

地震時における道路盛土構造物の滑動量の簡易評価手法に関する研究

京都大学大学院工学研究科 学生会員 ○真辺 寛人
 京都大学大学院地球環境学堂 正会員 古川 愛子
 京都大学大学院地球環境学堂 正会員 清野 純史

1. 研究の背景と目的

近年の地震において、道路盛土構造物に甚大な被害が発生している。道路盛土のような線状構造物の場合、1箇所損傷が全体の性能に影響を及ぼす可能性があるため、路線全体に対して安全性を評価する必要がある。しかし、全国の盛土は膨大な数に及ぶため、簡易な方法により安全性の十分でない箇所を抽出し、抽出された箇所に対して詳細な検討を実施するのが効率的である。現行の地震時安全性評価手法としては、Newmark法による照査が一般的であるが、円弧の探索などの計算工程を必要とするため、広域な盛土を対象に照査するためには膨大な時間を必要とする。以上を鑑み本研究では、Newmark法による滑動量を簡易に算出する手法を構築する。また、滑動量を指標とした地震動の簡易表現法として滑動量スペクトルを提案する。

2. 提案する地震時安全性簡易評価手法

2.1 Newmark法による滑動量の運動方程式

円弧すべりを仮定したNewmark法による滑動量 $\delta(t)$ の運動方程式は、次式で表される。

$$\ddot{\delta}(t) = p \cdot (k_h(t) - k_y) \quad (1) \quad p = r \cdot (M_{RK} + M_{DK}) / J \quad (2)$$

ここで、 $k_h(t)$ は時間 t における土塊に作用する地動加速度 $a(t)$ を震度 $k_h(t) (= a(t)/g)$ に換算したもの、 k_y は降伏震度、 r はすべり円弧の半径、 M_{RK} 、 M_{DK} はそれぞれ震度1gによる地震慣性力が作用した場合の抵抗モーメントと滑動モーメント、 J は土塊の慣性モーメントである。また、式(2)で表される p を滑動係数と定義する。式(1)より、滑動量 $\delta(t)$ を算出する際に必要な盛土のパラメータは、降伏震度 k_y と滑動係数 p である。本研究では、これらを簡易に推定する手法を構築する。

2.2 解析モデル

道路盛土の設計要領を元に決定した解析モデル、盛土の諸元を図1、表1に示す¹⁾。これらのモデルに対して、Newmark法における降伏震度 k_y と滑動係数 p を算出した。

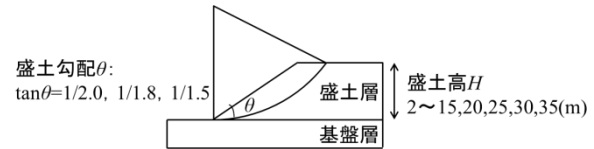


図1 解析モデル

表1 盛土の諸元

土質区分	単位体積重量 $\gamma(\text{kN/m}^3)$	せん断抵抗角 $\phi(^{\circ})$	粘着力 $c(\text{kN/m}^2)$
土質1	20	40	0,3,5,10,15
土質2	20	35	0,3,5,10,15
土質3	19	30	0,3,5,10,15
土質4	19	25	0,3,5,10,15
土質5	18	20	0,3,5,10,15
土質6	18	15	0,3,5,10,15

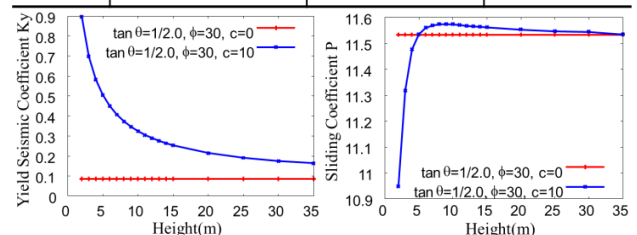


図2 盛土高と降伏震度及び滑動係数の関係

(左：降伏震度 k_y ，右：滑動係数 p)2.3 降伏震度 k_y ，滑動係数 p の算出結果

図2に、盛土勾配 $\tan\theta=1/2.0$ 、せん断抵抗角 $\phi=30^{\circ}$ 、粘着力 $c=0, 10(\text{kN/m}^2)$ のモデルに対して、盛土高と降伏震度及び滑動係数の関係を算出した結果を示す。図2より、粘着力の有無によって盛土高 H に対する傾向が異なることが確認された。

2.4 降伏震度 k_y ，滑動係数 p を推定する回帰式

まず、粘着力を考慮しない場合について回帰式を構築する。粘着力を考慮する場合については、粘着力を考慮しない場合からの変化量に対して回帰式を構築し、粘着力を考慮しない場合を足し合わせることで、回帰式を構築する。構築した回帰式を式(3)(4)に示し、式(3)(4)の各係数 $\alpha_k, \beta_k, \gamma_k, \alpha_p$ を式(5)~(8)に示す。

$$k_y = 0.823 \tan\phi - 0.652 \tan\theta - 0.0761 + \alpha_k / H^2 + \beta_k / H + \gamma_k \quad (3)$$

$$p = 6.79 \tan\theta \tan\phi + 1.09 \tan\phi - 3.18 \tan\theta + 10.543 + \alpha_p / H \quad (4)$$

$$\alpha_k = (0.153 \tan\phi - 0.241) \cdot c \quad (5)$$

$$\beta_k = (0.000705 \tan\phi - 0.00907) \cdot c^2 + (-0.193 \tan\phi + 0.403) \cdot c \quad (6)$$

