

不連続性岩盤を模擬した金属六角棒積層斜面 模型の遠心力载荷加振実験(13) —改良型不連続変形法による評価—

橋本 涼太^{1*}・小山 倫史²

¹広島大学大学院 先進理工系科学研究科 (〒739-8527 広島県東広島市鏡山一丁目4-1)

²関西大学 社会安全学部 (〒569-1116 大阪府高槻市白梅町7-1)

*E-mail: ryotahashimoto@hiroshima-u.ac.jp

不連続性岩盤斜面の耐震設計において、き裂を陽に考慮可能な不連続体の数値解析手法が有用であると考えられるが、岩盤の力学特性を精緻に反映するための解析パラメータの合理的な決定方法は未だ明確ではない。本研究では、金属六角棒を積み上げた不連続性岩盤斜面模型の遠心力载荷加振実験を対象に、不連続性岩盤の解析手法の一つとして摩擦則の陰的積分法を導入した改良型の不連続変形法による解析を試みた。室内材料試験を元に三つの異なる方針で決定したパラメータ・セットを用いて解析を実施し、崩壊に至る加振ステップや形態、変位応答を実験と比較した。その結果、斜面の挙動を再現する上で不連続面の物性の拘束圧依存性や、斜面の周波数特性を考慮したパラメータ設定が重要であることが示唆された。

Key Words : rock slope, centrifugal loading experiment, shaking table test, dynamic analysis, discontinuous deformation analysis

1. はじめに

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安定解析手法として、実務的には等価線形化法を用いた有限要素法解析とそれに基づくすべり安全率の評価が行われている。また、不連続性岩盤を対象とした数値解析法としてはその他にも、有限要素法による等価連続体解析、個別要素法や不連続変形法といった不連続体ベースのもの等、多くの手法が開発されている。いずれの手法も不連続性岩盤の力学特性を表現するための材料あるいは数値計算上のパラメータが導入されているが、実務への適用を想定したときには、それらのパラメータの意味合いや設定方法が明確であることが望ましい。

これに対し最近、土木学会岩盤力学委員会内の岩盤動力学に関する研究小委員会（第3期：2019年6月-2022年3月）では、金属六角棒積層体で模擬した不連続性岩盤斜面の1G場での加振実験を行い、基礎的な材料試験結果のみを元に決定したパラメータにより連続体および不連続体の各種解析手法で解析する試みがなされた¹⁾。筆者ら²⁾も改良型の不連続変形法（Discontinuous Deformation Analysis: DDA）³⁾を使用して、上述の模型加振実験の予測解析を実施し、崩壊を生じる加速度振幅や加振周波数

による崩壊形態の違いを再現した。しかしながら、不連続面のせん断剛性や垂直剛性が拘束圧依存性を示すことを考慮すると、1G場で行われた縮小模型実験を再現できるパラメータ・セット、あるいはその決定方法が、実大斜面においても有効であるかは明らかではない。

本論文では、同じ金属六角棒積層斜面模型を用いて新たに実施された遠心力载荷加振実験⁴⁾の再現解析を改良型DDAにより実施した。1G場の模型実験の解析で使用したものに加え、不連続面のせん断剛性の拘束圧依存性や実務での岩盤の強度・変形特性の評価手順を考慮し、再検討したパラメータによる解析を行った。そして模型実験と各解析結果を比較することで、DDAを用いた不連続性岩盤の耐震性評価への適用性や課題を考察した。

2. 改良型不連続変形法について

DDAは、Shi & Goodman⁵⁾が提案した不連続体解析手法である。岩盤を複数の多角形（二次元の場合）の弾性体ブロックの集合としてモデル化し、ブロック間の接触、滑り、分離を考慮した動的および準静的挙動を解析する。ブロック間の接触は、あるブロックの頂点が別のブロッ

