

Ⅲ-645

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 相互作用を評価した荷重一構造系について 一

佐藤工業(株) 正会員 木村 定雄
早稲田大学 学生員 野本 雅昭
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

覆工に作用する土圧と覆工の変形に伴って生じる土圧変化について、その基本的な考え方および実験的な評価は別報¹⁾に述べたとおりである。すなわち、覆工に作用する土圧は覆工の変形に伴って覆工がトンネルの外側に変形する位置では受動的土圧として増加し、また内側に変形する位置では主動的土圧として減少する。また、覆工の変形に伴う覆工周辺の模型地盤の応力とひずみの関係はほぼ線形であることから、地盤ばねによりこれらの土圧変化を評価できるものと考えられる。

本報告はこれらの実験結果を踏まえ、覆工の変形に伴って生じる土圧変化、すなわち地盤と覆工との相互挙動の影響を覆工の設計計算に用いる荷重一構造系の中でどのようにして評価するかについて検討したものである。

2. 解析の概要

2.1 全周地盤ばねモデル（はり一ばねモデル）による解析法

計算に用いた荷重一構造系を図1に示す。ここに示した覆工の構造モデルは、リング全周にわたって地盤ばねを配し、覆工の変形に伴って生じる土圧変化を地盤ばねを介して評価した構造モデルである。この構造モデルでは、覆工の任意の位置において、その位置の半径方向変位がトンネルの外側に変位する位置では受動的な地盤ばね（圧縮ばね）を、また内側に変位する位置では主動的な地盤ばね（引張ばね）を介して覆工に直接作用する土圧の変化を評価する。解析はこの荷重一構造系を用いて、模型地盤中の水平方向載荷実験におけるトンネル模型（アクリル管）の挙動をシミュレーションするものである。解析条件を表1に示す。表中の荷重は剛性が大きく変形が生じないトンネル模型として鋼管を用いた実験で計測された半径方向土圧で、トンネル模型の幅を考慮したものであり、その値はA-A方向の平均載荷圧が 0.2 kgf/cm^2 の時の最小自乗法による換算値である。また受働側および主働側の地盤ばね定数はトンネル模型を設置しない砂地盤のみの実験から得られたものである。なお、これまでの解析でその影響が小さい²⁾ことから、本解析においては覆工の接線方向の地盤ばねは考慮していない。

2.2 弾性地盤中の剛性一様円環の理論解法（弾性理論解法）

図2は半無限二次元弾性地盤に二軸方向から等分布荷重が作用している様子を概念的に示したものである。この時に覆工に作用する土圧および覆工に生じる変形、曲げモーメント、軸力はすでに得られている¹⁾。さらにここでは、実験の状況（トンネル模型を設置した後に砂を撒きだし水平方向載荷を行う）を考慮して覆工と地盤との境界において、地盤の初期応力およ

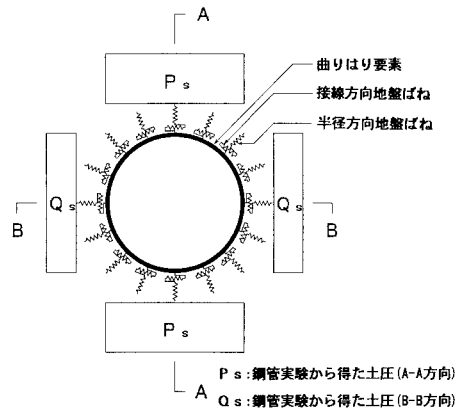
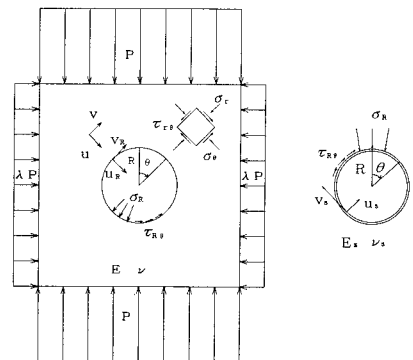


図1 全周地盤ばねモデルによる解析法



σ_r : 覆工に作用する半径方向応力 $\tau_{r\theta}$: 覆工に作用する接線方向応力
 u : 覆工の半径方向変位量 v : 接線方向変位量
 E : 地盤の変形係数 ν : 地盤のポアソン比
 E_s : 覆工の変形係数 ν_s : 覆工のポアソン比
 λ : 側方荷重係数 R : 覆工の外半径
 P : 荷重

図2 弾性地盤中の剛性一様円環の理論解法

びひずみが零であり、载荷に伴ってそれらが生じるものとしてこれらの解を導いた。これは埋設管の場合に用いられる考え方と同じである。また、覆工の接線方向における覆工と地盤との相互の挙動は完全に接線方向応力が伝達される場合（no-slip）とされない場合（full-slip）について考えている。解析の対象およびそれに用いた荷重は全周地盤ばねモデルによる解析と同じものであり、砂地盤の変形係数は砂地盤のみの実験から得られたものを用いた。

