

多孔壁式防波堤に作用する波力

堀 口 孝 男*・ 布施 徹 一 郎**・ 斉 藤 修 司**

1. ま え が き

前回に発表した論文において、筆者らは多孔壁によるエネルギー消費を、孔の分布が前壁に一樣なものとして、その各孔について管路のエネルギー消費と同様に扱い、前壁の外側と内側に設定される境界条件から、未知数の3次方程式を誘導し、それによって一次オーダーの近似解が求められることを明らかにした。今回の研究では、このような解法によって算定される一次オーダーの波力が、どの程度の適合性を有するか、実験によって検討したものである。実験は、昭和48年に東海大学海洋研究所において行なったものと同様で、同研究所の造波水路で行ない、実験方法ならびに実験装置も同じものを採用している。

2. 実験結果とその検討

実験は沖合水深を一樣な60 cmとし、模型の設置位置の水深を30 cmとして、その間をこう配が1/10の斜路で連絡した。前壁と後壁との間の距離を l_2 とすると、実験に用いた波の種類ならびに l_2 は、表—1に示すとおりである。表—1のなかに示される沖合波高は、斜路の基部で測定された値である。造波装置から発生する波は、多少不安定な兆候を示し、また斜路の上を進行する間に、波峰に僅かながら崩れ波の現象が現われる。このため、理論値には模型の堤前の波高の値を用い、波の入射方向の波力を正、反対向きの波力を負として取扱っている。

理論値は一次オーダーの算定結果によるものであるか

表—1 実験に用いた波の諸元

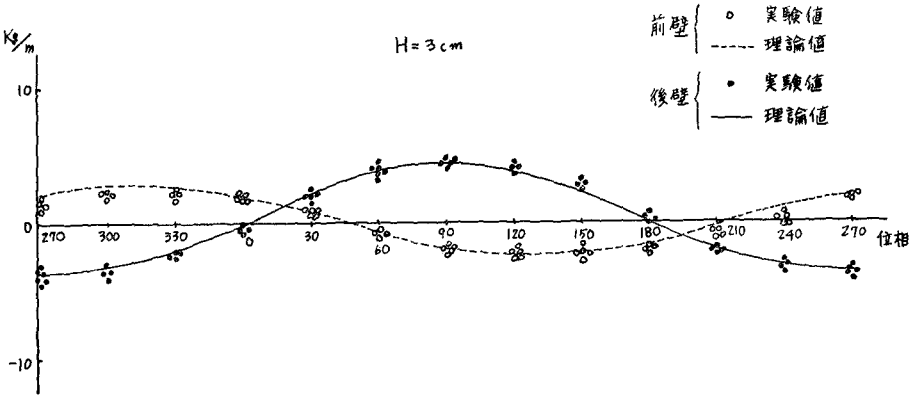
周 期 (sec)	計画波高 (cm)	沖合波高 (cm)	堤前波高 (cm)	l_2 (cm)
1.06	3.0	3.18	2.39	20, 30
	6.0	6.56	4.95	
	9.0	9.85	7.03	
1.32	4.0	5.34	4.51	10, 20, 30, 40 50, 60, 70, 80
	8.0	9.57	7.94	
	12.0	14.06	12.28	

* 正会員 工博 東京都立大学教授 工学部土木工学科
** 正会員 国土総合開発株式会社

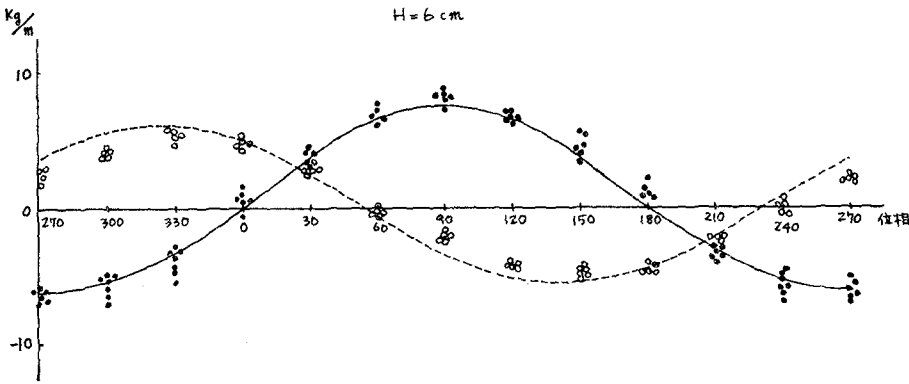
ら、波高が増大するとき、実験値がどれ程理論値から剩離してくるかをみるため、周期 $T=1.06$ sec, $h=30$ cm における波長 $L=150$ cm, $l_2=30$ cm ($l_2/L=0.20$ に相当) のケースで検討してみよう。ここで、計画波高 H を3 cm, 6 cm, 9 cm と変化させたとき、前壁ならびに後壁に作用する波力は図—1 (A), (B), (C) のようになる。これらの図からわかるように、波高の小さい $H=3$ cm のときは、理論値と実験値は極めてよく一致している。 $H=6$ cm になると、両者の関係は傾向的にはまだかなり一致しているが、後壁に作用する波力には、理論値よりもやや大きめの値がみられる。 $H=9$ cm になると、全体に測定値はばらつきの度合がはげしくなる。前壁と後壁とに作用する波力の位相関係は、ほぼ理論値に追随しているが、後壁の波力の値は、極値をとる周辺で変動がはげしく、約 20% 程度理論値よりも大きくなっている。

