

Ⅲ-B170 シールドトンネル掘削時の地盤変形解析に関する一考察

(株)熊谷組 正会員 野口利雄*

(財)鉄道総合技術研究所 フェロー会員 垂水尚志**

1. はじめに

最近のシールド工法は、切羽の安定管理や掘削土量管理、裏込め注入管理技術が大幅に向上し、それに反比例して周辺の地盤に与える影響は減少しているが、若干の地盤変形が生ずる施工例が多いのが現状である。今回の報告では、実際のシールドトンネル掘削時に計測された地盤変位の結果と解析値とを対比させ、本解析に用いた弾塑性有限要素法は、掘削解放力を100%作用させた条件下で実用的に十分な精度で地盤変位を予測できることを示す。

2. 有限要素法による数値解析

本報告では現在までに著者等が行った、落とし戸実験についての基礎的検討に用いた手法を採用する。解析の概要を以下に示す。掘削解放率は考慮せず、掘削解放力を100%作用させる。

非線形解析法：修正ニュートン・ラブソン法

弾塑性構成モデル：F（降伏関数）≠Q（塑性ポテンシャル関数）の非関連流れ則

降伏関数：モール・クーロン

塑性ポテンシャル関数：ドラッカー・ブラガー

地盤の応力レベルにおけるせん断弾性係数 G の算定

$$\text{法：} G = G_0 \frac{(2.17-e)^2}{(1+e)} \sqrt{\sigma_m}$$

ここに、e=間隙比、G₀=初期せん断弾性係数である。

3. 地盤挙動計測結果と数値解析結果

(1) 計測現場の概要

表-1 に3現場の工事概要を、表-2 に材料定数の諸元を示す。

(2) 計測項目と計測方法

3件の現場での計測値を使用した。各現場とも地表面の沈下はレベル測量、地中の変位は層別沈下計により計測されている。計測結果はシールド切羽が層別沈下計設置断面から、A、B、Cシールドでのおおの120m、50m、58m離れたときのものである。

表-1 計測現場の工事概要

工事件名	A	B	C
シールド形式	泥水式	土圧式 (泥土圧)	土圧式 (泥土圧)
掘削外径(m)	10.00	7.75	8.66
土質	主としてシルト混じり砂	砂礫、粘土	砂礫、固結シルト
土被り(m)	30.2	26.5	13.8
地下水位 GL-(m)	23.3	4.0	4.4
泥水圧(MPa)	0.32	---	---
裏込め注入圧 (MPa)	---	0.34	0.32
裏込め注入方式	即時(セグメントから)	即時(セグメントから)	同時(シールド機から)

表-2 材料定数の諸元

件名	層	土質	E (MPa)	ν	c (MPa)	φ (°)	ψ (°)	e ₀	γ (kN/m ³)
A	1	C	3.9	0.45	0.02	10	0	2.0	0.14
	2	S	49.0	0.30	0.01	35	2	0.5	0.17
	3	S	68.6	0.30	0.01	35	2	0.5	0.19
	4	C	29.4	0.45	0.14	10	0	2.0	0.18
	5	S	98.0	0.30	0.01	35	2	0.5	0.20
B	1	C	12.3	0.45	0.03	10	0	2.0	0.16
	2	S	101.7	0.35	0.01	37	5	0.5	0.18
	3	S	74.2	0.35	0.01	34	1	0.5	0.18
C	1	C	4.1	0.45	0.02	10	0	2.0	0.16
	2	C	8.2	0.45	0.04	10	0	2.0	0.18
	3	S	122.5	0.30	0.01	39	8	0.5	0.18

