

FEM 解析を用いた列車荷重によるトンネルの変形挙動の検証

東京都市大学 学生会員 ○増田 啓太

東京都市大学 正会員 関屋 英彦

東京都市大学 正会員 丸山 収

東京都市大学 フェロー会員 三木 千壽

1. はじめに

長期間供用されているシールドトンネルでは、セグメントの腐食、多量漏水、ひび割れ等の劣化が報告されている¹⁾。また、近年ではトンネルの背面空洞の発生が大きな問題となっている。これらの劣化が、トンネル構造体にどのような影響を及ぼしているのかは不明であり、特に活荷重走行時のトンネルの動的挙動を把握して健全性を評価することは重要である。変形挙動の把握には通常、レーザー変位計や接触式変位計などの変位計測機器が使用される。しかし、これらの変位計測機器は、不動点を必要とするため、活荷重に対するトンネルの変位計測を行うことは出来ない。そこで、不動点を必要としない計測手法として、MEMS 加速度センサを用いた変位計測が有効になると考えられる。

本研究では、MEMS 加速度センサを用いて、加速度を計測し、加速度より変位を算出することでトンネルの変形挙動を計測することを目的としている。ここではトンネルの損傷や周辺の地盤環境等によって、活荷重によるトンネルの変形挙動に変化が生じるのか否かを静的 FEM 解析によって基礎的な検討をした。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列車の荷重を加えた際のトンネルの変形挙動に対して比較・考察を行った。

2. 作成モデルと解析条件

解析には、汎用解析プログラム Abaqus を用いた。解析は重力をモデルに入力し、その後列車の輪荷重位置に静的荷重を加えた。本研究で作成したモデルの全体図を図-1 に示す。トンネルモデルは参考文献により得られたパラメータ²⁾をもとに作成した。本モデルは、列車の荷重作用箇所をソリッド要素で、セグメント部分をシェル要素で作成した。ソリッド要素とシェル要素は Abaqus の設定を用いて結合した。このとき、セグメント 1 つ 1 つの影響は考慮していない。トンネル周辺

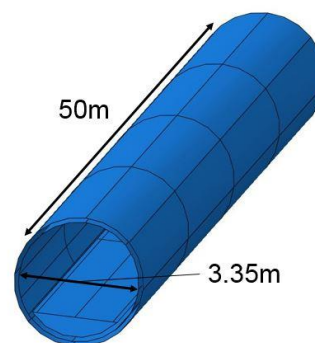


図-1 FEM 解析モデル

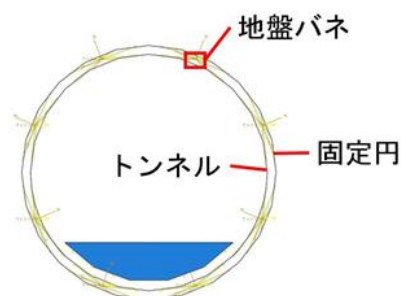


図-2 トンネルと固定円と地盤バネ

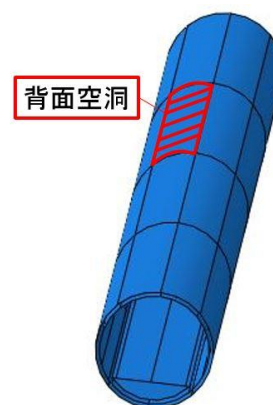


図-3 背面空洞の位置

は地盤とセグメントの間に地盤バネを設置して、土圧の影響を考慮した³⁾。このとき、バネの接点を設ける目的でトンネルの外周に相似の固定円を作成している。トンネルと外側の固定円とバネは、図-2 に示すように、それぞれ対応する面積に対して 1 つの点でまとめ、点と点とをバネで結合した。このときバネは 3 軸方向の

