

令和 4 年 5 月 27 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19K04617

研究課題名（和文）消波性能および海象条件の変化を考慮した消波ブロック被覆構造物の維持管理手法の提案

研究課題名（英文）Proposal of management technique for coastal and harbor structures covered with wave dissipating blocks including influence of change in wave climate and hydraulic performance of structures

研究代表者

荒木 進歩（Araki, Susumu）

大阪大学・工学研究科・准教授

研究者番号：80324804

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：消波ブロック被覆護岸に入射する高波浪により、消波ブロック被覆工の断面は変形する。断面の変形が進行するにつれて、越波量は増加の後、減少した一方、背後のケーソンへの作用波力は一様に増加を続けた。両者を勘案し、消波ブロック被覆工に中程度の変形が生じた段階で補修を行うことが適切と考えた。この補修基準によりライフサイクルコストを算定した。その結果、軽度の被災状態の段階で補修を行うよりライフサイクルコストが小さくなる結果が得られた。また、中程度の被災から初期断面の状態まで補修するのではなく、軽度の被災に相当する断面までの補修にとどめることによりライフサイクルコストを削減できることも示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

消波ブロック被覆工の断面変形等、外見上の変状ではなく、越波量抑制および作用波力軽減等の性能保持の観点から補修基準を設定してライフサイクルコストを算定し、効率的かつ合理的な維持管理について検討した点に本研究成果の学術的意義がある。

社会的意義としては、構造物の老朽化が進行し、かつ予算に限りがある現状において、軽微な損傷を早期に見出す予防保全より、中程度の被災の段階で補修を行う維持管理手法を採用することでコスト削減につながる可能性があることを示した点が挙げられる。

研究成果の概要（英文）：Wave dissipating work place in front of seawalls is deformed by high incident waves. Wave overtopping rate increased at the beginning of deformation of the wave dissipating work and decreased at a further stage of the deformation. Wave force acting on the seawall behind the wave dissipating work increased monotonically with the increase in the deformation of the wave dissipating work. These results showed that deformed wave dissipating work should be repaired at the stage of moderate deformation. The estimated life cycle cost showed that the repair at the stage of moderate deformation produced inexpensive cost better than the repair at the stage of slight deformation did. The estimated life cycle cost also showed that the partial repair in which profiles of wave dissipating work recover from moderate deformation to slight deformation produced inexpensive cost better than the repair in which profiles of wave dissipating work recover from moderate deformation to the initial profile did.

研究分野：水工学，海岸工学

キーワード：消波ブロック 越波 波力 変形 ライフサイクルコスト 維持管理

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

既設の海岸・港湾構造物の多くは高度経済成長期に建設されており、老朽化が進んでいる。国民の安全を確保し、被害を最小限に抑えるためには、老朽化した構造物に対して適切な維持管理を行い、構造物の性能を確保する必要がある。一方で、近年では地球温暖化によると考えられる台風の強大化など、これまで経験したことのない災害や将来の極大波高の増加に適応できるよう、構造物の性能をより確実に保持することが求められることになる。これらは、海岸・港湾構造物の老朽化が急速に進行していく状況において、今後の維持管理の重要性が増大することを意味している。

一般的には、被害が発生した後に補修を行う事後保全より、構造物を定期的に点検し、早めの補修を行う予防保全を実施するほうが、ライフサイクルコストを低く抑えることができるとされている。しかし、予防保全においては、構造物の性能面としては十分に安全が確保されているにも関わらず補修を行うことにより、逆に予算を浪費している可能性がある。予防保全が真に有効な維持管理手法であるのか検証が必要である。

2. 研究の目的

本研究の目的は、消波ブロックで被覆された海岸・港湾構造物を対象とし、性能保持の観点から補修基準を設定し、海象条件の変化を考慮した効率的かつ合理的な維持管理手法を提案することである。

