

盛土中のトンネルの耐震設計に用いる 盛土形状を考慮した地盤変位算定手法の提案と試算

(公財) 鉄道総合技術研究所

正会員 ○小林 克哉 仲山 貴司

西岡 英俊 渡辺 健治

(株) ジェイアール総研エンジニアリング

正会員 西村 隆義 堂内 悠吾

1. 背景および目的 盛土中に位置するトンネルは、図1に示すようにトンネル横断方向には盛土が連続して存在し、地震時の挙動は周辺地盤に追随すると仮定できることから、耐震設計においては、地盤変位を対象構造物に地盤ばねを介して外力（以下、地盤変位荷重）として作用させる応答変位法により応答値を算定することが多い。また、この場合、開削トンネル等の地下構造物と同様に、盛土を水平成層の一樣地盤と仮定して地盤変位を算定し、この変位量から地盤変位荷重を算出している。しかし、過去の大地震時において盛土中トンネルの顕著な被害はほとんど報告されておらず、上記の地盤変位荷重が安全側の設定となっていることが指摘されている。一方、盛土はトンネル縦断方向には連続しておらず盛土幅で有限である。そのため、地震時の挙動は、水平成層の一樣地盤とは異なり、盛土形状による影響があることが推定される。そのため、盛土形状を考慮した地盤変位を評価することができれば、トンネルの合理的な設計に繋がる可能性がある。本稿では、盛土形状を考慮した地盤変位の算定手法を提案し、試算を実施した結果を報告する。

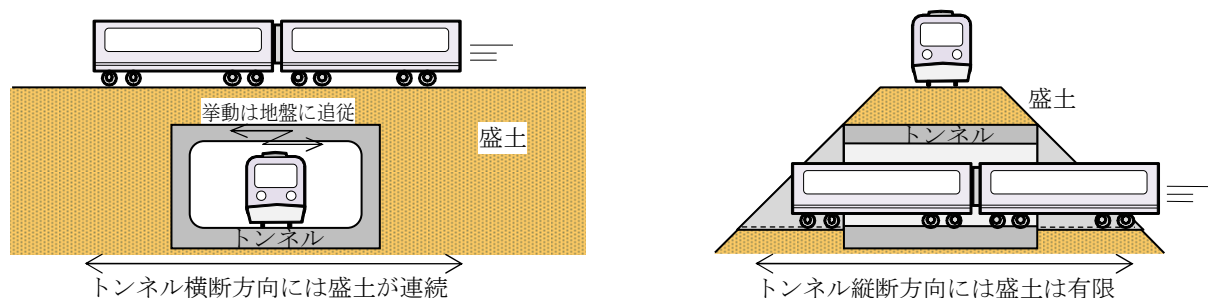


図1 盛土中に位置するトンネル

2. 盛土形状を考慮した地盤変位の算定手法 盛土形状による影響を詳細に評価するには、本来であれば、有限要素法などを用いた3次元応答解析によることが理想的であるが、作業が煩雑となり実務的ではないため、一般的な1次元応答解析を用いる手法を提案する。図2に提案するモデル化の概要を示す。このモデルは、一般的に用いる1次元応答解析と同様に、奥行き（ここではトンネル横断方向）は単位幅あたりでモデル化するが、異なる点として、高さ方向の要素分割に応じて盛土形状を考慮した質量 M_i および初期せん断剛性 G_{0i} を与えている。なお、本手法は、別途実施した3次元応答解析の結果とほぼ一致することを確認している。

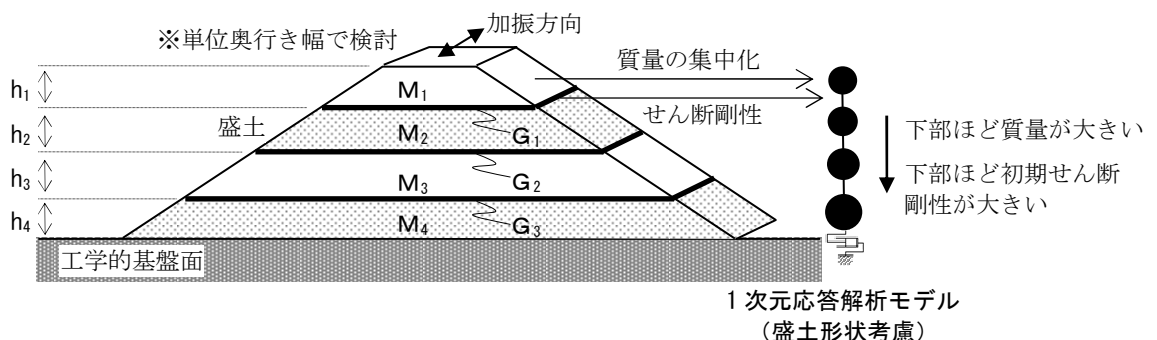


図2 盛土形状を考慮した1次元応答解析モデル

キーワード 盛土中トンネル, 地盤応答変位, 耐震設計

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町2-8-38 (公財) 鉄道総合技術研究所 構造物技術研究部 基礎・土構造

3. 地盤変位の試算 提案した応答解析手法を用いて地盤変位の試算を行った。検討断面は、盛土高さ 5m および 10m の 2 パターンとし、在来線の単線、複線、複々線断面とした。また、比較のため、従来の手法である盛土形状を考慮しない一様地盤の計算を実施した。図 3 に盛土高さ 5m の検討断面を示す。

盛土材料は、「鉄道構造物等設計標準・同解説（土構造物）¹⁾」の土質 2 の設計用値を用いた。また、盛土材料の動的変形特性は R-O モデルとし、「鉄道構造物等設計標準・同解説（耐震設計）²⁾」付属資料 12-1 に示される $G/G_0 \sim \gamma$ 関係、 $h \sim \gamma$ 関係にフィッティングさせて作成した（図 4）。

