

学位論文題名

混成防波堤マウンド部の耐波浪  
および耐津波安定性に関する研究

学位論文内容の要旨

混成防波堤は捨石マウンドの上に鉄筋コンクリート製直立部を設置する構造形式である。我が国の港湾建設の歴史を振り返ると、明治中期以降の港湾近代化の推進期と、第2次大戦後の復興期およびこれに続く高度経済成長期において、防波堤の急速施工が必要となった。混成防波堤はこうした要請に最も適した構造であり、長年にわたる経験と実績に裏付けられて、我が国における標準的な防波堤構造となった。

防波堤の構造設計において主要な外力は波浪力であり、来襲波浪に対して安全にかつ経済的に設計することが重要である。現状では混成防波堤の直立部の設計法はほぼ確立した段階にあるけれども、マウンド部の安定性に関しては未解明な点が多い。波の入射角や防波堤の法線形状といった平面条件の影響や、近年施工例が多くなってきた消波型や水産協調型の堤体、さらに大水深条件に対する設計法の確立が強く求められている。

防波堤には通常の波浪だけでなく、津波のような長周期波を減勢する効果がある。すでに1967年に大船渡港で湾口津波防波堤が建設され、その後釜石港、下田港、須崎港、久慈港などで、津波防波堤が建設中あるいは計画中である。混成防波堤の耐津波安定性に関しては、直立部に働く津波力の算定法は確立しているが、津波時に防波堤の端部で発生する早い流れの影響については未解明な点が多い。とくに津波に対するマウンド被覆材の安定重量算定法の確立は緊急な課題のひとつである。

本論文は以上のような現状を背景として、混成防波堤マウンド部の耐波浪および耐津波安定性に関して、主として水理模型実験結果と現地被災事例に基づいて検討し、実設計に必要な算定法を確立することを目的としている。

第1章は本論文の序論であり、本研究の背景と目的を述べる。

第2章では、我が国における混成防波堤の変遷を述べる。

我が国の港湾被災統計(1971~1991年)によると、港湾施設全体の災害復旧費の69%を防波堤が占めている。施設整備に伴う財政負担の軽減を図るために、災害に対して粘り強い防波堤の建設が望まれている。被災原因としては波浪が最も多く、全体のおよそ9割を占める。地震および津波による被災は、その頻度は小さいけれども1件当たりの被害額は非常に大きい。

第3章では、波浪による混成防波堤の被災事例を示し、設計上の課題を明らかにする。

直立部の滑動災害は近年減少する傾向にあるのに対し、マウンド部に起因した災害の割合が増加している。堤幹部のマウンドについては、斜め入射の場合に直立部の基部が洗掘されるため直角入射の場合に比べて危険度が高い。このことは余市港の被災例(1965年)で実証された。堤端部ではマウンド洗掘が生じやすく、直立部の倒壊に至る被害も少なくない。現地被災例として福井港(1980年)と岩内港(1985年)をとりあげ、波の入射角によって被災パターンが異なることを示した。

第4章では、2次元条件に対するマウンド被覆材の耐波浪設計法について述べる。

水産協調を目的とした前肩幅が広いマウンドを有する直立防波堤と、消波型堤体のひとつである直立消波ケーソン防波堤を取り上げた。それぞれの構造形式について、マウンド近傍流速に基づいてマウンド被覆材の安定重量算定法を提案した。さらに安定実験によってその妥当性を確認した。

大水深条件では、安定限界を上回る波の作用を受けても、マウンド部の変形によってただちに直立部が危険になることは少ない。耐用期間中のマウンド法肩の断面欠損率を10%程度見込むことにより、従来よりも経済的な設計が可能となった。大水深条件に対するマウンド部の設計法は、現在釜石港で建設中の最大水深63mの湾口防波堤に適用された。

