

解説

推進・シールド併用工法による長距離施工

大久保 新助

株式会社奥村組 東北支店
土木部 工事課



1. はじめに

新潟市中心部である通称「新潟島」とその周辺地域は、上越新幹線および関越・北陸・磐越各自動車道全通による高速交通網の整備に伴い本格的な高速交通時代を迎えた。これに加え、環日本海の拠点都市を目指した都市の再開発が活発に行われている。

本工事は、それらに伴う電力需要の伸び、新潟地震等を経験した老朽設備解消のための新ルートの確保、各変電所間の連携強化を目的とした電力洞道の建設工事である。

当工事のルートは、発進側より、日本海に面した新潟市条例による風致地区、閑静な住宅街、国道ならびに重要幹線の横断、繁華街ならびに商業地帯の横断が必要となっており、工事による騒音・振動などの規制は非常に厳しいものとなっている。また、既設埋設物においても雨水幹線や通信線などが輻湊していることから開削管路での施工は不可能である。当初計画は中間立坑用地の確保の困難さ等から推進工法での施工ではなく、全線シールド工法で計画されていたが、VE提案に

より、洞道部 $L=1,776\text{m}$ について「管被膜推進工法」(セミシールド)と「シールド工法」を併用して施工する「複合シールド工法」が採用された。

本報告は、今回採用された「複合シールド工法」の概要と施工実績について紹介するものである。

2. 工事概要

2.1 工事概要

本工事は、寄居浜変電所から万代変電所間をつなぐ新設地中送電線路約3kmの内、1,776m区間に内径2,400mmの洞道を築造することを主体とした工事である。

図-1計画路線図に示すように、日本海側から発進して信濃川に向かって施工するもので、閑静な住宅街の通過、国道116号線や新潟市道等重要幹線の縦横断、繁華街ならびに商業地帯の縦横断個所が多数あることから、工事による騒音・振動等の規制が厳しく中間立坑の設置が困難な状況であった。洞道部1,776mの内、発進側から1,043mについては長距離推進工法である「管被膜推進工



図－1 計画路線図

表－1 工事概要

工 事 名	浜万代線新設工事の内土木工事
工事場所	新潟市西船見町～礎町地内
工 期	(全体工期) 平成 11 年 12 月 27 日～平成 13 年 3 月 7 日 (複合シールド工法工事期間) 平成 12 年 6 月 3 日～平成 13 年 8 月 31 日
工 法	複合シールド工法（泥土圧式） $\Sigma L=1,776m$ (推進区間) 計画掘進延長 $L=1,043m$ 実績掘進延長 $L=904.19m$ 仕上がり内径 $\phi 2,400mm$ NS推進管外径 $\phi 2,810mm$ (シールド区間) 掘進延長 $L=871.81m$ 仕上がり内径 $\phi 2,400mm$ RCセグメント外径 $\phi 2,750mm$ 土 被 り $6.71m \sim 21.76m$
そ の 他	・ 地中接続工（凍結工法）：1 箇所 ・ マンホール築造工：2 箇所 ・ 開削洞道：1 箇所 ・ 既設マンホール接続工：1 箇所

法」で推進し、残り 733m をシールド工法で掘進する計画であった。

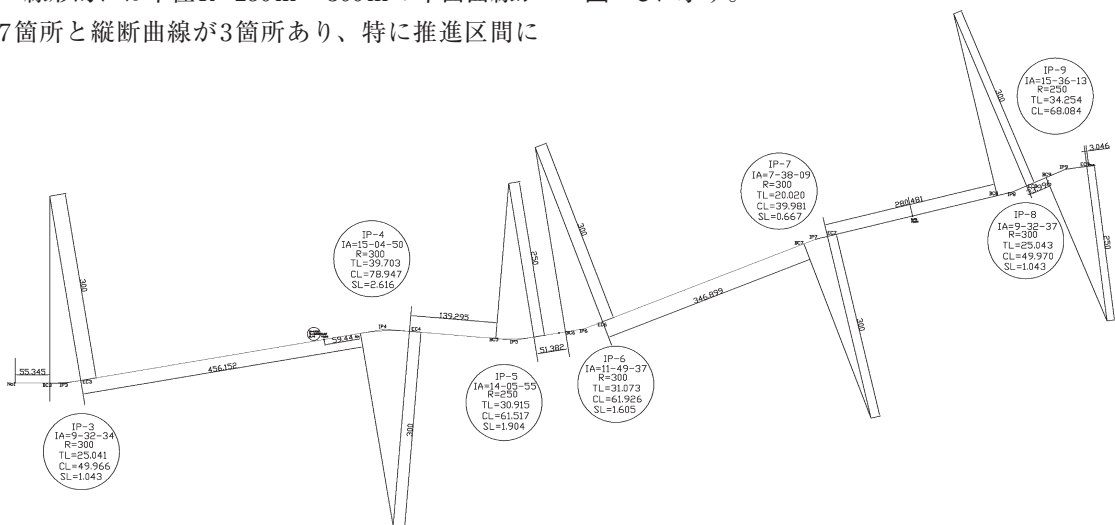
線形的には半径 $R=250m \sim 300m$ の平面曲線が 7 箇所と縦断曲線が 3 箇所あり、特に推進区間に

