

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 6 月 27 日現在

機関番号：82723

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2022

課題番号：20K15564

研究課題名（和文）林木の津波減衰効果と林床の砂の動態を統合した土砂移動モデルの開発

研究課題名（英文）Development of a sediment transport model integrating the tsunami attenuation effects of forest trees and the dynamics of sand on the forest floor

研究代表者

山本 阿子（Yamamoto, Ako）

防衛大学校（総合教育学群、人文社会科学群、応用科学群、電気情報学群及びシステム工学群）・システム工学群・助教

研究者番号：40842498

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：海岸林床の植生による土砂捕捉効果を明らかにするため、珪砂と植生モデル、採取してきた実際の海岸林の砂と実林床の植生を用いた土砂移動水理実験を実施した。波は津波先端による乱れを再現した段波と津波の通過時を想定した定常流を実施した。実際の試料は秋田県岩城海岸、千葉県富津海岸、小松海岸において採取した。

植生の被覆度により、土砂移動量が指数関数的に減少した。また、複数回波を当てた場合も植生は土砂捕捉効果を発揮したが、被覆度が小さく洗堀の発達により植生が流出した場合、土砂移動量が増加したことから、植生の土砂捕捉効果は被覆度と葉部の捕捉だけでなく洗堀の発達を防ぐ根茎量や分布も影響していることが分かった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で対象とした海岸林を防災・減災機能を最大限発揮する健全な林帯を造成していくには、林床の洗堀防止に加え、土砂を捕捉する場（堆積場）となる環境づくりが望まれる。本研究において植生の土砂捕捉効果を定量化することにより、海岸林周辺の植生をどのように維持管理することが林床の土砂流出を防止し安定した基盤づくりの基礎となる研究である。今回の研究で得られた植生の土砂捕捉効果をより多様な植生および砂粒径（土質）に適用することでより詳細かつローカルな条件に対応した被害想定や防災・減災効果を発揮する海岸防災林帯の維持・管理の指針を示すことが可能となる。

研究成果の概要（英文）：To clarify the sediment trapping effect of vegetation on the coastal forest floor, a sediment mobile bed experiment was conducted using silica sand, a vegetation model, sand from an actual coastal forest, and vegetation from the actual forest floor. Waves were generated by bore waves that reproduced the turbulence caused by the tsunami tip, and by steady currents that simulated the passage of a tsunami. Actual samples were collected from Iwaki Beach in Akita Prefecture, Futtsu Beach in Chiba Prefecture, and Komatsu Beach.

Sediment transport decreased exponentially with vegetation cover. The sediment transport rate increased when vegetation cover was small and the vegetation was washed out due to the development of scour, indicating that the sediment trapping effect of vegetation is not only dependent on the amount of cover and leaf trapping, but also on the amount and distribution of rhizomes, which prevent the development of scour.

研究分野：森林防災，海岸工学

キーワード：植生被覆 海岸林床 津波 土砂移動モデル 水理実験

1. 研究開始当初の背景

海岸防災林は、平時より海からの強風や飛砂・飛塩を防止する機能や保健休養機能、生物多様性など多様な機能を持ち合わせた身近で貴重な生態系である。また、古くから海岸防災林の津波に対する、波力の低減（水位・流速）、漂流物の捕捉、砂丘の育成による自然堤防の形成などの防災・減災機能がある。2011年の東日本大震災に伴う津波でも林帯内における多量の砂の捕捉や後背地の被害軽減が確認されており、現在防潮堤とともに緑の防潮堤として植栽復旧が進められている。一方、その限界も指摘されており、倒木や洗掘などによる林床の崩壊は流木の原因となり、被害拡大の危険性を併せもつ。また、これまでの調査などから計画的な本数調整など、林木本体の維持管理や評価に関する指標は示されているが、林床の安定性やリスク評価の手法は確立されていない。林床植生は地域によって異なり、林木の成長段階や砂丘の発達状況にも影響を受ける。また、海岸防災林復旧における生育基盤盛土は、深い根系を確保するために軟らかく造成されるなど、それぞれの林床環境で林床の安定性や崩壊から流木が発生するまでのメカニズムは依然として未解明である。これらの解明には、林床をタイプ別に分類し林床における砂の動態を明らかにすることが必要である。

