

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 6 月 27 日現在

機関番号：32704

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2016

課題番号：25420511

研究課題名(和文) 動的サウンディング試験の液状化調査手法としての適用性と高度化について

研究課題名(英文) Improvement of applicability and accuracy on evaluation of liquefaction potential of soil by using Piezo Drive Corn equipment

研究代表者

規矩 大義 (kiku, hiroyoshi)

関東学院大学・理工学部・教授

研究者番号：70251759

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：動的貫入試験によってN値と細粒分含有率Fcを評価することができるピエゾドライブコーン(PDC)を対象として、堆積環境の異なる複数の地盤で現場実験と室内試験を行い、細粒分含有率Fcの推定法を確立した。また、N値の推定については、エネルギー効率を踏まえた地盤の動的貫入抵抗Nd値の新たな補正方法も提案し、液状化強度の推定精度を向上させた。PDCによる液状化調査システムを開発するとともに、細粒分含有率FcとN値を上記の方法で適正に評価することで従来のボーリングと粒度試験による液状化判定と概ね整合することを確認した。

研究成果の概要(英文)：In-situ research and laboratory tests to evaluate applicability of liquefaction judgement using sounding test equipment was conducted. Experimental conversion to N Value and liquefaction evaluation were handled using sounding test results. Piezo drive corn is new type sounding technology which can measure the strength and soil classification, with the result that it can judge liquefaction without sampling.

研究分野：地盤工学

キーワード：液状化 サウンディング 液状化判定 地盤調査 動的コーン PDC 地震 液状化調査

### 1. 研究開始当初の背景

東日本大震災では津波による被害の甚大さに加え、東京湾臨海部（神奈川、東京、千葉）や茨城県を中心とした液状化による被害も顕著で、戸建て住宅や小規模な集合住宅が大きな被害を受けた。こうした被害の原因解明や構造物の復旧に加え、被災した地域は勿論、前は偶然にも被災しなかった地域が、将来予想される地震で被害が生じることがないように、液状化に対する検討が行われ、液状化対策の取り組みも始まろうとしている。

液状化に対する安全性を調べる液状化調査では、地盤調査が実施され、その結果が各種基準類に適用されることが一般的である。そして多くは標準貫入試験（以下 SPT と称する）で得られる N 値とレイモンドサンプラーで採取された試料の物理試験結果が必要とされる。しかし SPT の装置は大掛かりで可搬性に劣り、狭隘な場所で実施することが難しい。加えて熟練のオペレーターを必要とし、調査としては高額な部類に入る。公共施設や大型構造物における調査では許容されるが、戸建て住宅のように個人で自分の宅地の液状化調査を行うときに容易に採用できる調査法ではない。

建築分野の宅盤調査では、割合安価で簡便なスウェーデン式サウンディング試験が行われるが、表層に少し硬い礫層などが存在すると試験が不可能となるほか、地盤の硬軟を示す指標（N 値に換算できる）と砂か粘土かといった非常に粗い土質判別が出来る程度である。

一方、サウンディング試験の一つである動的コーン貫入試験のなかには貫入時の貫入抵抗や間隙水圧が電気的に測定可能な種類もある。地盤の硬軟だけでなく、間隙水圧や打撃エネルギーが計測できるピエゾドライブコーン（以下 PDC と称する）は、地盤の細粒分含有率などが推定できる。

地盤のさまざまな物性値と PDC 試験結果との相関性をより一層高い精度、高い信頼度で示すことが出来れば、PDC 試験に代表されるようなサウンディング試験が標準貫入試験(SPT)の代替となり得て、結果として物理的、経済的に厳しい条件下であっても、液状化調査に必要とされる地盤の物性値、特性値を得ることが出来るようになるはずである。

### 2. 研究の目的

個人の宅地や狭隘な地盤では大掛かりな地盤調査を実施することが物理的にも、費用的にも難しく、将来の地震に備えるための液状化調査（危険度予測、液状化解析）が行えないのが実情である。もし簡便なサウンディング試験で本来の標準貫入試験を用いた液状化調査に必要な各種情報が得られ、同等以上の精度と信頼性を確保することができるのなら、戸建て住宅の安全性の評価や対策工事の効果確認を容易に行うことが可能となる。本研究では、動的コーン貫入試験結果と

原位置の地盤情報とを関連付けるキャリブレーションを原位置試験、模型実験、室内試験等を通じて実施し、サウンディング試験の汎用性と有用性を示すことで、より多くの市民に液状化に対する安全・安心を判断し得る機会を提供することを目的としている。

