

論文番号 1

著者名 後藤仁志, 林 稔, 酒井哲郎

論文題目 固液二相流型 MPS 法による波・底泥相互干渉の数値解析

討論者 中野 晋 (徳島大学工学部)

質疑

底質の運動を考える上で,底質のレオロジーを評価することが重要であるが,本手法を用いてレオロジー特性を評価することは可能か.また,レオロジー特性では不飽和(気泡の混入)の影響が重要であり,固気液三相流体としての解析は可能か.

回答

本モデルは,二流体モデルですので,固相の運動を液相と類似の運動方程式で記述する立場をとっています.この種のフレームワークを採るかぎり,固相の構成則を前提とした取り扱いが必要となり,固液間の相互作用は粒子径相当のスケールの混合現象としてしか表現されません.この意味からすると,御質問の『本手法を用いてレオロジー特性を評価することは可能か』に対しては,『不可能です』と御回答すべきであると考えます.御質問に,『可能です』とお答えするには,固相のモデルに手を加える必要があります.固相粒子間に粒子間相互作用の影響が直接評価できるサブモデル(例えば,固相の粒子の系が実際の砂粒子の径と同一なら個別要素法による砂粒子の運動モデル)を導入し,粒子系内部の機構を直接表現することが必要です.さらに粒子周囲の水の運動をある程度の精度で解像することができれば,単一粒子と周囲流体の相互作用は MPS 法で記述できます.このような条件が整えば,構成則を前提としない解析が可能となると考えております.

固気液三相流体の解析は,上記の問題の次のステップに相当すると存じます.原理的には多相流の解析が可能ですので,固気液三相流体でも問題ありません.

論文番号 2

著者名 重松孝昌, 廣瀬真由, 錦織陽一, 小田一紀

論文題目 DEM 法と VOF 法を併用した三次元固液混相流解析モデルの開発とその適用例

討論者 後藤仁志 (京大)

質疑

計算格子のスケールより大きい粒径の粒子については取り扱えるのでしょうか.また,粒子が2つの計算セルにまたがる際には,どのように取り扱われているのでしょうか.

回答

現段階のモデルでは,粒子が2つのセルにまたがる場合,粒子の中心が存在するセルに該当粒子の全体積があるとして空隙率の計算を行っている.したがって,前者のご質問のような計算格子のスケールより大きな粒子を含む場合は想定していない.ただし,各セルに存在する粒子体積を厳密に計算するようにすれば,計算格子よりも大きな粒子が存在する場合の計算も可能であると考えている.

討論者 磯部雅彦（東京大学新領域創成科学研究科）

質疑

ドナー・アクセプタ法において、空隙率の取り方を通常と変えているが、それによって質量保存式は満たされているのか。

回答

ドナー・アクセプタ法はセル間を輸送される流体量を決定する方法である。このとき、空隙率を本研究で提案したようにとっても輸送される質量の保存性を損なうことはない。実際に、計算領域内の質量の保存性をチェックしたところ、通常空隙率の取り方では誤差が最大 2.5%程度にまで達したが、本研究で提案した空隙率の取り方では 1%以下であった。

論文番号 3

著者名 由比政年，菊本詳子，間瀬 肇，石田 啓

論文題目 水路湾曲部における孤立波のマッハ反射に関する研究

討論者 木村彰宏（株式会社ハイドロソフト技術研究所）

質疑

マッハ反射とレギュラー反射の違いを教えてください。

回答

孤立波が壁面に対して浅い角度で入射する際、その反射形態は、通常のレギュラー反射とは異なるマッハ反射の形をとります。マッハ反射では、入射波、反射波に加えて、壁面から垂直に延びるステム波と呼ばれる第 3 の波が発達し、条件によっては入射波振幅の 3 倍程度の高さまで発達することが知られています。また、マッハ反射においては、反射波の波高が入射波に比べて小さくなること、および、入射角と反射角が異なることもその特徴の 1 つです。

