

平成21年 5月18日現在

研究種目： 若手研究(B)
 研究期間： 2007～2008
 課題番号： 19760340
 研究課題名(和文) 消波ブロック被覆堤の最適な維持補修計画に関する研究
 研究課題名(英文) Optimum Repair Plan for Caisson Breakwaters Covered with Wave-dissipating Blocks
 研究代表者
 荒木 進歩 (ARAKI SUSUMU)
 大阪大学・大学院工学研究科・准教授
 研究者番号： 80324804

研究成果の概要： 一定期間内での消波ブロック被覆堤の被覆ブロックの補修費と、後背地で発生する被害額の算定を行った。消波ブロック被覆堤は被害を受けた場合においても性能の低下が緩やかであり、補修基準を厳しくすると堤体の補修費が急激に増大する一方、補修基準を緩やかにしても後背地の被害額の増加はそれほど大きくないことが分かった。また、被覆工の消波ブロックの質量を小さくすると補修費用は増加するものの、背後での被害額には大差がないことも分かった。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,700,000	0	1,700,000
2008年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,300,000	180,000	2,480,000

研究分野： 工学

科研費の分科・細目： 土木工学・水工水理学

キーワード： 海岸，港湾，ライフサイクルコスト，コスト削減，維持補修

1. 研究開始当初の背景

既存の海岸・港湾施設には建設後30年以上を経過したものが増加してきている。老朽化した施設では防護性能の低下が顕著になるため、適切に維持補修を行うことにより、その性能を一定水準以上に保つ必要がある。一般的には、定期的な維持管理が構造物の性能低下を抑えることにつながると考えられているが、維持補修に費やすことのできる予算にも限りがあるため、効率的な維持補修計画を立てる必要がある。

また一方で、海岸・港湾施設の初期建設費が膨大であるため、耐用年数を超えた構造物がそのまま供用され続けることもある。構造物の延命化を図るためにも定期的な維持管理は必須であるが、やはり予算に限りがある以上、効率的な維持補修計画を立てる必要がある。

効率的な維持補修計画を立てるための方策として、構造物のライフサイクルコストを考え、ライフサイクルコストを最小化することが考えられる。海岸・港湾構造物に対して

ライフサイクルコストの概念の導入を提唱した論文は 1990 年代後半から徐々に発表されている。これらの論文では、主に防波堤ケーソンの滑動・転倒や、ケーソンや防潮堤などのコンクリート部材のひび割れ等による劣化を対象としている。

ケーソンは主要な防波堤の形式であるが、海岸・港湾構造物としては捨石や消波ブロックも重要な構成要素である。捨石や消波ブロックは、離岸堤や人工リーフの構成材として用いられ、海浜の保全に貢献し、また、ケーソンの前面部に消波ブロックを投入した消波ブロック被覆堤としてケーソンに直接、強大な波力が作用するのを防ぐ重要な役割を担っている。近年では構造物の性能を明示する性能設計が叫ばれているが、既往のライフサイクルコストに関する研究では力の静的な釣り合いだけでケーソンの安定・不安定（被災）を判定している例が多く、被災の判定は可能であっても被災の程度は評価できないため、復旧費用の程度の算定が十分であるとは言えない。

2. 研究の目的

本研究では、消波ブロック被覆堤を対象とし、消波ブロックの移動という観点ではなく、消波ブロック層の変形に伴う消波性能の低下という観点から構造物の被災（＝要補修）の判定を行うライフサイクルコスト算定モデルの構築を目指す。被災判定の指標として、構造物の性能低下を用いることを考えているが、これは性能設計の概念を取り入れたものである。構造物が保持している性能に基づいて被災判定を行わないことは、それが無駄な補修を行っていることにつながると考えられるからである。

このライフサイクルコスト算定モデルを用いて、種々の条件に対して補修費用が最小となる最適な補修計画の設定法の検討を行う。これにより、効率的な補修計画の立案が可能になると考えられる。

