

## 鉄道盛土構造物の地震時被害予測に関する簡易推定手法の提案

(株)複合技術研究所 正 三平 伸吾  
 (財)鉄道総合技術研究所 正 渡辺 健治  
 (財)鉄道総合技術研究所 正 室野 剛隆

### 1. はじめに

鉄道盛土は様々な時代背景と共に高い要求性能が求められるようになり、近年では RC や鋼構造物と同様の性能を求めて高級化への道を歩んできている。これらの背景をもとに、現存する鉄道盛土は幅広い性能を有しており、鉄道システムにおける地震時安全性を統一的な指標で連続的に評価する簡易な 1 次スクリーニング手法の確立が望まれている。

本報告では、盛土材料の詳細な物性値や設計地震動が明確な個別の盛土に対する耐震検討ではなく、線路全体に点在する盛土の弱点箇所抽出を目標とし、限られた地震情報および盛土に関する情報を元に盛土構造物のリスク評価手法を提案する。

既往の研究<sup>1)</sup>では、主に高架橋のスクリーニング法が提案されており、想定地震の PGA と PGV、構造物の降伏周期  $T_s$  と降伏震度  $k_y$  等の限られた情報を元に弱点箇所の抽出を可能としている。ここでは、盛土の地震時挙動が高架橋と異なり、動的応答や変形挙動が一方向に累積する様な盛土構造物の特性に着目し、現行変形照査手法である Newmark 法を用いて、地震時変形量と地表面地震動特性の相関性について検討した。

### 2. Newmark 法による算定変形量について

Newmark 法は、静的震度法で求めた最小安全率の滑り面をもとに、上部の土塊が剛体的に移動する残留変形量を計算する手法であり、すべり面を伴う破壊を対象とした地震時変形量算定法である。また、様々な地震動特性の違いを考慮し、少ない入力定数で簡便的に変形量が求まる利点を有している。

現行の鉄道標準においては、盛土構造物の着目すべき変形挙動として、盛土上面の沈下量を照査項目とし、Newmark 法によるすべり土塊の滑動変形量の他に、揺すりこみ沈下量を勘案して、上記の沈下量を評価している。ここでは、盛土の構造仕様により大きく影響される滑動変形量にのみ着目して検討を進めた。

表 1 検討盛土断面の構造仕様と土質定数

検討 Case	法勾配	単位体積重量	盛土表層部 物理特性	盛土深層部 物理特性
1	1:1.8	18kN/m <sup>3</sup>	=35° c=3kN/m <sup>2</sup>	=40° c=6kN/m <sup>2</sup>
2	1:1.5	17kN/m <sup>3</sup>	=30° c=3kN/m <sup>2</sup>	=35° c=6kN/m <sup>2</sup>
3	1:1.8	19kN/m <sup>3</sup>	=40° c=3kN/m <sup>2</sup>	=45° c=6kN/m <sup>2</sup>
4	1:1.5	19kN/m <sup>3</sup>	=40° c=3kN/m <sup>2</sup>	=45° c=6kN/m <sup>2</sup>

### 3. 解析手法について

降伏震度が 150 ~ 600gal と分階される 4 種類の盛土構造体モデル (H=6.0m) を対象に、異なる地震動特性を有する地震波を用いて、Newmark 法による地震時変形量を算定した。表 1 に検討に用いた盛土構造体モデルの構造仕様を示す。

Case1 のみ盛土体内にジオグリッドを配置

本検討で用いる地震動は、断層までの距離が遠く継続時間が長い観測波、断層近傍で観測された観測波、さらに鉄道路構造物の耐震設計に用いられる設計地震動<sup>2)</sup>〔右表では土構造物用地震波(G0~G7)と呼称〕とし、幅広い加速度振幅で検討を行う目的で、最大加速度を 450 ~ 1050gal 程度まで振幅調整した波形を対象とした。検討に用いた地震動種別と諸特性を表 2 に示す。

表 2 解析に用いた地震動と特性

地震波名	最大加速度 (gal)	卓越周波数 (Hz)
1995 兵庫県南部地震	818.02	1.45
1999 台湾集集地震	361.91	0.11
2003 三陸南地震	1111.61	6.96
1993 釧路沖地震	814.91	2.37
土構造用地震波 G0	577.5	2.25
土構造用地震波 G1	731.5	1.34
土構造用地震波 G2	923.9	1.34
土構造用地震波 G3	779.0	1.20
土構造用地震波 G4	718.4	0.68
土構造用地震波 G5	741.1	0.71
土構造用地震波 G6	694.1	0.42
土構造用地震波 G7	500.7	0.44

キーワード 1 次スクリーニング, 盛土, 地震時被害予測, Newmark 法, 降伏震度超過エネルギー

連絡先 〒102-0072 千代田区飯田橋 4-6-9 ロックフィールドビル 6 階 (株)複合技術研究所 03-5276-5276

4. 地震動特性と算定変形量の相関性について

様々な地震動特性(卓越周波数、継続時間、降伏震度超過エネルギー、最大加速度)と算定変形量の関係性を多面的に比較した。ここで記した降伏震度超過エネルギーとは、図1に示すような変位累積に寄与する限界震度を越えた地震エネルギーを積分したものである。ここでは紙面の都合で全ての検討結果は示せないが、上記の地震動特性のうち、降伏震度を超過するエネルギーと地震時滑動変形量の相関が最も高かった(図2)。これは、過去の模型振動実験などにより、土構造物は加速度の大きさだけでなく、地震動の継続時間や主要動の繰返し回数の影響を大きく受けた結果とも整合している。図2中の数値は、全ての検討断面による解析結果をプロットしており、帯幅のある線形関係が得られた。また、降伏震度超過エネルギーの増加に伴い、大きなばらつきも確認された。

