

# 2018年スラウェシ島地震における緩斜面地すべりの発生メカニズムに関する解析的検討

山本 航<sup>1</sup>・飛田哲男<sup>2</sup>

<sup>1</sup>学生会員 関西大学 理工学研究科 (〒564-8680 大阪府吹田市山手町 3-3-35)

E-mail: k042463@kansai-u.ac.jp

<sup>2</sup>正会員 関西大学環境都市工学部 (〒564-8680 大阪府吹田市山手町 3-3-35)

E-mail: [tobita@kansai-u.ac.jp](mailto:tobita@kansai-u.ac.jp) (Corresponding Author)

2018年インドネシア・スラウェシ島地震の際、震源から約80km南に位置するパル市では、表層の傾斜角が約2°程度の緩斜面において、液状化に起因すると推測される大規模な地すべりが発生し、多くの建物が倒壊し、2000人以上が亡くなる甚大な被害となった。本研究では、パル市 Balaroa 地区の斜面に対し、解析条件として非排水条件を想定した二次元有効応力解析法によって、この地すべりの発生メカニズムを明らかにすることを目的とする。被害地域を想定した傾斜角2°での解析では、表層の移動距離は実際の移動距離と比較すると、大幅に過小評価となったが、地表面の移動量が地盤のせん断強度に大きく依存することがわかった。

**Key Words:** *liquefaction, landslide, earthquake, effective stress analysis*

## 1. はじめに

2018年9月28日18時2分(現地時間)、インドネシア、スラウェシ島北部に位置するパル市近郊でマグニチュード7.5(震源深さ:10km)の大地震が発生した。震源は0.178°S, 119.840°Eに位置し、震源断層は左横ずれ断層であるパル-コロ断層と推定されている<sup>1)</sup>。この地震によりパル市の Balaroa, Petobo (図-1), Jono Oge, Lolu Village, Sibalaya の5つの地域で、傾斜角約1.5°から2.0°の超緩斜面で液状化に起因すると推測される地すべりが発生し2,000人以上が亡くなった<sup>2)</sup>。これまでの地震による液状化被害は、住宅が傾くなどの物的被害が中心であり、人的被害に関する報告は極めて少ない。したがって、今回の被災メカニズムについては詳細な検討が必要であり、その結果は将来の防災に活かされなければならない。

本研究の目的は、数値解析的検討により傾斜角が非常に小さい斜面の地すべりメカニズムを解明することである。解析に当たっては、無限長斜面を仮定したモデル化を行う。また、すべり面はボーリングデータから推定される深度に設定し液状化を考慮する。



図-1 地すべりが観測された地域(Petobo)(Google Earth を用いて作図した)

## 2. 解析条件

本研究では、多重せん断機構を土の構成則とする二次元有限要素有効応力解析プログラム FLIP<sup>24</sup>を用いて解析を行う。本解析コードに採用されている構成則は、粒状体としての土粒子間の相互作用をファブリックテンソルとして定式化しており、砂の液状化から粘土の圧密挙動まで、広い範囲の土の挙動が再現できる。以下、ひずみと応力は、圧縮を正とする。

### (1) 地盤モデルについて

解析パラメータの設定に当たっては、図-2 に示すラウエシ島地震の際に地すべりが発生したパル市 Balaraa 地区の地すべり上端部で行われたボーリング (BH-01) 記録を参照した<sup>5)</sup>。この地点の土層は、地表から約 3m までは N 値 2 程度の非常にゆるい砂層、深度約 3-6 m は N 値 8 のゆるい砂層、それ以深の深度 19m までは N 値が 11 から 23 の中密から密なシルト粘土質砂層、深度 19m 以深は N 値が 100 を超えるシルト質砂層となっている。また、岩当たりによる N 値の異常値が見られることから、当該地点の少なくとも表層 30m 程度は土石流堆積物から構成されるものと推測される。このことは、当該地点の地形が東傾斜の扇状地であることからわかる。さらに現地調査の結果と合わせると、すべり面の深度は約 6m 付近のゆるい砂層であると推定される。

このボーリング柱状図から深度ごとの地盤種別を読み取り図-3に示す地盤モデルを作成した。次いで各層の N 値、細粒分含有率 Fc (%) を読み取り、今回用いた数値解析コードに付随する簡易設定法<sup>9)</sup>を用いて、有効上載圧 98 kN/m<sup>2</sup> に対する値として表-1 に示すように各地盤パラメータを決定した。ここで岩あたりによる異常値として無視した。すべり面は、宅地防災マニュアル<sup>7)</sup>を参考にし、深度 3m から 6m のゆるい砂層「Loose brown poorly graded SAND with gravel」とし、液状化対象層とした。以下この層を「弱層」と呼ぶ。

