

# 地下駐車場掘削に伴う営業地下鉄線の浮き上がりの検討と施工 Study on Behavior of Existing Subway under the Influence of Underground Parking Lot Excavation.

和田 淳\*  
Jun Wada

今井田 善光\*\*  
Yoshimitsu Imaida

原田 晋二\*\*  
Shinji Harada

後藤 裕明\*  
Hiroaki Goto

## 要 約

本工事は開削工法による地下駐車場建設工事である。開削延長の直下に少ない離隔で営業地下鉄線が平行していたことから、地下鉄のリバウンドによる浮き上がりに対して事前に予測解析を行い、管理値を設けて計測施工を行った。施工途中に二次管理値を超える浮き上がり量が計測されたが、施工手順を変更することによって浮き上がり量を抑えた。実測された地下鉄の浮き上がり量の最大値は予測値18.4mmに対して15.2mmであった。

## 目 次

- § 1. はじめに
- § 2. 工事概要
- § 3. 土質
- § 4. 予測解析
- § 5. 計測管理
- § 6. 計測結果および解析値との比較
- § 7. おわりに

## § 1. はじめに

大阪市を中心に南北に走る谷町筋は都市計画法に基づく駐車場整備地区となっており、本工事は大阪市駐車場基本計画の一環として地下駐車場を建設するものである。

当該工区の直下には営業中の地下鉄谷町線（外径φ6800）が掘削延長方向に平行している。掘削底面と地下鉄シールドとの離隔は本体部で約8.3m～5.5mとなっており、リバウンドによる地下鉄への影響が懸念された。

そこで本工事では事前にリバウンドによる地下鉄への影響を予測し、計測施工により安全性を確認の上で掘削

を完了させた。

本文ではこの予測解析結果と計測管理計画ならびに計測結果を報告する。

## § 2. 工事概要

本工事は本体部 延長約168m、幅23.9m、高さ8.90m、入路部 延長約117m、幅4.30m、高さ3.90mの機械式2層構造の地下駐車場を開削工法により建設するものである。

既設地下鉄谷町線との位置関係とあわせて平面図を図-1、縦断図を図-2、代表横断図を図-3に示す。

- ・工事名 谷町筋地下駐車場建設工事
- ・事業主体 大阪市道路公社
- ・工事場所 大阪市中央区谷町1丁目～2丁目（谷町筋）
- ・工期 平成7年12月28日～平成11年2月26日
- ・構造 鉄筋コンクリート造 地下1階
- ・駐車形式 機械式 2層
- ・建築面積 約5,400m<sup>2</sup>

