

# 液状化領域を考慮した 永久変位量の予測に関する研究

福島聡一郎<sup>1</sup>・宮島昌克<sup>2</sup>・吉田雅穂<sup>3</sup>・北浦 勝<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 工修 熊谷組 (〒755 宇部市沖宇部)

<sup>2</sup> 正会員 工博 金沢大学助教授 大学院自然科学研究科 (〒920 金沢市小立野2-40-20)

<sup>3</sup> 正会員 福井工業高等専門学校助手 環境都市工学科 (〒916 鯖江市下司町)

<sup>4</sup> 正会員 工博 金沢大学教授 工学部土木建設工学科 (〒920 金沢市小立野2-40-20)

液状化によって生じる地盤沈下や側方流動などの永久変位は、数mの大きさとなることがあるため構造物に多大な影響を与える。本研究では、永久変位量を定量的に予測することを目的として、ボーリングデータから予測した空間的な液状化領域と実際の永久変位による被害との関連性を分析した。その結果、液状化領域を把握することによって、液状化層厚をパラメータとして地盤沈下量ポテンシャルを簡易に予測することができた。一方、側方流動の予測に関しては、変形時間、変形速度、地表面の環境の3つのパラメータに分けて、側方流動量ポテンシャルを予測することを提案した。

**Key Words :** *liquefaction-induced large ground displacement, prediction, spatial liquefaction area, 1995 Hyogoken -nambu earthquake*

## 1. はじめに

液状化によって生じる地盤沈下や側方流動などの永久変位は、数mの大きさとなることがあるため構造物に多大な影響を与える。1995年兵庫県南部地震においては、永久変位によってライフラインなどの地中構造物やケーソン式岸壁が多数破壊した。そこで本研究では、永久変位量を定量的に予測することを目的として、ボーリングデータから予測した空間的な液状化領域と実際の永久変位による被害との関連性を分析する。

## 2. 被害地震と対象地区

本研究で取り上げた被害地震は、1995年兵庫県南部地震( $M=7.2$ )である。対象地区は、神戸市臨海部の深江浜、魚崎浜、御影浜・住吉浜である。これらは1960年から1970年にかけて造成された埋め立て地であり、埋め立て土としてまさ土が使用されている。解析では、それぞれの領域を東西(x)50m×南北(y)50mのメッシュに分割して検討を行った。

図-1は深江浜地区の地表面の標高と、地震後に航空測量により測定された側方流動<sup>1)</sup>をメッシュ化したものである。地表面の標高は2m~4mの範囲であり、傾斜の最大は約1%未満である。しかし、必ずしも傾斜の大きさが側方流動量を大きくしているとは限らない。また、側方流動の大きさは最大が約

5mであり、特に、海岸付近では大規模な側方流動が発生していることが読みとれる。

## 3. 液状化領域の推定

本研究で行う液状化領域の推定方法は、既存のボーリングデータより算出した各深度の $F_L$ 値と $N$ 値から、それぞれKriging法<sup>2)</sup>によって標高ごとの平面的な分布を推定するものである。 $F_L$ 値の計算は1996年に改正された道路橋示方書の方法に従い、また地表面最大加速度は深江浜町の東神戸大橋で観測された327.3galと設定した。 $F_L$ 値が1以下の時に液状化する可能性がある<sup>3)</sup>と定められているが、ここではさらに、300gal程度の地震動に対するまさ土の限界 $N$ 値を19<sup>3)</sup>と設定して、両条件を満たす領域を液状化領域とした。

図-2は深江浜における液状化領域の分布を3次元的に示したものである。なお、深さ方向の表示領域は、地形やボーリングデータの深さを考慮して、標高+2mから-28mの30mである。図-2を見ると地表面から標高-25m付近まで、埋め立て地全体で液状化が発生している。

