

東洋大学 の学生員 木村定雄
東洋大学 正員 小泉 淳
早稲田大学 正員 村上博智

1. はじめに

シールドトンネルに作用する土圧は、その周辺地山の状況によって、トンネルが構築された時点から安定状態に至るまでの経過が異なると考えられる。そして、その経時変化が明らかでない現状から、シールドトンネルの二次覆工は、一次覆工に対して補強効果があると認めながらも、現行の設計法においては、一次覆工と二次覆工との間の力の伝達機構が明らかでないことと相まって、一次覆工が覆工構造の主体であるとの考え方がとられている。しかしながら、一次覆工と二次覆工との間の力の伝達機構を明らかにすることは、二次覆工完了後に累加される荷重が明らか場合には、シールドトンネルのより合理的かつ経済的設計を可能にすると考えられる一方一次覆工を覆工構造の主体と考える場合にも、二次覆工の補強効果を明らかにできるため、トンネル完成後にあらかじめ想定しなかった荷重が作用した時の安全性の確認に、重要な目安を与えるものと思われる。以上のようなことを考え、筆者らは一次覆工を鋼製内環に また二次覆工をモルタル内環にモデル化した室内模型実験を行い、その実験結果を良く説明できる解析モデルを既に提示している。^{1),2)} 本報告は、二次覆工完了後に荷重が累加する場合を想定した上で、(a)一次覆工を覆工の主体構造と考える場合、^(Case I) (b)累加荷重に対して、一次覆工と二次覆工は合成構造として挙動すると考える場合、^(Case II) (c)累加荷重に対して、筆者らの提示したモデルで考える場合、^(Case III) の三通りについて、それぞれ一次・二次覆工の概略設計例を示したものである。なお一次覆工であるセグメントやトンネルに作用する荷重系は、土木学会・日本下水道協会編「シールド工事用標準セグメント」³⁾ を使用している。

2. 設計条件

土質条件：砂質土、水なし、側方土圧係数： $\lambda = 0.5$ ，
地盤反力係数： $k = 2.0 \text{ kg/cm}^2$ ，土被り比： $H/D_o = 3.0$ ，
セグメント外径： $D_o = 3800 \text{ mm}$ (内径 $D_i = 3000 \text{ mm}$)，
セグメント幅： $B = 900 \text{ mm}$ 。

土質は砂質土であるためゆるみ土圧を考慮することが
できる。土の内部摩擦角を $\phi = 30^\circ$ 程度とするとゆるみ
高さ h_o と D_o との比は $h_o/D_o \approx 1.3$ 程度であり、「標準セ
グメントでは、 $H/D_o = 2$ としてセグメントを選び出す
ことになっている。そこで、本報告では、二次覆工完了
後の累加荷重として、全土被りを考慮した土圧とこのゆ
るみ土圧との差を考えることにした。

3. 設計方法

Case I：一次覆工であるセグメントが永久構造物で
あると見て設計される場合（「標準セグメント」の方
法）。この場合セグメントは、当初から $H/D_o = 3.0$ とし
て設計される。

Case II：一次覆工であるセグメントは、当初ゆるみ
土圧を考慮して土被り比 $H/D_o = 2.0$ として設計され、二次覆

表1 荷重系と構造系

	PV1, PV2, PH1, PH2	g, P_g	$q = k\delta$
Case I	$H/D_o = 3.0$	セグメント	セグメント
Case II	(1) $H/D_o = 2.0$	セグメント	セグメント
	(2) $H/D_o = 1.0$	二次覆工	セグメント + 二次覆工
Case III	(1) $H/D_o = 2.0$	セグメント	地盤反力バネ
	(2) $H/D_o = 1.0$	二次覆工	地盤反力バネ

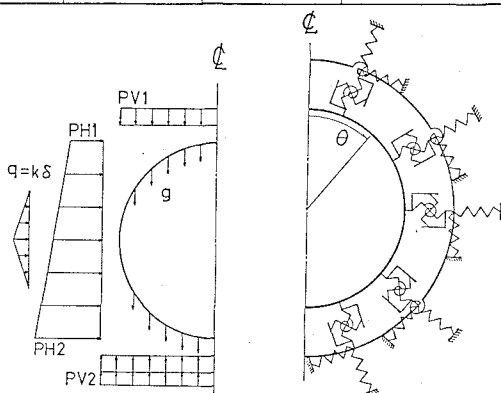


図1 荷重モデル 図2 重ね構造モデル

工が完了した後で、セグメントと二次覆工とは“合成構造”として累加荷重 ($H/D_0 = 1.0$) を受けると考える場合。この場合、リング断面力の算定には慣用計算法 ($\xi = 1, \delta = 0$) を用いる。

Case III: 一次覆工であるセグメントは、当初土被り比は $H/D_0 = 2.0$ として設計され、二次覆工が完了した後で、セグメントと二次覆工は筆者らの提示する“重ね構造”として累加荷重 ($H/D_0 = 1.0$) を受けると考える場合。この場合、荷重系および応力度の算出方法は、基本的に Case II と同様であるが、リング断面力の算定に当っては、従来より筆者らが提案しているように、セグメントリングを回転バネをもつリングとして評価する。また、セグメントと二次覆工は一種の重ね構造であると考えため、Case II とちがって、状況に応じて二次覆工は無筋コンクリートでもよく、また両覆工間にスタッド・ジベル等のせん断力を伝達する手段を講ずる必要はない。

