

機関番号：13101

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2008～2010

課題番号：20560472

研究課題名（和文） 干渉合成法を用いた自由長周期波の伝播・増幅メカニズムの解明

研究課題名（英文） Predicting Method for Transformation of Infragravity Waves with Interferometric Green's Functions

研究代表者

泉宮 尊司 (IZUMIYA TAKASHI)

新潟大学・自然科学系・教授

研究者番号：60151429

研究成果の概要（和文）：

本研究では、長周期波浪系に短周期波浪が外力として作用する確率論的ゆらぎモデルを開発し、それを理論的に解析することによって、長周期波高と短周期波浪のスペクトルや波浪諸元との関係が見出された。また、2地点の相互相関関数が Green 関数に相当することが示され、この Green 関数と沖合いの長周期波の波形を用いて、港湾内の長周期波の波形の推定を行ったところ、かなりの精度で波形予測ができることが示された。さらに、波形推定の精度を上げるために、Convolution 法を適用してその精度を実測値との比較により検証した。

研究成果の概要（英文）：

A stochastic forcing model has been developed to estimate the heights of infragravity waves excited by short gravity surface waves. The model includes a wave equation for infragravity waves with the external force term due to pressure disturbances by short gravity waves. The analytical solution of the wave equation was obtained, and the root-mean-square value of the surface elevation of infragravity waves was estimated. The rms value is proportional to the square root of the spectral moment of -2 order, m_{-2} , of short gravity waves, which is also proportional to the product of the wave height and the peak wave period or the significant wave period of short gravity waves.

The propagation of infragravity waves in intermediate water depths near and in a port is investigated with field observations. A Green function method which is used for seismic interferometry is applied to estimate wave profiles of infragravity waves. It is shown that when external forces are uncorrelated noise source, Green functions between two points can be retrieved by taking cross-correlation of records. The wave profiles of infragravity waves are estimated with the Green function and compared with the measured data. The agreement between them shows fairly good.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	2,500,000	750,000	3,250,000
2009年度	700,000	210,000	910,000
2010年度	300,000	90,000	390,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

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：海岸工学

1. 研究開始当初の背景

海の波には一般に周期が 30s 以上の長周期波が含まれており、特に発達した低気圧や台風などが通過する際には、その長周期波は浅海域では非常に大きな振幅となっていることがしばしば観測されている。長周期波は、港湾での荷役作業の支障となるだけでなく、波の遡上や打上げ高さおよび越波流量にも大きな影響を及ぼしている。また、長周期波による流速は余り大きくなくても、継続時間が長いこと、浮遊砂の移流や海浜地形変化にも有意に影響を及ぼしていると考えられる。このため、長周期波の発生・発達および伝播・増幅特性を明らかにすることは、極めて重要である。

長周期波には、非線形干渉によって発生する拘束波起源のものと、自由波起源の長周期波がある。自由波起源と言っても、発生時には風速や気圧が変動することによる共鳴干渉によって発生・発達したものや、波浪が逆風等によって減衰し、長周期拘束波が解除されて自由波となったもの、あるいは拘束自由波が海岸で反射して自由波になったものも考えられる。また、浅海域において砕波によるエネルギー逸散が空間的あるいは時間的に変化することにより、radiation stress が時空間的に変化し、拘束長周期波が発生して後に自由波に開放される長周期波もあると考えられる。これまでの研究により、波浪の非線形干渉による拘束長周期波に関しては解析法がほぼ確立されており、拘束波が卓越する場合には、実験結果や観測結果と比較的よく一致することが確認されている。しかしながら、外海に面した海浜では、いわゆる自由波の長周期波成分が拘束波成分よりも 1 オーダ大

