

地震時における地盤の残留変位の評価への New mark 法の適用性について

日本大学工学部土木工学科 中村晋, ○竹内道弘, 高山翔

1. はじめに

1995 年兵庫県南部地震による被害を踏まえ、鉄道や道路盛土、フィルダムなどの土構造物を対象とした基準類では、レベル 2 地震動に対する評価項目として残留変形量も加える改定が行われ、土構造物でも橋脚などの RC 構造物と同様に变形を考慮した安全性の評価を行う設計体系に移行しつつある。その変形量の評価手法の一つである New mark 法は、ロックフィルダム、盛土および斜面などを対象として多くの研究が行われ、その適用性は地震被害との比較や遠心力また 1G 場での震動実験などにより検討されている。その New mark 法は評価が比較的容易であることなどから基準類などで用いられているものの、その適用限界を含めて、その適用性が十分に明らかになっていないとは言えない。

ここでは、New mark 法の適用性を検証する上で重要と考えられる既往の実験を調査・分析し、その結果に基づきニューマーク法の適用範囲について、すべり線の形成過程を含めて基礎的な検討を行った。ここで用いた実験データは New mark 法がすべり型の崩壊挙動の評価を対象としていることから、すべり線の形成からすべり土塊の崩壊にいたる挙動が明確に分かる(独)原子力安全基盤機構が実施した実験を対象とした。

2. すべり型崩壊を模擬した実験に基づく斜面の崩壊機構

岩盤斜面の安定性評価を目的として実施された小型模型、中型模型、大型模型による一連の振動台実験^{1),2),3)}は、自然斜面また造成斜面に係わらず、すべり型の崩壊形態を明らかにするとともに、その評価法の適用性についての検討に活用できる。ここでは、崩壊形態を明らかにするという観点で、小型模型を用いた振動台実験による典型的な崩壊モードに対する例を図-1、2に示す。斜面模型は基盤層、弱層、表層で構成され、弱層の勾配と厚さを変化させた模型が用いられている。基盤層は地山を想定し、セメント安定処理した粒度調整碎石を十分に締固めることによって作成されている。弱層には、珪砂 6 号にベントナイトを重量比 1%で混合した材料、表層は滑動力を確保するため、鉄粉にベントナイトを重量比 10%で混合した材料を用いた。模型内各所に設置した画像解析用の標点の移動を高速度カメラにより測定し、加振中の崩壊挙動を分析した。振動台実験における入力波形は、5Hz の正弦波 10 波とし、100gal から 100gal ずつ段階的に増加させ、模型が大崩壊に至った段階で実験を終了した。

いずれの模型も、のり肩付近にテンションクラックが発生し、弱層内に複数のクラックが発生し、すべり面を形成した後に崩壊に至った。図-1 中の滑落型の崩壊モードが生じたケースは、入力加速度が 400gal で急激に崩壊した。進行型のケースは入力加速度が 500gal ですべり面上の土塊が加振とともに移動し、進行型から滑落型へ遷移するケースでは加振 500gal の加振初期に進行的に土塊が移動したが、のり先の崩壊に伴い、急激な崩壊を生じる結果となった。

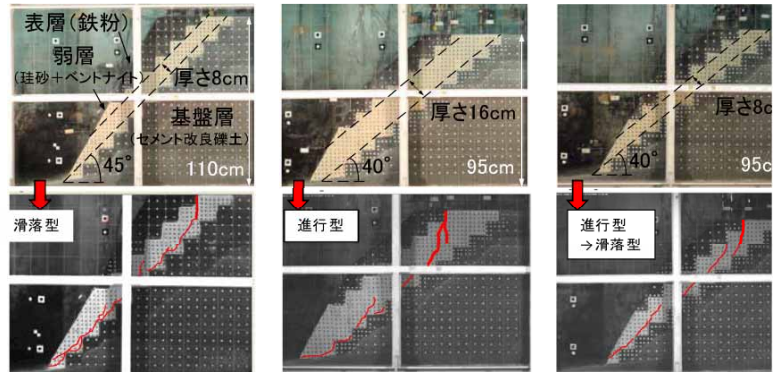


図-1 振動台実験で確認された斜面の崩壊形態の例

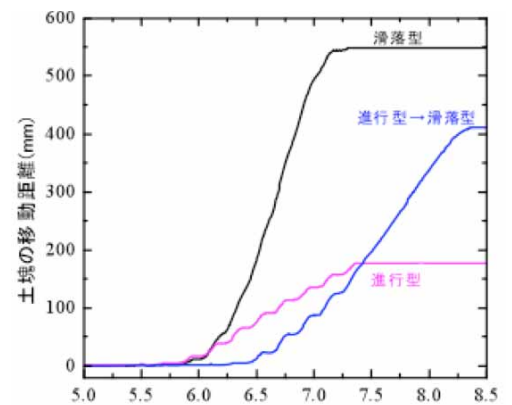
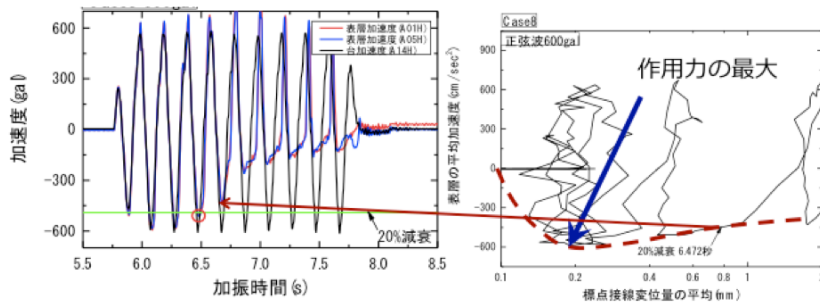