解析に用いた地盤は傾斜角 2° の無限長斜面とし、1 次元 (柱状) の有限要素メッシュを作成した。メッシュの寸法は一辺 0.5m の正方形とし、これを高さ 30m まで積み上げる。総節点数 122、総要素数 60 である。この時隣り合った節点の自由度は x 方向、y 方向どちらも同一とした。

入力地震動は、元の地震動  $A(t)$  を斜面に平行と垂直方向の 2 成分にベクトル分解し両成分を水平及び鉛直成分として入力した。すなわち、斜面の傾斜角が  $\theta$  の場合、加速度の斜面方向成分を  $a_n(t)$ 、垂直成分を  $a_v(t)$  とする

$$a_n(t) = A(t)\cos\theta$$

$$a_v(t) = A(t)\sin\theta$$

で与えられる。

地下水面については、Balaraa 地区の他 2 地点のボーリング図の地下水面が地表面と一致していたことも考慮し、簡素化を図るために地表面と一致するとみなし、全層飽和で和状態であることを仮定し解析を行った。ただし、先に述べたように液状化対象層は、図-3 の弱層のみとする。



図-2 ボーリング地点(BH-01)と地震動観測地点<sup>5)</sup>

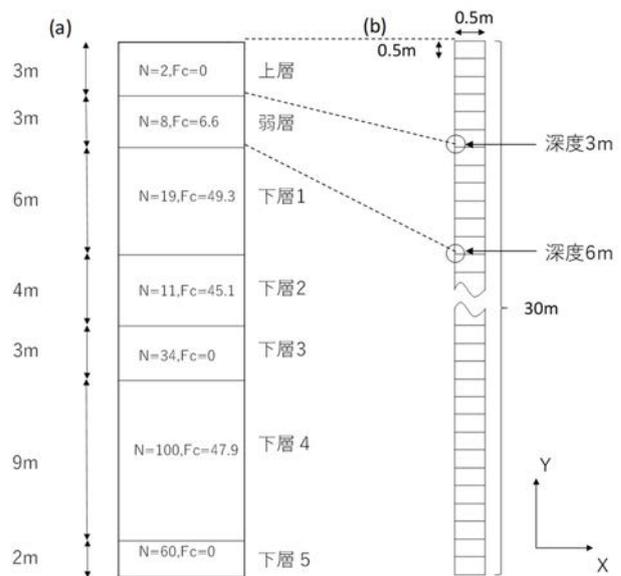


図-3 ボーリング柱状図から定めた地盤種別と境界深度<sup>5)</sup>を参照

表-1 N値と細粒分含有率(Fc)から簡易設定法<sup>9)</sup>により求めた地盤モデルの物性値

	上層	弱層	下層1	下層2	下層3	下層4	下層5
N値	2	8	19	11	34	100	60
細粒分 Fc %	0	6.6	49.3	45.1	0	47.9	0
初期せん断剛性 G kPa	18678	49334	113964	77395	123491	342260	180337
体積弾性係数 K kPa	48710	128655	297200	201834	322046	892560	470290
平均有効拘束圧 Pa kPa	98	98	98	98	98	98	98
拘束圧依存係数 $m_c/n_c$	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
質量密度 $\rho$ g/cm <sup>3</sup>	2.092	2.064	1.881	1.899	2.092	1.887	2.092
間隙率 n	0.502	0.444	0.506	0.517	0.411	0.501	0.403
粘着力 c kPa	0	0	0	0	0	0	0
内部摩擦角 $\phi_1$ 度	32.54	35.16	40.99	38.49	42.63	41.08	43.56
最大減衰定数 Hmax	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24

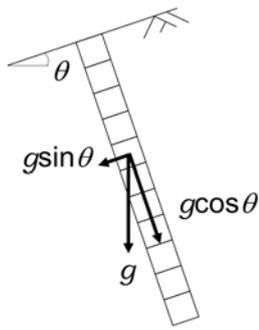


図-4 傾斜角を考慮した自重解析における重力加速度の設定方法

(2) 解析手順

まず自重解析により傾斜角に応じた初期せん断応力を各要素に与える(図-4)。自重解析は、完全排水条件の下で、斜面に作用する重力加速度  $g$  ( $=9.8\text{m/s}^2$ ) を、傾斜角  $\theta$  に応じて、x 方向、y 方向にベクトル分解し、それらを同時に作用させることによって行った。一方、地震応答解析は非排水条件下で、2. (1) で述べたように斜面に平行、垂直方向の地震動を入力した。

