

令和元年6月25日現在

機関番号：56401

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2016～2018

課題番号：16K06500

研究課題名（和文）高精度型動的せん断試験機の開発並びに地盤の液状化強度と残留強度の関係に関する研究

研究課題名（英文）Development of high spec Cyclic Box Shear Test Machine and research on relationship between liquefaction strength and residual strength of ground

研究代表者

岡林 宏二郎 (OKABAYASHI, Kojiro)

高知工業高等専門学校・ソーシャルデザイン工学科・教授

研究者番号：70185461

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,700,000円

研究成果の概要（和文）：高知高専に設置した一面せん断試験装置の高精度化を行ない、液状化強度試験を実施できる装置とした。せん断箱の傾きや定体積条件の影響についても検討し、適切な試験法を決定した。相対密度30%と50%に対して液状化強度試験を実施した。また、同試料を用いた繰返し三軸試験と比較して液状化強度試験の妥当性を検証した。さらに、繰返し試験後の残留強度について、繰返し応力振幅比をパラメータとして実験を行いダイレイタンスの影響について検討した。

試験で求めた液状化強度を有効応力法による地震応答解析や遠心力模型実験に適用し、河川盛土や漁港岸壁の液状化対策工法の検討に活用できることを確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

東日本大震災では、東北から関東にかけての広範囲で地盤の液状化が発生し、埋め立地盤や河川堤防などが甚大な被害を受けた。高知県でも「南海トラフ巨大地震対策」として最大クラスの地震動を想定した検討がなされている。地盤構造物も地震や地盤の液状化に対して粘り強い構造とすることが望まれる。

本研究では、繰返し一面せん断試験装置を開発し液状化強度試験が高精度で実施できる装置とする。次に、地震動の継続時間と地盤の粘り強さに着目して、繰返し载荷回数に対する地盤の残留強度の動的せん断試験法を提案する。また、得られた結果が動的有限要素解析や遠心力模型実験にも適用できることを検証する。

研究成果の概要（英文）：The Cyclic Box Shear Test Machine installed at Kochi KOSEN has been improved in accuracy to make it possible to carry out a liquefaction strength test. The effects of shear box inclination and constant volume conditions were also examined to determine appropriate test methods. The liquefaction strength tests were carried out at relative densities of 30% and 50%. Moreover, the validity of the liquefaction strength test was verified in comparison with the cyclic triaxial test using the same material. Furthermore, with regard to residual strength after cyclic testing, experiments were conducted using cyclic stress amplitude ratio as a parameter to examine the influence of dilatancy.

The liquefaction strength obtained in the test was applied to seismic response analysis by effective stress method and centrifugal model test. It was confirmed that it could be used for examination of liquefaction prevention construction method of river embankment and fishing port wharf.

研究分野：地盤工学

キーワード：液状化 動的一面せん断試験 南海トラフ巨大地震 地盤の残留強度 地震応答解析 遠心力模型実験

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

(1) 2011年3月11日に発生した東日本大震災は、海洋型の巨大地震であり地震動が大きく継続時間が長いのが特徴であった。この地震により、東北から関東にかけての広範囲で地盤の液状化が発生し、1万戸を越す戸建て住宅の沈下や傾斜、ライフラインと道路、関東平野内の湖沼・旧河道の若年埋め立地盤、河川堤防など甚大な被害を受けた。

これを受けて、高知県でも「南海トラフ巨大地震対策」として最大クラスの地震動を想定した震源域の見直しやこれに伴う被害を想定した検討がなされている。構造物は、靱性の高い粘り強くレジリエントな構造物とすることが望まれており、地盤構造物も地震や地盤の液状化に対して粘り強い構造とすることが望まれる。

