

不連続性岩盤を模擬した金属六角棒積層 斜面模型の遠心力載荷加振実験(1) —文献調査と本研究の取り組み—

和仁 雅明^{1*}・岡田 哲実²・亀村 勝美³・河村 精一⁴・大塚 康範⁵

¹中部電力株式会社 原子力土建部 (〒461-8680名古屋市東区東新町1番地)

²一般財団法人電力中央研究所 (〒270-1194 千葉研我孫子市我孫子1646)

³公益財団法人深田地質研究所 (〒113-0021東京都文京区本駒込2-13-12)

⁴基礎地盤コンサルタンツ株式会社 (〒136-8577東京都江東区亀戸1-5-7)

⁵一般社団法人日本応用地質学会 (〒187-0034東京都小平市栄町3-13-9)

*E-mail: Wani.Masaaki@chuden.co.jp

本研究では、不連続性岩盤の動的挙動を明らかにするため、不連続性岩盤の模型として、金属六角棒を積み上げた斜面模型の遠心力載荷加振実験を行うとともに、様々な解析手法(静的解析、FEMによる動的解析、不連続体解析による動的解析)を用いてその解釈やシミュレーションを実施する。本論文では、その一環で不連続性岩盤斜面の動的挙動に関する文献調査を実施し、不連続性岩盤斜面の耐震性評価の現状と課題について整理した。また、本研究に先駆けて実施した金属六角棒積層斜面模型の加振実験結果と各種解析手法を用いた予測解析結果をもとに、各手法の適用性やより合理的な評価に向けた課題について整理した。

Key Words : rock mass, discontinuity, rock slope, earthquake, stability evaluation, shaking table test, centrifuge model test, literature survey

1. はじめに

我が国では、原子力発電所等の重要な社会基盤施設周辺の不連続性岩盤斜面の地震時安定性について、通常、土質地盤と同様に、岩盤を等価な連続体と見なして評価している。実務では、岩盤の応力-ひずみ関係の非線形性は考慮せず、弾性波速度に基づく剛性を用いて動的解析を行い、得られた応力状態をもとにすべり安全率で検討することが多いが、この方法は斜面の破壊が生じる可能性については安全側の妥当な結果を与えるものと理解されているものの、破壊の実現象にどれだけ対応しているかについては明らかになっていない。本来、不連続性岩盤の動的特性や挙動の評価は、不連続性を考慮した手法により行われるべきであるが、不連続性岩盤の動的特性や挙動については未だ不明な点が多く、手法の整備までには至っていない。

このような背景のもと、土木学会 岩盤力学委員会 岩盤動力学小委員会(第3期)(2019年6月-2022年3月: <http://rock-jsce.org/index.php?FrontPage>)では、実験・シミュレーションWGを設立し、不連続性岩盤の動的挙動を

明らかにするための活動をしている。具体的には、不連続性岩盤斜面の模型を対象にして、加振実験を行い、各種の評価手法(静的解析、FEMによる動的解析、不連続体解析による動的解析)を比較することにより、不連続性岩盤斜面の耐震性評価の課題を明らかにするとともに、合理的な評価方法について検討している。

本論文では、上記WG活動の一部として実施した、不連続性岩盤斜面の耐震性評価に着目した文献調査の結果と本研究の取り組みの概要について報告する。

2. 文献調査

本研究に先立ち、不連続性岩盤斜面の動的挙動に着目した研究論文について調査し、国内外から計43編(国内23編、海外20編)収集した。これらをもとに不連続性岩盤斜面の耐震設計の現状と課題を整理した。

