

M7級の都市直下地震が引き起こす側方流動の被害を最小限に抑制する信頼性・

安全性の高いハイパフォーマンス基礎システムの研究

Optimal foundation systems minimizing damage due to large deformation of liquefied soil under strong earthquake motion

プロジェクト代表者：齊藤正人（理工学研究科・准教授）

Masato Saitoh (Graduate School of Science and Engineering・Associate Professor)

1 はじめに

平成17年2月、中央防災会議首都直下地震対策専門調査会が、長年の蓄積データや新たな知見をもとに、首都中枢機能の継続性確保の視点から、国として初めて首都直下地震の被害想定を公表した。南関東直下でM6.7-7.2の地震が起きる確率は、十年以内30%、三十年以内70%、五十年以内90%である。これを受けて東京都をはじめとする関東の各都道府県では、想定される地震に対してハザードマップの作成など、被害予測と対策の見直し作業が急務である。こうした被害予測では、構造物に直接被害を及ぼす強震動（ゆれ）予測と同時に、極めて甚大な被害をもたらす”液状化現象”による被害予測が調査されている。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、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。2004年に発生した新潟県中越地震では、マンホールが浮き上がり、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、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。こうした基礎システムは、被災直後はその被害が確認できず（被害が地中に隠れているため）、数ヶ月あるいは数年経ってから、損傷による支持力不足で建物が傾斜する、あるいは不等沈下で構造部材に亀裂が入るなどの、時間的差異を伴う深刻な被害となり、最終的には建物の安全性・信頼性を著しく損なう可能性が極めて高い。

そこで本研究では、液状化による側方流動現象に対応したハイパフォーマンス基礎システムの構築を目的とする。特に液状化層上に非液状化層（液状化しない粘土層など）が存在する場合にその層境界で被害が集中することが被害調査によって判明している。そこで本研究ではそうした状況下にも対応できる基礎システムの構築を目指す。通常、軟弱地盤には群杭基礎構造が適用されており、現行の設計方法では、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を照査するものである。しかし、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る。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、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一切把握できていない現状にある。本研究では、側方流動量と杭断面諸元の関係を明らかにし、側方流動現象に最適な杭径を予測することで、適切な変形性能を保有する安全性の高い杭基礎システムの構築を目指す。

2 解析手法とその開発

本プロジェクトでは、これまでの研究で構築してきたSDM(Seismic Deformation Method)に改良を加えた。主な改良点は、1) 基礎近傍地盤の非線形性（粘性土・砂質土）と基礎-地盤間の境界非線形性の考慮、2) 任意の互

層地盤構成を可能としたところにある。地震動を受けた構造物系は、液状化に至るまでに著しい地盤の非線形性と比較的大きな慣性力が作用することになる。本プロジェクトでは、これをPhase1と定義して地盤の非線形性が杭径（杭断面諸元）と杭頭曲げひずみの関係に及ぼす影響について検討した。そして、Phase2として液状化が生じた直後の現象、さらにPhase3として側方流動が発生し地盤が過大に変形する現象下における上記関係について検討を進めた。いずれも極めて興味深い挙動を示すことが本研究から明らかとなった。紙面の都合により、以下には、これまであまり知られていないPhase2から3に至る現象下における解析結果を示す。

3 解析事例（中間層が液状化する場合について）

今回の解析事例として、一般に基礎の被害が甚大であると言われている中間層が液状化する場合を示す。図1には、解析モデルの概図を示す。地表面に近い地盤層と基盤層近傍では液状化せず、その中間にある層が液状化するケースである。この場合、杭の損傷は上層と中間層の境界部において著しく生じることが知られている。以下には当該位置における曲げひずみと杭径の関係についてその解析結果を示す（図2）。

