

大水深域潜堤背後の波動場特性の実験的研究

九州大学工学部 学生員○樽井史朗 山城 賢 藤原研三

九州大学工学部 正会員 吉田明德 村上啓介

九州産業大学工学部 正会員 奥蘭英明

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、たとえ入射波が微小振幅の波であっても、潜堤上において高次のオーダーの周波数成分波が励起し、潜堤背後の通過領域には2倍や3倍の周波数成分波(自由波)が存在する。潜堤背後の領域では、基本周波数成分波と高次の周波数成分波(自由波)の進行速度が異なるため、両者の位相差が場所によって異なり、したがって、水面波形や水底の流速波形などの波動場は空間的に変化する。このため、例えば、岸向きの底面流速が大きくなる場所と、沖向きの底面流速が大きくなる場所が交互に現れるなどの現象が生じ、これらは潜堤背後での砂の堆積や侵食に大きく関係する。特に、海底勾配が緩やかで、遠浅の海域の沖合いに潜堤を設置する場合などの、潜堤背後の砂の移動のメカニズムを知るためには、まずは、潜堤背後域の波動場について明らかにすることが必要である。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と、それによる底面流速の空間的な変動の特性を明らかにすることを目的に、比較的小さな波高の波から、潜堤上で激しい砕波が生じるような波高の波までを用いて実験をおこなった結果について述べる。

2. 実験条件

実験は、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。図-1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、 $kh = 1.0$ の波について、砕波が生じる場合($H = 8\text{ cm}, 10\text{ cm}$)と、生じない場合($H = 4\text{ cm}, 6\text{ cm}$)について、潜堤近傍の水面変動を15cm間隔で設置した容量式波高計を用いてサンプリング周波数50Hzでデータレコーダーに記録した。また、表-1に入射波の波形勾配とアーセル数 U_r の値を示す。

3. 解析方法

各測点の水面変動の時系列データをFFT解析し、基本周波数成分波と2倍周波数成分波の振幅の空間分布を求めた結果を $H = 4\text{ cm}$ を例に取って示したのが図-2である。また、各測点での基本周波数成分波と倍周波数成分波とを用いて両者の位相の差を読み取り、これと図-2の振幅の空間分布より、基本周波数成分波の振幅 $\eta^{(1)}$ と、倍周波数成分波(自由波) $\eta^{(2)}$ の振幅を算定し、これらの値を、ストークス波の理論式(式(1))に用いて、潜堤背後域における水面波形

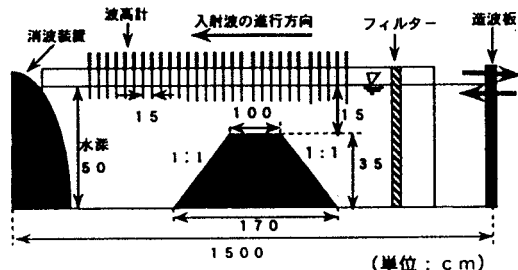


図-1 実験水路

表-1 入射波の波形勾配とアーセル数

H (cm)	H/L	U_r
4	0.013	2.95
6	0.019	4.74
8	0.026	6.33
10	0.032	7.89

を算定した。この算定した水面波の波形と、実測波形のスペクトルから3次以上の高次成分を除いて得られる2次のオーダーまでの水面波形とを比較して、両者がほぼ一致することを確かめた後、式(1)に対応する底面流速の式(2)より、水底面の流速を推定した。

$$\frac{\eta(x, t)}{\eta_0} = \frac{\eta^{(1)}}{\eta_0} \sin(kx - \sigma t) + \epsilon \frac{(\eta^{(1)}/\eta_0)^2}{4} \frac{\cosh kh}{\sinh^3 kh} (2 + \cosh 2kh) \sin 2(kx - \sigma t) + \frac{\eta_F^{(2)}}{\eta_0} \cos(k^{(2)}x - 2\sigma t - \theta) \quad (1)$$

$$\frac{U(x, z; t)}{(kg\eta_0/\sigma \cosh kh) \cosh kh} = \frac{\eta^{(1)}}{\eta_0} \frac{\cosh k(z+h)}{\cosh kh} \sin(kx - \sigma t) + \epsilon \frac{3}{4} \left(\frac{\eta^{(1)}}{\eta_0} \right)^2 \frac{\tanh kh}{\sinh^4 kh} \frac{\cosh 2k(z+h)}{\sinh^4 kh} \sin 2(kx - \sigma t) + \frac{k^{(2)}}{k} \frac{\eta_F^{(2)}}{\eta_0} \frac{\cosh k^{(2)}(z+h)}{\cosh k^{(2)}h} \sin(k^{(2)}x - 2\sigma t - \theta) \quad (2)$$

