

## 既存斜面の実用的な耐震診断手法の提案

秦 吉弥\*・一井康二\*\*・加納誠二\*\*・土田 孝\*\*

### A Proposal of a Practical Seismic Performance Evaluation Method for Slopes

Yoshiya HATA, Koji ICHII, Seiji KANO and Takashi TSUCHIDA

Slope failures on a lifeline such as expressway were observed in Japan Mid Niigata earthquake 2004 and Noto Hanto earthquake 2007. However, it is not realistic to check the seismic performance of component of a lifeline. It is important how to pick up relatively weak section in terms of seismic resistance. In this study, a practical seismic evaluation method of slopes was proposed by reviewing previous studies by the authors. The proposed method enables a rational slope stability assessment of a lifeline.

**Keywords:** Earthquake, slope failure, stability assessment, lifeline, earth structure

#### 1. はじめに

道路や鉄道, 宅地造成などに用いられる一般的な斜面では, これまでの実績や経験を元に定められた標準法面を採用した上で締固め規定などの施工管理を行うこととして, 計算による耐震設計は行われてこなかった<sup>1)</sup>. 稀に耐震設計が行われる場合でもレベル1地震動程度を想定した震度法に円弧すべり面法を組み合わせる計算法がほとんどであった<sup>2)</sup>.

このように耐震設計が行われなかった理由には, 斜面は地盤強度の不均質性などを考慮すると必ずしも計算による定量的な判定が馴染まないこと, また壊れても補修が比較的容易であるとの認識があるためである.

よって標準法面勾配で設計された斜面であっても時として崩壊に至ることがあったが, 崩壊や変形の問題が生じる頻度が高い液状化地盤上における斜面を除いて, ある程度の被災の発生可能性は暗黙のうちに許容してきたことになる.

兵庫県南部地震以降, 道路および鉄道などの線状構造物では, 1ヶ所の崩壊がシステム全体の機能不全につながるため, 斜面といえども従来の設計レベルを超える耐震性を確保する必要があることが指摘された<sup>3)</sup>. 近年発生した2004年新潟県中越地震では関越自動車道, 2007年能登半島地震では能登有料道路の一部でそれぞれ崩壊が発生している<sup>4),5)</sup>. レベル2地震動に対して従来の震度法などによる安定計算を行った場合には, 安定性を確保(安全率1以上)することには無理が生じる.

したがって, 安全率によらず直接, 斜面の変形・変位量を照査する設計法あるいは安全率照査法であっても暗に変形量を考慮した設計法が求められている<sup>6)-10)</sup>.

既存斜面の耐震性の確保に関しては, 全線にわたり詳細な耐震診断を行うことは現実的ではない. このため, いかにして相対的に耐震性の低い箇所を選別し, 効率的に補強を施していくことができるかという視点での検討が必要となる<sup>11),12)</sup>. 具体的にいえば, 基礎地盤や斜面の不均質性などを勘案すると, 非常に多数のあるいは延長距離の長い線状構造物の変形量や破壊の予測を詳細な方法により, 全て正確に行うことは容易ではない. したがって少なくとも相対的な弱点箇所を見つけ出せる程度でよいので簡易でかつ実用的な診断法が存在することが重要であると考えられる<sup>13)</sup>.

そこで本稿では, 著者らのこれまでの研究成果を中心としたペーパーレビューを行うことによって, 既存斜面を対象とする耐震診断ツールの構築を行った. この耐震診断ツールは, 1.地盤のモデル化, 2.崩壊の可能性の照査, 3.崩壊範囲に対する照査, 4.崩壊変形量に対する照査の全4つのステップから成っている. そして上述した斜面特有の問題である地盤強度の不均質性<sup>14),15)</sup>の影響をはじめとして様々な影響を考慮することが可能となっているにも関わらず, それぞれの影響を比較的容易に評価する方法も示しており, 非常に実用的な耐震診断ツールとなっている.

\* 日本工営株式会社 中央研究所 地盤耐震グループ

\*\* 広島大学 大学院工学研究科 社会環境システム専攻

## 2. 提案手法の概略

Fig.1に本提案手法の概略フローを示す．ここでは，同フローに従い，提案手法の概略について述べる．

### 2.1 検討対象斜面

本提案手法の適用斜面としては，既存の斜面を対象とするものとし，これから新たに造成される斜面を対象とするものではない．また本手法は，GISなどの地形情報を用いて，広域的なエリアを対象として地震時における斜面崩壊危険箇所を抽出するような手法<sup>16)</sup>ではない．すなわち検討対象とする斜面の断面形状等が既知である条件下(たとえば高速道路盛土など)での本手法の適用となる．

### 2.2 入力地震動の設定

入力地震動の設定は，本提案手法の対象外となっており，予め入力地震動は与えられた条件下での本手法の適用となる．ただし，入力地震動を設定する際には，検討対象となるすべての斜面断面において同一の入力地震動を採用するのではなく，半経験的手法(たとえば経験的グリーン関数法<sup>17)</sup>や統計的グリーン関数法<sup>18)</sup>など)を使用することによって当該地点の地域特性を十分に考慮するほうが望ましい．また水平動だけでなく上下動も同時に設定しておくといよい．

### 2.3 地盤のモデル化

本提案手法を適用するために必要な斜面解析モデルの設定を行う．具体的には，ボーリングデータ，斜面形状データ(斜面高さ，法勾配，天端幅，傾斜基盤勾配など)，地盤強度データ(粘着力 $c$ ，内部摩擦角 $\phi$ など)をもとに，地盤強度の不均質性を考慮することも可能な斜面解析モデルの設定を行う．

