GEOASIA Bulletin No.14　第 14 号

ALL SOILS ALL STATES ALL ROUND
GEO-ANALYSIS INTEGRATION

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 2 年 8 月 28 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: http://www.geoasia.jp

会長メッセージ

最初に，堤防技術について少し明るいニュースを紹介したい．

昨年のジオアジア総会から 2 か月後，令和元年 10 月 12～13 日，台風 19 号による大規模な洪水が発生し，長野県千曲川，福島県阿武隈川を中心に全国で 142 箇所の河川堤防が決壊し（うち 86%は越水が主要因），約 3 万 5 千 ha が浸水するなど甚大な被害が生じた．2015 年鬼怒川堤防の決壊以降今更のように「危機管理型ハード対策」の重要性は言われてきていたが，その不十分性が改めて露呈する結果となった．

これを受けて，今年 2 月国交省水管理・国土保全局（旧河川局）内に「台風 19 号の被災を踏まえた河川堤防に関する技術検討会」が発足し，3 回の審議を経て，今年 8 月に入り報告書最終版が公になった．堤防強化技術の開発については検討会の外側にいる民間土木技術者に対して広く意見聴取が行われた．これを日頃からの研究開発の成果発表の機会と捉え，積極的に応じられた（一社）鋼管杭・鋼矢板技術協会をはじめとする土木技術者には，心からの敬意を払いたい．

報告書では「土堤原則」の廃棄こそ表立っては謳われてはいないが，従来の天端舗装と裏法尻補強だけの「危機管理型ハード対策」には限界があることを認め，より高い効果を有する「粘り強い河川堤防」を目指して，大別，①堤防被覆型，②断面拡幅型，③一部自立型（鋼管矢板やソイルセメント壁を含む）に分類される堤防強化技術の研究開発を，公的研究機関，民間，大学との連携も構築しながら推進するとしている．実際，このコロナ禍の中，千曲川穂保地区の復旧現場を視察された先輩によれば，従来の危機管理型ハード対策をしのぐ，裏のり面を全面連結ブロックでカバーした耐越水堤防が建設中であったという．「ソフト」でたとえ命は救えても，住居・財産を無くしては，被災者は生きる意欲を失う．その光景はもう毎年目にしている．昨年このメッセージでも書いたが，防災の原点はハードにある．土木技術者はその先頭に立っている．

こうした矢先に，土木技術者の社会的責任が問われる，大変な事態に今更ながら心奪われている．6 月 7 日東京新聞朝刊一面で「東京アラート」と並んで，「リニア 27 年開業延期へ　静岡で会談　知事，工事認めず」という記事が飛び込んできた．南アルプスの地下水環境の変化と大井川水系の水枯れを心配する静岡県が，県内の工事を認可しないことによって，「リニア中央新幹線」品川～名古屋間の 2027 年開業は遅れることになった，というものである．「静岡県のせいでリニアは遅れる」，朝日をはじめ他の大新聞もすべて同じ論調であった．

2027 年までにはあと 7 年しかない．トンネルが完成してからでも，浮上車両推進の反力を取る鉛直壁 4 枚の敷設（リニアモーターの車外側電磁コイルを巻いたコンクリート壁で，従来のレール・コンクリート床板に相当）など運行諸設備の建設，車両運行訓練と事故時の退避訓練など目白押しである．これを 2, 3 年でやるとしても，

トンネル掘削には 4，5 年しかない．10.7 ㎞の飛騨トンネルを掘るのに，当初 5，6 年のつもりが 10 年以上かかった．大新聞がリニア歓迎の論調を張るのは自由としても，2027 年の工期は守れると思っていたのだろうか．

