

## 4. 北海道の主要プロジェクトに関する土質・基礎の話題

### 3. 札幌市地下鉄東豊線

#### Chap. 4 Geotechnical Problems related to Major Construction Projects in Hokkaido Toho Line Subway in Sapporo City

うち だ やす みち はやし よう いら  
内 田 康 道\* 林 要 一\*\*  
そう ま ひで とし  
相 馬 英 敏\*\*\*

#### 1. はじめに

札幌市の地下鉄は、昨年12月2日に開業した東豊線 8.1 km を加え、南北線 14.3 km、東西線 17.3 km と合わせて、現在 39.7 km となり、全国でも東京、大阪、名古屋につぎ、第4番目の路線延長を持って営業しており、札幌市民の足として、1日約63万人の乗客の輸送を行っている(図-1参照)。

東豊線建設工事においては、路線の北東部が沖積軟弱地盤のため、その土留め工法および掘削工法について苦慮したところであり、また、大通り駅部では、既設東西線および地下街の下部を通過することから、延長62mにわたる、大規模なアンダーピニングを施工した。以下にそれらの概要を述べるが、ほかに全線を通じて掘削深度が大きいこと等により、札幌市の地下鉄工事としては先に類を見ない5年5か月の歳月を要して完成したのである。

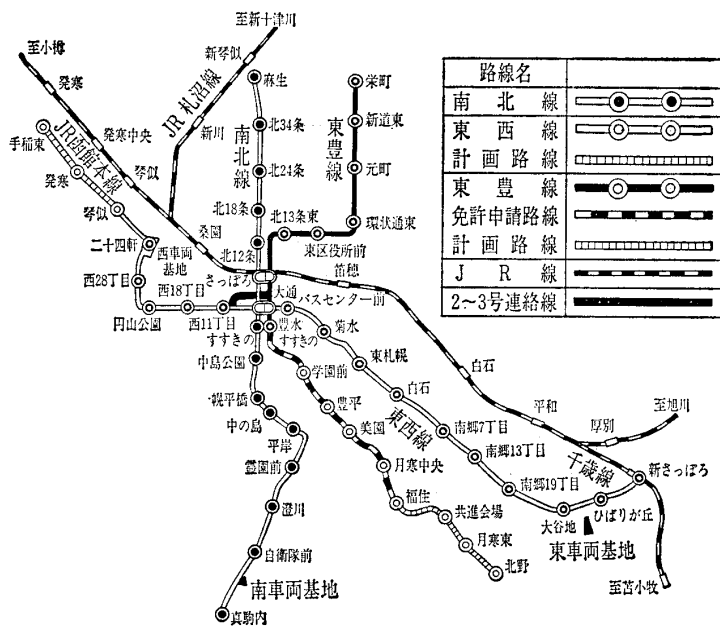


図-1 札幌市高速鉄道路線図

#### 2. 軟弱地盤における土留めおよび掘削について

##### 2.1 土留め工法の選定

地質調査より北13条以北が極めて軟弱な沖積層であり、また地下水位も高く、更に下部砂礫層は被圧滞水層となっていることから、この区間の設計に先立ち、設計法の確立および土留め工法の選定を目的として、工事起点部(北46条東14丁目)付近において試験掘削調査工事を実施した。土留め壁は長辺方向( $L=20\text{m}$ )を地中連続壁( $t=800\text{mm}$ )、短辺方向( $L=10\text{m}$ )を泥水固化壁(KW-H工法)としたが、この調査工事の結果に基づき、遮水性土留め壁区間については、弾塑性法により仮設設計を行い、軟弱土層の厚い札幌新道以北においては、土留め壁の変位を極力押さえるべく、剛性の大きい連続地中壁

