

学 位 論 文 題 名

ケーソン構築工法に関する研究

学位論文内容の要旨

本研究の目的は、防波堤を整備する上で課題となっている、ケーソン製作の省力化および大水深高波浪の海域に適用する新形式ケーソン防波堤の開発にある。

現在我が国では湾構造物にRCケーソンが最も多く採用されているが、その製作方法は配筋をはじめ多くの工程を必要としており、基本的には初めて港湾用ケーソンが実用化された100年前と変わっていない。

近年、ケーソン製作の省力化や将来の熟練工不足などに対応するため、種々の構築工法が開発されているが、その多くは構造、施工、経済性などに問題があった。大水深高波浪の海域に適用するために開発された新形式防波堤についても同様な問題があった。

そこで、本研究では、最初に港湾用ケーソンおよび新形式ケーソン防波堤に要求される性能を整理し、性能照査型設計法に沿って鉄骨コンクリート複合（SC）構造を用いた新工法（PFC工法と称す）によるプレキャストフォームケーソンおよび斜面スリットケーソンの研究項目を明らかにした。

プレキャストフォームケーソンは高耐久性埋設型枠、鉛直鉄筋に代えて突起付きH形鋼、水平鉄筋および分離低減型流動コンクリートから構成される。省力化および建設期間の短縮を図り、建設コスト低減を実現するものである。

プレキャストフォームケーソンの設計上の課題は、①ケーソンの外壁を構成するSC構造板状部材の曲げ耐力および最大ひび割れ幅の評価方法を明らかにすることおよび②埋設型枠間に充填する分離低減型流動コンクリートを開発することである。

前者については曲げ載荷試験によってSC構造板状部材の曲げ耐力およびひび割れ性状を把握した。次いでSC構造板状部材に平面保持が成立することを確認し、それをRC構造に置き換えて算定した最大耐力と終局変位によって評価できることを明らかにした。さらにSC構造板状部材におけるH形鋼の突起の有無と高耐久性埋設型枠の有無と有限要素解析結果から、突起付きH形鋼の付着応力と高耐久性埋設型枠のひび割れ幅抑制効果を定量化し、SC構造板状部材のひび割れ幅算定式を構築した。提案した曲げ耐力算定方法と最大ひび割れ幅算定式の妥当性は、突起付きH形鋼の配置間隔をパラメータとしたSC構造板状部材の曲げ載荷実験により評価した。

後者は、高流動コンクリートと比較し製造管理が容易で経済性に優れ、ごく簡単な締固めによって狭隘な形状の空間や過密配筋の箇所に充填できる流動コンクリートの開発である。増粘作用を有する特殊分離低減型高性能減水剤を用いたコンクリートであり、実験によって締固め特性や充填性能を明らかにした。

PFC工法は従来構築が難しいと言われる斜面板を形成できる。PFC工法によって製作され

る斜面スリットケーソンは斜面によって水平波力を減少させ鉛直分力を滑動抵抗力に寄与させて所要堤体幅を減少し、スリットによって反射波低減を図るケーソンである。

斜面スリットケーソンの設計課題は、水理特性の解明および波力算定方法の確立である。水理実験によって水理特性を明らかにした上で、直立消波堤と上部斜面堤の波力算定式を用いて斜面スリット堤の波力が評価できることを明らかにした。

これらの研究に基づき、プレキャストフォームケーソンおよび斜面スリットケーソンの構築について実証試験を行い、成果を確認した。

プレキャストフォームケーソンの製作においては、従来のRCケーソンと比較し50%の工期短縮と75%の省力化・省人化を実現した。建設コストの面では、工費に大きな割合を占める高耐久性埋設型枠が特注品となっているため、RCケーソンと比較しわずかに経済的であった。一方、斜面スリットケーソンの場合は、消波ブロック被覆堤と比較し、約17.4%の工費縮減ができた。

今後の課題は以下の通りである。

プレキャストフォームケーソンに関しては、設計法および施工法についてほぼ確立できた。製作コストで大きな部分を占める高耐久性埋設型枠の2次製品化によってコストダウンを図り、制約条件無しに従来のRCケーソンより経済的であることが普及の条件となる。設計面においては、本研究において提案したSC構造板状部材の最大ひび割れ幅算定式をより一般化するため、追加実験を行う必要がある。

斜面スリットケーソンの設計に関しては体系的な水理実験によって独自の波力算定式を確立することが望ましい。その場合、直立消波ケーソンに適用される、拡張した合田式を修正して定式化を図る方法が考えられるが、遊水室後壁に波面が作用する瞬間（押上げ時II a）に生ずる衝撃砕波に関して後壁斜面の角度との関係から検討する必要がある。また、斜面板の角度、直立部と斜面部の高さの比などによる水理特性の変化等、斜面スリットケーソンの水理特性を体系的に解明し、設計にいかしてゆくことが重要である。

さらに、他の防波堤形式と比較し所要天端が高くなることから上部工の形状を変えて天端高を抑える研究や、高波浪時の斜面の戻り波等によるマウンドの洗掘を防止する根固め工についての研究も必要である。それらの成果をふまえ、幅広い周期の波に対して消波機能を向上させる2重斜面スリットケーソンや斜面透過ケーソンの開発につなげる。

斜面スリットケーソンの構築に関しては、斜面板を安全かつ効率的に施工するため突起付きH形鋼および高耐久性埋設型枠の据付け方法の改良を図る必要がある。

斜面スリットケーソンの普及には、プレキャストフォームケーソンの場合と同様に、高耐久性埋設型枠を2次製品化するか、波圧の厳しい箇所に限定して使用するとともに、施工性をあげる研究によってさらに経済性を追求することが重要である。