3. 研究の方法

消波ブロック被覆堤の被災を構造物の性能低下から判定するため、「入射波による被覆工の被災程度の算定」および「被覆工が被災した堤体背後への伝達波高の算定」を行う必要がある。これらは既往の研究成果を利用して検討を行った。

入射波による被覆工の被災程度の算定は、高橋ら¹⁾が提案した消波ブロックの安定質量算定式を用いた。この算定式は入射波高、入射波の作用波数、許容される被覆工の変形量等から消波ブロックの安定質量を算定する実験式であるため、これを逆算する形で入射

波高、入射波の作用波数、使用されている消波ブロックの質量から変形量を算定した。

被覆工が被災した堤体背後への透過波高の算定は、上久保ら²⁾が提案した消波工の天端高さとケーソンの天端高さが異なる消波ブロック被覆堤の堤体背後への波高伝達率算定式を利用した。この算定式は、直立部と消波工の天端高さが異なる消波ブロック被覆堤を設計するための実験式であり、前提条件がやや異なり、また適用範囲も十分には明らかにはなっていないが、本研究にも適用できるものと考えた。

次に一定期間内での総補修費用の算定を行った。本研究は既存の構造物に対して今後の最適な補修計画を検討するものであるため、初期建設費は含めず、維持補修に要する費用のみを考慮する。このような意味合いから、本研究でのコストを「一定期間内での総補修費用」と呼ぶ。ただし、費用の算定手法はライフサイクルコストの算定と同様である。

総補修費用は、消波ブロック被覆工の変形を補修する「補修費」と、堤体の後背地で発生する「被害額」の和で算定されると考えた。補修費の額は、構造物の性能低下をもとに考える本研究の方針から、堤体背後の伝達波高の大きさにより算定されるべきものであるが、被覆工の変形量が大きくなれば堤体背後への伝達波高も大きくなるのは明らかであると考え、補修費は被覆工の侵食面積に比例するものとした。後背地での被害額は、後背地の利用状況等により大きく異なるので、ここでは簡単のために、堤体背後への伝達波高の大きさに比例するものとした。なお、堤体の補修は原形復旧とし、消波機能も建設当初の状態まで回復するものと仮定した。また、堤体直立部は被害を受けず、滑動もしないものと仮定した。

一定期間内の総補修費用の算定はモンテカルロ法により行った。堤体が被災する可能性があるのは年1回とし、年最大波を検討に用いた。年最大波の発生は、日本の沿岸域で測定されたデータから算定した出現確率分布により行った。この年最大波により、消波ブロックが被災するか否か、また被覆工の補修基準に達しているか否かを判定し、さらに堤体背後への伝達波高を算出し、後背地での被害発生基準に達しているか否かを判定した。補修基準および被害発生基準を超えている場合は、それぞれの額を総補修費用として算定した。この計算を一定期間（例えば、この先の20年）繰り返し、さらに多数回の試行を行った後、平均を取ることで、総補修費用を算出した。

- 1) 高橋重雄, 他7名: 期待被災度を考慮した消波ブロックの安定重量 - 消波ブロック被覆堤の設計法の再検討, 第1報一,

港湾空港技術研究所報告, 第 37 巻, 第 1 号, pp. 3-32, 1998.

- 2) 上久保勝美, 他 4 名: 消波工と本堤工の天端高さが異なる消波ブロック被覆堤の水利特性, 海岸工学論文集, 第 48 巻, pp. 706-710, 2001.

4. 研究成果

消波ブロック被覆堤は被害を受けた場合においても性能の低下が緩やかであり, 補修基準を厳しくすると堤体の補修費が急激に増大する一方, 補修基準を緩やかにしても後背地の被害額の増加はそれほど大きくないことが分かった.

