

III-23 防波堤に働く碎波の圧力式について

大阪市立大学工学部 正員 工博 永井 莊七郎
 同 上 正員 玉井 佐一
 同 上 正員 小西 直

1. 最大同時波圧の鉛直分布

一瞬における碎波の圧力の最大値 p_{peak} の作用時間は非常に小さく、 $1/100 \sim 1/500 \text{ sec}$ である。 p_{peak} の大きいものは一般に作用時間が短い。したがって、防波堤の直立壁に碎波が衝突した場合、直立壁上の各高さにおける p_{peak} は同時に起らない。それ故、直立壁を滑動あるいは転倒させる最大圧力は、波頂から直立壁の底面までの p_{peak} の合力ではなく、 p_{peak} の中の最大値 p_{max} が起った時の波頂から壁底までの同時圧力の合力である(これを最大同時波圧の合力と呼び、 P で表わすことにする)。

この最大同時波圧の波頂から壁底までの鉛直分布は、防波堤の形、碎波の特性によって違い、A型、B型およびC型の3種類に大別できる。

A型分布は、 p_{max} がほぼ静水面に生じ、その上、下部は対称で、次式に表わされるような曲線で急激に減少する。

$$p_y = p_{max} \left(1 - \frac{2y}{H}\right)^2 \quad \text{----- (1)}$$

最大同時波圧の合力 P は

$$P = 2 \int_0^{\frac{H}{2}} p_y \cdot dy = \frac{1}{3} p_{max} \cdot H \quad \text{----- (2)}$$

B型分布は、 p_{max} が直立壁の底面にあつて、それより上部は次式に従って減少する。

$$p_y = p_{max} \left(1 - \frac{y}{H}\right)^2 \quad \text{----- (3)}$$

最大同時波圧の合力 P は

$$P = \int_0^H p_y \cdot dy = \frac{1}{3} p_{max} \cdot H \quad \text{----- (4)}$$

C型分布は、 p_{max} が直立壁の底面にある又はB型と同じであるが、碎波の壁面における潮上高が大きく、したがって同時波圧の分布の範囲が広い。

$$p_y = p_{max} \left(1 - \frac{y}{1.5H}\right)^2 \quad \text{----- (5)}$$

$$\therefore P = \int_0^{1.5H} p_y \cdot dy = \frac{1}{2} p_{max} \cdot H \quad \text{----- (6)}$$

2. 最大波圧式

1) 最大波圧式の誘導 碎波の最大波圧は運動量方程式より次式で表わされる。(昭和33年11月、海峯工学講演会)

$$p_{\max} = 2 \frac{w}{g} \cdot \frac{l \omega}{\tau} \quad (7)$$

式中の l および ω は比較的弱い部分的碎波の場合以外は理論的に求めることができないので、測定しやすい他の要素で置換する必要がある。

いま $p_{\max}$ の値に大きな影響を与える要素を考えると、次のようである。

(A) 直立壁前面の水深 h_1 、これと水平底部の水深 h_0 および波高 H との比、 $\frac{h_1}{h_0}$ および $\frac{H}{h_0}$

(B) 直立壁前面における水平部の有無、基礎捨石堤の高さ h_d 、(C) 波形勾配 η/L

l および ω はこれらの諸要素によって表わさるべきであるから、次のような

$$\left. \begin{aligned} l &= k_1 \cdot h_1 \cdot \frac{h_1}{h_0} \\ \tau &= k_2 \cdot \frac{L}{\omega} \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

と置く。ここに k_1, k_2 は常数である。(8)式を(7)式に代入すると

$$p_{\max} = 2 \frac{w}{g} \cdot \frac{k_1}{k_2} \cdot h_1 \cdot \frac{h_1}{h_0} \cdot \frac{\omega^2}{L} \quad (9)$$

ω は近似的に孤立波の碎波における伝播速度に等しいから、 $\omega = \sqrt{2.28 g H_0}$
波形勾配 $\eta/L = 0.035 \sim 0.070$ の急な勾配の波においては $H_0 = H$ であるから

$$\omega = \sqrt{2.28 g H} \quad (10)$$

(10)式を(9)式に代入すると

$$\begin{aligned} p_{\max} &= 4.56 \frac{k_1}{k_2} \cdot w \cdot h_1 \cdot \frac{h_1}{h_0} \cdot \frac{H}{L}, & 4.56 \frac{k_1}{k_2} &= K \text{ (常数) とおくと} \\ p_{\max} &= K w \cdot h_1 \cdot \frac{h_1}{h_0} \cdot \frac{H}{L} \end{aligned} \quad (11)$$

となる。この式の中にはさきに述べた $p_{\max}$ に大きな影響を与える諸要素を含んでいる。

2) 最大波圧式の実験による検討 混成堤基礎捨石堤の高さ $h_d = 20, 33.4, 36, 37$ および 38 cm 、前面の法勾配が $1:2, 1:3$ および $1:5$ 、直立壁前面(捨石堤天端)に水平部の幅 $B = 10 \text{ cm}$ 、 $B = 0$ 、波の周期 $T = 1.2 \sim 1.9 \text{ sec}$ 、波高 $H = 6 \sim 24 \text{ cm}$ 、 $\eta/L = 0.019 \sim 0.083$ なる波の種々な碎波について 2000 回余の実験を行って、各条件における最大波圧 $p_{\max}$ を求めて(11)式を検討した。

(1) 一般の碎波に対する最大波圧式 非常に強大な異常碎波を除いた一般の碎波(完全碎波および部分的碎波の大部分を含む)において最大波圧 $p_{\max}$ と $h_1 \frac{h_1}{h_0} \frac{H}{L}$ は(12)式および図のようである。

$$p_{\max} = 500 h_1 \frac{h_1}{h_0} \frac{H}{L} + 200, \left(\frac{\text{g}}{\text{cm}^2} \right), \quad p_{\max} = 500 h_1 \frac{h_1}{h_0} \frac{H}{L} + 40, \left(\frac{\text{ton}}{\text{m}^2} \right) \quad (12)$$

(2) 異常碎波に対する最大波圧式 非常に強大な衝撃圧力を及ぼす異常碎波における最大圧力 $p_{\max}$ と $h_1 \frac{h_1}{h_0} \frac{H}{L}$ との関係を示す図のようである。この場合には両者の関係は多少不規則で実が乱れているが、 $h_1 \frac{h_1}{h_0} \frac{H}{L} \leq 0.22 \text{ cm}$ の範囲では一般の碎波における関係にほぼ似ている。

最小自乗法によって両者の関係を求めると次のような二次放物線で表わされる。

$$p_{\max} = 280(0.040 + h_1 \frac{h_1}{h_0} \frac{H}{L})^2, \left(\frac{\text{g}}{\text{cm}^2} \right) \quad (13)$$

上限について両者の関係を求めると次式をえる。

$$p_{\max} = 300(0.051 + h_1 \frac{h_1}{h_0} \frac{H}{L})^2, \left(\frac{\text{g}}{\text{cm}^2} \right) \quad (14)$$

異常碎波における $p_{\max}$ は同一条件においても常に一定ではなく、碎波状況の僅かな変化によっても $p_{\max}$ はかなり大きく変化する。図において実が乱れているのは主としてこの理由によるものである。