工期を措いても,そもそもトンネル掘削は可能なのか？伊那山地主稜線は花崗岩からなり 15 ㎞のトンネル掘削は楽だとしても，25 ㎞の南アルプス（赤石山脈）トンネルはその逆である．赤石山脈の地質は西南日本外帯に属し，主体はおよそ 1 億年前～2000 万年前に形成された四万十帯という付加体によって構成されている．その付加体には，泥質基質中に海洋性と原地性の様々な規模と種類の岩塊が混在したメランジェという，きわめて不均質で激しい剪断構造を有する地質体が多くの層準に存在する.赤石山脈の四万十帯はそれに加えて 2000～1500 万年前の大変動（日本海拡大，日本列島形成と屈曲，伊豆弧衝突）に伴って形成された糸魚川・静岡構造線と屈曲させられた中央構造線によって東西から挟まれて激しい変形を受け，内部に新たに複雑な構造が加重（オーバープリント）されることになった．このように赤石山脈の四万十帯は西南日本外帯のなかでは最も激しい変形を受けたものである．繰り返すが，山体は，だから一枚岩などとは程遠い，極度にばらばらの混在岩（メランジェ）からなり，それらが超高圧の山体内地下水に支えられて存在している．さらに赤石山脈の隆起は 100 万年前から顕著となったが，最近 100 年間において主稜線周辺で 4mm/y と世界的に最速レベルを示しており，赤石山脈は現在も強い地殻変動の場にある．トンネルは概して深く，最大土被りは 1400m に達する．もともとトンネル掘削は，切羽での水圧軽減（ほとんどゼロ）を達成してからようやく前進する．だから出水は避けられない．薬液注入の最新技術は，超高圧のこの現場で信頼できるのか？仮にトンネル掘削が進み，周辺の地山状況が徐々に分かってきたとしても，そのもとでのトンネル構造物の安全性，耐久性，地震時安定性は誰がどうやって力学照査するのか．これらの情報は，外部の土木技術者にはこれまで一度も，一切公開されたことがない．多くは，予定のトンネル断面（100m^2 級）の図面さえ眺めたこともないであろう．

すでに見たように，どの新聞にも土木技術の理解はほとんどない．我々に南アルプス深部を通るトンネル掘削の経験はまったくない，だから彼らにそのことは正直に言おう．そして,「大井川水系の水収支をゼロにする，富士川,天竜川に水を一滴も漏らさないトンネル掘削にも,したがってまったく自信がない」.これも正直に言おう．北アルプスにも中央アルプスにも見られない，緑豊かな南アルプスを水枯れさせてしまっては元も子もない．

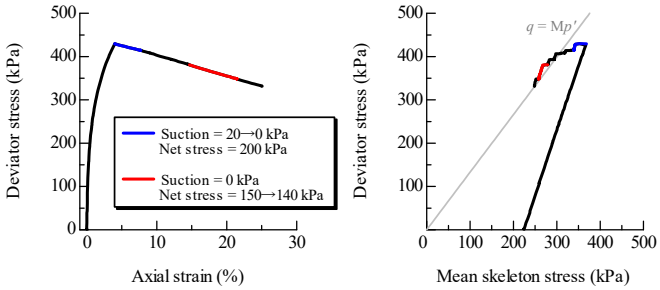
一私企業が夢見た 6500 万人メガロポリス構想が，現政権のスーパー・メガリジョン構想と重なるとしても，どの新聞もその構想を公開し，原発 1 基分ともいわれる電力が必要なリニアを軸に，大量の人間往来を促すこの国土改変の是非を，国民に尋ねようとはしていない．何故だか私にはわからない．このときに,「工事は本当に難しい．少し立ち止まって，ゆっくり考え直してみてはどうか」と直言できるのは，今のところ我々日本の土木技術者だけかもしれない．コロナ禍はいい機会だと思う．そのうえで，品川～甲府くらいと言うのなら，悪かぁねえ，手伝ってやってもいいぜ！

