

近接施工における既設構造物の挙動について

BEHAVIOR OF THE EXISTING STRUCTURES WITH THE OVERCROWDED AREA'S CONSTRUCTION

小峰 隆幸* 助川 博之* 綿引 秀夫*

Takayuki KOMINE, Hiroyuki SUKAGAWA, Hideo WATAHIKI

This report is about the prospective method that attitude of an existing structure is influenced by the construction of overcrowded area with a shield machine.

In general, we use analysis of FEM when we excavate the tunnel of overcrowded area.

In this construction, we set some measuring points up the existing structures.

By comparing the result of measurement with the previous analysis, we considered how the shield driving influenced them.

This paper reports the consequence of the consideration and intends to be useful for coming close construction more effective.

Key Words: Influence Analysis, construction of overcrowded area,

1. まえがき

東京電力㈱では大田区大井埠頭内に建設予定の変電所予定用地から都道環状7号線の道路下を占用し、国道1号線までの約7 km間を地中送電線用トンネルを泥水式シールド工法で3工区に分けて建設中である。このうち1工区は大井埠頭内の発進立坑から都道環状7号線上の中間立坑間を外径7.27mのシールドで掘進を行った。

本報告では、このシールドトンネルの近接施工に伴う既設構造物の挙動について報告するものである。

2. 工事概要

本ルートは図-1に示すとおり、発進立坑から中間立坑までの約1.7 kmを施工するものである。近接施工箇所として、JR東海道線貨物支線（以降JRと略す）および国道357号線大井南共同溝（以降共同溝と略す）等の重要既設構造物の直下をトンネルで横断した。また、シールドトンネル施工に伴い既設構造物に与える影響は有限要素法により解析し、さらにJR横断前に試験計測箇所を設け、実際のシールド掘進に伴う地盤変位計測結果と影響解析結果との比較検討を行って、JR横断部での既設構造物への影響を正確に予測し、対策工や計測計画を立案した。また、試験計測およびJR横断部の計測結果を、その後に近接施工となる共同溝横断部へ反映させた。

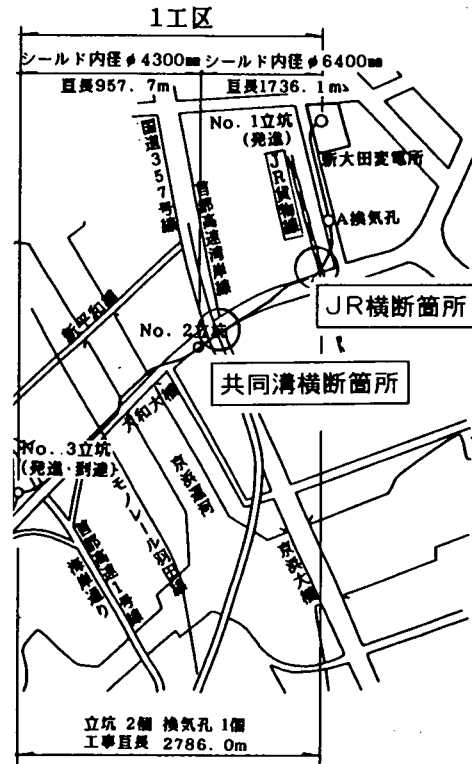


図-1 ルート図

* 正会員 東京電力㈱ 地中送変電建設所 大森工事事務所

3. JR横断部影響解析

3-1 FEM解析

表-1に示す解析モデル条件で、2次元のFEM解析を行った。解析領域としては、試験計測箇所は半断面モデルで水平50m、鉛直38mとした。JR横断箇所は既設構造物底面をメッシュの上面とし、鉛直方向にはトンネル下端より45度上方に延ばした線と上面が交わる範囲から更に5D程度の余裕幅を考慮し、鉛直方向50m、水平方向50mとした。

