

学位論文題名

繰返し衝撃荷重が作用する防波堤ケーソン壁の
耐荷性能評価方法に関する研究

(Study on evaluation of load-carrying capacity of RC wall under repeated impact loads for breakwater caisson)

学位論文内容の要旨

国土の四方を海で囲まれたわが国では、沿岸域で生活を営む国民の安全確保や船舶の安全な停泊を目的として、防波堤、岸壁、棧橋など数多くの港湾構造物が建設されている。港湾構造物では、波力が衝撃的に作用する、あるいは消波ブロック、船舶、漂流物などが衝突することによる衝撃力が発生し、これらによって損傷が生じる場合がある。わが国の最も一般的な防波堤構造形式の一つである消波ブロックで被覆されたケーソン式防波堤では、台風などの荒天時に消波ブロックが移動し、ケーソンの側壁に繰返し衝突することにより側壁に穴が開く場合があることが知られている。ケーソンの側壁に穴が開くと中詰材が流出することにより防波堤の重量が減少するため、防波堤の滑動に対する安全性が低下する恐れがある。ケーソンの側壁の穴あき現象は外海に面した国内の各港で発生しており、地域によっては頻発している場合もあるため、無視できない問題となっている。しかし、ケーソン式防波堤の設計では、波力を静的な分布荷重に置き換えて考え、部材の静的な耐力と比較して安全性を照査しているのが現状であり、消波ブロックの衝突による局所的な損傷は想定されていない。

一方、衝撃荷重が作用する土木・建築構造物に関する研究は古くから行われており、鉄筋コンクリート (以下、RC と呼ぶ) 構造物についても、衝撃荷重作用時の挙動が明らかになってきている。また、最近では、はりや版といった基本的な RC 部材に対する耐衝撃設計法を提案している研究成果もある。しかし、これらの研究の多くは落石や飛行機の衝突、爆発などの荷重について検討されたものであり、荷重が作用する回数が極めて少ない構造物を対象としている。消波ブロックで被覆されたケーソン式防波堤のように、衝撃荷重が繰返し作用する RC 部材については研究例が少なく、破壊性状すら十分に明らかにされていないのが現状である。したがって、衝撃荷重が繰返し作用する RC 部材の破壊メカニズムや耐荷性状を解明し、設計手法を確立することが課題となっている。

本研究は、消波ブロックが繰返し衝突する防波堤ケーソン側壁の耐衝撃性能を評価する方法を確立することを目的として、以下に示す項目に着目して検討を行ったものである。

- 1) 繰返し衝撃荷重を受ける RC 版の破壊性状の把握
- 2) 損傷を受けた RC 版に残存する押抜きせん断耐荷性能の把握
- 3) 繰返し衝撃荷重を受ける RC 版の押抜きせん断耐荷性能の評価方法の検討

本論文は、全 10 章で構成されており、各章の概要は以下のとおりである。

第 1 章では、本論文の序論として、研究の背景や目的、本論文の構成を示した。

第 2 章では、本研究の対象構造物である防波堤ケーソンをはじめ、衝撃荷重ならびに繰返し荷重が作用することが想定される RC 構造物の設計方法の現状を示すとともに、衝撃荷重を受ける RC

構造物を対象とした既往の研究について整理した。また、実際に被災した防波堤ケーソンの事例に対し、現行の設計方法および既往の研究による知見を用いて耐衝撃性能の評価を試みることにより、本研究の目的の達成には繰返し衝撃荷重を受ける RC 版部材の破壊性状を把握する必要があることを示した。

第 3 章では、衝撃荷重の繰返し作用により局部破壊に至る防波堤ケーソン側壁の破壊状況を適切に再現するための実験方法の検討を行った。検討では、実際に被災経験のある防波堤ケーソンの中から一般的な事例を選定し、その側壁を部分的にモデル化した RC 版に対して重錘を繰返し衝突させることにより破壊現象を再現することとし、適切な衝突条件について検討した。

