

令和 5 年 6 月 20 日現在

機関番号：10103

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20K04697

研究課題名(和文) 消波護岸の波浪による摩耗プロセスの解明とその抑止システムの構築

研究課題名(英文) Abrasion damage process of wave-dissipation seawalls due to wave action and the countermeasures.

研究代表者

木村 克俊 (Kimura, Katsutoshi)

室蘭工業大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：70322873

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)：これまで我が国においては、臨海部を高潮や高波の脅威から守るため、各種の消波護岸が整備されてきた。しかしながら近年、波浪に連行される石材の衝突によって生ずるコンクリート部材の摩耗被害が顕在化しており、その対策が急務となっている。本研究では、消波護岸として我が国で一般的な、消波ブロック被覆型護岸、直積ブロック式護岸およびスリット式護岸の3種類の構造形式を対象として、石材が連行された波浪の作用によるコンクリート部材の摩耗プロセスを解明した。さらに、こうした変状に対応した応急復旧と恒久対策を講じるための具体的な工法を提案するとともに、現地においてその効果を確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまで護岸等の海岸構造物の耐波設計においては、合田式により波力を算定し、ハドソン式により被覆材の安定性を評価する手法が確立している。しかしながらこれらは流体としての水による効果に関する検討である。本研究においては、石材を連行した流体運動がコンクリート構造物に及ぼす影響を評価したことに学術的な意義がある。我が国で一般的な3種類の消波護岸の構造形式に対して、具体的な応急復旧と恒久対策を提案し、現地においてその効果を検証したことは、今後、波浪によるコンクリート構造物の摩耗に対して、予防保全技術の確立する上での社会的な意義が大きい。

研究成果の概要(英文)：In Japan, various types of wave-dissipating seawalls have been constructed to protect coastal areas from the threat of storm surges and high waves. In this study, three types of seawall structures commonly used in Japan, such as block armor-type, block masonry-type and slit-type, were investigated. We elucidated the abrasion process of three structural types, and proposed emergency restoration and permanent measures to deal with such deformation. Based on the field observation data, we also confirmed their effectiveness.

研究分野：工学

キーワード：消波護岸 波浪 摩耗被害 ハイブリッド型防護工 超高強度繊維補強コンクリート

1. 研究開始当初の背景

高潮や高波の脅威から背後施設を守るための基本施設である護岸等の海岸構造物の耐波設計においては、合田式により波力を算定し、ハドソン式により被覆材の安定性を評価する手法が確立している。しかしながらこれらは流体としての水による効果に関する検討であり、石材を連行した波浪の構造物への影響は考慮されていない。これまで発生した波浪による重大災害の中には、被災原因が十分説明できない事例があり、その中には石材を連行した波浪現象が要因と考えられるものが少なくない。

これまで水利施設の摩耗対策として材料工学分野の研究例は多いが、海岸工学分野ではこうした研究例は少なかった。また海岸工学で扱ってきた波浪による石材の挙動は、安定限界が中心であり、石材の移動速度や移動範囲は十分に把握できていなかった。

2. 研究の目的

現地においては写真-1に示すように粗石を連行した波浪による摩耗被害が顕在化している。本研究の目的は、消波ブロック被覆型護岸、直積ブロック式護岸およびスリット式護岸の、合計3種類の構造形式を対象として、波浪による摩耗に対する予防保全技術の確立を目指すものである。

本研究では、地質学により分類された直径75~300mmの石材である「粗石」を対象として、これらがコンクリート部材に衝突し摩耗を発生させるプロセスを解明するとともに、波の不規則性や出現確率を考慮した上で対策工の耐久性を評価することを目的とした。

3. 研究の方法

本研究では2次元造波水路（長さ24m×幅0.6m×深さ1.0m）を使用して、図-1に示すように、スリット式護岸を縮尺1/20で再現した。マウンド部を3色に彩色した粗石模型を配置して、粗石の質量、水深、波高および周期を変化させた不規則波による移動実験を行い、スリット部材への衝突回数を求めるものである。

粗石の衝突に関する実験では、2次元可傾斜水路（長さ20m×幅0.6m×深さ0.5m）において、縮尺1/8の大型模型を用いて粗石の衝突力を測定した。水槽内には図-2に示すように円柱スリットを3本設置し、中央部で波力を測定し、左側のスリット内に1分力計を埋め込んでいる。両者の時間波形を比較することにより、粗石による衝突力を分離した。



