

東急建設(株) 技術本部 土木技術部 正会員 酒井 邦登 ○正会員 田中 卓也
 東急建設(株) 施工本部 土木設計部 正会員 満尾 淳

1. はじめに

シールドトンネルの掘削に伴う周辺地盤の挙動を解析するため、これまで多くの理論的研究や実測に基づいた統計的アプローチがなされ、特に最近では、有限要素法解析(FEM)により解析することが多くなっている。特に、地表面沈下については、過去の数多くの現場計測に基づいたキャリブレーションから、現象を定量的に捉えられるようになってきたが、水平・鉛直の両方向の地盤挙動に関しては、定量的な予測手法が確立されたとは言い難い。これは、FEMを用いたシールド掘削問題のモデル化にあたって、本来、地盤が有する異方的な性状を綿密に解析に反映していないことに起因するものと考えられる。

そこで、本研究では、地盤の土質調査試験結果から、忠実に地盤の変形係数に関する積層異方性を評価し、掘削に伴う周辺地盤の挙動を解析的に評価できることを確認したので、報告するものである。

2. 解析手法

地盤材料の異方性は塑性状態だけでなく、弾性状態でも発現することが知られている。特に、堆積過程で形成された異方性は、積層異方性(図-1参照)として考慮することが望ましい。積層異方性を考慮した弾性有限要素解析を実施するには、式(1)に示す線形の積層異方性材料の構成式が必要となる。

$$\begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \varepsilon_z \\ \gamma_{xy} \\ \gamma_{yz} \\ \gamma_{zx} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{E_1} & \frac{\nu_2}{E_2} & -\frac{\nu_1}{E_1} & 0 & 0 & 0 \\ \frac{\nu_2}{E_2} & \frac{1}{E_2} & -\frac{\nu_2}{E_2} & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{\nu_1}{E_1} & -\frac{\nu_2}{E_2} & \frac{1}{E_1} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_1} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_1} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_2} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \sigma_z \\ \tau_{xy} \\ \tau_{yz} \\ \tau_{zx} \end{Bmatrix} \quad \dots\dots\dots (1)$$

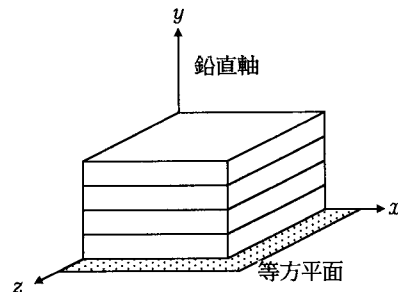


図-1 積層材料概念図

ここで、 E_1 :等方平面(xz 平面)内のあらゆる方向の変形係数、 E_2 :等方平面に直交した y 方向の変形係数($E_1 \cdot \nu_2 = E_2 \cdot \nu_1$)、 ν_1 :等方平面のポアソン比、 ν_2 :等方平面に直交した y 方向のポアソン比、 G_1, G_2 :各々等方平面に平行あるいは直交方向のせん断弾性係数である。

3. 有限要素解析

(1) シールド工事に伴う地盤挙動

解析手法の妥当性を検証するため、実際のシールド工事(横浜市)における周辺地盤の挙動を解析する。シールド機の掘進に伴う地表面沈下には、さまざまな要因による沈下があることが知られている。本研究で対象とする沈下はテールボイドに起因するもので、解析結果との比較・検討にあたっては、測定点直下のテール通過時とその1日後における挙動の差をテールボイドに起因するものとして扱った(図-2)。

シールド機は土圧タイプで、掘削外径3080mm、機長4990mm、セグメント外径2950mmであった。周辺には、重要構造物が近接していたことから、地表面の沈下だけでなく、地盤内の地中変位も測定した。

(2) 積層異方性の評価

地盤は、表層から薄い沖積粘性土層、その下には沖積シルト層が厚く堆積している。沖積粘性土層については一軸圧縮試験から鉛直方向の変形係数、沖積シルト層については三軸圧縮試験(UU)から鉛直方向の

変形係数が設定されている。両地盤の変形係数に関する異方性は、静止土圧係数と鉛直・水平の変形係数比から、諸戸の方法($K_0=E_v/E_h$)により求めた。また、両地盤の静止土圧係数は、塑性指数をもとに古藤田の式($K_0=\sqrt{0.008 \cdot I_p+0.1}$)を用いて設定した。

