格子状地盤改良技術による道路橋杭基礎の液状化対策に関する研究

研究予算：運営費交付金
研究期間：令 5～令 7
担当チーム：寒地地盤チーム
研究担当者：山木正彦、武藤秀樹、
江川拓也

既設道路橋の杭基礎には現行の耐震基準を満足しないものが存在する。耐震性能が不足する要因は種々あるが、液状化により安定性能が損なわれる杭基礎に適用可能な耐震補強技術として、構造的に杭の耐力を増す手法ではなく、杭周辺地盤を既設構造とは非接触の格子状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を抑制する手法を、遠心力模型実験および動的有効応力解析により検討している。

本研究では、火山灰質地盤橋脚杭基礎で液状化抑制効果、杭の水平地盤反力の低減抑制効果が確認された本手法[b-1),b-2),c-1),e-2),f-2)]の、砂地盤橋脚杭基礎ならびに偏荷重を受ける橋台杭基礎への適用性を確認した。

その結果、砂地盤橋脚杭基礎においては地盤のせん断ひずみの発生は抑制されたものの、火山灰質地盤と同様の対策条件（地盤改良壁の壁厚・強度）では十分な液状化対策効果が得られないことを確認した[c-2),e-3)]。また、実験結果を再現しうる条件・設定値を提示した動的有効応力解析結果においても、実験結果同様に単一粒径の砂地盤では液状化抑制効果が認められず、格子状地盤改良壁の適用条件として均等係数による閾値を設ける等の検討が必要であるとの知見を得た[c-3),f-3)]。さらに、火山灰質地盤、砂地盤の橋台杭基礎への適用確認実験の結果、橋台背面盛土による有効上載圧の効果もあり、格子状地盤改良壁内側において液状化抑制効果が確認され、火山灰質地盤においてより効果的であった。一方、火山灰質地盤、砂地盤ともに改良壁外側（橋台背面盛土側）からの側方流動力により改良壁・橋台・杭に変位・変形が生じることが判明し、砂地盤においてより顕著であった。

課題として、構造物（橋脚・橋台）毎、地盤種（火山灰質地盤・砂地盤）毎に、対応する改良壁諸元（壁厚、強度、根入れ）・地盤諸元（液状化強度比、層厚、盛土高）と液状化および杭の水平地盤反力低減の抑制効果を体系化的に整理し、適用対象を明確にする必要があると考えられた。
キーワード：防災・減災、ハード対策、既設杭基礎、液状化対策、地盤改良

LIQUEFACTION COUNTERMEASURES FOR ROAD BRIDGE PILE FOUNDATIONS USING GRID-FORM GROUND IMPROVEMENT WALLS

Research Period: FY2023-2025
Research Team: Geotechnical Research Team, Cold-Region Construction Engineering Research Group
Author: YAMAKI Masahiko
MUTOU Hideki
EGAWA Takuya

Abstract: Some pile foundations of existing road bridges do not satisfy current seismic design standards. While there are various factors causing insufficient seismic performance, a specific seismic reinforcement method can be applied when pile foundation stability is compromised solely due to liquefaction. Rather than structurally increasing the resistance of the piles, this method involves enclosing the ground around the pile foundation using grid-form ground improvement walls installed without making contact with the existing structure, thereby suppressing shear deformation and preventing liquefaction inside the walls. This study examines the applicability of this method using centrifuge model tests and dynamic effective stress analysis.

Previous studies confirmed that this method effectively suppresses liquefaction and mitigates the reduction in the coefficient of horizontal subgrade reaction of piles for bridge pier pile foundations in volcanic ash ground. Building upon those findings, this study verified the applicability of the method to bridge pier pile foundations in sandy ground and abutment pile foundations subjected to eccentric loads.

