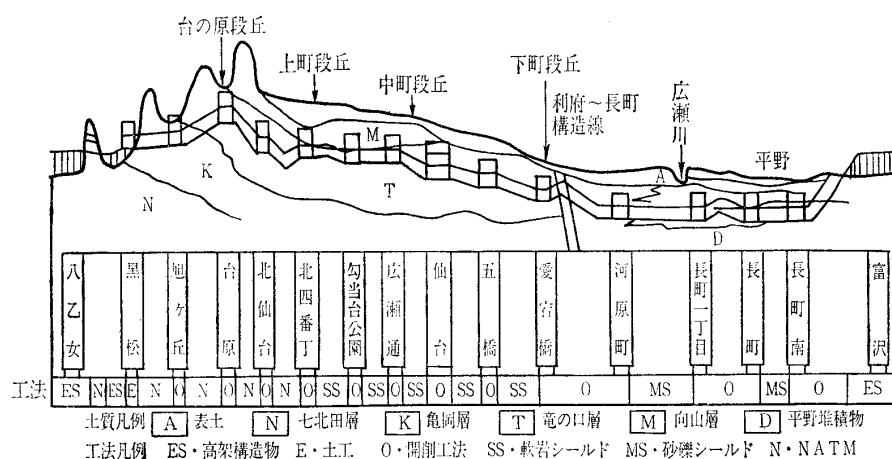
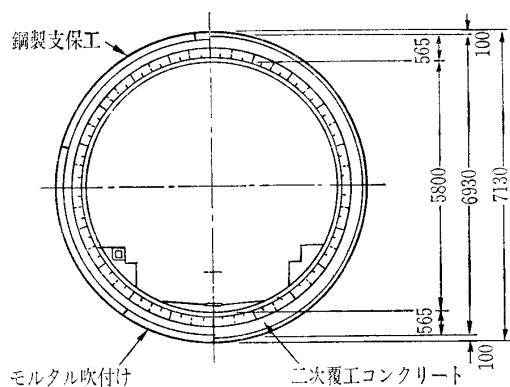




圖一-2 南北線模式縱断面圖



図一3 軟岩用単線シールド標準断面図

になっており、北仙台駅から愛宕橋駅・河原町駅の間付近にある長町・利府構造線までの間は、上部に2～8 mの厚さで砂礫層があり、その下に第3紀凝灰質砂岩・泥岩が

分布している。第3紀凝灰質砂岩・泥岩の一軸圧縮強度は、一般に20~60 kgf/cm²である。長町・利府構造線より南は、広瀬川・名取川のはん濫原で平地であり、地下水の豊富な砂礫層が主体となっている。特に河原町駅から長町南駅間の砂礫層の中には、礫径200~500mmの玉石が多く混入している。いずれもN値は30以上である。

2. 工事の概要

地形・地質および地表の利用状況等を考慮し、図一 2 に示すように工法を選択している。建設キロ全体で 14.35 km のうち、両端部の八乙女～黒松および富沢付近の計 2.92km は、高架橋を主体とした地上式とし、その他の区間は地下式としている。14.35 km のうち北部の起点から NATM 区間を含む 5.8 km は、鉄道建設公団に設計・発注・施工監理を委託し、これにより南の区間は仙台市が直接担当している。地下式の区間は、11.43 km であるが、軟岩シールド、砂礫シールド、NATM、開削の各工法を使い分けている。以下各工法別に概要を示す。

2.1 軟岩シールド

軟岩層におけるシールドは、北四番丁駅から愛宕橋駅までの間の5区間で施工した。標準断面は、図-3に示すように鋼製支保工と吹付けコンクリートによる一次覆工と鉄筋コンクリートによる二次覆工からなっている。これらの

