

## 加速度履歴による液状化地震動強度と発生検出法

千葉大学 正会員 ○岸田 忠大

### 1. 目的

東北地方太平洋沖地震では、千葉県浦安市を中心とし液状化による上下水道管の損傷や木造家屋の傾斜などの被害が顕著に見られた。これからも分かるように、埋設管網で構成されるライフラインを管理する上で、地震発生早期における液状化把握は重要である。本研究では、東北地方太平洋沖地震の地震観測波形を用いて、液状化発生を推定し、現地調査結果と比較することを試みる。

### 2. 既往の研究

液状化発生後、加速度時刻履歴は長周期化し、ダイレイタンスーによるスパイクが現れることが知られている (Kutter & Wilson, 1999)。Ozaki & Takada (1999)は、液状化による加速度波形の変化をエリアス強度の全体に対する低周波成分の比率増加で特徴付け、液状化の早期検出を検討した。また Suzuki et al. (1998), Kostadinov & Yamazaki (2001)は水平地震動の周期、水平地震動の周期とその上下動周期との比率を用い液状化早期検出を行った。本研究では、液状化判定で用いられる等価応力比繰り返し回数、及び液状化可能標準貫入試験  $N_{1,60cs}$  値を地震動強度とし、加速度履歴からの液状化発生検出を検討する。

### 3. 応力比と繰り返し回数

水平地盤に働く地震時最大せん断応力は以下の式で求まる (Seed & Idriss, 1971)。

$$\tau_{\max} = \sigma_{v0} \cdot a_{\max}/g \cdot r_d$$

ここに  $\sigma_{v0}$ ,  $a_{\max}$ ,  $r_d$  は鉛直方向全応力、最大加速度、深さによる低減係数であり、応力のつりあい式は地盤の線形・非線形挙動とは無関係である。また砂の液状化強度比と繰り返し回数の間には以下のような関係がある。

$$\tau_{cyc}/\sigma'_c = CRR = a \cdot CYC^{-b}$$

ここに  $\sigma'_c$  は圧密応力であり、液状化強度は地震時中の非線形挙動と無関係なことが分かる。またパラメータ  $b$  の代表値としてクリーンサンドでは 0.34 が知られている (Idriss & Boulanger, 2008)。したがって  $CSR_1 = \tau_{\max}/\sigma'_c$  の応力比を持つ 1/2 サイクルは、任意の応力比  $CSR_2$  に対し、以下の等価繰り返し回数を持つことになる。

$$CYC = 0.5 (CSR_1 / CSR_2)^{1/b}$$

本研究では液状化対象層の深さが浅く、対象層以浅では  $\sigma_{v0} = \sigma'_{vc}$ ,  $r_d = 1.0$  と仮定することで  $CSR_1 = a_{\max}/g$  とし、ゼロクロス間での最大加速度  $a_{\max}$  から、任意の  $CSR_2 = 0.15$  を用い等価繰り返し回数にもとづく地震動強度を計算した。また上述より、地震動強度を計算するにあたり地盤情報は使われておらず、土の作用応力の計算は、線形・非線形挙動とは無関係なことが分かる。また任意の繰り返し回数に対し、繰り返し回数 15 の  $CSR_3$  が以下の式でもとまることから、Seed & Idriss (1971), Idriss & Boulanger (2008)などの経験的チャートより、時刻歴上で液状化を起こす有効上載圧、細粒分、エネルギー効率に関し正規化した標準貫入試験  $N_{1,60cs}$  が求まる。

$$CSR_3 = CSR_2 (CYC / 15)^b$$

すなわち、地震動強度は SI 値、エリアス強度と同様に、液状化可能標準貫入試験  $N_{1,60cs}$  値と表記できる。

### 4. 検討対象地震動

東北地方太平洋沖地震後、K-NET 地震計付近で液状化発生が確認された CHB024、液状化が確認されなかった CHB009、地震計から 5m 離れた地点で液状化が確認された IBR024 を検討する。また比較のため過去に鷹取で計測された兵庫県南部地震動、柏崎で計測された新潟中越沖地震動を検討する。

### 5. 累積繰り返し回数時刻歴と液状化可能 N 値

図 1, 2 に CHB009, CHB024 の加速度時刻歴、累積繰り返し回数、長周期累積繰り返し回数の図を示す。長周期加速度は、Kostadinov & Yamazaki (2001)に従い、水平成分の周期が 1 秒以上、かつ鉛直成分の周期が 0.3

