

1G場での振動実験による斜面模型の崩壊挙動

日本大学工学部土木工学科 学生会員 ○坂本 翔 小林 由幸 正会員 中村 晋

1. はじめに

2011年東日本太平洋沖地震による強い揺れや津波により東北地方は甚大な被害を受け、福島第一原子力発電所に事故が発生した。この事故を踏まえて、より高い安全性が要求される原子力発電所の安全を確保するため、設計事象に対する安全性のみならずそれを越える地震により生じる事故に備えるための対策を講じることが重要となってくる。そのために必要な評価の一つとして、原子力発電所の敷地内において原子力建屋を含む安全を確保するための施設周辺斜面、事故対策施設周辺斜面、さらに事故が生じた場合にそれらの施設に向かうためのアクセス道路周辺斜面などの斜面の安定性評価が挙げられる。規制庁により示されたガイドラインでは、斜面崩壊の可能性評価のみが示され、設計を越える地震に対する斜面崩壊の可能性、また崩壊が生じた場合の崩壊の程度を評価することができない。

今後の原子力発電所の安全のみならず福島県内で生じた自然斜面やフィルダムの崩壊による人命の喪失を伴う斜面崩壊挙動を適切に評価する手法の構築が必要となる。ここでは、既存の原子力発電所サイトにおける斜面崩壊の可能性を明らかにするために実施した斜面模型の1G場での振動台実験の結果より、まず崩壊挙動を分析し、崩壊のメカニズムを明らかにする。次に、その挙動の評価手法として粒子法(MPM)の適用性を明らかにする。

2. 斜面模型の振動台実験の概要

この実験で用いた斜面模型は、図-1 に示す硬質岩盤上の風化岩で構成される斜面を模擬したものであり、法面勾配 45 度、高さ 1.0m の小型模型である。実験は、風化岩の強度特性を変えて 2 ケース実施したが、図-1 に示した斜面模型はケース 2 の形状を示している。実験では、斜面の応答性状を測定するため、斜面内に加速度計、法面や頂部の変状を測定するレーザー変位計を設置した。さらに、土層ガラス面側の側面に地盤内に生じるひずみ分布などの推定に用いる標点を縦横 10cm 間隔で設置し、高速度カメラにより撮影した。加振に用いた入力波には、1995 年兵庫県南部地震の際に神戸海洋気象台で観測された波(KOBE 波; 時間軸方向を 0.7 倍に調整)と正弦波(周期 5Hz の波を 10 波とし、前後 10 波のテーパーを設けた)を用いた。いずれも、振幅レベルを表-1 に示す様に变化させ、12 回の加振を実施した。表中の加速度は加振目標であり、実加振加速度はない。正弦波 900Gal 加振後に生じた斜面の崩壊性状を図-2 に示す。表層に崩壊が生じていることが分かる。

3. 崩壊挙動の分析

1)入力波に応じた残留変位の比較

法面に設置したレーザー変位計により得られた法面各位置における入力波に応じた残留変位の比較を図-3に示す。ここ

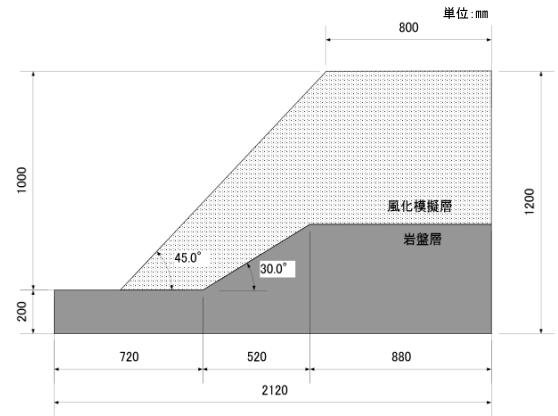


図-1 斜面模型断面形状

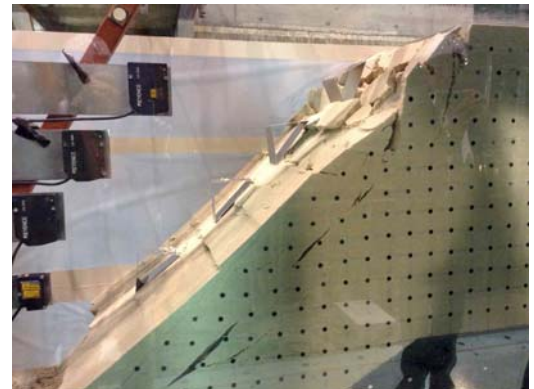


図-2 加振後の斜面の崩壊性状

表-1 加振ステップ一覧

試番	加振条件
試番1	JMA KOBE-5% 100gal
試番2	JMA KOBE-10% 200gal
試番3	JMA KOBE-20% 400gal
試番4	JMA KOBE-30% 600gal
試番5	JMA KOBE-40% 800gal
試番6	正弦波 5Hz 400gal
試番7	正弦波 5Hz 500gal
試番8	正弦波 5Hz 600gal
試番9	正弦波 5Hz 700gal
試番10	正弦波 5Hz 800gal
試番11	正弦波 5Hz 900gal
試番12	正弦波 5Hz 900gal 40波

キーワード 斜面模型、崩壊挙動、画像解析、1G場、振動台実験

連絡先 〒963-8642 福島県郡山市田村町徳定字中河原1番地

TEL 024-956-8618

で、残留変位とは加振前後の変位差を示す。400gal加振時における残留変位は神戸波、正弦波とも0.01mmと小さい。それ以上の加振加速度に対しては、不規則波である神戸波に対する残留変位より、正弦波に対する残留変位が大きな値となっている。