クの辺の間を通過し相互貫入した際に定義され、ペナルティバネによりその貫入を阻止することで接触が表現される。ペナルティバネは接触が生じている辺の法線・せん断各方向に挿入され、せん断方向にはクーロン則に従うスライダーを考慮して不連続面の摩擦特性を表現する。通常のDDAでは以上のモデル化の下、各ブロックのひずみや内力、変位拘束、物体力、表面力、慣性力、そしてブロック間のペナルティバネの変形等による全ポテンシャルエネルギーを最小化し、系全体の連立一次方程式に離散化された運動方程式を得る。これを時間増分ごとに逐次解くことで不連続性岩盤の挙動を解析する。

次に、DDAの接触検索処理について記す。DDAでは運動方程式の時間離散化にNewmarkの β 法を用いた陰解法を採用しており、各時間ステップでは未来の状態を表す運動方程式を解いている。よって、変位計算前の時点では未知である変位後のブロック間の接触状態（接触の有無や箇所）を求めるための反復計算が必要となる。この反復計算はOpen-Close繰返し計算⁹⁾と呼ばれ、ペナルティバネの挿入と削除を試行しながら連立方程式を繰り返し解き、変位後に貫入が生じているのにバネが挿入されていない、または接触していないのにバネがあるといった不整合が生じない条件を探索して、正しい接触状態を得る。

つづいて、筆者ら³⁾によるDDAの摩擦力処理の改良について記す。上述の通り、DDAは次の時刻の接触状態を探索して系全体に関する連立方程式を解く、陰解法に基づく手法である。そのため計算コストは高いが、毎ステップ全ブロックで力のつり合いを満足し、時間増分を比較的大きくできる。一方でペナルティバネの剛性や時間増分等パラメータの設定が難しいという課題が指摘されてきた⁷⁾。筆者らはこの原因が不連続面の摩擦力の更新法に起因して生じる不釣り合い力であることを指摘した上で、摩擦構成則の陰的積分アルゴリズムとNewton-Raphson法による反復解法を導入し、新たなパラメータを加えることなく高精度化、安定化を実現した。

本論文ではこの改良型のDDAを用いて、前報⁴⁾で実施された金属六角棒を積層した遠心力载荷加振実験の解析を行った。以降はこの改良型のDDAを単にDDAと呼ぶ。

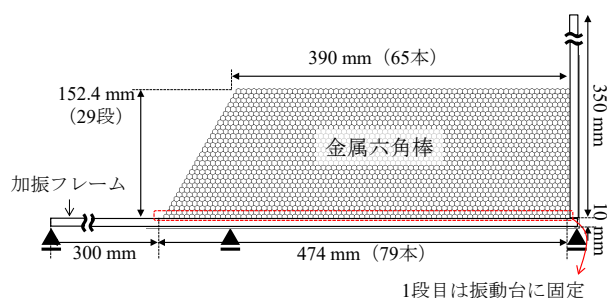


図-1 斜面模型のDDAモデル

3. 解析条件

(1) 解析モデル

遠心力载荷加振実験⁴⁾で用いられた金属六角棒を積層した岩盤斜面模型のDDAモデルを図-1に示す。モデルは斜面高さ150 mmで、斜面模型と加振用のフレームで構成されている。斜面模型は実験と同じ寸法、本数のブロックを積層し作成した。斜面模型の最下層のブロックはフレームに固定し、右端は特に固定等は施さずフレームと分離可能であり、実験条件を再現している。

(2) 解析パラメータと設定方法

用いたパラメータと設定値の一覧を表-1に示す。今回は1G場での加振実験の再現解析で使用した材料パラメータ・セット(a)に加えて、せん断ペナルティバネ剛性と摩擦角の値のみを再検討し変更した(b), (c)を使用した。

