

平成 21 年 3 月 31 日現在

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2006～2008

課題番号：18760621

研究課題名（和文） 非対称小規模海底構造物を用いた航路埋没防止技術の開発

研究課題名（英文） Development of a Countermeasure against Shoaling of Fairways Using Small Asymmetrical Structures

研究代表者

押川 英夫（OSHIKAWA HIDEO）

九州大学・大学院工学研究院・助教

研究者番号：80311851

研究成果の概要：非対称形状を有する小規模構造物を利用した底質輸送制御技術について、室内実験に基づく検討を行った。その結果、fluid mud による航路埋没の抑制に対して、本工法が非常に有効であることが分かった。また、波浪と同時に潮流などの長周期の流れが存在する場に対しても本工法の有用性が確認された。特に、定常流の有無に拘らず、波長の 1/5 程度の構造物のユニットが最適であるとともに、それらのユニットを波長の 1/10 から 1/3 程度の間隔をあけて設置することが効果的であることが分かった。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	2,100,000	0	2,100,000
2007年度	900,000	0	900,000
2008年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	3,600,000	180,000	3,780,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：総合工学・船舶海洋工学

キーワード：航路維持・非対称構造物・波浪エネルギー・底質輸送制御

1. 研究開始当初の背景

(1) 沿岸域の底質輸送に関する諸問題（航路埋没、海岸侵食、河口閉塞など）は、波浪のもつ強大なエネルギーによって深刻化することが指摘されており、そのため、他の底質輸送制御技術では波浪エネルギーの減衰により侵食防止を図ろうとするものが多い。

我々は、逆にこの波浪エネルギーを利用して海底付近の土砂移動を任意にコントロールして、自然エネルギーのみを利用した豊かな沿岸域環境ならびに国土保全を図る新たな底質輸送制御技術を提案している。これは、

非対称な形状を有するユニット形式の小規模ブロック（パイル）を海底に複数個設置して、自然エネルギー（主に波浪）を利用して海底付近の物質輸送をコントロールする技術である。

本工法は海底付近の土砂移動のコントロールを可能にするため、沿岸域の様々な問題に対応でき得る技術となっているが、シルテーションを含めて漂砂は極めて複雑な現象であるため、その制御は一般に非常に困難である。しかし、本工法はブロックの配置等を設置後も容易かつ自由に調節できるため、設

置後の不測の事態にも柔軟に対処できる。このように本手法は、沿岸域個々の特性を把握・評価しながら、最適な用法を模索・学習しつつ適用していく“Adaptive Management”が可能な手法となっており、従来手法にはない柔軟性が本技術の最大の特長といえる。

2. 研究の目的

航路埋没に関しては、わが国ばかりでなく世界中で深刻な問題となっているが（例えば、中国・長江の河口やインドネシア・バリト川河口）、現在のところ浚渫を行う以外有効な対策がないというのが実情である。最近では熊本新港などに見られるように構造物の遮蔽効果に期待する潜堤工法が用いられる場合もあるが、それ程有効な技術とはなっていない。但し、本工法を用いても完全に航路埋没を阻止することは困難なことが予測されるが、航路維持はその莫大な費用が主な問題と考えられ、浚渫回数を大幅に軽減できれば十分に目的を達成できたことになると考えている。

本研究開発の最終目標は、あらゆる場を対象とした底質輸送制御技術として本手法を実用化することである。しかしながら、その応用範囲は極めて広いことから、今回の助成で行う研究開発では、実験と数値シミュレーションに基づいて、航路埋没の防止を目的として研究開発を実施した。

3. 研究の方法

(1) 九州では熊本港に代表されるようにシルトや粘土による航路埋没（シルテーション）が顕著であり、この埋没現象の主要因と考えられている流動性に富んだ底質（fluid mud）の制御は重要な課題と考えられる。本研究では微細粒子を用いて fluid mud を水槽内に再現して、非対称構造物を用いて fluid mud の航路内への侵入を抑制し、その制御効果の定量評価を試みた（実験 A）。

