

急勾配化した補強盛土の FEM 解析による地震時応答評価

鉄道総合技術研究所 正会員 ○鈴木 聡, 井澤 淳, 小島 謙一
 鉄道・運輸機構 正会員 陶山 雄介, 阪田 暁, 曾我 大介

1. はじめに

鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計¹⁾(以下、耐震標準とする)では、標準的な高さや勾配の盛土の場合、盛土内の加速度増幅は考慮せず、土構造物照査波を用いてニューマーク法により滑動変形量を算定することとされている。性能ランク I の盛土は、鉄道構造物等設計標準・同解説(土構造物)¹⁾(以下、土構造標準とする)より、のり面勾配 1:1.8 を標準勾配として規定しており、標準勾配以外で設計を行う際は、盛土内の加速度増幅を考慮する等、詳細な検討を行う必要がある。一方で、整備新幹線では、解析等の検討³⁾を行い、盛土内にジオテキスタイルを配置した補強盛土構造とすることで、のり面勾配を 1:1.5 に急勾配化した断面を標準としている。のり面の急勾配化は、土工数量や用地幅の減少等となり、合理的な盛土計画や設計を行うことが可能となることから、著者らは、より急勾配化した 1:1.2 勾配の補強盛土について、振動台実験⁴⁾や、施工試験等⁶⁾を行っている。検討の中で 1:1.2 ののり面勾配における、性能ランク I の盛土を対象として、土質 1 の物性値を用いて 2 次元 FEM 応答解析を実施し、地震時挙動に及ぼす勾配の影響が小さいことを確認している⁷⁾。本稿では、土質 1 より品質が劣る盛土材が使用されたケースとして土質 2 の物性値を用いて、2 次元 FEM 地盤応答解析を実施することで、のり面勾配の変化や盛土材の違いが補強盛土の地震時挙動に与える影響について検討を行った。

2. 補強盛土の 2 次元 FEM 地盤応答解析

(1) 解析の概要

本検討における 2 次元 FEM 地盤応答解析の解析モデルを図 1 に示す。解析モデルは高さ 6m, 9m の実盛土を想定したモデルであり、犬走りの幅は 1.5m, 天端幅 12.2m とし、のり面勾配は 1:1.5, 1:1.2 のケースを実施している。盛土内のジオテキスタイルは、補強材強度 60kN/m の材料を高さ 1.5m に 1 層の配置とする。盛土の物性値の設定は、土構造標準に則り、盛土材の土質 2 ($\gamma=17\text{kN/m}^3$, $c=6\text{kN/m}^2$, $\phi=40^\circ$, ポアソン比 0.3) とする。盛土の非線形構成則は、多重せん断ばねモデルに GHE-S モデルを組み込んだモデルを用いる。GHE-S モデルのパラメータは、盛土材(土質 2)として、耐震標準に示される豊浦砂の変形特性 G/G_0 - γ , h - γ 関係にフィッティングするように設定している。本検討におけるジオテキスタイルのモデル化は、ジオテキスタイルの曲げ剛性を極力小さくした引張り方向のみ抵抗する梁モデルとし、補強材と土が一体として挙動する傾向が強いと考え、土要素との節点は共有している。支持地盤は、解析上の安定性を考慮し、層厚 10m 程度で耐震設計上の基盤相当 ($V_s=400\text{m/s}$, $\gamma=20\text{kN/m}^3$) の弾性体とし、この基盤が半無限に連続するものとして、ダッシュポットにより境界を設定している。減衰定数は、レーリー減衰を用いるものとし、振動数 0.2Hz, 10Hz で減衰 3%となるように設定を行っている。また、解析に用いる入力地震動は、鉄道標準の L2 地震動スペクトル II(G1 地盤)を用い、解析モデル底面位置に粘性境界を介して入力している。

(2) 解析結果

固有値解析の結果の一例として、高さ 9m, 1:1.2 勾配の補強盛土の 1 次モード形状を図 2 に示す。また、盛土の振動モードについて、盛土の急勾配化の影響を比較するため、のり面勾配 1:1.5, 1:1.2 における 1 次固有周期と 1:1.5 勾配との断面積の比率を表 1 に示す。なお、同表には土質 1 のケースにおける固有値解析の結果も合わせて示している。表 1 より、本検討の対象となる複線断面を想定した天端幅 12.2m の盛土では、のり面勾配の違いによる断面積比の差が小さく、総重量や総剛性の差が小さかったため、1:1.2 に急勾配化した断面においても 1:1.5 勾配の断面と同等の固有周期となった。また、土質 2 のケースにおける固有周