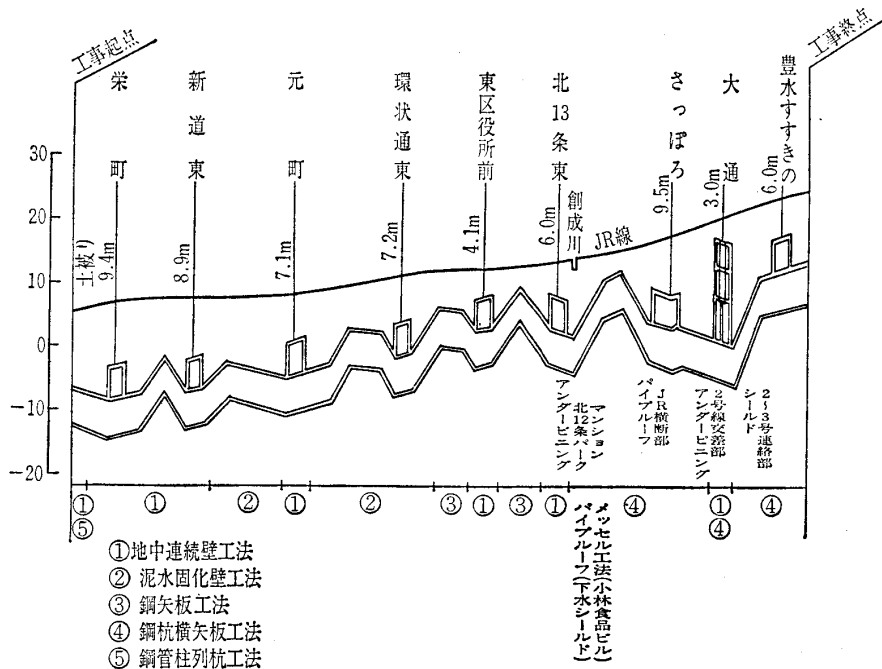


図-2 東豊線路線縦断面図

( $t=800\text{mm}$ )で施工し、変位計、傾斜計等による計測管理を行いながら掘削作業を進めた。新道以南の一般部においては、幅員25mの道路中央部での施工となることから、工費の検討も行い泥水固化壁で施工した。また、比較的軟弱

\*札幌市交通局技術部長

\*\*札幌市交通局技術部 技術課土木二係長

\*\*\*札幌市交通局技術部 建設事務所工事係

層の薄い北13条通りの一般部は鋼矢板、砂礫層が主体の北12条以南、工事終点（豊水すすきの）までは親杭横矢板工法にて施工した（図-2参照）。

2.2 掘削時の補助工法について

前述のように、環状通東駅以北においては、下部砂礫層の被圧水を先行排水すべく、ディープウェルによる揚水を行った。間隔については、試験掘削工事の実績および地質調査結果に基づき、6インチポンプによるディープウェルで約100mピッチとした結果、掘削時におけるボイリング等の問題は皆無であった。

また、札幌新道（北34条）以北については、特に軟弱層が厚いが、そのうちG.L.-10m以深のシルト質粘土は、N値がほとんどゼロであり、含水比も非常に高く、現状では湿地ブルでも走行不能の状況であった。しかしながら、この区間はバス路線であることに加え、大口径の埋設管があること等により、土揚げ箇所が限定され、構内における掘削土の横移動および縦移動が必要とされた。このため、掘削機のトラフィカビリティを確保する目的で、ケミコライザー（写真-1）、ケミコトレンチによる地盤改良を行い、生石灰の吸水膨張、発熱作用により脱水圧密された地山をブルドーザーにより掘削することとした。



写真-1 ケミコライザー工法

で地下鉄東西線、地下街と交差し、その直下を通過するため仮受けする必要があった。地下鉄東西線は、2層のコンコースと本線部の3層からなり、G.L.からの深さ19m、幅20mである。東西線に併設している地下街は公共通路と商店街、地下駐車場、これに関連する機械室等3層でG.L.からの深さ13m、幅42mである（図-3、4参照）。

これら構造物のアンダーピニングは仮受け面積1900m<sup>2</sup>、計算仮受け重量23000tと極めて大規模な工事であったが、特に地下街は柱、梁から成るフレーム構造で比較的剛性が小さく、またその補強も物理的、工程的に不可能であったため、仮受け施工途上における受替え精度の確保、および構造物の変位・挙動に対するリアルタイムな対応が施工上の制約条件となった。

