

令和 6 年 6 月 2 日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2023

課題番号：19K04964

研究課題名（和文）次世代消波工の創出に向けた木杭の海岸保全・減災効果の科学的理解

研究課題名（英文）Scientific examination of the effectiveness of wood piles as a countermeasure for coastal protection and disaster mitigation

研究代表者

高木 泰士（Takagi, Hiroshi）

東京工業大学・環境・社会理工学院・教授

研究者番号：40619847

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）：本研究では開発途上国で簡易的な海岸保全対策として一般的に使われている木杭の消波工を対象として取り上げ、適正技術として科学的な効果を有するか検証するため、様々な実験的研究に取り組んだ。研究期間の大半が新型コロナウイルスの蔓延期に重なり、海外現地調査については行うことはできなかったが、過去にベトナム・ファンティエットやその他の海岸において行った調査結果を活用し、現地の木杭を模擬した上で詳細な数値流体解析や実験水槽において木杭を配置した造波実験を行い、木杭の消波効果について科学的な理解を深めることができた。研究成果は、いくつかの国際学術誌を通じて世界に向けて発表することができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

木杭による対策は砂浜を固定化しないため、自然な漂砂運動を阻害せず、水質面での環境負荷や生態系への影響も小さいと考えられる。またローカル材料を活用すれば、地域の産業育成にも貢献できる。コンクリート護岸よりも安価に設置でき、施工も容易なため、効果が検証されるとともに、より合理的・効果的な設置方法が確立されれば、科学・工学と途上国の経験が融合した海岸保全工法につながると期待できる。本研究の成果を端緒とし、今後さらに効率的・効果的な環境調和型次世代木杭消波工を目指し研究を続け、その合理的な設計手法についても提案していきたい。

研究成果の概要（英文）：This study focused on wooden piles which are often used as a simple coastal protection measure in developing countries, and conducted various experiments to verify their effectiveness. The finding of past surveys conducted in Phan Thiet, Vietnam, was helpful to conduct detailed numerical analysis and dam-break experiments reproducing the local wooden piles. The research results were published in several international journals. For example, the results on the wave run-up mitigation and coastal erosion reduction effects of wooden piles were published in the Journal of Coastal Conservation, the dam-break experiments were conducted and a detailed analysis of the factors causing the statistical variation of the wave pressure was published in the Journal of Marine Science and Engineering, and the journal of Nature-based Solution on the effects of wave action and tide level during a recent typhoon in very shallow water areas where wooden piles are often used.

研究分野：沿岸域防災

キーワード：木杭消波工 グリーンインフラ 沿岸域防災

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

資金が不足している開発途上国では日本のように徹底したハード対策をとることは難しい。木杭などローカル材料を用いた海岸侵食・高波対策は、水環境や生態系への影響が小さく、砂浜を固定化しないため海岸漂砂の動的均衡を阻害しない。コンクリート護岸や消波ブロックよりも安価かつ容易に設置できるため、効果が実証されれば、途上国ばかりか、先進国でも有用な海岸保全工法になりうる。しかし、木杭消波工のように極浅水深の完全砕波帯内に、狭小な間隔で連続配置された杭周辺の波浪・流体現象は未解明の問題で、その海岸保全・減災効果は明らかではない。本研究では、これまで経験的に設置されてきた木杭を科学的に検証するため、造波水槽実験、現地実証試験を行う。さらに3次元数値モデルを構築し、スーパーコンピュータを活用して流体運動を高解像度で解析し、海岸保全・減災対策としての効果を検証する。

高度経済成長時には、日本でも深刻な海岸侵食が各地で発生していたが、全国の海岸をコンクリート護岸や消波ブロックで固定化することで表向き海岸線の後退は止まっている。しかし、途上国では経済的な制約もあり、そのような徹底したハード対策をとれる国は多くはない。また、漂砂が活発な場所では、構造物対策が繊細に海岸環境に影響を及ぼすが、その影響が事前に予測不可能である場合が多い。陸域・海域の境界は常にダイナミックに変動しており、海岸線を固定化することで、不可逆な影響を及ぼしかねない。また、海岸侵食の問題は、単に土地の消失という問題にとどまらず、自然の緩衝帯が失われることで、高潮や津波、高波、洪水、土砂崩れなどの災害リスクが高まることに直結する。したがって、開発途上国での海岸保全は、環境・防災の2つの側面を併せて考えながら、最適な対策を講じていく必要がある。途上国の海岸では、政府からの投資が十分に行き届かないことも多く、海岸保全もコミュニティや個人レベルで対応せざるを得ない場合も多い。そこで、対策の普及のためには安価であることが前提条件となるが、それに加えて、そこそこの耐久性を有し、施工が容易で、環境負荷も小さい、いわゆる途上国における適正防災技術を開発していく必要がある。