実験 A には鉛直 2 次元吸収式造波水槽を用い、予め一定の濃度で作られた濁水を造波水槽内に定期的に供給して、水槽内に航路を模して作成された固定床の落ち込み部への fluid mud の侵入を構造物により制御した。構造物には比較用の対称構造物として円柱、非対称構造物として半円柱を用いた。構造物直径 $D=3.0\text{cm}$ 、高さ $k=3.0\text{cm}$ で、構造物の中心間隔 $s=6.0\text{cm}$ として等方格子状に配置した。なお、半円柱は残差流が航路から外に向かって岸向きに生成されるように設置した。構造物は岸沖方向に 11 列、横断方向に 4 列を配置した。規則的な進行波を対象として、表 1 に示された条件で実験を行った。 H は沖側の

一様水深部の波高である。 h ($=30\text{cm}$) は航路（勾配 15 度）の両肩の一様水深部の静水深であり、10cm 底上げされているため造波機付近の沖側の一様水深部の静水深 h_0 は 40cm である。

表 1 実験 A の実験条件（括弧内の数値は仮想的に構造物があったとした場合）

	Case1A	Case1B	Case1C
沖波波高: H (cm)	波なし	波なし	波なし
周期: T (s)	—	—	—
R_i 数	14	14	14
R_{ip} 数	—	—	—
R_e 数	—	—	—
KC 数	—	—	—
k/h_s	(1.3)	1.3	1.3
構造物	なし	円柱	半円柱
	Case2A	Case2B	Case2C
沖波波高: H (cm)	2.0	2.0	2.0
周期: T (s)	1.0	1.0	1.0
R_i 数	14	14	14
R_{ip} 数	0.083	0.083	0.083
R_e 数	(1030)	1030	1030
KC 数	(1.1)	1.1	1.1
k/h_s	(1.3)	1.3	1.3
構造物	なし	円柱	半円柱
	Case3A	Case3B	Case3C
沖波波高: H (cm)	3.0	3.0	3.0
周期: T (s)	1.0	1.0	1.0
R_i 数	14	14	14
R_{ip} 数	0.024	0.024	0.024
R_e 数	(1550)	1550	1550
KC 数	(1.7)	1.7	1.7
k/h_s	(1.3)	1.3	1.3
構造物	なし	円柱	半円柱

fluid mud は $d_{50}=45\mu\text{m}$ のカオリン粒子を用いて作製し、カオリンの濃度 C (%) は濁度計を用いて測定した。濁度計は 6 本 (T1 ~ T6) を用い、T1 ~ T6 における測定位置の底面からの高さはそれぞれ 8mm (T1 は水平方向の基準位置)、8mm (T2 は構造物群直前の底面付近)、98mm (T3 は構造物群直前の中層付近)、8mm (T4 は構造物群直後の底面付近)、8mm (T5 は航路中央の底面付近)、100mm (T6 は航路中央の上端付近) である。予め作られた濁水の初期濃度は $C_0=5\%$ であり、実験時にはヘッドタンクを通して濃度 C_0 の濁水を水路床の（横断方向の）中央に連続供給している（噴出孔の径は 2mm）。各実験ケースにおける濁水供給の継続時間は、航路が濁水で満たされるまでの 35 分程度である。

実海域における fluid mud の把握が不十分なため、本実験において相似率を正確に考慮することは困難であった。そこで、主要なパラメータを概算によって評価することである程度の現象の相似性を確保することを試みている。fluid mud が周囲流体より重たい流