The results showed that although the occurrence of ground shear strain was suppressed in the pier pile foundations in sandy ground, a sufficient liquefaction mitigation effect was not achieved under identical countermeasure conditions (wall thickness, separation, and strength of the improved ground). The dynamic effective stress analysis results reproduced the experimental results with relatively high accuracy. Similar to the experimental results, the liquefaction suppression effect was not observed in sandy ground with a uniform grain size. This suggests the necessity of examining application conditions for grid-form ground improvement walls, such as establishing a threshold based on the coefficient of uniformity. Furthermore, verification experiments on the abutment pile foundations confirmed the liquefaction suppression effect of the grid-form ground improvement walls; however, displacements were observed in both the improved walls and the abutment due to lateral spreading forces.

As a future challenge, it is necessary to systematize the suppression effects on liquefaction and the reduction in the pile horizontal subgrade reaction by correlating the wall specifications (strength, wall thickness, and embedment depth) and ground parameters (liquefaction strength ratio, layer thickness, and embankment height) across different types of structures and grounds.

Keywords: Prevention and mitigation, Structural countermeasures, Existing pile foundations, Liquefaction countermeasures, Ground improvement

論文リスト

- 学術誌等による成果普及

<u>査読付論文・海外（計 2 本）</u>

b-1) Takuya Egawa, Koichi Isobe, Hirochika Hayashi: Experimental study of a rational liquefaction countermeasure for pile foundations in volcanic ash ground, 8th International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering, P1-08, 2024.5

b-2) Takuya. Egawa, Hirochika. Hayashi, Koichi. Isobe: Centrifuge model tests on liquefaction countermeasure for road bridge pile foundations in volcanic ash ground, 5th European Conference on Physical Modelling in Geotechnics, ECPMG2024-26, 2024.10

<u>査読無し論文・国内（計 3 本）</u>

c-1) 江川拓也，林宏親，磯部公一：火山灰質地盤における既設道路橋杭基礎の合理的な液状化対策に関する検討，地盤工学会北海道支部技術報告集第 64 号，pp.101-110，2024.1

c-2) 楠田侑平，山木正彦，江川拓也：砂地盤における既製コンクリート杭基礎の合理的な液状化対策に関する検討，地盤工学会北海道支部技術報告集第 65 号，pp.269-278，2025.1

c-3) 江川拓也，山木正彦，楠田侑平：砂地盤における既製コンクリート杭基礎の合理的な液状化対策に関する解析的検討，地盤工学会北海道支部技術報告集第 66 号，pp.113-118，2026.1

<u>学会発表等その他（計 3 本）</u>

e-1) 江川拓也、林宏親、磯部公一：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 ―場所打ちコンクリート杭基礎に対する合理的な液状化対策―、第 58 回地盤工学研究発表会 令和 5 年度発表講演集、11-9-2-02、2023.7

e-2) 江川拓也，林宏親，磯部公一：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 ―既設道路橋杭基礎に対する合理的な液状化対策―，第 59 回地盤工学研究発表会 令和 6 年度発表講演集，25-10-1-09，2024.7

e-3) 楠田侑平，山木正彦，江川拓也：砂地盤における杭基礎の耐震補強技術に関する検討 ―既製コンクリート杭基礎に対する合理的な液状化対策―，第 60 回地盤工学研究発表会 令和 7 年度発表講演集，24-4-4-02，2025.7

<u>土研刊行物（計 3 本）</u>

f-1) 江川拓也，林宏親，磯部公一：火山灰質地盤における場所打ちコンクリート杭基礎の液状化対策に関する検討，寒地土木研究所月報、No.846，pp.2-14，2023.7

f-2) 江川拓也，山木正彦，磯部公一：火山灰質地盤における既設道路橋杭基礎の液状化対策に関する検討，寒地土木研究所月報、No.864，pp.2-12，2024.12

f-3) 江川拓也，山木正彦，楠田侑平：砂地盤における既製コンクリート杭基礎の液状化対策に関する解析的検討，寒地土木研究所月報、No.880，pp.57-63，2026.4