

シールドセグメントにおける中位の粘性土への 緩み土圧適用拡大による合理的設計

山根 謙二¹・高瀬 正司²・斉藤 仁³・松永 浩⁴

^{1,2}非会員 東京電力株式会社 工務部 送変電建設センター 管路整備グループ

(〒108-0023 東京都港区芝浦四丁目19-1)

E-mail:yamane.kenji@tepcoco.jp

³正会員 東京電力株式会社 工務部 送変電建設センター 管路整備グループ

⁴正会員 東京電力株式会社 工務部 送変電建設センター 管路整備グループマネージャー

本報告は、「中位の粘性土」地盤を直上にもつシールドトンネルの設計にあたり、鉛直土圧として緩み土圧の適用を試みたものである。

対象とするシールドトンネル通過地盤は十分な地盤強度をもつ洪積層であるが、一部の区間においてトンネルから2D上方がN=4のローム層となっており、鉛直土圧の扱いによりセグメント構造が大きく異なる。

そこで、ローム層の粘着力に関し、データのばらつきを含めて評価したところ、強度的にはN>8の粘性土相当であり、緩み土圧の適用は可能であると判断された。その結果、シールドトンネル全線についてセグメントの厚さを低減した。

Key Words : shield tunnel lining, loosening earth pressure, medium cohesive soil

1. はじめに

(1) 工事概要

当社では現在、超高圧地中送電線のネットワークの増強として、図-1に示す、東京タワー前の区道を通る、掘削延長約450mのシールドトンネル工事（件名：飯倉芝公園管路新設工事）を進めている。

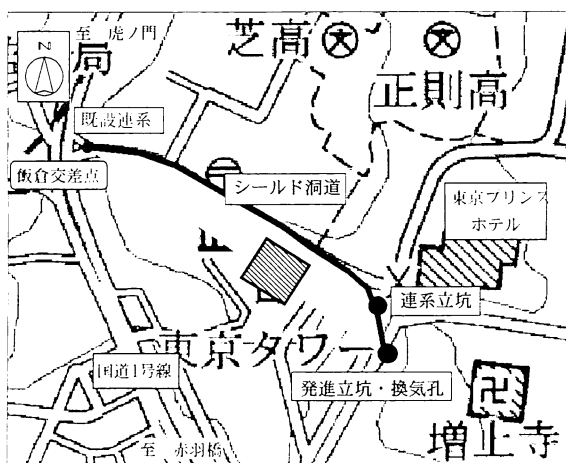


図-1 案内図

表-1 工事規模

設備	発進立坑	連系立坑	シールドトンネル
形状	円形	矩形	円形
規模	内径 6.5m 高さ 18m	内空 3.3~5.4m ×7.4~8.5m 高さ 20m	内径 2.6m 外径 2.95m 桁高 175mm R=20m:1箇所
工法	円形鋼矢板工法	掘削工法	泥土圧式 (流体輸送方式)

工事規模を表-1に示す。連系立坑およびシールド到達部は既設洞道と接続する。連系立坑については、当該箇所にはシールド発進基地を設置できないため、発進立坑とは別に設置している。

