

## 既設トンネルの覆工補強設計における背面空洞等の影響評価について

長崎大学工学部 学生会員 ○森 双葉 長崎大学大学院 フェロー会員 蔣 宇静  
長崎大学大学院 学生会員 韓 偉 学生会員 林 瑛煒

### 1. 研究の背景・目的

現在、トンネルの覆工に緩みなど外的要因による変状が発生した場合、経験的判断に基づく補強設計が主に行われているのが現状である。そのため、覆工に発生している応力状態等を力学的に評価し、合理的補強設計を行うことが望まれている。そこで本研究では骨組み解析のインプットデータを変化させ、感度分析を実施し、覆工の軸応力等に及ぼす覆工背面空洞などの影響を定量的に評価することを目的とする。

### 2. 研究方法

#### 2.1 解析モデルの設計

緩み荷重は、テルツァーギの緩み土圧式よりゆるみ高さを 3.18m とした。地山の変形係数は、CL 級で 200MPa とする。解析断面は S.L. より上半部を対象とし、接点数 37、部材数 36、大きさは半径 5m の半円でモデル化するが、これを基本モデルとし、各部材の断面積を変化させることで覆工コンクリートの巻厚の違いを表現する。解析は FRAME (面内) ver. 6 を使用した。部材 7、13、19、25、31 の左側の曲げモーメントの値を抽出し、それぞれ順に①、②、③、④、⑤とした (図-2)。部材 1、19 の左側と部材 36 の右側の軸力の値を抽出し、それぞれ順に⑥、⑦、⑧とした (図-2)。図-2 は、変状が範囲  $\alpha$ 、位置  $\beta$  であることを表す。



図-1 トンネルの断面図

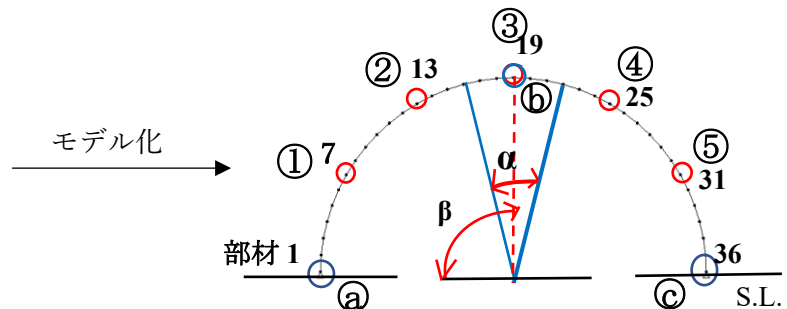


図-2 基本モデル

#### 2.2 解析ケースの設定

本研究では、以下のように異なるパラメータを与え、計 57 ケースの解析を実施した。トンネルの変状は、①覆工背面の単空洞、②覆工背面の双空洞、③覆工巻厚不足 (1 ヲ所)、④覆工巻厚不足 (2 ヲ所)、⑤覆工背面の単空洞+覆工巻厚不足 (1 ヲ所) の 5 つのパターンで影響を詳しく調べた。比較対象としては、①覆工背面の単空洞または覆工巻厚不足 (1 ヲ所) の範囲 ( $\alpha=30^\circ, 40^\circ, 50^\circ, 60^\circ$ )、②覆工背面の単空洞または覆工巻厚不足 (1 ヲ所) の位置 ( $\beta=30^\circ, 60^\circ, 90^\circ, 120^\circ, 150^\circ$ )、③覆工背面の双空洞または覆工巻厚不足 (2 ヲ所) または単空洞+巻厚不足 (1 ヲ所) の位置 ( $\beta=45^\circ, 70^\circ, 90^\circ, 110^\circ, 135^\circ$ )、④覆工背面の空洞間または覆工巻厚不足箇所間または単空洞と巻厚不足箇所間の距離 ( $\beta=50^\circ, 70^\circ, 90^\circ$ )、⑤覆工背面の双空洞または覆工巻厚不足 (2 ヲ所) または単空洞+巻厚不足 (1 ヲ所) または巻厚不足 (1 ヲ所)+単空洞のそれぞれ 1 つの変状の範囲 ( $\alpha=30^\circ, 40^\circ, 50^\circ$ )、⑥巻厚 (0.3m, 0.2m) である。

### 3. 解析結果と考察

#### 3.1 考察方法

曲げモーメント (M)、軸力の値 (N) をそれぞれ、変状がない正常値 ( $M_0, N_0$ ) で割り、曲げモーメントの比率 ( $\bar{M}$ )、軸力の比率 ( $\bar{N}$ ) を計算し、考察を行う。

$$\bar{M} = \frac{M}{M_0}, \quad \bar{N} = \frac{N}{N_0} \quad (1)$$

#### 3.2 曲げモーメントによる考察

図-3 は、変状箇所の位置 ( $\beta=30^\circ, 60^\circ, 90^\circ, 120^\circ, 150^\circ$ ) でシミュレーションを行い、それぞれ①の地点での曲げモーメントの比率を示す。横軸は変状位置を、縦軸は曲げモーメントの比率を表す。また、巻厚不足の巻厚は 0.3m である。単空洞、巻厚不足ともに、変状位置が  $30^\circ$  の場合、曲げモーメントの比率が大きくなっている。従って、空洞箇所と巻厚不足箇所の地点では、曲げモーメントの比率が大きくなり、また、

変状位置が離れるにつれて、曲げモーメントの比率が大きくなっていることが分かる。図-4 は、図-3 と同じケースでの②の地点の結果を示す。変状位置が  $60^\circ$  の場合、曲げモーメントの比率が大きくなっているため、図-3 と同様に空洞箇所と巻厚不足箇所の地点では、曲げモーメントの比率も大きくなった。さらに、巻厚不足は、変状位置が  $120^\circ$  の場合も同様な傾向を示した。

