

基礎地盤コンサルタンツ(株) 安達 健司

〃 阪上 最一

〃 登 悦男

はじめに

シールド掘進後の後続応力下は、シールド通過時に地盤内に発生した過剰間ゲキ水圧が消散する、いわゆる圧密過程なので、Biotの圧密方程式を解くことにより求めることができる。しかし、この際用いる応力～ひずみ関係、すなわち土の力学モデルは、研究的分野又は解析技術に限って言えば、より精緻なものをを用いるべきであるが、実際の工費調査の実務では土質調査試験や試験内容、さらには精度、比較検証する計測結果の信頼性などの要因を考慮し、総合的に判断し決定しなければ経済的、かつ合理的な解析は行なえない。例えば、地盤を弾性体でモデル化すれば、必要は地盤の変形係数はヤング率E、ポアソン比νであり、これらは圧密試験で得られた m_v やプレジオメータ試験で得られた k_0 値から次式によって計算される。

$$E = \frac{1-\nu}{1-\nu-2\nu^2} \cdot \frac{1}{m_v} \quad \dots (1) \quad \nu = \frac{k_0}{1+k_0} \quad \dots (2)$$

又、弾塑性体(CAM-CLAYモデル)でモデル化すれば、三軸 C_u 試験から C' 、 ϕ' の強度定数や、また C_u 試験、圧密試験から λ 、 K の変形定数を決定する必要である。

このように土の力学モデルの決定には土質試験内容が密接に関係しており、土質調査や試験から一意的に力学モデルが決まってしまうことがあるが、土の力学モデルの差異による解析結果の特徴を知らなければ解析結果に対する適切な解釈をすることができない。そこで本研究では、CAM-CLAYモデルを用い、正規圧密、過圧密地盤のシールド掘進後の後続応力下の計算をF、E、Mで行ない、それぞれ地盤が弾塑性体、弾性体とした場合の解析結果の特徴について考察し、検討してみた。

1. CAM-CLAYモデル

土の力学モデルは、図-1に示すような修正CAM-CLAYモデルで、破壊後の降伏曲面を次式で定義し、せん断破壊すれば、せん断応力比 q に対して土が抵抗しなくなることを表現した。

$$df = \alpha \frac{2\gamma}{M^2} d\gamma (P' + P_r) + (1 + \frac{\gamma^2}{M^2}) dP' \quad \dots (3)$$

ここに f は降伏関数、 M は破壊応力比 $[M = 6 \sin \phi' / (3 - \sin \phi')]$ 、 γ は応力比 $\gamma = q / (P' + P_r)$ 、 q は偏差応力、 P' は平均主応力、 $P_r = C' \cot \phi'$ 、 α はせん断破壊前 1.0 、破壊後 0.0001 としている。

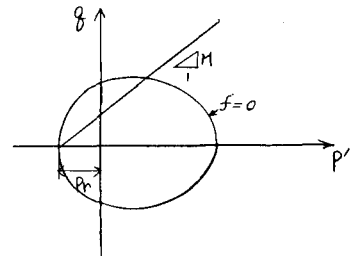


図-1. 修正CAM-CLAYモデル

2. 解析モデルおよび解析条件

解析モデルを図-2に示す。シールドトンネルの径は直径4mで、位置は中心線がG.L.-23mの箇所である。そしてG.L.-6.5mに地下水位、モデル底部の下方、G.L.-35m以降には砂レキ層があり、これらの水理境界を通して排水される。解析に用いた地盤定数は次の通りである。

初期間隙比 $e_0 = 1.3$ 、変形定数 $\lambda = 0.25$ 、 $K = 0.03$ 、 $\nu = 0.4$ 、強度定数 $C' = 0.2$ 、 $\phi' = 30^\circ$ 、透水係数 $k = 10^{-7} \text{ m/sec}$ 。

これらは典型的な軟弱地盤の定数である。なお、トンネルセグメントはコンクリートの定数とした。そして、解析は次の通りとした。(P'は

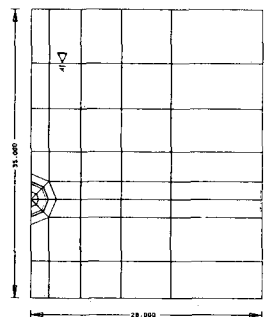


図-2. 解析モデル

先行圧密荷重)

