

令和 5 年 6 月 1 日現在

機関番号：12701

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K21021

研究課題名（和文）ICレコーダーを用いて録音した波浪音による現地波浪情報のリアルタイム推定法の確立

研究課題名（英文）Establishment of a real-time estimation method for local wave information using wave sounds recorded with an IC recorder

研究代表者

鈴木 崇之（Suzuki, Takayuki）

横浜国立大学・大学院都市イノベーション研究院・教授

研究者番号：90397084

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,800,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、それぞれの海岸地形特性により異なる波浪音を陸上部において計測し、波浪場をより簡易、安価に計測することを目的としている。これまで茨城県波崎海岸、および神奈川県平塚海岸をはじめとする5か所の海岸においてICレコーダによる波浪音圧レベルの測定を実施し、検討を実施してきた。平塚海岸での観測結果を用いた波高推定において、音圧、および相対偏差、気圧、さらに風切り音ノイズを除去することで、 $R^2 = 0.53$ の精度で推定が可能となった。さらに、同時期に相模灘の他の4つの海岸で実施した検討結果を統合した結果、海底勾配、および前浜勾配を変数とすることで波高推定式を一般化することができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は海岸に響き渡る波浪音を用いて波高をリアルタイムで推定する内容である。音の観測は陸上で可能であることから、安全に、かつ、計測はICレコーダでおこなうことから容易に実施でき、高波浪時も含めて紛失の恐れもなく、昼夜を問わず計測できる利点がある。今回の検討により、単一海岸のみならず、個々の海岸の勾配を変数にすることで相模灘においては統一的に推定することが示された。他海域での検討は必要であるが、簡易に空間的にも波浪場を推定できることは示され、これは沿岸域の防護や防災面からも本成果の意義は大きいと考える。

研究成果の概要（英文）：The objective of this study is to analyze various wave sounds on land, considering the characteristics of the coastal environment, while aiming to simplify and reduce the cost of measuring wave fields. Wave sound pressure levels were measured at seven locations, including Hazaki Beach in Ibaraki Prefecture and beached in Sagami Bay in Kanagawa Prefecture. The collected data were examined and analyzed. Utilizing the observation results from Hiratsuka Beach, wave height estimation was achieved with an accuracy of $R^2 = 0.53$ by employing wind noise-canceled sound pressure, relative deviation, and air pressure. Moreover, by integrating the findings from simultaneous studies conducted at four other coasts in Sagami Bay, a generalized wave height estimation formula was developed, utilizing the nearshore beach slope and sea bed slope as variables.

研究分野：海岸工学

キーワード：波高予測 ICレコーダ リアルタイム 相模灘

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

波高や砕波形態等の波浪情報はその時々々の波浪海象場を表す評価指標であり、これらを把握することは沿岸地域の災害発生や海岸侵食の危険性などの予測にも繋がる。実海域における波高等の計測は、現地海岸に計測器を投入し直接的に計測することが主である。直接計測であることからその精度は高いが、欠点としては設置作業に時間と費用を要し、また、防護、防災面から最もデータが必要となる高波浪時において、計測器の紛失や欠測となる可能性が高い。また、レーダーを用いた方法もあるが、多くの設備と費用が必要となる。そのため、波浪データがない海域においては、概ね同一傾向であろう近隣のデータを代用して推定することとなる。数値計算も手段の1つとなり得るが、リアルタイム予測にはまだ時間がかかると考えられる。

2. 研究の目的

本研究では海岸に響き渡る波浪音に着目する。海岸では砕波や遡上などにより絶えず音が響いている。これらの音は波の大きさや砕波形式等によって異なるため、それぞれの海岸地形特性により響く音も異なる。そこで、波浪音を陸上部において計測し、さらに、海岸地形形状と関連の高い海浜勾配(底質中央粒径)をパラメータとして加えることにより、多くの海岸で適用可能な「音の強弱や周波数特性等から波高や砕波形式などの波浪情報をリアルタイムに推定する」モデルを構築することを目的とする。

3. 研究の方法

波浪音の観測は、茨城県波崎海岸に位置する(国研)港湾空港技術研究所所有の波崎海洋研究施設、および平塚沖総合実験タワーが設置されている神奈川県相模灘の海岸2カ所の計7地点にて実施する。調査は底質中央粒径が異なる、つまり、地形形状が異なる海岸を選定する。したがって、沖波波高が同一レベルであったとしても、砕波形式等が異なり、波浪音も異なることが予想される。この海岸地形特性による音の差を海浜勾配により評価し、他の海岸でも適用可能なリアルタイム波浪情報推定法の構築を目指す。