我が国の原子力発電所における重要施設周辺の斜面に対する地震時安定性は、図-1に示すように、すべり面法や静的解析、時刻歴応答解析等を用いる場合はあるもの

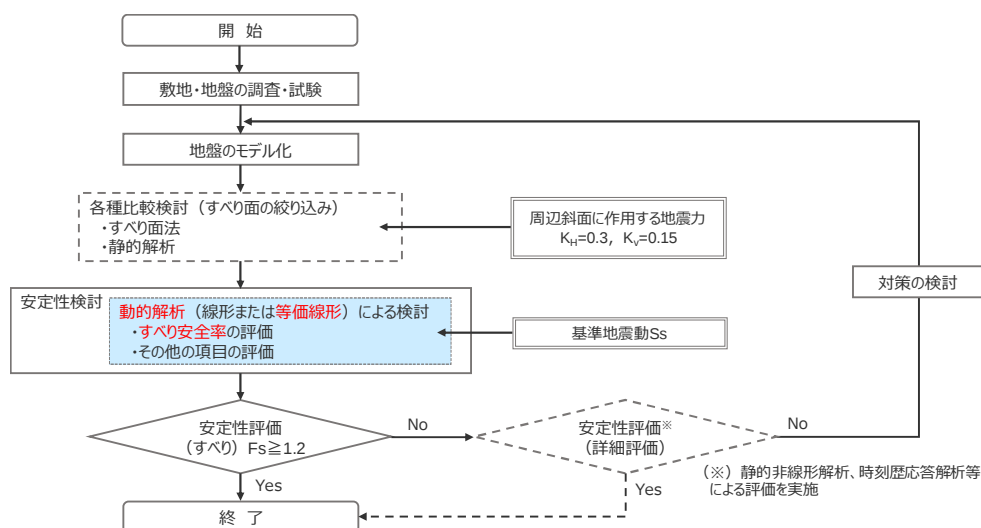


図-1 日本の原子力発電所の斜面安定性評価の流れ (JEAG4601-2015³⁾を参考に作成)

の、基本的には等価線形化法による周波数領域での動的解析（以下、等価線形解析）を行い、瞬間的な力のつり合いからすべり安全率を求めて安定性を評価しているのが実情である。したがって、まずは等価線形解析によるすべり安全率評価に関連した研究事例について整理し、現状の評価手法の適用性や課題を確認した。

次に、上記以外で不連続性岩盤斜面の動的挙動に関する研究事例について、損傷モードに着目した模型実験および理論解析に関する取り組みや、不連続体解析法を用いた高度な解析的取り組みについて整理した。

(1) すべり安全率評価に関する研究事例

石丸ら²⁾は、岩盤斜面の地震時崩壊挙動を対象とした遠心力模型実験を行い、等価線形解析によるすべり安全率評価の適用性について検証している。セメント系の模擬岩盤材料とテフロンシートによる模擬不連続面で構成された斜面模型（図-2）を30Gの遠心力場で加振し、その結果と等価線形解析による数値シミュレーションとを比較をしたところ、加速度応答値や変位応答値は斜面模型が崩壊する前までについて良く一致するとともに、すべり安全率については模型斜面が崩壊した加速度よりも小さい加速度で最小すべり安全率が1.0を下回る結果となったことから、従来のすべり安全率に基づく評価法が安全側であることが確認された、としている。

また、伊藤ら³⁾は、2011年東北地方太平洋沖地震で観測された地震動を用いて、実岩盤斜面を対象に等価線形解析によるすべり安全率評価を実施したところ、実際には地震後に大きな変状が生じていないにも関わらず、すべり安全率が1.0を下回る結果となったことを踏まえ、瞬間的な力のつり合いに基づく従来のすべり安全率評価は一定の保守性を有すると考えられる、としている。

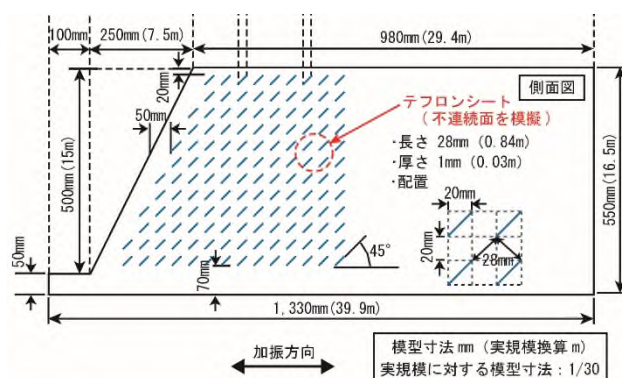


図-2 遠心模型実験（石丸ら²⁾）の斜面模型の概要

以上より、等価線形解析によるすべり安全率評価は、斜面の破壊が生じる可能性については安全側の妥当な結果を与えるものと考えられる。しかしながら、瞬間的な力のつり合いを満足しないからといって直ちに斜面が不安定化するわけではなく過度に安全側の評価を与える場合が考えられること、また、破壊後の応力状態に基づく安定性評価ができないことが課題である。