は 4 箇所の平面曲線と 2 箇所の縦断曲線を含んでいた。また、既設の電力洞道（白山本町線）との地中接続工が 1 箇所含まれていた。表－1 に工事概要、図－2 に路線線形図を示す。

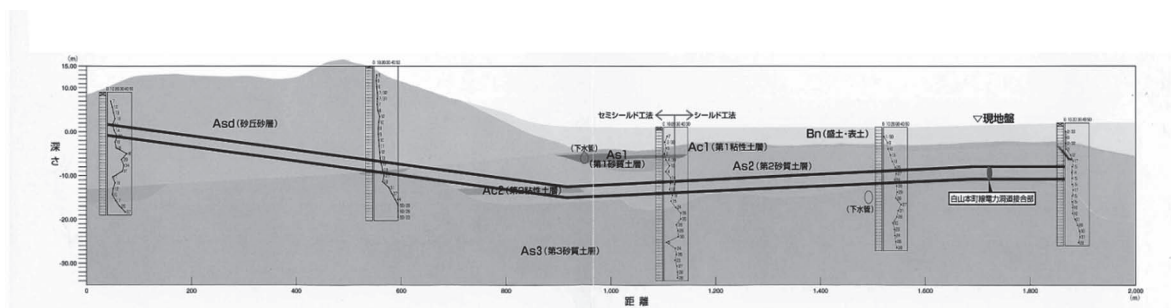
2.2 地形・地質概要

洞道部の沿線の地形は、発進側より発達した砂丘、砂丘間低地、自然堤防、信濃川によって形成された三角州低地が広く分布すると共に旧河道（堀）が散在していた。

また、今回掘進した深度の地質は、概ね N 値 10 ～ 30 の砂層が主であり、均等係数が 2 ～ 5 以下の新潟特有の極めて崩壊性が高い地質であった。また、昭和 30 年代に埋立てられた東堀・西堀・旧河川の護岸や、付随する木杭・玉石等の埋設物が路線上に予想されていた。本路線の地質縦断図を図－3 に示す。



図－2 路線線形図



図－3 地質縦断面図

3. 複合シールド工法の概要

3.1 工法概要

非開削工法には大きく分類して推進工法とシールド工法がある。推進工法は材料費・仮設備費を含めたトンネル覆工費が安価であるためコスト面で有利だが、口径ならびに施工延長に限界がある。前述のように本工事においては立坑設置が困難な用地事情にあることから当初全線シールド工法とされていたが、推進工法およびシールド工法のそれぞれの利点を活用でき、コストの低減を図るものとして、技術提案により長距離推進工法の一つである「管被膜推進工法」を用いて推進限界距離まで施工を行い、その後中間立坑を設けずに「シールド工法」に切替えて施工を継続した。

検討の結果、洞道L=1,776mの内1,043mを「管被膜推進工法」によりNS推進管（2種700kg管）を推進し、残りの733mを「シールド工法」にて掘進し、RCセグメント（二次覆工なし）にて築造する計画とした。

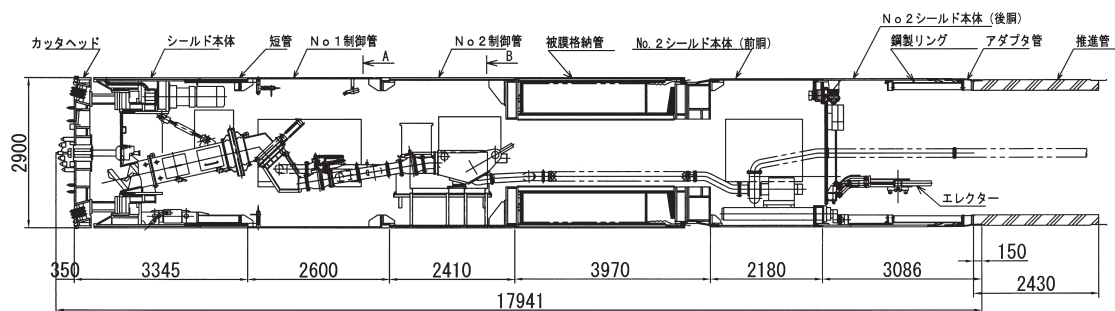
「複合シールド工法」の特長としては、推進発進時からシールドジャッキとセグメント組立て用

エレクターを装備した第2シールド機と、推進管とセグメントとの接続継手として鋼製リングとアダプター管を装備しているところである。また、延長1,050mの筒状の被膜を蛇腹状に折り畳み約4mの筒に格納した「膜格納管」も装備したためシールド機全長が約18m（5分割）と長い点が上げられる。