2. 研究の目的

本研究では、現地試験、水理模型実験、スーパーコンピュータでの各検証を行い、木杭消波工の海岸保全・防災効果の科学的理解を目指す。そしてこの研究を足掛かりにして、将来的には、安価で効果的、かつ低環境負荷の対策工法を創出、またその設計法を確立するための研究につなげていく。

3. 研究の方法

木杭工に期待される最も重要な機能は消波効果であるが、木杭のように極浅水深の完全砕波帯内に配置された柱状構造物周辺の波浪現象は未解明の問題である。そこで、造波水槽やダムブレイク実験水槽での各種実験・計測を行い、水位変動や流速、波高等、流体諸量の特性や、画像解析による乱流現象など、波浪減衰の効率性について検証を行う。また、耐久性評価のためには、杭に作用する形状抵抗、摩擦抵抗、造波抵抗など流体力の評価を行う必要がある。そのため様々な木杭設置パターンに対して、波浪伝達率、反射率、波圧計測、荷重等、木杭に作用する波浪・流体の特性を実験する。

4. 研究成果

2019年度：木杭模型を配置した数値解析を実施するとともに、小型実験水槽内に一定間隔の円筒杭を配列して定常な流れに対して基礎的な流体効果を測定した。木杭消波工の有用性について、概念的な戦略について論じた内容を国際学術誌 *Results in Engineering* にて発表した。

2020年度：新型コロナウイルスの蔓延で、当初予定していた海外現地調査は実施できなかったが、ベトナム・ファンティエット市において過去に行った測量調査の結果を使用して、数値解析上で浸食海岸の地形再現を行い、住民主体で設置されている木杭周囲の高解像度流体解析を行った。その結果をまとめて、木杭の消波効果、海岸浸食軽減効果に関する研究成果を国際学術誌 *Journal of Coastal Conservation* において発表することができた。また、ダムブレイク水槽を用いた室内実験を行い、作用波圧の統計的なばらつきをもたらず要因について、高精度圧力センサーや高速度カメラを使用して分析を行った。その研究成果を *Journal of Marine Science and Engineering* 誌にて発表した。

2021年度：新型コロナウイルスの蔓延で、予定していた海外調査は実施できなかったが、室内実験と数値解析を集中的に実施することができた。様々な径の円筒杭を等間隔で配置した実験では、背後の直立壁に作用する最大波力の実験値と解析値は、杭を配置しない場合と比べて6%~17%程度の低減率を示し、著しい効果ではないものの、一定の消波効果が認められた。杭の径と列数を変えて比較した結果では、杭の径と波力低減率の間には相関性が見られたが、列数と波力低減率の間には明瞭な関係は必ずしも認められなかった。実験で配置した列数が1列・2列と限定的であったため、波力低減率には有意な差が現れなかったためと考えられる。杭の列数と波

力低減率の一般的な関係性を議論するためには、杭の列数を増やして実験や解析を行う必要があることが示唆された。

2022 年度：小型造波水槽を利用した移動床実験を集中的に実施した。移動床実験は 2 種類の実験を行った。一つは水槽内に前浜勾配を模擬した固定スロープを配置し、岸側終端に掘り込み部を設け、その中に密度が 1 を少し超える程度の重さの動きやすいビーズを充填した。もう一つの実験は粒径 2mm 程度の砂を使い移動床スロープを形成した。どちらの実験もアクリル製の円柱を配置したケースと円柱を配置しないケースで、底質の移動にどのような変化が現れるか比較を行った。配置の有無にかかわらず、比較的大きな波を作用させれば底質は動くが、変化の特徴は配置の有無により有意に異なることを確認した。一方で、同じ造波条件・同じ杭間隔でも、実験を複数回を行うと、変動傾向は比較的似るものの、移動量は有意に異なる結果が生じる。そのため地形変化の統計的な振る舞いが無視できないことがわかった。体積率で 50%程度の杭間隔の場合、背後の漂砂運動を抑える効果は明瞭ではなく、杭がない場合と比べて地形変化のパターンが変化するという見方がより適当と考える。