C:粘性土, S:砂質土

キーワード：地中構造物、シールドトンネル、数値解析、地中変位

連絡先：* 〒162-8557 東京都新宿区津久戸町2-1 土木本部土木技術部 Tel 03-3235-8622 Fax 03-3266-8525

** 〒185-8540 東京都国分寺市光町2-8-38 基礎研究部 Tel 042-573-7490 Fax 042-573-7320

(3) 計測結果と解析結果の対比

図-1 に層別沈下計設置位置での地盤沈下の計測値とそれに伴う弾性、及び弾塑性解析値を示す。

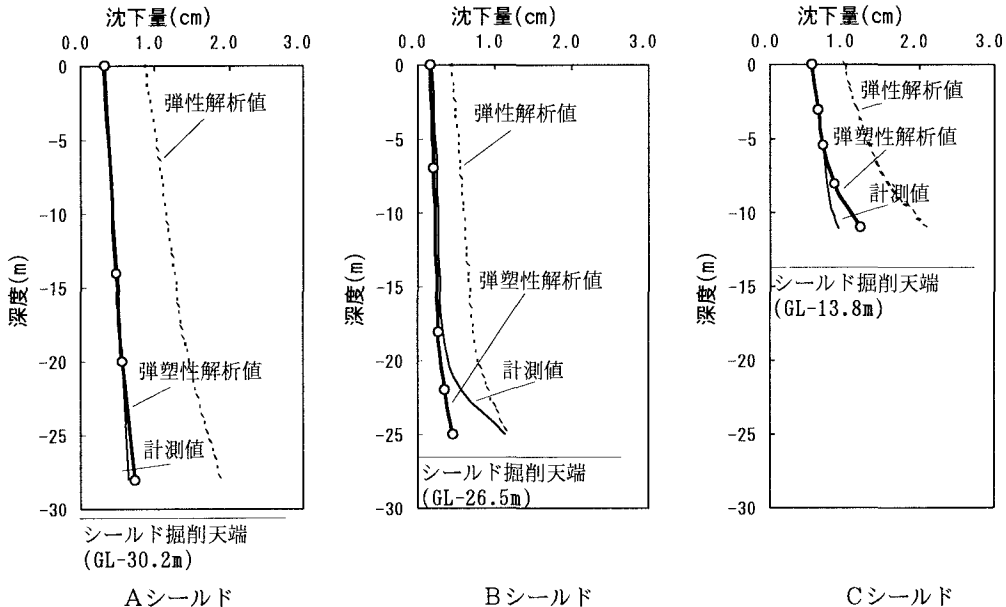


図-1 シールド掘削時の地盤沈下（計測値と解析値）

Aシールドでは計測最下端部で、計測値が0.65cm、弾塑性解析値が0.73cmであり、弾塑性解析値は全深度にわたり計測値とよく一致している。計測最下端部では各解析値は計測値を上回っている。地表面では計測値が0.40cm、弾塑性解析値が0.33cm、弾性解析値が0.90cmである。

Bシールドでは計測最下端部で、計測値が1.15cm、弾塑性解析値が0.46cmと、弾塑性解析値は計測値の1/2以下であるが、それ以浅の区間、特にGL0.0m～GL-18.0mではAシールドと同様によく一致している。地表面では計測値が0.18cm、弾塑性解析値が0.16cmである。

Cシールドでは計測最下端部で、計測値が0.92cm、弾塑性解析値が1.21cmとやや差があるが、それ以浅の区間ではGL0.0m～GL-8.0mで弾塑性解析値は計測値とほぼ一致する。地表面では計測値が0.56cm、弾塑性解析値が0.55cmである。弾性解析値はほぼ全深度にわたり沈下量を過大に評価している。

4. おわりに

このようにシールド掘削時の地盤変位を予測する影響解析には、今回提案した有限要素法弾塑性解析が有効であることを示した。今後は基礎的な実験・解析に加え、シールドトンネル掘削時の地盤挙動計測結果に対する検討を追加して、研究を進めていきたいと考えている。

<参考文献>

- 1) 中山 隆, 中村信義, 中島 信: 泥水式シールド掘進に伴う硬質地盤の変形解析について, 土木学会論文集 NO.397/VI-9, pp.133-141, 1988.9
- 2) 田中忠次: 剪断帯を伴うひずみ軟化構成モデルと有限要素法による地盤の支持力解析, 農業土木学会論文集第154号, pp.83-88, 1991.
- 3) 野口利雄, 垂水尚志: 砂地盤中のトンネル掘削に伴う荷重の再配分に関する基礎的研究, 土木学会論文集 NO.534/VI-30, pp.77-85, 1996.3