上記を踏まえ、近年においては、破壊後の強度変形特性や不連続面の影響を考慮した、より合理的なすべり安定性評価手法の構築に向けた取り組みがなされている。

伊藤ら³⁾は、等価線形解析の収束物性値を用いた時刻歴線形解析にて要素の破壊判定を時々刻々行い、破壊状態に応じて応力再配分を行う手法（応力再配分解析）にて、上記と同様の実岩盤斜面を対象にすべり安全率評価を試みたところ、観測事実と整合した結果が得られた、としている。

石丸ら⁴⁾は、破壊進展を考慮した岩盤の構成モデルを用いた時刻歴非線形解析手法を開発し、セメント改良土

で構築した模擬軟岩斜面を用いた動的遠心力模型実験結果をもとに開発手法の検証を行ったところ、せん断破壊後のひずみ軟化過程における強度変形特性を適切に考慮することにより斜面に残留変位が発生する加振ステップや残留変位量が概ね実験と整合した、としている。

なお、上記の等価線形解析や時刻歴非線形解析は岩盤を均質な弾性体と仮定した等価連続体解析であり、一般に断層や破碎帯等の大きな不連続面は考慮されるが、節理等の不連続面は考慮されない。これに対し、岩田ら⁹⁾は、不連続面の分布や変形特性を考慮できる等価連続体解析の一種である複合降伏モデル（MYM）を用い、岩盤モデル斜面の地震応答解析を実施し、地震時挙動における不連続面の影響について検討した結果、MYMでは弾性モデルに見られるような斜面表層部の広範囲な引張応力が緩和され、不連続面を考慮することでより合理的な評価が可能であることが分かった、としている。

以上の取り組みにおいては、従来の等価線形解析によるすべり安全率評価に比べてより合理的な評価が期待される。一方で、変形特性や強度特性の非線形性を考慮した高度な解析手法は、解析パラメータの定量的評価や、破壊時の検証が困難といった課題がある。手法の実用化に向けては、岩盤斜面の地震時挙動に関する知見の蓄積が不可欠であるが、模型実験を含め硬岩系の不連続面が弱面となる岩盤の検証例が少ないことが課題である。

(2) 不連続性岩盤斜面に関するその他の研究事例

不連続性岩盤斜面の内部には多種多様な不連続面が存在し、それらが岩盤の力学的特性を特徴付けていると考えられる。したがって、不連続性岩盤斜面の地震時安定性評価は、不連続面や破壊形態の特性を十分に考慮した手法により行われるべきである。これについて、特定の破壊モードに着目し比較的単純な模型実験や理論解析によりそのメカニズムを解釈する取り組みが古くからなされており、その一部を以下に紹介する。

清水ら⁹⁾は、すべり破壊とトップリング破壊に着目し、地震力を動的に考慮した振動台実験（図-3）と、静的に考慮した傾斜破壊実験および底面摩擦模型実験を実施し、木材ブロック積層斜面模型の挙動と崩壊形状について調べている。さらに震度法に基づく不連続性岩盤斜面の理論的な安定条件式を導き、これを用いた理論解析結果と実験結果および実際の不連続性岩盤斜面の破壊例との比較検討により適用性を検証している。

また、Aydanら⁷⁾は、不連続性岩盤斜面のたわみ性あるいは回転性のトップリング破壊に対し、過去の模型実験や現場観察をもとにそれらのメカニズムを推定し、内包する不連続面群の数や配置に関連した理論的な安定条件を提案するとともに、理論解析結果と過去の実験や現場計測の結果と比較してその適用性を検証している。

一方、近年では計算技術の発達に伴い、不連続面の挙動を考慮した高度な解析的取り組みについても多くなされている。ここでは、先述の時刻歴非線形解析やMYMのように亀裂を等価な連続体でモデル化する等価連続体解析ではなく、離散的に亀裂をモデル化する不連続体解析を用いた研究事例について紹介する。

