

II-440 砕波点付近に位置する半無限防波堤周辺の波高分布

徳島大学大学院 学生会員 豊田 裕作  
 徳島大学工学部 正会員 三井 宏

1. 研究目的 本研究は、半無限防波堤の近辺に砕波帯が存在する場合に、屈折現象をも考慮した構造物周辺の波高分布推算法を提示すると共に、実験結果との比較を行ないその評価をすることを目的とする。

2. 実験方法 本実験は、図-1に示すような実験水槽および装置を用いて行なった。実験の型には、防波堤位置と砕波点位置が一致する場合としない場合の2つであり、堤脚水深、砕波点位置および周期の組み合わせにより表-1に示す9つのケースについて波高測定を行なった。波高測定は、図-2に示すような測点配置で行ない、測定機器は主に回折領域ではサーボ式水位計を、入射領域では容量式波高計をそれぞれ用いた。入射領域あるいは回折領域に生じる砕波・非砕波の判定は、約1秒間隔の断続写真により行なった。

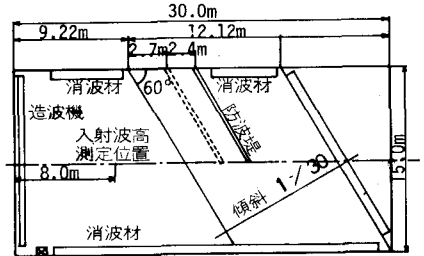


図-1 実験水槽

表-1 波の諸元 (水平水深 0.35m)

CASE	周期 T (s)	入射波高 H <sub>0</sub> (m)	砕波水深 h <sub>b</sub> (m)	堤脚水深 h (m)	砕波高 H <sub>b</sub> (m)
1	1.9	0.149	0.20	0.20	0.27
2	1.4	0.140	0.20	0.20	0.26
3	1.4	0.140	0.20	0.20	0.151
4	0.9	0.174	0.27	0.20	0.160
5	1.0	0.177	0.27	0.20	0.172
6	1.1	0.184	0.27	0.20	0.179
7	1.1	0.184	0.27	0.27	0.179
8	1.0	0.177	0.27	0.27	0.172
9	0.9	0.164	0.27	0.27	0.160

3. 波高分布推算法 本モデル周辺の波高を計算するには、浅水、回折、屈折および砕波の各現象を把握しなければならない。浅水係数の計算は、微小振幅波理論に基づき容易に求められ、また回折係数については Sommerfeld の厳密解により求めた。

ここで、屈折と回折の関係について考えてみると、図-3に示す代敷間の幾何学的比例関係により次式が成立することがわかる。すなわち、 $r/r_i = b/b_i = \beta$ 。ここで、0点から $r_i$ の地点を基準とする修正屈折係数  $K'_i = \sqrt{b_i/b} = 1/\beta$  を定義すると、 $r_i$ 地点の基準波高  $H_i$  が与えられれば任意地点 $r$ の  $K'_r$  をかけて次式のように任意地点波高を求められる。

$$H = K'_r H_i = \sqrt{b_i/b} \cdot H_i = \sqrt{r_i/r} \cdot H_i \quad (1)$$

回折係数は  $1/\sqrt{r}$  に比例するので  $\sqrt{r_i/r}$  は  $r_i$  地点を基準とする回折係数に等しい。(したがって、式(1)の関係から修正屈折係数とこの回折係数は同値であることがわかる。よって、屈折と回折が同時におこる場合には、防波堤先端から $r_i$ 地点までを回折現象が卓越する領域として一様水深とみなし、防波堤先端から放射状に波向線を出し  $r_i$  地点の回折係数  $K_d$  を計算しておき、 $r_i$  地点は波向線を屈折させて任意地点の修正屈折係数  $K'_r$  を求め、 $K_d \times K'_r$  により任意地点の波高比を求めることができる。

屈折計算は、波向線間隔の比を与える方程式が次のように与えられる。

$$\frac{d^2 B}{dt^2} + P_t \frac{dB}{dt} + Q_t B = 0 \quad (2)$$

$$P_t = -2.0 (\cos \alpha \frac{\partial C}{\partial t} + \sin \alpha \frac{\partial C}{\partial t})$$

$$Q_t = C (\frac{\partial^2 C}{\partial t^2} \sin^2 \alpha - \frac{\partial^2 C}{\partial t^2} 2 \cdot \sin \alpha \cos \alpha + \frac{\partial^2 C}{\partial t^2} \cos^2 \alpha)$$

ここで、 $t$ : 時間、 $\alpha$ : 波向角、 $C$ : 波速である。(1)式を中央差分法により差分方程式になおすと次式になる。

$$B_{L+1} = \{ (P_t \Delta t - 2) B_L - 1 + (4 - 2 \cdot Q_t \Delta t^2) B_L \} / (P_t \Delta t + 2) \quad (3)$$

この式で順次  $B$  を求めるためには、 $B$  に関して2つの初期値が必要になる。第1、第2初期値を  $B_0, B_1$  とすると

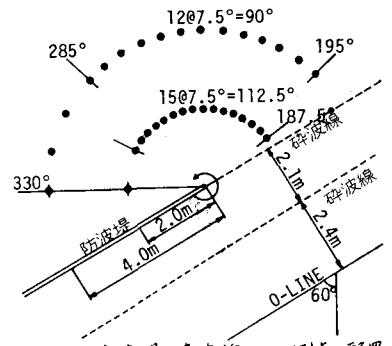


図-2 防波堤、砕波線および測点の配置

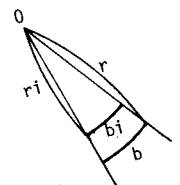
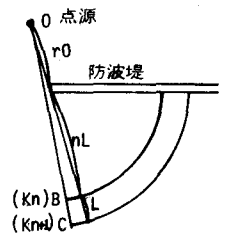


