

土木學會第1回年次學術講演會講演

(發電水力, 河川及港灣之部 No. 10)

波 圧 力 に 就 て

會 員 柳 澤 米 吉*

1. 従來の波圧公式

我々が工学上取扱ふ波なるものは大体下の3種である。

1. 深海波 (Trochoidal wave),
2. 浅海波 (Elliptic trochoidal wave),
3. 長波 (Transition wave).

従來の波圧公式を誘導理論に基いて大別すれば次の如し。

(1) 波高に依る静水圧と水分子の運動による動水圧との和を波圧とせるもの

……Lira 公式。

$$p = w \left(\frac{h}{2} + b + \frac{kv^2}{2g} \right),$$

深海波ならば, $p = \frac{wh}{2} \left\{ 1 + \frac{\pi h}{4L} (1+k) \right\}$ (1)

浅海波ならば, $p = \frac{wh}{2} \left\{ 1 + \frac{\pi h}{4L} (1+k) \coth \frac{\pi H}{L} \right\}$ (1)'

(2) 直壁前面に於て重複波となると考へて, 静水圧を採るもの……Benezit 公式

$$p = w(h+b),$$

深海波ならば, $p = wh \left(1 + \frac{\pi h}{8L} \right)$ (2)

浅海波ならば, $p = wh \left(1 + \frac{\pi h}{8L} \coth \frac{\pi H}{L} \right)$ (2)'

(3) 波の進行速度を以て水分子が壁体に衝突する動水圧を用ひるもの……Gaillard 公式

$$p = kwV^2/2g$$

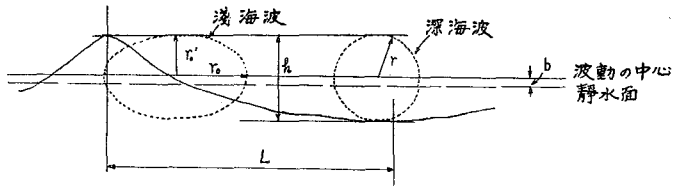
深海波ならば, $p = \frac{kw}{2\pi} L$ (3)

浅海波ならば, $p = \frac{kw}{2\pi} L \tanh \frac{\pi H}{L}$ (3)'

(4) 波の進行速度の外に水分子の回転運動速度をも考慮せるもの。

$$p = kw(V+v)^2/2g$$

図-1.



符 號

- | | |
|----------------|-----------------------|
| h = 波 高, | v = 水分子の運動速度, |
| p = 波圧/單位面積, | b = 波動中心と静水面との距離, |
| T = 波動の週期, | r = 浅海波の分子廻轉の長軸半径, |
| H = 水 深, | r' = 浅海波の分子廻轉の短軸半径, |
| L = 半 波 長, | r_0 = 浅海波表面の長軸半径, |
| g = 重力加速度, | r_0' = 浅海波表面の短軸半径, |
| w = 水の重さ, | r = 深海波の廻轉半径, |
| V = 波の進行速度, | k = 衝撃係数. |

* 内務技師 工学士 内務省神戸土木出張所勤務 (昭和 12 年 4 月 10 日講演)

深海波ならば,
$$p = \frac{kwh}{2} \left(1 + \frac{L}{\pi h} + \frac{\pi h}{4L} \right) \dots\dots\dots(4)$$

浅海波ならば,
$$p = \frac{kwh}{2} \left(1 + \frac{L}{\pi h} \tanh \frac{\pi H}{L} + \frac{\pi h}{4L} \coth \frac{\pi H}{L} \right) \dots\dots\dots(4)'$$

(5) 壁直前の波高は元波の 2 倍となるものとし、之が静水面に落下する速度と水分子の回転速度との合成速度の動水圧を採るもの……廣井公式。

墜下高 = $\left(\frac{3}{2}h + b \right)$, 合成速度 = U , 壁体と合成速度となす角 = β ,

$$p = \frac{kwU^2}{2g} \sin^2 \beta$$

深海波ならば,
$$p = kwh \left(\frac{3}{2} + \frac{\pi h}{4L} \right) \sin^2 \beta \dots\dots\dots(5)$$

