

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

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 山崎 貴之, 高野 裕輔, 阪田 暁

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)²⁾(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全層敷と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。さらにのり面を急勾配化させることで、土工数量や用地幅の減少等により、合理的な盛土計画や設計を行うことが可能となると考えられ、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⁾⁵⁾や、施工試験等⁶⁾を行っている。本検討では、のり面勾配 1:1.5, 1:1.2, 1:1.0, 1:0.7 の補強盛土について 2 次元 FEM 地盤応答解析を実施して、のり面勾配の変化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, 1:1.0, 1:0.7 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 1 ($\gamma=17.7\text{kN/m}^3$, $c=6\text{kN/m}^2$, $\phi=45^\circ$, 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、耐震標準に示される盛土材(土質 1)の変形特性 $G/G_0-\gamma$ 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、ジオテキスタイルを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、のり面勾配の各ケースにおける 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。表 1 より、1:0.7 勾配のケースで若干長周期となるものの、いずれのケースについてもほぼ同等の固有周期であることが分かる。

また、入力地震動の卓越周期 (0.2~1.0 秒で一定) と比較して短周期の構造物である。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比較的小さいため、総重量や総剛性の差が小さかったためと考えられる。

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 に示す。左側法肩

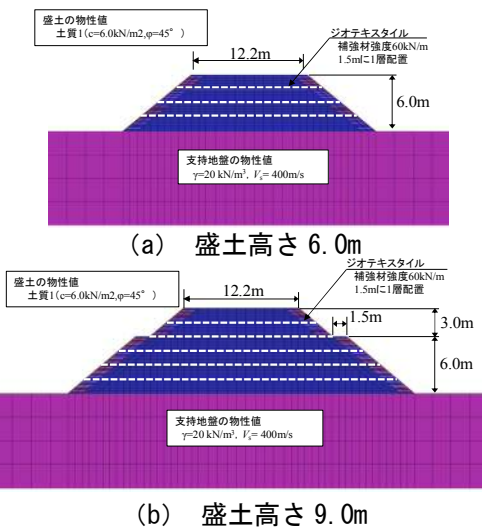


図 1 盛土の解析モデルの概要図

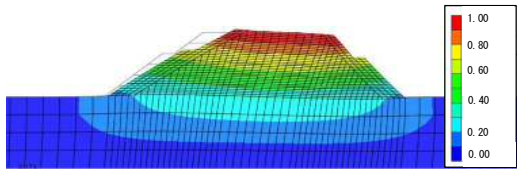


図 2 盛土の 1 次モード形状 (1:1.2 勾配, 高さ 9m)

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
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
断面積比		1.0	0.90	0.84	0.74

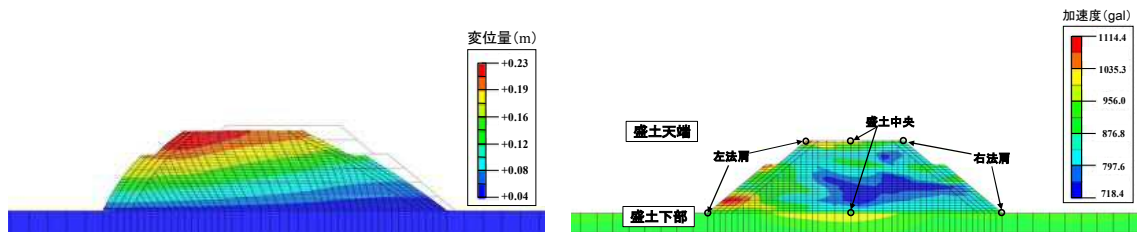
キーワード 急勾配化 補強盛土 地盤応答解析

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

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。他ののり面勾配のケースについても同様の傾向を示すことを確認しており、卓越するモードとしては、1次モード形状で挙動すると考えられる。盛土の応答加速度の最大値分布図をみると、盛土左側法肩天端付近で1000gal~1100galとなり、盛土下部での応答加速度の1.2倍程度となっている。のり面勾配の各ケースについて、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4に示す。最大加速度は、応答加速度時刻歴の最大値を抽出しているため、短周期の波形を敏感に拾っている影響で、ケースにより違いが見られるが、いずれのケースも最大加速度の応答倍率が1.2倍以内に収まっていることを確認した。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5に示す。高さ6m, 9mともに固有周期の若干異なる1:0.7勾配のケースで多少の違いが見られるものの、加速度応答に与えるのり面勾配の影響は小さく、相関も見られない結果となった。これは、いずれののり面勾配のケースもほぼ同じ固有周期であること、高品質の盛土材をモデル化しているため振動中の塑性化が顕著でなかったためと考えられる。なお、これらの結果は、振動台実験⁴⁾⁵⁾の結果と概ね一致する傾向となっている。

3. まとめ

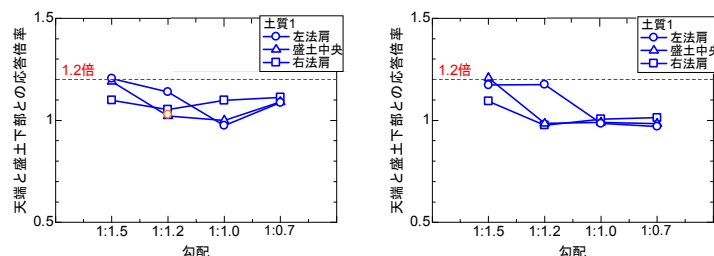
盛土高さ6m, 9m, のり面勾配1:1.5, 1:1.2, 1:1.0, 1:0.7の補強盛土の2次元FEM応答解析を実施した結果、盛土下端と比較して盛土天端で最大でも1.2倍程度の増幅であることがわかった。今回の検討結果より、簡易的な設計において、土構造物照査波を一律1.2倍し、ニューマーク法による滑動変形量の算定をすれば安全側の設計となる。ただし、土構造物照査波の全時刻を1.2倍した場合、過度に安全側の設計となる可能性があるため、今後、より妥当な手法を検討する予定である。また、今回検討の対象とした土質1の補強盛土では、盛土材料の品質が高く、地震時の変形、塑性化が小さいため、地震時挙動に及ぼす勾配の影響が小さく、ほぼ同等の応答を示した。土の品質が低下すると、振動中に塑性化が顕著になり、初期の固有周期で応答を評価できなくなる可能性があるため、今後検証を行う予定である。



(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

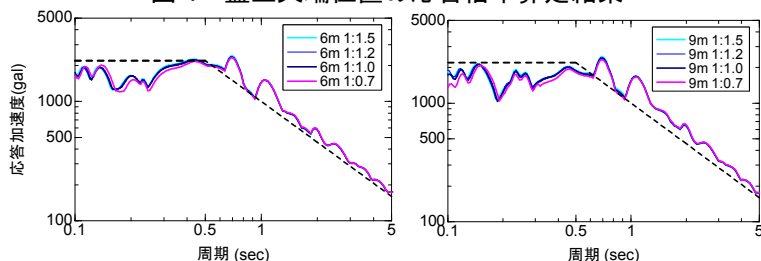
図3 動的解析のコンタ図の例(盛土高さ9m, のり面勾配1:1.2)



(a) 盛土高さ6m

(b) 盛土高さ9m

図4 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5 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ス論文集第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(投稿中). 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(投稿中). 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(投稿中).