3. 大通駅における大規模アンダーピニング工

3.1 概要

東豊線大通駅工区は、施工延長288.75mの区間にRC造1~4階の駅舎を建設するものであったが、工区中央付近

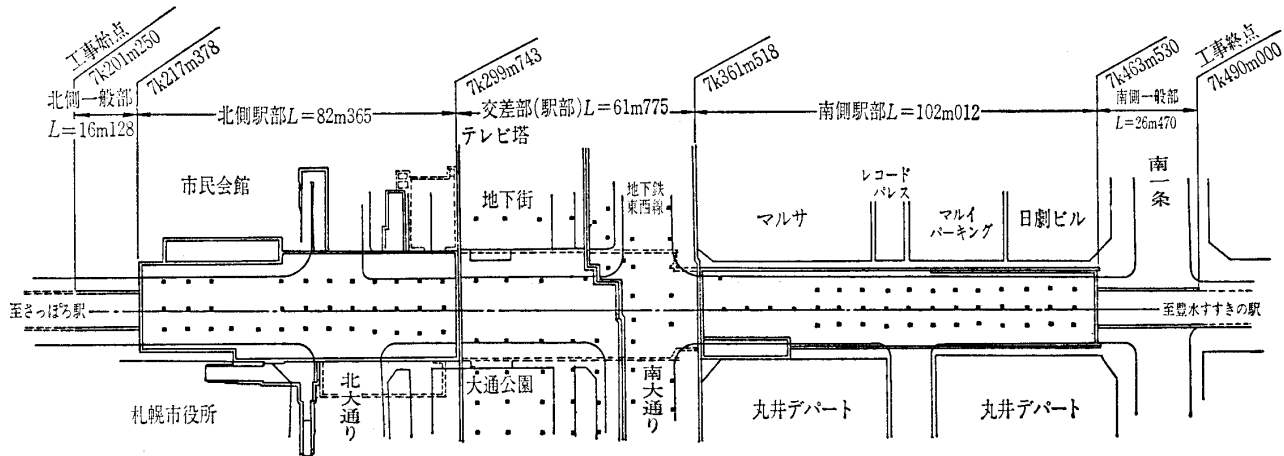


図-3 大通駅平面図

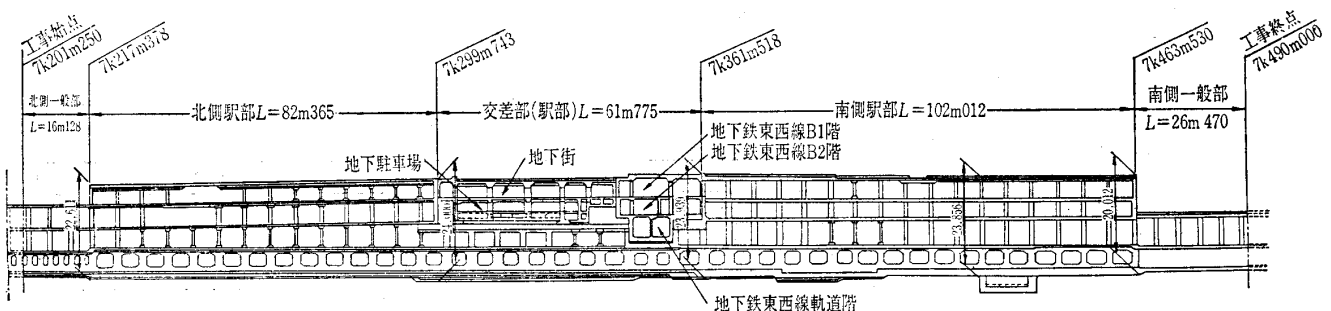


図-4 大通駅縦断面図

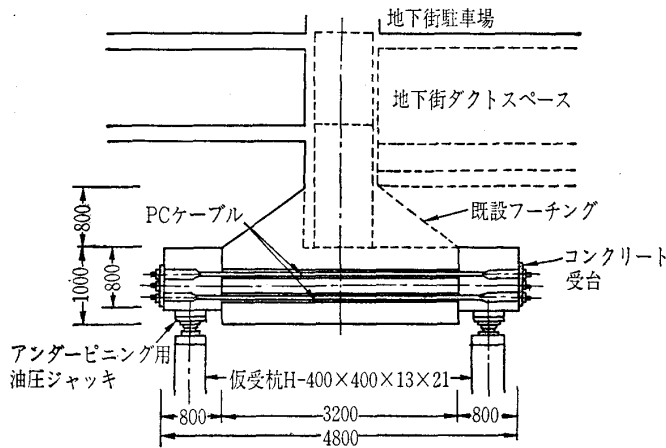


図-5 PC 緊結工法

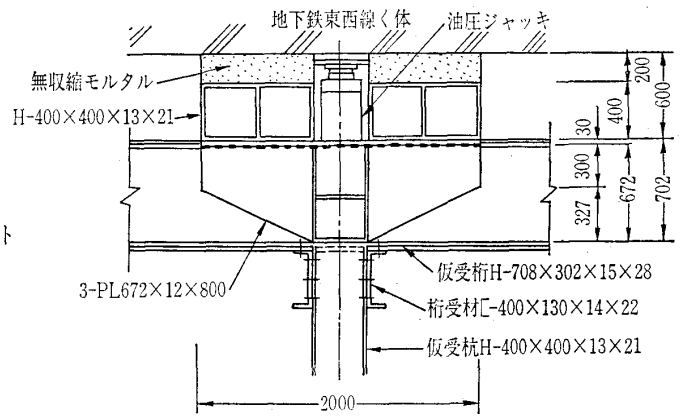


図-6 鋼製スプレッダー

このことから、当時国内では初めての試みであった変位管理を主体とした“油圧ジャッキ自動制御システム”を採用し実施した。

### 3.2 仮受け工法

仮受け工法は対象構造物の形態、新構築との相互位置関係、土質が玉石まじりの砂礫であること等を考慮して、削孔根固め杭 (BH 杭, H-400) を支持杭とする下受け工法とした。地下街は PC 緊結工法および鋼製桁, 地下鉄東西線は鋼製スプレッダーおよび鋼製桁による仮受け構造とした (図-5, 6 参照)。