表-2 軟岩用シールドタイプ別比較表

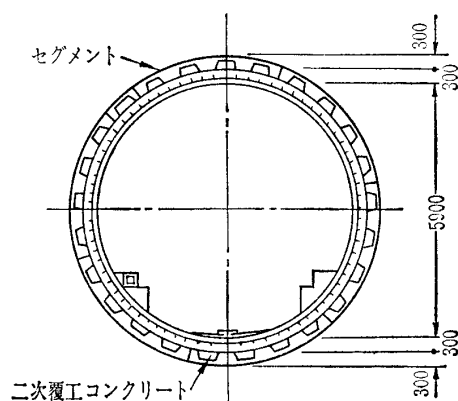
シールドタイプ 項目	自重移し替え式	メ ッ セ ル 式		グリッパー式
工 区 名	仙 台 駅	広 瀬 通	五 ツ 橋	愛 宕 橋
施 工 延 長 (m)	282.8	402.5	658.1	393.8
Ｕターンまたは並列	Ｕターン	Ｕターン	並 列	Ｕターン
外 径 (mm)	7 244	7 230	7 130	7 230
全 長 (mm)	5 500	6 300	6 200	6 650
自 走 方 式	シールド機が、前方部、中間部、後方部の３つに分かれ、前方および後方支持ジャッキを地山に支持させ、シールドフレームの自重を地山からカッター部側に受け替えカッタースライドジャッキによりシールドフレームをカッター側に引きよせる。	シールド機の外周は、18枚のブレードで構成されており、各ブレードは、シールド機本体の自重と他のブレードに加わる土圧による摩擦抵抗を反力として推進し、全部のブレードを推進させた後、全部の油圧ジャッキを同時に縮め、フレームを推進させる。		シールドフレームの一部外周部にあるグリッパーシュエを地山に押しつけ地山との摩擦抵抗を反力にして、自走ジャッキを押し、シールド本体を前進させる。
掘 削 方 法	カッターフレームによる機械掘り	回転カッター付き掘削機による半機械掘り	同 左	同 左
掘削土のかき寄せおよび積込み	ホッパーおよびチェーンコンベア	カッターローダーおよびチェーンコンベア	同 左	ギャザリングアームおよびチェーンコンベア
天 端 山 留 め	特になし	ブレードジャッキ	同 左	ムーバブルフードジャッキ
曲 線 部 の 掘 進	カッター首振り装置とコピーカッター併用	余 掘 り	同 左	同 左
そ の 他 装 置	シールド長期停止時のシールド上部山留め用にシールドフレーム上半を昇降させるプロテクタージャッキを装備	円形断面の一部を平面とし、一部ブレードに自走能力向上のためナールゲル装置を装備	同 左	シールド掘進時に地山に反力をとるためのグリッパージャッキを装備

区間では、シールドの通過する部分の地質が軟岩であるため、全面開放型シールド機械を用い、各工区の地質、湧水等の状態に応じた、セグメントに反力を取らないで地山の強度を利用して自走できる3タイプの機械を開発、改良した。いずれの機械も建物下を通過する際などにはセグメントを使用できる構造としている。一次覆工に NATM の利点を取り入れた鋼製支保工と吹付けコンクリートを用い、更に延長の短い区間では1基の機械でUターンさせるなどにより工事費の軽減を計っている。これら3タイプのうち仙台駅工区で用いた自重移し替え式のシールド機械は、全面開放型カッターフレームを回転させて掘削する機械シールドで、前方のカッターフレームと中間部のカッター駆動装置とジャッキを含む本体、そして後方のエレクター、真円保持装置からなっている。カッターフレームが掘進とともに前進したら、下部の支持シューを出し、これと後方のエレクターのジャッキを伸ばして中間部を支えるようにし、中間部をジャッキで前方に移動する。この機械は掘削内面を平滑に仕上げるができることから肌落ちおよび余掘りを少なくすることができた。軟岩シールド部の掘削後の地表沈下は、5 mm 程度となっている。

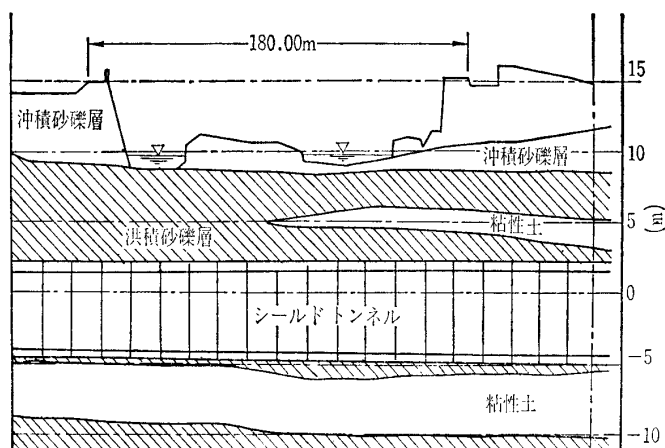
2.2 砂礫層のシールド

砂礫層におけるシールドは、河原町駅・長町一丁目駅間、長町駅・長町南駅間の2区間で施工した。標準断面は、図一5に示すように中子型セグメントに二次覆工コンクリートからなっている。これらの区間では、砂礫層が主体で地下水が豊富なこと、沿道に建物が密集していること、建物下や一級河川の広瀬川の下を通過することなどから機械式密閉型加泥シールド機械を用いた。シールド機械は2工区共通の仕様として、大径礫掘削によるカッターフェイス摩耗対策にローラービットを外周部に配列し、また掘削制御には、切羽の土質変化に対応できるよう手動、土圧、土量、土圧土量の併用と4種類の方法を使い分けられるよう工夫し、更に状況に応じ機内からの薬注を可能とする構造としている。