### 2.4 斜面崩壊の発生可能性の照査

設定した斜面解析モデルにおける臨界すべり円(すべり安全率が最小となるすべり円)の抽出を行い，設定した入力地震動作用時におけるすべり安全率の最小値が1.0以上であれば，当該地点において斜面崩壊は発生しないものとし，耐震診断を終了する．一方で，1.0未満の場合には，斜面崩壊の可能性のあるものとして，次の斜面崩壊範囲の推定に進むこととなる．

### 2.5 斜面の崩壊範囲に関する照査

設定した斜面解析モデルにおける最大すべり円の抽出を行い，法肩から天端における最大すべり面位置までの距離を算定する<sup>19),20)</sup>．そして推定した崩壊範囲と許容崩壊範囲との比較を行い，許容崩壊範囲内に収まらない場合には，次の残留変形量の推定に進む．一方で，許容崩

壊範囲内に収まる場合には，耐震診断を終了する．この判断は，当該地点において斜面崩壊が発生する可能性は高いものの，地震後も対象構造物が供用可能であることを勘案したものである．すなわち例えば，延長の長い高速道路盛土が地震後に複数車線のうち一車線程度なら斜面に至っても，ライフラインは十分に確保できることなどを勘案したものである．

### 2.6 残留変位量(沈下量)の推定

Newmark法もしくは有限要素法を用いて斜面解析モデルにおける滑動変位量の算定を行う．滑動変位量の算定にあたっては，斜面の地震応答特性の影響<sup>21)-25)</sup>，延長の長い線状構造物に対する3次元応答の影響<sup>26)-29)</sup>，上下動の影響<sup>30)-33)</sup>，傾斜基盤の影響<sup>34)-36)</sup>，地盤強度の不均質性<sup>37)-42)</sup>をそれぞれ適宜考慮することが可能である．算定した残留変位量が許容変形量以内であれば，耐震診断を終了する．一方で，許容変位量を超過する場合には，耐震対策工法の選定に進むこととなる．

### 2.7 耐震対策

耐震対策は，本提案手法の対象範囲外である．耐震対策にあたっては，耐震診断の効果を定量的に評価可能な詳細な解析を実施することが望ましい．

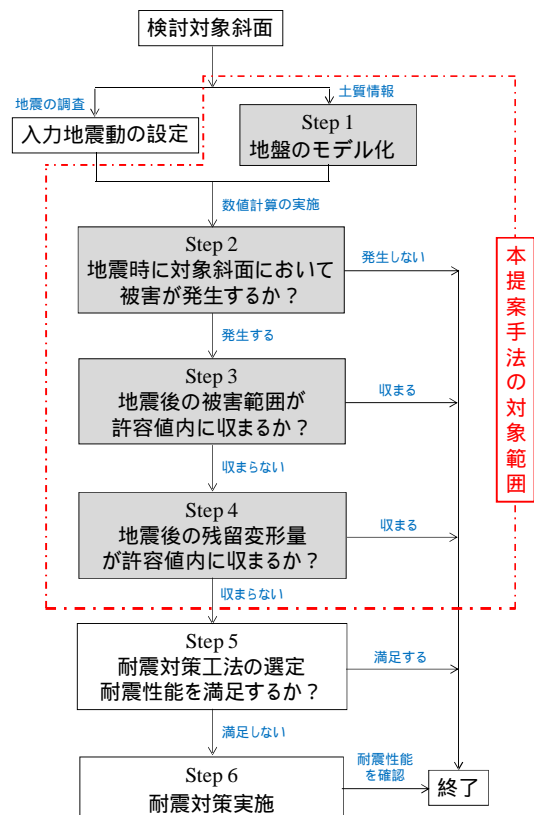


Fig.1 The outline of proposed method.

### 3. 地盤のモデル化

Fig.2に斜面解析モデルの作成に関する提案フローを示す。ここでは、同フローに従い、提案手法の概略について述べる。

#### 3.1 斜面形状

斜面形状データの入力に関しては、斜面形状を構成する斜面高さ、法勾配、天端幅などの入力である。なお、検討対象斜面が傾斜基盤上に築造されている場合には、傾斜基盤勾配についても考慮することとする。

#### 3.2 地盤強度

検討対象斜面における地盤強度データ(特に粘着力 $c$ 、内部摩擦角 $\phi$ )が存在する場合、当データを採用することとする。ただし対象斜面の地盤強度データが存在するのはごく稀であると考えられるため、存在しない場合には、当該地点の近傍の現場の土質試験結果、ボーリング結果から地盤強度の推定を行うものとする。さらに当該地点ならびにその周辺において調査がまったく行われていない場合には、既往の文献資料等を参考に地盤強度の推定を行うものとする。地盤強度の不均質性を考慮しない場合、地震時における変形を過小評価してしまう可能性があるため、可能な限り地盤強度の不均質性を考慮するものとする。

地盤強度の不均質性を考慮するか否かに関しては、当該地点における数多くの土質試験結果が存在し、かつ地盤強度の不均質度が非常に小さい場合のみ考慮しないものとする。なお、地盤強度の不均質性を考慮しない場合には、斜面解析モデルの設定に関してはここで終了となる。それ以外の場合には、基本的に地盤強度の不均質性を考慮するものとする。地盤強度の不均質性を考慮するパラメータとして様々なものが考えられる<sup>43)</sup>が、ここでは、強震時における斜面安定性に比較的大きな影響を及ぼすことが報告されている<sup>44)</sup>せん断強度(粘着力 $c$ および内部摩擦角 $\phi$ )を採用する。