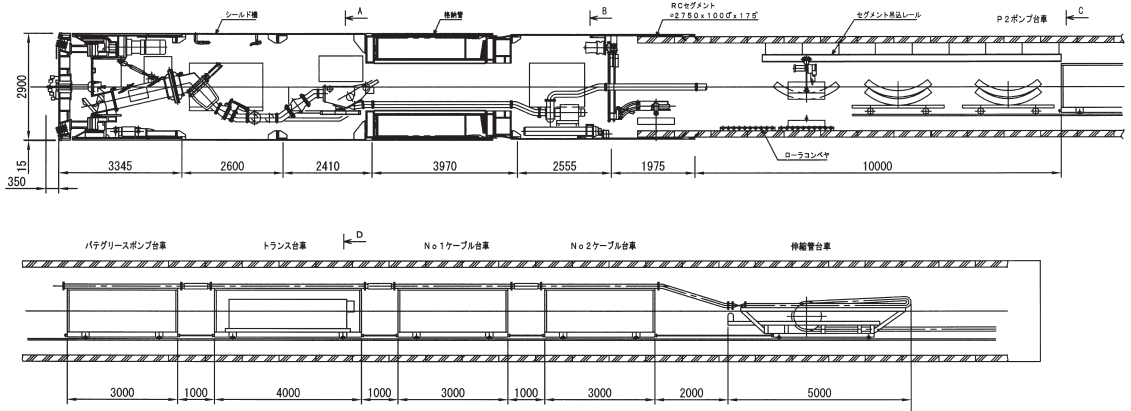
推進工法区間においてはシールドジャッキを固定した状態で発進立坑元押しジャッキでヒューム管を推進した。

管被膜推進終了後は、坑内にセグメント運搬設備（軌道）を設置し、第2シールド機のシールドジャッキと鋼製リングの間の推力受スペースを撤去し、シールドジャッキを稼働させることによりシールド工法へ切替えを行い掘進した。セグメントの運搬には縦断勾配が最大1.66%と大きいため安全性を考慮し、3tチョッパー制御式バッテリー機関車を使用した。

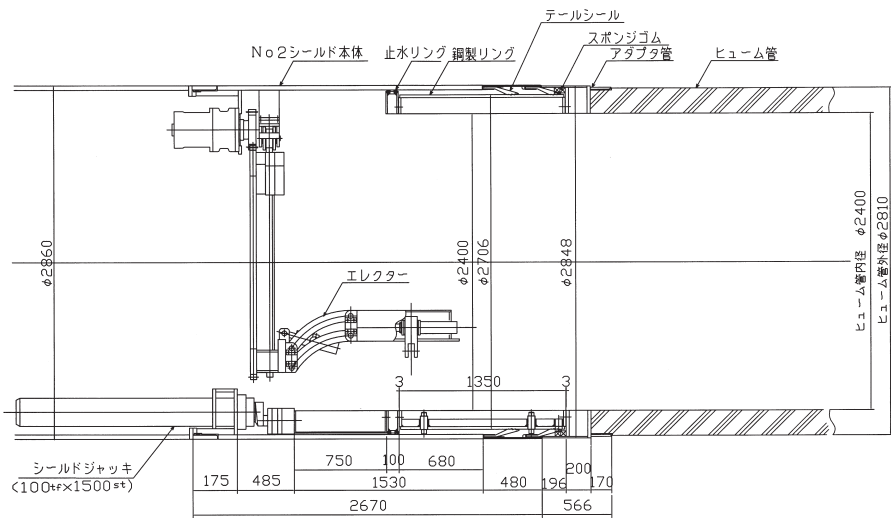
図－4～5にシールド機構造図、図－6に鋼製リング詳細図、図－7に複合シールド概念図を示す。



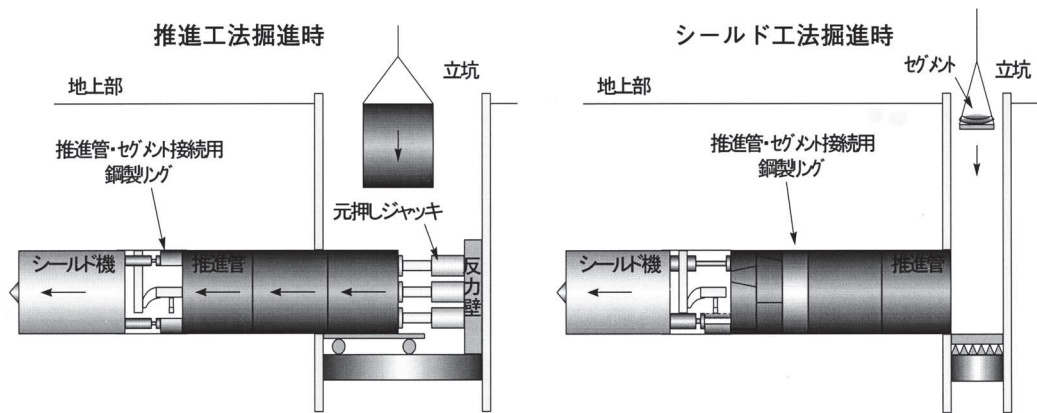
図－4 シールド機構造図（管被膜推進時）



図ー5 シールド機構造図（シールド掘進時）



図ー6 鋼製リング部詳細図



図ー7 複合シールド概念図

表－2 シールド機の仕様

シールド

エレクタ

シールドジャッキ	1000 ^{kN} ×1500 ^t ×35 ^{MPa} ×10 ^t
方向修正ジャッキ	800 ^{kN} ×70 ^t ×21 ^{MPa} ×8 ^t
油圧ユニット	ポンプ 21 ^{l/min} ×35 ^{MPa} ×1 ^t 電動機 15 ^{kW} ×4 ^φ ×400 ^V ×1 ^t
方向修正	ポンプ (3.3+9.5) ^{l/min} ×21 ^{MPa} ×1 ^t 電動機 5.5 ^{kW} ×4 ^φ ×400 ^V ×1 ^t
電源	AC 50 ^{Hz} 3 ^φ 400 ^V

