

III-323

粘土地盤の圧密沈下に起因するトンネル土圧の評価法について

早稲田大学理工学部 正会員 赤木寛一
早稲田大学理工学部 正会員 小宮一仁
東京電力 正会員 ○ 柴田 学

1.はじめに

東京湾岸地域（ウォーターフロント）の開発に伴い、各種トンネル工事が今後多く予想される。しかしこの地域は圧密未完了の超軟弱粘性土地盤上に位置するため長期的な圧密沈下の影響を考慮する必要がある。現行の埋設管やトンネル設計法ではMarston-Spangler理論¹⁾に準拠して地盤沈下の影響を考慮しているが、理論中の仮定には数々の問題点を含んでいるため適切な評価を行っているとは言い難い。本研究は粘土地盤の圧密沈下に起因するトンネル土圧の変化について実験的に調査して、その発生メカニズム及び定量的評価法について考察を行ったものである。

2.実験概要

図1、2は実験に用いた土槽とトンネル模型の概要である。トンネル模型は土槽に固定されており、土槽の前面は透明アクリル板なので、粘土試料の圧密に伴う変形を直接観察できる。粘土試料には現場より採取した粘土に豊浦砂を乾燥重量比25：9で混合したものをを用いた（表1）。尚実験は、粘土試料の圧密時のトンネル周面からの排水条件により周辺部の粘土の変形状況が変化し、その結果トンネル模型に作用する土圧も変わると考えられるので、トンネル模型の外周部にろ紙を巻いて排水を許した場合と排水を許さない場合の2ケースについて行った。まず土槽に粘土試料をトンネル模型クラウン部から60cmの高さまで投入後、上部から剛板でクラウン部の土かぶり圧に対する応力増分が 0.08kgf/cm^2 となるよう载荷して、粘土試料を圧密させたときのトンネル模型外周部の全土圧及び間隙水圧の経時的な変化を計測した。またトンネル周辺地盤の変形状況を観察するため格子模様を描いたビニールシートを土槽前面側に配置しておき、粘土試料の圧密前後において写真撮影を行って圧密に伴うトンネル周辺部のせん断ひずみ分布を計算した。

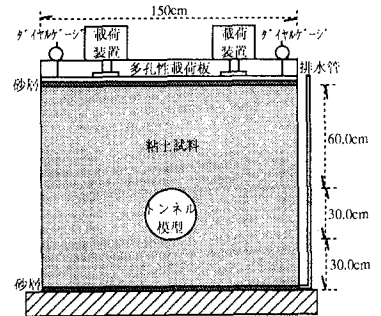


図1 実験土槽正面図

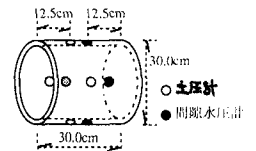


図2 トンネル模型概観

3.トンネル周辺地盤の変形挙動と極限つりあい法によるクラウン部の土圧の評価法

3.1 トンネル外周部が非排水境界の場合

図3はトンネル模型のクラウン部に作用する土圧、間隙水圧及び粘土試料表面の沈下量の経時的な変化を示したものである。クラウン部の土圧は粘土試料の沈下に伴わずかに増加してピーク値を示した後徐々に減少している。このときの間隙水圧変化から求めた有効応力はほぼ一定であり、トンネル模型周辺部の粘土の圧密は進行していないことがわかる。図4はこのときのトンネル模型周辺部の粘土の変形状況から求めた最大せん断ひずみ分布を示している。トンネル模型近傍の0.3%以上の最大せん断ひずみが生じた領域を取り囲むように広範囲にわたって変形が生じている。この変形状況をもとに図5のようなメカニズムを想定して、土塊ブロックに作用する力の釣合式をもとにトンネルクラウン部に作用する土圧を求めて実測値と比較したのが表2である。表2にはMarston-Spangler突出型により算定した土圧の値も併記しているが、この値は実測値よりもかなり大きいのにに対し、図5のメカニズムを想定して求めた土圧の値は実測値とはほぼ一致している。

表1 粘土試料物性値

土粒子比重Gs	2.588
液性限界 ω_L	64.9%
塑性限界 ω_P	33.9%
圧密係数 C_c (*)	280 cm^2/day
有効内部摩擦角 ϕ'	29.5度

(*) 平均有効応力 0.1kgf/cm^2

3.2 トンネル外周部が排水境界の場合

図6はトンネル外周部に作用する全土圧と粘土試料上面の沈下量の経時的な変化を示したものである。全土圧はトンネル模型のいずれの場所でも初期土圧より減少する傾向を示している。図7はこのときのトンネル模

