

III-688

シールドトンネルの変形と二次覆工の変形抑止効果

東京都交通局 ○正員 古田 勝
 日本シールド・エンジニアリング 正員 斉藤 正幸
 東京都立大学 正員 山本 稔

1. はじめに 東京都では、昭和33年8月に都営地下鉄浅草線の建設に着手して以来、浅草線、三田線、新宿線、12号線の4路線を開業し、現在68.1kmを営業している。このうち、近年施工された新宿線および12号線は、標準的には駅部を開削工法、駅間をシールド工法で施工され、延長27.8kmの約60%をシールドトンネルが占めている。これらのシールドトンネルを対象とする保守管理では、トンネルの断面変状調査を建設以来継続して実施している。

本報告は、建設後約10年を経過したシールドトンネルについて、断面変状調査結果に基づき、覆工部材(セグメントおよび二次覆工)が受けた負荷荷重の推定を行うとともに、この負荷荷重に対して二次覆工を施工しない場合の変形量と発生断面力を試算することによって、二次覆工の変形に対する抑止効果を検討したものである。

2. シールドトンネルの断面変状調査結果 シールドトンネルの断面変状調査は、図-1に示すようにトンネル断面スプリング部付近に設置した測定ピン間の距離を精密な測定器で定期的に測定することにより、トンネル断面の変化量を把握するものである。測定器は精密なスチールテープに一定の張力を与え距離を読みとる装置であり、温度補正を行うことによってその測定精度は $\pm 0.5\text{mm}$ 程度である。なお、調査用の測定ピンは二次覆工施工完了後に設置していることから、変形量は二次覆工施工後の変形状況を示すものである。

良質地盤(洪積砂層)の一般的な例として図-2に、軟弱地盤(沖積粘性土層)について図-3に平均的な例、および図-4に特に変形量の大きい箇所の例を示す。これらの図から良質地盤に建設したトンネルの変形量は1mmに達していない。これに対して、軟弱地盤に建設したトンネルの変形量は経時的に変形が進み、約4mmに達している。特に、図-4の例ではトンネル変形量が約9mmに達している。なお、トンネル断面が変形した原因として、建築物などによる地表面の荷重増加がないことから、二次覆工施工後に生じたトンネル周辺地盤の圧密沈下、クリープ変形、土水圧の経時的な変化などが考えられる。

3. 変形に伴う負荷荷重と覆工部材の発生断面力の推定

図-4に示した箇所を対象にトンネル断面の変形に関する逆解析を行い、トンネル覆工に作用する負荷荷重、セグメントおよび二次覆工に発生する断面力を推定した。次に、推定した負荷荷重を用い二次覆工を施工しない場合の変形量、発生断面力を算定した。

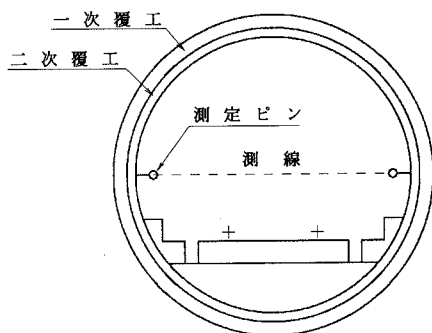


図-1 測定概要図

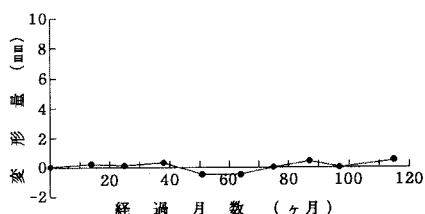


図-2 トンネル断面変形量の経時変化(良質地盤)

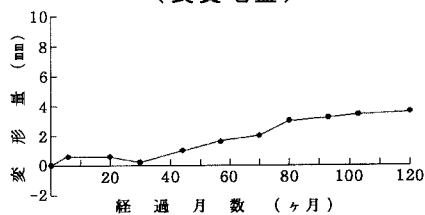


図-3 トンネル断面変形量の経時変化(軟弱地盤: 一般例)

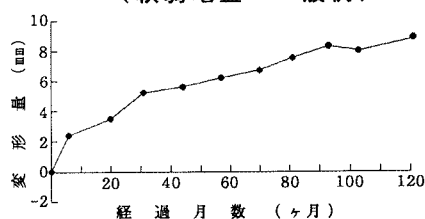


図-4 トンネル断面変形量の経時変化(軟弱地盤: 最大変形箇所)

