

防波堤法線計画と港内静穏度の実施例

四国建設コンサルタント株式会社 正会員 ○ 穂田 勇二
同 上 正会員 天羽 誠二

1. まえがき: 防波堤は港外の激しい波から港内の静穏を確保するために設けられる港の外郭施設である。防波堤の配置は港内り係留水域、操船水域、航路水域等の船舶の利用面からも制約を受ける。防波堤計画に際しては、波からの防波機能と船舶の利用面を考慮した適切な法線計画が望まれる。ここで取り上げる毫浦港は鳴門市大島の北端に位置した瀬戸内海播磨灘に面する港湾で、播磨灘海域で発生するN方向の波が来襲している。このN方向からの波によって港内の静穏が著しく低下し、船舶の就航に支障を来たしていた。この問題に対し、港内静穏度を高めるための対策が必要となり、昭和56年度に毫浦港改修工事の一環として防波堤延長計画とその実施設計を行なった。本論文では、当業務の防波堤計画の部分を取りまとめ報告する。

2. 波浪推算: 毫浦港は図-1に示すように播磨灘に面しており、N~NE方向からの波が入射するものと予想される。対象地点周辺では波浪観測がなされていないため、沖波は風記録を基に推算し、毫浦港へ来襲する波り波向別波高出現頻度を算定する。風資料は沖波推算の基礎データとなることから、できるだけ海上風を正確にとらえ、かつ当港への波向(風向)もわかるものとして、隣接地の門崎観測所(本四公団鳴門工事事務所)の風資料を選んだ。計算期間は昭和51年4月~昭和56年3月の5年間で設定した。この間の毎時風速データを海上風に換算し、SMB法にて沖波推算を行なり、5年間の波向別波高出現頻度を算定した。通年及び冬期の波向別波高出現頻度を表-1(a)、表-1(b)に示す。波高は0.25~3.0mに分布し、特に1.0m以下が90%を占め、波向は地形的な制約と吹送距離の関係からN方向に集中している。波の周期は波高に比例した傾向を示し、2.0sec~6.0secに分布している。港内静穏度の対象となる波高0.75m以上の波に関しては、2.0sec~5.0secの周期が数多く出現している。なお、沖波が防波堤開口部へ来襲して来る間の波り波向変形としては、屈折の影響が考えられるが、屈折計算を行なった結果、港の前面海域の水深が-20mもあることから屈折による波高変化及び波向変化はほとんどなく、沖波が入射してくるこしかわがた。したがって、沖波諸元を開口部入射波諸元として用いることとした。

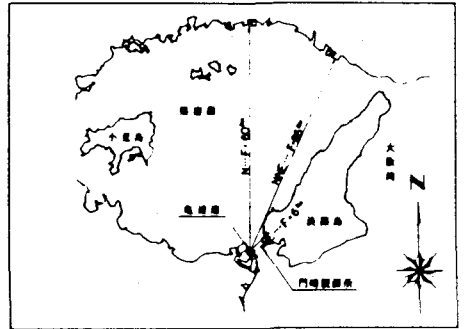


図-1 位置図

3. 港内静穏度解析: 平面波 $\exp(i p \cos \alpha)$ が入射したとき、単一隅角周辺りの波の解は次式で与えられる。

$$f(p, \theta) = \frac{2\pi}{2\pi - \nu} \sum_{n=0}^{\infty} \epsilon_n \cos \frac{n\pi\theta}{2\pi - \nu} \cos \frac{n\pi\alpha}{2\pi - \nu} \exp\left(\frac{i\pi}{2} \cdot \frac{n\pi}{2\pi - \nu}\right) J_{\frac{n\pi}{2\pi - \nu}}(p) \quad (1)$$

ここに、 $\epsilon_n = 1$ ($n=0$), 2 ($n \neq 0$), (p, θ): 計算地点の極座標,
 α : 入射角, ν : 頂角, $p = \frac{2\pi}{\lambda} r$

上式を入射波の幾何光学的波と散乱波に分離した近似解を基礎式とする。そして、理地の港内形状及び波り不規則性を考慮するため、次の一般的手法を用いた。

・複合隅角周辺りの規則波は単一隅角周辺りの解を重ね合わせる。

	N	ENE	SE
H=0.25m以下	704	251	120
0.25 ~	874	227	127
0.75 ~	1008	416	122
1.00 ~	1069	422	125
1.50 ~	1122	422	122
2.00 ~	1211	419	120
2.50 ~	1217	440	
3.00 ~	1219		

昭和51年4月~昭和56年3月

表-1 (b) 波向別波高出現頻度(冬期)

	N	ENE	SE
H=0.25m以下	51	68	20
0.50 ~	111	21	21
0.75 ~	177	26	22
1.00 ~	222	105	
1.50 ~	222	112	
2.00 ~	202	122	
2.50 ~	202	122	
3.00 ~	202		

昭和51年~昭和56年(12月~2月)

・不規則波については周期及び波向について分割したいくつかの成分波に分ける。個々の成分波を規則波とし、(1)式にて港内波高を算定する。そして、各成分波の波高をエネルギー的に合成し不規則波の波高とする。

$$\text{不規則波の波高比} = \sqrt{\sum (\text{成分波の波高比})^2 \times (\text{成分波のエネルギー割合})}$$

本計算では、周期：3分割、波向：5分割とし、代表波の周期は波高と周期の関係及び頻度を基に $T=4.0^{sec}$ と定めた。

表-2 (a) 港内波高発生頻度 (現況)