(2) 地質概要および縦断線形

地質および縦断線形を図-2に、土質物性値を表-2に示す。

本工事箇所は武蔵野台地を構成する淀橋台の東端部に位置しており、地質は上から関東ローム層であるLc層、

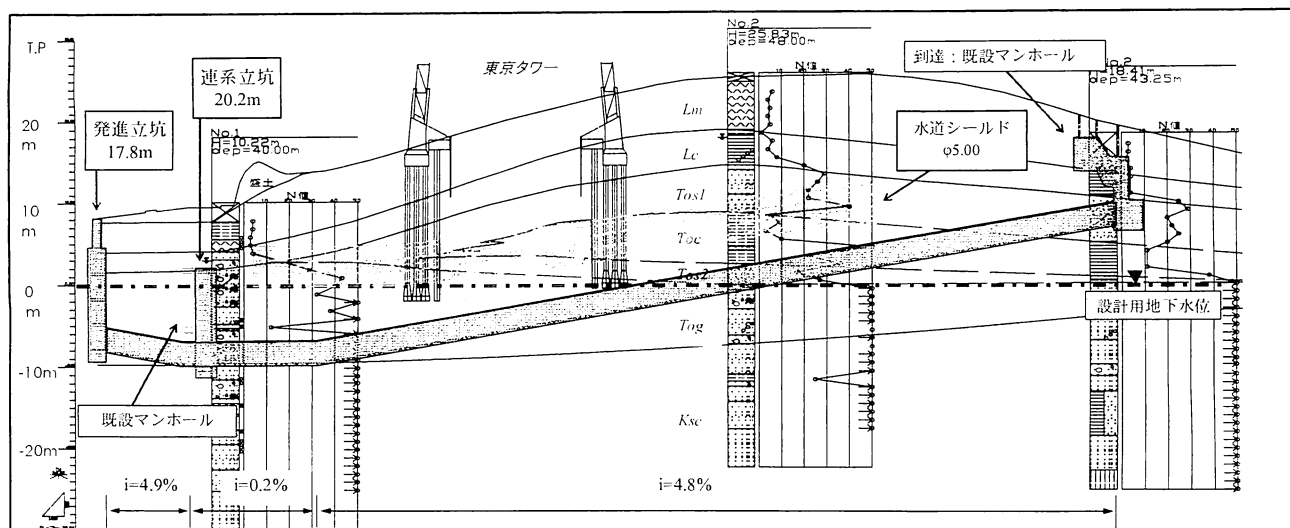


図-2 地質および縦断線形

表-2 土質物性値

地層名		N値	単位体積重量 γ_t [kN/m ³]	粘着力 C [kN/m ²]	内部摩擦角 ϕ [°]
ローム	Lm	4	16.0	17.0	0
	Lc	4	16.0	70.0	0
東京層	Tos1	25	19.0	0	30
	Toc	18	17.0	120	0
	Tos2	27	19.0	0	30
	Tog	50<	20.0	0	40
上総層	Ksc	50<	19.0	0	35

Lm層、東京層であるTog層、Tos層、Toc層、上総層であるKsc層にて構成されている。

縦断線形は、連立立坑を最下端とし、その前後の勾配を5%弱とするV字形となっており、シールドの到達は、既設洞道との地中接続となる。トンネル通過地盤は、Tog層、Tos層、Toc層であり、発進側は主にTog層、到達側はTos層となっている。なお、当該箇所の地下水位はTP±0m付近と推定され、シールド到達側は地下水位より上部となる。

(3) 目的

シールドトンネルの設計鉛直土圧には、緩み土圧と全土被り土圧があり、「中位の粘性土」(N=4)では緩み土圧を採用するか、全土被り土圧を採用するか判断が分かれる。

本トンネルの通過地盤は全線が洪積層（東京層）となっており、セグメントの設計での鉛直土圧に、緩み土圧を採用する区間がその過半を占めているが、到達側にお

いては「中位の粘性土」までの土被りが2D以下となり、鉛直土圧の扱いによりセグメントの構造が大きく異なることになる。

本検討では、「中位の粘性土」に対し土質物性値の評価をもとに、緩み土圧を適用することでセグメント構造のスリム化を図ることを目的とする。

2 緩み土圧の考え方

(1) 緩み土圧について

トンネルに作用する土圧について、トンネル標準示方書では「¹⁾ 土被りがトンネルの外径に比べて小さい場合には、土のアーチング効果は期待できないので、粘性土はもちろん砂質土においても、緩み土圧を採用することは問題が多く、全土被り土圧を採用するのが妥当である。土被りがトンネルの外径に比べて大きくなると、土のアーチング効果に比較的信頼がおけるようになることから、緩み土圧を採用することも可能である」としている。

緩み土圧の採用については、「²⁾ 硬い粘性土 (N≥8) の良質地盤で土被りがセグメント外径 (D) の1～2倍以上の場合に緩み土圧を採用していることが多い。また、中位の粘性土 (4≤N<8) あるいは軟らかい粘性土 (2≤N<4) の場合では、トンネルの全土被り重量が土圧として作用した記録もあり、緩み土圧採用にあたっては、土被り、周辺地盤の強度等を詳細に検討する必要がある。」としている。

