

潜堤背後の底面流速分布に関する実験的研究

九州大学工学部 学生員○越智宏充 山城 賢
九州大学工学部 正会員 吉田明徳 入江 功

1. まえがき

潜堤背後の領域では洗掘や海底地形の変化といった問題が生じ、これらの問題に対処するためには潜堤背後の波動場について明らかにする必要がある。潜堤上を波が通過する際、波と潜堤との非線形干渉や、潜堤上での砕波が生じ、潜堤背後の波動場および流速場は複雑なものとなる。

本研究は、潜堤背後の海底砂移動のメカニズムを明らかにすることを目的に、第一段階として潜堤背後の波動場および流速場について詳細な実験をおこない、その特性について検討したものである。

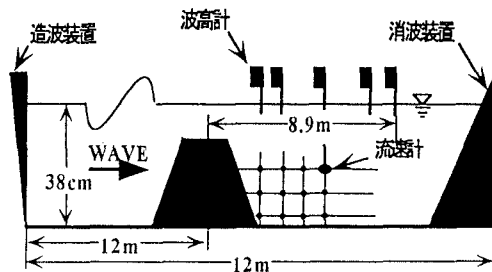


図-1 実験装置図

表-1 入射波の条件

2. 実験装置および実験方法

実験は、図-1に示す末端に消波装置を有する幅30cm、深さ50cm、長さ28mの反射吸収式2次元造波水路を用い、潜堤を造波板から12mの位置に固定した。実験条件は水深(h)を38cmとし、潜堤は法肩勾配が1:1、天端幅(B)が水深の2倍($B/h = 2.0$)の不透過潜堤を用いた。

測定は流速分布および水面変動についておこなった。流速は、入射波の条件を周期 $T = 1.43\text{sec}$ ($kh = 1.00$)、波高 $H = 4\text{cm}$ 、天端水深 $qh = 0.1h$ とし、潜堤背後の111点においてADV流速計(Acoustic Doppler Velocimeter)を用いて測定した。水面変動は、潜堤背後での通過波のエネルギーおよび平均水位について調べるため、潜堤上での砕波による乱れの影響がなく波動成分が再生していると思われる潜堤中心から水深の5倍以上($x/h > 5$)離れた位置から岸方向におよそ7mの範囲を10本の容量式波高計を用いて測定した。入射波の条件は、規則波では $T = 1.79, 1.43, 1.20\text{sec}$ ($kh = 0.75, 1.00, 1.25$)とし、不規則波では $T_{1/3} = 1.43\text{sec}$ ($kh = 1.00$)とした。測定をおこなったケースについては表-1に示す。測定したデータから定常流速、パワースペクトルおよび平均水位を算定し、次式で示す非線形パラメーター Π について整理した。

$$\Pi = (H'/L_q) \coth^3 k_q h_q \quad (1)$$

ただし、 H' は規則波では入射波高、不規則波では有義波高ではなく入射波と同じエネルギーフラックスを有する規則波の波高を用いており、有義波高 $H_{1/3} = 3, 4, 5, 6, 7\text{cm}$ に対する H' は2.1, 2.8, 3.5, 4.2, 4.9cmである。入射波が不規則波の場合は有義周期の波を代表波とし、以下の分散関係式より決定した。

規則波				不規則波			
kh	0.8	1.00	1.3	kh	1.00		
T	1.8	1.4	1.20	$T_{1/3}$	1.43		
q	0.1	0.2	0.3	q	0.1	0.2	0.3
H (cm)	1			$H_{1/3}$ (cm)	3	3	3
	2	2	2			4	4
	4	4	4		5	5	5
	6	6	6			6	6
	8	8	8		7	7	7
	10						

$$\left. \begin{aligned} \sigma^2 &= (2\pi/T)^2 = gk_q \tanh k_q h_q \\ k_q &= 2\pi/L_q, \quad h_q = qh \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

3. 結果と考察

図-2に定常流速分布のベクトル表示を示す。なお、定常流の流速は、入射波の水面水平流速振幅で無次元化している。図中には潜堤の位置を示している。2次元波動場に設置された潜堤周辺の流速を測定した岩田ら(1996)によると、潜堤直後において、自由表面付近では強い岸向き流れ、中層および底層付近では沖向き流れとなる鉛直2次元元的な循環流が発生すると報告しており、本実験においても鉛直2次元元的な循環流が発生していると考えられる。また、本実験における結果では、 $x/h = 3.2$ 付近の底面において湧き出しているような結果となっている。これは2次元水槽による実験であるが、砕波領域での流れは断面方向に一様ではなく、水槽の側面から中央に向かう流れが発生していたものと考えられる。なお、潜堤から水深の5倍以上($x/h > 5$)離れたると定常流は非常に小さくなる。