写真-1 各種護岸形式における摩耗状況

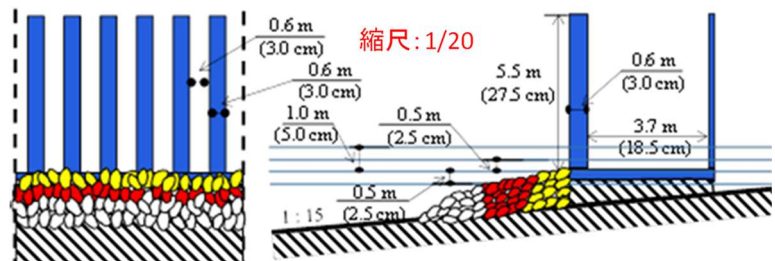


図-1 粗石の移動に関する再現実験

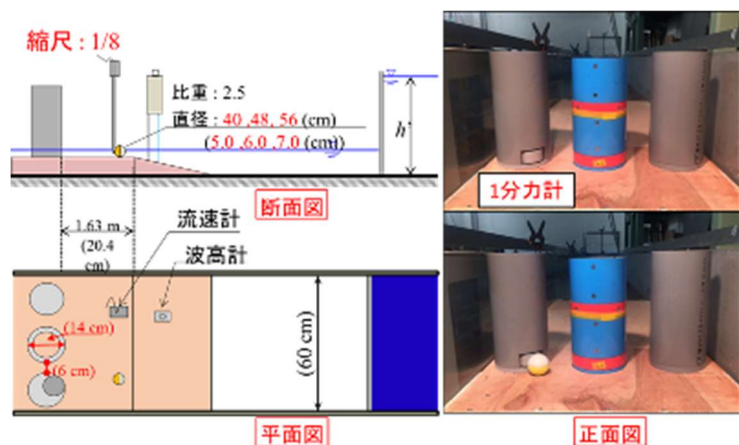


図-2 粗石の衝突に関する再現実験

4. 研究成果

(1) 摩耗被害の発生パターン

北海道の太平洋側の渡島小島漁港は海底勾配1/7のリーフ上に消波ブロック被覆型護岸が設置されている。現地においては、直径30cm～150cm程度の石材が存在し、その衝突によって消波ブロックの摩耗が急速に進行したものと考えられている。これまで漁港管理者によって消波ブロックの補充が行われてきたが、そのたびに消波ブロックの摩耗による消失が繰り返されてきた。さらに消波ブロック消失後に、波浪により転動した石材が直立壁に衝突し、複数箇所で陥没が生じていることが明らかとなった。

国道336号モイケシ海岸における直積ブロック式護岸では、直径10～20cmの石材の衝突により、5～8cm/年のペースで摩耗が進行し、施工後15年で最下段のブロックが大きく欠損した。直積ブロック式護岸では、波浪により転動した粗石が最下段のブロックに衝突し、非常に急速に摩耗が進行することが明らかになっている。

国道229号雷電海岸に建設されたスリット式護岸においては、施工後およそ30年経過した施設で摩耗により鉄筋が露出しており、スリット柱の前面側の摩耗速度はおよそ1cm/年であった。

消波護岸のタイプごとの摩耗被害の発生パターンを図-3に示す。いずれも摩耗による局所的な変状が護岸全体の崩落につながり、越波増大によって背後地における利用障害にまで影響が及んでいる。

