

人工干潟の砂留潜堤周辺の流況と波高分布 に関する実験的研究

STUDY ON WAVE-INDUCED FLOW AROUND A SAND PROTECTOIN WORK OF ARTIFICIAL TIDAL FLAT

鷺見浩一¹・牛木賢司²・水谷法美³・岩田好一郎⁴

Hirokazu SUMI, Kenji USHIKI Norimi MIZUTANI and Koichiro IWATA

¹正会員 博(工) 金沢工業大学講師 工学部土木工学科(〒921-8501 石川県石川郡野々市町扇が丘7-1)

²学生会員 名古屋大学大学院 工学研究科土木工学専攻(〒464-8603 愛知県名古屋市千種区不老町)

³正会員 工博 名古屋大学大学院助教授 工学研究科土木工学専攻(同上)

⁴正会員 工博 名古屋大学大学院教授 工学研究科土木工学専攻(同上)

This study investigates experimentally the wave-induced flow field formed on an artificial tidal flat. At the offshore edge of the tidal flat, submerged dike are often constructed to protect sand erosion, which affects the flow field. Hydraulic model experiments have been conducted to investigate the flow distribution and wave height distribution. It is found that circulating currents are formed around a submerged dike. The circulation flow is revealed to depend on the wave steepness and relative opening width of the dike to the wavelength. Results also show that the strong flow is formed in the vicinity of the opening of the dike, which suggests the local scour and countermeasures against the scour may be necessary.

Key Words : Artificial tidal flat, Submerged breakwater, flow field, bottom shear stress

1. はじめに

港湾整備や埋め立て等の沿岸域の開発により天然の干潟や自然海岸が失われた地域ではその代替処置として、人工干潟や人工海浜のように自然海岸を模擬した構造物が造成されつつある。人工干潟は天然の干潟の持つ海水浄化機能や魚介類幼稚仔の生息場を人為的に創り出そうとするものであり、開発により劣化した沿岸域の生態系の修復策として研究が盛んに行われている(例えば、朴ら¹⁾、桑江ら²⁾、新保ら³⁾)。しかし、流れによる底泥の流出・湿地の洗掘等、人工干潟の底質の安定性に関する問題が未完のままである。干潟の安定性については、底質を形成する懸濁物質と波浪および流れの相互作用により決定される場合が多く、人工干潟を造成した場合の波と流れの場を水理実験で予測して、これまで干潟が存在しなかった地域に底質が安定した人工干潟を築造する手法に関しては十分に議論がなされていない。

そこで本研究では、まず、人工干潟の地形変化や底質安定化の支配水理量である干潟沖側端に設置された砂留潜堤周辺の流況場と波浪場の内部構造に関する知見を得るために固定床水理実験を実施し、波

浪条件の相違による流速分布と波高分布について考究した。

2. 水理実験の概要と解析手法

実験は図-1に示す名古屋大学大学院工学研究科土木工学教室の平面波動水槽(長さ28m, 幅8m, 深さ0.8m)を用いて行った。水深 $h=28.0\text{cm}$ に設置された造波機より11.5m離れた地点から19mの地点の間に水平固定床を設置し、その上に砂留潜堤を沖側端部として持つ人工干潟模型を設置した。砂留潜堤と人工干潟地形の模型は木材で作成した。干潟模型は水平面とし、その水深を15.5cmとして沖側外海域よりも12.5cm浅くした。砂留潜堤模型は図-1に示すように2つの断面から成り、A-A断面では堤長 $L_r=1.5\text{m}$ 、天端幅 $B=22\text{cm}$ 、天端水深 $R=0\text{cm}$ とし、B-B断面では開口幅 $W=1.5\text{m}$ 、 $B=22\text{cm}$ 、 $R=8\text{cm}$ とした。実験波の組合せと次元解析から求めた潜堤周辺での流れと波の支配因子となる無次元量の値を表-1に示す。実験波はすべて規則波である。測定項目は人工干潟周辺での流速・波高分布であり、流速分布は電磁流速計