## 4. 地盤沈下量の予測

図-3は推定した液状化層厚と観測された地盤沈下

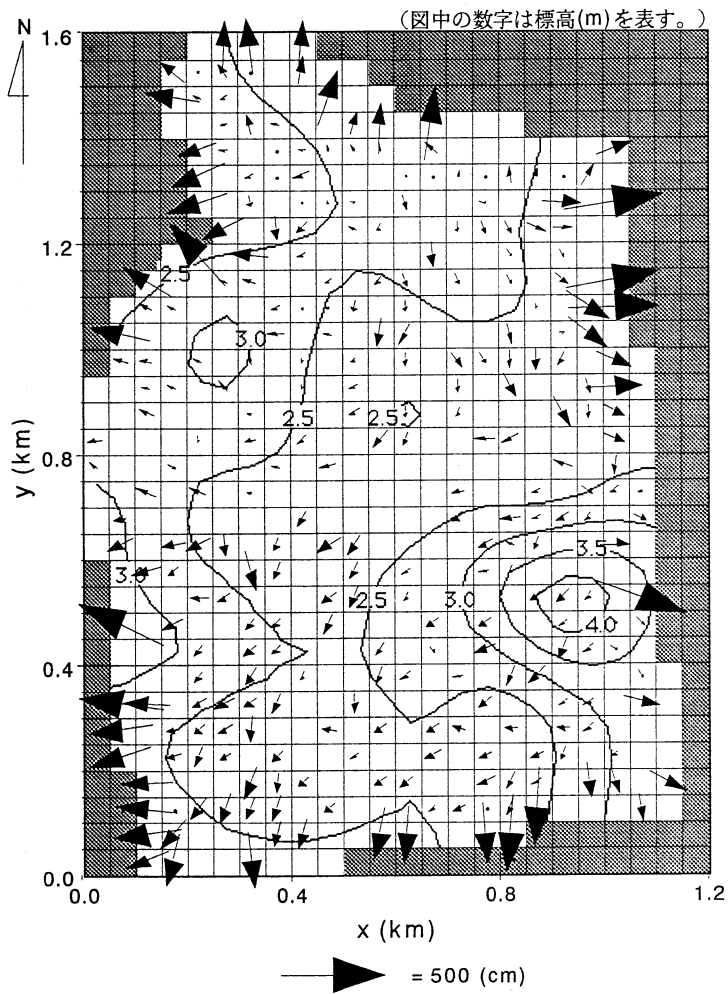


図-1 永久変位ベクトルと標高図 (深江浜)

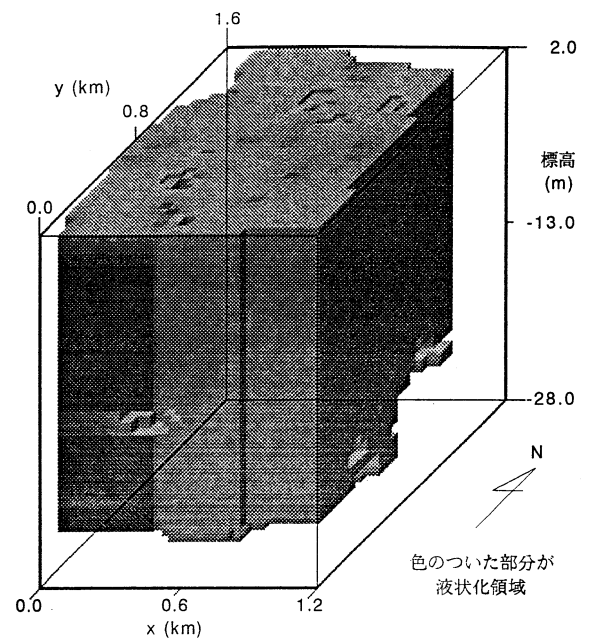


図-2 液状化領域の空間分布 (深江浜)

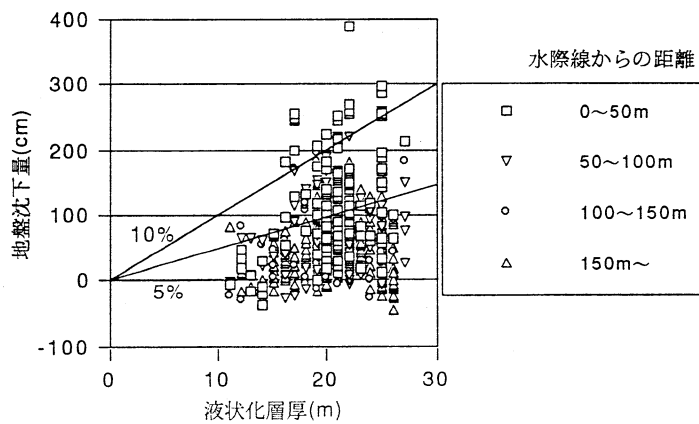


図-3 液状化層厚と地盤沈下量との関係

量との関係を示したものである。一般に、最大地盤沈下量は液状化層厚の約5~10%であるといわれているが、この図を見ると地盤沈下量の最大値が液状化層厚の約10%である。したがって、本研究で推定した液状化領域の空間分布は妥当なものであると考えられ、逆に、この方法で予測した液状化領域をもとに地盤沈下量を見積もることが可能であるともいえる。また、水際線付近のメッシュでは、地盤沈下量が内陸部よりも大きくなっている。それに対して、水際線より100m以上離れた内陸部においては、地盤沈下量が1m前後となり、水際線の距離に関わらず同じような規模で発生している。