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

バネでモデル化した。本検討では周辺を強固な地盤で覆われた強固地盤とトンネル上部の一部に背面空洞を配置した背面空洞地盤において比較を行う。具体的な背面空洞の位置に関しては、図-3 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³⁾を参考に、非常に強固な砂質土の地盤における接線方向のバネ剛性を 58.1kN/m^3 とし、背面空洞を模擬した箇所はバネ剛性を 0kN/m^3 とし、せん断方向のバネ剛性は法線方向の $1/3$ とした。

本研究では、覆工コンクリートのパラメータに関しては過去の解析事例⁴⁾と道路橋示方書・同解説⁵⁾とを参考にし、ポアソン比 0.167 、弾性係数 40GN/m^2 、単位体積重量を 24500N/m^3 を採用している。静的荷重に関しては、車両は実際に使用された車両を元に設定しており、中央に1両のみ載荷している。列車の重量に乗車率 180% の重量を加え合わせた値を輪荷重位置に等配分することで列車荷重を設定した。

3. 解析結果

列車荷重を載せた際の背面空洞直下における断面の変形倍率 30000 倍の図を図-4 に示す。この図から、強固地盤においては断面が左右対称に縦に細長くなるような変形をしているのに対して、背面空洞地盤では、背面空洞部分が凹の変形をしていることが分かる。それぞれの赤い点の重力方向の変位を表-1 にまとめた。このように強固地盤では約 8.6mm 、背面空洞地盤では約 9mm の変位が出ていることが確認できる。

4. 考察

それぞれの変形の形に着目すると、強固地盤においては、左右対称に変形しているが、上面に背面空洞を配置した場合には左右非対称に変形していることが分かる。このことから、トンネルの全周の変形を計測することによって背面に存在する空洞を検知できる可能性があることが分かる。また、背面空洞付近は局所的に変形が異なっているため、背面空洞の無い箇所と比べて、周波数応答などに違いが発生することなどが考えられる。

5. まとめ

本研究では、MEMS 加速度センサを用いて、トンネルの変形挙動を計測することを前提として、トンネルの FEM 解析モデルを作成し、列車荷重を加えた際に背面空洞の有無によってトンネルの変形挙動に変化が生じるのか否か FEM 解析を用いて検討した。本研究で得

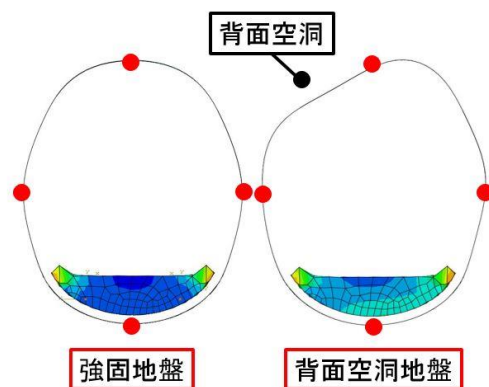


図-4 解析結果の下向き変位比較 (30000 倍)

表-1 各解析結果の下向き変位比較結果

	強固地盤	背面空洞地盤	変位の差
上部(mm)	-8.6080	-8.9910	0.3830
左側(mm)	-8.6140	-8.9970	0.3830
右側(mm)	-8.6140	-8.9970	0.3830
下部(mm)	-8.6180	-9.0000	0.3820

られた知見は、背面空洞がある場合にはトンネルの変形が左右非対称の形になることである。この知見から、トンネル全周の変形を計測することで、背面空洞を検知することができる可能性があることが分かった。

6. 今後の展望

本検討では列車をトンネル内部に載せた際の変形挙動について検討した。今後は荷重が走行している場合のトンネル変形挙動について検討する。また、今回検討していない、トンネル軸方向等に関しても検討していく。加えて、車両数を増やすなど、現実の鉄道の車両数に設定を変更した場合、挙動にどのような影響を与えるのかを検討することで、MEMS 加速度センサによるトンネルモニタリングの可能性を検証する。

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) 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
- 3) 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
- 4) 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
- 5) 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