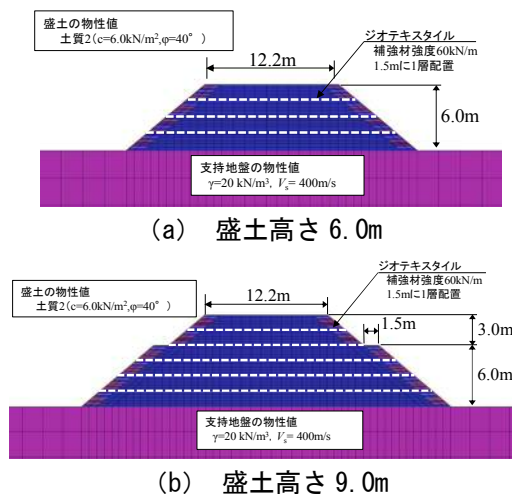


図 1 盛土の解析モデルの概要図

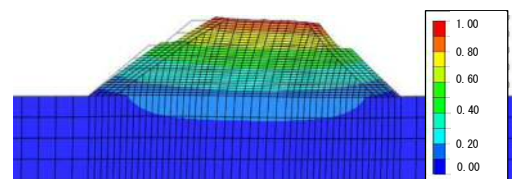
図 2 盛土の 1 次モード形状
(1:1.2 勾配, 高さ 9m)

表 1 勾配別の補強盛土の 1 次固有周期

高さ	土質	勾配			
		1:1.5	1:1.2	1:1.0	1:0.7
6m	土質1	0.141秒	0.141秒	0.141秒	0.143秒
	土質2	0.164秒	0.164秒	—	—
	断面積比	1.0	0.93	0.89	0.83
9m	土質1	0.173秒	0.173秒	0.174秒	0.177秒
	土質2	0.203秒	0.205秒	—	—
	断面積比	1.0	0.90	0.84	0.74

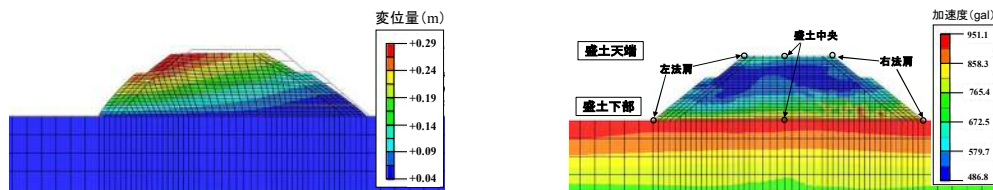
キーワード 急勾配化 補強盛土 地盤応答解析

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 TEL 042-573-7394

期は、土質 1 の結果より周期が長くなるものの、入力地震動の卓越周期 (0.2~1.0 秒で一定) と比較すると短周期の構造物であることがわかる。次に動的解析結果の一例として、盛土高さ 9m, 1:1.2 勾配の変形図と加速度の最大値分布を図 3 に、変位量が大きくなる左側法肩の加速度及び水平変位の時刻歴を図 4 に示す。左側法肩の変位が最大の時刻における変形図は、固有値解析により求められる 1 次モード形状と類似した傾向を示し、水平方向へのせん断変形が卓越している。盛土の加速度の最大値分布図をみると、盛土中段で約 480gal, 盛土上端でも 650gal 程度で地表面位置より小さくなっている。盛土の水平変位が最も大きい左側法肩部における加速度の時刻歴波形を見てみると、土質 2 のケースでは、11 秒付近の短周期の波形が土質 1 より小さくなっていることが分かる。土質 2 の解析に用いる非線形特性は、豊浦砂の変形特性 G/G_0 - γ , h - γ 関係を用いて設定しているが、その履歴減衰率 h は、粒調碎石の試験結果である土質 1 に比べて、最大値 h_{max} で 2 倍以上大きい結果となっている。上述した加速度波形の最大値の違いは、その影響によるものと考えられる。なお水平変位の時刻歴を見てみると、土質 1 に比べてせん断剛性が小さい土質 2 のケースでは、土質 1 の結果より最大値で 1.2 倍以上の水平変位となる。土質 1, 土質 2 の両ケースにおいて解析を行った法面勾配について、盛土天端と盛土下部との最大加速度の応答倍率を算定した結果を図 5 に示す。これを見ると、土質 1 のケースでは、最大加速度の応答倍率が 1.0~1.2 倍程度になるのに対し、土質 2 のケースでは、1:1.5, 1:1.2 勾配ともに 1.0 倍より小さくなる結果となった。土質 1, 土質 2 の補強盛土における盛土天端の左側法肩部における加速度応答スペクトルを図 6 に示す。土質 1 に比べて品質が若干劣る土質 2 のケースでは、0.1~0.5 秒の周期で加速度応答が土質 1 より概ね小さくなっている。また土質 2 において、1:1.2 に急勾配化したケースでは、1:1.5 勾配の結果と比較して、加速度応答は若干小さくなるものの、その違いは非常に小さいため、土質 1 と同様に加速度応答に与えるのり面勾配の影響は小さいと言える。