体塊として近似できるものとするれば、潮流の影響を無視した場合、fluid mudの挙動に支配的な無次元パラメータとして、 R_i 数($R_i = \varepsilon g h_2 / \Delta u^2$)と R_{ie} 数($R_{ie} = \varepsilon g Q_s / B U_0^3$)が考えられる。 ε は相対密度差、 g は重力加速度、 h_2 は下層(fluid mud)の厚さ、 B は水槽幅、上下層の速度差 Δu は上層速度(=0)と下層速度 U_s の差である。また U_0 は、底層部の代表高さとして構造物の高さ k の位置における波の流速振幅である。 ε および浮力のインプットとなる濁水流量 Q_s は、混合と連行および土粒子の沈降・堆積により、縦断方向に大きく変化する。ここでは、波および構造物がない場合(Case1A)の結果を用いて、 ε にはT4の位置において濁水濃度がほぼ一定となった際の濃度を用いるとともに、T2からT4間のfluid mudの平均移動速度を U_s として、 U_s とT2、T4における下層の平均厚 h_2 から求めた層平均の断面通過流量 $B h_2 U_s$ により、 R_{ie} における Q_s を評価した。当然ながら構造物の大きさも主要な因子となるため、 KC 数($U_0 T / D$)や R_e 数($U_0 D / \nu$)、相対的な構造物の高さ(k / h_2)なども重要となる(T は波の周期、 ν は動粘性係数)。概算によると、航路埋没の問題が顕在化している熊本港では有義波高1~1.39mの代表波浪に対し、 $R_i=17$ 、 $R_{ie}=0.27 \sim 0.74$ 、 $KC=1.7 \sim 2.3$ 、 $R_e=1.7 \times 10^5 \sim 2.4 \times 10^5$ 、 $k/h_2=3$ となる。したがって表1から理解されるように、室内実験においては一致させることが困難な R_e 数を除いて、主要なパラメータと考えられる R_i 数、 R_{ie} 数、 KC 数および k/h_2 については、 R_{ie} 数がやや小さいものの実験と現地スケールでオーダー的にはほぼ一致している。

(2) 実海域においては短周期の波浪とともに長周期の潮流なども存在するため、本工法を適用する際にはそれらの影響も併せて考慮する必要があるが、過去の研究の殆どは波浪による短周期の往復流場のみを検討対象としてきた。これまでの研究により、本工法を適用する際には、数個の非対称な構造物(突起部)を有するユニット形式の非対称構造物(以降ではブロックユニット、あるいはユニットと呼ぶ)を用いることが有効であることが分かっている。しかしながら、最適なユニット長やユニット間の間隔については不明であった。

そこで本研究は、潮流を意図した定常流と波浪の重合場において、用いるブロックユニットの最適な敷設長に関する検討を行った。特に本研究では2つの点に関して検討を行っており、一つは適切な単位ブロック群の縦断方向の長さ(換言すれば、ブロックの1ユニットの長さ)を調べたもので(実験B)、もう一方は二つのブロック群の間の適切な間隔を調べたものである(実験C:後述)。

実験Bには、実験Aと同じ鉛直2次元吸収式造波水槽を用いた。非対称ブロックの突起部としては円柱を縦に2等分した半円柱を用いた。ブロックの直径は $D=3.0$ cm、高さは1.5cmで、中心間隔は $s=6.0$ cmで配置した。ブロックの数は横断方向に4列で、縦断方向には敷設長 l_B に応じた表2に示す条件となっている。

表2 実験条件(実験B)

	縦断方向のブロックの数	ブロックの敷設長: l_B (cm)	無次元敷設長: l_B/L
CaseB-1	3	18.0	0.131
CaseB-2	4	24.0	0.175
CaseB-3	5	30.0	0.219
CaseB-4	7	42.0	0.306
CaseB-5	11	66.0	0.481
CaseB-6	15	90.0	0.656

用いた波浪は静水深 $h=30.0$ cm、周期 $T=1.0$ sec、波高 $H=5.0$ cmの規則的な進行波であり、波高計を用いた実測結果によると波長 L は1.37mである。波浪のみの実験も行っているが、重合場の実験においては、造波機で波を起こすのと同時にポンプで定常流(断面平均流速で1cm/sおよび2cm/s)を発生させ、ブロック設置領域付近の流速を超音波式流速計(Nortek社製、Vectorino、以下では流速計と呼ぶ)により測定した。定常流は、ブロックにより底面付近に生成される残差流を打ち消す方向に付加されている。但しCaseB-2、CaseB-4は波のみの場合である。