対象斜面における数多くの土質試験結果が数多く存在する場合には、その土質試験結果に基づいて不均質パラメータ<sup>45)</sup>(具体的には変動係数や相関係数など)を推定する。一方で、土質試験結果の数が不十分である場合には文献資料等を参考に不均質パラメータを設定するものとする。このときの目安として既往の文献資料によれば、粘着力 $c$ に関する変動係数が0.3程度<sup>37),38),46),47)</sup>、内部摩擦角 $\phi$ に関する変動係数が0.1程度<sup>37),38),48),49)</sup>、粘着力 $c$ と内部摩擦角 $\phi$ の相関係数として - 0.5程度<sup>37),38),50)</sup>の値をそれぞれ採用すればよいと考えられる。

#### 3.3 要素高さ

検討対象地点においてボーリングが行われており、地盤の深度分布に関する情報が既知である場合には、その情報を用いてVanmarckeの方法<sup>51)</sup>により要素高さ $\Delta H$ を決定し、Fig.3に示すような水平互層地盤による斜面解析モデルの作成を行う。水平方向に不均質性を考慮しても、Newmark法による滑動変位量の算定結果に及ぼす影響は小さい<sup>42)</sup>ことから、このモデルは水平方向には地盤強度が均質なモデルとなっている。なお、当該地点の深度分布情報が既知でない場合には、要素高さ $\Delta H$ を1mとして水平互層地盤による斜面解析モデルの作成を行う。

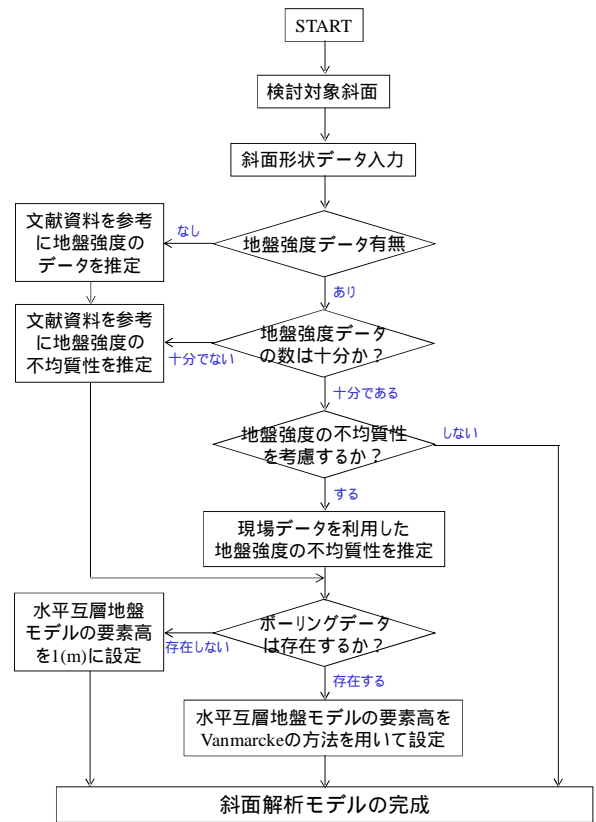


Fig.2 The flow of modeling analytical model.

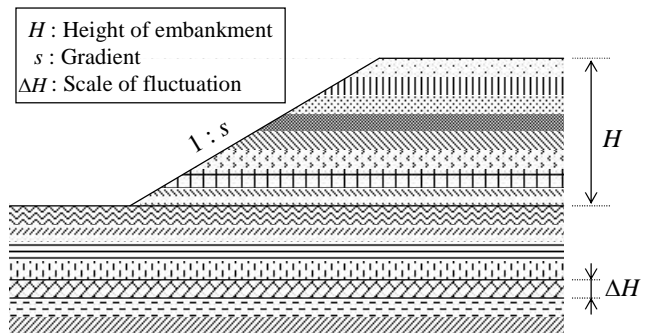


Fig.3 The heterogeneous ground model.

## 4. すべり崩壊の発生とその範囲

Fig.4に地震時における斜面崩壊の発生の可能性ならびにすべり崩壊範囲に対する照査に関する提案フローを示す。ここでは、同フローに従い、提案手法の概略について述べる。

### 4.1 許容崩壊範囲の設定

斜面の許容崩壊範囲の設定に関しては、検討対象とする斜面の被災時の影響を考慮して、本提案手法の利用者が適宜設定するものとする。地震後においても供用可能であることを念頭に設定した許容崩壊範囲の設定例を以下に示す。

- ・道路盛土：ライフラインの観点より、複数の車線を有する道路の場合には、地震後においても供用可能なように1車線分の道路幅とする。一方で、1車線道路の場合には、車道まですべり崩壊が及ばないよう法肩から車道までの最短距離とする。
- ・空港盛土：地震後の航空機の離着陸が可能なように、法肩から滑走路や誘導路までの最短距離とする（ただし、空港盛土は、社会的影響が非常に大きい構造物であるため、より詳細な議論が必要である）。
- ・宅地盛土：地震後においても住家の使用が可能なように、法肩から住家までの最短距離とする。

### 4.2 地震動入力

予め設定したおいた入力地震動を作用させるものとする。ただし、ここでは水平動のみが対象であり、上下動については考慮しない。なお、斜面崩壊範囲の推定は、半静的な斜面安定解析の結果に基づくものであるため、通常、入力地震データとして必要になるのは、水平方向の入力地震動の絶対最大加速度値のみとなる。

### 4.3 斜面安定解析

上記で設定した斜面解析モデルを用いた水平震度を考慮した斜面安定解析を行う。水平震度については、水平方向の入力地震動の絶対最大加速度値から推定するものとする。水平震度の計算手法としては、様々なものがある<sup>52),53)</sup>が、これまで著者らは、安全側の評価結果となるよう、最大加速度を重力加速度で除したものを水平震度としている。斜面安定解析に用いる手法については、特に制約は設けておらず、すべり面を想定することができ、かつすべり安全率が算定可能である手法を採用すれば問題ないと考える。これまで著者らにより、フェレニウス法<sup>54)</sup>の採用実績がある。ここで、地盤強度の不均質性を考慮するか否かの判断については、上述した判断基準に基づくものとする。地盤強度の不均質性を考慮する場合

