

令和 5 年 6 月 17 日現在

機関番号：12601

研究種目：国際共同研究加速基金（国際共同研究強化(B））

研究期間：2019～2022

課題番号：19KK0108

研究課題名（和文）緩傾斜地盤で発生した長距離液状化流動のメカニズムと発生条件の解明

研究課題名（英文）Field and laboratory investigations on liquefaction-induced flow-failure mechanism in gentle sloped ground

研究代表者

清田 隆（Kiyota, Takashi）

東京大学・生産技術研究所・准教授

研究者番号：70431814

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 14,200,000円

研究成果の概要（和文）：2018年9月のインドネシア・スラウェシ島地震では、沿岸部の津波だけでなく、内陸部でも大規模な液状化地盤流動が発生した。その流動距離は、僅か1～4%程度の地表面勾配にもかかわらず数百m～1km以上であり、約2000人の人命を奪った。本研究では、海外共同研究者の所属機関（ITB）と現場に直接赴き、大規模地盤流動のメカニズムと発生条件を解明に取り組んだ。フィールド調査、室内土質試験、浸透流解析、および液状化解析を実施した結果、被災地の特殊な地盤構成と地形条件によって形成された被圧地下水が、地震に伴う地盤の液状化により地表に流出し、大規模な地盤流動を引き起こした可能性が示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

スラウェシ島地震で発生した地盤流動距離は数百～1km以上にも及び、一般に知られている地震時の液状化側方流動の変形レベルとは二桁も異なる。また、我が国を含む他の地域・国においても、今回のような超緩斜面で大規模な地すべりを連想させる事例は、海底地すべり以外では確認できない。このことから、本現象は世界的にも稀に見る災害、もしくは新しいタイプの地盤災害・脅威として位置付けられる。本研究の成果により、多大な犠牲者を生んだ上記地盤流動のメカニズムと発生条件、および対策の道筋が示されたことは、被災地の復興計画、延いては我が国を含む多くの地震国における将来の地盤災害リスク評価に対してきわめて重要である。

研究成果の概要（英文）：The 2018 Sulawesi earthquake, Indonesia, caused long-distance flow-type landslides. The flow distances ranged from several hundred meters to more than 1 km despite a slope of the ground surface of only 1-4%, resulting in the loss of approximately 2000 lives. In this study, the international collaborator at ITB and we visited the site to investigate the mechanism of the flow-landslide. Field surveys, laboratory soil tests, seepage flow analysis and liquefaction analysis indicated that the pressurized groundwater formed by peculiar soil layer composition and topographical conditions in the affected area may have released to the surface due to earthquake-induced liquefaction, causing the long-distance flow-landslide.

研究分野：地盤工学

キーワード：地盤流動 液状化 スラウェシ島地震 被圧地下水 浸透流解析 現場調査 三軸試験 中空ねじり試験

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

2018年インドネシア・スラウェシ島地震で発生した液状化地盤流動は、僅か1~4%程度(0.5~2.5°程度)の地表面勾配にもかかわらず数百m~1km以上の流動が発生した。本事象は世界的にも稀に見る災害、または新しいタイプの地盤災害・脅威として位置付けられており、メカニズム解明には詳細な現場調査が必要不可欠である。本研究では、被災地の地形・地盤状況、地震動特性を定量的に見積もるためのツールを駆使したフィールド調査、および独創的な手法による室内土質試験、数値解析を通じて、この地盤流動メカニズムを解明し、その発生条件を明確にすること、および対策の道筋を示す。

2. 研究の目的

2018年9月のインドネシア・スラウェシ島地震では、沿岸部の津波だけでなく、内陸部でも大規模な液状化地盤流動が発生した(図1)。その流動距離は、僅か1~4%程度の地表面勾配にもかかわらず数百m~1km以上であり、約2000人の人命を奪っている。本研究では、海外共同研究者の所属機関(ITB)と現場に直接赴き、大規模地盤流動のメカニズムと発生条件を解明し、対策工立案に資する成果を得ることを目的とする。

3. 研究の方法

これまでのフィールド調査を踏まえ、被災地の地盤構成や地形の変状だけでなく、流動に顕著な影響を及ぼしたと考えられる「被圧地下水」の存在を適切に評価する必要がある。また、従来に関連研究では液状化地盤流動問題は「非排水条件」で検討されてきたが、本研究では原位置に存在していた被圧水と、表層地盤への地下水流入に着目した一連の室内土質試験を実施し、流動のメカニズムを検討する。

