

Ⅲ-B111

変状トンネル対策工の標準設計の提案と検証

（財）鉄道総合技術研究所 正会員 ○野城一栄 高橋徹 朝倉俊弘 小島芳之*
 パシフィックコンサルタンツ（株） 正会員 松長剛**

1. はじめに

現在供用中のトンネルには、材料劣化や地圧等の外力により覆工にひび割れなどの変状を生じているものがあり、これらの中には対策を要するものも少なくない。しかし、変状トンネルの対策工の設計は経験的な判断に基づいていることが多く、覆工に発生している応力状態等を力学的に評価し、設計に反映している事例は極めて少ない。筆者らは、対策工の施工実績の整理、模型実験、数値解析によって覆工の力学的挙動の検討を進め、変状トンネル対策工の設計法を提案した¹⁾²⁾³⁾。本報告では、変状トンネル対策工の標準設計の概要と、標準設計と対策工の設計実績の調査結果との比較、及び数値解析による標準設計の妥当性の検証について述べる。

2. 変状トンネル対策工の標準設計

まず、図1に変状トンネル対策工の標準設計の、設計法全体に対する位置付けを示す。標準設計は、条件の類似した設計事例がない場合で、一般的な変状原因、地質、構造を持つトンネルに対し適用することができる。対策工種としては、一般的な対策工である裏込注入工、ロックボルト補強工、内巻工（場所打ちコンクリート＋セントル）、内面補強工（炭素繊維シートまたは鋼板）を組み合わせることとし、過去の変状トンネル対策工の設計実績に基づき、さらに、対策工の効果の確認、個々の対策工に関する、覆工模型実験、数値解析²⁾を行った上で、施工性、経済性などを加味して、図2に示すような標準設計を提案した。標準設計は、地圧の種類（塑性圧/地山の緩みによる鉛直圧/偏圧）、トンネルの断面（複線/単線）ごとに決められている。図3に標準設計の流れを示す。まず、標準設計を適用できるかの確認を行い、内空変位速度（覆工の変形速度）により補強ランク、すなわち、対策工の程度を決める。補強ランクはⅠ～Ⅳまでであり、そのうち、ランクⅢまで標準設計を適用できるとした。ここで、ランクⅣがもっとも程度の重い対策工となる。このランクを基本として、トンネル固有の条件を考慮してランクの補正を行った後、各対策工法が適用可能であることを確認し、最終的な標準設計を決定する。

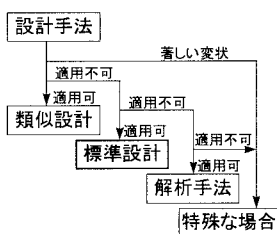


図1 設計手法の体系

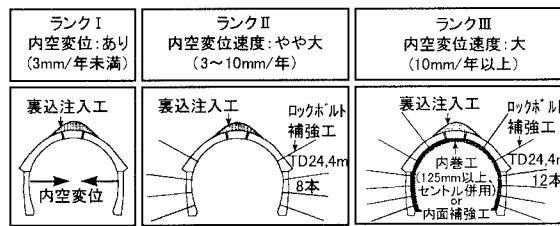


図2 標準設計の例（塑性圧/複線の場合）

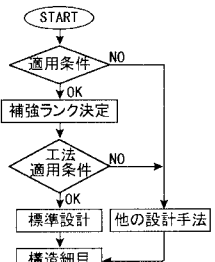


図3 標準設計の流れ

3. 設計実績調査による標準設計の妥当性の検証

標準設計の妥当性を検証するため、まず、過去のトンネルの変状事例、変状対策工の設計事例について調査を行った。塑性圧を受け変状したトンネルのうち、対策工施工前後の内空変位が計測されていた34トンネルについて調査を行った。トンネルの変状の程度と実際の補強ランクとの関係を図4に示す。ここで、変状の程度は、SL部の内空変位速度により図2の分類に従って決定し、圧さ、せん断ひび割れなどの著しい変状はランクⅣに分類した。また、実際の補強ランクは、裏込注入工、ロックボルト補強工、内巻工、図4変状程度と補強規模の関係

		実際の対策ランク				
変状の程度		I	II	III	IV	*数字は件数を表す
	I	3	1	1		
	II	4	2	4		
	III			3	2	
	IV			3	4	

* 数字は件数を表す

キーワード：山岳トンネル、変状、補強、設計法

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

** 〒163-0730 東京都新宿区西新宿2-7-1 電話：03-3344-1903 FAX：03-3344-1906

内面補強工については、使用された対策工が1工種の場合はランクⅠ、そして、3工種の場合はランクⅢというように分類し、インバート工、トンネル改築といった重度の対策はランクⅣに分類した。多少のばらつきは見られるが、変状の程度と実際の補強ランクとは良い相関があり、今回提案した標準設計は、変状の程度に対応する平均的な対策工を提案できていることがわかる。