4. 港内波高の現状： 開口部へ入射波高及び波向は表-1に示すとおりで、N~NE方向の主方向波が考えられる。これらの入射波データを静穏度解析することにより、港内波高とその頻度を算出することができる。港内及び防波堤の計算モデル形状は、現地の係留施設及び防波堤形状を忠実に反映したモデルとする。なお、反射率(K_R)は直立岸壁0.9、消波構造物0.5、自然海岸0.2、港内反射回数3回として計算を行なふ。

波高の範囲	0~0.20m	0~0.30m	0~0.40m	0~0.50m	0~0.60m	波高比
現況	0.00	1.001	1.101	1.211	1.321	0.01
計画	0.17	0.12	0.09	0.06	0.04	0.10
計測値	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.02
計算値	7.04	0.67	0.17	0.04	0.01	0.01
計測値	1.11	1.01	0.90	0.81	0.71	0.01
計算値	1.17	0.6	0.16	0.04	0.01	0.10
計測値	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.01
計算値	0.10	0.09	0.04	0.01	0.01	0.01

静穏度解析の結果として、主方向N波に対する港内波高分布(波高比)表-2(b)港内波高発生頻度(計画)を図-2の破線、全入射波に対する港内平均波高発生頻度を表-2(c)に示す。港内の波高比は $K_R=0.4\sim0.8$ に分布しており、特に問題となっていた港内東側では $K_R=0.6\sim0.8$ で、防波堤の遮蔽効果が低く現われている。一方、波高の発生頻度で評価すれば、0.5m以下の頻度が通年で86.7%、冬期だけに限定すれば68.9%しかなく、静穏度の低い状況がわかる。

波高の範囲	0~0.20m	0~0.30m	0~0.40m	0~0.50m	0~0.60m	波高比
現況	1.000	1.100	1.211	1.321	1.431	0.02
計画	0.90	0.80	0.60	0.40	0.20	0.12
計測値	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.01
計算値	0.60	0.50	0.37	0.20	0.10	0.01
計測値	1.17	0.67	0.17	0.04	0.01	0.02
計算値	0.6	0.6	0.16	0.04	0.01	0.10
計測値	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.01
計算値	0.10	0.09	0.04	0.01	0.01	0.01

5. 防波堤延長計画： 港内静穏度の低い原因として、最多波向であるN

波が北防波堤と東防波堤間の開口部より直接入射できる法線形状であること。また直接入射した波と、港内岸壁からの反射波が重なり、港内波高を高めているものと考えられる。そこで、静穏度を向上させるための対策として、沖波の港内への直接入射を防ぐ防波堤延長計画が考えられた。

防波堤延長計画として、北防波堤を延長する計画と東防波堤を延長する計画の2案に関し検討を加えた。主方向N波を遮蔽するための防波堤延長は両者とも50m必要となり、北防波堤を東側へ50m延長した場合と、東防波堤を西側へ50m延長した場合の港内波高を計算した結果、両者とも同程度の効果を発揮した。そして、現地の水深及び基礎地盤状況、波力に適した防波堤の概略断面を定め、施工性、経済性、環境への影響に関し比較検討を行ない、計画案として東防波堤の延長計画が採用された。東防波堤を西側へ延長する場合、所定の港内静穏度を確保するためどの程度延長すべきか、また法線方向はどの方向に向けるべきか、さらには港内へ防波堤を折り込んだ場合の反射波の影響、泊地面積の確保が問題として取り上げられた。延長に関しては、50mと100mのケースについて解析し、防波堤延長と港内静穏度の関係を見出すことにより、所要延長を定めることとした。延長を50mとした場合、港内波高0.9m以下の頻度は表-2(b)に示すように93.5%(通年)まで高めることができる。100mの場合は97%で防波堤を50m以上延長してと、静穏度への効果はそれほど高まる(なり)ことがわかり、計画延長を50mと定めた。この計画によて、港内波高分布は図-2のようになり、波高比は $K_R=0.3\sim0.6$ まで低減させることが可能となる。

その他の問題に関しては、所要の航路幅、泊地面積が確保されるよう法線を定め、また計画防波堤からの反射波に関しては、堤体を直立消波構造形式とすることで、反射波高の低減を図ることとした。

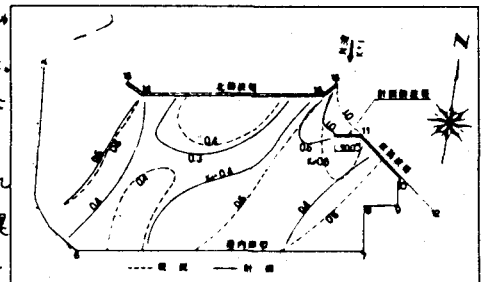


図-2 港内波高分布の現況と計画後

<参考文献> 1) 西村・男・加藤 寛・井上 純一・中村 勇・村田 進：島田港の波高分布に関する数値シミュレーションと物理模型実験，第27回海岸工学講演会論文集，pp 65～69，1980。