海岸・港湾構造物の維持管理手法において、許容する構造物の損壊の程度を性能面から決定する研究、および地球温暖化に伴うと考えられる海象条件の悪化を考慮した維持管理に関する研究例はなく、独創的である。本研究で対象とする護岸や防波堤の消波ブロック被覆工は、護岸や防波堤の本体構造物に作用する波力を低減することで本体構造物を保護し、越波量を低減することで構造物全体の性能を向上する等の役割を担っている。この消波ブロック被覆工の被災についての検討は数多く実施されているが、許容される損壊の程度や、ライフサイクルコストを考慮した補修基準(更新時期)を検討した事例はないため、これらを導入することにより構造物の維持管理の改善に資することが期待される。また、既設の海岸・港湾構造物は急速に老朽化が進んでおり、予算に限りがある現状において、効率的かつ合理的な維持管理手法を提案することは喫緊の課題である。地球温暖化の影響を取り込むことにより、長期的な安全性を確保する維持管理手法の提案を目指す本研究は、社会の要請に大きく貢献する。

3. 研究の方法

本研究は以下の(1)～(4)に示す方法で実施した。

(1) 消波ブロック被覆工の変形に伴う越波量、波力の変化

断面 2 次元水路内に消波ブロック被覆護岸の模型を作成し、越波量および消波ブロック被覆工背後のケーソンに作用する波力を測定した。消波ブロック被覆工は建設当初の初期断面に加え、被災の程度に応じた数種類の被災断面を設定し、各断面における越波量と作用波力を測定することにより、消波ブロック被覆工の変形に伴う越波量の変化、および背後のケーソンに作用する波力の変化を明らかにした。消波ブロック被覆工の被災断面は、既往の実験結果をもとに設定した。入射波は、越波量測定においては不規則波、背後のケーソンに作用する波力測定においては規則波および不規則波とし、波高(有義波高)および周期(有義波周期)を数種類変化させた。越波量は、越波水を導水路で越波弁に導き、その水量を測定した。ケーソンに作用する波力はケーソン模型下部に取り付けた分力計により測定した。

(2) 消波ブロック被覆工の補修限界基準の設定

水理実験により明らかになった消波ブロック被覆工の断面変形、越波量の変化、背後のケーソンに作用する波力の変化から、消波ブロック被覆工の補修の限界基準を設定する。この補修限界基準は消波ブロック被覆工の変形量の大きさのみで決めるのではなく、後背地の被害につながる越波量の変化、およびケーソンの損傷につながる作用波力の変化を指標とした、消波ブロック被覆工の性能保持の観点から設定した。

(3) 消波ブロック被覆工の補修費用の算定

越波量低減および波力低減の性能が低下した消波ブロック被覆工の補修費用を算定した。補修費用は、被災断面と復旧断面の差に相当する消波ブロックの個数を求めて、消波ブロックの単価を乗じることにより算出した。復旧断面は初期断面だけでなく、軽度の被災断面まで復旧するケースも設定して補修費用を算出した。軽度の被災断面を復旧断面に加えた理由は、この断面においては性能の低下はわずかであるため、1回あたりの補修費用を軽減することにより、次のステップにおいて算出するライフサイクルコストの削減の可能性を検討するためである。

