

# GEOASIA Bulletin No.10

第 10 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。



平成 28 年 8 月 26 日 発行

編集：一般社団法人 GEOASIA 研究会事務局

〒464-8603 名古屋市中千種区不老町 名古屋大学大学院工学研究科社会基盤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

**GEOASIA** 研究会は、2006 年 8 月に任意団体として誕生以来、今年 8 月でちょうど満 10 歳になります。この Bulletin も、だから今年で第 10 号ですが、この機会に、ここではもう少し古くまで振り返りながら、**GEOASIA** 研究会発足 10 周年のご挨拶を述べたいと思います。少し長くなってもご容赦ください。

地盤解析技術 **GEOASIA** の基本の骨格は、まだ学生であった野田利弘教授が、博士課程 3 年次にまとめた学位論文「限界状態近傍における粘土の弾塑性挙動と、水～土骨格連成有限変形解析に関する研究」に、そのすべてが書かれています。1994 年 3 月のことです。この論文で彼は、増分型弾塑性構成式（カムクレイモデル）を、ダルシー則による体積変化の拘束条件のもとで（水～土骨格連成）、有効応力原理を通じて増分型の力のつり合い式に代入し、正規圧密粘土のあらゆる不静定問題を、変形から破壊、そして破壊後の挙動まで、淀みなくすべてを解き尽くしました。材料非線形と幾何的非線形の融合解析の成果です。そして引き続き同年 1994 年中には、下負荷面を導入して過圧密粘土の挙動までもが、すべて解き尽くされてしまいます。だからこのままであれば名大地盤研は、きっと少しは油断も出て、しばらく停滞していたかもしれません。



ところが 1995 年 1 月 17 日、兵庫県南部地震が阪神淡路を襲います。直下型大地震による大都市の大災害を目の当たりにし、我々は呆然と立ち尽くしたまま、それまでの自分たちの土質力学がいかに無力であるか実感します。「地震に対して、何とまあ役に立たないことか」、言いようのない敗北感さえ漂いました。しかし「このままでは終わらせない」という若い気力が、それ以後の名大地盤力学研究をもう一度新しく支えなおしたと、浅岡は個人的にですが、そう思っています。1997 年末の上負荷面概念以来、研究室の全員に砂と粘土の違いがかなり明瞭に見えてくるようになってからは、野田助教授（当時）の働きで力のつり合い式が運動方程式にとって代わられるようにもなり、こうしてようやく名大地盤研は、面舵を一杯に切って太平洋の荒波に船出し、動的問題に勇躍乗り出すことになりました。「中間土からなる人工島・護岸構造物の耐震性評価—液状化・ゆすりこみ変形抑止の地盤強化技術—」で国交省から 5000 万円の競争的資金を得たのは 2005 年、阪神淡路大震災から実に 10 年後のことでした。この翌年に **GEOASIA** 研究会が発足します。上記の太字で記した言葉はすべて、**GEOASIA** の名前の由来、“ALL SOILS All ROUND All STATES GEO-ANALYSIS INTEGRATION”に結実していったものです。

その後のことは **GEOASIA** 研究会 Bulletin 全 10 号に、詳しくまとめられています。それを見ると、阪神淡路から 2005 年までの 10 年をはるかに凌駕するほどの研究が、**GEOASIA** 研究会発足以来、今年までの 10 年に積み上げられてきたのがよくわかります。たとえば

- ①空気～水～土骨格三相系解析による不飽和土・不飽和地盤の解析の進展、
- ②「複合負荷面」による弾塑性構成式の精緻化、

③Full formulation による連成解析そのものの適用域の拡大,  
などは

- ④表面波の 2, 3 次元計算と長周期・長時間強震動の再現,
- ⑤表層地盤非線形応答時の強震記録の逆解析と入力地震動の推定,
- ⑥ウェルレジスタンスが考慮できるマクロエレメント法の開発,
- ⑦土構造物などのモーダルアナリシスによる耐震診断,

などと並びすべてこの 2~3 年以内の研究成果ですが, これらはどの一つも 10 年前にはおよそ思いも及ばなかったテーマ/内容です. 研究成果の一つ一つが確実であるからこそ, それが踏み台として立派に機能し, 次の研究を生む, このような良い循環がすでに 10 年以上も持続しているのです. なお上記の不飽和地盤の三相系解析技術は, 昨年ですが, 1 番目の水~土二相系の特許と合わせ **GEOASIA** 研究会を支える 2 番目の特許技術になりました. 新東名の泥岩による直高 90m にも及ぶ沢埋盛土が, スレーキングによる劣化進行のために, 地震時にどのような挙動を示すのか, このような問題なども, 不飽和の河川/海岸堤防の問題と並んで, この新しい武器によって解決に向かうことが期待されています.

