

|           |                                                                                                                                     |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 氏 名       | ムハマド アリムディン ハムザ アサガフ<br>Muhammad Alimuddin Hamzah Assagaf                                                                           |
| 学位(専攻分野)  | 博 士 (工 学)                                                                                                                           |
| 学 位 記 番 号 | 工 博 第 2027 号                                                                                                                        |
| 学位授与の日付   | 平 成 13 年 3 月 23 日                                                                                                                   |
| 学位授与の要件   | 学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当                                                                                                             |
| 研究科・専攻    | 工 学 研 究 科 土 木 工 学 専 攻                                                                                                               |
| 学位論文題目    | NUMERICAL SIMULATIONS OF TSUNAMI PRESSURE<br>ACTING UPON COASTAL BARRIERS ON WET AND DRY-<br>LANDS<br>(海岸堤防に作用する津波波圧に関する数値シミュレーション) |
| 論文調査委員    | (主 査)<br>教 授 高 山 知 司    教 授 酒 井 哲 郎    助 教 授 間 瀬 肇                                                                                  |

### 論 文 内 容 の 要 旨

現在までに海底地震や火山噴火、地滑りによって起こされた津波によって多くの人命が失われてきた。津波から人命や財産を守るためには、来襲する津波が陸上部に遡上しないように構造物で防御する方法と津波の来襲前に避難して人命だけは助ける方法の2つがある。1983年の日本海中部地震では地震発生後7分後には津波の第1波が到達している。また、1993年の北海道南西沖地震津波では、北海道奥尻島の青苗地区には地震発生後3分で津波が到達している。そのため、ある程度の規模の津波に対しては構造物によって防護しなくてはならない。

構造物による津波の防護には大きく分けて2種類の方法がある。ひとつは、湾口部に開口部の狭い防波堤を建設して、湾内津波を軽減する方法である。もうひとつは、海岸線沿いに天端の高い防潮堤を建設して、津波が陸上部奥深くまで侵入するのを阻止する方法である。

海岸線に防潮堤を建設するに当たって重要なことは、津波の波力に対して安全な防潮堤を建設することである。津波は、水深が浅くなると砕波し、段波状になって進行し、衝撃的な力を作用させる。このような衝撃的な力を精度よく算定する手法を開発することは防潮堤の設計において非常に重要となる。本論文は、防潮堤に作用する衝撃的な津波力を算定する数値シミュレーション法を開発し、その妥当性を実験によって検証したものであり、7章から成り立っている。

1章は序論で、過去の津波災害について述べるとともに、このような災害を軽減するためには、海岸線に沿って防潮堤を建設することが有効であるが、防潮堤に作用する津波力についてはまだ不明な点が多く、これを数値シミュレーションで明らかにすることが本論文の目的であることを示す。

2章では、自由水面をもつ流れの解析法について過去の研究を概説した。そして、VOF (Volume of Fluid) 法が防潮堤に作用する衝撃津波波圧のシミュレーションに適していることを明らかにしている。VOF 法は1966年に発表されたMAC (Marker and Cell) 法を起源とし、それを発展してSOLA (SOLution Algorithm) となり、その後、1980年にSOLA-VOF、さらにNASA-VOFへと発展した。当初は、二次元空間への対応であった。現在は三次元への適応も可能となっている。本計算法は更なる発展が行われているが、実際の波浪問題への適用については、計算時間の短縮が重要になる。

3章では、VOF 法の解析法について示している。流体運動の基礎方程式であるナビエ・ストークスの方程式と連続の式を数値的に解く手法で、特に、水面の運動学的条件を表す方程式を解くに当たって格子内に存在する流体が占める割合で表している。この手法を用いることによって適切に水面を推定でき、正確な波形を求めることができる。この手法を適用するなら、構造物に作用する津波力を計算することができることを示した。

4章では、この計算法を適用するに当たって、格子間隔や計算時間間隔をどの程度に設定すればよいのか検討を行った。特に、この検討に当たっては孤立波の遡上高について他の研究者が行った実験結果と比較することによって、その精度を検討した。

5章では、津波波圧に関する数値計算の妥当性を検証するために実施した模型実験について述べている。模型実験では、

模型防潮堤の前面が垂直になっている場合と約60度の斜面となっている場合の2種類を採用した。そして、水路全断面に渡って連なっている二次元状態と模型防潮堤の両側が開いている三次元状態とに関して実験を行った。実験では、容量が100gf/cm<sup>2</sup>の波圧計を用いて衝撃波圧を測定した。

6章では、実験結果と数値シミュレーション結果とを比較して、数値計算法の妥当性を検証している。碎波して段波上になった津波が防潮壁に接触するとき、津波は大きく打ちあがり、そのときに大きな衝撃波圧が発生した。その後は重複波的な水位変動と波圧になった。実験と同じ波形を持つ孤立波を想定して、数値計算を実施した。計算格子を比較的大きく取ると、波圧を計算している場所が格子中心になるために、防潮堤前壁面から離れ、計算した波圧は小さくなった。そこで、計算格子を小さくして再度計算をやり直すと、実験値に近い波圧を計算することができた。

7章は結論であり、本論文で得られた成果について要約している。そして、現地地形に適用できるように本論文で提案した手法を発展させることの必要性について述べている。

### 論文審査の結果の要旨

本論文は、津波による災害を軽減するために建設される防潮堤に作用する碎波後の衝撃津波力を数値計算によって再現する手法を開発し、その妥当性を模型実験によって検証したものである。これによって得られた主な成果は次のとおりである。

1. 浅海域で碎波して段波状になった津波が防潮堤に作用して発生する衝撃波圧の算定にはVOF (Volume of Fluid) 法が適していることを、VOF法に関する既存の研究成果から明らかにした。そして、この計算法を適用するに当たって、計算格子間隔や計算時間間隔の設定について、孤立波の遡上に関する既往の実験結果を再現することによって調べた。

2. 津波波圧に関する数値計算の妥当性を検証するための水理模型実験を実施した。模型実験では、孤立波を作用させ、また、模型としては垂直と斜面(約60度)型防潮堤を採用した。防潮堤模型が水路全断面に渡って連なっている二次元状態を主体にし、防潮堤の両側が開いている三次元状態でも実験した。碎波して段波状になった津波が防潮堤に接触した直後に津波は高く打ち上がり、その後、重複波的な挙動を示した。このような津波の挙動に従って、津波が打ち上がる時に瞬間的に大きな衝撃波圧が発生し、その後は変動の緩やかな重複波圧となる2つのピークを示した。衝撃的な津波波圧は静水面付近が最も大きく、それから離れるに従って減衰していた。

3. 実験とはほぼ同じ波形を有する孤立波を入射津波として数値計算を実施した。波圧を計算している点は計算格子の中央となるために、計算格子を細かくしないと実験値を再現することはできなかった。波圧の時間波形と同時波圧の鉛直分布に関する計算結果は実験値ともよく一致し、本論文で提案する数値計算法は高い精度で津波波圧を再現することが判明した。

4. 防潮堤の両側が水路壁から離れている三次元的形状の防潮堤についてもその津波波圧を計算したが、防潮堤の両端付近を除いて、二次元の場合と変わらなかった。これは水理模型実験でも同じであった。衝撃波圧に関しては、防潮堤が比較的短くても津波波圧を二次元的に算定してもよいことがわかった。

以上要するに本論文は、津波を防御する防潮堤の設計において重要な津波波圧を算定する数値計算法を開発し、その妥当性を実験によって検証したものであり、学術上、実際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成13年2月19日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。