

欠陥を考慮したトンネル覆工の骨組構造解析

鉄道総研 正会員 ○野城一栄 小島芳之
西日本旅客鉄道 正会員 櫛田正人 佐野 力

1. はじめに

在来工法により施工されたトンネルにおいては、当時の施工管理等技術に起因し、アーチクラウン部の巻厚不足や背面空洞が生じていることがあり、このような構造的初期欠陥がある場合、地震の作用等により覆工の構造耐力が低下することが模型実験により明らかとなっている。そこで、このような欠陥が覆工の構造耐力に与える影響を定量的に求めることを目的として、数値解析を実施した。ここではその結果について報告する。

2. 解析モデル

解析に用いたモデルは図1に示すような新幹線断面の複線トンネルである。背面空洞・巻厚不足は図2の様に天端部でコンクリートが水平に打設され、その箇所では地山との間に空洞が残ると仮定し、梁ばねモデルにより図3のようにモデル化した。なお、トンネルは地山に囲まれたアーチ状の無筋コンクリート構造であり、ひび割れの発生を考慮する必要があるため、ひび割れ進展解析手法⁹⁾を用い、ひび割れ発生箇所を塑性ヒンジとすることによりひび割れの発生・進展をシミュレートした。表1に解析条件、表2に解析ケースを示す。荷重は、緩み荷重を想定した鉛直荷重と、塑性圧を想定した水平荷重の2種類とし、また、鉛直荷重については背面空洞部分に崩積土を介して緩み荷重が作用する場合（鉛直荷重A）と背面空洞範囲には荷重が作用しない場合（鉛直荷重B）の2種類を仮定した（図4）。

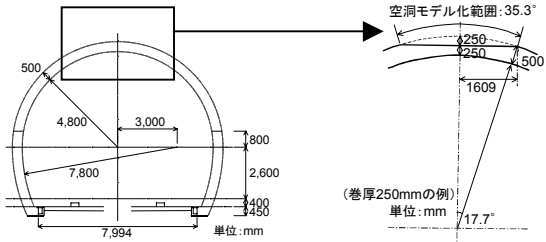


図1 解析対象トンネル

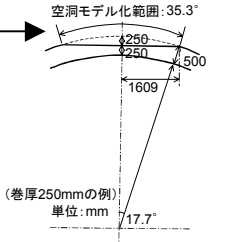


図2 天端のモデル化

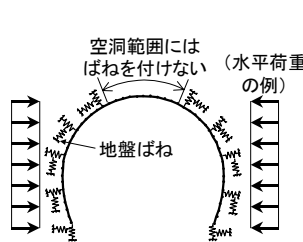


図3 解析モデル

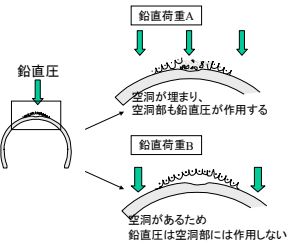


図4 鉛直荷重のモデル化

表1 解析条件

覆工	断面形状	新幹線断面、巻厚 500mm
	弾性係数	21kN/mm ²
	設計基準強度	18N/mm ²
	天端部の巻厚	500mm/250mm/167mm
地盤	変形係数	500N/mm ² (軟岩想定)
荷重	地圧作用方向	鉛直/水平

表2 解析ケース

天端部巻厚	500mm(健全)	250mm	167mm
巻厚不足範囲(空洞範囲)	なし	35.3°	40.8°
鉛直荷重A	ケース①	ケース③	ケース⑥
鉛直荷重B	ケース②	ケース④	ケース⑦
水平荷重	ケース②	ケース⑤	ケース⑧

3. 解析結果

表3に覆工のひび割れの進展と破壊時の変形状態を示す。鉛直荷重Aの場合は、①天端内側引張りひび割れ⇒②天端外側圧縮損傷の順でひび割れが発生した。一方、鉛直荷重Bの場合は、空洞部には荷重が作用しないことになるため、変形モードは鉛直荷重Aとは異なり、①アーチ両肩内側引張りひび割れ⇒②天端外側引張りひび割れ⇒③アーチ両肩外側引張りひび割れの順でひび割れが発生し、その後はヒンジが多数発生したため解析不能となった。鉛直荷重の場合は、天端部の巻厚が変化することによりひび割れの発生モードが変化することはなかった。一方、水平荷重の場合は、健全な場合はSL部で、①引張りひび割れ⇒②圧縮損傷と発生するのに対し、キーワード：山岳トンネル、構造解析、構造欠陥

連絡先：〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 （電話）042-573-7266 （FAX）042-573-7248

