

III-330 トンネル覆工の力学挙動解析（2）－覆工の欠陥と対策工に関する解析－

（財）鉄道総合技術研究所 正会員 朝倉 俊弘
 " 正会員 小島 芳之
 " 正会員 安東 豊弘
 ショーボンド建設（株） 小俣 富士夫
 " 正会員 ○若菜 和之

1. はじめに

鉄道トンネルは戦前に作られたものが多く、老朽化による劣化あるいは地圧の作用による変状が生じているトンネルも少なくない。このようなトンネル覆工の健全度を的確に評価することは、必要となる対策工の設計・施工法を検討するうえで非常に重要なことである。そこで、筆者らはトンネル覆工の力学的健全度の評価法および変状トンネル対策工の設計指針を確立することを目的として、覆工模型実験および解析を進めてきた^{1) 2) 3)}。本報告では、トンネル覆工の巻厚不足および背面空洞といった構造的欠陥とその対策としての裏込め注入及び鋼板接着をモデル化して解析を実施し、比較検討を行った結果について述べる。

2. 解析モデル

解析には骨組み解析プログラム⁴⁾を用い、覆工を分割して線形弾性の材料特性を持つ多角形の梁材とし、地盤反力を圧縮力（法線方向）、せん断力（接線方向）を考慮した直交する2方向の節点集中バネ（図2）として表現したモデルについて解析を行った。

欠陥については、背面空洞（天端 60°範囲）は覆工が地盤反力を受けない（地盤バネを取除く）状態にて表現し、巻厚不足は天端部分（60°範囲）のコンクリート充填不足を想定して、梁部材の厚さを徐々に薄くする（最低厚10cm）ことにより表現した。

対策工については、裏込め注入は注入材の材料特性を持つバネを節点に作用させること（地盤バネと同様に）によって表現し、鋼板接着は覆工と鋼板の重ね梁として考え、両構造系の節点間に接着材の材料特性を持つ法線方向の接触バネと接線方向のせん断バネ（図2）を配置して接着材の拘束力を表現した。

なお、表1に各ケースに共通する解析条件を、表2に対策工に用いた材料の特性を、図1に解析モデルの一例を示す。

3. 解析ケース

解析は、覆工の状態、背面空洞、対策工の有無等をパラメータとして、表-3に示すケースについて実施した。

表1 解析条件（各ケース共通）

解析対象トンネル	新幹線標準トンネル
変形係数	$2.1 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$
圧縮強度	180 kgf/cm^2
基本巻厚	70 cm
施工順序	逆巻き
インバート	巻厚 50 cm
地盤	変形係数 $1.0 \times 10^4 \text{ kgf/cm}^2$
圧縮強度	100 kgf/cm^2
荷重	鉛直荷重 20 tf/m
	側方荷重 10 tf/m ($\lambda=0.5$)

表2 対策工に用いた材料の特性

裏込め注入材	変形係数 $1.0 \times 10^4 \text{ kgf/cm}^2$
	圧縮強度 10 kgf/cm^2
鋼板	変形係数 $2.1 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$
	板厚 9 mm
接着材	変形係数 $2.9 \times 10^4 \text{ kgf/cm}^2$
	圧縮強度 810 kgf/cm^2

表3 解析ケース

解析 Case	欠 陥		対 策 工
	覆 工	背面空洞	
①	健 全	有 厚端 60'	無
②	薄 い		
③			
④			最低巻厚
⑤	10 cm		裏込め注入 + 鋼板接着

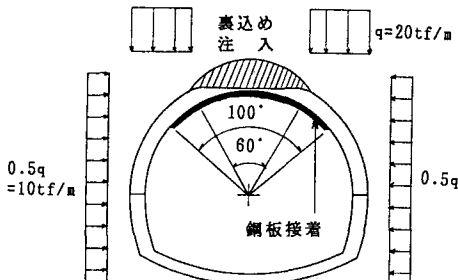


図1 解析モデル (Case ⑤ の場合)

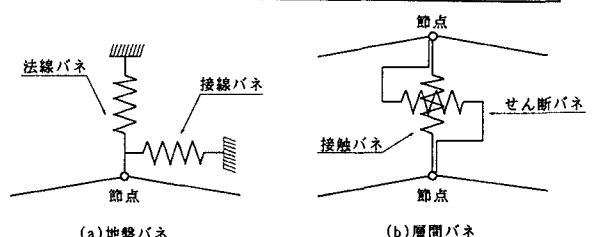


図2 バネモデル

4. 解析結果および考察

各ケース解析結果を図3に、天端位置での数値を表4に示す。

4.1 背面空洞の影響 (Case①②④) ——— 覆工背面に空洞が存在すると、地盤反力が無いため覆工が外側に変形し、アーチ天端外側に引張応力が発生する。これより背面空洞の存在が覆工に悪影響を及ぼし、トンネルの健全度低下の一因となることが分かる。

