

令和 2 年 02 月 07 日

建築・都市システム 工学専攻	学籍番号 第 115503 号	指導教員 三浦 均也 中澤 祥二 齊藤 大樹
氏名 TRAN ANH QUANG		

論文内容の要旨 (博士)

博士学位論文名 波浪を受ける構造物周辺における海底地盤底質移動の定量的評価手法
--

(要旨 1,200 字程度)

防波堤や離岸堤、護岸などが荒天時の波浪により被災する事例がしばしば報告されている。これら沿岸構造物の被災は波浪による水圧を構造物が直接受けることが主な原因であるが、構造物周辺の海底地盤も同時に波浪を受けることにより不安定化することで被災を拡大したことが示唆する事例も少なくない。後者においては、海底面近傍における波浪流速により底質が移動することで生じる洗掘現象が構造物を不安定にすることに加え、海底面での水圧変動への応答として海底地盤内の有効応力が低下するために構造物基礎の一体性や耐荷性能が損なわれることが被災の要因としても指摘されている。本研究の目的は、海底地盤の侵食現象を定量的に解析するための手法を提案することであり、波浪流速の関数である掃流漂砂の挙動に海底地盤の有効応力応答の影響を考慮することによって底質移動とその貯留挙動を合理的に説明することである。

解析手法は、「線形波動理論による波浪解析」と「多孔質弾性体モデルによる海底地盤の有効応力解析」、「掃流力による漂砂量の経験的な評価」で構成され、それぞれを定式化して総合することによって、波浪を受ける構造物周辺の底質移動と海底地盤の侵食と堆積挙動を定量的に評価する手法を構築した。さらに、一様水深波浪場において入射波を受ける直線構造物および円柱構造物を対象とした構造物周辺における底質移動解析を実施することにより、提案する解析手法の妥当性を検証している。

直線構造物に対し垂直に進行波が入射する場合には典型的な定常波が発生するが、進行波が斜方向から入射する場合には構造物に垂直な方向では定常波の特性を、平行な方向では進行波の特性を有する複合的な波浪挙動が見られる。また、垂直に屈曲した直線構造物に拡張すると、双方向に定常波の特性を有する複雑な波浪挙動が見られる。これら直線構造物の周辺では通常の微小振幅波理論の枠組みにおける平面波としての入射波と反射波の重ね合わせとして波浪挙動を解析した。一方、円柱構造物では反射波に加えて構造物側面を回り込む回折波も含めた波浪特性が見られるが、これはフーリエ級数の各項にベッセル関数を組み込んだ数式解を用いて解析した。これらの波浪に対する海底地盤の有効応力応答は、海底地盤を多孔質線形弾性体としてモデル化することによって数式解を誘導して用いた。掃流力による漂砂流量の評価には、海底面に作用する流速の関数としての掃流力に加えて、海底地盤の有効応力応答により変動する流動化層の厚さを考慮した。これらが波浪の周期内で複合的に変化する結果として生じる漂砂の移動速度とその蓄積量を算定した。

本研究の成果は以下のようにまとめられる。

- ・ 進行波の場合には漂砂流量はすべての地点で等しく進行波と反対方向に生じるために漂砂は貯留しないが、定常波においては腹から節に向けての蓄積的な底質移動による腹における侵食と節における堆積が生じることを示した。
- ・ 一般には波浪の非線形性や漂砂の浮遊などを考慮しなければ漂砂の蓄積的な流れと洗掘現象を説明するのが困難であるが、掃流漂砂を対象に海底地盤の有効応力応答を考慮することによって、構造物の側面で侵食が生じるなどの洗掘現象を合理的に説明できることを明らかにした。
- ・ 垂直に屈曲した直線構造物周辺では定常波の特性に合わせて、格子状に発生する節の直下では底質の堆積が生じ、一方、直線構造物の隅角部を含む格子中央の腹直下では海底が侵食されることを示した。
- ・ 円柱構造物背面では節と腹が見られない進行波の特性が卓越するため、漂砂流は構造物に向かい、その後側面を回り込んで構造物前面へ漂砂が供給されることが分かった。一方、入射波を受ける円柱構造物前面においては定常波の特性が現れるので、波浪が腹となる構造物前面では海底は侵食し、その後同心円状に波浪では節と腹、海底面では堆積と侵食と堆積を繰り返すことを示すことができた。このことは円柱構造物前面である程度の侵食が生じ、これにより構造物が不安化する可能性があることを示している。

