

被災確率論による液状化判定手法の適用

福島工業高等専門学校 正会員 金澤伸一
千葉大学 学生会員 ○草野泰治

1. はじめに

2011 年の東日本大震災では、千葉県浦安市の液状化が大きく取りざたされ、センセーショナルな災害として記憶に新しい。この被害は、地盤工学の世界でも工学的知見から液状化研究の技術的信頼を突き付けられる結果となった。液状化現象は、地下水位の高い砂地盤で長周期振動により液体状になることをいう。被害事例として、給排水管の断裂や広域にわたる地盤沈下など、社会基盤整備へ甚大な被害を与えることになる。とくに、日本は地震大国であるため、経済的かつ費用対効果を確保した液状化対策が重要である。液状化対策として、地盤改良や締固めなどが挙げられるが、地盤全域に対して行うことは厳しい状況である。そこで、液状化判定をすることで沈下量を予測し、液状化が起り得る可能性の高い地盤に対して対策する方法がなされている。しかし、現在の設計で使用されている FL 法や PL 法といった液状化判定は地盤沈下を的確に予測するに至っていない。また、これらの手法は信頼性が十分でなく、その計算手法に関しても力学的根拠がやや欠けるといった問題点がある。したがって、将来的には、液状化被害に対する予測システムの精緻性が要求されている。

そこで本研究は、重回帰解析による液状化判定ならびに地盤沈下量の予測モデルの検証を行う。また、東京都が公表している液状化危険度マップに対して、本研究で提案する手法を用いて、液状化判定と予測沈下量を算出することで比較検討を実施する。

研究方法

液状化現象とは、振動によって非排水状態の地盤が一時的に液体状になってしまう現象をいう。地盤が正規圧密状態と仮定すると、全応力 σ は一定であり、振動によって間隙水圧 u_w が増加する。有効応力の原理に基づくと、 $\sigma' = \sigma - u_w$ より、有効応力 σ' が減少していき、最終的にはゼロになることで液状化が発生する。

連続体方程式を用いた解析では、土の状態を考える際に土粒子・水・空気 の 3 要素を使用する。しかし、有効応力がゼロになることで、要素が水と空気 の 2 要素だけになってしまう。要素の数が変化してしまうため、運動方程式を用いた解析を試みても、沈下量の算定において合致しない点が出てくる。

そこで本研究は視点を変え、過去の液状化の被災事例を調査し、液状化する要因となる項目（砂層の位置、砂層厚、N 値、地下水位、マンホール天端標高、施工時期）に重みをつけてモデル化することで、確率的な観点から液状化判定を行う。モデル化においては、統計解析ソフト「R」を用いて重回帰解析を行い、要因項目を精査する。そこから求めた液状化判定・地盤沈下量算定システムを実地盤に適用し、液状化判定と予測沈下量を求める。

2. 結果および考察

まず、関数型を考慮した単回帰解析によって調べた独立変数と地盤沈下量の因果関係を示す。今回は、単回帰解析を行った結果、ほとんどの独立変数と地盤沈下量の因果関係が弱く、決定係数が 1 より遠い値を示した。した

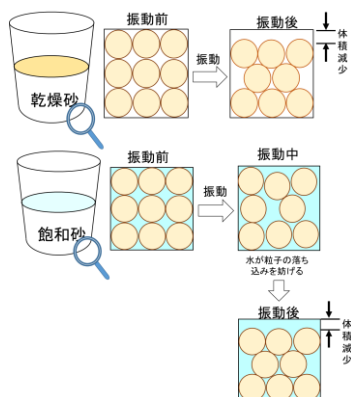


図 1 液状化メカニズム

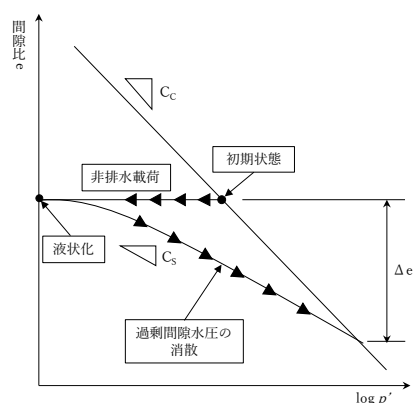


図 2 液状化の工学的解釈

キーワード 液状化, 被災確率論, 確率統計

連絡先: 〒970-8034 福島県いわき市平上荒川字長尾 30 福島工業高等専門学校 13609@fsnct.com

がって、それぞれの要因が複雑に重なり合うことで液状化が発生していると解釈し、すべての独立変数を用いた重回帰解析を行い、自由度調整済み決定係数が最も高い関数型の回帰式を液状化判定・地盤沈下量算出システムとして採用する。以下、表2に重回帰解析によって得られた一次関数型、対数関数型、指数関数型の回帰式およびその自由度調整済み決定係数を示す。図2より一次関数型は、安全率を判定する $Y = X$ の直線より上側に多く分布している。したがって、安全側の判定が可能で決定係数が75.22%と最も高い一次関数型を算出システムとする。