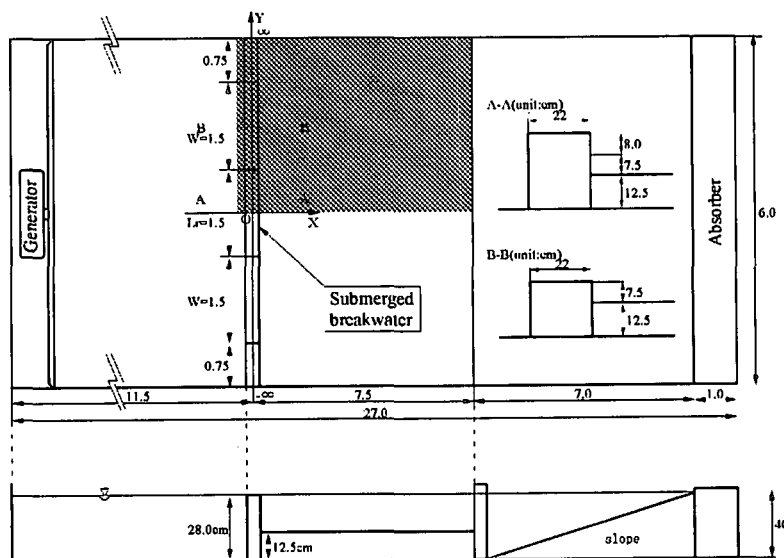


図-1 実験水槽概要(単位:m)

を用いて静水面下5, 9, 14cmの3層で、平面方向は人工干潟周辺の約700点(図-1のハッチ部)となる測定点で計測した。なお、平面方向の測定点の詳細は、砂留潜堤の沖方向20cmから岸方向80cmの領域では20cmの正方格子、砂留潜堤の岸側80cmから680cmの領域では30cmの正方格子である。波高分布については流速測定点と同じ計測点で電気容量式水位計により計測した。

表-1 実験ケース

ケースNo.	入射波高 $H_1(\text{cm})$	周期 $T(\text{s})$	H_1/L_1	W/L_1	R/H_1
1	2.5	0.7	0.03	2.0	3.2
2	2.5	1.0	0.02	1.1	3.2
3	2.5	1.4	0.01	0.7	3.2
4	5.0	0.7	0.07	2.0	1.6
5	5.0	1.0	0.04	1.1	1.6
6	5.0	1.4	0.02	0.7	1.6

計測された流速および水位の時間変動から、ゼロ点とデータ間の位相のずれを補正して解析を行った。解析対象波は造波板や消波装置からの反射波の影響がなく波形が安定している3波であり、その3波に対して式(1)で平均流速を算定した。

$$\bar{U} = \frac{1}{3T} \int_0^{3T} U(t) dt \quad (1)$$

ここに、 U は x , y 方向の流速 u , v をベクトル合成したものである。

また、干潟底質の移動に大きく寄与する底面摩擦応力を式(2)により求めた。

$$\tau = f \rho \bar{U}^2 \quad (2)$$

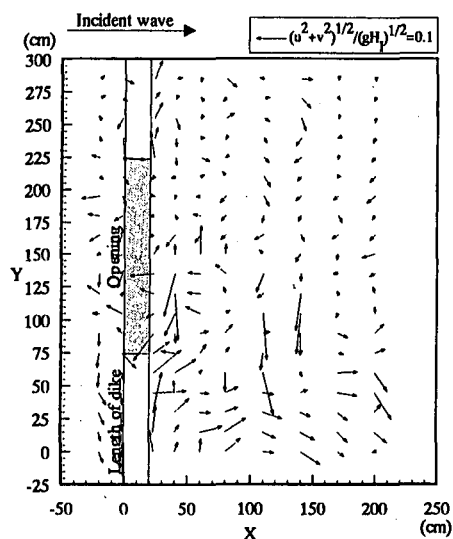
ここに f は摩擦係数(無次元量)であり、本論では0.01とした。 ρ は流体の密度である。