## § 3. 土質

土層構成は上部GL-9.00m付近までシルト質主体による盛土層、約6.00mの砂礫層をはさんでGL-20mまで軟

\*土木設計部設計課

\*\*関西（支）谷町（出）

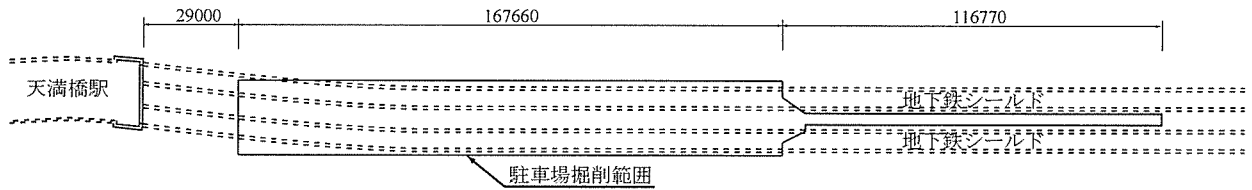


図-1 掘削平面図

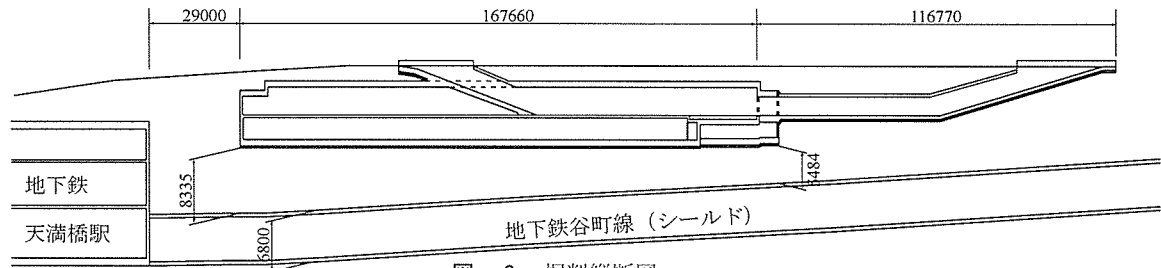


図-2 掘削縦断面図

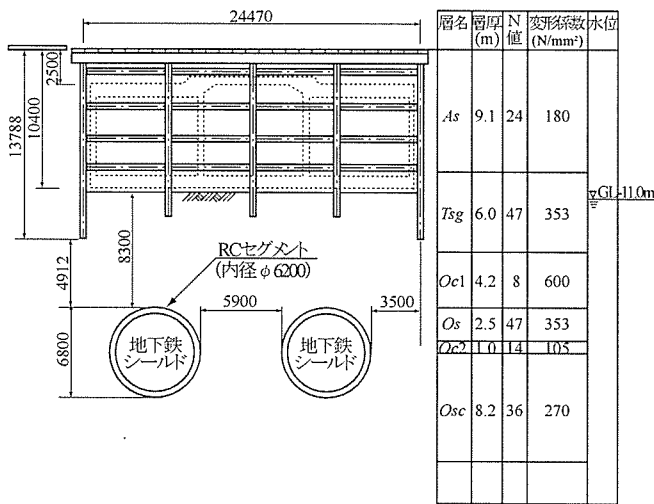


図-3 掘削横断面図 (代表断面)

弱な沖積層、それ以深は天満層および大阪層群に属する洪積層となっている。これらの層は砂質土と粘性土層とが互層状に成層しており、層厚および連続性は良好で土層の傾斜はほぼ水平である。

### § 4. 予測解析

駐車場掘削による影響は3次元の挙動把握が必要となるが、検討の煩雑さを避けるため、横断方向と縦断方向それぞれの2次元解析を行い、地下鉄シールドの挙動予測を行った。

#### 4-1 横断方向の検討

横断方向の検討は2次元弾性FEM解析を用いて行った。図-4に示すメッシュモデルにおいて掘削範囲の要

素応力を100%解放させ、線材として評価した地下鉄シールドの変位および応力状態を求めた。

一般に除荷時の地盤変形係数 ( $E$ ) は載荷時の  $E$  を  $N$  値から  $E=2.5N$  ( $N/\text{mm}^2$ ) としたときの2倍~4倍とされているが、今回のFEM解析では近傍工事の実績を参考に3倍 ( $E=2.5N \times 3$ ) を採用した。

解析に用いた各層の変形係数を含めた地盤の物性値を表-1に示す。なお、地下鉄シールドの応力照査は慣用計算法で求めた現状応力に、FEM解析から求めた掘削による増加応力を重ね合わせた。

図-5、図-6に変位解析結果を示す。

#### 4-2 縦断方向の検討

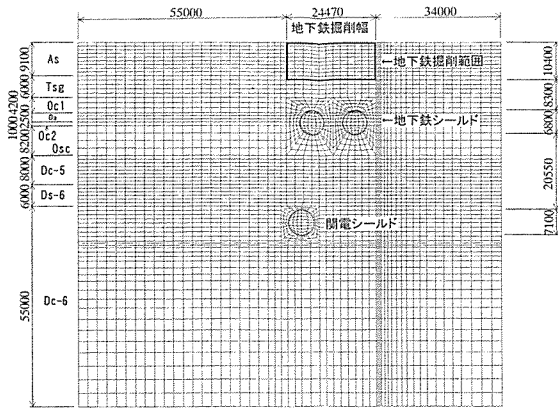
縦断方向の検討は地下鉄シールドを弾性床の上の梁として評価し、除荷荷重を上向きに作用させた。なお、梁材の鉛直方向地盤反力係数 ( $K_v$ ) は最大変位がFEMによる地下鉄シールドの最大変位量 (18.4mm) と一致するように求めた。図-7に検討モデルを示す。

検討は図-8に示す3つの施工段階についてと全掘削した場合の4ケースについて行った。

図-9に変位、図-10に曲げモーメント、図-11にせん断力の解析結果を示す。なお、曲げ照査はリング間継手断面について行い、リング間継手ボルトを鉄筋とみなした円環断面として評価した。またせん断照査についてはリング間継手ボルトが全せん断力を負担するものとした。