次に $T=1.32$ sec で $H=8$ cm のケースをとり、 l_2 を変化させて $l_2=20$ cm, 30 cm, 40 cm としたときの波力を検討してみよう。これは実用面でもっともよく使われる $l_2/L=0.10, 0.15, 0.20$ の場合に相当する。図—2 (A), (B), (C) は、それぞれの場合における前壁、後壁に作用する波力と位相との関係を示したものである。 $l_2=20$ cm のときは、後壁に作用する波力は実験値よりも理論値の方が大きくなっている。また前壁に作用する波力は、総じて理論値の方がやや大きめに現われており、位相の関係も後壁に作用する波力に対して、理論値の方が実験値よりも10度前後先行しているように見うけられる。

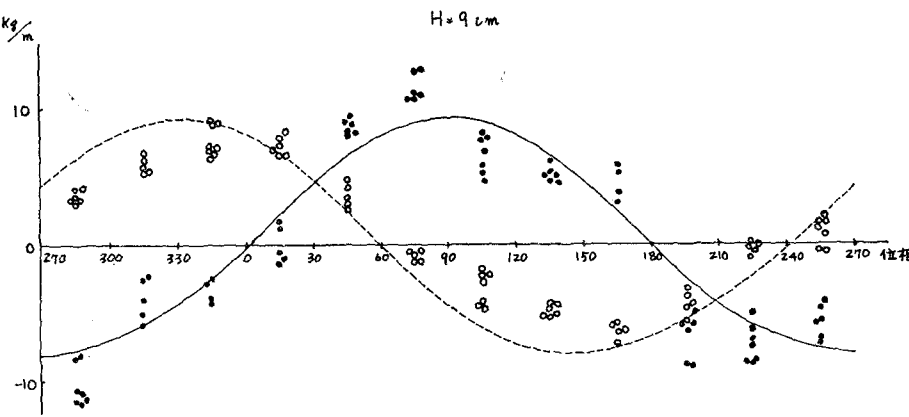
ところで設計上の問題と関連して、前壁と後壁に作用する最大波力を考え、これが l_2/L の変化に対して、理論値と実験値との間でどのような差が現われるかを検討してみる。図—3 (A) は $T=1.32$ sec, $H=8$ cm のとき、前壁、後壁に作用する最大波力の実験値と理論値とを示したもので、 l_2/L は 0.10 から 0.40 まで変化させてある。両者の関係は、比較的一致した傾向を示している。図—3 (B) は合成波力の最大値について同様な関係を示したもので、傾向はかなり一致している。次に同じ周期 $T=1.32$ sec で波高を大きくした $H=12$ cm について表わしてみると、図—4 (A), (B) のようになる。



(A)

