

GEOASIA Bulletin No.15

第 15 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 3 年 8 月 27 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

コロナ禍がますます全国拡大し大都市で医療崩壊の危機も危ぶまれる中、マラソンの札幌でも 100 年来の猛暑が伝えられています。今年またジオアジア総会はリモートのオンライン開催になりましたが、会員の皆様には変わらずお元気にご活躍のことと、推察しております。

6 月に「地質調査業協会中部支部」から、日々地質調査と土質試験に関わっている現役技術者に、「土質力学の復習に役立つ手短な書き物」を依頼されました。このご依頼には、私自身の自惚れが災いし簡単に引き受けてしまいましたが、実際に書いてみると今更ながら老齢の非力を思い知る結果になりました。書き物のものは「手短でよい」おかげで救われましたが、この 3 年前まで、いつもこのメッセージで触れていた「ジオアジアの教科書」のことを、改めて考えるいい機会になりました。

土質力学は塑性学を「金属塑性」から教わりました。Mises 基準なくして土質力学はなかったでしょう。金属塑性は「塑性加工」に大発展を遂げましたが、土質力学では、金属にない土の二つの特性、「圧縮」と「誘導異方性」をまじめに考える中で、「弾塑性土質力学」に発展しました。どこにでもある言葉のように思われるかもしれませんが、「弾塑性土質力学」という言葉は、私自身は、今回初めて使うものです。

金属をはじめどんな材料も、熱変化を別にすれば、土木建築で出てくるくらいの力では、水も含めて、圧縮しません。土の圧縮は、「土」が土と水と空気の混合体である結果です。粘土でよく使われるコンシステンシーも水と土の混合体ならではものです。砂もちろん、乾いていればトントントンと軽く叩くだけで大圧縮します。一方の誘導異方性ですが、これも圧縮同様、ほかの材料では聞いたこともありません。どうしてか？ 粘土にも誘導異方性は顕著にありますが、しかし砂が粒状体であることを思い浮かべると、すぐにも理解されます。金属の移動硬化がいかに間合合わせ的であるのと比べると、粒状性を背景にした土の誘導異方性は、再液状化の評価にもはるかに説得的で、現象をよく説明します。

以上はすべて土骨格の構造概念に由来します。この概念は、繰り返し粘土の弾塑性力学である Cam Clay model の限界を打ち破るための、私たちにとっては大変重要な発明でした。しかしそれ以前に、よく考えてみれば、金属と土は、もともとまるで違っていたのです。

こんなことを書き始めると終わりがないので、ジオアジア教科書全 6 部の、会長ではなく、浅岡個人の構想を以下に書きます。



ジオアジア 全6部

1 弾塑性土質力学 その1

土の圧縮のメカニズム $e - \log p'$ を超えて

2 弾塑性土質力学 その2

土の一方の真実は異方性！ 粘土の異方性，砂の液状化，再液状化

3 弾塑性土質力学 その3

不飽和土，土の混合体特性の極致

4 計算地盤力学 その1

連続体の運動方程式と有限変形解析，混相体の相互作用の計算

5 計算地盤力学 その2

固体と流体の接点をめぐる，計算地盤力学の最新事情

6 地盤工学と **GEOASIA**

地盤工学で計算は無用か？

GEOASIA プログラムの使い方と典型的な最新解析事例の解説

このようなものを分かり易く書くだけなら，1の概要なら10日も過ぎず書き上げた年寄りの私から言えば，担当執筆者は，五，六回の土曜と日曜を使うだけでもう十分なはずです．研究や日々の雑務をこなす妨げにもならないでしょう．上記の「構想」をきっかけに，もう一度議論が進むのを期待します．

