

論文の内容の要旨 (和訳)

論文題目 「Earthquake-Tsunami Multihazard Analysis Considering Foundation Uplift of Structure」

(構造物基礎の浮き上がりを考慮した地震と津波の複合災害の解析)

学位申請者 SRIKULRUANGROJ THANISORN

キーワード: 地震と津波の複合災害, 構造物と地盤の相互作用, 基礎の浮き上がり, 免震, エネルギー

第1章 序論

2004年のスマトラ地震や2011年の東北地方太平洋沖地震で見られたように、沿岸構造物は、巨大地震によって引き起こされる巨大津波によって被害を受ける可能性がある。そのため、地震と津波の複合災害による構造物への影響を評価する方法が求められる。地震と津波の複合災害に関する研究は近年活発であるが、構造物の地盤の非線形相互作用を、基礎の浮き上がり現象に至るまで考慮した研究は少ない。2011年の東北の地震では、強烈な地震とその後襲った巨大津波により、多くの建物が転倒し、流される被害を受けた。このような被害形態は、人命の損失と直結するため避けなければならない。以上を踏まえ、本研究の目的としては、Careyら(2019)によって、地震と津波の複合的な影響を考慮するために開発された相互作用図をさらに発展させ、基礎の浮き上がりを考慮できるようにすることである。加えて、限界状態として、構造物の損傷、基礎の浮き上がりのどちらが先に至るかの性質は入力地震動の影響を受け変化してくるにも言及している。これにより、構造物が地震とそれに続く津波の両方の影響を受けた時、どれだけ余力が残っているか、あるいは残っておらず破壊に至るのか、基礎の浮き上がりによる免震効果も考慮した上で、より正確な評価が可能となる。

第2章 基礎の浮き上がりを考慮した構造物の線形地震応答

地震と津波の相互作用図の作成を行う前に、基礎の浮き上がりに対する基礎的な検討を第2章として行う。ここでは、直接基礎に支えられた低層、中層の2種類の構造物を用意する。地盤としては、軟質、硬質、岩盤の3種類を考える。入力地震動の強度、周波数特性の影響を考慮するため、異なる特性をもった5つの実地震動を用意した。基礎の浮き上がりを考慮して地震応答計算をする方法として、様々なモデルがあるが、本章では、2つの代表的な方法として、マクロエレメントのように地盤の非線形性の影響を考慮できるものとスウェイ・ロッキングモデルに基礎の浮き上がりに伴う幾何学的非線形性を考慮したものを考える。それらによる応答結果を比較したところ、硬質地盤や岩盤を考慮した時は、基礎と地盤の接地率に違いはあったが、両者の応答は近いものとなった。また、地盤の塑性変形が基礎の浮き上がりを低減させることも観察された。これらの比較から、基礎の浮き上がりの程度は、構造物、入力地震動、地盤条件に応じて変化してくるものであることが確認された。

第3章 基礎の浮き上がりを考慮した構造物の非線形地震応答

第2章では構造物の線形応答を考えていたが、第3章では基礎の浮き上がりを伴う構造物の非

線形応答を考える。複雑な現象についての理解を深めるため、第3章では、地震動の入力から構造物の応答に至るまでを「エネルギー」の観点から表現する。基礎の浮き上がりによる効果を検討するため、本章では、構造物と地盤の相互作用を考慮しない基礎固定ケースと基礎の浮き上がり考慮しないケース（構造物と地盤の線形相互作用）と基礎の浮き上りを考慮するケース（構造物と地盤の非線形相互作用）を比較する。検討の結果、基礎の浮き上がりにより構造物の加速度応答が減少する好ましい傾向が得られた。そのメカニズムは、基礎が浮き上がることにより、構造物が描く履歴曲線に影響を与え、履歴エネルギーが減少するためである。しかし、低周波の強い地震動を構造物が受けるような場合では、構造物の応答に悪影響を及ぼす。過度な基礎の浮き上がりは、構造物の挙動を不安定にするため、避けなければならない。

第4章 基礎の浮き上りを考慮した地震と津波の複合災害の解析

基礎の浮き上がりに関する物理的な理解を第2,3章で深めた上で、第4章では地震と津波の複合災害と基礎の浮き上がり問題を併せて考える。Careyら（2019）によって、地震と津波の複合的な影響を考慮するために開発された相互作用図をさらに発展させ、基礎の浮き上りを考慮できるようにするとともに、構造物の損傷、基礎の浮き上がりの2つの異なる限界状態を考慮できるようにした。そして、限界状態として、構造物の損傷、基礎の浮き上がりのどちらが先に至るかの性質は入力地震動の影響を受け変化してくることを議論している。モデルとして、硬質地盤上の直接基礎に支えられた3層建物を考え、2011年の地震の際、東北地方の3県の沿岸域で観測された30の実地震動と、様々な強さの津波による流体力を考慮し、地震-津波相互作用図を生成した。この相互作用図は、特に、地震荷重による影響を受けた構造物の津波荷重に対する残留耐力を表現するものである。結果から、支配的となる構造物の被害は、入力地震動の特性による影響を受け、変化するため、複合災害を考える上では、複数の限界状態を考慮する必要があることが示された。

第5章 結論

第5章は、2~4章で得られた結果をまとめた。主な結果は、Careyら（2019）によって、地震と津波の複合的な影響を考慮するために開発された相互作用図をさらに発展させ、構造物と地盤の間の重要な非線形相互作用現象である基礎の浮き上りを考慮できるようにした。基礎の浮き上がりにより構造物の加速度応答が低減することの複雑なメカニズムについては、地震動の入力から構造物の応答に至るまでの収支をエネルギーの観点から説明した。構造物の損傷、基礎の浮き上がりのどちらの限界状態に先に至るかの性質は入力地震動の影響を受け変化してくるため、限界状態として、構造物の損傷、基礎の浮き上がりの両方を考慮に入れた検討を行った。構造物が地震とそれに続く津波の両方の影響を受けた時、どれだけ余力が残っているか、あるいは残っておらず破壊に至るのか、基礎の浮き上がりによる免震効果も考慮した上で、より正確な評価が可能となったことを示した。