

Ⅲ－B91

洪積砂質地盤中のシールドトンネルの現場計測結果に基づく 全周地盤ばねモデルの適用性に関する考察

早稲田大学 学生員 神田 大
佐藤工業㈱ 正会員 木村 定雄
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の設計法は軟弱な地盤を主な対象とし、とくにトンネルの安全性や設計の簡便性を重視して荷重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、施工(地山の緩め方等)の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すると考えられ、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と考えられる。そこで、自立性の高い地盤の特性を生かし、トンネルの挙動を合理的に評価するための一手法として全周地盤ばねモデルについての基礎的研究を進めてきている¹⁾。

本報告は洪積砂質地盤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), 4)}を基に、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外径 6200mm の共同溝である。RC 平板形セグメントによる一次覆工の一断面に計測断面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、セグメントリングの半径方向の土水圧、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、計測断面のセグメントリングが組み立てられてから 90 日後にすべての計測値が安定したため、その時点のデータを用いてトンネルの挙動を検討した。

図 1 は計測断面における土質の概要を示したものである。土質は砂礫層および砂質土層が主体となり、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、LLT から 192MN/m² 程度と推定された。一次覆工のセグメントの諸元は表 1 に示したとおりである。

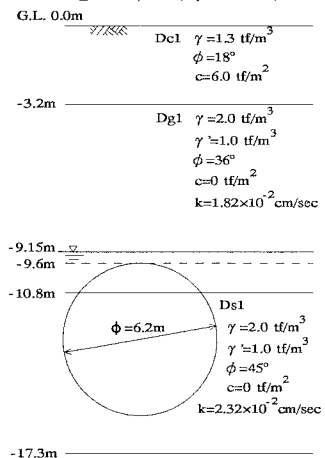


図 1 土質の概要

3. 解析概要

まず構造モデルをパラメータとして覆工に作用する荷重および覆工の断面力の算定を行った。構造モデルには慣用計算モデル(case1)、全周地盤ばねモデル(case2)、部分地盤ばねモデル(case3)および底部地盤ばね反力モデル⁵⁾(case4)を用いた。解析ケースおよび荷重条件をそれぞれ表 2 および表 3 に示す。自立性の高い地盤においては、長期的に作用する土圧として Terzaghi の緩み土圧を用いることによってトンネルの挙動を比較的良好に表現できる⁴⁾と考え、鉛

表 1 セグメントの諸元

外径(mm)	6200
桁高(mm)	275
幅(mm)	1000
単位長重量(kN/m ²)	7.15
回転ばね定数(MN・m/rad)	9.06
セグメントの分割数	6

表 3 荷重条件

頂部鉛直荷重p1	85.2
底部鉛直荷重p2	85.2
頂部水平荷重q1	42.8
底部水平荷重q2	129

単位: kN/m²

表 2 解析ケース

解析ケース	地盤ばね定数(MN/m ³)		
	受働krc	主働krt	接線方向kt
case1 慣用計算法	水平方向地盤反力係数: 46.3		
case2 全周地盤ばねモデル	46.3	23.2	15.4
case3 部分地盤ばねモデル	46.3	0	15.4
case4 底部地盤ばね反力モデル	46.3	23.2	15.4

case2-case4 の解析にはシールドトンネルの汎用解析プログラム moleman(ver.2.0)を使用

キーワード: シールドトンネル, 覆工設計, 土圧, 相互作用

連絡先: 東京都中央区日本橋本町 4-12-20 TEL:03-5823-2352 FAX:03-5823-2358

直方向の荷重にはそれを用いた。水平方向の荷重は、透水係数(2.32×10^{-2} cm/sec)から土水分離とし、側方土圧係数を 0.45 とした。また、地盤と覆工との相互作用を評価する受働側の地盤ばね(水平方向地盤反力係数)および主働側の地盤ばねのばね定数は、これまでの研究成果¹⁾をふまえて地盤の変形係数から算出し、それぞれ 46.3 MN/m^3 および 23.2 MN/m^3 とし、また底部地盤ばね反力モデルにおける接線方向の地盤ばね定数は受働側の地盤ばね定数の 1/3 である 15.4 MN/m^3 とした。

