

## サブストラクチャ・オンライン地震応答実験システムを用いた 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 2 地震動の継続時間の影響に関する検討-

### Study on Liquefaction Damage in Shinkiba, Tokyo, Japan by Using Substructure Pseudo Dynamic Tests -Part 2 Study on the Influence of the Duration Time of Earthquake Motion-

○井上健太<sup>1</sup>, 山田雅一<sup>2</sup>, 道明裕毅<sup>2</sup>, 近藤壮一郎<sup>1</sup>

\*Kenta Inoue<sup>1</sup>, Masaichi Yamada<sup>2</sup>, Yuki Domyo<sup>2</sup>, Soichiro Kondo<sup>1</sup>

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. Experimental results suggested that the maximum acceleration and duration of earthquake motion may affect liquefaction behavior.

#### 1. はじめに

2011 年東北地方太平洋沖地震では、東北地方から関東地方の広い範囲において地盤の液状化現象が確認された。地震動の継続時間が長かったため、東京湾岸北部の埋立地に着目すると、震度 5 程度(地表面加速度で 100~150gal 程度)と加速度は小さいが、液状化が激しく生じた箇所が散見された<sup>1)</sup>。

このような液状化の検討のため、既報<sup>2)</sup>ではサブストラクチャ・オンライン地震応答実験システムの開発が行われ、システムの概要及びアルゴリズムが示されるとともに弾性供試体と乾燥砂を用いた検証実験を行い、システムのアルゴリズムの妥当性を示した。前報<sup>3)</sup>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た、サブストラクチャ・オンライン実験と有効応力解析との比較がなされており、サブストラクチャ・オンライン実験が実現象の再現性を有している可能性を示唆した。

本報では、前報<sup>3)</sup>と同地点を検討地点とし、サブストラクチャ・オンライン地震応答実験を用いて、K-NET で観測された検討地点付近の地震波と加速度調整をした El Centro-NS 波で実験を行い、最大加速度および継続時間が液状化挙動や液状化の程度に与える影響について確認する。

#### 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、復元力特性など非常に複雑でモデル化が困難な要素に対して、要素試験から直接取り込むことでモデル化を行うことなく解析を進めていく手法として伯野・四俵らによって提案された<sup>4)</sup>。オンライン実験はそのシステムの特長上、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。また改良地盤などの、モデル化が困難な地盤に対しても地震時の挙動を検討することが可能である。一方で、多層からなる地盤の全てをオンライン実験することは、システムが高価になるばかりでなく実験

も複雑化するため、実用化が困難である。そこで、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<sup>5)</sup>により提案された。サブストラクチャ・オンライン地震応答実験では、多層から成る地盤の中でも複雑な復元力特性を示す可能性のある土層のみオンライン地震応答実験を適用し、その他の層には数値解析を用いる。これにより多層地盤の応答を比較的容易に評価することが可能となる。本研究で使用したサブストラクチャ・オンライン地震応答実験システムの詳細については既報<sup>2)</sup>を参照されたい。

#### 3. 実験概要

東京都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。検討地点は実際に液状化被害が見られた地点である。本研究では文献<sup>6)</sup>の地盤柱状図と PS 検層結果を参考に検討地点の地盤モデルを作成した。検討地点の地盤モデルを Table 1 に示す。地盤モデル、実験層の試料の詳細は、前報<sup>3)</sup>を参照されたい。

Figure 1 に K-NET より、砂町(検討地点から約 500m)で観測された地表面波(最大加速度 134gal, 刻み時間 0.01 秒, 継続時間 300 秒)(以降、砂町波と称す)と El Centro-NS 波(最大加速度 134gal, 刻み時間 0.01 秒, 継続時間 50 秒)を示す。入力地震動は砂町波と、El Centro-NS 波の地表面最大加速度を 134gal, 200gal, 270gal, に調整した地表面加速度

Table 1. Ground model

Layer NO.	Soil	Layer thickness H (m)	Wet density $\rho$ ( $\text{g/cm}^3$ )	Initial shear modulus $G_0$ ( $\text{kN/m}^2$ )	Shear strength $\tau_f$ ( $\text{kN/m}^2$ )
1	BS	2.0	1.80	16245	8.7
2(Test)	FI	5.0	1.85	28906	
3(Test)	FS	7.5	1.85	53465	
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

1: 日大理工・学部・建築 2: 日大理工・教員・建築

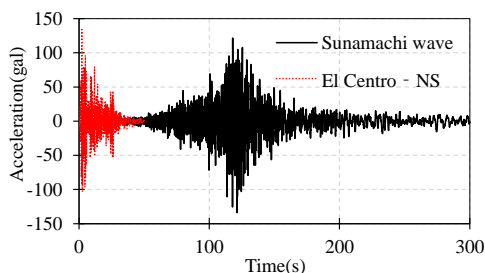


Figure 1. Earthquake wave

を k-SHAKE<sup>8)</sup>により引き戻し計算をして求めた基盤波を用いる。

4. 実験結果

本研究では地震波の継続時間が液状化挙動に及ぼす影響を検討するため、東北地方太平洋沖地震で観測された地震波での実験結果に加え、El Centro-NS 波を用いたサブストラクチャ・オンライン地震応答実験を行なった。Table 2 に本実験での実験ケースと結果を示す。なお、液状化による沈下量は各実験後の体積ひずみの測定値から算出した。