(公財)地震予知総合研究振興会副首席主任研究員　名古屋大学名誉教授　浅岡　顕

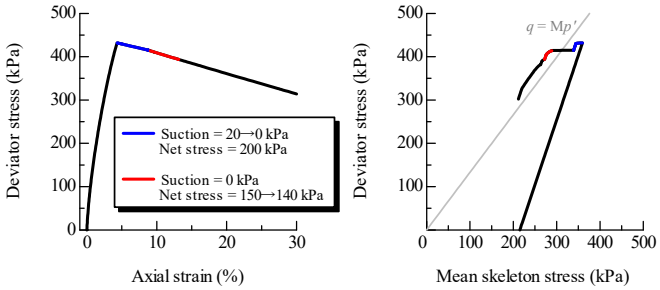
令和 1 年度活動報告

（1）慣性力考慮の三相系弾塑性有限変形解析による不飽和土三軸供試体の吸水破壊シミュレーション

不飽和シルト供試体に対して三軸圧縮過程中に荷重一定条件下で，サクション低下と間隙圧上昇（基底応力低下）により吸水破壊させる実験の数値シミュレーションを行った．図 1 は実験結果と計算結果の比較を示す．図 2 は供試体内の負荷状態を示す．計算結果は実験結果の特徴をよく捉えられており，サクション低下時は，飽和度上昇に起因した「塑性体積圧縮を伴う軟化挙動」，間隙圧上昇（基底応力低下）時は限界状態線上側の有効応力（骨格応力）状態で示す「塑性体積膨張を伴う軟化挙動」であることを明らかにした．また，破壊時には加速度を伴って軸変位が進展する挙動の再現に成功した．



(a) 実験結果



(b) 計算結果

図 1　サクション低下と間隙圧上昇による吸水破壊試験

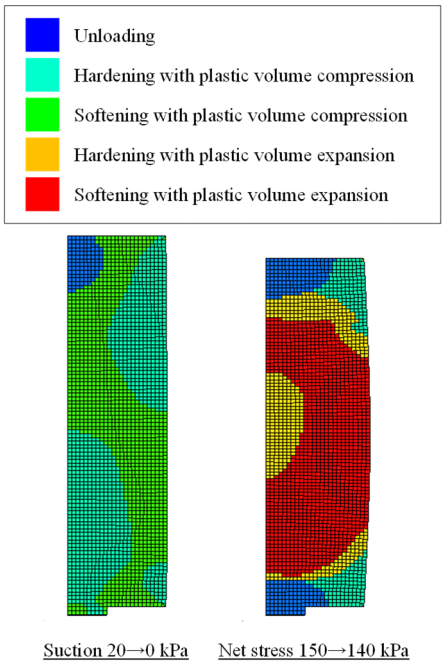
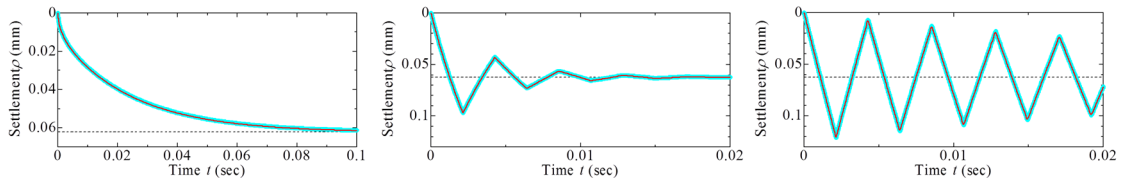


図 2　供試体内の負荷状態（計算結果）

（2）u-w-p formulation に基づく高透水性土の動的即時沈下解析

GEOASIA による水～土骨格連成解析は ***u–p*** formulation と呼ばれる定式化を採用している．これは間隙水の静的浸透を仮定することで方程式系を縮約する「近似解法」であるため，間隙水の動的浸透を伴う連成問題，とくに高透水性土の動的変形問題への適用は困難であった．そこで，静的浸透の仮定を導入することなく元の支配方程式を直接解く ***u–w–p*** formulation に基づく定式化手法を新たに開発し，その適用可能性を検討してきた．