七言絶句風の戯詩を一つ紹介して終わります．

詩書を読み尽くすこと，五，六担（400～500キログラム！）

老来 方（まさ）に，一青衫（いちせいさん 科举に合格，青い役人服）を得たり
佳人（美人）我に問うていわく，年多少（としはおいくつに）なるや
五十年前二十三

私は今年もう，五十年前二十四になりました．

（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2年度活動報告

（1）河川堤防の力学挙動に及ぼす地震と河川水位の複合外力の影響

空気～水～土三相系の GEOASIA により，地震と降雨の複合外力を想定して，河川水位と堤体の飽和度の違いが堤防の地震時の力学挙動に与える影響について調べた．図1は地震直前の飽和度分布と河川水位を示す．河川水位を上昇させない場合を CASE0 として，CASE1 では水位上昇直後に，CASE2 では定常状態になるまで放置した後に地震波を入力した．CASE3 と 4 はそれぞれ，CASE1 と 2 から河川水位を元の高さまで低下させた直後に地震波を入力した．図2は地震直後のせん断ひずみ分布図を示す．まず CASE0 と CASE1・2 の比較から，河川水位が高い場合は堤内側に大きな変形が生じている．これは，河川水位に対応する表面力が堤体に作用した状態で地震を受け，堤内側に押される状態で変形したためである．一方で，水位を低下させた CASE3・4 では堤内側への大きな変形は見られない．次に，飽和度が異なる CASE1 と 2 および CASE3 と 4 を比較すると，飽和度が高い CASE2 および CASE4 の方が地震中に平均骨格応力が低下するため，大きなせん断変形が生じている．このよう

