

東北地方太平洋沖地震におけ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

東北大学 学 下村 勇介 フ 風間 基樹 正 森 友宏

1. はじめに

2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震により、東京都では港湾埋立地を中心に液状化が発生した。現在、液状化判定手法として代表的なものには F_L 法や P_L 法がある。しかし、東北地方太平洋沖地震において F_L 法や P_L 法で液状化すると判定した中にも、実際には液状化しなかった箇所が多く存在している。そこで本研究では、東北地方太平洋沖地震によって東京湾周辺で液状化した場所、液状化しなかった場所の地盤モデルをそれぞれ5点作成し、1次元の地震応答解析を行った。図-1¹⁾に東京都港湾埋立地の解析対象箇所を示す。得られた結果から F_L 法・ P_L 法による液状化判定を行うとともに地盤材料の靱性やねばりを考慮でき、地盤の塑性化の程度を定量的に表現できる累積損失エネルギーや累加ひずみを液状化判定に用いることを検討した。

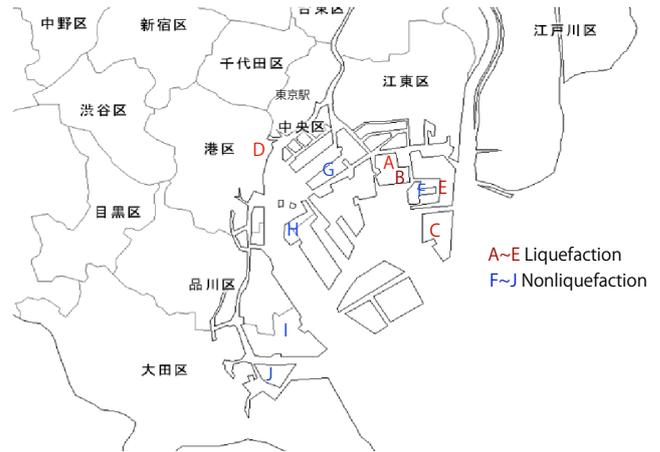


図-1 東京都港湾埋立地解析箇所

2. 1次元地震応答解析

解析コードには重複反射理論と等価線形解析を組み合わせて応答計算を行うSHAKEを用いた。土質分類ごとの単位体積重量やせん断波速度、せん断剛性係数、ひずみ依存曲線などの解析に使用する種々のパラメータは東京低地の液状化予測²⁾に準じた。ひずみ依存曲線、その他のパラメータのうち主要なものを表-1、図-2に示す。基盤入射波³⁾には東北地方太平洋沖地震における東京都港湾局の新有明観測所で観測されたG.L.-36mの波形を用いた。データの時間間隔は0.01秒で解析には32768点を使用した。基盤入射波の加速度時刻暦とスペクトルを図-3、図-4に示す。

表-1 解析パラメータ

	単位体積重量 (tf/m^3)	せん断波速度 (m/s)	せん断弾性係数 (tf/m^2)
砂 (S)	1.85~2	100~240	2500~12000
シルト質砂 (SM)	1.75~1.85	100~240	2500~12000
砂質シルト (MS)	1.6~1.75	100~170	1700~5000
シルト・粘土 (M,C)	1.45~1.5	100~170	1700~5000

3. F_L 法・ P_L 法・累積損失エネルギー

F_L 法とは、地盤の動的せん断強度比 R を地震時せん断応力比 L で除した液状化抵抗率 F_L によって液状化の判定を行う手法で、 F_L が1を下回ると対象の地盤は液状化するとみなされる。本研究では道路橋示方書⁴⁾に準じて F_L 法を行った。

P_L 法とは、 F_L 値を用いて次式で表される液状化指数 P_L から液状化の判定を行うものである。 P_L 値と液状化危険度判定の関係は表-2に示す。

$$P_L = \int_0^{20} F(10 - 0.5z) dz$$

ただし、

$$F_L \geq 1 \text{ のとき } F = 0$$

$$F_L \leq 1 \text{ のとき } F = 1 - F_L$$

z : 地表面からの深さ (m)

累積損失エネルギーは、地震動により地盤に生じた応力-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ため、応力-ひずみ関係のループからは求めることはできない。

