

Ⅲ-644

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 相互作用を評価する地盤ばねの特性について 一

早稲田大学 学生員 渡邊 誠司

佐藤工業(株) 正会員 木村 定雄

早稲田大学 学生員 五十嵐 龍

早稲田大学 正会員 小泉 淳

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、覆工の変形に関係なく定まる土圧を鉛直土圧（等分布荷重）や水平土圧（等変分布荷重）として、また覆工の変形に従属して定まる土圧を地山が受働側となる場合のみ抵抗土圧として考慮するのが一般的である。しかしながら、覆工の変形に伴って生じる土圧変化、すなわち覆工変形に伴って生じる周辺地盤の応力再配分というような覆工と周辺地盤との相互の挙動を適切に表現した荷重－構造系が評価できれば、地盤条件（土の物性や土被りなど）に応じてその特性を生かしたより合理的な覆工設計が可能になるものと考えられる。筆者らはこの点に着目し、模型地盤を用いた基礎実験を行ってきた。これまでの基礎実験の結果によると、覆工に直接作用する土圧は地盤と覆工との剛性比により異なり、また覆工の変形に伴う土圧変化は地盤が受働側となる場合のみならず主働側となる場合にも生じ、それらの土圧変化は地盤ばねを用いて評価することが可能であるものと考えられる¹⁾。

以上のことを踏まえ、筆者らは覆工変形に伴う土圧変化のうち、特に地盤が主働側となる場合の覆工と地盤の相互の挙動および荷重が変動する場合のそれらを確認するための模型実験を実施した。本報告はその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、荷重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横断面内に変形が生じないものとして鋼管を、また変形が生じるものとしてアクリル管を用いた。表1は模型地盤およびトンネル模型の諸元を示したものである。実験ケースを表2に示す。トンネル模型を設置しない砂地盤のみの実験は地盤の物性値を詳細に得るためのものであり、地盤がそれぞれ受働側および主働側となる場合の荷重と変形量との関係から地盤ばね定数（受働側 K_{gc} 、主働側 K_{gt} ）を求めるために行った。一方、トンネル模型を用いた実験は覆工の半径方向変形に伴う土圧変化を把握するためのものであり、鋼管およびアクリル管を用いた実験結果を比較し、両者の半径方向土圧（トンネル模型に設置した土圧計の値；A-A、B-B方向）の差圧とアクリル管の半径変化量（A-A、B-B方向）との関係からトンネル模型周りの地盤ばね定数（主働側 K_{lt} 、受働側 K_{lc} ）を求めるために行った。受働側の荷重はA-A方向の荷重板のみを荷重計の値が 0.2kgf/cm^2 となるまで押し込み、また主働側の荷重はそれが -0.02kgf/cm^2 となるまで引き下げて行った。なお、砂の巻きだしによって作成した直後の模型地盤の静止的な土圧は、 $0.02\sim 0.03\text{kgf/cm}^2$ 程度であった。

3. 実験結果およびその考察

砂地盤のみの実験において、A-A方向の荷重板に設置した荷重計と変位計の計測結果を図2に示す。地盤に作用した平均荷重圧と地盤の変形量とは、受働側および主働側ともに線形であることがわかる。そこで、模

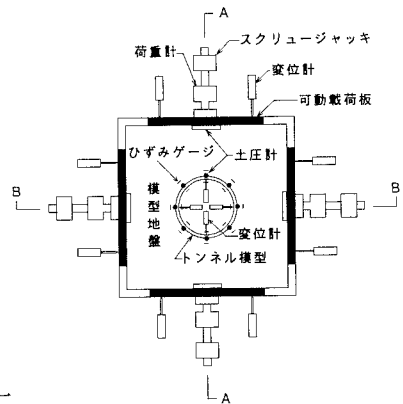


図1 実験装置および計測項目の概要

表1 模型地盤およびトンネル模型の諸元

材料	豊浦標準砂	
相対密度 D_r	79%	
変形係数 E	$75.3\text{kgf}\cdot\text{cm}^2$	
ポアソン比 ν	0.25	
トンネル模型	鋼管	アクリル管
	外直径	20cm
	厚さ	10mm
	幅	3mm
トンネル模型	幅	40cm
	曲げ剛性 EI ($\text{kgf}\cdot\text{cm}^2$)	7.00×10^6
トンネル模型	曲げ剛性 EI ($\text{kgf}\cdot\text{cm}^2$)	2.94×10^3