河原町駅・長町一丁目駅間では、特に大径礫($\phi 600\text{mm}$)を考慮して排土用のスクリーコンベアに軸なしのリボン



図一5 礫層用単線シールド標準断面図セグメント



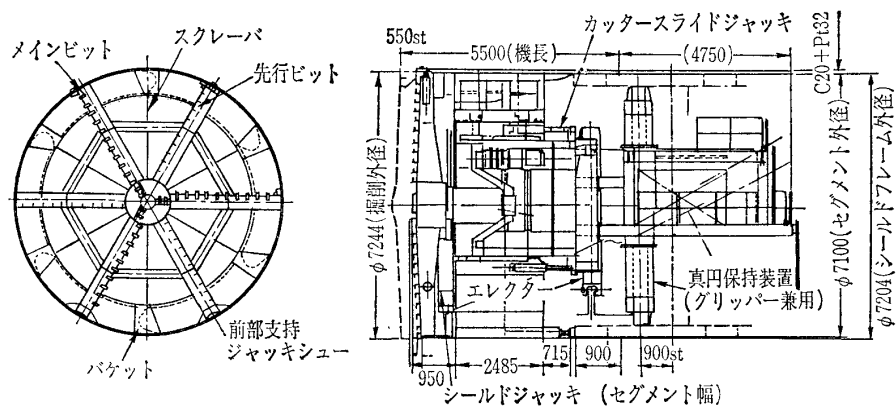
図一6 広瀬川横断土質概略図

スクリーを導入し、長町駅・長町南駅間では、急曲線($R=180\text{m}$)施工のため、中折れ装置を装備し、工区の特徴性に配慮した。注泥土については、随時地質の変化に応じ、注泥率や配合を変え掘進と排土のバランスを保つようにした。以上により、河川幅150mの一級河川広瀬川を土被り約7mで横断したが、近接する橋台の防護を除き薬注することなしに無事通過することができた。また両工区とも地表面での沈下は最大25 mm程度で押さえられ建物等への支障もなく、急曲線部での蛇行も問題なく通過することができた。

2.3 NATM

山岳トンネル工法(NATM)は、北部側の黒松トンネルから、旧国道4号線(現県道仙台・泉線)下の北四番丁トンネルまでの一般線路部計5区間を施工している。

NATM 施工区間は、大部分が丘陵地で、凝灰質の軟岩から成り、土被りが10m~20m程度と比較的大きく、地表面は、公園、道路、低層住宅地等である。このような地質、地表の利用状況等の施工条件と経済性等から NATM



図一4 自重移し替え式シールド機械

表-3 NATM 区間の施工条件

トンネル名	延長	地 質	一軸強度	湧水量	土被り	地 表 状 況
黒 松 T	85m	未固結の砂岩 (七北田層)	20kgf/cm ²	な し	7.0m	草地, 畑地
旭ヶ丘 T	695	凝灰質砂岩 (亀岡層) " 泥岩 (亀岡層)	20~30	少 量	11.0	道路 (新設) 宅地 (盛土)
台ノ原 T	497	凝灰質砂岩 (亀岡, 竜の口層) " 泥岩 (亀岡, 竜の口層)	60	な し	13.0	森林
瓦 山 T	996.25	凝灰質砂岩 (竜の口層) " 泥岩 (竜の口層)	30	な し	22.0	住宅密集地
北四番丁 T	1 018.2	凝灰質砂岩 (竜の口, 向山層) " 泥岩 (竜の口, 向山層)	30~45	600l/分 (全長)	15.0	旧国道 4 号線 商住地

下水対策として切羽から水抜きボーリングを併用して施工した。当該トンネルについては市街地の中心部に位置し、住宅の密集する民地下を通過し、沿道に高層建物が連続する幹線道路下を通過するため、きめ細かな施工管理基準を設け、特に厳格に施

工管理を行うとともに、地上および坑内から詳細な計測・観察を行い地山の挙動を把握した。これらにより地質の急激な変化に敏速に対応できたため、ガス管等の地下埋設物が多く地表沈下に対し非常に厳しい制約を受けたなかで、全区間の最大地表沈下を 10 mm 以下に抑制することができた。

