

サブストラクチャ・オンライン地震応答実験を用いた 東京都江東区新木場における液状化被害に関する検討 -その 1 有効応力解析を用いた検討-

Study on Liquefaction Damage by Substructure Pseudo Dynamic Test in Shinkiba, Tokyo, Japan -Part 1 Study on by Using Effective Stress Analysis-

○近藤壮一郎¹, 山田雅一², 道明裕毅², 井上健太¹

*Soichiro Kondo¹, Masaichi Yamada², Yuki Domyo², Kenta Inoue

Abstract:In this paper, substructure pseudo dynamic tests were conducted the inquest point is Shinkiba, Tokyo, Japan, where liquefaction occurred during the 2011 off the pacific coast of Tohoku earthquake. At the inquest point, we compared substructure pseudo dynamic tests result and effective stress analysis result, examined the reproducibility of liquefaction behavior of our actual ground. Therefore, it was suggested that substructure pseudo dynamic test is useful for reproducing the liquefaction phenomenon.

1. はじめに

東北地方太平洋沖地震では、広い範囲において地盤の液状化現象が確認された。東京都江東区新木場も液状化が生じた地域の一つであるが、液状化の発生・未発生範囲は明確に分かれており、液状化の程度が場所によって異なることが確認された¹⁾。この要因として、地盤改良の有無等が考えられるが、その詳細は解明されていない。

通常、液状化に対する解析で用いられる有効応力解析では、過剰間隙水圧や応力-ひずみ関係などを数式でモデル化して数値解析することで地盤の応答を求めている。これらのモデルを扱うためには複雑なパラメータ設定を行う必要があるため、高度な工学的知識が求められる。そこで伯野・四俵らによってオンライン実験が提案された²⁾。オンライン実験は実験と解析を組み合わせたシステムであり、実験から直接復元力や過剰間隙水圧を計測し解析に反映させることができる。このことからオンライン実験は、復元力特性など強い非線形性を示す液状化地盤の応答を求める際には特に有用性が高いといえる。

本研究では東北地方太平洋沖地震で液状化した東京都江東区新木場の地盤を検討地点とし、オンライン実験を応用させたサブストラクチャ・オンライン地震応答実験の結果と有効応力解析の結果を比較し、実地盤の液状化挙動の再現性を検討する。

2. サブストラクチャ・オンライン地震応答実験

オンライン実験はそのシステム上、復元力特性が非常に複雑な地盤の応答解析に適していると言えるがその一方で多層からなる地盤の全てをオンライン層にすることは、システムが高価になり実験も複雑化するため、実用化が困難である。この問題に対する一つの取り組みとして解析とオンライン実験を組み合わせたサブストラ

クチャ・オンライン地震応答実験システムが日下部らにより提案された³⁾。この手法は、多層から成る地盤の中でも強い非線形性を示す可能性のある土層にのみオンライン実験を適用し、その他の層には数値解析を用いる。

既報⁴⁾ではこのシステムが開発され有用性が示された。Figure 1 にこのサブストラクチャ・オンライン地震応答実験システムの概略図を示す。本研究ではこのシステムを用いるのでシステムの詳細に関しては既報⁴⁾を参照されたい。

3. 実験概要

江東区新木場の地盤を検討地点としてサブストラクチャ・オンライン地震応答実験を行った。

文献⁵⁾・⁶⁾の地盤柱状図と PS 検層結果を参考に作成した検討地点の地盤モデルを Table 1 に示す。また、文献⁵⁾を参考に有効応力解析に必要な非線形パラメータを設定した。埋立土層である 2 層目と沖積砂層である 3 層目を液状化対象層（実験層）とし、それ以外の層は非液状化