## 5. 側方流動の予測

ここでは、対象地点が有する地盤の性質のもとではどれだけの側方流動が見込まれるか、すなわち側方流動量のポテンシャルを予測するための方法を提案する。本研究で対象領域とした深江浜、魚崎浜、御影浜・住吉浜は、人工的に建設されたものであるため、自然に形成された地盤に比べて複雑ではないと考えられるため、これらの人工島を基準にしてパラメータを設定することにした。

図-4は液状化層厚と側方流動量との関係を示したものである。水際線付近のグラフについては多少ばらつきがあるものの、最大値は右上がりの傾向がある。しかし、液状化層厚が20mを越えると側方流動量の最大値に大きな変化はない。水際線付近では内陸部に比べて側方流動量が大きいですが、そのデータの多くが地盤の拘束が比較的弱くなるケーソンの破壊によるものであり、それによって側方流動量が大きくなったものと考えられる。また、地盤沈下の場合と同様に、水際線より100m以上離れると側方流動量は水際線からの距離とは関係がなくなる。

図-5はメッシュに含まれる建物の面積の割合と側方流動量との関係を示したものである。この図より、建物割合が大きくなると、側方流動量の最大値が小さくなっていることがわかる。特に水際線付近のメッシュではその最大値に右下がりの傾向が顕著にみられる。また、水際線よりも遠いところでは、3mを越える側方流動が生じていないが、若干ではあるが右下がりの傾向がみられる。これは、水際線付近では周囲の地盤による拘束が比較的弱いため、建物のように地盤に拘束を与えるものがあると、かなりの割合で流動量が低減されるのに対して、内陸部では周囲の地盤の拘束がかなり強いため、地表面に建物が存在しなくてもそれほど流動の自由度が大きくなるのではないかと考えられる。

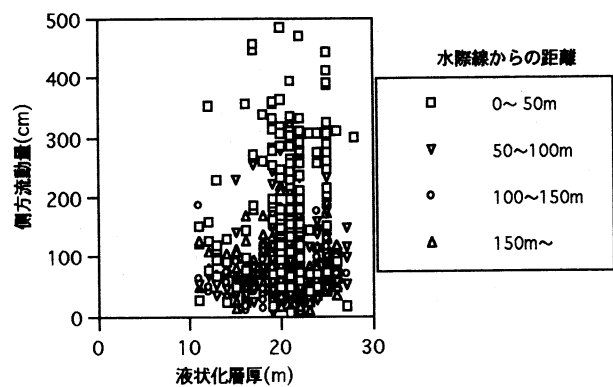


図-4 液状化層厚と側方流動量との関係

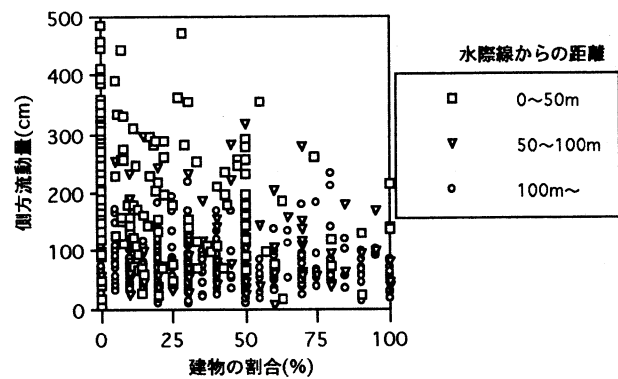


図-5 建物の割合と側方流動量との関係

側方流動量を簡潔にモデル化すると、変形時間に関するものと変形速度に関するものとに分けて考えることができる<sup>9)</sup>。変形時間は、液状化継続時間と密接な関係があり、液状化領域の大きさや地震動の規模、継続時間などに影響される。変形速度とは土層が流動する速さのことであり、液状化層および地表面の勾配や、地盤の構成などに影響される。さらに地表面の側方流動量を予測する場合は、地表面における土地利用形態も考慮しなければならない。そこで、側方流動量ポテンシャルを次のように定義する。

$$D_{HP} = P_T \cdot P_V \cdot P_C \quad (1)$$

ただし、 $D_{HP}$ は側方流動量のポテンシャル、 $P_T$ 、 $P_V$ 、 $P_C$ はそれぞれ変形時間、変形速度、対象地点の環境に関するパラメータである。変形時間に関するパラメータ $P_T$ には、液状化層厚に関連する値を用いることにする。液状化層厚が大きいと側方流動量の最大も大きくなるという傾向が見られ、また、液状化層厚を求める際に地震動の規模について

