

愛媛大学大学院 学生員 奥 吉雄
愛媛大学工学部 正 員 中村孝幸
日立造船(株) 正 員 谷 浩明

1. まえがき: 本研究は、沖合い領域において波浪条件に左右されることのない海洋土木工事の施 設や養殖スペース等の確保を実現せしめる手段として内水域を有する大型の直立式堤体構造物を提案し、利用スペースである内水域における波浪の静穏化の実態とその予測手法について明らかにしようとするものである。

2. 解析法: 本研究で用いた解析法は、任意な平面形状を有する鉛直柱まわりの回折波問題の解析が効率的に行えるVertical line wave source Green関数(以下V.L.G.関数と称す)を物体の断面曲線上に境界条件を満足するように分布せしめる方法である。この解析法の原理は、既にIssacson⁽¹⁾により与えられており、図-1に示すような任意断面を有する鉛直柱まわりの回折波ポテンシャル ϕ_0 の表示式は、物体の断面曲線を図中に示すように任意個数の線素分 ΔS_j ($j=1 \sim N$)に分割するとともに中央点近似法を採用して数値方程式で表示すると式(1)のようになる。

$$\phi_0(x_i, y_i, z_i) = \frac{1}{4\pi} \frac{\cosh\{k(h+z_i)\}}{\cosh(kh)} D(x_i, y_i) \sum_{j=1}^N \int_{\Delta S_j} \bar{G}(x_i, y_i; X, Y) dS(X, Y) \quad (1)$$

ここに、 (X, Y) は物体の断面曲線上の座標、 k は進行波の波数、 S は断面曲線、 (x_i, y_i, z_i) は ϕ_0 を求める座標位置を示す。また $\bar{G}$ は、V.L.G.関数で式(2)で定義されるものである。 $\bar{G}(x, y; X, Y) = i\pi H_0^{(1)}(kr)$ (2)

ここに、 $H_0^{(1)}$ は0次の第1種Hankel関数、 r は点 (x, y) と (X, Y) との間の距離である。また、 $D(X, Y)$ は点 (X, Y) におけるわき出し強さであり、式(3)で示される物体表面上の境界条件により決定される。

$$\left. \frac{\partial \phi_0}{\partial n} \right|_{\text{ons}} = - \left. \frac{\partial \phi_0}{\partial n} \right|_{\text{ons}} \\ = \frac{k}{4} \frac{\cosh\{k(h+z_i)\}}{\cosh(kh)} D(x_i, y_i) \sum_{j=1}^N \int_{\Delta S_j} H_1^{(1)}(kr) \left\{ \frac{x_i - X}{r} \frac{dy_j}{ds} - \frac{y_i - Y}{r} \frac{dx_j}{ds} \right\} dS \quad (3)$$

そしてIssacsonは、式(2)、(3)の右辺の積分を実行するにあたり、これらの式の中に含まれる $H_0^{(1)}(kr)$ 、 $H_1^{(1)}(kr)$ が $r \rightarrow 0$ となるとき特異関数となることから、 $r=0$ の特異点については、これらの関数の $r \rightarrow 0$ のときの近似形を用いた厳密積分に基づく算定を行ない、 $r \neq 0$ のときには、 $\int_{\Delta S_j} dS$ を $A \Delta S_j$ とする数値積分を用いた算定を行っている。しかしながら、本研究で対象とするような直立式堤体構造物では、その壁厚が波長に比して小さくなる場合もあり、この場合Issacsonのように $r=0$ あるいは $r \neq 0$ のみの判定により、厳密積分あるいは数値積分を適用する方法では大きな算定誤差を生じることになる。そして、既に著者らは⁽²⁾、薄肉堤体にも適用できる解析法について明らかにし、島堤を対象にしてその妥当性を検証した。この解析法の詳細については割愛するが、Issacsonと異なり特異点及びその近傍におけるV.L.G.関数並びにその線微分値の特別な取り扱いを考慮した解析法になっていることを付記しておく。そして、この解析法の妥当性の一例を示すのが図-2である。この図は、直角入射の条件における堤体前後面の迎上高の分布を島堤の半分について示すもので、図中には比較のために合田らによる直線状島堤に対する解析法及び上記したIssacsonの解析法による算定結果も比較のため併せ示してある。なお、著者ら並びにIssacsonの解析法による算定の際、島堤の厚さは、長さ B の $1/100$ としてある。この図より、島堤前面では3者の結果にあまり差異が

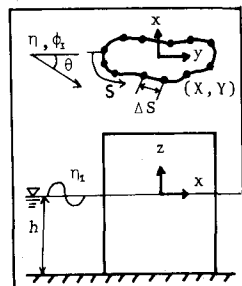


図-1 解析モデル及び座標系

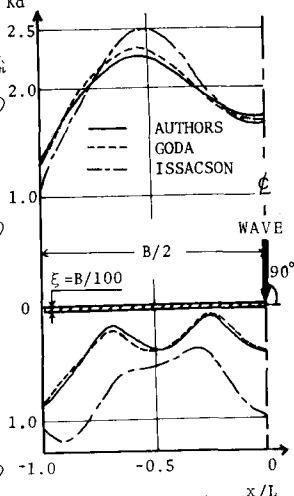


図-2 島堤沿いの波高分布

認められないが、島堤後面では Issacson の解析法による算定に大きな誤差の生じていることがわかる。そして、これらの比較から著者らの解析法を用いて薄肉堤体まわりの波高分布の算定が堤体厚の効果も考慮して行えるものと言えよう。