に，河川からの浸透による堤体の飽和度上昇だけでなく，河川水位に対応する表面力が堤体を堤内側に押す影響も大きいことを示した．

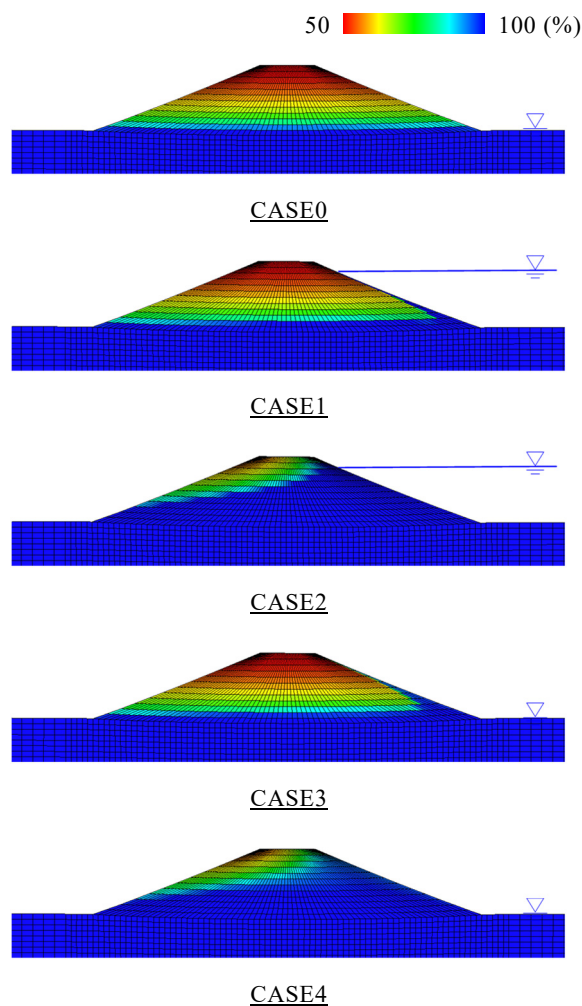


図 1 地震直前の飽和度分布と河川水位

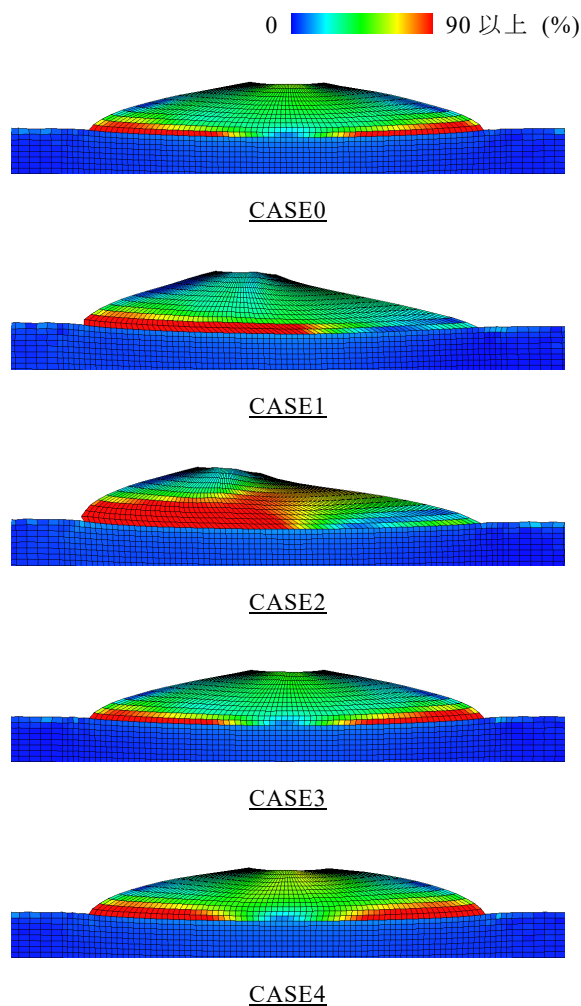
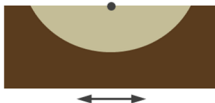
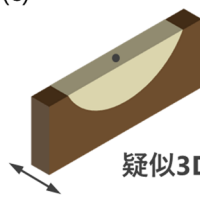
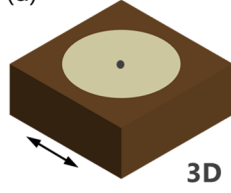
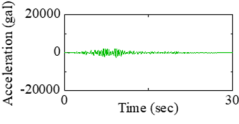
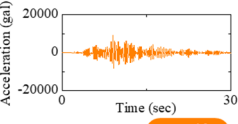
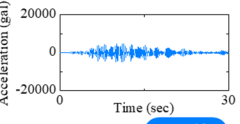
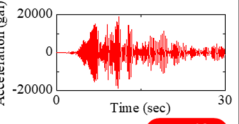
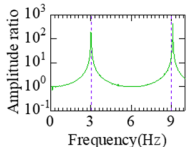
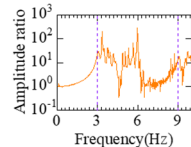
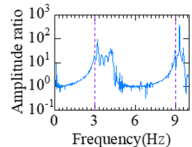
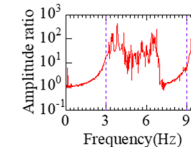


図 2 地震直後のせん断ひずみ分布

(2) 三次元的な地下構造を有する堆積盆地の弾性・弾塑性地震応答解析

地盤内に不均一な堆積構造が存在する場合，地表面では局所的な強震動や長時間に亘る地震動の継続を生じ，被害が甚大化することが知られている．本研究では，表 1(d)のような三次元球形堆積盆地を対象に地震応答解析を実施した．材料を一相系弾性体とした場合，三次元構造に起因して，図 3 のような円環状のひずみ分布や複雑な波動干渉が解かれた．その地表加速度は表 1(a)~(c)の低次元解析と較べて遥かに大きく，スペクトル特性も全く異なることから，三次元解析の重要性を指摘した．次に，材料を二相系弾塑性体として同様の解析を行った．緩い砂地盤を想定した場合，図 4 のような堆積層全体での平均有効応力低下（液状化）と，それに伴い堆積層全体が流動する「スロッシング現象」が解かれた．液状化により波が伝わらなくなった結果，地表加速度は図 5(a)のように減衰し，堆積層内での伝達関数（同図(b)）も時間経過とともに 1 未満に転じた．また，材料を軟弱粘性土とした場合には，顕著な増幅と長時間の揺れが解かれるなど，堆積層の構成材料による応答の差異も明らかとなった．

表 1 解析条件・解析結果（弾性解析）

	(a)	(b)	(c)	(d)
				