3. 流況特性

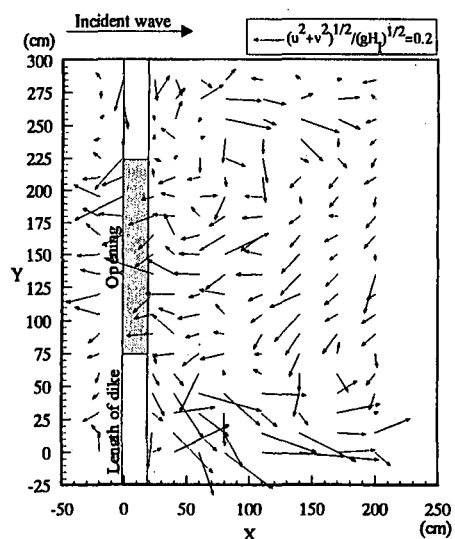
(1) 入射波形勾配の相違による平均流特性

波高、周期を変化させた場合の静水面下5cm($z/h=-0.18$)での平均流の特性について検討する。なお、 z は静水面を原点とする右手系直交座標における流速測定水深である。図-2(a)~(c)はケース1~3の平均流ベクトル分布を示しており、図中のベクトルは実験値の平均流速を $\sqrt{gH_1}$ (g :重力加速度, H_1 :入射波高)で除して無次元化してある。ケース1~3に共通して潜堤背後域では、波が天端上で強制砕波した後の強い岸向き流れが開口部へ向かう循環流となっている。入射波の周期が長く H_1/L_1 が小さいほど、砕波後の向岸流は速くなり、循環流中心部の流速も大きくなる。

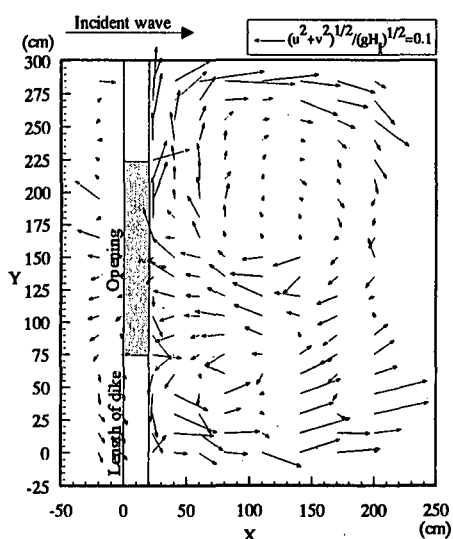
図-3(a)~(c)は $H_1=5.0\text{cm}$ と一定で、 T を0.7, 1.0, 1.4sと変化させたケース4~6の静水面下5cm($z/h=-0.18$)の平均流ベクトルである。 H_1/L_1 が0.07, 0.04のケース4と5では、岸側域に入射波の砕波後の向岸流が開口部へと向かう循環流が1対形成されている。 $H_1/L_1=0.02$ のケース6では岸側に安定した循環流は形成されておらず、向岸流と離岸流が不規則に発生している。しかし、図-2(b)で示した $H_1/L_1=0.02$ のケース2では岸側域に循環流が発生している。このことは、潜堤背後域の循環流の形成は H_1/L_1 だけに支配されるのではなく、他のパラメータによっても影響を受けることを示唆している。他の影響因子として次元解析から R/H_1 と W/L_1 が挙げられる。 R/H_1 に注目するとケース2, 6ではそれぞれ3.2と1.6であり、背後域での流況は H_1/L_1 と R/H_1 の組合せに依存して変化することがわかる。全ケースで開口部では沖向き流れが発生し、 H_1/L_1 が小さいほど流速は大きくなっている。



