

# 荒砥沢地すべりの発生機構に関する研究 — RBSM3D解析結果から —

Study on Development of Aratozawa Landslide by Three Dimensional Slope Stable Analysis used by Simplified RBSM

濱崎 英作((株)アドバンテクノロジー)\*, 山科 真一, 大野 亮一 (国土防災技術(株)),  
江坂 文寿(東北森林管理局), 山崎 孝成 (国土防災技術(株))

Eisaku Hamasaki(Advantech Technology Co.,Ltd), Shinichi Yamashina, Ryoichi Ohno(Japan Conservation Engineers & Co.,Ltd※) Fumitoshi Esaka(TOHOKU Regional Forest Office), Takanari Yamasaki(※)

キーワード：荒砥沢地すべり，三次元安定解析，RBSM，地すべり機構解析

Keywords：Aratozawa Landslide，3D slope stable analysis，RBSM，Development of landslide

## 1. はじめに

2008年6月14日の岩手・宮城内陸地震(Mj7.2)では荒砥沢ダム北方1Kmほどの上流部でダム湖に向かう本邦最大級の巨大地すべりが発生した。この地すべりは幅900m,長さ1300m,最大深度100mを超えるもので、移動距離も300-350mと極めて長いものであった。その平面形状は小判型をなし、主たる移動方向は概ね長軸方向のS35E方向である。今回、これまで報告されてきた地震応答解析(FEM)と不連続変形解析(DDA)の検討結果[1]などを踏まえ、RBSM3D[2]を用いた安定解析を実施した。この結果、当概ブロックの地すべり挙動について興味深い知見が得られたので、ここに報告するものである。

## 2. 解析方法

### 1)RBSM3D

RBSM3Dは地すべりをxy平面上でx,y軸それぞれに平行に等間隔格子で分割し、各々の剛体カラムのx,y方向側面とすべり接触面にせん断、垂直方向のペナルティバネ( $\lambda$ )を配置したモデルで、カラムのx,y,z方向の変位を未知数とし、剛体バネモデル(Rigid Body Spring Model)の離散化手法をもとに解くものである。結果として、カラム変位とすべり面のせん断力と垂直力が得られる他、せん断強度を与えることで地すべり安全率( $F_s$ )が得られる。 $\lambda$ はあくまで力の伝達が主たる役割であり弾性解として解くため、これまでのHovlandやJanbu3Dと同様の条件で解析可能で、極めて収束性がよく使い勝手に優れている。また、3次元の形状効果が得られること、変位ベクトルが結果として得られることなどから地すべり機構解析に有用である。今回、移動土塊のなかで複雑な地震応答が予測されるなか水平地震荷重などを部分的に掛けることが可能なこと、移動体の変位方向が極めて特徴的でこの再現が重要であることからRBSM3Dでの検討を試みた。

### 2)解析手順

安定解析に渡す等価水平震度( $Kh$ )については、今回のFEMで求められた地震応答解析結果をもとに、渡辺・馬場の方法[3]を採用して刻々の $Kh$ を求めた。これ

は、面積および土塊密度を重みとして地震加速度を平均化した式である。FEMによる地震応答解析では図1,2に示すような地すべり前と後の地形それぞれをモデル化して解析した。