4. 研究成果

(1) 流動地すべり域の地層推定断面図

図2(上)は、地震後の流動地すべり域(Petobo)である。PetoboはPalu低地の東側に位置し、地震前の斜面は2~3%であった。また、地すべり域の直上に灌漑用水路が存在している。地すべり域は上部より沈降部(Depression)、流動部(Flow)と堆積部(Deposition)に分けられる。堆積部は地震前より地盤標高が約5m高くなったが、地震発生から1か月後の調査でも多くの湧水が観察された。これは、表層地盤以深に被圧地下水が存在することを示唆している。

図2(下)は、JICAが実施したボーリングデータと粒度試験の結果を再分析して作成した地層想定断面図である。基盤層の上位に分布する礫質土層は上流の扇状地から連続する帯水層であり、地すべり域内では透水性の比較的低いシルト質砂層または砂質シルト層に覆われている。しかし、流動域の直下では、礫質土層の厚さが極端に薄くなり、次第に消失する。この特殊な地盤構造は、礫質土層とその上の厚いシルト質砂層内の地下水に高い圧力が形成されやすいことを意味するが、ボーリング調査は地震後に大量の地下水が既に流出した後に行われているため、調査時には高い被圧は確認されていない。礫質

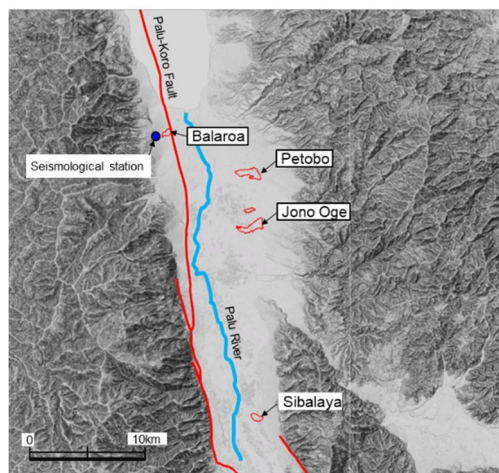


図1 地震断層と長距離地盤流動の位置

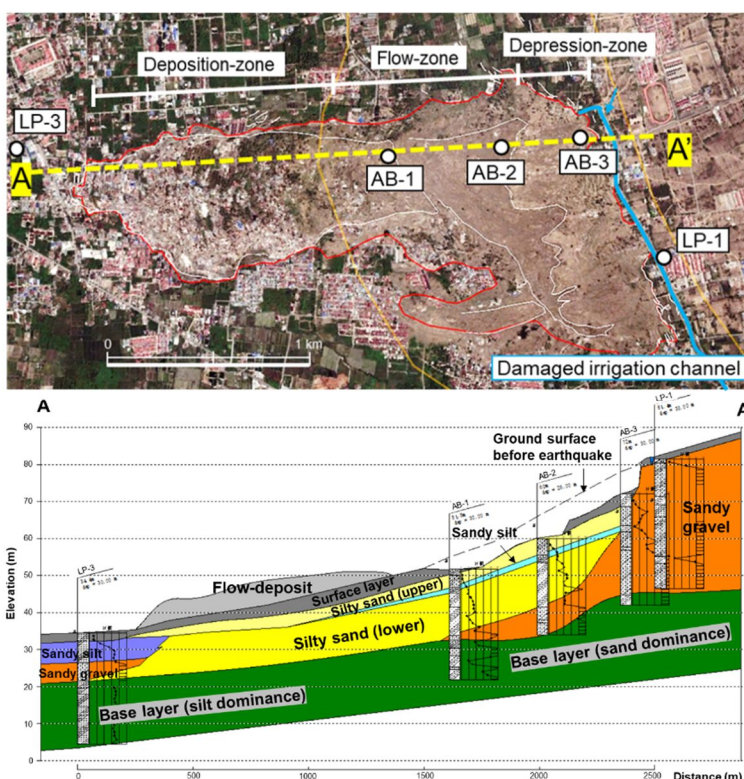


図2(上)地震後のPetobo地すべりと(下)地層想定断面図

土層の上位に分布するシルト質砂層の地震後の N 値は N=10-20 と比較的高い値であった。しかし、地震前に被圧地下水が存在した場合、このような地盤でも地震時には液状化が発生する可能性が高くなると言える。

なお、地すべり域内で滞水礫質土層の分布が消失する特殊な地層構造は、図 2 の Petobo だけでなく、その他の地域 (Balaraoa, Jono-Oge) でも確認されている

