

波と潜堤の非線形干渉効果の実験的研究

九州大学工学部 学生員○藤原研三 正会員 吉田明徳
 九州大学工学部 学生員 山城 賢 正会員 村上啓介
 九州産業大学工学部 学生員 隅田真文 正会員 奥園英明

1. まえがき

潜堤上では水深が急激に浅くなることによって、水面境界条件の非線形性の効果が大きくなり、このため入射波が微小振幅波であっても潜堤上において高次のオーダーの周波数成分の波が励起し、潜堤背後に通過していく波の中には2倍や3倍の周波数成分の波(自由波)が含まれる。このような非線形干渉によって励起される高次オーダーの成分波に関しては、幾つか解析法が示されており、ある程度は理論的に明らかにすることが出来る。しかし、実際には、潜堤の近傍(隅角部)では渦が生じ、入射波の波高が大きくなるにつれて渦の強さも増大するため、励起される高次の周波数成分波の特性(振幅と位相)が、ポテンシャル運動を仮定している理論解と異なってくる。しかも、入射波の波高がさらに増大し渦に加えて潜堤上で砕波を生じるようになるとポテンシャル理論による推定値は妥当な値を与えない。以上のことから、本研究は、潜堤と波との非線形干渉によって励起される高次のオーダーの波の特性を、ポテンシャル理論が適用できる比較的小さな波高の波から、激しい砕波が生じるような波高の波までを用いて、実験的に明らかにすることを目的におこなった。

2. 実験条件

実験は、図-1に示す九州産業大学土木工学科の側壁に消波装置を有する幅 12m、深さ 0.75m、長さ 15m の水槽中央に幅 50cm、深さ 60cm、長さ 14m の2次元造波水路を設置して行った。尚、実験に先だってこの水路の消波装置の反射率を測定した結果、 kh (k は入射波の波数、 h は水路水深)が 0.7 から 3.5 までの波に対して 0.05 程度であった。図-2中に示す断面形状の潜堤を造波板から 4.8m の位置に設置して、容量式波高計を用いて、潜堤の通過側の水面変動と入射側の水面変動を、サンプリング周波数 50Hz でデータレコーダーに記録した。 $kh = 1.0, 1.5, 1.75$ の波について、それぞれ、入射波の波高 H を約 1cm から 13cm 程度まで 0.5cm 刻みで変化させ、天端上で砕波が生じない条件から激しく砕波が生じる条件までについて実験を行った。測定した水面波形は、1次のオーダーの成分波に関しては分離推定法を用いて入射波と通過波の振幅を求めた。2次のオーダーの倍周波数成分波は、潜堤上で励起される自由波の波数と1次のオーダーの波に拘束される拘束波の波数との差で決まる波長で、振幅が空間的に変化するため、入射波の波数ごとに、あらかじめビード長を算定しておき、ビード長の 1/4 波長間隔で4本の波高計を設置し、各測点で得られる倍周波数成分波の振幅の平均値を算定して、2次のオー

ダーの自由波の振幅を求めた。 $kh = 1.0$ の波について、砕波が生じる場合 ($H = 8\text{cm}$) と、生じない場合 ($H = 4\text{cm}$) について、潜堤近傍の水面変動を 15cm 間隔で設置した波高計を用いて測定し、その時系列データを FFT 解析して、各周波数成分波の振幅の空間分布を求めた。

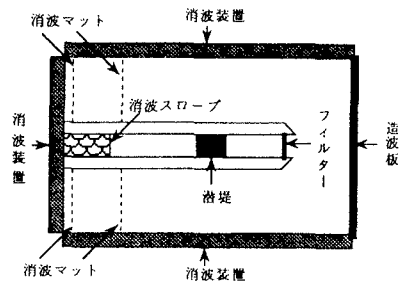


図-1 実験水槽

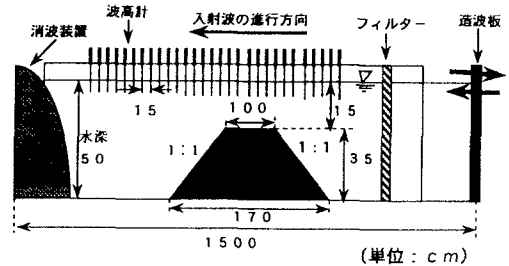


図-2 実験水路

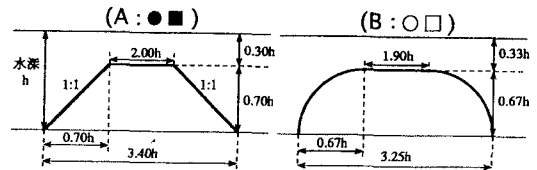


図-3 潜堤

3. 結果と考察

図-4は基本周波数成分の波高 H_1 の入射波の波高 H に対する比(通過率)を、入射波の波形勾配 H/L (L は入射波の波長)に対して示している。図中には潜堤の傾斜部が半円形の形状の潜堤(図-3参照; 潜堤Bと呼ぶ)を用いた山城ら

