

新潟県中越地震で観測された液状化現象に伴う極軟弱地盤の側方流動に適応したハイパフォーマンス基礎システムに関する研究

Optimal Proportion of Pile Foundations Subjected to Large Deformation of Liquefied Soil

プロジェクト代表者：齊藤正人（工学部建設工学科・助教授）

Masato SAITOH（Department of Civil and Environmental Engineering, Associate Prof.）

1. はじめに

2004年10月23日17時56分に新潟県中越地方においてM6.8の地震が発生した。この地震により、小千谷市や長岡市など広範囲にわたり地盤の液状化が起きていたことが土木学会災害緊急調査団の現地調査で明らかとなった。液状化現象とは、水で飽和した砂地盤において、間隙水がすぐには排出されず、砂が詰まろうとするのを妨げる結果、水圧が上昇し、それによって有効応力が低下し、土粒子骨格間の有効応力がゼロになって、砂が液状を呈す現象である。防災科学技術研究所の観測で震度7相当の揺れを記録した小千谷市土川の小千谷小周辺では、マンホール全体が浮き上がり、信号機や電柱が根元から倒れるなど液状化特有の被害が報告されている。このように、液状化が生じることで地盤は極度に軟弱な状態となり、建物やライフラインに甚大な被害を及ぼす可能性が極めて高い。特に、地盤に直接埋設される建物の基礎システムは、基盤層の傾斜や護岸擁壁の損壊などによって、液状化に伴う著しい側方流動（過大な地盤変形）が発生し、損傷することが知られている。

そこで本研究では、液状化による側方流動現象に対応できるハイパフォーマンス基礎システムの構築を目的とする。通常、液状化が発生するような軟弱地盤には、基礎システムとして群杭基礎構造が適用されることが知られる。群杭基礎システムの現行の設計方法は、想定される側方流動量を杭体に作用させて、杭のパフォーマンス（変形特性）を照査するものである。しかし、現在の技術ではそうした過大な側方流動量に対して杭体の損傷が許容範囲に収まらない場合が多々あり、それを解決する手段が確立されていない。一般に、杭断面諸元の変更が経済的観点からの最善策となり得るが、建物の慣性力設計と異なり、側方流動量に対して杭断面諸元をどのように変更したらよいか把握できていないのが現状である。そこで本研究では、側方流動量と杭断面諸元の間関係を明らかにし、側方流動現象に最適な変形性能を保有する杭基礎システムの構築を目指す。

2. 研究概要

これまで著者は、地盤の動的変位と慣性力を同時に受ける杭基礎について、3次元弾性波動論に基づいた研究を行い一定の成果を収めてきた¹⁾⁴⁾。一方、本研究では、静的変形である側方流動量と杭断面諸元の間関係を評価する必要がある。そこで、これらを解決する手法として、SDM（Seismic Deformation Method）を用いることにした。本手法は、杭基礎の実務設計で用いられる静的解析法であり、応答予測の精度については既往の研究によって十分な検証がなされている。本研究では、種々の物理条件（層構成、基礎近傍の非線形性など）に対応した新しい解析プログラムを構築した（Fig.1）。本解析モデルは、杭体を深さ方向に離散化し、弾性梁要素として定式した。境界条件として杭頭を回転拘束、杭先端はヒンジ条件を仮定している。また各節点には地盤反力ばねを設けており、地盤反力ばねは近傍地盤の非線

