

## 論文の内容の要旨

東北地方太平洋沖地震津波では、地震と津波によって多くの防護施設が被災した。その原因の多くは、津波越流時によるものと推定されている。この経験をふまえて津波越流による被害のメカニズムが研究され、今日では防波堤に対して腹付工を設置し越流に対する抵抗力を上げるなど、津波被害を低減する対策が行われている。一方、地震直後には、数多くの余震や誘発地震が発生していることが確認されている。つまり、津波到達時にも地震による揺れが発生し、地震と津波の重畳現象によって構造物が被災した可能性も考えられる。現在、地震と津波のそれぞれに対する検討手法が提案されているが、地震と津波が重畳した際の検討手法は提案されていない。

そこで、本研究では、はじめに過去に津波が来襲した際の余震の発生状況について、代表地点において、地震と津波の重畳現象が発生していた可能性について検討を行い、地震と津波が重畳し、防波堤に影響を与えていた可能性があることを示している。検討手法提案にあたり、地震と津波の重畳時の防波堤に働く外力と、破壊に至るメカニズムを把握するため、地震と津波の重畳現象を再現できる施設において、水理模型実験を用い、検討した。水理模型実験では、地震と津波の重畳現象における加速度が防波堤に与える影響については、津波の大きさの関係はあるものの、津波が防波堤を越流することにより、その流れの影響を受けて防波堤上側における加速度の増大を抑制する可能性があることを示している。また、地震と津波重畳時におけるマウンドの効果については、マウンドが変形することにより、地震による揺れに対して、防波堤の挙動を吸収するような免震効果を発揮することが判明し、マウンドが変形しない場合はその効果が発揮されず、防波堤に与える加速度が増大することを示している。条件の異なる実験を行い、地震と津波の重畳時においては、越流条件、マウンドの条件、地震の周波数等が重要なパラメータで、それらのパラメータが地震と津波の重畳時における防波堤に働く加速度に影響し、地震と津波の重畳時に防波堤に働く動水圧や慣性力に影響を与えていることを示している。防波堤の安定性の検討手法について、地震時の動水圧の算出方法は Westergaard の近似式、津波越流時の波圧は静水圧式を用いることにより、防波堤に働く波力の算出が可能である。地震と津波の重畳時において、Westergaard の近似式と静水圧式の足し合わせで、実験時の波圧の再現性について検討した。地震と津波の重畳時においても 20%程度の差はあるものの、安全側の評価が可能である。安定性の検討手法として、地震単独で発生する動水圧と、津波単独で発生する越流水圧の重ね合わせで把握することが可能であることから、この 2 つの式を用いることを提案した。提案した手法を用いて、釜石港湾口防波堤においてケーススタディを行い、300Gal の地震が津波と重畳した場合は、津波のみの場合と比較して、防波堤に働く作用力が最大で 1.4 倍程度になり、大きな余震を想定した場合は地震と津波の重畳現象の影響が大きいことを示している。本研究では、構造の違いにおいても水理模型実験を用いて検討した。構造の違いについては、形状の影響により加速度の伝播状況、越流の状況が異なり、単純ではない。そのため、形状毎に地震と津波の重畳時における影響を把握することが必要であることが示されている。また、地震と津波の重畳時における防波堤に働く外力について、数値計算が適用できれば、詳細な検討が可能となる。そこで、数値計算手法として、粒子法の適用性を検討した。現時点では構造物の変形の影響は考慮できないが、概ね実験を再現することが可能であると示された。

本研究において、地震と津波の重畳時における防波堤の安定性の検討手法を提案することにより、津波来襲時における余震の影響を把握することが可能となり、今後、起こる可能性のある大規模な地震津波に対して、備えるための一助となることが期待できる。

## 論文審査の結果の要旨

### 1. 博士学位請求論文

地震と津波の重畳時における防波堤の安定性検討手法の構築

### 2. 論文審査の結果の要旨

(当該分野での位置づけ, 論文構成, 独自性及び成果, 課題, 評価等)

防波堤に対して, 津波来襲時においては, 余震が発生する可能性が考えられ, その影響により, 動水圧と慣性力が津波波力に付加される可能性も考えられるが, このような地震と津波の重畳時における現象の確認や, 検討手法については提案されていない。

そのため, 本研究では, 地震と津波が重畳する可能性に着目し, 地震と津波重畳現象が防波堤にどのような影響を与えているか, 水理模型実験を用いて解明し, 今後起こる可能性がある大規模津波に対する検討手法について提案している。

1章では, 今日までの地震と津波による港湾の被災と復旧の歴史を振り返り, これまで, 地震と津波の被害に対するの対応を整理し, 現状における地震と津波の検討手法についての考え方を示している。また, 過去に発生した津波を伴う地震について, 地震と津波の重畳現象の可能性を具体的な例を用いて示している。

2章では, 地震と津波の重畳実験が可能な水路で, 水理模型実験を用いて地震と津波の重畳現象を再現し, 検討した内容について, 実験概要, 実験結果を述べ, 実験結果をふまえて得られた結果について考察している。地震と津波の重畳現象においては, 津波越流の水位と, 防波堤に働く加速度が重要なパラメータであるが, その一つである加速度においては, 越流状況やマウンドの変形の有無, 地震の周波数等が関係していることを示している。

3章では, 2章で得られた実験結果を基に, これまで, 地震と津波のそれぞれ提案されている検討手法について, 地震と津波重畳時における適用性を検証し, 地震と津波重畳時における外力の検討手法について提案している。提案手法は, 地震と津波越流時のそれぞれの既往式を用い, 足し合わせることにより, 地震と津波の重畳時に働く荷重が把握できることが示されている。その手法を用いてケーススタディを, 釜石港の湾口防波堤と, 現在, 東南海・南海地震に向けた対策を行っている高知港三里地区東第一防波堤および南防波堤で行い, 地震と津波の重畳時における影響について示している。

4章では, 本研究の検討手法について影響があると考えられる, 構造の違いについて, 水理模型実験を用い, 検討した結果を示している。構造の影響の違いは, 形状の影響により, 動水圧や越流による波圧が異なり, 今後の検討が必要であることを示している。

5章では, 実験結果と粒子法を用いた数値計算結果の比較を行い, 地震と津波の重畳現象における数値計算の適用の可能性について考察している。数値計算は, 構造物の変形が無い場合は, 防波堤に働く波圧の再現が可能となり, 適用性があることを示している。

6章では, 本研究の成果を総括し, 今後の課題について示している。

以上より, 本博士学位請求論文は地震と津波の重畳時における防波堤の安定性に関して, 世界にも通用する貴重な成果を残しており, 今後の実務設計に活用されていくことが期待され, 海岸・港湾工学に対し重要な貢献をしていると認める。さらに, 口述試問の試験結果もふまえ, 審査員一同は岡田克寛氏の博士学位請求論文は博士(工学)の学位論文として十分な価値を有するものと判断した。