

フラップ型造波機の性能について

大阪大学工学部 正員 榎木 亨
大阪大学工学部 正員 ○岩田 好一朗

1. 緒言

波の波高、波速、波長などといった波の基本的な諸量の挙動に関する問題、および波浪にともなう海岸工学上の問題を主として実験によつて研究する場合、所定の波動は造波機によつて生起せられている。したがつて、従来から所定の波動を発生せしめるために造波機に関して種種検討が加えられ、その性能について議論されてきた。

また不規則な波浪を有義波と云つた代表値に対応する規則波として取扱つてきた従来の実験方法から、さらに実際の波に近づけて波相互の干渉をも考慮していくため、近年実験的に不規則波を発生せしめる方法がとられてきている。これら不規則波発生方法の中でも造波板の動きそのものに不規則変動を与えて不規則波を発生せしめる方法が注目されているが、実際海で観測される波浪と同特性を有する波を発生せしめるためには造波板の変動とそれによつて生起する波との応答特性を詳細に検討することが極めて重要である。また不規則波発生機構が複雑であるため、造波機の駆動力を正確に算定することが建設費の面から重要となつてくる。本報は造波機として広く用いられているフラップ型造波機(本学の不規則波発生用造波機型式)をとりあげ、造波板の変動と発生波の応答特性およびその造波機の駆動力算定について検討を加えにものである。

2. 実験装置とその方法

水槽は長さ30m×幅0.7m×高さ0.95mの片面ガラス張りの鋼製水槽で、発生波は壁式抵抗線式波高計で計測する。造波板は動電型加振機により変動するが、この造波板と作動する力を直接測定するために造波板に直結しているロードに歪ゲージをはつて歪を計測し、これを応力に換算して力を算定する。なお実験諸元は表-1に示すものである。

3. 造波板の変動と発生波の応答特性

3-1 $h/2e$ の効果 : 発生波高 H を支配する物理量は、造波板の変動周期 T 、造波板の変位 e 、水深 h であつて、 $H = f(T, e, h)$ と表示される。バッキンガムの π 定理によれば

$$H/2e = f(h/L, h/2e) \quad \text{----- (1)}$$

と変換され、無次元波高 $H/2e$ は h/L と $h/2e$ の二つの量で規定されるはずである。一方、従来用いられてきた発生波高算定式は微小振幅波理論にもとづく Biesel et Suquet¹⁾ の式であつて、次式で与え

$$H/2e = 4 \cdot \frac{1 - \cosh \frac{2\pi h}{L} + \frac{2\pi h}{L} \sinh \frac{2\pi h}{L}}{\sinh \frac{4\pi h}{L} + \frac{4\pi h}{L}} \cdot \frac{\sinh \frac{2\pi h}{L}}{\frac{2\pi h}{L}} \quad \text{----- (2)}$$

h : 静水深	40.7 cm
T : 造波板の変動周期	0.6 ^{sec} ~ 6.8 ^{sec}
e : 静水面上の造波板の変位	0.76 cm ~ 3.81 cm
h/L : shallowness	0.03 ~ 0.70
$h/2e$	53 ~ 26.8

表-1 実験諸元

られる。この式によると $H/2e$ は h/L のみの関数であって、 $h/2e$ の効果は含まれていないことになる。なお(2)式の e は静水面上での造波板の片振幅である。図-1 は h/L をパラメーターにして、 $h/2e$ の変化にともなう発生波高 $H/2e$ の変化を示すものである。同図より $h/L < 0.3$ の範囲に対して $h/2e$ の変化による発生波高 $H/2e$ の変化は認められないが、 $h/L \geq 0.3$ の範囲では $h/2e < 1/3$ になると h/L の増大にともない $H/2e$ の値が急に減少し、 $h/2e$ の効果により波高 $H/2e$ が3割も変動することが認められる。このことは、微小振幅波理論に基づく波高算定式(2)式に適用限界があることを示すものであって、 $h/2e > 1/3$ に対して(2)式は適用してよいが、 $h/2e \leq 1/3$ にも $h/L \geq 0.3$ の範囲に対しては適用できなく $h/2e$ の効果を含むように修正しなければならない。

