



砂から中間土や粘土までを対象に、動的か静的かを問わず、地盤の変形と破壊を求めます。

令和 5 年 8 月 31 日 発行

編集：一般社団法人 GEOASIA 研究会事務局

〒464-8603 名古屋市千種区不老町 名古屋大学大学院工学研究科土木工学専攻地盤工学講座内

TEL: 052-789-3834 FAX: 052-789-3836 E-mail: office@geoasia.jp URL: <https://www.geoasia.jp>

会長メッセージ

このメッセージを書いている今日は 7 月 25 日だが、先々月 5 月に地盤工学会の会誌編集委員長（東京都市大学伊藤教授）から「地盤工学会 歴代会長に聞く」のシリーズを立ち上げたから浅岡さんもうぞと、執筆依頼があった。浅岡は 2008 年 5 月から 2010 年 5 月まで 2 年間第 30 代会長を務め、学会の公益法人化などには重大責任があるから、この依頼は断ることは出来なかった。浅岡以前には石原、太田、龍岡の 3 人の元会長が執筆され、浅岡の後には日下部先生から古関現会長まで、計 11 人が執筆予定と聞いている。執筆内容は厳密なフォーマットが決められていて、とても書きづらいが、一番困っているのは第 5 章の「地盤工学会の将来について」で、そこでは

- ・地盤工学は将来どこに向かってゆくべきか？
- ・知識や技術の伝承
- ・若手研究者、技術者へのアドバイス

等を書くよう指示がある。

歴代会長に書けることは、会長の時に学会で何をしたかくらいのこと、地盤工学（会）の将来などは、歴代会長だから書けるといったものではない。しかしこれをきっかけに、この 2、3 日考え込んでいることを、まことに支離滅裂になること必定だが、この場を借りてメモ書き風書き散らしてみたい。

御前崎・浜岡地域の背後から海側に掛けて、固結した砂岩泥岩互層の中に、50～150m のほぼ等間隔で十数本、奇麗な正断層群が並んでいることが知られている。そしてこの正断層群が、第四紀それも後期更新世の約 12～13 万年前以降に活動していないことの証明が求められている。

この固結岩盤層は、第四紀どころか、新生代新第三紀の後半（前期鮮新世、約 500～400 万年前ごろ）の堆積層が、数百万年ほどかけて、続成作用により固結が進んできているものである。ここに形成された正断層群については地質学的に調査が進められているが、近々約 1 万年以降現在までの完新世での地震由来の活断層などでないことは、地質学者の間ですでに広く認められている。ではこの正断層群がいつ頃どのような力学的背景のもとで、どのように形成されたのか？ ジオアジア研究会の中部電力 山田英司氏が、



2008～2010 年当時の浅岡会長

名大 野田利弘教授の指導の下で、この難題に挑み、自慢話めいて恐縮だが、素晴らしい成果を上げている。

この固結層は、長い固結の進行過程で、①「土骨格の構造の変化」にまつわる物性を変化させながら、しかも②「傾斜を深めながらの地盤隆起」を経験している。山田英司氏は試行錯誤の数値解析を進める中で、固結途上の、ある「骨格構造の発展段階」の時点で、ちょうど地盤隆起が「8~9°の傾斜を伴った時」に、この正断層群が現れることを示した。複数の断層面がほぼ等間隔で平行に分布し、断層間ブロックが後方回転するドミノ型の形態的特徴は、浜岡の実際の正断層群とぴったり一致している。「これしかない！」の典型である。そしてこれが骨格構造のある発達段階の時に生じ、それ以前なら地層は柔らかくて下流に流されてしまい、それ以降のもっと固結が進んだ段階では、断層などの滑り破壊は生じえない、というものである。図面などで説明できないのがなんとももどかしい。

さて、今の説明で出てきた、第四紀、第三紀、そして固結作用、続成作用とは何か？

人は愚かなもので、眼前の現象に名前を付ければ、それでもう分かったつもりになりがちである。地盤工学会関東支部で「液状化に係る被害のメカニズムと名称を考える委員会（吉田望委員長）」が発足しているようだが、健闘を期待したい。名前がつけられてはいたものの、意味内容が日本人研究者にはよく理解できず、英語のまま長く放置されていた事例があることも知っておいたほうがよい。「スレーキング」、「アイソタック」、「サイクリック モビリティ」などなど。意味内容/メカニズムがよく分からないまま、日本語だからと容易くつけた名前もある。「再液状化」などはその典型だろう。