#### 4-3 応力照査結果

横断方向および縦断方向の検討による地下鉄シールドの発生断面力および応力度照査結果を表-2、表-3に示す。発生応力度は、いずれも長期の許容値は超えるものの短期の許容値は満足した。



メッシュ領域は、閉電シールドより左右45°方向包含し、下方は3D以上とした。  
 図-4 メッシュモデル

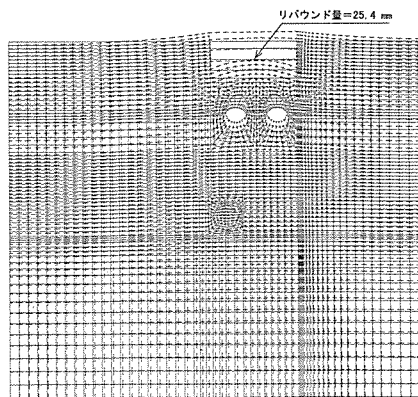


図-5 変位図 (メッシュ全体図)

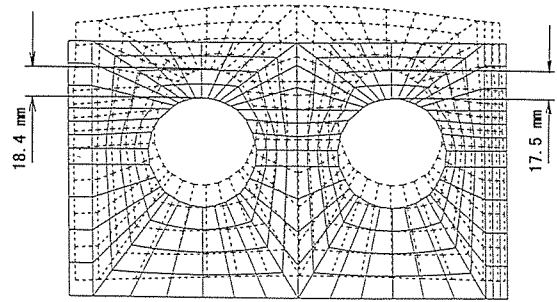


図-6 変位図 (地下鉄シールド部)

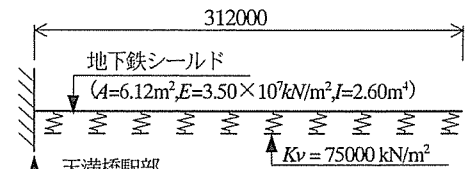


図-7 縦断方向のモデル図

表-1 解析に用いた地盤の物性値

土層	N値	湿潤重量 (kN/m³)	粘着力 (kN/m²)	内部摩擦角 (°)	変形係数 (N/mm²)
As	24	17.0	-	29	180
Tsg	47	21.0	-	42	353
Oc1	8	16.5	81	-	60
Os	47	20.0	-	42	353
Oc2	14	18.0	75	-	105
Osc	36	20.0	-	42	270
Dc-5	21	17.0	200	-	158
Ds-6	50	21.0	-	40	375
Dc-6	18	16.5	170	-	135

基本ステップ図

荷重図

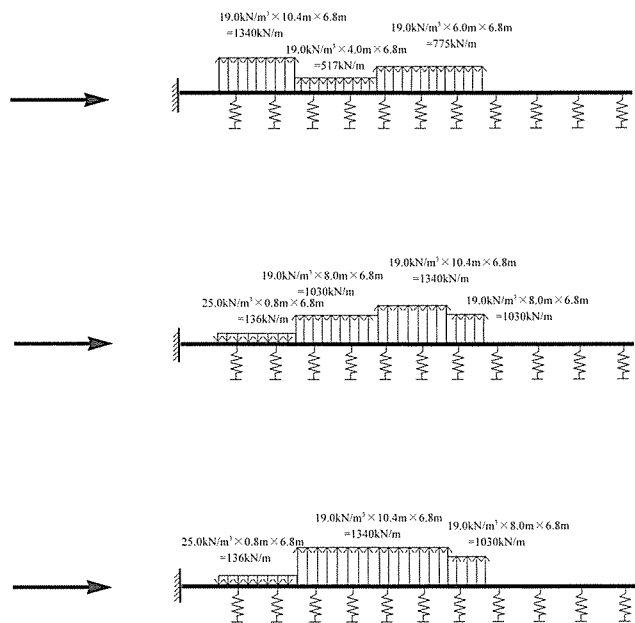
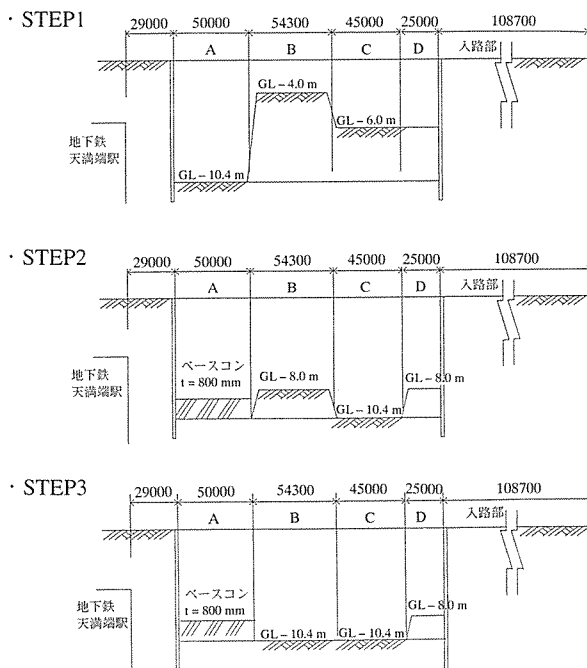