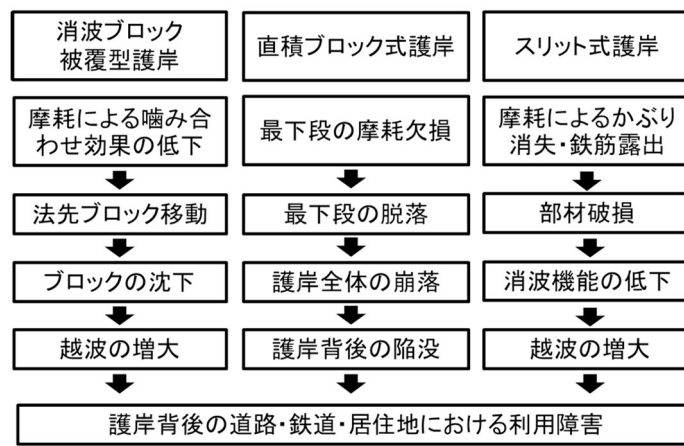


図-3 消波護岸における摩耗被害の発生パターン

(2) コンクリート部材の摩耗の進行速度

コンクリートの摩耗量 AD_M は、豊福ら（1998）が室内実験結果に基づいて提案した以下の算定式により求めた。

$$AD_M = 10^{-2.2347} \cdot N^{0.5504} \cdot M_L^{0.4709} \cdot u_s^{1.2030} \cdot f_c^{-0.5074}$$

ここで、 N は衝突回数、 M_L は粗石の質量、 u_s は粗石の衝突速度、 f_c はコンクリートの圧縮強度を表わしている。対象とする粗石の質量に対して、水理模型実験結果から衝突回数 N および衝突速度 u_s を求めた。

図-4に、国道229号雷電海岸に設置された施工後30年経過したスリット式護岸の累積摩耗量の計算結果を示す。なお波浪データは近隣ナウファス測点における2時間毎の実測値を用いている。現地においては施工後14年目と27年目に摩耗量の調査を行っているが、コンクリートの強度を 40N/mm^2 とした場合の推定累積摩耗量と概ね一致していることがわかる。

さらに直積ブロック式護岸についても、同様の手法により累積摩耗量の経年変化を求めた。

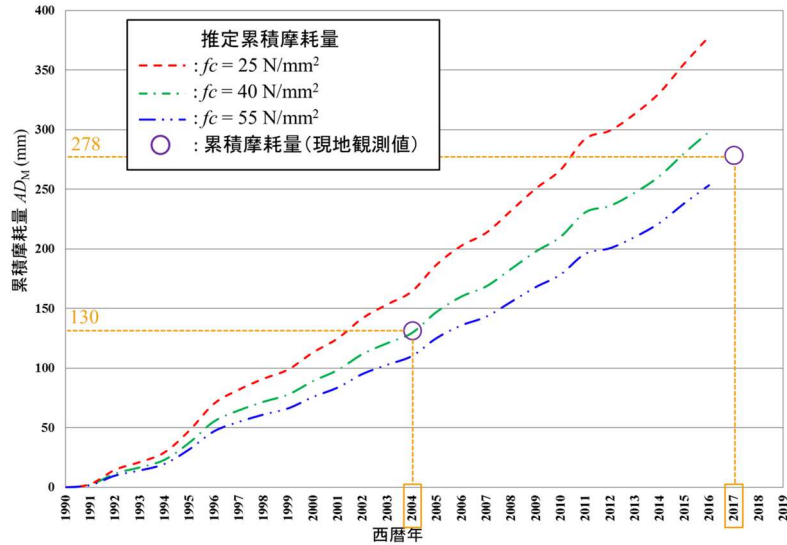


図-4 累積摩耗量の経年変化

(3) 応急復旧工法

スリット式護岸に対しては、応急復旧工法として、図-5に示すように摩耗部分にコンクリートを充填し、その前面に消波ブロックを設置した場合の効果をも、越波実験により確認した。

直積ブロック式護岸に対しては、図-6に示すように磨耗が進行した下部2段にコンクリートを充填し、越波対策として、護岸上に越波防災柵を設置することの効果を検証した。さらに、仮設構造物として越波防止柵を設置した場合の滑動安定性の評価手法を提案した。

(4) 恒久対策工法

消波ブロック被覆型護岸については、消波ブロックの摩耗により噛み合わせ効果が低下することを定量的に評価した。さらに消波ブロックを保護するために法先部に設置する根固工の耐波安定性について水理模型実験と数値解析を行い、必要諸元の算定法を提案した。

