

I-615

二次覆工を有するシールドトンネルの耐震設計法

建設省土木研究所 正員 川島 一彦
 正員○杉田 秀樹
 正員 中島 燈

1. まえがき

本文では、二次覆工を有するシールドトンネルについて、耐震設計上の二次覆工の取扱い方法、及び、震度法と地震時保有水平耐力法による耐震性の照査法を検討したので、この結果を報告する。

2. 剛性評価及び耐震性照査における二次覆工の取扱い

剛性評価及び耐震性照査における二次覆工の取扱い方法としては、二次覆工を地震力に抵抗する構造部材として考えるか否かに応じて、表1に示す4つの方法が考えられる。それぞれの方法の特徴を整理すると、以下のようになる。

方法A：二次覆工を構造部材とは考えず、剛性評価及び耐震性照査ともに、一次覆工だけを考慮する。

方法B：二次覆工を構造部材と考え、剛性評価及び耐震性照査ともに、二次覆工を考慮する。

方法C：剛性評価では二次覆工を考慮せず、耐震性照査では二次覆工を考慮する。耐震設計上、危険側の結果を与える可能性がある。

方法D：剛性評価では二次覆工を考慮し、耐震性照査では二次覆工を考慮しない。耐震設計上、過度に安全側の結果を与える可能性がある。

上記のうちどの方法が最も合理的であるかについては、現状では、震災事例がなく、また、地震観測等によるシールドトンネルの実際の挙動に関する知見が十分に蓄積されていないため、判断が難しい。しかし、総合的に考えると、二次覆工を構造部材と考えるか否かに応じて、方法A及び方法Bを選択するのがよいと考えられる。

ここに、二次覆工を構造部材と考えてよいかどうかは、シールドトンネルの用途に応じて異なるかもしれない。しかし、現在までの検討で、二次覆工の損傷が特定のリング接合面に集中して生じるのを防ぎ、トンネル長手方向の変形性能を向上させるために必要な最小鉄筋量¹⁾があることがわかっている。したがって、ここでは、この最小鉄筋量以上の鉄筋を配置した場合には、二次覆工を構造部材と考えることを提案する。

3. 震度法及び地震時保有水平耐力法による耐震性照査方法

一般に圧縮応力が問題となることは少ないため、震度法による耐震性の照査は、覆工を構成する構造部材に生じる引張応力度に着目し、許容応力度法により行えばよい。地震時保有水平耐力法による耐震性の照査では、多少の被害は生じてもシールドトンネルの機能に致命的な影響は生じないように、覆工を構成する構造部材に生じる引張応力度、及び、リング接合面に生じる長手方向の相対変位に着目し、次式により行うのがよいと考えられる。

$$\sigma_{ST} < \sigma_{Sr}, \sigma_{JT} < \sigma_{Jr}, \delta_J < \delta_{Sy} \quad (\text{二次覆工を構造部材と考えない場合}) \quad (1)$$

$$\text{かつ、} \sigma_{LST} < \sigma_{LSr} \quad (\text{二次覆工を構造部材と考える場合}) \quad (2)$$

ここに、 σ_{ST} 及び σ_{Sr} は、セグメントに生じる地震時引張応力度(tf/m^2)及び破断応力度(tf/m^2)、 σ_{JT} 及び σ_{Jr} は、リング継手に生じる地震時引張応力度(tf/m^2)及び破断応力度(tf/m^2)、 δ_J 及び δ_{Sy} は、リング接合面における地震時の目開き量(mm)及び止水材の許容伸縮量(mm)、また、 σ_{LST} 及び σ_{LSr} は、二次覆工の長手方向鉄筋に生じる地震時引張応力度(tf/m^2)及び鉄筋の破断応力度(tf/m^2)である。

4. 試設計

軟弱地盤中に建設されるシールドトンネルを図1及び表2に示すように想定し、地震時保有水平耐力法によりトンネル覆工の試設計を行った。ここに、剛性評価及び耐震性照査における二次覆工の取扱いは、上記の方法Bに従った。耐震性照査結果、及び、トンネル覆工の決定断面を示すと、それぞれ、表3及び図2の通りである。これによれば、地震時保有水平耐力法では、リング接合面の目開き量が設計上支配的な条件となる可能性がある。

5. まとめ

二次覆工を有するシールドトンネルの耐震設計法に関して、二次覆工の取扱い方法及び耐震性照査方法を整理するとともに、耐震設計を地震時保有水平耐力法による場合の適用性を試設計により検討した。今後、震度法により耐震設計した場合も合わせて、統一的な剛性評価法及び耐震性照査法を開発する必要がある。

