

# 被災確率論を用いた液状化による地盤沈下量推定法の適用

新潟大学 非会員 ○ 関根伊吹

新潟大学 正会員 金澤伸一 新潟大学 非会員 内藤和輝

## 1. 研究背景

2011年の東日本大震災において、多くの地域で液状化被害が発生した。液状化における被害の事例として、広域にわたる地盤沈下や給排水管の断裂、噴砂、建物の傾斜などが挙げられる。大きな地震に耐えた住居でも、その後の液状化により大きく傾いたとの報告があり、その数25,000棟を超える被害があった。例え耐震補強を施した建物でも、その地点の地盤が軟弱であれば液状化現象が起こり得る。また給排水管の断裂により、断水や下水の排水ができなくなるなどの被害もあった。液状化は従来「人が死なない」災害として周知されていたが、ライフラインなど生活に大きな支障をきたすため、間接的に人的被害に関わる。特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。したがって今後、液状化被害に対する予測システムの確立とその精緻性が要求されている。

## 2. 研究目的

液状化とは地振動によって地盤が一時的に液体のようになってしまう現象である。地盤が正規圧密状態（ゆるい砂地盤）だと仮定すると、全応力 $\sigma$ は一定であり、振動によって間隙水圧 $u_w$ が増加する。 $\sigma = \sigma' + u_w$ より有効応力 $\sigma'$ が減少し、最終的にゼロになることで液状化が発生する。

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。そのため液状化が起こり得る可能性の高い地盤に対して対策することで、経済的かつ費用対効果を確保できると考えられる。そこで本研究では、被災確率論を用いた地盤沈下量算定システムの構築と、システムを用いた新潟県新潟市における地盤沈下量の算出を目的とする。

## 3. 研究方法

本研究では沈下量算定システムの構築にあたり千葉県浦安市のボーリングデータと東日本大震災発生

後の実地盤沈下量を用いた。システムの構築では、統計解析ソフト「R」を用いて重回帰分析を行った。重回帰分析とは従属変数（実地盤沈下量）と独立変数（液状化の要因となる項目）との関係式（回帰式）を求めることで、未知の値を予測できるというものである。その要因になる項目はボーリングデータから得られるものを使用し、砂層までの距離、砂層の厚さ、N値、地下水位などを検討している。また、「R」を用いて重回帰分析を行うメリットとしてその回帰式の精度を示す決定係数「 $R^2$ 」やそれぞれの要因がどの程度回帰式に関係しているかを示す「t値」を確認できることが挙げられる。それらの値を確認することにより精度の高いシステムを構築した。そして、構築されたシステムに新潟県新潟市のボーリングデータを適用することによって地盤沈下量の予測を行い、「ArcGIS」を用いて予想された地盤沈下量をマップ上に表現した。また、各種データの入手先としては千葉県浦安市のボーリングデータを「地盤情報ナビ」、実地盤沈下量を「千葉県浦安市公式ホームページ」、新潟県新潟市のボーリングデータを「ほくりく地盤情報システム」から引用した。

## 4. 結果および考察

まず、表-1に単回帰分析によって調べた地盤沈下量とそれぞれ要因項目の因果関係を示す。今回単回帰解析を行った結果、ほとんどの要因項目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考えられる。そこで、すべての要因項目から適当な変数を選定し重回帰解析を行うことで、決定係数が最も高い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。ここで、表-2に重回帰分析によって得られた回帰式および決定係数を、また、図-1に千葉県浦安市の各地点にける実地盤沈下量とシステムを用いて算出された予測値を示す。図-1内の直線は安全判

定線を示しており、直線より上側の部分は安全と考えることができる。しかし、実測値が0.6m以上になると危険側の分布が増加し、正確に予測できていないと考えることができる。

