

砕波地点における設計水位について

久 宝 保*・竹 沢 三 雄**

1. ま え が き

海岸構造物の天端高さを決定する方法として、現在では、計画潮位を基準として、つぎに計画波高などの水位上昇高を加算し、さらに、それに応じた波のはい上りを考慮したものが多い。

ここでは、設計水位として、深水波高と潮位の組合せ高さの超過確率を求め、その波が浅水域に侵入した場合の砕波地点における潮位および波高のそれぞれの値を求め、設計水位を推算しようとした。

このような方法によって、与えられた超過確率より潮位および波高を定めれば、従来のものより潮位または波高は当然小さくなり、設計水位が低くなり、構造物を経済的に設計することができるはずである。

2. 潮位と波高の組合せについて

潮位および波高の統計計算にあたり、まず、波高の大きなものは台風期に生ずるので、大体6～11月の観測資料について考慮するものとした。しかし、それらの統計変量は観測地点の地形やその時の気象によってかなりの影響をうけるので、各地点で多くの気象条件下で、それぞれ観測資料をまとめる必要があろう。とくに、単に潮位の分布曲線から、朔望平均満潮位の超過確率は、場所によってかなりの差が表われるので、従来用いられている方法のように朔望平均満潮位を基準水面とする方法は統計的意義を欠いているものと思われる^{1),2)}。

ゆえに、潮位の分布曲線を対数正規分布として考えてみることも、一応の処理方法ではないかと思う。しかし他方、波高の頻度分布については統計資料として使用できる確実なものは現在のところ十分とはいいがたいが、外海に面した地点では対数正規分布をするとされているので、ここでは潮位変化と同様に波高もまた対数正規分布と考えて、それが適用できる範囲内の統計的処理を試みるものとした³⁾。

いま、潮位および波高の組合せ高さの超過確率を求めるにあたり、深水域における波高を H_0 、潮位を T とする。まず、潮位および波高が T および H_0 のときのそれぞれの生起確率を $P(T)$ および $P(H_0)$ とする。ここで、潮位および波高を、仮に、独立変数とすると、そ

の組合せ高さの生起確率 $P(T, H_0)$ は、

$$P(T, H_0) = P(T) \cdot P(H_0) \dots\dots\dots (1)$$

で与えられる。

さて、潮位および波高は非対称分布曲線として与えられるが、設計に用いる場合には、その確率密度関数 $F(x)$ が $\int_{-\infty}^{+\infty} F(x) dx = 1$ さえ満足すれば、前に述べたような適用範囲に関しては、正規分布曲線としてもさしつかえないと思われる。

たとえば、 $P(T)$ および $P(H_0)$ を正規分布として表わすと式 (2), (3) がえられる。

すなわち、

$$P(T) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_T} \exp\left[-\frac{(z-a_T)^2}{2\sigma_T^2}\right] \dots\dots\dots (2)$$

$$P(H_0) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{H_0}} \exp\left[-\frac{(z-a_{H_0})^2}{2\sigma_{H_0}^2}\right] \dots\dots\dots (3)$$

となり、式 (1), (2), (3) から、

$$P(T, H_0) = \frac{1}{2\pi} \exp\left[-\frac{t^2}{2}\right] \dots\dots\dots (4)$$

となる。ただし、

$$t = \frac{1}{\sigma_T \sigma_{H_0}} \left(z - \frac{a_T \sigma_{H_0}^2 + a_{H_0} \sigma_T^2}{\sigma_T^2 + \sigma_{H_0}^2} \right)$$

$$z = T + \frac{H_0}{2}$$

σ_T, σ_{H_0} : 潮位および深水波高の標準偏差

a_T, a_{H_0} : 潮位および深水波高の平均値

こうして、潮位と深水波高の組合せ高さ (z) が要求される確率に応じて求められ、これがその最大水位に関連する。

3. 潮位と波高の関係

一般に、海岸堤防や護岸などの設計波は浅水波または砕波区域にあると考えられる。ゆえに前述の深水波が浅水波になった場合には、少なくとも水深に関連し、しかもその水深が潮位によって変化するはずである。

直進する深水波より浅水波の波高を求めるために、一波長間のエネルギーを一定とすると、

$$\frac{H}{H_0} = \sqrt{\frac{C_0 \sinh\left(\frac{4\pi D}{L}\right)}{C \left\{ \sinh\left(\frac{4\pi D}{L}\right) + \left(\frac{4\pi D}{L}\right) \right\}}} \dots\dots (5)$$

で一般に表わされる。ここで、

H_0, C_0 : 深水波の波高および波速

* 正会員 工博 日本大学教授 理工学部

** 正会員 日本大学理工学部

H, C : 浅水波の波高および波速

D : 水深, L : 波長

また,

$$C = \sqrt{\frac{gL}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi D}{L}\right)} \dots\dots\dots (6)$$