第 4 章では、第 3 章で検討した実験条件をもとに、二辺支持 RC 版に対する繰返し衝撃実験を実施し、繰返し衝撃荷重の作用により押抜きせん断破壊に至る RC 版の破壊性状を把握した。また、鉄筋比、版厚およびコンクリート強度の相違、あるいはせん断補強筋の配置や PVA 短繊維補強コンクリートの使用といった諸元の異なる RC 版に対して同様の繰返し衝撃実験を行い、これらの諸元の相違が RC 版の破壊性状に及ぼす影響を明らかにした。さらに、実際の防波堤ケーソン側壁の背面には中詰材が存在することを踏まえ、RC 版の背面に砂層を設けた場合の繰返し衝撃実験を行い、砂層の存在が RC 版の破壊性状に及ぼす影響を把握した。

第 5 章では、第 4 章で把握した RC 版の破壊性状を踏まえ、第 2 章で試みた耐衝撃性能評価の妥当性を検証した。これより、繰返し衝撃荷重により損傷を受けた RC 版に残存する押抜きせん断耐衝撃性能を把握することが構造物の限界状態を設定する上で必要であることを明らかにした。

第 6 章では、第 5 章の検討を踏まえ、同一諸元の複数の RC 版に対して繰返し衝撃荷重により程度の異なる損傷を与え、それらに対して静的な載荷実験を実施することにより、繰返し衝撃荷重による損傷の蓄積に伴う RC 版の耐力の低下傾向を把握した。

第 7 章では、第 6 章で把握した RC 版の耐力の低下傾向と、防波堤ケーソン側壁に求められる性能を踏まえ、RC 版の安全性に対応する終局限界状態を設定した。また、終局限界状態に至るまでの衝突回数を評価する方法を提案した。

第 8 章では、第 7 章で提案した評価方法を防波堤ケーソン側壁の設計に適用する観点から、防波堤ケーソンの設計における耐衝撃性能照査の位置づけ、照査を行うために必要となる条件および具体的な照査の手順について提案した。さらに、実際に被災経験のある防波堤ケーソンに対して、耐衝撃性能の評価を行った。

第 9 章では、既設防波堤ケーソンにおいて壁厚や鉄筋比の増大を容易に行うことができない現状を踏まえ、中詰材を高圧噴射攪拌工法により改良固化することによる合理的な耐衝撃補強方法を提案した。また、補強構造を模擬した試験体に対して繰返し衝撃実験を実施し、補強効果を確認するとともに、第 7 章で提案した耐衝撃性能評価方法を応用し、提案した補強方法による補強効果の評価を試みた。

第 10 章は結論であり、本研究で行った検討と得られた結論を総括した。

学位論文審査の要旨

主査	教授	横田	弘
副査	教授	上田	多門
副査	教授	山下	俊彦
副査	教授	蟹江	俊仁
副査	准教授	佐藤	靖彦

学位論文題名

繰返し衝撃荷重が作用する防波堤ケーソン壁の 耐荷性能評価方法に関する研究

(Study on evaluation of load-carrying capacity of RC wall under repeated impact loads for breakwater caisson)

港湾構造物では、波力が衝撃的に作用する、あるいは消波ブロック、船舶、漂流物などが衝突することによる衝撃力が発生し、これらによって損傷が生じる場合がある。わが国の最も一般的な防波堤構造形式の一つである消波ブロックで被覆されたケーソン式防波堤では、台風などの荒天時に消波ブロックが移動し、ケーソンの側壁に繰返し衝突することにより側壁に穴が開く場合があることが知られている。ケーソンの側壁に穴が開くと中詰材が流出するため、防波堤の安全性が低下する恐れがある。このような穴あき現象は国内で頻発しているが、ケーソン式防波堤の設計では、消波ブロックの繰返し衝突による局所的な損傷は想定されていない。