カ ッ タ

トルク	常用 882 ^{kN-m} 最大瞬間 1323 ^{kN-m}
回転数	1.18 ^{r.p.m.}
電動機	22 ^{kW} ×4 ^φ ×400 ^V ×5 ^t

スクリュ

排土量	35 ^{m³/hr} (効率100%時)
スクリュ径	φ446 ^φ ×450
トルク	32.4 ^{kN-m} ×(21 ^{MPa})
回転数	MAX 10 ^{r.p.m}
ゲートジャッキ	65 ^{kN} ×430 ^t ×21 ^{MPa} ×2 ^t
油圧ユニット	ポンプ 110 ^{l/min} ×21 ^{MPa} ×1 ^t 電動機 45 ^{kW} ×4 ^φ ×400 ^V ×1 ^t

形 式	リングギヤ油圧モータ駆動方式
回 転 数	MAX 1.5 ^{r.p.m.}
伸縮ジャッキ	105 ^{kN} ×185 ^t ×21 ^{MPa} ×2 ^t
スライドジャッキ	31 ^{kN} ×550 ^t ×10 ^{MPa} ×1 ^t
取 扱 物	コンクリートセグメント
油圧ユニット	シールドと共用
操 作 方 式	遠 隔 押 釦 操 作

クラッシャ

形 式	ORC-20
最大玉石径	240 ^{mm} ×150 ^{mm} ×130 ^{mm}
油圧ユニット	ポンプ 32 ^{l/min} ×21 ^{MPa} ×1台 電動機 15 ^{kW} ×4 ^φ ×200 ^V ×1台
送排泥装置	送水 6 ^B 排泥 8 ^B
電 源	AC 50 ^{Hz} 3 ^φ 200 ^V

3.2 シールド機及び推進設備

本路線のような地下水位が高くルーズな砂質層の場合は泥水加圧式を採用することが多いが、本工事では地質調査の結果および他工事の情報より玉石・流沈木などの地中埋設物が出現することが予想されたことから、対応策として泥土圧式の面板型（開口率42%）を採用すると共に、面板には流木カッター、ローラービットを配置した。

また、玉石等の取込み対策として機内にクラッシャーを装備した。

掘削土の排土については、泥水加圧式で 사용되는流体輸送方式を採用した。この方法は、地山の掘削については通常の泥土圧工法と同様に加泥材を注入攪拌しスクリュコンベヤで取り込むが、掘削土砂の搬出を還流ポンプにより閉回路で流体輸送するものである。流体輸送方式の採用により、坑内スペースが有効に使え坑内環境を良好に保つことができた。写真－1にシールド機、表－2にシールド機の仕様を示す。

推進管は、NS推進管（2種700kg管・許容耐荷力=25.04MN・質量=10,100kg/本）を使用した。元押しジャッキは2,000tジャッキ（200t×10本・ストローク3,000mm）を装備した。その他の設備としては、推進工法時は滑材注入プラン



写真－1 シールド機

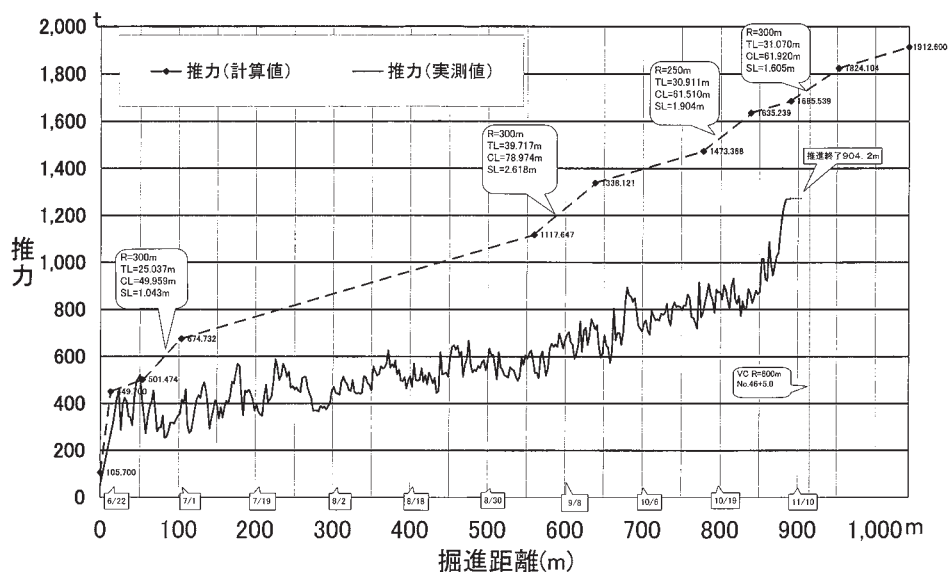
ト、還流設備、残土処理設備（振動ふるい・フィルタープレスなど）、橋型クレーン（15t吊り）を設置し、シールド工法時は、滑材注入プラントを裏込め注入プラントへ変更した。

