

火山灰質地盤における杭基礎の耐震補強技術に関する検討

—液状化層厚の影響に関する一考察—

火山灰質土 液状化 杭基礎

土木研究所寒地土木研究所 正会員 ○江川拓也, 正会員 畠山乃
北海道大学大学院 国際会員 磯部公一

1. はじめに 広範囲かつ複雑に堆積する火山灰質地盤において効率的に杭基礎の耐震補強を進めるためには、対策必要箇所の抽出・優先度を決定するための耐震性能評価技術が必要である。筆者らはその評価技術の提案に必要な基礎的知見を得ることを目的に、液状化が生じる火山灰質土層の堆積状況を変化させた遠心力模型実験を実施している。

図1に示す5ケースに対し同一の地震動(sine20波, 1.5Hz, 200cm/s²)を基盤から入力した結果、ケース2において、同じく上部層が液状化層であるケース1, 3, 5に比べて杭の水平地盤反力係数が大きく低減しており、これは、地盤の層厚や層構成に起因する加速度応答特性や地盤内に生じるせん断ひずみの違い等が考えられたり。このことから、本検討では液状化が生じる火山灰質土層の層厚の異なりが杭基礎ならびに地盤の地震時挙動に及ぼす影響を把握する目的で、ケース1, 2, 3の実験結果に対し、新たな指標(地盤内の加速度パワー・せん断ひずみ・固有周波数)に着目し再検討を行った。

2. 実験結果と考察 図1に示す1/50縮尺模型に50gの遠心加速度を作用させ加振実験を実施している。使用した模型材料、模型の作成方法は参考文献1)に詳しい。以降に示す計測値等の数値は、実物換算値として整理している。

図2に、加振実験から得られたG.L.-2.0m, -8.0m, -12.0mならびに基盤における各種計測値と、杭頭の応答加速度の二階積分から求めた杭頭変位、加速度パワーの時刻歴を示す。地震時における地盤の応答挙動の評価にあたっては、最大加速度のみならず振動の継続時間の影響も考慮する必要があると考えられる。そこで、室野ら²⁾の研究を参考に、振動の継続時間を考慮できる加速度パワーを指標の一つとした。この加速度パワー I_E は、地震動の特性を表す一つの指標として次式で定義される。 $I_E = \int_0^T x(t)^2 dt$ ここに、 $x(t)$ は加速度波形(m/s²)、 T は振動の継続時間(s)である。本検討では、各ケースの基盤における入力加速度波形20波の継続時間に相当する加速度パワーを算出した。算出の対象とした応答加速度波形データのサンプリング周波数は100Hzである。

図2より、各ケースの地盤および杭の各応答値に異なりはあるものの、ケース1と3では、液状化層、非液状化層にかかわらず加速度パワーはG.L.-8.0mで急激に増幅しG.L.-2.0mではほぼ発生しておらず、杭の曲げモーメントはG.L.-8.0mとG.L.-2.0mの振幅が比較的継続すると言った似通った挙動を示した。一方ケース2では異なる挙動を示しており、各深度で加速度パワーは緩やかに累積しておりG.L.-2.0mで加振序盤に大きく、杭の曲げモーメントはG.L.-8.0mとG.L.-2.0mにおいて加振序盤に大きく減衰する挙動を示した。ケース1のG.L.-2.0mを除いて、いずれのケースも加速度パワーの累積値は過剰間隙水圧が概ねピークに達する頃よりその上昇が留まるように見受けられ、過剰間隙水圧の上昇による液状化の進展により地盤の剛性が低下し加速度が応答しなくなったものと考えられる。杭頭変位は、ケース1, 2で加振序盤に同程度の最大値を示したが、各ケース加振序盤に生じた大きな変位が過剰間隙水圧の上昇に伴い減衰している。特にケース2ではその振幅の減衰の程度が大きい。本検討の実験条件においては、杭の挙動は杭周辺地盤からの動的水平力を受けることにより生じ、杭周辺地盤の剛性が保持されているほど杭に大きな動的水平力が作用し大きな曲げひずみが生じる。ケース2では、G.L.-8.0mとG.L.-2.0mの杭の曲げひずみから求めた杭の曲げモーメントの振幅がケース1, 3と比較して加振序盤に大きく減衰しており、早期に杭周辺地盤の剛性が液状化の進展により低下したのと考えられる。そのため、杭周辺地盤からの動的水平力が作用せず杭頭変位が早期に応答しなくなったものと考えられる。

