

京都大学防災研究所 正会員 岩垣雄一・土屋義人・陳 浩雄

1. 緒言 底面摩擦による波高減衰に関する実験的研究は、最近 Eagleson (62), Grosch-Lukashik (61, 60) および著者ら (61, 64) によってなされ、線型層流境界層理論にもとづく波高減衰の理論式との比較検討が行なわれてきた。同時に、Eagleson および著者らによって波による底面摩擦応力の測定がなされ、理論結果と比較された。その結果、著者らによる底面摩擦応力の測定結果は理論値とよく一致することと確かめられたが、一方波高減衰率に関する結果はいずれの実験者による実験値も、理論結果よりかなり大きく、十分な両者の一致を確かめることができないのが現状である。その主な理由として考えられる第1のものは、境界層方程式に含まれる非線型項の影響である線型理論の欠点と、第2に実験水槽の側壁の効果とに除去するか、第3に水表面におけるエネルギーの消散および層流境界層の乱流への遷移現象などのためと考えられる。そこで、著者らはさきの研究 (64) に引き続いて実験的研究を進め、また非線型項の影響を理論的に考察した (65) ので、実験結果にもとづいて第1および第2の理由について考察する。

2. 波による底面摩擦係数 さきの研究 (64) に用いた shear meter の製作上の欠点を直した測定装置で底面せん断応力を測定し、摩擦係数の値で線型理論の結果と比較したものが、図-1 である。実験値は理論結果と十分一致し、非線型項の影響を検討した理論計算から期待されるように、少なくとも実験の範囲内ではその効果は十分省略できる。なお、著者らの結果は Re_T の値が 10^4 までであり、乱流境界層への遷移についてはいまだ明らかでない。

3. 底面摩擦による波高減衰 著者ら (64) の研究によると、境界層内でのエネルギー損失に及ぼす非線型項の影響は、水槽の底面ではほとんど省略できる程度であるが、側壁においては最大 20% にも及ぶ場合も考えられるので、ここではまず非線型項の影響を考慮した波高減衰の理論式を示しておこう。波のエネルギー保存の関係式は、底面摩擦によるエネルギー損失を対象とすれば、つぎのようにあらわされる。すなわち、二次元の場合、

$$d(C_g E)/dx = -E f_b, \quad (1)$$

ここに、 E : 単位面積当りの波のエネルギー、 C_g : 群速度、および $E f_b$: 底面摩擦によって単位面積当り、単位時間に消散する平均の損

図-1 摩擦係数 C_f と Re_T との関係

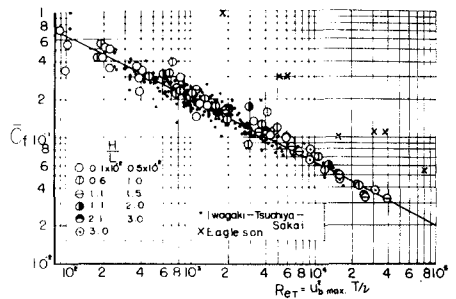
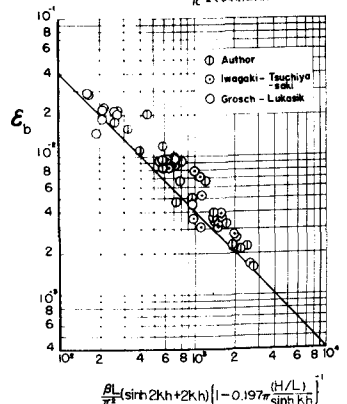
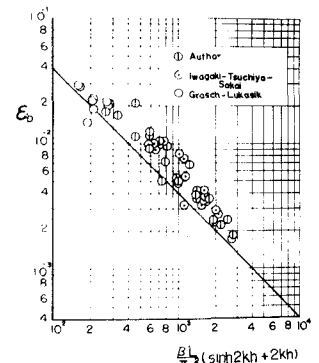


図-2 波高減衰率の理論値と実験値との比較



失エネルギー。境界層方程式に含まれる非線型項の影響を考慮した損失エネルギーの関係式を代入し、 $x=0$ で波高 $H=H_0$ として積分した結果はつぎのようになる。