我が国社会が成熟期に入り、社会基盤施設も維持管理を含めたライフサイクルを考慮に入れて整備する時代に入った。PFC工法は、従来工法と比較し極めて耐久性の高い高品質なプレキャストフォームケーソンおよび斜面スリットケーソンを経済的に効率よく構築できることが実証され、将来にわたって有用であることが明らかになった。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 佐 伯 浩

副 査 教 授 角 田 與史雄

副 査 教 授 藤 田 睦 博

副 査 教 授 三 上 隆

学 位 論 文 題 名

ケーソン構築工法に関する研究

本研究の目的は、防波堤を整備する上で課題となっている、ケーソン製作の省力化および大水深高波浪の海域に適用する新形式ケーソン防波堤の開発にある。

現在我が国では港湾構造物に RC ケーソンがもっとも多く採用されているが、その制作方法は配筋をはじめ多くの工程を必要としており、基本的に初めて港湾用ケーソンが実用化された 100 年前と変わっていない。

近年、ケーソン製作の省力化や将来の熟練工不足などに対応するため、種々の構築工法が開発されているが、その多くは構造、施工、経済性などに問題があった。大水深高波浪の海域に適用するために開発された新形式防波堤についても同様な問題があった。

そこで、本研究では、最初に港湾用ケーソンおよび新形式ケーソン防波堤に要求される性能を整理し、性能照査型設計法に沿って鉄骨コンクリート複合 (SC) 構造を用いた新工法 (PFC 工法と称す) によるプレキャストフォームケーソンおよび斜面スリットケーソンの研究項目を明らかにした。

プレキャストフォームケーソンは高耐久性埋設型枠、鉛直鉄筋に代えて突起付き H 形鋼、水平鉄筋および分離低減型流動コンクリートから構成される。省力化および建設期間の短縮を図り、建設コスト低減を実現したものである。

プレキャストフォームケーソンの設計上の課題は、①ケーソンの外壁を構成する SC 構造板状部材の曲げ耐力および最大ひび割れ幅の評価方法を明らかにすることおよび②埋設型枠間に充填する分離低減型流動コンクリートを開発することである。

前者については曲げ載荷試験によって SC 構造版状部材に平面保持が成立することを確認し、それを RC 構造に置き換えて算定した最大耐力と終局変異によって評価できることから明らかにした。さらに SC 構造版状部材における H 型鋼の突起の有無と高耐久性埋設型枠の有無と有限要素解析結果から、突起付き H 型鋼の付着応力と高耐久性埋設型枠のひび割れ幅抑制効果を定量化し、SC 構造板状部材のひび割れ幅算定式を構築した。提案した曲げ耐力算定方法と最大ひび割れ幅算定式の妥当性は、突起付き H 形鋼の配置間隔をパラメーターとした SC 構造板状部材の曲げ載荷実験により評価した。

後者は、高流動コンクリートと比較し製造管理が容易で経済性に優れ、ごく簡単な締固めによって狭隘な形状の空間や過密配筋の箇所に充填できる流動コンクリートの開発である。増粘作用を有する特殊分離低減型高性能減水剤を用いたコンクリートであり、実験によって締固め特性や充填性能を明らかにした。

PFC 工法は従来構築が難しいと言われる斜面板を形成できる。PFC 工法によって

製作される斜面スリットケーソンは斜面によって水平波力を減少させ鉛直分力を滑動抵抗に寄与させて所要堤体幅を減少し、スリットによって反射波低減を図るケーソンである。

斜面スリットケーソンの設計課題は、水理特性の解明および波力算定方法の確立である。水理実験によって水理特性を明らかにした上で、直立消波堤と上部斜面堤の波力算定式を用いて斜面スリット堤の波力が評価できることを明らかにした。

これらの研究に基づき、プレキャストフォームケーソンおよび斜面スリットケーソンの構築について実証試験を行ない、成果を確認した。

プレキャストフォームケーソンの製作においては、従来のRCケーソンと比較し50%の工期短縮と75%の省力化・省人化を実現した。建設コストの面では、工費に大きな割合を占める高耐久性埋設型枠が特注品となっているため、RCケーソンと比較しわずかに経済的であった。一方、斜面スリットケーソンの場合は、消波ブロック被覆堤と比較し、約17.4%の工費縮減ができた。

以上、結論として、プレキャストフォームケーソンに関しては、設計法および施工法ともに確立できた。製作コストで大きな部分を占める高耐久性埋設型枠の2次製品化によってコストダウンを図り、制約条件無しに従来のRCケーソンより経済的であることが普及の条件となる。設計面においては、本研究において提案したSC構造板状部材の最大ひび割れ幅算定式をより一般化する必要はあるものの、斜面スリットケーソンの普及には、プレキャストフォームケーソンの場合と同様に、高耐久性埋設型枠を2次製品化するか、波圧の厳しい箇所に限定して使用するとともに、施工性をあげる研究によってさらに経済性を追求することが可能であることを示唆している。我が国社会が成熟期に入り、社会基盤施設も維持管理を含めたライフサイクルを考慮に入れて整備する時代に入った。PFC工法は、従来工法と比較し極めて耐久性の高い高品質なプレキャストフォームケーソンおよび斜面スリットケーソンを経済的に効率よく構築出来ることが実証され、将来にわたって有効であることを明らかにした。

これを要するに、著者は新しい港湾構造物を開発したもので、港湾工学、海洋工学に寄与するところ大なるものである。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る。