

III-685

トンネル覆工に作用する土圧と覆工変形の相互作用に関する模型実験

一 覆工に作用する土圧と覆工変形の相互作用について 一

早稲田大学 学 生 員 五十嵐 龍

佐藤工業㈱ 正 会 員 木村 定雄

早稲田大学 正 会 員 小泉 淳

早稲田大学 長尾 肇太 津野 義久

1. はじめに

現在、シールドトンネルの覆工設計において、覆工に作用する土圧は地山の条件(土の種類、土被り)やトンネル径などに応じて鉛直土圧と水平土圧とに分けて定義している。これらの土圧は覆工の変形に関係なく定まるものとし、鉛直土圧は等分布荷重として、水平土圧は鉛直土圧に側方土圧係数を乗じた等変分布荷重として考えている。また、覆工の変形に伴って作用する土圧は地山の変位に従属して定まる地盤反力として地山が受働側となる場合のみ考慮するのが一般的である。しかしながら、a)上載荷重が変動したり近接構造物の施工時荷重が作用して地盤中に荷重変動が生じる場合には、地盤が一様であったとしてもそれと変形特性(剛性)の異なる覆工が地盤中に存在することにより、覆工頂部または側部に作用する土圧は増減する。すなわち、周辺地盤の剛性が覆工のそれより小さい場合は覆工に作用する土圧は地盤を一様とした時の土圧に比べて増加し、大きい場合は減少するものと考えられる。さらにまた、b)覆工に作用する土圧が定まったとしても、その土圧により覆工が変形し、覆工の各位置(例えばクラウンやスプリング)に作用する土圧は変化する。すなわち、実際に覆工の各位置に作用する土圧は、覆工や地盤の変形に伴い地盤中で応力再配分が生じる期間において、覆工がトンネル内側に変形する位置では主働的土圧として減少し、トンネルが外側に変形する位置では受働的土圧として増加するとともに、ある程度の時間が経過した後は地盤が安定し、一定の状態になるものと考えられる。これらのことは、地盤中で実際に覆工に作用する土圧が地盤と覆工の剛性比や覆工の変形挙動によって変化することを意味する。

筆者らは、トンネル覆工の設計計算に用いる土圧の基本的な考え方を把握することを目的として実験的研究を行っている。本報告は、前述したb)の項目に主眼をおき、その挙動を確認するために行った土槽中のトンネル模型の載荷実験に関する結果について述べるものである。

2. 実験方法

実験に用いた土槽、載荷装置および計測項目の概要は、図1に示すとおりである。模型地盤は豊浦標準砂を用いて砂質地盤をモデル化している。トンネル覆工の模型は土圧によりトンネル横断面内に変形が生じないものとして鋼管を、変形が生じるものとしてアクリル管を採用した。模型地盤およびトンネル模型の諸元は表1に示すとおりである。鋼管を用いた実験は載荷に伴って覆工模型が変形せず覆工の変形に伴う土圧変化が生じない状態を、またアクリル管を用いた実験は覆工が変形して覆工の任意の位置における土圧がその位置の変形に対応して増減する状態を想定している。載荷は、はじめに可動載荷板に設置した土圧計の値が50gf/cm²となるまで水平に4方向同時に載荷板を押し込み、その後A-A方向だけをさらに押し込んでA-A方向の荷重計の値が500gf/cm²となるまで行った。

3. 実験結果およびその考察

A-A方向の可動載荷板の押込み変位量と各種土圧計測結果との関係を図2に示す。鋼管およびアクリル管の両者ともにA-A方向の押込み変位量が1mm程度までは変位量と計測された各種土圧との関係が線形であることがわかる。そこで、押込み変位量が0.8mm程度でA-A方向の荷重計の平均値が200gf/cm²の時の土圧を代表値として、管が変形する場合としない場合の土圧の変化について検討した。図3は鋼管およびアクリル管に設置した土圧計の計測結果である。鋼管に作用する土圧はA-A方向では荷重計の計測値200gf/cm²より大きな値となり、B-B方向では初期載荷荷重の50gf/cm²程度となっている。A-A方向の土圧が荷重計の値より大きくなっているのは鋼管の剛性が周囲の砂のそれより大きいため、鋼管部に応力が集中したものと考えられる。この

表1 模型地盤およびトンネル模型の諸元

模型地盤		
地盤材料	豊満標準砂	
密度	1.55 gf/cm ³	
相対密度	74 %	
トンネル模型		
	鋼管	アクリル管
外径	20 cm	20 cm
厚さ	10 mm	3 mm
幅	40 cm	40 cm
曲げ剛性	$1.75 \times 10^5 \text{ kgf} \cdot \text{cm}^2$	$73.6 \text{ kgf} \cdot \text{cm}^2$