ことに留意されたい。また、図 3 は流動が発生しなかった斜面の断面図であるが、上流から下流にかけて透水係数の高い砂礫層が厚く連続している。このような地盤条件では被圧地下水が形成されることは希で、上流から供給される地下水はスムーズに流下すると言える。

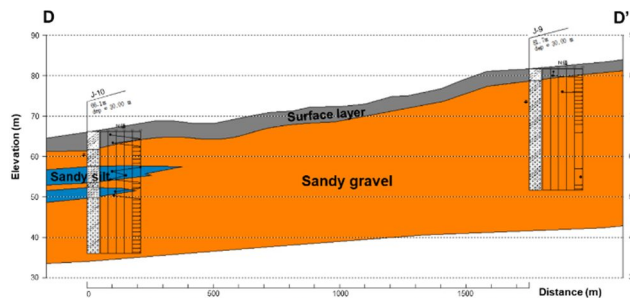


図 3 流動地すべりが発生しなかった斜面の地層断面図

(2) 浸透流解析と液状化判定に基づく地盤流動メカニズム

2018 年の地震による地盤流動により地下水環境は大きく変化したため、地震後の原位置調査だけでは地震前の地下水頭を把握することは不可能である。そこで本研究では、前章で示した流動地すべり (Petobo) の地層想定断面図を用い、浸透流解析 (MODFLOW-NWT) を実施した。まず、地震後のボーリング調査で得られた地下水状況の再現解析を行い、各地層の透水係数 (表 1) を試行錯誤的に検証した後、地震前の地下水環境を再現することを試みた。設定した境界条件は、降雨量と蒸発散量、および地表水が上流の扇状地の頭部から浸透する水量であり、それぞれ 2.93mm/d, 2.36mm/d, 17m³/d である。

図 4 に地震前の Petobo 地すべり域における地下水頭の再現結果を示す。礫質土層の特殊な分布形態により、地震前においては地すべり域上部の地下水頭が高くなっていたことが表現されており、その位置は実際に流動が生じた場所 (図 2 参照) に対応している。具体的には、上流から連続する礫質土層の厚さが薄くなる範囲において、礫質土の上位に分布するシルト質砂層が被圧している。図 5 にボーリング No. AB-1 の間隙水圧分布を示すが、シルト質砂層では静水圧よりも約 50~60kPa 大きくなっている。なお、本研究では地すべり域上部の灌漑用水路が存在しないケースも実施したが、図 5 に示すように流動域の間隙水圧に及ぼす影響はほとんど無い結果となった。

表 1 浸透流解析における各地層の透水係数

Soil layer	Hydraulic conductivity (m/s)	
	Vertical	Horizontal
Surface layer	1.00E-07	1.00E-06
Silty sand (upper)	9.00E-06	9.00E-05
Sandy silt	2.50E-07	2.50E-06
Silty sand (lower)	4.00E-07	4.00E-06
Sandy Gravel	1.00E-04	1.60E-03
Silt	1.00E-08	1.00E-07
Base layer (silt dominance)	1.00E-08	1.00E-08
Base layer (sand dominance)	2.00E-08	2.00E-08
Weathered rock	1.00E-05	1.00E-05

この浸透流解析により得られた水頭分布を用い、AB-1 地点の GL-10~20m 程度に分布するシルト質砂層を対象に実施した簡易液状化判定結果を図 6 に示す。なお、当該層の液状化強度は、不攪乱試験を用いた三軸液状化試験結果 (RL=0.39) を用いた。また、地表面加速度は、Palu 市内で観測された 281 gal (Sahadewa et al., 2019) と Petobo 地すべり地での想定加速度 471 gal とした (JICA, 2021)。液状化安全率 FL をみると、地下水の被圧を考慮しない場合、シルト質砂層は液状化が生じない結果となった。しかし、浸透流解析により得られた被圧地下水を考慮すると、281 gal と比較的小さな加速度でも FL は全層にわたり 1.0 を下回る。このことから、礫質土層から供給された大量の被圧地下水が、シルト質砂層の液状化とそれに伴う変形・亀裂によって長時間にわたり表層地盤に流入し、大規模な長距離地盤流動が発生した可能性が考えられる。