(3) 解析結果

比較・検討にあたっては、異方性を考慮しない等方性の場合と異方性を考慮した場合との2ケースについて解析した。図-3に解析結果および実測値を示す。

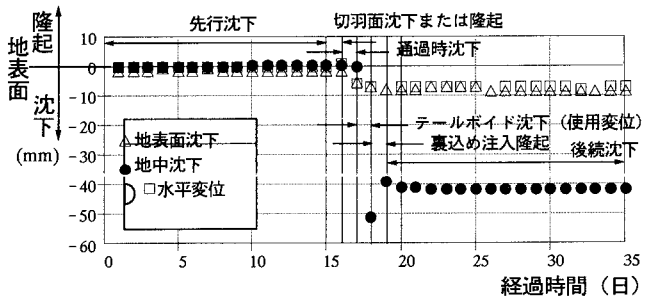


図-2 地盤挙動の経時変化計測結果例

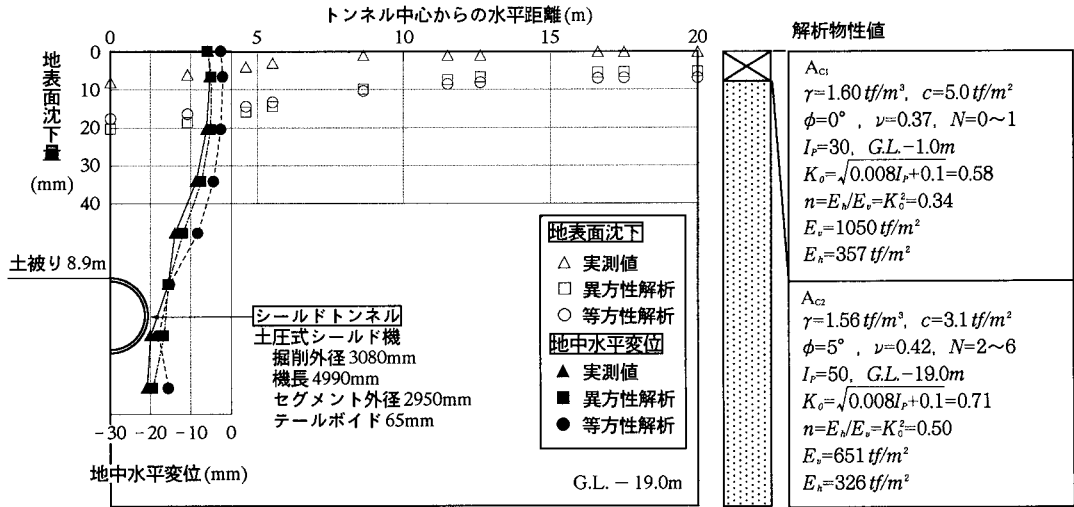


図-3 解析結果と実測値の比較

地表面沈下はトンネル直上で実測値が8mmに対して、異方性解析では20mm、等方性解析では18mmとなり、全ての解析値は実測値よりも大きく評価されるが、異方性解析の方がトンネル直上の局所的な沈下を含む変位モードを表現している。また、解析値より実測値が小さいのは、路面舗装の剛性に起因するものと考えられる。トンネル側部の水平変位は実測値が20mmであるのに対し、異方性解析、等方性解析ともほぼ等しいが、変位モードは異方性解析の方がより実測値に近い。解析結果より、異方性解析は水平・鉛直の地盤挙動を変位モードも含めて評価することができ、異方性解析の妥当性が確認できた。

4. おわりに

本研究では、シールド工事において異方性を有する周辺地盤の変形を精度良く解析することを目的として、積層異方性を考慮したFEM解析手法の妥当性を現場計測結果をもとに検証した。その結果、積層異方性を地質調査試験結果をもとに忠実に評価すれば、精度良く解析できることが分かった。今後、数多くの計測結果を再整理することで、土質条件、施工条件に対する解析手法の適用性を確認する予定である。

【参考文献】

- 1) 岡・中井: 地盤の異方性－異方性を考慮した構成式(粘土の場合), 土と基礎, Vol. 41-10, 1993. 10
- 2) 諸戸靖史: 過圧密粘土地盤の静止土圧係数, 土と基礎, Vol. 33-3, 1985. 3
- 3) 古藤田・青木・新海: 土質による側圧係数値の分類, 第10回土質工学研究発表会, 1975
- 4) 永田・森・有蘭・酒井: 偏土圧を受ける2重締切土留め工の計測結果およびその挙動解析, 土木学会論文集, No.436/Ⅲ-16, 1991.9