図-2 土塊の移動距離の時刻歴



a) 振動台と土塊の加速度時刻歴 b) 土塊の加速度と変位
図-3 すべり土塊の応答性状

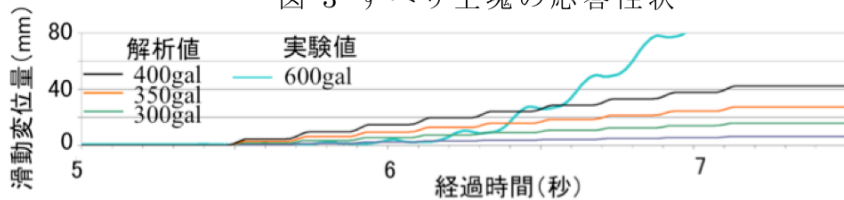


図-5 動的解析に基づく New mark 法

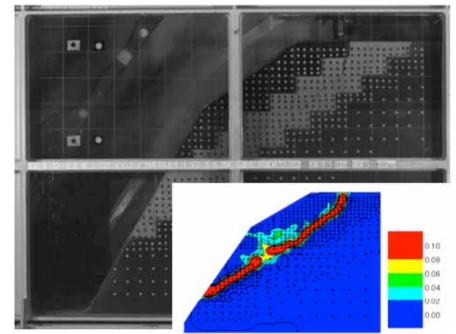


図-4 すべり面の形成時の弱層クラック状況とせん断ひずみの発達過程

3. New mark 法を用いた崩壊挙動のシミュレーションとの崩壊挙動への適用性に関する考察

図-1 に示した滑落型，進行型，

進行型から滑落型へ遷移する実験ケースに対して円弧すべり法による安定解析を実施した．各モデルの土塊が移動を開始した加速度より，各モデルの水平震度を 0.4, 0.5, 0.5 として安全率を求めると，それぞれ 1.065, 0.987, 1.065 といずれも 1.0 に近い値であるが，1.0 を超えた地盤の状態は大きく異なっている．また，図-3 に示す進行型の崩壊が生じたケースに示す振動台およびすべり面上の土塊の加速度時刻歴および土塊の加速度と変位の関係，図-4 にすべり面が形成された時の弱層の亀裂状況とせん断ひずみの状況を示す．土塊のすべり発生に至る時の土塊の応答加速度は亀裂の発達過程から低下してすべり面の形成に至っていることが分かる．これより，弱層およびその上の土塊には弱層に生じたせん断ひずみの増加に伴う変形が生じ，その過程であるクラックの形成とともにその周辺地盤に強度の低下が生じていると推定される．

次に，New mark 法により，実験で得られた正弦波がすべり土塊に作用するとして変形解析を実施した．その際，円弧すべり法により求められた円弧すべりの安全率が 1.0 以下になった段階で地盤の強度特性は残留時の値を用いて計算した．図-1 に示したケースを含む小型モデルの進行型の変形のケースは，解析値/実験値が 182mm/195mm, 99mm/142mm と解析値が実験値より小さく評価する傾向が認められた．さらに，図-3, 4 に示した進行型の崩壊の生じる実験ケースについて，動的解析結果を地震作用として New mark 法により求めた土塊の変位時刻歴に関する解析結果と実験結果の比較を図-5 に示す．New mark 法では安全率が 1.0 を下回った時点より変位が生じ，その変位の増加速度は実験と大きくことなっていることが分かる．New mark 法による変形は，滑動モーメントと抵抗モーメントの差分である回転加速度の積分として得られ，すべり面の主要な勾配に応じた土塊の移動速度を適切に評価できないことが図に示す差異として現れていると考えられる．また，すべり面が形成された後の変位が小さい間は New mark 法による変位が安全側の値となっていることが分かる．このことは，New mark 法によるすべり面が形成後の土塊の変位は，直後に滑落が生じない条件のもとで，変位が小さい(例えばすべり面形成直後の変位)範囲で適用が可能であると考えられる．

4. おわりに

既往の実験との比較により，New mark 法はすべり破壊が進行型のモードとなる場合に適用可能であり，すべり面形成直後に生じた小さな変位に対して安全側の評価を与え，その程度の変位を適用限界とするのが望ましい．その限界変位の評価は今後の課題とする．

参考文献； 1) 篠田昌弘，渡辺健治，阿部慶太，西村隆義，坂井公俊，村田雅明，中村英孝，中村晋：岩盤斜面の地震時安定性評価手法の構築に向けた試み，日本地震工学会，第 13 回日本地震工学シンポジウム論文集，2010., 2) 中村英孝，村田雅明，篠田昌弘，渡辺健治，佐名川太亮，河井正，中村晋：すべり発生層の特性に応じた岩盤斜面モデルの地震時変形性状に関する検討，土木学会，第 66 回年次学術講演会講演概要集，pp.573-574，2011., 3) 中村英孝，村田雅明，篠田昌弘，渡辺健治，中島進，河井正，中村晋：E ディフュゼンスで実施した大型斜面モデルの振動台実験の概要，土木学会，第 67 回年次学術講演会講演概要集，pp.625-626，2012.