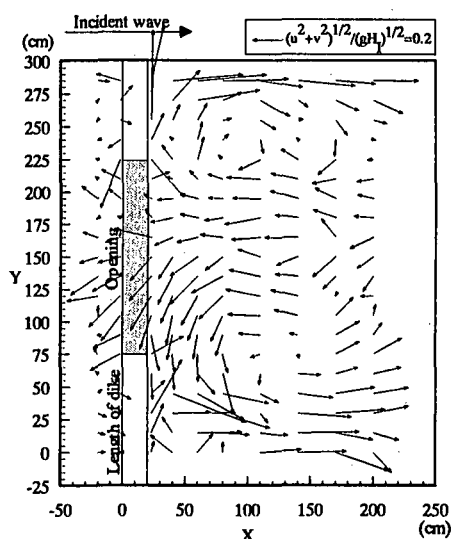
(a) ケース1 $H_1/L_1=0.03, R/H_1=3.2$



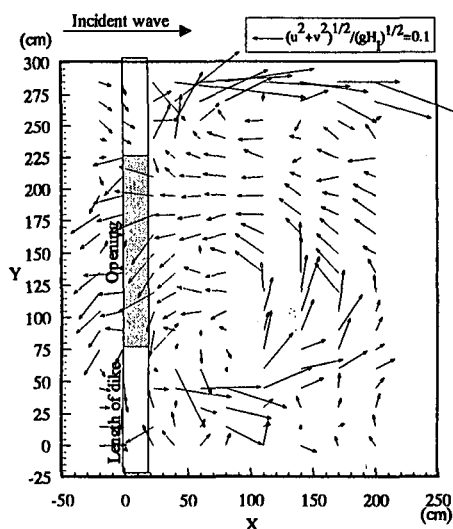
(a) ケース4 $H_1/L_1=0.07, R/H_1=1.6$



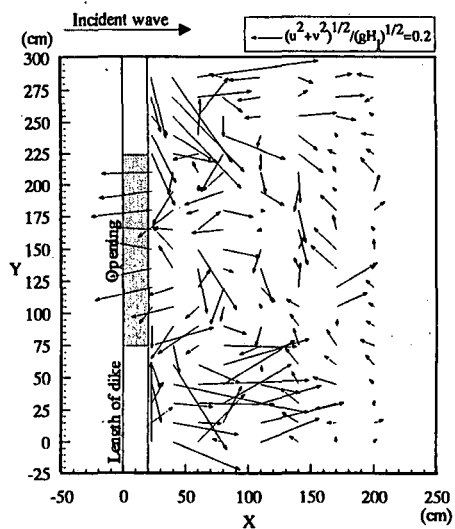
(b) ケース2 $H_1/L_1=0.02, R/H_1=3.2$



(b) ケース5 $H_1/L_1=0.02, R/H_1=1.6$



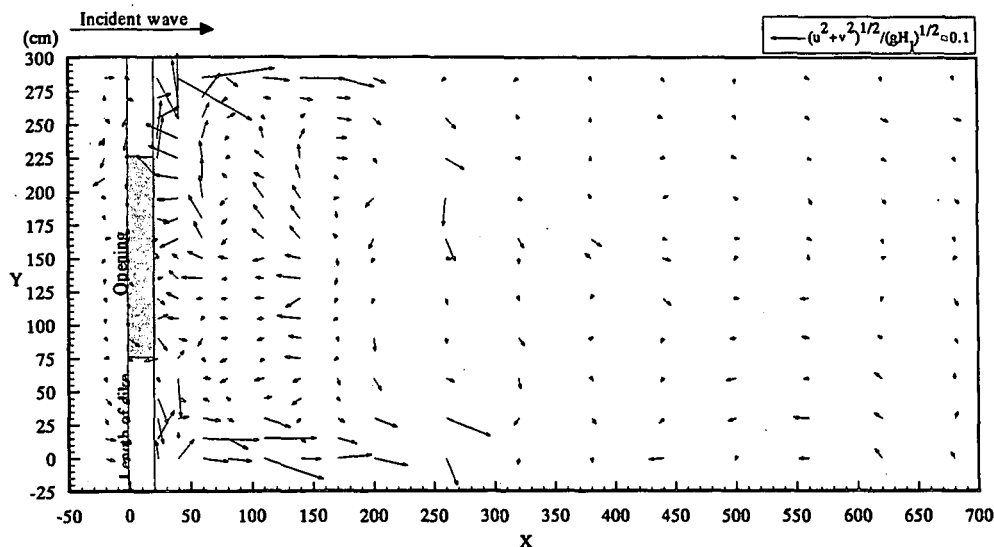
(c) ケース3 $H_1/L_1=0.01, R/H_1=3.2$



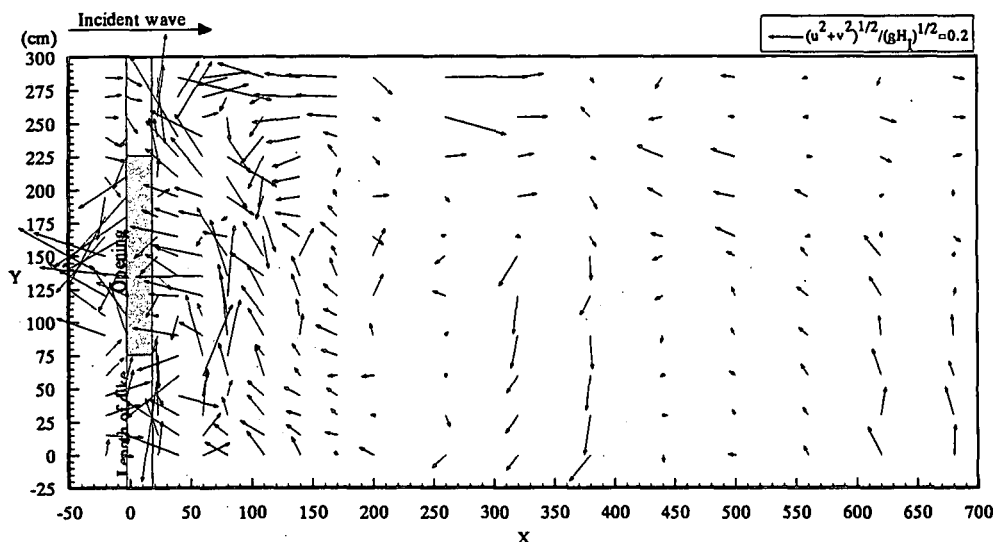
(c) ケース6 $H_1/L_1=0.02, R/H_1=1.6$

図-2 平均流の空間分布(静水面下5cm, $z/h=-0.18$)

図-3 平均流の空間分布(静水面下5cm, $z/h=-0.18$)



(a) ケース2 $H_1/L_1=0.02, R/H_1=3.2$



(b) ケース6 $H_1/L_1=0.02, R/H_1=1.6$

図-4 平均流の空間分布(静水面下9cm, $z/h=-0.32$)

(2) 水深の相違による平均流特性

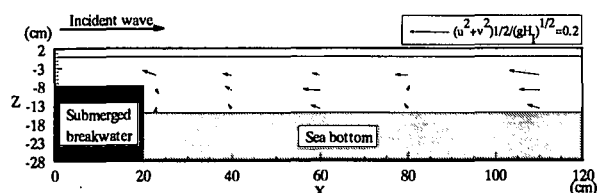
波高・周期が同一の場合、水深の違いによる流速場の特性を検討するために、静水面下9cm($z/h=-0.32$)の平均流ベクトルの一例を図-4に示す。