4. 施工実績

4.1 管被膜推進工法区間

複合シールド工法にて施工した洞道の内、推進工法部については平成12年6月3日より推進を開始し、同年11月13日に実推進距離L=904.19mにて推進を終了した。実稼働日数は104日であった。

推進延長は計画の1,043mに対し、約87%の実績となった。実績元押し推力は図－8に示す様に計画推力（計算値）の60%程度で推移して



図ー8 推進力の実績

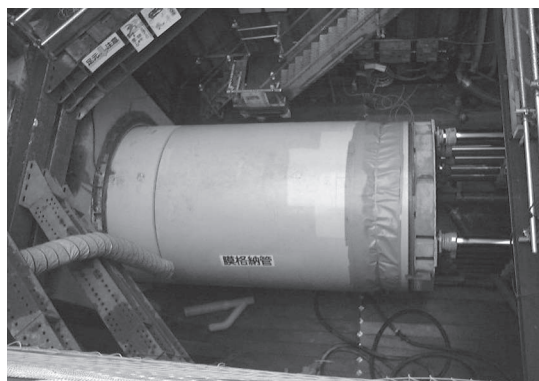


写真ー2 被膜格納状況

いたが、推進開始後4.5ヶ月目位から推力が急激に増大傾向を示したことで、第一カーブ地点(T.D.105m付近)において、玉石のカムアクションによると思われる側圧の増大により、推進管継手部の目地開きが当初計画(許容範囲40mm)よりも拡大傾向にあったことから、推進を停止せざるを得ないと判断し、計画より早めにシールド工法へと切替えた。

推進工法部の実稼働日当たりの平均日進量は初期推進2.03m、本推進9.65mであった。

推進期間が長くなった理由として、発進位置か



写真ー3 被膜格納管推進状況

ら約250～600mの区間でせん断強度の大きい砂地盤特有の、シールド機のスキンプレートと地盤との摩擦による振動が発生し、周辺への影響を避けるため、夜間作業を中止し片番施工(7:00～23:00)とした期間が約1.5ヶ月間にも亘ったことが挙げられる。また、地中の木杭・沈木などが還流ポンプや排泥管内に詰まり閉塞する状態が頻繁に起き、除去作業を繰り返したことも影響した。

推進期間が長期に亘ったため、滑材が変質し劣化したことも推力増大の原因の一つと考えられる。写真ー2に被膜格納状況、写真ー3に被膜格

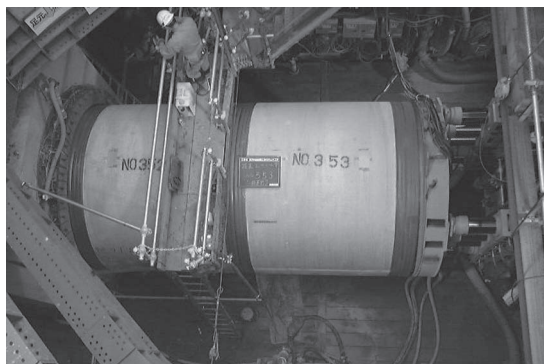


写真-4 NS管推進状況



写真-5 洞道内状況（推進部）

納管推進状況、写真-4にNS管推進状況を示す。

4.2 シールド工法区間

管被膜推進終了後、坑内の軌道設備などの設備替えを行い、平成13年1月12日にシールド工法による掘進を開始した。シールド工法への切替え地点が平面曲線と縦断曲線の重なった場所にあり、長期停止（約2ヶ月間）による推力の増加が懸念されたため、再掘進前に滑材注入を行った。掘進再開時の縁切り推力は約540t（シールドジャッキ能力1,000t）であった。

シールド掘進においても、木杭・沈木などが還流ポンプや排泥管内閉塞したことによる日進量の低下や、カッターモータの変速ギアの破損などのトラブルにも見舞われたが、同年8月3日に無事到達することができた。

また、今回使用したシールド機の全長が長く、切羽からセグメント組立部まで約15mあり、クリアランス等の管理に苦慮した。

シールド工法区間の稼働日数は135日で、平均日進量は6.5リング（m）であった。

到達方法は、地下水位が高く崩壊しやすい地質の状況から、坑口地盤改良を併用した「水中到達工法」を採用した。この方法は到達立坑内を地下水位付近まで湛水し、水中にて潜水夫により坑口鋼矢板の切断撤去、改良体の取壊し、二次坑口リングの取付、シールド機の押出し及び坑口パッキンの締付けまでを行ったものである。