まず、金属六角棒の密度、ヤング率、ポアソン比には用いられたステンレス材料(SUS304)の一般的な値を使用した。また、フレームにも同じ値を用いた。

次に、設定値の再検討を行った不連続面のせん断剛性を表すせん断ペナルティバネの剛性と摩擦角について述べる。1G場の解析²⁾で用いたパラメータ・セット(a)では、せん断ペナルティバネ剛性を前報⁸⁾の試験シリーズC-2の垂直応力が比較的小さい0.05 MPaのケースから決定した。また、摩擦角は斜面模型の金属棒の集合としての強度を反映するため金属棒積層体の単調载荷一面せん断試験(シリーズD-3⁸⁾)から決定した。一方、実務では強度特性を静的試験、変形特性を動的試験で求めるのが一般的であることを考慮し、かつ両者を同様の供試体で決定することにしたのが前報⁸⁾の共通パラメータにあたるパラメータ・セット(b)である。すなわち、2本1対の六角棒を対象とした単調载荷一面せん断試験(シリーズC-2⁸⁾)で摩擦角を、繰返し载荷一面せん断試験(シリーズC-3⁸⁾)でせん断ペナルティバネ剛性を決定した。せん断ペナルティバネ剛性は、遠心場での拘束圧を考慮し、垂直応力0.4 MPaのケースをDDAでシミュレートし決定した(図-2)。そして、せん断ペナルティバネ剛性だけでなく摩擦角もシリーズC-3の動的試験から設定したのが、パラメータ・セット(c)である。

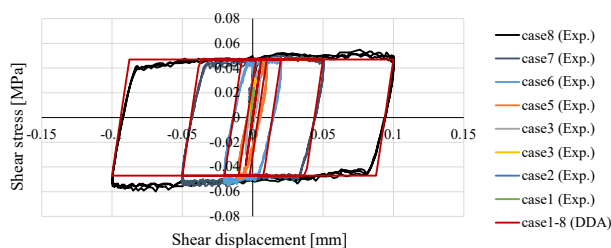


図-2 試験シリーズC-3⁸⁾の繰返し一面せん断試験(垂直応力0.4 MPa)とDDAによる解析結果

表-1 DDA で用いたパラメータと設定値

パラメータ	(a)	(b)	(c)
密度 [g/cm ³]	8.0 (一般値)		
ヤング率 [GPa]	200 (一般値)		
ポアソン比	0.3 (一般値)		
不連続面の摩擦角 [degree]	10.0 (試験 D-3)	16.0 (試験 C-2)	6.7 (試験 C-3)
せん断ペナルティ バネ剛性 [kN/m]	1.0×10^3 (試験 C-2)	1.0×10^4 (試験 C-3)	1.0×10^4 (試験 C-3)
法線ペナルティ バネ剛性 [kN/m]	1.0×10^5		
動的・静的ダンピング係数	自重載荷時：0.0, 加振時：1.0		
最大許容変位比	0.0005		
Close 基準	0.0 (不使用)		
Open 基準	0.0 (不使用)		
時間増分 [sec]	0.00005		

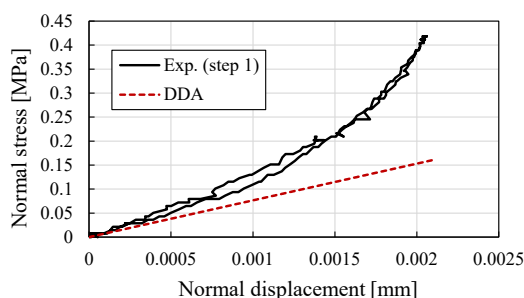


図-3 試験シリーズ C-3⁸⁾の垂直剛性試験（垂直応力 0.419 MPa）と DDA の垂直剛性の比較

法線ペナルティバネは不連続面の法線方向の変形をもたらす一方で、数値接触力学の理論的側面から言えば、物性値と言うよりは物理的にあり得ないブロック間の貫入を0にするためのパラメータで、無限大であるのが理想である。ただし、剛性マトリックス中の慣性項やブロック剛性の値のオーダーによっては方程式が悪条件となり計算が破綻するため、実際にはそうならない範囲で大きなバネ剛性を用いる。今回は1G場での解析²⁾に合わせて 1.0×10^5 kN/mを使用した。したがって、この値は材料試験から求めたものではないが、参考までに試験シリーズC-3の繰返し垂直載荷試験のうち、垂直応力の範囲が遠心載荷時の拘束圧に近いstep 1をDDAで解析した結果を図-3に示す。現在のDDAでは線形バネを使用しているため拘束圧依存性は考慮されないが、垂直応力-垂直変位関係は実験における初期剛性程度の勾配となった。