図-4(a),(b)はそれぞれケース2, 6の平均流ベクトルであり、前述の静水面下5cm($z/h=-0.18$)の図-2(b)、図-3(c)のベクトル分布と比較すると、ケース2では $z/h=-0.18$ よりも水深の深い $z/h=-0.32$ では流速は小さくなっているが、流向はほぼ同じであり1対の循環流が発生している。これは潜堤背後域に水深方向を中心に回転する循環流が形成されていることを示している。

一方、ケース6では $z/h=-0.18$ と -0.32 では流向が異なっており、 $z/h=-0.32$ では $X=20\sim120$ cmの範囲で循環流が1対形成されている。これは強い冲向き流れが砂留潜堤によって流路を阻まれたことによると考えられ、この1対の循環流は $X=75$ cm, $Y=150$ cmの地

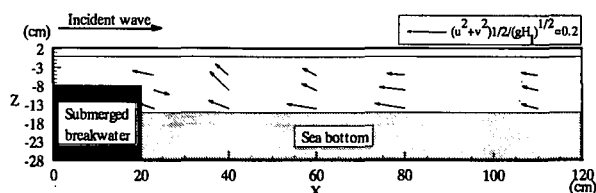
点付近で合流している。合流した地点の $z/h=-0.18$ の平均流ベクトル分布(図-3(c))を見ると、 $X=75$ cm, $Y=150$ cmを中心に上昇流が発生し、同心円上に流れが湧き出すような形状となっている。

この湧昇流の発生は図-5を見れば明らかである。図-5(a), (b)はそれぞれケース2, 6の $Y=150$ cmにおける鉛直断面の流速分布を岸沖方向に示したものである。 $X=40, 60$ cmの流速分布に着眼すると、ケース2では各層の水深で、比較的水平方向の冲向きに流れになっているのに対し、ケース6では上向きの冲向き流れとなっている。この流れは、開口部へと向かう循環流が、砂留潜堤に流路を阻止されたために上昇したと考えられる。また、ケース6は潜堤周辺でケース2よりも大きい流速となっている。

H_1/L_1 が同一の場合でも、 R/H_1 の相違によって各水深層での流速場は異なるので、人工干潟の設計段階では、この点について十分に留意しなければならない。