北爪ら⁸⁾は、セメント改良土で模擬した均質な泥岩斜面を用いた50G場の遠心力模型振動実験を行い、個別要素法（DEM）による数値シミュレーション（図-4）と比較した結果、斜面が崩壊する入力レベルや崩壊形状が概ね実験と整合した、としている。

小山ら⁷⁾は、岩盤斜面を模擬した多層ブロックモデルを用いた振動台実験を実施し、不連続変形法（DDA）による数値シミュレーションと比較した結果、崩壊モードや加振終了後の斜面形状が概ね実験と整合した、としている。

以上のように、不連続体解析を用いた解析的取り組みは、DEMやDDAを中心に発展してきており、不連続岩盤斜面の地震時崩壊モードや崩壊形状を推定する有用な手法として期待される。一方で、上記事例以外の動的検討が少ないことや、実際の岩盤斜面では上記事例のような比較的均質な岩盤や不連続面が明確な岩盤は少なく、不連続面は複雑かつ不明であることから、実岩盤斜面への適用に向けては課題が残っている。

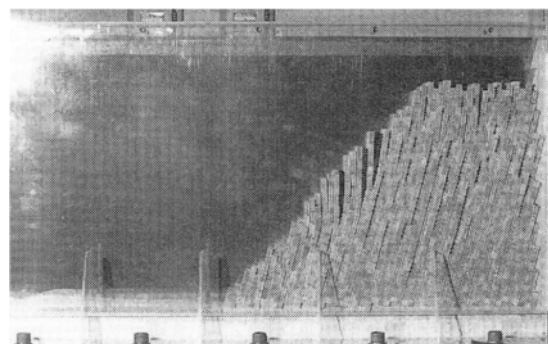


図-3 振動模型実験（清水ら⁹⁾）の一例

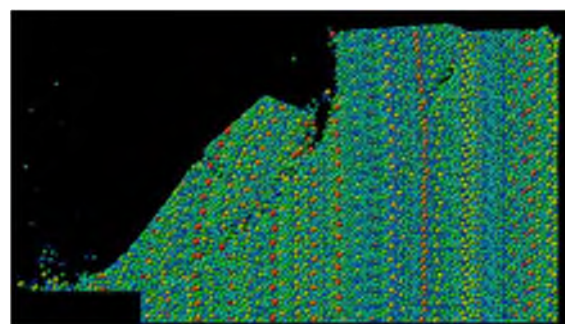


図-4 DEMによる泥岩斜面のシミュレーション（北爪ら⁸⁾）

3. 本研究の取り組みの概要（2020年までの成果）

岩盤動力学小委員会の実験・シミュレーションWGでは、2章で述べたような不連続岩盤斜面の耐震性評価に関する諸課題を踏まえ、不連続面を有する硬岩斜面の現実的な動的挙動を評価するための合理的な方法について検討している。

2020年までの活動では、不連続面がかみ合った硬岩をイメージして図-5に示す幅（対辺）6mm、長さ80mmの金属（SUS304）製の六角棒の集合体で模擬した高さ150mmおよび300mmの斜面模型（図-6）に対し、破壊するまで加振実験を行い、これに並行して静的・動的各種の解析手法で斜面模型が破壊する加振条件と崩壊形態について予測解析を実施し、実験結果との比較により、各手法の適用性や課題について考察した。なお、計算に用いるパラメータについては、提示された室内試験結果¹⁰⁾（表-1）をもとに、解析担当者各自が独自に決定した。