以上の不連続面のパラメータはフレームと金属棒の間にも同じ値を仮定したが、模型側方のフレームの摩擦角のみ自重載荷段階の摩擦の影響を除去するため0°とした。

動的・静的ダンピング係数は各ステップ間で慣性力を

どの程度減衰させるかにより動的条件と準静的条件を切り替える。0～1の値を取り1.0なら動的、0.0なら準静的となる。本論文では、後述の解析手順のうち、自重載荷過程では準静的条件、加振過程では減衰のない動的条件とした。なお、前報⁹⁾の指定の通り、Rayleigh減衰等の追加の減衰処理は行っていない。

最大許容変位比、Close基準、Open基準は接触検索に関わるパラメータである⁹⁾。最大許容変位比は接触検索距離を決めるパラメータで、これに解析モデルの高さ（フレームを含む360 mm）をかけた値の2倍の距離内のブロック同士が検索の対象となる。小さすぎると1ステップでこれを超える変位が生じた際に接触を検知できず、大きすぎると検索効率が落ちる。本論文ではこの観点から0.001, 0.0005, 0.0001の3パターンを試行・比較し、0.005に決定した。なお、この場合金属六角棒の短辺長さ6 mmの6%が検索範囲となる。

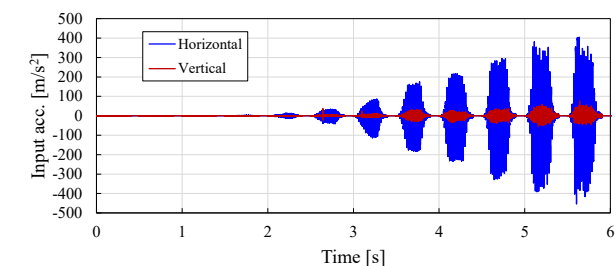
Close基準は前の時間ステップに接触していなかったブロック間の新たな接触を判定する際の貫入量の閾値を定めるパラメータであり、貫入量がこれに解析モデルの高さを乗じた値に達すると接触したと判定される。接触判定位置をブロックの表面より内側に設定すると接触が検知された瞬間に過大な反発力が生じる可能性があるため今回は0、つまりあるブロック表面をもう一方のブロックの頂点が通過したら接触したと判定することとした。

Open基準は接触中のブロックの分離を判定する距離（ギャップ）の閾値を定めるパラメータであり、ブロック間の距離がこれに解析モデルの高さを乗じた値に達すると分離したと判定される。接触と分離の判定位置をずらしてヒステリシスを持たせることでOpen-Close繰返し計算の収束性を高める効果がある。一方で、ブロック間にペナルティバネが存在したままギャップが生じている状態、すなわちブロック間の引張を許容することになる。今回は使用しなくても収束が確認できたため、0とした。

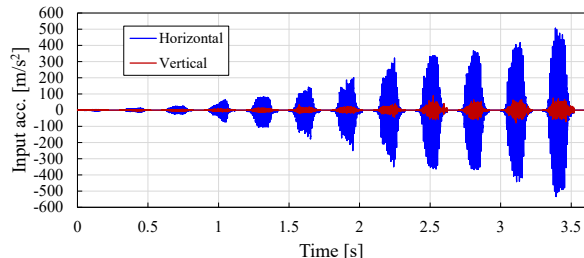
時間増分は精度と計算コストの観点からブロックの変位が最大許容変位比を超えず、運動方程式に関するNewton-Raphson法による反復計算が収束する範囲で大きな値を使用し、後述の全ケースで0.00005 secとした。

