

学位論文題名

高波浪条件を対象とした防波堤の
耐波設計法の高度化に関する研究

学位論文内容の要旨

1950年に「港湾工事設計示方要覧」が、1959年に「港湾工事設計要覧」が刊行され、いらい港湾技術は長足の進歩を遂げ、港湾建設技術は1967年に「港湾構造物設計基準」として集大成された。そして最新の港湾技術は「港湾の施設の技術上の基準・同解説」に折り込まれつつ現在に至っている。

しかし、海域での活動が広範囲に展開され、防波技術が格段に発展したのにもかかわらず、防波堤災害の減少傾向はみられない。過去30年間の防波堤災害事例によれば、消波工の被災が最も多く、ついで堤体の滑動・転倒が多い。

防波堤は設計波高を多少上回る波浪に対しても致命的被災を受けない構造物であるのが望ましく、この原因としては、設計波浪算定法に起因するものもあるが、防波堤の安定限界状態における研究が未だ充分ではないことによるものである。

このため、本研究では、防波堤の滑動現象と消波工を構成する消波ブロックの安定現象を追究した。そして、耐波設計法の向上に必要な課題を選定して、実施設計の観点から実験的研究によりそれらの課題を検討した。

第1章の序論では研究の背景と目的を述べてある。

第2章では、現行設計法における未解明問題すなわち混成堤直立部の滑動現象、消波ブロック被覆堤の直立部に作用する力、消波ブロックの安定問題および従来ケーソンに消波機能を付加することの可否を検討した。そして、最近の防波堤災害事例から耐波設計法高度化に必要な課題を選定した。

混成堤直立部の滑動は、ロッキングによりマウンドが締まることによるズレの状態、滑動が始まる遷移状態、明らかに滑動と判断される状態の3段階に分類することができ、現行の波力算定式は明らかに滑動が認められる状態に相当するものであることを示した。消波ブロック被覆堤の直立部に作用する力は、消波ブロックの圧力、消波工を通過して壁体に作用する流体力および消波工の波浪作用時の反力で、平常時および波浪時の直立部に作用する力の機構を追究した。消波工空隙の大きさに関しては、消波ブロックの重量が大きくなって形状が大きくなると、壁面に作用する波圧は大きくなるが、消波工の天端幅を2~3ヶ並びとする現行設計では、ブロック重量の増大に伴う空隙の大きさの増大は消波工断面の増大で補完されている。消波ブロックの波浪安定所要重量はハドソン式により算定されるが、同式は砕波を前提に導かれているので、非砕波領域にあっては安定重量が波高の3乗に比例するかどうかを検証しなければならない。また、同式には周期および斜め入射波が考慮されていない。水理模型実験より非砕波領域においても安定重量は波高の3乗に比例することを確認した。消波工の法勾配については、ハドソン式の適用限界は $4/3 < \cot \alpha < 2$ で、法勾配を1:2より緩くしても $\cot \alpha = 2$ での重量が必要である。周期に関しては、周期7秒以下および14秒以上の波にたいしては K_0 値が小さくなる。一般に周期の短い設計波は波高が

小さいので、波高3乗の点から特に留意しなければならない。斜め入射波に対してはブロック重量を増減するにはいたらない。従来ケーソンの外側隔壁を消波部とするケーソンの滑動抵抗力は、混成堤と消波ブロック被覆堤の中間に位置する。ことに上部透過・下部不透過壁ケーソンにあっては周期の長い波に対しても消波効果の大きいことが判明した。

以上の検討により、現行設計法での未説明問題が明らかになったので、最近10年間の災害事例を検討した結果、波力問題として高天端混成堤に作用する波力とケーソンに作用する揚圧力を、直立部の滑動抵抗増大策として堤体背後補強工法とアスファルトマット工法を、消波ブロックに関しては海底急勾配条件下における消波ブロック被覆堤の安定性、消波ブロック大重量化対策としての高比重コンクリートの導入および消波ブロック被覆堤の堤頭処理を、耐波設計法の高度化に必要な課題として選定した。

第3章では、堤体の波力算定法にかかわる事項、ここでは港湾の新しい要請である親水防波堤を念頭に、しかも致命的な災害を被る可能性のある高天端混成堤の波力と設計にあたり大きな要素を占める揚圧力について検討した。高天端混成堤の直立部に働く波力算定法では、波力増大が顕著になる条件を示した。高天端に伴い静水面とその上方で波圧は増大して壁体に作用する波力は合田の式で算定される値よりも大きくなるので、合田の式を高天端防波堤にも適用できるように新しいパラメータを導入した。揚圧力についてはフーチング付きケーソンでその特性を検討した。現行設計法はフーチングが短い場合は安全側、長い場合には危険側の設計となる。