2023 年度：木杭の配列数や間隔、サイズなど木杭の設置に関する様々な変数、入射波高・遡上流速など波浪に関する変数と、被説明変数である木杭背後の津波の遡上高の間の統計的な相関を調べるための研究を行った。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 10件 / うち国際共著 6件 / うちオープンアクセス 6件）

1. 著者名 Takagi Hiroshi	4. 巻 4
2. 論文標題 Survival of young planted mangroves in a calm bay environment during a tropical cyclone	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Nature-Based Solutions	6. 最初と最後の頁 100082 ~ 100082
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nbsj.2023.100082	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Sreeranga Sindhu, Takagi Hiroshi, Kubota Shin-Ichi, Mitsui Jun	4. 巻 65
2. 論文標題 An experimental study on oscillatory characteristics of young mangroves behind a portable reef	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Coastal Engineering Journal	6. 最初と最後の頁 110 ~ 125
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/21664250.2022.2161124	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 該当する
1. 著者名 Takagi Hiroshi, Shirai Rikuo, Sreeranga Sindhu	4. 巻 790
2. 論文標題 Oscillatory characteristics of young mangroves exposed to short-period waves	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Science of The Total Environment	6. 最初と最後の頁 148157 ~ 148157
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.scitotenv.2021.148157	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 該当する
1. 著者名 Takagi Hiroshi, Takahashi Atsuei	4. 巻 16
2. 論文標題 Short-fetch high waves during the passage of 2019 Typhoon Faxai over Tokyo Bay	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Frontiers of Earth Science	6. 最初と最後の頁 206 ~ 219
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11707-021-0872-2	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Takagi Hiroshi, Esteban Miguel, Mikami Takahito, Pratama Munawir Bintang, Valenzuela Ven Paolo Bruno, Avelino John Erick	4. 巻 211
2. 論文標題 People's perception of land subsidence, floods, and their connection: A note based on recent surveys in a sinking coastal community in Jakarta	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Ocean and Coastal Management	6. 最初と最後の頁 105753 ~ 105753
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ocecoaman.2021.105753	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 該当する

1. 著者名 Islam Md. Rezuhanul, Lee Chia-Ying, Mandli Kyle T., Takagi Hiroshi	4. 巻 11
2. 論文標題 A new tropical cyclone surge index incorporating the effects of coastal geometry, bathymetry and storm information	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Scientific Reports	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) 10.1038/s41598-021-95825-7	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Takagi Hiroshi, Sekiguchi Shoya, Thao Nguyen Danh, Rasmeemasuang Thamnoon	4. 巻 24
2. 論文標題 Do wooden pile breakwaters work for community-based coastal protection?	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Coastal Conservation	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) 10.1007/s11852-020-00749-5	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 該当する

1. 著者名 Takagi Hiroshi, Furukawa Fumitaka	4. 巻 9
2. 論文標題 Stochastic Uncertainty in a Dam-Break Experiment with Varying Gate Speeds	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Marine Science and Engineering	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) 10.3390/jmse9010067	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Sreeranga Sindhu, Takagi Hiroshi, Shirai Rikuo	4. 巻 18
2. 論文標題 Community-Based Portable Reefs to Promote Mangrove Vegetation Growth: Bridging between Ecological and Engineering Principles	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 International Journal of Environmental Research and Public Health	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) 10.3390/ijerph18020590	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Takagi Hiroshi	4. 巻 4
2. 論文標題 "Adapted mangrove on hybrid platform" - Coupling of ecological and engineering principles against coastal hazards	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Results in Engineering	6. 最初と最後の頁 100067 ~ 100067
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.rineng.2019.100067	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計0件

〔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
---------	---------