第5章では、平面条件に対するマウンド被覆部の耐波浪設計法について述べる。

堤幹部に関しては、斜め入射波によるマウンド近傍流速を微小振幅波理論で定式化し、従来の2次元設計法を3次元に拡張した。さらに不規則波による安定実験と既往の被災事例によって、入射角が $0\sim 60^\circ$ の条件に対する算定法の適用性を確認した。入射角が $60^\circ$ の条件では、直角入射の場合よりもマウンド被覆材が不安定になりやすい点に留意する必要がある。

堤端部に関しては、波浪によって生じる局所流の特性とマウンド被覆材の安定性とを結び付けた。その結果をもとに、堤端部のマウンド被覆材の安定重量算定法および被覆必要範囲を示した。入射角の影響については、 $0\sim 45^\circ$ の条件に対しては堤頭部、堤尾部ともに同一の被覆方法でよいが、 $45\sim 60^\circ$ の場合は入射角が大きいほど堤尾部で洗掘が生じ易いため補正が必要である。

第6章では、既往の津波による防波堤の被災事例について分析する。

対象としたのはチリ地震津波(1960年)、十勝沖地震津波(1968年)、日本海中部地震津波(1983年)および北海道南西沖地震津波(1993年)で、とくに北海道南西沖地震津波については、奥尻港および瀬棚港における津波の高さを数値計算により推定し、防波堤被害との関連を調べた。

直立部に働く津波力は、既往の算定式を適用できることを確認した。直立部の設計においては、港内の第2線防波堤のように設計波高が小さい場合や、汀線から直角に突き出た斜め入射条件の場合には、津波力が波浪力を上回る危険性があるので注意が必要である。

防波堤端部のマウンドは津波による局所洗掘を受けやすく、洗掘の程度によっては直立部が倒壊する危険性がある。とくに海水交換や小型船の通行を目的として防波堤に設けられた幅の狭い開口部では、津波時に堤内外の水位差が大きくなり局所洗掘が生じやすい。

第7章では、津波防波堤開口部潜堤の耐津波安定性を、大規模な3次元模型実験によって検討する。

津波時の開口部流速が $7\sim 8\text{ m/s}$ を越える条件に対しては、通常の消波ブロック等では潜堤マウンド被覆材として十分な安定性を確保できない。このため開口部潜堤マウンド上に頂部工

(小規模なケーソン)を設置するのが一般的である。矩形断面の頂部工に作用する流体力を求めるための抗力係数および揚力係数を提案し、その妥当性を滑動実験で確認した。防波堤堤端部近傍では頂部工を越えた流れによって、大規模なマウンド洗掘が生ずる。この部分のマウンド被覆材の安定重量は、Isbash数として0.8~0.9を用いてC. E. R. C. の式により算定できる。釜石港湾口防波堤では、以上の知見に基づいて開口部潜堤の耐津波設計が行われた。

第8章では、本研究全般のとりまとめを行い、主要な結論を示す。

# 学位論文審査の要旨

主 査 教 授 佐 伯 浩  
副 査 教 授 板 倉 忠 興  
副 査 教 授 藤 田 睦 博  
副 査 助 教 授 山 下 俊 彦

学 位 論 文 題 名

## 混成防波堤マウンド部の耐波浪 および耐津波安定性に関する研究

混成防波堤は捨石マウンドの上に鉄筋コンクリート製直立部を設置する構造形式で、軟弱地盤が多く、高波浪が多い我が国においては急速施工も可能な構造であり、長年にわたる経験と実績に裏付けられていて、我が国における標準的な防波堤構造となっている。

防波堤の構造設計において主要な外力は波浪力であり、来襲波浪に対して安全にかつ経済的に設計することが重要である。現状では混成防波堤の直立部の設計法はほぼ確立した段階にあるけれども、マウンド部の安定性に関しては未解明な点が多い。波の入射角や防波堤の法線形状といった平面条件の影響や、近年施工例が多くなってきた消波型や水産協調型の堤体、さらに大水深条件に対する設計法の確立が強く求められている。

