HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	火山灰質地盤における杭基礎の耐震性評価技術および耐震補強技術に関する研究［論文内容及び審査の要旨］
Author(s)	江川, 拓也
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第14234号
Issue Date	2020-09-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/79952
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Takuya_Egawa_abstract.pdf, 論文内容の要旨

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

学　位　論　文　内　容　の　要　旨

博士の専攻分野の名称　　博士（工学）　　氏名　江川拓也

学　位　論　文　題　名

火山灰質地盤における杭基礎の耐震性評価技術および耐震補強技術に関する研究
(Study on Seismic Performance and Aseismic Reinforcement of Pile Foundations in Volcanic Ash Ground)

日本の高度経済成長期に構築された杭基礎の多くは、耐震設計の概念が希薄であったことから、現行の耐震設計法との不整合や地震により変状が認められるものもある。次なる巨大地震による減災に向け国土強靭化基本計画では「緊急輸送道路等の耐震補強の推進」等を掲げており、未だ確立されていない道路橋杭基礎の耐震性評価技術および耐震補強技術の開発は喫緊の課題である。一方、火山国である日本には火山噴出物が広域に堆積しており、特に北海道は総面積の約半分が未固結な火山噴出物で覆われている。火山灰質粗粒度地盤における杭基礎の設計は砂質土に準じて設計されるが、火山灰質土は粒子破砕性を有する等、特異な工学的性質を示す。過去の研究の結果、北海道の火山灰質粗粒土地盤における道路橋杭基礎では、静的な水平抵抗特性や、周面摩擦力が砂質土に準じた設計値とは異なることを確認している。また、いくつかの地震により火山灰質地盤の液状化が確認されており、これらの液状化は砂質土を対象とした既往の液状化判定法では適切に評価できないことが指摘されている。これらのことから、地震時における地盤～杭基礎系の相互作用も砂質土とは異なることが考えられ、火山灰質地盤の液状化特性・地震時力学挙動を考慮した杭基礎の耐震補強技術の開発が望まれる。本研究では、火山灰質地盤と杭基礎の地震時相互作用を適切に評価した杭基礎の耐震性評価技術ならびに耐震補強技術について検討した。

(1) 広く複雑に堆積する火山灰質地盤における杭基礎の耐震性評価技術の提案に必要な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の異なりが地震時の杭基礎挙動、特に、液状化に伴う杭の水平地盤反力係数の低減に及ぼす影響を遠心力模型実験から検証し、液状化に伴う杭の水平地盤反力係数の低減度を表す関係式の提案から低減傾向の違いを評価した。

液状化層厚を全層、上 2/3、上 1/3 と順に薄く変化させたケース、液状化層と非液状化層を互層とし層順を逆転させたケースの実験の結果、全ての実験ケースにおいてその程度に違いはあるものの、上層、中層の地盤の加速度、杭の曲げモーメントの応答が過剰間隙水圧の上昇、すなわち、液状化の進展に伴い減衰する傾向を示した。特に、中層を液状化層とした実験ケースでは、中層で過剰間隙水圧が急激に上昇し液状化に達する時間が早いことが認められた。火山灰質地盤の液状化に伴う杭の水平地盤反力係数の低減度を表す係数を評価した結果、液状化層厚を上 2/3、中層のみを液状化層とした実験ケースで杭の水平地盤反力係数が大きく低減する値が得られた。中層のみを液状化層とした実験ケースでは、中層で急激に上昇した過剰間隙水圧が上層の非液状化層へ伝播し、上層地盤の初期剛性を低下させたと考えられた。液状化層厚を上 2/3 とした実験ケースでは、地盤の固有周波数が入力周波数に近く全層において比較的継続したせん断ひずみが生じており、全層において継続した繰返しせん断を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た。

(2) 液状化が生じる火山灰質地盤における杭基礎の対策必要箇所を決定するための評価手法の確立

を目的に、上記 (1) の遠心力模型実験における火山灰質土の液状化挙動と杭基礎の挙動を反映できる 3 次元動的有効応力解析のモデル化手法を検討し、3 次元動的有効応力解析による再現解析から液状化に伴う杭の水平地盤反力係数の低減が大きなケースの要因について検証した。