(4) 以上を統合した維持管理手法を提案

消波ブロック被覆工のライフサイクルコストをモンテ・カルロ・シミュレーション（5000回の試行の平均）により、以下の手順で算定した。

消波ブロック被覆護岸に襲撃する波浪（沖波）の出現確率分布をワイブル分布と仮定し、これに従うように発生

発生させた襲撃波浪に対して生じる消波ブロック被覆工の被災断面を決定

消波ブロック被覆工の被災断面から越波量、および背後のケーソンに作用する波力を算定

補修基準を設定し、その補修基準に達した場合には補修費用を計上

社会的割引率を0.04と仮定し、襲撃波浪の発生から供用終了（50年）までを繰り返すことにより、ライフサイクルコストを算定

以上のように算定法を、複数の補修基準、および複数の復旧断面に対して適用し、ライフサイクルコストの観点から補修基準と復旧方法を検討した。

4. 研究成果

(1) 研究の主な成果

消波ブロック被覆工の変形に伴う越波量の変化

施工時の初期断面と、消波ブロック被覆工の変形量を3または4段階に変化させた被災断面1～4の5断面に対して越波流量（単位幅、単位時間当たりの越波量）を測定した。同一の入射波高に対して、変形が中程度の被災断面2あるいは3において越波流量が最大になるケースが多く、変形量が最大の被災断面4では越波流量が小さくなった。これは、被災断面4では消波ブロック被覆工の天端の低下により消波ブロック背後のケーソン壁面の露出が大きくなるため、入射波の水塊が構造物背後（＝越波）ではなく、鉛直上方に打ち上がる割合が増加したためと考えられる。これにより、消波工の変形が進行しても越波量が増加し続けるわけではないことが示された。

さらに、入射波条件および消波ブロック被覆工断面から越波流量を算定する簡易モデルを提案した。算定モデルは消波ブロック被覆工前面での入射波高、斜面および天端の長さをパラメータとして入力し、透水や摩擦等の考慮は十分ではないものの、初期断面および被災断面において実験で測定された越波流量をまずまずの精度で算定可能であること、および消波工断面の変形に伴う越波流量の変化の傾向を再現可能であることを確認した。

消波ブロック被覆工の変形に伴うケーソンへの作用波力の変化

越波流量（単位幅、単位時間当たりの越波量）は消波ブロック被覆工の変形が中程度の被災断面2において最大となるケースが多かったのに対し、ケーソンへの作用波力は消波工の変形が進行するにつれて増加し、変形が最も大きい被災断面4において最大となるケースがほとんどであった。これは、での説明と同様に、被災の程度が大きくなると消波ブロック被覆工の天端の低下によりケーソン壁面の露出が大きくなり、砕波直後の入射波が直接、ケーソンに作用するようになるためである。ケーソンおよび消波ブロック被覆工の天端を低くした堤体においては、天端が高い堤体に比べて越波流量は多くなり、無次元化した作用波力は小さくなった。これは天端が低い堤体では、入射波のエネルギーのより多くの部分を越波として背後に伝達するため、消波ブロック被覆工背後のケーソンに作用する波力が小さくなったと考えられる。

補修基準とライフサイクルコスト

消波ブロック被覆工の変形に伴う越波流量およびケーソンへの作用波力の変化に関する実験結果からは、消波ブロック被覆工の変形が中程度の被災断面2で補修を行うことが適切であると考えられる。

一方で、ライフサイクルコストは、被災断面2以外の断面まで変形が達した際に補修を行うケースについても算定を行った。本研究におけるライフサイクルコストには、越波流量の増大により生じる後背地での被害額、および作用波力の増大によりケーソン生じる損傷の補修費は考慮できていないものの、軽度の被災である被災断面1の段階で補修を行うより、中程度の被災である被災断面2の段階で補修を行うことにより、ライフサイクルコストが小さくなることが示された。被災断面2は、静水面上での消波ブロック被覆工の幅が初期断面の半分の状態として定義しているため、静水面上での消波ブロック被覆工の幅を補修の目安とすることが可能である。また、被災断面2で補修を行う際、初期断面まで復旧するのではなく、軽度の被災断面に相当する被災断面1まで復旧することにより、供用年数全体のライフサイクルコストが小さくなることも示された。

また、ライフサイクルコストの算定において考慮する段階までには至らなかったが、気候変動に伴って入射波浪の出現確率分布が変化し、確率分布関数として用いられるワイブル分布の位置母数および尺度母数が今後、経年的に変化していく結果も得られた。

(2) 得られた成果の国内外における位置づけとインパクト

既設の海岸・港湾構造物の老朽化が急速に進行しており、かつ予算に限りがある現状を勘案すると、構造物の性能が確保されていることを十分に確認した上で効率的かつ合理的となるよう、ライフサイクルコストの観点から維持管理手法を提案した本研究の成果は、社会の要請に応え