第4章では、直立部の滑動抵抗増大策として、背後盛石等による堤体補強工法とアスファルトマット工法を採り上げ、アスファルトマットについては品質特性の経年変化を調査した。補強体の破壊時の滑り面は、現行設計の滑動抵抗が最小となる滑り面とは異なっている。補強工法での滑動抵抗力は、補強体が方塊あるいは盛石いずれの場合でも、直立部の滑動抵抗力と補強体の滑動抵抗力との和として求めることが可能であることを示した。アスファルトマット工法については、低温海域の増毛港にアスファルトマットの供試体を海中に沈設して品質特性の変化を調査した。同時にケーソン下面から採取した7年経過後のアスファルトマットについても試験を行った。7年経過後も品質劣化の徴候はみられず、摩擦係数の低下も全くなかった。したがって、海中下のアスファルトマット工法は十分に実用に耐えられることが明らかになった。

第5章では、消波ブロック被覆堤の設計法高度化に関して、急勾配海底地形における波力、消波ブロック大重量化対策としての高比重コンクリート消波ブロックの安定性および堤頭部における消波ブロックの安定性について検討した。急勾配条件下では衝撃砕波により直立堤では現行設計法での2～3.7倍の波力が生じた。消波工の設置により衝撃砕波力は消失するが、それでも現行設計での波圧低減率を1.0にする必要がある。消波工は $H_{1/3} > 1$ で法先が不安定になり、消波ブロックは現行設計の K_0 値では安定が保持されない。消波ブロックの比重の違いによる安定性については、比重を高めることによる重量増大の効果は大きい。小さな被害率に対しては比重の違いによる K_0 値の違いはほとんどみられないが、被害率5%では比重が大きくなると K_0 値は大きくなっている。なお、比重2.3の普通コンクリートでは周期の短い波に対しては K_0 値が小さくなっているが、比重の大きなコンクリートではそのような傾向はみられない。消波ブロック被覆堤について大規模不規則波平面実験を実施した。堤頭部では港内側の端部周辺ブロックの移動が顕著でしかも堤幹部に比べて被害が進行しやすい。結果として堤頭部の消波ブロック重量は堤幹部の1.5倍必要であることが確認された。

第6章の結論では、本研究全般のとりまとめを行って、主要な結論を示した。

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

高波浪条件を対象とした防波堤の 耐波設計法の高度化に関する研究

1950年に「港湾工事設計示方要覧」が、1959年に「港湾工事設計要覧」が刊行され、いらい港湾技術は長足の進歩を遂げ、港湾建設技術は1967年に「港湾構造物設計基準」として集大成された。そして最新の港湾技術は「港湾の施設の技術上の基準・同解説」に折り込まれつつ現在に至っている。

しかし、海域での活動が広範囲に展開され、防波技術が格段に発展したにもかかわらず、防波堤災害の減少傾向はみられない。過去30年間の防波堤災害事例によれば、消波工の被災が最も多く、ついで堤体の滑動・転倒が多い。

防波堤は設計波高を多少上回る波浪に対しても致命的被災を受けない構造物であるのが望ましく、この原因としては、設計波浪算定法に起因するものもあるが、防波堤の安定限界状態における研究が未だ充分ではないことによるものである。

このため、本研究では、防波堤の滑動現象と消波工を構成する消波ブロックの安定現象を追究した。そして、耐波設計法の向上に必要な課題を選定して、実施設計の観点から実験的研究によりそれらの課題を検討した。

第1章の序論では研究の背景と目的を述べている。

第2章では、現行設計法における未解明問題すなわち混成堤直立部の滑動現象、消波ブロック被覆堤の直立部に作用する力、消波ブロックの安定問題および従来ケーソンに消波機能を付加することの可否を検討した。そして、最近の防波堤災害事例から耐波設計法、高度化に必要な課題を選定した。