逆解析は、以下の仮定に基づいて行った。

- ①二次覆工施工前（初期値測定以前）のトンネルの変形状況が不明のため、初期値測定時を真円状態と仮定した。
- ②トンネル断面に変形が生じた原因は、図-5に示すようにトンネル周辺地盤の圧密沈下によって鉛直負荷荷重を受けると仮定した。
- ③シールドトンネルの設計では、一般に二次覆工を構造部材としないが、本検討では全断面有効と仮定した。

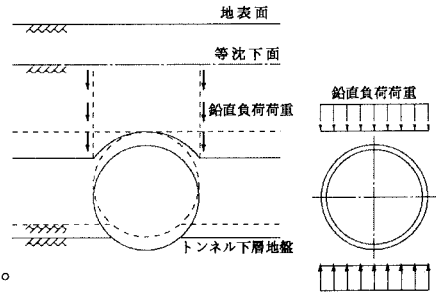


図-5 鉛直負荷荷重の考え方¹⁾

解析方法は、“はりばねモデル”²⁾を用いることとした。解析に用いる覆工および周辺地盤の解析条件を表-1に示す。

解析から得られたトンネル断面の水平直径変化量と鉛直負荷荷重の関係を図-6に示す。この結果から、圧密沈下に伴って生じると考えられる鉛直負荷荷重は、 3.13tf/m^2 と推定される。

さらに、この鉛直負荷荷重を用いて二次覆工が施工されていない場合の変形量を推定した結果を図-6中に示す。二次覆工を施工しない場合の変形量は 18mm となり、二次覆工を施工した場合との差は約 9mm となる。また、鉛直負荷荷重によって、覆工部材に発生する断面力を表-2に示す。

以上の検討におけるトンネル断面の変形およびセグメントの発生断面力から判断すると、トンネル断面変形に対する二次覆工の抑止効果は大きいといえる。

なお、鉛直負荷荷重の増分は設計において考慮されている範囲にあり、検討対象としたシールドトンネルは構造上問題となるものではない。

表-1 解析条件

セグメント	セグメント外径	7300mm
	セグメント厚さ	300mm
	セグメント幅	900mm
	回転ばね定数	1000tf・m/rad
	弾性係数	3500000tf/m ²
二次覆工	二次覆工内径	6200mm
	二次覆工厚さ	250mm
	弾性係数	2200000tf/m ²
周辺地盤	地盤反力係数	0tf/m ³
	N 値	0
	土被り	17m
	地下水位	GL-1m

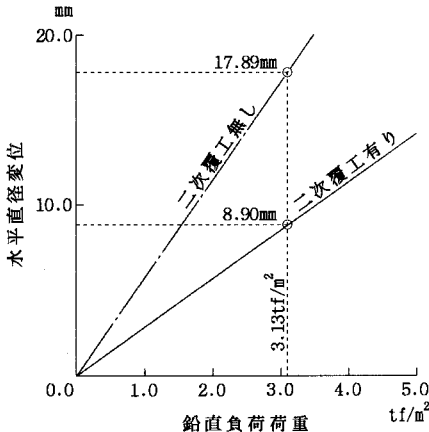


図-6 圧密沈下に伴う鉛直負荷荷重と水平直径変位の関係

表-2 発生断面力

			最大値がモーメント (tf・m)	軸 力 (tf)
負荷荷重による 解 析 値	二次覆工有り	セグメント	-8.56	11.86
		二次覆工	4.12	8.83
	二次覆工無し	セグメント	-15.01	26.45

4. おわりに 軟弱地盤に建設したシールドトンネルの変状測定結果を用い、変形量から逆解析することにより、トンネル覆工が受ける鉛直負荷荷重および発生断面力を推定した。その結果、二次覆工は、軟弱地盤においてトンネル断面変形に対する抑止効果が大きいことが確認された。また、これらの検討方法は、トンネル変状が大きい箇所の保守管理に有効であると考えられる。

【参考文献】1) 日本鉄道施設協会：シールドトンネルの設計施工指針（案），昭和58年8月，p.97～99

2) 村上・小泉：二次覆工で補強されたシールドセグメントリングの挙動について，土木学会論文報告集，第388号，1987年12月，p.85～94