続いて、東京都足立区と港区を液状化判定および予測地盤沈下量算出の対象地域として算出システムを適用した。図5、図6は、算出した予測沈下量をArcMapで可視化ものである。これを、東京都建設局「液状化予測図」の液状化の可能性が高い地域、ある地域、低い地域の3ランク評価をもとに比較検討する。東京都足立区、港区ともに液状化予測図と遜色ない傾向を示しており、本研究の算定システムの有用性は大きいにあると考えることができる。

表1 関数型を考慮した重回帰解析結果

関数型	回帰式	決定係数 [%]
一次関数	$Y = 0.0072005X_1 - 0.0015941X_2 + 0.0391685X_3 - 0.0070652X_4 - 0.0012024X_5 - 0.0058486X_6 - 0.0001728X_7 - 0.0025382X_8 - 0.0023083X_9 + 0.6199988$	75.22
対数関数	$Y = 0.0309011 \ln X_1 - 0.0295711 \ln X_2 + 0.004413 \ln X_3 - 0.022703 \ln X_4 + 0.008648 \ln X_5 - 0.0975011 \ln X_6 - 0.040367 \ln X_7 - 0.01199 \ln X_8 - 0.020759 \ln X_9 + 0.728041$	60.17
指数関数	$Y = 0.000000009168 \exp(X_1) - 0.00000001015 \exp(X_2) + 0.04797 \exp(X_3) - 1.223 \exp(-23) * \exp(X_4) - 3.433 \exp(-24) * \exp(X_5) - 2.956 \exp(-23) * \exp(X_6) + 6.958 \exp(-68) * \exp(X_7) + 0.0000000001563 \exp(X_8) - 2.768 \exp(-46) * \exp(X_9) + 0.1587$	36.15

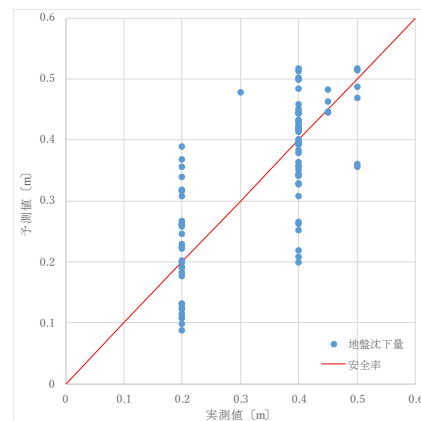


図3 一次関数型

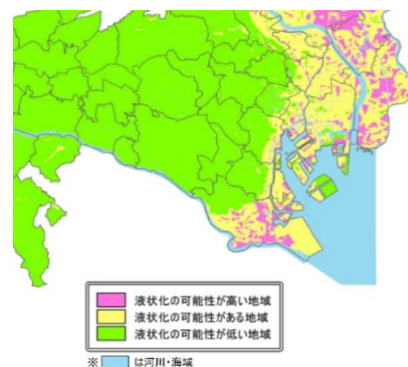


図4 液状化予測図

3. まとめ

本研究の成果として、誰もが使用できるツールを用いて、確率論的解釈からシンプルな液状化判定・地盤沈下量算定システムを提案した。また、その算出システムを実地盤に適用し、予測地盤沈下量を算出することを可能にし、その結果は既往の液状化予測マップと比較しても遜色ない傾向を示している。したがって、本研究の算定システムの有用性は十分に確認された。今後、対象の砂層を拡張しても算定システムが適用できるか、またそれが算定システムの向上につながるか検証したい。

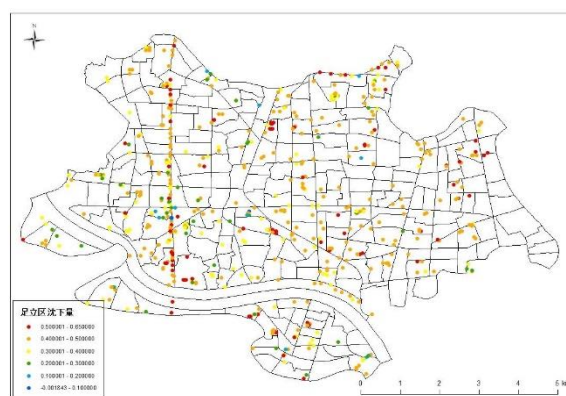


図6 足立区における予測地盤沈下量

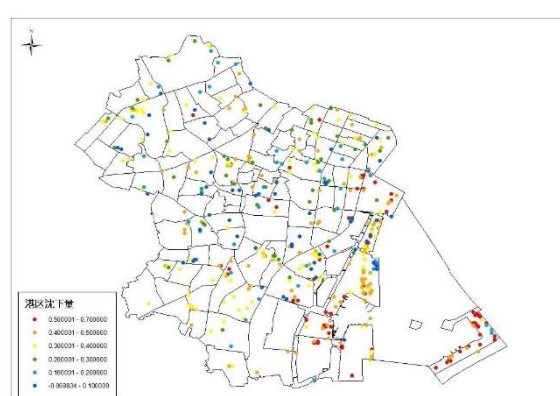


図5 港区における予測地盤沈下量

4. 参考文献

- 1) 金成雅季, 金澤伸一, 坂本将吾: 被災確率に基づく液状化判定の構築, 第51回地盤工学会研究発表会講演集, pp. 1679-1680, 2016.