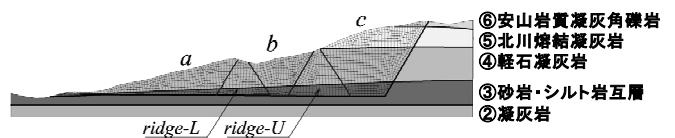


図1 すべり前地形 FEMモデル

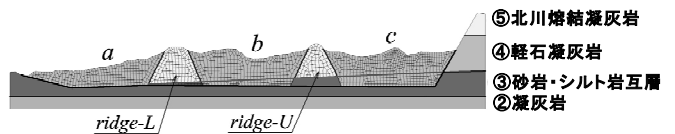


図2 すべり後地形 FEMモデル

表1に採用物性値( $\nu$ ,  $\gamma$ ,  $E$ ,  $G$ )を示す。

表1 採用物性値

No	地層名	ポアソン比		単位体積重量 [kN/m <sup>3</sup> ]	ヤング率 [kN/m <sup>2</sup> ]	せん断弾性係数		粘着力 [kPa]	内部摩擦角 [°]
		$\nu$ [-]	$\gamma$			$E$	$G$		
⑦	熔結凝灰岩	0.35	19.0	2,500,000	830,000	-	-	-	-
⑥	安山岩質凝灰角礫岩～凝灰岩・軽石凝灰岩互層	0.40	17.0	800,000	270,000	0	35	-	-
⑤	北川熔結凝灰岩	0.35	19.0	2,500,000	830,000	0	40	-	-
④	軽石凝灰岩	0.40	16.5	800,000	270,000	0	20	-	-
③	砂岩・シルト岩互層	0.35	17.5	1,500,000	500,000	25	20	-	-
②	凝灰岩	0.30	22.5	6,500,000	2,170,000	-	-	-	-
①	貫入岩	0.30	25.0	12,000,000	4,000,000	-	-	-	-

なお、RBSM3Dの安定解析では一律に一定数として $\lambda$ を採用しているので $\nu$ ,  $E$ ,  $G$ を必要としないが、 $C$ ,  $\phi$ については表1の右欄に示す値を用いた。

他方、DDAの解析結果では、図3に示すように現在残っている上下流二つのリッジに対し大きな水平物体

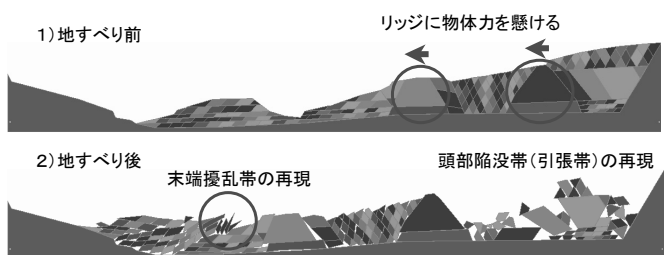


図3 DDA解析結果

力(下流>上流)を与えないと現象がうまく再現できないことが判った[1]. このことから, 水平震度について図 1,2 に示すように上下流のリッジ(ridge-L,U)と, それらを挟む a,b,c の計5領域に分けて刻々の  $Kh$  を求めた.

### 3. 解析結果

解析に用いた地震波は荒砥沢ダム基礎岩盤監査廊埋設のものである. 開始時刻からちょうど 10 秒後(2008/6/14 8:43:49)をスタートとし経過 3.23 秒~3.62 秒間の等価水平震度を 0.01 秒ずつ求めた. なお, この時間内での加速度成分は下流側成分だけである. その結果に基づき, 刻々の RBSM3D 安全率( $F_s$ )を求めた. なお, 地下水については地すべり周辺を取り巻く旧地形の沢を参考とし, また地すべり地外でのボーリング孔なども参考に水面形状を割り出した. この計算結果を図 4 にまとめた.

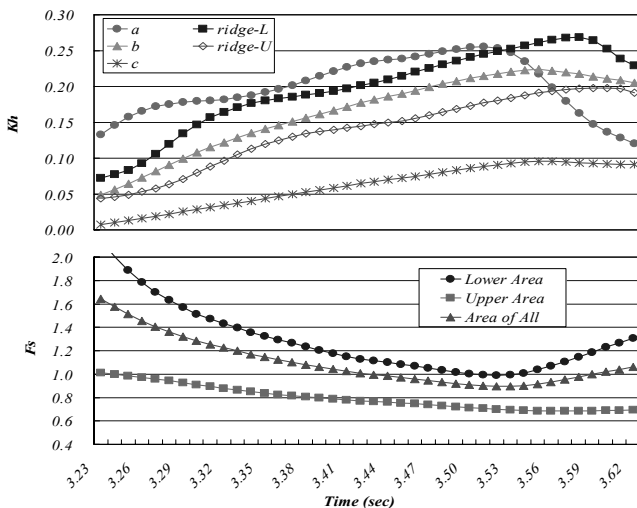


図 4  $Kh$  と  $F_s$  (RBSM3D) の関係(3.48-3.62 秒)

ここで, 図 5 に示すように, 旧地すべり地形に相当する領域を下部 (Lower-Area), その背後を上部 (Upper-Area) とし, さらに全体 (Area of All) と, 計3つについて表面力を求め  $F_s$  を算出した.