縦断方向(X方向)の流速の測定断面は、最も沖側のブロックの設置位置(円の中心)から更に沖側3.0cmの位置を原点とするデカルト座標系($Y=0$ は水槽の幅方向の中央、 $Z=0$ は水路床)において、敷設領域のほぼ中央と岸側端付近、および両測定断面のほぼ中央の3断面(それぞれ前後のブロック突起部の間)とした。但し、敷設長が短いCaseB-1およびCaseB-2ではブロックの数が少なくなるため(表2参照)、先述の3断面の内の中央を除く、両端の測定断面の2断面である。横断方向の測定断面は $Y=0, -1.5, -3.0$ (cm)の3断面であり、鉛直方向には $Z=0.1, 0.375, 0.75, 1.5, 2.25, 3.0, 4.0, 5.0, 7.0, 10.0, 15.0, 20.0$ (cm)の12点とした。流速計のサンプリング周波数は50Hzであり、各点毎に得られた100波分の流速の時系列データを平均することで、底質輸送制御効果の指標となる残差流速(ここでは波の一周期でオイラー平均された流速)のパターンを求めた。

(3) 実験Cの方法と条件は実験Bと同じ点が多いため、異なる点のみ説明する。実験Cでは縦断方向のブロックの数を1ユニットにつき5列(無次元敷設長: $l_B/L=0.219$)とし、2つのユニットを間隔 l_s (cm)を変えて設置した。 l_s は3パターン(CaseC-1: $l_s=11.0$ 、CaseC-2: $l_s=28.0$ 、CaseC-3: $l_s=45.0$)とした。縦断方向の測定断面は各ブロックユニットの中央

(CaseB-3 のブロック上の中央と同じ位置) と、 l_s のほぼ中央の3断面である。

4. 研究成果

(1) 実験 A の結果の例として濁度計を設置した代表位置 T2, T4, T5 の濁水濃度の時系列をそれぞれ図 1, 図 2, 図 3 に示す。ただし各ケースの時系列では、濁水層の先端が T1 の位置を通過した時刻を 0 としている。

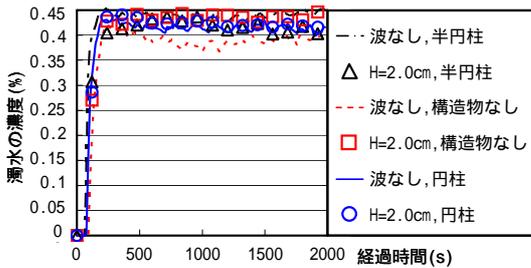


図 1 構造物群直前の濁水濃度の時系列 (T2)

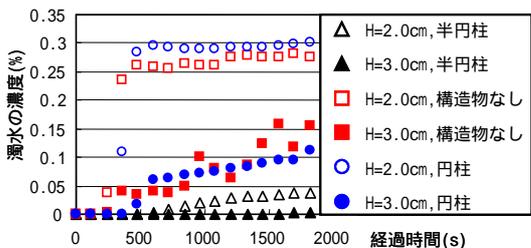


図 2 構造物群通過直後の濁水濃度の時系列 (T4)

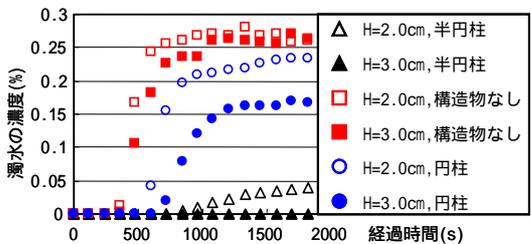


図 3 航路内底面付近の濁水濃度の時系列 (T5)

構造物なしと対称な円柱の場合を比較することで、構造物が設置されたことによる効果(遮蔽効果)を検討した。構造物群直前の図 1 からわかるように、ほぼ一定になった際の濁水濃度は全ての条件でほぼ等しくなっていることから、構造物の設置による遮蔽効果自体はそれ程大きくないことが分かる。

波浪場に構造物を設置した場合を見ると、構造物群通過後の図 2, 図 3 において、非対称構造物を設置した場合の濃度は、構造物なしや対称な円柱を設置した場合に比べて著しく減少していることがわかる。また、各ケー

