海底掘削の沿岸波浪に及ぼす影響

鹿児島大学工学部　学生会員　富田勝裕
鹿児島大学工学部　正会員　佐藤道郎

1．まえがき

建設用材料としての海砂の採取や埋立地造成用の土砂供給のために海底の掘削が行われるが、過去においては掘削技術や施設上の制約から、比較的浅いところが掘削された。そのため、近接する海岸に影響を与えることが多かったようで、鹿児島県では海岸侵食に対する一般の反応の一つの特徴として、まず海底掘削の影響として受けとめる傾向がある。海底掘削の海岸への影響として、掘削穴への周辺の砂の落ち込みに起因する海浜変形および掘削穴による波の屈折により沿岸波浪の分布に変化をきたし、それによって生ずる沿岸漂砂の非一様性に起因する海浜変形が考えられる。前者については砂の移動の生じない深さに制限することによって避けられよう。そのような意味で採取地の水深は移動限界水深を考慮するという考えが採られるようになってきている。だが、その移動限界水深としては完全移動限界水深や表層移動限界水深が念頭に置かれてきている。著者の一人が以前行った不規則波を用いた実験では、表層移動限界水深辺りの所を掘削した場合でも、埋め戻しは生じる。したがって、もう少し深いところを掘る必要があると考えられる。それで埋め戻しの影響が無くなったとしても屈折の影響は生じ得る。そこで、掘削穴の存在によって波がどんな影響を受けるのか判断できるような資料を作成しようとした。本文はそのあらましを述べたものである。

2．屈折の計算

屈折の計算は（1），（2），（3），（4）式に基づく波向き線法

$$\frac{dA}{dt}=\frac{dc}{dt}\left(\sin A\cdot\frac{\partial h}{\partial x}-\cos A\cdot\frac{\partial h}{\partial y}\right) \quad (1) \qquad \frac{d^2f}{dt^2}+p\frac{df}{dt}+qf=0 \quad (2)$$

$$p=-2\frac{dc}{dh}\left(\cos A\cdot\frac{\partial h}{\partial x}+\sin A\cdot\frac{\partial h}{\partial y}\right) \quad (3)$$

$$q=c\frac{dc}{dh}\left(\frac{d^2h}{dx^2}\sin^2 A-2\frac{\partial^2 h}{\partial x\partial y}\sin A\cdot\cos A+\frac{\partial^2 h}{\partial y^2}\cos^2 A\right)+c\frac{d^2c}{dh^2}\left(\frac{\partial h}{\partial x}\sin A-\frac{\partial h}{\partial y}\cos A\right)^2 \quad (4)$$

と、内容は（1）と同じであるが表現を若干異にする（5）式に基づく格子点法を用いた。

$$\cos A\cdot\frac{\partial A}{\partial x}+\sin A\cdot\frac{\partial A}{\partial y}=\sin A\cdot\frac{1}{c}\cdot\frac{\partial A}{\partial x}-\cos A\cdot\frac{1}{c}\cdot\frac{\partial A}{\partial y}$$
$$=\cos A\cdot\frac{1}{k}\cdot\frac{\partial A}{\partial x}-\sin A\cdot\frac{1}{k}\cdot\frac{\partial A}{\partial y} \quad (5)$$

Aはx軸と波向きとの角度、cは波速、hは水深、kは波数、tは時間を表す。後者についてはＮｏｄａ ｅｔ．ａｌ．（１９７４）によって流れと波の相互作用も入れて海浜流の計算に用いられている。彼らは波向き（x方向）に前進差分、y方向に後退差分を用いて (i,j)点での波向角$A_{i,j}$の式を与えており、流れを考えないときには（6）式のようになる。

$$A_{i,j}=\frac{\cos A_{i,j}\left(\frac{1}{k}\cdot\frac{\partial k}{\partial y}\right)_{i,j}-\sin A_{i,j}\left(\frac{1}{k}\cdot\frac{\partial k}{\partial x}\right)_{i,j}+\frac{A_{i,j-1}}{\Delta y}\sin A_{i,j}-\frac{A_{i+1,j}}{\Delta x}\cos A_{i,j}}{\frac{\sin A_{i,j}}{\Delta y}-\frac{\cos A_{i,j}}{\Delta x}} \quad (6)$$