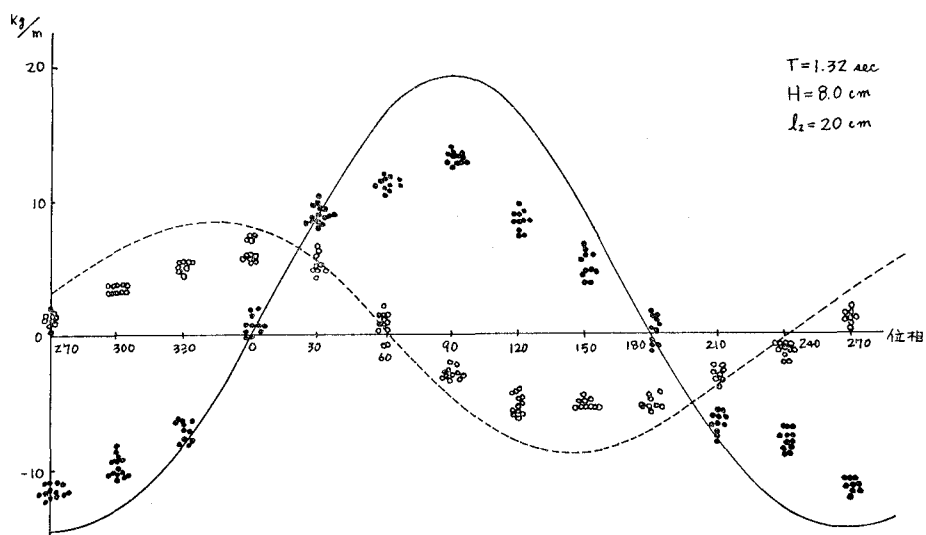


(B)

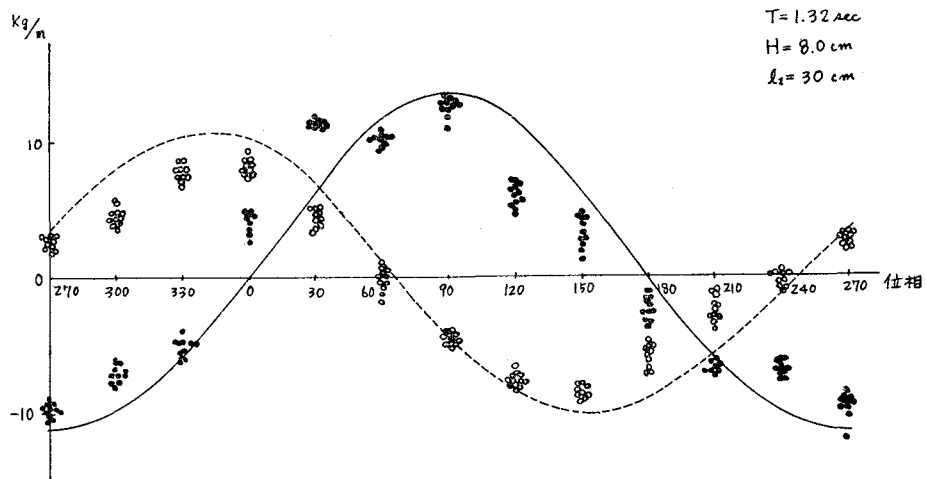


(C)

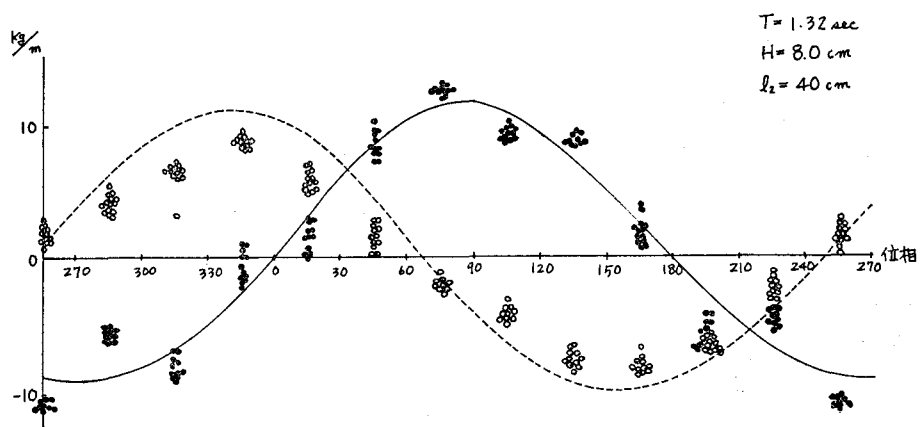
図一 波力の実験値と理論値との比較



(A)

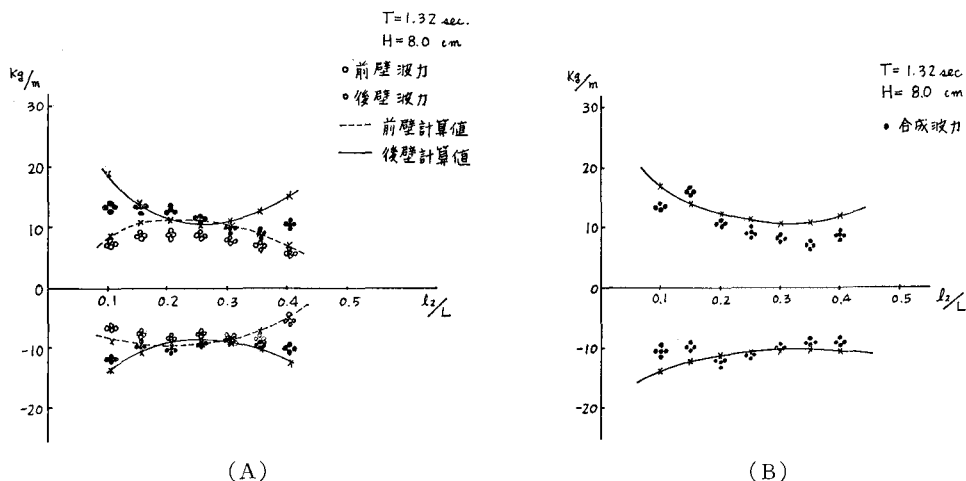


(B)