式(6)の関係は、深水波については $C_0 = \sqrt{\frac{gL}{2\pi}}$ であり、浅水波については $C \doteq \sqrt{gD}$ で表わされるため、

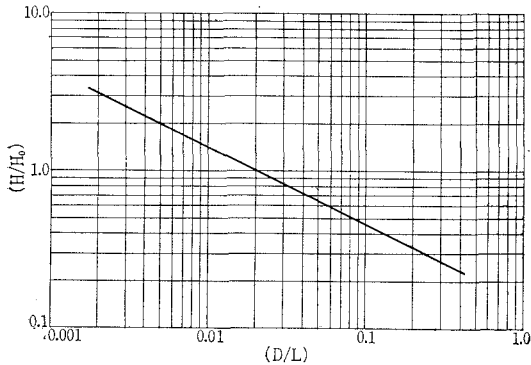
$$C_0/C \doteq \sqrt{L/2\pi D} \dots\dots\dots (7)$$

となる。したがって式(7)を式(5)に代入すると、

$$\frac{H}{H_0} = \sqrt{\frac{L \sinh\left(\frac{4\pi D}{L}\right)}{2\pi D \left\{ \sinh\left(\frac{4\pi D}{L}\right) + \left(\frac{4\pi D}{L}\right) \right\}}} \dots\dots (8)$$

になる。その関係は 図-1 のとおりである。

図-1 波の変形による波高と水深の関係



深水波による最大水位 (z) は水深 D と半波高 $H_0/2$ の和, すなわち,

$$z = D + H_0/2 \dots\dots\dots (9)$$

で表わされるものとする。

なお、波浪の水塊の軌道中心の上昇、低気圧の吸上げ等を一応考えないことにする。

したがって、式(9)に式(8)を代入すると、

$$\begin{aligned} z &= D + H \sqrt{\frac{2L \sinh\left(\frac{4\pi D}{L}\right)}{\pi D \left\{ \sinh\left(\frac{4\pi D}{L}\right) + \left(\frac{4\pi D}{L}\right) \right\}}} \\ &= D + H \sqrt{\frac{\pi D \left\{ \sinh\left(\frac{4\pi D}{L}\right) + \left(\frac{4\pi D}{L}\right) \right\}}{2L \sinh\left(\frac{4\pi D}{L}\right)}} \dots\dots\dots (10) \end{aligned}$$

となり、ある超過確率量に対する深水波の波高および最大水位の関係が求まる。

水深 D と潮位 T とは (1) $D < T$, (2) $D = T$, (3) $D > T$ の場合が考えられるが (図-2 参照), それぞれ式(10)より、

(1) $D < T$;

$$z = T + H \sqrt{\frac{\pi D \left\{ \sinh\left(\frac{4\pi D}{L}\right) + \frac{4\pi D}{L} \right\}}{2L \sinh\left(\frac{4\pi D}{L}\right)}}$$

(2) $D = T$;

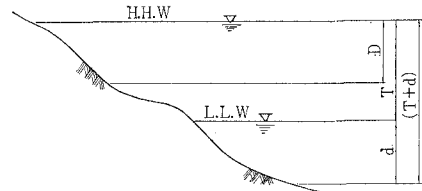
$$z = T + H \sqrt{\frac{\pi T \left\{ \sinh\left(\frac{4\pi T}{L}\right) + \left(\frac{4\pi T}{L}\right) \right\}}{2L \sinh\left(\frac{4\pi T}{L}\right)}}$$

(3) $D > T$; $z = T + H$

$$\times \sqrt{\frac{\pi(T+d) \left\{ \sinh\left(\frac{4\pi(T+d)}{L}\right) + \frac{4\pi(T+d)}{L} \right\}}{2L \sinh\left(\frac{4\pi(T+d)}{L}\right)}}$$

で表わされる。

図-2 水深 (D) と潮位 (T) の関係



4. 砕波地点における潮位と波高

砕波地点の水深 D_b は、一般に、Iversen の砕波限界曲線などから求められる。ゆえに、その曲線と式(10)との交点を求めると、砕波点における水深 D_b と深水波高 H_0 との関係が得られる。

こうして求めた水深と深水波高が、砕波地点における最大水位 (z) をある確率により求めたことになり、それが、その最大水位に関する水深 D_b と波高 H_0 の最適値になるであろう。さらに波浪の水塊の軌道中心上昇、低気圧の吸上げ等を考慮すれば砕波地点の計画水位が求められ、かなり合理的で、経済的な設計ができる。

つぎに、波浪と潮位の超過確率変量を与えて、潮位 T と水深 D_b が等しい地点における潮位 T と深水波高 H_0 の最適値を求める場合の計算例を示しておく。

超過確率が 1/6.5 年, 1/7.5 年, 1/12.5 年, 1/25 年, 1/60 年, 1/200 年, 1/830 年等に関する砕波地点での最大水位が $z=1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5, 4.0$ (m) で求められたものとする。その方法は前回の講演で述べたとおりである。