論文番号 4

著者名 由比政年，中嶋光浩，間瀬 肇，石田 啓

論文題目 分岐水路における孤立波の透過・反射特性の数値解析

訂正

論文中の図 6 と図 8 が入れ替わった形で誤って印刷されているので、ご注意をお願い致します。

討論者 浅野敏之（鹿児島大学）

質疑

水路の幅方向のメッシュ分割数によって、分岐水路に流入する波浪形状の精度が変わってこないか。

回答

格子幅は、有次元量で水深の 1/2 倍程度（入射波の有効波長の約 1/30 程度）を標準としており、別途実施した格子依存性確認の計算を通して、この分割幅で十分な解像度を有することを確認しています。また、水路幅方向の格子数は、水路幅に応じて変化させており、格子間隔が全ケ

ース同一となるように設定しています。水路幅が小さい場合の3次元図において、幅方向の格子数が少ないような印象を与えるかもしれませんが、これは、図化の際に、データを間引いて鳥瞰図を作成しているためで、実際の計算ではこの4倍の格子点数を使用して解析を実施しています。

論文番号 5

著者名 牛島 省，禰津家久，山上路生，坂根由季子

論文題目 コロケート格子を利用した自由液面を有する流動場の解析手法

討議者 由比政年（金沢大学・工学部）

質疑

海岸工学の諸問題への適用を考えた場合、本研究で提示された解析手法が最も効果を発揮するのはどのような場合か。具体的に想定されている課題があれば教えていただけませんか。

回答

具体的な適用先は現時点では考えておりませんが、内部流動が自由液面に大きく影響する流れに対して本計算手法は有効であると思われます。従いまして、例えば発電所等の水中放流があるときの沿岸部での波浪の特性などに対して、適用できるのではないかと考えております。

討議者 辻本剛三（神戸市立工業高等専門学校）

質疑

コロケート格子を用いる利点を教えてください。スタガード格子を用いた時の差はどの程度あるのでしょうか？

水面が水深の一価関数で表示されているようですから崩れ砕波もある程度計算できると思いますか。

回答

コロケート格子は、一般座標系を用いる流体計算等で計算精度が比較的高いこと、また流速成分が同一のセル中心で定義されるので、自由液面近傍の境界条件の設定の際に、内外挿が少なく済むという利点があります。また、水面が平面座標の一価関数となる現象でしたら、基本的には適用可能と思われます。

論文番号 6

著者名 平山克也

論文題目 ブシネスクモデルにおける透水層内の波浪減衰を考慮した任意反射境界処理法の開発

討論者 後野正雄（大阪工業大学）

質疑

数値計算と模型実験の比較において、図-6 にみられるように、反射率に0.1~0.2程度の差があるのはなぜか。

回答

図-6 は消波ブロック被覆堤模型に対する反射率の比較ですが、別途、同様な断面水路および波浪条件において直立壁を対象とした数値計算と模型実験を実施し、それらで得られる反射率を比較しました。

すると、数値計算ではすべての条件で反射率がほぼ 1.0 となったのに対し、模型実験で得られた反射率は 0.7~0.9 程度となり、数値計算よりも 0.1~0.3 程度小さくなりました。模型実験では、水路床や鉛直壁面における摩擦抵抗や水の表面張力による影響が存在するのではないかと考えられます。消波ブロック被覆堤を対象とした反射実験でも、反射率の低減に対してほぼ同様な影響が存在したものと考えられます。表面張力の影響は、部分重複波の峰角が直立壁によるものに比べ緩やかになる分だけ小さくなると考えられます。

なお本研究では、合田らによる入反射波分離推定法(1976)を用いて反射率を推定しています。非線形性の強い(部分)重複波を線形理論に基づく反射率推定法で解析した場合、波形勾配や水深波長比に応じて、みかけ上の反射率が小さくなることが知られています。図-6 の結果はこのような影響も含んでいるものと考えられます。

論文番号 8

著者名 水谷夏樹, 安田孝志, 武田真典

論文題目 砕波後の流れ場の 3 次元特性に関する実験的研究

討論者 鈴木崇之(横浜国立大学 博士課程 1 年)

質疑

水平断面位置を静水面下 5 mm とあるのですが、どういった理由で 5 mm となったのでしょうか。

回答

本研究の目的は、静水面より上の surface roller 内部の直接計測でした。しかしながら、実際にはこの領域を直接的に計測するのは困難で、静水面下 5 mm というのが計測可能な最上部の水深帯であることから、この水深を選択いたしました。

実際には底面までを 5 mm ピッチ程度で多層に計測することが理想的であると思われまして、完全な 3 次元計測を行うのであれば今後これらの計測が必要であると考えています。

