

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 25 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2011～2013

課題番号：23686070

研究課題名(和文) 砕波帯における長周期変動成分場の広域観測手法の構築とその物理機構の解明

研究課題名(英文) Development of Image-based field observation system for behavior of infragravity waves along the surf zone

研究代表者

田島 芳満 (Tajima, Yoshimitsu)

東京大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：20420242

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 10,600,000円、(間接経費) 3,180,000円

研究成果の概要(和文)：近年頻発している高潮や高波に伴う沿岸域災害では被害が局地化する事例では、砕波帯周辺で卓越する波や流れの長周期変動成分が強く影響していると考えられるが、その実証的なデータの取得は困難である。本研究では、暴浪時の観測も可能な画像監視手法に着目し、実験と現地調査に基づき画像から長周期変動特性を抽出する手法を構築した。さらに構築した手法を西湘海岸に適用し、高波浪来襲時には長周期変動成分が卓越し、ある特定の周波数成分についてはその分布が沿岸方向に部分重複波を形成していることが明らかとなり、2007年の西湘バイパス崩落災害直後に計測した浸水高の沿岸方向の周期的な分布特性を説明可能であることが分かった。

研究成果の概要(英文)：Coastal disasters due to stormy waves often locally concentrate and this feature may be partially due to existence of infragravity waves, which have longer wave period rather than wind-induced stormy waves. Due to difficulty of field observation especially around the surf zone under the stormy waves, there are nearly no quantitative data obtained for further investigation of the behaviors of such long waves around the surf zone under the stormy waves. This study successfully developed image-based monitoring system to capture such surf one hydrodynamics. The system was applied to Seisho coast and found that long waves dominantly formed partial standing waves in the alongshore directions under the stormy wave conditions and this feature reasonably explains the inundation heights observed just after the disaster when the typhoon hit the Seisho coast in 2007.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・水工学

キーワード：高波 海岸災害 長周期波 砕波 エッジ波 画像監視

1. 研究開始当初の背景

近年、ハリケーン・カトリーナ、サイクロン・シドルによる高潮災害など、熱帯性低気圧の大型化に伴う歴史的な沿岸域災害が世界各地で頻発している。我が国においても2004年台風23号による室津港・菜生海岸の被災、2007年台風9号による西湘南バイパスの崩落災害、2008年低気圧による富山湾岸における寄り周り波による浸水災害など、沿岸域における高波・高潮による甚大な被害が発生している。これらの災害を引き起こした波浪の特徴は、比較的長く狭い周期帯(周期14~15秒)の波浪が複数重なり合うことにより、時空間方向にゆっくりと波高が変化する波群構造を有していたことである。さらに高波浪来襲時には周期50~100秒の卓越的な長周期波が観測されており、これらは通常の強風に伴い生成される波(風波)が複雑に干渉し合うことによって生成されたものであると推定される。

以上の様な特徴的な波浪条件の下、富山湾や西湘海岸における被災事例では被害が局地的に集中する特性が見られた。たとえば西湘海岸における被災調査では、護岸への波の打ち上げ痕跡高が沿岸方向に数kmのスケールで周期的に変動し、そのピークが局所的な被災地点と一致していることが明らかとなっており、このことは長周期波が被害の局所集中特性に強く影響していることを示唆している。また同海岸における1997年の被災調査においても同じ地点での局地的被害が報告されており、現在の海岸構造物の設計では考慮されていない長周期成分や沿岸海浜流による波浪場集中特性を解明・予測することは、より効果的な減災・防災対策の提案・立案という観点で極めて重要な課題であると考えられる。

このような長周期波に関する研究は近年盛んに行われているものの、現地観測や室内実験による現象の再現が困難であり、長周期成分の生成過程から伝播、また通常の風波との相互干渉といった一連の物理特性については未解明な点が多い。たとえば現地観測では、定点観測結果に基づいて、計測した個々の地点における長周期成分の分析は数多く行われているものの、その空間的な伝播特性を捉えた研究例はない。特に長周期成分の主要な発生源となる砕波帯周辺では激しい流体力が作用するため、計測器の設置すら困難である。