地表面 盆地中央での 水平加速度	 Max: 2482(gal)	 Max: 9313(gal) 3.8倍	 Max: 4842(gal) 2.0倍	 Max: 18955(gal) 7.6倍
盆地中央 堆積層内での 伝達関数				

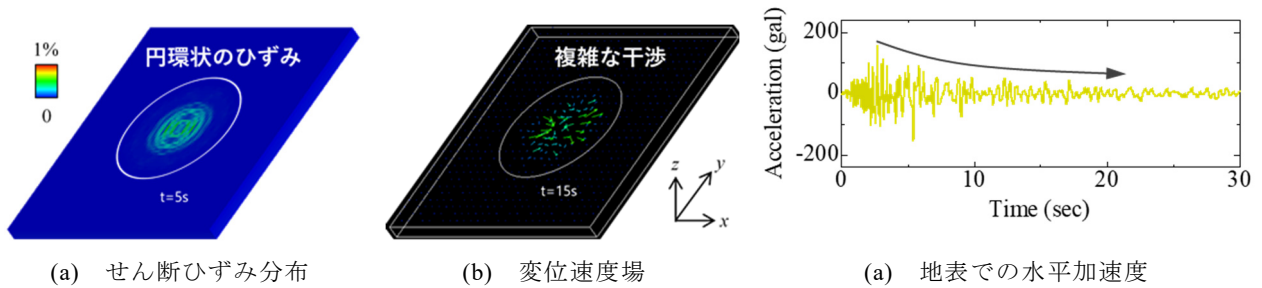


図 3 一相形弾性解析

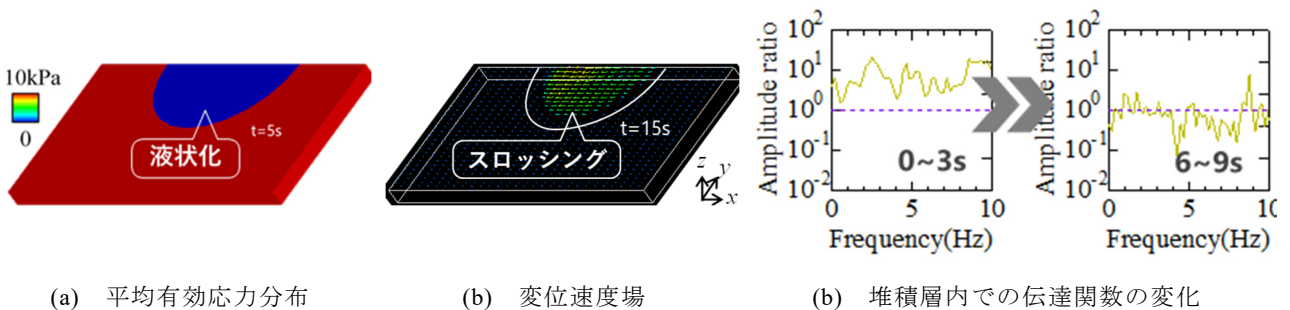


図 4 二相系弾塑性解析（緩い砂地盤）

図 5 加速度波形と伝達関数(緩い砂地盤)

（３）液状化履歴による異方性の発展を考慮した再液状化現象のシミュレーション

砂地盤は、過去の地震により液状化が起こった後でも、その後の地震で再び液状化することがある。この現象は「再液状化」と呼ばれ、東日本大震災では、85箇所確認された。本研究では、液状化中に発展する応力誘導異方性に着目し、複合負荷弾塑性構成式を搭載した GEOASIA を用いて再液状化現象のシミュレーションを実施した。図 6 は過剰間隙水圧比分布を示す。液状化履歴ありは再液状化しており、液状化履歴なしは液状化していない。この理由として、1 回目の液状化中に異方性が発達し、それが地震後に残っているためである。図 7 を見ると、液状化履歴がある方は、 β_{12} が 0.5 程度の値を取っており、これは異方性が残っていることを表している。そのため、 τ が負から正に変わる方向にせん断を受けた際に、平均有効応力が大きく低下し、液状化に至った。