にはモンテカルロシミュレーション<sup>55)</sup>による確率的アプローチ<sup>56)-58)</sup>により、すべり円に関する平均値、標準偏差、90%非超過確率などの指標を組み合わせることによって地盤強度の不均質性の影響を評価するものとする。モンテカルロシミュレーションの試行回数は1000回程度が目安<sup>37)-42),59)</sup>となる。不均質性を考慮しない場合には、通常確定論に基づく通常の斜面安定解析(幾何学的に試行回数は1回となる)を実施する。

### 4.4 臨界すべり円の抽出

臨界すべり円、すなわちすべり安全率が最小となるすべり円が安全率1.0以上の場合には、地震時におけるすべり崩壊は発生しないものとし、地震時における盛土に健全性が確保されているものとして、盛土の耐震診断は終了となる。一方で、安全率1.0未満の場合には、地震時におけるすべり崩壊範囲に関する照査に進むこととなる。

### 4.5 最大すべり円の抽出

最大すべり円、すなわち法肩から天端に沿ってすべり円までの距離が最大となるすべり円(すなわちすべり安全率が1.0未満で限りなく1.0に近いすべり円)の位置まですべり破壊がおよぶものと考えた場合に、推定崩壊範囲を設定しておいた許容崩壊範囲内に収まるか否かを判断する<sup>19),20)</sup>。収まる場合には、地震時における当該地点のすべり破壊を許容するものとして、盛土の耐震診断を終了する。反対に、収まらない場合には、引き続き残留変位量(沈下量)に対する耐震診断に移行する。

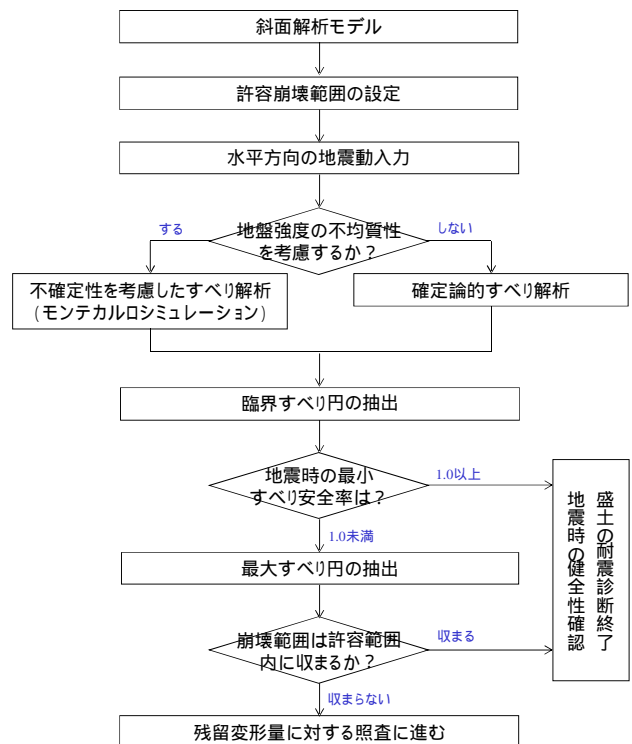


Fig.4 The flow of the evaluation of the range of slope failure.

## 5. 残留変形量の算定

Fig.5に地震時における斜面の残留変形量に対する照査に関する提案フローを示す。ここでは、同フローに従い、提案手法の概略について述べる。

### 5.1 許容変形量の設定

地震後の斜面の残留変形量の許容値は、対象とする斜面の種類、復旧限界、崩壊した場合の社会的影響などをそれぞれ考慮して、本提案手法の使用者が適宜設定するものとする<sup>(60)-(62)</sup>。許容変形量に関する既往の文献資料の一例<sup>(62)</sup>をTable 1に示す。

Table 1 The example of the allowable residual displacement<sup>(63)</sup>

構造物	使用限界 (m)	修復限界 (m)	終局限界
建物基礎 (基礎幅10m)	0.05	1	建物倒壊(2m)
道路盛土	0.1	1	車両衝突(2m)
道路上部切土斜面	0.5	2	道路閉塞(数10m)
造成宅地盛土	0.3	1	建物倒壊(2m)
河川堤防	0.5	2	越流高さの沈下(洪水時水位)
アースダム(高さ30m)	0.3	1	越流高さの沈下(設計水位)

### 5.2 過剰間隙水圧の影響

地震時における過剰間隙水圧の発生は、斜面の安定性に非常に大きな影響を及ぼし、時には土塊が長距離を移動するような非常に大きな変形を示すことが著者らにより報告されている<sup>(63)-(65)</sup>。よって斜面内に水位が存在するなど地下水位が比較的高く、地震時において過剰間隙水圧の上昇が予想される場合には、過剰間隙水圧の時系列変化が追跡可能な有効応力解析を実施し、残留変形量を算定するものとする。

### 5.3 斜面の地震応答特性の影響

斜面高さが高くなるほど、採用する解析手法(従来型Newmark法<sup>(66)</sup>、改良型Newmark法<sup>(22),(23)</sup>、有限要素法<sup>(67)</sup>)によって残留変位量算定結果が大きく異なってくることが著者らにより報告されている<sup>(67)</sup>。よって、斜面高さが比較的低い場合には、斜面の地震応答特性を考慮しなくてもよいものとし、工学的基盤相当の地震動を入力地震動として採用する。一方、斜面高さが比較的高い場合には、せん断1質点系モデルあるいはクロススプリングモデル<sup>(68),(69)</sup>などにより斜面をモデル化することによって斜面の地震応答特性を簡便に考慮する。なお、高盛土でかつ斜

