

1. はじめに

沿岸あるいは沖合に構造物を設計する場合、設計波の決定が極めて重要であるが、特定の港湾を除いて実測データはほとんどないため推算により求めている。推算方法は種々あるが、西日本の太平洋側においては台風による波浪が卓越するので「台風域内の波の計算法」¹⁾が多く用いられている。しかし、この方法は計算時間が多くかかること、波向(台風のコース)によっては観測辺に波が到達しない等の問題点もある。これらの問題点を解決する方法として仮想の境界を設けることにより比較的よい結果を得た。

2. 推算法の概要

(1) 風波の計算 風波は、観測辺の近傍領域の固定された発生点から発生する波(以下領域内の波という)と、台風中心の同心円上で台風とともに移動する発生点から発生する波(以下台風同心円からの波という)を考える。風速 U 、フェッチ F における波高 H および周期 T (または群速度 C_g)の計算には井島ら²⁾の提案している次式を用いた。

$$\frac{gH}{U^2} = K_3 A \cdot \left\{ 1 - \left\{ 1 + \frac{K_4}{A} \left(\frac{gF}{U^2} \right)^{1/2} \right\}^{-2} \right\}$$

$$\frac{gF}{4\pi U} = \frac{C_g}{U} = K_1 B \cdot \left\{ 1 - \left\{ 1 + \frac{K_2}{B} \left(\frac{gF}{U^2} \right)^{1/3} \right\}^{-5} \right\}$$

但し、 g :重力加速度、 $A = \tanh K_6 (gD/U^2)^{3/4}$ 、 $B = \tanh K_5 (gD/U^2)^{3/8}$ 、 D :水深、

$K_1 \sim K_6$: 定数、風波の計算では、波の発生点の位置とその間隔の決め方が重要であるが、図-1に示すように隣り合った発生点から発生した波はほぼ平行に進行するので、観測辺長 l と発生点間隔 d は $l > d$ となるよう定めておかないと、観測辺に到達する波が著しく減少する。また、波向が観測辺に平行に近い状態で進行する場合にも到達する波は著しく減少する。これらを解決する方法として、 l を十分大きく d を十分小さくする等が考えられるが、 l を大きくすることは目的地の波の推算という意味から好ましくないし、 d を小さくすると計算時間が著しく増加する。そこで本計算では図-2に示すように、観測辺の近傍に仮想の境界を設け、この境界に達した波高の余弦成分が観測辺に到達するものとした。

(2) うねりの計算 等気圧線接線から 20° 内側の方向が観測点と一致するような点を連ねた線上の波がうねりとして伝播する¹⁾ものとした。この線上の風波はつぎに示すような周波数スペクトルおよび方向関数を有するものとし、波の速度分散および方向分散を考慮して観測点のエネルギー・スペクトルを求め、これより波高および周期を計算した。

$$E(f) = 1.15 \times 10^{-4} \left(\frac{gF}{U^2} \right)^{-0.312} g^2 f^{-5} \exp \left[-99.6 \left(\frac{gF}{U^2} \right)^{-1.32} \left(\frac{Uf}{g} \right)^4 \right]$$

$$K(\theta) = \frac{2}{\pi} \cos^2 \theta \quad (0 \leq |\theta| \leq 90^\circ)$$

但し、 $E(f)$: 周波数スペクトル ($m^2 \cdot sec$)、 f : 周波数、 U : 海面上10mの高さにおける風速、 $K(\theta)$: 方向関数、 θ : 波の主方向からの角度