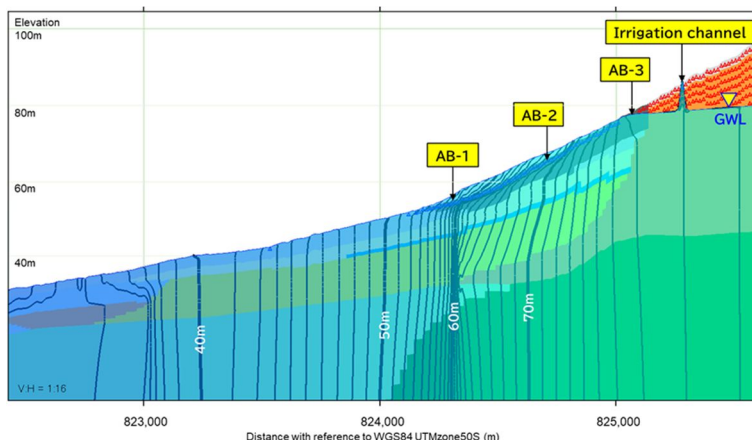


図 4 Petobo 地すべり地域を対象とした浸透流解析結果 (地震前)

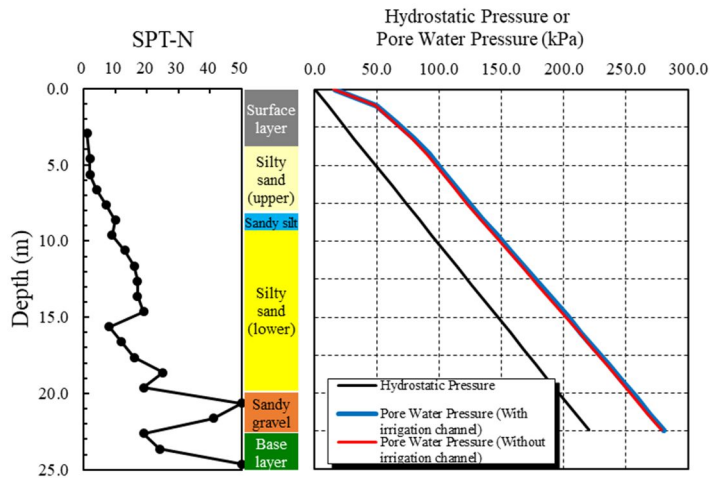


図 5 AB-1 の間隙水圧分布 (浸透流解析結果・地震前)

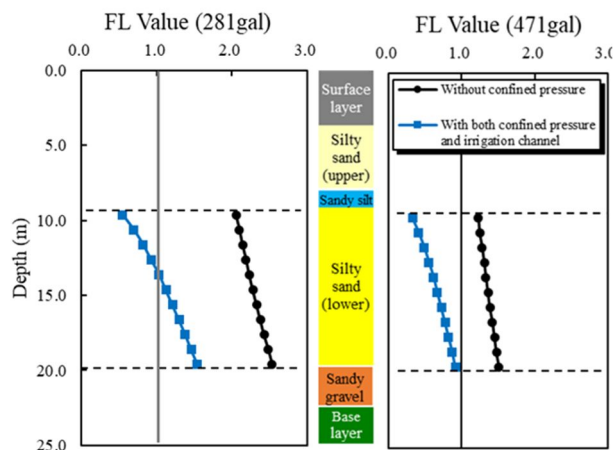


図 6 AB-1 地点のシルト質砂層の液状化安全率

(3) 長距離地盤流動の発生メカニズムに関する中空ねじりせん断試験

4章ではスラウェシ地震による長距離地盤流動の発生メカニズムについて論じたが、ここではせん断ひずみ 100%以上まで計測可能なひずみ制御型の中空ねじり試験機を用い、流動した地盤から採取した原位置試料を対象として、液状化後、または被圧水の流入を考慮したせん断試験を実施した。

試料と実験方法

使用した地盤試料は、Palu の南部に位置する被災地 (Balarooa) で実施されたトレンチ No. 32)において、激しく流動したと考えられる表層地盤から採取した。試料は非塑性細粒分を 10%程度混入する砂質土である。中空円筒供試体の初期サイズは、外径 10cm、内径 6cm、高さ 20cm であり、原位置で計測された密度 ($\rho_d = 1.5 \sim 1.6 \text{ g/cm}^3$) に調整した。地震前の試料採取深度の有効上載圧相当まで等方圧密後 ($p' = 50\text{kPa}$, $BP = 200\text{kPa}$)、現地の緩い傾斜地盤を考慮して初期せん断を与えた ($\tau_s = 4\text{kPa}$)。その後、以下の実験を実施した。

i) 非排水繰返しせん断 + 単調せん断試験

地震動により液状化が発生した後の地盤の強度・変形特性を検討するため、上記の初期せん断応力状態から応力振幅一定、および鉛直変位固定条件において非排水繰返し載荷試験を実施した。また、繰返し載荷に伴って増加する両振幅せん断ひずみに値が 10%に達した後、非排水状態を保ったまま単調載荷試験を実施した。

