

変形量を考慮した土構造物の地震リスクの評価手法

日本大学 正 ○中村 晋, 京都大学 正 澤田純男, 東北学院大学 正 吉田 望

1. はじめに

レベル2地震動のような強い地震動に対して土構造物を設計する際、安定性を十分に確保した設計を行うことは、不経済であるとともに現実的に困難である。このことから、土構造物の耐震設計では、斜面などの崩壊によるすべり土塊の変形量が許容範囲に収まるという性能を考慮した設計を行うことか実用的であると考えられる。その様な崩壊を許容した設計を行うためには、許容される量以上の崩壊が生じる可能性、つまり安全性への配慮が重要となる。オーストラリアでは地すべりによる斜面の崩壊がもたらす構造物の損傷や人的損傷のリスクを考慮した設計ガイドライン¹⁾が示されているが、我が国では盛土などの土構造物を対象としたリスクへの配慮を行うための評価手法が確立されているとは言えない。

ここでは、土構造物の地震リスク評価手法を確立することを目的として、盛土の地震時永久変形に応じた被災度に基づく損傷度特性の評価手法を提案し、崩壊確率に基づく損傷度特性と比較を行う。

2. 盛土の変形量を考慮した損傷度曲線の評価方法

2.1 盛土の変形量に関する制限値

道路や鉄道の盛土が保有すべき性能は、天端部における車両走行性である。その性能は、斜面崩壊などに起因して生じる天端部の段差や沈下により損なわれることになる。道路盛土は、崩壊形態に応じた段差や亀裂幅に応じて被災度が異なり、法面崩壊の場合に段差が20cm以上の被災(被災度B以上)で交通規制を行うことが必要となる²⁾。ここでは、盛土の被災状態を規定する指標である段差に基づいて限界状態を定義する。よって、限界状態関数 g は、盛土天端の段差の推定値 $D(m)$ とその制限値(=20cm)との差として定義する。

2.2 材料の不均質性および盛土内での地震動増幅を考慮した盛土の永久変形の評価方法

盛土の永久変形の評価方法には、地盤内の材料強度の深度方向分布、さらに地震動の増幅を考慮した簡易な斜面や盛土の永久変形解析の提案手法を用いた。提案手法は、多層構造を有する地盤へ適用できるように対数らせんの組み合わせによる複合すべり面をすべり面形状とし、地震動の増幅を考慮して臨界すべり面と降伏震度係数を評価する手法と地震動の増幅を考慮した Newmark 法を組み合わせた方法である³⁾。

2.3 盛土の損傷度曲線の評価方法

ここで、盛土の損傷度曲線は、式(1)により得られる斜面崩壊の生じる確率と斜面への作用震度との関係、および式(2)により得られる盛土の永久変形に基づく被災の生じる確率と斜面への作用震度との関係の2つにより評価する。前者の損傷度曲線として、作用震度 C_s に対する崩壊確率 $F(C_s)$ は、すべり安全率が1.0となる地震動強さである降伏震度の確率密度関数 $f(C_{sy,j})$ として求めることができる。ここで U はステップ関数を表す。後者の損傷度曲線として被災確率 $P_d(C_s)$ は、地盤特性のばらつきと作用地震動に応じた地震動増幅の差異を考慮し、式(2)に示すようにモンテカルロ法により全ケース数と限界状態関数が負となるケース数 n の比として求めることができる。

$$\text{斜面崩壊 } Pf(C_s) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n U [C_s - f(C_{sy,j})] \quad (1)$$

$$\text{被災確率 } Pd(C_s) = \frac{n(g \leq 0)}{N} \quad (2)$$

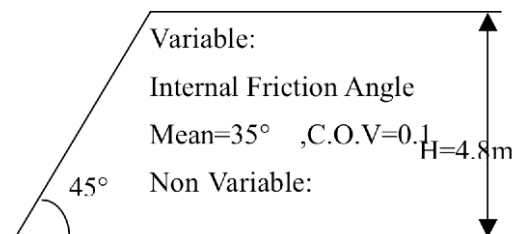


図-1 Analytical Model

3. ケーススタディー

3.1 解析モデルと盛土材料の不均質性のモデル化

図-1 に示す単純な斜面モデルを対象とし、地盤材料の不均質性および地震動に応じた増幅特性の不確定性を考慮した提案手法と円弧すべり面とする従来法とにより得られる損傷度曲線の比較を行う。

