

北海道大学工学部 正員 〇佐藤幸雄
陸上自衛隊勝田施設学校 正員 工修 石田昌寿
北海道大学工学部 正員 工博 尾崎 晃

I. まえがき 港内波浪の一つの問題として、港口からの入射波が防波堤あるいは岸壁の直立部に斜めに衝突した場合、発生した反射波が壁面より離れた領域に進行してゆく過程をよく観察して見ると、波の幾何学的反射方向以外の方向にも反射波のエネルギーの一部が分散してゆく、すなわち原波の進行方向と逆の方向に向って進む波があると考えなければ説明できないような現象が見受けられる。この現象を説明するために我々は次のような研究を行なった。いま図-1のように波の進行方向に平行に置かれている直立壁が途中からある角度 φ をもつて屈曲している場合、最初の壁に沿って進んできた入射波が屈曲点 O に到達した瞬間に波形変化を起し、さらに進行するにつれて屈曲した壁から反射される。この場合、反射波の主たる波向けは幾何光学の原則にしたがって入射角 θ_i と等しい反射角をもつて反射される。しかもそれと同時に屈曲点を中心として円弧状の波が幾何学的反射領域外($0 \leq \theta \leq \varphi$)にも進行するものと仮定し、その同心円形の波は屈曲点と波源とする半無限延長の半島堤端からの回折波で置き換えられるものと仮定した。

II. 実験内容 入射波の波峰線のうちある一本が丁度 y 軸と重なった時入射波と反射波とで構成される波峰線図は図-1のようになり、この状態を $t=0$ とする。波形には微小振巾波の浅水波の式を使うと、入射波形 η_i は、

$$\eta_i = \frac{H_0}{2} \cos\left(\frac{2\pi}{L}x + \frac{2\pi}{T}t\right) \quad (H_0: \text{入射波高}) \quad \dots (1)$$

$0 \leq \theta \leq \varphi$ の領域に発生する同心円形波の波形 η_r と

$$\eta_r = \frac{H_r}{2} \cos\left(\frac{2\pi}{L}r - \frac{2\pi}{T}t\right) \quad (H_r: \text{同心円形波高}) \quad \dots (2)$$

とする。回折係数を K とすれば上記の仮定より

$H_r = K \cdot H_0$ となるから $0 \leq \theta \leq \varphi$ 領域に生ずる合成波々形 η は、

(L : 波長, T : 周期)

$$\eta = \eta_i + \eta_r = \frac{H_0}{2} \cos\left(\frac{2\pi}{L}x + \frac{2\pi}{T}t\right) + \frac{H_r}{2} \cos\left(\frac{2\pi}{L}r - \frac{2\pi}{T}t\right) \quad \dots (3)$$

$$= \left\{ \frac{H_0}{2} \cos\left(\frac{2\pi}{L}x \cos \theta\right) + \frac{K H_0}{2} \cos\left(\frac{2\pi}{L}r\right) \right\} \cos \frac{2\pi}{T}t$$

$$- \left\{ \frac{H_0}{2} \sin\left(\frac{2\pi}{L}x \sin \theta\right) - \frac{K H_0}{2} \sin\left(\frac{2\pi}{L}r\right) \right\} \sin \frac{2\pi}{T}t \quad \dots (4)$$

又 $\theta \leq \varphi \leq \varphi$ 領域に発生する反射波々形 η_r を η_i と反対の方向の波を φ だけ回折させたものとする。