第四紀については、沖積層・洪積層を知らねばならないが、洪積層などは、250~260 万年前からの堆積層で、固結のまだまだごく初期の段階にある。N 値が大きく、液状化したことがない、くらいしか知られておらず、現地盤の応力状態はもちろん、力学的性質などもまだほとんど調べられていないと思う。日本の土質力学は「軟弱地盤（沖積層）」の力学であって、決して第四紀の力学とさえ言えない段階にある。何故か？ 日本でこそ第四紀の地層は広く分布しているが、地質学と土質力学の進歩を担ってきた欧米では、この時期長く氷河におおわれていたため、もともと第四紀の地層は少ないのだから興味も乏しかったのだろう、などと言ったら言い過ぎか？

さて話を元に戻す。日本の地盤工学はどこに向かってゆくべきか？

地震による地盤被害の様々なことはその通りで、「軟弱地盤の力学」としてもまだ中途半端な段階にあるのはその通りであろう。名前を考えたり、また付け直したりするくらいで済む話でないのはよく理解できる。しかしその一方で、軟弱地盤の力学を脱皮してゆく活動も、今とても大事なのではないか。

名大地盤研は、1997、8 年に「乱さない粘土」と「練り返し粘土」を区別するのに骨格構造概念を創造し、砂と粘土の違いを述べるのに「過圧密の解消速度と骨格構造の破壊ないし劣化速度」を取り上げてきた。「骨格構造概念と過圧密概念」はそれまでのカムクレイモデルを著しく深化させ、運動方程式の積分による地盤解析は、地震時の地盤応答も含め、ほとんどすべての問題（不飽和土を含む）を解いてきてしまった。しかし今ここにきて、我々は堆積土の続成作用と固結作用が「骨格構造の進展」と深くかかわりあうことを見せつけられている。未固結～中途半端な固結～固結の過程は、日本語や英語でなく、弾塑性力学の言葉でどう表せばよいのか？

ここでは触れないが、シールドトンネルが沖積地盤で華やかな成功を収めてきたものの、その後洪積地盤を対象にしはじめてから、四苦八苦が続いているらしいことも耳にしたりする。未固結～中途半端な固結は、これからの弾塑性土質力学の重要な研究対象かもしれないと、この 2、3 日考えたりしていた。

(1) 熱海盛土崩壊メカニズムに関する空気～水～土連成弾塑性有限変形解析

令和3年7月に熱海市の逢初川源頭部で発生した盛土崩壊のメカニズムを明らかにするために、空気～水～土三相系のGEOASIAにより、盛土構築から崩壊までの一連過程の数値解析を行った。

図1と図2はそれぞれ、盛土崩壊の数値解析におけるせん断ひずみ分布と含水比変化分布の経時変化を示す。含水比変化は崩壊の数値解析開始時からの変化量(吸水が正)である。図1のせん断ひずみ分布より、降雨開始から時間が経過するに従って、下部盛土の法尻付近から上方へと順にせん断ひずみが局所化する領域(以後「すべり」)が生じ、58時間経過時には下部盛土の最上部まですべりが生じている。このとき図2の含水比変化分布より、下部盛土では地表

がほぼ生じていない一方で、溪流堆積物からの地下水流入による吸水が生じており、時間経過とともに上方へと吸水領域が広がっている。図1と図2の最下段は、58時間経過時の盛土のみを抽出かつ下部盛土部分を拡大したせん断ひずみ分布と含水比変化分布をそれぞれ示す。溪流堆積物からの地下水流入により、下部盛土は透水性が低いために底部のみで著しく吸水しており、一方で地表面付近まで到達しているすべり面ではほぼ吸水が生じていないことから、下部盛土底部の吸水によるせん断変形をきっかけとして、下部盛土全体のすべりが生じたことがわかる。紙幅の都合上図面は省略するが、すべり面上に位置する盛土底部の土要素では、高い盛土の構築による高応力比状態で地下水が流入して、間隙水圧の上昇によりサクシオンが低下して飽和度が100%となった後、最終的にはCam-clay modelの特徴である限界状態線 $q=Mp'$ 上側で示す塑性体積膨張を伴う軟化挙動を呈して大きなせん断変形が生じた。