きいことがしばしば観測されており、拘束波だけでは長周期波の全体像を明らかにすることはできない。

2. 研究の目的

本研究では、沿岸で長周期波を観測し、自由波の発生起源と伝播・増幅特性を調べることを研究の目的とする。これまで自由長周期波に関しては、その発生原因について詳しく研究されたことがなく不明な点が多く存在している。著者は、平成 14・15 年度科学研究補助金(基盤研究 C(2)) を得て「風波と気流の局所相似構造に基いたエネルギー供給および逸散量の評価に関する研究」を行っていた際に、風速変動や気圧変動によって長周期波が発生していることに気づき、平成 18 年度よりそれらと長周期波との関係を調べている。その結果、風速変動と長周期波のエネルギースペクトルのピークはほぼ一致していることから、風速変動あるいは圧力変動と共鳴機構が働いて長周期波が発達している可能性があることを示唆している。しかしながら、この実験では風速と圧力を同時に測定していなかったために、風速変動と圧力変動のどちらに共鳴して長周期波が発達しているかは不明であった。そこで本研究では、実験室および現地海岸において、長周期波と同時に風速変動と気圧変動を同時に計測して、長周期波の発達機構を明らかにする。また、自由長周期波の伝播特性を明らかにするために、2 地点で観測された長周期波を干渉合成し、時間領域のグリーン関数を算定することにより、伝播経路と反射位置を明らかにする。

3. 研究の方法

本研究は、自由長周期波の風速変動および気圧変動との関連を調べ、その起源を探る研究と現地海岸において長周期波を2地点以上で観測し、伝播・増幅特性を調べる研究の2つの研究から成っている。前者の研究では、風洞実験において、水位変動と風速および気圧変動を同時に測定し、スペクトルや位相を調べることで共鳴条件等を調べる。後者の研究では、多地点で観測された長周期波を干渉合成することにより、2地点間の長周期波のグリーン関数を算定することで、どの時間に反射しているのかが分るため、伝播経路と増幅特性を調べることができる。この手法は、港湾の長周期波対策に応用することができ、有効な対策をどの位置で行えばよいか分かるものである。平成20年度は、以下の研究計画に従って研究を進める。

- (1)長周期自由波の風速変動および気圧変動との関連を調べるために、既存の風洞水槽において、水位変動と風速および気圧変動を同時に計測する。測定結果を用いて、パワースペクトル、クロススペクトル、位相関数、コヒーレンスを算定する。長周期波へのエネルギー輸送量を評価し、風速変動と気圧変動のどちらがより長周期波の発達に寄与しているかを定量的に評価する。
- (2)風速変動および気圧変動による長周期波の発生・発達の理論的解析を行う。具体的には、風速変動および気圧変動の振幅と周期を数種類与えて、長周期波の水位変動を計算し、実験結果と比較する。
- (3)現地海岸においても、風洞水槽と同様な結果が生じているかを確認するために、栈橋上あるいは防波堤先端において、備品に計上の風速計および微気圧計を用いて風速および気圧変動を測定する。長周期波の振幅と風速および微気圧の変動振幅との関係を

調べる。

- (4)長周期波の伝播・増幅特性を調べるために、漁港近くの現地海浜において3地点で長周期波を観測する。長周期波の拘束波成分を計算し、自由長周期波を抽出する。2地点での自由長周期波を干渉合成法により、グリーン関数を算定する。その結果を用いて、長周期波の反射位置等を検索する。
- (5)様々な気象・海象条件のもとで、(4)の現地観測を行い、自由長周期波の発生・発達原因を調べる。長周期波をバンドパスフィルターにより、周期30s~60s, 60s~300s, 300s以上の長周期波に分け、風速変動および気圧変動も同様に分離して、それらの振幅と位相等の関係を調べる。
- (6)風速変動および気圧変動による長周期波の発生・発達に関する研究を取りまとめて、学会にて発表する。この学会に出張するために旅費を使用する。

平成21年度・22年度の研究は、前年度の研究成果を受けて、実験および観測の精度を上げるために、実験ケースを増やしたり、観測期間を長くして実施する。また、風速変動および気圧変動による長周期波の発生・発達の数値シミュレーションを実施する予定である。平成21年度以降の研究計画は以下の通りである。

- (1)前年度の実験結果を参照しながら、風速および気圧変動の周期をさらに増やして、既存の風洞水槽において、水位変動と風速および気圧変動を同時に計測する。前年度と同様に長周期波へのエネルギー輸送量を評価し、風速変動と気圧変動のどちらがより長周期波の発達に寄与しているかを定量的に評価する。
- (2)現地海岸における長周期波の観測に関しては、漁港内外で水位変化等を計測し、長周期波の伝播特性を調べる。長周期波の反

