

平成 30 年 6 月 15 日現在

機関番号：17701

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K06238

研究課題名(和文) 津波の陸棚上伝搬に対する岬などの地形障壁の影響に関する研究

研究課題名(英文) Effects of topographic obstacles on tsunami propagation over a continental shelf

研究代表者

浅野 敏之 (ASANO, Toshiyuki)

鹿児島大学・理工学域工学系・教授

研究者番号：40111918

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、理論的なエッジ波の特性ならびに岬を模した地形障壁を置いたときのエッジ波の変形特性について、実験と数値計算の両面から検討したものである。ステップ状の陸棚地形を有する小型水槽を製作し、測定された水位変動の時空間変化から、エッジ波の分散関係、岸沖方向の波高分布等を検討したところ、理論と整合する結果を得た。また円弧状の汀線・陸棚境界線を持つモデル海浜を設定した数値解析を行ったところ、伝搬状況や岸沖方向の波高分布等について、理論が示すエッジ波の特性が再現された。陸棚上に突堤模型を置いた実験ならびに数値解析から、岬などの地形障壁によるエッジ波の波速や平面的な波高分布の変化特性を明らかにした。

研究成果の概要(英文)：This study investigates characteristic changes of edge waves by a topographic obstacle like a cape experimentally and numerically. The experiments were conducted in a small wave tank with setting a step-type shelf to measure two dimensional water surface fluctuations. The dispersion relationships and on-offshore wave heights of the edge wave components are found to be consistent with those described by the edge wave theory. In the numerical analysis where a concentric circle topography for the shoreline and shelf edge was set, characteristics of edge wave propagation and on-offshore distributions of edge wave height were analyzed. These results are found to reproduce the characteristics expressed by the edge wave theory. The characteristic changes of edge wave celerity and plane wave height distribution by a topographic obstacle are discussed based on the experimental and numerical results by changing experimental conditions and dimension of a model obstacle systematically.

研究分野：工学

キーワード：エッジ波 津波伝搬 分散関係 振動モード 海岸防災 模型実験 数値解析

1. 研究開始当初の背景

(1) 陸棚に捕捉され海岸に沿って進行するエッジ波は、津波を遠方まで伝搬させる導波作用と、水面変動を長時間継続させる作用があり、これらが津波被害を増大させる可能性がある。エッジ波の研究は1950年代にさかのぼる古い歴史があるが、数学的導出を主眼とするものがほとんどで、津波防災を考える上で重要な、エッジ波の津波の増幅機構や長時間継続機構に果たす役割については、あまり研究が成されていない。加えて実際の海岸では、陸棚上の岸沖長周期波や湾水振動など同じ周波数帯の長周期波変動と混在することや、海底地形・沿岸地形による変形・反射・減衰などにより、エッジ波を抽出すること自体が容易ではなく、その特性については現在も不明な点が多く残されている。

(2) 東北地方太平洋沖地震津波において、津波による犠牲者が発生した南限は千葉県旭市にまで広がり、市内飯岡海岸では、観測波高6m、死者・行方不明者15人、家屋の全壊427棟の大きな被害が発生した。旭市は大吠埼の南、九十九里浜の北端に位置し、前面水域には東北地方から続く発達した大陸棚が広がっている。津波は陸棚上でエッジ波となり遠隔地にも勢いを減じることなく伝搬した可能性も考えられるが、この点も十分解明されていない。

(3) 本研究開始前に、東北地方太平洋沖地震津波の断層パラメータを与えて津波伝搬シミュレーションを行ったところ、北から南に伝搬するエッジ波の存在が読み取れ、また、局所的に津波波高が大きく変動する箇所が認められた。特に注目すべきは、大吠埼の突出部がエッジ波の伝搬に与える影響であった。エッジ波は、理論的研究では無限長海岸で沿岸方向に進行波として伝搬するものを想定することが多いが、現地海岸では岬などで反射し、重複波性となることが考えられる。しかし、どの程度の突出が進行波性・重複波性を区分するかといった理論に乗らない実際的な研究は、ほとんど行われておらず、本課題の解明は極めて不十分な状態であった。

