

II-23

陸棚を伝播する津波の特性

防衛大学校土木工学教室 学生員 堂 蘭 良一
 同 上 正 員 藤 間 功司
 同 上 正 員 重 村 利幸
 同 上 正 員 林 建二郎

1. はじめに

津波は、波源形状や海底地形によって伝播状況が大きく異なる。また、条件によってはエッジ波が励起される場合があり、そのような津波は遠距離での津波水位の減衰が少なく継続時間が長いといった特徴がある。しかしながら、波源の大きさや形状と津波の伝播特性との関係は明らかにされていない。

そこで、一様勾配斜面上に形成された任意波源から生起される津波の理論解を求め、津波の陸棚上の伝播特性を明らかにする。

2. 理論解及び解析条件

海底形状は一様勾配の直線海岸とする。座標系は x 軸を汀線と垂直な沖方向を正に、 y 軸を汀線上にとり沖を向いて左手方向を正とする。海底勾配を α とすると、水深は $h = \alpha x$ である。

基礎方程式は、次式で与えられる。

$$\frac{\partial u}{\partial t} + g \frac{\partial \eta}{\partial x} = f v, \quad \frac{\partial v}{\partial t} + g \frac{\partial \eta}{\partial y} = -f u, \quad \frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

これは、コリオリ力を考慮した線形長波理論であり、 u, v は x, y 方向の断面平均流速、 η は平均水面からの水位変動、 t は時間、 g は重力加速度、 f はコリオリ因子を表す。これをもとに求められる理論解は、

$$\eta = 2 \sum_{m=1}^{M_m} \sum_{n=0}^{N_m} L_n(2|k_m|x) e^{-|k_m|x} e^{i(|k_m|y)} \left\{ (A_{mn} - A_{mn}^*) e^{-i(\sigma_{nm} + \sigma_{nm}^*)t} + (A_{mn} + A_{mn}^*) e^{i(\sigma_{nm} - \sigma_{nm}^*)t} \right\} \quad (2)$$

となる。ただし、

$$A_{mn} = |k_m| \int_0^\infty e^{-|k_m|x} L_n(2|k_m|x) c_m(x) dx, \quad A_{mn}^* = \frac{\sigma_{mn}^*}{\sigma_{mn}} A_{mn}, \quad (3)$$

$$\sigma_{mn} = \sqrt{(2n+1)g\alpha|k_m|}, \quad \sigma_{mn}^* = \frac{k_m}{|k_m|} \frac{f}{2(2n+1)} \quad (4)$$

ここで、 L_n は n 次のラゲール関数、 A_{mn} は初期波形から決定される複素定数、 σ_{mn} は角周波数、 k_m は y 方向の波数、 $c_m(x)$ は x における初期波形 $\eta_0(x, y)$ の y 方向のフーリエ係数、 M_m は考慮するフーリエモードの次数、 N_m は考慮するラゲール関数展開の次数である。

解析を行うために、図1のような初期波形を次式で与えた。

$$\eta_0(x, y) = \begin{cases} \eta_{0max} \cos^2\left(\frac{\pi(x-c)}{2a}\right) \cos^2\left(\frac{\pi y}{2b}\right) & (|x-c| \leq a, |y| \leq b) \\ 0 & (\text{上記領域外}) \end{cases} \quad (5)$$

解析は、 a : 波源中心から波源端部までの沖方向の長さ(10~150km)、 b : 波源中心から波源端部までの汀線方向の長さ(30~150km)、 c : 波源中心の汀線からの距離(0~150km)、 d : 沖方向の波源の長さ(20~300km)という4つのパラメータを変化させるとともに、海底勾配 α (0.01~0.02)の変化を組み合わせて実施した。波源の最大水位 η_{0max} はすべて2mとした。また、 $f=10^{-4}s^{-1}$ としたが、解析はコリオリ力の影響で水位変動及び周期が大きくなると考えられる $y \leq 0$ を対象とした。

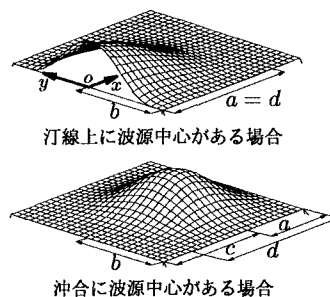


図1 初期波形形状

キーワード：エッジ波、線形長波理論、津波災害

〒239 横須賀市走水1-10-20 TEL0468-41-3810（内線3524） FAX 0468-44-5913

3. 解析結果及び考察

解析は、汀線上の $y=0\sim700\text{km}$ の範囲で50km毎に水位時系列を出力し、その時系列から各地点毎に最大水位 η_{max} と継続時間を求めた。