これは、後にＳｈｉａｕ ＆ Ｗａｎｇ（１９７７）によって浅海域での波のスペクトルの変化の計算に用いられている。そのようなことから、当初、この式で計算を試みたがどうしてもうまくいかなかった。式の分母を見ると格子間隔⊿ｘ、⊿ｙが等しい場合には波向き角度が４５°の時に０となってしまう特異性を持った差分式となっている。そこで、素直にｘ方向に前進、ｙ方向に中央差分を用いて（７）式のようにしたら計算できるようになった。ｎを群速度と波速の比として、

$$A_{i+1,j}=A_{i,j}-\frac{1}{2}\tan A_{i,j}\cdot(A_{i,j+1}-A_{i,j-1})\frac{\Delta x}{\Delta y}+\left(1-\frac{1}{2n_{i,j}}\right)\frac{1}{h_{i,j}}\left\{\tan A_{i,j}\left(\frac{\partial h}{\partial x}\right)_{i,j}-\left(\frac{\partial h}{\partial y}\right)_{i,j}\right\}\Delta x \qquad (7)$$

波高についてはＮｏｄａ ｅｔ．ａｌ．に従えば波のエネルギーフラックス一定ということから次式となる。

$$H_{i,j}=\frac{\dfrac{c_g\sin A_{i,j}\cdot H_{i,j-1}}{\Delta y}-\dfrac{c_g\cos A_{i,j}\cdot H_{i+1,j}}{\Delta x}}{\dfrac{c_g\sin A_{i,j}}{\Delta y}-\dfrac{c_g\cos A_{i,j}}{\Delta x}-Q_{i,j}} \qquad (8)$$

ここに、Ｈは波高、c_g は群速度、Ｑは後出。これも平坦なところでは（６）式と同じことが言える。（７）式と同様にして次式を得、用いた。

$$H_{i+1,j}=H_{i,j}-\frac{\tan A_{i,j}}{2}(H_{i,j+1}-H_{i,j-1})\frac{\Delta x}{\Delta y}+Q^x_{i,j}H_{i,j}\Delta x \qquad (9)$$

Q^x，Ｑ は次で表される。

$$Q^x=\frac{Q}{c_g\cos A}=\frac{1}{2}\left(\tan A\frac{\partial A}{\partial x}-\frac{\partial A}{\partial y}-\frac{1}{c_g}\frac{\partial c_g}{\partial x}-\tan A\frac{1}{c_g}\frac{\partial c_g}{\partial y}\right) \qquad (10)$$

（１０）式中の c_gのｘ，ｙ方向の微分は局所的な海底勾配で次のように表される。

$$\frac{\partial c_g}{\partial x}=r\frac{\partial h}{\partial x} \qquad \frac{\partial c_g}{\partial y}=r\frac{\partial h}{\partial y} \qquad r=\frac{c}{2h}(2n-1)\left[\frac{1}{2n}\left(1-\frac{\sigma^2 h}{g}+\frac{gh}{c^2}\right)+1\right] \qquad (11a,b,c)$$

ｇは重力加速度、σは角周波数を表す。なお、波向き線法では、波高は波向き線間隔ｆより屈折係数を求め、浅水係数と共に乗じて得る。

3．結果と考察

計算は一様勾配斜面に様々な水深に掘削穴を設け、様々な掘削深に対して計算を行うと共に、吹上浜の沖合いで掘削することを想定して計算を行ってみた。図に示したのは吹上浜で表層移動限界水深の１．５倍ほどの水深のところを１ｋｍ四方掘削したと想定した例で、掘削の深さは２ｍの場合のものであるが屈折の影響が現れており、掘削深さが増すとその影響は大きくなり、表層移動限界水深より深いからといって問題無しとは言えないと思われる。