キーワード 道路盛土，地震時滑動量，簡易評価手法，Newmark法

連絡先 〒615-8540 京都市西京区京都大学桂 Cクラスター C1-2号棟 TEL 075-383-3251

$$\gamma_k = (-0.000197 \tan \phi + 0.00025) \cdot c^2 \quad (7)$$

$$\alpha_p = (0.135 \tan \theta / \tan \phi - 0.0567) \cdot c \quad (8)$$

図3に、横軸に Newmark 法、縦軸に回帰式からパラメータを算出した結果を示す。図3より、降伏震度及び滑動係数ともに、よく一致しているといえる。

2.5 提案する地震時安全性簡易評価手法

図4に提案手法のフローチャートを示す。第1段階では、回帰式から算出した降伏震度 k_y を降伏加速度 $a_y (=k_y \cdot g)$ に換算し、入力地震動の最大地動加速度と比較し照査する。第2段階では、回帰式から降伏震度 k_y と滑動係数 p を算出し、Newmark 法による滑動量の運動方程式から最終滑動量 δ_r を算出する。最終滑動量 δ_r と変形の許容値を比較し照査する。

3. 滑動量を指標とした地震動の簡易表現

3.1 滑動量スペクトルの定義

式(1)で表される Newmark 法による滑動量の運動方程式を変形すると次式が得られる。

$$\ddot{\delta}(t) / p = k_h(t) - k_y \quad (9)$$

式(9)より、横軸に降伏震度 k_y 、縦軸に Newmark 法による最終滑動量 δ_r を滑動係数 p で割った δ_r/p をプロットしたものを滑動量スペクトルと定義する。

3.2 入力地震動

道路橋示方書²⁾のレベル2地震動18波形を使用した。図5にTYPE I-II-1, I-II-3, I-III-3の加速度波形、図6に加速度応答スペクトルを示す。図5より、TYPE I-II-3はTYPE I-II-1に比べて継続時間が長く、また、図6より、TYPE I-III-3は長周期成分が卓越していることがわかる。

3.3 滑動量スペクトルの算出

例に挙げた入力地震動に対する滑動量スペクトルを算出し図7に示す。図7より、継続時間が長いあるいは長周期成分が卓越している地震動ほど、降伏震度が小さくなるにつれて滑動量スペクトルが急に増加する傾向がある。また、滑動量スペクトルを用いることで、以下の手順のように滑動量を算出することができる。

手順1: 耐震設計によく用いられる地震動に対して、

滑動量スペクトルを算出しておく。

手順2: 回帰式から降伏震度と滑動係数を算出する。

手順3: 降伏震度に対応する滑動量スペクトルの縦軸を読み取り、滑動係数を乗ずることで滑動量を算出する。

4. 結論

本研究では、道路盛土の地震時安全性を簡易に評価する手法を提案した。まず、道路盛土の地震時における滑動量を Newmark 法によって算定する際に必要なパラメータを簡易に推定する回帰式を構築した。構築した回帰式を用いることで、盛土の地震時安全性を簡易に評価することができる。また、地震動が盛土の滑動量に及ぼす影響を表現する指標として、滑動量スペクトルを提案した。

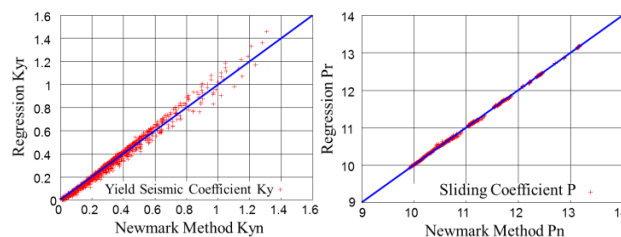


図3 回帰式の精度に関する検討結果

(左: 降伏震度 k_y , 右: 滑動係数 p)

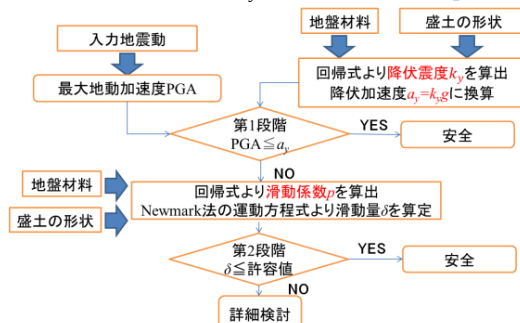


図4 提案手法のフローチャート

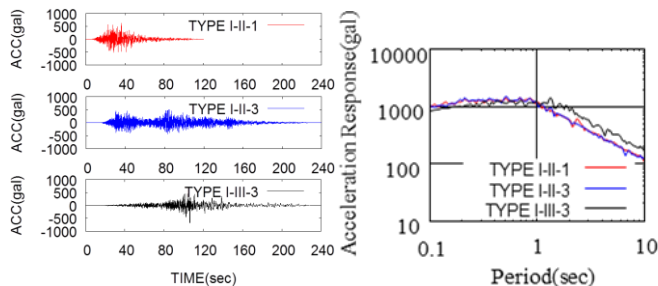


図5 加速度波形 図6 加速度応答スペクトル

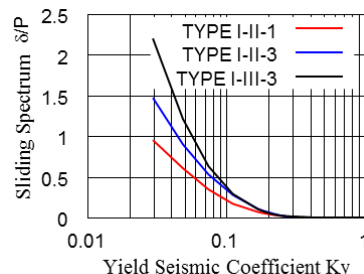


図7 滑動量スペクトル

参考文献 1) 東日本高速道路株式会社, 中日本高速道路株式会社, 西日本高速道路株式会社: 設計要領 第一集 土工編, 2013. 2) 社団法人 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編, 2012.