本解析では図-5、図-6 に示す地震動<sup>5)</sup>を入力地震動とする。本地震動は図-2 に示す地震動観測地点で観測されたものであるが、紙ベースの波形からデジタイズされたものである。図-5、図-6 より、最大加速度振幅は約  $2.8\text{m/s}^2$ 、卓越振動数は約  $0.40\text{Hz}$  から  $0.5\text{Hz}$  である。Balaraa 地区で発生した地表変位は南西から北東へ生じているため、今回は東西方向の変位を考慮して EW 成分の波形を用いた。地震動が記録されている 40 秒間については解析時間間隔を  $0.001$  秒とし、その後の 20 秒を時間間隔  $0.1$  秒、次の 540 秒を時間間隔  $1.0$  秒に設定し地震後の地盤変動を考慮した合計 10 分間の解析を行った。

2019 Palu, Indonesia Earthquake  
 PCI-PALU (BMKG-JICA)  
 Observatory station : PCI-PALU (BMKG - JICA)  
 Location : 0.90554°S 119.83666°E (80 km to the south of the epicenter)  
 Strong motion accelerometer components : EW, NS, and UD  
 Recording period : 10:02:30 to 10:04:10 (UTC)

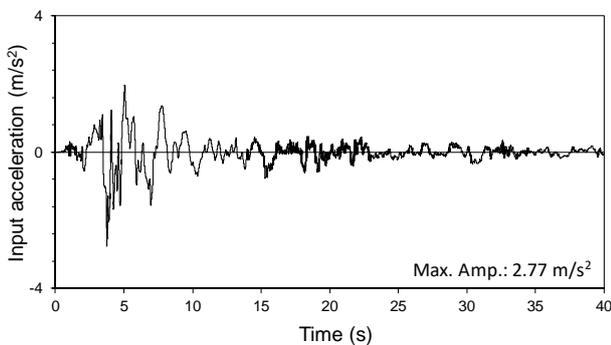


図-5 パルで観測された入力地震動 (EW 成分)<sup>5)</sup>

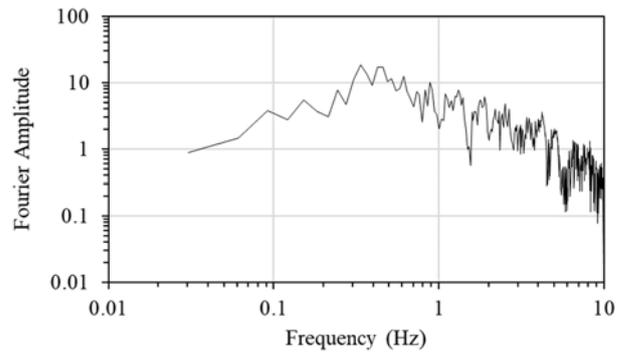


図-6 入力地震動 (EW 成分)<sup>5)</sup>のフーリエスペクトル

(3) 弱層に使用した液状化パラメータについて

本研究では、パルで発生した地すべりを液状化に起因するものと想定し液状化パラメータの違いによる変形を比較するために、豊浦砂と Sibalaya で原位置採取されたシルト質砂(以下、Sibalaya 砂)の室内試験<sup>8)</sup>の結果を用いた。パラメータの設定は豊浦砂 ( $D_r=40\%$ ) の液状化強度曲線(せん断ひずみ片振幅  $7.5\%$ )<sup>9)</sup>と Sibalaya 砂 ( $D_r=12.1\sim 13.1\%$ ) の液状化強度(せん断ひずみ片振幅  $7.5\%$ )に対して、図-7 に示すように液状化強度曲線に対してフィッティングすることで液状化パラメータを求めた(表-2)。

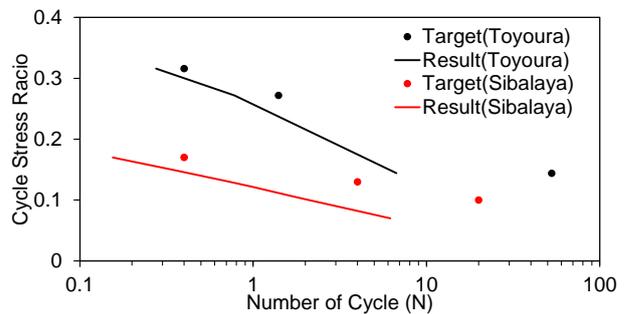


図-7 液状化強度曲線<sup>9)</sup>

表-2 液状化パラメータ

	Toyouura	Sibalaya
$\varepsilon_d^{cm}$	0.20	0.15
$r_{\varepsilon_d}^C$	1.20	2.00
$r_{\varepsilon_d}$	0.20	1.60
$q_1$	3.50	3.80
$q_2$	0.50	1.00
$l_k$	2.00	2.00
$r_k$	1.00	0.49
$c_1$	1.00	1.00
$q_{us}$	20.00	20.00
$S_1$	0.005	0.005

