備)を装備した。シールド機長が長いこと余掘り断面の確保と地盤の緩み防止および裏込材の回り込みを防止するため、可塑性で粘性の高い充填材を減摩材注入管から注入することとした。また、セグメント外径を一般部より40mm縮径した。

(2) 分岐用シールド機

分岐用シールド機の地下茎工法に関連する仕様としては、発進口の開口前に行う開口部推力伝達板撤去作業の

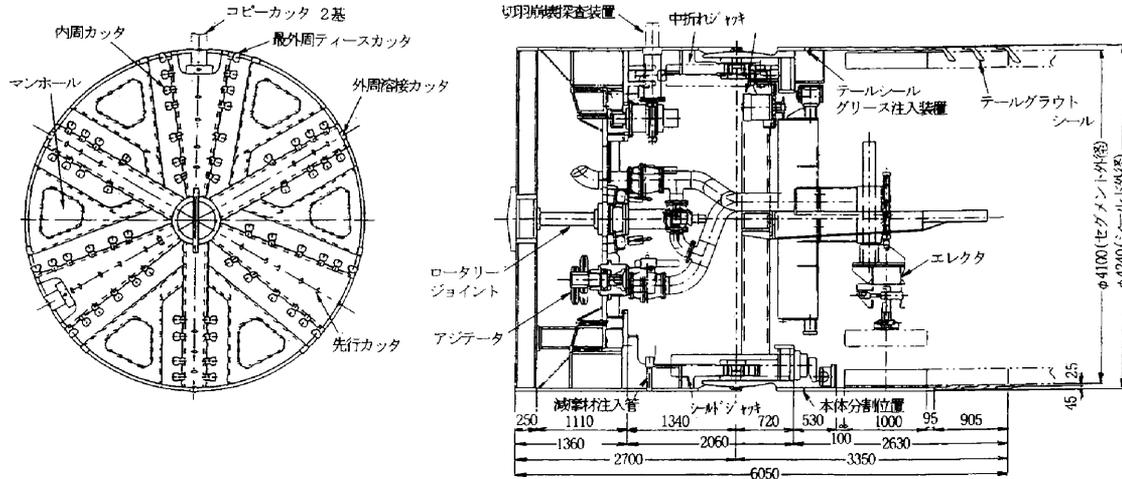


図-7 分岐用（上二本町）シールド機

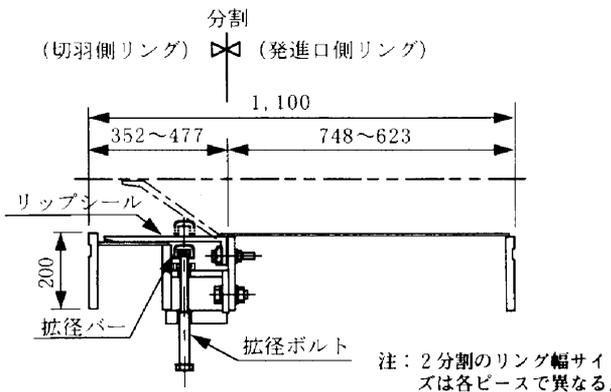


図-8 止水セグメント構造図

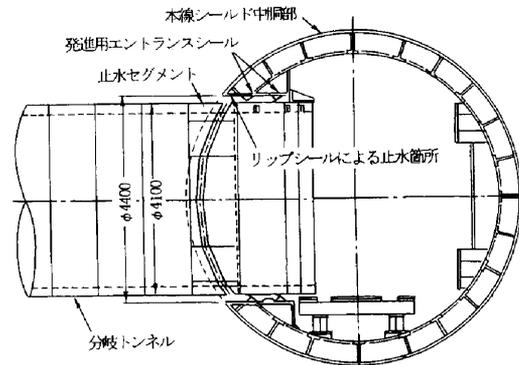


図-9 止水セグメント組み立て図

ために、作業員の出入りおよび撤去材の搬出用として、マンホール（550×450mm）をバルクヘッド部に6ヶ所設置した。

マシン仕様は、地質、線形（急曲線、急勾配）などの施工条件を考慮し検討した。分岐用シールド機の構造および仕様を図-7、表-2に示す。

3-3 止水セグメント

中胴部のエントランスシールは、本線の内空断面内に位置し分岐用シールドの仮組セグメントをシール面としている。この仮組セグメントは、トンネル供用時に不要であり、また同時掘進開始時に本線シールド用後台車が通過する際に支障となり、撤去する必要があった。そこで、エントランスパッキン撤去後の止水機構として止水セグメント⁴⁾、⁵⁾を開発し、両トンネルの接合部に設置した。