2. 研究の目的

(1) 本研究の目的は、模型実験と数値解析によって、岬などの地形突出や海岸線の屈曲が、エッジ波の進行波性・重複波性の遷移過程に及ぼす影響を明らかにすることである。

(2) 模型実験では、相田らの先行研究にならって、ステップ型の陸棚断面地形を設置した小型平面水槽を製作した。まず、陸棚に沿って規則波を造波して、エッジ波が形成されることを確認する。次に、抽出されたエッジ波が理論の示す特性を再現するかどうかを検討する。この後、陸棚上に遮る長さを変化させた陸棚模型を置き、模型を設置しない場合と設置した場合で、エッジ波の伝搬特性がどのように変化するかを検討する。

(3) 数値解析においては、模型実験のような

直線状の海岸地形ではなく、以下の理由により海岸線と陸棚境界が同心円状の地形を設定した。

エッジ波は、外洋から陸棚内に入射した波が汀線で反射した後、陸棚端での角度が大きいため全反射が起こり、外洋域に抜けずに陸棚部に捕捉されるために起こる。予備検討から直線状の海岸では津波による平面波が外洋から陸棚内に入射してもエッジ波に変わりにくいことが確認された。一方、海岸が湾曲した場合に波の反射が不規則に起こるとその一部がエッジ波になり陸棚上に捕捉される。実際の津波イベントでも、エッジ波の存在が高い確度で確認されたのは北海道十勝沖海岸など湾曲した海岸線・陸棚線を持つ海岸である。

(4) 模型実験・数値解析で得られた異なる陸棚位置での水位変動波形記録について、スペクトル解析、コヒーレンス・フェイズ解析を行い、地形障壁によるエッジ波の進行波性から重複波性への変化の可能性を検討した。

(5) 以上の理想的な平面地形に対する基礎的な考察結果をもとに、海岸線ならびに水深分布が平面的に複雑に変化する現地地形に対する応用研究を行い、地形障壁によるエッジ波の伝搬特性への影響を考察した。

3. 研究の方法

(1) 実験は、長さ682cm、幅164cm、深さ24cmの木製平面水槽を製作し、片側の長辺に幅45cm、底面からの高さ14cmの陸棚模型を設置した。陸棚端に置いたピストン式造波装置により陸棚への入射角0°で造波し、陸棚上でエッジ波が形成されるかを検討した。セメントブロックで、陸棚を遮る長さを10cm、15cm、20cmと変化させた3種類の岬模型を製作し、これらの模型を設置した場合と、設置しない場合のエッジ波の伝搬特性の変化を調べた。

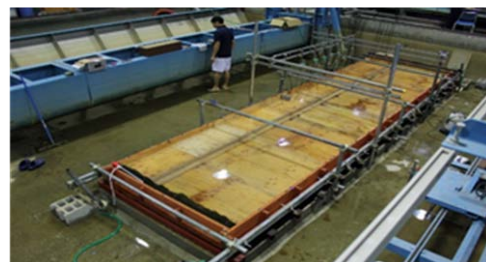


図-1 模型実験水槽

(2) 波高計アレイにより得られた水面変動の時空間特性から、陸棚上を進行するエッジ波のモード、分散関係、岸沖方向・沿岸方向の波高分布等が、理論で示される特性を持つかどうかを検討した。

(3) 数値解析においては、横断面にステップ状陸棚地形を仮定し、平面的には海岸線を半径156.8kmの円弧とし幅12.8kmの同心円状陸棚を持つモデル海浜を設定した。海洋部

の水深は1000m, 陸棚部の水深は200mとし, 陸棚部の幅は12.8kmとした. その地形に楕円形の波源を持つ津波が入射するときの水面変動計算を実施した. 得られた結果から陸棚上に捕捉されるエッジ波を抽出し, 分散関係や振動モードなどの特性, ならびに岬模型を置いた時のエッジ波の反射や減衰などの特性を考察した.