図-3は、全測定ケースについて、通過波のパワースペクトルを積分したものを通過波の全パワー(P_a)とし、入射波のパワー(P_i)に対する比(P_a/P_i)を非線形パラメーター Π に対して示したものである。 Π が増加するにしたがって潜堤上での碎波の程度が激しくなるため(P_a/P_i)の値は急激に減少している。また減衰の程度は入射波の周期により異なり、周期の短い波ほどパワー比の減衰の程度が大きい。これは入射波の周期により潜堤上での碎波限界と通過率が異なるためと考えられる。さらに Π が増加すると周期の値に関わらず0に漸近している。また、 $kh = 1.00$ のプロットには不規則波($T_{1/3} = 1.43\text{sec}$)の結果も合わせて示しており、規則波の周期と不規則波の有義周期が等しい場合、入射波が規則波、不規則波に関わらずパワー比の減衰の様子は同様であるといえる。また、各周波数の場合についてパワー比の減衰曲線は、非線形パラメーター Π を用いて $y = A\Pi^m$ の関数形で非常に高い相関で近似できる。

図-4は測定した全ケースについて平均水位上昇率を非線形パラメーター Π に対して示したものである。平均水位上昇率は、各測点における平均水位(η_o)を平均($\overline{\eta_o}$)し、入射波高(H)により無次元化($\overline{\eta_o}/H$)したものである。ただし不規則波については、同じエネルギーフラックスを有する規則波の波高(H')で無次元化している。図より Π が増加するにしたがって平均水位上昇率($\overline{\eta_o}/H$)も増加している。これは Π の増加にともない、潜堤上での碎波が激しさを増し、そのため岸向きの質量輸送が増大するためと考えられるが、さらに Π が増加すると平均水位上昇率は一定値(およそ0.26)に漸近する傾向が見られる。また、 Π の増加に対する平均水位上昇率の程度は入射波の周期によらず、図中に示す $y = A\log(\Pi)$ の関数形で、ほぼ近似できる。

4. あとがき

潜堤背後の波動場および流速場の特性は潜堤上での碎波の程度に大きく影響される。潜堤上での碎波に影響する主な物理量は入射波の波高、周期および潜堤の天端水深、天端幅、潜堤形状であり、それらの変化によって潜堤背後の波動場および流速場の特性は大きく変化する。しかし天端幅が異なる場合については検討しておらず、今後は天端幅の異なる場合について同様の実験を行う予定である。

参考文献

1. 吉田ら(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
2. 樽井ら(1997):大水深域潜堤背後の波動場特性の実験的研究, 平成8年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集

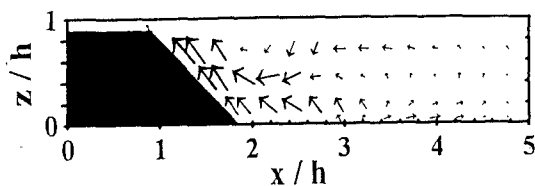


図-2 定常流速分布

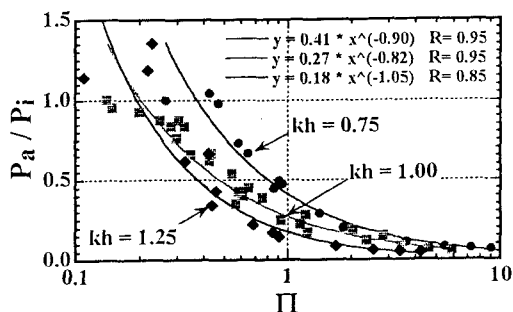


図-3 通過波のパワースペクトル

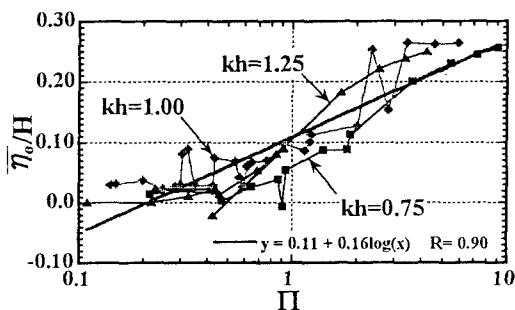


図-4 平均水位上昇率

3. 岩田ら(1996): 潜堤による碎波特性とその内部機構に及ぼす波と潜堤の幾何スケール比, 海洋開発論文集, Vol.12
4. 合田(1983): 波浪の非線形性とその記述パラメーター, 第30回海岸工学講演論文集, pp.39-43