阪神淡路以来, 日本は確実に活発な地震活動期に入ったと言われています. その中で, 「21 世紀の日本は大地大変動の 9 世紀の日本によく似る」と言う地震・火山学者も多くいます. 869 年の貞観津波地震を 2011 年の東北地方太平洋沖地震に重ねると, 2020 年東京オリンピックの年には 878 年の相模武蔵地震(首都直下地震)が起こっていて, 2029 年には 887 年の仁和地震(南海トラフ 3 連動巨大地震)が起こっています. 9 世紀日本とのこのような形式的対比は措くとしても, 「南海地震による隆起と沈降の規則性」などから, 南海トラフ地震の 2030 年代説は, なお根強いものがあります. しかも 100 年~150 年周期の南海トラフ地震の再来ではなく, 887 年仁和地震(M9), 1361 年正平地震(M8.5), 1707 年宝永地震(M8.6) という 3~400 年周期の巨大連動地震こそが, つぎに来る 21 世紀の連動地震だという恐ろしい予測さえあります. 南海トラフ連動地震による「西日本大震災」は, もはや避けて通ることはできないというものです.

被災した市民が一番はじめに思うことは, 「私の街に何故このような液状化が起こったのか?」という素朴な科学的疑問です. 自己の被った不幸な災害を, 仕方がないにせよ, 何かのせいにするにせよ, まずは受け入れて納得する原点は, 起こった現象の科学的理解にあります(Bulletin 第 5 号から). このような疑問に, 科学/力学の言葉で正しく答えるのでなければ, 浦安の市民はまるで納得しないと考えたのです. 来るべき「西日本大震災」でも, それまで見たこともない現象がきっと数多く現れてくることでしょう. 防災の原点はハードにあると考える一人として, 土木構造物による防災技術の向上に **GEOASIA** 研究会の活動が大きく寄与してほしいと願っています. そして合わせて, 被災市民のこのような「科学要求」に応えるうえでも, **GEOASIA** 研究会が大きな役割を果たしてほしいと, 心から願っています.

研究会は, 地盤解析技術 **GEOASIA** の普及の上でも, **GEOASIA** Master などの人材育成の上でも, まだまだ多くの困難や課題を抱えています. 会員の皆様の変わらぬご支援をお願いして, 10 周年のご挨拶といたします.

(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

## 平成 27 年度活動報告

### (1) 過剰間隙水圧消散工法の数値シミュレーションにおけるマクロエレメント法の近似精度の検証

動的問題に適用した新たなマクロエレメント法の近似精度を検証した. 盛土直下に過剰間隙水圧消散工法を施した場合を例に, マクロエレメント法を適用した 2 次元平面ひずみ解析結果と, メッシュ分割によりドレーンを厳密に表現した 3 次元解析結果を比較した. その結果, 新たなマクロエレメント法は, 過剰間隙水圧の上昇抑制効果を適切に近似し, これに伴って地盤・盛土の変形等も高い精度で近似できることを示した.

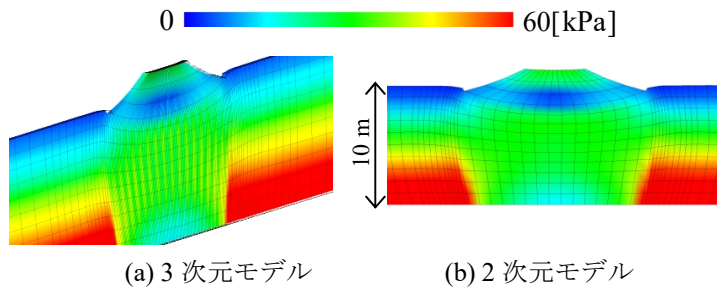


図1 地震終了時の過剰間隙水圧分布

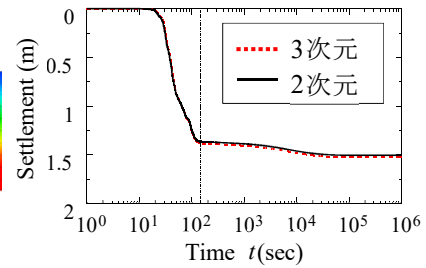


図2 改良域中央の地表面沈下量の比較

## (2) 河川堤防の浸透破壊メカニズムの解明

2012年の九州北部豪雨による矢部川堤防の被災は、越流なき浸透による破堤として大きな衝撃を与えた。このような浸透破壊メカニズム解明を目的とした解析を行った。図3は解析断面を示す。高透水性層を低透水性層が被覆した地盤上に、盛土が構築された半断面で、右側から水位一定で浸透させた。図4はせん断ひずみ分布、図5は平均有効応力分布を示す。浸透により、地盤の層境において平均有効応力がゼロに近づいてボーリングし、それをきっかけに盛土法尻部から滑り始めることを示した。