図-8に示すように、止水セグメントは、エントランスパッキンの止水シールと同様に短冊状の鋼板を内蔵したリップシールを取り付けるために発進口側リングと切羽

側リングの2分割構造である。切羽側リング部の拡張ボルトを締め込み、拡張ボルト先端に装備した拡張バーによって発進口側リングの外周に位置するように取り付けられたリップシールを押し広げ、シール面に密着させることで止水を行うものである。シール面である両トンネルの接合部は三次元曲線形状であるため、本工事ではセグメントを13分割とし、止水シールをトンネル軸に対して斜め直線状に取り付けた（図-9）。

§ 4. 施工状況

本線シールド機は1996年11月中旬に発進し、分岐地点に1997年7月末に到達した。分岐作業は引き続き開始し、分岐用シールド機は11月上旬に本線シールド内から発進した。

4-1 マシン組立て・発進、掘進

分岐用シールド機は、発進口を上方にして発進架台に設置した中胴部に組み込んだ。次に推力伝達板を組み込



写真-1 中胴部内分岐シールド組み込み状況

み(写真-1)、中胴部を90度反転させ発進口の向きを横方向に向けた⁵⁾。円形立坑の内空に比べ機長が長い為、前胴部と中胴部を組み立て後に、NOMST部材を切削し約2.2m仮掘進し、後胴部の組み立てスペースを確保した。なお、NOMST部材切削中は平均掘進速度1.7mm/minであった⁶⁾。

掘進中の本線マシン測量のため、後胴側から前胴部が見通せるように、分岐用シールド機のスキンプレートに測量用通穴(φ360mm)を設けた。

分岐地点までは機長が長いマシンでの位置姿勢制御となるが、早期にジャッキパターン操作を把握した。

4-2 中胴部発進口の開口

分岐地点での中胴部発進口の開口作業は次のとおりである。

- ①分岐地点到達後、後胴部をセグメントに固定し、シールドジャッキおよびエレクター装置を撤去。
- ②前胴部と中胴部との接続部分を切り離す。
- ③分岐用シールドを内蔵位置から400mm後退させ、推力伝達板とカッターヘッド間に作業スペースを確保し、溶断により推力伝達板を撤去。
- ④外側スキンプレート直前まで分岐シールド機を前進させ、切羽側のエントランスパッキンを作動。
- ⑤開口部が地山に開放される時の切羽を保持するために15,000~20,000cpの高粘性粘土凝集材をチャンバー部および切羽部に充填。
- ⑥前胴部および中胴部の外筒を掘進させる前に、外筒と中胴部内筒の全周に高粘性材を注入し、ボイド発生に伴う地山の崩壊を防止。
- ⑦写真-2に示すように発進口を開放し、本線部は長期停

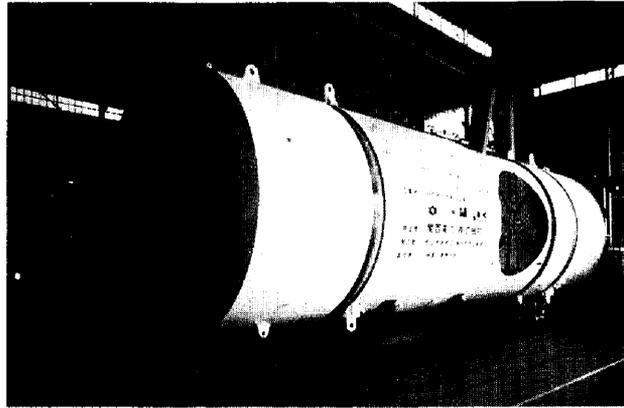


写真-2 中胴部発進口開口状況



写真-3 分岐シールド発進状況



写真-4 分岐完了状況

止するため、カッターヘッドのスリットを遮蔽するとともに、チャンバー内の泥水を高粘性粘土凝集材に置換。

4-3 分岐用シールド機の発進

分岐用シールド機は中胴部を反力に1,500mm仮掘進し、エントランスに後退防止ブラケットで固定し、エレクターおよびテール部を取り付けた。写真-3は分岐用シールドの発進状況を示す。