また、到達後にシールド機全長約18mの内、第2シールド機前胴までの約15.4m（5分割）を

回収し引揚げる必要があることから、坑口パッキンにはエアバッグ併用の二重パッキンを採用した。

4.3 掘進中の測量管理

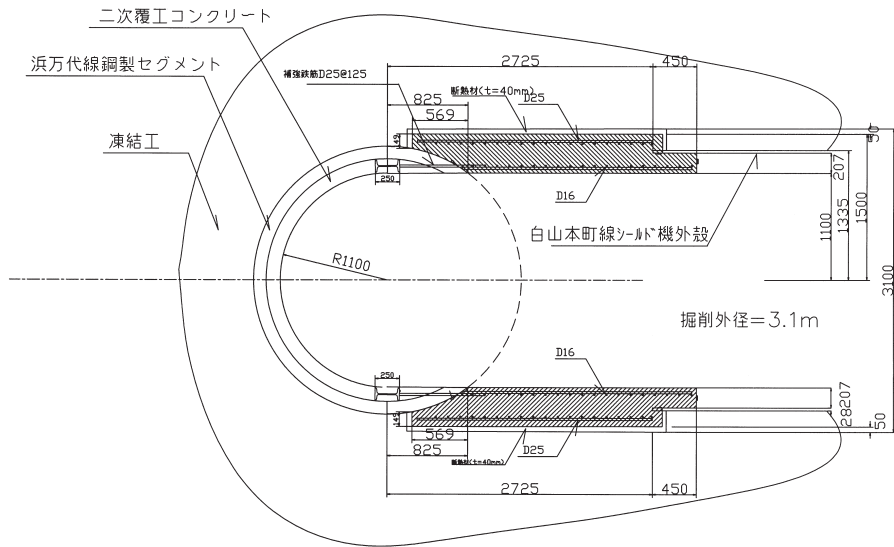
掘進中の測量管理方法として、自動追尾トータルステーションを使用した「自動追尾測量システム」を採用して掘進中の各推進管・各リング毎のシールド機の位置をリアルタイムで測量を行った。

推進工法部は、管内に不動の基準点を設けることができない為、移動する管体内の見通し可能な位置に自動追尾トータルステーションを配置し、互いの位置を自動計測して掘進機位置を短時間で算出表示した。トータルステーションは最大で9台配置したが、1回の計測所要時間は約20分であった。シールド工法部では3台配置し、計測所要時間は約12分であった。

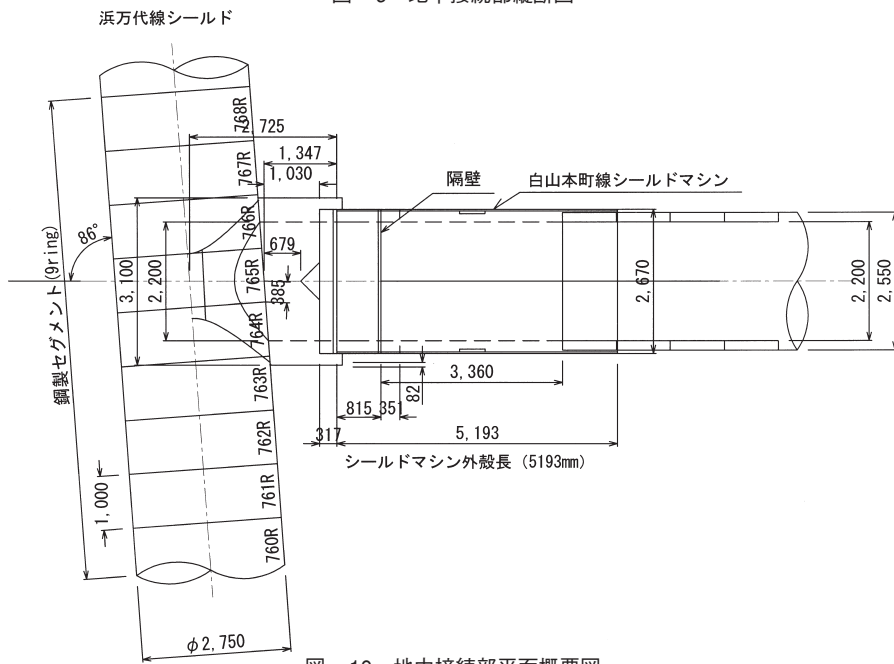
測量のチェック方法として、当初予定していた地表からのチェックボーリングは行わず、オートジャイロとGPS受信機を使った地表と坑内の測量を積み重ね、掘進距離約350m毎に5回行ってチェックした。到達時の誤差は設計位置より下方に20mm、右側に20mmであり精度良く到達することができた。写真-5に洞道内状況（推進部）を示す。