るものであると考えられる。また、後背地の被害額やケーソン損傷の補修費用が考慮できていない等の改善すべき点は残るものの、本研究で算定されたライフサイクルコストの結果からは、構造物の長寿命化には有効とされ、軽微な損傷を早期に発見して補修を行う予防保全よりも、中程度の被災状況に達した段階で補修を行うほうがライフサイクルコストを小さくできる可能性が示された。予防保全は重要な概念であり否定されるものではないものの、すべての構造物に対して予防保全を適用するような一辺倒ではなく、構造物の種類、重要度、残りの供用年数等に応じて、補修の戦略を立案する必要があると言える。

(3) 今後の展望

気候変動による海面上昇や台風の強大化などが懸念され、国土の保全の脅威となっている。それは入射波浪の出現確率分布の変化となって現れ、前述の通り、本研究のライフサイクルコスト算定において、入射波の出現確率分布としたワイブル分布の位置母数および尺度母数も、今後の気候変動により変化することが研究結果により明らかになっている。本研究での消波ブロック被覆工のライフサイクルコスト算定には、ワイブル分布の位置母数および尺度母数の経年変化は含まれていなかったが、今後、この変化を考慮してライフサイクルコストを算定することは可能である。気候変動下での消波ブロック被覆工のライフサイクルコストを算定し、より適切で合理的な補修戦略の立案につなげることができると考えられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 澁谷容子, 神田泰成, 西尾彰文, 荒木進歩, 久保田真一, 小竹康夫	4. 巻 78
2. 論文標題 消波工の断面形状の変化および堤体天端高が 波力低減効果に与える影響	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 土木学会論文集B3 (海洋開発)	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Araki Susumu, Kotake Yasuo, Kubota Shin-ichi, Shibutani Yoko, Kawauchi Yuka, Yamamoto Fumika	4. 巻 114
2. 論文標題 Wave Overtopping Rate on Vertical Seawall with Deformed Wave Dissipating Work	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Coastal Research	6. 最初と最後の頁 176-180
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2112/JCR-SI114-036.1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 澁谷容子, 山本郁佳, 荒木進歩, 久保田真一, 小竹康夫	4. 巻 77
2. 論文標題 低天端海洋構造物における消波工の断面形状の変化が波力低減効果に与える影響	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 土木学会論文集B3 (海洋開発)	6. 最初と最後の頁 I_253 ~ I_258
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejoe.77.2_I_253	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 SHIBUTANI Yoko, KOTAKE Yasuo, ARAKI Susumu	4. 巻 75
2. 論文標題 A STUDY ON EXPECTED DAMAGE AND LIFE CYCLE COST OF STRUCTURES CONSIDERING WAVE EXTREME VALUE DISTRIBUTION	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. B3 (Ocean Engineering)	6. 最初と最後の頁 I_917 ~ I_922
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejoe.75.I_917	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 西尾彰文
2. 発表標題 設計時の天端高が異なる消波ブロック被覆工における断面変形と越波流量の関係
3. 学会等名 2022年度土木学会関西支部年次学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 木場聖也
2. 発表標題 高波浪により変形した消波工を有する護岸の越波および作用波力特性
3. 学会等名 第68回海岸工学講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 木場聖也
2. 発表標題 種々の消波工断面を有する消波ブロック被覆護岸の越波量特性
3. 学会等名 2021年度土木学会関西支部年次学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Susumu Araki
2. 発表標題 Wave Overtopping Rate on Vertical Seawall with Deformed Wave Dissipating Work
3. 学会等名 International Conference on Aquatic Science and Technology (国際学会)
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	小竹 康夫 (Kotake Yasuo) (70599472)	東洋建設株式会社(総合技術研究所)・鳴尾研究所・副所長 (92642)	
研究 分担者	澁谷 容子 (Shibutani Yoko) (10632482)	東洋建設株式会社(総合技術研究所)・鳴尾研究所・主任 研究員 (92642)	

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 協力者	久保田 真一 (Kubota Shin-ichi)	株式会社不動テトラ・総合技術研究所・副所長	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------