

## 背面空洞の有無によるトンネルの固有振動モードに関する一考察

東京都市大学 学生会員 ○増田 啓太 正会員 関屋 英彦  
正会員 丸山 収 フェロー会員 三木 千壽

## 1. はじめに

都市部では土地のスペースが限られていることから、シールドトンネルが多く施工されており、長期間供用されているシールドトンネルでは、ひび割れや多量漏水などの劣化が報告されている。また、近年ではシールドトンネルの背面に空洞が発生していることが問題となっている。背面空洞がトンネルに与える問題として以下二点<sup>2)</sup>が挙げられる。

- ・覆工背面に空洞が残存し地盤反力が確保できない場合はアーチ効果が得られず、覆工が押し上げられ、局所的な変形が生じる。(図-1)
- ・上部の岩塊が蓄積し、覆工に局所的な加重が作用した結果、突発的な変形もしくは剥落に繋がる恐れがある。

さらに、背面空洞が常時のトンネルの構造体にどのような影響を及ぼしているのかは明らかになっていない。そこで、本報告では背面空洞の有無によって、トンネルの固有振動モードに変化が生じるのか否かを固有値解析から検討した。具体的には、トンネルのFEM解析モデルを作成し、2つの地盤条件において固有値解析を行った際のトンネルの固有振動モードに対して比較・考察を行った。

## 2. 作成モデルと解析条件

作成したモデルの全体図を図-2に示す。解析には、汎用解析プログラムAbaqusを使用し、トンネルの各種パラメータは参考文献<sup>3)</sup>に基づき、作成した。本モデルは図-2に示すように、列車走行部をソリッド要素で、シールド部をシェル要素で作成した。列車走行部とシールド部は一体化しており、セグメントの部材ごとの影響は考慮していない。トンネルの外側にトンネルと相似の固定円をモデル化し、この固定円とトンネルとをバネで接続することで地盤との接触を再現した。トンネルと固定円を接続する際には、図-3に示すように、8等分した面積に対して1つの点でまとめ、地盤バネを用いて、点同士を結合した。バネは3軸方向のバネでモ

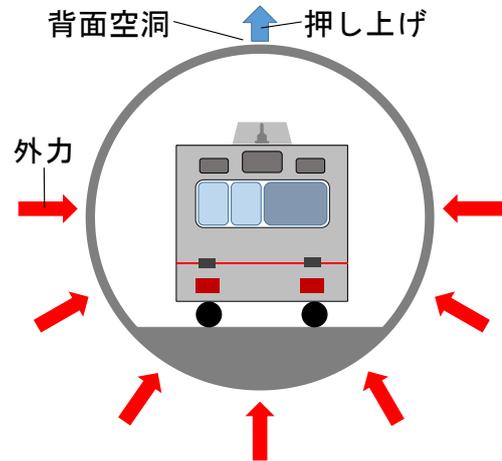


図-1 背面空洞がトンネルに与える影響

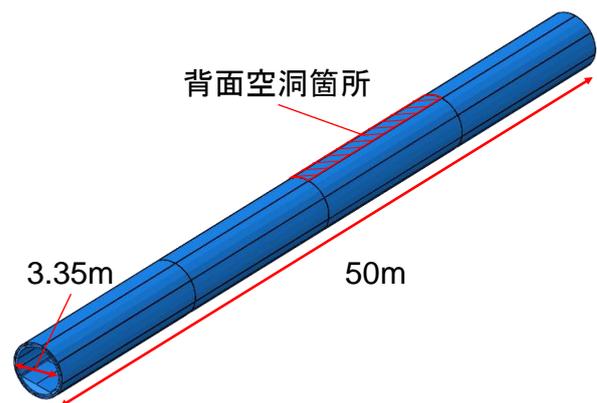


図-2 FEM解析モデルと背面空洞箇所

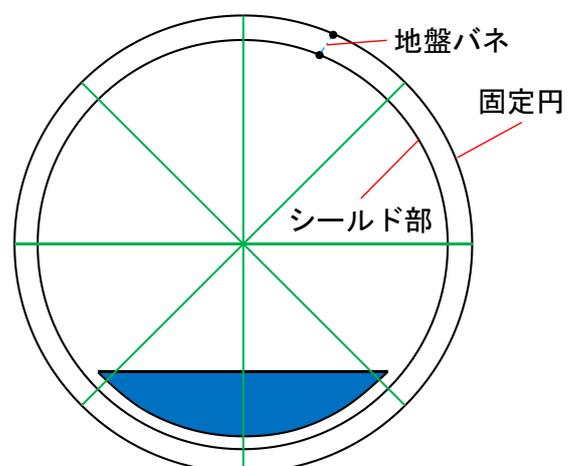


図-3 トンネルと固定円と地盤バネ

キーワード MEMS 加速度センサ, トンネルの変形挙動, FEM 解析, モニタリング

連絡先 〒158-8557 東京都世田谷区玉堤 1-28-1 東京都市大学 TEL. 03-5707-0104 E-mail: g1881637@tcu.ac.jp

モデル化した。本報告ではトンネル上部の1ヶ所に背面空洞を配置した背面空洞有り地盤モデルと、シールドトンネル周面全体を強固な地盤で覆われた健全地盤モデルの2種類にて比較・検討を行った。