スの実験後(波を止めた後)にそのまま放置して濁水の沈降・堆積状況を観察した結果、半円柱では他の条件と比較して、構造物群への侵入前の位置(例えば, T1 付近)において、明らかにカオリン粒子の堆積が多かった。これは、構造物群設置領域への底質の侵入が抑制されてこの位置での濁水の滞留時間が長くなって粒子が沈降したためであり、この点からも構造物形状の非対称性の効果により濁水の侵入が抑制されていることが理解される。

次に $H=2.0\text{cm}$ と 3.0cm の場合を比較することで、波高による本工法の効果の差異について検討した。 $H=3.0\text{cm}$ では半円柱を設置した場合の構造物群通過後 (T4, T5) の濁水濃度がほぼ 0 となっており、今回の条件下では波高が大きい方が侵入の抑制効果は大きい。実験時の目視によると、波高が大きい 3.0cm の場合の濁水はかなり巻き上がっていた。これより、波高の変化に伴い R_{ie}^* が変化することで、fluid mud の状態(ここでは安定性) および残差流の強さが異なっていたと推察される。

(2) 実験 B に関して、ブロック周辺の局所的な X 方向の平均残差流速 U_m を算出することで、本工法における適切なブロックの敷設長を検討した。その際、Y 方向には計測された 3 点、鉛直方向にはブロックの高さまでの残差流速の測定値を平均して U_m を算出した。縦断方向については、残差流が敷設長に応じて X 方向に変化(発達)するため、ここでは敷設長の中央断面の結果で代表させることとした。結果を図 4 に示す。横軸の敷設長 l_B は波の波長 L で、縦軸の U_m は波の振幅 a ($=H/2$) と角周波数 σ で無次元表示されている。また、図中には定常流が付加された場合の結果も併記されている。これより定常流の有無や大きさに拘らず、無次元敷設長 (l_B/L) が 0.219 の時に正の残差流が最大となっていることが分かる。従って、ブロックの敷設長は波長の 1/5 程度が最適と考えられる。このような結果は、波浪場においては一波長の中に水面下の X 方向流速が正負両方をもつため、敷設長が長くなると 1 ユニット上で同時に相反する向きの流れをもつようになり、一方の残差流の生成が抑制されることによる。定常流の有無と大きさによる残差流の値の変化については、逆向きの定常流が強くなるにつれて、若干ではあるが全体的に正の残差流がむしろ強くなっている。また全ての条件で U_m が正となっており、潮流や恒流が併存する波浪場においても本工法が適用可能なことが明らかとなった。

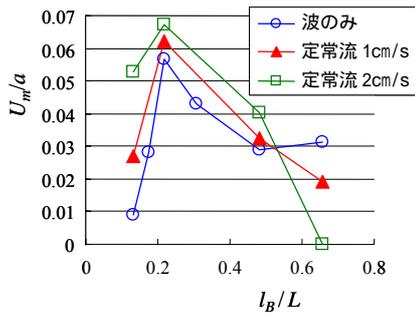


図4 l_B/L とユニットの中央の残差流速の関係

(3) 実験Cの結果より、ブロックユニット間の最適な間隔について検討した。ここでも実験Bと同様に、局所的なX方向の平均残差流速 U_m^* によって評価するものとし、X方向については二つのブロックユニット間の中央 (l_s の中間) を代表位置として、またY、Z方向に関しては実験Bの U_m と同様な方法で U_m^* を算出した。結果を図5に示す。横軸は規則波の波長 L で、縦軸は実験BのCaseB-3 ($l_B/L=0.219$) の場合の U_m で無次元化されている。また2つのユニットが連続的に設置された場合の $l_s=0$ の結果には、ブロックの敷設長が1ユニットの約2倍に相当する実験BのCaseB-5の結果を用いている。これより定常流の有無や強さによらず $l_s/L=0.0803$ に残差流の最大値が存在しており、ブロックユニットの間隔は波の波長の1割程度が最適と考えられる。またこの時の残差流は、1ユニットの場合 (CaseB-3) の1.5倍程度にまで増加しており、ブロックは連続的に設置するよりもユニットの間を空ける方がより効果的である。経済性を考慮すると l_s は長い方が効率的であるとともに、波のみの場合は l_s の増加に伴う最大値以降の残差流の減少が小さいこと、本実験では逆行する定常流が付加されているにも拘らず全ての条件で U_m^* が正となっていること等も踏まえると、 $l_s/L \leq 1/3$ 程度であれば良いとも考えられる。