上記取り組みの成果については、第15回岩の力学国内シンポジウムにて「不連続性岩盤を模擬した金属六角棒

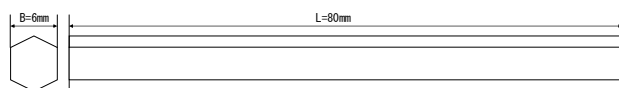


図-5 金属六角棒の外観

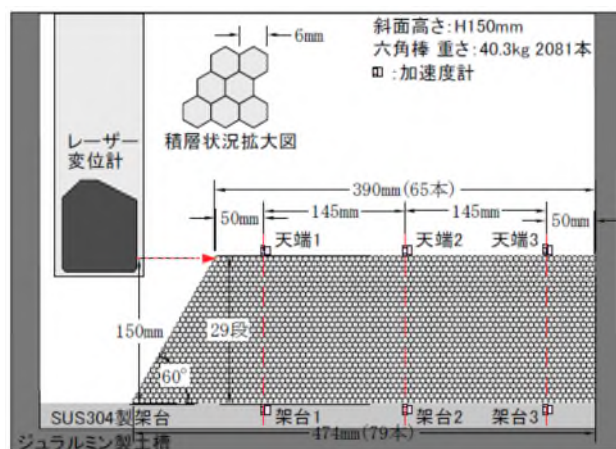


図-6 斜面模型（H150mm）

表-1 室内試験一覧¹⁰⁾

試験種別	試験No.	試験法	せん断面上の本数	積上げ段数	载荷条件
六角棒1対の境界面に対する試験	C-1	傾斜実験	1本	2段	単調
	C-2				単調
	C-3				繰返し
六角棒群が形成する境界面に対する試験	D-1	一面せん断試験	13本	12段	単調
	D-2				繰返し
	D-3		25本		単調
六角棒群により構成されるマスに対する試験	E-1	三軸圧縮試験	20本	31段	単調
	E-2				繰返し

積層の斜面模型の動的挙動評価」と題して連番で報告^{10)~20)}しており（表-2）、各実験および解析の詳細については、各報告を参照されたい。

本論文では、これらの予測解析結果について、現行のすべり安全率評価に用いられている等価線形解析および、その他の解析手法（静的解析、FEM非線形解析、不連続体解析）に分類し、傾向と課題を整理した。

(1) 静的解析

静的解析として極限平衡法¹²⁾と剛塑性FEM¹³⁾による検討を実施した。いずれも崩壊形状についてはある程度の推定できるものの、崩壊加振条件については大幅に過小評価となった。変位を考慮せず加速度一定の静的解析は、不連続岩盤斜面への適用性に課題を残す結果となった。

(2) 等価線形解析

清田ら¹⁴⁾の検討結果は、崩壊加振条件については、実験よりも早い加振ステップで崩壊しており、全体的にやや保守的な評価となった。これは要素破壊後の剛性低下を考慮しないため、過度に応力を負担していることが要因の一つとして考えられる。また、すべり安全率をもとに予測した崩壊形状（図-7）については、H150mmの斜面では、傾向をある程度再現した。

(3) FEM非線形解析

FEMによる動的な非線形解析については、時刻歴非線形解析¹⁵⁾およびMYM¹⁶⁾による検討を実施した。崩壊加振条件については、時刻歴非線形解析では法肩および天端の水平残留変位、MYMでは応答加速度の急変に着目して評価したが、概ね実験と整合する結果となった。崩壊形

表-2 前回の報告内容（第15回岩の力学国内シンポジウム）

分類	報告内容（論文サブタイトル）	担当者
室内試験	研究の取り組み方法と材料の室内試験 ¹⁰⁾	岡田
模型実験	斜面模型の加振実験 ¹¹⁾	納谷
静的解析	極限平衡法による安定性評価 ¹²⁾	亀村
	剛塑性有限要素法解析による検討 ¹³⁾	河村
FEMによる動的解析	等価線形化法による評価 ¹⁴⁾	清田
	非線形有限要素法による評価 ¹⁵⁾	鈴木・川村
不連続体モデルによる動的解析	複合降伏モデルによる評価 ¹⁶⁾	岩田
	2次元円形DEMによる評価 ¹⁷⁾	吉田
	二次元多角形DEMによる評価 ¹⁸⁾	河路
	不連続変形法の適用性に関する検討 ¹⁹⁾	馬
	改良型不連続変形法による予測解析 ²⁰⁾	橋本・小山