ただし、 η_0 は入射波の振幅、 k は入射波の波数、 $k^{(2)}$ は倍周波数自由波の波数である。このようにして得られた各測

点における水底流速波形について、便宜的に図-3に示すような上下の非対称率 (S_1) および左右の非対称率 (S_2) を次式で定義しこれらの値を各測点について算定した。

$$S_1 = (d_1 - d_2) / d \quad S_2 = (l_1 - l_2) / l$$

4. 結果と考察

図-4は、 $H = 8 \text{ cm}$ の場合の、図-5に示す潜堤背後の5箇所での水底流速 U の時間変動を入射波の底面流速の振幅 U_0 に対する比で示したものである。基本周波数成分と倍周波数成分の位相速度が異なるため、流速の時間波形は空間的に変化する、再び同じ流速波形が現れる。2次のオーダーまでを考えると、水面波形および流速波形の時間変動は、基本周波数の波の位相速度 $C^{(1)}$ と倍周波数成分自由波の位相速度 $C^{(2)}$ によって決まる間隔 (再帰距離 L_r) で繰り返し現れることになり、 L_r は次式で与えられる。

$$Lr = \frac{C^{(1)}C^{(2)}}{C^{(1)} - C^{(2)}} \frac{T}{2} = \frac{2\pi}{k^{(2)} - 2k^{(1)}} \quad (1)$$

図-5は流速波形の上下の非対称性を表すパラメータ S_1 の空間分布を示している。潜堤の中央が原点に対応する。これより、 S_1 の値は、入射波高が増大するにつれて互いに相似な形を保ったまま岸方向にシフトすることがわかる。これは、基本周波数成分波と倍周波数成分自由波との位相差の空間的な変動が、入射波の波高が増大するにつれて岸方向にシフトする事を示している。

図-6は、流速波形の前後の非対称性 (前傾度) を表すパラメータ S_2 の空間分布を示している。図-3に示した定義からも明らかなように、上下の非対称率 S_1 が最大値と最小値を取る場所で S_2 は正負が反転することになる。 S_2 の値は基本周波数成分波の振幅に対して倍周波数成分自由波の振幅の割合が大きいほど大きな値を取る。 $H = 8 \text{ cm}$ の場合よりも $H = 10 \text{ cm}$ の場合の方が S_2 の値が小さいのは $H = 10 \text{ cm}$ の方が、碎波が激しいために倍周波数成分波の励起が相対的に減少していることによる。

5. あとがき

現在、異なる天端水深と入射波の周期について同様の実験をおこなっている。実験では水面波形に加えて水底面の流速を測定して、水面波形より推定した底面流速 (振動流速) の検証をおこなうとともに、没水構造物と波との非線形干渉の解析法を併用して、潜堤背後域の波動場の特性を明らかにすることを考えている。これらの結果については成果が得られれば講演時に示すつもりである。また、今後は、波動場の特性と、砂移動との関連についても調べていく予定である。

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
- 藤原ら (1996): 波と潜堤の非線形干渉効果の実験的研究, 平成7年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集

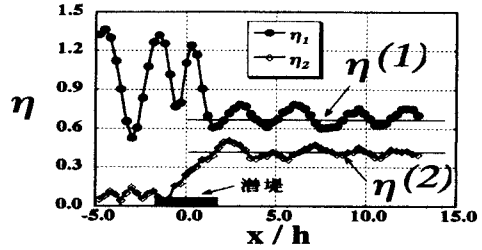


図-2 振幅の空間分布 ($H = 4 \text{ cm}$)

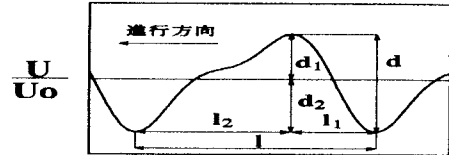


図-3 非対称率の定義

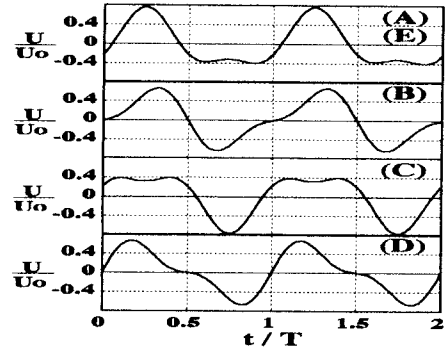


図-4 水底流速波形 ($H = 8 \text{ cm}$)

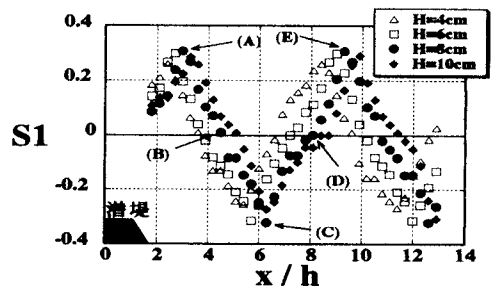


図-5 上下の非対称性 (S_1) の空間分布

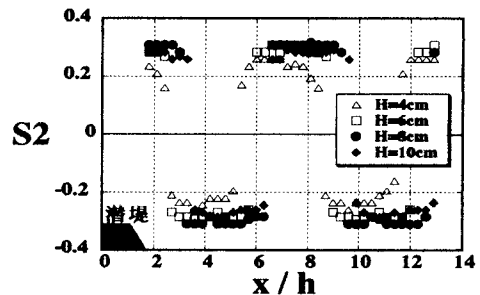


図-6 左右の非対称性 (S_2) の空間分布