(3) 解析手順と加振条件

前報⁴⁾の遠心力載荷加振実験で実施された25Gおよび50G場のそれぞれで自重載荷から、ホワイトノイズ加振を除くStep 3～14の加振までを一連の流れで解析した。まず、準静的条件で模型に重力加速度を1Gあたり100ステップに分割して次第に増加させ与えた。その後、動的条件に切り替え、解析モデルのフレームに水平・鉛直各方向の入力加速度を時間積分して得られる変位を与え加振した。入力加速度には、実験時に架台で計測された各加振ステップの加速度波形をつなげて使用した（図-4）。



(a)遠心加速度25G



(b)遠心加速度50G

図-4 解析に使用した入力加速度波形

4. 解析結果

(1) 崩壊が生じた加振段階

パラメータ・セット(a)～(c)のそれぞれでいずれの遠心加速度でも斜面の崩壊が発生した。ここで言う崩壊とは、金属棒の落下が生じることである。表-2に各パラメータ・セット、遠心加速度における各加振ステップでの崩壊発生状況を記す。まず25Gでは実験でStep 12で崩壊が発生したのに対し、パラメータ・セット(a)ではStep 11にて、実験より小さな加速度で崩壊に至った。(b)と(c)ではStep 12で崩壊し、実験結果と一致した。また、崩壊開始後はいずれのパラメータ・セットも崩壊が進展した。

一方、50Gでは実験でStep 11で崩壊が発生してその後進展したのに対し、パラメータ・セット(a), (b), (c)ともにStep 14で初めて崩壊し、乖離が見られた。

(2) 各ケースの崩壊形態

遠心加速度25Gと50Gそれぞれについて実験および各解析で得られた斜面崩壊形態を比較する。

a) 遠心加速度25G

実験と解析で得たStep 11～14の各段階終了時の斜面形状を図-5に示す。紙面の制約上、解析は(a)と(b)のみ示す。実験といずれの解析ケースも斜面法肩の金属棒が落下し、それが加振ステップが進むにつれて右方に進展しており、崩壊形態が一致した。また、最終的な崩壊範囲や右方ほど勾配がなだらかになる斜面形状も再現された。

パラメータ・セット(a)と(b)で比較すると、先述の通り(a)の崩壊開始が早いだけでなく、その後の崩壊量も多くなった。表-1の通り、(a)では(b)に比べてせん断ペナルティ剛性が小さく、摩擦角が大きい。すなわち、不連続面の強度は大きいにも関わらず崩壊が顕著であった。

表-2 実験およびDDAでの崩壊発生状況

遠心 加速度	Step (入力加速度)	実験	解析 (a)	解析 (b)	解析 (c)
25G	3~10	なし	なし	なし	なし
	11 (225.9 m/s ²)	なし	発生	なし	なし
	12 (311.5 m/s ²)	発生	進展	発生	発生
	13 (385.8 m/s ²)	進展	進展	進展	進展
	14 (428.7 m/s ²)	進展	進展	進展	進展
50G	3~9	なし	なし	なし	なし
	10 (335.9 m/s ²)	なし	なし	なし	なし
	11 (349.4 m/s ²)	発生	なし	なし	なし
	12 (367.5 m/s ²)	進展	なし	なし	なし
	13 (428.6 m/s ²)	進展	なし	なし	なし
	14 (519.7 m/s ²)	進展	発生	発生	発生