各海岸では、高波浪時にも安全に計測ができるよう、汀線から100m程度陸側の地点に小型観測アレイを設置し、ICレコーダによる波浪音の測定に加え、音に変化を与える要因となる気象データ(風向、風速等)についても測定を行う。計測された波浪音等と波崎海洋研究施設、および平塚沖総合実験タワーにて観測された波浪状況(波高、周期等)とを比較検討することにより、波浪情報推定式の提案を行う。

4. 研究成果

(1) 茨城県波崎海岸での観測

茨城県波崎海岸において2020年10月20日12時~11月17日10時にかけて波浪音計測を実施し、計測した音圧レベルを用いて波高の推定を試みた(写真-1)。観測当初に2mを越えるやや高波浪が襲来し、その後も数度、1.5mを越える波高が観測された。解析期間中、有義波高は最大2.34m、有義波周期は最大12.6sであり、両者の平均値はそれぞれ1.09m、7.5sであった。

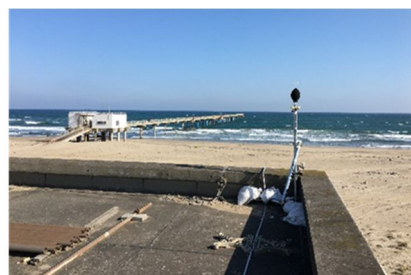


写真-1 研究施設新館屋上に設置された騒音計

計測した音圧レベルを用いて波高の推定を試みた結果、騒音計を用いた推定では、既往の研究と同様に音圧レベルの相対偏差を変数として使用することでよい精度で推定できた($R^2 = 0.51$, 図-1, 青線)。

一方、ICレコーダのみによる波高の推定では、音圧、相対偏差、風速、およびそれらの積を変数とし、組み合わせを変化させて重回帰分析を実施したものの、決定係数は $R^2 = 0.15$ (音圧、相対偏差、音圧×相対偏差)に留まり、高波浪時に相関はやや向上するものの、特に波高が1.0m以下の低波浪時の推定ができなかった(図-1, 赤破線)。

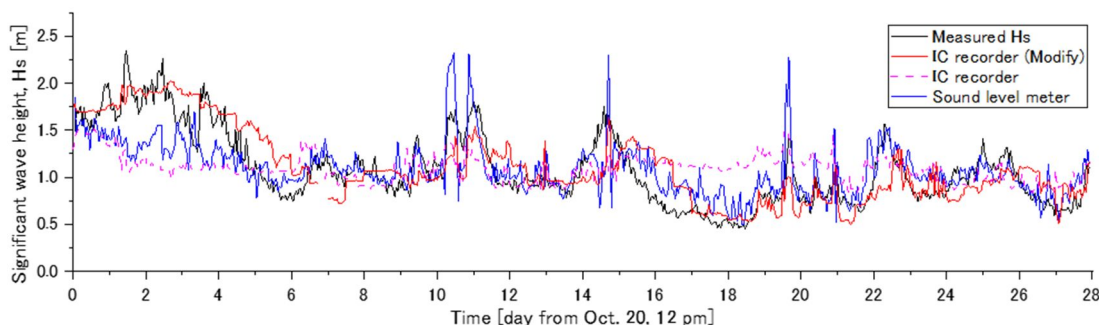


図-1 推定有義波高と実測有義波高の時系列変化

ただし、ICレコーダ音圧と実測有義波高の間には一定の相関関係が見られたことから、次に、対象日時から過去1.5日分のICレコーダ音圧と実測波高データを用いて両者の関係式を導き、この式を用いて12時間先までの波高を音圧から推定することを試みた。その結果、波高の上昇時および下降時において時系列にやや遅れが生じてしまうものの、両者の決定係数は $R^2 = 0.64$ とこれまでの推定法で最もよく推定できることがわかった(図-1, 赤線)。

(2) 神奈川県相模灘での観測

波浪音観測は2022年9月8日~11月7日の約2ヶ月間、相模灘に位置する東から、東町(小田原)、国府津、大磯、平塚(写真-2)、辻堂、材木座の計6地点で実施した。平塚にのみ騒音計も設置し、他はICレコーダのみでの観測とした。使用するICレコーダについて騒音計を基準にキャリブレーションを行ったうえで解析を行った。比較には、平塚に関しては沖に設置されている平塚沖総合実験タワーでの観測値とし、他の地点は数値モデルSWANの計算結果を用いた。観測期間中、平塚沖総合実験タワーでの平均有義波高、有義波周期はそれぞれ0.51 m(標準偏差0.38 m)、6.87 s(標準偏差1.68 s)であった。