【参考文献】

- 1) 川島、杉田、加納：シールドトンネルの耐震性に及ぼす二次覆工鉄筋量の影響、第45回年次学術講演会概要集、第1部、pp.1210~1211、1991.9
- 2) 建設省土木研究所：大規模地下構造物の耐震設計法ガイドライン(案)、土木研究所資料、1992.3
- 3) 建設省土木研究所、他：大規模地下構造物の耐震設計技術の開発に関する共同研究報告書、共同研究報告書、1992.3

表1 剛性評価及び耐震性照査における二次覆工の取扱い

二次覆工の取扱い	方法	剛性評価		耐震性照査	
		考慮しない	考慮する	考慮しない	考慮する
二次覆工を構造部材と考えない	A	○		○	
二次覆工を構造部材と考える	B		○		○
	C	○			○
	D		○	○	

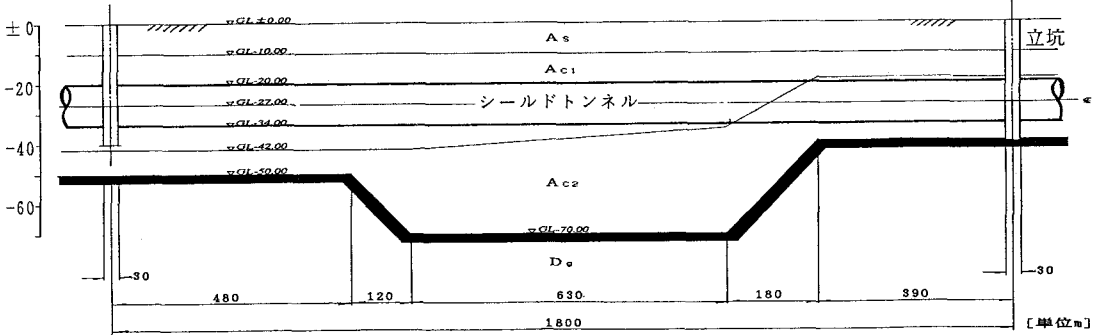


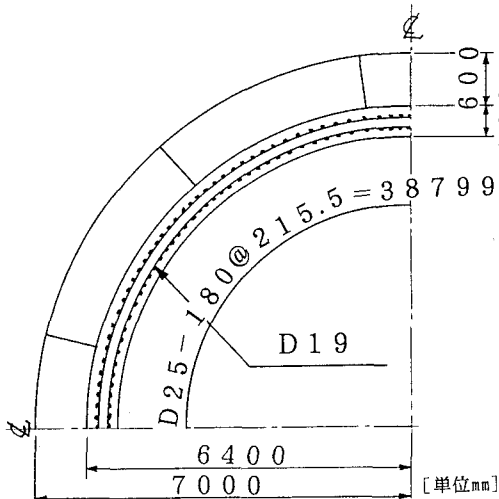
図1 解析対象としたシールドトンネル(RC製、外径14m)

表2 解析で想定した地盤の物性値

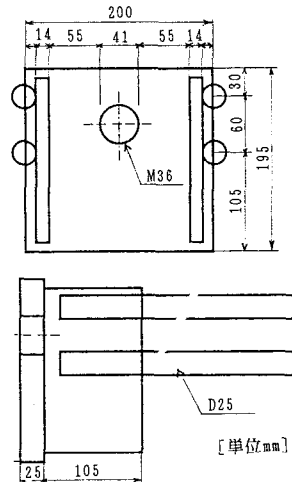
地層名	記号	N値	単位体積重量 (tf/m ³)	変形係数 (tf/m ²)	せん断弾性波速度 (m/sec)
上部有楽町層	As	10	1.85	16258	170.0
下部有楽町層	Ac1	3	1.65	5017	100.0
七号地層	Ac2	15	1.75	21286	200.0
江戸川層	Dg	50	2.00	324090	740.0

表3 地震時保有水平耐力法による耐震性照査結果

	地震時引張応力度 (kgf/cm ²)			リング接合面の
	セグメント	リング継手	二次覆工鉄筋	目開き量(mm)
設計条件	28.0	10,600	5,000	2.00
設計結果	22.9	4,882	729	1.97



(a) 覆工断面



(b) リング継手

図2 地震時保有水平耐力法によるトンネル覆工の決定断面
(剛性評価及び耐震性照査に二次覆工を考慮した場合)