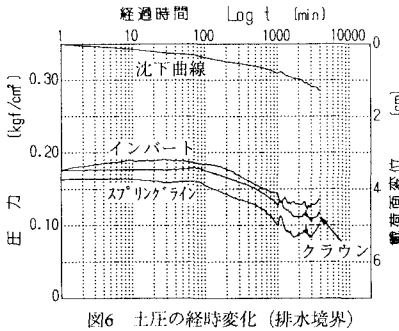
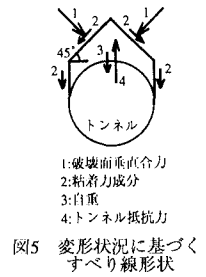
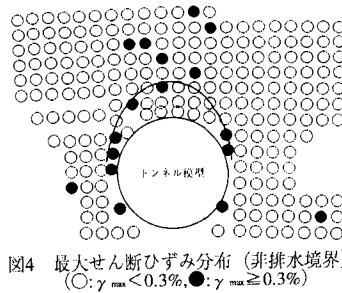
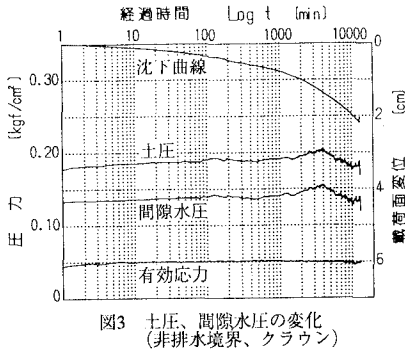


表2 非排水境界時の土圧増加率(初期 $C_u=0.013\text{kgf/cm}^2$)

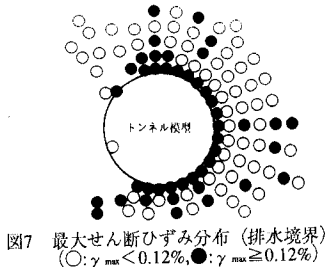
	初期応力 kgf/cm^2	最大値 kgf/cm^2	土圧増分 kgf/cm^2	増加率 %
クラウン	0.177	0.204 (0.247)(0.210)	0.027 (0.070)(0.033)	15.3 (39.3)(18.6)
スプリングライフ	0.171	0.217	0.046	26.9
インバート	0.201	0.203	0.002	1.0

(○):Marston-Spangler突出型による算定値、(□):図5のメカニズムに基づく算定値
ただし $K\mu=0.110$ (飽和粘土)²⁾

表3 排水境界時の土圧増加率(初期 $C_u=0.017\text{kgf/cm}^2$)

	初期応力 kgf/cm^2	最小値 kgf/cm^2	土圧増分 kgf/cm^2	増加率 %
クラウン	0.176	0.112 (0.105)	-0.064 (-0.071)	-36.4 (-40.6)
スプリングライフ	0.163	0.088	-0.075	-46.0
インバート	0.176	0.128	-0.048	-27.3

(○):Marston-Spangler溝型(Terzaghiのゆるみ土圧)による算定値
ただし $K\mu=0.192$ (粘着力のない粒状材料)²⁾



型周辺部の粘土の最大せん断ひずみ分布である。トンネル模型近傍に0.12%以上の最大せん断ひずみが生じた領域が集中しており、せん断ひずみが生じた領域もトンネル模型周辺に限定されている。従ってトンネル模型周辺部の粘土にはMarston-Spangler溝型に相当する変形が生じていると考えられる。表3はMarston-Spangler溝型によって算定した土圧の値とクラウン部の土圧の最小値を比較したものであるが、よく一致している。

4.まとめ

本研究の成果をまとめると以下のとおりである。

- (1) 粘土地盤の圧密時のトンネル外周部からの排水条件の違いによって周辺部の粘土の変形状況は異なるので、その結果トンネルに作用する土圧の発生機構が変化する。
- (2) トンネル外周部から排水を許さない場合には、トンネルクラウン部に作用する土圧は初期土圧より約15%増加し、その増加分はくさび型のメカニズムに作用する力の釣合式によって算定できる。
- (3) トンネル外周部から排水を許す場合には、トンネルクラウン部に作用する土圧は初期土圧よりも約36%減少し、そのときの作用土圧はMarston-Spangler溝型によって算定できる。
- (4) 圧密沈下の進行が懸念される粘土地盤中にトンネルを構築する場合には、トンネル外周部からの排水を許すことによって圧密沈下に起因するトンネル土圧を低減することができる。

参考文献

- (1)M.G.Spangler (1948): Underground Conduits ,Trans.,ASCE,vol.113,pp.316-374
- (2)最上武雄 他(1979):「土圧」, 鹿島出版会, 1979, pp.112-114