図-1 に, 消波ブロックの質量 20t で, 後背地での被害発生限界を $H_{tc}/h_c = 0.44$ としたときの今後 20 年間の消波工の補修費用 C_r , 後背地で発生する被害額 C_d , および両者の和で表される総補修費用 C_t を示す (H_{tc} : 後背地での被害発生の際に相当する堤体背後への伝達波高, h_c : 堤体直立部の天端高さ). 横軸は消波工の補修基準を表す h_{CBC} をケーソンの天端高さ h_c で除した無次元の堤体補修基準である. 消波工の補修基準を緩やかにする (h_{CBC} の値を小さくする) と, 消波工の天端が沈下しても補修基準値以内であれば補修は行われなため, 点線で示される消波工の補修費は減少し, 逆に破線で示される後背地での被害額は緩やかに増加する傾向が示されている. その結果として両者の和である総補修費用は, 消波工の補修基準の値を小さくしていくと緩やかに変化し, $h_{CBC}/h_c = 0.6$ 付近で最小となる.

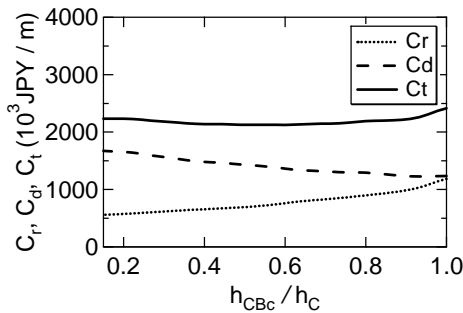


図-1 消波工の補修費用 C_r , 後背地で発生する被害額 C_d , および両者の和で表される総補修費用 C_t の変化

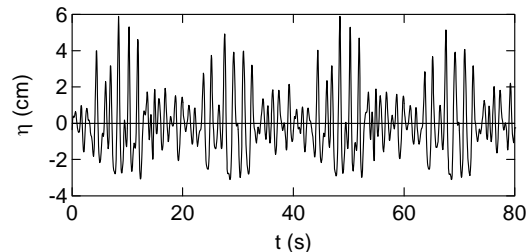
大まかな傾向としては, 頻繁に補修をするより補修基準の値を下げて補修回数を少なくするほうが総補修費用が小さくなった. これはやや現実的ではない結果であるが, 消波工が多少変形しても消波ブロック被覆堤の消波性能は粘り強く発揮されることを表している. ただし, 実際には, ケーソンのコン

クリートの劣化, 消波ブロックの摩耗, ケーソンの滑動等にも注意を払う必要があり, 完全に補修が不要ということにはつながらない.

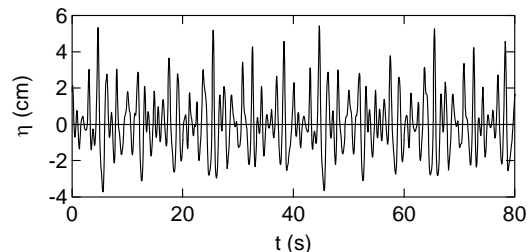
また, 被覆工の消波ブロックの質量を小さくすると補修費用は増加するものの, 背後での被害額には大差がないことも分かった.

また, 波群特性により消波工の変形量が変化する. 有義波諸元が同一であっても, 高波が連続して来襲する場合は, 高波が散発的に来襲する場合よりも被覆工の変形量が大きくなり, したがって, 背後への伝達波高も大きくなり, 総補修費の算定額にも影響を及ぼす. これについては実験的に検討を行った.

図-2 に, 有義波高および有義波周期が同一であるが, 高波の来襲特性 (波群特性) が異なる入射波 (実験波) の時系列を示す. (a) は高波が連続して来襲する入射波, (b) は高波が散発的に来襲する入射波である.