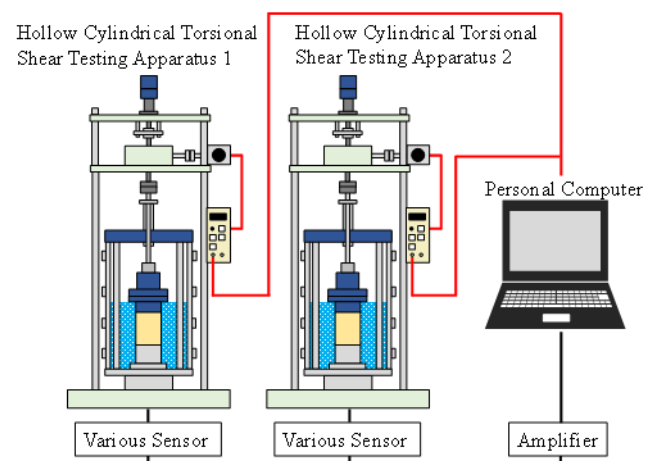


Figure 1. Substructure Pseudo Dynamic Tests

Table 1. Experimental conditions

| Layer NO. | Soil | Layer thickness H (m) | Wet density ρ_t (g/cm ³) | Initial shear modulus G_0 (kN/m ²) | Shear strength τ_r (kN/m ²) |
|-----------|------|-----------------------|-------------------------------------------|--------------------------------------------------|----------------------------------------------|
| 1 | BS | 2.0 | 1.80 | 16245 | 8.7 |
| 2(Test) | FI | 5.0 | 1.97 | 25619 | |
| 3(Test) | FS | 7.5 | 1.97 | 54297 | |
| 4 | M | 5.5 | 1.70 | 40843 | 80.1 |
| 5 | M | 10.0 | 1.55 | 39680 | 58.8 |
| 6 | M | 9.0 | 1.60 | 51840 | 78.5 |
| 7 | FS | 4.2 | 1.85 | 102166 | 176.2 |
| 8 | FS | 3.8 | 1.90 | 104928 | 182.6 |
| 9 | M | 1.5 | 1.70 | 185130 | 176.5 |
| 10 | FS | 7.5 | 1.90 | 206910 | 176.5 |
| 11 | GS | 9.7 | 1.95 | 312000 | 330.4 |
| 12 | MS | 7.1 | 1.75 | 226800 | 196.1 |
| 13 | GS | 4.2 | 2.00 | 320000 | 330.7 |

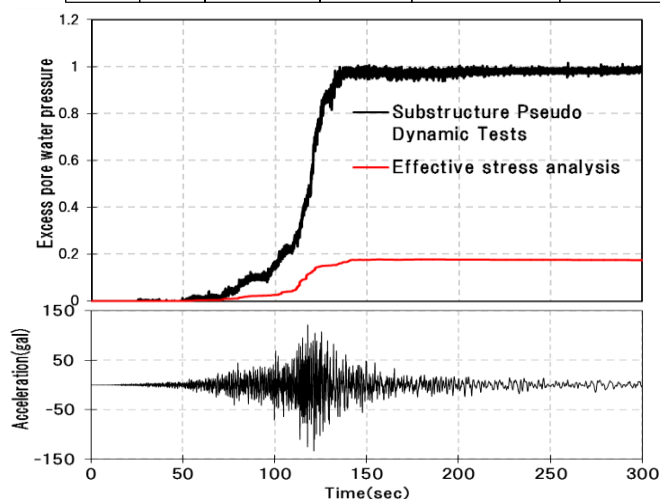


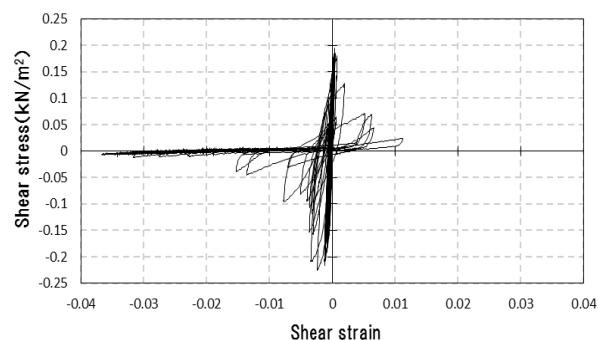
Figure 2. Time history of excess pore water pressure and input wave

