

東京都湾岸地域を対象とした液状化程度評価手法の比較及び考察

東北大学大学院 学 ○神部大樹, 金 鍾官, フ 風間基樹, 正 河井 正, 森 友宏

1. はじめに

2011 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震では、関東・東北の広い範囲で液状化が発生した。東京都においても港湾埋立地を中心に液状化が発生したが、今次の震災では、加速度レベルが小さくても継続時間が長く、繰返し回数の多い外力に対する判定法の課題が顕在化した。本研究では、従来法である道路橋示方書に基づく FL 法と地震動の継続時間の影響を考慮した累積損失エネルギーによる液状化予測評価法¹⁾を比較した。

2. 対象とした地域と検討方法

(1) 検討対象地域：液状化簡易判定法評価の対象としたのは、東京都内の港湾地区、多摩地区、低地部の地盤、各 20 点ずつである。なお、これら地点は、東京都が都の液状化予測図の見直し作業を行ったものの一部分を任意に抽出したものである。

(2) 地震応答解析：3 つの異なる特性を持つ入力地震動を、それぞれ最大加速度 100, 150, 200 Gal になるように基盤に入力し、1 次元の地震応答解析(SHAKE)を行った。表 - 1 に入力地震動の諸元を示す。

表 - 1 入力地震動の諸元

地震名	観測点	継続時間
1968 年十勝沖地震	八戸港	40s
1995 年兵庫県南部地震	神戸 PI	20.2s
2011 年東北地方太平洋沖地震	新宿	300s

(3) FL 法：液状化の簡易判定に関しては、道路橋示方書、建築基礎構造設計指針によるものを用いた。液状化抵抗率 FL を層毎に評価した。地表最大加速度は地震応答計算の結果を用いた。

(4) 累積損失エネルギー量の簡易評価¹⁾：累積損失エネルギーは、応力-ひずみ関係のループの描く面積を累積したものであり、地盤材料が塑性変形することによって費やされるエネルギー量である。しかし、今回の解析コードとして用いた SHAKE は地盤材料を線形弾性体と仮定しているので、応力-ひずみ関係のルー

プからは求めることができない。そこで、本研究では、せん断剛性 G 、せん断ひずみ $\gamma(t)$ と弾性エネルギー W の関係 (式 1)、損失エネルギー ΔW と減衰定数 h の関係 (式 2) を用いて蓄積した損失エネルギーを簡易的に求めた。

$$W(t) = \frac{1}{2} G \gamma^2(t) \quad (1), \quad \Delta W = 4\pi h \left(\frac{1}{2} W_{\max} \right) \quad (2)$$

ここで、 $W_{\max}$ は、式(1)の時刻歴の半サイクルにおいて蓄積される最大弾性エネルギーである。これを時間軸に沿って、ひずみの時刻歴から累積量を算定している。したがって、この指標は地震動の継続時間の影響が陽に取り込まれている。なお、せん断剛性と減衰定数は、SHAKE の計算で収束した値を使用した。

3. 結果と考察

図 1 は、東京都の低地部 20 地点の深さ方向の各地層の道示 FL 値と正規化累積損失エネルギー (各層の中間点における有効主応力で正規化したもの、以下 NCDE と称す) を比較したものである。まず、大局的に見て FL 値が小さいほど NCDE が大きくなる傾向が読み取れるから、NCDE は液状化による損傷度合いを表す指標として使える可能性がある。

既往の研究²⁾によれば、液状化の可能性のある土の液状化に至る過程までに蓄えられる損失エネルギーには限界があり、ある上限値を持つ。その値は、例えば緩い砂の場合 0.02 程度、密な砂の場合 0.1 程度である。したがって、FL 値と同様に比較を行うためには、その地層での NCDE の上限値を設定し、その値との比率で安全性を吟味する必要がある。本研究に先だつ下村ら³⁾の研究では、液状化判定の妥当性について、NCDE の上限も考慮した検討を行っているが、本研究では NCDE の生の値をそのまま使用していることに注意されたい。

上記の事情から、図 - 1 には、FL=1 と NCDE=0.02 の値を参考のために赤線で示した。ちなみに、地盤がすべて緩い砂であると考えて、NCDE=0.02 を閾値として考え、それを下回った判定層の数を調べると表 2 の

ようになった。NCDE による評価の方が、地震動レベルに敏感であることがわかる。

図中のデータには、FL 値が大きく、且つ NCDE が大きい判定結果となった地点、つまり図の右上にプロットされる点がある。この地点の土質を見てみると主にシルト等の細粒分が多い層であることがわかった。FL 法では、細粒分が増えると、それに伴って比例的にせん断強度比を大きく算定評価するが、その影響である。一方、NCDE では、そのようなことはないために、このような結果になったと考えられる。