Figure 2 に砂町波を用いた実験の過剰間隙水圧比と地震波の時刻歴、Figure 3 に最大加速度を 134gal, 200gal, 270gal に調整した El Centro-NS 波を用いた実験の過剰間隙水圧比と地震波の時刻歴を示す。Figure 2 より、Case 1 では、過剰間隙水圧比が 1 に達しているため、液状化が発生していることが確認できる。また、Figure 3 より El Centro-NS 波の最大加速度を 134gal (砂町波の最大加速度と同じ) に調整した Case 2 では、水圧の上昇量は小さく最終的な過剰間隙水圧比は 0.14 程度であった。Figure 2, 3 より Case 1, 2 を比較すると、最大加速度が同じであっても継続時間の違いにより液状化挙動は大きく異なり、液状化発生の有無に関わることを確認した。

同図より、El Centro-NS 波の最大加速度を 200gal (液状化判定において中小地震を想定する際に一般的に用いられる) に調整した Case 3 では、Case 2 と同様に液状化はしなかったが、地震波の最大加速度が増加した影響により、過剰間隙水圧比が増加した。

また、El Centro-NS 波の最大加速度を 270gal (震度 6 程度の大きな地震に相当する) に調整した Case 4 では、地震波の最大加速度発生時に過剰間隙水圧が急激に上昇し、その後も徐々に過剰間隙水圧は上昇し続け、加速度振幅が収まり始めた 30 秒付近で過剰間隙水圧比が 1.0 に達し、液状化したことが見て取れる。Table 2 より、液状化したことで沈下量は 7cm になった。また Case 1 と Case 4 ではどちらも液状化が確認されたが沈下量で比較すると 20cm と 7cm であり大きく差が生じた。以上のことから最大加速度と継続時間が液状化挙動や沈下量に与える影響について確認した。

Table 2. Test case and result

Test case	Earthquake wave	Maximum acceleration(gal)	Settlement(cm)	Excess pore water pressure ratio
1	Sunamachi wave	134	20	1.0
2	El Centro - NS	200	0.3	0.14
3		200	1	0.38
4		270	7	1.0

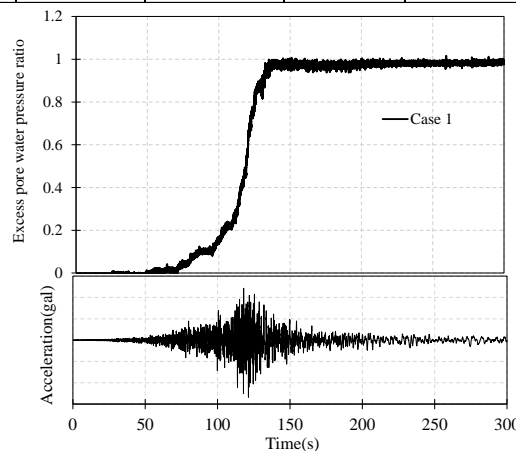


Figure 2. Excess pore water pressure of Sunamachi wave and incident seismic wave of time history

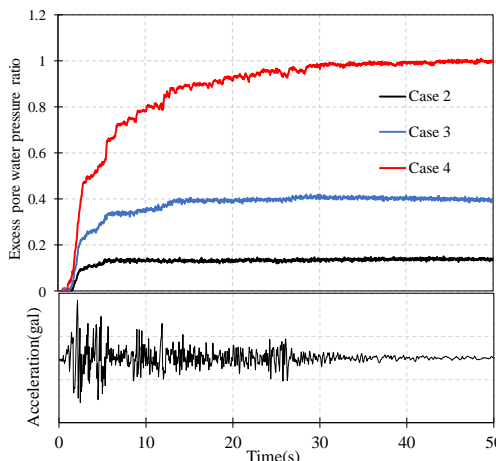


Figure 3. Excess pore water pressure of El Centro-NS wave and incident seismic wave of time history

5. まとめ

本研究では、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。実験結果から継続時間が液状化挙動に影響を与える可能性を示唆した。

【参考文献】

- 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.
- 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.
- 近藤社一郎 他: サブストラクチャ・オンライン地震応答実験システムを用いた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, 平成 29 年度日本大学理工学部学術講演会予稿集, 2017.
- 佐野元彦 他: 計算機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.
- 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.
- 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.1\_678-1\_687, 2013.
- 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.
- 構造計画研究所: k-SHAKE Version3.0, 2000.