2.4 開 削

開削工法は、地下駅すべてと愛宕橋駅・河原町駅間など計 3 区間の一般部を施工した。

北部の山林谷部に位置する台原駅では、のり面利用の開削工法で、のり面には、風化防止のため吹付けコンクリートを施工し、一部用地の制約があるところでは、のり面を急勾配とし、ロックボルトを併用した。北仙台駅では、JR 仙山線と交差し、精密機械工場、商店、住宅が密集した市街地の中での民地内の工事であったため、土留めには連続柱列杭を用い、交差部は線路を工事桁にて仮受けし、在来線を切り替えてから掘削した。これ以外のところでは、大きく分けて愛宕橋・河原町間の長町・利府構造線を境にして、北部では、凝灰質砂岩・泥岩が主体であり、地下水も比較的少ないことから、鋼杭横矢板工法にて施工し、南部は地下水の豊富な砂礫層が主体であり、沿道建物への影響を抑えるため鋼矢板工法にて施工した。鋼杭横矢板工法は、基本的には、1.5m 間隔でアースオーガーにて削孔し、H 鋼杭 (300×300) を建て込み、根入れ部はモルタルにて、その上はベントナイトモルタルを填充した。鋼矢板工法は、アースオーガー併用圧入とモンケンによる打止めを基本としたが、SMW 工法 (三軸オーガーソイルアスファルト打込み工法)、TSS 工法 (連壁バケット掘削全置換挿入工法) 等各工区の特성에応じて各種の工法を使い分けている。

施工区間の大部分は、交通量の多い幹線道路下で、しかも多数の埋設物があり、特に市内の重要幹線である国道 4 号線の幅員 22m 区間では、これらを仮移設し、朝夕のラッシュ時には、上下合わせて 3 車線を確保しながらの施工であった。施工管理には、掘削断面付近の沈下測定、切梁の軸力測定等種々の計測を行い安全を確認し、埋設物や沿道建物への影響を未然に防止した。

2.5 高 架

高架は、起点方の八乙女～黒松間で 1.22 km、終点方の長町南～富沢間で 0.79 km を施工した。構造としては、ラーメン高架、RC 桁、PC 桁、合成桁というように地形、

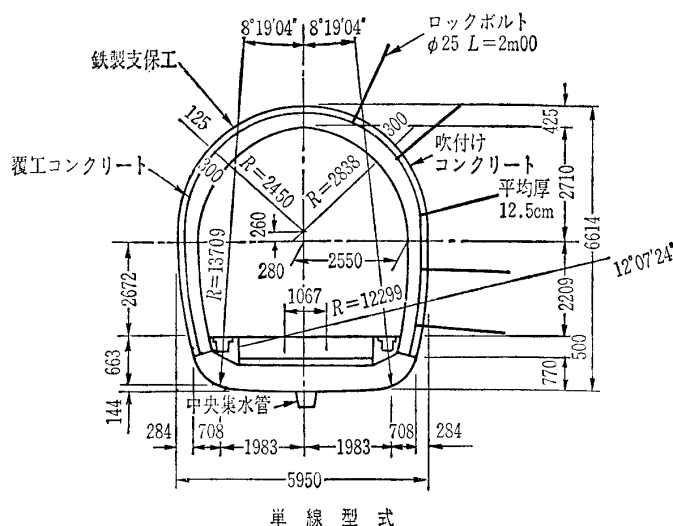


図-7 単線 NATM 標準横断面図

表-4 NATM 標準設計

断面種別	複 線 断 面	単 線 断 面
支 保 工	標準 150H (上半のみ) 出入口付近 } 175H 土被り小	標準 125H (上半のみ) 出入口付近 } 150H 土被り小
支保工間隔	標準 1.2m 出入口付近 } 1.0m 土被り小	1.0m
吹付けコンクリート厚	標準 15 cm	標準 12.5 cm 地質不良区間 7 cm
ロックボルト	Dφ25 l=3.0m 1断面 12本	Dφ25 l=2.0m 1断面 10本
二次覆工厚	標準 40 cm 出入口付近 } RC50 cm 土被り小	標準 30 cm 出入口付近 } RC45 cm 土被り小
インパートコンクリート厚	センタードレーン下で 50 cm	センタードレーン下で 30 cm
排水・止水設備	止水シート (インパートを除く) φ300 盲下水	止水シート (インパートを除く) φ200 盲下水