論文番号 9

著者名 田村 進, 近川喜代志, 西條正輝, 高野剛光, 山谷弘幸, 泉 正寿

論文題目 風を考慮した 2 層海浜流モデルによる新潟西海岸の流況特性

討論者 山下隆男(京都大学防災研究所)

質疑

日本海海岸の海浜変形予測、海岸保全に風の影響を入れた解析を推進してください。

風域場の総合的観測を実施し、風域場モデルを検討してください。

回答

御意見ありがとうございます。今回のモデルでは風の場合を一様として与えており、計算結果を

みると風の場合を一様としたことで、現地の流れがうまく再現できていないと考えられる状況もみられました。先生の御意見をもとに今後、解析、検討を進めたいと思います。

論文番号 12

著者名 渡部靖憲，大塚淳一，佐伯浩

論文題目 非定常ジェット着水時に発生する気泡の物理特性

討論者 角野昇八（大阪市大）

質疑

水中マイクを利用した気泡計測法は5mm以下（図5ではあまり示されていない）の粒径に対しても計測可能か？

回答

計測可能です。具体的に言えば、我々の計測システムでは数十マイクロメートルまで確認していますが、さらに細かい気泡も計測可能だと思います。球形気泡を仮定していますので、どちらかといえば、論文中の気泡より小径の気泡の方が正確に計測できると考えています。

討論者 青木伸一（豊橋技科大）

質疑

塩分の違いによる気泡連行の違いは何が原因か？

回答

本論文中ではこのトピックは扱っていないのですが、興味深い問題と考えます。塩分濃度の違いにより、気泡の個数、サイズが変化するようです。また、気泡の生成の観点から言えば、海水と同一塩分濃度の塩水も大きく異なるようです。もちろん、原因の一つに表面張力をはじめとする物理特性の差もあると考えていますが、電気的、化学的な要素も重要なようです。現在、後者についてはどう今後対処すべきかわかりません。曖昧な回答で申し訳ありません。

論文番号 13

著者名 陸田秀実

論文題目 乱流境界層中の碎波を伴う風波乱流場の3次元数値解析

討論者 杉原裕司（九大，総理工）

質疑

流速変動のパワースペクトルに風速ピーク周波数が現れていませんが、それは何故ですか？

回答

本論文で開発した数値風洞水槽（縦4m×横4m×高さ4m）は、実際の風洞水槽をモデル化するには至っておらず、主流方向（風向）には周期境界条件を使用しております。したがって、吹送距離が足りない等の問題から計算された風波が十分発達しきらず、いわゆる風波のピーク周波数が現れなかったものと考えています。しかしながら、今後は実際の風洞水槽スケールで数値モデル化する予定なので、その際は吹送距離が十分取れるため、十分発達した風波の数値シミュレーション

ョンが可能となると考えております。

質疑

スカラー輸送の活発な領域は、京大の小森先生のグループが報告しているように、風波クレストの上流側の付近に対応していますか？

回答

小森先生の京大グループの計算は、砕波を伴わない場合の直接数値シミュレーションなので、本論文のような Dynamic-LES 乱流モデルを用いた砕波を伴う風波の乱流計算結果と直接比較することは難しいと考えられます。本計算においても、小森グループ同様、砕波前の風波クレスト付近にスカラー輸送の活発な領域は確認されました。しかしながら、砕波後は気泡混入を伴うため、風波クレストとスカラー輸送との対応はほとんど見られませんでした。むしろ、砕波による気泡混入領域と表面更新の活発な領域において、スカラー輸送が活発であるという結論が得られました。したがって、風波表面のスカラー輸送を見積もるには、砕波現象を正確にシミュレートすることが本質的に重要であると考えます。

論文番号 14

論文題目 風波下の乱流境界層の生成・発達における砕波の役割

著者名 井坂健司，安田孝志，大澤輝夫

討議者 鈴木崇之（横浜国立大学）

質疑

結論で示している砕波とはどのような形式なのでしょうか？

回答

詳細な空間波形によって判断したわけではないですが、実験の現象を目視する限りでは、崩れ波形、または whitecaps でした。

討議者 杉原裕司（九州大学）

質疑

高周波帯域の流速変動の乱流成分はどのようにして算出しましたか？

回答

波形スペクトルから Linear-filter によって波動運動による流速スペクトルを求め、計測された流速スペクトルから変換された波動運動による流速スペクトルを引いて算出しました。