3. 実験結果と各種解析結果との比較およびその考察

別報に示した実験において、アクリル管で計測された半径方向土圧と弾性理論解法から得られた土圧を図3に示す。アクリル管で計測された土圧は、no-slipとfull-slipの解の中間に位置するようである。図4, 5, 6はアクリル管の挙動を示したものであり、それぞれアクリル管の曲げモーメント図、軸力図および変位図である。これらの図をみると、アクリル管の挙動は全周地盤ばねモデルによる解析法によりほぼ説明できるようである。一方、弾性理論解法ではfull-slipの解が、no-slipのそれよりアクリル管の挙動に近いものの、地盤が主働側となる部分ではアクリル管の挙動を表現できないようである。これは、弾性理論では周辺地盤の受働側と主働側の特性、すなわち模型地盤の圧縮応力下における圧縮特性と引張特性が等しいとしてアクリル管に生じる曲げモーメント、軸力および変形の解を算出しているが、実際の模型地盤の圧縮特性と引張特性は相異している¹⁾ため、弾性理論解ではこれらの現象を説明できないためと考えられる。

4. おわりに

今回の模型実験結果およびその解析結果から得られた知見を述べると以下のとおりである。全周地盤ばねモデルを用いた解析法によりトンネル覆工の変形に伴う土圧変化、すなわち地盤と覆工の相互作用を表現することが可能である。この場合、受働側の地盤ばね定数は、地盤を弾性体と仮定して得られる変形係数およびポアソン比から求めたものを用いることができる。一方、主働側の地盤ばね定数は、主として地盤の特性により定るものと考えられるが、地盤と覆工との剛性比の影響も受けるものと推察される。

今後、地盤が主働側となる場合の地盤ばねの考え方やその定数の定量化、さらにそれらの覆工設計への適用方法について検討を加えていく予定である。

【参考文献】 1) 渡邊, 木村, 小泉, 五十嵐: トンネル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, 第50回年次学術講演会, Ⅱ部門, 1995. 9.

2) 木村, 小泉, 野本, 舟橋: 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(覆工に作用する土圧と覆工に生じる断面力について), 第49回年次学術講演会,

Ⅲ-686, 1994. 9.

表1 解析条件

荷重	全周地盤ばねばねによる解法		弾性理論解法	
	P s	10.87kgf/cm	P	8.00 kgf/cm
	Q s	0.604kgf/cm	λ P	2.67 kgf/cm
地盤	主働側ばね定数	2.71 kgf/cm ³	変形係数 E	75.32kgf/cm ²
	受働側ばね定数	5.17 kgf/cm ³	ポアソン比 ν	0.25
トンネル模型の諸元				
	鋼管		77リ管	
外径	20 cm		20 cm	
厚さ	1 cm		0.3 cm	
幅	40 cm		40 cm	
ヤング率 E,	2.1×10 ⁶ kgf/cm ²		3.27×10 ⁴ kgf/cm ²	
ポアソン比 ν ,	0.30		0.36	

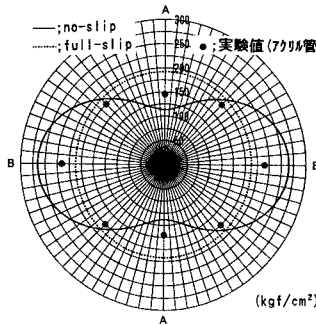


図3 土圧分布図

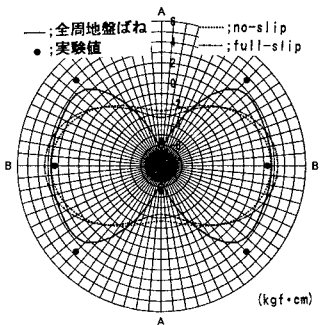


図4 曲げモーメント図

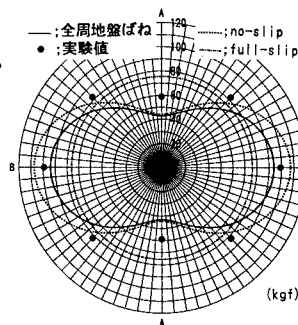


図5 軸力図

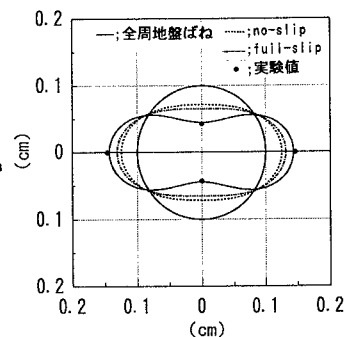


図6 変位図