

## 液状化地盤の流動変形解析手法とその新潟地震への適用

液状化・流動変形・透水

首都大学東京 学生会員 細野 康代  
国際会員 吉嶺 充俊

## 1. はじめに

液状化後の流動変形量を予測することは地盤改良を行う場合などにおいて重要な役割を果たすと考えられる。これまで、液状化後の砂地盤の流動変形特性を調べるために非排水単調せん断試験が一般的に行われてきたが、大変形時における正のダイレタンスによって砂の非排水強度は著しく大きくなり、現実の流動現象を説明するのは困難であった。現実の地盤流動は間隙水の透水による体積変化に伴って発生していると考えられる。そこで、三軸試験装置を用いてせん断荷重一定条件での三軸圧縮試験を行い、砂の間隙水の流入・流出による体積変化と流動変形量の関係を実験的に求め、液状化後の透水解析と組み合わせることにより、無限斜面の流動変形解析手法を提案した(文献 1)。本研究では、新潟の5地点の地質データをもとにモデルを作成し、解析によって求められる地盤の流動変形量と1964年の新潟地震後に観測された流動変形量との比較検討を行った。

## 2. 解析手法

無限斜面を想定した場合、流動が起こっても斜面勾配は保たれ、土に作用するせん断荷重は流動によって変化しないので、せん断過重一定条件での砂の三軸圧縮せん断実験(単調載荷)を行った結果、流動を発生させるために必要な給水量は砂の初期相対密度に支配され、初期拘束圧やせん断荷重の大きさにはほとんど左右されないことがわかった。この実験結果から得られたせん断ひずみと体積ひずみの関係と、地盤の層間の透水解析から得られる体積ひずみ分布を用いれば液状化地盤の流動変形量を計算することができる。解析に用いた地点は、1964年の新潟地震時に大きく被害を受けた地域から、Kawagishi-cho Site・River Site・Road Site・Sewage Site・South bank of Showa bridge Siteの5地点<sup>5)</sup>について行った。詳細な実験・解析方法については文献 1)を参照されたい。解析に必要な液状化安全率は文献 2)をもとに算出した。透水係数については、土質分類から文献 2)に記載されている平均粒径( $D_{50}$  mm)から有効径( $D_{10}$  mm)を推定し、Hazenの式を用いて算出した。設計震度は1964年の新潟地震と同程度の大きさの地表面最大加速度(162 gal)を想定した。また、様々な設計加速度での流動変形量関係も明らかにした。

## 3. 解析結果

図-1,2に代表的な2地点のSPTデータと解析によって求められた、時間ごとの流動変形量の深度分布を示した。これらから、大きく流動変形を引き起こす層がどの深さにあるのかが明らかとなった。また、時間的な変化も捉えることができた。今回解析に用いた5地点については、下層の透水性が良く液状化地盤でないため、上層において大きく流動をした。Kawagishi-cho Siteでは、流動が始まって8分後には大きく流動しており、10分後には無限に流動している。また、Sewage Siteは2~4分の間に大きく流動変形を生じ、徐々に流動変形量が小さくなり、最終的に40cm程度の変形となっているのがわかる。図-3に1964年の新潟地震時の設計震度における各地点の地表面変位量の時刻暦を示す。このとき、すべての点において1~10分程度で流動が終了しているのがわかる。この中で、Kawagishi-cho SiteとRiver Siteについては、無限に流動し、Showa Bridgeについてはほとんど流動が生じなかった。また、設計震度を0.4にした場合(図-4)ではKawagishi-cho Siteのような全体的に透水性の良い地盤の場合は流動に要する時間は短い、シルト層を含むようなSewage Siteでは流動が終了するまでに数時間を要した。また、震度の増加に伴い間隙水の消散に時間がかかることがわかる。これは、透水性の悪い層より下に液状化層が存在している場合において、時間をかけて流動を生じる事が考えられる。

