

# 杭基礎の地震時被災メカニズムと耐震補強工法の開発に関する研究

A Study on Damage Mechanism of Pile Foundations at Earthquake and the Development of Earthquake Resistant Reinforcement Method

足立有史 Yuji ADACHI\*

## 要 旨

1995年に発生した兵庫県南部地震では数多くの尊い人命が失われ、各種構造物、ライフライン、住宅などに甚大な被害を受けた。この地震により、各種構造物の耐震設計法や地震外力の考え方の見直しが積極的に行われ、実務においても適用されている。しかしながら、旧基準により設計された構造物は今なお数多く存在し、今後これらの構造物が同様な被害を受ける頻度は高い状態にあると推察される。構造物を支持する杭基礎についても例外ではなく、多くの被害が報告されており、被害調査や被害メカニズムの解明に関する研究も活発に行われている。また、構造物の性能維持や早期復旧の観点から杭基礎の耐震性の重要性も認識されてきている。しかしながら、現在の過密化した都市部や供用中の杭基礎構造物における耐震補強は、敷地制限、施工条件等の影響を受け、施工が困難な場合が多く、比較的、上部構造の耐震補強を優先的に実施する傾向にある。

以上のような背景から、本研究では、杭基礎構造物の地震時の被害軽減を図ることを目的とし、主に以下のことに着目して研究成果をまとめた。

- ① 杭基礎の地震時被災メカニズムの把握
- ② 既設杭の耐震補強工法の提案、開発

まず、地震時の杭基礎の被害において、特徴的な被災事例や既往の被災メカニズム分析結果を調査するとともに、液状化傾斜地盤を対象とした一連の振動台模型実験を実施し、杭基礎の被害に影響を与える外力特性や影響度合いを調査した。その結果、地震時の杭基礎被害に上部工慣性力に加え、軟弱地盤および液状化地盤の地盤変位が大きく影響していること、さらに、これまで十分に検討されていなかった液状化流動時の地表面非液状化層によって地震時外力が増加する傾向にあること等が明らかになった。

次に、既設杭を対象とした既存の耐震補強工法の課題を整理するとともに、これらの課題と地震時の外力特性に配慮し、既設杭に適用可能な杭基礎耐震補強工法の提案を行った。ここで提案した新形式の杭基礎耐震補強工法は、構造物直下地盤の一部を固化し、杭群を束ねることで、既設の杭基礎構造の剛性を高め、地震時外力に対する変形を抑制し、耐震性能を改善させることを目的としている。

提案した新工法について、室内模型実験および実大フィールド実験を実施し、補強効果や施工性を検証した。さらに、静的および動的な3次元FEM解析により、補強効果のメカニズムの説明および効果的な補強仕様を示した。以上のことから、本研究で提案した杭基礎耐震補強工法について、実務で適用可能な工法としての性能を有していることを確認した。

**キーワード**：杭基礎、被災メカニズム、液状化、地盤流動、地盤固化、耐震補強工法、3次元FEM解析、水平載荷試験、起振機試験

## Summary

A lot of honorable lives were lost in the 1995 Hyogoken-nanbu(Kobe) Earthquake, and various structures, lifelines, and houses, etc. were heavily damaged. The earthquake-resistant design method of various structures and the idea of external force by the earthquake are positively reviewed due to this earthquake, and it is applied to the present design. However, a lot of structures designed by an old design codes still exist now, and it is guessed that the possibility of receiving similar damage for these structures in the future is high. Not the exception but a lot of damage is reported about pile foundation that supports the structure, and the damage investigation and the research on the clarification of the damage mechanism are actively done. Moreover, the importance of the earthquake resistance of the pile foundation has been recognized from the viewpoint of both the performance maintenance and the early

\* 技術研究所

「豊橋技術科学大学学位論文 2009.6」の要旨を掲載

---

restoration of the structure. However, the earthquake resistant reinforcement method for existing pile foundations is limited by unfavorable construction conditions.

From the above-mentioned background, the present study aimed at the damage reduction at the earthquake of pile foundation structures. And this paper summarized the study results as follows.

1. Understanding of damage mechanism at earthquake of pile foundations
2. Proposal and development of earthquake resistant reinforcement method of existing pile foundations.

First of all, a characteristic damage case and the damage mechanism analysis result in the past were investigated, and a series of model shaking table test intended for the liquefied sloping ground was conducted for the damage of the pile foundation at the earthquake. As a result, the damage of the pile foundation at the earthquake were greatly influenced at not only the structure inertia force but also the ground displacement of soft ground and liquefied ground.

Next, the problem of the existing earthquake resistant reinforcement method for the existing pile foundation was understood, and it proposed the earthquake resistant reinforcement method that was able to be applied to the existing pile foundation. The proposed method has aimed to improve the earthquake resistant capacity to increase the stiffness of the existing pile foundation structure by the confining effect of a ground solidification body. The laboratory model test and the large scale model field test of proposed new method were conducted, and the effect of reinforcement and the workability were verified. In addition, an explanation of the mechanism in the effect of reinforcement and an effective reinforcement specification were shown by static and dynamic three dimension FEM analyses.