ケースA… 正地圧密状態($p_p = 1.0 \text{ t/cm}^2$)とし、弾塑性体のモデル化

ケースB… 過地圧密状態($p_p = 3.00 \text{ t/cm}^2$)とし、弾性体のモデル化

また、図-3に初期地盤の過剰間隙水圧分布を示す。シールド掘進後での計測結果から水圧分布は、トンネル周囲で高い水圧を有する分布とした。

3. 解析結果および考察、検討

図-4、5にケースA、B、それぞれの圧密開始時より約1年経過した時点での地盤の変位を示す。また、図-6、7に圧密開始より約1日経過した時点でのケースA、B、それぞれの過剰間隙水圧分布を示す。図-4、5より、地盤内変位および地表面沈下量とも塑性ひずみ成分の分だけケースAの方がケースBより、はるかに大きいことがわかる。さらに地盤内鉛直変位は前者の方が後者より、シールド中心にむかうについて極端に大きくなっている様子もわかる。又、図-6、7より過剰間隙水圧分布は、水位線とモデル底面を反映して、トンネル周囲に近くなる程高く、排水層に近くなる程低いシールドを中心とした同心円状のコンタラインとなるが、明らかにケースAの方がケースBより水圧の消散が遅くなっている。これは、正地圧密と過地圧密状態では前者が後者より m_v が小さく、前者の方が圧密係数 C_v が大きくなるためである。

$$C_v = k / (\rho_w \cdot m_v) \quad \dots (4)$$

ここに ρ_w は水の単体重量である。

また、水圧分布のパターンは、ケースAでは地盤の塑性化がセグメント周囲および排水距離の短いシールド中心を通る鉛直線付近で大きいため、上下両排水層にコンタラインがはばらけるような形になっている。最後に、図-8に、A、B両ケースのトンネル直上の地表面の沈下量 u -時刻 t 関係図を整理した図を示す。

以上から、地盤を弾性、弾塑性でモデル化した場合の解析結果は、塑性化の領域に違いがあることが明らかとなった。今後、計測結果と対比し先行の土質調査の精度と適合する力学モデルのあり方の検討を進めてゆきたいと考えている。

最後に、東京電力㈱送変電建設本部の御依頼により開発したプログラム'SHIELD-II'を用いて計算した。よってここに感謝の意を表します。

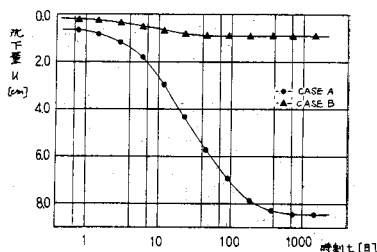


図-8. 沈下量 u -時刻 t 関係

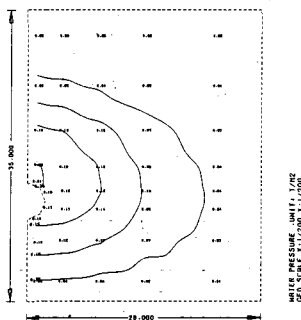


図-7. ケースB 約1日経過後の過剰間隙水圧分布

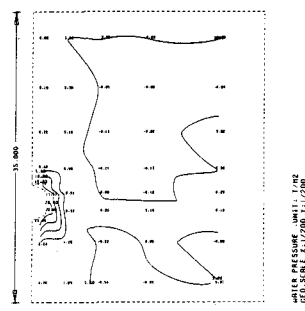


図-3. 初期過剰間隙水圧分布

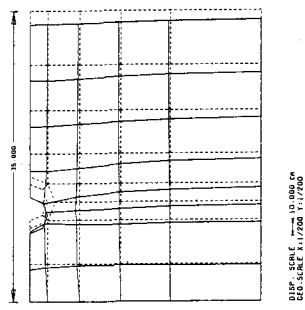


図-4. ケースA (変形)

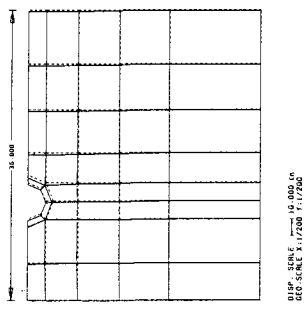


図-5. ケースB (変形)

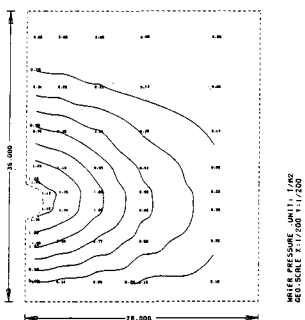


図-6. ケースA