$H = H_0 \exp(-\epsilon_{b+w} x/L)$, $\epsilon_b \approx (4\pi^2/\beta L)(1-0.197\epsilon)/(\sinh 2kh + 2kh)$, (2)
 ここに、 $\epsilon = \pi(H/L)/\sinh kh$, L : 波長, h : 水深, $\beta = (\pi/\gamma T)^2$, γ : 動粘性係数, T : 周期, $k = 2\pi/L$ 。同様に、側壁における損失エネルギーを考慮した場合には、水槽の幅 B としてつぎのようになる。

$$H = H_0 \exp(-\epsilon_{b+w} x/L), \quad \epsilon_{b+w} = (4\pi^2/\beta L)(1+\psi)/(\sinh 2kh + 2kh),$$

$$\psi \approx (KB/\sinh kh) \{1 - (1.086 \operatorname{sech} kh + 0.197)\epsilon\} \quad (3)$$

したがって、(2)および(3)式と比較すれば、 $\epsilon_b = \{\psi/(1+\psi)\}\epsilon_{b+w}$ (4)
 なる関係式がえられ、 $\epsilon=0$ の場合は Keulegan の方法とよばれる。図-2は、 $\epsilon=0$ の場合に相当する線型理論(上図)と非線型項を考慮した場合(下図)とに対して、理論結果と実験値とを比較したものである。この比較から明らかなように、実験水槽における波高減衰に及ぼす非線型項の影響は、平均して約10%程度のものであって、なお実験値は理論値よりも約20%程度も大きい。なお、図-3は(3)式において $\epsilon=0$ としたいわゆる線型理論の結果から $\beta L \epsilon_{b+w} = 4\pi^2(1+\psi_0)/(\sinh kh + 2kh)$ を求めて、波高減衰率に及ぼす比水深 h/L の影響を検討したものの一例である。ここに、 $\psi_0 = KB/\sinh kh$ である。また、波高減衰には、理論上は波形も周波数も影響しないことになるので、水深および周期を一定として、波高のみを変えて実験を行なって検討したが、その影響はほとんどないことがわかった。

つぎに、波高減衰に及ぼす水槽側壁の効果について述べよう。前述した $\beta L \epsilon_{b+w}$ に対する関係式において、 h/L と一定とすると h/B の効果を検討することができ、図-4は実験結果の一例を示したものであり、図中の太い実線は理論曲線である。図-2に示した結果からも明らかなように、実験値は理論曲線よりかなり大きい。いま、実験値に一致する直線の $h/B=0$ の点における $\beta L \epsilon_{b+w}$ の値を求めると、これは一応水槽側壁の効果のない場合に相当していると考えられる。この値は以上のようにして求められた実験値と、線型理論による理論結果とを比較したものである。側壁の効果がほとんど無視できる実験で得られた Grosch らの実験結果とともに、平均的には実験値は理論値よりも20%程度は大きいようにみられる。

図-3 $\beta L \epsilon_{b+w}$ と h/L との関係

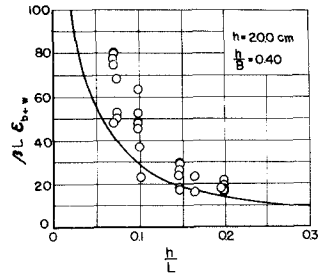


図-4 波高減衰率に及ぼす側壁の効果

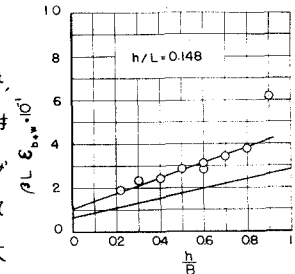
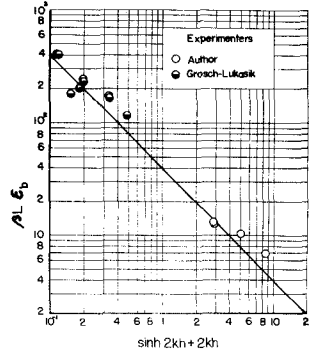


図-5 $\beta L \epsilon_b$ の理論値と実験結果との比較



4. 結 語 以上要するに、底面摩擦に及ぼす境界層方程式に含まれる非線型項および実験水槽の側壁の効果について検討したが、いずれの補正としても実験値は理論値よりなお20%程度も大きい。この原因が何であるか明らかでないが、今後水表面におけるエネルギー損失などを理論的に考察するとともに、さらに詳細な実験を進めて波高減衰の機構を解明していきたいと考えている。

本研究を行なうにあたり、熱心に助力していただいた海岸研究室の諸氏に謝意を表する。