

学位論文題名

親水性港湾構造物の工学的諸問題に関する研究

学位論文内容の要旨

これまでの港湾空間は、陸と海とを結ぶ結節点として効率的かつ高度な物流を確立するために整備し、島国日本の発展に寄与してきた。社会が成熟してきた現在、港湾空間もこれまでの物流・産業のための整備のみならず、市民の生活空間の一部としての役割を付加した総合的な港湾空間の整備をするようになってきた。親水性の防波堤や護岸は、総合的な港湾空間を創造するために大きな役割を果たすものであり、一般市民に憩いの場、賑わいの場を提供することができる可能性を秘めている。

ただし、防波堤や護岸は、波を防ぎ港内の静穏を確保したり、背後の用地を守るための施設であり、実際に海中に転落してしまう事故例が少なくないことから明らかなように、人にとって必ずしも安全な場所ではない。それら施設の天端高さは、本来機能を満足ししかも経済性を考慮して設計されているため、年間数日は越波するように設定されているのである。利用者の安全を確保することは親水性施設を整備する上で必要最小限の要件であり、最も重要でかつ緊急の検討課題となっている。また、親水性施設では、天端上に利用者の安全性を確保するために転落防止用の手すりが設置されるが、このような天端上の施設に対する耐波設計法が無かったために越波時に被災を受ける例が少なくなかった。天端上の施設は、利用者の安全性のみならず、利便性・快適性を向上させるために設置するものであり、耐波設計法の確立が望まれている。

本研究では、親水性施設整備が今後増加していく状況において、以上のような緊急な検討課題に対応するために実施したものであり、親水性施設の総合的な設計技術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について述べる。

第2章では、天端上の構造物や人の安全を検討するための基礎としての位置づけられ、防波堤上での越波水の運動の特性について述べる。

第1節では、混成防波堤を対象にして比較的low waveを対象とした越波水の運動特性を検討した。越波現象は、越波水が直接打ち込んでくる「打ち込み時」と、その後港内側への速い流れとなる「越流時」に分けることができ、波浪条件や防波堤構造条件と越波現象との関係を定性的に明らかにした。また、防波堤上における越波水の最大水位や最大流速が任意の位置で算定できる越波水の運動モデルOWMを構築した。

第2節では、越波水の運動モデルを高波浪に対して適用できるように、また種々の防波堤構造形式に適用するために、系統的な水理実験を実施した。重複波領域から碎波領域までの連続的な越波水の運動状況の変化や、消波ブロック被覆堤やスリットケソン堤における越波特性を明らかにし、波浪条件や構造条件に対するOWMの適用範囲を拡張した。

第3章では、防波堤天端上の各種構造物の耐波設計法について検討した。

第1節では、防波堤上の水平天端面・緩傾斜な階段斜面・直立壁を対象として系統的な水理実験を行った。それぞれの施設に作用する波力を打ち込み時と越流時に分けて波力発生メカニズムを明らかにして、越波水の運動モデルOWMに基づいた打ち込み時と越流時の波力算定方法を提案した。

第2節では、防波堤上に設置する転落防止用の手すりを対象として、水理実験および現地実験を行った。手すりに作用する波力は流速に依存する抗力として表すことができることが分かり、OWMを基本とした波力算定方法を提案した。現地防波堤上で手すりに作用する波力を測定し、手すり部材破壊状況を観測することにより、算定法の妥当性を検証した。

第3節では、親水性護岸の背後舗装を対象に、現地被災事例の解析および水理実験を行った。現地の被災事例から各種舗装の耐波強度特性を検討し、インターロッキングブロック舗装が最も越波に対して強度が弱いことを明らかにした。水理実験によって同舗装の破壊メカニズムが明らかにするとともに、OWMを用いた破壊再現計算から破壊限界時の越波流量を示した。

第4章では、親水性施設における市民の安全確保技術について検討した。

第1節では、新聞記事を検索することによって実際に港内で発生した海中転落事故の特徴を調べた。最も危険度が大きい事故として高波による海中転落があり、防波堤上の人が自分の置かれている危険が分かりにくい状況で事故が発生している例が多いことが分かった。また、事故の発生要因に基づいて、親水性施設で安全上配慮すべき事項を示した。

第2節では、既往の親水性護岸の入園記録に基づき、入園禁止時の自然条件を検討した。さらに、水理実験を行い、天端上にしぶき打ち上がる状況や越波が発生する限界の状況を再現するとともに、それらの状況となる波高算定方法をOWMに基づき定式化した。

第3節では、越波したときに防波堤上に人がいる場合を想定して、越波によって人が転倒する危険状況を検討した。実際の人を用いた実物実験を行い、流れ中での人の転倒をモデル化した。人の転倒条件は、人の身長や体型、床と靴との摩擦係数、防波堤上の位置に依ることが分かった。また、OWMを基本として転倒限界の波高算定方法を定式化した。

第4節では、最も危険度の高い越波による海中転落について検討した。人の模型を用いた水理実験を行い、転落防止用の手すり形状によって人の転落条件が異なることが分かり、手すりによる人の転落防止効果が確認された。また、越波によって人が海中転落する波高はOWMを基本として定式化した。

第5節では、親水性施設の波浪に対する危険度を評価する手法を提案した。施設の危険度は、各種危険発生波高と施設周辺での波浪特性から頻度的・時間的に評価するものであり、計画・設計・管理時において安全対策のために応用することができる。また、本評価手法を用いて事例解析を行った。