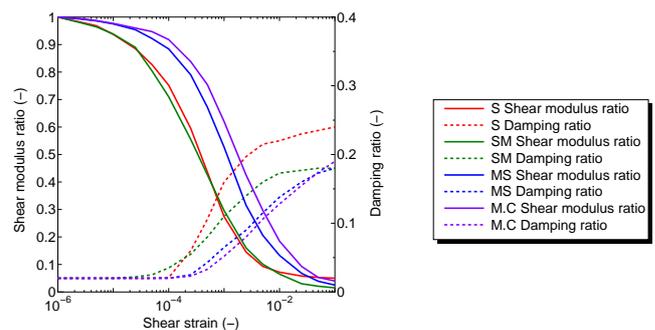


図-2 ひずみ依存曲線

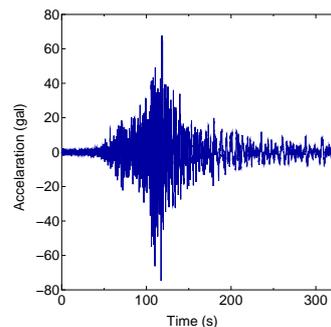


図-3 基盤入射波の加速度時刻暦

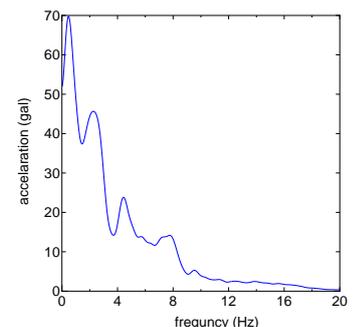


図-4 基盤入射波の加速度フーリエスペクトル

表-2 P_L 値による液状化危険度判定区分

$P_L = 0$	液状化危険度は極めて低い
$0 \leq P_L \leq 5$	液状化危険度は低い
$5 \leq P_L \leq 15$	液状化危険度は高い
$15 \leq P_L$	液状化危険度は極めて高い

そこで、本研究では弾性エネルギーと減衰定数の関係を用いて蓄積した損失エネルギーを求めることとした⁵⁾。

4. 結果と考察

地震応答解析の結果を用いて F_L 値 P_L 値、累積損失エネルギー、累加ひずみを求めた。ここで累積損失エネルギーは各層の中間有効主応力で正規化してある。その中から代表して液状化した箇所は E、液状化しなかった箇所は F の結果を図-5、図-6 に示す。

F_L 値は地点 E(液状化) では全層で 1.0 を下回っており、液状化発生の有無と整合している。しかし、液状化層が深さ 3~5m の砂なのか深さ 5~8m の砂層なのか判定はできない。地点 F(非液状化) では、深さ 5~8m の砂層における F_L 値のみが 1.0 を上回っており、その他は、1.0 未満であるが、そのほとんどは粘性土層であることから、液状化対象層は深さ 5~8m の砂層のみとなる。地点 F もまた、液状化発生の有無と整合している。

P_L 値は地点 E、F いずれにおいても 15 を超えており、きわめて液状化しやすい地盤と判定されているが、地点 F では液状化は生じていない。

累加ひずみは、地点 E では深さ 5~8m の砂層において発達 (37%) しており、その上層の深さ 3~5m の砂層における累加ひずみは小さい。一方、地点 F では深さ 5~8m の砂層における累加ひずみは約 7.5%、深さ 12~15m の砂層では約 18% である。このことから、液状化の危険性が大きいと考えられる浅部砂層の累加ひずみは液状化の生じた地点 E と液状化の生じなかった地点 F では大きく異なることが示されている。

累積損失エネルギーにも同様の傾向が表れている。地点 E の深さ 3~5m の砂層の累積損失エネルギーは 0.02、深さ 5~8m の砂層の累積損失エネルギーは 0.18、であることから、土の剛性が大きく低下しているのは深さ 5~8m の砂層であることが明らかになる。また、地点 F の深さ 5~8m の砂層の累積損失エネルギーは 0.03 であることから、地点 F で液状化が生じなかったことが矛盾なく証明できる。

5. 結論

1. F_L 法や P_L 法は概ね判定は整合するが、液状化層などは明示できない。
2. 累加ひずみや累積損失エネルギーを用いれば液状化層を明示する可能性が示された。

参考文献

- 1) Craft MAP : <http://www.craftmap.box-i.net/>
- 2) 東京低地の液状化予測：昭和 62 年，東京都土木技術研究所
- 3) 基盤入射波：清水建設 (株) 技術研究所
- 4) (社) 日本道路橋会：道路橋示方書 耐震設計編，1996
- 5) 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