表 1 および図 1 は、各ケースの荷重系と構造系を示したものであり、図 2 は Case III における両覆工間の力の伝達を表現するモデルの概略を示したものである。また表 2 は設計用の覆工断面を示したものであり、同表中の応力分布は、Case II の例を示したものである。

4. 設計計算結果の比較と考察

各々のケースについて設計した断面と、その断面に生ずる最大応力度を示したものが表 3 である。Case I では、鋼材として SM50 を用いれば、標準鋼製セグメント S-61 が設計条件を満たす。コンクリート系セグメントでは該当する標準セグメントはない。Case II では、

S-60, S-61, C-64 の三種の標準セグメントが表 3 の備考に示した条件のもとで適用可能である。Case III では、鋼製セグメントを用いる場合には、設計条件を満たす標準セグメントのうち最小断面となる S-59 か、またコンクリート系セグメントでは同じく最小断面である C-23 がそれぞれ適用可能である。この場合最終荷重に達した時 ($H/D_0 = 3.0$) の最大応力度を見ると S-59, S-60, S-61 とともにまだ十分な余剰強度を有していることがわかる。さらに Case III は、Case I と同様に二次覆工が無筋コンクリートであることを考えると、現状行なわれている Case I や Case II の設計の考え方は、かなり安全側に立ったものであると考えられる。

5. おわりに

Case III の設計方法は、このような荷重状態に対して妥当な設計方法であると考えられる。現在、さらにいろいろなケースを想定した模型実験および解析モデルの検証を続けている最中であり、その結果を得て、より合理的な設計方法を提示してゆくつもりである。

参考文献:

- 1) 小泉・村上・高橋「二次覆工で補強されたシールドトンネルの挙動について」第 37 回年次講演会 II-199
- 2) 武蔵小泉・村上「二次覆工で補強されたシールドトンネルの挙動について」第 38 回年次講演会 III-85
- 3) 土木学会・日本水道協会共編「シールド工事用標準セグメント」S.57.11
- 4) 小泉・村上「シールドセグメントの耐荷機構について」土木学会論文報告集 No.272
- 5) 小泉・村上「シールド工事用セグメントのセグメント継手の挙動について」土木学会論文報告集 No.296

表 2 設計用覆工断面と応力度分布

種類	覆工断面	応力度分布	NO.	H	備考
スチールセグメント		(1) σ_0 σ_1	S-59	125	—
		(2) σ_0 σ_1	S-60	150	—
		σ_0' σ_1'	S-61	175	—
コンクリートセグメント		(1) σ_0 σ_1	C-23	150	$A_s = 7.3 \text{ cm}^2$ (SD 30)
		(2) σ_0 σ_1	C-24	150	$A_s = 11.0 \text{ cm}^2$ (SD 30)
		σ_0' σ_1'	C-64	250	$A_s = 9.0 \text{ cm}^2$ (SD 30)

表 3 設計断面と最大作用応力度

	セグメント No.	Segment			二次覆工	備考
		(1)	(2)	(1)+(2)		
Case I	S-61	$\sigma_0 = 1760$		$\sigma_0 = 1760$		SM50, $A_s = 0$
	S-60	$\sigma_0 = 1370$	$\sigma_0 = 404$	$\sigma_0 = 1774$	$\sigma_0' = 1362$	SM50 $A_s = 3D10 = 2139$
Case II	S-61	$\sigma_0 = 1190$	$\sigma_0 = 210$	$\sigma_0 = 1400$	$\sigma_0' = 245$	SS41 $A_s = 4D22 = 15.22$
	C-64	$\sigma_0 = 68$ $\sigma_0 = 1715$	$\sigma_0 = 15$ $\sigma_0 = 83$	$\sigma_0 = 83$ $\sigma_0 = 1798$	$\sigma_0' = 275$	$A_s = 4D16 = 7.92$
Case III	S-59	$\sigma_0 = -950$	$\sigma_0 = -44$	$\sigma_0 = -994$		$A_s = 0$ ($\theta = 40^\circ$)
	S-60	$\sigma_0 = -764$	$\sigma_0 = -39$	$\sigma_0 = -803$		$A_s = 0$ ($\theta = 40^\circ$)
	S-61	$\sigma_0 = -632$	$\sigma_0 = -47$	$\sigma_0 = -679$		$A_s = 0$ ($\theta = 40^\circ$)
	C-23	$\sigma_0 = 38$ $\sigma_0 = -61$	$\sigma_0 = 4$ $\sigma_0 = -33$	$\sigma_0 = 42$ $\sigma_0 = -94$		$A_s = 0$ ($\theta = 45^\circ$)
	C-24	$\sigma_0 = 36$ $\sigma_0 = -56$	$\sigma_0 = 4$ $\sigma_0 = -30$	$\sigma_0 = 40$ $\sigma_0 = -86$		$A_s = 0$ ($\theta = 45^\circ$)
	C-64	$\sigma_0 = 18$ $\sigma_0 = -32$	$\sigma_0 = 4$ $\sigma_0 = -29$	$\sigma_0 = 22$ $\sigma_0 = -61$		$A_s = 0$ ($\theta = 45^\circ$)

* Steel では圧縮を(-)引張を(+) Concrete では圧縮を(+)引張を(-)とした。
また用いる鉄筋は SD30 とした。