

## トンネル掘削に伴う地山挙動の予測手法に関する研究

三井物産スティールトレード 正会員 ○藤原多聞  
 施工技術総合研究所 正会員 鈴木健之  
 首都大学東京 正会員 土門 剛  
 首都大学東京 正会員 西村和夫

### 1. 研究目的

都市部の低土被り低強度の地山にトンネルを掘削する際に問題となるのが地表面沈下などの変位である。最近は、有限要素法解析が容易に行えるようになっていて、下方および側方領域の広さの地表面沈下に及ぼす影響が大きく、いくつかの研究も行われているがその取り扱いが難しい<sup>1), 2)</sup>。また、現場の実績から解析領域の広さに対する提案は行われているが、まだ参考値的な扱いに止まっている。

一方、浅いトンネルの理論解析解として、Jeffery もしくは Limanov の式と呼ばれる近似解がある。この解析解は誘導が難しく、また式の展開にあたっていくつかの仮定を導入していることから、いくつかの問題点も指摘されている<sup>3)</sup>が、極めて簡便に変位計算ができることから、目安としてよく用いられている。

本研究では、簡便で使いやすい Limanov の式の有用性に鑑み、解析解の向上を目的として、その第一段階として、Limanov の式の誘導課程における仮定の解に対する影響評価を非重力場における有限要素法を用いて行った。Limanov の式は重ね合わせができる応力関数から誘導されている弾性解であることから、補正項を組み合わせることにより、問題点の改善は可能であると考える。

### 2. Limanov 式の概要

Limanov の式は完全弾性体の半無限体内での円孔周りの応力解から地下浅所の地盤変位を算出する理論式であり、以下の4項目を仮定条件としている。

- a) 地表面無限遠方での鉛直方向の剛体変位を0として式を誘導した。
- b) 掘削部の土塊重量の除去による土圧差の影響を考慮しない。
- c) 掘削壁面に $\gamma h_0$ の内圧を載荷させ、掘削を模擬する。
- d) 重力による物体力ポテンシャルは考えない。

### 3. 研究手法

Limanov の解は2.で述べた仮定条件を含有するため、実地盤挙動に副わない。そこで、この式を改良するには仮定条件が解に与える影響を理解する必要があるが、Limanov の解は双極座標による式の展開であるため、簡易に仮定条件の影響の把握は困難である。したがって、問題把握は仮定条件を解析でモデル化し、Limanov の解を再現することで把握する。すなわち、Limanov の解の仮定条件を整理し、並行して FEM によって全く同じ境界条件（非重力場といいくつかの仮定条件）で変位を算出し、両者の対比から理論解析解の改良に必要な項目を検討する（図2）。

但し、FEM は解析領域幅に変位量が依存し、解の唯一性が保たれない問題や、実地盤挙動を厳密にフォローするための構成則が必要となるので、この点を解析プログラムに組込むための基礎的検討を行った。