図3に、全層厚を上部層(G.L.~G.L.-5.0m)、中間層(G.L.-5.0m~G.L.-10.0m)、下部層(G.L.-10.0~基盤)の3分割とした際の各層における加振により生じた地盤のせん断ひずみの時刻歴を示す。地盤のせん断ひずみは、各層境で計測された加速度時刻歴を二階積分して得た変位時刻歴からせん断ひずみ算出区間の相対変位を求め、これを各層厚で除すことにより算出した。なお、同図には算出されたせん断ひずみの絶対値を累積した値を合わせて示した。

図3より、加振により地盤に生じたせん断ひずみは、各ケース上部層において加振序盤に最大値を示した。中間層を液状化層としたケース1, 2では、中間層で比較的大きなせん断ひずみが継続して生じており、累積のせん断ひずみは中

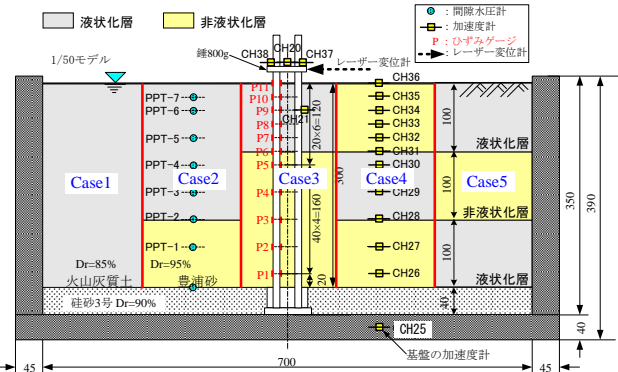


図1 実験模型概要(各ケースを同一断面で比較)

間層で最も大きい。特にケース 2 では、G.L.-8.0m が中間層を代表するとは限らないが、加速度パワーがケース 1, 3 よりも小さかったにもかかわらず、ケース 1 と同程度のせん断ひずみおよび累積値が得られている。ケース 1, 3 では、各層でのせん断ひずみの発生、累積の傾向が異なっているが、ケース 2 では各層において比較的継続したせん断ひずみが生じており、ケース 1, 3 と比較して各層で大きな累積値が得られている。ケース 2 では比較的継続した繰返しせん断を全層で受けることにより、液状化ならびに地盤の剛性低下が助長されたものと考えられる。

図 4 に、入力加速度波形 20 波の継続時間に相当する時刻を、序盤、中盤、終盤に 3 分割して求めた基礎に対する杭頭と地盤の各層境の伝達関数を示す。本検討で示す伝達関数とは加速度フーリエスペクトルの比であり、バンド幅 0.2Hz の Parzen ウィンドウで平滑化をしている。

図 4 の加振序盤における G.L.の伝達関数より、ケース 1, 3 では概ね 4.0Hz 付近が、ケース 2 では 2.5Hz 付近が卓越していることが分かる。加振序盤における卓越周波数が各模型地盤の固有周波数を表すものと解釈すると、ケース 2 の地盤の固有周波数がケース 1, 3 よりも入力周波数 1.5Hz に近く、地盤内で加速度やせん断ひずみが応答し易かったものと考えられる。G.L.-5, -10m においても増幅比や時間区分は異なるものの、各ケース液状化層、非液状化層にかかわらず同様の周波数が卓越している。また、各ケースの固有周波数と思われる周波数が加振序盤から中盤、終盤へと若干ではあるが高周波数側へシフトしているようにも見受けられ、地盤が徐々に高密度化していることが窺われる。杭頭での伝達関数は、前述の通り本検討の実験条件では杭の挙動は杭周辺地盤からの動的水平力を受けることから、地盤と同様の周波数特性を示したものと考えられる。

3. まとめ 加速度パワーの累積値は過剰間隙水圧がピークに達する頃、すなわち、地盤の軟化により留まった。せん断ひずみの累積は過剰間隙水圧上昇後も見受けられ、ケース 2 では地盤の固有周波数が入力周波数に近く、全層で比較的継続した繰返しせん断が液状化や地盤の軟化を助長し、杭の水平地盤反力係数が大きく低下したと考えられる。

参考文献 1) 江川他：火山灰質地盤における杭基礎の耐震補強技術に関する検討-液状化層の堆積状況の影響に関する遠心力模型実験、第 52 回地盤工学研究発表会発表講演集, pp.1233-1234, 2017. 2) 室野他：盛土の耐震検討に用いる地震動波形に関する一考察, レベル2 地震に対する土構造物の耐震設計シンポジウムおよび講習会テキスト, pp.347-354, 2000.