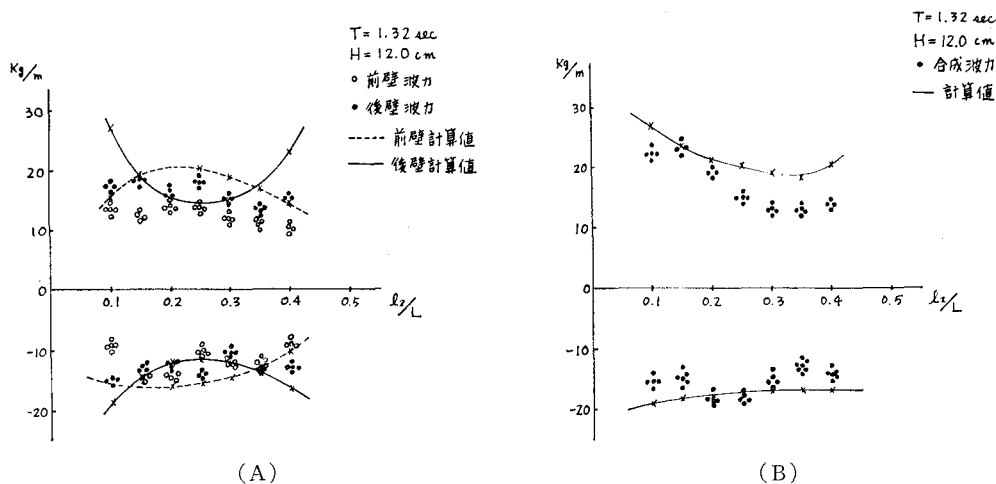


(C)

図-2 l_2 を変化させたときの波力



図—3 最大波力の比較



図—4 最大波力の比較

この場合には、前壁では理論値の方が値が大きく、後壁の波力は実験値の変動が著しくなっている。一方、合成波力からみると理論値は実験値よりも大きくなってはいるが、 l_2/L に対する変動傾向は相似している。一般に波高が大きくなると、測定値はばらつきの度合を大きくし、また合成波力は、理論値の方が大きく現われてくる。これは、実験値においては前壁、後壁に作用する波力の位相が、理論値の場合よりも接近していることによるもので、設計面から考えると、かかる理論値の算定方式は、安全側に作動している結果となる。

3. 逐次近似による修正

これまで用いた理論値の算定には、前壁を通過するときのエネルギー損失項の近似において、次のような表現を用いている。

$$\int_0^{\pi/\sigma} |V| V dt \approx \int_0^{\pi/\sigma} |V_{\text{mean}}| V dt \quad \dots\dots\dots (1)$$

V : 孔を通過する流速

V_{mean} : $t=0$ から π/σ までの間の V の平均値
ところが前回の notation をそのまま用いるとき、

$$V = \beta \frac{gk}{\sigma} \{a \sin \sigma t - b \sin(\sigma t + \theta_1)\} \frac{\cosh k(z+h)}{\cosh kh} \quad \dots\dots\dots (2)$$

であるから、 $V=0$ となる σt を θ^* とすると

$$\tan \theta^* = \frac{b \sin \theta_1}{a - b \cos \theta_1} \quad \dots\dots\dots (3)$$

となり、式 (1) は本来は $\sigma t = \theta^*$ から $\theta^* + \pi$ までの間の近似、すなわち、次のような表現となっていなければならない。

$$\int_{\theta^*/\sigma}^{\theta^*/\sigma + \pi/\sigma} |V| V dt \approx \int_{\theta^*/\sigma}^{\theta^*/\sigma + \pi/\sigma} |V_{\text{mean}}| V dt \quad \dots\dots\dots (4)$$