4.2 巻厚不足の影響 (Case①②) ——— 巻厚不足の場合は、設計通りの巻厚がある場合に比べて、アーチ天端の変位量が2倍以上と大きく変形している。また、覆工内側の縁応力が大きく、側圧により「圧ざ」しやすいことが分かる。

4.3 裏込め注入の効果 (Case③⑤) ——— 背面空洞に対して裏込め注入を施すと、覆工の外側への変形がほとんどなくなる。これは土圧を受けて覆工が変形しようとする力が裏込め注入材を介して地盤に伝達され反力が発生するため、本解析のように巻厚が不足している場合でも、背面空洞に裏込め注入を施せばトンネルの健全度低下を抑制する効果があると分かる。

4.4 鋼板接着の効果 (Case④⑤) ——— 今回の荷重条件では、アーチ天端内側に圧縮応力が発生し、鋼板の特長である大きな引張強さを有効に作用させるようなモードにならず、巻厚不足および背面空洞に対して、鋼板接着の本来の効果はほとんど無いという結果となった。

表4 解析結果（天端位置）

解析 Case	変位量 mm	モーメント $\times 10^5$ kgf·cm	軸力 $\times 10^3$ kgf	覆工縁応力 kgf/cm ²	
				内側	外側
①	2.2	29	39	41	-30
②	5.2	1	34	87	-22
③	0.28	-0.096	40	33	44
④	3.1	0.68	-1.5	35	-38
⑤	0.33	0.058	18	20	14

注) 覆工縁応力は、+が圧縮、-が引張を示す。

5. おわりに

トンネル覆工の構造的欠陥と対策工に関する比較解析を行った。今回の解析では、背面空洞部分に地圧を作用させなかったため、アーチ天端内側に圧縮応力が発生するモードになり、鋼板接着の効果がほとんど見られなかった。また、覆工および地盤バネを弾性材料としてモデル化したため、ひびわれの発生以降の挙動が考察できなかった。今後、アーチ天端内側に引張応力が発生するようなモードでの解析が必要である。また、ひび割れ発生も回転バネを導入する事により、考慮する必要がある。これらの追加解析については、当日報告したい。さらにこれらの解析に基づき、今後モデル実験を行う予定である。

〔参考文献〕1) 朝倉俊弘、小島芳之、川上義輝：トンネル覆工の力学挙動解析（1）－複線トンネルの覆工模型実験－、土木学会第45回年次講演会講演概要集Ⅲ、1990.9 2) 朝倉俊弘、小島芳之、安東豊弘：トンネル覆工の力学挙動解析－複線トンネル覆工模型実験のシミュレーション－、トンネル工学研究発表会論文・報告集第1巻、1991.12 3) 朝倉俊弘、松本吉雄、小島芳之、川上義輝：トンネル覆工の力学挙動解析、第8回岩の力学国内シンポジウム講演論文集、1990.11 4) 半谷哲夫：二次覆工を有するシールドトンネル覆工の力学的特性に関する研究、鉄道技術研究報告、No.1303、1985.10

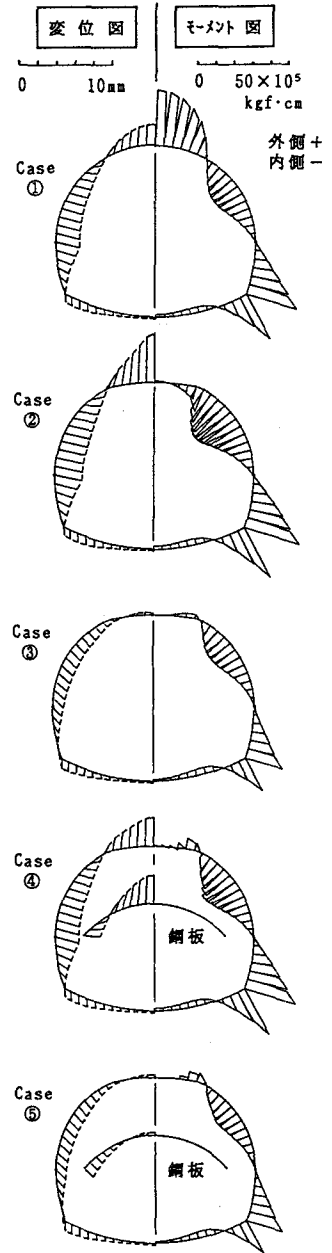


図3 解析結果