質疑

風波に規則波が付加された場合、規則波がない場合に比べて高周波帯域の乱流エネルギーが増大していますが、その物理的機構は？

回答

高周波乱流エネルギーには砕波により放出されたエネルギーが含まれていると考えています。実験での現象を目視する限りでは規則波を付加した場合も付加していない場合もどちらも白波、または崩れ波形砕波でしたが、規則波がない場合に比べて風波に規則波が付加された場合の方が、

砕波規模の大きい砕波が生成されていると思いましたが、そのため、規則波を付加した場合の方が砕波による強い乱れが生成され、その乱れが高周波側の乱流エネルギーの増大に影響していると考えています。

論文番号 15

著者名 角野昇八，山岸達也，日引 俊，関本武史

論文題目 ボイドプローブを用いた砕波連行気泡特性の解析とそれに基づく期待輸送現象の解析

討論者 森 信人(電力中央研究所)

質疑

ボイド計のプローブの大きさによる測定誤差は？

回答

現状のボイド計プローブの先端径は0.1mmであるので、気泡の大きさがそれより小さい気泡は測定することはできない。しかし、径が1mmを超えるような気泡に対する測定誤差は少ないと考えている。現在、径をさらに細くしたプローブを開発中である。

質疑

換算された気泡径分布に2～3mmのところピークがあるのはなぜか？

回答

このデータだけからは、径が2～3mmの気泡が多いためであると判断することができる。ただ、ご指摘のようにプローブの大きさによる測定誤差が考えられなくもなく、極微小径の気泡の分布については今後の課題となる可能性がある。

質疑

物質輸送係数 k_L とエネルギー逸散率を直接比べているが、比較しているのは換算された気体の容積とを比べていることにはならないのか？

回答

本研究では、まずEckenfelder(1959)によって提示された散気(曝気)槽内の気泡群による物質(酸素)輸送速度を算定するための式に、本研究で求められた諸量を代入して物質輸送速度を求めている。さらにそれを岡安ら(1989)あるいは灘岡ら(1986)による砕波帯での逸散エネルギー評価のためのモデルに基づいて算定された(単位質量あたりエネルギー逸散率)の関数として表した結果、両者の間には強い相関があることを見出したものであって、換算された気体の容積とを直接比較したものではない。

論文番号 16

著者名 渡部靖憲，安原幹雄，佐伯浩

論文題目 砕波乱流へ平均流速変動への力学的寄与について

討論者 岡安章夫(東京水産大学)

質疑

乱れの特性量 (SGS 変動量など) を平均化して現象の指標とされていますが、非線形性の強い現象 (例えば底質の初期移動など) に応用することを考えた場合、かえって瞬時量を計算できる DNS, LES モデルの利点を損なってしまうということはないのでしょうか?

回答

ご指摘の瞬時の局所性が重要となるような問題を考えますと、ご指摘の通りです。ご指摘の例を考えますと、瞬時局所流体力と底質移動の関係が分からなければモデル化はできないので、実験あるいはこれら进行评估しうる計算によって先ず物理機構を知ることは重要であり、DNS, LES はその有効な手段だと私も考えます。しかしながら、仮にこの現象を厳密に再現した計算結果を得たとしてもある瞬時量をどのように評価すべきか問題にぶつかると思います。本論文で考えようとしたことは、次のステップとして、計算を通して知り得た物理基礎量をどのように相関量あるいは統計量として評価しえるか、アプリケーションを考え得るかを議論しようとするものであります。ご指摘の問題は、私も非常に興味があり、LES の利点を生かし研究を行う予定であります。

討議者 水谷夏樹 (国総研)

質疑

SGS 応力が GS 成分に及ぼす量はいかほどか?