### 3.3 軸力による考察

図-5 は、背面空洞位置の比較を行った④の地点での軸力の比率を表す。変状箇所が離れるにつれて、比率が大きくなり、また、背面空洞の方が、巻厚不足より軸力の比率が大きいことが分かる。

### 3.4 変状ごとの比較

図-6 は、変状ごとの曲げモーメントの比率の最大値を比較した。巻厚不足 (2 ヲ所)、単空洞+巻厚不足 (1 ヲ所) の変状が曲げモーメントの比率の最大値が非常に大きく、より変状しやすいと考えられる。図-7 は、変状ごとの軸力の比率の最大値を比較した。変状ごとの比率の差は小さいが、単空洞、巻厚不足の変状でやや比率が大きく現れている。

## 4. 結論

本研究では、トンネルの覆工に (背面空洞や巻厚不足などによる) 変状が発生した場合の感度分析を実施し、各要因の影響の定量的評価を行った。

空洞や巻厚不足がある場合、様々な傾向が見られたが、以下のことを確認することができた。

- 1) 地点①と地点②が背面空洞などの変状箇所である場合は覆工内に生じる曲げモーメントの比率が大きくなる。
- 2) 変状箇所が離れている地点ほど、軸力の比率が大きくなる。
- 3) 曲げモーメントの比率より、巻厚不足 (2 ヲ所) と単空洞+巻厚不足 (1 ヲ所) の変状が顕著である。

以上の解析的知見は、変状が発生した場合の覆工コンクリートの合理的補強設計を行ううえで役立つものと期待できる。

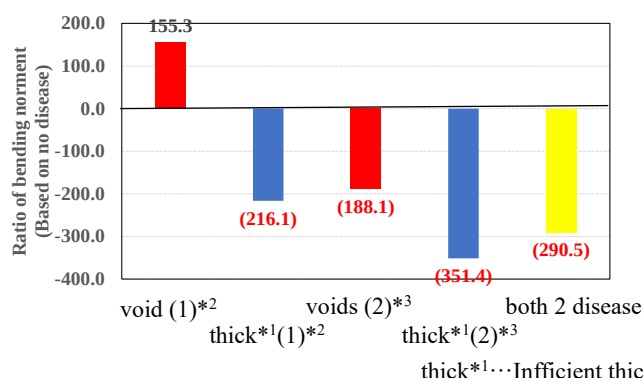


図-6 変状ごとの曲げモーメントの比率の比較

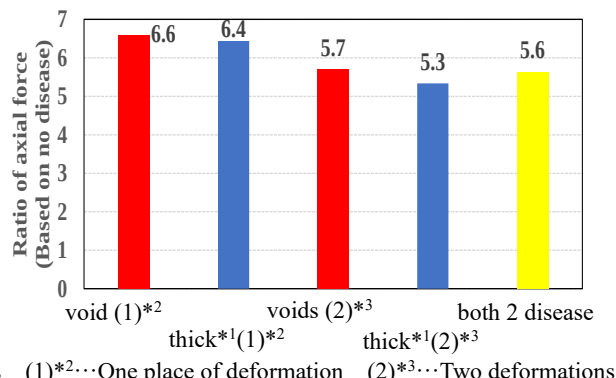


図-7 変状ごとの軸力の比率の比較

### 参考文献

- 1) 遠山国彦ら：既設トンネルの覆工補強設計における骨組み構造解析結果の一考察，トンネル工学報告集，pp.1-8，2020
- 2) 日下敦ら：山岳トンネルにおける覆工背面空洞の裏込め注入材の剛性と効果に関する一考察，トンネル工学報告集，Vol.26，No.68294，pp.1303-1304，2016

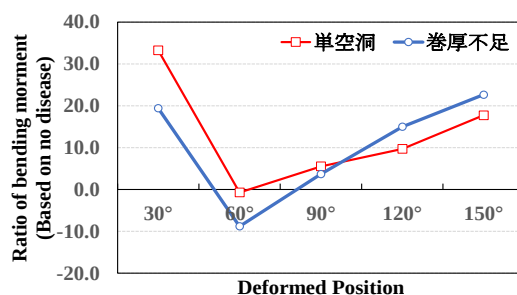


図-3 地点①での曲げモーメントの比率 (変状位置の変化のケース)

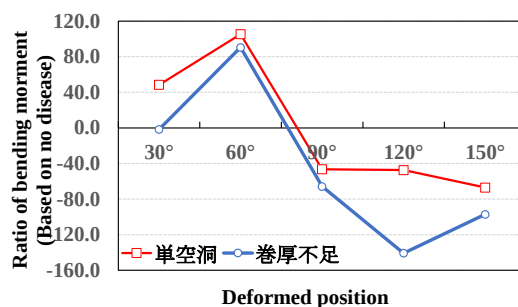


図-4 地点②での曲げモーメントの比率 (変状位置の変化のケース)

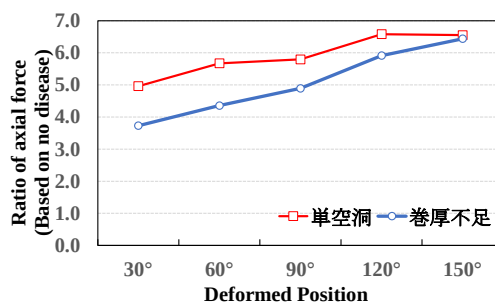


図-5 地点④での軸力の比率 (変状位置の変化のケース)