

洪積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性の定量的評価

早稲田大学 学生員 南木 聡明*¹
 早稲田大学 学生員 神田 大*¹
 佐藤工業(株) 正会員 木村 定雄*²
 早稲田大学 正会員 小泉 淳*¹

1. はじめに

現行のシールドトンネルの設計法は、軟弱な地盤を主な対象とし、特にトンネルの安全性や設計の簡便性を重視して荷重や構造のモデルを定めて、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、施工状況や地盤条件に応じてトンネルに作用する土圧は変化し、とくに自立性の高い地盤中に密閉式のシールド工法でトンネルを構築する場合には、トンネルに作用する土圧は相当に小さいものと考えられる。

これまでに筆者らは荷重系 - 構造系モデルの考え方に関する基礎的研究を重ね、自立性の高い地盤の特性を生かした合理的な設計法の一つとして、全周地盤ばねモデルによる断面力算定法を提案してきた。

本報告は洪積砂質土地盤中に構築されたシールドトンネルの現場計測結果¹⁾²⁾³⁾を基に、荷重系および構造系モデルについて各種の影響要因を設定して感度解析を行い、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

現場計測は洪積砂質土地盤中に構築されたシールドトンネルで行われた。計測から把握された項目は、セグメントリングの半径方向に作用する土水圧、セグメントに発生する曲げモーメントおよび軸力である。ここでは、各計測値がある程度安定した時点(セグメント組立後 90 日)でのデータを用いてトンネルの挙動を検討した。

表1および図1は洪積砂質土地盤中に構築されたトンネルのセグメントの諸元および計測断面の土質を示したものである。また、トンネルが位置する土質の変形係数は、孔内水平載荷試験から推定し 192MN/m²と判断された。

3. 解析概要

表2は感度解析に用いる影響要因およびその水準を示したものである。荷重系では鉛直荷重として全土被り土圧、Terzaghi の緩み土圧、および水圧のみの各ケースを、水平荷重としては現行の設計法の範囲で側方土圧係数を数ケース設定した。また、荷重系 - 構造系モデルでは慣用モデルおよびはり - ばねモデルを設定し、さらにははり - ばね系モデルでは、地盤の変形係数から受働的地盤ばね定数 Krc を算出し、そこから主働的地盤ばね定数 Krt および接線方向の地盤ばね定数 Kt を数ケース設定した。

4. 現場計測結果と感度解析結果との適合性の評価手法

本研究では、式(1)に示す定量的な手法を用いて現場計測結果と感度解析結果との適合性を評価した。具体的には、式(1)に示す S² (以下、分散と呼ぶ)の値が小さいほど現場計測結果と感度解析結果との適合性が高いものと判断した。ここに、m_i は実測値、a_i は解析値、n は計測点数である。

$$S^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (m_i - a_i)^2 \dots (1)$$

表1 セグメントの諸元

セグメントの種類	RC平板形セグメント
外径(mm)	6200
厚さ(mm)	275
幅(mm)	1000
図心半径(mm)	2962.5
セグメントの分割数	6分割
セグメントの組み方	2リング千鳥組

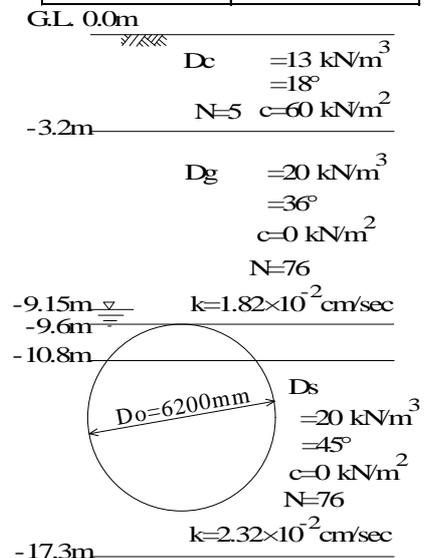


図1 計測断面の土質

【キーワード】シールドトンネル, 覆工設計, 土圧, 相互作用, 定量的評価

【連絡先】*1: 〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1 TEL 03-3204-1894 FAX 03-3204-1946

*2: 〒103-8639 東京都中央区日本橋本町 4-12-20 TEL 03-5823-2353 FAX 03-5823-2358

5. 現場計測結果と感度解析結果との比較およびその考察

荷重系の要因を用いた感度解析の結果によると、鉛直荷重としては Terzaghi の緩み土圧、水平荷重としては側方土圧係数を 0.55 としたときの土圧に水圧を加えた場合が計測結果と近い挙動

であることを確認した。次のステップとして、主働的地盤ばね定数 K_{rt} および接線方向の地盤ばね定数 K_t の影響を検討した。

図2はそれらの影響についての感度解析の結果を示した一例である。横軸は K_t と K_{rc} との比を、縦軸は分散を示している。図2から、土水圧を指標としたときの地盤ばね反力モデルの場合を除いて、接線方向の地盤ばね定数 K_t の影響はほとんどないことがわかる。一方、主働的地盤ばね定数 K_{rt} の影響は比較的小さく、また全周地盤ばねモデルと部分地盤ばねモデルとの差はほとんどみられず、ともに計測結果をよく表現している。全周地盤ばねモデルの各ケースをみると、 K_{rt} はこれまでの模型実験⁴⁾で得られた値($K_{rt}=K_{rc}/2$)、欧州諸国で広く用いられている値($K_{rt}=K_{rc}$)、および部分地盤ばねモデルと等価な値($K_{rt}=0$)の3ケースを設定しているが、その中では $K_{rt}=K_{rc}/2$ のケースが最もよく計測結果を表現している。