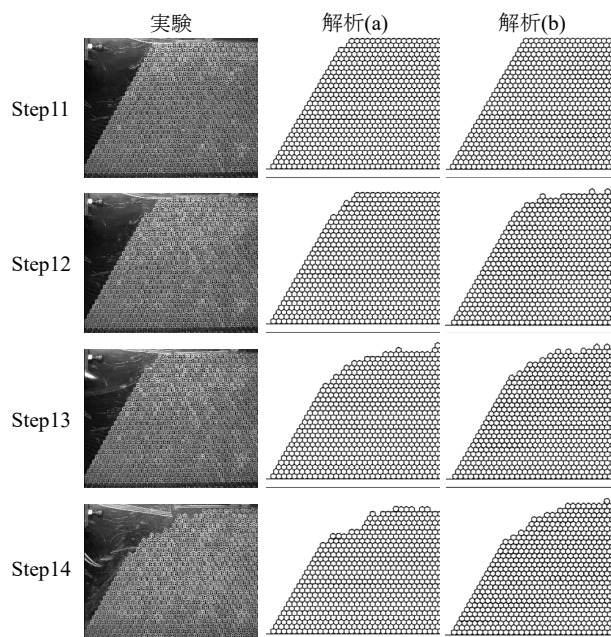


図-5 遠心加速度 25G の実験・解析における斜面形状の推移

b) 遠心加速度50G

つづいて、50Gについても実験と解析ケース(a)と(b)で得られたStep 10～14の加振ステップ終了時の斜面形状を図-6に示す。先述の通り、実験ではStep 11で崩壊が発生したのに対し、解析ではいずれのパラメータ・セットでもStep 13までは斜面崩壊が起こらず、Step 14で初めて崩壊が起こった。斜面法肩の金属棒が崩落するという形態は一致したものの、Step 11とStep 14では入力加速度がそれぞれ約350 m/s²と約520 m/s²であり、大きく乖離する結果となった。

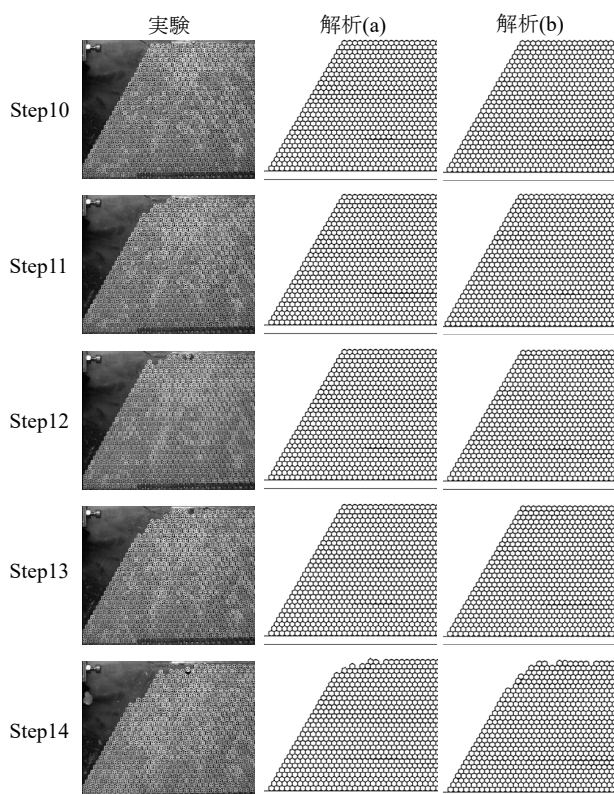


図-6 遠心加速度 50G の実験・解析における斜面形状の推移

(3) 解析結果の評価と課題

まず、遠心加速度25Gの場合に、パラメータ・セット(a)で崩壊開始ステップが実験と合致しなかった点について述べる。先述の通り、パラメータ・セット(a)では(c)より摩擦角が大きいかかわらず、実験での崩壊時の入力加速度 311.5 m/s^2 よりも小さな 225.9 m/s^2 で崩壊開始し、その後の崩壊の進展も大きかった。その理由としては法肩の崩壊メカニズムが挙げられる。図-7はパラメータ・セット(a)、Step 12での金属棒崩壊直前の様子であるが、法肩近辺の金属棒の層がしなるように斜面前方へと転倒している。このようなトップリング崩壊の場合、不連続面の弾性成分を含むせん断変形が転倒量に大きく影響すると考えられる。そのためせん断ペナルティバネ剛性、つまり不連続面のせん断剛性が小さい(a)で崩壊が顕著になったと考えられる。(b)や(c)のせん断ペナルティバネ剛性は、遠心場での応力レベルを考慮し、比較的大きな垂直応力下での一面せん断試験を元に設定しており、不連続面のせん断剛性の拘束圧依存性を考慮したパラメータ設定や、構成モデルの導入の重要性が示唆される。