なお、仮受け補助工として仮受け荷重低減のための上載土除去、構造物支持地盤強化のための薬液注入等を行い、地下水位はディープウェルによって順次必要水位まで低下させた。

### 3.3 油圧ジャッキ自動制御システム

従来のアンダーピニング工事は、対象構造物の推定荷重に基づいて、各油圧ジャッキを手動でコントロールする荷重制御方式が通例であった。

しかし、工程、施工環境、経済性等の面から、当アンダーピニング対象構造物の構造形態、仮受け工法、仮受け構

造等を検討した結果、次のような理由から、従来の方法のみでは代替えが困難と予想されたため、コンピューターによる“変位管理”を主体としたジャッキ制御、施工管理システム—いわゆる“油圧ジャッキ自動制御システム”—を採用した。

- ① 使用ジャッキ台数 (同時使用最大84台) が多く、手動操作による即時対応が難しい。
- ② 連続体の一部を仮受けするため、仮受け構造物両端支持地盤の挙動、仮受け構造物の剛性等の正確な把握が困難である。このため、導入反力計画値と実効値との相関関係の予測が難しく、各施工段階の実測値に基づいて即時対応しなければならない。
- ③ 施工上、プレロードは分割したブロック単位で行うため、プレロードを完了した支点の反力が変化する。
- ④ 比較的剛性の小さい仮受け基礎構造の採用となったため、支点反力の変動による仮受け杭の変形を考慮しなければならない。

