

(Ⅲ－28) 東京都心部の大深度地下における多目的トンネルに関する調査研究(その3)

－ セグメントの設計事例と設計の合理化について －

佐藤工業(株) 正会員 木村 定雄
 (株)熊谷組 正会員 岩波 基
 早稲田大学 正会員 小泉 淳

1. はじめに

東京都市部の大深度地盤は、中浅深度地盤と比較して相当に自立性の高い地盤であると考えられる¹⁾。すなわち、中浅深度地盤は沖積層および上部洪積層がその主体であるが、深度が大きくなるにつれて下部洪積層、さらには固結度の高い粘性土層いわゆる土丹層がその主体をなす。このような地盤中にシールドトンネルを構築する場合、その覆工設計には周辺地盤の特徴を有効に活用することが望まれる。一方、わが国におけるシールド工法は、経済の高度成長時代を背景に大都市部の中浅深度地下におけるインフラ整備のためのトンネル構築法として急速に発展した。現行の覆工の設計法はこれらの状況を勘案して軟弱地盤を主な対象とし、設計の簡便性やトンネルの安全性を特に重視したものになっていると考えられる。このため、大深度の自立性が高い地盤中にトンネルを構築する場合には、現行の設計法をそのまま適用することは不経済であり、周辺地盤の特性を適切に評価して、より合理的かつ経済的な覆工設計を行うことが求められる。以上のことを踏まえ、筆者らは大深度地盤中に設計施工されたシールドトンネルの事例から現状の設計例を調査するとともに、自立性の高い地盤中の覆工設計の合理化手法について検討してきている。本報告は過去の設計例および本プロジェクトで対象となるセグメントの試設計計算の一例について考察したものである。

2. セグメント設計の事例

本プロジェクトにおいて計画しているトンネル部の深度は、最大で105m程度、また最小でも60m程度である。これまでに大都市部で構築されたシールドトンネルは、中浅深度に集中しており、最近では大深度化される傾向も見受けられるが、その数は非常に少ないのが実状である。“大深度”を明確に定義づけることは難しいが、ここでは一義的に地表面下50m以上の深度を“大深度”と考えている。表1は深度が50m以上を目安としてその実績から設計条件を整理した例である。また、これらの事例は大都市部の例であり、土質はN値が50以上の固結粘性土またはよく締まった洪積砂質土である。わが国の大都市部は河口付近に発達し、その地盤は堆積土が厚く存在することから、どの例を見ても地下水圧としては深度にほぼ相当する水頭が作用することがわかる。またセグメントの設計に用いる土圧や水圧の算定において、土と水との取扱いは土水分離を基本とする考え方が用いられている。鉛直土圧は換算緩み高さとして、その下限値をセグメント外径の2倍としている例が多い。水平土圧は基本的に鉛直土圧に側方土圧係数を乗じて求めているが、自立性の高い地盤中であることから、0.4～0.5としている場合が多い。地盤反力係数は側方土圧係数と関連して定められるものであるが、土木学会トンネル標準示方書に示される最大値(5kgf/cm³)にとらわれず、土質条件などから大きめの値を採用する例も見受けられる。一方、設計されたセグメントの諸元を示したのが図1および図2であ

表1 大深度地下シールドトンネル セグメント設計に用いた荷重条件の実績

土質	土被り (m)	地下水位 (m)	セグメント外径 (m)	セグメント厚さ (cm)	換算緩み高さ (m)	換算緩み高さ セグメント外径	土圧・水圧の 考え方	側方土圧係数	地盤反力係数 (kgf/cm ³)
固結粘性土	30.0	28.90	5.80	30	6.00	1 D	土水分離	0.2	10
固結粘性土	65.0	62.00	4.55	20	9.10	2 D	土水分離	0.4	8
洪積粘性土	65.4	62.80	8.00	40	16.00	2 D	土水分離	0.4	1.5
固結粘性土	53.6	49.60	5.20	30	10.40	2 D	土水分離	0.5	8
細砂質泥岩	35.8	30.00	7.65	32.5	21.50	2, 8 D	土水分離	0.4	4
砂質固結粘性土	44.0	39.80	3.80	15	7.60	2 D	土水分離	0.4	8
洪積砂質土	40.0	35.20	4.30	17.5	8.60	2 D	土水分離	0.4	5
洪積砂質土	40.3	40.30	4.30	17.5	8.60	2 D	土水分離	0.5	5

注) 土圧・水圧の考え方は基本的に地下水位が高くなることから土水分離としているが、側方土圧係数の算定にあたっては粘性土として考える場合もある。

る。これらの図はRC平板形セグメントの例であり、大深度地盤以外の例も含めて示したものである。セグメントの厚さはセグメント外径に比例しており、平均するとセグメント外径の4.5%程度であることがわかる。本プロジェクトで計画しているセグメントの外径が10mであること²⁾を合わせ考えるとセグメント厚さが45cmとなる。また、同様に実績からセグメントの分割数を判断すると分割数は8となり、さらに図3に示すような等分割を想定するとセグメント1ピース当たりの重量は約6.4tonとなる。