u–w–p formulation による解析は，問題を一次元に限定しても，図 3 のように，低透水性土における「圧密現象」から高透水性土における繰返し吸排水を伴う「圧縮波の伝播」まで，透水係数に応じて全く様相の異なる現象を一貫した体系の下で求解できる点で特徴づけられる．実は，飽和土に対する瞬間載荷問題の場合，***u–w–p*** の方程式系は「減衰波動方程式」と呼ばれる混合型微分方程式に帰着され，その級数解の各モードは透水係数が小さい場合には放物型となり過減衰解（圧密）を，透水係数が大きい場合には双曲型となり減衰振動解を与えることが知られており，その理論解は先の解析結果と完全に一致する（Verification）．今後はグラベルドレーンの動的応答解析をはじめとする礫質土を含む地盤の地震応答解析への適用を図る．



(a)　$k = 10^{-2}$cm/s　　(b)　$k = 10^{0}$cm/s　　(c)　$k = 10^{1}$cm/s

u–w–p による数値解析解　　減衰波動方程式の理論解

図 3　沈下～時間関係に及ぼす透水係数 k の影響

（３）海底地盤の隆起傾斜に伴う正断層群の形成に関する数値シミュレーション

海底地盤が隆起する際の地盤傾斜に伴う正断層群の形成を再現するため，固結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た．その結果，半固結状態の地盤においてのみ正断層群が形成し得ることが分かった．半固結状態で形成された正断層群は，時間経過に伴って固結が進行すると再度すべりにくくなることを考えれば，今回の計算は，続成作用による固結化の経年的進行度合いとの照合により，正断層群の形成年代を推定できる新しい力学的な手法となり得ることを示唆している．

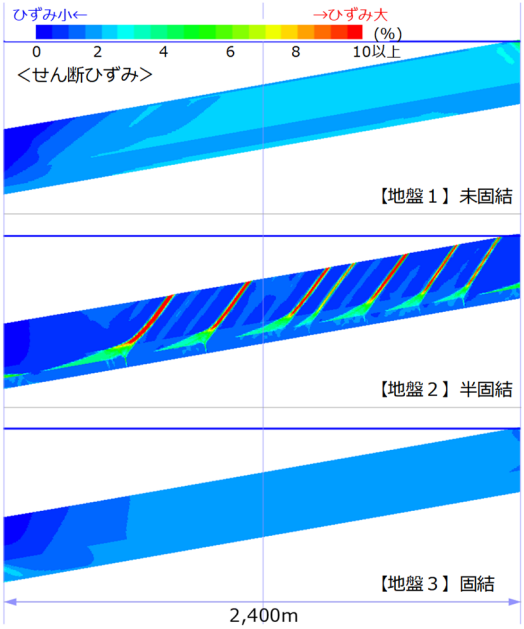


図４　固結度合いが異なる地盤の正断層群形成状況

（４）異なる特性を持つ２つの地震動に対する泥岩高盛土の耐震性に関する数値解析的検討

泥岩盛土は造成後，スレーキング進行に伴い耐震性低下を引き起こす．そこで本研究では，実盛土で行われた地盤調査をもとに，盛土の状態を解析上で再現した．その後，本盛土に対し，異なる特性を有する２つのレベル２地震動への耐震性把握を試みた．南海トラフ地震では，長時間の繰り返し載荷を受けること，第一波により剛性が低下した状態で第二波を受けることで，せん断ひずみが進展した．一方で兵庫県南部地震では，地震動が短いことから大変形に至らなかった．

