

鉄道盛土の地震時滑動変形量の簡易算定法の構築における基礎的検討

鉄道総合技術研究所

正会員 坂井 公俊

鉄道総合技術研究所

正会員 室野 剛隆

ジェイアール総研エンジニアリング

正会員 ○川野 有祐

1. はじめに

広域な鉄道システムの地震時安全性に関するスクリーニングを実施する場合には、想定される地震条件下での各種鉄道施設の応答値、被害程度を算定し、その結果に基づいて弱点箇所を抽出することが望ましい。この際、各構造物の地震応答値、被害程度を詳細な動的解析によって算定することは現実的ではなく、簡易な手法によって被害推定を行う必要がある。筆者らは過去に高架橋、車両の地震被害簡易推定手法の提案を行っている¹⁾。本検討では、盛土の地震被害簡易推定手法構築のための基礎的検討として、ある地震波形を仮定した場合の盛土滑動変形量を簡易に算定可能な表現方法の構築を行う。

2. 滑動変形量簡易算定のための表現方法の提案

鉄道盛土の地震時滑動変形量を算定する手法としては、一般的にニューマーク法²⁾が用いられている³⁾。これは、次式で表現される円弧状滑り土塊の運動方程式を地震開始から終了まで逐次積分することにより、滑り土塊の回転角を算定する手法である。

$$\ddot{\theta} = (K_h(t) - K_y)(M_{DK} + M_{RK}) / J \quad (1)$$

ここで、 θ ：回転角、 $K_h(t)$ ：時刻 t における地震動の水平震度、 K_y ：盛土の降伏震度、 J ：慣性モーメント、 M_{DK} ：地震慣性力の基準滑動モーメント、 M_{RK} ：地震抵抗力の基準抵抗モーメント、である。地震終了時における土塊の回転角 θ に円弧半径 R を乗ずることで、滑動変形量 δ が算定される(式(2))。

$$\delta = \theta \cdot R \quad (2)$$

よってニューマーク法によって盛土の滑動変形量を算定するためには、①盛土の降伏震度 K_y 、②盛土の特性値 $\chi (= R \cdot (M_{DK} - M_{RK}) / J)$ 、③地震動の時刻歴波形の3つが必要である。このうち、①、②に関しては、盛土の高さ、盛土勾配、土質分類によって簡易に推定する手法を提案している⁴⁾。このため、盛土の形状と時刻歴波形が得られていれば、ニューマーク法を適用することは可能である。ところが地震被害簡易推定を念頭においた場合、各盛土諸元と時刻歴波形に対して個別にニューマーク法を実施せずに変形量を算定出来ることが望ましい。そこで、式(1)を以下のように変形させる。

$$\begin{aligned} \ddot{\theta} \cdot R &= (K_h(t) - K_y) R \cdot (M_{DK} + M_{RK}) / J \\ &= (K_h(t) - K_y) \cdot \chi \\ &= \left(\frac{A(t)}{PGA} - \frac{K_y \cdot 980}{PGA} \right) \cdot \frac{PGA}{980} \cdot \chi \end{aligned} \quad (3)$$

ここで、 $A(t)$ ：時刻 t における地震動の加速度(gal)、PGA：地震動の最大値(gal)である。式(3)は言い換えると、盛土の滑動変形量は、降伏震度 $(K_y \cdot 980) / PGA$ の盛土に最大値1.0に正規化した時刻歴波形が作用した場合の滑動変形量をニューマーク法により算定(ここでの滑動変形量を基準化変形量 δ^b と定義する)し、これに $\chi \cdot PGA / 980$ を掛け合わせることで算定可能であることになる。つまりある一つの時刻歴波形の形状が確定した場合、これを最大値1.0に補正した時刻歴波形と降伏震度 K_y を複数変化させたニューマーク法を実施しておくことで、あらゆる地震動の最大加速度、盛土に対する滑動変形量を算定可能であることになる。

3. 試算

3.1 手法の確認

ここでは提案手法を用いた盛土滑動変形量の算定を行い、従来の手法(単一の盛土、地震動に対してニューマーク法実施)との比較を行う。対象とする波形の形状は、図-1(a)の兵庫県南部地震 JMA 神戸観測記録(NS成分)とする。提案手法ではまず、この時刻歴波形を最大値1.0に正規化を行い、この波形に対して降伏震度を連続的に変化させたニューマーク法を実施する。得られた結果

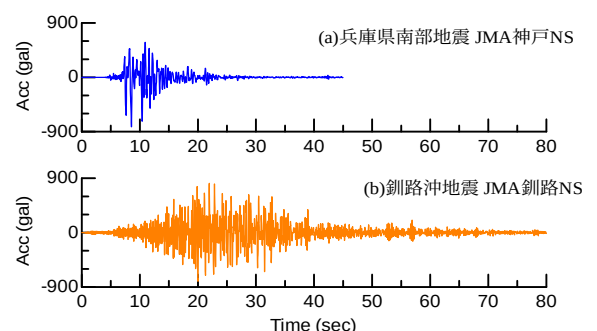


図-1 試算に用いた時刻歴波形

キーワード 盛土、滑動変形、ニューマーク法

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

を図-2 に青線で示す．この図が得られていれば，地震動の最大加速度と盛土の降伏震度 K_y と特性値 χ のみの情報から滑動変形量を算定可能である．

盛土，地震動の条件として，地震動の最大加速度 $PGA=980\text{gal}$ ，盛土の各種パラメータ $K_y=0.4$ ， $J=2000\text{kNm}$ ， $M_{RK}=800\text{kNm}$ ， $M_{DK}=2000\text{kNm}$ ， $R=12\text{m}$ を考える．この場合，盛土の特性値 $\chi=16.8$ である．