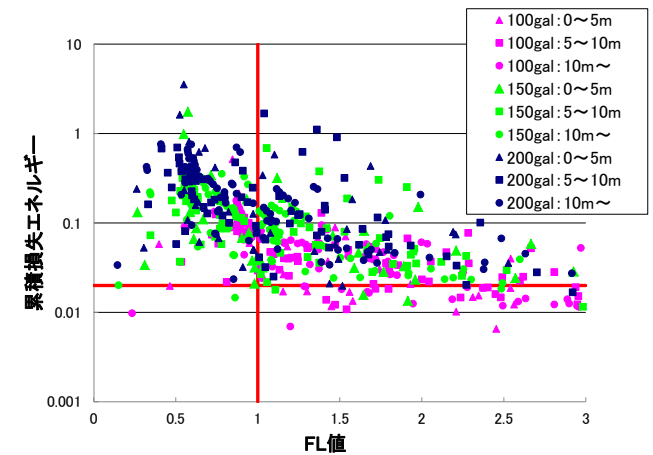


図 - 1 東北地方太平洋沖地震（新宿の記録）を入力した場合の東京都低地部 20 地点の地下水位下で地表から 20m 以内の地層における正規化累積損失エネルギーと FL 値の比較

表 - 2 液状化危険度が高い層数

(東北地方太平洋沖地震，東京都低地部 20 地点の場合)			
Max.ACC(Gal)	100	150	200
FL <1	44	84	101
NCDE<0.02	17	85	126

図 - 2, 3 は十勝沖地震及び東北地方太平洋沖地震の地震波を同一地盤に入力した際の結果の比較を示している。FL 値による評価の場合は、十勝沖地震の方が東北地方太平洋沖地震により、液状化に対して厳しいが、これは、十勝沖地震による地表応答が大きいことに起因している。一方、NCDE の値は、東北地方太平洋沖地震の方が厳しいという結果になり、全く逆の結果になった。

4. 結論

東北地方太平洋沖地震のような継続時間の長い地震動の効果を表現するため、サイトの地震応答解析から得られるひずみの時刻歴から累積損失エネルギー量を算定し、FL 法と比較検討した。継続時間は、液状化

判定に大きな影響を及ぼすことがわかった。

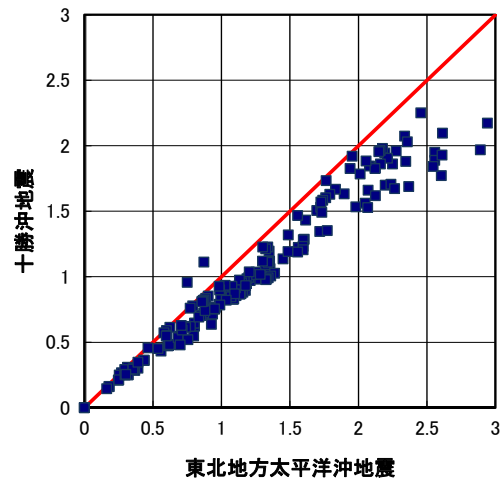


図 - 2 入力地震動の違いによる FL 値の違い

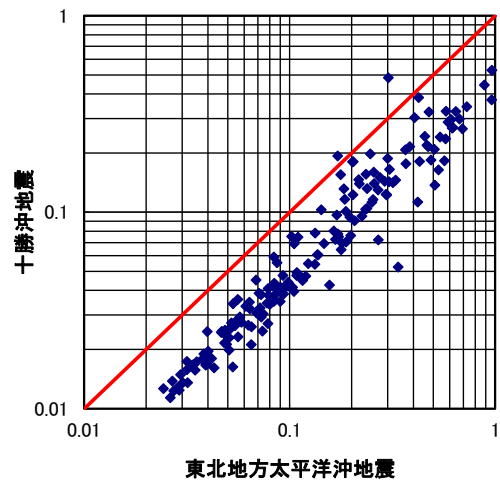


図 - 3 入力地震動の違いによる正規化累積損失エネルギーの違い

謝辞：本研究に使用した基礎データは、東京都の液状化予測図見直しにおける検討の過程のものである。使用許諾いただいた東京都にお礼を申し上げます。

参考文献

1) 風間基樹，鈴木隆弘，柳澤栄司：地盤に入力された累積損失エネルギーの評価法と液状化予測への適用，土木学会論文集，No.631, III -48, pp.161-177, 1999.

2) 風間基樹，加賀谷俊和，柳澤栄司：まさ土の液状化抵抗の特殊性，土木学会論文集，No.645, III -50, pp.153-166, 2000.

3) 下村勇介，風間基樹，森友宏：東北地方太平洋沖地震による東京都港湾埋立地を対象とした液状化程度評価手法の考察，平成 23 年度土木学会東北支部技術研究発表会講演概要集，CD-ROM，III-15, 2012