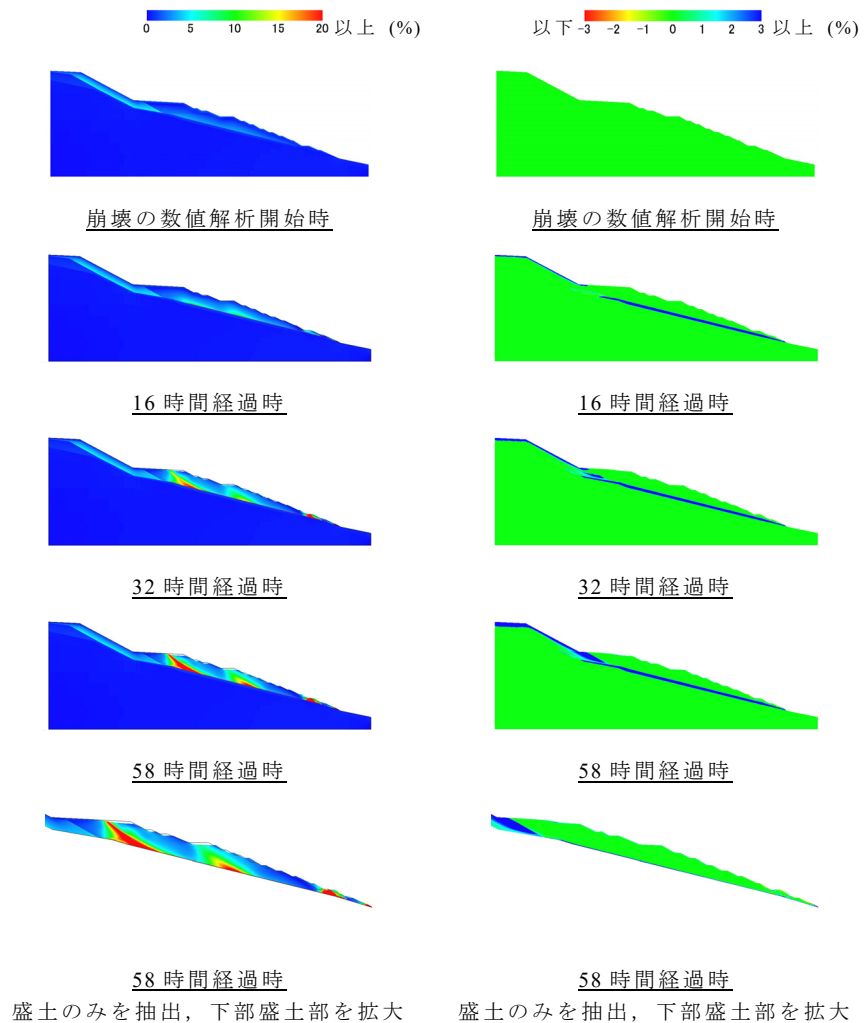


図1 せん断ひずみ分布の経時変化

図2 含水比変化分布の経時変化

(2) 富士山静岡空港滑走路端安全区域(RESA)の高盛土の耐震性の検証

富士山静岡空港の滑走路端安全区域（以下「RESA」）の拡張整備では、空港既設盛土のり面上に新たな高盛土造成が計画されている。近い将来発生するとされる南海トラフ巨大地震に対し、富士山静岡空港は「緊急輸送の拠点となる空港」相当の空港と考えられるため、新たな高盛土造成後の滑走路について地震応答解析を行い、耐震性を検証した。

既設盛土の上面部と法尻の地山部で水平方向の常時微動が計測された。本検討では、小さい地震動を入力し、上面部とりの尻で得られた応答加速度のスペクトルの比と計測結果から得られたスペクトル比の比較から解析モデルの妥当性を検証した。図3はその結果を示す。解析結果は常時微動観測結果を概ね再現できた。