この領域に生ずる合成波々形 η は、

$$\eta = \frac{H_0}{2} \cos\left(\frac{2\pi}{L}x + \frac{2\pi}{L}x \cos \theta\right) + \frac{H_r}{2} \cos\left(\frac{2\pi}{L}r - \frac{2\pi}{L}r \cos(\theta - \varphi)\right) \quad \dots (5)$$

$$= \left\{ \frac{H_0}{2} \cos\left(\frac{2\pi}{L}x \cos \theta\right) + \frac{K H_0}{2} \cos\left(\frac{2\pi}{L}r \cos(\theta - \varphi)\right) \right\} \cos \frac{2\pi}{T}t$$

$$- \left\{ \frac{H_0}{2} \sin\left(\frac{2\pi}{L}x \sin \theta\right) - \frac{K H_0}{2} \sin\left(\frac{2\pi}{L}r \cos(\theta - \varphi)\right) \right\} \sin \frac{2\pi}{T}t \quad \dots (6)$$

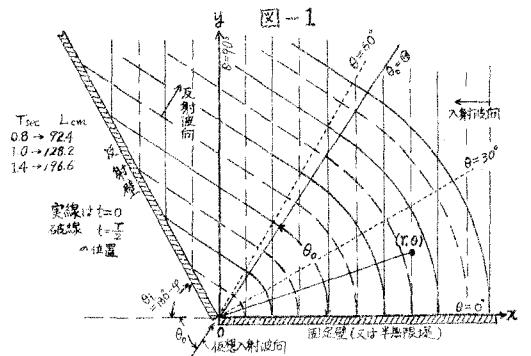
(4), (6) 式中の K として、Penny and Priceの理論における、半無限堤に θ_0 の入射角で波が進入した場合の任意の (r, θ) の回折係数とし、(7)~(9)式で表わされている。

$$K' = |F(r, \theta)| = \left| f(\sigma) e^{-ikr \cos(\theta - \theta_0)} + f(\sigma') e^{-ikr \cos(\theta + \theta_0)} \right| \quad \dots (7)$$

$$f(\sigma) = \frac{1+i}{2} \int_0^\sigma e^{-\pi i u^2} du \quad (R = 2\pi/L) \quad \dots (8)$$

$$\sigma = 2\sqrt{kr/\pi} \sin \frac{1}{2}(\theta - \theta_0), \quad \sigma' = -2\sqrt{kr/\pi} \sin \frac{1}{2}(\theta + \theta_0) \quad \dots (9)$$

又(4), (6) 式で表わされる部分重複波の腹の位置は(3), (5) 式の第一項が最大又は最小となる



る場合と条件として求めると、 $0 \leq \theta \leq \Theta$ では、(3)式より、

$$r = \pi L / (1 + \cos \theta) \quad \dots (10) \text{ となる。したがって節の位置は、}$$

$$r = (n + \frac{1}{2}) L / (1 + \cos \theta) \quad \dots (11) \text{ である。同様にして } \Theta \leq \theta \leq \varphi \text{ の}$$

範囲の腹と節の位置はそれぞれ、(5)式より、($n = 0, 1, 2, \dots$)

$$r = \pi L / \{ (1 + \cos \theta) \cos \theta + \sin \theta \sin \theta \}, \quad r = (n + \frac{1}{2}) L / \{ (1 + \cos \theta) \cos \theta + \sin \theta \sin \theta \} \quad \dots (12)$$

となる。これらの腹と節の位置における波高を H_b, H_n とす

$$\text{れば、(4),(6)式より } H_b = H_0 + K H_0 = (1 + K) H_0 \quad \dots (14)$$

$$\text{および } H_n = H_0 - K H_0 = (1 - K) H_0 \quad \dots (15)$$

となる。実験方法については、縦15^m、横20^m、深さ40^mの平面水槽を使用した。測定範囲の底面は水平とし、水深は24^{cm}で一定とした。又実験は周期 $T = 0.8, 1.0, 1.4 \text{ sec}$ 、入射波の高 $H_0 = 1.5 \sim 4.0 \text{ cm}$ 、反射板角度 $\varphi = 150^\circ, 120^\circ$ 、測線 $\theta = 0^\circ$ (固壁壁上) $30^\circ, 60^\circ, 90^\circ$ $r = 10, 20, 40 \text{ cm}$ 間隔(場所により異なる)等で測定した。