#### (4) 検討ケース

表-3に示すように、まず基本ケース(Case 1-1)として、Balaraa 地区の地表面傾斜角  $2^\circ$  を想定し、せん断強度  $q_{us}=10\text{kN/m}^2$ 、変相角  $28$  度、入力加速度振幅の倍率 1 倍に対する解析を行った。その結果、表-4 に示すように地表面変位量が豊浦砂では  $1.18\text{m}$ 、Sibalaya 砂では  $0.594\text{m}$  となり、実際の移動距離  $350\text{m}$  と比較するとかなり過小評価となった。そこで、地表面変位に影響を及ぼすと考えられるすべり面の傾斜角、せん断強度、変相角、入力加速度振幅の倍率を表-3 のように変化させることとした。解析ケースは、豊浦砂と Sibalaya 砂の 2 種の土のそれぞれに対し表-3 に示す 13 ケース (計 26 ケース) を行った。

表-3 解析検討ケース

Case	すべり面の傾斜角(deg)	せん断強度 $q_{us}$ (kN/m <sup>2</sup> )	変相角 $\Phi_p$ (deg)	入力加速度振幅の倍率
1	1	20	28	1
	2			
	3			
2	1	10	28	1
	2			
	3			
3	1	20	8	1
	2		18	
	3		32	
4	1	20	28	1.5
	2			2
	3			5
5	2	3	28	1

### 3. 解析結果

図-8 に示す Case 1-1 の応答加速度時刻歴より、弱層下端に比べ表層では加速度振幅が約  $2/3$  に減衰している。また約 5 秒以降に高周波成分がならなくなっている。これより、弱層下端以浅の地盤が軟化していることが推察される。表-4 に各解析ケースで得られた地表面変位量を示す。基本ケースから傾斜角を  $10^\circ$ 、 $15^\circ$  と変えたケース(Case 1-2, 1-3)では、地表面変位量は豊浦砂では  $9.66\text{m}$ 、 $105\text{m}$  となり、Sibalaya 砂では  $7.36\text{m}$ 、 $103\text{m}$  となった。これに対して、せん断強度を  $10\text{kN/m}^2$  まで小さくしたケース(Case 2)では、傾斜角を  $10^\circ$ 、 $15^\circ$  に変えると、豊浦砂、Sibalaya 砂の両者で地表面変位は  $312\text{m}$ 、 $338\text{m}$  となった。これはせん断強度を小さくしたことによって、初期せん断応力がせん断強度を上回り、弱層が液状化する前に地盤が破壊したためであると推測される。

基本ケースから変相角を変えた場合(Case 3)では、地表面変位は豊浦砂、Sibalaya 砂で大きな違いは見られず、変相角が地表面変位に与える影響は小さいといえる。

入力加速度の振幅を変化させた場合(Case 4)では、入力加速度の振幅を 5 倍にまで増加させても地表面変位

は  $10.5\text{m}$  であり、実際の移動距離と比較し、過小評価となった。また、入力加速度の振幅を 5 倍にしたケースで、豊浦砂では  $10.5\text{m}$ 、Sibalaya 砂では  $2.61\text{m}$  と大きな違いが見られた。

図-9 に示すように Case 1 と Case 2 の地表面変位を比較すると、せん断強度の違いによって大きな違いが出ることが分かる。図-10 に自重解析から得られた各傾斜地盤の初期せん断応力の深さ分布を示す。同図より、傾斜角が  $2$  度の場合、初期せん断応力は、弱層の上端で約  $2\text{kN/m}^2$ 、下端で約  $4\text{kN/m}^2$  となっている。そこで、実地盤のせん断強度は Case 1-1 で想定したせん断強度  $20\text{kN/m}^2$  よりもかなり小さいのではないかと考え、Case 5 ではせん断強度を  $3\text{kN/m}^2$  と小さく設定して解析を行った。その結果豊浦砂で  $15\text{m}$ 、Sibalaya 砂で  $12.9\text{m}$  の地表面変位となった。実際の移動距離と比較すると過小評価となったが、基本ケースと比較すると、せん断強度が地表面変位に与える影響は大きいといえる。