図-8 検討ステップと荷重図

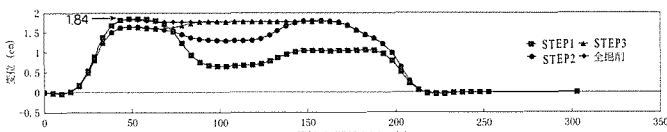


図-9 変位図

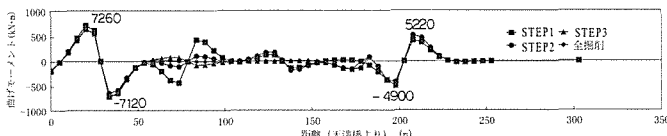


図-10 曲げモーメント図

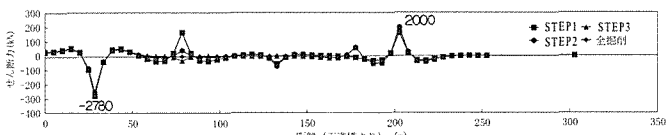


図-11 せん断力図

表-2 断面力計算結果

検討	Mmax(kN・m)	N(kN)	Smax(kN)
横断方向	63.4	17.1	—
縦断方向	7260	—	2780

表-3 応力照査結果 (N/mm<sup>2</sup>)

検討	コンクリート 圧縮応力度	鉄筋・ボルト 引張応力度	ボルト せん断応力度
横断方向	11 < 22.5	191 < 210	—
縦断方向	2 < 22.5	98 < 210	86 < 120

表-4 地下鉄の浮き上がり管理値

掘削段階	掘削深 (m)	管理限界値 (解析値 mm)	一次管理値 (解析値×0.50mm)	二次管理値 (解析値×0.75mm)
2次掘削	4.0	6.5	3.3	4.9
3次掘削	6.0	9.9	5.0	7.4
4次掘削	9.0	15.4	7.7	11.6
最終床付時	10.4	17.1	9.2	13.8

※最終床付時の管理限界値は縦断方向の検討でリング間ボルトのせん断応力度が長期の許容値に達する値

### § 5. 計測管理

予測解析結果では掘削による地下鉄への影響は少ないこととなった。しかし予測解析と実施工における不確定要素の存在は否定できないことから、実施工では図-12凡例に示す各項目に関して地下鉄シールドの挙動観測を実施しながら施工を進めた。特に地下鉄シールドの浮き上がりについては厳しい管理値(表-4)を設け、図-14に示す計測管理フローに従って安全施工に努めた。

図-12に計測器配置縦断面図、図-13に計測配置横断

図を示す。

### § 6. 計測結果および解析値との比較

実施工では、図-15に示す手順で掘削を進めた。計測結果は、Step-1の掘削状況において、測点No.5が最大値13.2mmを示した。この時点で2次管理値の96%の浮き上がり量が記録された。この結果をうけて、次のStep-2,3の掘削時においては、測点No.6が2次管理値をオーバーすることが予想されたため、実施工では、浮き上がりを極力抑えるように、南北両方向から中央に向かって25mずつ掘削床付を行い、均しコンクリートを打設して荷重をもどすように順次施工を行った。

測点No.5およびNo.6の経時変化グラフを図-16に示す。掘削完了時での浮き上がり量は下り線で最大15.2mmを記録した。これは、2次管理値を1.4mmオーバーし、管理限界値の89%を示す結果となった。また、掘削完了時での縦断方向の浮き上がり量のグラフを図-17に示す。横断方向FEM解析による地下鉄浮き上がり量予測値(18.4mm)と実測値(15.2mm)は、ほぼ等しい値であった。したがって、当初設定した地盤の変形係数設定値(E=25N×3)は妥当であったものと考えられる。