表-1 解析モデル

解析手法	弾性解析、4節点平面ひずみ要素
モデル	全応力法
応力解放率	解放率 $\alpha = 30\%$
境界条件	ローラー支床

3-2 フレーム解析

既設構造物を1本の梁にモデル化し、この梁にFEM解析で得られた沈下量を地盤バネを介して強制変位として入力し、既設構造物に発生する断面力を算定した。

表-2 解析結果一覧表

検討位置	最大地盤変位(mm)	※軌道相対変位(mm)	※壁面目標変位(mm)	最大t-ノット(tf・m)	抵抗t-ノット(tf・m)	コンクリート部せん断力許容(kgf/cm2)	せん断力許容(kgf/cm2)	せん断力(kgf/cm2)	せん断力(kgf/cm2)
東海道線上下線交差部 4.728mノット部 幅6.47m	15.9	4.4	7.0	147.8 -309.9	2164.5 -2046.8	0.6	3.7	79.7	1200.0
東海道線下り線 出発線交差部 U型擁壁部 幅6.66m	11.6	1.8	7.0	256.2 -123.6	637.2 -216.3	0.9	3.7	222.8	1200.0
東海道線下り線 交差部 U型擁壁部 幅6.48m	11.6	1.8	7.0	22.1 -7.3	570.6 -116.4	0.3	3.7	38.7	1200.0

※路線長10m区間内の高低差

3-3 応力度照査

既設構造物をT型断面(U型擁壁部)、中空矩形断面(ボックスカルバート部)として応力度を算定した。解析結果を表-2に、またJR横断箇所の平面図を図-2に示す。

4. JR横断部の近接施工

影響解析の結果により既設構造物の健全性が確認できた。さらに今回のシールド工事による地盤への影響がどの程度発生するか把握するために試験計測を行った。その試験計測結果を用いて解放率を再評価し、影響解析結果が問題無いことを確認した。JR横断の施工は図-3のフローに従って行うこととした。

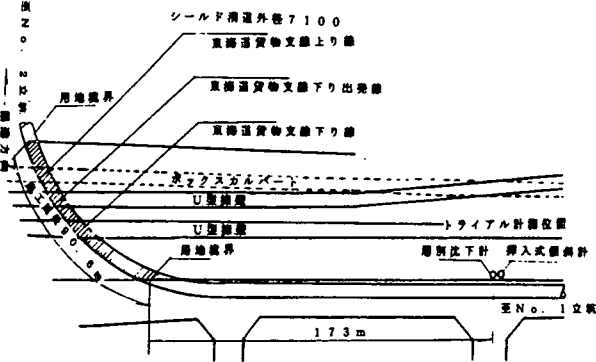


図-2 JR横断箇所平面図

4-1 試験計測結果

試験計測箇所はシールドセンターから5m離れた箇所では層別沈下計と挿入式傾斜計を用いて地盤変位の計測を行った。計測深度は、トンネル中心、天端、天端から0.5Dと1.0Dおよび2.0Dの計5カ所(地表面に近い方より計測番号①~⑤)で、計測期間はシールドが計測断面の影響範囲の前後40mにある期間とした。なお、トンネル掘進位置は洪積粘性土で通過深度はセグメント天端でT.P.-15m(GL-20m)の直線施工部である。

試験計測部の断面図を図-4に示す。

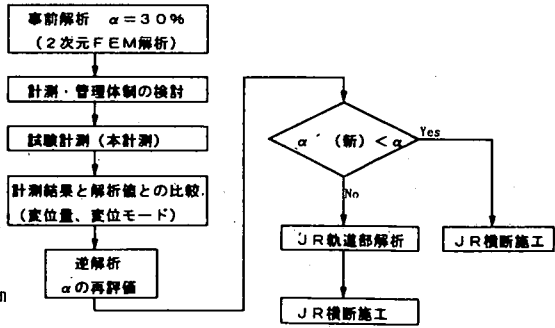


図-3 近接施工フロー

表-3 実測値と解析値の比較表

計測位置	鉛直変位 (mm)			水平変位 (mm)		
	実測値	解析値	差	実測値	解析値	差
①	-5.6	-32.1	26.5	1.7	6.7	5.0
②	-5.4	-39.0	33.6	1.8	14.0	12.2
③	-4.5	-39.3	34.8	1.5	12.0	10.5
④	-3.5	-25.2	21.7	0.5	23.1	22.6
⑤	0.0	-4.7	4.7	-0.3	13.3	13.6