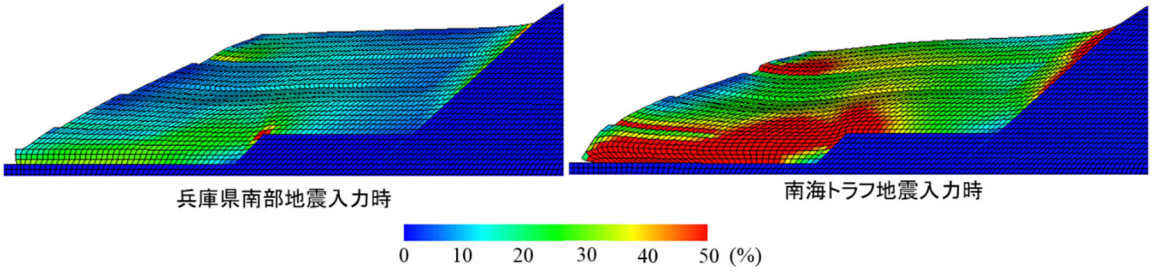


図５　地震終了時におけるせん断ひずみ分布

（５）置換・押え盛土工を施した傾斜地盤上に造成した盛土の地震応答解析

傾斜地盤上に造成した盛土に置換・押え盛土工を施した際の耐震性について，数値解析的に検討した．置換・押え盛土工を実施すると，いずれの盛土についても耐震性が向上した．また，押え盛土の高さを大きくすると，押え盛土による補強効果が広い範囲で得られるため，押え盛土が最も高いケースが最も耐震性が向上し，右のり肩の変位が半分以下まで抑制された．

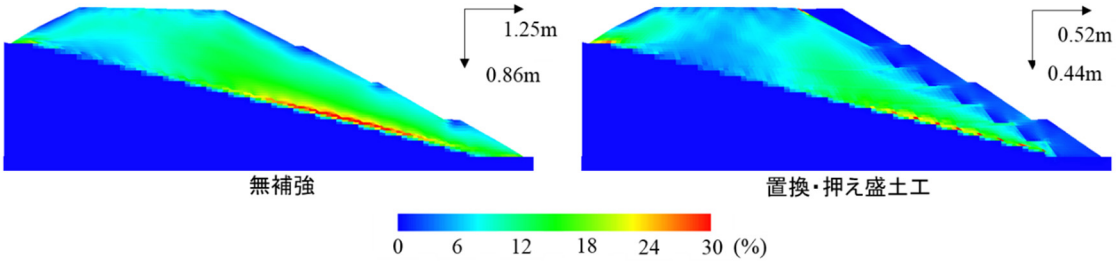


図６　置換・押え盛土工の耐震性向上の検証結果

（6）球形ガスホルダー - 軟弱地盤系の地震時～地震後挙動

N 値 10 以下の緩い砂層および軟弱粘性土層上に杭支持で設置された球形ガスホルダーについて，等しい加速度応答スペクトルを示す 2 種類の L2 地震動を入力して，地震時～地震後の沈下挙動について調べた．入力地震動は，直下型地震と海溝型地震動（図 7）である．直下型地震動では，杭は主要動開始から 5 秒程度でほぼ全域が損傷し，一方，海溝型では 100 秒の間に徐々に損傷した．杭は地震中にほぼ全断面で損傷したため地震開始時から杭が存在しない場合を想定した解析も実施した．その結果，直下型地震動入力時には，杭アリ・ナシともに同様の沈下挙動を示したが，海溝型地震動入力時には，杭アリの場合、粘性土層の剛性低下によるせん断変形が抑えられ，地震中に杭はほぼ損傷するもののガスホルダーの地震中の沈下を抑えられることが分かった．