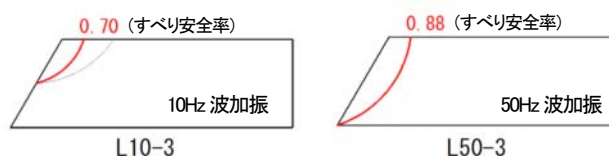


図-7 等価線形解析¹⁴⁾による崩壊形状の予測結果（H150mm）

状については、いずれも残留せん断ひずみ分布（図-8）をもとに推定したが、実用に向けては崩壊の発生を定義する変形量の評価基準値が必要である。

(4) 不連続体解析

不連続体モデルによる動的解析については、DEM（円形¹⁷⁾，多角形¹⁸⁾）およびDDA（従来型¹⁹⁾，改良型²⁰⁾）の4手法による検討を実施した。いずれの手法も崩壊加振条件，崩壊形状（図-9）ともある程度予測できたが，全体的にやや壊れやすい傾向と，解析手法による結果のばらつきが見られた。不連続体解析は，不連続面情報を適切に設定することにより合理的な評価手法となり得ることが示唆されたが，多くの場合不連続面の情報は不明であり，パラメータの適切な設定が課題である。

4. 本研究の取り組み方法（2021年の活動内容）

3章で示した前回（2020年まで）の検討結果を踏まえ，より合理的な評価手法の検討を目的に，前回と同じ斜面模型（H150mm）を対象とした遠心力載荷模型実験（25G，50G）および予測解析を実施した。

解析手法は前回と同様であるが，物理特性や力学特性に関する共通的なパラメータについては，前回（表-3，表-4）のように各自で設定すると解析結果相互の解釈が難しいことから，今回は等価連続体モデル，不連続体モデルそれぞれで同条件とする基本ケースを設定した。詳細は本論文と同一タイトルの連番(2)を参照されたい。

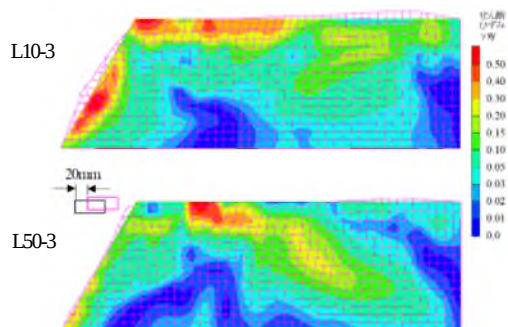


図-8 MYM¹⁸⁾による崩壊形状の予測結果（H150mm）

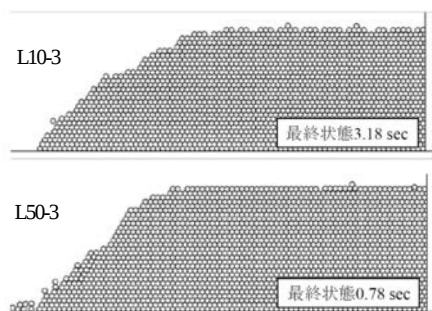


図-9 改良型DDA²⁰⁾による崩壊形状の予測結果（H150mm）

実験の力学的相似則を表-5に示す。金属の密度は約8で，岩の密度を約2と考えると，K=4となる。50G（N=50）の場合，高さ150mmの斜面模型は高さ30mの斜面，6mmの六角棒は120cmの六角形状岩塊に相当する。加振波についても25G（N=25）での50Hzの波，50G（N=50）での100Hzの波は，ともに1Hzとなる。よって，現実の岩盤斜面のスケールや地震の周波数に近い実験となり，より合理的な評価手法の検討が可能になると考える。

なお，本論文と同一タイトルの連番(2)で解析パラメータの設定のための室内試験結果を，連番(3)で遠心力載荷実験の結果を示す。連番(4)以降では，各解析担当者がその解析の結果を示しており，実験および解析の詳細については，各報告を参照されたい。