3. 円弧型堤体内における波浪の変動特性：上記解析法により円弧型堤体内における波高分布の算定を行うとともに模型実験による測定結果との比較の上でその妥当性を検証した。実験に用いた模型堤体は、壁厚5cmで外径50cmの円弧型堤体で開口角入が $10^\circ, 30^\circ, 60^\circ$ と変化できるようになっている。そして、実験は上記の種類開口角を採用するとともに波の入射方向を三種変化させ堤内の異なる10ヶ所の位置において水面変動を測定した。なお、用いた波条件は入射波高 $H_t=4$ cmで周期 $T=0.64\sim 2.0$ secのものである。(1) 開口角による変動特性：図-3は、堤内における代表波高として図中に示す位置の波高を選び、それと入射波高との比 K_d の D/L による変動を開口角入をパラメーターに示すもので、図中には上記解析法による算定結果も付記してある。この図より、入が小さくなると K_d の実測結果は減少するが、算定結果は、非ポテンシャル的なエネルギー損失が考慮できないことや、入の減少に伴うRadiation dampingの減少により共振の付近では逆に増大している。そして、実測結果と算定結果とは、 $\lambda=60^\circ$ の場合共振点近傍を含めよく一致しているが、入が $30^\circ, 10^\circ$ と減少すると特に共振点近傍で両者の相違が大きくなることがわかる。

(2) 入射角による変動特性：図-4は、入射角 θ をパラメーターにして図-3と同様の位置における K_d の D/L による変動を示す。この図より、直角入射の場合の $\theta=0^\circ$ より $45^\circ, 180^\circ$ と θ が増大するに伴い K_d は減少しており、 $\theta=180^\circ$ の場合、堤内では波浪がよく静穏化されていることがわかる。そして、実測結果と算定結果とは、データ数が少ないことから確言できないが、 D/L 並びに θ による変動特性を考慮してほぼ一致しているものと言えよう。

(3) 堤内波浪の共振特性：図-3,4の算定結果に見られるように堤内波浪の共振は、 D/L の異なる4つの位置によって生じることがわかる。そして、このことは、図-3の入 $=60^\circ$ の場合の実験結果に見られるように実験的にもほぼ妥当なものと言えよう。そして、これらの共振点を D/L の小さい方から1~4次の共振点と定義すると、1~4次の共振は、堤内周長 C と波長 λ との比が各々ほぼ0.5, 1.86, 2.8, 3.5のときに生じていることになる。また、上記4次の共振現象は、堤内波浪の空間分布を検討した結果、円弧型堤体に特有な共振現象であることが確認された。

4. 結論：(1) 円弧型構造物まわりの波浪変形は、開口角が比較的大きい場合、 $V.L.G.$ 関数並びにその法線微分値の特異点及びその近傍における特別な取り扱いを考慮した解析法を用いてほぼ予測できる。(2) 上記構造物では、開口部の背面より入射する場合を除き、堤内において共振が生じやすく内水域の静穏化を目指す上で共振防止工法について検討する必要がある。

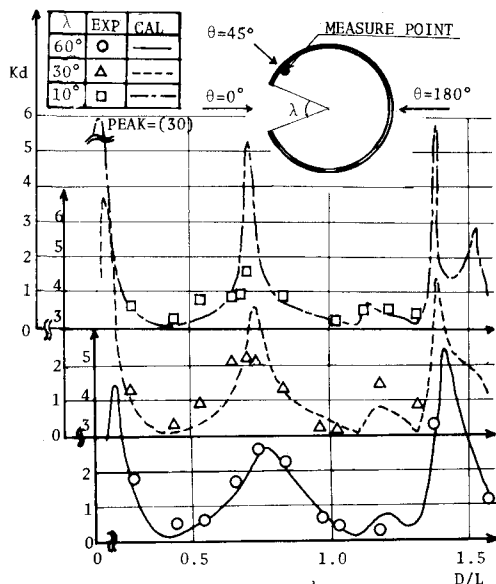


図-3 K_d の開口角による変動特性

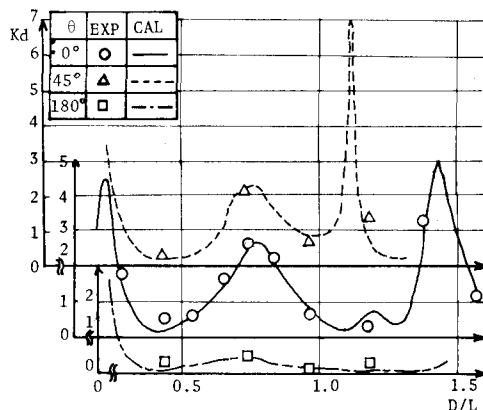


図-4 K_d の入射角による変動特性

参考文献) 1) Issacson, M.Q., "Vertical cylinders of arbitrary section in wave", J. of Waterway, Coastal and Ocean Eng. Division, ASCE, Vol.104, No. WW4, pp.309-322, 1978. 2) 中村・谷・奥：任意平面形状を有する島堤まわりの波高分布の算定法，土木学会中四国支部年次学術講演会概要集，1984年 3) 合田良史，高村知司，伊藤正彦，「島堤による波の反射および回折に関する研究」，考案技術研究所報告，第10巻，第2号，1977。