浅海波ならば,
$$p = kwh \left(\frac{3}{2} + \frac{\pi h}{4L} \coth \frac{\pi H}{L} \right) \sin^2 \beta \dots\dots\dots(5)'$$

廣井博士は (5) 式に $k=2, h/L=0.1$ を代入して, $p=1.5wh$ とされた。

以上 5 種の計算も $p=\lambda wh$ なる一般の形式に表されるが、今一定の条件の下に表示すると表-1 の様になる。

其の他の諸大家の計算された λ の値は, Rayleigh 1.96, Dubaut 1.85, Thibaut 1.85, Mariotte 1.25, Joessel 1.65 となつてゐるが、之等は何れも時と場所とによつて實驗値に合せる様に定められたものである。

我々が實際に適用すべき公式は如何なる λ にすべきかに困難を感じるのである。即ち (1), (2), (5) の 3 式は同一波高にて、波長の異なる程 p が小となる所に不満があり、(4), (3) 式は波の進行速度を水分子の運動速度と考へる點に無理がある。尙波が壁体に斜に來たした時には從來次式を用ひた (圖-2)。

表-1.

式	k	$h/L=0.1$
(1)'	4	$p=0.8 wh$
(1)	..	$p=0.7 wh$
(2)'	..	$p=1.06wh$
(2)	..	$p=1.04wh$
(3)'	1.3	$p=1.38wh$
(3)	..	$p=2.07wh$
(4)'	..	$p=2.09wh$
(4)	..	$p=2.66wh$
(5)'	2	$p=1.62wh$
(5)	..	$p=1.5 wh$

$$p' = p \sin^2 \alpha, \text{ 又は } p' = p \frac{2 \sin^2 \alpha}{1 + \sin^2 \alpha}$$

茲に p : 波圧, p' : 壁に對する波圧, α : 波と壁のなす角。

この式は動水圧にのみ用ひらるべき式と考へられるから、静水圧を含む式に用ふべきでない。以上の缺點を補正した公式を作らんとして計算した結果を述べる。

圖-2.

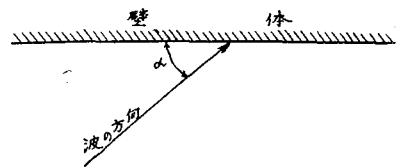
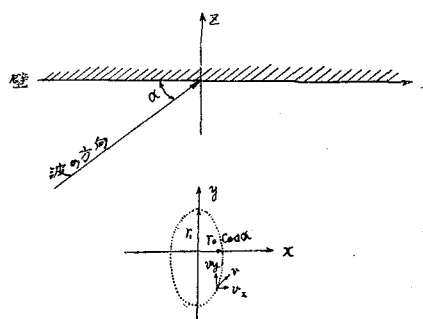


圖-3.



2. 波圧に就ての 1 考察

波が防波堤直前に來ると元波高より大なる波高になる。著者は茲に、波が進行中壁体によつて遮られた場合、元波の有する勢力と壁直前の波の有する勢力は等しいものとし、而も壁直前の水分子は圖-3 に示す様に Z 方向の分速度は零となるものとして計算した。

(1) 深 海 波

元波の勢力, $E = E_p + E_k = wr_0^2 L (1 - c^2 H/L)$

壁直前の波の勢力, $E' = \frac{1}{4} wL(r_0 \cos \alpha + r_1)^2 (1 - e^{-2H/L})$

$E = E'$ から, $r_1 = r_0(2 - \cos \alpha)$

r_0 は元波の水分子の運動半径; r_1 は壁直前の波の上下運動の半径である。 α が直角に近い時には水分子は主として上下運動のみをなすを以て, $b \approx 0$ となる。従つて

$p = \frac{(2 - \cos \alpha)}{2} wh$ (7)

之を表示すれば表-2 の如し。

(2) 浅 海 波

元波の勢力, $E = w L r_0'^2$

壁直前波の勢力, $E' = \frac{w r_1^2}{4} \left(L - \frac{2\pi H}{\sinh \frac{2\pi H}{L}} \right) + \frac{Lw}{2} r_1 r_0' \cos \alpha + \frac{w r_0'^2}{4} \cos^2 \alpha \left(L + \frac{2\pi H}{\sinh \frac{2\pi H}{L}} \right)$