表-4 各ケースごとの地表面変位量

Case	Surface ground displacement (m)	
	Toyoura	Sibalaya
1	1	0.594
	2	7.36
	3	103
2	1	0.67
	2	312
	3	338
3	1	0.260
	2	0.467
	3	0.64
4	1	0.851
	2	1.08
	3	2.61
5	-	12.9

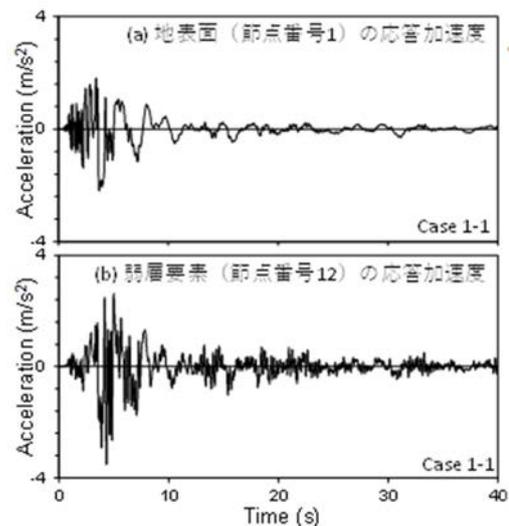


図-8 Case 1-1 の応答加速度(a)Case 1-1 地表-節点番号 1、(b)Case 1-1 弱層下端-節点番号 12

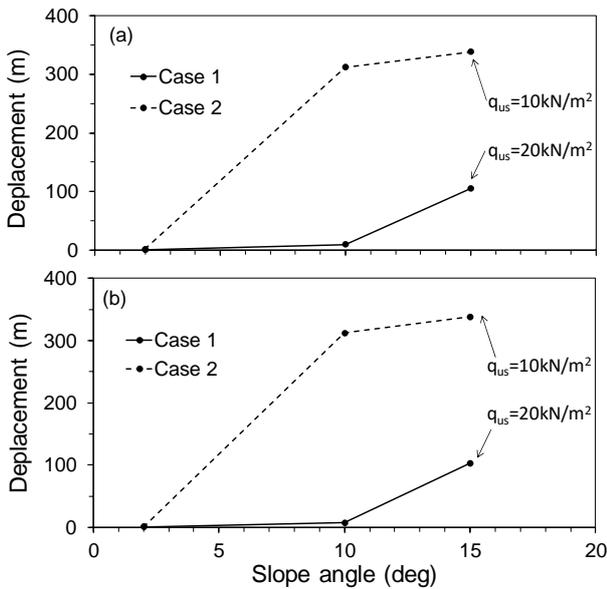


図-9 Case 1 と Case 2 の比較：(a)豊浦砂，(b)Sibalaya 砂

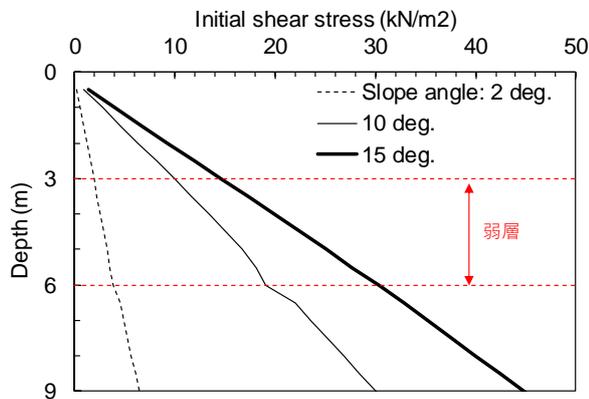


図-10 傾斜角 2°, 10°, 15° の各深度における初期せん断応力

### (1) 液状化強度と地表面変位量の比較

豊浦砂と Sibalaya 砂の地表面変位量を比較すると、液状化強度の低い Sibalaya 砂の方が、液状化強度の高い豊浦砂よりも地表面変位が小さくなった。Case 1-1 における液状化強度の違いによる地中の最大加速度分布と相対変位分布の比較を図-11、図-12 に示す。図-11 において、弱層中間の深度 4.5m までは最大加速度の大きな違いは見られないが、4.5m 以浅では Sibalaya 砂の最大加速度の減衰が豊浦砂に比べて大きいことが分かる。これは、Sibalaya 砂の方が液状化程度が大きいため弱層が免振層の役割を果たしたためであると推測される。図-12 から、いずれの土の場合においても弱層内に変形が集中していることがわかる。