4. 数値解析による標準設計の妥当性の検証

次に、骨組解析による標準設計の妥当性の検証を行った。

解析条件を表1、解析ケースを表2に、解析モデルを図5

に示す。解析手法は、ひび割れの発生・進展を考慮できる、

ひび割れ進展解析手法²⁾である。図6にひび割れ進展解析

の流れを示す。図7に、解析により得られた内空変位量 u

と地圧 p との関係を示す。無対策では①天端外側引張りひび割れ→②SL内側引張りひび割れ→③天端内側圧縮損傷の順

でひび割れが発生したが、対策工を施工した場合はいずれ

も、③SL外側圧縮損傷となった。ここで、圧縮損傷が生じた地圧を

もって構造耐力とした。対策工は②の後に施工したが、対策工の施工

によって構造耐力、剛性が増加していることがわかる。対策工施工後

の、剛性、構造耐力を図8に示す。補強ランクが大きくなるに従って、

剛性、構造耐力いずれも増加していることがわかる。さらに、図7より、

構造耐力時の覆工の変位量も大きくなっており、剛性の増加に加え

じん性も向上していることがわかる。このことから、今回提案した標準設計を適用条件を満足する変状トン

ネルに対して適用した場合、簡易かつ合理的な対策工の設計を行うことができることがわかった。

表1 解析条件

構造	覆工	新幹線想定、巻厚70cm
	欠陥	天端60°範囲に背面空洞
対策工	裏込注入工	空洞部に地盤ばね復活で σ ル化
	ロックボルト補強工	先端固定のばね要素で σ ル化
	内面補強(炭素)	塑性 σ シを剛結に戻す事による
地盤	変形係数	500MPa(軟岩想定)
地圧	地圧作用方向	塑性地圧想定(水平地圧)

表2 解析ケース

無対策	対策工なし
ランクⅠ	裏込注入工
ランクⅡ	裏込注入工+ロックボルト補強工
ランクⅢ	裏込注入工+ロックボルト補強工+内面補強工

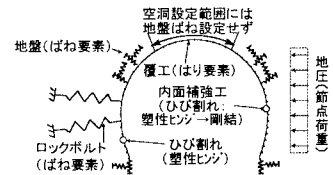


図5 骨組解析モデルの概要

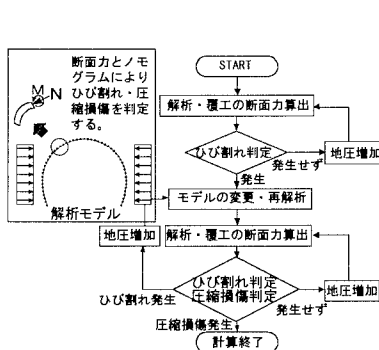


図6 ひび割れ進展解析の流れ²⁾

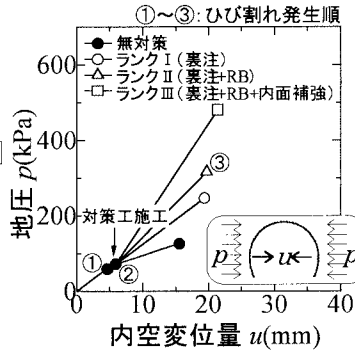


図7 地圧と内空変位量の関係

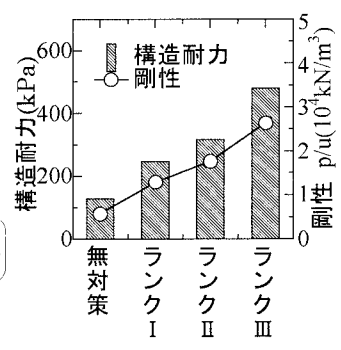


図8 補強ランクと耐力・剛性

5. まとめ

変状トンネルの対策工の標準設計の提案と、設計実績との比較、数値解析による標準設計の妥当性の検証を行った。この結果、①今回提案した標準設計は、変状の程度に対応する平均的な対策工を提案している。②標準設計においては、補強ランクの増加とともに、剛性、耐力、じん性が向上することがわかった。これらのことから、今回提案した標準設計は、適用条件を満足するトンネルに対して適用した場合、簡易な手順で、合理的な対策工の設計を行うことができることがわかった。これからは、実際にこの標準設計を用いて対策工の設計を行い、実測結果による評価を行って、更なる検証を行って行く予定である。なお、今回の一連の研究は日本道路公団試験研究所との共同研究の成果であり、ご協力頂いた中田、三谷の両氏に深甚なる謝意を表します。

参考文献：

- 1) 朝倉他：トンネル覆工の力学的挙動に関する基礎的研究、土木学会論文集、No493/Ⅲ-27、1994.6
- 2) 朝倉他：変状トンネル対策工の設計法、第10回岩の力学国内シンポジウム、1998.1
- 3) 変状トンネル対策工設計マニュアル、(財)鉄道総合技術研究所、1998.2