図 4 から地震応答の大きさやピーク時期に領域差があることがわかる. なお 3.51 秒から 3.58 秒後に概ね全ての領域で  $Kh$  が最大になる. この結果, 下部領域で見ると 3.51 秒後に  $F_s < 1.0$  となり, 3.52 秒後に最小となる. 一方, 図 5 は 3.52 秒後の解析変位ベクトル(実線)と調査によって判明した方位(破線)を示すものである. また, 引張・圧縮の歪みを色調コントラストで示す.

図 5 に示すように解析で得られたベクトル方向は上部領域で長軸方向から  $6.5^\circ$  東, 下部領域で  $0.7^\circ$  西に振れている. これは調査で得られた方位にはほぼ整合する. なお, 変位ベクトルから計算される平面の歪み分布も頭部に広がる大陥没領域で大きな引張を示し, 末端擾乱帯での圧縮も表現している. ちなみに,  $Kh=0$  のときは, 全体の  $F_s$  が 2.9(このとき, 上部領域 1.10, 下部領域

7.87)であった. 次に図 2 に示す地すべり後地形についても, 最大応答加速度で検討した. このとき破壊による移動体剛性低減を 1/4 と見込んで検討した結果,  $Kh=0.14$  となり安全率は全体で  $F_s=1.469$  となった.

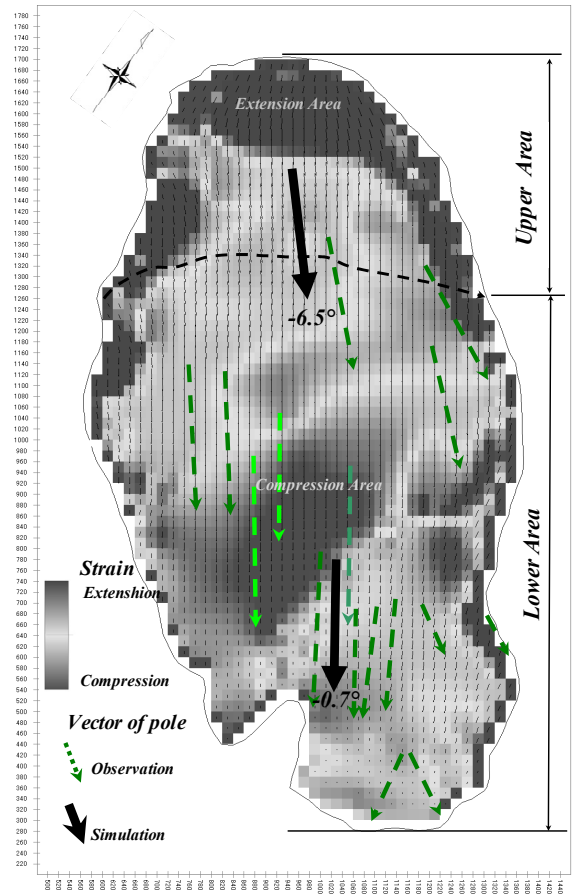


図 5 RBSM3D による変位ベクトル(3.52 秒後)

### 4. まとめ

荒砥沢地すべりにおいて刻々と変化する FEM 地震応答結果を領域毎に等価水平震度 ( $Kh$ ) として求める手法を用い, RBSM3D を組み合わせて時刻列の安定解析を試みた. 結果, もっとも不安定な時の変位方向に解析結果と実際の動きが概ね一致し, 歪み分布も現象に大略整合した解が得られた.

### 【参考文献】

- [1] 大野亮一他(2009): 大規模地すべりの発生機構—地震解析でみる荒砥沢地すべり—, すべり学会シンポジウム講演集
- [2] 濱崎英作, 竹内則雄, 大西有三(2006): 三次元斜面安定問題に対する簡易離散化極限解析法の開発, 地すべり, Vol. 42, No. 5, pp. 9-17
- [3] 渡辺啓行, 馬場恭平(1981): フィルダムの動的解析に基づくすべり安定評価手法の一考察, 大ダム, No. 97, pp25-38