図4は地震終了時のせん断ひずみ分布および各点における変形量を示す。想定南海トラフ巨大地震によって、最大で30%程度のひずみが発生した。各点における水平変位はどの点もおよそ1m発生した。また、鉛直変位については、天端でおよそ1m発生した。このように、盛土全体で大変形には至っていないことがわかった。

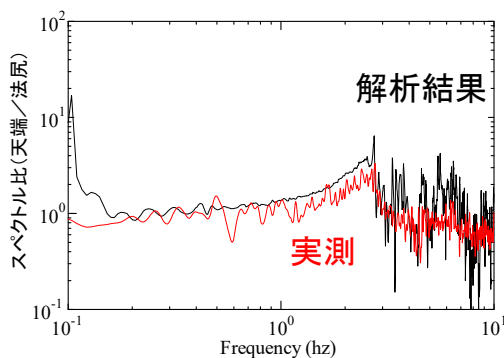


図3 実測と解析のスペクトル比の比較

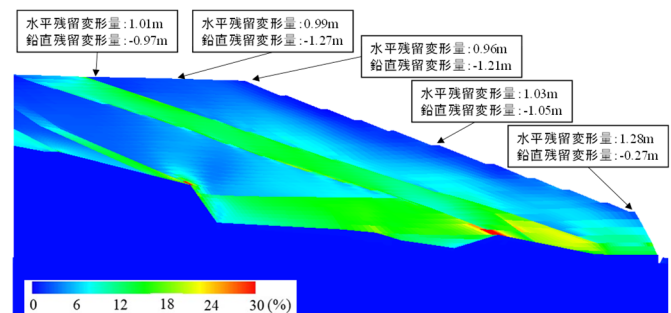


図4 南海トラフ巨大地震後の変形の様子

(3) 座屈褶曲の波長決定因子の解明

水平圧縮を受ける地盤においては、図5のような座屈褶曲を生じることが知られており、その波長や地盤の物性や地層構成により決まるとされる。本研究では、地盤の有限変形に伴う系の固有値変化に着目し、分岐理論の観点から座屈褶曲の波長決定メカニズムについて考察した。

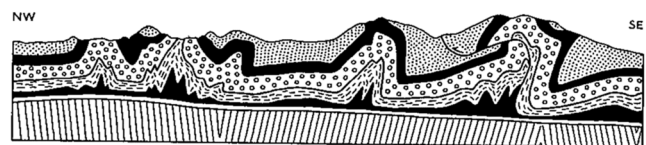


図5 ジュラ山脈のデコルマ面上の地層の褶曲

まず、水平圧縮を受ける弾性薄膜の固有値変化を調べたところ、各モードの固有値変化は図6のように求まる。同解析では、波長の長い低次のモードから順にゼロ固有値を達成する様子（Euler座屈）が確認できるが、Euler座屈によっては、無限水平長を有する実地盤において生じる部材長非依存の波長の出現を説明できない。一方、硬い表層と軟らかい底層からなる地盤においては、図7のように高次モードが最初にゼロ固有値を達成することが示された。また、最初にゼロ固有値を達成する高次モードの波長は設定した地盤の水平長によらず同一であることを確認した。このことから、剛性の異なる堆積構造により座屈褶曲の波長を説明できる可能性が示唆された。

また、本報では紙幅の都合上省略するが、高い等方拘束圧を受ける地層や、基盤による鉛直変位固定の影響により、剛性が一様な地盤においても高次モードがゼロ固有値を達成することを確認している。

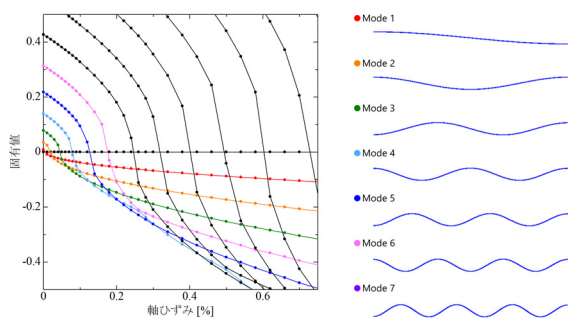


図 6 各固有モードの固有値変化
(弾性薄膜)