2. 研究の目的

本研究では、まず長周期波の生成・伝播メカニズムを現地観測および室内実験を通じて明らかにし、得られた知見を基に現象を再現する数値波動モデルの構築を試みる。さらに構築した数値モデルに基づく数値実験を通じて、長周期変動成分に伴う波浪集中の軽減策を考案することを最終目的とする。また本研究では、画像による間接的観測を効果的に用い、水圧式波高計などによる直接的な計

測結果と比較することによって、従来は困難であった砕波帯周辺での長周期波の生成・伝播過程の広域的観測を試み、結果として汎用性の高い新しい観測システムを構築することも、大きな研究目的のひとつとして位置づける。

3. 研究の方法

本研究は3年計画とし、現地観測、室内実験、数値解析(モデルの開発および数値実験)の3つの研究手法を柱に、それぞれの研究成果を相互に組み合わせる。中でも、画像と波高計を組み合わせた現地観測による長周期変動成分の時空間変化観測システムの開発は、本研究の特徴的で重要な研究成果のひとつとして位置づけ、初年度には観測システムの開発に加えて室内実験や数値解析を実施してその妥当性の検証を行う。また室内実験データは、新たに構築する数値モデルの検証データとしても用いる。次年度には、構築したシステムを用いた現地観測を実施し、取得データを分析するとともに、観測システムの問題点を抽出する。最終年度には必要に応じて改良した観測システムによる観測を継続するとともに、開発した数値モデルによる計測データの再現、構築したモデルに基づく数値実験を実施し、最後に長周期変動成分による影響を考慮した減災対策の考案、および研究成果を取りまとめを行う。

研究一年目には、本研究の主要な研究成果のひとつである、長周期変動成分の時空間変化を捉えるための画像監視技術を用いた観測システムの構築を行う。まず観測システムの汎用性を勘案し、高所にビデオカメラを設置し、モニタと画像制御・収録を兼用するPCを有線で接続する可動式観測装置を開発する。この装置2台を用いてセンサー設置位置周辺を含む沿岸方向に100m程度の砕波帯および遡上帯をビデオカメラで撮影し、遡上波の時空間波形と水圧センサによる計測結果とを比較する。さらに、砕波帯内の気泡や波峰線などに基づく水面画像パターンのスペクトル解析やPIV法に基づき表層流速の推定を試みる。画像に基づく流速推定精度を検証するために、平常波浪時には電磁流速計を設置し、時々刻々変動する水平流速成分を計測する。

次に砕波帯における長周期変動成分の生成過程を解明・検証する目的で、2次元断面水路(既有)を用いた室内実験を実施する。本実験では周期が異なる2つの波を同時に入射させ、波と波が互いに干渉させることによって長周期波を生成させる。実験計測には容量式波高計(既有)による水位計測に加え、申請者が開発した画像計測手法に基づく水位変動場の高解像度計測技術を適用し、砕波帯内における水面形の積分値から砕波帯内を含む任意地点での時々刻々の水面変動を推定する。

次に2年目には、一年目に構築した画像観

測システムを用いて実際に高波浪が来襲した条件における水位変動を捉える。また前年度に実施した室内実験結果に基づき、特に砕波帯内における長周期変動成分の生成・伝播過程を再現可能な数値波動モデルを構築する。特に沿岸域における長周期変動成分の生成過程を適切に再現するためには、任意周波数を有する複数波浪の分散・伝播・非線形干渉を適切に算定することが必要不可欠となる。

