

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

鹿児島大学工学部海洋土木工学科 学生員 ○川原 拓也
鹿児島大学 理工学域 工学系 正 員 長山 昭夫
鹿児島大学 理工学域 工学系 正 員 浅野 敏之

1. 研究の目的

陸棚部に入射した津波などの長周期波が、地形の急変による全反射機構で陸棚上にトラップされると、エッジ波と呼ばれる沿岸方向に進行する波を形成するが、導波作用と長い継続時間を有するために、その解明は津波防災上重要な課題である。エッジ波は研究の歴史は古いものの、数学的な導出に主眼が置かれ、沿岸地形によるエッジ波の特性の変化を議論したものはほとんど無い。図-1 は著者らが2011 年東北地方太平洋沖地震津波の波源を与えて相馬沖-鹿島灘-九十九里浜の津波伝搬状況を数値解析したものである(浅野ら,2015)。陸棚上に津波エネルギーが捕捉され、伝搬する様子が見られ、磯崎岬や犬吠埼等の突出部による反射などの変形が認められるが、定常長周期波との分離や、エッジ波の進行波性／定常波性の判定は、複雑な地形による擾乱の影響で必ずしも明確にできなかった。本研究は、理想化された単純な地形モデルに対して、陸棚上を伝搬する津波が、途中の地形障壁によって反射や減衰等の変形を受けるのかを数値解析により検討したものである。

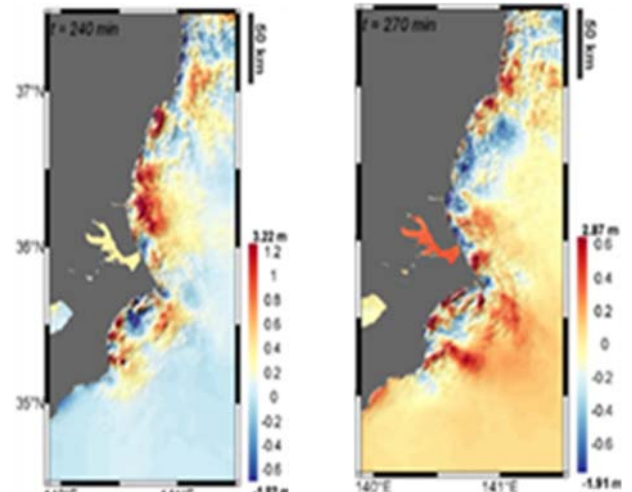


図-1 津波の伝搬状況

(左：地震発生後 $t=4\text{hr}$, 右: $t=4.5\text{hr}$)

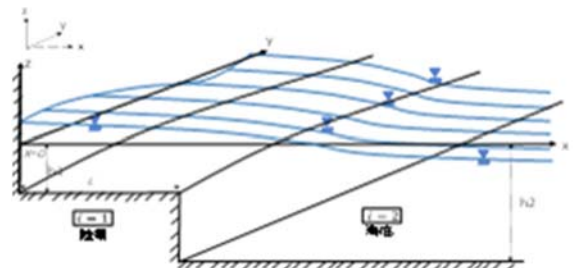


図-2 ステップ型陸棚モデルと座標系

2. 数値計算の概要

(1) 地形条件の設定

陸棚モデルの断面は図-2 に示すステップ状の地形とした。平面的には汀線を図-3 に示すように 156.8km の半径を持つ円弧とし、幅 $l=12.8\text{km}$ の円弧状陸棚を設定した。陸棚部の水深 h_1 は 200m 、海洋部の水深 h_2 は 1000m とした。計算領域は x 方向 100km 、 y 方向 56km とした。円弧の中心は図-3 の $x=150.8\text{km}$ 、 $y=0\text{km}$ にある。図中の B 点は円中心から $\theta=39^\circ$ の偏角にあり、また $\theta=27^\circ$ の偏角上には長さ 2km の突堤を設置した。汀線では完全反射条件、側方と沖方境界は放射境界とした。

(2) 基礎式と計算条件

基礎式は連続方程式と非線型浅水方程式であ

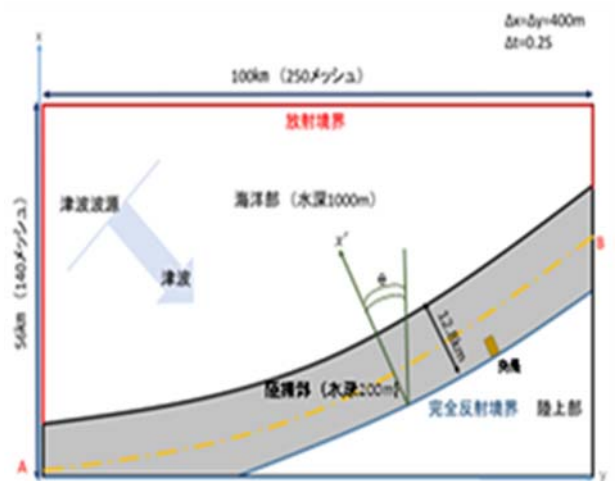


図-3 陸棚モデルの平面図

り, leap-frog staggered スキームで差分化した。メッシュサイズは $\Delta x = \Delta y = 400\text{m}$ であり, 時間刻み Δt は 0.2s とした。津波波源は楕円型で長径軸は図-3 の水平軸に対して $\theta = 45^\circ$ の角度を持って設定した。計算は瞬間的な海底変動を与えた後, $t = 2000\text{s}$ まで実施した。計算開始から $t = 1600\text{s}$ までは来襲する津波による直接的な水位変動が大きく, 陸棚上でトラップされたエッジ波が顕著に見られるのは, $t = 1600\text{s}$ からである。時間が長く経過するとエッジ波も減衰が卓越するため本論文では $t = 1600\text{s} \sim 2000\text{s}$ の計算結果を示す。図-4 は水位変動の平面分布のスナップショットであり, 左図は突堤無し, 右図は突堤を設置した場合の水位変動の平面分布である。