混成堤直立部の滑動は、ロッキングによりマウンドが締まることによるズレの状態、滑動が始まる遷移状態、明らかに滑動と判断される状態の3段階に分類することができ、現行の波力算定式は明らかに滑動が認められる状態に相当するものであることを示した。消波ブロック被覆堤の直立部に作用する力は、消波ブロックの圧力、消波工を通過して壁体に作用する流体力および消波工の波浪作用時の反力で、平常時および波浪時の直立部に作用する力の機構を追究した。水理模型実験より非碎波領域においても安定重量は波高の3乗に比例することを確かめた。消波工の法勾配については、ハドソン式の適用限界は $4/3 < \cot \alpha < 2$ で、法勾配を1:2より緩くしても $\cot \alpha = 2$ での重量が必要である。周期に関しては、周期7秒以下および1.4秒以上の波にたいしては K_0 値が小さくなる。一般に周期の短い設計波は波高が小さいので、波高3乗の点から特に留意しなければならない。斜め入射波に対し

てはブロック重量を増減するにはいたらない。従来ケーソンの外側隔壁を消波部とするケーソンの滑動抵抗力は、混成堤と消波ブロック被覆堤の中間に位置する。ことに上部透過・下部不透過壁ケーソンにあっては周期の長い波に対しても消波効果の大きいことが判明した。

さらに、最近10年間の災害事例を検討した結果、波力問題として高天端混成堤に作用する波力とケーソンに作用する揚圧力を、直立部の滑動抵抗増大策として堤体背後補強工法とアスファルトマット工法を、消波ブロックに関しては海底急勾配条件下における消波ブロック被覆堤の安定性、消波ブロック大重量化対策としての高比重コンクリートの導入および消波ブロック被覆堤の堤頭処理を、耐波設計法の高度化に必要な課題として選定した。

第3章では、堤体の波力算定法にかかわる事項、ここでは港湾の新しい要請である親水防波堤を念頭に、しかも致命的な災害を被る可能性のある高天端混成堤の波力と設計にあたり大きな要素を占める揚圧力について検討した。高天端混成堤の直立部に働く波力算定法では、波力増大が顕著になる条件を示した。高天端に伴い静水面とその上方で波圧は増大して壁体に作用する波力は合田の式で算定される値よりも大きくなるので、合田の式を高天端防波堤にも適用できるように新しいパラメータを導入した。揚圧力についてはフーチング付きケーソンでその特性を検討した。現行設計法はフーチングが短い場合は安全側、長い場合には危険側の設計となる。

第4章では、直立部の滑動抵抗増大策として、背後盛石等による堤体補強工法とアスファルトマット工法を採り上げ、アスファルトマットについては品質特性の経年変化を調査した。補強体の破壊時の滑り面は、現行設計の滑動抵抗が最小となる滑り面とは異なっている。補強工法での滑動抵抗力は、補強体の方塊あるいは盛石いずれの場合でも、直立部の滑動抵抗力と補強体の滑動抵抗力との和として求めることが可能であることを示した。アスファルトマット工法については、低温海域の増毛港にアスファルトマットの供試体を海中に沈設して品質特性の変化を調査した。同時にケーソン下面から採取した7年経過後のアスファルトマットについても試験を行った。7年経過後も品質劣化の徴候はみられず、摩擦係数の低下も全くなかった。したがって、海中下のアスファルトマット工法は十分に実用に耐えられることが明らかになった。

第5章では、消波ブロック被覆堤の設計法高度化に関して、急勾配海底地形における波力、消波ブロック大重量化対策としての高比重コンクリート消波ブロックの安定性および堤頭部における消波ブロックの安定性について検討した。急勾配条件下では衝撃砕波により直立堤では現行設計法での2～3.7倍の波力が生じた。消波工の設置により衝撃砕波力は消失するが、それでも現行設計での波圧低減率を1.0にする必要がある。消波工は $H_{1/3} > 1$ で法先が不安定になり、消波ブロックは現行設計の K_0 値では安定が保持されない。消波ブロックの比重の違いによる安定性については、比重を高めることによる重量増大の効果は大きい。小さな被害率に対しては比重の違いによる K_0 値の違いはほとんどみられないが、被害率5%では比重が大きくなると K_0 値は大きくなっている。なお、比重2.3の普通コンクリートでは周期の短い波に対しては K_0 値が小さくなっているが、比重の大きなコンクリートではそのような傾向はみられない。消波ブロック被覆堤について大規模不規則波平面実験を実施した。堤頭部では港内側の端部周辺ブロックの移動が顕著でしかも堤幹部に比べて被害が進行しやすい。結果として堤頭部の消波ブロック重量は堤幹部の1.5倍必要であることが確認された。

第6章の結論では、本研究全般のとりまとめを行って、主要な結論を示した。

これを要するに、著者は高波浪条件を対象とした防波堤の耐波設計法の高度化に関する諸問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あるものと認められる。