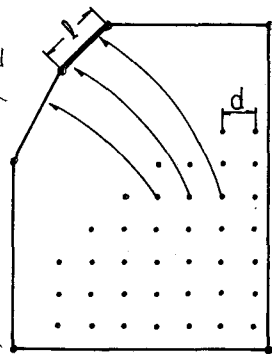


図-1 観測辺長と波の発生間隔

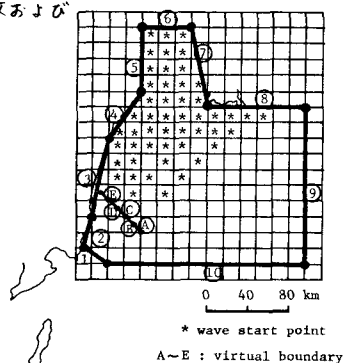


図-2 波の発生点および境界

3. 計算結果および考察

1975年の台風5号による油津（宮崎県）の計算値および観測値⁴⁾を図-2～に示す。図-2は領域内の波の計算における境界および波の発生点で、境界③が油津を含む観測辺であり、④～⑥は仮想境界である。図-3は台風同心円からの波の計算における境界で④～⑥が仮想境界である。図-4は風波の波高の計算結果で、台風同心円からの波で仮想境界のある場合、領域内の波で仮想境界のある場合およびない場合をそれぞれ実線、一点鎖線および破線で示している。仮想境界を設けない場合、台風同心円からの波は油津に到達せず、領域内の波も8月16日の6時以降は全く到達しないが、図-2および図-3に示すような仮想境界を設けた場合、凹凸はあるものの連続的に油津に波が到達している。台風5号が油津に接近するのは8月16日21時から17日6時くらいであるから、この時間帯には大きな風波が到達するはずである。ところで、図-4からわかるように、領域内の波よりも台風同心円からの波の方が卓越しており、本ケースのように広い海域に面した場所の波浪の推算においては、台風同心円上の発生点から発生し台風の移動とともに伝播する風波が重要であることがわかる。なお、本計算における台風同心円上の発生点は、半径を $r_0, 2r_0, 3r_0, 4r_0, 6r_0, 8r_0, 10r_0, 13r_0, 16r_0, 20r_0$ （ r_0 :最大風速を生じる台風中心からの半径）、角度を 0° から 330° まで 30° ピッチでとった合計120点である。図-5は風波とうねりをエネルギー的に加えた計算値（仮想境界を設けた場合）と観測値を示したものである。計算値の方がピーク値が若干小さく、到達時刻が全般的に遅れているが、全体的傾向およびピーク値とも実測値と比較的よく一致している。観測された波高は台風が油津に接近する少し前から急激に大きくなっているの風波が支配的であると考えられるが、本計算により得られた波高も図-4および図-5からわかるように、うねりの成分は小さく風波の成分が支配的であり実際の現象と一致している。波力の計算では波高とともに波の周期が重要な因子となるが、図-6は波の周期の計算値と観測値を示したものである。うねりと考えられる初期の波高の小さい時期は観測値の方が長い周期になっているが、波高のピーク時における周期の計算は観測とよく一致している。

4. まとめ

仮想境界を設けることにより、波の発生点間隔をある程度大きくすることができ、また波向に左右されることなく観測辺に連続的に波が到達し実際の現象を実用上再現できることがわかった。今後、波の発生点間隔および仮想境界の位置による計算精度について検討していきたい。

・参考文献

1)「大阪湾波浪の統計的推算」, 港湾技術研究所, 昭和45年2月, 2)井島「波浪の数値予測」, 1968年水工学に関する夏期研修, 3)例えば水理公式集 P476, 4)「波浪に関する拠点観測年報(昭和50年)」, 港研資料 No. 258

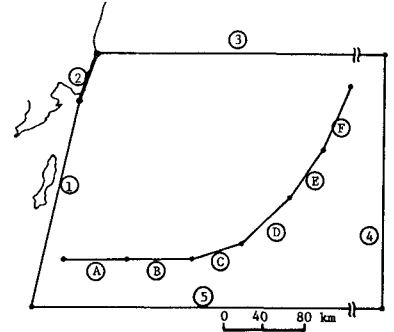


図-3 台風同心円からの波の計算における境界

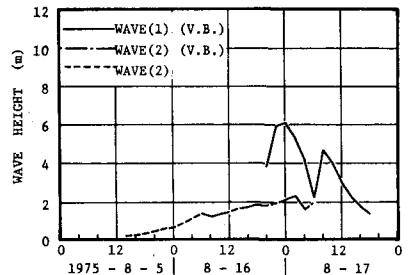


図-4 WIND WAVE HEIGHT OF ABURATU (T7505)

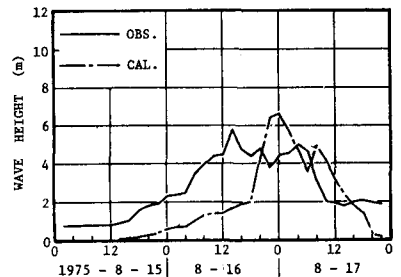


図-5 WAVE HEIGHT OF ABURATU (T7505)

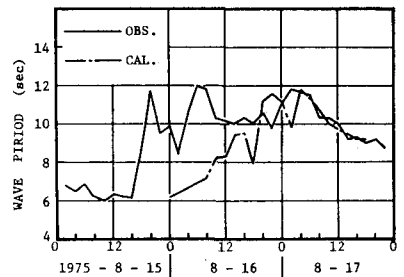


図-6 WAVE PERIOD OF ABURATU (T7505)