

令和元年6月5日現在

機関番号：11501

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K06565

研究課題名(和文) 杭支持層が傾斜した地盤における杭基礎の耐震設計法の提案

研究課題名(英文) Proposal of seismic design technique of pile-foundation with the effect of irregular pile-supporting stratum

研究代表者

三辻 和弥 (Mitsuji, Kazuya)

山形大学・工学部・教授

研究者番号：90292250

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：2011年東北地方太平洋沖地震で見られた、傾斜した支持層の建つ杭基礎建物の被災原因を推定する数値解析を行った。この建物では杭支持層が傾斜しているために、杭長が南側より北側のほうで最大10m長くなっている。このような杭支持層の傾斜による地震被害への影響を検討するため、これまでの観測記録に基づき、解析モデルを作成して本震のシミュレーションを行った。その結果、地震時には建物の回転挙動により、短い杭には長い杭よりも大きな応力が生じており、調査結果をある程度裏付ける数値解析結果となった。また、杭支持層が傾斜した建物モデルによる数値解析を実施し、支持層傾斜角と杭頭部の応力との関係を評価した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

国土の広くない日本では、複雑な敷地条件に中高層建物を建設する例が数多く見られる。杭支持層が傾斜した建物では建物を支持する杭長が構面によって異なるため、杭頭部に発生する応力が複雑な状態となる。本研究では、杭支持層の傾斜に起因する杭長の違いにより、1) 杭剛性の違いから杭応力に差が出ること、2) 建物の回転挙動が励起され、短い杭により大きな応力が生じること、を指摘した。これらの成果は、これまでの杭基礎の耐震設計には考慮されていなかった内容であるとともに、杭支持層が傾斜した建物の杭基礎設計や耐震改修を検討する際の有意義な基礎資料となる。

研究成果の概要(英文)：Numerical simulation is carried out for the pile-foundation building with irregular pile-supporting stratum based on the damage investigation of the 2011 Tohoku earthquake. Pile length of the north side of this building is longer than south side by 10m in maximum. Numerical simulation model is organized to investigate dynamic behavior of the building for main shock of the 2011 Tohoku earthquake. Results indicate that seismic stress of short pile is larger than long pile due to rocking motion of super structure. This result shows good agreement with the report of damage investigation. General model of pile-foundation building is also organized and numerical simulation is conducted. The effect of the angle of the slope of pile-supporting stratum and seismic stress of the pile head is discussed and quantitatively estimated.

研究分野：建築基礎構造

キーワード：杭基礎建物 不整形地盤 東日本大震災 耐震設計 地震観測 常時微動観測 数値解析 有限要素法

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

東北地方太平洋沖地震をはじめ多くの被害地震において、杭の損傷により上部構造が沈下・傾斜する被害が多数発生し、建物が解体される事態を引き起こしている。杭など基礎構造の損傷は、直接、人命に関わるような被害に至らないが、建物の修復・解体には多大な経済的損失を生じさせ、社会の経済活動や人々の生活に影響を与える。そのため、日本建築学会を中心に、大地震を対象とした杭基礎への2次設計の導入が議論されている。

申請者は東北地方太平洋沖地震の被害調査から、杭支持層の傾斜した杭基礎建物の被災要因について検討してきた。杭支持層が傾斜している建物については、杭支持層が水平な地盤の場合に比べて杭頭応力が大きくなる傾向があることは以前から指摘されていたが、そのメカニズムや設計法に反映させるための定量的評価法は明らかにされていない。

2. 研究の目的

本研究では、これまでの被害調査・観測結果に基づき、図1に示すような杭支持層が傾斜し、建物短辺方向の杭長が最大10m異なる杭基礎建物について、東北地方太平洋沖地震本震での被災シミュレーションを行い、杭支持層が傾斜した杭基礎建物の地震時挙動を明らかにする。次に、杭支持層が傾斜した地盤と杭基礎建物の数値解析モデルを一般化してパラメータスタディ