Date of Submission (month day, year) : Feb 7th, 2020

Department of Architecture and Civil Engineering	Student ID Number	115503	Supervisors MIURA KINYA NAKAZAWA SHOJI SAITO TAIKI
Applicant's name	TRAN ANH QUANG		

Abstract (Doctor)

Title of Thesis	Quantitative Evaluation Method for Sediment Flow on Seabed Around Structures Subjected to Wave Loading
-----------------	---

Approx. 800 words

Coastal structures, such as breakwaters and revetments, are sometimes damaged severely by stormy wave loading. The damages of the structures are caused mainly by impulsive wave pressure, and, however, some case studies reported that some of the damages were often enhanced by the destabilization of seafloor to which the dynamic water pressures are applied. It is important that not only the scoring resulted from the wave induced sediment flow, but also the deterioration of integrity and load bearing capacity of seafloor due to its effective stress response to wave loading, destabilizes the coastal structures. This study aims to propose the quantitative evaluation method for the scoring on seafloor, and clarify rationally the accumulation mechanism of sediment flow regarding the effective stress response of seafloor to wave loading.

The evaluation method consists of three processes: linear wave theory, pore-elasticity for seabed medium, and empirical sediment flow model mobilized by sea wave traction; in the three processes wave behavior around structures, response of seabed to wave loading and sediment flow and accumulation behavior are formulated, respectively. The evaluation method was applied to the sediment flow behavior near line structures and cylindrical structures set up in the infinite seawater field with uniform depth. And the applicability of the evaluation method was verified through the discussion on evaluated results of sediment flow.

In the case where an incident plane wave meets a straight line structure in perpendicular direction, a classical stationary wave is generated. However, in the case where an incident plane wave meets in diagonal direction, the generated wave field shows the feature of stationary wave in the perpendicular direction and that of travelling wave in parallel direction, as a result of superposition of the incident and reflected waves. When an incident wave meets a broken line structure with right angle, the generated wave field shows in rectangular grid type stationary wave field. On the other hand, if an incident plane wave meets a right cylindrical structure, a diffracted wave, as well as reflected wave, is generated. The superposition of the diffracted, reflected and incident waves was calculated with Fourier series in circumferential direction combined with Bessel function in radial direction. The effective stress response of seabed to the wave loading near structures was calculated with analytical solution in the framework of linear poroelastic theory. The sediment flow rate on seafloor was evaluated from the traction force as a function of seawater flow velocity, regarding the variation of thickness of sediment flow layer affected by the effective stress response of seafloor.

The findings in the present study can be summarized as follows:

- Under the traveling waves in infinite seawater field, sediment flow becomes uniform over the whole field, and then accumulation of sediment is not generated anywhere. However, under stationary waves sediment

moves accumulatively from loops to nodes by wave traction force in a wave period, and as a result sediment is deposited beneath the wave nodes, on the contrary the seafloor is eroded beneath the wave loops including near structure side walls.

- It is generally difficult to explain the mechanism of accumulative sediment flow in particular direction, disregarding nonlinearity or suspension of sediment particles. However, regarding the effective stress response of seabed to wave loading makes it possible to calculate the accumulative sediment movements induced by wave traction force, and explain the fundamental mechanism of scouring associated with erosion and deposition of sediment even within linear wave theory.
- The rectangular grid type stationary waves appear near the right angle broken line structures which is subjected to incidence of plane waves in diagonal directions. In this case sediment is deposited on the nodal grid lines, and in contrast seafloor is eroded on the centroids of the grids. It would be important that seafloor is eroded severely at the corner of the broken line structures, which would be destabilized by the erosion.
- In the case of right cylindrical structures, sediment flows toward the structure in the wide range including structure back under the influence of travelling waves, and the sediment moves from back to front along structure side surface. It should be noted that the erosion and deposition on concentric arcs are repeated in the wide range of structure front under the influence of stationary wave. It would be important that the notable erosion on the structure front side possibly destabilizes the cylindrical structure.