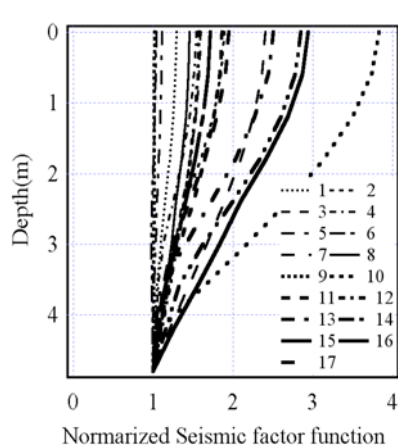


図-2 震度分布関数

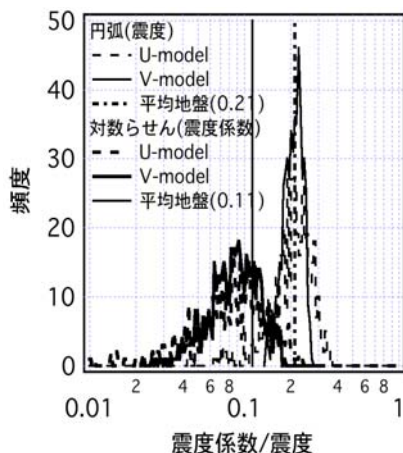
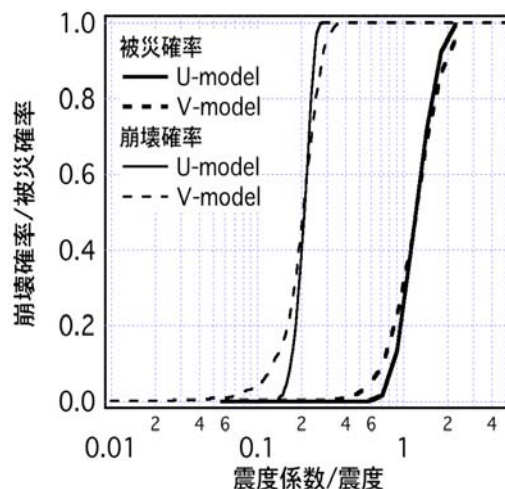
図-3 降伏震度の確率密度関数
(提案法と従来法の比較)

図-4 従来法による損傷度曲線の比較

地盤材料の不均質性は、強度パラメーターのうち内部摩擦角の空間変動の不均質性により考慮する、その空間分布には、空間分布を考慮せず斜面全体を一樣な強度特性を用いて表すモデル (U-model) と強度特性の空間分布を考慮したモデル (V-model) の2つを用いる。U-model は内部摩擦角のばらつきの統計的性質が正規分布に従うものとし、正規乱数を用いて500ケース作成した。

3.2 入力地震動とその増幅特性

入力地震動には、地震被害をもたらした最近の地震で観測された17の地震記録を用いた、提案手法で盛土内での地震動増幅を考慮するため震度分布関数は、前述の地震動を盛土底面に作用し、著者の一人の提案する盛土-支持地盤系の1次地震応答解析により得られた盛土内の最大加速度分布を底面の最大加速度で基準化した図-2に示す分布を用いた。

3.3 すべり面形状が損傷度曲線に及ぼす影響

まず、崩壊確率の損傷度特性を算出するために必要な降伏震度の確率密度関数について、円弧すべりをすべり面とする従来法と対数らせんをすべり面とする提案法の比較を図-3に示す。従来法の場合単一の円弧をすべり面とし、盛土内の震度分布が一樣であることから入力地震動の差異や地盤物性の空間分布に起因する震度のばらつきが小さい。次に、従来法により得られた損傷度曲線と提案法により得られた損傷度曲線を図-4,5に示す。従来法では、崩壊の生じる震度レベルは0.2前後であり、変形を考慮した被災の生じる震度レベルは0.8程度以上と大きい。一方、提案法では、崩壊の生じる震度レベルは0.04以上と小さいが、変形を考慮した被災の生じる震度レベルは0.3程度以上である。ここで、提案法による震度とは盛土底面位置における震度の値である。変形を考慮した被災の生じる震度は、崩壊の生じる震度より大きく、提案法によるそれらの値はいずれも従来法に比べて小さい。

4. まとめ

地震により生じる盛土天端の変形に応じた被災度に基づく盛土のような土構造物の損傷度曲線の評価手法の提案を行った。崩壊の生じる確率に基づく損傷度特性との比較により、すべり面形状の差異がそれらに及ぼす影響を明らかにした。

参考文献

- 1) AUSTRALIAN GEOMECHANICS SOCIETY, LANDSLIDE RISK MANAGEMENT CONCEPTS AND GUIDELINES
- 2) 社団法人日本道路協会 (1988): 道路震災対策便覧 p51-p61
- 3) 中村晋, 澤田純男, 吉田望 (2007): 多層構造を有する斜面の地震時永久変形の簡易評価手法とその適用性, 土木学会論文集 C, Vol. 63, No. 1, pp. 269-284

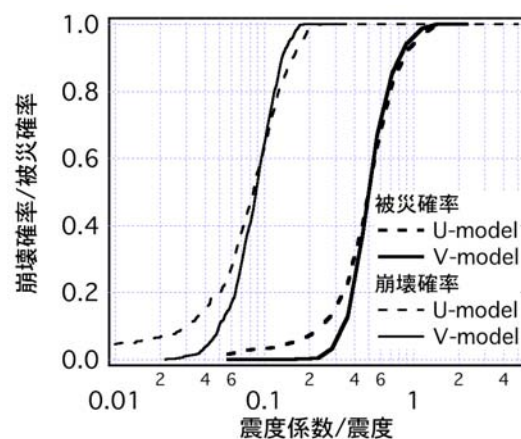


図5 提案法による損傷度曲線の比較