5. おわりに

不連続性岩盤斜面の動的挙動に関する文献調査を実施し，不連続性岩盤斜面の耐震性評価の現状と課題について

表-3 前回の主な解析パラメータ（等価連続体モデル）

パラメータ	等価線形解析	極限平衡法	剛塑性FEM	時刻歴非線形
密度	g/cm ³	7.83	—	7.83
ピーク強度	MPa φ=36.4	c=0 φ=45	c=0.002 φ=36	c=0 φ=36.4
残留強度	MPa φ=36.4	—	—	c=0 φ=36.4
ポアソン比	0.3	—	—	0.3
初期せん断弾性係数	MPa	1532σ _m ^{0.73}	—	1339σ _m ^{0.73}
動的変形特性	H-D	—	—	GHE
参照実験	E-1, E-2	強度各種	E-1	E-1, E-2

表-4 前回の主な解析パラメータ（不連続体モデル）

パラメータ	MYM	多角形DEM	改良DDA
金属			
密度	g/cm ³	7.83	8.0
ヤング率	MPa	1.9×10 ⁵	2.0×10 ⁵
ポアソン比	—	0.3	0.3
不連続面			
ピーク強度（=残留）	MPa c=0 φ=38.6	c=0 φ=6.7	c=0 φ=10
垂直剛性	MPa/m	2.2×10 ²	8.61×10 ⁵
せん断剛性	MPa/m	1.12×10 ²	1.0×10 ⁴
レーリー減衰	10Hz, 3%	10Hz, 3%	—
参照実験	D-3	C-3	C-2, D-3

注）MYMは等価連続体モデル

表-5 遠心模型実験の力学的相似則

単位	模型（遠心場）	実物	実物/模型
重力（加速度）	N	1	1/N
長さ	1/KN	1	KN
密度	K	1	1/K
時間	1/(√KN)	1	(√KN)
質量	1/KN ^{2/3}	1	KN ^{2/3}
力	1/KN ^{2/2}	1	KN ^{2/2}
応力	1	1	1
ひずみ	1	1	1

て整理した。また、本WGで実施した金属六角棒積層斜面模型の加振実験結果と各種解析手法を用いた予測解析結果から、各手法の適用性や、より合理的な評価に向けた課題について整理した。