なお、中胴部部材に発生した応力は、管理値120 N/mm²

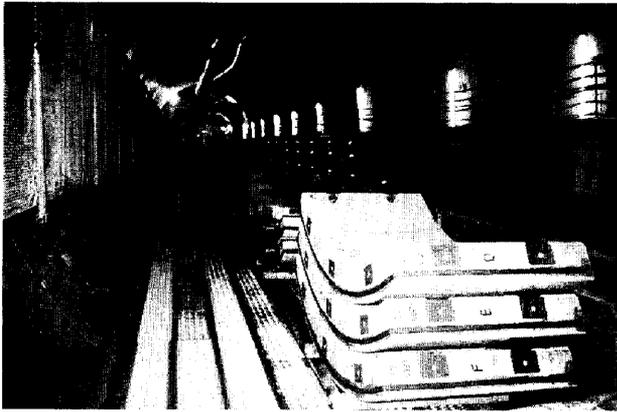


写真-5 本線坑内分岐用トンネルストックヤード状況

(1,200kgf/cm²) 以内であり、有害な変形は生じていないことが確認できた。

シールドテール部が止水セグメントを通過した時点でリップシールを拡張ボルトにより順次押し出し、拡張ボルトの締込み量およびトルクの変化量によりリップ先端のシール面への密着を確認した後、裏込注入を行った。発進口側セグメントに設けたバルブを開け、漏水がないことから止水性を確認した。

分岐シールド初期掘進終了後に、写真-4に示すように本線シールド後続設備の通過に支障となる発進設備を撤去した。

4-4 同時掘進設備

本線シールド機と分岐用シールド機を同時掘進するにあたり送排泥設備を2系統とした。

また、本線トンネルの軌条は、分岐地点の坑口側約80mから複線とし、分岐側を分岐用トンネル用のストックヤードとした。ストックヤードには橋型クレーンを装備し(写真-5)、立坑からストックヤードまで搬送されたセグメントの吊降し、ストックされたセグメントの分岐用搬送台車への積載を行う。

なお、分岐地点前後の約20m区間の軌条は、分岐用トンネルの軌条高さに合わせ本線軌条よりも高く架設し、分岐用搬送台車が本線坑内から分岐用トンネル坑内へ方向転換するためのターンテーブルを設置した(写真-6)。

§ 5. おわりに

大深度高水圧下での分岐発進作業を安全に施工することができた。現在、それぞれのシールドは同時掘進により順調に掘進を続けており、本線シールドは1998年9月、分岐用シールドは6月に到達する予定である。



写真-6 分岐用坑内搬送用ターンテーブル

本工法は、都市部での作業帯占有が難しく、また地中構造物の輻輳する施工条件下において、T字型に交差する両トンネルの築造に有効な技術であり、今後、ますます進展するインフラ設備のネットワーク化に対応できるものと考えている。

最後に、本工法の施工にあたりご指導、ご協力をいただいた関西電力株式会社の皆様方ならびに関係各位に感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 桑原資孝, 渡邊徹, 内田克巳, 大西徳治: 分岐シールド工法「地下茎工法」の開発 (1), 西松建設技報Vol.17, pp.179-180, 1994.
- 2) 桑原資孝, 渡邊徹, 内田克巳, 大西徳治, 磯陽夫: 分岐シールド工法「地下茎工法」の開発 (2), 西松建設技報Vol.18, pp.17-23, 1995.
- 3) 大西徳治・渡邊徹・桑原資孝・内田克巳: 分岐シールド工法「地下茎工法」の開発, 土木学会第49回年次学術講演会 (VI-218), pp.432-433, 1994.
- 4) 磯陽夫・渡邊徹・桑原康・田面昭緒: 分岐シールドにおけるリップシール付き止水セグメントの開発, 土木学会第52回年次学術講演会 (VI-90), pp.180-181, 1997.
- 5) 渡邊徹: 分岐シールド「地下茎工法」の開発と施工, シールド工事高度化技術, 第42回シールド工法講習会テキスト, pp.17-42, 1997.
- 6) 藤田守正・近藤悦吉・山根淳・伊藤忠彦: 大深度円形立坑からNOMSTでシールド発進 関西電力谷町筋管路新設工事, トンネルと地下, Vol.29, No.3, pp.33-39, 1998.