写真-2 平塚海岸に設置した観測アレイ

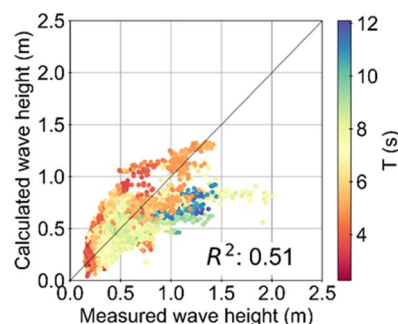


図-2 気圧を導入した推定波高と実測波高の関係

1) 平塚での波高推定

波高の推定において、ICレコーダ音圧、相対偏差(リズム性)、波の周期、風速、気圧を変数として重回帰分析を実施した。解析の結果、陸上にて計測ができない波の周期を除いた変数においては、音圧、相対偏差、気圧の3つの変数を用いた推定で最もよく推定できることがわかった($R^2 = 0.51$, 図-2)。既往研究により提案された手法において精度向上に至らない原因が、発達した低気圧などによって発生する長周期波に起因することが考えられた。

推定結果を確認したところ、1 m以上の波高上昇に追従できないことが確認された(図-3, 緑色実線)。観測音源の確認の結果、風切り音ノイズが含まれていたことから、この除去について検討を行った。

騒音計に使用している防風スクリーン効果に基づき、風速値を用いて風切り音ノイズ補正を行ったところ、わずかではあるが精度が向上した($R^2 = 0.53$)。また、風切り音ノイズの割合が観測音圧レベルの50%であるという簡易な推定であっても同等の精度向上が見られた($R^2 = 0.54$)。

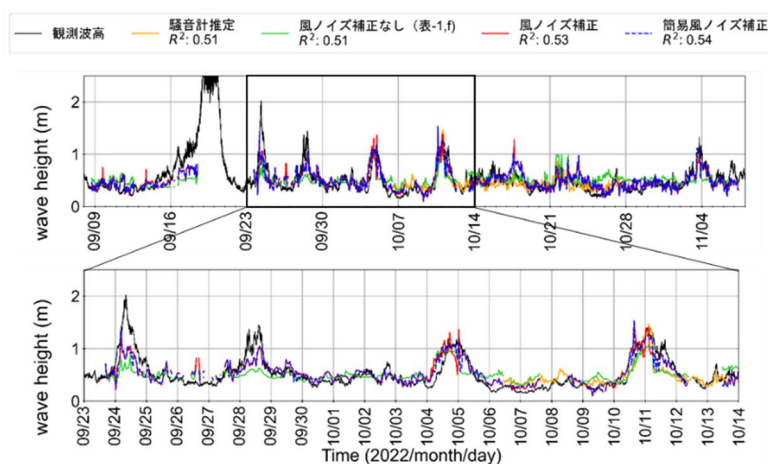


図-3 推定波高と実測波高の時系列変化

2) 他海岸での波高推定、および推定式の一般化

SWANを用いた波高と他海岸にてICレコーダで計測したデータを用いた推定波高との比較を行った。推定方法は平塚海岸にて実施した、音圧、相対偏差、気圧を用いた。平塚以外の海岸ではICレコーダを単管の海側設置したため、風切り音ノイズ処理は不要であった。国府津、大磯、辻堂、材木座それぞれの推定精度は $R^2 = 0.385, 0.531, 0.575, 0.678$ となり、国府津ではやや精度は落ちるものの、平塚と同等以上の精度で推定できることがわかった。ここで、小田原は背後の西湘バイパスによる車両走行音の影響が大きかったことから解析から除外した。

最後に、地点毎の海岸特性と波高推定式の関係性から、相模灘における波高推定式の一般化を試みた。検討の結果、波の発達に関連しているであろう海底勾配、および汀線に近い辺りでの波の状況(リズム性)に関連していると考えられる前浜勾配を用いることで、一般式の回帰係数を提案することができた。この一般式を用いると、決定係数は平均0.02低下してしまうものの、波浪変動は捉えることができた。

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 鈴木 崇之, 荒木 大地, 比嘉 紘士, 中村 由行	4. 巻 37
2. 論文標題 波崎海岸におけるICレコーダを用いた波高推定の試み	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 I_673-I_678
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejoe.77.2_I_673	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2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 荒木大地
2. 発表標題 波崎海岸におけるICレコーダを用いた波高推定の試み
3. 学会等名 土木学会 海洋開発シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小俣勇斗
2. 発表標題 平塚海岸におけるICレコーダを用いた波高推定手法の提案
3. 学会等名 土木学会 海岸工学講演会
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

横浜国立大学研究者総覧
https://er-web.ynu.ac.jp/html/SUZUKI_Takayuki/ja.html?k=takayuki+suzuki
海岸・水圏環境研究室
<http://www.cvg.ynu.ac.jp/G2/index.html>
個人ホームページ
<http://www.cvg.ynu.ac.jp/G2/mem/suzuki/top.html>

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
---------	---------