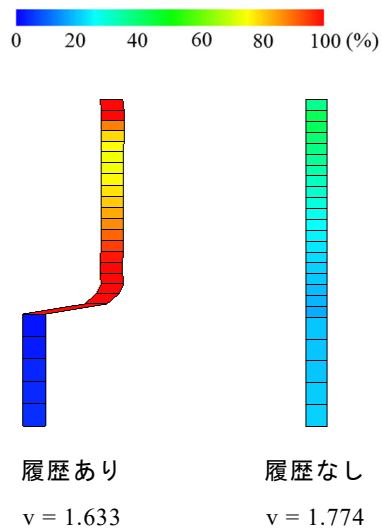


図 6 地震直後の過剰間隙水圧比分布

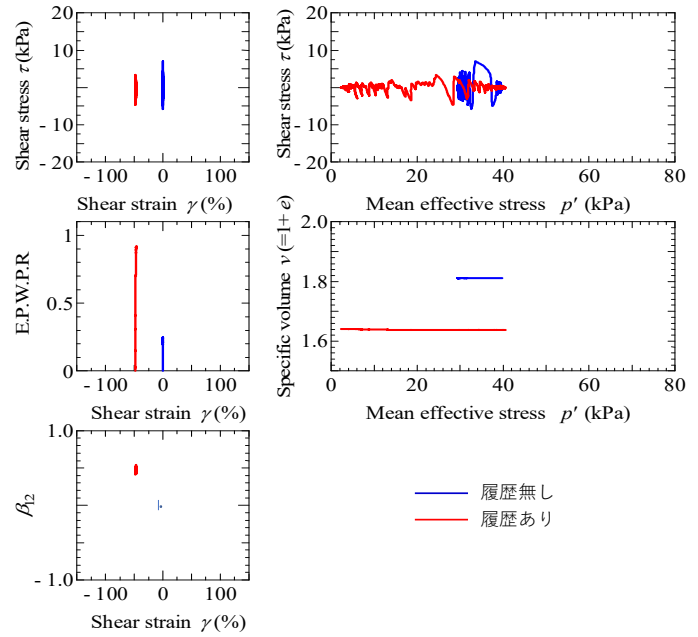


図 7 再液化化要素の挙動

(4) 一様圧縮作用下での Imbrication およびデコルマの形成解析

水平圧縮を受ける地盤内に発生する変動地形として、共役なすべりに挟まれたブロックが隆起する「pop-up」、平行な衝上断層群である「imbrication」、水平断層である「デコルマ」の形成過程を GEOASIA による弾塑性変形解析で再現した。まず、一相系超過圧密地盤を水平圧縮すると、底面を摩擦なしとした図 8(a)では Pop-up の発生が解かれたが、底面に一様圧縮場を与えた同図(b)では imbrication (piggyback 型：新しい衝上断層が古い衝上断層の下盤側で形成されてゆく衝上順序) の形成過程が解かれた。これに対し、右端での側面摩擦を考慮した(c)では、上盤側で衝上断層が進展する Overstep 型の衝上順序となり、その発生間隔も異なるなど、imbrication の様相が境界条件に応じて大きく異なることを確認した。また、材料を半固結堆積岩とした二相系解析 (d)では、模型中央においてデコルマが発生して領域 I が剥ぎ取られ、その後、最初のデコルマの下盤側で二本目のすべりを生じ、領域 I の底に領域 II が付加される様子が解かれた。また、デコルマ面上での正の過剰間隙水圧や変形の局所化に伴う地震動の発生も解かれた。