(2) 液状化強度を求めるためには、地盤の不攪乱試料を採取して動的土質試験を行う方がよいとされているが、標準貫入試験のN値と粒径などから推定する簡易的な方法が用いられることが多い。また、液状化強度の推定も、便宜的に繰り返し回数20回に対して求めているに過ぎない。申請者はこれまでに、試料の乱れが少なく比較的容易に定体積条件を維持できる動的一面せん断試験機を開発し、装置の検証と繰り返しせん断試験方法の検証を行ってきた。本研究では、地震動の継続時間と地盤の粘り強さに着目して、繰り返し載荷回数に対する地盤の残留強度の動的せん断試験法を提案するとともに、実地盤として地盤特性が詳細にわかっている高知市の地盤に適用し、その有効性を検討する。

### 2. 研究の目的

(1) 東日本大震災は、海洋型の巨大地震であったため地震動の継続時間が長く、関東地方や東北地方海岸部などで広域的な液状化被害をもたらした。申請者はこれまでの研究で、試料の乱れが少なく比較的容易に定体積条件を維持できる動的一面せん断試験機を開発し、装置の高精度化を行い、圧密応力 50 kPa 以下の超低応力下での制御、定体積条件(垂直変位の変動幅が $\pm 0.01$ mm 以内)で制御ができる装置とした。さらに液状化強度試験が実施できる装置に改善する。

(2) 本研究では、この動的せん断試験機を用い、地震動の継続時間と地盤の粘り強さに着目した実験を実施し、繰り返し載荷回数に対する地盤の残留強度の関係を調べる。次に、この試験を高知市内の地盤の液状化対象層に適用して、繰り返し回数と地盤の残留強度の関係を検討する。さらに、地震応答解析による液状化詳細判定結果などとも比較して、液状化対象地盤の繰り返し回数と残留強度の関係式を検討する。

### 3. 研究の方法

(1) 南海トラフ巨大地震のような海溝型巨大地震の発生に対して、地震動の継続時間と地盤の粘り強さの関係に着目して、本学で開発した高知高専型繰り返し一面せん断試験装置を用いて、地盤に作用する繰り返しせん断回数に対する地盤の残留強度を求める方法を提案する。

(2) さらに装置の高精度化を行ない、高精度で液状化強度試験が実施できる装置に改善する。相対密度 30% と 50% に対して液状化強度試験を実施する。また、同試料を用いた繰り返し三軸試験と比較して液状化強度試験の妥当性を検証する。

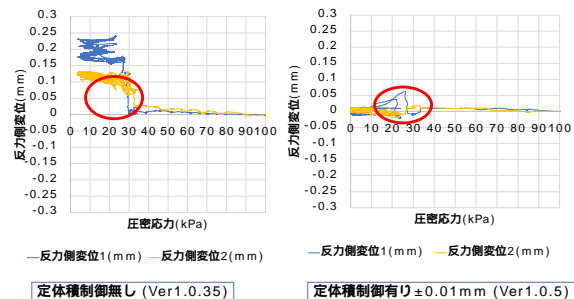
(3) 豊浦標準砂を用いて相対密度  $D_r = 30\%$  (初期間隙比を 0.85) で繰り返し応力振幅比  $\tau_d / \sigma_0$  を 0.10、0.12、0.135 とした時の、初期垂直応力 100kPa における単純載荷強度に対する残存強度比の繰り返し回数を求め、ダイレイタンシー特性との関係を検討し地盤の粘り強さを評価する。

(4) 実施した地盤の液状化強度試験結果を用いた地震応答解析による液状化詳細判定結果と比較することで、提案する地盤の粘り強さ評価法の検証を行う。

### 4. 研究成果

#### (1) 定体積制御の影響についての検討

図1に相対密度30%の場合の体積変化を示す。制御がない場合は、変位が大きくなっており、負のダイレイタンシーの影響で体積が収縮していることが確認できた。これらから、定体積制御は必要であることが確認できた。



#### (2) 傾き修正の有無についての検討

図2に相対密度30%の場合の傾き修正有無による結果を比較したデータを示す。傾きを修正により、せん断にかかる時間の短縮でき、せん断応力がよりスムーズになることが確認できた。

図1 定体積制御の有無別体積変化

(3) せん断速度についての検討

図3に相対密度30%の場合の従来のせん断速度0.2cm/minと0.1cm/min以下を比較したデータを示す。速度を下げて試験を行うことにより、不連続部分が消え、応力が連続的にかかることが確認できた。この結果から、せん断速度を遅くして試験を行うこととした。