・鉛直方向　＋：隆起　　　　　　　　　　　－：沈下
・水平方向　＋：シールド側（道路側）　　　－：JR側

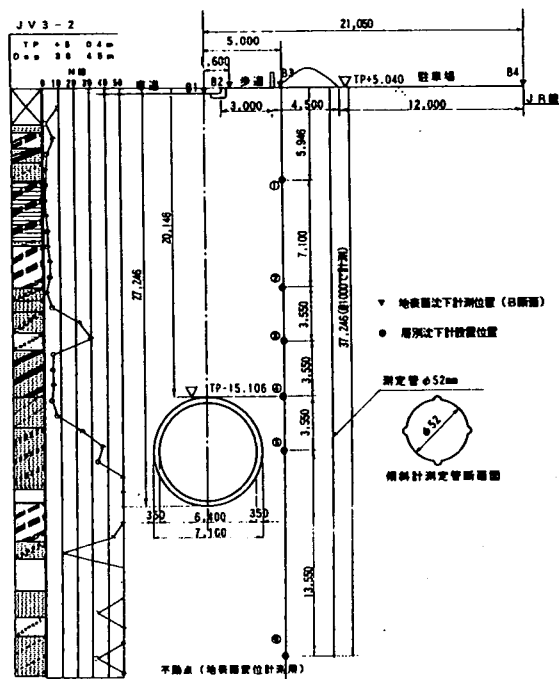


図-4 試験計測部断面図

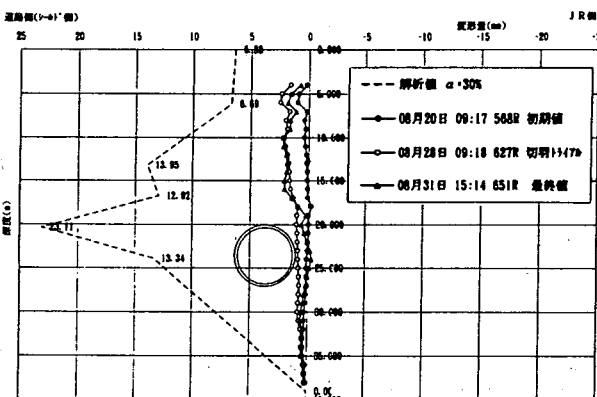
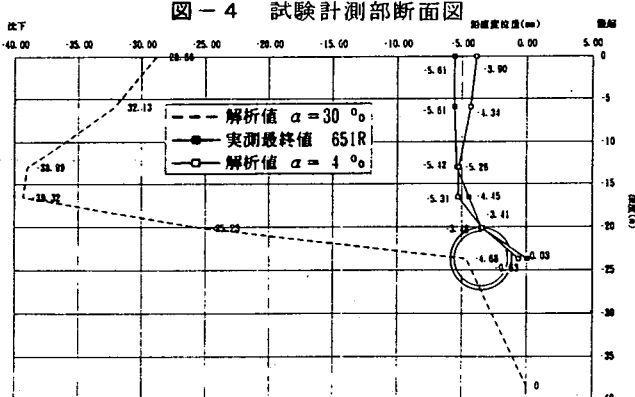


図-5 ①地盤水平変位（解析値と実測値）



②地盤鉛直変位（解析値と実測値）

4-2 逆解析

試験計測結果の地盤変位データから、FEM解析に用いた応力解放率 α の最適値を推定するために最小自乗法により実測値に対する解析値の差の2乗 $f(\alpha)$ が最小となる α を求めた。なお、試験計測箇所の変位量については、応力解放率30%で弾性FEM解析を行い各計測位置の変位量を求めており、この変位量は応力解放率に比例することから、式-1のように一元的に $f(\alpha)$ を求めることができる。

$$f(\alpha) = \sum_{i=1}^n e^2 = \sum_{i=1}^n (\delta(\alpha)_i - \delta_i)^2 \quad (\text{式-1})$$

$\delta(\alpha)_i$: 応力解放率を $\alpha\%$ としたときの計測位置 i の解析変位
 δ_i : 計測位置 i の実測変位

以上より、試験計測位置での応力解放率は $\alpha = 4\%$ となった。よって、構造物の応力度照査及び管理値については、フロー(図-3)に従い当初の応力解放率30%としたFEM解析結果の変位量に基づくものとした。