この場合、砕波地点での潮位と波浪をそれぞれ T および H , $T=D_b$ とすると、図-3,4 に示すように、深水波高 H_0 、浅水波高 H と潮位 T の関係がでてくる (ただし波長は $L=50$ m とする)。

これらの図から上述の例の場合を求めるとつぎのようになる。

- $z=1.0$ m; $T=0.80$ m, $H_0=0.40$ m, $H \doteq 0.90$ m
- $z=1.5$ m; $T=1.10$ m, $H_0=0.80$ m, $H \doteq 1.50$ m
- $z=2.0$ m; $T=1.40$ m, $H_0=1.20$ m, $H \doteq 2.00$ m
- $z=2.5$ m; $T=1.80$ m, $H_0=1.40$ m, $H \doteq 2.10$ m
- $z=3.0$ m; $T=2.15$ m, $H_0=1.70$ m, $H \doteq 2.35$ m

図-3 砕波地点における深水波高 (H_0) と潮位 (T) の関係 (函館)

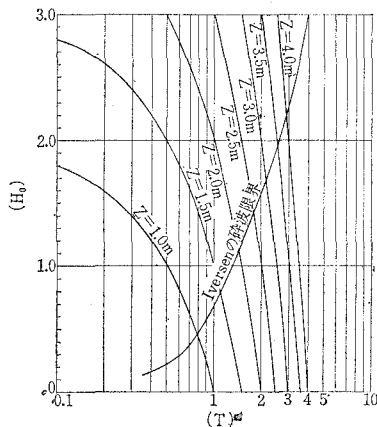
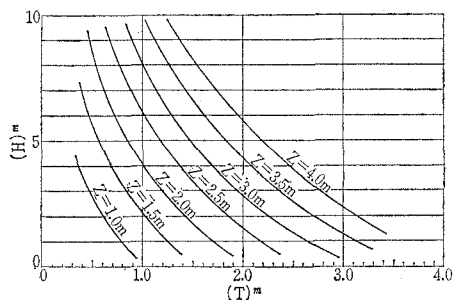


図-4 浅水波高 (H) と潮位 (T) の関係 (函館)



$z=3.5$ m; $T=2.50$ m, $H_0=2.00$ m, $H \doteq 2.50$ m

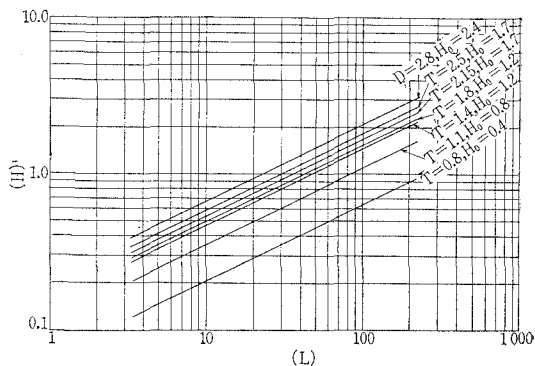
$z=4.0$ m; $T=2.80$ m, $H_0=2.40$ m, $H \doteq 2.90$ m

となる。

また、図-5 は、そのときの浅水波高 H と波長 L の関係を示したものである。

このようにして最大水位 (z) がそれぞれの超過確率に関して求められれば、そのときの潮位 T と波高 H の砕波地点における水位が求められる。また、構造物が砕波地点より陸側にあれば、それらの求められた潮位および波高から推算できるであろう。なお、本計算例は北海

図-5 浅水波高 (H) と波長 (L) の関係 (函館)



道函館におけるもので、 $H_0 > 3$ m の波浪はほとんど生じないといわれているので、上記の計算結果とかなり近似するといえよう。

5. む す び

以上の結果から、設計条件として潮位および深水波高の合成超過確率が与えられたとすると、砕波限界曲線から、その砕波地点における計画潮位と波高および深水波高の値がそれぞれ求められる。

これらよりさらに砕波地点より陸側における潮位および波高もそれらから推算できるであろう。

こうして、かなり統計的に合理的で、経済的な設計水位が求められよう。

なお、低気圧による波の上昇高、軌道中心の上昇高および波の屈折、回折等に関する取扱い方法については目下研究中である。

参 考 文 献

- 1) 久宝・竹沢：“海岸構造物の設計水位に関する一考察”，第20回土木学会年次学術講演集。
- 2) 久宝・竹沢：“海岸構造物の設計基準水面について”，第11回海岸工学講演集。
- 3) 本間・堀川・鮮干：“波浪、漂砂および海岸変形について”，第6回海岸工学講演集。