4. 計測結果と解析結果との比較およびその考察

セグメントリングで計測された半径方向の土水圧および断面力と、それらの解析結果とを図 2 に示す。土水圧の実測値は地盤と覆工との相互作用が生じた後の値であると考え、これと比較する解析値はセグメントリングの半径方向の荷重に変形に伴う計算上の反力を加算して求めた。土水圧の実測値は、天端から反時計回りに約 60° 周辺の実測値がいずれの解析値よりも大きな値となっている。これは裏込注入がこの付近の注入孔から行われたため、その影響を大きく受けたものと考えられる。また曲げモーメントおよび軸力をみると、解析値よりも実測値の方が大きくなる部位があり、これは裏込注入圧やジャッキ推力等の施工時荷重の影響を受けたものと考えられる。

一方、図 2 中に示した case1～case4 の土水圧、曲げモーメントおよび軸力の計算結果がともに大差はなく、概ねいずれも実測値を表現しているように見える。そこで、セグメントの主断面を設計する際に応力度の照査に用いられ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における軸力に着目して整理してみた。表 4 はその結果を示したものである。表中、最大曲げモーメントの大きさの比は、慣用計算法(case1)により得られた最大曲げモーメントを 1 として求めたものである。表 4 より、全周地盤ばねモデルを用いて計算した最大曲げモーメントは正曲げおよび負曲げともに慣用計算法により計算したその 8 割程度となり、4 つの計算法のうちで最も小さな値となることがわかる。このことは、とくに自立性の高い地盤においては、断面力の算定法として全周地盤ばねモデルを用いることにより、従来の断面力の算定法を用いて設計されたものと比べてセグメントの厚さを低減したり鉄筋量を減少するなど、セグメントの設計の経済化を図れる可能性があることを示している。また、今回はセグメントの挙動が安定した状況における計測データを用いて検討を行ったが、セグメントの設計においては施工時荷重などの不確定な荷重の影響が長期にわたって残留することも考えられ

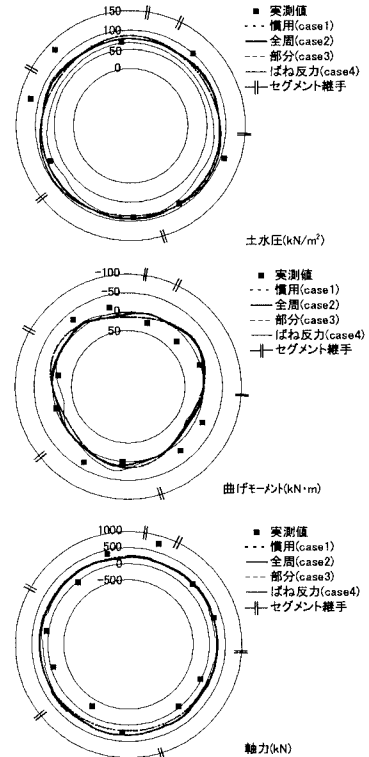


図 2 土水圧および断面力

表 4 最大曲げモーメントおよびその発生位置の軸力の比較

		case1 慣用	case2 全周	case3 部分	case4 ばね反力
正曲げ	最大曲げモーメント $M_{\max} (\text{kN} \cdot \text{m})$	16.0	13.1	18.3	25.8
	軸力 $N (\text{kN})$	229	233	234	174
	$M_{\max}$ の大きさの比	1.00	0.82	1.15	1.61
負曲げ	最大曲げモーメント $M_{\max} (\text{kN} \cdot \text{m})$	-16.2	-12.7	-16.6	-26.3
	軸力 $N (\text{kN})$	174	266	284	296
	$M_{\max}$ の大きさの比	1.00	0.79	1.03	1.63

【参考文献】1) 例えば、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、トンネル工学研究論文・報告集、p. 71-78、1995. 11.

2) 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、Ⅲ-B191、1998. 10

3) 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、Ⅲ-B192、1998. 10

4) 木村、大日方、斎木、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、Ⅲ-B193、1998. 10

5) 木村、渡邊、金子、小泉：シールドトンネルの合理的な設計法に関する研究、土木学会第 52 回年次学術講演会、Ⅲ-B107、1997. 9