面崩壊が発生した場合の社会的影響が大きい構造物を対象とする場合には、工学的基盤相当の地震動を入力地震動としたFEMによりその影響を考慮する。

### 5.4 上下動の影響

上下動は、地震時における斜面の安定性に危険側にも安全側にも作用するが、水平動と上下動の位相特性が似ている場合には、残留変位量が非常に大きくなり、傾斜基盤上の斜面ではその効果が顕著に現れることが著者らにより報告されている<sup>(33)-(36)</sup>。よって斜面が傾斜基盤上に築造されている場合や想定地震による上下動の加速度レベルが比較的大きいことが予想される場合には、水平動だけでなく上下動についても入力地震動として考慮することとする。特に傾斜基盤上の盛土でかつ社会的影響が大きい場合には、水平動と同じ位相特性を持つ上下動を入力地震動とすることで、より安全側の評価結果を得ることが可能となる。また採用する入力地震動の上下動が不明である場合には、水平動一方向の入力地震動により得られた残留変位量に対して、1~2割程度割増すことにより上下動の影響を考慮した残留変位量を簡便に推定することも可能である<sup>(33)-(36)</sup>。

上記で斜面を質点系モデルでモデル化する場合、水平動+上下動を入力地震動とする場合にはクロススプリングモデル<sup>(68),(69)</sup>を、水平動のみを入力地震動とする場合にはせん断1質点系モデルをそれぞれ採用することができる。さらに、地震時における過剰間隙水圧の影響を考慮した有効応力解析の実施には、水平動だけでなく上下動についても入力地震動として採用することが望ましい<sup>(65)</sup>。

### 5.5 地盤強度の不均質性の影響

3章の地盤モデル化において、斜面解析モデルとしてFig.3に示すような水平成層斜面解析モデルを採用した場合には、地盤強度の不均質性を考慮したモンテカルロシミュレーションを実施する。そして試行回数中における残留変位量の平均値(Mean)にその標準偏差(1 S.D.または2 S.D.)を足し合わせるにより地盤強度の不均質性の影響を評価するものとする<sup>(37)-(42)</sup>。また入力せん断強度低減法<sup>(39)-(42)</sup>および残留変位量割増係数<sup>(39),(70)</sup>などを採用することにより、モンテカルロシミュレーションを実施する必要がなく確定論的すべり解析の実施のみで、地盤強度の不均質性の影響を簡便に評価することも可能である。なお、地盤強度の不均質性を考慮しない場合には、通常の確定論的すべり解析を実施する。

### 5.6 3次元応答の影響

地盤構成の変化に伴い応答が変化することはもちろんであるが、水平成層地盤上の堤防などの線状構造物の地震時応答においても、局所的(周期的)に変位が大きくな

る3次元的地震時応答を示す可能性があることを著者らは指摘している<sup>26)-29)</sup>。したがって地盤構造の変化に伴う応答の変化に注意を払うことに加えて、線状土構造物下の基礎地盤が水平成層地盤でかつ延長方向にも同様の特性を有している場合においても、波長式を用いて周期的に変位が増幅される区間を推定する。そしてその区間断面の水平方向の入力地震加速度の振幅を最大で約1.5倍程度割増することによって、3次元応答の影響を簡便に考慮することが可能となる。

### 5.7 残留変位量の算定

Newmark法もしくは有限要素法を用いて地震時における斜面の残留変位量の算定を行う。斜面の地震応答特性を考慮しない場合には従来型Newmark法<sup>66)</sup>を、地震応答特性を考慮する場合には改良型Newmark法<sup>22),23)</sup>を用いる。また地震時における過剰間隙水圧の影響を考慮する場合には有効応力解析による有限要素法<sup>63)-65)</sup>を用いる。一方で、過剰間隙水圧の影響を考慮する必要はないものの、高盛土でかつ社会的影響が大きい斜面を対象とする場合には、残留変形を考慮できる有限要素法<sup>67),71)</sup>などを用いるものとする。

採用した手法を用いて地震後の斜面の残留変位量の算定を行い、予め設定しておいた許容残留変位量内に収まるか否かを判断する。収まる場合には、想定地震において対象斜面は残留変位を生じるものの、その被災は比較的小さく地震後においてもその性能を維持することが可能とし耐震診断を終了する。一方で、収まらない場合には、対策工法の提案および対策効果の評価のためのより詳細な耐震性能照査を行うこととなる。

## 6. まとめ

本稿では、著者らのこれまでの研究成果を中心としたペーパーレビューを行うことによって、既存斜面を対象とする実用的な耐震診断ツールの構築を行った。この耐震診断ツールを用いることによって、道路盛土など線状構造物の耐震性が相対的に低い箇所を比較的容易に抽出することが可能となると考えられる。本提案手法の実際のフィールドへの適用については、現在取りまとめ中であり、今後の検討課題としたい。

