

ニューマーク法に基づく盛土変形量と地震動特性の相関

(株)複合技術研究所 正〇 嶋田 由希
 正 堀井 克己
 (財)鉄道総合技術研究所 正 室野 剛隆
 正 舘山 勝

1. はじめに

鉄道盛土では、L2地震動に対する耐震性能照査(変形性能照査)にニューマーク法¹⁾が用いられており、耐震標準²⁾にその計算法が示されている。このニューマーク法は、盛土の破壊形態を円弧と仮定し、そのすべり円弧に対して地震波を入力し、運動方程式を積分している。必要な入力パラメーターが円弧すべりの安定解析法と同じため、実務的な方法であるが、適切な入力地震動を設定することが重要である。現行では、耐震標準に規定されている地表面設計地震動を入力しているが、土構造物の地震時変形解析に用いる場合の適応性が問題となっている³⁾。そこで本研究は、多数の観測地震波を用いて、盛土の滑動変位量を算出し、地震動特性の各指標(PGA, PGV, SI値, 震源からの距離)と盛土滑動変位量の相関を調べ、地震動特性が盛土変形量に与える影響をみることを目的とする。

2. 計算条件

盛土は、標準的な新幹線軌道を想定した。盛土高さは6mとし、施工基面幅は、新幹線複線断面用の11.7mとした。軌道荷重は、15kN/m²とし、盛土のり面勾配は、1:1.5とした。盛土材土質²⁾は、土質③(砂質土)、④(粘性土)とし、表-1に各土質定数を示した。盛土の滑動変位量 δ は、剛体ブロックの滑動論を基礎としたNewmark⁴⁾法により算出した。この方法は、すべり土塊が剛体であり、すべり面における応力-ひずみ関係が剛塑性と仮定して地震時のすべり土塊の滑動変位量を計算する。破壊形態を円弧すべりと仮定して、臨界すべり面は、安全率Fs=1.0(この時の震度ka=降伏震度)となる場合とし、このすべり面に対して降伏震度を超える加速度波形について数値積分する。ただし、実際の土は、繰返し载荷に伴う変形の累積性、軟化性などで強い非線形性を示すが、この方法では、これらを無視している。また、盛土内での増幅(減衰)特性などは考慮していない。

3. 入力地震動

計算に使用した観測波一覧を表-2に示す。断層までの距離が遠く継続時間の長いタイプ(4地震)と断層近傍で観測された地震(2地震)の2タイプを対象地震動とした。観測地点のNS, EW両成分で合計121波形の計算を行った。地震動特性⁵⁾として検討したのは、最大加速度(PGA), 最大速度(PGV), 速度スペクトル: SI値, 震源からの距離(震央距離・断層最短距離)である。SI値とは、Housnerの定義で減衰定数h=20%の速度応答スペクトルを用いて、

$$SI = \int_{0.1}^{2.5} Sv(T, h = 0.2) dt$$

から算出している。また、距離については、「震央距離L」と「断層最短距離X」を考えた。なお、ニューマーク法では、盛土の変形が一方向に蓄積されていくため、正負符号反転した波形でも計算を行った。

4. 計算結果

円弧すべりの安定計算を行った結果、土質③(砂質土)の場合、表層をすべり線が通り、降伏震度 $k_y=0.156$ で、土質④(粘性土)では、降伏震度 $k_y=0.384$ の深い円弧の大きなすべり土塊となった。このすべり面に対し、線形加速度法で逐次的に求めた滑動変位量 δ を算出した。この δ と各地震動特性の相関を図-1~5に示す。図1~3, 4~5の図中の記号は共通である。兵庫県南部地震については、地盤の固有周期Tgに応じた地盤種別G1~G3²⁾に分けて図化した。

4.1 盛土変形量 δ と地震動特性の相関

(1) PGA(最大加速度)との相関

図-1のPGAと δ の相関は、両対数でプロットすると、ほぼ線形の関係となり、PGAと盛土変形量に対する関係を求めると、 $\delta = 10^{-8.065} \times (PGA)^{3.873}$ となったが、PGAのみでの δ への影響としてみると、ばらつきが多いと思われる。