回答

本論文で考えました GS 変動応力項は SGS 平均応力項より 2 オーダー程度大きく SGS 変動応力項より 2-3 オーダー程度大きいものです。これらは分布が異なりますので影響を与えるパートやスケールが違ってくると考えています。

論文番号 17

著者名 岡安章夫, 岩澤秀光, 片山裕之, 敦賀 仁

論文題目 斜降渦による底面近傍 3 次元流速変動に関する実験的研究

討論者 黒岩正光 (鳥取大学)

質疑

水路幅の大きさと斜降渦の発生率との関係について分かる範囲で教えてください。

回答

斜降渦の発生に関しては水路側壁の影響が大きいのと思われます。そこで、本研究では側壁の影響が比較的小さい水路中央部分のみで計測いたしました。また、著者らが行った過去の研究においても水路幅は変化させておらず、また、水路中央部分で発生した斜降渦のみを対象に整理していますので、水路幅の影響については不明です。

討論者 水谷夏樹 (国土技術政策総合研究所)

質疑

斜降渦が流速計にヒットする場合の岸沖方向流速の時間変動について、戻り流れが弱くなる原

因は何でしょうか。

回答

今回の流速測定は底面近傍の1点でしか行っておりませんので、戻り流れ（または波谷位相での冲向き流れ）の構造までは分かりません。従いまして、冲向き流れ全体が小さくなったのか、冲向き流れのプロファイルが変化したのか不明です。考えられる要因としては1)斜降渦（または下降する流体塊）が岸向きに大きな運動量を持ち、それによって冲向き流速が減少した、2)斜降渦によって渦動粘性係数が増大し、冲向き流れの鉛直プロファイルが変化した、3)斜降渦の形成に伴い岸沖方向のせん断力が変化し、冲向き流れの鉛直プロファイルが変化した、等が挙げられると思います。

論文番号 18

著者名 森 信人，松野健児，岡安章夫，片山裕之，池野正明

論文題目 大型造波水路における砕波帯内3次元局所渦の計測

討論者 灘岡和夫（東工大）

質疑

乱れ強度と渦度の相関が低いとのことだが、物理的に考えて受け入れがたい（そもそも「乱れ」の定義として、渦度を含む流速変動を「乱れ」と呼ぶ。）

砕波点の沖側に位置する $x=-50\text{m}$ で w_z がかなり大きな値を示すのは物理的におかしいのではないか。

本研究での渦度の計測方法・データ処理の方法の妥当性について再検討して頂きたい。

回答

本論文内では乱れ強度の定義を、入射波の5倍周波数以上の振動成分としている。本論文内で計算している渦度は、アレイの距離を考慮して、高周波成分をカットしており、乱れ強度と渦度の相関が低く見えるのはこのためであると考えられる。

局所アレイの内、1つの面だけを用いて計算したため、渦度については誤差が大きいようです。全ての面で積分するような方法を考えており、もう少し精度良い結果を提供できると思います。

論文番号 19

論文題目 砕波帯の波・流れ・乱流構造に及ぼす風速の影響

著者名 井坂健司，安田孝志，米倉誠司，大澤輝夫

討議者 岡安章夫（東京水産大学）

質疑

測定において波浪場は定常に達しているのでしょうか？図 6 において「風あり」時の平均流速が岸向きとなっており、質量保存則が満たされていないように思われます。

回答

波動場は、定常に達しています。水面付近の流速データが欠けているため、厳密な議論はできませんが、図 6 では「風あり」時の平均流速は定常状態での質量保存則を満たしていません。ただ、平均時間が 8 秒間で、この分布が常に保たれているとは考えていません。平均時間をもっと長くすると、平均的には分布は下層では冲向き、上層では、風の作用もあって岸向きになると考えています。

質疑

図 7 (b) WS08 での乱流エネルギーが風有り、無しにあまり影響されないということでしたが図を見る限り倍程度異なるようにみられます。特に下層での違いが大きいようですが。

回答

ご指摘通り、 $z/h=-0.8 \sim -0.4$ 付近では乱流エネルギーは風有り、無しの場合との差は無いとはいえません。ただ、砕波や、風による影響が顕著となる $z/h=-0.8$ 付近よりも上層での差はさほど無く、分布形状もよく似た傾向を示していると考えられ、風の有り無しにあまり影響されていないと考えています。また、今回主張したかったことは、砕波規模の差異などにより乱流エネルギーの鉛直分布が大きく異なる測点 WS05 の場合に比べると WS08 ではあまり影響されていないということです。