$E = E'$ より, $p = \frac{\sqrt{4(1-A) + A^2 \cos^2 \alpha} - \cos \alpha}{2(1-A)} wh$, $A = \frac{2\pi H}{L \sinh \frac{2\pi H}{L}}$ (8)

表-3 は (8) 式の値を示す。

表-3 に依れば, 水深に比し波長大なるものは, 恐るべき波圧を生ずる事が解る。併し波高の最大値は水深 H より大なる事なく, かつ高波の場合は波長の短縮が大なるものである。

我國に於ては波高の最大は約 8 m と言はれて居るが, 今之が水深を 10 m, 波長を波高の 15 倍とすれば,

$2L = 15 \times 8 = 120 \text{ m,}$

$L/H = 6,$

又, 灣内等外海に面せざる所に於ては, 最大波高約 4 m で, 之が水深を 8 m, 波長を波高の 16 倍とすれば,

$2L = 16 \times 4 = 64 \text{ m, } L/H = 4.$

従つて内海及外海の波圧公式を誘導すれば, 表-3 中より $L/H = 6$ 及 $L/H = 4$ を採ればよい (表-4 参照)。

表-2.

α	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
p	0.5 wh	0.52 wh	0.57 wh	0.65 wh	0.75 wh	0.87 wh	1.0 wh

表-3.

$L/H \backslash \alpha$	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
1	$p = 0.5 wh$	0.516 wh	0.567 wh	0.646 wh	0.75 wh	0.874 wh	1.01 wh
2	„ 0.5 wh	0.523 wh	0.59 wh	0.70 wh	0.84 wh	1.00 wh	1.18 wh
3	„ 0.5 wh	0.53 wh	0.62 wh	0.76 wh	0.95 wh	1.19 wh	1.45 wh
4	„ 0.5 wh	0.53 wh	0.64 wh	0.82 wh	1.03 wh	1.39 wh	1.77 wh
5	„ 0.5 wh	0.54 wh	0.66 wh	0.87 wh	1.17 wh	1.56 wh	2.12 wh
6	„ 0.5 wh	0.54 wh	0.68 wh	0.91 wh	1.25 wh	1.73 wh	2.45 wh
8							3.2 wh
10							3.9 wh

表-4.

$\lambda \backslash \alpha$	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
外海港 $\lambda =$	0.5	0.54	0.68	0.91	1.25	1.73	2.45
内海港 $\lambda =$	0.5	0.53	0.64	0.82	1.03	1.39	1.77

表-5.

$p \backslash \alpha$	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
$p =$	1.0 wh	1.02 wh	1.07 wh	1.15 wh	1.27 wh	1.37 wh	1.4 wh

外海, $p=2.45 w/h$, 内海, $p=1.77 wh$(9)

(3) 長 波

元波の勢力, $E = \frac{3}{4} h_0^2 L w$

壁直前の波の勢力,

$$E' = \frac{3}{8} L w h_1^2 (1 + \cos^2 \alpha)$$

$E = E'$ より, $p = \sqrt{\frac{2}{1 + \cos^2 \alpha}} wh$ (10)

表-6.

		外 海	内 海	長 波			
廣 井 公 式		$p=1.5 wh$	$p=1.5 wh$				
著 者 の 公 式		$p=2.45 wh$	$p=1.77 wh$	$p=1.4 wh$			

λ	α	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
		廣井公式	0	0.10	0.38	0.75	1.13	1.4
外 海		0.5	0.54	0.68	0.91	1.25	1.73	2.45
内 海		0.5	0.53	0.64	0.82	1.03	1.37	1.77

3. 結 論

防波堤の波力は殆ど浅海波によるものであらうから, (8) 式及表-3 に依て各地の条件を入れて計算されん事を提唱したい。波長と水深と波高を知り, 表-3 を用ひれば良く, 之等の条件も解らない時は (9) 式を用ひれば良い。之を廣井公式と比較すれば表-6 の如し。