津波の被害予測やリスク評価には数値シミュレーションが有効な手法であり、樹冠や幹による浸水深や流線量の軽減効果、ならびに波による倒木原因の追求が進められている。津波による土砂移動によって地形変化がある場合は、土砂移動モデルが有効であるが、陸域の検証例が少なく、実際の林床の状態を反映したものはない。津波襲来時の林床における砂の動態を解明し、林木による津波減衰効果と林床の砂の動態を統合した土砂移動モデルの開発が必要である。

2. 研究の目的

海岸防災林の調査から植生タイプ、表面被覆度、砂の粒径構成により分類された林床を用いて、林床が崩壊するメカニズムを解明するための水理実験を実施する。そして、林木による津波減衰効果を組み込んだ土砂移動モデルを開発することを目的とする。

3. 研究の方法

①林床環境の分類と試料採取

林床環境（植生や粒径構成）による分類のため、全国の代表的な海岸防災林の林帯および林床環境（植生や粒径構成）について現地調査し、条件が異なる複数点を選定し、林床の採取を行う。実林床の採取には図1で示すように申請者が新規に考案した地表削剥装置（地表スライサー）を使用する。図2のように地面に差込み、図3のように側方から抜き取るようにして採取する。採取した試料は、植生の立体構造、被覆度や粒径構成など調査・分類後、水理実験に使用する。調査地で採取した砂は、ふるいを用いて粒度分析を行う。



図1 地表掘削装置



図2 差込みの様子



図3 採取時の様子

②実林床を用いた水理実験

水理実験は、実林床を用いた林床基盤の崩壊のメカニズムを解明するための移動床実験を実施する。実験概要および水理量測定点の位置を図4に示す。水理実験は、長さが40m、幅0.8mの防衛大学校所有の2次元造波水槽を使用する。本装置は、0.5m程度の段波（壁状の波）を生成する性能を有する。水路には砂床区間（図中黄色）を設置し、津波を模した段波を与えて土砂移動量を測定する。移動した砂は、下流側で捕捉する。捕捉した砂を乾燥し、土砂移動量とした。また、砂床区間を画像解析により侵食域および堆積域の可視化を行う。

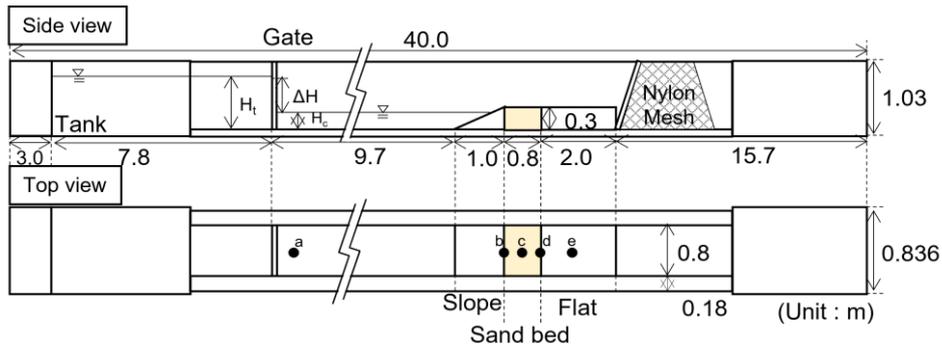


図4 実験装置概要 (a-eは水理量測定点)

③林床植生による影響を考慮した土砂移動モデルの検討

実験で得られた植生の被覆度と土砂の移動量から、植生被覆の効果を定式化する。また、粒径構成における影響についても検証を実施する。海岸工学分野で多用されている津波の土砂移動モデルを陸域（遡上域）に適用し、そこへ樹木の流体抵抗力を導入したものをベースとしてモデルの構築を行う。

4. 研究成果

①林床環境の分類と試料採取

相模トラフなど太平洋側の海溝を震源とする津波による被害が想定されている千葉県富津市富津海岸、日本海溝を震源とする津波の被害が想定される千葉県山武市小松海岸、日本海沿岸で発生頻度は少ないものの、陸域に近い海底活断層が多く存在し、地震による津波発生時には大きな被害が想定される日本海沿岸に位置する秋田県由利本荘市岩城海岸の3地点で実施した。