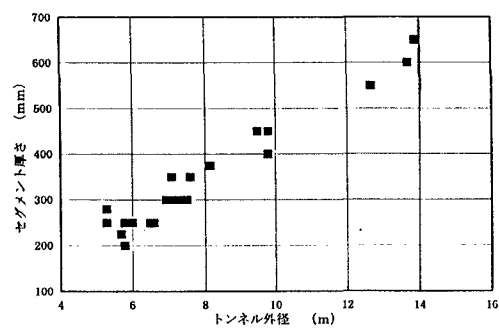


図1 セグメント厚さの実績

3. セグメント設計の合理化と試算計算結果

先にも述べたとおり、これまでの設計事例は慣用計算法によって計算されたものがほとんどであり、基本的に土圧や水圧の評価は中浅深度地盤を対象とした考え方に立脚している。そこで、各種の断面力算定法を用いて本プロジェクトで考えているセグメントの試設計計算を行った。表2は各種の断面力算定法³⁾により得られた最大断面力から、許容応力度設計法によってセグメント厚さを試算した結果である。これによると、はりばねモデル計算法のうち、全周地盤ばねモデルを用いてセグメントの断面力算定を行えば、自立性の高いトンネル周辺の地盤の力学的特性を評価してセグメント設計の合理化が図れるものと考えられる。

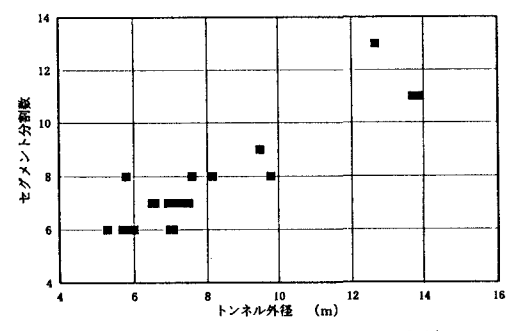


図2 セグメント分割数の実績

なお、全周地盤ばねモデルの具体的な考え方および計算手法は文献 3), 4)を参照されたい。

4. おわりに

ここで報告した内容は、早稲田大学理工学総合研究センターにおける民間6社との共同プロジェクト『大深度地下トンネルに関する調査研究』の研究成果の一部である。

表2 最大断面力に基づく断面算定結果

断面力算定法	最大断面力			(換算値のみ高さ2D、側方土圧係数0.4、自重考慮)		
	発生位置 (deg.)	M (tf・m)	N (tf)	セグメント 厚さ H (cm)	主筋 (最小鉄筋量)	応力度 (kgf/cm ²) σc (曲げ圧縮)
慣用計算法	0	35.6	704	43	D16×18	167
部分地盤ばねモデル計算法 (いも継ぎの場合)	0	27.8	708	40	D16×18	168
	0	34.0	704	42	D16×18	169
全周地盤ばねモデル計算法 (いも継ぎの場合)	0	15.5	674	34	D16×16	167
	0	19.4	673	35	D16×18	170

注) 地盤ばね定数: Kc=5.0kgf/cm²(圧縮), Kt=3.0kgf/cm²(引張)
コンクリートの許容曲げ圧縮応力度: σca=170kgf/cm²

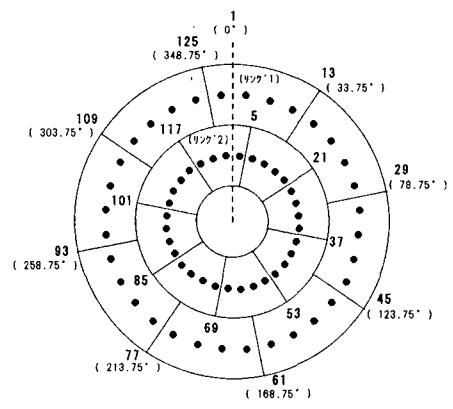


図3 セグメント分割(等分割)

【参考文献】

- 1) 小林, 村山, 森, 遠藤: 東京都心部の大深度地下における多目的トンネルに関する調査研究(その1), 第50回年次学術講演会, III-541, 1995. 9.
- 2) 古川, 森, 小泉, 尾島: 東京都心部の大深度地下における多目的トンネルに関する調査研究(その1), 第50回年次学術講演会, N-232, 1995. 9.
- 3) 木村, 野本, 小泉: シールドトンネル覆工の合理的な設計法に関する一考察, トンネル工学研究論文・報告集, Vol. 5, p. 373~378, 1995. 11.
- 4) 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, Vol. 5, p. 71~78, 1995. 11.