

剛塑性有限要素法によるトンネル土圧の基礎的研究

京都大学大学院 学生員 O 斯波 明宏
京都大学工学部 正会員 田村 武

1. はじめに

以前からトンネル土圧の基礎的研究の一つとして浮き戸の実験がよく行われてきた。本研究ではこの浮き戸の実験モデルに対し、土構造物の極限解析の一つである剛塑性有限要素法を用いて数値シミュレーションする。材料としては非排水条件における飽和粘土を仮定して解析を行った。また浮き戸の実験に対してよく比較、検討の対象となる Terzaghi の理論¹⁾ による結果と本研究による結果とを比較し、Terzaghi の理論の妥当性を検討した。

2. 解析方法

本研究では土を剛塑性体と考え、これに有限要素法を適用して浮き戸にかかる土圧、土の挙動の解析を行った。材料条件として von-Mises の降伏条件を用いた。浮き戸の実験モデルは左右対称なので半分だけを解析対象にした。モデルは浮き戸の半幅を 5.0、モデルの幅を 20.0、土の単位体積重量を 1.6 で一定とし、粘着力 c を 4.0, 6.0, 8.0, 10.0 と変化させ、それぞれの c に対してモデルの高さ H を 5.0, 10.0, 20.0, 50.0, 100.0 とし解析を行った。

次に浮き戸の形状を変えた場合についても解析を行った。モデルは $H=20.0$ 、 $c=6.0$ を用い浮き戸の形状を傾斜角 30.0 度、60.0 度の三角形、円、楕円として解析した。

3. 解析結果の考察

図-1 は底板にあたる部分の要素における垂直応力分布であり、図-2 は浮き戸の中心上の要素における垂直応力分布である。この二つの図に見られるように Terzaghi の理論値と計算値とではかなりの違いが見られる。図-2 において応力は深さ方向に対し最初はほぼ土かぶりに比例して増加し途中で減少して再び土かぶりにほぼ比例して増加する。この応力が増加している部分は浮き戸と共に落下しようとする部分であり、減少している部分が粘着力が発揮されている部分であると考えられる。図-1 では浮き戸の端に向かうにつれて応力は減少し浮き戸の境界で応力が急増している。これは図-3 の主応力図に見られるように応力の流れがアーチを形成し、結果として浮き戸の上方の土かぶり圧を左右に分散しているためであり特に土かぶりが浅い場合は浮き戸の境界付近に応力が集中する。

次に図-4 は土圧合力を示したもので全ての場合において計算結果が Terzaghi の理論値を少し上回っている。

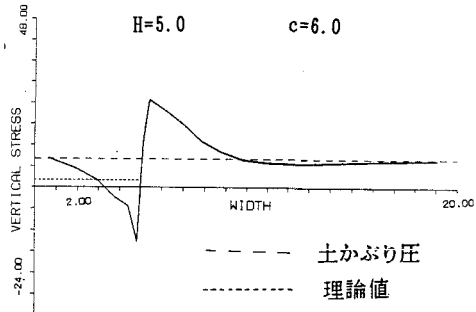


図-1 垂直応力分布

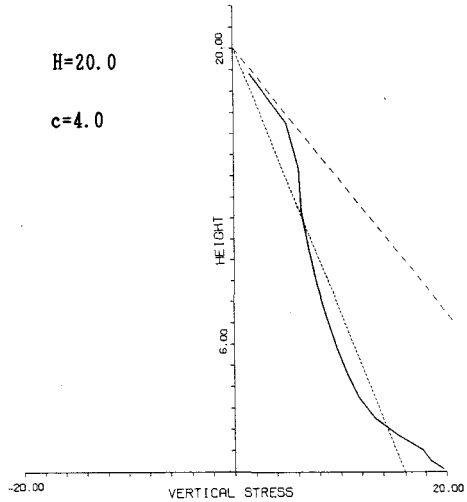


図-2 垂直応力分布

H=10.0 c=10.0

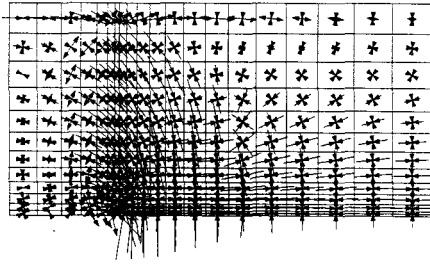


図-3 主応力図

破線は理論値

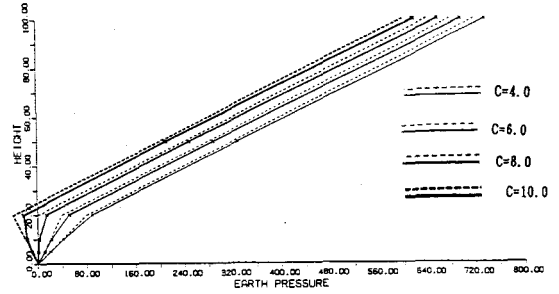
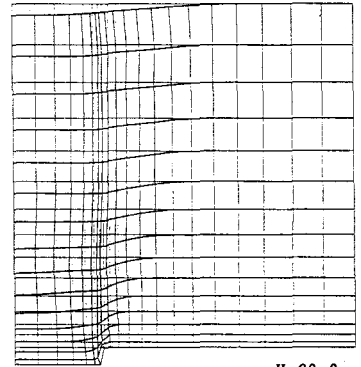


図-4 土圧合力

土かぶりが浅い場合はほぼ一致しているが土かぶりが大きくなるにつれて差が大きくなっている。これは Terzaghi がすべり線を浮き戸の両端から鉛直に仮定しているのに対し、計算結果は図-5の速度場に見られるようにすべり線が上方に行くに従って広がっているため、この差が影響していると考えられる。

表-1は浮き戸の形状を変えた場合の結果で、浮き戸の形状が三角形の場合、傾斜角を大きくすれば土圧は減少し、さらに円形あるいは楕円状にすれば土圧はより減少する。そしてこの土圧の減少分は浮き戸の形状に相当する土の重量にほぼ一致することが分かった。このことより浮き戸にかかる土圧にはこの円形および楕円形状の土の重量が大きく影響していると考えられる。



H=20.0

図-5 速度場

4. まとめ

- ・応力分布においては Terzaghi の理論とかなり違いがみられたが、土圧合力においては土かぶりが浅い場合はほぼ一致し、また土かぶりが大きい場合でもすべり線の広がり方を考慮すれば計算結果に見合った土圧算定式が得られると考えられる。

- ・ここでは土かぶりが非常に大きい場合 (H=50.0, 100.0), 直接そのモデルを数値解析することが困難なため、ある一定の高さより上方の部分の土かぶりを荷重としてかける方法を用いた。そのため精度上の問題がある。

- ・本研究では粘着力 c のみの場合を検討したが、内部摩擦角が 0 でない場合においても Terzaghi の理論と比較、検討することが今後の課題とされる。

<参考文献>

1) 村山 朔朗: 村山朔朗博士記念論文集, pp. 130-132, 1976

表-1 落とし戸の形状を変えた場合の土圧合力

H=20.0, C=6.0	落とし戸の形状	土圧合力
	傾斜角 0°	51.6 (40.0)
	傾斜角 30°	40.4 (-)
	傾斜角 60°	15.8 (-)
	円	19.1 (-)
	楕円	-6.48 (-)

(-) 内は Terzaghi の理論解