が採用された。5 区間のうち黒松と台原は複線、旭ヶ丘、瓦山、北四番丁は単線 (並列) 断面である。図-7 に標準断面を示す。また、標準設計は、表-4 に示すとおりとした。掘削は、すべて機械掘削とし、掘削部が未固結層で地上部に住宅が存在している旭ヶ丘トンネルの北部と北四番丁トンネル北部では、補助工法として掘削に先行してパイプルーフ工法を施工している。北四番丁トンネルの道路下部分では、天端の崩壊防止にミニパイプルーフを、また地

この区間の地質は約 G.L.-4m 以深では、洪積砂礫層であるが、それ以浅は砂質シルトもしくは粘性土である。構造物の基礎が、砂礫層に位置する場合は問題ないが、終点側については、基礎が砂質シルト、粘性土に位置するため土質の検討を行った。その結果、砂質シルト、粘性土部分では、 N 値が 3 程度と小さく、また c, ϕ も同様に小さく、このままでは基礎地盤として不適との結論に達したため、プレロード工法、置換工法、群杭工法について検討した。工期、経済性、施工性等から当該区間 85m のうち 45m を碎石 (1140 m^3) で置換し、砂礫層との離れが大きくなる残り 40m を群杭工法 (RC 杭 $\phi 300$, $l=5 \text{ m}$, 110 本) とした。

終点駅の富沢駅からは、単線の車庫線を経由して名取川左岸の車両基地に至るが、名取川の計画高水位を考慮し、現況地盤に 2~3 m 盛土し造成した。盛土面積は約 8 m^2 で、盛土量は約 18 m^3 であった。地質としては、地表面約 2 m が沖積砂泥層で、それ以深が非常に密な透水性の高い洪積砂礫層から成っている。車両基地は外周を擁壁 (L 型、逆 T 型、重力式) にて囲み、進入路より盛土材を搬入、

盛土、転圧し造成した。盛土材は市街地で行われた地下鉄工事の掘削残土を転用した。地下鉄工事の掘削残土は、大部分が地下水面以下の土砂であり搬入される残土は、含水比が高く、かなり流動性を持った土である。車両基地内の留置線部等軌道敷部分については、強固な路盤とするため目標 K 値を 11.0 kg/m^3 においたが、残土の性状は上述のとおりであり、比較的良質土を選別し、含水比の高いものは自然乾燥の後、最適含水比付近にて、まき出し (30 cm 厚)、転圧 (タイヤローラー) を行った。盛土の最終段階では、自然乾燥に日数がかかるため工期との関係もあり一部セメント系による安定処理工法を採用した。

おわりに

現在仙台市では、地下鉄南北線の北への延伸 (八乙女〜泉中央間, 1.2 km) に関して既に免許を取得し、着手の準備を進めている。交通局では、既設線の建設時の体制を大幅に縮小した体制で取り組んでいるが、これまでの経験を生かし、また各関係者の御指導、御協力を得ながら、平成 4 年度の早い時期の開業を目指していきたいと考えている。

土質工学会東北支部発行図書案内

○昭和59年度東北支部研究討論会講演集 (昭和59年11月発行)

テーマ：日本海中部地震シンポジウム

B 5 判 96 頁 定価・会員特価とも ￥1,500 ㊦ 240

○昭和60年度東北支部研究討論会講演集 (昭和60年11月発行)

テーマ：東北地方の local soils の諸問題とその対策, 自由課題

B 5 判 91 頁 定価・会員特価とも ￥2,000 ㊦ 240

○昭和61年度東北支部研究討論会講演集 (昭和61年11月発行)

テーマ：東北地方の local soils の諸問題とその対策, 自由課題

B 5 判 88 頁 定価・会員特価とも ￥2,000 ㊦ 240

○昭和62年度東北支部研究討論会講演集 (昭和62年11月発行)

テーマ：東北地方の local soils の諸問題とその対策, 自由課題

B 5 判 104 頁 定価・会員特価とも ￥1,500 ㊦ 350

○昭和63年度東北支部研究討論会講演集 (昭和63年11月発行)

テーマ：自由課題, 東北地方のロームについての調査報告

B 5 判 46 頁 定価・会員特価とも ￥1,500 ㊦ 240

○1983年日本海中部地震被害調査報告書 (昭和61年5月発行)

B 5 判 297 頁 定価・会員特価とも ￥6,500 (送料込)

申込み先：土質工学会東北支部 ㊦980 仙台市上杉 1-4-20 建設会館内
電話 022 (225) 8855