さらに色々な設計震度に対する、各地点での地表面での最終流動変位量を求めた(図-5)。設計震度の増加に伴って計算される流動変位量が増加している。また、新潟地震後に航空測量された地盤変位図<sup>4)</sup>から各地点での実測地範囲を求め、解析結果で得られた流動変位量と比較を行った。用いた地点近辺に護岸などの土木構造物がある場合やボーリングデータから透水性の不均一が読み取れない場合には、解析結果では解析値より小さな流動量を示した。実測値では、解析では、無限斜面を想定しているため構造物などの影響を取り入れられないためだと考えられる。

## 4. まとめ

地盤流動は間隙水の移動によって起こると考えられ、この現象を考慮することによって流動変形量を予測することができた。今回作成した流動変形プログラムで計算した変形量は新潟地震時の地盤の地表面流動変形量のある程度定量的に再現しており、ボーリングデータが得られている点に関して、簡易的に流動変形量を予測するプログラムを作成できたと言える。しかしながら、地盤の流動被害量を適確に捉えるためには、単独のボーリングデータを用いるのではなく、流動現象を領域的に捉える必要があるため、より多くのデータを用いて解析を行う必要がある。

" Flow deformation analysis technique on the liquefaction ground and the application to the Niigata Earthquake " Yasuyo Hosono and Mitsutoshi Yoshimine, Department of Civil Engineering, Faculty of engineering, Tokyo Metropolitan University

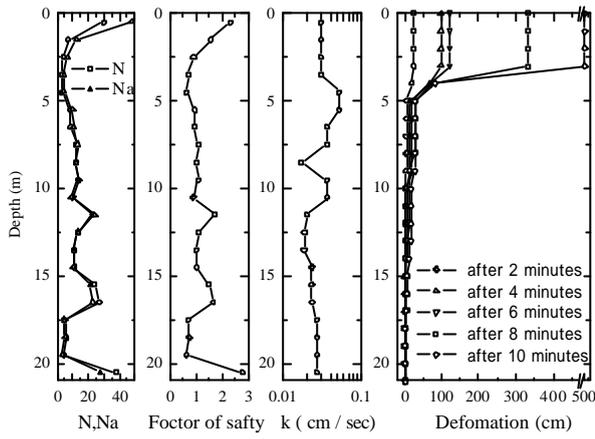


図-1 Kawagishi-cho Site の SPT データ

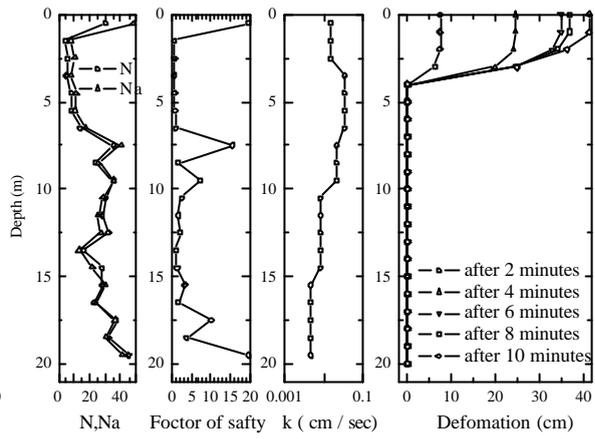


図-2 Sewage Site の SPT データ

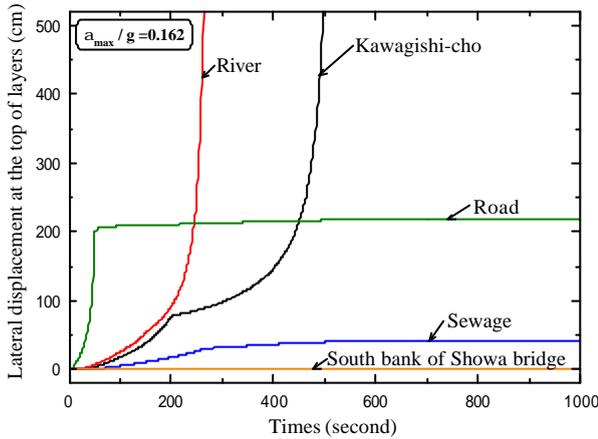


図-3 各地点の最終変位量の時刻歴( $\alpha_{max}/g=0.162$ )