この時，地震動最大加速度と盛土の降伏震度の比は， $PGA/(K_y \cdot 980)=980/(0.4 \cdot 980)=2.5$ となり，図-2 より基準化変形量 $\delta^b=0.0027794$ となる．最終的な盛土の変形量は， $\delta=\delta^b \cdot PGA \cdot \chi=0.0027794 \cdot 980 \cdot 16.8=45.760\text{cm}$ となる．図-3 には，この入力地震動と盛土の諸元を用いてニューマーク法によって滑動変形量 δ を算定した結果も示しているが，最終的な変形量は，提案法と一致している．つまり予めある時刻歴波形の形状に対して図-2 の結果が得られていれば，提案手法を用いてニューマーク法を実施することなく，任意の盛土の滑動変形量を正確に算定可能であることが分かる．

3.2 地震動波形の形状の差による滑動変形量の変化の考察

ここでは，地震動波形の形状の差が変形量の差に及ぼす影響を把握することを目的とした検討を行う．具体的には，継続時間が長く代表的な地震動である釧路沖地震 JMA 釧路観測記録 (NS 成分) に対して基準化変形量 δ^b を算定し，JMA 神戸の結果と比較を行う．両波形の形状比較を図-1(a)(b)に示す．これより明かに JMA 神戸の継続時間は短く，JMA 釧路の継続時間が長くなっていることが分かる．この2つの波形に対してそれぞれ基準化変形量 δ^b を算定した結果を図-4 に示す．これより，JMA 釧路の基準化変形量がより大きくなっていることが分かる．つまり，この結果は，両波形の最大加速度が等しい場合，継続時間のより長い JMA 釧路による被害がより大きくなることを表現している．さらに，両者の差は， $PGA/(K_y \cdot 980)$ が大きくなるほど開いている．これより，盛土の降伏震度 K_y が小さくなるほど，両地震波による被害程度に差が表れるということも分かる．また，仮に両地震動の最大加速度が 980gal であると仮定した場合， $PGA/(K_y \cdot 980)$ が 2.0 以下，つまり盛土の降伏震度 K_y が 0.5 よりも大きければ，両地震動による滑動変形量にほとんど差がないことが分かる．

以上のように，提案手法によって基準化変形量を評価することで，対象とした地震動波形の形状ごとの盛土滑動変形量の大小を明確に把握することも可能である．

4. まとめ

本検討では，盛土の地震被害簡易推定手法構築のための基礎的検討として，ある地震波形を仮定した場合の盛土滑動変形量を簡易に算定可能な表現方法について提案を行い，手法の妥当性を確認した．今後は，地震の規模や震源距離等に応じて地震動波形の形状，基準化変形量がどのように変化するかについて検討を行い，これらの簡易な地震パラメータのみから基準化変形量を評価する手法の構築を目指す．

【参考文献】

- 1) 室野剛隆，野上雄太，宮本岳史：簡易な指標を用いた構造物および走行車両の地震被害予測法の提案，土木学会論文集 A，Vol.66，No.3，pp.535-546，2010．
- 2) Newmark, N. M., (1965) : Effects of Earthquakes on Dams and Embankments. J., Geotechnique, 15(2), pp. 139-160.
- 3) (財) 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），2007．
- 4) 京野光男，坂井公俊，室野剛隆，坂本寛章，小島謙一：鉄道盛土の地震リスク評価に必要なパラメータの簡易予測，第 45 回地盤工学研究発表会講演集，pp.1569-1570，2010．

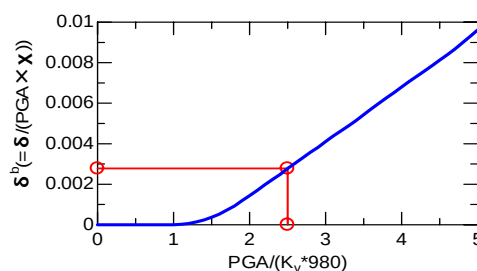


図-2 提案手法による表現方法

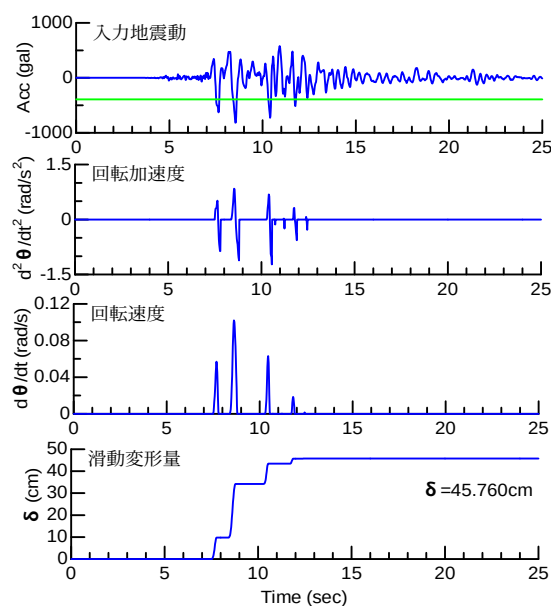


図-3 ニューマーク法による変形量算定結果 (従来法)

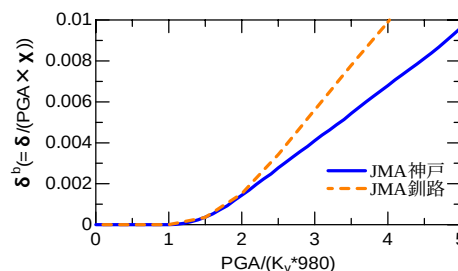


図-4 基準化変形量算定結果の比較