

論文の内容の要旨

地球温暖化により海面上昇を生じることや、気候変動により波浪条件が厳しくなるなど、港湾と海岸の構造物は地球温暖化の影響を強く受ける。したがって、今後に建設する構造物の設計だけでなく、既存施設が受ける地球温暖化による影響の評価においても、耐波設計に関する模型実験や数値シミュレーションが果たす役割が大きい。近年は数値計算技術と計算機性能の向上により、波動現象を数値シミュレーションで取り扱えるようになってきている。しかし、耐波設計の実務において数値シミュレーションの適用はあまり進んでいない。そこで、本研究では、耐波設計の分野において、模型実験から数値シミュレーションへの移行について検討を行っている。

耐波設計分野におけるデジタルシフトの現状を定量的に把握するために、日本の国の機関からの調査設計業務の業務件数とその内訳を調査している。調査対象の期間は 2009 年から 2019 年である。調査対象の業務件数は年平均で 648 であり、そのうち設計業務が 79、数値シミュレーションが 17、模型実験が 15 である。この調査により、耐波設計に関する模型実験から数値シミュレーションへのデジタルシフトの進み具合は対象項目により異なることが明らかとなった。その要因として、数値計算手法が開発されてからの経過年数の違いが考えられたため、耐波設計に関する数値シミュレーションの変遷を検討している。そして、デジタルシフトの進み具合に違いを生じる要因は、数値計算手法の開発開始からの経過年数の不足ではないことを確認している。そこで、波浪変形や港湾構造物の研究者、港湾行政の現職者と OB、設計技術者と数値計算技術者に対してヒアリング調査を行い、計算精度の向上と計算時間の短縮が図られれば、デジタルシフトが進むことを確認している。

数値シミュレーションの計算精度と計算時間を確認するために、波浪変形、反射波、越波、伝達波、波圧についての数値シミュレーションを実施している。その結果を模型実験と比較することにより計算精度を評価している。計算精度を高めるためには、計算セルを小さくすることや計算時間間隔を細かくするなど、計算負荷を大きくする必要がある。計算負荷を大きくすると計算時間が長くなることを確認している。波浪条件の厳しさも計算時間に影響することも考慮して、計算負荷の大きさを表す指標を提案している。

デジタルシフトによる環境負荷の軽減について、造波機の駆動などに多くの電力を使用する模型実験と、計算機だけで実行できる数値シミュレーションの消費電力量を比較している。1 ケースの造波に必要な電力量は、計算時間の長さのために、予想に反して模型実験より数値シミュレーションの消費電力量が多くなったが、準備作業も含めると模型実験から数値シミュレーションに移行することで消費電力量を削減できることを確認している。

年代の異なる 3 種類の計算機で同一内容の計算を実施して計算時間を比較し、計算機の年代が進むと計算時間が短くなることを確認している。前述した国の機関からの調査設計業務の発注実績に基づき、デジタル化率の変化と将来予測を行っている。デジタル化率の増加曲線には、上限値を持つ増加曲線に適した Logistic 関数を適用している。そして、シナリオに基づきデジタルシフトの将来予測を示している。また、計算精度と計算時間の関係と Moore の法則による計算機性能の向上を関連付けて、デジタルシフト達成の目標期間を提案している。

結論として、波浪変形、反射波、越波、伝達波、波圧、滑動、ブロック安定、地盤洗堀についてデジタルシフトに対する評価を行っている。また、デジタルシフトの実現に長い年数を要する項目もあることから、今後も模型実験での検討を行うことや、模型実験の精度向上や技術継承の重要性を指摘している。

論文審査の結果の要旨

1. 博士学位請求論文

港湾構造物の耐波設計におけるデジタルシフトに対する検討

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)

数値計算技術と計算機性能の向上により、波動現象を数値シミュレーションで取り扱うことができるようになってきている。しかし、港湾構造物の耐波設計において、模型実験から数値シミュレーションへの移行、すなわちデジタルシフトはあまり進んでいない。そのため、本研究では、港湾構造物の耐波設計におけるデジタルシフトについて検討している。

1章では、研究の背景と動機が示されている。その中で既往の研究について整理しており、本研究の内容が既往の研究と重複しないことを示して、独自性が確認されている。

2章では、水理模型実験の変遷について調査を行って、耐波設計に関する模型実験がいつ頃始まり、どのような変化を遂げてきたか確認している。日本及び海外の実験施設についても調べており、造波水路が年々大型化してきていることを確認している。縮小模型を用いる模型実験は **Scale Effect** を避けることができないが、大型水路が建設されたことで大縮尺実験と小縮尺実験の比較が行われている事例を分析して、1/50 程度の縮尺でも適切な成果が得られることを示している。

3章では、数値シミュレーションの変遷と耐波設計における現状を確認している。国内外の数値シミュレーションの研究事例を収集して、数値計算手法ごとに、開発開始時期や現在の計算状況を整理している。

4章では、数値シミュレーションを実施して、その結果を模型実験と比較することにより、計算精度の検証を行っている。また、計算領域のセル数と計算時間間隔などによる計算負荷の大きさと計算時間について整理している。その結果を基に、計算負荷の大きさを表す指標を提案している。

5章では、数値シミュレーションと模型実験の消費エネルギーの比較を行っている。実験や計算の造波の実行だけでなく、準備作業に要する消費電力量も考慮した評価を行い、模型実験から数値シミュレーションへのデジタルシフトにより消費エネルギーを軽減できることを示している。

6章では、デジタルシフトの現状把握と将来予測が行われている。研究者などへのヒアリング調査により、計算精度の向上と計算時間の短縮によりデジタルシフトを促進できることを確認している。年代の異なる計算機により同一条件の計算を実施して、計算機の年代が進めが計算時間が短縮されることを示している。国の機関からの調査設計業務の発注実績から、デジタルシフトの変化を確認するとともに、**Logistic** 関数を適用してシナリオに基づいた将来予測を行っている。また、デジタルシフト達成の目標期間を示している。

7章では、数値シミュレーションの耐波設計への活用例を示している。

8章では、本研究の成果を統括するとともに、模型実験の高度化や技術継承も必要であることを指摘している。

以上より、本博士学位請求論文は模型実験から数値シミュレーションへのデジタルシフトに関して、世界にも通用する貴重な成果を残しており、設計実務におけるデジタルシフトの促進に寄与することが期待され、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、審査員一同は長谷川巖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。