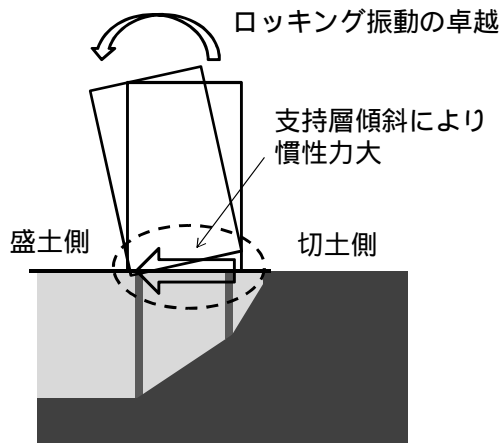


図1: 杭支持層の傾斜

を行うことにより、杭支持層が水平な地盤の場合と比較して、杭頭応力の変動を定量的に評価し、杭支持層が傾斜した場合の杭の耐震設計法を提案する。本研究では、観測・理論の両面から、杭支持層の傾斜による、水平・上下連成振動の発生メカニズムを明らかにし、その影響を考慮して、杭基礎建物の地震時挙動を明らかにする。また、これら水平・上下連成振動の影響を受けた杭頭応力の変動を定量的に評価し、その影響を反映した設計法を提案する。杭支持層が傾斜しているケースは既存の建物、これから設計される建物にも少なからず存在しており、学術的にも設計実務的にも杭の耐震設計の高度化に寄与することができる。

3. 研究の方法

杭支持層が傾斜した建物での常時微動観測、地震観測記録を分析し、数値解析モデルを構築する。数値解析はFEMによる地盤・杭・建物一体解析により、東北地方太平洋沖地震本震の被災シミュレーションや杭支持層傾斜に関するパラメータスタディなど詳細な検討を行う。次に杭支持層傾斜の影響を杭の設計法への導入するために、FEMモデルを単純化した質点系モデルを構築する。質点系モデルによる非線形地震応答解析により、杭支持層の傾斜角、杭長、基礎間距離、杭剛性、地盤のせん断波速度など、杭支持層傾斜の影響を定量的に評価して、現行の杭の耐震設計法に適用できる設計指標を提案する。

4. 研究成果

2011年東北地方太平洋沖地震では、傾斜した支持層に建つ杭基礎建物において地盤特性や基礎構造の特徴に起因すると思われる地震被害が見られた。被災建物の調査や観測データに基づいて、杭支持層の傾斜が杭頭部の地震時応力に与える影響および杭の耐震設計への応用について検討した。2次元有限要素法により数値解析モデルを作成し、本震の地震記録を用いた非線形地震応答解析を実施して、本震時の建物挙動および杭頭部の地震時応力を検討した。杭支持層の傾斜により、階段棟の杭頭部では降伏曲げモーメントに達し(図2)、塑性率で2.8となり本震時の被害状況のある程度説明することができた(図3)。一方、支持層の傾斜により長い杭と短い杭でモデル化された建物の杭頭部では短い杭の杭頭部で降伏曲げモーメントに達した(図2)。この解析ケースでは塑性率が2.6と実際の被害状況に比べると大きな応答を示す結果となった(図3)。次に、杭支持層の傾斜角が杭頭部の地震時応力に与える影響をパラメータスタディにより検討した。杭頭の損傷がないあるいは小さい場合は、杭傾斜角が大きくなるほど短い杭の杭頭部に地震時応力が集中する結果となったが、杭頭部の損傷が進むにつれて、応力の再配分が起こり短い杭と長い杭の応力差が小さくなる結果となった(表1)。最終年度では上記の結果について、杭支持層の傾斜角と杭頭部の地震時応力の関係として耐震設計に活用できるように影響係数として整理したほか、上部構造を骨組モデルとすることで、上部構造のロックリング振動が杭頭部の曲げモーメントに与える影響について検討し、杭支持層の傾斜角が大きくなることにより、ロックリング振動が励起され、杭頭部の地震時応力が大きくなる傾向を指摘した。