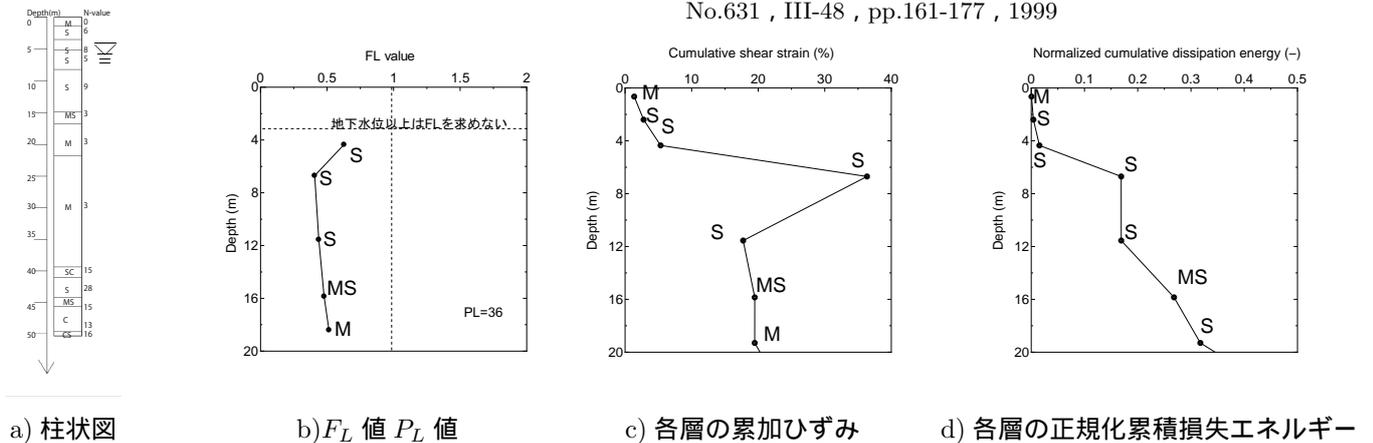


図-5 地点 E(液状化) の計算結果

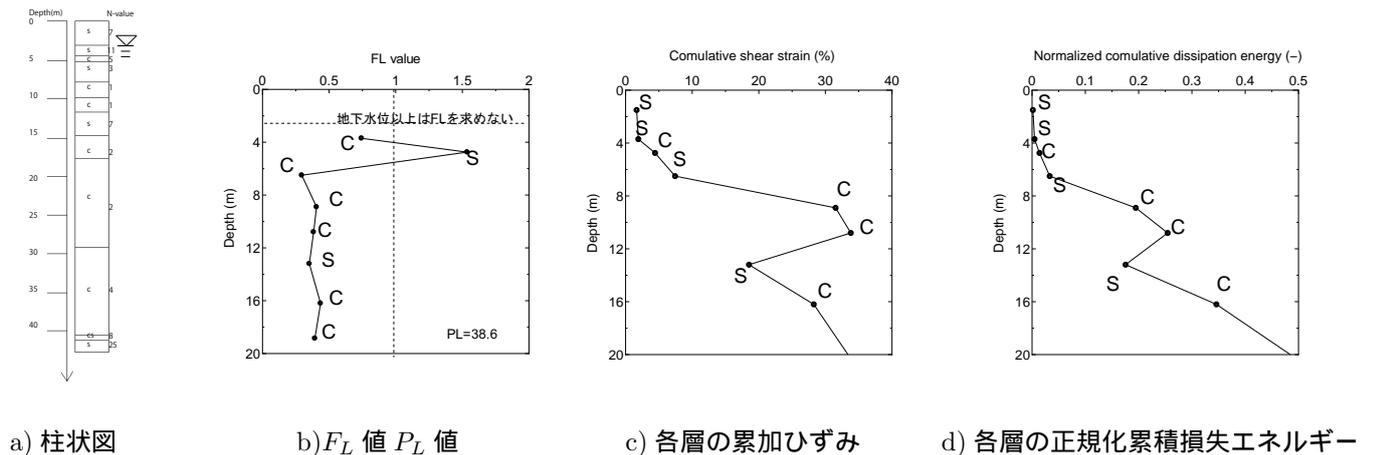


図-6 地点 F(非液状化) の計算結果