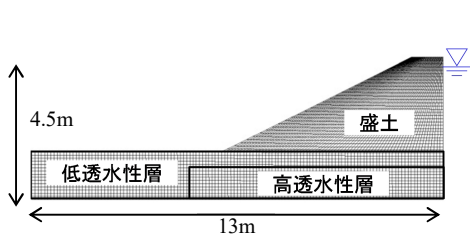


図3 解析断面

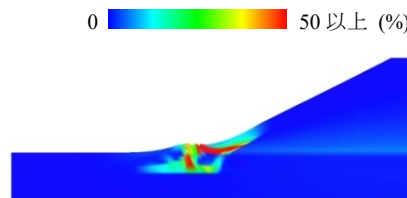


図4 せん断ひずみ分布

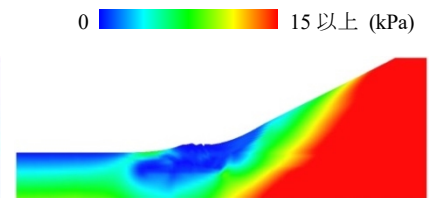


図5 平均有効応力分布

## (3) 本震による不飽和土層の飽和化に起因した余震時液状化被害拡大メカニズムの解明

東日本大震災では千葉県内の埋立地において、本震の29分後に大きな余震が襲い、余震時に液状化被害が拡大したことが報告されている。これを念頭に、空気～水～土骨格（三相系）連成有限変形解析により、砂地盤（層厚20m、表面から2mが不飽和域）に地震動を入力した。図6、7、8は初期および本震直後、余震直後の状態をそれぞれ示す。本震時に地下水位が上昇し、高飽和度領域で平均骨格応力が低くなる。余震が起こると地下水位がさらに上昇して、これに伴い平均骨格応力がさらに低下、つまり液状化被害が拡大する。このような地震中・地震後の地下水位変動現象は、弾塑性構成式を搭載した三相連成有限変形解析を用いれば表現可能である。

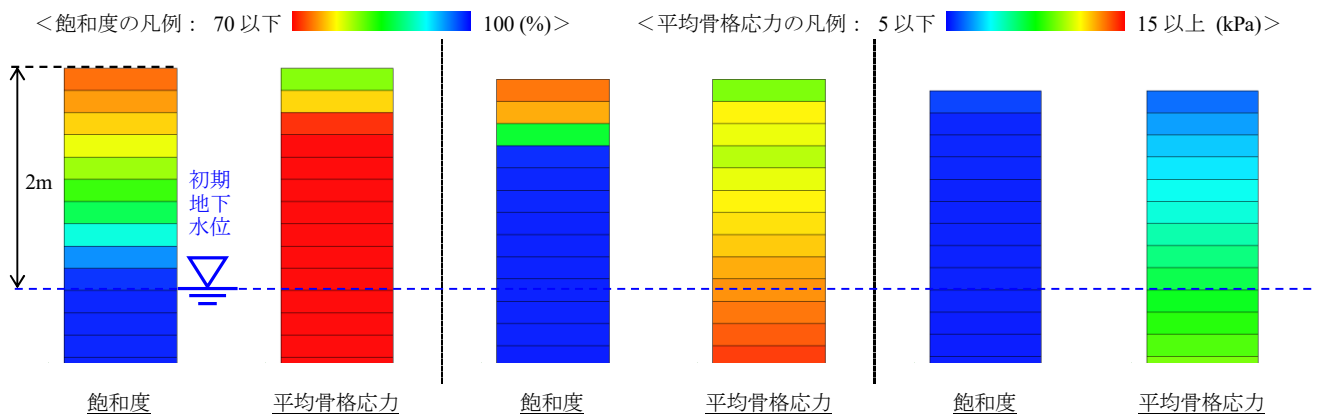


図6 初期状態

図7 本震直後

図8 余震直後

#### (4) 軟弱層を有する地盤上の岸壁構造物の2次元・3次元耐震性照査

N 値ゼロの軟弱な粘性土層と砂層を有する地盤上の岸壁構造物について、2次元平面ひずみ条件および3次元解析でその耐震性を照査した。その結果、軟弱な粘性土層および砂層は液状化し、2次元解析では土留めの全塑性応力を越える箇所が発生した。しかし、一方、3次元解析では、降伏曲げ応力を越えることはなかった。3次元解析では、y 軸方向（2次元解析にとって面外方向）への変形が可能なためであり、設計上の合理化に繋がることを示した。