ii) 間隙水圧増加による静的液状化試験

地下深部からの被圧水の供給による表層地盤の挙動を表現するため、上記の初期せん断応力状態から排水条件下で BP を増加させ、強制的な過剰間隙水圧増加 (静的液状化) による供試体の変形特性を検討した。試験中、地盤の傾斜を考慮したせん断応力 ($\tau_0 = 4\text{kPa}$) は一定となるよう、せん断ひずみ速度を適宜変化させた。また、試験中の鉛直応力は一定とした。

実験結果と考察

図 7 に非排水繰返し載荷による液状化後に単調せん断を与えた供試体の有効応力経路、および図 8 にせん断応力 τ —せん断ひずみ γ 関係を示す。繰返しせん断応力は $\tau_s (= 4\text{kPa})$ を中心に $\pm 10\text{kPa}$ の振幅を与えた。繰返し回数の増加と共に有効応力の低下が生じ、過剰間隙水圧比 60~70%程度よ

り γ が大きく発達する傾向が確認された。また、初期せん断の影響により、 γ の発達に若干の偏りが生じている。両振幅せん断ひずみが10%に達した後の単調せん断では、 $\gamma=5\%$ 程度まではやや低い剛性を示す領域がみられるものの、その後 $\gamma=20\%$ 程度までは比較的高い剛性を示し、ひずみの増加と共に強度も大きく増加する。本実験では、図8に示すように $\gamma=85\%$ まで載荷したが、大ひずみ領域でも強度低下(軟化)は生じなかった。この結果は、地震動により液状化が発生したとしても、非排水条件下では正のダイレイタンスに伴う剛性の回復により、被災地で生じたような数百m以上にも及ぶ大規模流動には至らない可能性を示唆している。

図9に静的液状化試験時の有効応力経路、図10に実験中のせん断ひずみ γ と体積ひずみ ε_{vol} の経時変化を示す。BPの増加により有効応力は低下するが、想定される変相線を越えた付近から γ の増加と ε_{vol} の低下(膨張)が顕著になる。原地盤の傾斜を考慮した初期せん断応力 τ_s は小さい値であったが、その後 γ の増分は次第に大きくなり、 $\gamma=35\%$ に達すると供試体全体が著しく変形して試験機の最大載荷速度では所定の τ_s を保持できなくなった。また、最終的な ε_{vol} は-4.5%程度であった。

本実験のように間隙水圧を強制的に増加させた場合、せん断ひずみの増加と共に供試体は吸水して膨張し続けるが、初期密度に依存する限界ひずみに達すると土粒子間のかみ合わせが不安定になり、たとえ地盤傾斜が非常に緩くても泥濁化を伴う顕著な流動に至ることが想定される。