2) 応答加速度、せん断ひずみ分布

まず、加振加速度800Gal(目標)に対する頂部にて最大応答が発生した時刻周辺における斜面内の加速度分布をKOBE波、正弦波入力に対して図-4に示す。これより、震動台位置から斜面頂部までの振動の位相差により、台位置から頂部にかけて位置により著しく振幅レベルが異なること、頂部の最大加速度は入力波によらず同程度であることが分かる。次に、同時刻におけるせん断ひずみの空間分布の比較を図-5に示す。ここで、せん断ひずみは斜面側面位置における標点の動きを画像分析により求め、それより有限要素法の考え方にに基づき推定したものである。これより、正弦波については基盤層より上に円弧状である幅のせん断ひずみの集中領域が認められるが、KOBE波については、せん断ひずみの集中領域が連続的に形成されていないことが分かる。正弦波で比較すると同じ800galの試験でも正弦波の応答加速度のほうが大きくなっていることがわかる。

次に、正弦波加振についてせん断ひずみ振幅の大きくなっている領域について、入力波に応じたせん断ひずみの時間変化の比較を図-6に示す。正弦波加振の方がひずみ振幅が大きいことが分かる。

4. 粒子法(MPM)による崩壊挙動評価

斜面材料の応力-ひずみ関係を三軸圧縮試験により得られた関係に適合するようにパラメータ調整を行ったDruker-Prakerの降伏基準に基づく応力-ひずみモデルを用いた正弦波加振(800Gal入力)に対する粒子法解析を実施した。入力波は、800Gal以前の入力波の影響を考慮するため、600Galから900Galまで連続で作用した。図-7に図-5に示した時刻と同程度の時刻におけるせん断ひずみ分布を示す。斜面下側、また傾斜基盤層より上にせん断ひずみが発達し、その幅が大きくなり、さらにそれが連なり円弧状にせん断ひずみの大きな領域が形成され、実験結果を概ね表現している。表層部分の崩壊は、その後に法面に直交するテンションクラックの形成により発達したすべり面にそって発生したが、その表層部分の崩壊挙動を再現するには至っていない。

5. あとがき

斜面モデルの1G場での振動台実験の結果より斜面の崩壊機構の解明とMPMによる再現解析を試みた。解析の再現性向上を今後の課題としたい。

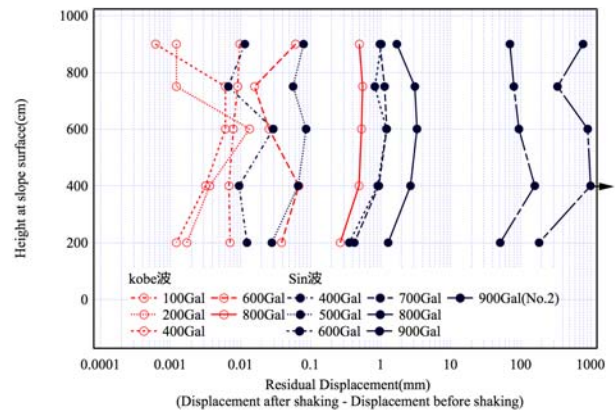
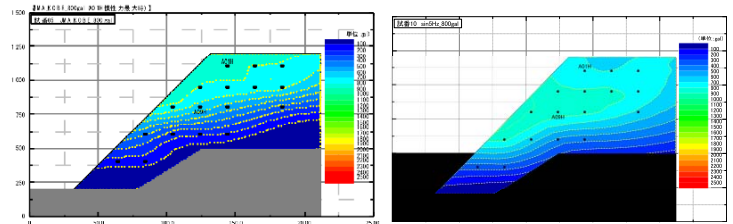


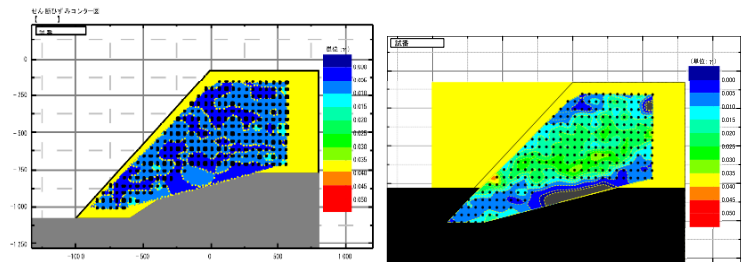
図-3 入力波別の残留変位の比較



a) KOBE 波

b) 正弦波

図-4 応答加速度分布の比較(800Gal 入力)



a) KOBE 波

b) 正弦波

図-5 応答せん断ひずみの空間分布(800Gal 入力)

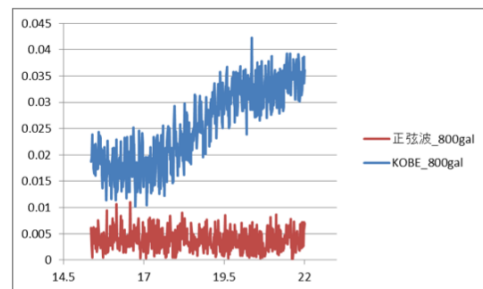


図-6 盛土内の1標点区間におけるせん断ひずみ時刻歴の比較(800Gal 入力)

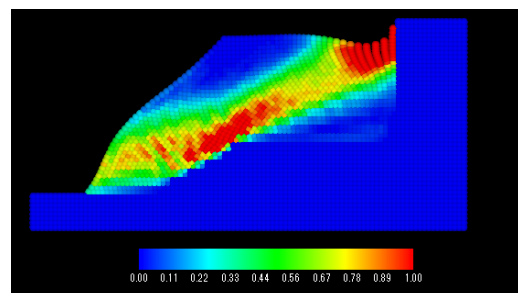


図-7 MPMにより得られたせん断ひずみ分布(800Gal 入力)