

(Ⅲ - 48) 荷重履歴を受けるシールドトンネル覆工の設計に関する一考察

早稲田大学 学生員 三浦 啓二
早稲田大学 学生員 野本 雅昭
佐藤工業(株) 正会員 木村 定雄
早稲田大学 正会員 小泉 淳

1. はじめに

既設のシールドトンネルの直上または近傍に新たな構造物が構築される場合や地盤が大きく掘削される場合などでは、既設のトンネル覆工は当初想定しなかった土圧変化や他の構造物荷重の影響を受ける。このように既設のトンネルが近接施工の影響を受ける事例は、地下構造物の過密化に伴い都市部において今後も増加することが予想される。現行の設計法によると、近接施工の影響により荷重履歴を受けるトンネル覆工の安全性は、等分布荷重や等偏分布荷重として与えられる鉛直荷重や水平荷重を増減した最終的な荷重状態で照査されるのが一般的である。しかしながら、覆工に作用する土圧は覆工の変形状態によっても異なるため、覆工に作用する荷重の変動を鉛直荷重や水平荷重として取り扱うだけでなく、覆工の変形に従属する荷重変動についても十分考慮する必要があるものと考えられる。すなわち、他の構造物の建設等による荷重変動は覆工の変形状態（変形の方法や大きさ）によっても異なり、鉛直荷重が減少するような場合には、覆工変形に伴う抵抗土圧が鉛直方向に作用することも考えられる。

以上をふまえ、筆者らは荷重履歴を受けるトンネル覆工の力学的挙動を明らかにすることを目的として基礎的研究を行ってきた¹⁾。本報告はトンネル模型の載荷実験結果の一例を基に、鉛直荷重が減少し水平荷重が増加するような荷重履歴を受けるトンネル覆工の挙動を評価するための荷重系-構造モデルについて考察したものである。

2. 荷重系-構造モデルの考え方

荷重変動を受ける覆工の挙動を評価する荷重系-構造モデルの考え方は、現状、次の2つの方法があると思われる。(1)荷重変動を受けた後の最終荷重（鉛直荷重や水平荷重）状態を仮定して覆工の変形や覆工に生じる断面力を計算する方法（荷重履歴）。(2)当初の荷重状態と最終荷重状態の差分を考慮して、各々の荷重状態における覆工の変形や覆工に生じる断面力を計算し、それらの結果をたし合わせる方法（応力履歴）。図1は2つの方法の荷重系-構造モデルを概念的に示したものであり、荷重履歴は④の状態、また応力履歴は①と②の状態の計算結果をたし合わせた③の状態として覆工挙動を表現するものである。

一方、覆工変形に従属して定まる土圧変化の評価方法としては、(a)覆工が地盤側に変位し地盤が受働側となる覆工部位についてのみ抵抗土圧を圧縮型のばねで評価した部分地盤ばねモデルおよび(b)覆工がトンネル

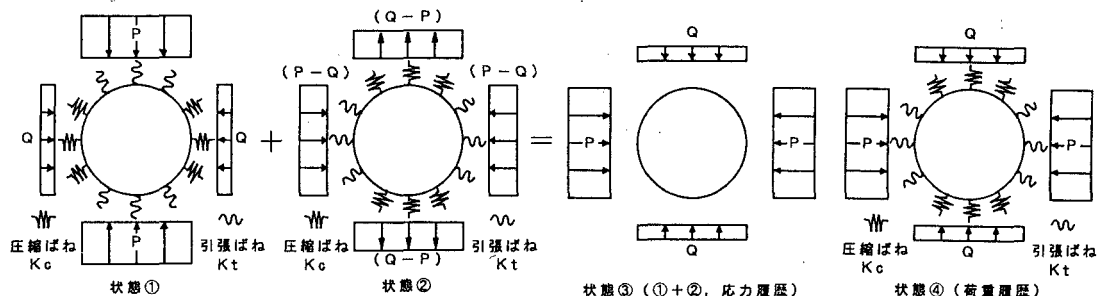


図1 断面力算定法（全周地盤ばねモデル）

内空側に変位し地盤が主働側となる部位についても引張型のばねを配して地盤と覆工との相互作用を評価した全周地盤ばねモデル²⁾がある。図1は全周地盤ばねモデルの荷

表1 解析条件

トンネル模型の諸元			地盤の諸元	
	鋼管	アクリル管	受働側ばね定数 Kc	5.17 kgf/cm ³
外径	20 cm	20 cm	主働側ばね定数 Kt	2.71 kgf/cm ³
厚さ	1 cm	0.3 cm	変形係数 E	75.32 kgf/cm ²
幅	40 cm	40 cm	ポアソン比 ν	0.25
ヤング率	2.1×10^6 kgf/cm ²	3.27×10^4 kgf/cm ²	荷重 P	250 gf/cm ²
ポアソン比	0.30	0.36	荷重 Q	80 gf/cm ²