スリット式護岸については、従来の角型スリットに比べて摩耗が生じにくい円柱スリットを

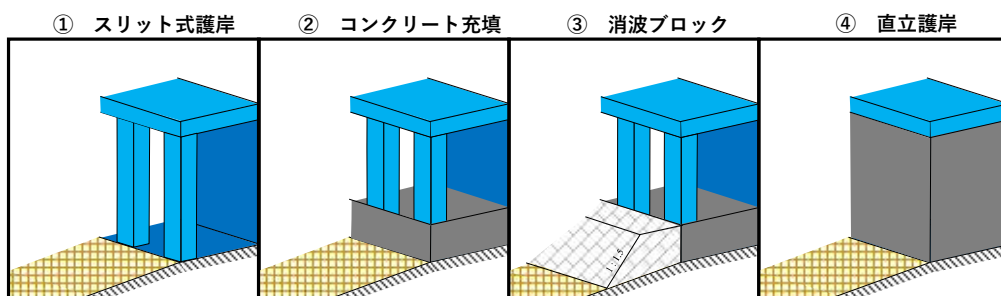


図-5 スリット式護岸の応急復旧工

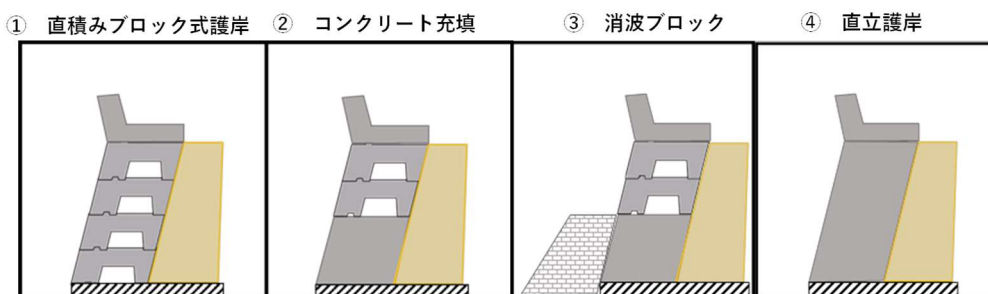


図-6 直積ブロック式護岸の応急復旧工

対象として、水理特性を明らかにするとともに、各部に働く粗石の衝突力を示した。また円柱部材の保護を目的として、ステンレス板入りのゴム製緩衝材で被覆したハイブリッド防護工について検討を行った。北海道の松前沖の大島漁港においては、漁船係留用の鋼製栈橋においてハイブリッド型防護工が設置されており、その変状データを分析した。さらに粗石を連行した波浪によって生ずる衝突力を水理模型実験で再現することにより、ハイブリッド型防護工の設計に用いる外力諸元を明らかにした。

直積ブロック式護岸については、超高強度繊維補強コンクリートを用いた補強工が2018年度に施工されている。使用材料については生出(2018)により報告されている。本研究では当該施設の調査を実施し、図-7に示すような5年経過後の変状が得られた。その結果、通常コンクリートの摩耗速度が1.5cm/年であるのに対して、超高強度繊維補強コンクリートでは摩耗速度をおよそ1/2に低減できることが明らかになった。

参考文献

豊福俊泰, 宮川邦彦, 豊福俊英:コンクリートの衝撃摩耗特性に関する研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 20, No. 2, 1998.

生出靖, 瀧ヶ平正美:浸食が進む海岸擁壁の補修, 平成29年度北海道開発局技術研究発表会, 管理-11(道路部門), 2018.