4-3 本計測結果

J R横断箇所は、U型擁壁2カ所、ボックスカルバート1カ所の直下を約10～16mの離隔でシールドが通過し、それぞれに沈下計を各7カ所（5mピッチ）設置して構造物の変状を計測した。トンネル掘進上部の地質はN値3以下の沖積粘性土層で、通過深度はトンネル天端でT.P.-15m(GL-21m)の曲線施工部（R=100m）であり、シールド通過断面図を図-6に示す。計測期間は、事前計測を計器安定期間および自然変動把握のため約1ヶ月間と、本計測は切羽が計測断面に到達する5日前からシールドテールが計測断面に対してシールド下端から45°として影響範囲を抜けるまでとし、その後既設構造物への影響が収束するまで事後計測を行った。計測管理値は軌道整備基準値の高低15mmを工事中止値とし、工事中止値の70%の10.5mmを警戒値に設定した。シールド掘進による影響は図-7に示すとおり、切羽通過の2日前（15リング程度手前）から発生し、通過後5日ぐらいで最大沈下量の80%程度まで沈下が進み、その後約3ヶ月間継続沈下が見られ影響が収束した。それぞれの最大沈下量は表-5に示す様にボックスカルバートよりもU型擁壁の方が大きな沈下量が発生した。また、最大値(11.1mm)が警戒値(10.5mm)を越えたため、普通鉄道の軌道整備基準による10m区間での高低差を求めたが、整備目標値の7mmを下回った5.5mmであり問題無く近接施工を完了した。

表-4 解析値と実測値

対象物	解析値 δ (mm)	実測値 (mm)
下り線U型擁壁	11.6	11.3
下り出発線U型擁壁	11.6	9.8
上り線ボックスカルバート	15.9	5.3

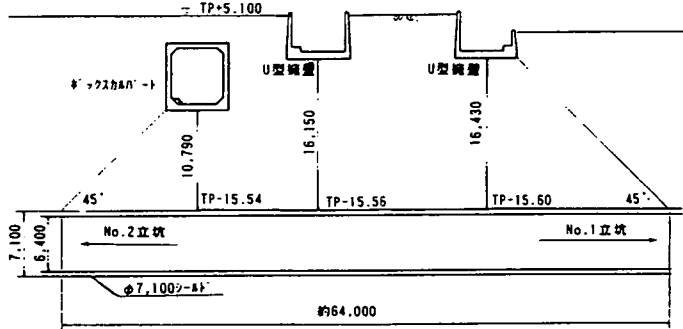
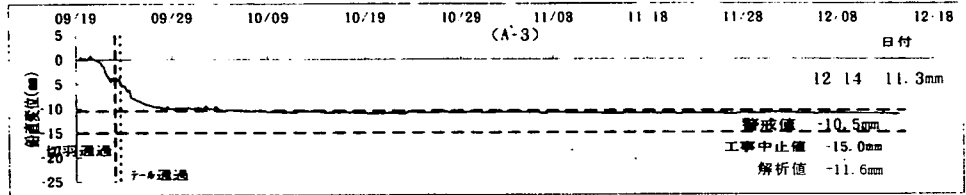


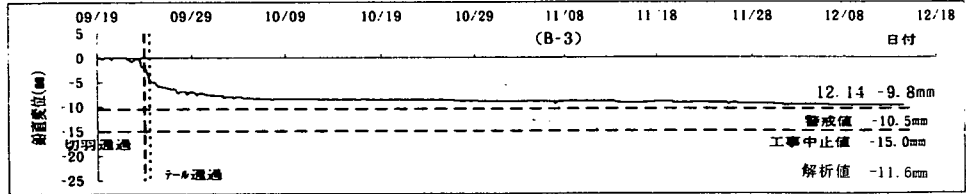
図-6 シールド通過断面図

土質名	層厚
Rf	1.20
Aso	2.15
Aco	5.85
YS	3.00
Yc	7.65
Tocu	4.45
Tosm	2.60
Tosl	4.35

下り線
U型擁壁



下り出発線
U型擁壁



上り線
ボックスカルバート

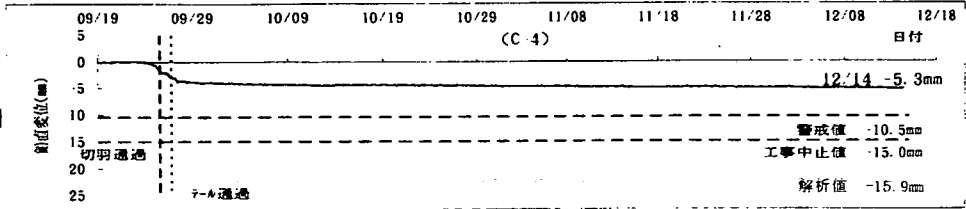


図-7 J R既設構造物変状経時変化

4-4 分析結果

J R横断部の近接施工の結果より、3つの既設構造物を比較すると、沈下量の大きな順に下り線U型擁壁、下り出発線U型擁壁、上り線ボックスカルバートとなった。

これは、

①当該箇所の地質条件（沖積粘性土）および施工条件（曲線施工）を考慮すると、シールド掘削により緩んだ周辺地山を長時間にわたって放置すると、掘削部の洪積粘性土の変位が時間進行し、上部の軟弱な沖積粘性土が塑性化して沈下の原因となる。そこで、既設構造物の横断は昼夜を連続掘進する計画としたが、シールドが下り線U型擁壁の直下で台風により21時間停止した。その影響で下り線U型擁壁の沈下量が増加したものとする。