表2 解析ケース

	(a)部分地盤ばねモデル	(b)全周地盤ばねモデル
(1)荷重履歴の方法	(1)-(a)	(1)-(b)
(2)応力履歴の方法	(2)-(a)	(2)-(b)

重系一構造モデルを示したもので、部分地盤ばねモデルは引張ばねが作用せず圧縮ばねのみが作用する荷重系一構造モデルであ

る。ここでは、トンネル模型の砂土槽内載荷（水平載荷）実験結果の一例を基に、前述した2つの荷重系一構造モデル（(1), (2)）および2つの地盤ばねモデルの考え方（(a), (b)）を用いてトンネル模型の挙動をシミュレーションした。解析に用いた諸条件は、模型実験より得られたものであり表1に示すとおりである。

3. 実験結果と解析結果との比較およびその考察

実験結果の一例および解析結果を図2～図4に示す。図中の解析ケースは表2に示したものである。曲げモーメント図と軸力図を見ると、応力履歴の方法による部分地盤ばねモデル(2)-(a)以外の計算値は実験値にほぼ近い値を示しているが、変位図を見るとすべての計算ケースにおいて、それらはよい符号を示していない。しかし、変形モードについては概ね応力履歴の方法による計算値(2)-(a), (2)-(b)は実験値を説明しているようである。このことから、荷重変動を受ける場合、覆工変形に伴う土圧変化を評価する地盤ばねのばね定数は単一な値として定まるものでなく、繰り返し载荷を受ける地盤の特性を十分に考慮した地盤ばねの値を与えることが重要であると考えられる。つまり、今回の計算においては状態②の時に用いる地盤ばねの考え方を検討する必要があると思われる。

4. おわりに

今回の模型実験およびその解析結果から、繰り返し载荷を受ける場合でも地盤と覆工の相互作用を地盤ばねで表現することが可能であると思われる。今後は、トンネル模型の実験結果のうち、トンネル模型に直接作用する土圧やトンネル変形の計測結果を基にして得られた地盤ばね値を用いて解析を行い、その結果を照査するとともに、地盤の特性と地盤ばね定数の考え方について、さらに詳細な検討を加える予定である。

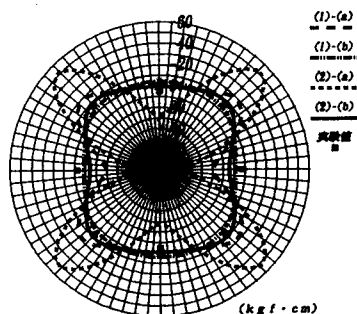


図2 曲げモーメント図

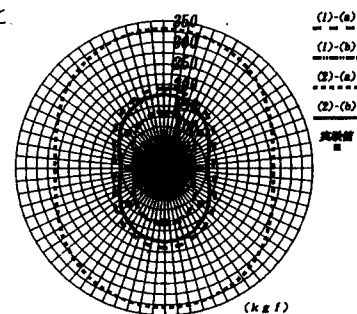


図3 軸力図

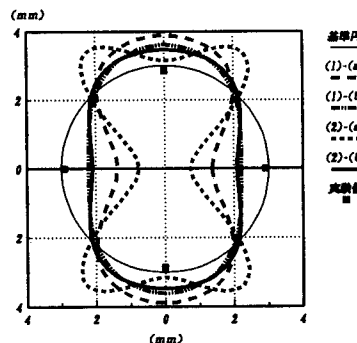


図4 変位図

【参考文献】1) 阪本, 小泉, 村上: 応力履歴を考慮したシールドトンネル設計法について, 第46回年次学術講演会, II-67, 1991. 9.

2) 木村, 野本, 渡邊, 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. 5, p. 71~78, 1995. 11.