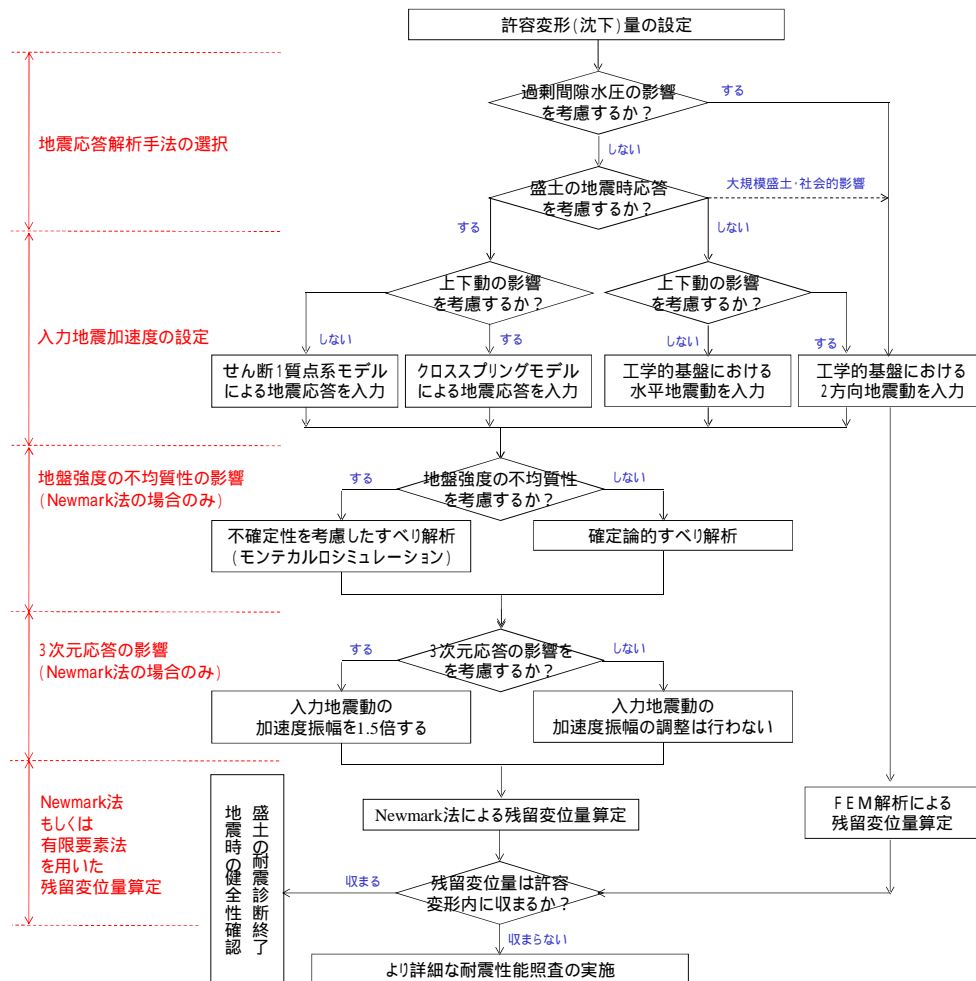


Fig.5 The flow of the evaluation of the seismic residual displacement.

## 参考文献

- 1) たとえば(社)日本道路協会：道路土工指針，pp.38-56, 1967.
- 2) たとえば佐々木康：土構造物の耐震設計・その2，土木技術資料，No.26-2，pp.33-40, 1984.
- 3) たとえば(社)地盤工学会：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および講習会テキスト，366p., 2000.
- 4) (社)地盤工学会：新潟県中越地震災害調査委員会報告書，518p., 2007.
- 5) (社)地盤工学会：2007年能登半島地震道路災害データ集，74p., 2007.
- 6) 鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計基準・同解説 耐震設計，丸善，1999.
- 7) 鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計基準・同解説 土構造物，丸善，2007.
- 8) (社)地盤工学会関東支部：造成宅地における耐震調査・検討・対策の手引き - 地震から既存の住宅を守るために - ，造成宅地の耐震調査・検討・対策方法に関する検討委員会，201p., 2007.
- 9) 国土交通省河川局：大規模地震に対するダム耐震性能照査指針(案)・同解説，2005.
- 10) 都市基盤整備公団：宅地耐震設計マニュアル(案)，2003.
- 11) 谷茂：ディスクッションセッション4土構造物の地震時における性能設計法の現状と今後の課題，土と基礎(地盤工学会誌)，Vol.54, No.12, Ser.No.587, pp.23-24, 2006.
- 12) (社)地盤工学会：土構造物の地震時における性能設計と変形量予測に関するシンポジウム発表論文集，土構造物の地震時における許容変形と性能設計に関する研究委員会，322p., 2007.
- 13) (社)土木学会：土木構造物に関する第3次提言と解説，第8章，土木構造物の耐震設計法に関する特別委員会，pp.29-34, 2000.
- 14) 松尾稔，黒田勝彦：不飽和土の土質諸係数と破壊確率に関する一考察，土木学会論文報告集，第208号，pp.65-75, 1972.
- 15) M. Matsuo and K. Kuroda: Probability Approach to design of embankments, *Soils and Foundations*, Vol.14, No.2, pp.1-17, 2007.
- 16) たとえば秦吉弥，森田格，倉岡千郎，木下慎逸：ASTER/DEMを用いた地震時における斜面崩壊危険度評価，第45回日本地すべり学会研究発表会講演集，pp.407-408, 2006.
- 17) K. Irikura: Prediction of strong ground motions using observed seismograms from small events, Proc. of 7th Japan Earthq. Eng. Symp., Tokyo, pp.151-156, 1986.
- 18) 釜江克宏，入倉孝次郎，福知保長：地震のスケーリング則に基づいた大地震時の強震動予測，日本建築学会構造系論文報告集，第430号，pp.1-9, 1991.
- 19) 秦吉弥，一井康二，土田孝：地震時における斜面の崩壊範囲に関する一考察，土木学会論文集C，Vol.63, No.3, pp.677-690, 2007.
- 20) 秦吉弥，一井康二，土田孝，加納誠二：現場データを用いた地震時における斜面の崩壊範囲に関する検討，第42回地盤工学研究発表会講演論文集(CD-ROM)，No.917，pp.1827-1828，2007.
- 21) 秦吉弥，加納誠二，土田孝，山下典彦：盛土形状を考慮した水平および上下方向の固有周波数算定式，第41回地盤工学研究発表会講演論文集(CD-ROM)，No.1056，pp.2111-2112，2006.
- 22) 秦吉弥，山下典彦，土田孝，加納誠二：修正Newmark法に基づく被災盛土の地震時残留変位量の再現，第12回日本地震工学シンポジウム論文集(CD-ROM)，Vol.12, No.117, pp.574-577, 2006.
- 23) Y. Hata, N. Yamashita, T. Tsuchida and S. Kano: A Study on the applicability of the modified Newmark method, Proc. of 4th International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering (CD-ROM), Paper No. 1307, Thessaloniki, Greece, 2007.
- 24) 秦吉弥，加納誠二，山下典彦，横井芳輝，土田孝：形状を考慮した簡便な盛土の固有周波数算定式，地盤工学ジャーナル，Vol.2, No.3, pp.197-207, 2007.
- 25) 秦吉弥，加納誠二，土田孝，一井康二，山下典彦：上下方向の盛土の固有周波数から推定される振動性状，広島大学大学院工学研究科研究報告，第56巻，第1号，2007.
- 26) 秦吉弥，加納誠二，佐々木康：地震時における堤防の三次元応答に関する振動台実験，土木学会地震工学論文集(CD-ROM)，Vol.27, No.251, 2003.
- 27) S. Kano, Y. Sasaki and Y. Hata: Experiment of Seismic Failure of a Long Embankment, Proceedings of Fifth International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering, Paper No.2-64, New York, U.S.A., 2004.
- 28) S. Kano Y. Sasaki and Y. Hata: Effects of three dimensional response of dikes on their local failures during an earthquake, Proceedings of 16th International

- Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (DVD-ROM), pp.2663-2666, Osaka, Japan, 2005.
- 29) S. Kano, Y. Sasaki and Y. Hata: Local Failures of Embankments during Earthquakes, *Soils and Foundations*, Vol.47, No.6, 2007.
- 30) Y. Hata and N. Yamashita: A Study on Computation of Seismic Permanent Displacement of Embankments considering Vertical Seismic Waves and the Heterogeneity of the Ground Strength, Proc. of 40th Japan National Conference on Geotechnical Engineering (CD-ROM), No.1157, pp.2309-2310, 2005.
- 31) 秦吉弥, 山下典彦: 鉛直地震動が盛土のすべり変位量に及ぼす影響に関する一考察, 土木学会地震工学論文集, Vol.28, No.66, 2005.
- 32) Y. Hata and N. Yamashita: An Approach to Compute the Permanent Seismic Displacement of Embankments considering Vertical Seismic Motion and Heterogeneity of the Ground Strength, Proc. of International Conference on Recent Developments in Earthquake Geotechnical Engineering, pp.271-278, ISSMGE, Osaka, Japan, 2005.
- 33) 秦吉弥, 一井康二, 加納誠二, 土田孝: 上下動が盛土の地震時変形に及ぼす影響に関する一考察, 地盤と建設, Vol.25, No.1, 2007.
- 34) 秦吉弥, 一井康二, 李黎明, 土田孝, 加納誠二: 傾斜基盤を有する盛土の地震応答特性に関する動的遠心模型実験, 土木学会地震工学論文集(CD-ROM), Vol.29, pp.295-304, 2007.
- 35) 秦吉弥, 一井康二, 土田孝, 李黎明, 加納誠二: 上下動が傾斜基盤を有する盛土の地震時応答に及ぼす影響, 土木学会地震工学論文集(CD-ROM), Vol.29, pp.305-313, 2007.
- 36) 秦吉弥, 加納誠二, 多賀正記, 一井康二, 土田孝, 山下典彦: 傾斜基盤を有する盛土の水平ならびに上下方向の簡便な固有周波数算定式, 土木学会地震工学論文集(CD-ROM), Vol.29, pp.314-323, 2007.
- 37) 山下典彦, 竹内健造, 秦吉弥: 地盤強度の不均質性が地震時における盛土のすべり変位量に与える影響, 地盤工学シンポジウム論文集, Vol.49, No.58, pp.415-422, 2004.
- 38) 秦吉弥, 山下典彦: 地震動特性が地盤強度のバラツキに起因する盛土のすべり変位量の変動に及ぼす影響に関する一考察, 地盤工学シンポジウム論文集, Vol.50, No.60, pp.421-428, 2005.
- 39) 秦吉弥, 一井康二, 土田孝, 山下典彦: 現場データを用いた盛土の耐震信頼性設計へのアプローチ, 構造物の安全性・信頼性に関する国内シンポジウム(JCOSSAR2007)論文集, Vol.6, pp.333-338, 2007.
- 40) 秦吉弥, 一井康二, 土田孝, 加納誠二, 山下典彦: Newmark 法による合理的な盛土の信頼性設計法の提案, 土木学会第 62 回年次学術講演会講演概要集(CD-ROM), 3-446, pp.889-890, 2007.
- 41) Y. Hata, K. Ichii, T. Tsuchida, S. Kano and N. Yamashita: A Practical Approach on Design Parameters Identification for Seismic Design of Embankments considering Heterogeneity of Soils, Proceedings of International Conference on Civil and Environmental Engineering 2007, Hiroshima, Japan, 2007.
- 42) Y. Hata, K. Ichii, T. Tsuchida, S. Kano and N. Yamashita: Effect of Heterogeneity of Ground Strength to the Seismic Residual Displacement of Embankments, Proc. of 4th decennial Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics Conference, Sacramento, U.S.A., 2008. (in press)
- 43) 伊藤洋, 新孝一: 地盤物性値のばらつきと安定性評価への影響, 地盤工学におけるリスク評価手法に関するシンポジウム発表論文集, 土質工学会, pp.55-60, 1987.
- 44) 藍田正和, 鈴木英也, 石井清, 鈴木誠: 地震時斜面安定性に関する材料物性値の感度分析, 土木学会第 44 回年次学術講演会講演概要集, -437, pp.948-949, 1988.
- 45) J. M. Duncan: Factors of Safety and Reliability in Geotechnical Engineering, Jour. of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol.125, No.4, pp.307-316, 2000.
- 46) 日本建築学会: 建築物の限界状態設計指針, 2002.
- 47) (社)地盤工学会: 性能設計概念に基づいた基礎構造物等に関する設計原則(案), 基礎設計基準化委員会報告書, 付録D, pp.24-39, 2004.
- 48) 本城勇介: 包括基礎構造物設計コード「地盤コード 21 ver.1」の提案, 土と基礎, Vol.48, No.9, Ser.No.512, pp.17-20, 2000.
- 49) R. M. Barcker, J. M. Duncan, K. B. Rojiani, P. S. Ooi, C. K. Tan and S. G. Kim: Load factor design criteria for highway structure foundations, NCHRP, No.24-4, 1991.
- 50) 山下典彦, 田中博文: 地盤の不均質性を考慮した小段付き盛土の地震時破壊挙動に関する研究, 土木学会地震工学論文集(CD-ROM), Vol.27, No.115, 2003.
- 51) E. H. Vanmarcke: Probabilistic Modeling of Soil Profiles, Proc. of ASCE, Vol.103, GT11, pp.1227-1246, 1977.