3. 数値計算結果

(1) エッジ波の理論波形と分散方程式

図-2 で直線に伸びるステップ状陸棚上のエッジ波の理論波形は次式となる。

$$\eta_1 = a \cos \mu_1 x \cos(ky + \sigma t) \quad (1)$$

$$\eta_2 = a \cos \mu_1 l e^{-\mu_2(x-l)} \cos(ky + \sigma t) \quad (2)$$

ただし η は水位, h は水深, μ, k は岸沖, 沿岸方向の波数, σ は角周波数, l は陸棚幅である。添字 1 は陸棚上, 2 は外海を示す。波速は次の関係を満足する。

$$\sqrt{gh_1} \leq c \leq \sqrt{gh_2} \quad (3)$$

また分散方程式として次式を得る。

$$\tan \mu_1 l = \frac{h_2 \mu_2}{(h_1 \mu_1)} \quad (4)$$

(2) 結果ならびに考察

図-5 は汀線に直角方向の水位変動を, 時間 t をパラメータとして示したものである。図中の赤の縦破線は陸棚境界を示しており, 陸棚より沖方では水位変動が式 (2) の指数的減衰で表されることがわかる。また岸側では $\mu_1 x' = 3\pi/2$ となっている。これより波数 μ_1 は $3.68 \times 10^{-4}(\text{m}^{-1})$ が求められる。図-6 は突堤を

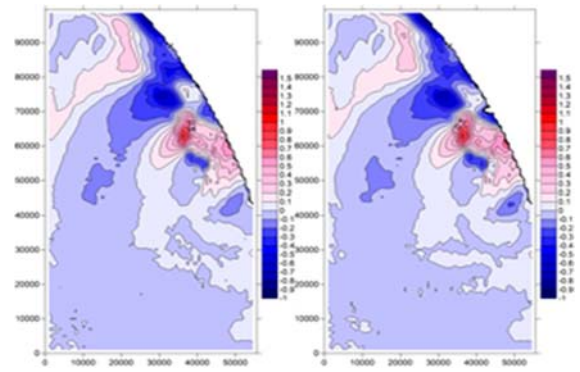


図-4 平面的水位変動のスナップショット($t=1800\text{s}$)

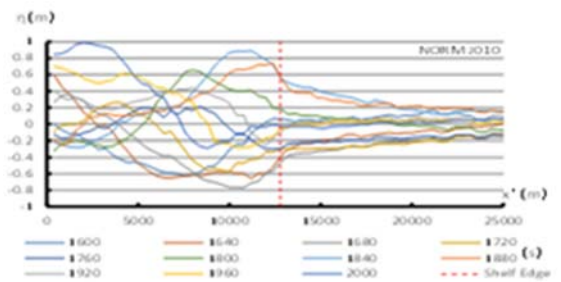


図-5 汀線直角方向の水位変動分布(突堤無し)

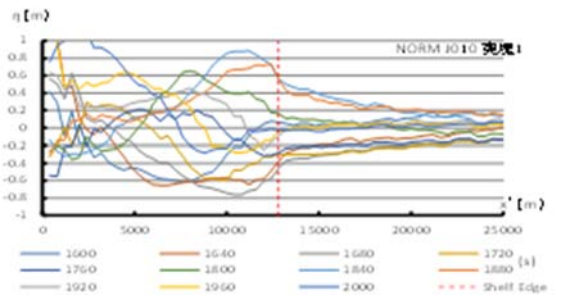


図-6 汀線直角方向の水位変動分布(突堤あり)

おいた場合であるが, 図-5 より $x = 2500\text{m}$ 付近での節位置がわずかではあるが明確になっている。

図-7 は陸棚上円周方向の水位変動の分布を示したものである。 t の増加による曲線のピークの追跡から, 円周方向の進行速度 $c = 71\text{m/s}$ が得られる。陸棚および外界の水深から決まる長波波速はそれぞれ, 44.3m/s , 99.0m/s となり, (3)式を満足する。

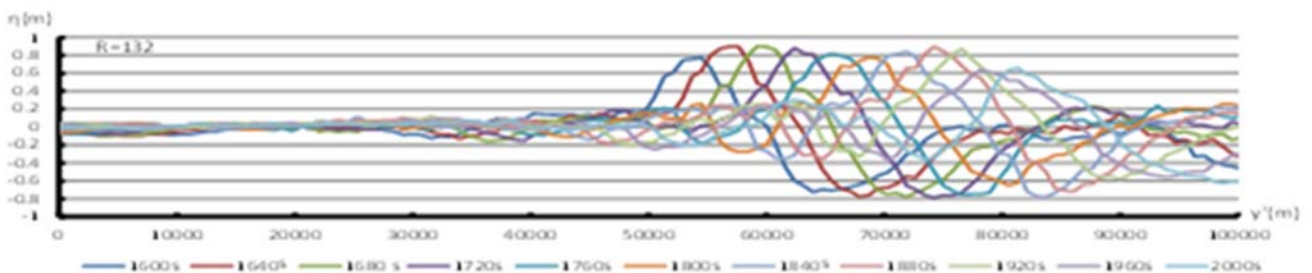


図-7 陸棚上円周方向の水位変動