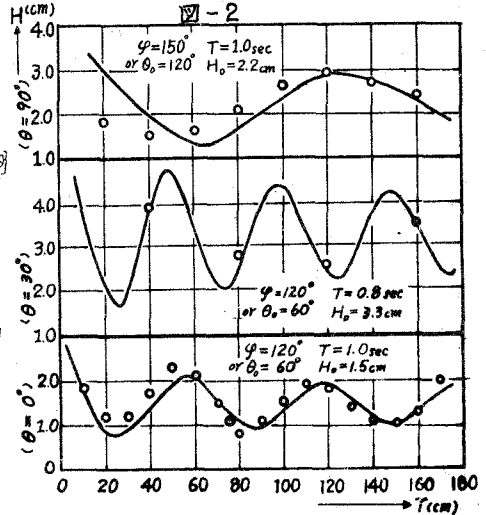
III. 実験結果

$\varphi, \theta, \Theta, \theta_0$ の間の関係は、 $\theta_0 = 180 - \varphi$ 、 $\theta = \varphi - \theta_0$
 $= 2\varphi - 180$ 、 $\Theta = \theta_0$ であるから、本実験の場合は θ を求めこの反射波向を仮想入射波向 θ_0 と仮定する。(4)式により計算した値と測定値とを比較した場合について、二三の例を掲げると、図-2 のようになる。これらの図をみると測定波高および r の増加に伴う波高減衰の状態、あるいは腹節の位置は計算による曲線と良く合っていると云える。

又(14),(15)式の H_b, H_n の値として測定値を代入し、逆に K の値を求め、上記の回折理論の K の値と比較すると図-3~図-4 の如くである。測定上 H_b, H_n の値が正確に測られない場合があるので、 H_b, H_n の値としてグラフより推定した値を多少使った。図-3、図-4 の曲線と測定値による計算値とは多少の差はあるが、傾向よりみて比較合っていると云われる。しかし $\theta_0 = 60^\circ$ 、 $\theta = 90^\circ$ の場合すなわち、 $\Theta < \theta < \varphi$ の領域についてはまだ検討の必要があると思われる。

IV. 結論

$0 \leq \theta \leq \Theta$ の領域に発生する波は部分重複波となるから、屈曲角 θ から発生する波は同心円形波であると考えられ、又この波には従来の回折理論がほぼ適用されてよいものと思われる。



図中の実線は計算による波高(H)の分布、
 ○印は波高の測定値。

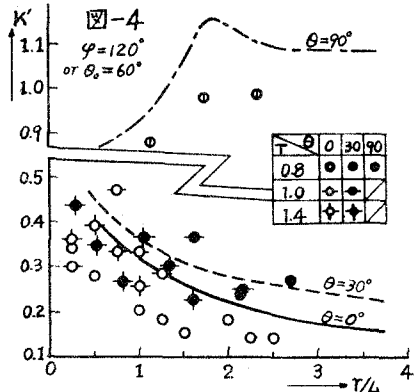
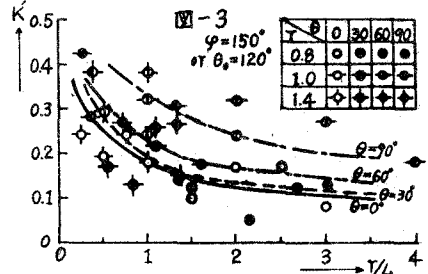


図-3、図-4 の曲線は式(7)~(9)で表わされる K' の値。
 プロットしたものは測定値より計算した値。

1) Penny, W.G. and Price, A.T.: The diffraction theory of sea waves by breakwaters, and the shelter afforded by breakwaters.

2) Wiegel, R.L.: Diffraction of waves by semi-infinite breakwaters. Transaction, ASCE, Vol. 128

3) Putnam, J.A. and Arthur, R.S.: Diffraction of Water Waves by Breakwaters.

Transactions, Amer. Geophysical Union, Vol. 29, No. 4.