3. まとめ

土質 2 の盛土の物性値を用いて、盛土高さ 6m, 9m, のり面勾配 1:1.5, 1:1.2 の補強盛土の 2 次元 FEM 応答解析を実施した結果、盛土天端での最大加速度は盛土下端より小さくなることがわかった。また、土質 2 における 1:1.2 に急勾配化したケースでは、1:1.5 勾配の結果と比較して、加速度応答が若干小さくなるものの、その違いは非常に小さいため、土質 1 と同様に加速度応答に与えるのり面勾配の影響は小さいと言える。



(a) 左側法肩の変位最大時 (13.07 秒) の変形図

(b) 加速度の最大値分布図

図 3 動的解析のコンタ図の例 (盛土高さ 9m, のり面勾配 1:1.2)

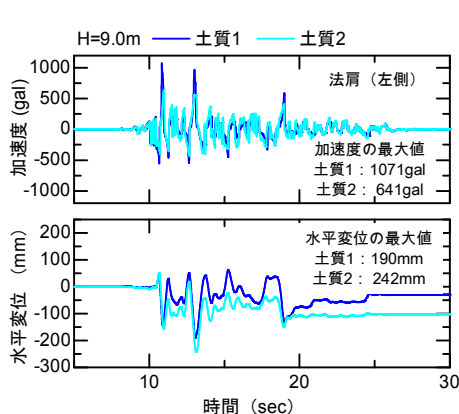
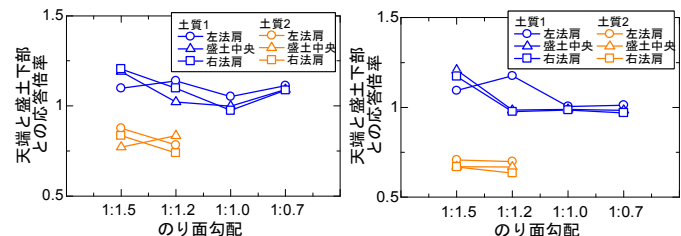


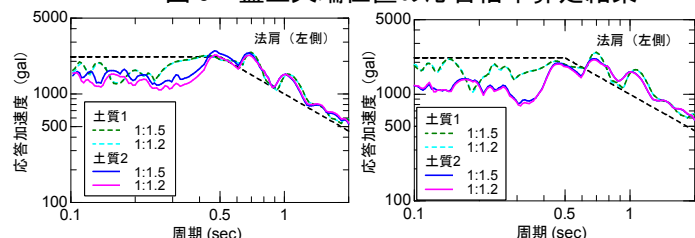
図 4 盛土左肩における加速度および水平変位の時刻歴波形 (1:1.2 勾配, 高さ 9m)



(a) 盛土高さ 6m

(b) 盛土高さ 9m

図 5 盛土天端位置の応答倍率算定結果



(a) 盛土高さ 6m

(b) 盛土高さ 9m

図 6 盛土天端の左側法肩における加速度応答スペクトル

参考文献 1) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説(耐震設計), 2012.9. 2) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説(土構造), 2007.1. 3) 米澤ら：新幹線盛土のジオテキスタイルによる耐震補強に関する研究, ジオシンセティック論文第 15 巻, 2000.12. 4) 阪田ら：補強盛土ののり面勾配と地震時応答特性に着目した模型振動台実験, 第 52 回地盤工学研究発表会, 2017.7. 5) 成田ら：補強盛土の地震時破壊形態に関する実験的検討, 第 52 回地盤工学研究発表会, 2017.7. 6) 高野ら：急勾配化した補強盛土の品質および施工性, 第 52 回地盤工学研究発表会, 2017.7. 7) 鈴木ら：急勾配化した補強盛土の解析的検討による地震時応答評価, 第 72 回年次学術講演会, 2017.9