### (2) 初期せん断応力とせん断強度の関係

図-10 に示す自重解析後の初期せん断応力分布より、傾斜角 15° では、弱層の GL-4m 以深の範囲で初期せん断応力が Case 1 のせん断強度 20 kN/m<sup>2</sup> を上回っており、弱層の大部分で不安定である。一方、傾斜角 10° では、

Case 1 のせん断強度 20 kN/m<sup>2</sup> を初期せん断応力は下回っているため安定であると言える。この影響は図-9 に現れており、いずれの土の場合においてもせん断強度が小さい Case 2 の方が変位量が多い。また弱層のせん断強度を 10 kN/m<sup>2</sup> に設定した Case 2 では傾斜角が 10 度、15 度において弱層部分のすべての初期せん断強度が 10 kN/m<sup>2</sup> を上回るため、液状化の発生に関わらず地表面変位が増大したと考えられる。

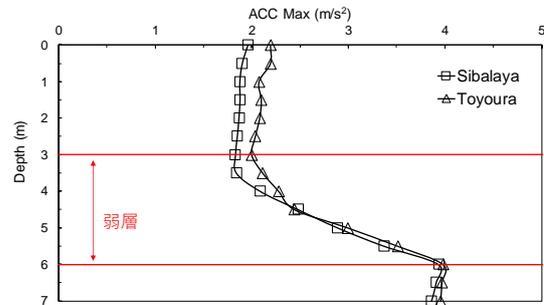


図-11 地中最大加速度の比較 (Case 1-1)

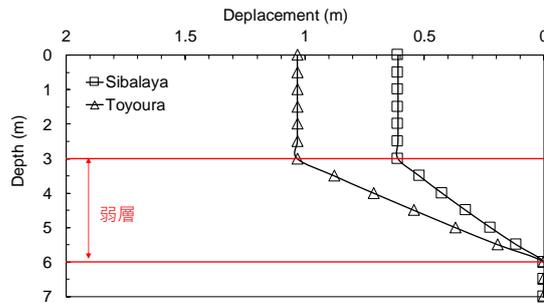


図-12 地中相対変位の比較 (Case 1-1)

図-13 から図-14 は、Case 1-1, Case 2-1, Case 2-2, Case 2-3 における弱層下端の要素 (要素番号 12) の加振中の (a)せん断応力の時刻歴、(b)せん断ひずみの時刻歴 (c)せん断応力-せん断ひずみ関係、(d)有効応力経路を示すものである。まず Case 1-1 (図-13) についてみると、加振と共にせん断ひずみが 40% 程度まで増加していることがわかる (図-13(a))。応力については初期値約 4 kN/m<sup>2</sup> から始まり、約 8 秒以降ほぼ初期せん断応力程度の一定値となっていることがわかる (同図(b))。応力ひずみ関係は、振動初期に大きく立ち上がり、その後一定の応力の元ひずみが増大している (同図(c))。有効応力経路より、地盤はほぼ液状化しているものと推察されるが、完全な液状化には至っておらず、変相線を少し超えたところでせん断応力が一定値を取っている (同図(d))。この傾向は、せん断強度を 10 kN/m<sup>2</sup> に低下させた Case 2-1 (図-14) でも同様である。傾斜角を 10 度と 15 度に増加させた Case 2-2 (図-15) と Case 2-3 (図-16) についてみると、傾斜角の増加に伴って初期せん断応力の値が増加してい

ることがわかる（同図(b), (d)）. Case 2-2の有効応力経路には、加振初期にせん断応力の振幅が見られるのに対し、Case 2-3のそれには同様の振幅は全く見られず、加振により急速に有効応力が低下していることがわかる。ただし、変相線に到達したのち、ダイレイタンスー挙動を示し、せん断強度  $10\text{kN/m}^2$  に至るまでせん断応力がわずかに増加し、その後せん断ひずみが増大している。図-15(c)、図-16(c)より、当該地盤要素はせん断強度に達したのち非常に大きなせん断ひずみが生じていることがわかる。Case 2-2, Case 2-3において、大きな地盤変位となったのは、傾斜による初期せん断応力が地盤のせん断強度を大きく上回っており、破壊には至らないものの有効応力経路の初期位置が破壊線に近く振動に対して不安定であったということが考えられる。このメカニズムは、急傾斜地の崩壊ではあり得るが、今回の超緩斜面地すべりのメカニズムには該当しないと考えられる。この結果から想定傾斜角  $2^\circ$  で液状化の発生に起因する地すべりを発生させるには液状化層で  $2\text{kN/m}^2$  から  $4\text{kN/m}^2$  よりも小さなせん断強度をもつ土層が存在することが条件の一つとして考えられる。