図2によれば、液状化直後に相当すると思われる杭頭荷重の大きい範囲（ $F_r = 10^{-3}$ 近傍）において、特定の杭径範囲（図中では基礎長と杭半径の比：基礎径長比 $a/H = 0.05$ 近傍）で曲げひずみが極小化される傾向にあることがわかる。この原因は、慣性力による **Inertial Interaction** が主に関与していることが理解できる（図中、**Inertial bending** のみによる曲げひずみに上記の特徴を確認することができる）。

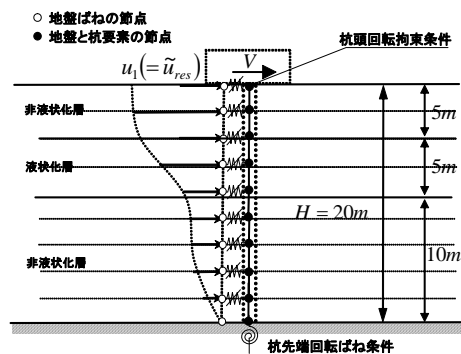
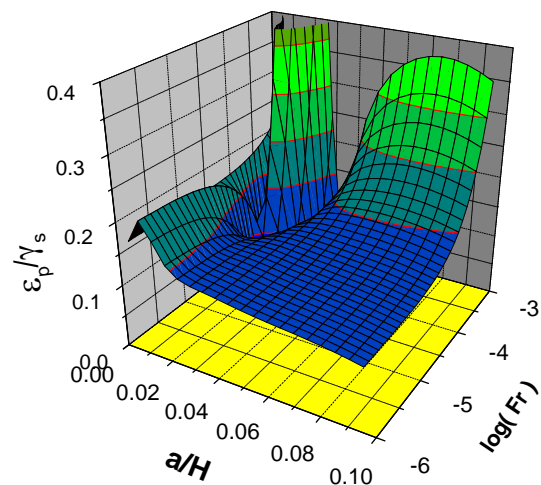
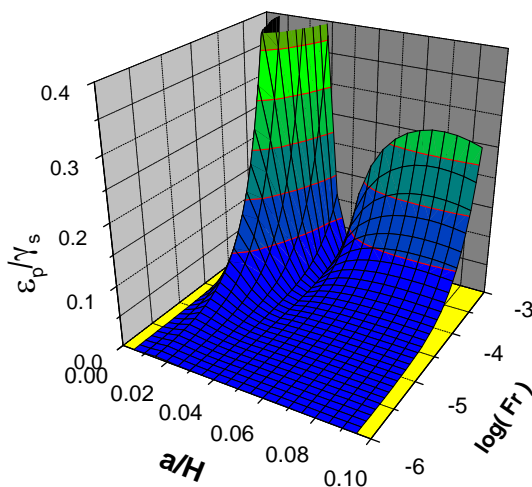


図1 SDMに基づく解析モデル概図

Total Bending (慣性力+側方流動)



Inertial Bending (慣性力のみ)



Kinematic Bending (地盤変形のみ)

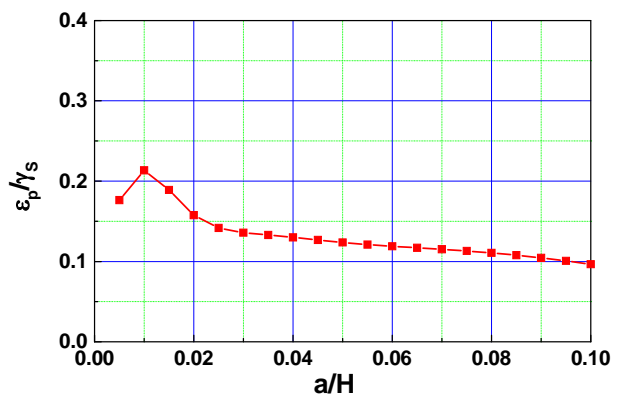


図2 中間層が液状化・側方流動を生じる条件下での層境界部における杭の曲げひずみと杭径（杭径長比）の関係（パラメータとして杭頭荷重と地盤変形量の相対比率 F_r を適用）