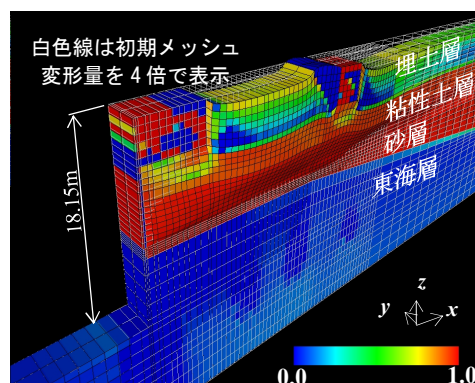


図9 地震終了時の平均有効応力減少比

### 平成27年度の主な公表論文等（平成27年9月～平成28年8月）

- 学術論文など** 【Soils and Foundations】①Simulation and evaluation of improvement effects by vertical drains/ vacuum consolidation on peat ground under embankment loading based on a macro-element method with water absorption and discharge functions, Vol. 55(5), pp. 1044-1057, 2015. ②Interpretation of the mechanical behavior of embankments having various compaction properties based on the soil skeleton structure, Vol. 55(5), pp. 1069-1085, 2015. ③Macro-element method with water absorption and discharge functions for vertical drains, Vol. 55(5), pp. 1113-1128, 2015. ④Study on the pore water pressure dissipation method as a liquefaction countermeasure using soil-water coupled finite deformation analysis equipped with a macro-element method, Vol. 55(5), pp. 1129-1138, 2015. ⑤Effects of air coupling on triaxial shearing behavior of unsaturated silty specimens under constant confining pressure and various drained and exhausted conditions, Vol. 55(6), pp. 1372-1387, 2015. 【応用力学論文集】①横ずれ断層に伴う表層地盤のリーデルセン断帯の形成に及ぼす材料的初期不整の影響, Vol. 18, I\_463-I\_474, 2015. ②空気～水～土骨格連成有限変形解析による大規模河川堤防の浸透・地震時挙動の評価, Vol. 18, I\_621-I\_632, 2015. 【Soil Dynamics and Earthquake Engineering】①Liquefaction countermeasures by shallow ground improvement for houses and their cost analysis, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 79, Part B, pp. 401-414, 2015. ②Analysis of the effect of groundwater level on the seismic behavior of an unsaturated embankment on clayey ground, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Vol. 85, pp. 217-230, 2016. 【地盤工学会誌】①地盤解析コード GEOASIA を用いた地盤・土構造物の地震応答解析, Vol. 63, No. 10, pp. 16-19, 2015. ②実河川堤防へのレベル2地震応答解析の適用, Vol. 63, No. 10, pp. 28-31, 2015.
- 国際会議** 【50th Indian Geotechnical Conference】1編 【3rd AUN/SEED-Net Regional conference on natural disaster】2編 【3rd International Workshops on Advances in Computational Mechanics】1編 【The 12th World Congress on Computational Mechanics】1編 【International Mini Symposium Chubu】4編
- 国内発表** 【第70回土木学会年次学術講演会（岡山，27年9月）】7編【第19回応用力学シンポジウム（札幌，28年5月）】1編【2015年度日本地球惑星科学連合大会（幕張，28年5月）】2編【第21回計算工学講演会（新潟，28年6月）】3編【第28回中部地盤工学シンポジウム（名古屋，28年8月）】3編【第51回地盤工学研究発表会（岡山，28年9月）】13編

### 受賞のご報告

【平成27年度地盤工学会研究奨励賞】吉川高広: Soil-water-air coupled finite deformation analysis based on a rate-type equation of motion incorporating the SYS Cam-clay model. (<https://www.jiban.or.jp/images/hyosyo/H27gakkaisho7-2.pdf>)

### 特許登録および商標登録のご報告

【特許第2911077号】特許出願日：平成25年6月25日，特許登録日：平成28年4月8日  
 発明の名称：空気と水と土骨格の連成計算装置および連成計算方法並びに連成計算プログラム  
 特許権者：国立大学法人名古屋大学，一般社団法人 **GEOASIA** 研究会  
 【商標登録（更新）】GEOASIA  
 登録番号：4967823，区分：9，権利満了日：2026/7/7

### 編集後記

Bulletin 第1号～第5号にあった静的な変形解析は影を潜め、第6号以降は地震時～地震後挙動などの動的問題が活動報告の全部を占めるようになりました。それが、**GEOASIA** の最大の特徴であるわけですが、若干寂しさも感じています。**GEOASIA** 研究会は、今年10周年となりました。ひとえに皆様のご支援のたまものと深く感謝いたします。皆様のご期待に添うべく、精一杯努力してまいりますので、なにとぞ引き続きご支援を賜りますようお願い申し上げます。（高稲）