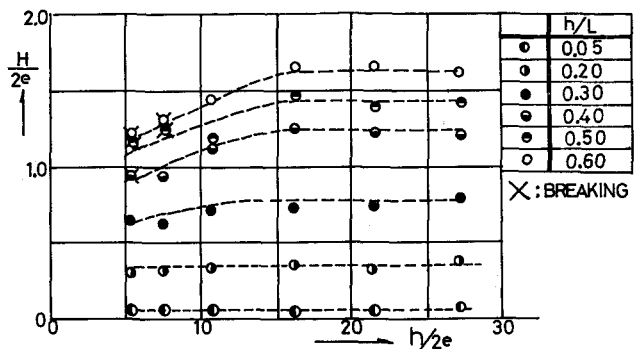


図-1 $H/2e$ に対する $h/2e$ の効果

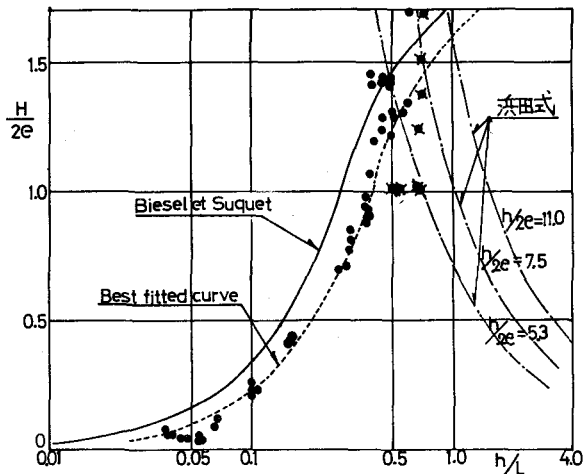


図-2 発生波の特性

3-2 発生波の発生限界 : 造波板の振幅とその変動周期の組合せにより、造波板前面で碎波することがあるためおのずと発生波に限界がある。碎波条件として限界波形勾配により規定されるとするもの、造波板の最大速度＝発生波の波速により規定されるとするものが考えられるが、本装置では碎波条件としては後者の方が制限が弱いので、ここでは限界波形勾配の考え方を採用する。碎波条件式として浜田式²⁾を用いるが、同式を変形すると(3)式となる。図-2は微小振幅波理論に基づく(2)式と、浜田式(3)式と実験値

$$\frac{H}{2e} = \left(\frac{h}{2e} \times 0.142 \tanh \frac{2\pi h}{L} \right) / \frac{h}{L} \quad \text{----- (3)}$$

とつぎ合せて h/L の変化にともなう $H/2e$ の変化を示すものである。(2)式は発生波高の傾向を示しているものの、全体に大きな値と与えることが認められ、また $h/L \geq 0.3$ の範囲では実験値の散乱が認められる。 $h/L \geq 0.3$ の範囲で実験値の散乱が大きいのは図-1で示したように $h/2e$ の効果のためである。なお $h/L \leq 0.05$ の範囲では理論値の $1/4$ 程度の波高しか発生していないが、これは造波板の変動周期が 4 sec 以上の場合に相当し、造波板が比較的ゆっくり変動するため、造波板と水槽側壁のすき間から水が逃げ板の動き

を完全に水に伝達しないため、隙間をできるだけ小さくすることによりある程度理論値と近づけることが出来るものと考えられる。図-2で×印をつけにものは砕波を示すものであって、発生波の波形勾配を示した図-3からもわかるように、浜田式は発生波の限界と比較的よく規定すると考えてよく、このことから、発生波はオシ近似としては図-4、模式図の斜線に示した部分つまり浜田式と Biesel et Squire 式に囲まれた領域に存在すると考えてよいだろう。

4. 造波機の駆動力

所要の駆動力の算定は、造波板が流体になす仕事量と発生波の伝達エネルギーが等価であると考えて微小振幅波理論を用いてなされるが、最終的には安全率などをとって決定するようにむしろ経験に依拠することが多い。造波板には種々の力が作用するが、筆者らの造波板の両側には水があるため静水圧は作用しなく、また慣性振動圧は正規振動圧に比して極めて小さいことと予備計算及び鶴田らの報告により確認していたため考慮しないと、造波板に作用するものは正規振動圧 P_n にだけあって、微小振幅波理論によれば(4)式で与えられる。

$$P_n = \frac{1}{2} \rho g H \frac{\cosh \frac{2\pi y}{L}}{\cosh \frac{2\pi h}{L}} \cos kt \quad (4)$$

造波板に直結しているロッドにかかる力 P は、ロッドの高さ B が本造波機では水深から27.5cmであるため(5)式で与えられる。ただし B は造波板の幅である。

$$P = \int_0^{h+\frac{B}{2}} P_n \cdot B \cdot dy \quad (5) \quad P_{max} = \frac{\rho g B H}{27.5} \int_0^{h+\frac{B}{2}} y \frac{\cosh \frac{2\pi y}{L}}{\cosh \frac{2\pi h}{L}} dy \quad (6)$$

本装置のごとく後方へも波が発生する場合は反対側の水面下降の影響を加え(5)式の2倍の大きさの振動圧が作用すると考えなければならぬ。また設計の問題となるのはむしろ最大の値であるため(6)式で与える最大波圧を設計振動圧にとることはいうまでもない。図-5はストレインゲージをロッドにはり直接作用した力を測定し、実測値と(6)式で与えられる計算値の比較を示したものである。同図より $h/L < 0.3$ の範囲では実測値の方が計算値より大きく $h/L \approx 0.05$ では計算値の3倍程度も大きくなっていることが認められる。一方 $h/L \geq 0.3$ になると、計算値は実測値より大きな値を示し $h/L \approx 0.5$ でその差異は最も大きくなり計算値は実測値の2.3倍程度もなるが、 $h/L > 0.5$ になると計算値と実測値