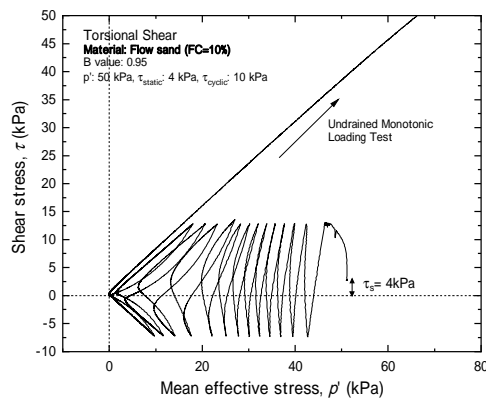


図7 非排水繰り返し + 単調せん断試験の有効応力経路

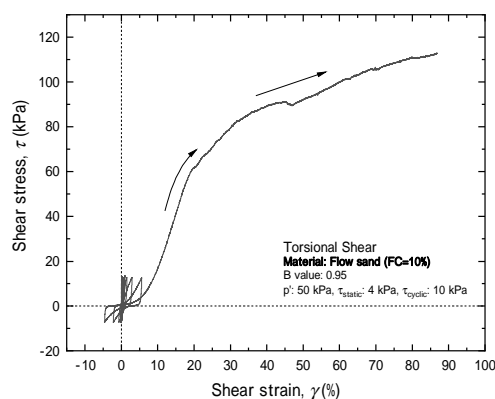


図8 非排水繰り返し + 単調せん断試験の応力ひずみ関係

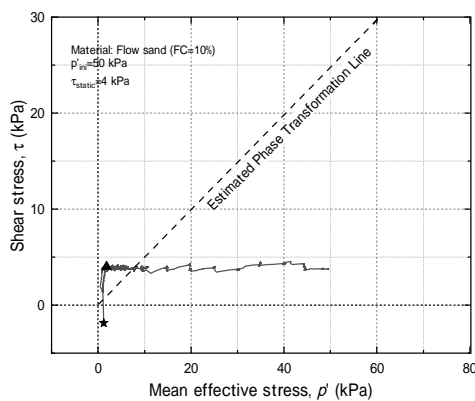


図9 静的液状化試験の有効応力経路

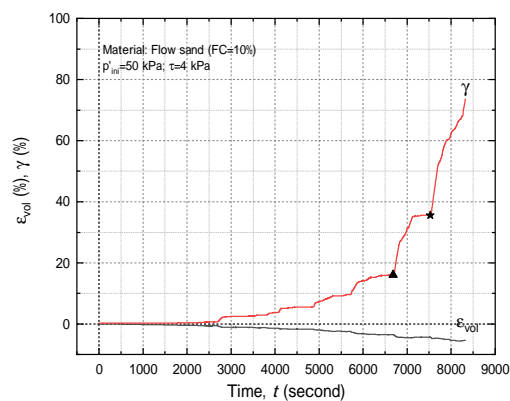


図10 静的液状化試験の γ と ε_{vol} の経時変化

(4) まとめ

2018年インドネシア・スラウェシ島地震で発生した長距離地盤流動について、現場調査、室内土質試験、浸透流解析、および液状化解析を実施して、その発生メカニズムを検討した。その結果、流動域内では上流の扇状地から連続する砂礫層が分布するが、その層厚は流動域内で急激に薄くなる傾向が、すべての流動個所で確認された。このような特殊な地盤構成を反映した浸透流解析を実施した結果、地震発生前のPetobo地区の基礎地盤は静水圧より50~60kPa程度高い被圧が生じていた可能性が示された。また、不攪乱試料を用いた三軸液状化試験を実施し、Petobo流動域の地盤の液状化強度比を求めた。その液状化強度比と浸透流解析で得られた地下水圧、および2018年の地震動を用い、流動域内の液状化判定を実施した。その結果、地震時にはGL-20m程度までの地盤が液状化し、それにより帯水層から大量の被圧地下水が長時間地表面に流出したことで、長距離地盤流動が発生した可能性が考えられる。地下水の被圧の程度に及ぼす灌漑水路の存在の影響はほとんどないことも示された。また、一連の中空ねじり試験を、原位置採取試料を用いて実施した結果、液状化の発生だけでは流動現象の説明に限界があること、および被圧地下水の表層地盤への流入を考慮すると、非常に緩斜面でも流動が発生する結果が得られた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計22件（うち査読付論文 13件 / うち国際共著 11件 / うちオープンアクセス 9件）