表-1 盛土材土質定数²⁾

土質区分	単位体積重量	盛土表層部(幅2m)	盛土深部
土質③(砂質土)	18 kN/m ³	$\phi = 40^\circ$ c = 3 kN/m ²	$\phi = 45^\circ$ c = 6 kN/m ²
土質④(粘性土)	17 kN/m ³	$\phi = 35^\circ$ c = 3 kN/m ²	$\phi = 40^\circ$ c = 6 kN/m ²

表-2 観測波一覧

	地震名	M	観測波数
A	1993 釧路沖地震	7.8	10
	1993 北海道南西沖地震	7.8	2
	1994 北海道東方沖地震	8.1	8
	1994 三陸はるか沖地震	7.5	6
B	1995 兵庫県南部地震	7.2	67
	1999 台湾集集地震	7.6	28

(2) PGV (最大速度) との相関

図-2 の PGV と δ の相関もまた、両対数をとると線形の関係となっているが、PGA との相関よりばらつきが大きい。

(3) SI 値 (スペクトル強度) との相関

既往の研究でも指摘されているように、PGV と SI の相関が高いこともあって、図-3 の SI 値と δ の相関は、図-2 の PGV- δ の相関結果とよく似た分布となった。

4. 2 距離減衰式

盛土変形量 δ の距離減衰効果を求めた。全体的な傾向として、距離が長くなると変形量が小さくなること、マグニチュードが大きいと変形量大きいことが分かる。そこで、 $\text{Log } \delta = a \times M - b \times \text{Log}(x+c) + d$ (ここで飽和項 $c=30\text{km}$ とした) による重回帰分析を行った。図-4, 5 中に示した実線は、回帰結果である。

(4) 震央距離 Δ との相関

盛土の滑動変位量 (土質③) の震央距離 Δ に対する相関を、図-4 に示す。図-4 中には、 $M=7.0, 8.0$ での回帰曲線を示す。距離減衰式は、 $\text{Log } \delta = 0.962 \times M - 2.596 \times \text{Log}(\Delta + 30) - 0.697$ である。

(5) 断層最短距離 X との相関

盛土の滑動変位量 (土質③) の断層最短距離 X に対する相関を、図-5 に示す。距離減衰式は、 $\text{Log } \delta = 2.720 \times M - 3.886 \times \text{Log}(X + 30) - 11.12$ である。同様に $M=7.0, 8.0$ の減衰式を図-5 に実線で示す。

5. まとめ

多数の観測波を用いて盛土滑動変位量を算出し、滑動変位量と地震動特性との相関をみた。ニューマーク法によって算出された盛土滑動変位量は、PGA と対数軸上で線形の関係となった。また、地震動特性の中でも、震源からの距離に大きく影響される結果を得た。そこで、震央距離、断層最短距離に対してそれぞれ距離減衰式を求めた。現在、鉄道の耐震標準で規定されている地表面設計地震動 (スペクトル II : 断層近傍型) は、断層直上で設定されている。断層の位置が特定された場合は、この地震動を距離に応じて補正・低減することが可能であるが、断層の位置が不明の場合はそのまま用いることになる。この場合には滑動変位量の算出結果は、実際の盛土が構築される位置から震源までの距離の減衰効果による影響をみていないことになる。従って、ニューマーク法で算出される滑動変位量は、大きめに算出される可能性がある。

今回の解析に用いたデータセットは、かなり偏りがあり、距離減衰の精度は必ずしも高いとは言えない。今後、この距離減衰式の検討を更に進め、土構造物の変形性能照査に適した入力地震動がこういったものかを検討する予定である。

<参考文献>

- 1) 堀井, 館山, 内田, 古関, 龍岡: ニューマーク法による鉄道盛土の地震時滑動変位予測, 第 32 回地盤工学研究発表会, pp.1895-1896, 1997.7.
- 2) 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, 1999.10.
- 3) 館山, 室野, 堀井, 米澤, 古関, 龍岡: 補強土壁の地震時変形計算法における波形の影響, 土木学会第 54 回年次学術講演会, pp.620-621, 1999.9.
- 4) NM.Newmark: Effects of Earthquakes on Dams and Embankments, Geotechnique, Vol.15, No.2, pp.139-159, 1965.
- 5) 室野, 館山, 青木, 堀井, 鴫田: 盛土の耐震検討に用いる地震動波形に対する一考察, 「レベル 2 地震に対する土構造物の耐震設計」シンポジウム, 地盤工学会, pp.347-354, 2000.8