今回採用したシステムの構成は、図-7 のとおりである。制御データを得るセンサーとして、構造物の変位を感知する沈下計、油圧ジャッキの荷重を知る圧力変換器およびジ

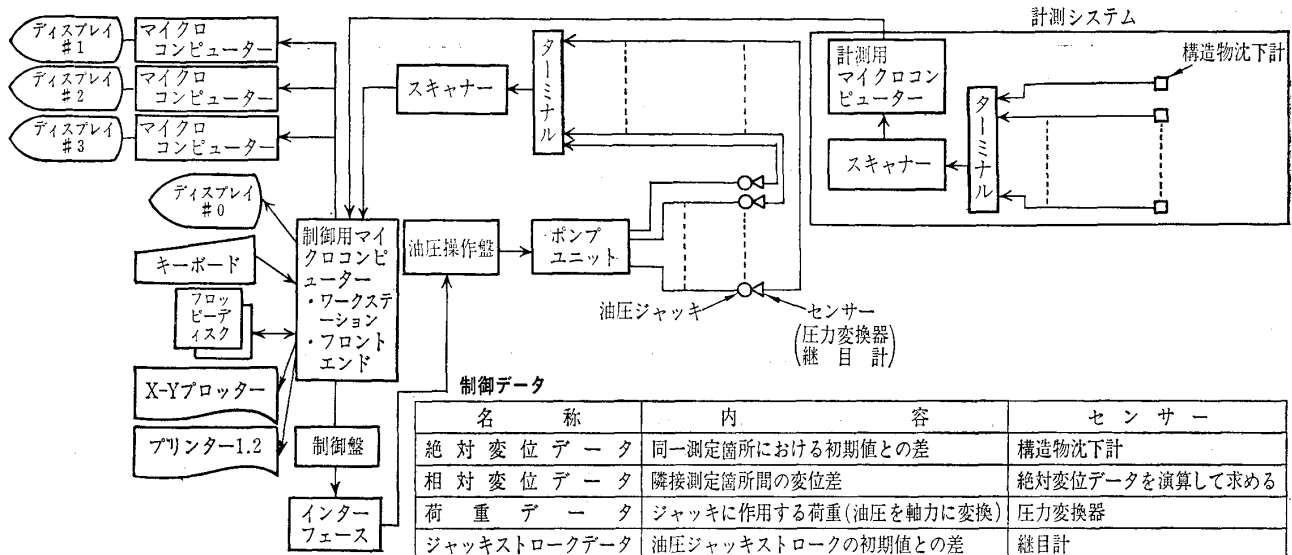


図-7 油圧ジャッキ自動制御システム

ジャッキストローク状況を把握する継目計を設置する。これらのデータを計測制御用マイクロコンピューターが受け、構造物が最適状況を保つよう解析し、四連異荷重同時上昇電動ポンプユニット等の駆動部へ指示、情報を転送し、油圧ジャッキの自動制御を行うとともに、各データをリアルタイムに画像表示する集中管理システムである。

### 3.4 施工実績

工事進捗に伴う構造物の変位、および不測の挙動等があったが、変位管理を主体とした新しいシステムの採用により、スムーズに受替えを進めることができ、結果的に所期の目的を達成することができた。本システムの効果について要約すると、

- ① 地下街フーチング部のプレロードは、計画支点反力の60%しか導入できなかった。したがって、く体下部掘削の進捗によって仮受け支点の沈下が予想されたが、システムの作動により最終的には計画荷重の90%の反力導入となった。この間、絶対変位の変動はほとんど認められず、最終的に-1 mm程度の変位に収束し、

受替え精度の向上をもたらした。

- ② 掘削進捗に伴う杭のフリクションカット、および地盤のリバウンド等に起因する構造物の挙動が計測確認された。しかし、適切な計測期間の設定とシステムの作動によりリアルタイムな対応が可能であった。この間無人に近い状態での管理であったため、実質的には低コストで行うことができた。

等であり、予想以上の効果があった。

## 4. おわりに

東豊線建設工事は、以上述べた北東部軟弱地盤の克服と大通駅におけるアンダーピニングのほか、JR 函館本線下のパイプルーフ、8階建マンションのアンダーピニングおよび玉石まじり砂礫層での本市初めてのシールド工法等、特殊工法を駆使して予定どおり完成したが、現在本市ではこの東豊線の延長工事を計画しており、今秋には着工する予定である。今後とも関係諸氏のご指導、ご協力を切にお願いする次第である。