

Ⅲ-B107 シールドトンネルの合理的な設計法に関する研究

ー 洪積粘性土地盤中の現場計測結果に基づく全周地盤ばねモデルの適用に関する一考察 ー

佐藤工業(株) 正会員 木村 定雄
早稲田大学 正会員 渡邊 誠司
早稲田大学 正会員 金子 幸夫
早稲田大学 正会員 小泉 淳

1. はじめに

現行のシールドトンネル覆工の断面力算定法は軟弱な地盤を主な対象とし、トンネルの安全性や設計の簡便性を特に重視して荷重(土水圧等)や覆工構造の評価を行い、覆工に生じる断面力を算定している。これがいわゆる慣用計算法である。しかしながら、最近の現場計測事例によると、自立性の高い地盤においては設計時に想定した土圧よりも小さい土圧しか覆工には作用せず、覆工に生じる断面力も相当に小さいという報告がなされている。そこで、これまでに筆者らは覆工設計における荷重-構造系の考え方に関する基礎的研究を重ね、自立性の高い地盤に適用し得る合理的な断面力算定法として全周地盤ばねモデルによる計算法を提案してきた¹⁾。

本報告は洪積粘性土中に構築されたシールドトンネルの現場計測データ^{2), 3)}を基に、トンネルの挙動を合理的に評価するための荷重-構造系について考察を加えるとともに、全周地盤ばねモデルの適用性について検討したものである。

2. 計測概要

現場計測されたトンネルは、鉄道単線トンネル($D_o=5700\text{mm}$)であり、それが4本併設施工されたものである。このうち、1本目に施工されたトンネルの一次覆工(ガタイルセグメント)に2断面(A断面、B断面)の計測点が設けられ各種の計測がなされた。計測から把握された項目は、セグメントリングに作用する土水圧、セグメントリングに生じる曲げモーメントおよび軸力である。ここでは、単一のトンネルが施工された後の挙動を把握するために、これら計測されたデータのうち、2本目のトンネルの施工の影響が生じる前にすべての計測値が安定し、ある程度一定となったデータを用いてトンネルの挙動を解析した。

図1はA断面の土質の概要を示したものである。土質は砂質土と粘性土の互層であり、ボーリング調査結果等から得られた土の物性は図1中に示したとおりである。また、トンネルが位置する土質の変形係数は、N値やLLTから3000 tf/m²程度と推定された。一次覆工であるセグメントの諸元は表1に示したとおりである。

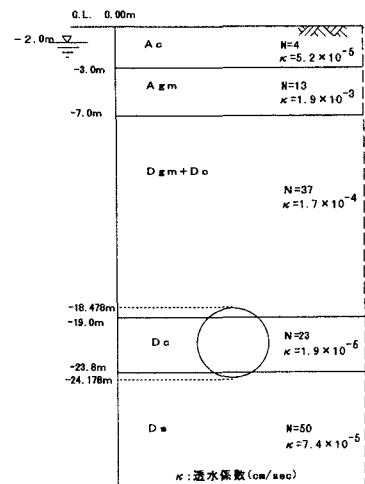


図1 A断面

3. 解析概要

解析は土水圧等の荷重をパラメータとしてセグメントリングの断面力算定を行ったものである。断面力の算定には全周地盤ばねモデルを用いた。解析ケースとそれに用いた荷重および解析モデルを表2および図2に示す。

前述したように、解析の対象とするトンネル工事は、4本のトンネルを併設施工することから、工事に用いたセグメントの設計ではそれらの相互干渉等を

表1 セグメントの諸元

外 径 (m)	5.7
桁 高 (m)	0.25
幅 (m)	1.0
セグメントの分割数	6
正の回転ばね定数 (tfm/rad)	3.0×10^3
負の回転ばね定数 (tfm/rad)	4.0×10^3
リング間せん断ばね定数 (tfm/rad)	5.5×10^3

キーワード：シールドトンネル、覆工設計、地盤反力、相互作用

連絡先：東京都中央区日本橋本町 4-12-20

tel:03-3661-4794

fax:03-3668-9484

考慮した荷重(全土被り土圧, 土水一体, 側方土圧係数 $\lambda=0.5$)を採用している²⁾。表2中の case1 の荷重がそれである。一方, case2 および case3 の荷重は Terzerghi の緩み土圧である。また, 水平方向の荷重は, 透水係数から判断すると中間的な土質と判断されたため, 土水一体(case2)と土水分離(case3)の両者について考えた(両者ともに $\lambda=0.5$)。またセグメントの自重($\pi g=0.95\text{tf/m}^2$)は土水圧と同様に外荷重として評価した。全周地盤ばねモデルにおける受働的地盤ばねおよび主働的地盤ばねのばね定数はこれまでの研究成果¹⁾を踏まえて地盤の変形係数から算出し, 各々 790 tf/m³ および 395 tf/m³ とした。