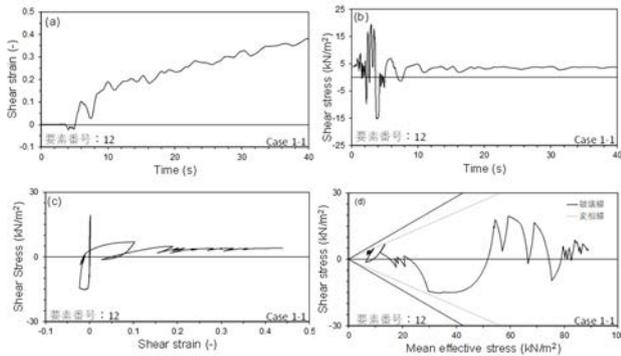


図-13 Case 1-1 弱層下端 (要素番号 12) : (a)せん断ひずみの時刻歴, (b)せん断応力の時刻歴(c)せん断応力-せん断ひずみ関係, (d)有効応力経路

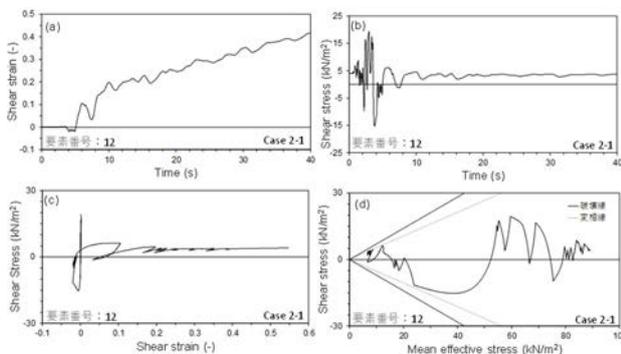


図-14 Case 2-1 弱層下端 (要素番号 12) : (a)せん断ひずみの時刻歴, (b)せん断応力の時刻歴(c)せん断応力-せん断ひずみ関係, (d)有効応力経路

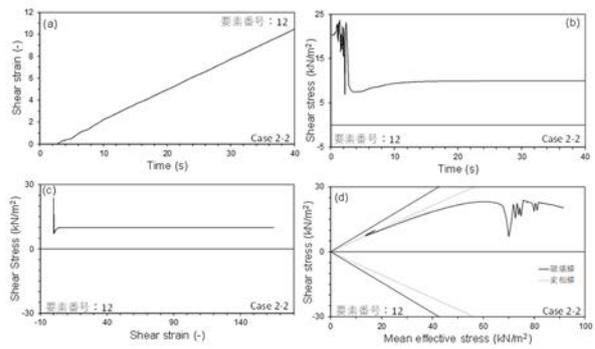


図-15 Case 2-2 弱層下端 (要素番号 12) : (a)せん断ひずみの時刻歴, (b)せん断応力の時刻歴(c)せん断応力-せん断ひずみ関係, (d)有効応力経路

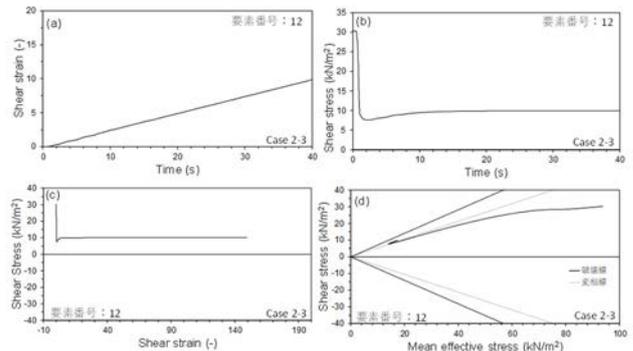


図-16 Case 2-3 弱層下端 (要素番号 12) : (a)せん断ひずみの時刻歴, (b)せん断応力の時刻歴(c)せん断応力-せん断ひずみ関係, (d)有効応力経路

#### 4. 結論

2018年インドネシア・スラウェシ島地震の際、震源から約  $8\text{ km}$  南に位置するパル市では、表層の傾斜角が約  $2^\circ$  程度の緩斜面において、液状化に起因すると推測される大規模な地すべりが発生し、多くの建物が倒壊し、 $2,000$  人以上が亡くなる甚大な被害となった。Balara 地区の表層の傾斜角  $2^\circ$  を想定した解析では、表層の移動距離は最大  $1.18\text{m}$ ,  $0.594\text{m}$  程度となり、実際の移動距離  $350\text{m}$  程度と比較すると、大幅に過小評価となった。そこで、すべり面のせん断強度を、 $20\text{ kN/m}^2$  から  $10\text{ kN/m}^2$  に小さくし、地盤の傾斜角を  $10^\circ$ ,  $15^\circ$  とした場合、液状化パラメータに依存せず、地表面変位は  $312\text{m}$ ,  $338\text{m}$  と大きくなった。しかし、同じくせん断強度を  $10\text{ kN/m}^2$ , 傾斜角  $2^\circ$  の場合は、地表面変位は豊浦砂で  $1.41\text{m}$ , Sibalaya 砂で  $0.666\text{m}$  とせん断強度が  $20\text{ kN/m}^2$  の場合との大きな差が生じなかった。また、変相角や入力加速度振幅に対する地盤変位の感度は低いことがわかった。

