

1. 実験の範囲

長さ25m×幅2.0m×深さ1.20mの中型波浪水槽および長さ60m×幅2.0m×深さ2.50mの大型波浪水槽を用いて、水深 $h=45, 53, 63, 80, 116, 156$ および200cmにおいて、波高 $H=31\sim40.0$ cm, 周期 $T=1.01\sim2.60$ sec, 波長 $L=172\sim870$ cmの波を起し、これらの波が平面直立壁に衝突して直立壁前面で重複波を生じ、重複波の波高が進行波の2倍になった際の波圧強度の鉛直分布を、直立壁の中央において6個ないし12個の波圧計を同時に使用して測定した。すなわちここで取扱っている重複波は、水槽の底が水平で、平面直立壁は静水面より十分に高く、全く反射はなく、進行波が全反射して、進行波の2倍の波高を持った規則正しい重複波に限られている。また波動に影響を及ぼすような風もない場合である。実験した相対水深は $h/L=0.081\sim0.870$ で、浅海波から深海波の重複波を含み、進行波の波形勾配 $H/L=0.010\sim0.091$ である。

2. 計算式

実験値との比較に用いた計算式は次の6式である。

(1) 微小振幅波理論⁽¹⁾

$$\frac{p}{w_0} = -Z + \frac{mH^2 \sin^2 \alpha t}{\sinh 2mh} \left\{ \cosh^2 m(h+Z) - \cosh^2 m(h+Z) \right\} + \eta \left\{ 1 + \frac{\cosh m(h+Z)}{\cosh mh} - \frac{\cosh 3m(h+Z)}{\cosh 3mh} \right\} \quad (1)$$

(2) 有限振幅の重複波理論⁽²⁾

$$\begin{aligned} \text{波圧式 } \frac{p}{w_0} = & -Z + H \frac{\cosh m(h+Z)}{\cosh mh} \sin \alpha t \quad (1 \text{ 次解}) \\ & + \frac{1}{4} m H^2 \frac{\sinh 2mh}{\sinh 2mh} \{ 1 - 2 \sinh^2 m(h+Z) \} - \frac{1}{4} m H^2 \frac{1}{\sinh 2mh} \left\{ \frac{3 \cosh 2m(h+Z)}{\sinh^2 mh} - (1 + 2 \sinh^2 m(h+Z)) \right. \\ & \left. - \tanh mh \cdot \sinh 2mh \right\} \cos \alpha t \quad (2 \text{ 次解}) \\ & + \frac{m^3 H^3}{256} \left\{ 4(9w^6 - 12w^4 - 3 - Zw^4) \frac{\cosh m(h+Z)}{\cosh mh} + 24 \frac{\cosh m(h+Z) - \cosh 3m(h+Z)}{\cosh mh \cdot \sinh^2 mh} + \frac{\cosh 3m(h+Z)}{\cosh 3mh} (1 + 3w^4(3w^2 - 5 + Zw^2)) \right\} \sin \alpha t \\ & + \frac{m^3 H^3}{256} \left\{ 3(9w^6 + 6Zw^4 - 31) \frac{\cosh m(h+Z)}{\cosh mh} + 24 \frac{\cosh m(h+Z) - \cosh 3m(h+Z)}{\cosh mh \cdot \sinh^2 mh} + \frac{3 \cosh 3m(h+Z)}{\cosh 3mh} (1 + 3w^4(-9w^2 + 2Zw^2 + 3w^2)) \right\} \sin \alpha t \\ & \text{式中 } w^2 = \tanh mh \quad (3 \text{ 次解}) \quad (2) \end{aligned}$$

2次解はMiche, 浜田が、3次解はTadjbakhshが求めた式である。

表面波形

$$\begin{aligned} \eta = & H \sin \alpha t \quad (1 \text{ 次解}) \\ & - \frac{1}{4} m H^2 \coth 2mh - \frac{1}{8} m H^2 (3w^6 - w^2) \cos \alpha t \quad (2 \text{ 次解}) \\ & + \frac{1}{2} m^3 H^3 (\theta_{11} + \theta_{12}) \sin \alpha t - \frac{1}{2} m^3 H^3 (\theta_{31} + \theta_{32}) \sin 3\alpha t \quad (3 \text{ 次解}) \quad (3) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{式中 } \theta_{11} = & \frac{1}{32} (3w^6 + 6w^4 - 5 + Zw^4) & \theta_{12} = & \frac{3}{128} (9w^6 + 27w^4 - (5 + w^4 + Zw^6)) \\ \theta_{31} = & \frac{1}{128} (3w^6 + 18w^4 - 5) & \theta_{32} = & \frac{1}{128} (-9w^6 + 3w^2 - 3w^2 + 1) \end{aligned}$$

(3) 最大同時波圧⁽⁴⁾

$$\frac{p}{w_0} = -Z + H \frac{\cosh m(h+Z)}{\cosh mh} \quad (4)$$

(4) 式は(2)式の1次解に相当する。(1)式は水面 $Z=H$ において $p=0$ なる条件を満足しないが、近似的に $Z=H$ において $p=0$ 、静水面において $p=w_0 H$ である三角形分布をずらすとして水面から床面までの波圧合力を求めると次式のようになる。

$$F_A = \frac{1}{2} w_0 (h^2 + H^2) + w_0 \frac{H}{m} \cdot \tanh mh \quad (A)$$

(A)式は浅海波の重複波に対する最大同時波圧式である。深海波の重複波に対しては、直立壁における最大同時波圧の強度は次式で与えられる。

$$\frac{p}{w_0} = -Z + H \cdot \frac{\cosh m(H+Z)}{\cosh m(H+H)} \quad \text{----- (5)}$$