②J R既設構造物とシールドとの交差角は、図-8に示す様に、下り線U型擁壁が45度、下り出発線U型擁壁が55度、ボックスカルバートが65度であり、下り線においては鈍角に斜断するために、通過前のシールド掘進の影響を受け、沈下量が蓄積したと考えられる。

③U型擁壁の剛性がボックスカルバートより低く、地山のの変形の影響を受けやすいものとする。

また、試験計測の結果より、解析に用いる解放率を逆算すると4%となったが、本計測では表-5に示す通りそれを大きく上回り、最大で29%、最小でも10%となった。

これは、

④解析時の地盤の層厚の想定は、掘進箇所と約30m離れていた地質調査結果を用いたため、想定よりも厚く軟弱粘性土が堆積しており圧密沈下が大きくなった可能性がある。また、解析上の変形係数として、既設構造物下のケミコパイル（地盤改良）の強度を評価し用いたが、その評価が現地盤と合っていない可能性がある。

⑤今回の急曲線施工では、直線施工時よりも掘削体積が1リング当たり0.21m³大きく、テールボイド量がカーブ内側で最大70mm大きくなることから、地山にこの分の変形を許すこととなったと考える。

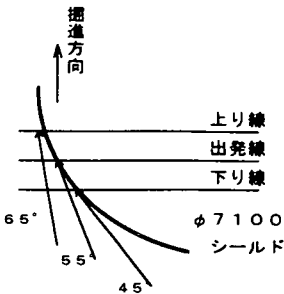


図-8 斜断角度図

表-5 解放率

項目	解析値 δ (mm)	実測値(最大) (mm)	実測値から推定 した応力解放率
鉛直変位	18.0	2.9	3%
傾斜量	—	0.0	—
目開き量	7.4	0.8	—

5. 共同溝横断部の近接施工

J R横断部の近接施工の結果より、共同溝への影響検討の掘削解放率を設定して解析を行い、共同溝横断を施工することとした。

5-1 解析結果

J R横断部と共同溝横断部との施工条件の違いは下記のとおりである。

- ①J R部は曲線施工であったのに対し、共同溝部は直線施工である。
- ②シールド上端の地層がJ R部は沖積層であるのに対し、共同溝部は洪積層である。
- ③構造物とシールドとの交差がJ R部は鈍角であったのに対し、共同溝部は直角である。

以上の条件から影響検討の応力解放率を共同溝部では20%に設定し、FEM解析を行った。その結果、共同溝の沈下量は18.0mmとなった。

5-2 計測結果

共同溝の構造はRCボックスカルバートであり、シールドはその直下を約4mの離隔で通過する。共同溝内には、沈下計4箇所、傾斜計2箇所、継目計2箇所設置して構造物の変状を計測した。トンネル掘進位置

シールド通過断面図を図-9に示す。

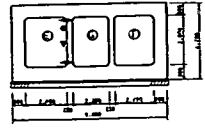
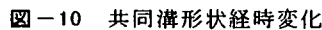


表-6 解放率

項目	解析値 δ (mm)	実測値 (最大) (mm)	差 (mm)	実測値から推定 した耐力係数
鉛直変位	18.0	2.9	15.1	3 %
傾斜量	—	0.0	—	—
目開き量	7.4	0.8	6.6	—



J R 横断部、共同溝横断部の近接施工について成果をまとめる。

- ・沖積層と洪積層では影響の大きさに違いがあり、地質特性を考慮した解放率の設定が必要である。
- ・曲線横断と直線横断では、影響の大きさに違いがあり、解放率を区別して設定する必要がある。
- ・曲線施工時の余堀量を考慮して解放率を設定する。

- ・沖積層での構造物直下の掘進時における長時間の作業休止は、既設構造物へ影響を及ぼすことがあるため、横断時の掘進は連続施工することが重要である。
- ・沖積層では洪積層に比べ、後続沈下期間が長くなるため、計測管理計画を立案するときは十分考慮する。