型地盤を二次元弾性体と仮定し、地盤ばね定数 K_{gc} およびB-B方向の変位を拘束した境界条件から得られるポアソン比 ν とを式(1)に代入して地盤の変形係数 E を求めた。さらにそれを式(2)に代入することによりトンネル模型周りの地盤ばね定数 K_{ec} を得た。

$$E = \frac{(1+\nu)(1-2\nu)}{1-\nu} L \cdot K_{gc} \dots\dots\dots(1)$$

$$K_{ec} = \frac{3E}{R(1+\nu)(5-6\nu)} \dots\dots\dots(2)$$

ここで、 L は土槽の辺長の1/2の長さ26.5cmであり、 R はトンネル模型の外径10cmである。一方、トンネル模型を用いた実験において、鋼管およびアクリル管のそれぞれで計測された土圧の差圧とアクリル管の半径変化量を示したのが図3である。トンネルの外側(B-B方向)および内側(A-A方向)への変位量とそれらの位置の差圧とは線形であり、この線形性は砂地盤のみの実験結果と同様に地盤が受働側となる場合のみならず主働側となる場合も確保されていることがわかる。この傾きはトンネル模型周りの地盤ばね定数を意味するものである。表3は砂地盤のみの実験およびトンネル模型を埋設した実験から得たトンネル模型周りの地盤ばね定数をまとめて示したものである。砂地盤のみの実験結果から得られたトンネル模型周りの地盤ばね定数 K_{ec} とトンネル模型を埋設した実験から得られた地盤ばね定数 K_{lc} とは、ほぼ一致している。また、主働側の地盤ばね定数は、受働側のそれに比べて1/2程度となっている。先の基礎実験の結果¹⁾によるとこの比率は2/3程度であったことを合わせ考えると、この両者の比率は模型地盤の圧縮応力下における圧縮特性と引張特性の違いや模型地盤とトンネル模型との剛性比などの影響を受けるものと推察される。

4. おわりに

今回の模型実験から得られた知見を挙げると以下のとおりである。(1)砂地盤中で、覆工に荷重(土圧)が作用し覆工が変形する場合、覆工に作用する土圧はその変形によって変化する。すなわち、トンネル外側に変形する覆工部位の土圧は増加し、また内側に変形する覆工部位の土圧は減少する。(2)覆工の変形に伴う土圧の変化量とその部位の半径の変化量とは、受働側のみならず主働側も線形の関係にある。(3)覆工変形に伴う土圧変化を地盤ばねで評価する場合、受働側の地盤ばね定数はその地盤の変形係数やポアソン比が明確にできれば十分に推定が可能である。

他方、上載荷重の変動やトンネル上方の土砂の掘削などにより鉛直荷重などが変化する場合、トンネルに直接作用する土圧は当然変化するが、トンネルの変形に伴う土圧変化も相当に複雑になるものと考えられる。今後、このような場合の地盤と覆工の相互挙動についても検討を加える所存である。

【参考文献】1)木村,五十嵐,小泉: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,トンネル工学研究発表会論文・報告集,Vol. 4, p. 47~54, 1994. 11.

表2 実験ケース

ケースNo.	トンネル模型の有無	初期載荷	載荷方向、(A-A方向荷重 kgf/cm ²)
1	無 砂地盤のみ	受働側	押(0.2)→引(-0.02)→押(0.25)
2		主働側	引(-0.02)→押(0.2)→引(-0.02)
3	有 鋼管 アクリル管	受働側	押(0.2)→引(-0.02)→押(0.25)
4			

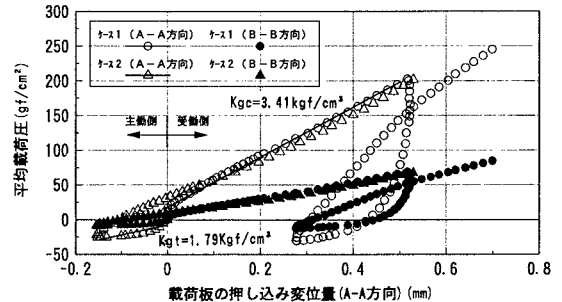


図2 押し込み変位量と平均載荷圧の関係

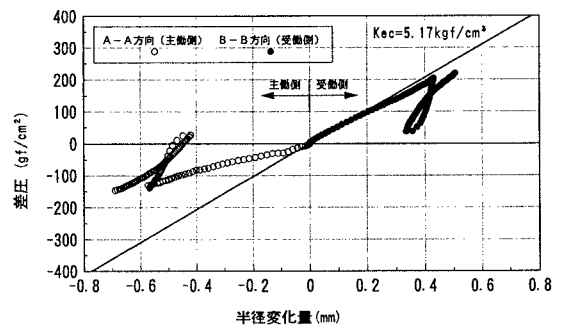


図3 アクリル管の半径変化量と差圧の関係

表3 各種の地盤ばね定数の関係

地盤ばね定数 (kgf/cm ²)	K_{ec}	K_{lc}	K_{lt}
	5.17	4.19	2.12
地盤ばね定数の比 K_{lt}/K_{lc}	0.503		