この式は $Z=H$ において $p=0$ なる条件を満足し、水面から水底までの最大同時波圧の合力は次式のようになる。

$$P_B = \frac{1}{2} w_0 (H^2 - H^2) + w_0 \cdot \frac{H}{m} \tanh m(H+H) \quad \text{----- (B)}$$

3 計算値と実験値との比較

直立壁に働く最大同時波圧の鉛直分布およびその合力、ならびに水面から水底までの波圧が重複波の2倍の周波数で振動する場合には、直立壁に波の山が乗ったときの波圧の鉛直分布およびその合力について計算値と実験値とを比較したが、最大同時波圧の合力についての比較を示すと図のごとくである。

(1) 微小振幅波式

すでに第12回海岸工学講演会で述べたように、この式はその誘導の仮定より、波形勾配 H/L がほぼ0.03より小さく、相対水深 h/L がほぼ0.25より小さい範囲、すなわち水底波圧が水面波形と同じ周期で振動する範囲においては、比較的实验値によく合い、その合力の比は $P_e/P_c \approx 1.1 \sim 1.2$ で、一般に計算値が実験値よりやや小さい。 H/L , h/L が上記の値以上の範囲には適用出来ない。

(2) 有限振幅波式、最大同時波圧式の(A)式および(B)式

1次解は水面波圧が水面波形と同じ周波数で振動する範囲(水面の波圧時間曲線が2つの山を有しない範囲)においては(A)式と同じである。

(a) $0.08 < h/L < 0.35$, $0.01 < H/L < 0.05$ の範囲内、すなわち、水面波圧が重複波と同じ周期で振動する範囲では、1次解(A)式、2次解、3次解による波圧合力は、ほとんど同じで、いずれも実験値とよく一致していて、 $P_e/P_1 (= P_e/P_2)$, P_e/P_2 , P_e/P_3 はいずれも0.9と1.0の間である。しかし $h/L < 0.15$ においては、1次解(A)式が、2,3次解より、実験値によく合い、 $0.15 < h/L < 0.35$ では、2,3次解の方が1次解(A)式よりも、わずかに実験値に近い値を与える。

(b) $0.15 < h/L < 0.35$, $0.05 < H/L < 0.09$ の範囲、水面波圧が重複波の2倍周波数で振動する範囲では、まず、波形の山の時の波圧合力について、3次解が最もよく実験値に合い、その比は、 $0.6 < P_e/P_3 < 1.1$ で、2次解、1次解は、 $0.5 < P_e/P_2 < 0.9$, $0.4 < P_e/P_1 < 0.8$ となり合わない。

次に最大同時波圧の合力の比(実験値において、水面波圧が最大となる時刻に対する理論値と、実験値の最大同時波圧との比)については、(A)式が最も実験値とよく合い、その比は $0.8 < P_e/P_1 < 1.0$ である。1次、2次、3次解による波圧合力の値は、実験値より小さくなり、 $1.1 < P_e/P_2 < 1.3$, $1.2 < P_e/P_3 < 1.5$, $1.2 < P_e/P_3 < 1.5$ で合わない。すなわち、この範囲では、實際上重要な意味を持つ最大同時波圧合力については、(A)式が最もよく合う。

(c) $0.35 < h/L < 0.50$, $0.01 < H/L < 0.05$ の範囲では、 $0.9 < P_e/P_2 < 1.2$, $0.8 < P_e/P_3 < 1.1$ で、3次解の方が2次、1次解より実験値にやや近い値を与える。(B)式については、 $P_e/P_B = 0.8 \sim 0.9$ で、2次解より少し劣るようであるが、1次解の $0.7 < P_e/P_1 < 0.9$ に比べるとよい。すなわち、3次解、2次解、(B)式、1次解の順序で実験値に近い値を与える。

(d) $0.50 < h/L < 0.90$, $0.01 < H/L < 0.05$ の範囲では、(B)式が $P_e/P_0 = 0.8 \sim 1.1$ で、1次、2次、3次解よりよく合っている。2次、3次解は、 h/L が大きくなるに従って、水底波圧強度の負の項の絶対値が大きくなり、その比は $P_e/P_2 = 1.1 \sim 3.0$, $P_e/P_3 = 1.3 \sim 3.4$ と大きく変化し、2次、3次解は実験値より小さい値を与える。1次解 (A)式) については、 $0.7 < P_e/P_1 < 0.8$ で、2次、3次解と比較すると実験値に近い値を与える。すなわち深海波の重複波においては (B)式が最も実験値に近い値を与え、1次、2次、3次解の順序で実験値から遠ざかる。

(e) 全体的に見て、2次、3次解が特に他の波圧式) に比べて実験値に良く合うと云えるのは、 $0.35 < h/L < 0.50$, $0.01 < H/L < 0.05$ の範囲だけであって、水面波圧が2倍周波数で振動する時の最大同時波圧の合力は、浅海波重複波については (A)式、深海波重複波については (B)式が最もよく実験値に合うと共に、ほとんどの波について (A)式、(B)式の値は実験値よりも僅かに大きい値を与える。2次、3次の解が実験値によく合わないのは、水面波圧の2倍周波数の振動を表すことが出来ず、3次解は2次解よりよく振動をとらえているが、その振動曲線は実験値とかなり相違している。それ故、理論式について波形の山から h をずらして計算した最大同時波圧の合力は波形の山における波圧合力より小さくなり、実験値に合わなくなる。しかし、水底波圧の振動の曲線は実験で得た波圧曲線に比較的合っている。

(3) 表面波形について

波形の山は3次解が最も高く、2次解、1次解と小さくなり、1次解では静水面から侵入波高と同じ高さになる。