1. 著者名 Umar, M., Kiyota, T. and Chiaro, G.	4. 巻 61(3)
2. 論文標題 Deformation and cyclic resistance of sand in large-strain undrained torsional shear tests with initial static shear stress	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Soils and Foundations	6. 最初と最後の頁 765-781
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.sandf.2021.02.008	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 Umar, M., Kiyota, T., Chiaro, G. and Duttine, A.	4. 巻 61(5)
2. 論文標題 Post-liquefaction deformation and strength characteristics of sand in torsional shear tests	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Soils and Foundations	6. 最初と最後の頁 1207-1222
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.sandf.2021.06.009	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 Chiaro, G., Umar, M., Kiyota, T. and Koseki, J.	4. 巻 52(4)
2. 論文標題 Deformation and cyclic strength characteristics of loose and medium-dense clean sand under sloping ground conditions: Insights from cyclic undrained torsional shear tests with static shear	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Geotechnical Engineering Journal of the SEAGE & AGSSEA	6. 最初と最後の頁 14-22
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Konagai, K., Furuta, R. and Kiyota, T.	4. 巻 -
2. 論文標題 Widespread ground deformation over the Palu Basin caused by the 2018 Sulawesi, Indonesia Earthquake	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 JSCE Disaster Reports	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Hazarika, H., Rohit, D., Kiyota, T., Okamura, Pasha, S. M. K. and Nurdin, S.	4. 巻 -
2. 論文標題 Forensic evaluation of long-distance flow in gently sloped ground during the 2018 Sulawesi earthquake, Indonesia	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proc. of 7th International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ullah, N., Umar, M. and Kiyota, T.	4. 巻 -
2. 論文標題 Comparison of post-liquefaction undrained strength characteristics of two different clean sands using large strain torsional shear apparatus	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proc. of the 1st International Conference on Recent Advances in Civil and Earthquake Engineering	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ullah, N., Umar, M., Shiga, M. and Kiyota, T.	4. 巻 -
2. 論文標題 Post-liquefaction behavior of medium dense silica sand in large strain torsional shear apparatus	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 第76回土木学会年次学術講演会講演集	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ullah, N., Umar, M., Kiyota, T. and Katagiri, T.	4. 巻 54
2. 論文標題 Effect of undrained cyclic strain history on strength characteristics of clean sand in torsional shear tests	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Bulletin of Earthquake Resistant Structure, Institute of Industrial Science University of Tokyo	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 堀蓮, 井上和真, 池田隆明, 清田隆	4. 巻 -
2. 論文標題 2018年インドネシア・スラウェシ島地震における地盤地震応答解析と簡易液状化評価	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 第12回インフラ・ライフライン減災対策シンポジウム講演集	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Hidayat, R. F., Kiyota, T., Tada, N., Hayakawa, J. and Nawir, H.	4. 巻 52
2. 論文標題 Reconnaissance on Liquefaction-induced flow failure caused by the 2018 Mw 7.4 Sulawesi Earthquake, Palu, Indonesia	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Engineering and Technological Sciences	6. 最初と最後の頁 51-65
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5614/j.eng.technol.sci.2020.52.1.4	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Kiyota, T., Furuichi, H., Hidayat, R. F., Tada, N. and Nawir, H.	4. 巻 60(3)
2. 論文標題 Overview of long-distance flow-slide caused by the 2018 Sulawesi earthquake, Indonesia	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Soils and Foundations	6. 最初と最後の頁 722-735
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.sandf.2020.03.015	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Hydayat, R. F., Kiyota, T. and Umar, M.	4. 巻 -
2. 論文標題 Experimental study on earthquake-induced long-distance flow-slide in torsional shear test using water inflow concept	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proc. of 1st International Symposium on Construction Resources for Environmentally Sustainable Technologies	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Hidayat, R. F., Kiyota, T., Nawir, H., Umar, M., Rosiyani and Katagiri, T.	4. 巻 53
2. 論文標題 Experimental study on the mechanism of long-distance flow-slide in Palu, Central Sulawesi, Indonesia	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Bulletin of Engineering for Resilient Society Research	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 熊谷泰知, 池田隆明, 清田隆	4. 巻 72
2. 論文標題 2018年インドネシア・スラウェシ地震による大規模地盤流動地域近傍の表層地盤挙動の評価	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 生産研究	6. 最初と最後の頁 415-418
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11188/seisankenkyu.72.415	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 清田隆, Hidayat, R. F., Nawir, H.	4. 巻 -
2. 論文標題 2018年スラウェシ島地震による長距離地盤流動の発生メカニズムに関する中空ねじりせん断試験	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 第55回地盤工学研究発表会講演集	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Hidayat, R., Kiyota, T., Rosiyani and Katagiri, T.	4. 巻 -
2. 論文標題 Flow deformation behavior of clean sand caused by water inflow under constant shear stress	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 第75回土木学会年次学術講演会講演集	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 清田隆, 片桐俊彦, 志賀正崇	4. 巻 -
2. 論文標題 砂の非排水せん断試験結果に及ぼす間隙水温度の影響	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 第57回地盤工学研究発表会講演集	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kiyota Takashi, Shiga Masataka, Katagiri Toshihiko, Furuichi Hisashi, Nawir Hasbullah	4. 巻 -
2. 論文標題 Effect of Artesian Pressure on Liquefaction-Induced Flow-Slide: A Case Study of the 2018 Sulawesi Earthquake, Indonesia	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proc. of the 4th International Conference on Performance Based Design in Earthquake Geotechnical Engineering	6. 最初と最後の頁 1579 ~ 1586
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-031-11898-2_140	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Kiyota, T., Shiga, M., Nawir, H. and Mori, K.	4. 巻 -
2. 論文標題 Effect of pressurized groundwater environment on the occurrence of long-distance flow-slide in the 2018 Sulawesi earthquake	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proc. of 5th International Conference on Earthquake Engineering and Disaster Mitigation	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Konagai, K., Furuta, R. and Kiyota, T.	4. 巻 -
2. 論文標題 Ground deformation buildup over the Palu Basin caused by the 2018 Sulawesi, Indonesia earthquake	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proc. of 5th International Conference on Earthquake Engineering and Disaster Mitigation	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Hori, R., Inoue, K., Ikeda, T. and Kiyota, T.	4. 巻 -
2. 論文標題 Analytical study on ground behaviour during the 2018 Sulawesi earthquake, Indonesia	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proc. of 5th International Conference on Earthquake Engineering and Disaster Mitigation	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Hidayat Risqi Faris, Kiyota Takashi, Umar Muhammad, Rosiyani, Nawir Hasbullah	4. 巻 62
2. 論文標題 Flow deformation characteristics of sandy soils under constant shear stress with water inflow	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Soils and Foundations	6. 最初と最後の頁 101128 ~ 101128
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.sandf.2022.101128	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計15件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 7件)