層（非線形解析層）とした。実験層の試料は、粗粒分には粒度分布が類似していることから豊浦砂を用い、細粒分には非塑性シルトである DL クレイを用いた。供試体は JGS 0550 に準拠してドライタッピング法により中空円筒状（高さ 10cm, 外径 10cm, 内径 6cm）に作製した。また、実験の前に供試体に微小のひずみを与えて測定した初期せん断剛性が、Table 1 に示す検討地点のそれと近い値であることを確認した。Figure 2 に、砂町（検討地点から約 500m）で観測された地表面波（以降、砂町波と称す）を示す。

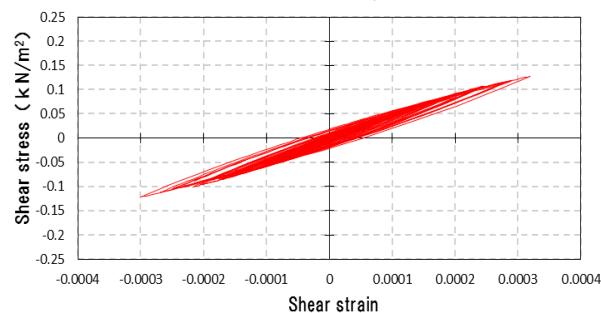
4. 実験結果

Figure 2 に検討地点を対象としたサブストラクチャ・オンライン実験と有効応力解析（YUSAYUSA-2）⁷⁾の、3 層目における過剰間隙水圧比と地震波の時刻歴を示す。同図よりサブストラクチャ・オンライン実験では過剰間隙水圧比が 1.0 に達していることから、液状化したことが確認できる。それに対して、有効応力解析では過剰間隙水圧が 0.2 程度までしか上昇せず、液状化していないことが見て取れる。

Figure 3 (a), (b) にサブストラクチャ・オンライン実験結果と有効応力解析結果の 3 層目における応力-ひずみ関係を示す。Figure 3 (a) より、サブストラクチャ・オンライン実験ではせん断ひずみの増加に伴いせん断応力が急激に減少しているため、液状化現象が確認で



(a) Substructure Pseudo Dynamic Tests



(b) Effective Stress Analysis

Figure 3. Relation between shear stress and strain

きる。一方で、Figure 3 (b) より、有効応力解析では剛性の低下は確認されず、液状化現象が発生していないことが見て取れる。以上のことから、過剰間隙水圧比の結果と同様にサブストラクチャ・オンライン実験では液状化現象を再現できたといえる。このことからサブストラクチャ・オンライン実験のほうが有効応力解析よりも実際の液状化現象の再現性に適している可能性が示された。

5. まとめ

本研究では東北地方太平洋沖地震で液状化が発生した江東区新木場の地盤について、サブストラクチャ・オンライン地震応答実験を用いて検討を行なった。実験結果から本システムは、有効応力解析では液状化挙動の再現が困難な地盤に対しても、有用である可能性を示した。

【参考文献】

- 1) 国土交通省関東地方整備局，地盤工学会：東北地方太平洋沖地震による関東地方の地盤液状化現象の実態説明報告書，2011.
- 2) 伯野元彦 他：計算機に制御されたはりの動的破壊実験，土木学会論文報告集，No.171，pp.1-9，1969.11.
- 3) 日下部伸 他：地盤系オンライン地震応答実験システムの開発，第22回土質工学研究発表会，pp.523-526，1987.6.
- 4) 堂野前大貴 他：サブストラクチャ法を用いたオンライン地震応答実験システムの開発，日本大学理工学部学術講演会論文集，pp.190-191，2016.
- 5) 池田隆明 他：2011年東北地方太平洋沖地震で液状化が発生した東京都江東区新木場の液状化強度の推定，土木学会論文集 A1（構造・地震工学），Vol.69，No.4，（地震工学論文集32），pp.L678-L687，2013.
- 6) 石崎定幸 他：東北地方太平洋沖地震における地盤の液状化挙動，大成建設技術センター，第44号，pp.04-1-04-7，2011.
- 7) 吉田望 他：YUSAYUSA-2，SIMMDL-2 理論と使用法（改訂版 Version2.10），2005.7.