試算結果として、図 5 に応答変位量～盛土高さの関係を示す。盛土高さによらず同様の傾向を示しており、単線、複線、複々線断面で一様地盤に対し、約 40%, 50%, 60% 程度の応答変位量であった。盛土天端幅が広がり、盛土下端幅との差が縮まるほど、一様地盤の結果に近づいていく傾向である。

4. 地震時断面力分布の比較 地盤変位の試算結果を踏まえ、従来の一様地盤で算定した地盤変位荷重を作用させたケース（Case1）と、地盤変位荷重をその 50% としたケース（Case2）の試算を行い、盛土中のトンネルの断面力分布を比較した。検討は、断面形状が幅 3.6m × 高さ 2.6m の一般的なボックスカルバートを想定して、死荷重、常時土水圧、慣性力、列車荷重、地盤変位荷重を作用させて計算を行った。

解析結果の一例として、曲げモーメント分布を図 6 に示す。地盤変位荷重が 50% となることで、トンネルの変形が抑制され、本検討断面では、隅角部の断面力が約 75% 程度に低減した。このことから、地盤変位を詳細に評価することで、設計を合理化できる可能性が示唆された。

5. おわりに 本稿では、盛土形状を考慮した地盤変位の算定手法を提案し、設計の合理化の可能性が示された。本手法の妥当性検証および精度向上には、今後、模型実験や実事例の検証を行うことが有効であると考えられる。

参考文献

- 1) 鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説（土構造物），丸善，平成 19 年 1 月 平成 25 年改編
- 2) 鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説（耐震設計），丸善，平成 24 年 9 月

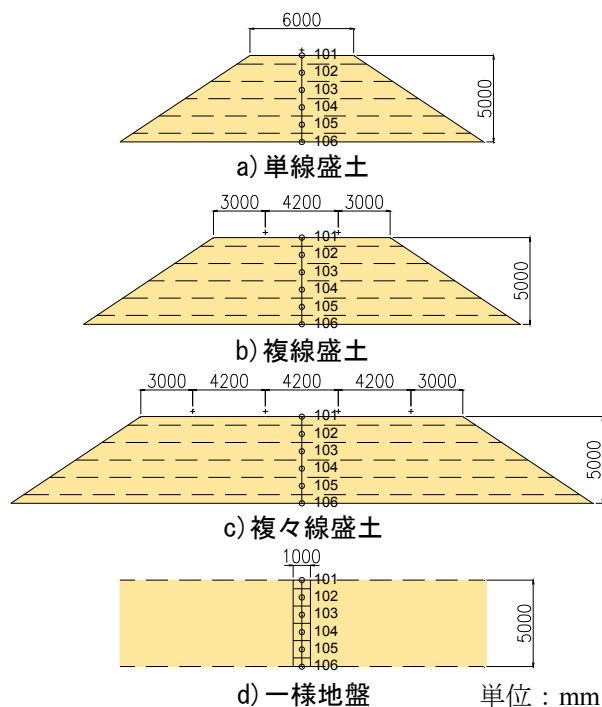


図 3 検討断面（盛土高さ $h=5\text{m}$ ）

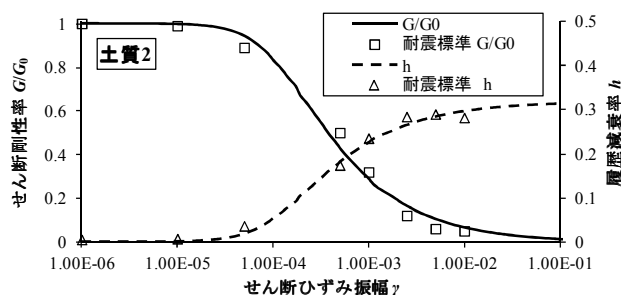


図 4 盛土材料の $G/G_0 \sim \gamma$ 関係、 $h \sim \gamma$ 関係

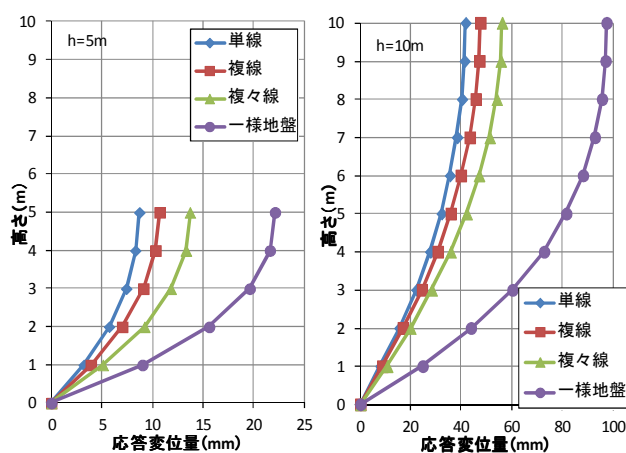


図 5 盛土の地盤変位の比較

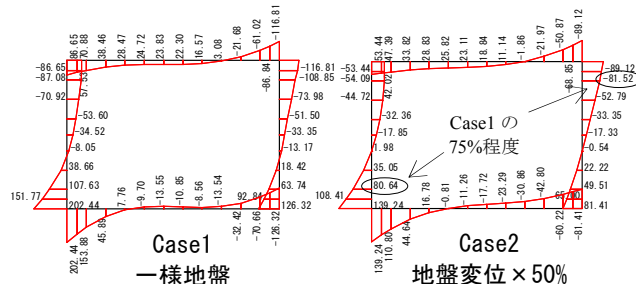


図 6 断面力比較 単位：kN・m