(4) 計算領域を同心円の中心を原点とする $r-\theta$ 座標系で表す. 岬地形を模した突堤模型の設置点を海岸汀線上の $\theta=27^\circ$ 地点に設置した. 数値解析は, 突堤の無い場合と, 長さ4.4kmと8.8kmの突堤を設置した場合の3つのケースについて実施した. 突堤条件を変化させたときのエッジ波の伝搬状況の比較を図-2に示す.

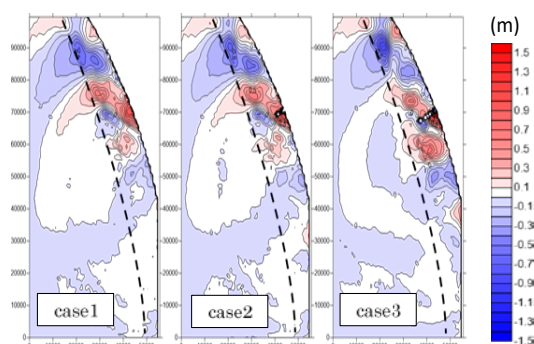


図-2 突堤条件を変化させたときのエッジ波の伝搬状況の比較

(5) θ の異なる陸棚上の水位変動の時系列データを用いて, スペクトル, コヒーレンス, フェイズを解析し, エッジ波の岸沖方向・沿岸方向の振動モード, 沿岸方向への位相速度, 進行波性/重複波性の伝搬状況を調べた.

(6) 現地地形に対する数値解析については, 過去に十勝沖地震津波で大きな被害のあった北海道南部海岸に対して実施し, 津波伝搬に伴うエッジ波の発生を, 平面的水位変動, 波速と分散関係式, 汀線直角方向の振動モード等から検討した. 併せて根室周辺の落石岬などの地形障壁が大陸棚上を伝搬するエッジ波にどのような影響を与えるのかを調べた.

4. 研究成果

(1) 直線状の海岸線, 陸棚境界線を持つ模型水槽で, 陸棚端から入射角 0° で造波した実験結果によって, 陸棚を進行するエッジ波の分散関係が理論と整合することが認められ, エッジ波が形成されることが確かめられた.

(2) 陸棚部に岬を模したコンクリート製ブロックを挿入した実験では, ブロック長が長くなるにつれ実験値の波速は減少し, 進行波性エッジ波の位相速度の理論値より小さくなった. これは, 部分重複波の形成のため波峰の移動速度が見かけ上減少するためと考えられる.

(3) エッジ波の波高の岸沖分布については,

汀線で最大となって陸棚内で沖に向けてモード0の振動であるコサイン波形で減少し, さらに外洋に向けては指数的に減少することが実験結果から認められた.

外洋部水深 h_2 と陸棚上水深 h_1 の比が大きいと, 陸棚内で波高は急勾配で減少し, 外洋部で指数的に減少する. すなわち, エッジ波の変動は汀線付近で大きく陸棚境界では既に小さくなるのがわかった. 一方 h_2/h_1 が小さい場合には, 外洋部でも H/H_0 が小さくならず有意な水位変動が陸棚上内に限定されなくなるのがわかった.

以上の性質は, エッジ波の理論とも整合しており, 実験結果がエッジ波の特性を再現していることが確認できた. 岬模型を設置した実験結果においても, 実験で得られた波高分布に反射による波高増大の影響は局所的に見られるものの, 設置しない場合に得られたエッジ波波高の岸沖方向分布の特性は, 同様に認められることが明らかになった.

(4) 円弧状の汀線・陸棚境界線を持つモデル海浜を設定した数値解析を行い, エッジ波の伝搬状況から位相速度を解析したところ, 理論条件を満足することを確認した. また岸沖方向の波高分布は, 本設定では陸棚内で1つの節, 2つの腹を持つモード1の振動が発現したが, これについても理論が示すエッジ波の特性と合致することが確認された.