富津海岸で4試料、小松海岸で5試料、岩城海岸で3試料採取した。共通してコウボウシバやチガヤのようなイネ科の植物が確認できた。富津海岸や小松海岸ではコマツヨイグサやハマヒルガオ、岩城海岸にはシロヨモギなども分布していることが確認できた。各調査地を構成する砂の粒径分布は図5に示す。実験用珪砂および富津海岸に比べて、小松海岸および岩城海岸は細かい粒径の砂を多く含む砂で構成されていることが確認できた。

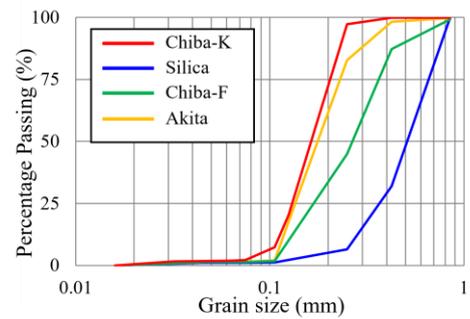


図5 調査地の土砂の粒径分布

②実林床を用いた水理実験

図8に測定点において採取した水位および流速の結果を示す。波の到達とともに水位および流速が急上昇し、砂床区間中央（c地点）においては最大水位0.12m、最大流速1.7m/sとなった。

採取した試料は図6および図7に示すように水路の砂床区間に設置し、段波による土砂移動量を測定した。また、野芝を用いて砂床区間に被覆度を变化させて設置し、珪砂を用いたケースも実施し、土砂移動量の比較をした結果を図9に示す。縦軸はそれぞれの地点の土砂の粒径が異なることから植生模型による土砂捕捉効果の定量化および植生被覆による土砂移動量を比較するために以下の手順で土砂移動量の無次元化を行った。

$$M_n = M / M_0$$

ここで、 M_n は無次元土砂移動量、 M は各試料における土砂移動量、 M_0 は各調査地における被覆度0% (G0%)の条件における土砂移動量である。横軸は各試料の砂床区間に対する被覆度を示す。この結果被覆度に増加に対し土砂移動量が指数関数的に減少する傾向がみられた。

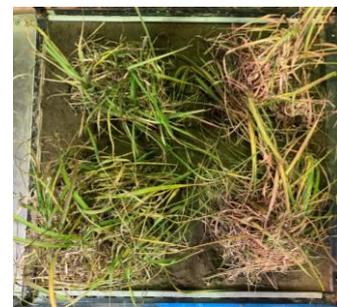


図6 水路内設置後（上方）



図7 水路内設置後（側方）

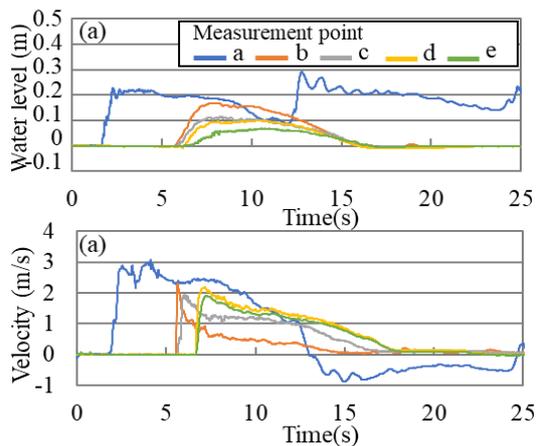


図8 各測定点における水位および流速

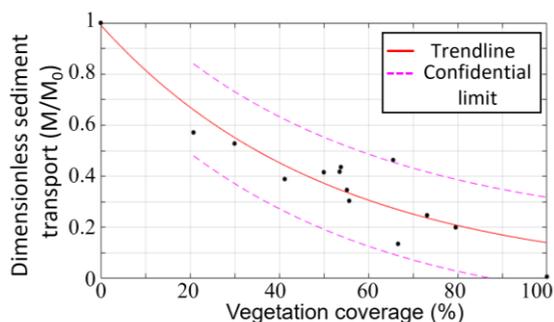


図9 植生による土砂捕捉効果

③ 林床植生による影響を考慮した土砂移動モデルの検討

②の結果を用いて植生による土砂捕捉効果の定量化を実施した。図9に実林床全12試料と野芝による植生モデルによる回帰曲線を赤色で示した。これらのデータから導き出された回帰式は以下の式となった。(桃色点線は95%信頼区間)

