

(VI-10) 二次覆工を持つシールドトンネルの軸方向剛性の評価法

㈱オリエンタルコンサルタンツ 正会員 田 中 努
同 正会員 橋 義 規

1. はじめに(背景)

今日シールドトンネルは、施工技术および工事管理技術の進歩により、大断面・急曲線・小土かぶり・高水圧下等の条件のトンネルが可能になるとともに、トンネル上方や周囲へ与える工事の影響を小さく抑えることも可能なため、都市トンネルの有力な工法として定着している。しかし、都市部では、地盤が軟弱で地下水位下の場合が多く、また河川や航路を横断する場合もあるため、地震や地盤沈下により大変位を受ける可能性が高く、用途によっては止水性の確保が要求されるトンネルもある。

シールドトンネルは、1 m前後の間隔で存在するリング継手により、非常に可撓性に富み、周辺地盤の変形によく馴染むため、力学的には地中構造物として優れた特性を有する構造物と考えられる。しかし、内面仕上げや将来の荷重増加や漏水防止、浮力に対する重量付けのために、二次覆工を設ける場合は、これにより軸方向の剛性が大きく変わるため、剛性評価に苦慮しているのが実状と思われる。

2. 要旨

本研究では、二次覆工の地震時の状態を考慮して、トンネル軸方向の設計上支配的な地震時の軸引張り剛性の評価法を検討した。その結果、今後実験等により定量的な確認の必要はあるものの、二次覆工コンクリートのひびわれと異形鉄筋の抜け出しを考慮した方法をまとめ、より実際に近い評価ができたと考えられる。

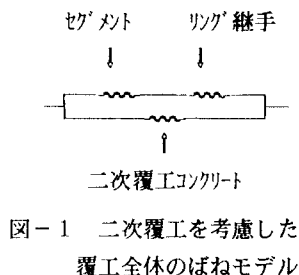
3. 軸方向引張り剛性の評価法

(1) 従来の剛性評価法

二次覆工を持つトンネルの従来の剛性評価は、下表のように行われているようである。

表-1 二次覆工を持つトンネルの従来の剛性評価

二次覆工の状態 と鉄筋の有無		ひびわれなし	ひびわれ発生後		
		鉄筋量によらず	鉄筋多	鉄筋少	無 筋
覆工の 剛 性 評 価	一次覆工	リング継手のばねとセグメントの直列ばね	同左	同左	同左
	二次覆工	コンクリートの全断面有効	同左	抵抗しないと考え、剛性を無視	無効と考え無視
	覆工全体	図-1 参照(図-3のA)		一次覆工のみ(図-3のB)	



(2) 地震時の二次覆工の挙動

二次覆工にひびわれが生じない間は、コンクリートが引張りに抵抗する。しかし、 $\sigma_{ck} = 240 \text{ kg/cm}^2$ の二次覆工のコンクリートが引張り強度に達するまでは、 1×10^{-4} 未満であるのに対し、設計荷重レベルの地震時には、固有周期1秒程度の地盤でトンネル軸方向の地盤の歪が 2×10^{-4} 前後になると考えられることから、地震時にはひびわれが生じているものと考えられる。ひびわれが生じると、付着の切れた部分の鉄筋がばね作用をする。異形鉄筋の付着特性は、節部のくさび作用により生じ、実際に付着強度に達する部分は極く少なくても鉄筋は滑り出すため、比較的長い「みかけの自由長」を持つ。二次覆工のひびわれは、まずリング継手近傍に生じるが、つづいてひびわれ間隔に近い円周方向鉄筋の位置に発生する。リング継手より内側にひびわれが生じると、継手とセグメントの伸びの違いにより、両覆工間に付着切れが生じ、ずれ始める。その後、二次覆工鉄筋がリング継手面板の降伏が生じる。

(3) 剛性の評価方法

二次覆工にひびわれが発生した後の、トンネルの軸引張り剛性の評価は次のように行う。

- ① 継手金物内にコンクリートが充填されている状態でのリング継手の面板の剛性を算定（詳細には実験による検証が必要）
- ② 二次覆工のリング継手付近にひびわれが発生した場合の二次覆工鉄筋のばね定数を、コンクリートと鉄筋の付着特性等により算定（詳細には実験や非線形解析等による検証が必要）。
- ③ リング継手部の剛性を①と②の並列ばねに、覆工部をセグメントおよび二次覆工コンクリートの並列ばねとして求め、トンネル全体の剛性を図-2のように算定。

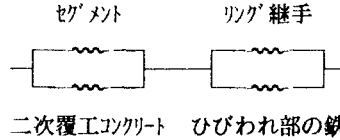


図-2 ひびわれ発生後の覆工剛性の評価モデル

鉄道単線トンネルを想定したモデルに対し、上記の方法で算定した覆工剛性を図-3に示す。

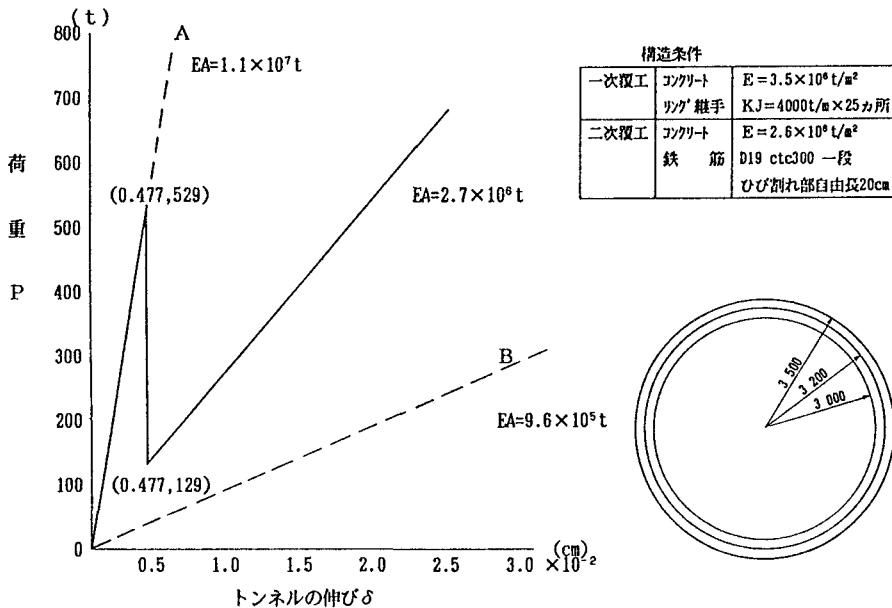


図-3 鉄道単線トンネルを想定したモデルの覆工剛性

4. おわりに

一般に土木の鉄筋コンクリート構造物は、全断面有効の剛性評価に基づく断面力に対し、ひびわれを考慮して設計する。しかし、地中のトンネルは地盤に支持されているため、地震が終った後に自重等により軸方向の壊が進むことはなく、また、基本的には構造主部材は一次覆工であることから、二次覆工のひびわれと鉄筋の抜け出しを考慮した本剛性評価法を用いても安全性を損なうことはなく、経済的な設計ができるものと考えらる。

最後に、東京湾横断道路（株）・建設省土木研究所実施の「シールドトンネルセグメントの長手方向載荷実験（S63.9）」と東京湾横断道路六社研究会実施の「トンネル軸方向剛性確認実験（S63.12）」を見学させて頂いただけでなく、貴重なデータも示して頂いたことを、関係された方々に深く感謝いたします。