以上より、「中位の粘性土」でも、土被りや地盤の強度によっては、緩み土圧を適用することが可能であると考えられる。

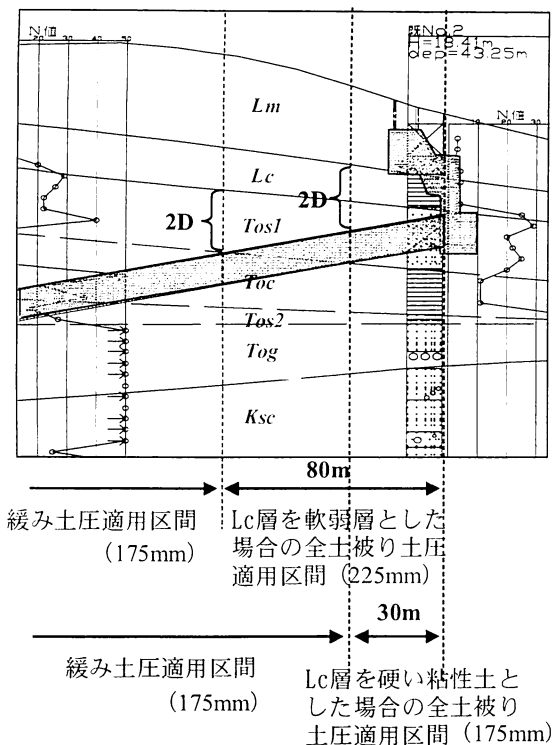


図-3 緩み土圧の適用範囲

(2) 本工事における設計土圧とセグメント構造

本工事におけるトンネル通過地盤は全て洪積層（東京層）であり、シールド発進側の緩み土圧適用区間では、必要なセグメント厚は175mmとなる。シールド到達側においては、「中位の粘性土」（ $N=4$ ）であるローム層までのトンネル土被りが2D以下となり、ローム層を緩み土圧を適用できない軟弱層とした場合、全土被り土圧適用区間が約80mとなる。その場合、セグメント厚を225mmにする必要がある。

一方、この「中位の粘性土」のうち粘着力が比較的大きいLc層を緩み土圧が適用できる地盤とした場合、全土被り区間が30m程度に縮小され、シールド全線にわたりセグメント厚を175mmにできる。

3. 緩み土圧の適用性評価

本トンネル設計では、近傍のボーリングデータ平均値から粘着力を70kN/m²と想定しているが、Lc層の緩み土圧の適用にあたっては土質データのばらつきを考慮しても十分な粘着力を有していることを確認する必要がある。そこでLc層の粘着力について、トンネルから半径1kmの範囲のデータを東京地盤図および当社、他企業の土質調査記録から収集し、母平均の下限値を推定した（表-3）。表-3より、Lc層の粘着力Cの母平均の95%下限値は



図-4 土質調査範囲

表-3 土質データ集計表（半径1km）

Bor. No.	N値	一軸圧縮強さ q_u (kN/m ²)	粘着力C (= $q_u/2$)	変形係数 (MN/m ²)
1	5	92.5	46.3	—
2	4	31.4	15.7	—
	4	27.7	13.9	—
3	4	89.0	44.5	—
	4	88.0	44.0	—
4	5	84.0	42.0	—
	6	50.0	25.0	—
5	4	61.5	30.8	2.2
6	5	—	—	—
7	5	66.1	33.1	9.9
8	3	—	—	—
9	4	133.9	67.0	15.6
		138.5	69.3	15.4
10	3	—	—	—
11	4	163.6	81.8	5.6
12	4	98.3	49.2	6.73
		140.8	70.4	7.04
13	4	145.5	72.8	12.8
		205.8	102.9	19.1
14	5	—	—	—
15	5	—	—	—
16	4	—	—	4.5
平均	4	101.0	50.5	9.9

標本数 n		16	10
標本平均 $\bar{m}$		50.52	9.87
標本（不偏）標準偏差 μ		24.91	5.58
$\mu/\sqrt{n}$		6.23	1.76
t値(5%)		2.13	2.26
母平均の信頼区間	95%下限	37.24	5.89