杭のモデル化にあたり、弾性ビーム要素でモデル化した杭モデルに対し等変位拘束を用いて杭の断面積を考慮すること、また、杭の Rayleigh 減衰に杭の固有周波数を考慮した剛性比例型の減衰定数を設定することにより杭の挙動を比較的良く再現する結果が得られた。一方、杭の曲げモーメントは全体的に過小評価されており、実験における杭の回転挙動等の考慮が今後の課題として考えられた。地盤のモデル化にあたり、地盤のパラメータ設定において同一の物性を示す土層であっても深度 5m 間隔程度で拘束圧を考慮した動的力学試験結果を用いること、地盤の Rayleigh 減衰に地盤の固有周波数および拘束圧を考慮した剛性比例型の減衰定数を設定すること、変相応力比を三軸圧縮試験の変相角から設定すること、特に、非液状化層であっても過剰間隙水圧の発生が認められることから有効応力モデルを適用することにより地盤の挙動をより適切に再現する結果が得られた。実験の再現解析の結果、解析による地盤内のせん断応力～せん断ひずみ関係から、液状化層厚を上 2/3 としたケースでは全層において比較的継続して発生したせん断ひずみが地盤の液状化や剛性低下を助長させたこと、中層のみを液状化層としたケースでは非液状化層とした上層の過剰間隙水圧比が 1.0 に至らないものの比較的大きく、中層で急激に上昇した過剰間隙水圧が伝播し地盤の初期剛性が大きく低下したこと、とする実験結果からの推察を検証する結果が得られた。

(3) 既設道路橋杭基礎の耐震補強にあたっては、狭い桁下空間での施工や橋梁全体系の地震時応答挙動への影響を考慮する必要がある。本検討では、構造的に杭基礎の耐力や剛性を増す対策手法ではなく、液状化が生じる火山灰質地盤中の杭基礎周辺を既設構造とは非接触の地盤改良壁で囲い込み、地盤改良壁内側のせん断変形を抑制し液状化の発生を抑制する手法の耐震補強効果を遠心力模型実験および動的有効応力解析より検証した。

対策工とした地盤改良壁の最外周杭からの離れを、杭径の 4 倍および 2 倍とし良質層に着底させたケース、4 倍としたケースで良質層へ非着底としたケースの動的加振実験による地盤の応答挙動から、全ての対策工ケースにおいて地盤改良壁内側杭周辺地盤のせん断変形ならびに過剰間隙水圧の上昇が抑制されており、本対策手法の液状化抑制効果が確認された。杭の応答挙動から、全ての対策工ケースにおいて地盤改良壁内側での杭の曲げモーメントの発生が抑制されていること、杭頭加速度が比較的継続して応答していることから、液状化に伴う杭周辺地盤の剛性低下が抑制されており地盤が杭の反力体としての機能を保持している、すなわち、本対策手法による杭の耐震補強効果が確認された。液状化に伴う杭の水平地盤反力係数の低減係数の評価からも、全ての対策工ケースにおいて本対策手法による杭の耐震補強効果が確認されたが、杭周辺地盤のせん断変形ならびに過剰間隙水圧の抑制効果が最も確認された杭からの離れを杭径の 2 倍とした地盤改良壁で囲まれる地盤の範囲を狭くしたケースでは、静的地盤反力係数の増加が認められ橋梁全体系としての構造変化を伴うことが考えられた。最も合理的と考えられた杭からの離れを杭径の 4 倍とし、良質層へ着底させたケースの対策工効果を 3 次元動的有効応力解析より検証の結果、杭の曲げモーメント、杭頭の応答加速度が全体的に過小評価されたものの、杭の曲げモーメント最大値の深度分布から杭周辺地盤が杭の反力体としての機能を保持していること、過剰間隙水圧の抑制傾向が実験結果と類似していること、地盤改良壁内側でせん断応力ならびにせん断ひずみが抑制されていることから、解析からも地盤改良壁内側で液状化を抑制する本対策手法の杭の耐震補強効果が確認された。