天端部の巻厚が薄くなるに従い、ひび割れの発生箇所が天端部に移動した。図5に天端部巻厚と構造耐力との関係を示す。ここで、構造耐力は、構造が不安定となり解析が続行不能になった時あるいは圧縮損傷の発生を持って定義した。鉛直荷重Aでは、天端部巻厚の低下により直線的に構造耐力が低下した。一方、鉛直荷重Bでは、巻厚200mm程度でトンネルの構造耐力が急に低下した。また鉛直荷重Aの方が鉛直荷重Bよりも構造耐力が小さくなった。これは、鉛直荷重Aでは、巻厚の小さい天端部で曲げが

大きくなるためであると考えられる。水平荷重が作用する場合は、巻厚200mm前後を境にトンネルの構造耐力が低下する傾向がみられた。これは、背面空洞の存在により、天端部で地盤反力が得られなくなり巻厚の薄い天端付近でのひび割れの進展により構造耐力が決定されるようになったためと考えられる。

4. 裏込注入工による効果

このような天端部分の構造上の弱点の対策工として裏込注入工がある。その効果を調べるため、裏込注入工をモデル化した解析を実施した。裏込注入工は、空洞部に地盤反力ばねを復活させることによりモデル化した。水平荷重が作用する場合の解析結果を図6に示す。いずれのケースも構造耐力・剛性が健全な場合近くまで回復しており、裏込注入工の効果を確認することができる。

5. まとめ

欠陥の存在により覆工の構造耐力が低下すること、また、荷重のモードによっては、巻厚が200mm程度となると構造耐力が急に低下すること、裏込注入工により耐力・剛性が回復することが確認できた。今後は、これらの解析結果を反映させ、既設トンネルの対策を進めて行くことにしたい。

参考文献：1) 変状トンネル対策工設計マニュアル、1998.2、鉄道総研

表3 覆工のひび割れの進展と破壊時の変形状態

↑:引張ひび割れ ↓:圧縮損傷

	巻厚 500mm(健全)	巻厚 250mm	巻厚 167mm
	ケース①:耐力 409kN/m ²	ケース③:耐力 163kN/m ²	ケース⑥:耐力 112kN/m ²
鉛直荷重A			
		ケース④:耐力 332kN/m ²	ケース⑦:耐力 249kN/m ²
鉛直荷重B			
	ケース②:耐力 258kN/m ²	ケース⑤:耐力 237kN/m ²	ケース⑧:耐力 109kN/m ²
水平荷重			

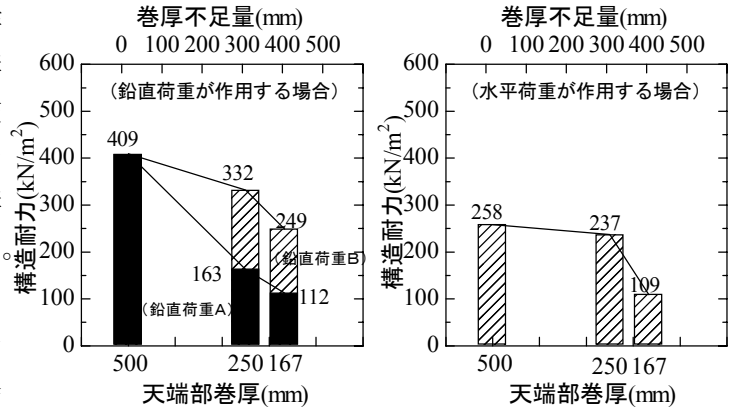


図5 天端部巻厚と構造耐力との関係

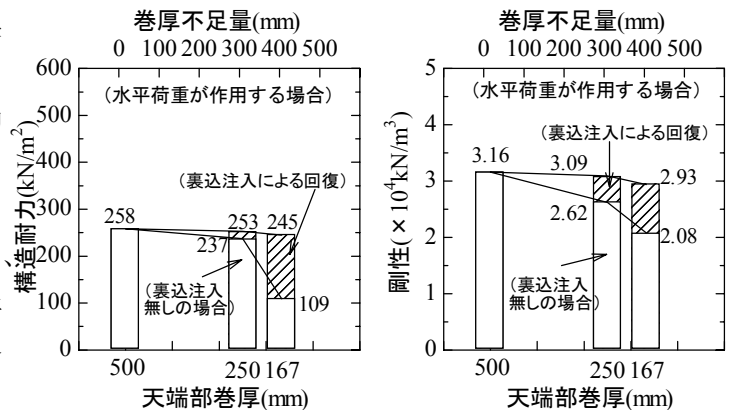


図6 裏込注入工の効果