具体的には、ピエゾドライブコーンで得られる試験結果と、液状化予測で用いられる各種指標との推定式を精査し、液状化強度の推定精度を向上させることで、動的貫入試験のみで評価が可能となる高精度な液状化調査システムを開発し、液状化の調査に要する時間と費用の軽減を第一の目的とした。

### 3. 研究の方法

動的貫入試験によって N 値と細粒分含有率  $F_c$  を評価することができるピエゾドライブコーン（PDC）を対象として、

- (1) 堆積環境の異なる複数の地盤で現場実験と室内試験を行い、細粒分含有率  $F_c$  の推定精度を高める。
- (2) 地下水位の推定方法を提案する。
- (3) エネルギー効率を踏まえた地盤の動的貫入抵抗  $N_d$  値の新たな補正方法を提案する。結果として、液状化強度の推定精度を向上させる。

### 4. 研究成果

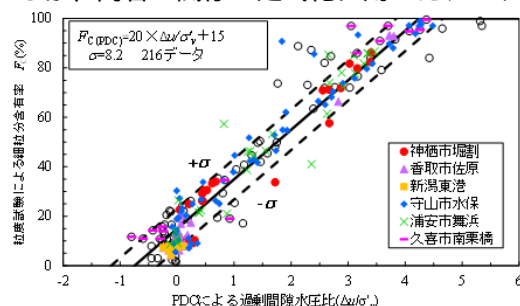
#### (1) 液状化評価に必要な地盤物性の取得

液状化調査システム、液状化評価手法の開発に資するため、原位置試験、室内土質試験および室内土槽実験を実施し、液状化評価に必要な基礎的な地盤物性を取得した。自然地盤（三角州、中洲、砂丘）、人工地盤（干拓地、海面埋立地、浚渫盛土）において、ボーリング、PDC および室内土質試験のデータを取得した。

#### (2) 動的貫入試験のみによる液状化調査システムの開発

動的貫入試験から地下水位、細粒分含有率、液状化強度を簡易に推定するシステムを開発した。細粒分含有率  $F_c$  については、これまでの推定法の適用性を確認するとともに、新たな推定法を提案した。

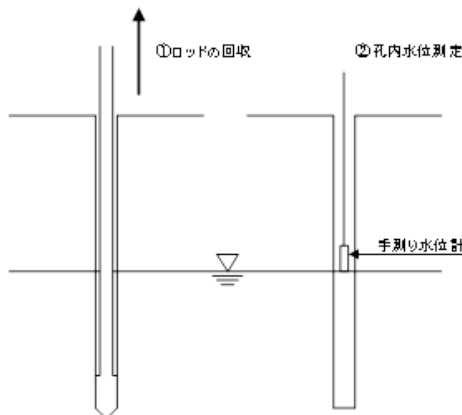
PDC は動的貫入時の間隙水圧応答  $u_R$  を有効上載圧  $\sigma'_v$  で正規化した間隙水圧比  $u_R/\sigma'_v$  を用いてより細粒分含有率  $F_c$  を推定しているが、両者の関係の定式化に用いたデータに



は限りがあることから、現状では十分な実用

性を有するまでには至っていない。そこで、本研究において堆積環境の異なる地盤でデータを取得し、両者の相関を精査した。また、新たに間隙水圧  $u_R$  から静水圧を差し引いた「過剰間隙水圧  $\Delta u (=u_R - u_0)$ 」を用いて細粒分含有率  $F_C$  の推定式を提案した。PDC の過剰間隙水圧比  $\Delta u/\sigma'_v$  と細粒分含有率  $F_C$  の関係を示すが、両者は一次式で近似される結果となった。近似式で得られる細粒分含有率  $F_{C(PDC)}$  と粒度試験の細粒分含有率  $F_C$  との誤差の標準偏差  $\sigma$  は 8.2 となり、従来の方法（標準偏差 9.1）よりも精度が向上した。

地下水位については、砂地盤に対しては打撃後 0.18sec ~ 0.19sec の圧力センサの応答値  $u_R$  を地下水位の指標値として用いているが、砂分を多く含む地盤や粘土地盤への適用性は低い。そこで、圧力センサの応答値の最大値に着目する等、視点を変えて砂分を多く含む地盤や粘土地盤にも適用可能な地下水位の指標値の抽出を行った。その結果、地盤性状により地下水位の指標値が異なる結果となり、今後も更なるデータの蓄積が必要となった。なお、液状化の検討が必要となる地盤は、比較的浅い深度に地下水位が分布しており、試験後に試験孔を用いた孔内水位の測定が可能である。現状では、試験孔の孔内水位測定を併用する方法を下図のように提案した。