論文番号 20

著者名 奥村悠樹，渡部靖憲，佐伯浩

論文題目 砕波帯内の 3 次元流速の実験的評価-拡張型 3 次元ステレオグラム PTV の開発と応用

討論者 重松孝昌（大阪市大）

質疑

底面近傍で精度が低い理由を教えてください。

回答

キャリブレーションの手順の中で画像の読みとり等の人的ミスの結果と考えています。追加実験でキャリブレーションを再度行ったときには見られなかったため、この計測法の特性ではないと考えています。

質疑

気泡を多く含む領域では屈折率の関係で中立粒子の位置を正確に捉えられていない可能性があるのではないかと予測されます。このような領域に対する精度についてご教示下さい。

回答

気泡の存在や水面変動による屈折率の変化は確かに精度に影響を与えていると考えています。論文中の微小振幅波下の粒子軌道に関する検証実験においては水面に浮かんだ粒子に対する比較も含んでありますので、この問題を含めて論文中に記述された 5% のエラー内に収まっていると考えてください。気泡に関する局所的な屈折率の影響は検討しておりませんが、大域的なエラーとして論文中の数字を考えていただきたいと思います。

討論者 柴山知也

質疑

この計測方法ではなぜ砕波直後の水平渦(horizontal roller)の存在がとらえられていないのか。

回答

著者の興味が斜行渦にあったためと三次元流速計測法の利点を示すため(2次元的な水平渦よりは3次元性の強い渦運動を捉えたかったので)、中立粒子を水面近傍ではなく水中から放出し、結果的に水平渦近傍に粒子が存在しなかったのが原因です。未確認ですが、水面から粒子を混入させれば原理的に水平渦を捉えることが可能であると考えています。

質疑

2 mm という大きな粒子と速度の追従性はどうか？

回答

本研究は3次元流速の計測法の提案をするものであり、粒子位置での輝度が十分に得られれば2 mm の粒子の使用はこの計測法に不可欠なものではありません。使用例として適用した砕波後の渦運動においては、特にこの問題で顕著となる3次元大規模渦中の粒子軌道を計測しようとしたものであり変動スケールは粒子スケールよりも十分に大きなものです。問題によってはやはり粒子は選択されるべきと考えております。

質疑

粒子を多く入れると、粒子の分別が難しいと思われませんが、それをどのようにしているのか？

回答

PTV系の計測法にはやはり粒子の数の制限がポイントとなります。Super-resolution系の方法もありますが、本来PTVのメリットと考えられていた撮影フレーム数の制限に寛大である点と画像情報を節約できるというコスト面を優先させこの計測法を考えました。基本的に粒子位置はステレオグラムPIVの様に2つのカメラからの情報から決定できますが、多粒子計測の場合、粒子の重なりや両カメラと同一平面上の粒子の併走などで非常に致命的なミスマッチを発生させる可能性があります。そこで、さらに一台カメラの増やし、他の二台と異なる平面からの光軸を持つように設置し(一点を焦点とする三角錐の他の頂点にカメラを配置し)、三台のカメラからの情報から制限を増やすことでこの問題を大きく低減させました。

質疑

従来のPIV法に比べどのくらい低コストなのかを具体的にお聞かせ下さい。特に(1)機材の購入等初期コスト(2)ランニングコストについて教えていただくと幸いです。

回答

レーザーシートを使ったPIVでは高速カメラも必要なので二次元でも1000万円程度、三次元(ステレオグラムPIV)では少なくとも3000万円程(全くの予想ですが)のコストを考えなければならぬと思います。本計測法に必要な機材は、市販のデジタルビデオカメラ(一台20万円程度)三台、照明としてブラックライトの蛍光灯(一本数千円)を十数本、あとは暗室とする

ための暗幕程度です。我々は画像変換するために Macintosh 用画像変換ソフト Graphic Converter (シェアウェア) で画像を 2 値化及びアスキー変換し解析を行っていますので、かなり低コストで解析しています。

一つ、注意していただきたいのは、この方法は低コストで広い領域において大規模な 3 次元運動をある程度の精度で計測しているのに適しています。市販のビデオカメラを使用するので、30Hz 以上の高周波運動は扱えませんし (高速ビデオを使用すればこの問題は回避できます)、論文中にお示ししました 5 % のエラーが問題となる現象には適用できません。現段階では、高価で非常に限られた領域しか計測できないようですが、高精度かつ詳細な現象 (小スケール乱流等) を扱う場合は SPIV や HPIV の方が適当だと考えます。