(5) 陸棚上に突堤模型を置いた数値解析結果には, 突堤の前方において地形障壁からの反射波が見られ, 突堤後方では地形障壁による遮蔽の影響が見られたが, 陸棚内の岸沖方向の波高分布は, 突堤模型が無い場合と有意な変化はなく, 突堤を設置してもエッジ波は持続的に形成されることが確認された.

(6) 陸棚上の θ の異なる位置において, 数値解析で得られた水位変動の時系列データを用いてスペクトル解析したところ, 突堤を設置しない場合にはスペクトルのピーク周波数は 0.002Hz 付近に認められ, 0.006Hz 付近にも2次ピークが存在することがわかった. 突堤を設置した場合には, 突堤位置前方の $\theta=27^\circ$ 付近で突堤からの反射によるエネルギー値の増大が認められたが, スペクトル波形の基本的形状は設置しない場合と有意な変化はなかった.

(7) 陸棚上の $\theta=18^\circ$ における水位変動を基準としたときの θ の異なる点間のコヒーレンスを解析したところ, 突堤のないケースでは, $0.0018\sim 0.0030\text{Hz}$ 付近でコヒーレンスの値が0.8程度の大きな値となった. 突堤を設置したケースでは, 突堤の影響によりコヒーレンスの値がやや低下した.

上述のコヒーレンスが大きい周波数帯の水位変動成分について, フェイズの沿岸方向変化を解析したところ, 突堤を設置しない場合は, フェイズがほぼ直線的に変化し, エッジ波の進行波的伝搬が確認された. 突堤を設置した場合には, フェイズの直線的な低下状況の上に反射波による波状の擾乱が認めら

れた。

上述のようにコヒーレンスの高い周波数領域が広くないことと、フェイズの結果に反射波による擾乱が入ることから、地形障壁によるエッジ波の進行波性から重複波性への転換については、本研究期間内では鮮明な形で結果を得ることができなかった。

(8) 北海道南部の実海岸地形を対象として、津波波源から造波される水位変動が陸棚内をエッジ波として伝搬される状況をシミュレートした結果、平面的に円弧状の地形を持ち、鮮明で一様な幅を持つ大陸棚地形の広がる広尾―十勝―釧路において、明確なエッジ波の伝搬を確認した。一方、エッジ波は襟裳岬を超えて逆方向の浦河―静内―鶴川方面へも伝搬した。解析されたエッジ波の位相速度や岸沖方向の波高変化から得られる振動モードは理論の説明するものと整合した。釧路―厚岸―根室においては途中に存在する島や岬の地形障壁によって岸沖方向の振動モードがやや不鮮明となる結果を得た。

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1件)

① 切手廉士・御領聡史・井崎文・種田哲也・長山昭夫・浅野敏之 : 陸棚上の長周期波の伝搬に関する基礎的研究, 土木学会論文集 B2(海岸工学), 査読有り, Vol. 73, pp. 169-174, 2017.

[学会発表] (計2件)

① Asano T. : Effects of topographic obstacles on tsunami propagation over a continental shelf, 12th International Conference of Ocean, Port and Marine Structure, 査読有り, CD-ROM, 2016.

② 川原拓也・長山昭夫・浅野敏之 : 岬などの地形障壁のある陸棚海岸上に形成されるエッジ波の特性, 土木学会西部支部年次学術講演会講演集, 査読無し, II-66, 2016.

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

名称 :
発明者 :
権利者 :
種類 :
番号 :
出願年月日 :
国内外の別 :

○取得状況 (計0件)

名称 :
発明者 :
権利者 :
種類 :
番号 :
取得年月日 :
国内外の別 :

[その他]
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

浅野 敏之 (ASANO Toshiyuki)
鹿児島大学・理工学域工学系・教授
研究者番号 : 40111918

(2) 研究分担者

長山 昭夫 (NAGAYAMA Akio)
鹿児島大学・理工学域工学系・助教
研究者番号 : 40621438

(3) 連携研究者 なし

(4) 研究協力者

種田 哲也 (TANEDA Tetsuya)
鹿児島大学・大学院理工学研究科・技術職員

井崎 文 (IZAKI Takeshi)
鹿児島大学・大学院理工学研究科・技術職員