一方、衝撃荷重が作用する土木・建築構造物に関する研究は古くから行われており、鉄筋コンクリート（以下、RC と呼ぶ）構造物についても、衝撃荷重作用時の挙動を明らかにし、はりや版といった基本的な RC 部材に対する耐衝撃設計法が提案されている。しかし、これらの研究の多くは、落石や飛行機の衝突、爆発など、荷重が作用する回数が極めて少ない構造物を対象としている。本研究のように、衝撃荷重が繰返し作用する RC 部材については研究例が少なく、破壊性状すら十分に明らかにされていないのが現状である。

以上を背景に、本論文は、消波ブロックが繰返し衝突する防波堤ケーソン側壁の耐衝撃性能を評価する方法を確立することを目的としている。

第 1 章では、本研究の背景や目的、本論文の構成を示している。

第 2 章では、衝撃荷重ならびに繰返し荷重が作用することが想定される RC 構造物の設計方法の現状を示すとともに、既往の研究について整理している。また、被災事例に対して現行の設計方法および既往の研究による知見を用いて耐衝撃性能の評価を試み、本研究の目的達成のための具体的な課題を明らかにしている。

第 3 章では、衝撃荷重の繰返し作用により局部破壊に至る防波堤ケーソン側壁の破壊状

況を適切に再現するための実験を行っている。実験では、実際に被災経験のある防波堤ケーソンから一般的な事例を選定し、その側壁を部分的にモデル化した RC 版に対して重錘を繰返し衝突させることにより破壊現象を再現するための適切な衝突条件について検討している。

第 4 章では、第 3 章で検討した実験条件をもとに、二辺支持 RC 版に対する繰返し衝撃実験を実施し、繰返し衝撃荷重の作用により押抜きせん断破壊に至る RC 版の破壊性状を把握している。また、鉄筋比、版厚およびコンクリート強度の相違、あるいはせん断補強筋の配置や PVA 短繊維補強コンクリートの使用といった諸元の異なる RC 版に対して同様の繰返し衝撃実験を行い、これらの諸元の相違が RC 版の破壊性状に及ぼす影響を明らかにしている。さらに、実際の防波堤ケーソン側壁の背面には中詰材が存在することを踏まえ、砂層の存在が RC 版の破壊性状に及ぼす影響を実験的に把握している。

第 5 章では、実験結果を踏まえ、第 2 章で試みた耐衝撃性能評価の妥当性を検証している。これより、繰返し衝撃荷重により損傷を受けた RC 版に残存する押抜きせん断耐荷性能を把握することが構造物の限界状態を設定する上で必要であることを明らかにしている。

第 6 章では、同一諸元の複数の RC 版に対して繰返し衝撃荷重により程度の異なる損傷を与え、それらに対して静的な載荷実験を実施することにより、繰返し衝撃荷重による損傷の蓄積に伴う RC 版の耐力の低下傾向を把握している。

第 7 章では、第 6 章で把握した RC 版の耐力の低下傾向と、防波堤ケーソン側壁に求められる性能を踏まえ、RC 版の安全性に対応する終局限界状態を設定している。また、終局限界状態に至るまでの衝突回数を評価する方法を提案している。

第 8 章では、第 7 章で提案した評価方法を整理し、防波堤ケーソンの設計における耐衝撃性能照査の位置づけ、照査を行うために必要となる条件および具体的な照査の手順について提案している。

第 9 章では、既設防波堤ケーソンにおいて適用可能性の高い耐衝撃補強工法として、中詰材を高圧噴射攪拌工法により改良固化する方法を提案している。繰返し衝撃実験を実施して補強効果を確認するとともに、本研究で提案した耐衝撃性能評価方法を応用し、補強効果の評価を試みている。

第 10 章では、本研究での知見を総括するとともに、今後の課題について言及している。

これを要するに、著者は、衝撃荷重が繰返し作用する RC 構造物の破壊メカニズムおよび耐荷性能を実験的に明らかにするとともに、実構造物の設計に適用できる耐衝撃性能の照査方法や補強方法を提案するなどの有用な新たな知見を得たものであり、今後のコンクリート構造工学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る。