キーワード 地震動, 液状化, ライフライン

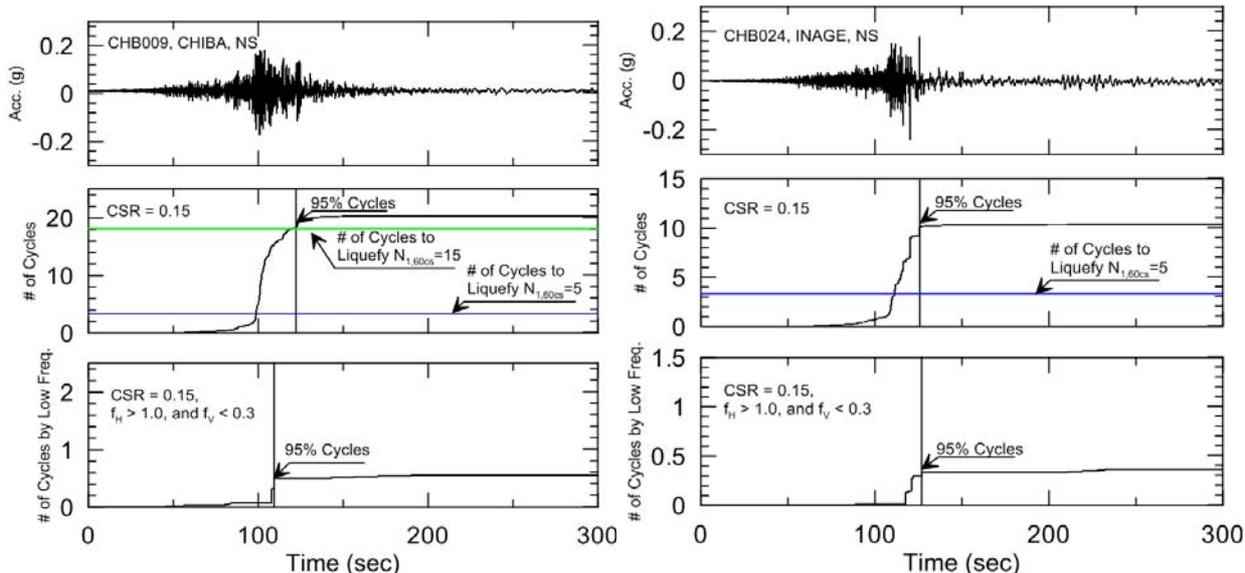


図 1. CHB009 加速度履歴と繰り返し回数

図 2. CHB024 加速度履歴と繰り返し回数

表 1. 地震動特性と液状化観測結果 (水平 2 成分平均)

地震名	計測場所	液状化/ 非液状化	CSR <sub>2</sub> =0.15 の 繰り返し回数	液状化可能 N <sub>1,60cs</sub> 値	t <sub>95</sub> -t <sub>95-long</sub> (sec)
2011 Tohoku	CHB009	NON	12.6	<13	8.1
2011 Tohoku	CHB024	LIQ	12.2	<13	2.6
2011 Tohoku	IBR024	SUS	109	<25	-16.8
1995 Kobe	TAKATORI	SUS	254	<28	-0.4
2007 Niigata	NIG018	LIQ	113	<25	0.61

秒以下で定義した。表 1 に地震名、地震計測場所、液状化・非液状化の観測結果、地震動の繰り返し回数、液状化可能標準貫入試験 N<sub>1,60cs</sub> 値、全体と長周期の繰り返し強度 95%時刻の差を示す。図 1-2 より、液状化可能 N<sub>1,60cs</sub> 値が時刻歴上で求まり、地震動強度の目安となることが分かる。また図 1-2 の比較から、非液状化地震動では、長周期繰り返し強度が飽和した後も繰り返し強度は増加するが、液状化が確認された地震動では長周期繰り返し強度の飽和とともに、繰り返し強度も飽和しており、過去の研究での観察と一致する。

6. まとめ

本研究では東北地方太平洋沖地震での地震動及び現地調査結果を用い、早期液状化発生検出手法を検討した。また地震動強度とし、既往の研究で用いられている SI 値、エリアス強度ではなく、等価応力比繰り返し強度および液状化発生可能標準貫入試験 N<sub>1,60cs</sub> 値を用いた。また繰り返し強度と長周期繰り返し強度の飽和時刻の差を用い、液状化発生後の加速度波形の変化を表す指標とした。

参考文献

Suzuki T, Shimizu Y, Nakayama W., Characteristics of strong motion records at the liquefied sites and judgment for liquefaction. 11th European Conference on Earthquake Engineering, Paris, France, 6-11 September, CD-ROM. Balkema: Rotterdam, 1998.

Kutter, B. L., and Wilson, D. W. De-liquefaction shock waves, *Proceedings of the 7<sup>th</sup> U.S.-Japan Workshop on Earthquake Resistant Design of Lifeline Facilities and Countermeasures Against Soil Liquefaction*, Seattle, August, 1999, Technical Report MCEER-99-0019 (O'Rourke, Bardet, and Hamada, eds.), 295-310, 1999.

Kostadinov, M. , and Yamazaki, F., Detection of Soil Liquefaction from Strong Motion Records:, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 30, 2, 173-193, 2001.

Seed, H. B., and Idriss, I. M., Simplified Procedure for Evaluating Soil Liquefaction Potential. *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, Vol. 97, 9, 1249-1273, 1971.

Idriss, I. M., and Boulanger, R. W. *Soil Liquefaction during Earthquakes*. EERI Monograph, MNO-12, 2008.