- 52) たとえば野田節男, 上部達生, 千葉忠樹: 重力式岸壁の震度と地盤加速度, 港湾技術研究所報告, Vol.4, No.4, pp.67-111, 1975.
- 53) たとえば松尾修, 塚田幸広, 堤達也, 宮武裕昭, 斉藤由紀子: 兵庫県南部地震により被災した道路土構造物の事例解析, 土木研究資料, Vol.39, No.3, pp.38-43, 1997.
- 54) たとえば(社)日本道路協会: 道路土工のり面工・斜面安定工指針, 470p., 1999.
- 55) R. Y. Rubinstein: Simulation and the Monte Carlo Method, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1981.
- 56) たとえば松尾稔: 地盤工学 - 信頼性設計の理念と実際 -, 技報堂出版, 407p., 1984.
- 57) (社)土質工学会: 土質基礎の信頼性設計, 土質基礎工学ライブラリー 28, 275p., 1985.
- 58) 星谷勝, 石井清: 構造物の信頼性設計法, 鹿島出版会, 208p., 1986.
- 59) 田中博文, 山下典彦: 地盤強度の不均質性が盛土の耐震安定指標に与える影響, 土木学会地震工学論文集(CD-ROM), Vol.28, No.50, 2005.
- 60) 東畑郁生: 土構造物の地震時許容変形量について, 土構造物の耐震設計に用いるレベル2地震動を考えるシンポジウム発表論文集, pp.109-110, 1998.
- 61) 日本地震工学会: 性能規定型耐震設計法 - 性能目標と限界状態はいかにあるべきか -, 平成16年度報告書, 性能規定型耐震設計法に関する研究委員会, pp.101-108, 2005.
- 62) 國生剛治: 首都圏直下地震に備える地盤工学の課題, 土と基礎(地盤工学会誌), Vol.5, No.5, Ser.No.592, pp.3-6, 2007.
- 63) 秦吉弥, 杉山仁實, 新屋浩明, 倉岡千郎, 佐藤誠一, 白石保律: 過剰間隙水圧の影響を考慮した地すべりの地震応答解析- 旧山古志村東竹沢地すべりをモデルとして -, 地すべり(日本地すべり学会誌), Vol.44, No.1, pp.39-45, 2007.
- 64) 秦吉弥, 杉山仁實, 新屋浩明, 倉岡千郎, 佐藤誠一, 白石保律, 中島祐一: 上下動が地すべりの有効応力解析結果に及ぼす影響, 第46回日本地すべり学会研究発表会講演集, pp.327-330, 2007.
- 65) L. Li, Y. Hata, S. Kuraoka, K. Ugai, A. Wakai, A. Onoue and S. Kuroda: A case study on earthquake triggered landslide though centrifuge model test and numerical simulation, Proc. of 10th International Symposium on Landslide and Engineered Slopes, Xian, China, 2008. (in press)
- 66) N. M. Newmark: Effects of Earthquakes on Dams and Embankments, Fifth Rankin Lecture, *Geotechnique*, Vol.15, No.2, pp.139-160, 1965.
- 67) 秦吉弥, 一井康二, 土田孝, 李黎明, 加納誠二, 山下典彦: 地震時における斜面の安定性評価に関する一考察, 地すべり(日本地すべり学会誌), 2008. (in press)
- 68) Y. Hata, N. Yamashita, S. Kano and T. Tsuchida: A Study on Computation of Seismic Permanent Displacement of Embankments considering Horizontal and Vertical Seismic Motion, First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology (CD-ROM), Paper No. 904, Geneva, Switzerland, 2006.
- 69) 秦吉弥, 土田孝, 加納誠二, 山下典彦: 上下動を考慮した簡便な盛土の地震応答解析手法の提案, 広島大学大学院工学研究科研究報告, 第55巻, 第1号, pp.27-34, 2006.
- 70) 若井明彦, 西村伸一, 谷茂: 地盤物性の不確実性が土構造物の地震時残留変位量に与える影響, 構造物の安全性・信頼性に関する国内シンポジウム(JCOSSAR2007)論文集, Vol.6, pp.321-326, 2007.
- 71) Iai, S., Ichii, K., Sato, Y. and Kuwazima R.: Earthquake response analysis of a high embankment on an existing hill slope, *Earthquake Geotechnical Engineering*, Seco e Pinto (ed.), Balkema, Rotterdam, pp.697-702, 1999.