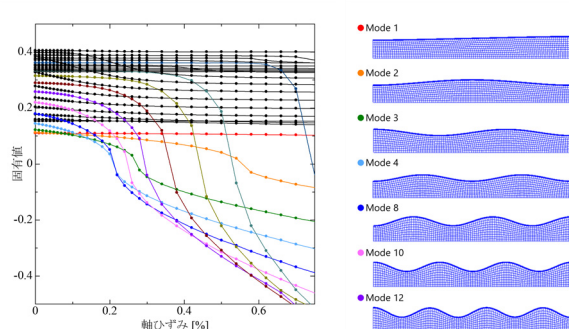


図 7 各固有モードの固有値変化
(剛性の異なる堆積構造)

(4) 御前崎地域の新第三系に見られるような正断層群の形成シミュレーション

海底地盤の隆起に伴う傾斜に伴う正断層群の形成を再現するため、骨格構造の発達度合いが異なる地盤の隆起傾斜に関する数値シミュレーションを実施し、以下のことが明らかとなった。

1) 正断層は、塑性圧縮を伴う軟化挙動を示しながらせん断ひずみが局所化するせん断帯として、地表面から深部に向かって形成される。

2) 形成された正断層群は、複数の断層面がほぼ等間隔で平行に分布し、断層間ブロックが後方回転するドミノ型の形態的特徴を示す。

3) 正断層群の形成には、土の骨格構造の発達度合いが影響を及ぼす。

4) 半固結状態の地盤においてのみ正断層群が形成し得る。

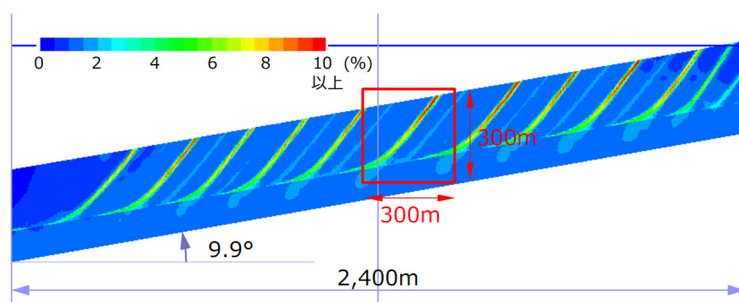


図 8 地盤傾斜に伴う正断層群の形成状況 (せん断ひずみ)

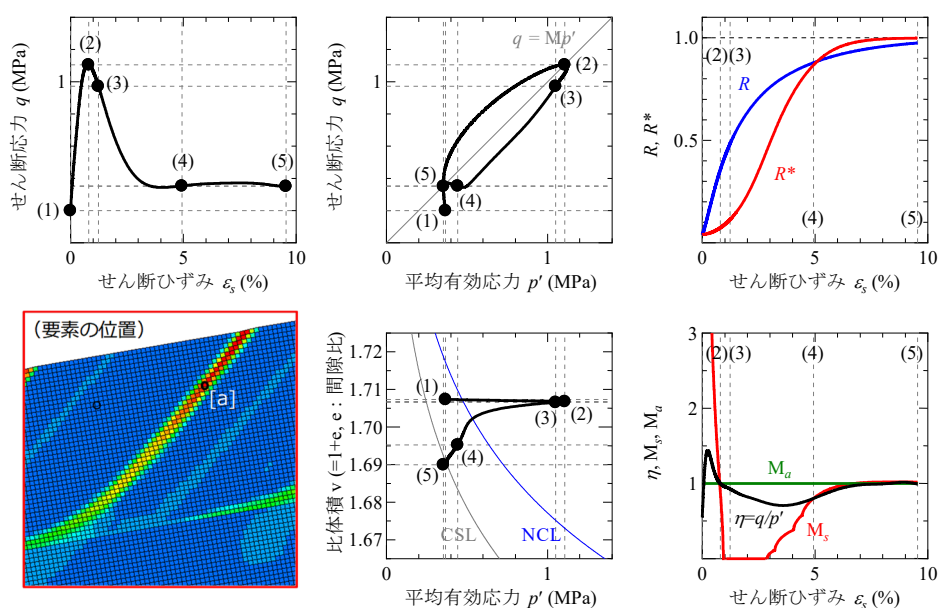
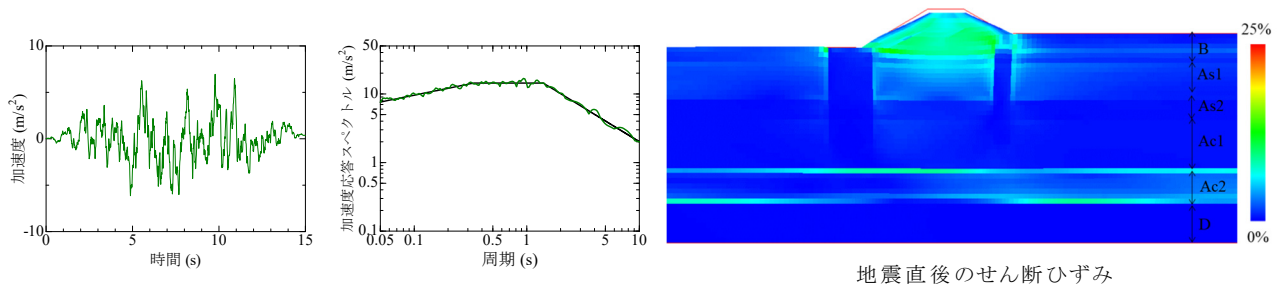