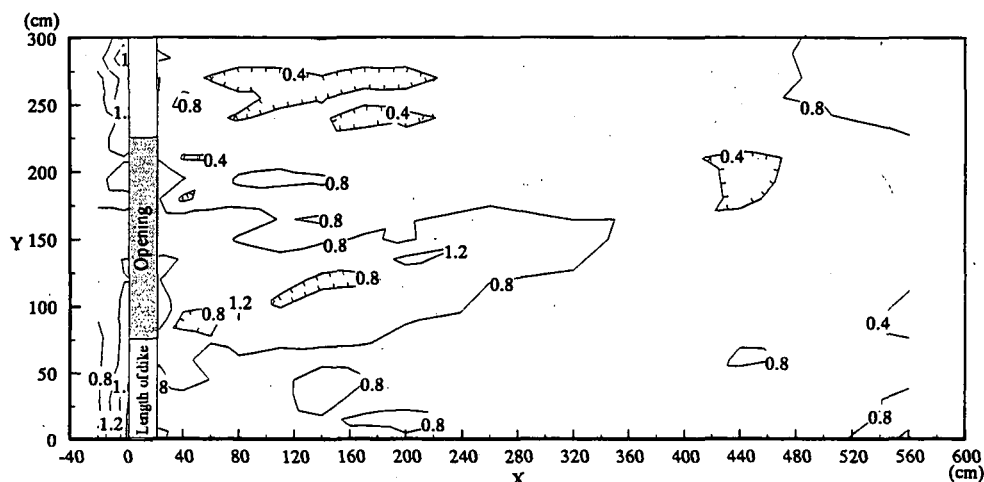


(a) ケース2 $H_1/L_1=0.02, R/H_1=3.2$

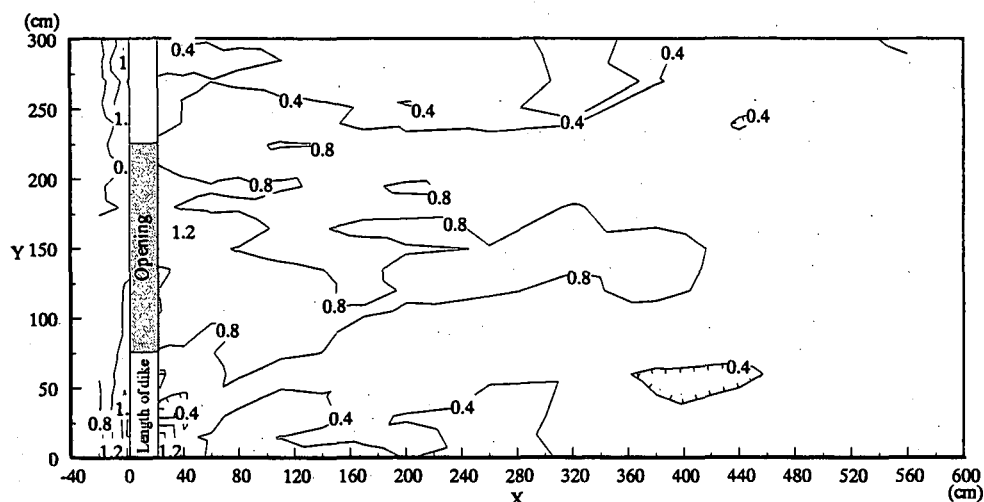


(b) ケース6 $H_1/L_1=0.02, R/H_1=1.6$

図-5 平均流の鉛直分布(Y=150cm)



(a) ケース2 $R/H_1=3.2, W/L_1=1.1$



(b) ケース5 $R/H_1=1.6, W/L_1=1.1$

図-6 無次元波高の空間分布

4. 波高分布

砂留潜堤周辺での無次元波高 (H/H_1) の分布の実験結果を図-6に例示する。図-6(a), (b)は開口幅 W を波長 L_1 で無次元化した W/L_1 が1.1の場合のケース2, 5の無次元波高分布である。同図から潜堤岸側域では R/H_1 がケース2よりも小さいケース5の方が小さい波高分布となっている。これは砂留潜堤背後域の波浪

の静穏化には開口幅 W よりも天端水深 R がより支配的なパラメータであることを示している。開口部岸側域の無次元波高が約0.8となる領域は両ケースともほぼ同じ範囲となっているが、ケース2では潜堤岸側域($x=120\sim 220\text{cm}, Y=0\sim 50\text{cm}$)にも無次元波高が0.8となる領域が出現する。これは開口部で碎波しなかった透過波が回折したためと考えられる。実験を行った全ケースで、潜堤岸側域での波高は天端上での強制碎波により、波が碎波しないで開口部を通る岸側域よりも小さくなっており、砂留潜堤の