次に、遠心加速度50GのDDA解析でパラメータ・セットに関わらず、斜面が崩壊するのに実験より大きな入力加速度を要した点について考察する。実験のみ崩壊が生じたStep 11での法肩の変位応答を、実験と解析(b)、(c)で比較したのが図-8である。時刻はStep 11の加振開始時を基準にした。解析では法肩の金属棒の変位を表示したが、実験では法肩の水平位置をレーザー変位計で計測してお

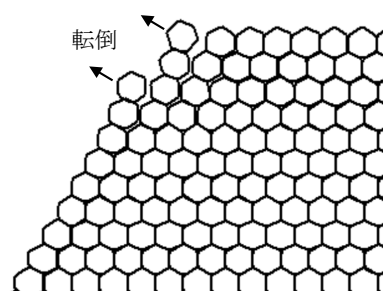


図-7 斜面法肩表層の転倒挙動

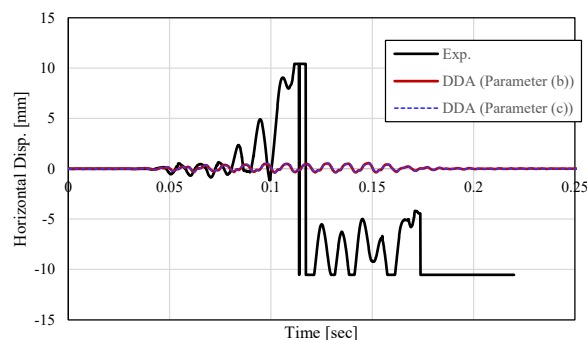


図-8 遠心加速度 50G, Step 11 における法肩水平変位

り、比較可能なのは実験で金属棒が落下し、非可逆的な負の値が生じる約0.11 secまでである。解析結果は、不連続面の摩擦角によらず、約0.08 secまでの可逆的な変形の範囲でも実験に比べ応答が小さく、原因としてDDAの斜面モデルが全体として剛性が高い、あるいは周波数応答特性が実験模型と乖離していた可能性が挙げられる。

剛性に関しては本研究の斜面モデルでは金属棒の剛性は十分に高いため、斜面の可逆的な変形に寄与するのは主に不連続面の変形特性である。まず、不連続面のせん断特性の観点では、実験では遠心加速度の増大による拘束圧の増加でせん断剛性が高まると見込まれるのに対し、DDAでは25Gと同じ値を使用している。つまり、25Gの場合に比べると、解析中のせん断剛性は実験に対し相対的に小さくなっていると推測される。また、不連続面の垂直剛性についても、今回の解析では法線ペナルティバネ剛性が図-3に示したように垂直載荷試験の初期勾配程度の一定値になっている。よって、斜面モデルは全体として実験模型よりも剛性が低いと推察される。そうであるにも関わらず、解析で得られた変位応答は実験よりも小さくなったことから、50Gのケースでは斜面の剛性そのものよりも周波数応答特性が影響したと推察される。

図-7にも示したように、対象とした斜面模型では斜面法肩の表層の金属棒が転倒して崩壊に至る。この変形形態では、複数の金属棒からなる柱の斜面前方への転倒が生じた後、崩落する前に逆向きに加振されると元の位置に戻るため、最終的な崩壊の有無は入力加速度の周波数成分と、斜面の固有周波数の影響を強く受ける。図-4の入力加速度は、25Gでは約50 Hz、50Gでは約100 Hzと、