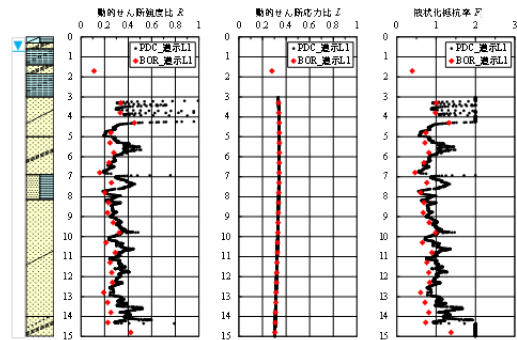
エネルギー効率については、深度 10m 以深で Nd 値が N 値に比べて大きめに評価される原因がロッドの周面摩擦や撓みに伴うエネルギー効率  $e$  の低下にあることが明らかとなった。また、エネルギー効率  $e$  による補正を行うことで N 値を適正に評価可能であることが分かった。

現場実験で行ったサンプリング試料を用いて非排水繰返し三軸試験（液状化試験）を実施した。そして、PDC の動的貫入抵抗 Nd 値、細粒分含有率  $F_C$  および地下水位 GWL を用いて道路橋示方書・同解説 耐震設計編（平成 24 年）より算出した液状化強度 RL と液状化試験により直接求めた液状化強度  $RL_{20}$  の比較検討を行い PDC による液状化強度 RL の推定法を確立した。

### (3) 液状化評価手法の開発

液状化調査システムを用いて、オーソライ

ズされた液状化評価手法との比較・検討を行い、本システムの妥当性の検証を行った。PDC による液状化判定システムを用いて、道路橋示方書および建築基礎構造設計指針によるボーリングと粒度試験による液状化判定との比較・検討を行い、本システムの妥当性を概ね確認した。10m 以深の評価においては Nd 値のエネルギー効率補正が必要となり、エネルギー計測の追加あるいは推定が課題となった。



## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 2 件)

平井 孝治、規矩 大義、大島 昭彦、利藤房男、サンプリングの泣き所も乱れの少ない方法で採取：GS サンプリング、地盤工学会誌、査読有、63 巻、2015、10 - 13

Fusao RITO, Hiroyoshi KIKU, Liquefaction characteristic of alluvial soil disturbed at Sawara dry riverbed in Chiba Prefecture, Japanese Geotechnical Society Special Publication、査読有、2 (22)、2016、819 - 822

〔学会発表〕(計 5 件)

富岡 崇、規矩 大義、山口 恵美、澤田 俊一、秋葉 拓巳、白井 篤雄、加圧式土槽を用いた  $\mu$ PDC 貫入実験の試み 細粒分含有率に関する検討、第 51 回地盤工学研究発表会、2016 年 9 月 13 日 ~ 16 日、岡山大学 (岡山市)

中澤 博志、規矩 大義、吉澤 大造、澤田 亮、小濱 英司、平出 務、石川 敬祐、伊集院 博、山口 恵美、千葉県香取市における現地一斉試験 その 1 動的貫入試験 (WG1)、第 50 回地盤工学研究発表会、2015 年 9 月 1 日 ~ 3 日、北海道科学大学 (札幌市)

吉澤 大造、規矩 大義、中澤 博志、伊集院 博、石川 敬祐、小濱 英司、平出 務、澤田 亮、山口 恵美、液状化判定に有効なサウンディング技術資料の収集・整理と適用性の検討 その 1 動的貫入試験 (WG1)、第 50 回地盤工学研究発表会、2015

年 9 月 1 日～3 日、北海道科学大学（札幌市）

山口 恵美、規矩 大義、利藤 房男、吉澤 大造、澤田 俊一、安田 悟、富岡 崇、動的貫入試験を用いた細粒分含有率推定に関する土槽実験の試み、第 50 回地盤工学研究発表会、2015 年 9 月 1 日～3 日、北海道科学大学（札幌市）

規矩 大義、利藤 房男、信本 実、千葉県香取市佐原河川敷に分布する沖積砂質土の液状化特性、第 69 回土木学会年次学術講演会、2014 年 9 月 10 日～12 日、大阪大学（豊中市）

〔図書〕（計 0 件）

〔産業財産権〕

出願状況（計 0 件）

取得状況（計 0 件）

〔その他〕

ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

規矩 大義（KIKU, Hiroyoshi）

関東学院大学・理工学部・教授

研究者番号：70251759

### (2) 研究分担者

なし

### (3) 連携研究者

なし

### (4) 研究協力者

なし