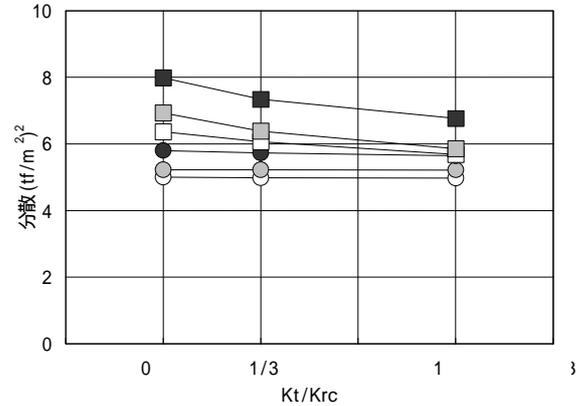
表3はセグメントの主断面を設計する際に設計用断面力となる正曲げおよび負曲げの最大曲げモーメントとそれらが発生する位置の軸力を示したものである。表中の M_{max} の大きさの比とは、部分地盤ばねモデルを用いた場合の最大曲げモーメントを1として求めたものである。表3より全周地盤ばねモデルの計算結果は、部分地盤ばねモデルの場合より正曲げおよび負曲げの最大曲げモーメントが3割程度小さくなっていることがわかる。また慣用計算法を用いた場合と比較するとそれらは4割程度減少していることがわかる。このことは、断面力の算定法として全周地盤ばねモデルを用いれば、セグメントの設計の合理化が図れる可能性を示唆している。今後は、今回の方方法を用いて、さらに多くの現場計測結果から全周地盤ばねモデルによる計算法の有用性を検証していく予定である。

【参考文献】

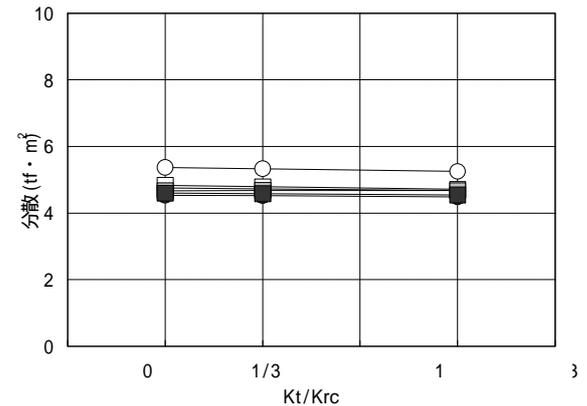
- 1) 平山, 草薙, 桐谷: 洪積砂質地盤中のシールドトンネルのセグメント計測(1), 土木学会第 53 回年次学術講演会, - B191, 1998. 10
- 2) 西本, 田村, 木村, 中井: 洪積砂質地盤中のシールドトンネルのセグメント計測(2), 土木学会第 53 回年次学術講演会, - B192, 1998. 10
- 3) 木村, 大日方, 齋木, 田中: 洪積砂質地盤中のシールドトンネルのセグメント計測(3), 土木学会第 53 回年次学術講演会, - B193, 1998. 10
- 4) 木村, 小泉: 地盤と覆工の相互作用を考慮したシールドトンネルの設計法について, 土木学会論文集, No. 624, - 47, 1996

表2 感度解析に用いる影響要因およびその水準

影響要因		水準
荷重系	鉛直荷重	全土被り土圧, Terzaghiの緩み土圧, 水圧のみ
	水平荷重	側方土圧係数, 水圧のみ
地盤と覆工との相互作用を考慮した荷重系・構造系モデル	構造系	剛性一様リング (慣用計算法)
		はり-ばね系モデル ↳ 部分地盤ばねモデル ↳ 全周地盤ばねモデル (等分布反力モデル, 地盤ばね反力モデル)
	受働的地盤ばね定数 K_{rc}	$K_{rc} = 3E / \{R(1 + \dots)\}$
	主働的地盤ばね定数 K_{rt}	$K_{rt} = K_{rc}, K_{rc}/2, 0$
	接線方向の地盤ばね定数 K_t	$K_t = K_{rc}, K_{rc}/3, 0$



a) 土水圧を指標とする場合



b) 曲げモーメントを指標とする場合

図2 計測結果と解析結果との適合性の定量的評価

部分($K_{rt}=0$)	ばね反力($K_{rt}=0$)
● 全周($K_{rt}=K_{rc}/2$)	■ ばね反力($K_{rt}=K_{rc}/2$)
○ 全周($K_{rt}=K_{rc}$)	□ ばね反力($K_{rt}=K_{rc}$)

表3 最大曲げモーメントの比較

		部分	全周	ばね反力	慣用
正曲げ	最大曲げモーメント M_{max} (kN·m)	18.7	13.1	13.2	21.9
	軸力 N (kN)	283	265	254	230
	M_{max} の大きさの比	1	0.70	0.71	1.17
負曲げ	最大曲げモーメント M_{max} (kN·m)	-17.7	-12.4	-13.1	-25.8
	軸力 N (kN)	346	324	302	185
	M_{max} の大きさの比	1	0.70	0.74	1.46

ここに $K_{rt}=K_{rc}/2$: 全周地盤ばねモデル, 地盤ばね反力モデル
 $K_t=0$: 部分地盤ばねモデル, 全周地盤ばねモデル
 $K_t=K_{rc}$: 地盤ばね反力モデル