しかしながら、縦断方向の予測解析による変位分布と実測された変位分布を比較すると、測点3,4,5に違いがみられた。

これは予測解析の作用荷重について掘削底面から地下鉄シールドまでの離隔による分散効果を表現していなかったことが原因と考えられる。ブーシネスク(Boussinesq)の荷重分散を考慮したとき、除荷荷重は図-18のようになる。この荷重分散を考慮すると、変位の相違は解消され、実際の地下鉄シールドにおいては図-11のような極端なせん断力は生じていなかったものと考えられる。また、掘削途中で測点6直上の掘削(4ブロック)がGL-2.0m程度であるのに対し、浮き上がり量がFEM解析におけるGL-5.0m~6.0m掘削時相当まで発生したが、このことも分散効果によって隣接する3ブロックの掘削(GL-8.0m)の影響を受けていたものと考えられる。

計測としては浮き上がり計測の他に3次元測定システムを用いたトンネル内空変位測定と層別沈下計を用いた地盤のリバウンド測定を行った。測定結果をそれぞれ図-19、図-20に示す。内空変位測定結果についてはFEM解析結果の変形モードとよく一致した。また層別沈下計計測結果については北側測点において地下鉄の浮き上がり測定結果とほぼ一致した反面、南側測点については計測機器の不具合のため地下鉄付近の地盤はほとんどリバウンドしていない結果となった。