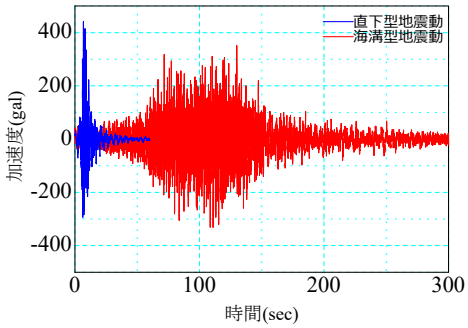


図 7　入力地震動

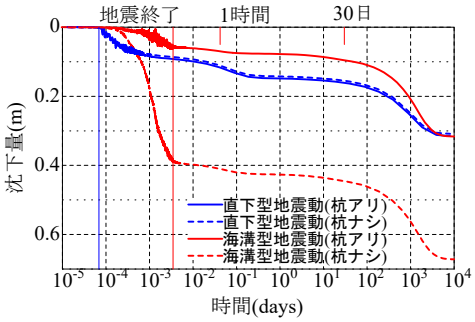
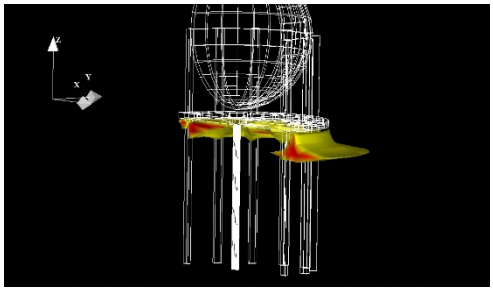
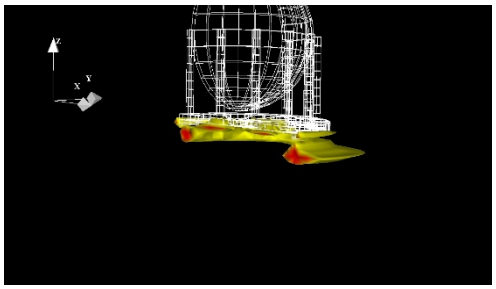


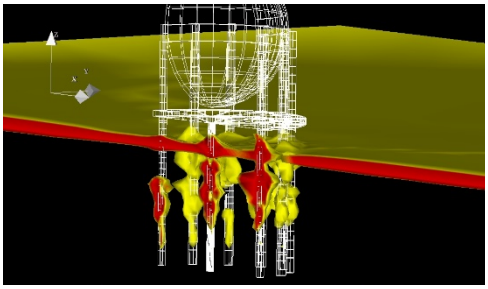
図 8　沈下時刻歴



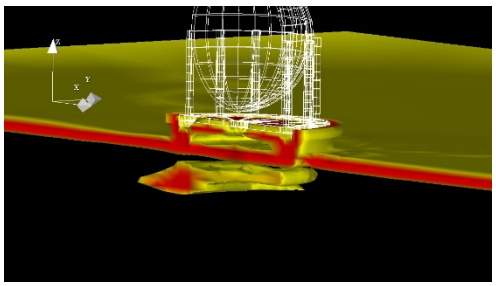
(a) 直下型地震（杭アリ）



(b) 直下型地震（杭ナシ）



(c) 海溝型地震（杭アリ）



(d) 海溝型地震（杭ナシ）

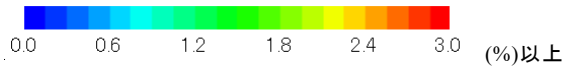


図 9　圧密終了時のせん断ひずみ分布（2.2%以上を表示）

（7）液状化地盤における電柱のドレーン化による地震時変状抑制効果の数値解析的検証

電柱に対する新しい耐震対策工法として，地中部電柱ドレーン化工法に対する数値解析的検証を行った．地震中の過剰間隙水圧上昇が抑制されるため，電柱周りの地盤が剛性を保ち，電柱の揺れ（傾斜）が小さくなることを示した．別途実施した遠心力模型実験ともよい整合性を示しており，電柱ドレーン化によって液状化地盤の電柱の変状抑制効果があることを確認した．