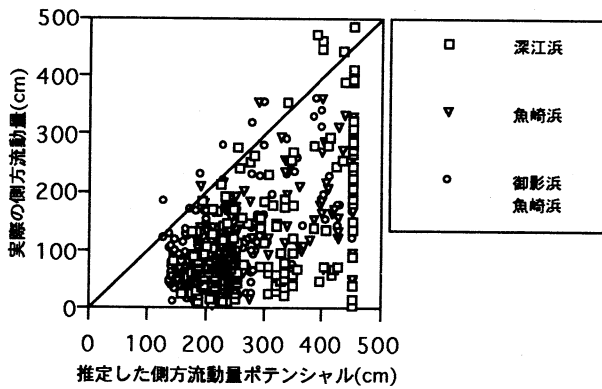


図-6 推定値と実測値との関係 (兵庫県南部地震)

も加味されるからである。ここでは、液状化層厚と側方流動量との関係を水際線からの距離ごとに分けて、各液状化層厚に対する側方流動の最大値を求め、それを $P_T$ として設定する。変形速度に関するパラメータ $P_V$ は、地盤の構成に関連するものを用いることにする。地盤の構成とは、土層の種類、密度、粒度などのことである。ここでは、兵庫県南部地震における礫質土の側方流動を基準と定義して $P_V=1$ を与えることにする。対象地点の環境に関するパラメータ $P_C$ としては、対象地点の周囲の建物の割合を用いることにする。これは、建物の割合と側方流動量との関係から求めた側方流動の低減率を $P_C$ として設定する。

図-6は、上で述べた方法にしたがって予測した側方流動量ポテンシャルと実際の側方流動量との関係を示したものである。実測値のほとんどが予測値を下回っている。このように、実測値が予測値を上回らないような予測が可能であれば、液状化対策に用いることができる。

しかし、この手法で用いたパラメータは、礫質土層で、ほぼ水平な地盤においてのみ有効である。そこで、1964年新潟地震における信濃川両岸の2地区への適用について検討する。これらの地区は神戸市の埋め立て地と異なり砂質土層であり、両者を比べてみると、前者は地表面最大加速度が後者よりも小規模であったものの、側方流動の最大値は約2倍であった。そこで、変形速度に関するパラメータを $P_V=2$ と仮定した。図-7は予測結果である。実測値のほとんどが予測値を下回っており、対象地区特有のパラメータを用いることで側方流動量ポテンシャルの予測が一般的となることがいえる。

このように、パラメータを変化させることにより、側方流動量ポテンシャルの予測が可能となる。あらゆる地点で側方流動量の予測を行うためには、

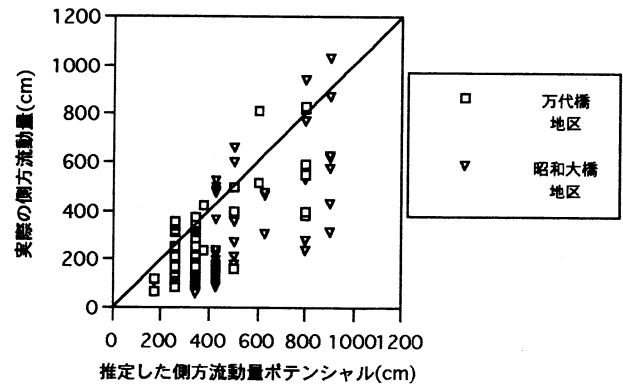


図-7 推定値と実測値との関係 (新潟地震)

それに適したパラメータを用意する必要がある。

## 6. まとめ

地盤沈下の予測に関しては、液状化層厚をパラメータとすると、簡易に地盤沈下量ポテンシャルを予測することができる。したがって、液状化領域を把握することは、地盤沈下を予測するのに適しているといえる。側方流動の予測に関しては、変形時間、変形速度、地表面の環境の3つのパラメータに分けて、側方流動量ポテンシャルを予測することを提案した。しかし、対象とする地区が異なると、その都度パラメータを設定し直す必要があり、問題点はまだまだ多い。数少ない側方流動の観測値を用いたケーススタディとそれを補う室内実験から、パラメータのデータベースを構築していく必要がある。

**謝辞:** 本研究の一部が文部省科学研究費 (奨励研究 (A), No.09750584, 代表 吉田雅穂) の補助によって行われたことを記し、深謝いたします。

## 参考文献

- 1) M.Hamada, R.Isoyama and K.Wakamatsu: The 1995 Hyogoken-Nanbu (Kobe) Earthquake, 1995.8.
- 2) 吉田雅穂・宮島昌克・北浦 勝: 液状化領域の空間分布推定法に関する検討, 第29回土質工学研究発表会論文集, 3分冊の2, pp.1047~1048, 1994.
- 3) 地盤工学会・阪神大震災調査委員会: 阪神・淡路大震災調査報告書 (解説編), pp.171~228, 1996.3.
- 4) 宮島昌克・北浦 勝・安藤康二: 液状化地盤の永久変位に関する実験的研究, 第8回日本地震工学シンポジウム論文集, pp.939~944, 1990.12.