37kN/m²であることから、ばらつきを評価した上でも30kN/m²以上の粘着力を期待できると判断できる。また、表-4ではトンネル近傍の半径300m内のデータに限定した場合の結果を示しており、この場合は、50kN/m²以上の粘着力を期待できることが判明した。

一方、粘性土におけるN値と一軸圧縮強度、粘着力の
関係として、表-5に示す、³⁾ Terzaghi and Peckの関係式

$$q_u=12.5N \tag{1}$$

を用いたものがある。これによると、本トンネル到達部
のような粘着力50kN/m²以上を期待できる地盤について
は、N値8以上の「硬い粘性土」に相当すると判断でき
る。

表-4 土質データ集計表（半径 300m）

Bor. No.	N 値	一軸圧縮強さ q_u (kN/m ²)	粘着力 C (= $q_u/2$)	変形係数 (MN/m ²)
9	4	133.9	67.0	15.6
		138.5	69.3	15.4
10	3	—	—	—
12	4	98.3	49.2	6.73
		140.8	70.4	7.04
13	4	145.5	72.8	12.8
		205.8	102.9	19.1
14	5	—	—	—
15	5	—	—	—
平均	4	143.8	71.9	12.8

標本数 n		6	6
標本平均		71.90	12.76
標本（不偏）標準偏差 μ		17.40	4.97
$\mu/\sqrt{n}$		7.10	2.03
t 値(5%)		2.57	2.57
母平均の信頼区間	95% 下限	53.64	7.54

表-5 粘性土における各物性値の関係 (Terzaghi and Peck)

コンシステンシー	N 値	一軸圧縮強度 q_u [kN/m ²]	粘着力 c (= $q_u/2$)
固結した	30以上	400以上	200以上
非常に硬い	15～30	200～400	100～200
硬い	8～15	100～200	50～100
中位の	4～8	50～100	25～50
軟らかい	2～4	25～50	12.5～25
非常に軟らかい	<2	25以下	12.5以下

4. 結論および今後の展開について

本検討より、Lc層の粘着力が「硬い粘性土」相当であ
ると判断できること、また、実際にトンネルが通過する
地盤は東京層であり、その東京層の土被りが1 D以上あ
ることを踏まえ、本工事においてLc層を緩み土圧適
用可能な層であると判断しても問題ないものと評価する。

この結果を踏まえ、緩み土圧適用区間を拡大すること
とする。なお、緩み土圧適用の拡大区間については、実
工事においてセグメントの背面土圧計測、内空変位計測
を実施し、設計土圧の妥当性を検証する予定である。

この計測において万一設計以上の土圧がかかるような
場合には、今回の検討で生じるセグメント厚としての内
空余裕分50mmに補強用の覆工を施す等の対策を行うこ
とを検討する。

今後は、N<8の粘性土であっても、室内試験結果等
により所要の強度を満足すると判断できる場合には緩み土
圧を適用できないか、本検討および今後実施する計測結
果の検証、他地点でのデータの蓄積により検討し、設計
体系や土質強度評価の改善につなげていきたいと考える。

参考文献

- 1) 土木学会：トンネル標準示方書 シールド工法・同
解説, PP.43,2006
- 2) 土木学会：トンネル標準示方書 シールド工法・同
解説, PP.43,2006
- 3) 地盤工学会：地盤調査法, PP.202,2000

CONSIDERATION ON APPLING THE LOOSING EARTH PRESSURE TO DESIGN
OF SHIELD TUNNEL LINING UNDER THE MEDIUM COHESIVE SOIL

Kenji YAMANE, Masashi TAKASE ,Jin SAITOand Hiroshi MATSUNAGA

The loosening earth pressure is tried to apply for the vertical load acting on the shield tunnel lining under
medium cohesive soil.

Although the surrounding ground is diluvium sand, the soil layer is consisted of volcanic cohesive soil
less than twice the diameter above tunnel in a part of route.

Thus, the lining structure greatly differs depending on the earth pressure estimation.

With examination of the soil data around the site of tunnel, cohesion of the volcanic soil is evaluated to
have enough strength that the loosening earth pressure can be applied.