最後に、不整形地盤である山形盆地において杭基礎建物の常時微動観測を行い、地盤杭建物の動的相互作用について検討を行い、本研究課題の成果の拡張をはかった。

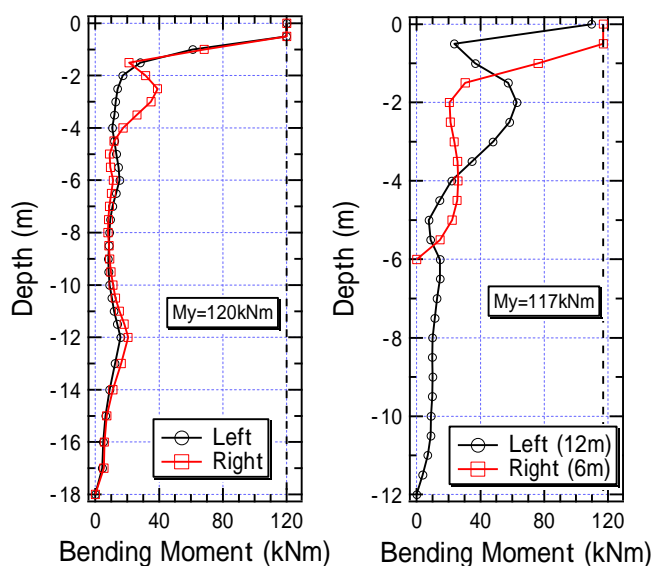


図 2：杭の曲げモーメント分布

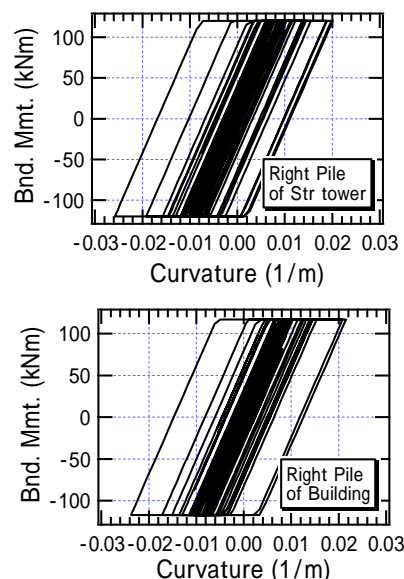


図 3：杭頭部の塑性率

表 1：杭頭部の最大曲げモーメント

	12m-2m	12m-4m	12m-6m	12m-8m	12m-10m
Right	8.4	7.9	7.4	7.1	7.2
Left	2.3	2.3	2.4	3.0	3.2
R/L	3.7	3.4	3.1	2.4	2.2

5．主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 2 件)

Kazuya MITSUJI, Susumu OHNO, and Masato MOTOSAKA, Estimate of Local Site Effect with Irregular Seismic Bedrock for Earthquake Engineering Based on Microtremor Measurement, 16th European Conference on Earthquake Engineering, 査読有, Paper No. 1407, 2018

Kazuya MITSUJI, Masato MOTOSAKA, Susumu OHNO, and Mai TADOKORO, Dynamic Behavior of a Pile-foundation Building with the Effect of Irregular Pile-supporting Stratum, 16th World Conference on Earthquake Engineering, 査読有, Paper No. 1922, 2017

〔学会発表〕(計 5 件)

三辻和弥, 観測記録とボーリングデータによる地盤振動特性の比較と建物の基礎構造に関する予備調査, 日本建築学会, 2018 年

三辻和弥, 観測記録と地盤ボーリングデータの比較による山形盆地西部の地盤振動特性評価の試み, 第 53 回地盤工学研究発表会, 2018 年

三辻和弥, 大野晋, 源栄正人, 山形盆地西部における地盤の常時微動観測, 日本建築学会東北支部研究発表会報告集・構造系, 2017 年

三辻和弥, 支持層の傾斜が杭基礎建物の地震時杭応力に及ぼす影響について, 第 52 回地盤工学研究発表会, 2017 年

Kazuya MITSUJI, The dynamic behavior of damaged pile-foundation buildings by the 2011 Tohoku Earthquake, Mongolia-Japan joint seminar on “Development on Earthquake Engineering Research” within conjunction of Annual meeting / conference on Geotechnical issues on Buildings and Structures, 2017

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

名称：

発明者：

権利者：

種類：
番号：
出願年：
国内外の別：

取得状況（計 0 件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名：
ローマ字氏名：
所属研究機関名：
部局名：
職名：
研究者番号（8桁）：

(2) 研究協力者

研究協力者氏名：
ローマ字氏名：

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。