射位置を求めるために、干渉合成法を用いてグリーン関数を算定する。

- (4)長周期波の運動方程式の表面せん断応力および表面気圧変動項を考慮して、風速変動および気圧変動による長周期波の発生・発達の数値シミュレーションを実施する。計算された長周期波と風速変動および気圧変動とのスペクトルおよび位相関係を調べる。
- (5)風速変動および気圧変動による長周期波の発生・発達に関する研究を取りまとめて、報告書を作成すると共に、国内外の学会および学術誌に投稿して発表する予定である。この学会に出張するために国内旅費および海外旅費を使用する。

4. 研究成果

本研究では、長周期波の特性を明らかにすべく、近年地震学や物理探査の分野で用いられている地震波干渉法を海洋の長周期波の場に適用するための理論をまず構築している。用いた基礎方程式は、source 波源を含む連続式および運動方程式である。これらの方程式と Gauss の定理を用いて Rayleigh の相反定理が得られ、source 波源がランダムに分布したホワイトノイズ波源であれば、2 地点で観測された長周期波の相互相関関数は、2 地点間の Green 関数 $G(x_A, x_B, t)$ になることが示されている。また、ある地点で観測された長周期波の自己相関関数は、その地点に source 波源を置いた時の観測波形即ち「エコー」を示すことも理論的に示された。これらの理論的結果が正しいかを実証するために、新潟県直江津港の沖合いおよび港湾内の 4 地点において、2009 年 12 月 9 日より 1 ヶ月間の長期波浪観測実施した。波浪の現地観測により、長周期波の反射・伝播特性を明らかにし、以下の事柄が明らかと

なった。

(1)Source 波源を含む連続式および運動方程式を用いて、2 地点間の相互干渉項を空間積分することにより、2 地点 x_A と x_B との相互相関関数が Green 関数に相当することが示された。(2)理論の妥当性を検証するために、直江津港内外の 4 地点において波浪観測を実施し、スペクトル、長周期波(30s~300s)の時系列および自己相関関数を算定した。その結果、50s 以上の長周期波はほぼホワイトノイズ的な性質を有しており、自己相関関数もほぼ δ 関数に近い結果が得られた。(3)港湾内の P4 地点では、自己相関関数から周期 50s の共振が生じており、1 月 3 日には周期 130s 程度の共振が発達している。このことは、長周期波の伝播時間が共振周期の半分であることから反射位置を同定できる。(4) P_1 と P_2 地点の長周期波の相互相関関数の約 100s 前後のピークは、長周期波が P_1 から P_2 に伝播するに要する時間であり、500s 前後のピークは長周期波が P_1 から汀線で反射し、 P_2 に達するまでの時間に相当する。(5)相互相関関数(Green 関数)を用いて、 P_2 地点の長周期波の水位を予測した結果は、水位の変化はかなり類似しており、本手法は長周期波の波形を推定するのに有効な方法であることが確認された。

平成 22 年度の研究では、前年度の現地観測で得られた長周期波の予測精度を高めるために、Deconvolution 法を用いた干渉合成法により長周期波の水位波形推定を行い、相互相関法によるものと比較・検討し、水位波形推定の高精度化を目指した。その結果、以下の事柄が明らかとなった。(1)相互相関関数と Deconvolution 関数を比較すると、Deconvolution 関数の方が波源関数の影響を除去でき、2 地点間の長周期波の伝播経路および反射位置を同定しやすいことが示された。(2)Deconvolution 法により、長周期波の水

位波形を推定した結果、観測波形と比較的良く一致し、本手法は長周期波の推定に有効な手法であることが示された。(3)相互相関法および Deconvolution 法を比較したところ、Deconvolution 法の方がより細かく長周期波の波形を推定することができていることが確認され、Deconvolution 法はより精度の良い長周期波の水位波形を推定することが示された。

平成 22 年度より新たに津波干渉合成法による遠地津波の波形予測に関する研究を行った。津波波源域により近い観測点の波形データを用いて、所用の沿岸域の地点での津波波形をリアルタイムに推定する手法を開発し、その手法を実際に発生した遠地津波に適用し、その精度を検証した。その結果、以下の事柄が明らかとなった。(1)任意の地点の津波波形は、インパルスの重ね合わせで表現され、2 地点間の津波波形の相互相関関数は 2 地点間の Green 関数に比例することが示された。(2)2010 年チリ津波に対して、Hawaii 諸島の Honolulu, Kahului および Nawiliwili の 3 地点の津波波形とそれぞれの地点と花咲、御前崎および土佐清水との相互相関関数の Convolution を用いて、それらの地点の津波波形を推定した。いずれの地点も津波波形の一致度は非常に高く、中継地点の津波波形を用いて、日本の沿岸域の津波波形を合成できることが示された。