解析の結果、地表面変位量に対するせん断強度の感度が大きいことがわかった。傾斜角  $2^\circ$  における初期せん断強度 (約  $4\text{ kN/m}^2$ ) よりもせん断強度を小さく設定し

た場合、地表面変位は増加するものの、 $3 \text{ kN/m}^2$  まで小さくしても地表面変位は  $15.0\text{m}$  程度であり、限界状態に相当する大きなせん断ひずみは得られなかった。今後、新たな現地調査・観測情報等を取り込み、2次元あるいは3次元解析等を行い、実測された変位量となる地盤条件を探る必要がある。

謝辞： 研究を進めるに地震動記録およびボーリングデータを提供していただいたバンドン工科大学 Masyhur Irsam 教授, PT. Promisco Sinergi Indonesia Agus Himawan 氏, Tadulako University Arifin Beddu 博士に深く感謝いたします。

#### 参考文献

- 1) Ben, M., Aaron, P. G., Daniel, H., Jack, M., A. Nicole, R., Joseph, W., Masyhur, I., Widjojo, P., Didiek, D., Dandung, H., Idrus, A., Paulus R., Pintor TUa S., Aksan, K., and Rahma, H.(2019.4): Geotechnical Reconnaissance: The 28 September 2018 M7.5 Palu-Donggala, Indonesia Earthquake, GEER-061.
- 2) Iai, S., Matsunaga, Y. and Kameoka, T. (1992): Strain space plasticity model for cyclic mobility, Soils and Foundations, Vol. 32, No.2, pp. 1-15.

- 3) 井合進, 飛田哲男, 小堤治(2008): 砂の繰返し載荷時の挙動モデルとしてのひずみ空間多重モデルにおけるストレスダイレイタンスー関係, 京都大学防災研究所年報, 第 51 号, pp.291-304.
- 4) Iai, S., Tobita, T., Ozutsumi, O., and Ueda, K. (2010.2): "Dilatancy of granular materials in a strain space multiple mechanism model." International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics, 35(3), 360-392.
- 5) Himawan, A. (2019): PT. Promisco Sinergi Indonesia, 私信.
- 6) 港湾技研資料(1997): 液状化による構造被害予測プログラム FLIP において必要なパラメタの簡易設定法, p13-14.
- 7) 宅地防災マニュアル(2007): [http://www.mlit.go.jp/crd/web/topic/pdf/takuchibousai\\_manual070409.pdf](http://www.mlit.go.jp/crd/web/topic/pdf/takuchibousai_manual070409.pdf) (閲覧日: 2020/01/08) .
- 8) 田中涼太郎, 岡村未対, 小野耕平, 2018 年スラウェシ島地震での大規模地盤流動域から採取した砂の単調及び繰返しせん断特性, 第 55 回地盤工学研究発表会, 2020.

(Submitted 2020.9.6)

## Mechanism of occurrence of gentle slope landslide in the 2018 Slawesi, Indonesia, Earthquake

Wataru YAMAMOTO and Tetsuo TOBITA

During the 2018 Indonesian Sulawesi Earthquake, in Pal City, which is located about 80 km south of the epicenter, large scale landslides, which were presumed to be caused by liquefaction, occurred on a gentle slope with a surface slope of about  $2^\circ$ . Due to these landslides, many buildings were collapsed, and more than 2,000 people died, resulting in enormous damage. The purpose of this study is to clarify the mechanism of such a landslide on the slope of Balaroa area in Pal City by using a two-dimensional dynamic effective stress analysis method by assuming the cause of landslides were liquefaction. As a result, in the analysis with the inclination angle of  $2^\circ$  assuming the damaged area, the movement distance of the surface layer was considerably underestimated when compared with the actual movement distance. Contrary, when the initial shear stress of the slip layer exceeds the shear strength, the displacement of the surface layer increases. One of the important parameters related to the magnitude of displacement is the shear strength of the soil of a slip layer.