

(株) 熊谷組 技術研究所 正員 ・野口 利雄

〃 〃 正員 山口 正記

〃 大阪支店 正員 秦 登志夫

1. はじめに

従来、シールドトンネル掘進に伴う地表面沈下の解析にはFEM弾性解析が多用されている。しかし地盤を弾性体とみなすこの解法には種々の問題点があり、弾塑性、粘弾性解析が主流となってきたがこれらの解法にしても実際に使用するに際しては、土質定数を正確に評価しないと解析結果が実測値と合致しないのが現状である。とうに実際施工時には、余掘、裏込注入、セグメント組立精度、等計算には盛り込むべき要素が多く、これまでの経験ではこれら施工に起因する地表面沈下が全沈下量の相当部分を占めていることがわかっている。そこで解法としては最も簡便な弾性解を使用し、その結果に計算上の仮定による要因、および施工上の要因を重ね合わせるパラメトリックスタディーを行なった。この研究の最終的な目的は、シールドトンネルの土被り、トンネル径、地盤の弾性係数、等をパラメーターとして、地表面沈下量をこれらの関数で表わし、簡便な方法で計算を可能にすることである。

2. 解析手順

シールドトンネル掘進時に発生する解析上の地表面沈下量は、シールドの土被りH、トンネル径D、周辺地山定数(E, γ, ν)等のパラメーターにより決定する。そこで沈下に影響を与える因子と沈下量との関係を解明すればある関係式が導かれることになり、以後地表面沈下量の算出が可能になる。

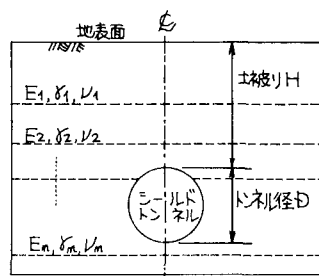


図-1. 一般解析モデル図

3. 解析モデル

以上のパラメトリックスタディーを行なうに際し、各解析ケースの比較検討を容易にする意味で解析モデルの統一を計った。

3-1. 解析モデル範囲

モデルはトンネルが左右対称のため半断面のみを考え、シールドセンターからモデル端部までの距離はトンネル径Dの6倍(6D)、シールド下端からモデル底面まではトンネル径Dをとる。なお土被りHは任意に変化させる。

3-2. 土質定数の統一

土質定数についても可能な限り統一を行ない、沈下に対する影響の少ない変数についてはその変化を無視し固定する。

- ・土の密度 γ (kg/m^3)：普通粘性土、砂質土で異なるが、ここでは一定値 $1800 \text{ kg}/\text{m}^3$ を採用する。
- ・ポアソン比 ν (ϕ)：沈下への影響は少ないため一定値 0.35 を採用する。
- ・弾性係数 E (MPa)：我国におけるシールドトンネルの施工された、または施工されるであろう地盤の弾性係数は $4.9 \sim 34.3 \text{ MPa}$ である。そこで代表的な弾性係数として $4.9, 14.7, 24.5, 34.3 \text{ MPa}$ を採用する。

4. 単層地盤の解析

弾性係数が均一である理想的な単層地盤について各土質定数を変化させ、沈下量との関係を調べた。

4-1. 弾性係数の変化

土被り—シールド径比 H/D の各場合 (0.5~2.0) について弾性係数を変化させ、沈下量との関係を調べたものが図-2である。このことより地表面沈下量 δ は弾性係数に反比例し次式で表わせる。

$$\delta = C/E \quad \text{----- (1)}$$

C は H, D により決定する定数であり、 H/D が 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 のときにそれぞれ 503, 608, 669, 712 である。 ($D = 700 \text{ cm}$)

4-2. モデル面積の変化

沈下量とトンネル径 D との関係を調べると、沈下量はトンネル径 D の2乗、すなわちモデル面積に比例し、相似則が適用できる。トンネル径以外の条件がすべて等しい場合次式が成り立つ。

$$\delta = (D/D_0)^2 \cdot \delta_0 \quad \text{----- (2)}$$

ここに、 D_0 : 基本タイプのトンネル径、 δ_0 : 基本タイプの沈下量である。

4-3. H/D の変化

各弾性係数の H/D と地表面最大沈下量の関係を図-3に示す。沈下量 δ は、 H/D の自然対数で表現でき、弾性係数に反比例するため次式を得た。

$$\delta = \frac{1}{E_0} \{ A \ln(H/D) + B \} \quad \text{----- (3)}$$

ここで A, B は定数であってそれぞれ 150, 608 であり、 E_0 は換算弾性係数である。

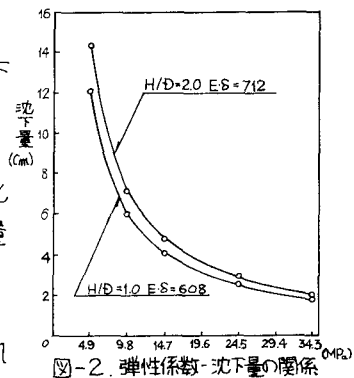


図-2. 弾性係数-沈下量の関係

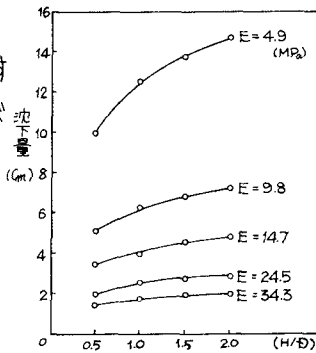


図-3. H/D -沈下量の関係

5. 2層地盤の解析

実際の地盤は弾性係数は均一とは限らず、種々の特性を持つ互層として存在するが、多層地盤を唯一の弾性係数を持つ均一地盤とみなす事が可能であれば (3) 式を用い沈下量は算定できる。

5-1. 弾性係数の変化

シールド天端ラインを境界とした2層地盤の弾性係数の単層地盤への換算について次式が得られた。

$$E_0 = \frac{H}{(E_1/E_2)^m \frac{h_1}{E_1} + \frac{h_2}{E_2}} \quad \text{----- (4)} \quad \left(\begin{array}{l} \text{ここで } m = 0.4354, h_1, h_2 \text{ それぞれ上, 下部の層厚} \\ E_1, E_2 \text{ " 弾性係数} \end{array} \right)$$

(4) 式において換算弾性係数は H/D に無関係に E_1, E_2 だけから推測される。そこで (4) 式に $h_1/h_2 = 2.0$ を代入すると

$$E_0 = \frac{3}{(E_1/E_2)^m \frac{2}{E_1} + \frac{1}{E_2}} \quad \text{----- (5)}$$

(5) 式が成り立ち、(3) 式に (2), (5) 式を代入すると (6) 式となり、この式により2層地盤の沈下量算出が可能となる。(図-4)

$$\delta = \frac{1}{3} \left(\frac{D}{D_0} \right)^2 \left\{ \left(\frac{E_1}{E_2} \right)^m \frac{2}{E_1} + \frac{1}{E_2} \right\} \{ 150 \ln(H/D) + 608 \} \quad \text{----- (6)}$$

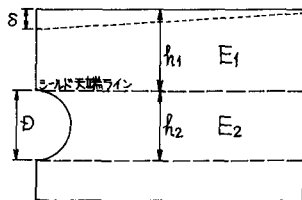


図-4. 2層地盤モデル図

6. まとめ

(6) の簡便式による値は、FEM解析値に対し誤差は10%以内である。今後はより複雑な多層地盤について追跡研究を行なう予定である。