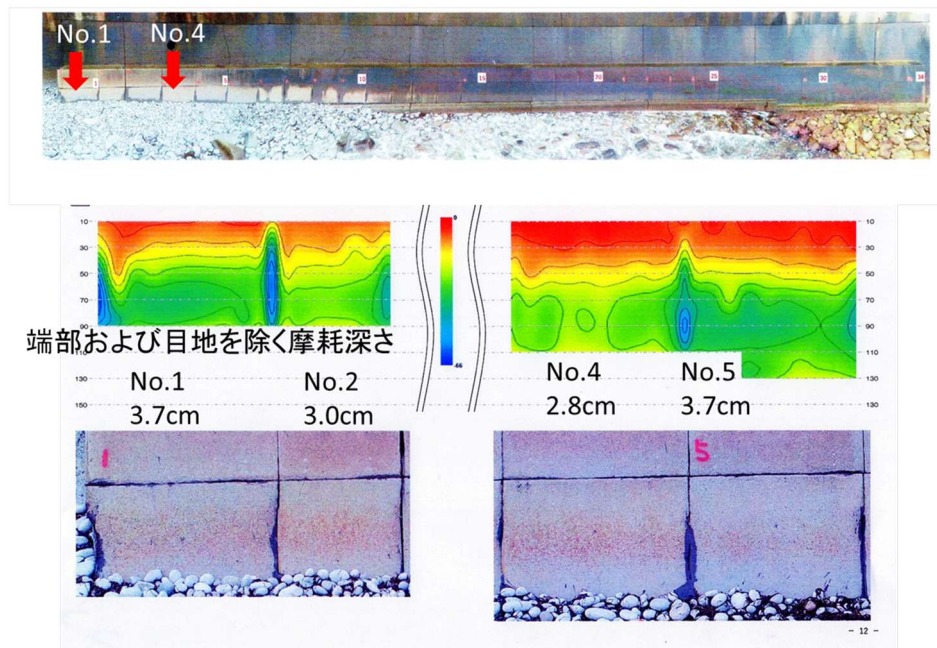


図-7 超高強度繊維補強コンクリートを用いた補強工の変状

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 8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 小関成美・木村克俊・名越隆雄・嶋崎皓輝・村田良英	4. 巻 76(2)
2. 論文標題 礫性海岸に建設された直積ブロック式護岸の波浪による摩耗事例の分析	5. 発行年 2020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 576-581
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 神田魁斗・木村克俊・関口卓矢・阿部翔太・名越隆雄	4. 巻 76(2)
2. 論文標題 海岸道路における粗石を連行した越波による車両被害事例の分析	5. 発行年 2020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 971-976
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 村上樹生・木村克俊・川口椋平・越智聖志・名越隆雄	4. 巻 76(2)
2. 論文標題 護岸胸壁部の高波被害に伴う背後の鉄道の運行障害事例の分析	5. 発行年 2020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 947-952
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 名越隆雄・木村克俊・佐藤涼祐・山本泰司・吉野真史・小松麻美	4. 巻 76(2)
2. 論文標題 支笏湖で発生した風波による湖岸道路の通行障害とその対策について	5. 発行年 2020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 953-958
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 今井脩雅・木村克俊・宮武誠・山本泰司・名越隆雄・阿部翔太	4. 巻 77(2)
2. 論文標題 波浪による転動石の鋼製栈橋への衝突の再現実験	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 229-234
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 阿部翔太・木村克俊・鴨崎直也・今井脩雅・名越隆雄	4. 巻 78(2)
2. 論文標題 礫性海岸を対象とした円柱スリット式護岸に関する水理模型実験	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 415-420
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 阿部翔太・木村克俊・鴨崎直也	4. 巻 79(2)
2. 論文標題 巨石を連行した波浪による護岸被害の再現実験	5. 発行年 2023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 印刷中
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 西谷尚峻・木村克俊・上久保勝美・山本泰司・名越隆雄・阿部翔太	4. 巻 79(2)
2. 論文標題 急勾配海底条件に対する越波防止柵の必要高さと作用波圧に関する検討	5. 発行年 2023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 印刷中
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 -

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Shota Abe, Katsutoshi Kimura, Takao Nakoshi and Yoshihiro Murata
2. 発表標題 Analysis of wave-induced abrasion on a slit-type seawall along a rocky coastline
3. 学会等名 Thirty-second International Ocean and Polar Engineering Conference (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 鴨崎 直也・木村 克俊・名越 隆雄・中山 敦智・阿部 翔太
2. 発表標題 超高強度コンクリートパネルを用いた海岸擁壁補強工の変状分析
3. 学会等名 令和3年度土木学会北海道支部論文報告集
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小島万実・木村克俊・山本泰司・名越隆雄・阿部翔太
2. 発表標題 急斜面に続くリーフ上の護岸における消波ブロックの変状分析
3. 学会等名 令和3年度土木学会北海道支部論文報告集
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 滝波大征・木村克俊・名越隆雄・阿部翔太
2. 発表標題 自立型越波防止柵の耐波安定性に関する水理模型実験
3. 学会等名 令和3年度土木学会北海道支部論文報告集
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 阿部翔太・木村克俊・名越隆雄
2. 発表標題 海岸擁壁フーチング部の波浪による摩耗の進行速度に関する検討
3. 学会等名 土木学会第78回年次学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 西谷尚峻・木村克俊・阿部翔太・山本泰司
2. 発表標題 急斜面に続くリーフ上の護岸における消波ブロックの変状分析
3. 学会等名 土木学会第78回年次学術講演会
4. 発表年 2023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

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