(a) 高波が連続して来襲する入射波

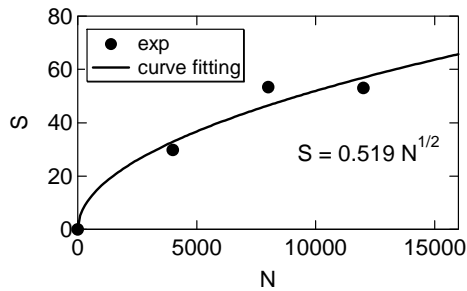


(b) 高波が散発的に来襲する入射波

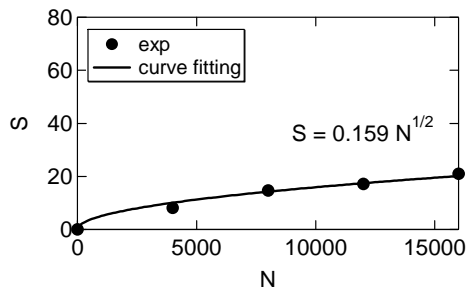
図-2 波群特性の異なる 2 つの入射波

図-3(a) および (b) に, それぞれ図-2(a) および (b) の実験波が入射したときの, 堤体の変形量を示す. S は消波工の変形量, N は入射波の作用波数である. 同一の作用波数 N に対して, (a) の高波が連続して入射するほうが, はるかに堤体の変形量が大きくなっていることが分かる. また, 図示しないが, これにより, (a) の場合のほうが堤体背後への伝達波高も大きくなっていることが実験結果として示されている.

現在, 海岸・港湾構造物の適切な維持補修は喫緊の課題である. しかし, どのタイミングでどのような補修を行うかの指針はない. 本研究の成果は, 防波堤堤体の補修基準を変化させたときの総補修費用を算定したもの



(a) 高波が連続して来襲する入射波



(b) 高波が散発的に来襲する入射波

図-3 堤体変形量と入射波の作用波数

であり、補修基準設定の目安にすることが可能と考えられる。さらに、総補修費用の算定に用いている2つの基準（堤体の補修基準および後背地での被害発生限界）は、消波性能の低下の程度に基づいて設定した場合の総補修費用を算定したものであり、性能が十分に保持されているにもかかわらず、補修を行うといった無駄も排した検討となっている。したがって、限られた予算の中で効率良く、かつ適切な維持補修計画の立案に役立つものと考えられる。

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計7件）

- ① 荒木進歩, 出口一郎, 消波ブロック被覆堤の合理的な補修計画の立案に向けて, 海洋開発論文集, Vol. 25, (印刷中), 2009, 査読有り
- ② Susumu Araki, Ichiro Deguchi, Estimation of Repair Cost for Caisson Breakwaters Covered with Wave-dissipating Blocks, Proceedings of the 19th International Offshore and Polar Engineering Conference, (in press), 2009, 査読有り
- ③ Susumu Araki, Ryuta Tanaka, Gou Urai, Ichiro Deguchi, Estimation of Repair Cost and Optimum Repair Plan for

Rubble Mound Breakwater, Proceedings of Coastal Structures 2007, Vol. II, pp. 1830-1841, 2009, 査読有り

- ④ Susumu Araki, Gou Urai, Hirotohi Makino, Mamoru Arita, Ichiro Deguchi, Optimum Repair Plan for Detached Breakwaters Including Influences of Wave Grouping Characteristics of Incident Waves, Proceedings of the 31st International Conference on Coastal Engineering, (in press), 2009, 査読有り
- ⑤ Susumu Araki, Ichiro Deguchi, Advances in Hydro-Science and Engineering, Vol. VIII, CD-ROM, 2008, 査読有り
- ⑥ 荒木進歩, 出口一郎, 期待総補修費用の算定に基づく質量を割増した被覆石による堤体補修の検討, 海洋開発論文集, Vol. 23, pp. 351-356, 2007, 査読有り
- ⑦ 荒木進歩, 浦井剛, 牧野宏俊, 有田守, 出口一郎, 波群特性の差異を考慮した離岸堤の総補修費用の算定, 海岸工学論文集, 第54巻, pp. 956-960, 2007, 査読有り

〔学会発表〕（計1件）

- ① 発表者：牧野宏俊, 連名者：浦井剛, 荒木進歩, 有田守, 出口一郎, 波の連特性が離岸堤の堤体変形および透過波高に及ぼす影響, 平成19年度土木学会関西支部年次学術講演会, 2007年5月26日, 大阪大学

6. 研究組織

(1) 研究代表者

荒木 進歩 (ARAKI SUSUMU)

大阪大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：80324804

(2) 研究分担者

(3) 連携研究者