今回、合計180ケースで解析を実施したが、津波の汀線沿いの伝播状況は波源により大きく異なり、特徴としては大きく4種類に分類できる。そこで、その特徴を表す4ケースについて紹介する。ケース1は $a=30\text{km}, b=60\text{km}, c=60\text{km}$ 、ケース2は $a=30\text{km}, b=60\text{km}, c=0\text{km}$ 、ケース3は $a=60\text{km}, b=30\text{km}, c=0\text{km}$ 、ケース4は $a=60\text{km}, b=30\text{km}, c=60\text{km}$ の波源を表し、海底勾配 α は4ケースとも0.01である。 $y=-500\text{km}$ での水位経時変化を図2に、最大水位 η_{max} の汀線沿いでの分布を図3に、継続時間の汀線沿いでの分布を図4に示す。図2の実線及び図3、4中のプロットされた点が解析値である。

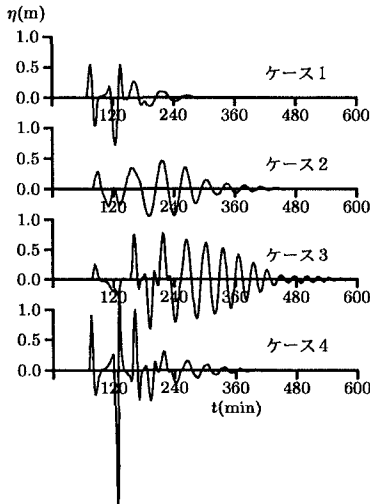


図2 水位経時変化

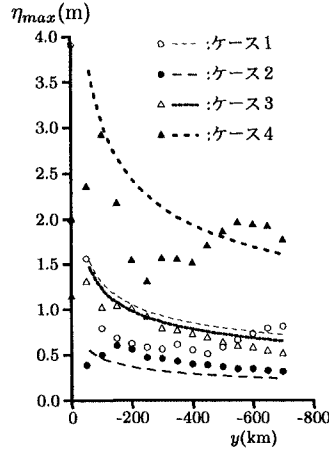


図3 最大水位

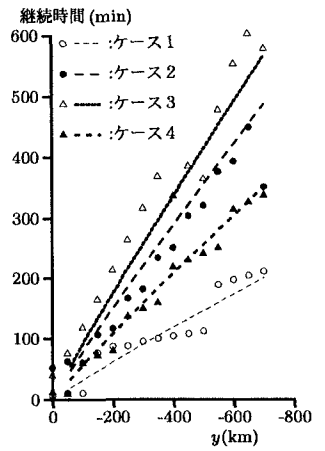


図4 継続時間

なお、本研究での継続時間は0.2mを超える水位が最初に記録された時刻と最後に記録された時刻の差である。解析値に注目すると、ケース1は、波形が鋭く η_{max} が $y=0$ で最大となり継続時間は短い。ケース2は、滑らかな波形のエッジ波が津波の主体を占めているケースで、 η_{max} は小さいが継続時間が長い。ケース3は、当初鋭い波形が現れた後エッジ波が現れており、ケース2より η_{max} も大きく継続時間も長い。ケース4は、ケース1と同様鋭い波形で構成されており継続時間は短い、 η_{max} は遠距離でも減衰が少なく $y=0\text{km}$ 地点ではなく $y=-100\text{km}$ 地点で最大となる。

図3、4中の破線は津波と波源との関係を定量的に表現するための経験式であり、本研究での全解析条件（180ケース）から得られた解析値を用いて最小自乗法により決定したもので、次式で表される。

$$\eta_{max} = 0.48 \left(\frac{y^*}{b} \right)^{-0.33} \left(\frac{a}{b} \right)^{0.87} \left(\frac{a}{d} \right)^{-1.21} \left(e^{0.07 \frac{c}{a}} \right) (\alpha)^{-0.01} \eta_{0max} \quad (6)$$

$$\text{継続時間} = 0.97 \left(\frac{y^*}{b} \right)^{0.94} \left(\frac{a}{b} \right)^{-0.11} \left(\frac{a}{d} \right)^{0.10} \left(e^{-0.41 \frac{c}{a}} \right) \left(\sqrt{\frac{4\pi b}{g\alpha}} \right) \quad (7)$$

ここで、 y^* は原点からの負の方向の汀線沿いの距離（ $50\text{km} \leq y^* \leq 700\text{km}$ ）を表す。図3、4から分かるように、経験式は、解析値の平均的な傾向を表している。

以上のことから、波源の長軸方向が沖方向に一致すると汀線最大水位が大きく、波源の中心が汀線に近いと継続時間が長くなることが分かる。

参考文献

- 1) 富永政英：海洋波動(1976)
- 2) Gonzalez, F.I: Edge Wave and Non-trapped Modes of the 25 April 1992 Cape Mendocino Tsunami(1995)