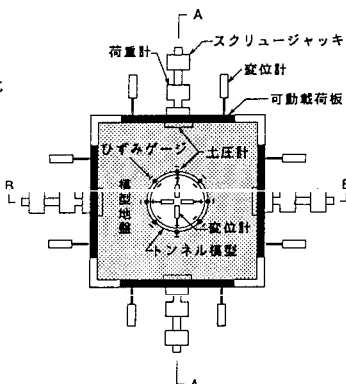


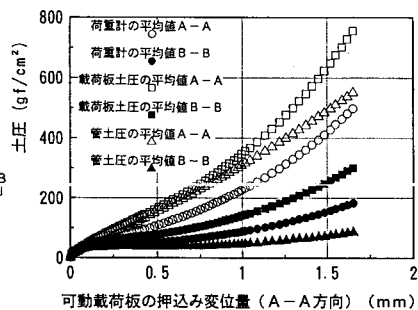
図1 実験土槽平面図

現象は荷重計の計測値と可動載荷板に設置した土圧計の計測値とを比較してみても同様の傾向を示し、可動載荷板の平均的な荷重値より鋼管の直上に位置する載荷板の土圧の方が大きな値となっている（図2参照）。また、鋼管に設置した土圧計のうち、A-A方向およびB-B方向の中間に位置する箇所の土圧はA-A方向およびB-B方向の土圧をそれぞれの位置における半径方向成分に分解して両者を重ね合わせた時の値とほぼ一致する。一方、アクリル管に作用する土圧は鋼管のそれと比較してA-A方向では減少し、B-B方向では増加している。そこで、この土圧変化の現象を覆工変形に伴う土圧変化として考えてみる。図4はアクリル管の半径の変化量と鋼管およびアクリル管の土圧の差圧を示したものである。変化量が正の方向はB-B方向、負の方向はA-A方向の結果を示している。これより、アクリル管に作用する土圧は管の変形量に対してある程度線形に変化し、アクリル管が内側に変形する位置では主働的土圧として減少し、外側に変形する位置では受働的土圧として増加することがわかる。また、この時の差圧を半径の変化量で除した値を覆工変形に伴う土圧の変化量を評価する係数とすると、受働側 K_c で 7.25 kgf/cm^3 、主働側 K_t で 3.32 kgf/cm^3 程度となっている。なお、ここで受働側の係数はいわゆる地盤反力係数としてみなすことができる。

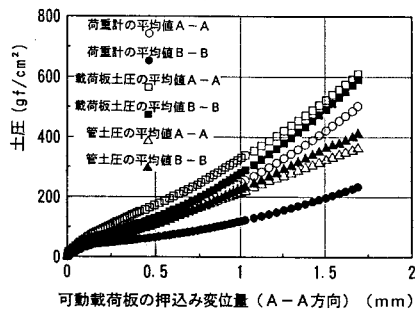
4. おわりに

本報告では、覆工頂部や側部に作用する土圧が、覆工の変形に伴って変化することを実験的に確認するとともに、土圧と覆工変形の相互作用に関する基本的な挙動について考察した。そのため、地盤中の応力が地盤変形に伴って再配分されるような土圧の経時変化または重力場の影響については取り除いて検討している。今後、トンネル覆工の周辺地盤に応力変化が生じるような場合についても、覆工に作用する土圧の挙動を詳細に確認するとともに、覆工の設計計算に用いる土圧の考え方についてさらに検討を加えていく所存である。

【参考文献】 小山ほか：小型シールドトンネル模型覆工実験（その1）—単円型シールド—模型実験—，土木学会第48回年次講演会，Ⅲ-49，1993. 9



(a) 鋼管



(b) アクリル管

図2 押込み変位量と土圧の関係

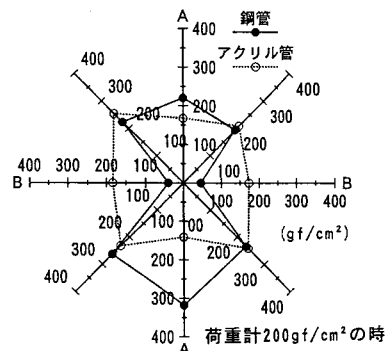


図3 鋼管およびアクリル管の半径方向の土圧分布

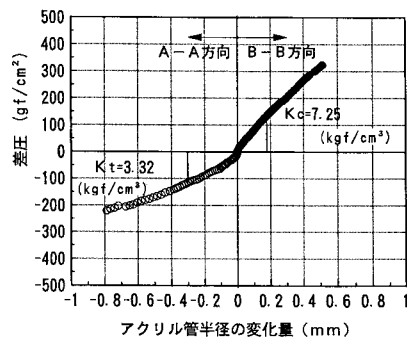


図4 半径の変化量と差圧の関係