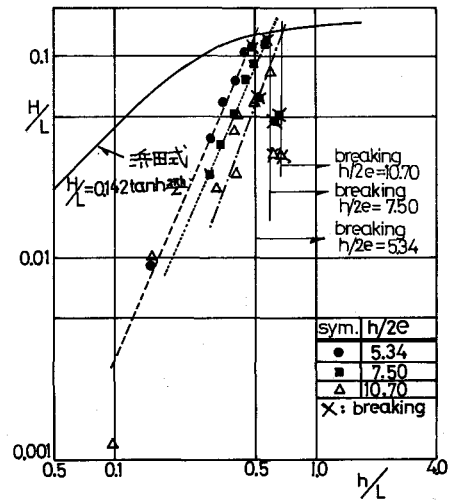


図-3 発生波の波形勾配

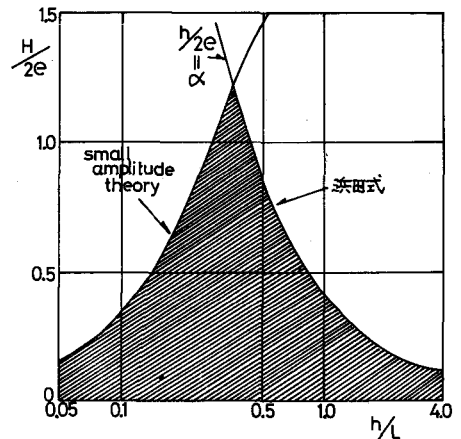


図-4 発生波の発生領域

の差異は減少する、これは h/ze の効果と碎波のためで、このことから h/ze は無視できない重要な要素といえる。したがってこのことより、微小振幅波理論を用いて駆動力を算定することはできない。しかしこの理論を用いるならば、 $h/L < 0.05$ の範囲に対してはその値の約3倍の駆動力を必要とする。一方 $h/L > 0.3$ 以上の範囲に幅広く変化する場合(図-2、(図-3)に示すように浜田式(3)式と微小振幅波理論式(2)式の交差近傍の h/L に対する値を採用すれば充分である。これは h/L が大きくなるにつれて計算駆動力は大きくなるからである。

5. 結 語

得られた結果を要約すると次のごとくである。

(i) h/ze の効果は $h/L \geq 0.3$ の範囲では認められ、 h/ze の値が13より小さくなると h/ze は急激に減少する。したがってこのことから、従来の微小振幅波理論に基づくBiesel et Suguetの与えた(2)式は $h/L \geq 0.3$ で $h/ze < 13$ の範囲では厳密には適用されない。

(ii) 造波機によって発生する波には限界があって、発生波の発生領域はオシロスコピーとして浜田の限界波形状勾配を規定する(3)式とBiesel et Suguetの与えた微小振幅波理論に基づく(2)式で囲まれた領域と考えてよからう。

(iii) 造波板のロッドにかかる力は図-5に示すように h/L が大きくなるにつれて、(6)式に基づく計算値の方が実測値より大きくなるため、微小振幅波理論では正確な算定はできない。微小振幅波理論を利用する場合、 $h/L < 0.05$ の範囲に対してはその理論値の約3倍の駆動力を必要とする。また $h/L > 0.3$ の範囲に幅広く変化する場合(2)式と(3)式の交差近傍の h/L に対する値を採用すれば充分である。

最後に本実験およびその整理に労をわすれずらぬ土木道路公団勤務、藤田信一君(当時4年生)に謝意を表す。

<参考文献>

- 1) Biesel et Suguet : Les appareils générateurs de houle en laboratoire; La Houille Blanche, Juillet-Aout, 1951.
- 2) 浜田徳一 : 例えば水理公式集(土木学会編)
- 3) 鶴田千里, 久田冬夫 : 大型造波水路の設計について ; 運研技報, vol. 7, No. 11, 1957

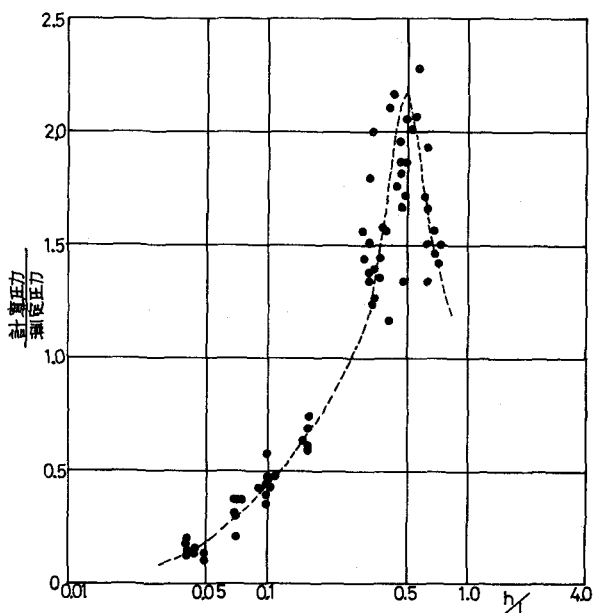


図-5 ロッドに働く力