キーワード（地山挙動 地表面沈下 沈下予測 Limanov）

連絡先（東京都八王子市南大沢1-1 首都大学東京 都市環境学部 都市基盤環境コース TEL 0426-77-2785）

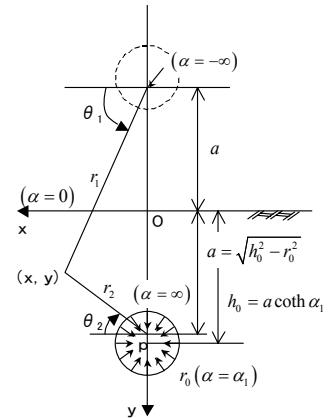


図1 Limanov 近似式の模式図

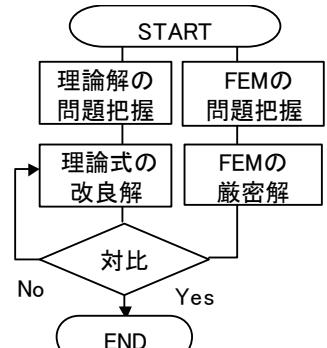


図2 研究フローチャート

表1 検証ケース

		解析ケース		
		非重力場	掘削解析	
仮定条件	I	II	III	
	a)			
	b)	●	●	●
	c)	●		●
	d)	●		

#### 4. 理論解の問題把握

##### 4.1 検証ケース

表1に示す3ケースで仮定条件の有無が地盤変位に与える影響を調べると共に Limanov の解を再現するモデル化を検討する。

##### 4.2 モデル化手法

###### <解析ケース I>

解析ケース I では非重力場で図3より掘削壁面に一様に掘削を模擬する引張内圧  $P = \gamma h_0$  を与える。

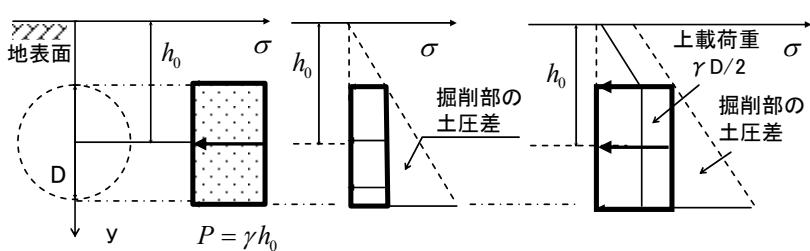


図3 解析ケース I

図4 解析ケース II

図5 解析ケース III

###### <解析ケース IIとIII>

解析ケース II と III では自重から地盤内に初期応力場を形成し、掘削で生じる変位量から初期変位を引き、掘削解析を行う。このとき解析ケース II は条件 b)のみで、解析ケース III は上載荷重を与えてトンネル壁面での応力を条件 c) の  $\gamma h_0$  にする(図4, 図5)。

##### 4.3 検証結果

条件 b), c) を含むケース I, III で地表面沈下量の変位分布を比較する(図6)。横軸はトンネル中心軸からの距離をトンネル直径で除し、縦軸は変位量  $u$  を単位体積重量  $\gamma$ 、トンネル径  $D$ 、弾性係数  $E$  を用いて無次元化した値を用いている。

この結果、トンネル中心軸から  $x/D=3$  以内では、解析ケース III は完全に Limanov の解に一致することが判明し、一方ケース I は  $x/D=2$  まで理論解と 5% の誤差を有し、端部で誤差が理論解に近づく傾向を見せた。

この結果ケース III より、Limanov の近似解は自重による地盤内の初期応力場から掘削土塊重量を無視し、上載荷重をトンネル半径分の土圧だけ加えることで再現できることが判った。

次にケース II, III の差から上載荷重の有無による  $x/D=0$  の地表面沈下量の差は -1.5 になり、理論式の誘導中に用いられる地盤の鉛直剛体変位(隆起)にほぼ一致する。よって上載荷重が剛体変位抑制の役目になり、仮定条件 a) を包含する可能性が推測できる。

#### 5. まとめ

Limanov の理論解の仮定条件を含む解析解は図8により再現できることが判った。今後、以上の結果と照らし合わせることで、Limanov の解の改良が行えるものと考える。

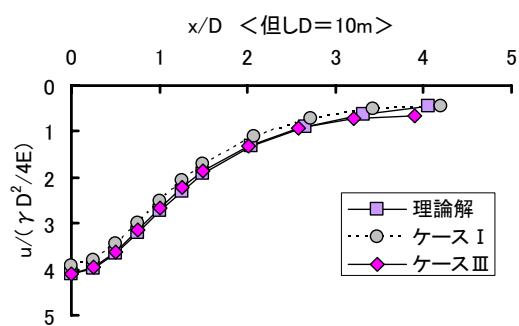


図6 地表面沈下の分布曲線

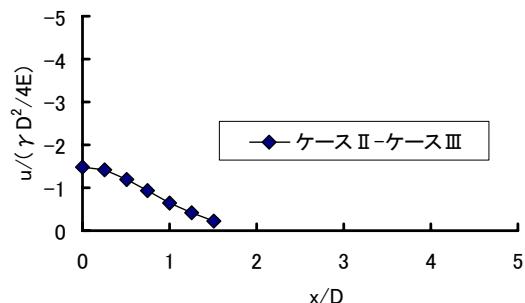


図7 地表面沈下量の差( $x/D=1.5$ までの値)

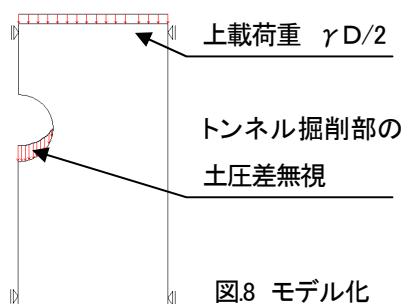


図8 モデル化

- 1) 田村, 足立: トンネル掘削解析における領域設定について, 土木学会論文集, No. 701/III-58, pp. 231-242, 2002
- 2) 久武, 山崎: トンネル沈下のFEM結果に及ぼす解析領域の影響, トンネルと地下, 第32巻11号, pp. 45-50, 2001
- 3) 木山, 藤森: 地下浅所のトンネル掘削に伴う地表面沈下の弾性解, 土質工学会論文報告集, Vol. 22, No. 3, pp. 161-169, 1982