防波堤には通常の波浪だけでなく、津波のような長周期波を減勢する効果があることがよく知られている。混成防波堤の耐津波安定性に関しては、直立部に働く津波力の算定法は確立しているが、津波時に防波堤の端部で発生する早い流れの影響については未解明な点が多い。とくに津波に対するマウンド被覆材の安定重量算定法の確立は緊急な課題のひとつである。

本論文は以上のような現状を背景として、混成防波堤マウンド部の耐波浪および耐津波安定性に関して、主として水理模型実験結果と現地被災事例に基づいて検討し、実設計に必要な算定法を確立することを目的としたものである。

第1章は論文の序論であり、本研究の背景と目的を述べている。

第2章では、我が国における混成防波堤の変遷とその被害原因について述べている。

第3章では、波浪による混成防波堤の多くの被災事例より、マウンド部に起因した災害の割合が増加していることを明らかにするとともに、堤幹部、堤端部のマウンドは、波の入射角によって被災パターンが異なることを示した。

第4章では、水産協調を目的とした前肩幅が広いマウンドを有する直立防波堤と、直立消波ケーソン防波堤それぞれについて、系統的实验と数値シミュレーションより得られたマウンド

近傍流速に基づいてマウンド被覆材の安定重量算定法を提案した。さらに、混成防波堤の安定実験によってその算定方法の妥当性を確認した。また大水深条件では、耐用期間中のマウンド法肩の断面欠損率を10%程度見込むことにより、従来よりも経済的な設計を可能とした。この設計法は、現在釜石港で建設中の最大水深63mの湾口防波堤に適用されている。

第5章では、平面条件に対するマウンド被覆部の耐波浪設計法について論じている。

堤幹部に関しては、斜め入射波によるマウンド近傍流速を微小振幅波理論で定式化し、従来の2次元設計法を3次元に拡張した。さらに不規則波による安定実験と既往の被災事例によって、入射角が0~60°の条件に対する算定法の適用性を確認した。また、入射角が60°の条件では、直角入射の場合よりもマウンド被覆材が不安定になりやすい点を留意すべきことを提言している。

堤端部に関しては、波浪によって生じる局所流の特性よりマウンド被覆材の安定重量算定法および被覆必要範囲を示した。

第6章では、既往の津波、即ちチリ地震津波(1960年)、十勝沖地震津波(1968年)、日本海中部地震津波(1983年)および北海道南西沖地震津波(1993年)による防波堤の被害事例の詳細な分析と、北海道南西沖地震津波については、奥尻港および瀬棚港における津波の高さの数値計算による推定より防波堤被害と津波の関連を明らかにしている。

直立部に働く津波力は、既往の算定式を適用できることを確認するとともに、設計上配慮すべき条件を明らかにした。

また防波堤端部のマウンドは津波による局所洗掘を受けやすいこととその原因を明らかにしている。

第7章では、津波防波堤開口部潜堤の耐津波安定性を、大規模な3次元模型実験によって検討している。津波時の開口部流速が7~8m/sを越える条件に対しては、通常の消波ブロック等では潜堤マウンド被覆材として十分な安定性を確保できないことを示した。このため開口部潜堤マウンド上に頂部工(小規模なケーソン)を設置することを提案し、矩形断面の頂部工に作用する流体力を求めるための抗力係数および揚力係数を導出し、その妥当性を滑動実験で確認した。防波堤堤端部近傍では頂部工を越えた流れによって、大規模なマウンド洗掘が生ずる。この部分のマウンド被覆材の安定重量は、Isbash数として0.8~0.9を用いてC. E. R. C. の式により算定できることを明らかにした。釜石港湾口防波堤では、以上の知見に基づいて開口部潜堤の耐津波設計が行われた。

第8章では、本研究全般のとりまとめを行い、主要な結論を示している。

これを要するに、著者は混成防波堤マウンド部の耐波浪、耐津波安定性について多くの新見を得たものであり、海岸工学、港湾工学の進展に貢献するところ大なるものがある。

よって、著者は、北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格があるものと認める。