$$y = e^{-0.028x}$$

ここで被覆度 $x\%$ 、 y は土砂移動量を示す。これらの結果を基に高橋智幸氏による1999年モデルおよび2011年モデル [高橋ら、1999；高橋ら、2011] をベースに、申請者が改良し陸域の土砂移動の検証に使用したモデル [山本ら、2017] に適用し再現計算を行った結果、植生被覆による土砂移動量の変化はおおむね再現できることが確認できた。しかしながら、洗堀位置や洗堀量が再現できないことが明らかになった。これは植生の根茎により実際の土砂は洗堀位置が制限されており、今回のモデルでは洗堀位置までの再現を考慮できていないことが要因である。

今後は根茎による土砂捕捉効果について検討を行い、立木の林床基盤崩壊の原因となる林床の洗堀量を詳細に再現できるよう改良が必要であるが、今回の検討により、植生被覆により林床の土砂が露出する割合が減少する以上に土砂を捕捉する効果を植生が有することが確認できたことは、海岸植生は飛砂飛塩の防止以外に波に対しても土砂を捕捉し林床を安定させることを示唆する結果であり、本研究で定量化した植生の効果を入れることで、詳細かつよりローカルな条件に対応した被害想定や林床が安定し防災・減災効果を発揮する林床の維持管理の指針が示すことができることを期待と確信している。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Ako Yamamoto, Yuki Kajikawa, Kei Yamashita, Ryota Masaya, Ryo Watanabe, and Kenji Harada	4. 巻 16
2. 論文標題 Comparisons of Numerical Models on Formation of Sediment Deposition Induced by Tsunami Run-Up	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Disaster Research	6. 最初と最後の頁 1015-1029
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.20965/jdr.2021.p1015	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8件（うち招待講演 0件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 山本 阿子, 小嶋 暁, 汐月 瑠星, 川原田 啓太, 外山 真, 多田 毅, 鳴原 良典, 福谷 陽
2. 発表標題 植生モデルによる被覆度と配置による土砂移動の抑制効果に関する実験的検討
3. 学会等名 JpGU2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ako Yamamoto
2. 発表標題 Experimental study of the effect on sediment transport by comparing the vegetation cover of the native coastal vegetation and model
3. 学会等名 The 30th International Tsunami symposium (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 西野 宗矩, 山本 阿子, 垣内 美穂, 須藤 唯斗
2. 発表標題 植生の被覆度と津波の大きさによる土砂流出への影響に関する水理実験
3. 学会等名 土木学会関東支部技術研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 YAMAMOTO Aka、TADA Tsuyoshi、FUKUTANI Yo、SHIGIHARA Yoshinori
2. 発表標題 Improving a sediment transport model with hydraulic experimental data to examine effects of vegetation coverage for embankment risk assessment
3. 学会等名 海岸工学講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山本阿子
2. 発表標題 林床植生による土砂捕捉調査のための地表掘削装置開発とその検証
3. 学会等名 関東森林学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小嶋暁生、嶋原良典、山本阿子
2. 発表標題 津波による海岸林の土砂流出量に関する実験的検討 その1：模型林床の配置条件による影響
3. 学会等名 土木学会関東支部技術研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 外山まこと、川原田啓太、福谷陽、山本阿子
2. 発表標題 津波による海岸林の土砂流出量に関する実験的検討 その2：段波・定常流と粒度分布の影響
3. 学会等名 土木学会関東支部技術研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 川原田啓太、外山まこと、福谷陽、山本阿子
2. 発表標題 津波による海岸林の土砂流出量に関する実験的検討 その3：実林床の被覆の影響
3. 学会等名 土木学会関東支部技術研究発表会
4. 発表年 2021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
---------	---------