図-3 点波からの距離と波向線間隔

波向線を水平部から出発させる場合は $\beta_0 = \beta_1 = 1.0$ でよい。ところが散乱波の場合には波峰線形状が完全な円筒波とは見なせず、入射回折領域や反射入射領域において曲率が変わり、境界線に近づくにつれて小さくなるので波向線ごとに適当な初期値を見出す必要がある。この問題は、図-4に示すように円筒波の点源をずらすことにより解決できる。回折係数 $K$ は $1/\sqrt{r}$ に比例するので図-4の関係から次式により点源のずれ $r_0$ を求めることができる。



$$\left(\frac{K_n}{K_{n+1}}\right)^2 = \frac{OB}{OC} = \frac{r_0 + (n+1)L}{r_0 + nL} = 1 + \frac{L}{r_0 + nL} \therefore \frac{r_0}{L} = \frac{(n+1)K_n^2 - nK_{n+1}^2}{K_n^2 - K_{n+1}^2} \quad (4) \quad \text{図-4 点源のずれと回折係数}$$

ここで、 $K$ は一樣水深の条件による。また、式(3)あるいは式(4)の関係から $\beta_0 = 1.0$ ,  $\beta_1 = 1 + L/(r_0 + nL)$ となる。

以上の方法により波向線上の各点の波高比を求められるが、入射領域では入射波と散乱波が存在する2方向波の領域であるからそれらの重ね合わせをする必要がある。入射波 $\phi_0 = ACe^{ikx}$ 、散乱波 $\phi = BCe^{i(kx+\epsilon)}$  ( $A, B$ は振幅)とすると合成波の振幅 $C$ は、防波堤先端での初期位相のずれを $\epsilon$ とすると次式で与えられる。

$$C = |g_0 + \phi| = \sqrt{A^2 + B^2 + 2AB\cos\epsilon} \quad (5)$$

砕波点以浅では砕波理論の支配する場になると考えられ、その波高は砕波限界式により与えられるものとする。砕波限界式は合田の式を採用し、その係数は実験により23種の波を用いて決定し次式を得た。

$$H_b/L_0 = 0.189 \{1 - \exp\{1.5 \cdot \pi \cdot A_b (1 + 15 \tan^2 \gamma) / L_0\}\} / (A_b/L_0) \quad (6)$$

ここで、 $H_b$ : 砕波高、 $L_0$ : 深海波長、 $A_b$ : 砕波水深、 $\tan \gamma$ : 水底勾配である。

以上のことから砕波・非砕波各領域の波高を知ることができるので、あとは両領域区分をすればよく、本研究では以下の手法で行なった。

$$K_I = H/H_I, \quad K_b = H_b/H_{bI} \quad (7)$$

ここに、 $H, H_I$ : 浅水・屈折・回折計算による任意点波高、砕波点波高

$H_b, H_{bI}$ : 砕波限界式による任意点砕波高、砕波点砕波高

$K_I < K_b$ : 非砕波領域内、 $K_I = K_b$ : 砕波非砕波境界線上、 $K_I > K_b$ : 砕波領域内

#### 4. 結果および考察

実験値と理論解を比較すると、入射回折境界線から離れた地点で両者はほぼ一致するが、境界線付近では回折領域側では実験値が大となり、入射領域側ではその逆になる。この原因は、理論上での波向線を横切るエネルギー移動はないという仮定に反して、波高比の大きい入射領域側から波高比の小さい回折領域側へエネルギーの移動がおり波高比の平滑化が行なわれたと考えられる。これを裏づける現象として、 $L/L_0$ の大小関係で較べると、防波堤に近く2つの領域のエネルギー差の大きい内側円弧上で理論解と実験値の差が大きく、また砕波点が堤位置と一致するかどうかで較べると、堤前で砕波する方が堤前でエネルギー(波高)を減じ波形勾配が小さく不安定度の低い入射波となるために実験値と理論解は比較的良好に一致することなどが認められた。

最後に本研究は、自然災害特別研究費(代表着: 土屋義人京都大学防災研究所教授)による一部であることを付記し謝意を表す。

5. 参考文献 Worthington, H. W. and J. B. Herblich; "A computer program to estimate the combined effect of refraction and diffraction of water waves", Sea Grant Pub., No. 219, Texas A. and M. Univ., 1970

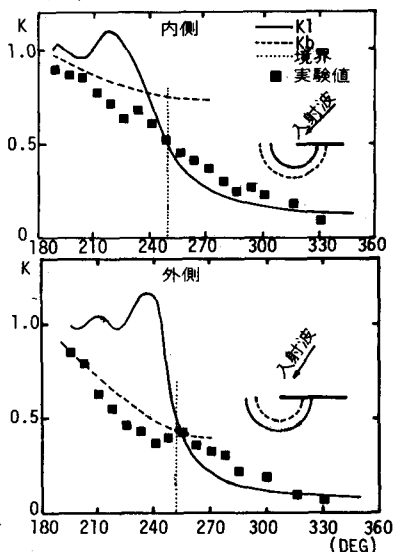


図-5 入射回折領域の波高分布(ケース1)

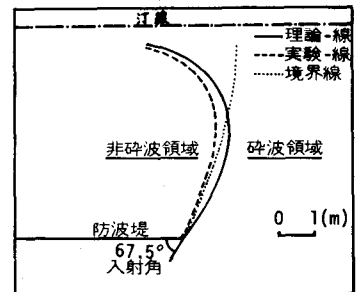


図-6 砕波帯位置(ケース1)