異なる周波数の成分が卓越している。また、前報⁹⁾によれば、実験模型の変位応答に関する架台と天端の間のFFT振幅比がピークを示す周波数は25Gでは70～100 Hzおよび200 Hz、50Gでは130 Hz付近と、遠心加速度によって異なっていた。一方、斜面の解析モデルの固有周波数は、現状著者らのプログラムに固有値解析が実装されておらず得られていないが、25Gと50Gで同じパラメータ・セットを使い、拘束圧依存性も考慮されていないため大きくは変化しない。その結果として、25Gでは斜面の崩壊開始ステップを再現できたパラメータ・セットでも、50Gでは変形が小さく、実験結果との乖離が生じたと考えられる。

DDAは2章で述べたように質量マトリックスや剛性マトリックス等を構築して全体系の平衡方程式を解く手法であるため、固有値解析⁹⁾も可能であるが、岩盤に用いられた例はない。今後、ペナルティバネ剛性に関するパラメータ・スタディの実施や、固有値解析の導入を進めることで、DDAで不連続性岩盤をモデル化の際の合理的なパラメータ設定法を整理できると期待される。

5. おわりに

本研究では改良型不連続変形法³⁾を用いて、不連続性岩盤斜面模型の遠心力载荷加振実験の解析を行った。遠心加速度25Gでは、遠心場での応力レベルを考慮したせん断ペナルティバネ剛性の使用により実験とより整合する結果が得られた。一方、50GではDDAでモデル化した斜面の崩壊には実験よりも大きな入力加速度を要し、その原因としては、解析モデルと模型実験の固有周波数の乖離が考えられた。今後、固有値解析を導入してモデルの振動特性を検討することで、不連続性岩盤の耐震性評価時の合理的なパラメータ設定法の提案を目指す。

参考文献

- 1) 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.
- 2) 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.
- 3) 橋本涼太, 菊本統, 小山倫史: 摩擦構成則の陰的積分アルゴリズムを導入した不連続変形法 (DDA) の開発, 土木学会論文集 C (地圏工学), Vol. 75, No. 3, pp. 336-348, 2019.
- 4) 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斜面模型の遠心力载荷加振実験(3)―遠心力载荷加振実験―, 第48回岩盤力学に関するシンポジウム講演集, 2022. (投稿中)
- 5) Shi, G. H. and Goodman, R. E.: Generalization of discontinuous deformation analysis for forward modelling, Int. J. Numer. Anal. Methods Geomech., Vol. 13, pp. 359-380, 1989.
- 6) 大西有三, Shi Gen-Hua, 佐々木猛: 不連続変形法 (DDA) (計算力学レクチャーシリーズ), 丸善, 2005.
- 7) 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.
- 8) 岡田哲実, 納谷朋広: 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)―模型材料の力学試験―, 第48回岩盤力学に関するシンポジウム講演集, 2022. (投稿中)
- 9) Pearce, C. J., Thavalingam, A., Liao, Z. and Bićanić, N.: Computational aspects of the discontinuous deformation analysis framework for modelling concrete fracture, Eng. Fract. Mech., Vol. 65, pp. 283-298, 2000.

CENTRIFUGE TESTING TO DYNAMIC BEHAVIOR OF SLOPE MODEL PILED UP STEEL HEXAGONAL BAR SIMULATING DISCONTINUOUS ROCK MASS (PART 13) -EVALUATION BY IMPROVED DISCONTINUOUS DEFORMATION ANALYSIS-

Ryota HASHIMOTO and Tomofumi KOYAMA

In this study, to investigate the issues in the seismic stability evaluation of discontinuous rock slopes, a series of analyses of the centrifuge shaking table tests of slope models with piled up metal hexagonal rods was conducted using the improved discontinuous deformation analysis incorporating implicit updating algorithm of friction law. After setting the input parameters under three different concepts, the analysis results with those parameter sets were compared with the experimental results in terms of the collapsing shaking step and the failure mode. The results clarified the importance of the parameter identification considering the confining pressure dependency of joint properties and the frequency response of the slope.