ここで V_{mean} は σt が θ^* から $\theta^* + \pi$ までの間における平均値となる。式 (4) の表現を用いて、前壁の前後面に成立する条件に代入すれば、次のような 4 個の方程式となる。

$$\left. \begin{aligned} a - b \cos \theta_1 &= -d \sin kl_2 \sin \theta_2 \\ -b \sin \theta_1 &= d \sin kl_2 \cos \theta_2 \\ m \left\{ \beta kb \sin \theta_1 + \frac{1}{l_2} d \cos kl_2 \cos \theta_2 - \frac{1}{l_1} a - \frac{1}{l_1} b \cos \theta_1 \right\} \\ &+ n \frac{fg\beta^2 k^2}{\pi D \sigma^2} \{ (a - b \cos \theta_1) \cos \theta^* + b \sin \theta_1 \sin \theta^* \} \\ &\times (a - b \cos \theta_1) = 0 \\ m \left\{ \beta ka - \beta kb \cos \theta_1 + \frac{1}{l_1} d \cos kl_2 \sin \theta_2 - \frac{1}{l_1} b \sin \theta_1 \right\} \\ &- n \frac{fg\beta^2 k^2}{\pi D \sigma^2} \{ (a - b \cos \theta_1) \cos \theta^* + b \sin \theta_1 \sin \theta^* \} \\ &\times (b \sin \theta_1) = 0 \\ &\dots\dots\dots (5) \end{aligned} \right\}$$

ここで、

$$\begin{aligned} b \sin \theta_1 &= x & d \sin \theta_2 &= z \\ b \cos \theta_1 &= y & d \cos \theta_2 &= w \end{aligned}$$

とすると、式 (5) から x に関する次のような 3 次方程式が導きだされる。

$$(q_2 q_3^2 + q_2 q_4^2) x^3 + (2q_1 q_2 q_4 + 2q_2^2 q_3^2 + 2aq_1 q_3^2) x^2 + (q_1^2 q_2 + q_3^2 + 4aq_1 q_2 q_3) x + 2aq_1 q_3^2 = 0 \dots\dots (6)$$

ここで、

$$\begin{aligned} q_1 &= \frac{m}{l_1} \\ q_2 &= \frac{m}{l_1} \frac{\cos kl_2}{\sin kl_2} - m\beta k \\ q_3 &= n \frac{fg\beta^2 k^2}{\pi D \sigma^2} \cos \theta^* \\ q_4 &= n \frac{fg\beta^2 k^2}{\pi D \sigma^2} \sin \theta^* \end{aligned}$$

また、

$$\left. \begin{aligned} y &= \frac{aq_2 + (q_1 + aq_3)x + q_4 x^2}{q_2 + q_3 x} \\ z &= -\frac{a - y}{\sin kl_2} \\ w &= -\frac{x}{\sin kl_2} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (7)$$

である。これらの式を用いて計算値を修正するには、まず式 (1) に基づいて、いままでの計算方法から b, d, θ_1, θ_2 の値を求める。この値を用いて式 (3) から θ^* を決定する。この θ^* を用いて式 (5) へ代入し、再度計算を行なって式 (6), (7) から 2 回目の修正された b, d, θ_1, θ_2 を算出する。かかる逐次近似計算を繰返えすと、求める未知数の値は一定値に収束してゆく。例として 図-2 (A) のケースで示すと、第 1 回の計算では

$$\begin{aligned} b &= 1.98 \text{ cm} & \theta_1 &= -73^\circ 30' \\ d &= 6.62 \text{ cm} & \theta_2 &= -61^\circ 08' \end{aligned}$$

前壁の最大波力と後壁のそれとの位相差 $\theta = 116^\circ 25'$

第 2 回目の計算では、

$$\begin{aligned} b &= 1.89 \text{ cm} & \theta_1 &= -63^\circ 20' \\ d &= 6.03 \text{ cm} & \theta_2 &= -61^\circ 37' & \theta &= 107^\circ 51' \end{aligned}$$

というように修正されて、後壁の波力ならびに最大波力の位相差が減少して、実験値に近づく。

4. む す び

上述の実験結果から、波形こう配が 0.04 程度までは、筆者らが考察した理論式によって、多孔壁式防波堤に作用する波力はほぼ近似できるようである。波高が増大すると実験値の変動がはげしくなり、これは高周波成分の波力が増幅してくることによるものとみなされる。この成分が波力の算定に大きな影響をおよぼすので、今後の解明は、高周波成分の機構と増幅との問題に向けられなければならない。

参 考 文 献

- 1) 堀口孝男・中道峰夫：多孔壁式防波堤の消波機構と波力，第 23 回 海岸工学講演会論文集，pp. 89～94，1976。
- 2) 国土総合開発(株)・東海大学海洋研究所：多孔ケーソンに作用する波力と透過波に関する実験研究報告書，国土総合開発 K.K.，26 p.，1974。