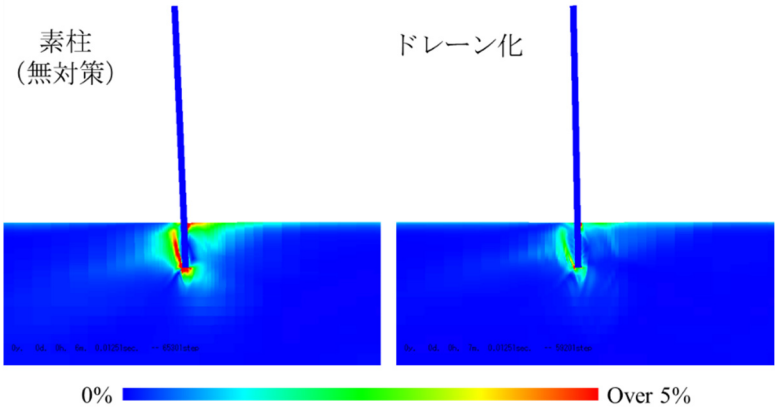


図 10 地震発生から 500 秒後のせん断ひずみ分布

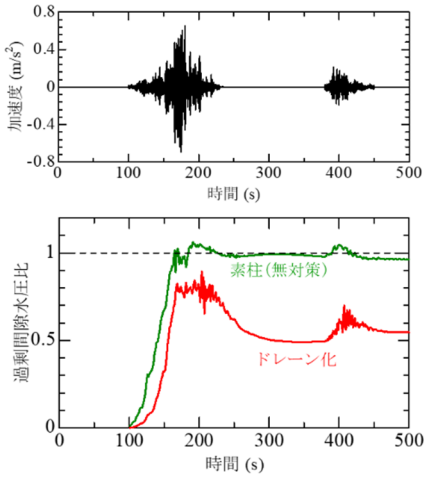


図 11　過剰間隙水圧比の時刻歴変化

令和１年度の主な公表論文等（平成 31 年 4 月～令和 2 年 3 月）

学術論文など

【Soils and Foundations】 Development and verification of a soil–water coupled finite deformation analysis based on ***u***–***w***–*p* formulation with fluid convective nonlinearity, *Soils and Foundations*, Vol.59, Issue. 4, 888-904, 2019.

【土木学会論文集】

①小規模な浮き型格子状地盤改良による既設小規模構造物の液状化被害の低減効果, Vol. 75, No. 2, p. I_329-I_339, 2019. ②戸建て住宅の液状化被害に及ぼす隣家の影響, Vol. 75, No. 2, p. I_401-I_410, 2020. ③堤防の浸透破壊に関する模型実験の空気～水～土連成有限変形シミュレーション, Vol. 75, No. 2, pp. I_379-I_388, 2020.

国際会議【16th Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (Taipei, Taiwan, 1 年 10 月)】①Mechanical properties of mudstone aggregate subjected to cyclic drying-immersion under constant vertical load, and seismic response analysis of mudstone embankments.②An analytical consideration on aftershock-induced expansion of liquefaction damage of sandy ground with groundwater-level rise due to main shock.③Numerical reproduction of Rayleigh and Love waves and assessment of their influences on subsurface ground damage.④Numerical simulation of Riedel shear bands formation considering effects of geometrical barrier on strike-slip fault.⑤Analysis of the influence of phreatic surface position on the deformation of fill slope by using 1G shaking table tests.⑥Earthquake resistance evaluation of a spherical gas holder considering its ultimate state due to liquefaction induced differential settlement of sandy ground. 【VIII International Conference on Coupled Problems in Science and Engineering (Catalonia, Spain, 1 年 6 月)】3 編【7th Asia-Pacific Conference on Unsaturated Soils (Nagoya, Japan, 1 年 8 月)】2 編

国内発表【第 24 回計算工学講演会(さいたま，30 年 5 月)】2 編，【第 22 回応用力学シンポジウム(さいたま，30 年 6 月)】1 編，【2019 年度日本地球惑星科学連合大会（幕張，30 年 5 月）】1 編，【第 54 回地盤工学研究発表会(さいたま，1 年 7 月)】16 編，【第 31 回中部地盤工学シンポジウム（名古屋，1 年 8 月）】5 編，【第 74 回土木学会年次学術講演会（高松，1 年 9 月）】4 編など

編集後記

今年の梅雨は長く雨の多い梅雨でした．梅雨が明け、暑い夏になってもコロナ感染はおさまらず，今年度の研究会総会はオンラインでの開催となったわけですが，オンラインの良いところもあり，来年は，会場参加とオンライン参加が可能となるような開催方法を検討したいと考えています．(一社）GEOASIA 研究会は設立から 10 年が過ぎ次のステップに向けて努力してまいりますので，今後ともご支援の程宜しくお願い致します．（高稲）