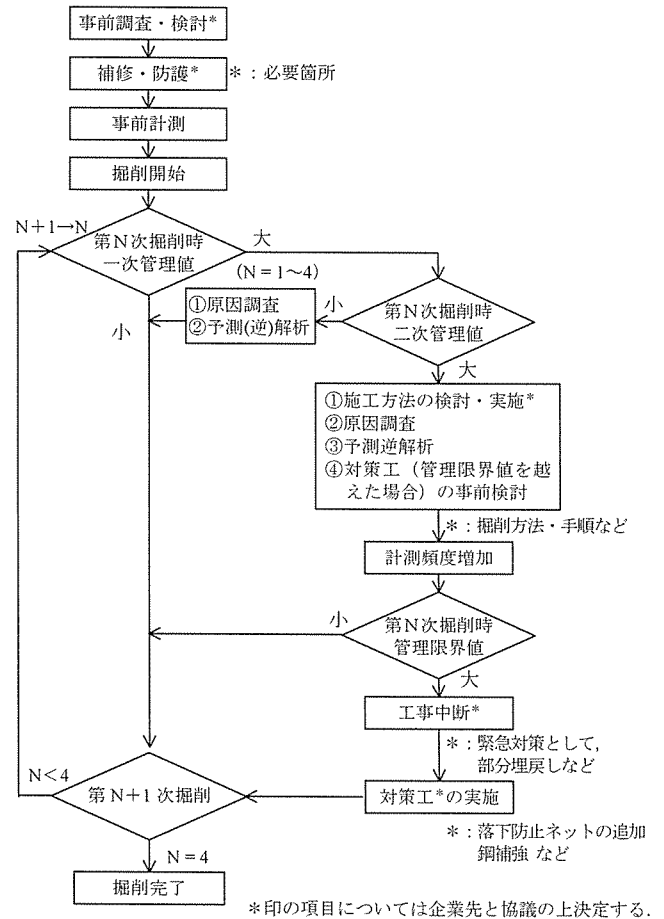
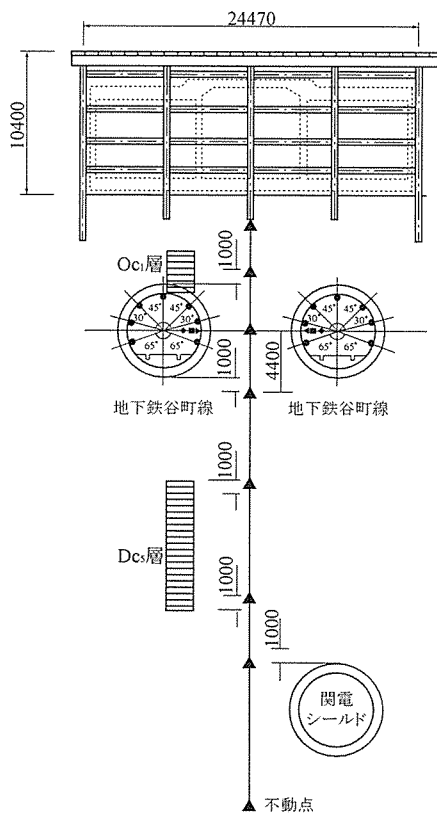
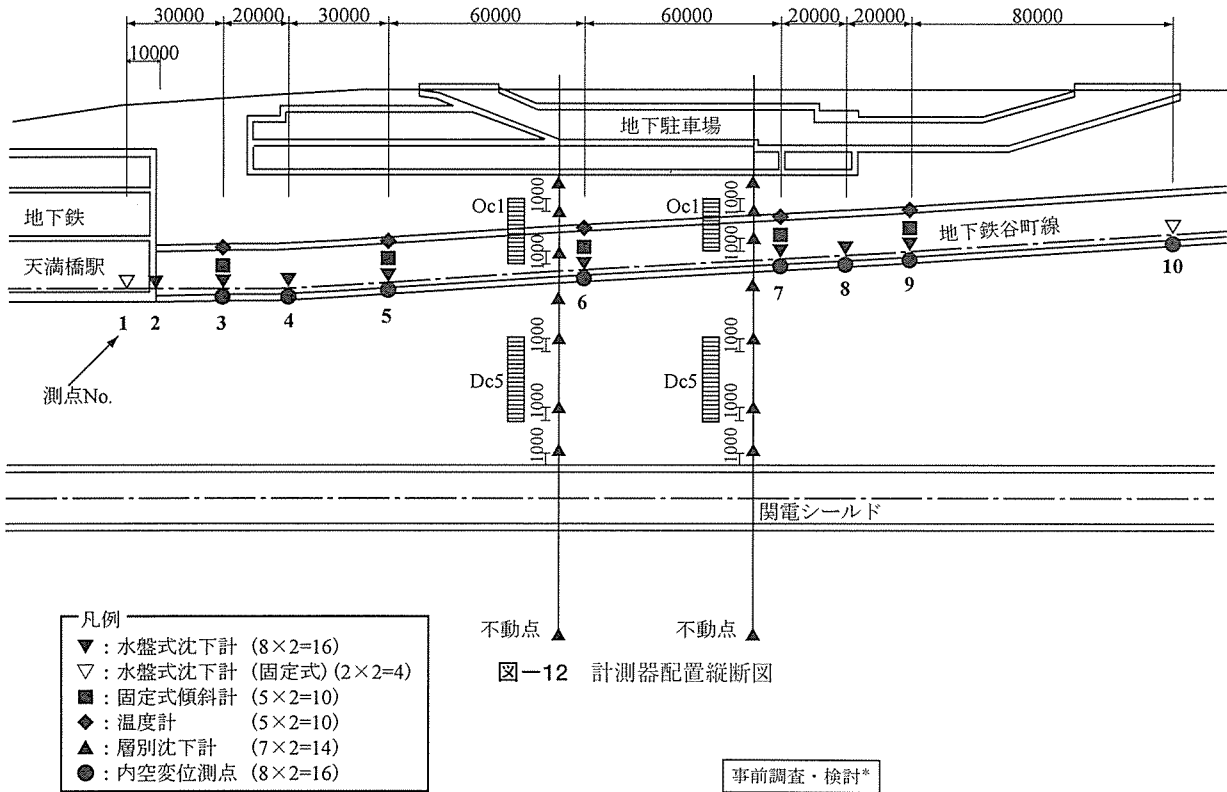