(1995)の結果も共に示している。潜堤 B では、1 次のオーダーの波高比 H_1/H は、砕波を生じ始める波形勾配まではほぼ一定値をとるのに対し、潜堤 A では、砕波が生じる以前の波形勾配に対しても、波高比 H_1/H は緩やかに減少している。これは、潜堤 A では隅角部における渦の発生が潜堤 B に較べて大きいことによる。砕波が生じるようになると波高比は指数関数的に減少し、波形勾配を変数とする関数 $H_1/H = A \exp m(H/L)$ で表すことができる。減少の割合は、入射波の波数には無関係にほぼ一定値を取るが、潜堤の形状によって異なることがわかる。図中には実験値より算定した減衰の勾配 m を表す直線を、 $kh = 1.0$ の場合について、それぞれ実線で示している。

図-5 は、2 次のオーダーの自由波の波高 H_2 の入射波の波高 H に対する比 H_2/H を、入射波の波形勾配 H/L に対して両対数表示で示したものである。砕波前の波形勾配に対しては、2 次のオーダーの自由波の波高は潜堤の形状や入射波の波長によらずほぼ波形勾配に比例して増大する。ただし、 H_2/H の大きさは、潜堤 B では $kh = 1.0$ と $kh = 1.5$ とでは大きく異なるのに対して、潜堤 A ではほぼ同じ値を取っており、潜堤形状による違いが大きい。一旦砕波が生じようになると、2 次のオーダーの波の励起は急激に減少し、波形勾配が大きく砕波が激しくなると入射波の波長や潜堤の形状によらず H_2/H は同じ値をとる。砕波を生じる状態での 2 次のオーダーの波は、 $H_2/H = A(H/L)^m$ の関数形で表すことができ、減衰の程度を表す係数 m は潜堤の形状には無関係に入射波の波数によって決まり、しかも入射波の波長による差も小さい。

図-6 は 3 次のオーダーの自由波の波高比 H_3/H を示している。3 次のオーダーの波の励起は、砕波を生じる前の波形勾配に対しては、2 次のオーダーの場合に見られるような、潜堤形状による違いは生じない。また、砕波が生じると急激に減少し、2 次の場合と同様、波高比は $A(H/L)^m$ で表され、減衰の係数 m も潜堤形状や入射波の波数によらず同じ値を取る。

図-7 は $kh = 1.0$ で異なる 2 通りの波形勾配の入射波 ($H/L = 0.0135$ の場合は砕波が生じず、 $H/L = 0.027$ の場合には潜堤上で砕波が生じる) についてそれぞれ、潜堤近傍の水面変動を 15cm 間隔で測定し、各点の水面変動の基本周波数成分の振幅 η_1 に対する、2 倍周波数成分の振幅 η_2 および 3 倍周波数成分の振幅 η_3 との比を示したものである。潜堤背後での η_2/η_1 の空間的な変動の様子が波形勾配 (砕波、非砕波) によって大きく異なっており、非線形干渉によって励起する 2 次の成分波と潜堤を通過する基本周波数成分の波との相対的な大きさが入射波の波形勾配によって空間的にも大きく変動することがわかる。現在、異なる波長と波形勾配の波についても同様の実験をおこなっており、これらの結果については講演時に示すつもりである。

参考文献

吉田明徳ら (1994):2 成分ストークス波と構造物との非線形干渉解析法。第 41 回海岸工学講演会論文集, pp.736 ~ 740
山城ら (1995):波と構造物の非線形干渉に関する実験的研究, 土木学会第 50 回年次学術講演会論文集

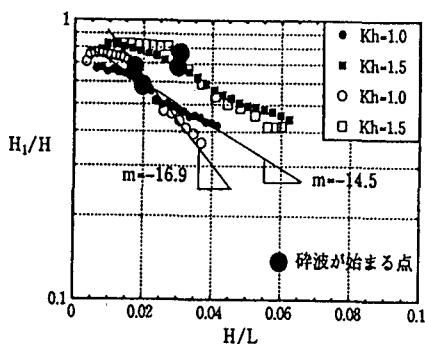


図-4 波高比 (基本周波成分)

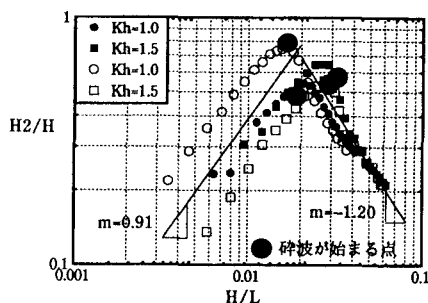


図-5 波高比 (2 倍周波成分)

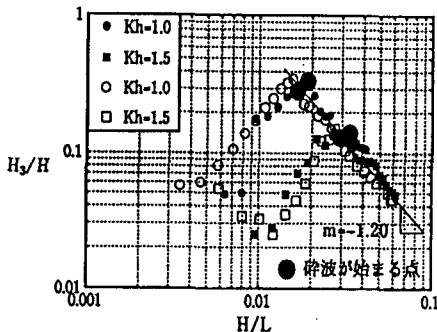


図-6 波高比 (3 倍周波成分)

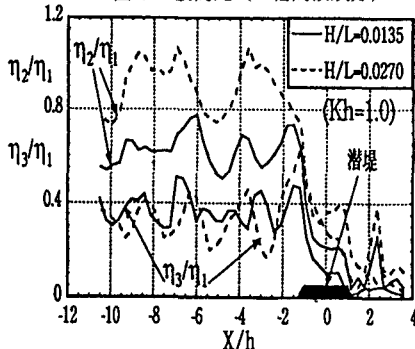


図-7 波高比の分布