

すべり面構成式の開発と土構造物の耐震残留変形量評価への適用性に関する検討

環境防災研究室 坂本 尚允

指導教官 大塚 悟

1. はじめに

日本は4つのプレートに囲まれており、世界有数の地震大国である。大地震に備えるため土構造物の設計時にレベルⅡ地震動を考慮する必要がある。しかし、すべての土構造物がレベルⅡ地震動に対応するのは不経済である。従って、土構造物の耐震性評価に変形量を許容する、残留変形照査の導入が図られている。本研究では、すべり面構成式の開発と土構造物の耐震残留変形量評価への適用性に関する検討を目的に、残留変形解析にすべり面構成式を導入し、分割法斜面安定解析には Fellenius 法を用いた。解析手法の課題は変位解析を行うすべり面の設定にあるため、すべり面の設定に関する問題点を整理して、考察を行った。材料係数や、盛土の形状を変化させて、提案したすべり面の設定法に関して既存の設定手法との比較考察を実施する。

2. Newmark 法の欠点

残留変位解析は一般的に Newmark 法を用いている。しかし、Newmark 法はいくつかの欠点があり、解析結果に信頼性があるとはいえない。本章では Newmark 法の欠点を述べる。

① 自重による自壊を表現できない。

限界水平振動の関係上、発生した地振動が限界水平振動を超えない限り土構造物は変形されないものとされ、強度低下を誘因とした自重による自壊を表現することができない。

② 安定計算でのすべり面の決め方の問題。

Newmark 法での安全率 F_s の決め方は強度低減法を用いて行われる。強度低減法とは荷重一定の元すべり面を固定し、モデルの材料係数を変更し安全率 F_s が 1 となるようにする方法である。安定解析は、強度を安全率で割引いて計算を行う。安定解析で c/F_s , $\tan \phi / F_s$ を用いるためすべり面の材料係数である c と ϕ は変化する。材料係数が異なるモデルとなる、すなわち異なるモデルで解析するということになる。よって、安定計算方法も適していない。

3. 提案手法と Newmark 法の実例比較

剛塑性構成式を用いた簡易変位予測手法の妥当性を確認するため、斜面安定解析ソフトである Power SSA と比較を行う。Power SSA は Newmark 法を用いて地震時の変位予測が可能である。

教科書掲載の例題を各手法で解析を行い、①変位の発生時間、②時間毎の変位量、③累計変位量の3つを比較対象とし、検討を行う。

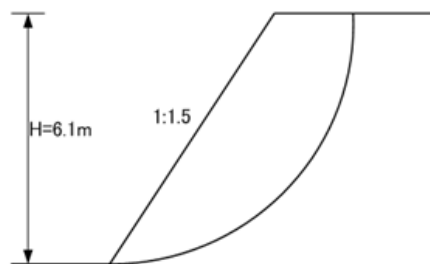


図-1 例題

解析の結果、例題の累計変位量は Newmark 法の場合 1.012m、本手法の場合 1.027m となった。①変位の発生時間、②時間毎の変位量、③累計変位量はほぼ一致することから、本手法で適切に変形問題を評価できるということが分かる。

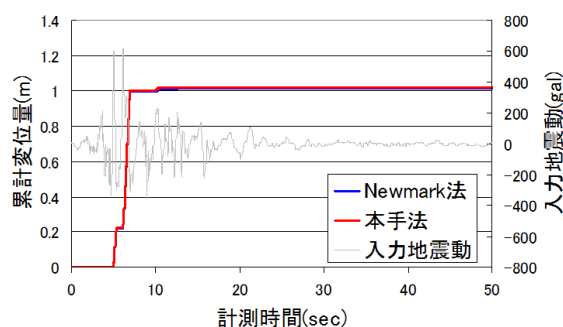


図-2 例題の解析結果比較

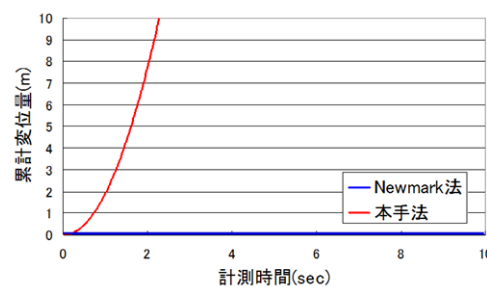


図-3 安全率を1以下になるようにした解析

安全率が 1.0 を下回るようにパラメータを設定しているため、入力地震動が Newmark 法では考慮されない場合である。だから Newmark 法では変位は発生していない。しかし提案手法では自重崩壊の表現が出来ていることが分かる。