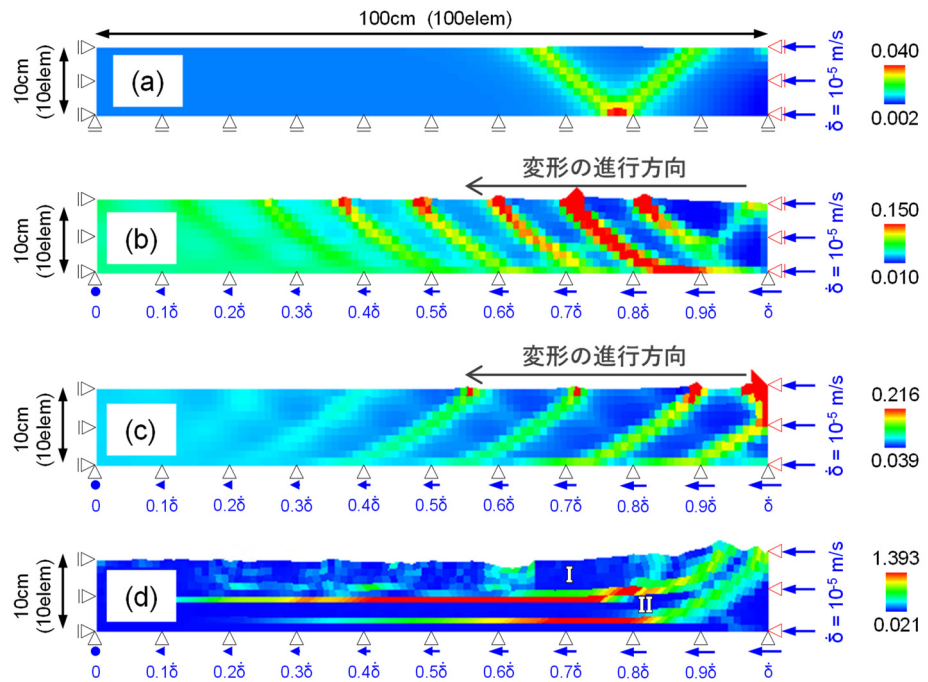


図 8 Imbrication およびデコルマの形成解析

令和2年度の主な公表論文等（令和2年4月～令和3年3月）

学術論文

【Soils and Foundations】 Triaxial test on water absorption compression of unsaturated soil and its soil-water-air-coupled elastoplastic finite deformation analysis, Soils and Foundations, Vol.60, No.5, pp.1151-1170, 2020.

【GEOMATE】 Progressive failure of unsaturated fill slope caused by cumulative damage under seepage surface, International Journal of GEOMATE, Vol. 20, Issue 78, pp. 1-8, 2021.

【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

【17th World Conference on Earthquake Engineering(Sendai, Japan)】

1.Seismic damage of soft clay layer directly under the river levee that becomes prominent by L2 earthquake, 17th World Conference on Earthquake Engineering, 4b-0040, 2020.

2.Numerical analysis on aftershock-induced liquefaction of sandy ground with water-level raised by main shock, 17th World Conference on Earthquake Engineering, 4b-0051, 2020.

3.Localized/enormous seismic damage of subsurface ground induced by the stratum irregularity, 17th World Conference on Earthquake Engineering, 1d-0092, 2020.

国内発表

【第25回計算工学講演会(2020年6月)】1編, 【第55回地盤工学研究発表会(2020年7月)】12編,

【第32回中部地盤工学シンポジウム(2020年8月)】3編, 【第75回土木学会年次学術講演会(2020年9月)】3編, 【令和2年度土木学会中部支部研究発表会(2021年3月)】1編など

受賞のご報告

【令和3年度地盤工学会研究奨励賞】 豊田智大:Development and verification of a soil-water coupled finite deformation analysis based on u-w-p formulation with fluid convective nonlinearity.(<https://doi.org/10.1016/j.sandf.2019.03.008>)

編集後記

コロナ禍で非日常が続く中、本研究会にとって嬉しいニュースが二つありました。一つは、本研究会会員でGEOASIA Masterの豊田氏（名古屋大学）が、地盤工学会研究奨励賞を受賞しました。フルフォーミュレーションに基づく水～土連成解析について書かれていて、大変難しい内容ではありますが、**GEOASIA**の適用範囲が大きく広がるものと期待しています。二つ目は、理事の野田教授の所属が、名古屋大学減災研究連携センターから、工学研究科土木工学専攻になりました。このことも、**GEOASIA**の展開に大きく働くと私は思っています。益々のご支援のほどよろしく申し上げます。ちなみに、今号の会長の写真は、十三年前六十一の撮影です。（高稲）