これらの結果を踏まえ、エネルギー以外のファクターとして、時間成分指標とする地震動周期に着目した。地震動の卓越周期は、想定地震の最大加速度PGAおよび最大速度PGVから予測できるため、簡易推定においては有用な指標である。ここでは、各地震動の卓越周期と、図2でプロットした降伏震度超過エネルギーを鉄道標準の性能規定区分とされる変形レベル毎に明記した関係を図3に示す。

これらの相関より、Newmark法により求められる盛土構造物の地震時変形量は、設計上で性能規定される変形レベル<sup>2)3)</sup>に対して、統一的な指標により整理できることが分かり、実務的に有用であると考えられる。今回の提案手法により、土構造物とそれ以外の構造物の間で、地震時の被害を横断的に簡易推定できることが分かった。

今後の課題としては、地震時変形量算定手法の精度向上を図り、それらより得られる図3のようなノモグラムの作製により、鉄道線区全体の簡易スクリーニング手法を構築していきたい。また、これらの1次スクリーニング手法により抽出した弱点箇所については、詳細調査を行い、精緻な被害予測を実施する必要があることを前提とすること、盛土の被害挙動が、地形・盛土の成り立ち、雨・浸透水等の飽和度の影響を大きく受けることを念頭に置き、1次スクリーニング手法の妥当性と位置づけについて研究を進めていきたい。

参考文献

- 1)野上,室野,宮本,佐藤:地震時の高域な構造物被害および走行安全に関する簡易推定法 RTRI REPORT Vol.22, No.10, Oct.2008 pp29-34
- 2)鉄道総合技術研究所:鉄道構造物等設計標準・同解説 土構造物,平成19年1月
- 3)鉄道総合技術研究所:鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震標準,平成11年10月

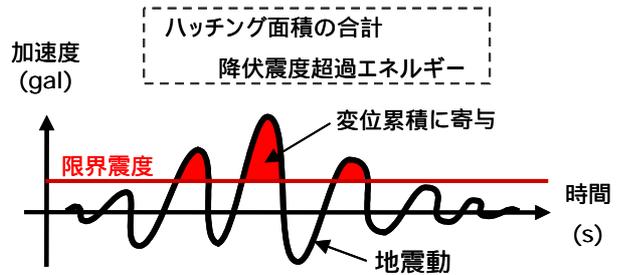


図1 降伏震度超過エネルギーの概要

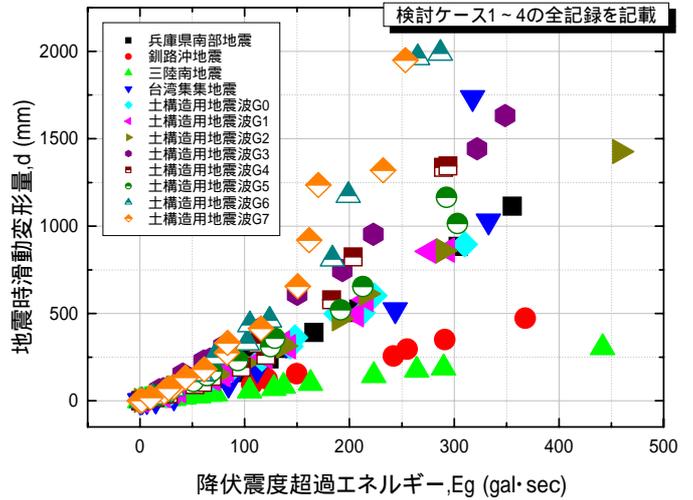


図2 滑動変形量と降伏震度超過エネルギーの関係

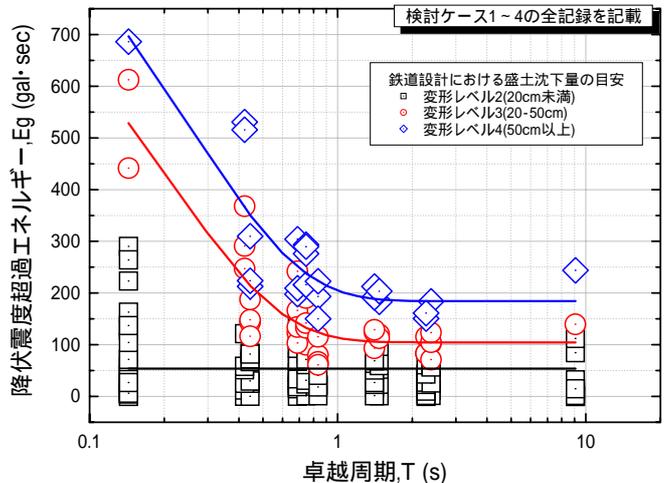


図3 卓越周期と降伏震度超過エネルギーの関係