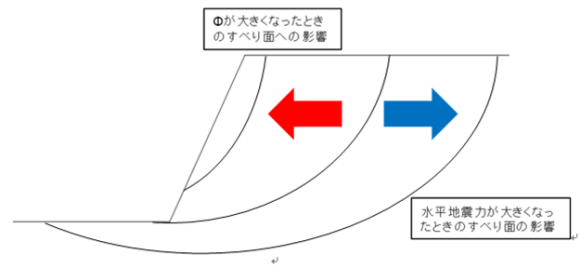


図-3 すべり面を中和させている要素のモデル図

4. すべり面の探索

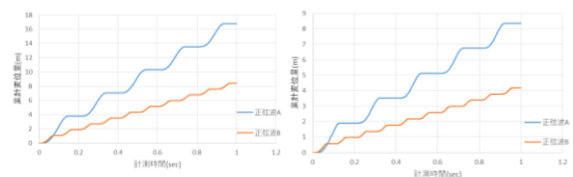
本研究で提案する方法では、事前に安定解析を行い安全率 F_s が 1 となるすべり面を求め、求めたすべり面で残留変位解析を行う。水平地震力 skh を段階ごと、0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5 に変化させ、安全率 F_s を求める。最終的に近似で安全率 F_s が 1 となる水平地震力 skh を求める。理由は、Newmark 法の欠点である、安定計算でのすべり面の決め方の問題を補えると考える。提案する方法では、斜面の物性値である、せん断抵抗角 ϕ と粘着力 c を変えないで、安全率 F_s が 1 となるすべり面を求める。安全率 F_s が 1 のときは、斜面の破壊が始まる境目であり、そのときのすべり面で残留変位解析を行うことで、Newmark 法の安定解析時に材料係数が変化する欠点を防ぐことができ、正確な数値を得ることができる。と考える。

探索の結果、斜面の形状が異なる 7 個のパターンを測定した結果、すべてのパターンですべり面位置が同じとなる結果が出るようになった。すべり面の形としては、斜面先破壊の形状を示した。静的条件のすべり面で残留変形解析しても構わない。安全率による地盤定数の変化と水平震度のすべり面位置に与える影響がキャンセルアウトして、静的条件のすべり面と実質的な変化がないことがわかった。

考察として、水平地震力が大きいと破壊領域が大きいすべり面になると考える。水平地震力が大きくなった結果、安全率 F_s は低下する。一般的に安定解析では、強度を安全率 F_s で割りきせん断抵抗角 ϕ を求める。安全率 F_s が低いとせん断抵抗角 ϕ は大きくなるので破壊領域の小さいすべり面になると考える。この二つの力、破壊領域が大きくなる力と破壊領域が小さくなる力がお互いに働きあい、すべての結果が同じすべり面の形状になったと考える。

5. 残留変位解析

すべり面の探索の結果を踏まえ、残留変位解析を行う。



- (a) 斜面比率が 1:1 のときの正弦波 A, B の比較
- (b) 斜面比率が 1:2 のときの正弦波 A, B の比較

図-4

残留変位解析の結果、本手法で適切に解析ができることがわかりました。また、すべり面構成式により、広範な適用性が得られた。

6. まとめ

提案手法は、例題を作成したプログラムと Power SSA Pro (Newmark 法) と比較をした結果、残留変位量はほぼ一致する結果となった。よって、本手法で適切に変形問題を評価できることが分かった。且つ、本手法の特徴である、自重による自壊モードの再現ができ、Newmark 法と比較して優位点となった。

すべり面の探索は、斜面の形状や、水平地震力 skh 、物性値であるせん断抵抗角 ϕ を変えても、頂点座標点は各々異なるが、すべり面位置はどの条件もほぼ同じ形状を示した。よって、静的条件のすべり面で残留変形解析しても差異がない。安全率の考慮と水平震度の影響がキャンセルアウトして、静的条件のすべり面と実質的な変化がないことがわかった。

残留変位解析では、正弦波の解析結果より Newmark 法と整合する結果が得られた。また、すべり構成式により、広範な適用性が得られることがわかった。