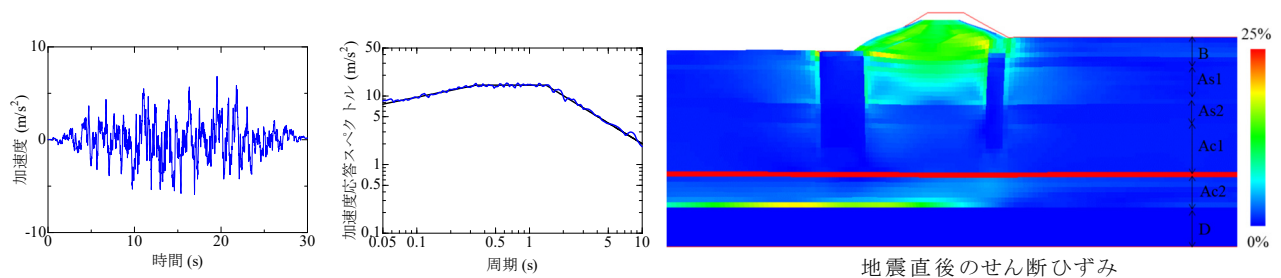
図 9 正断層形成時の塑性圧縮を伴う軟化挙動

(5) 応答スペクトルが等しく継続時間が異なる入力地震動による河川堤防の耐震性照査

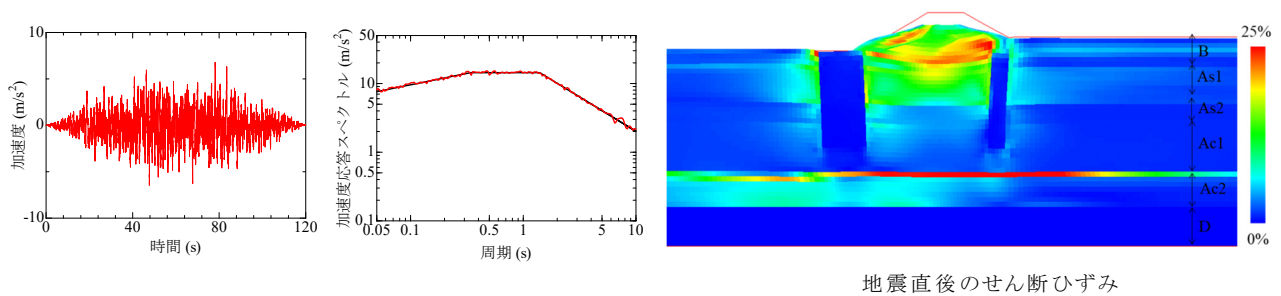
南海トラフ地震などの巨大地震に備えて、河川堤防では、レベル2地震動に対する耐震点検とそれに基づく耐震対策が進められている。しかし、現行の河川堤防の耐震性照査に用いる設計用地震動は加速度応答スペクトルで規定されることが多く、地震動継続時間の影響が十分には検討されていない。そこで、軟弱地盤上に築造された河川堤防を対象に、応答スペクトルが等しく継続時間が異なる地震動による地震応答解析を実施し、地震動継続時間が地震被害に及ぼす影響を検討した。その結果、同一応答スペクトルを有する地震動であっても、液状化や軟弱粘性土の乱れなど、地盤が示す弾塑性応答に起因して、継続時間が長いほど地震被害が大きくなることを示した。