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 10 件)

- ① 泉宮尊司・小林雄一・石橋邦彦・関本恒浩・高橋研也・若松 厚・石垣 順・井下俊二：干渉合成法を用いた長周期波の伝播・反射特性の解明および水位予測、

査読有、土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol. 66, No. 1, 2010, 176-180.

- ② 泉宮尊司・小関達郎：大気・海洋変動指標と台風特性および気候変動との関連性に関する研究、査読有、土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol. 66, No. 1, 2010, 1251-1255.
- ③ 泉宮尊司・金井 誠：確率論的ゆらぎモデルによる長周期波の発生・発達の予測に関する研究、査読有、土木学会海岸工学論文集, 第 56 巻, pp. 221-225, 2009.
- ④ 泉宮尊司・小林雄一：海洋レーダによるレンジ方向の流速成分を用いた海表面流速場の推定法 に関する研究、査読有、土木学会海岸工学論文集, 第 56 巻, pp. 1446-1450, 2009.
- ⑤ 泉宮尊司・澁谷仁史：順序統計量の分散を考慮した極値統計解析の適合度評価法に関する研究、査読有、土木学会海岸工学論文集, 第 56 巻, pp. 156-160, 2009.
- ⑥ 泉宮尊司：消波護岸の越波流量の確率分布の理論的推定とその適用性に関する研究、査読有、土木学会海洋開発論文集, 第 47 巻, pp. 1243-1248, 2009.
- ⑦ Izumiya, T., S. Watanabe and K. Ishibashi (2009): Resonant evolution of long period waves by periodically fluctuating wind velocity, , 査読有, Coastal Dynamics 2009, pp. 1-11, CD-ROM.
- ⑧ 泉宮尊司, 渡辺 聡, 石橋邦彦：“風速および気圧変動による長周期波の共鳴発達機構に関する研究”, 査読有, 土木学会海岸工学論文集 第 55 巻. 201-205, 2008.
- ⑨ 泉宮尊司, 白 晃栄, 石橋邦彦：“2008 年 2 月 24 日新潟・富山高波災害の気象・海象からの要因分析”, 査読有, 土木学会海岸工学論文集 第 55 巻. 181-185, 2008.
- ⑩ 泉 正寿, 泉宮尊司：“浮遊砂による底質

の沖合い流出量の定量評価に関する研究
”, 査読有, 土木学会海岸工学論文集 第
55 卷. 721-725, 2008.

[学会発表] (計 2 件)

- ① 山下正輝・泉宮尊司: 衛星リモートセン
シングによる非線形波浪の波高および水
位分布推定法に関する研究, 第 28 回土木
学会関東支部新潟会研究調査発表会,
2010 年 11 月 25 日, 長岡市ハイブ長岡.
- ② 白 晃栄, 泉宮尊司, 石橋邦彦: “2008 年
2 月 24 日新潟・富山の高波災害の要因分
析, 第 26 回, pp. 92-95, 2008” 土木学会
関東支部新潟会研究調査発表会論文集
(第 26 回), 2008 年 11 月 13 日. 長岡市
ハイブ長岡.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

泉宮 尊司 (IZUMIYA TAKASHI)
新潟大学・自然科学系・教授
研究者番号: 60151429

(2) 研究分担者

(3) 連携研究者

(4) 研究協力者

小林 雄一 (KOBAYASHI YUUICHI)

新潟大学・大学院自然科学研究科・
博士前期課程

金井 誠 (KANAI MAKOTO)

新潟大学・工学部建設学科・卒業研究生
坂井 実可子 (SAKAI MIKAKO)

新潟大学・工学部建設学科・4 年生

渡辺 聡 (WATANABE SATOSHI)

新潟大学・工学部建設学科・卒業研究生

白 晃栄 (HAKU KOUEI)

新潟大学・大学院自然科学研究科・
博士前期課程学生

石橋 邦彦 (ISHIBASHI KUNHIKO)