図-14 計測管理フロー

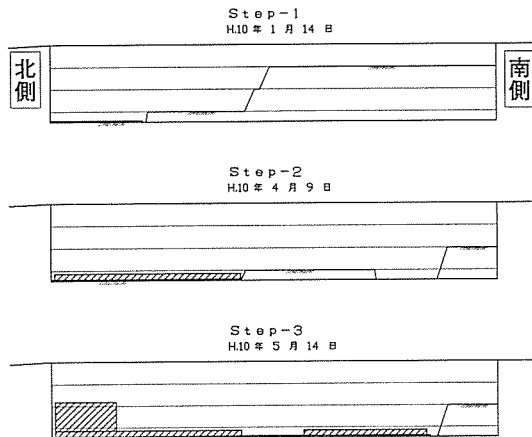


図-15 施工ステップ図

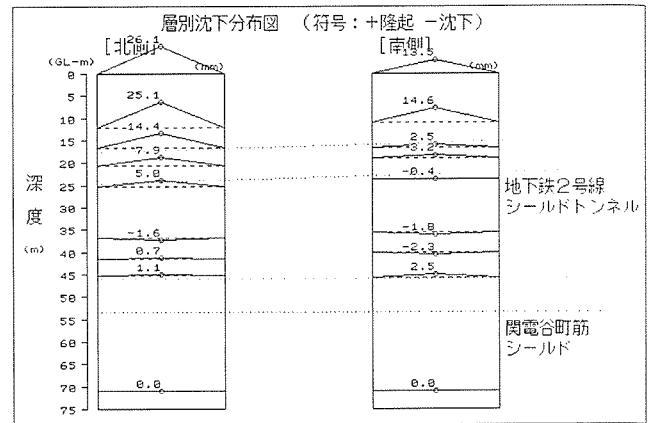


図-20 層別沈下計測定結果

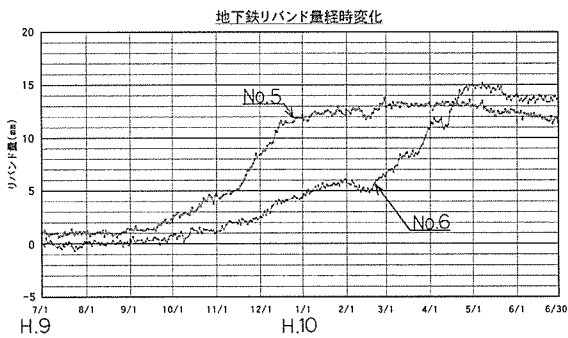


図-16 測点No.5, No.6の経時変化

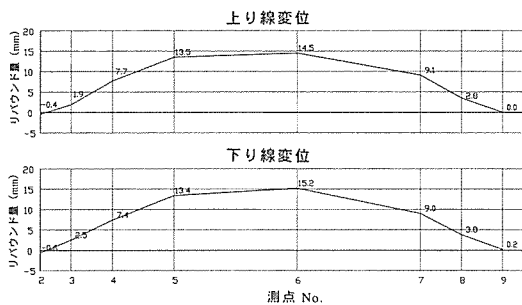


図-17 掘削完了時のリバウンド量 (縦断)

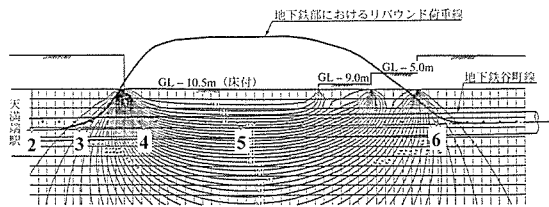


図-18 プーシネスクの荷重分散図

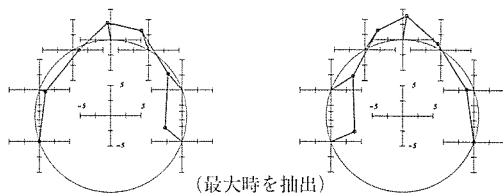


図-19 3次元計測システム測定結果

## § 7. おわりに

本工事では営業地下鉄に対して十分な安全性を確保するため、特に浮き上がりに関して予測値を管理限界値に設定し、リアルタイムで厳しく管理した。その結果、施工手順の変更といった対応を早めにとることができ、地下鉄の営業に影響を与えることなく、無事掘削を完了することができた。

浮き上がり実測値と予測値においては最大値についてほぼ一致をみたが、除荷荷重の考え方に課題が残った。

本工事のFEM予測解析における除荷時の変形係数は近傍工事実績を参考に載荷時の3倍とした。しかし、設定値によっては予測結果が大きく異なり、予測値を小さく見積もる可能性を含んでいるため、地盤の物性値の設定には注意を要することを痛感した。

この報告書が今後の類似工事に役立てば幸いである。

## 参考文献

- 1) 深い掘削土留工設計法：日本鉄道技術協会，1993。
- 2) トンネル標準示方書（シールド編）同解説：土木学会，1996。
- 3) 掘削によるリバウンド現象と構真柱の浮き上がりおよび沈下：基礎工No.9，1993。
- 4) 直積基礎で支持された高層建物の施工時における支持地盤鉛直変位について：第28回土質工学研究発表会，1993。
- 5) 営業線直下大規模開削工事に伴う軌道仮受け工の挙動計測について：第10回建設マネジメント問題に関する研究発表・討論会講演集，1992。