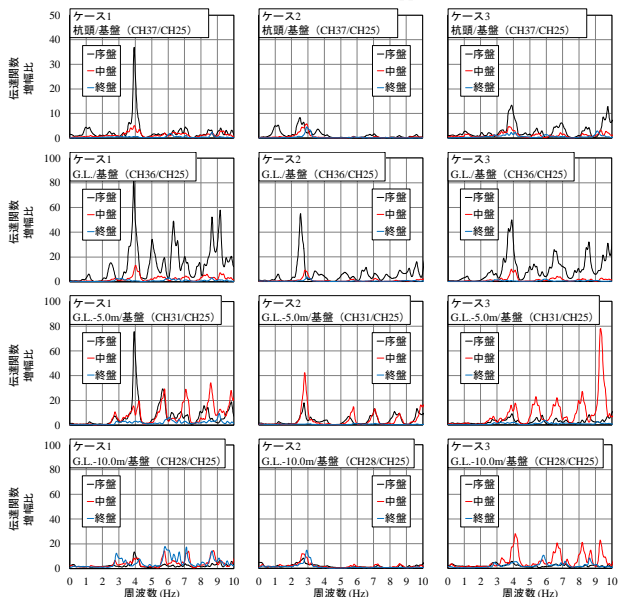


図 4 杭頭と地盤の各層境 (G.L., G.L.-5, -10m) の伝達関数

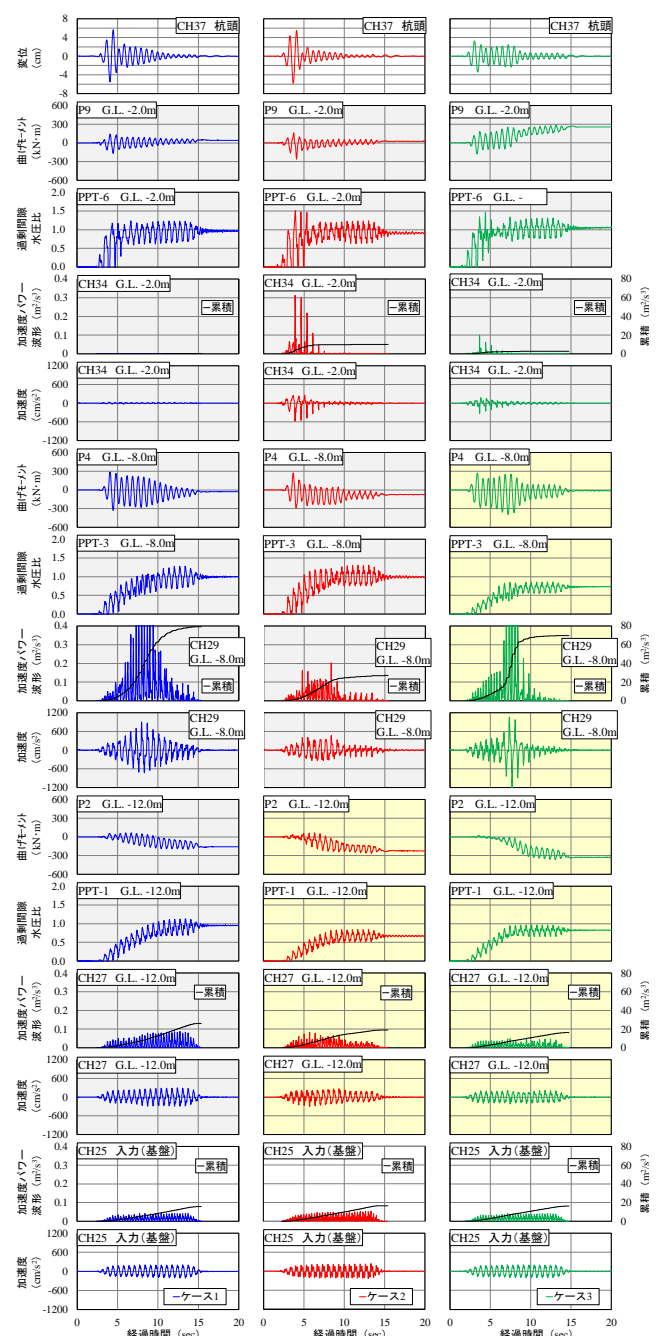


図 2 各種計測値、杭頭変位、加速度パワーの時刻歴

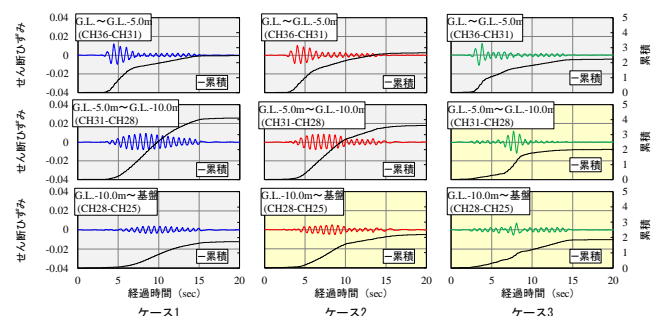


図 3 地盤のせん断ひずみの時刻歴