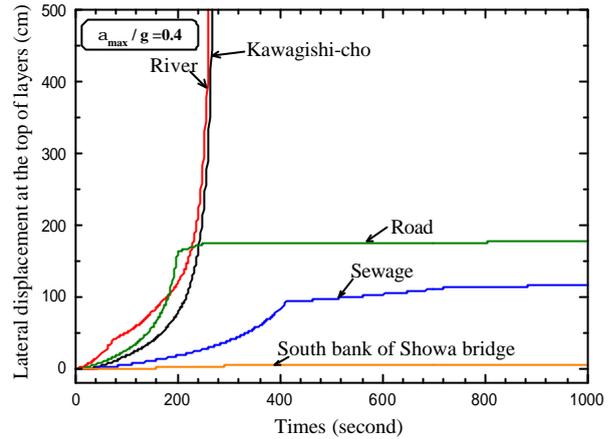


図-4 各地点の最終変位量の時刻歴( $\alpha_{max}/g=0.4$ )

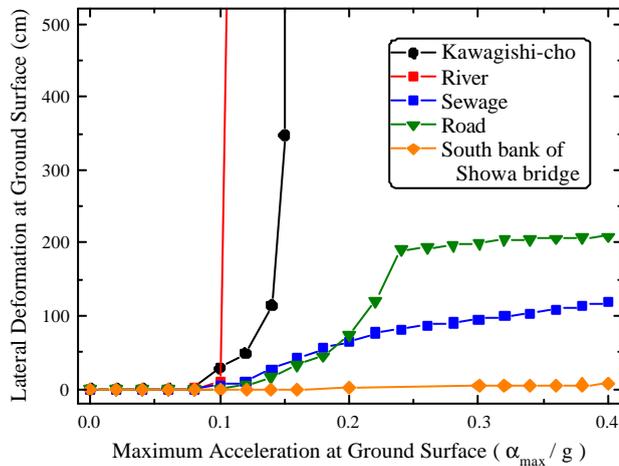


図-5 設計加速度と最終変位量関係

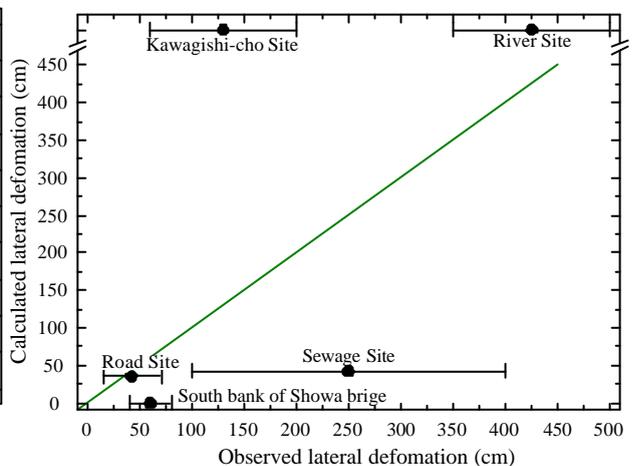


図-6 実測地と解析結果

参考文献

- 1) Flow Deformation of Liquefied Sand Under Constant Shear Load and its application to analysis of flow slide of infinite slope, Yoshimine, M. Nishizaki, H., Amano, K. and Hosono, Y., Submitted to *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, Elsevier, 2005(accepted)
- 2) 社団法人 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 耐震設計編 平成 14 年度
- 3) 砂地盤の液状化後の流動予測と新潟地震への適用，細野康代・吉嶺充俊，日本地震工学会大会 - 2004 梗概集，pp.398-399, 2005.
- 4) 地震予知総合研究所：1964 年 新潟地震 新潟市 地盤の永久変位ベクトル図位置図, 1970
- 5) Ishihara, K.: "Stability of natural deposits during earthquakes." Proc. 11th Inter-national Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering. San Francisco, Vol. 2. pp. 321-376,1985