具体的な背面空洞の位置に関しては、図-2に示す。法線方向とせん断方向のバネは、鉄道構造物等設計標準・同解説<sup>4)</sup>を参考に、非常に強固な砂質土の地盤における法線方向のバネ剛性を $58.1\text{kN/m}^3$ 、背面空洞を設定した箇所はバネ剛性を $0\text{kN/m}^3$ 、せん断方向のバネ剛性は法線方向の1/3とした。本報告における各パラメータは過去の検討事例<sup>5)</sup>および道路橋示方書・同解説<sup>6)</sup>に基づき設定した。

### 3. 固有値解析結果

健全地盤および背面空洞有り地盤における固有値解析の結果を図-4に示す。この結果において、Mode1~3に関してはトンネルそのものが上下左右方向や軸方向に移動するような挙動となり、Mode4においては、振動するような挙動を示した。本研究では、Mode4における変形挙動について考察を行った。Mode4における検討結果を図-5に示す。この結果から、健全地盤においては、上下に振動しているのに対して、背面空洞有り地盤では斜めの振動をしていることが分かる。

### 4. 考察

固有値解析の結果、健全地盤モデルにおいては、上下に振動しているが、上面に背面空洞があるモデルでは、斜めに振動していることが明らかとなった。固有振動モードが異なると、局所的なひずみが生じる恐れがあると考えられる。そして、この局所的なひずみを起因とし、コンクリートのひび割れや剥落などの劣化が発生する可能性があると考えられるため、背面空洞に対し、適切な処理を施す必要があると考えられる。

### 5. まとめ

本研究では、トンネルのFEM解析モデルを作成し、背面空洞の有無によってトンネルの固有振動モードに変化が生じるのか否かを検討した。本研究にて得られた知見は、背面空洞がある場合、固有振動モードの振動方向が変化することである。この知見から、トンネルの振動計測を実施することにより、背面空洞を簡易することができる可能性がある。

### 6. 今後の展望

本報告では、固有値解析に基づき、トンネルの固有振

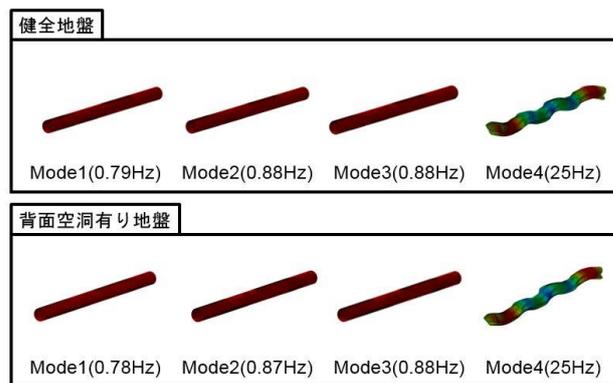


図-4 各固有値解析結果

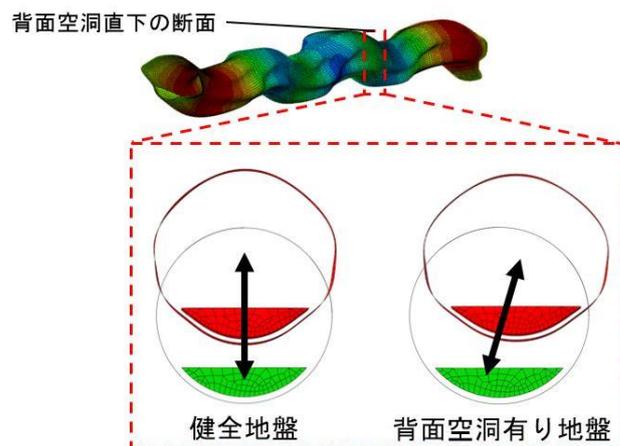


図-5 Mode4 (25Hz)における固有値解析結果

動モードについて検討した。今後は列車が走行している場合のトンネル変形挙動について検討を行い、活荷重に対し、背面空洞がトンネル構造に及ぼす影響について検討する。また、シールドトンネルにおける現場実測に基づき、FEM解析の妥当性の検証および、シールドトンネルのモニタリング手法を検討する。

謝辞：本研究は東京都市大学総合研究所未来都市研究機構の活動の一環として実施しました。関係各位に謝意を表します。

### 参考文献

- 1) 小松 秀一, 谷口 繁実, 永井 良典: 通信用シールドトンネルの劣化状況に関する調査, 土木学会第57回年次学術講演会, 2002年
- 2) 一般社団法人建設コンサルタント協会 近畿支部: 維持管理研究委員会報告書 第2編 今後の道路トンネル点検のあり方について, 2015年
- 3) 加藤 宏輝, 阿部 和久, 古田 勝: 地下鉄列車走行下におけるトンネル・地盤連成振動解析
- 4) 財団法人 鉄道総合技術研究所, 鉄道構造物等設計標準・同解説 シールドトンネル, 2002年
- 5) 水野 光一郎, 小泉 淳: シールドトンネル横断方向の耐震設計法に関する基礎的研究, 土木学会論文集 No.687/III-56, 107-123, 2001.9
- 6) 日本道路橋会, 道路橋示方書・同解説 I 共通編 IV 下部構造編