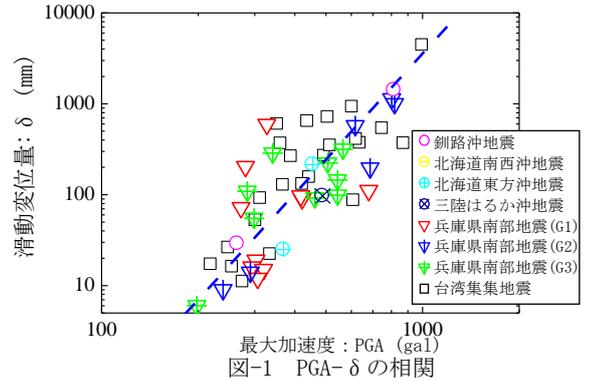


図-1 PGA- δ の相関

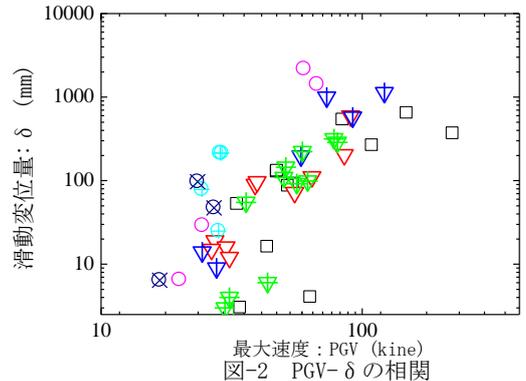


図-2 PGV- δ の相関

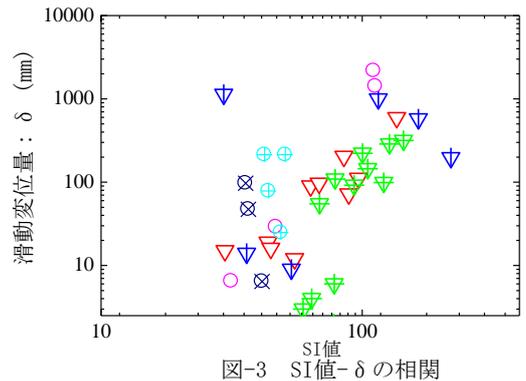


図-3 SI値- δ の相関

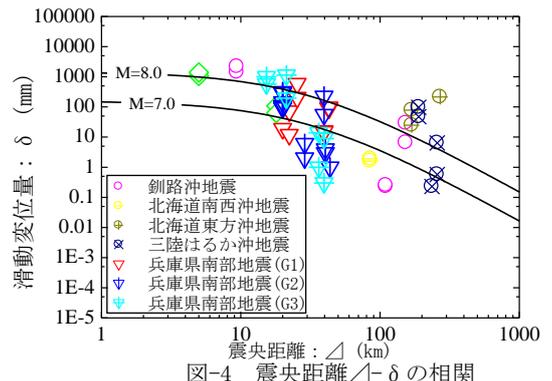


図-4 震央距離 Δ - δ の相関

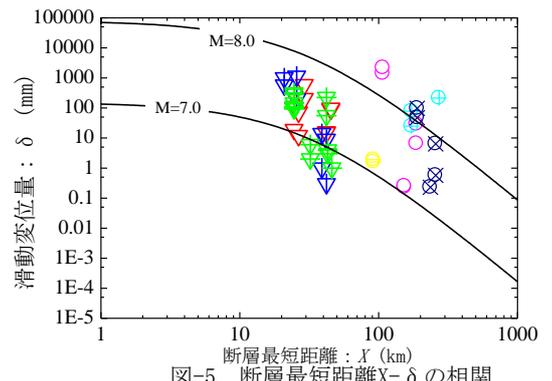


図-5 断層最短距離 X - δ の相関