波浪減衰機能が確認できた。また、潜堤前面海域では反射波の影響により波高は大きくなっている。

5. 底面摩擦応力

流れが海底底質に及ぼす影響を検討するために、底質の移動に大きく寄与する底面摩擦応力を式(2)により算定した。なお、流速値には底面から1.5cm(静水面下14cm)の実験値を用いた。図-7に底面摩擦応力 τ の空間分布を例示する。

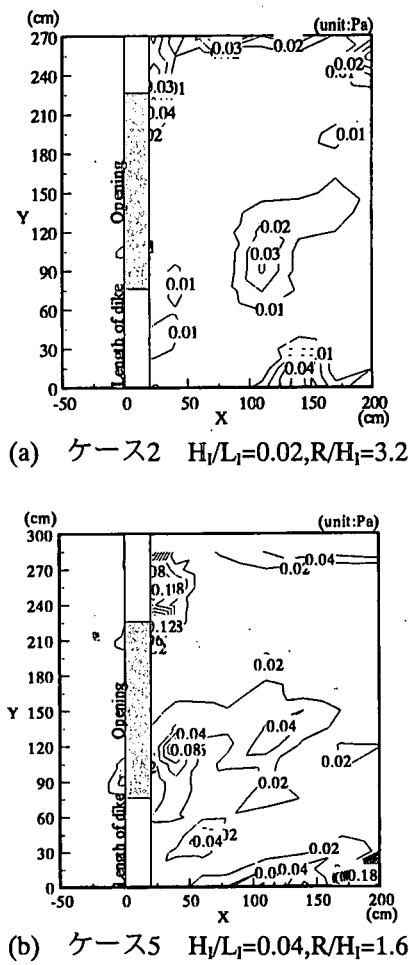


図-7 底面摩擦応力の空間分布

図-7(a), (b)はケース2, 5の流速分布を示している。この二つのケースは支配パラメータである H/L_1 と R/H_1 が異なるが、開口部岸側域で底面摩擦応力 τ がピーク値を持つ点と実験水槽側壁近傍の $Y=270\text{cm}$

で岸沖方向に底面摩擦応力が出現する点が類似している。図示していないが、他の実験ケースにおいても同様の傾向が見られた。したがって、今回の実験では支配パラメータの相違による底部摩擦の分布に顕著な違いは見られなかった。しかし、ケース2の $X=100\sim 175\text{cm}$, $Y=0\sim 30\text{cm}$ の範囲で底面摩擦は大きい値となっている。これは、前述の平均流(図-4(a))と波高分布(図-6(a))と併せて考察すると、回折波の影響により波高が大きくなり、流速が速くなっていた地点であり、底部摩擦には波と流れが密接に関係していることがわかる。底部摩擦の大きい範囲では海底底質の移動が大きくなると考えられ、実際の人工干潟施工の際には留意しなければならない。

6. 結語

以上、本研究では人工干潟の砂留潜堤周辺での流況場、波浪場および底面摩擦応力について、水理実験結果に基づいて検討を加えた。本研究で得られた主要な結論を要約する。

- 1) 潜堤岸側の循環流と上昇流発生を支配するパラメータは波形勾配と相対天端水深であることを確認した。
- 2) 砂留潜堤岸側の波浪静穏化には無次元天端幅よりも相対天端水深が有効的であり、その傾向は相対天端水深が小さいほど顕著となる。
- 3) 今回の実験では、底面摩擦応力の空間分布は支配パラメータの変動によって著しく変化しない。

参考文献

1) 朴鐘和, 中山哲蔵, 瀬口昌洋: 干潟底生生物の生息環境に関する現地調査, 海岸工学論文集, 第44巻, pp.1161-1165, 1997.
2) 桑江朝比路, 細川恭史, 木部英治, 中村由行: メソコムス実験による人工干潟の水質浄化機能の評価, 海岸工学論文集, 第47巻, pp.1096-1100, 2000.
3) 新保裕美, 田中昌宏, 池谷毅, 越川義功: アサリを対象にした生物生息地適正評価モデル, 海岸工学論文集, 第47巻, pp.1111-1115, 2000.
4) 田中仁, 首藤伸夫: 波・流れ共存時の底面摩擦に関する実験, 第27回海岸工学講演会論文集, pp.163-167, 1997.