

III-698

シールドトンネルの掘削にともなう地盤変状解析に関する一考察

建設省土木研究所 正 角湯 克典
 " 正 猪熊 明
 日産建設（株） 中出 睦

1. はじめに

都市部でのシールドトンネル工事は、地中構造物の輻輳化のため近接施工で行われる事例が増えており、周辺構造物や既設埋設物への影響やその対応が問題となってきた。特に地表面沈下の発生は重要な問題の一つであり、これを事前に予測するため有限要素法などの様々な解析が試みられている。

本研究では、シールドトンネルの掘削時に伴う応力解放による地表面沈下を対象とし、有限要素法で解析する際にどのように初期地山応力および掘削相当外力を設定するのが良いか検討を行った。

2. 解析手法

ここでは、近年シールド工事の主力である密閉型シールドを対象としそのテールボイドに着目して裏込め材注入直後（ステップ1）と裏込め材硬化後（ステップ2）の状態をモデル化しステップ解析を行った。

解析領域は図-1に示すようにトンネル側壁より $2H$ 、下方境界はトンネルインバートより $1D$ とし、側方境界は鉛直方向に自由で水平方向に固定とし、下方境界は水平・鉛直両方向を固定とした。また、解析モデルは線形弾性2次元平面ひずみとした¹⁾。

（ただし、 H は土被り厚、 D はトンネル外径）

解析手法としては、まず掘削相当外力の設定のために表-1の様に初期地山応力をモデル化し解析を行った。次に裏込め材注入材直後（ステップ1）のモデルでは、注入圧が地山の応力解放を抑えろと考え、便宜上トンネル天端部の地山圧力と裏込め材注入圧の差を掘削相当外力とし、これを応力解放率で与え解析した。つまり応力解放率は以下の式で与えられるものとした。

$$\alpha (\%) = \Delta P / \sigma_0 = (\sigma_0 - P_b) / \sigma_0$$

ここに、 ΔP ：掘削相当外力

P_b ：裏込め材注入圧

σ_0 ：初期地山応力

α ：応力解放率（%）

裏込め材硬化後（ステップ2）のモデルでは、後続の地表面沈下をセグメントの変形のみが起因するものとモデル化し、図-2に示すようにセグメント覆工を梁要素でモデル化し、セグメント覆工自体に覆工構造設計に用いられる荷重（表-1）を作用させて解析を行った。

本ステップ解析は、テールボイドのつぶれやセグメントの変形に起因する地表面沈下量を評価することが出来、実際の地表面沈下の発生機構をよく再現しているものと考えられる。

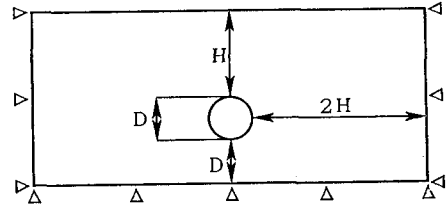


図-1 解析モデル図

表-1 初期地山応力の設定

土質	粘性土	砂質土
土被り		
$H/D \leq 1$	全土被り荷重	全土被り荷重
$1 < H/D$		Terzaghi 黏土 + 水圧

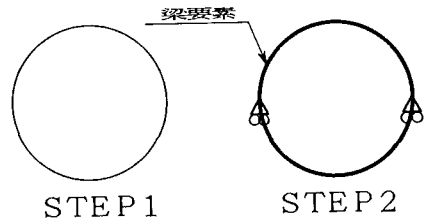


図-2 セグメント覆工モデル図

3. 解析結果

解析に用いた地山物性値を表-2に解析ケースを表-3に示す。図-3に裏込め材注入直後（ステップ1）のトンネル直上の地表面沈下量と施工実績との比較を示す。解析結果より、土被りが大きくな

表-2 解析に用いた地山物性値

		砂質土モデル	粘性土モデル
地山物性値	湿潤密度	$\rho = 1.90(\text{g/cm}^3)$	
	粘着力	$c = 0.00(\text{KPa})$	$c = 98(\text{KPa})$
	内部摩擦角	$\phi = 30.0(\text{deg})$	$\phi = 0.00(\text{deg})$
	変形係数	$E_{50} = 98(\text{MPa})$	
	ポアソン比	$\nu = 0.30$	$\nu = 0.48$
	側圧係数	$K = 0.76$	$K = 1.0$

表-3 解析ケース一覧

パ ラ メ ー タ			ケース数
トンネル断面	掘削外径 D	10.0 m	1 ケース
	セグメント径 φ	9.8 m	
土被り比 H / D		1, 2, 3, 5, 8	5 ケース
地山物性値		(表 - 2 参照)	2 ケース
裏込め注入圧 p b		△ p = 0.02, 0.06, 0.12 MPa	3 ケース
裏込め材変形係数 E b		98.0 MPa	1 ケース
セグメント剛性		I = 0.018 m ⁴ , E c = 34300 MPa	1 ケース
合 計			30 ケース

に見て裏込め材注入直後（ステップ1）の解析結果と実測値はおおむね整合していることがわかる。

次に図-4に裏込め材注入直後（ステップ1）の解析結果に裏込め材硬化後（ステップ2）の解析結果を加えたものである。解析結果から、掘削相当外力が0.12MPaのときトンネル中心直上の地表面沈下量と施工実績の上限値が整合することがわかる。またとくに砂質土の裏込め材硬化後（ステップ2）の地表面沈下量が裏込め材注入直後（ステップ1）の地表面沈下量に比較して大きくなっていることが図-3, 4よりわかる。この理由として、粘性土の場合は側圧係数が大きいためセグメント側方の力が大きくなりセグメントを横長に変形するのを抑えているのに対し、砂質土の場合は、側圧係数が小さいためセグメントを横長に変形するのを抑えられないためだと考えられる。最後に以上より本ステップ解析が地表面沈下量を予測する解析手法として有効であることが確認された。

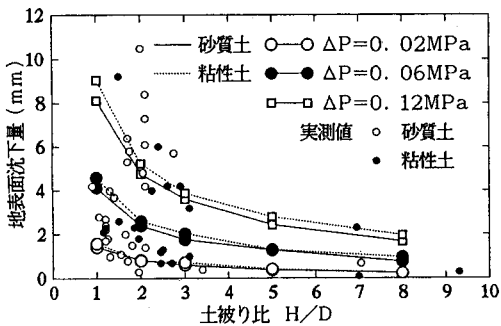


図-3 トンネル直上の地表面沈下量計算値 (Step1)

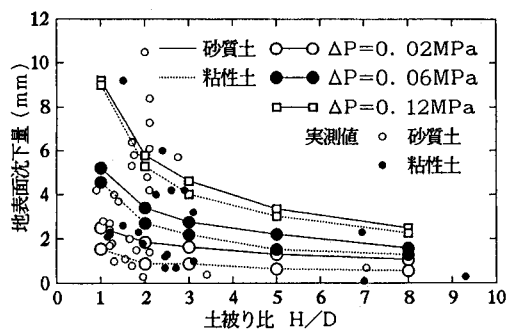


図-4 トンネル直上の地表面沈下量計算値 (Step1+2)

参考文献 1) 角湯克典・猪熊 明・山村浩介：未固結含水地山トンネルにおける地盤変状予測に関する研究、トンネル工学研究発表会論文報告集、Vol. 1. 1991