4.4 近接洞道接続工

近接洞道接続工とは、発進位置から約1,650m付近に既設の電力洞道（白山本町線）のシールド機が埋殺しで残置されており、そのシールド機



図－9 地中接続部縦断面図



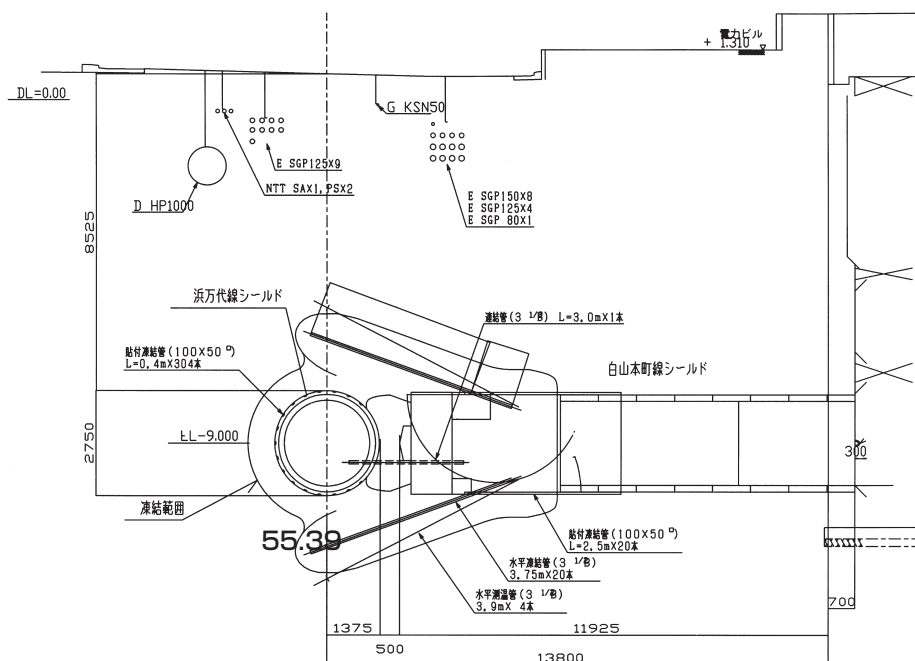
図－10 地中接続部平面概要図

先端直近（離隔距離約50cm）を通過し到達した後、浜万代線洞道（ $\phi 2750\text{mm}$ ）と白山本町線洞道（ $\phi 2200\text{mm}$ ）とをT字型に地中接続する工事である。

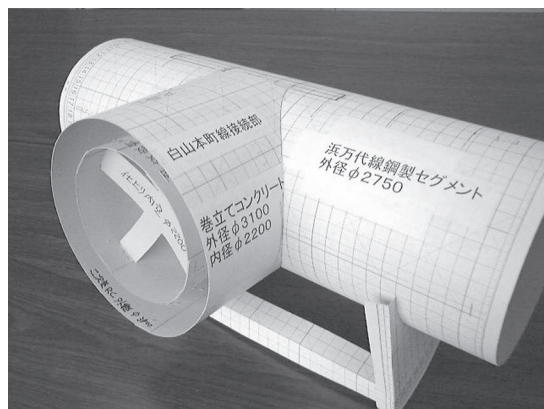
接続部の施工は、地上の道路交通・地下埋設物など環境条件から地上からの施工が不可能なため地中からの接続となった。図－9に地中接続部縦

断計画面図、図－10に地中接続部平面概要図、写真－6に地中接続部の模型写真を示す。

地中接合を行う際のセグメントの切断撤去、掘削、シールド機解体、コンクリート覆工などの地中接合作業時の防護地盤改良は地下水位の高い崩壊しやすい砂質土であることを考慮して凍結工法を採用した。



図－11 凍結工法施工図



写真－6 地中接続部模型

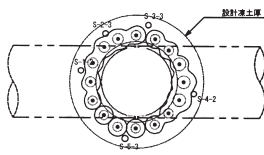
凍結工は、白山本町線シールド機内より放射状に埋設する凍結管と浜万代線セグメントに設置した貼付凍結管により凍土壁を造成して地中接合時の止水及び土留めを行った。防護凍土壁は、地中接続部の掘削径（半径 $r=1.55\text{m}$ ）に平均凍土温度 -10°C 以下の凍土層厚 1.0m 以上を有する円筒凍土とした。図－11に凍結工法施工図を示す。凍結管・測温管の埋設作業と併行して凍結基地仮設、凍結設備、配管、防熱及び計測配線等を

行い、凍結運転準備を進めた。これら仮設工事の作業完了後、凍結基地内に設置した冷凍機で冷却された -30°C のブライン（30%塩化カルシウム溶液）を凍結管内に循環し所定の凍土壁を造成した。

凍結運転は平成13年9月19日に開始し、凍土造成期間は30日間であった。この凍土造成期間中に、測温管に設置した測温素子により管理室内計測器で地中温度を集中監視し、冷凍機の運転管理及び冷却ブラインの循環管理等を行った。

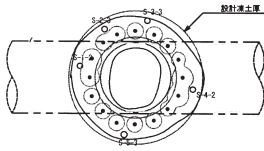
所定の凍土層厚の造成を確認した後、セグメントの切断、凍土掘削、白山線シールド機の解体、および覆工コンクリートの巻立てを行ない、養生期間終了後平成14年1月15日に冷凍機を停止し、水平凍結管・貼付凍結管を切断して撤去作業を行った。この凍土維持期間は約60日間であった。図－12に凍土経時変化図（縦断面）、図－13に凍土経時変化図（断面）を示す。また、写真－7に浜万代線シールドのセグメントを切断切広げて白山本町線シールド機のセンタービットが出現した状況を示す。