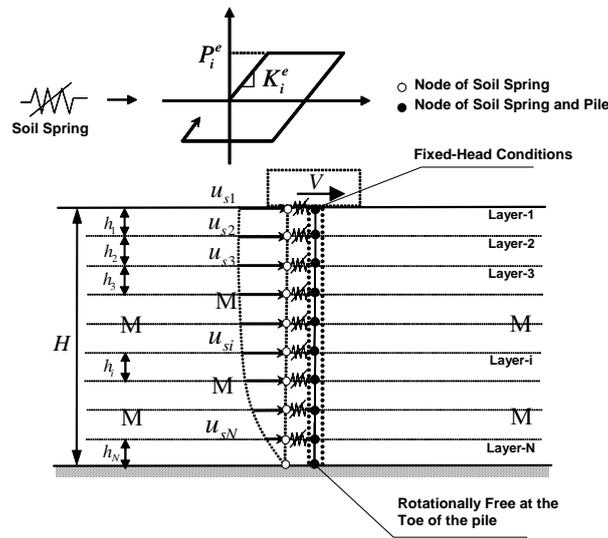


Fig.1 Numerical Model used in this study

形性を評価するため、バイリニアモデルを仮定し、有効抵抗土圧を上限値とした。初期剛性は Gazetas and Dobry(1984) による次式を適用した。

$$kD = 1.2E_g \quad (1)$$

ここで k は地盤反力度係数、 D は杭の直径、また E_g は地盤のヤング率である。外的刺激として、杭頭には水平力を、また杭に接していない地盤反力ばね端部に地盤変位を作用させた。当該地盤変位は、表層地盤の非減衰 1 次固有振動数における変形モードを仮定している。それらの作用方法は、調和波形を有する水平力と地盤変位に位相差を考慮して静的に与えている。一方で、既往の研究報告書と Journal により、表層地盤の諸条件諸数値が側方流動量に及ぼす影響と、その定量的評価事例について把握した。その結果、地盤の液状化に伴う平均的なひずみ量は、液状化する前に比べて 2 オーダーから 3 オーダー異なる可能性が確認された。また、地盤の地盤反力係数は、一般に 1/400 から 1/1000 程度低下すると仮定すれば、模型実験などの実証的現象を説明することができることを把握した。今回の SDM による側方流動の評価では、液状化層が一様に液状化した後に側方流動が生じる、といった仮想的シナリオに基づき、杭体に生じる曲げひずみの応答を求めている。表層地盤全層に亘り液状化し、これが側方流動を起すという上記シナリオは実際的ではないが、本年度の成果である解析プログラムの動作確認ならびに一解析例として、以下の結果をご覧頂きたい。

3. 解析結果と考察

Fig.2 に、本解析によって得られた正規化曲げひずみ $\bar{\epsilon}_p / \gamma_s$ (杭頭の最大曲げひずみを表層地盤に生じる平均的なせん断ひずみで正規化) と基礎径長比 a/H の関係を示す。地盤が液状化前にあるケース (Fig.2(a)) には、曲げひずみを極小化する最適な杭径が存在することがわかる。一方、著しく液状化した地盤 (弾性状態の 1/1000 の剛性を使用) では、杭頭に生じる曲げひずみの極小値は非常に小さい杭径の範囲に推移している (Fig.2(b))。つまり、本結果は側方流動によってその特性は弾性範囲とは著しく異なる可能性のあることを示唆するものである。今後、本プロジェクトで開発したプログラムを用いて、詳細な検討を進めていく予定である。

4. 終わりに

本研究は埼玉大学 21 世紀総合研究機構の「21 世紀総合研究機構研究プロジェクト（平成 17 年度採用）」の一環として実施したものである。今後、より実証的な研究成果として、非液状化層の影響などより実証的な条件を踏まえた解析を継続的に実施していく予定である。

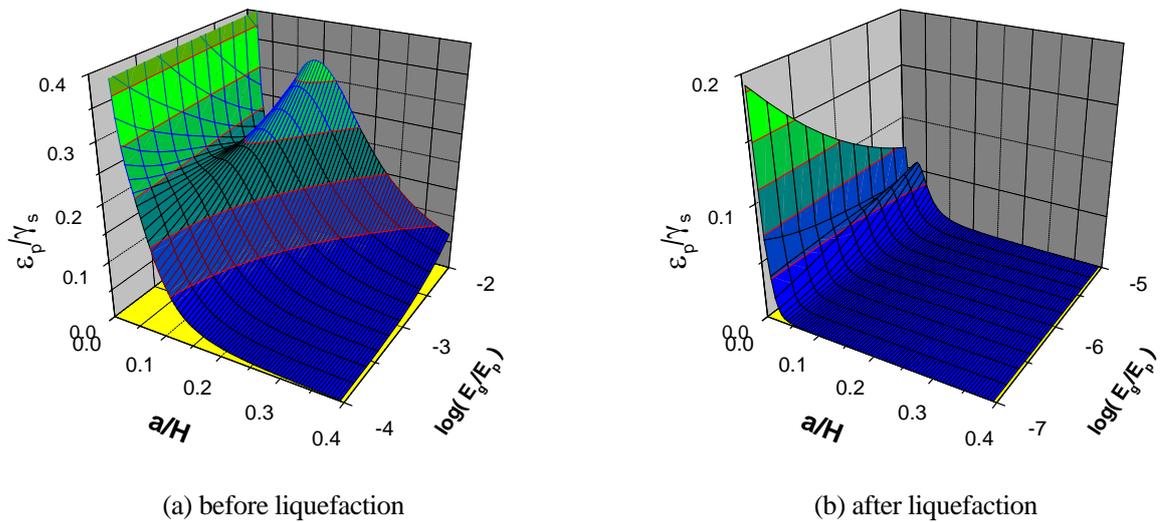


Fig.2 Variation of normalized bending strains with slenderness ratio a/H

参考文献

- 1) 齊藤正人, 地盤変形を受ける杭基礎の杭径寸法が杭体の損傷に及ぼす影響について, 土木学会論文集, No. 766/I-68, pp. 175-189, 2004
- 2) 齊藤正人, 応答変位法に基づいた地盤変位を受ける杭基礎の最適杭径に関する考察, 土木学会地震工学論文集, CD-ROM, pp. 1-4, 2003
- 3) 齊藤正人, 地盤変形と慣性力を同時に受ける杭基礎の損傷低減のための最適杭径に関する基礎的研究, 土木学会論文集, No. 787/I-71, pp. 161-175 2005. 4.
- 4) Saitoh, M., Fixed-Head Pile Bending by Kinematic Interaction and Criteria for its Minimization at Optimal Pile Radius, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, Vol.131, No.10, pp.1243~1251, 2005.10.