参考文献

- 1) 日本電気協会・原子力規格委員会：原子力発電所耐震設計技術指針 JEAG4601-2015, 日本電気協会, 2015.
- 2) 石丸真, 河井正：遠心力模型実験による岩盤斜面の地震時安定性評価に関する基礎検討, 土木学会論文集 C, Vol.67, No.1, pp.36-49, 2011.
- 3) 伊藤悟郎, 菊地裕, 辨野裕, 石丸真：2011 年東北地方太平洋沖地震の観測波に対する実岩盤斜面の地震時安定性評価－評価手法の検証と高度化－, 地盤工学ジャーナル, Vol.13, No.1, pp.1-11, 2017.
- 4) 石丸真, 岡田哲実, 中村大史, 河井正, 風間基樹：軟岩のせん断破壊後の強度変形特性のモデル化と斜面の地震時すべり安定性評価への適用, 土木学会論文集 C, Vol.73, No.1, pp.23-38, 2017.
- 5) 岩田直樹, 高橋裕徳, 由利厚樹, 佐々木猛, 吉中龍之進：不連続面を有する岩盤斜面の地震時安定性に関する解析的検討, 第 43 回岩盤力学に関するシンポジウム講演集, pp.158-163, 2015.
- 6) 清水泰弘, Ömer AYDAN, 市川康明, 川本眺万：不連続性岩盤斜面の地震時における安定性と崩壊形状, 土木学会論文集, No.400/III-10, pp.189-198, 1988.
- 7) Ömer AYDAN, 川本眺万：不連続性岩盤斜面のトップリング破壊とその安定性について, 日本鉱業会誌, Vol.103, pap.No.1197, pp.763-770, 1987.
- 8) 北爪貴史, 中瀬 仁, 佐藤正行, 大津仁史, 曾良岡宏, 伊藤浩二：地盤材料の異なる斜面の地震時崩壊機構と変位量評価の適用性に関する相違－遠心力模型振動実験, 個別要素法及び Newmark 法による検討－, 降雨と地震に対する斜面崩壊機構と安定性評価に関するシンポジウム発表論文集, pp.321-326, 地盤工学会, 2009.
- 9) 小山倫史, 赤尾悟史, 西山哲, 大西有三：岩盤斜面の地震応答解析における不連続変形法 (DDA) の適用に関する研究, 土木学会論文集 C, Vol.65, No.3, pp.644-662, 2009.
- 10) 岡田哲実, 納谷朋広, 和仁雅明, 大塚康範：不連続性岩盤を模擬した金属六角棒積層の斜面模型の動的挙動評価(1)－研究の取り組み方法と材料の室内試験－, 第 15 回岩の力学国内シンポジウム講演集, pp.387-392, 2021.
- 11) 納谷朋広, 岡田哲実：不連続性岩盤を模擬した金属六角棒積層の斜面模型の動的挙動評価(2)－斜面模型の加振実験－, 第 15 回岩の力学国内シンポジウム講演集, pp.393-398, 2021.
- 12) 亀村勝美：不連続性岩盤を模擬した金属六角棒積層の斜面模型の動的挙動評価(3)－極限平衡法による安定性評価－, 第 15 回岩の力学国内シンポジウム講演集, pp.399-404, 2021.
- 13) 河村精一, 水野和憲, 大塚悟：不連続性岩盤を模擬した金属六角棒積層の斜面模型の動的挙動評価(4)－剛塑性有限要素法解析による検討－, 第 15 回岩の力学国内シンポジウム講演集, pp.405-410, 2021.
- 14) 清田亮二, 原田雅也, 東圭太：不連続性岩盤を模擬した金属六角棒積層の斜面模型の動的挙動評価(5)－等価線形化法による評価－, 第 15 回岩の力学国内シンポジウム講演集, pp.411-416, 2021.
- 15) 鈴木知晃, 川村稔也：不連続性岩盤を模擬した金属六角棒積層の斜面模型の動的挙動評価(6)－非線形有限要素法による評価－, 第 15 回岩の力学国内シンポジウム講演集, pp.417-422, 2021.
- 16) 岩田直樹, 松井章弘, 佐々木猛, 吉中龍之進：不連続性岩盤を模擬した金属六角棒積層の斜面模型の動的挙動評価(7)－複合降伏モデルによる評価－, 第 15 回岩の力学国内シンポジウム講演集, pp.423-428, 2021.
- 17) 吉田泰基：不連続性岩盤を模擬した金属六角棒積層の斜面模型の動的挙動評価(8)－2 次元円形 DEM による評価－, 第 15 回岩の力学国内シンポジウム講演集, pp.429-434, 2021.
- 18) 河路薫, 曹国強：不連続性岩盤を模擬した金属六角棒積層の斜面模型の動的挙動評価(9)－2 次元多角形 DEM による評価－, 第 15 回岩の力学国内シンポジウム講演集, pp.435-440, 2021.
- 19) 馬貴臣, 長谷川信介, 清水豊, 正木光一：不連続性岩盤を模擬した金属六角棒積層の斜面模型の動的挙動評価(10)－不連続変形法の適用性に関する検討－, 第 15 回岩の力学国内シンポジウム講演集, pp.441-446, 2021.
- 20) 橋本涼太, 小山倫史：不連続性岩盤を模擬した金属六角棒積層の斜面模型の動的挙動評価(11)－改良型不連続変形法による予測解析－, 第 15 回岩の力学国内シンポジウム講演集, pp.447-452, 2021.

CENTRIFUGE MODEL TEST OF SLOPE MODEL PILED STEEL HEXAGONAL BAR SIMULATING DISCONTINUOUS ROCK MASS (PART 1) - LITERATURE SURVEY AND RESEARCH METHOD -

Masaaki WANI, Tetsuji OKADA, Katsumi KAMEMURA, Seiichi KOMURA and
Yasunori OTSUKA

The purposes of this research are to clarify problems of seismic assessment of discontinuous rock mass and to search the solution to the problems. Therefore, the centrifuge model tests of slope model piled steel hexagonal bars simulating discontinuous rock mass are performed, and the vibration condition of collapse and the collapse forms are estimated using various analysis methods. In this paper, the current status and issues of the evaluation methods for the dynamic behavior of discontinuous rock slopes are described based on the literature survey and the results of the previous research.