3年目には構築した現地観測を継続的に実施してデータを蓄積するとともに、スペクトル解析を中心とした取得データの分析を実施する。特に、西湘海岸・大磯海脚による地形急変部における長周期変動成分の応答特性について、長周期変動成分の位相関係から分析を進める。構築した数値モデルを平面2次元場へ拡張し、実際の西湘海岸地形に適用して数値解析結果を観測データと比較する。この際計算された通常波および長周期変動成分の波高分布のみではなく、それらの位相関係を比較することにより、特に沿岸方向への長周期変動成分の応答特性を検証する。既往の砕波モデルでは、波峰の断面形状の情報が必要になるなど、平面2次元場への拡張が難しいものが多い。本研究では Surface Roller の生成・伝播を考慮した砕波減衰モデルを新たに構築するが、開発当初より平面2次元場への拡張を念頭においた開発を進める。最後に妥当性の確認された数値モデルを用いた数値実験を行い、長周期変動成分と通常波浪成分との相互干渉を考慮した場合の外力場集中機構の軽減対策を考案する。具体的な対策案は、現地観測および数値実験結果に基づいて考察されるべきであるが、申請者らの被災調査で見られた沿岸方向への長周期変動成分の反射・合成の軽減を勘案すると、沿岸方向に長く伸びた消波構造物や、突堤、潜堤などとの組み合わせが効果的な対策案候補として考えられる。上記の数値モデルの構築では、これらの予想される対策案を念頭におき、護岸だけではなく消波構造物や没水型の潜堤などによる波・流れ場への影響を算定可能なモデルにする。

4. 研究成果

まず、観測システム構築のための現地観測と室内実験、さらに数値モデルの構築を実施した。現地観測では、砕波帯内の砂面下に水圧センサーを埋め一週間の水位変動を計測し、砂面下であっても長周期変動成分を妥当に計測可能であることを確かめた。さらに、台風12号来襲時における遡上帯をビデオ撮影し、遡上帯における水・陸境界の時間変動が確かに長周期変動を伴っている様子を定量的に抽出・確認できた。さらに室内実験では長周期成分と短周期波を同時に入射させた条件で水位の計測に合わせて遡上帯のビデオ撮影を行い、水位計測結果と画像解析による水際線の変動特性が良く一致すること

を確認した。モデルでは、非線形分散波方程式で大規模渦のモデルを組み込み、長周期変動成分の生成に大きく寄与すると考えられる波による質量輸送量を精度よく算定可能なモデルを構築した。

次に先に実施した室内実験と、現地における波高計による観測に基づき、連続静止画像による砕波帯内の画像計測システムを新たに構築し、その妥当性を確かめた。画像計測システムにより長周期場の推定精度が十分に得られることが分かった。現地観測対象地は相模湾西湘海岸とし、沖合からの来襲波浪の情報を得るために、申請者の所属する東京大学が所有する平塚観測塔に設置した波高計のデータを整理し、画像観測による砕波帯周辺での波浪特性と比較した。その結果、沖合の波浪条件に見られた長周期成分のうち、ある特定の成分が沿岸域で増幅していることなどが明らかとなってきた。

次に前年度に実施した室内実験結果に基づき、特に砕波帯内における長周期変動成分の生成・伝播過程を再現可能な数値波動モデルを構築した。特に砕波モデルについては砕波波峰前面での大規模渦(surface roller)の生成・逸散過程を再現するモデル化を試み、その妥当性を断面二次元水槽における実験データとの比較に基づき検証した。現在は、反射波が重合する複雑な場にも適用可能なモデルへの拡張を行っている。

以上の研究から、特に室内実験結果からは実際に造波機を用いて生成した波による水位変動、波の伝播により副次的に生成した長周期波による水位時間変動の沿岸方向分布と、動画から抽出した水際線位置の時空間変動とを比較し、水際線の長周期変動成分は、実際の水位の長周期変動と良く一致することが明らかとなった。