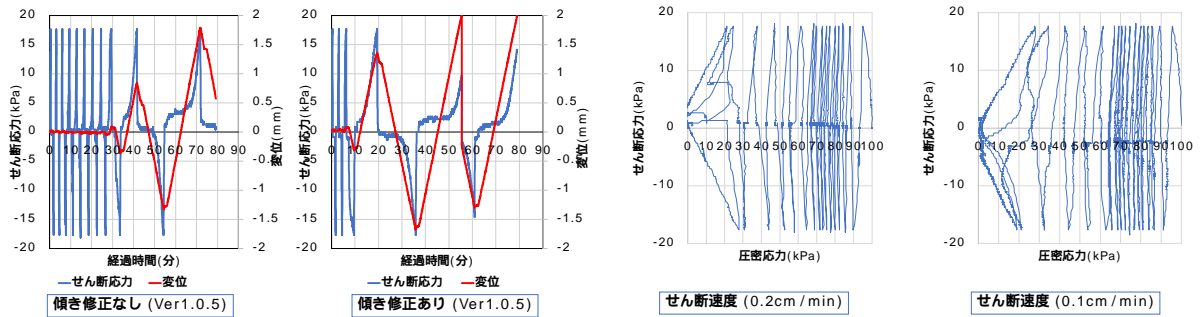


図2 傾き修正有無別比較

図3 せん断速度別比較データ

(4) 繰返し三軸試験による検証

図4に相対密度  $D_r=50\%$  における動的一面せん断試験と繰返し三軸試験の液化化強度曲線を示す。実線が一面せん断試験結果で波線が三軸試験結果である。図4の比較より、繰返し応力振幅比が大きい点では一面せん断試験の結果が少し大きい、小さい点ではほぼ同じ値となった。

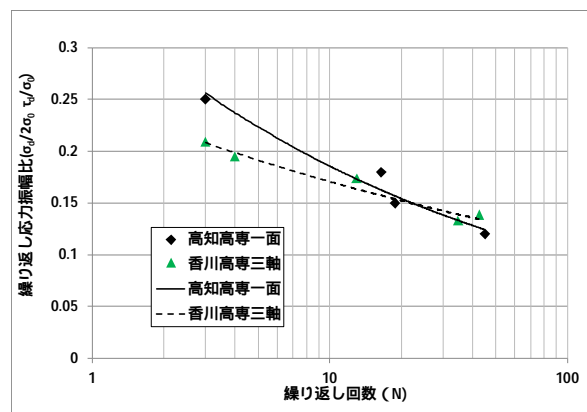


図4 液化化強度曲線の比較

(5) 繰返し载荷後の残留強度

図5に残留強度試験結果を示す。横軸は繰返し回数を示し、縦軸は単純载荷に対する繰返し载荷後残留強度比を示す。繰返し回数の増加に伴って残留強度が減少し、破壊に至ることが分かる。しかし、繰返し回数の少ない時では、一時的に強度が高くなる現象が見られた。

定体積制御を行わずにせん断試験を行いダイレイタンスーとの結果を調べた結果、繰返し回数が大きいほど体積の収縮量は大きく、せん断が進むにつれて膨張に変化し、それに伴って有効応力比の減少量は小さくなり、せん断応力の上昇量が大きくなって粘り強さを発揮することが明確となった。

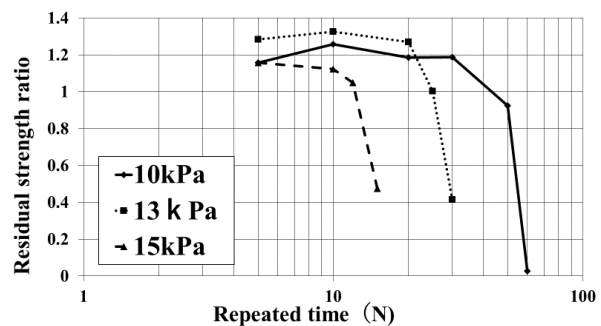


図5 繰返し载荷後の残留強度

(6) 地震応答解析および模型実験への適用

液化化強度試験の結果は、有効応力法による地震応答解析のパラメーター設定に活用できることや、その検証実験としての遠心力模型実験に活用できることを確認できた。繰返し回数増加に伴うダイレイタンスー特性への影響およびそれに伴う残留強度の変化については、現状では、地盤の靱性の増加により安全率が向上するため設計上の余裕として評価できる。さらに、地盤の相対密度を中～高密度まで変えてその影響を検討して行く必要があると考える。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 3件)