表-1. 単回帰分析結果

独立変数	要因項目	決定係数	t値	p値	自由度調整済み決定係数
X <sub>1</sub>	砂層までの距離 [m]	0.0348735	-1.559941	0.1244335	0.020468631
X <sub>2</sub>	砂層厚さ [m]	0.0102735	0.8339498	0.4072727	-0.004498495
X <sub>3</sub>	埋土の有無	0.0008211	0.2346423	0.8152019	-0.014092046
X <sub>4</sub>	最小N値	0.0164794	-1.059537	0.2931599	0.001799981
X <sub>5</sub>	最大N値	0.0791625	2.3999694	0.0191824	0.065418672
X <sub>6</sub>	平均N値	0.0470386	1.8185579	0.0734486	0.032815334
X <sub>7</sub>	マンホール天端標高 [m]	0.0035523	0.4887258	0.6266318	-0.011320049
X <sub>8</sub>	地下水位 [m]	0.0039466	-0.515238	0.6080829	-0.010919872
X <sub>9</sub>	施工時期	0.0308678	-1.460828	0.1487366	0.016403182

表-2. 重回帰分析結果

関数型	回帰式	決定係数
一次関数	$y = -0.05995X_1 + 0.067069X_2 - 0.00649X_3 - 0.03212X_4 - 0.06722X_5 + 0.084459X_6 - 0.03986X_8 + 0.423214$	0.7068756

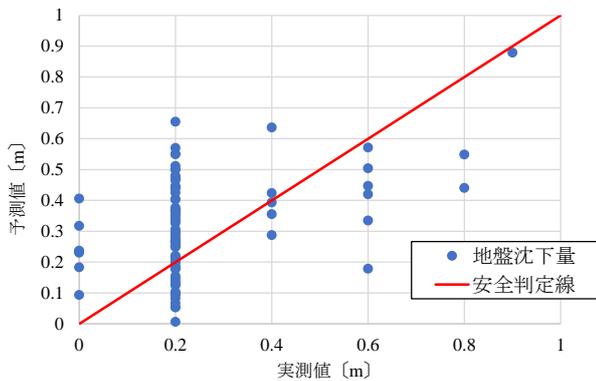


図-1. 実測値と予測値の比較

次に新潟県新潟市を対象地域として地盤沈下量算定システムを適用した。そして 図-2 に予測した地盤沈下量を「ArcGIS」で可視化したものを示す。これを図-3 に示した新潟県の液状化しやすさマップと比較検討する。



図-2. 予測沈下量

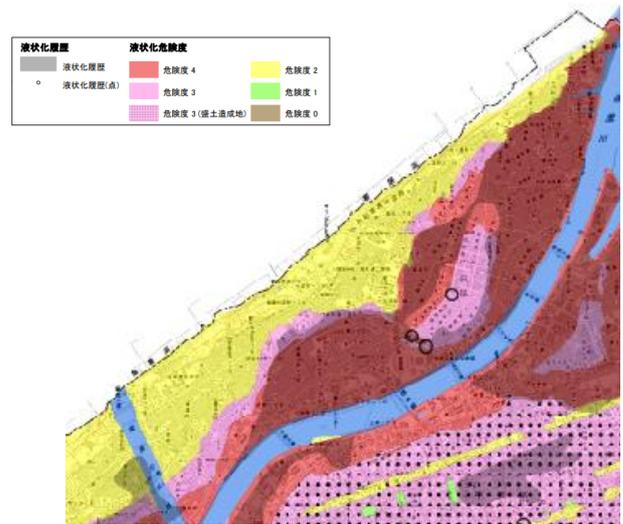


図-3. 新潟県内の液状化しやすさマップ

二つの図を比較すると多少の外れ値が見受けられるが、沿岸部側になるにつれて地盤沈下量が小さくなるという傾向を示しており、このシステムの有用性を確認することができた。

## 5. 今後の展望

本研究では、確率論的解釈から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た。その結果は既往の液状化予測マップと似たような傾向を示しており、本システムの有用性は十分に確認された。しかし依然、予測の精度が良好とまではいかないため、データ数の増加や関数型の検討を行うことでより精度の高いシステムの構築を目指す。しかし現在のシステムではボーリングデータがない地点でシステムを適用することができないので、「ArcGIS」の内挿補完機能を用いて各種要因項目が不明の地点でも地盤沈下量を予測し、液状化沈下量予測マップの作成を今後の展望とする。

## 6. 参考文献

- 1) 地盤情報配信サービス「地盤情報ナビ」  
(<http://www.geonavi.net/georisknavi2/>)
- 2) ほくりく地盤情報システム  
(<https://www.hokuriku-jiban.info/>)
- 3) 新潟県内の液状化しやすさマップ  
(<https://www.hrr.mlit.go.jp/ekijoka/niigata/niigata.html>)