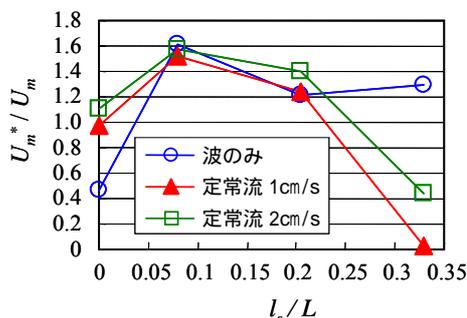


図5 l_s/L とユニット間の残差流速の関係

次に l_s が変化した場合の沖側 (一番目) のブロックユニット上の残差流について検討した。沖側のブロックユニットの中央における局所的なX方向の平均残差流速 U_{mf}^* を U_m^* と同様に求めた結果を図6に示す。図5と同様に横

軸は規則波の波長 L で、縦軸は実験BのCaseB-3の U_m で無次元化されており、 $l_s=0$ の結果としては実験BのCaseB-5の結果を用いている。これよりバラつきは見られるものの、 $0.0803 \leq l_s/L \leq 0.328$ の範囲においては、沖側のブロック上にもユニットが単体で設置された場合と同程度の残差流が生じていることが分かる。しかしながら $l_s=0$ の場合の結果が示すように、ユニット間隔が極端に狭くなるとブロック (突起部) が連続的に設置されることになり、結局ユニット長 (l_B) が長くなることで図4が示すように残差流は小さくなる。

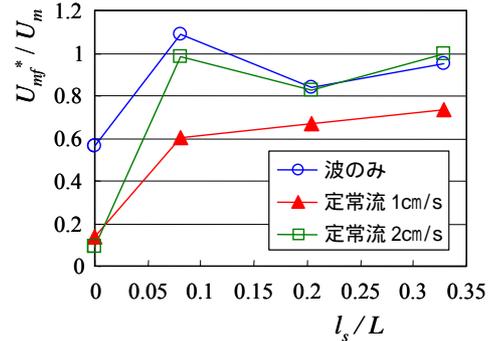


図6 l_s/L と一番目のユニット上の残差流速の関係

最後に l_s が変化した場合の岸側 (二番目) のブロックユニット上の残差流について検討した。岸側のブロックユニットの中央における局所的なX方向の平均残差流速 U_{mb}^* を U_{mf}^* と同様に求めた結果を図7に示す。これより $l_s/L \leq 0.0803$ の範囲では、ユニットが単体で設置された場合と同程度の残差流が岸側のブロック上に生じているものの、 $0.0803 \leq l_s/L \leq 0.328$ の範囲においては、敷設間隔の増加に伴って U_{mb}^* は増加している。従前の研究により、ブロックの後方 (岸側) には敷設領域を超えて強い残差流が生じることが明らかになっており、ある程度までのユニット間隔であれば、一番目のユニットの効果が二番目のブロック上にも及ぶことで U_{mb}^* は U_m よりも大きくなったものと推察される。従って、後方のブロック上の残差流を強化する意味では $l_s/L=1/3$ 程度にまで l_s を拡げることがむしろ効率的と考えられる。

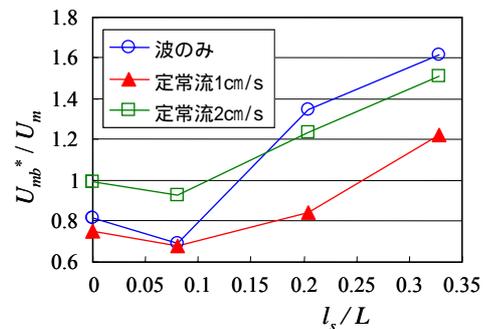


図7 l_s/L と二番目のユニット上の残差流速の関係

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計6件)

Hideo OSHIKAWA, Toshimitsu KOMATSU, Control of Substance Transport Using Submerged Asymmetrical Structures in Wave Fields, *Advances in Water Resources and Hydraulic Engineering*, Vol. 4, pp.1261-1266, 2008, 査読有.