7日目

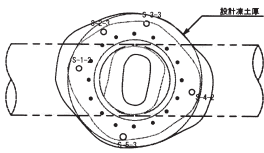


予想凍土温度曲線
— 0℃
— -10℃

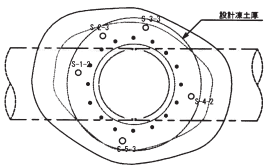
14日目



27日目

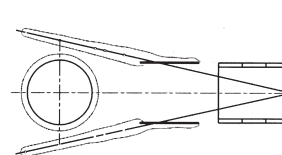


56日目



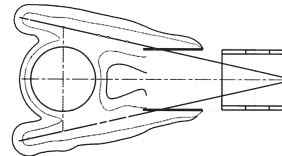
図一12 凍土造成経時変化図（断面）

7日目

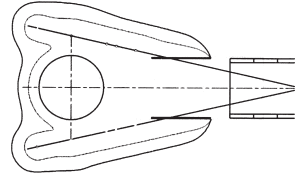


予想凍土温度曲線
— 0℃
— -10℃

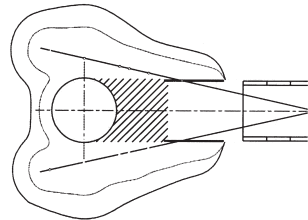
14日目



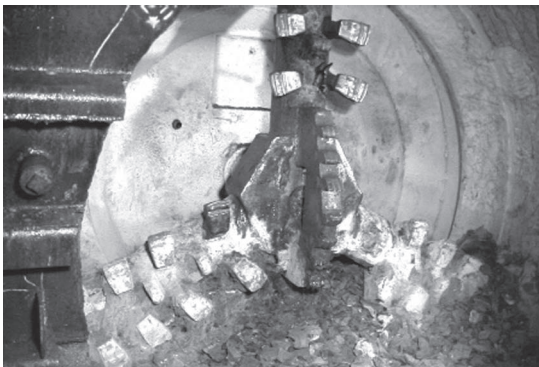
27日目



56日目



図一13 凍土造成経時変化図（縦断面）



写真一7 白山本町線シールド機

凍土の解凍は自然解凍としたが、すべての凍土が自然解凍するのに必要な日数は、解凍計算を行った結果、約80日となり、4月上旬には自然解凍完了となっている。

接続部付近のセグメント（9リング）は、切断切広げを行うことから鋼製セグメントを使用し、

二次覆工コンクリートを打設した。

接続部の開口に伴う浜万代線側セグメントの開口率は約80%（2,200mm/2,750mm）とかなり大きい開口率となった。接続部の開口する鋼製セグメントの補強については、骨組み計算により断面算定を行った結果、リング状鋼材と鋼製セグメント頂部と底部をI型鋼材にて支保する構造とした。接続部施工中は仮補強支柱に取付けた軸力計により動態観測を行ったが、計算値以上の軸力や内空断面の変位は発生せず、コンクリート二次覆工も完了している。写真一8に地中接続部坑内状況を示す。

4.5 耐震検討

通常、L2レベルの地震動を考慮した動的解析などの耐震検討を実施すると、マンホールなどの鉛直構造物と管路の接続部には、部材の終局耐力を上回る応力が発生する。この過大な応力の発生



写真一8 地中接続部坑内状況

を防ぐために、可撓セグメントなどの柔構造の継手を有する管が接続部に使用される場合が多くある。

本工事においても、マンホールと管路の接続部には柔構造の継手が必要であることを前提とし、L2レベル地震を考慮したときの継手の要求性能を応答変位法の結果より設定し、この要求性能を満たす性能の継手構造とした。発進側のNo.1マンホールとの継手部には既製のNS推進管の改良型を使用した。標準型との違いは、B管の差し込み部（スピゴット）段落ち長さおよびA管の

銅製カラーの長さを延長し軸方向のクリアランス（100mm）を確保できる構造としたものである。

到達側のNo.2マンホールとの接続部には可撓セグメントS-N型を1リング使用した。

5. おわりに

本工事では、コスト低減を目的として複合シールド工法により施工し、計画推進距離の到達は出来なかったものの、管被膜推進工法により $\phi 2,400\text{mm}$ の推進管900m以上推進するという国内で最大級の実績を残すことができたことから、当初の目的はほぼ達成できたと考えている。また、当初の全線シールド工法での施工と比較した場合、工期を含んだコスト面で確実に効果をあげることができ、複合シールド工法の有効性は証明できたものと判断する。

本工法については、同種工事において大変有効な工法であることから、今後多くの同種工事に対する適用拡大と、本実績を踏まえた更なるコスト低減に向けた検討をしていきたい。

本稿が今後の同種工事の工法選定および施工の際の参考になれば幸いである。