第6節では、防波堤上の危険と越波流量との関係について検討をした。水理実験とOWMによる計算から、人が危険となる越波流量が護岸の設計時に用いる許容越波流量よりもかなり小さくなることが分かった。

第7節では、親水性施設の高波警報システム「クジらくん」を提案した。このシステムは、利用者自身がリアルタイムの危険状況を音としぶきで知ることができることが特徴であり、水理実験と数値計算より基本的な音の物理特性を明らかにした。

第5章では、本研究全般のとりまとめを行い、主要な結論を述べる。第3章での検討によって親水性施設天端上の各種構造物に対する耐波設計法が明らかになり、第4章の検討によって利用者の安全確保方法を確立することができた。

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

親水性港湾構造物の水工的諸問題に関する研究

これまでの港湾空間は、陸と海とを結ぶ結節点として効率的かつ高度な物流を確立するために整備し、島国日本の発展に寄与してきた。社会が成熟してきた現在、港湾空間もこれまでの物流・産業のための整備のみならず、市民の生活空間の一部としての役割を付加した総合的な港湾空間の整備をするようになってきた。親水性の防波堤や護岸は、総合的な港湾空間を創造するために大きな役割を果たすものであり、一般市民に憩いの場、賑わいの場を提供することができる可能性を秘めている。

ただし、防波堤や護岸は、本来機能を満足し、しかも経済性を考慮して設計されているため、年間数日は越波するように設定されている。よって、利用者の安全を確保することは親水性施設を整備する上で必要最小限の要件であり、最も重要でかつ緊急の検討課題となっている。また、親水性構造物の天端上の施設は、利用者の安全性のみならず、利便性・快適性を向上させるために設置するものであり、それらの耐波設計法の確立が望まれている。

本研究は、以上のような緊急な検討課題に対応するために実施したものであり、親水性構造物および施設の総合的な設計技術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について述べている。

第2章では、天端上の構造物や人の安全を検討するための基礎としての位置づけられ、防波堤上での越波水の運動の特性について述べていて、第1節では、混成防波堤を対象にして比較的低波浪を対象とした越波水の運動特性を検討した。越波現象は、越波水が直接打ち込んでくる「打ち込み時」と、その後、港内側への速い流れとなる「越流時」に分けることができ、波浪条件や防波堤構造条件と越波現象との関係を定性的に明らかにし、防波堤上における越波水の最大水位や最大流速が任意の位置で算定できる越波水の運動モデルO_{WM}を構築した。第2節では、越波水の運動モデルを高波浪に対して適用できるように、系統的な水理実験を実施し、重複波領域から砕波領域までの連続的な越波水の運動状況の変化や、各種防波堤に対する越波特性を明らかにし、波浪条件や構造条件に対するO_{WM}の適用範囲を拡張した。

第3章では、防波堤天端上の各種構造物の耐波設計法について検討し、第1節では、防波堤上の水平天端面・緩傾斜な階段斜面・直立壁を対象として系統的な水理実験を行い、それぞれの施設に作用する波力を打ち込み時と越流時に分けて波力発生メカニズムを明らかにして、越波水の運動モデルO_{WM}に基づいた打ち込み時と越流時の波力算定方法を提

案した。また第2節では、防波堤上に設置する転落防止用の手すりを対象として、水理実験および現地実験を行い、手すりに作用する波力については、OWMを基本とした波力算定法を提案し、現地防波堤上での測定から、算定法の妥当性を検証した。第3節では、親水性護岸の背後舗装を対象に、現地被災事例の解析および水理実験から、インターロッキングブロック舗装が最も越波に対して強度が弱いことを明らかにし、水理実験によって同舗装の破壊メカニズムが明らかにするとともに、OWMを用いた破壊再現計算から破壊限界時の越波流量を示した。

第4章では、親水性施設における市民の安全確保技術について検討した。

第1節では、新聞記事の検索より港内で発生した海中転落事故の特徴を調べ、最も危険度が高い事故として高波による海中転落があり、防波堤上の人が自分の置かれている危険が分かりにくい状況で事故が発生している例が多いことを明らかにした。また、事故の発生要因に基づいて、親水性施設で安全上配慮すべき事項を示した。第2節では、既往の親水性護岸の入園記録に基づき、入園禁止時の自然条件を明らかにするとともに、水理実験を行い、天端上にしぶき打ち上がる状況や越波が発生する限界の状況を再現するとともに、それらの状況となる波高算定方法をOWMに基づき定式化した。第3節では、越波したときに防波堤上に人がいる場合を想定して、越波によって人が転倒する危険状況を検討し、実物実験を行い、流れ中での人の転倒をモデル化するとともに、人の転倒条件は、人の身長や体型、床と靴との摩擦係数、防波堤上の位置に依ることを明らかにした。また、OWMを基本として転倒限界の波高算定方法を定式化した。さらに、第4、第5、第6節および第7節では、越波によって人が海中転落する波高をOWMを基本として定式化するとともに、親水性施設の波浪に対する危険度を評価する手法を提案し、本評価手法による事例解説を行った。

また、防波堤上の危険と越波流量との関係については、水理実験とOWMによる計算から、人が危険となる越波流量が護岸の設計時に用いる許容越波流量よりもかなり小さくなることを明らかにし、最終的に、利用者自身がリアルタイムで危険状況を音としぶきで知ることができる親水性施設の高波警報システム「クジらくん」を提案し、水理実験と数値計算より基本的な音の物理特性を明らかにした。

第5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、著者は親水性港湾構造物の水工学的な諸課題を解決したもので、港湾工学、海岸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られる。