(a) 継続時間：15 秒



(b) 継続時間：30 秒



(c) 継続時間：120 秒

図 10 応答スペクトルが等しく継続時間が異なる地震動による河川堤防の地震被害

令和4年度の主な公表論文等（令和4年4月～令和5年3月）

学術論文など

【Soils and Foundations】

- 1) Improvement in seismic resistance using replacement/counterweight fill method for existing high embankments on inclined ground constructed with various embankment materials, Soils and Foundations, Vol.63, Issue 2, pp.1-14, 2023, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sandf.2023.101284>
- 2) Asaoka, A: My road in search of elastoplastic soil mechanics, Soils and Foundations, Vol.63, Issue 3, pp.1-21, 2023, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sandf.2023.101294>
(上記の日本語バージョンを以下の URL からご覧いただけます。浅岡顕：弾塑性土質力学への道のり, <http://hdl.handle.net/2237/0002006297>)

【GEOAMATE Journal】

- 1) Seismic performance evaluation of PFS method by soil-water coupled finite deformation analysis, International Journal of GEOAMATE, Vol. 22, Issue 89, pp. 94-99.
- 2) Effect of fibers on the compressive and tensile strengths of sand considering failure mode, International Journal of GEOMATE, Vol.23, Issue 99, pp.1-8.

【International Journal of Geomechanics】

- 1) Finite-deformation Cam-clay model considering elastic dilatancy and soil skeleton structure, Vol.23, Issue 2, International Journal of Geomechanics, DOI: <https://doi.org/10.1061/IJGNAL.GMENG-7117>

【地盤工学会誌】

- 1) 2021 年 7 月熱海土石流災害における盛り土崩壊メカニズムの解明－三相系弾塑性解析と吸水軟化試験－, 地盤工学会誌, Vol. 71, No. 3, pp. 30-40, 2023.

国際会議

【15th World Congress on Computational Mechanics – 8th Asian Pacific Congress on Computational Mechanics】

- 1) Simulation of deformation followed by failure of unsaturated slope in a rainfall model test, 15th World Congress on Computational Mechanics – 8th Asian Pacific Congress on Computational Mechanics (WCCM-APCOM), 716, 2022.
- 2) Numerical elucidation of the graben crack damage that formed in the Aso caldera due to the 2016 Kumamoto earthquake, 15th World Congress on Computational Mechanics – 8th Asian Pacific Congress on Computational Mechanics (WCCM-APCOM), No. 2187.

【20th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering】

- 1) Development and validation of deformation analysis method for unsaturated soil based on new effective saturation degree considering trapped air, 20th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, 2022.
- 2) Two types of water absorption failure mechanism of unsaturated silt triaxial specimen, 20th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, 2022.

国内発表

【第 27 回計算工学講演会(2022 年 6 月)】2 編, 【第 66 回理論応用力学講演会(2022 年 6 月)】1 編, 【第 57 回地盤工学研究発表会(2022 年 7 月)】8 編, 【第 34 回中部地盤工学シンポジウム (2022 年 8 月)】3 編, 【第 77 回土木学会年次学術講演会 (2022 年 9 月)】4 編, 【令和 4 年度土木学会中部支部研究発表会(2023 年 3 月)】3 編など

編集後記

体温を越えるようなとても暑い日ですが、久しぶりに晴れやかな、爽やかな気分で、Bulletin の編集をしていました。個人的に特段良いことがあったわけでもないのですが、コロナのもやとしていた霧が晴れたからでしょうか。今年の bulletin は、静岡関連が 3 編ありました。高盛土の計算では、実測と解析のスペクトル比がほぼ一致していましたし、降雨や地下浸透水で盛土斜面が壊れるとか、会長挨拶にも書かれている断層の計算でも、特殊な要素を使うことなくドンドン滑っていくなどと、GEOASIA のポテンシャルの高さを再認識させてもらいました。
(高稲)