Hideo OSHIKAWA, Nobuhiro TAKEDA, Toshimitsu KOMATSU, Residual Currents Produced by Plural Submerged Asymmetrical Structures in Wave-Current Coexisting Fields, *Advances in Hydro-Science and Engineering*, Vol.8, pp.2286-2295 (CD-ROM), 2008, 査読有.

押川英夫, 國澤義則, 吉田秀樹, 藤田和夫, 小松利光, 波浪場における非対称没水構造物周りの流れ, 海洋開発論文集, 第23巻, pp.877-882, 2007, 査読有.

Oshikawa Hideo and Komatsu Toshimitsu, Characteristics of Oscillatory Flows around a Submerged Asymmetrical Structure, *Proceedings of 32nd Congress of IAHR*, CD-ROM, Paper No. 1299, 10p., 2007, 査読有.

Hideo Oshikawa, Yoshinori Kunisawa, Hideki Yoshida and Toshimitsu Komatsu, An Experimental Study on a Countermeasure against Shoaling of Fairways using Plural Submerged Asymmetrical Structures, *Proceedings of Techno-Ocean 2006/19th JASNAOE Ocean Engineering Symposium*, CD-ROM, Paper No. 28, 6p., 2006, 査読有.

押川英夫, 張信一郎, 井芹寧, 堀田剛広, 小松利光, 閉鎖性人工海浜の変形とその制御の試み, 海洋開発論文集, 第22巻, pp.905-910, 2006, 査読有.

〔学会発表〕(計10件)

武田宜紘: 波浪場における非対称没水構造物群周りの流れ, 平成20年度土木学会西部支部研究発表会, 2009年3月7日, 九州大学伊都キャンパス.

Hideo OSHIKAWA: Control of Substance Transport Using Submerged Asymmetrical Structures in Wave Fields, The 16th Congress of Asia and Pacific Division of International Association of Hydraulic Engineering and Research and 3rd IAHR International Symposium on Hydraulic Structures, October 20, 2008, Nanjing, China (Hohai University).

Hideo OSHIKAWA: Residual Currents Produced by Plural Submerged

Asymmetrical Structures in Wave-Current Coexisting Fields, The 8th International Conference on Hydro-Science and Engineering, September 10, 2008, Nagoya, Japan (Nagoya University).

武田宜紘: 不規則波浪場における非対称没水構造物群による残差流生成特性, 平成19年度土木学会西部支部研究発表会, 2008年3月8日, 長崎大学文教キャンパス.

押川英夫: 波浪場における非対称没水構造物周りの流れ, 第32回海洋開発シンポジウム, 2007年7月11日, 長崎ブリックホール.

H. Oshikawa: Characteristics of Oscillatory Flows around a Submerged Asymmetrical Structure, 32nd Congress of IAHR, Venice, Italy (Venice Congress Centre), July 6, 2007.

武田宜紘: 波浪と定常流の重合場におけるBaNKシステムの残差流生成特性, 平成18年度土木学会西部支部研究発表会, 2007年3月10日, 九州共立大学.

Hideo Oshikawa: An Experimental Study on a Countermeasure against Shoaling of Fairways using Plural Submerged Asymmetrical Structures, Techno-Ocean 2006 / 19th JASNAOE Ocean Engineering Symposium, October 18, 2006, Kobe, Japan (Kobe Convention Center).

H. Oshikawa: Field Tests of the BaNK System in an Artificial Pocket Beach, 15th Congress of Asia and Pacific Division of the International Association of Hydraulic Engineering and Research, and International Symposium on "Maritime Hydraulics", IIT Madras, Chennai, India, August 8, 2006.

押川英夫: 閉鎖性人工海浜の変形とその制御の試み, 第31回海洋開発シンポジウム, 2006年7月13日, ピアザ淡海.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

押川 英夫 (OSHIKAWA HIDEO)
九州大学・大学院工学研究院・助教
研究者番号: 80311851