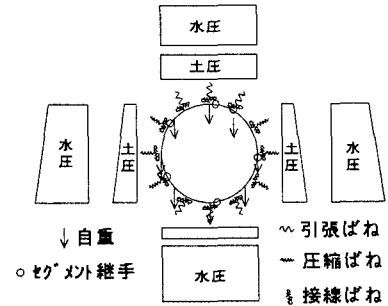


図2 解析モデル

表2 解析ケースとそれに用いた荷重

 単位: tf/m²

解析 ケース	頂部鉛直荷重		底部鉛直荷重	頂部水平荷重		底部水平荷重		備考
	土圧	水圧		土圧	水圧	土圧	水圧	
case1	34.8		35.7	17.4		22.5		全土被り土圧, 土水一体
case2	21.8		22.7	11.0		15.9		緩み土圧, 土水一体
case3	21.8		22.7	19.3		27.0		緩み土圧, 土水分離
	5.3	16.5		2.7	16.6	4.9	22.1	

4. 計測結果と解析結果との比較およびその考察

セグメントリングに作用する半径方向の土水圧およびセグメントに生じる断面力の計測結果および解析結果を図3に示す。なお, 土水圧の解析値は, セグメントリングの半径方向変位に伴う土圧(地盤と覆工の相互作用による土圧)を加算したものである。

土水圧の計測値は, case1 の荷重値よりも相当に小さく, Terzerghi の緩み土圧に地盤と覆工との相互作用による土圧を加算した値(case2, case3)よりも若干小さな値となっている。

曲げモーメントの計測値を見ると, すべての解析値が計測値と一致しているようであり, どの荷重ケースが実際のトンネル挙動を表現しているのか, その詳細な判断は難しい。また, このことはセグメントに生じる応力計測の位置設定には十分な検討を要することも示唆している。

軸力の計測値は, case2 および case3 の緩み土圧を用いた解析値よりも若干小さな値となっている。

以上の計測値と解析値の比較から総合的に判断すると, 今回の地盤のような洪積粘性土中に構築されるシールドトンネルのセグメントリングの挙動は, Terzerghi の緩み土圧を荷重として, 全周地盤ばねモデルを適用することにより, 概ね表現できるものと考えられる。

今後は, 地盤物性の評価方法の影響や底部地盤反力の評価方法の影響等についても詳細に検討する予定である。

【参考文献】

- 例えば, 木村, 野本, 渡辺, 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, トンネル工学研究論文・報告集, Vol.5, 1995.11.
- 浅賀ほか: 地下鉄4号超近接移行シールドの設計について, トンネル工学研究論文・報告集, Vol.3, 1993.11.
- 山口ほか: 併設シールドの影響予測解析と実際の挙動, トンネル工学研究論文・報告集, Vol.5, 1995.11.

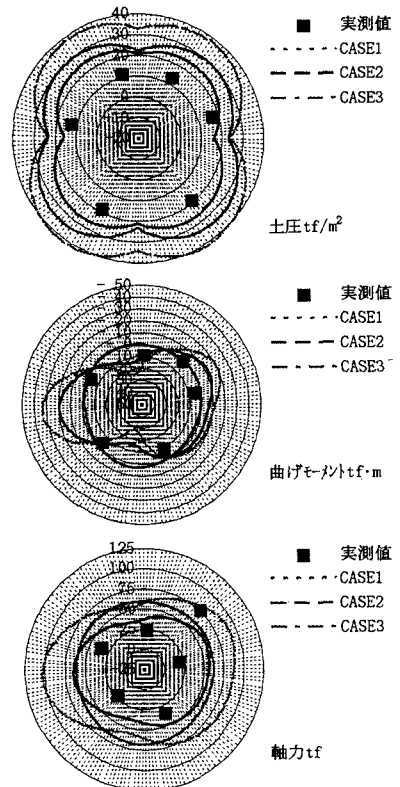


図3 土水圧および断面力