1. 発表者名 堀蓮
2. 発表標題 2018年インドネシア・スラウェシ島地震における地盤地震応答解析と簡易液状化評価
3. 学会等名 第12回インフラ・ライフライン減災対策シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hazarika, H.
2. 発表標題 Forensic evaluation of long-distance flow in gently sloped ground during the 2018 Sulawesi earthquake, Indonesia
3. 学会等名 7th International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ullah, N.
2. 発表標題 Comparison of post-liquefaction undrained strength characteristics of two different clean sands using large strain torsional shear apparatus
3. 学会等名 1st International Conference on Recent Advances in Civil and Earthquake Engineering (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ullah, N.
2. 発表標題 Post-liquefaction behavior of medium dense silica sand in large strain torsional shear apparatus
3. 学会等名 第76回土木学会年次学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 清田隆
2. 発表標題 2018年スラウェシ島地震による長距離地盤流動の発生メカニズムに関する中空ねじりせん断試験
3. 学会等名 第55回地盤工学研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Hidayat, R.
2. 発表標題 Flow deformation behavior of clean sand caused by water inflow under constant shear stress
3. 学会等名 第75回土木学会年次学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高松創
2. 発表標題 2018年インドネシア・スラウェシ地震における長距離地盤流動発生メカニズムの推定
3. 学会等名 第17回地盤工学会関東支部発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 清田隆
2. 発表標題 2018年スラウェシ島地震による大規模長距離地盤流動に関する継続調査
3. 学会等名 土木学会地震工学委員会 最近の国内外の自然災害（スラウェシ島地震）（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Hydayat, R. F.
2. 発表標題 Experimental study on earthquake-induced long-distance flow-slide in torsional shear test using water inflow concept
3. 学会等名 1st International Symposium on Construction Resources for Environmentally Sustainable Technologies (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ullah, N.
2. 発表標題 Post-liquefaction behavior of medium dense silica sand in large strain torsional shear apparatus
3. 学会等名 第76回土木学会年次学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 清田隆
2. 発表標題 砂の非排水せん断試験結果に及ぼす間隙水温度の影響
3. 学会等名 第57回地盤工学研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kiyota Takashi
2. 発表標題 Effect of Artesian Pressure on Liquefaction-Induced Flow-Slide: A Case Study of the 2018 Sulawesi Earthquake, Indonesia
3. 学会等名 Proc. of the 4th International Conference on Performance Based Design in Earthquake Geotechnical Engineering (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kiyota, T.
2. 発表標題 Effect of pressurized groundwater environment on the occurrence of long-distance flow-slide in the 2018 Sulawesi earthquake
3. 学会等名 5th International Conference on Earthquake Engineering and Disaster Mitigation (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Konagai, K.
2. 発表標題 Ground deformation buildup over the Palu Basin caused by the 2018 Sulawesi, Indonesia earthquake
3. 学会等名 5th International Conference on Earthquake Engineering and Disaster Mitigation (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hori, R.
2. 発表標題 Analytical study on ground behaviour during the 2018 Sulawesi earthquake, Indonesia
3. 学会等名 5th International Conference on Earthquake Engineering and Disaster Mitigation (国際学会)
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	池田 隆明 (Ikeda Takaaki) (40443650)	長岡技術科学大学・工学研究科・教授 (13102)	
研究分担者	小長井 一男 (Konagai Kazuo) (50126471)	特定非営利活動法人 国際斜面災害研究機構・研究部・学術代表 (94307)	
研究分担者	井上 和真 (Inoue Kazuma) (50825982)	群馬工業高等専門学校・環境都市工学科・助教 (52301)	

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	古市 久士 (Furuichi Hisashi)		

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	多田 直人 (Tada Naoto)		

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関		
インドネシア	Bandung Institute of Technology	Tadulako University	