Kojiro OKABAYASHI, Yuhi NAKAZAWA, Masafumi OKA, Reinforcement of River Embankment against the Nankai Trough Earthquake, Proceedings of the 1<sup>st</sup> International Conference on Press-in Engineering 2018, Kochi, 0508, pp.203-208,2018,9、査読有

Koji Mikasa, Kojiro Okabayashi, Verification of improvement plan for seismic retrofits of existing quay wall in small scale fishing port, 9th International Conference on Physical Modelling in

Geotechnics 2018, CITY, UNIVERSITY OF LONDON 17th - 20th JULY, pp.645-650,2018,7、査読有

Yousei ITUKI, Kojiro OKABAYASHI, Development of the Kochi National College Type Cyclic Box Shear Test Machine Which Can Perform a Liquefaction Strength Test, The 1st NIT-NUU Bilateral Academic Conference 2017.9, Paper No.NIT-NUU-S6-05、査読有

〔学会発表〕(計 10 件)

谷本和香奈、伊月優星、岡林宏二郎、向谷光彦、國元天宏、濱賢治、圧密排水三軸試験と定応力一面せん断試験による強度定数の比較、地盤工学会四国支部平成30年度技術研究発表会講演概要集、pp.69-70,2018,11

伊月優星、谷本和香奈、岡林宏二郎、動的高知高専型一面せん断試験による液状化強度試験の精度向上に関する研究、地盤工学会四国支部平成30年度技術研究発表会講演概要集、pp.89-90,2018,11

吉門大輔、岡林宏二郎、梶田陽介、南海トラフ巨大地震を想定した地震応答解析法による高知市地盤の液状化詳細判定、土木学会第73回年次学術講演会(平成30年8月) -332, pp.663-664,2018,8

伊月優星、岡林宏二郎、谷本和佳奈、高知高専型一面せん断試験機による液状化強度試験の実施に向けて、土木学会第73回年次学術講演会、-360,pp.719-720,2018,8

谷本和香奈、岡林宏二郎、伊月優星、(-10) 高知高専型一面せん断試験による液状化強度試験、平成30年度土木学会四国支部第24回技術研究発表会講演概要集、2018.5

谷本和香奈、岡林宏二郎、伊月優星、高知高専型一面せん断試験による液状化強度試験の実施、地盤工学会四国支部平成29年度技術研究発表会講演概要集、pp.53-54,2017,11

岡林宏二郎、伊月優星、常石晶、高知高専型一面せん断試験機による定体積試験の高度化と液状化強度試験、土木学会第72回年次学術講演会、-320, pp.639-640,2017,9

三笠候嗣、小松拓矢、岡林宏二郎、動的遠心力模型実験装置の改善及び地盤の液状化模型実験、土木学会第72回年次学術講演会、-454, pp.907-908,2017,9

岡林宏二郎、小松拓矢、三笠候嗣、動的遠心力模型実験装置による液状化模型実験の有効応力解析法を用いた地震応答解析、土木学会第72回年次学術講演会、-455, pp.909-910,2017,9

伊月優星、岡林宏二郎、常石晶、(-4) 動的高知高専型一面せん断試験機の開発、平成29年度土木学会四国支部第23回技術研究発表会講演概要集、2017.5

〔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)研究分担者

研究分担者氏名:

ローマ字氏名:

所属研究機関名:

部局名:

職名：

研究者番号（8桁）：

(2)研究協力者

研究協力者氏名：

ローマ字氏名：

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。