西湘海岸を対象に、平常時および高波浪来襲時の異なる条件を選定して遡上帯の動画撮影を実施し、新たに構築した画像解析手法を用いて水際線位置の時空間分布を抽出した。その結果、高波浪来襲時には長周期変動成分が卓越し、かつ、ある特定の周波数成分についてはその分布が沿岸方向に部分重複波を形成していることが明らかとなった。この傾向は、2007年の西湘バイパス崩落災害直後に計測した浸水高の沿岸方向の周期的な分布や構築した数値波動モデルによる再現計算結果と良く一致しており、沿岸方向に伝播する長周期変動成分が浸水高の局所的な増幅に強い影響を及ぼしていることが明らかとなった。

特に砕波モデルに焦点を当てた数値モデルの構築も行い、特に砕波現象に大規模渦(Surface Roller)による影響を概念的に組み込むことにより、実験で計測した砕波帯内における水位上昇や波の下で生じている逆方向(沖向き)の流れ(戻り流れ)などの諸現象を妥当に再現できることなどが明らかとなった。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計7件)

Mohsin, S. and Y. Tajima (2011) : Experimental and numerical study on cross-shore volume flux over a submerged breakwater, proc. of Coastal Structures, CD-ROM.

田島芳満・S. Mohsin(2012) : 非線形分散波方程式における異なる砕波減衰モデルによる流れ場の推定特性, 土木学会論文集 B3(海洋開発), vol.68, No.2, doi http://dx.doi.org/10.2208/jscejoe.68.I_792

Tajima, Y. (2012) : Predictions of circulating current field around a submerged breakwater induced by breaking waves and surface rollers, Proc. of Int. Conf. on Coast. Eng., CD-ROM.

田島芳満・三上生真・長谷川貴哉(2013) : 沿岸域遡上帯における長周期波伝播特性の画像分析, 土木学会論文集 B2(海岸工学), vol.69, No.2, doi http://dx.doi.org/10.2208/kaigan.69.I_146

Tajima, Y. (2013) : Image-based monitoring of dynamic morphology changes around the Shimata river mouth facing the low energy beach, proc. of Coastal Dynamics, CD-ROM.

Liu, W. and Y. Tajima (2014) : Image-based Study of Wave Characteristics over Shallow Fringing Reef, Journal of JSCE, B2 (Coastal Engineering), (accepted)

Mohsin, S. and Y. Tajima (2014) : Modeling of time-varying shear current field under breaking and broken waves with surface rollers, Coastal Engineering Journal, World Scientific, (printing)

〔学会発表〕(計7件)

Mohsin, S. and Y. Tajima (2011) : Experimental and numerical study on cross-shore volume flux over a submerged breakwater, Int. Conf. on Coastal Structures.

田島芳満・S. Mohsin(2012) : 非線形分散波方程式における異なる砕波減衰モデルによる流れ場の推定特性, 海洋開発シンポジウム

Tajima, Y. (2012) : Predictions of circulating current field around a submerged breakwater induced by breaking waves and surface rollers, Proc. of Int. Conf. on Coast. Eng.

田島芳満・三上生真・長谷川貴哉(2013) : 沿岸域遡上帯における長周期波伝播特性の画像分析, 海岸工学講演会.

Tajima, Y. (2013) : Image-based monitoring of dynamic morphology changes around the Shimata river mouth facing the low energy beach,

Int. Conf. on Coastal Dynamics .

Liu, W. and Y. Tajima (2014) : Image-based Study of Wave Characteristics over Shallow Fringing Reef, 海岸工学講演会 .

Liu, W. and Y. Tajima (2014) : Image-based study of breaking and broken wave characteristics in front of the seawall, Int. Conf. on Coast. Eng.

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

〔その他〕

特になし

6. 研究組織

(1)研究代表者

田島 芳満 (TAJIMA, Yoshimitsu)

東京大学・大学院工学系研究科・教授

研究者番号 : 20420242

(2)研究分担者

なし()

研究者番号 :

(3)連携研究者

なし()

研究者番号 :