論文番号 21

著者名 有川太郎, 鈴木高二朗

論文題目 PIV 解析を用いた現地海浜流の計測システムの開発

討論者 武若 聡 (筑波大学)

質疑

ここでは、波動成分と流れ成分の分離を試みているが、両者を直接求め、その時間の平均から流れを求めることはできないのか？

回答

PIV では追跡する流速によって解像度等を決定するため、波動成分と流れ成分では流速のように、速度に大きな差があるような場を同時に PIV で解析することは困難であると思われます。よって、波動成分の影響をできるだけ取り除いた画像を作る必要があると思われます。

質疑

講演では「連続式を満たす補正を入れた流速推定を行った」と述べたが、表面流速場には必ずしも連続性を要求されないのではないのか？

回答

砕波帯内のように非常に浅い場であれば、第一次近似として満たしていてもおかしくはないと考えられます。ただし、当然、戻り流れ等が発生しているはずですので、満たす必要はないと思われれます。

討論者 岡安章夫 (東京水産大学)

質疑

本解析において質量保存式は満たされているのでしょうか？水表面においては砕波による質量輸送も加わり実現象では連続式が満たされていないと思うのですが。

回答

上記の質疑と同じことですが、そのとおりだと思います。今後はこの点を考慮して改良していきたいと思います。

討論者 Ahammed (Univ. of Tokyo)

質疑

How could you manage the air bubbles during wave breaking since it is random in position?

回答

The color strength of the bubbles during wave breaking is larger than that of the bubbles over the current. We use 8 bit color, that has 0 to 255. The color strength of the bubbles during wave breaking is more than 80% of maximum. Therefore we define the upper limit and the lower limit, and change the color outside the limitation

論文番号 23

著者名 柴山知也, Winyu Rattana Pitikon

論文題目 砕波帯内戻り流れ(Undertow)の推定方法

討論者 西村仁嗣 (筑波大学 機能工学系)

質疑

(直前の服部教授の質問と関連して)

砕波形態が異なると波高減衰のパターンが異なり, Radiation Stress の分布も変化するので, 砕波帯内の流動メカニズムはかなり根底から変化し得るのではないか.

回答

現状の工学的興味から言うと, 本評価法の簡便さに比べて, 示した差異は大きな問題ではないと思います. また, 砕波形態を推定することは容易ではありません. ただし, さらに詳細を議論する段階では当然そうした要因を考慮する必要があると思います.

論文番号 24

著者名 武若 聡・三崎尚一郎・岡本宴徳

論文題目 画像計測による沿岸流速分布の推定

討論者 合田良実((株)エコー)

質疑

画像計測により推定された沿岸流速の平均値と既存の各種沿岸流速公式による予測値との照合を示して下さい.

沿岸流速に見られた時間変動の原因の一つは方向スペクトルで表される波浪の方向分散性に基づく確率的変動と考えられます. 合田・水沢(合田良実 水沢達也: 砕波帯内の海浜流・水位の時空間変動に関する数値実験, 海岸工学講演会論文集, vol.41, pp.346-350, 1994)は直線状一様傾斜斜面海岸へ方向スペクトル波浪を入射させ, 時々刻々の水位・流速の空間分布から radiation stress の時空間変化を計算しました. その結果では, 水位のサーフビートと同じように, 沿岸・岸沖流速の不規則な長周期変動が計算されています.

回答

最終砕波帯内には流速計が設置されていなかったために, 推定された流速値の妥当性を直接

的に検討することはできませんでした。合田先生の提案されている沿岸流速分布公式 (Coastal Engineering in Japan, Vol. 34, pp159-175, 1991) と論文中に示した流速値の比較を行った結果を下図に示しました。推定値と公式が与える分布の流速最大値の地点はほぼあっていますが、流速値のオーダは大きく異なっています。これの一因は、推定値が表面流動を捉えたものであることにあると考えています。また、観測時間帯では明確な波の再生域が見られた2段砕波 (= 一部の波が図中の200 m付近で砕波し、全ての波が100 m付近で砕波) の状況にあり、最終砕波帯の沖側にも沿岸方向の流れの発達が見られました。

コメントを頂きありがとうございます。現在のところ、ご指摘を頂いた点について回答するための検討を行っていません。別の機会に報告できるように努力します。

討論者 有川太郎 ((独) 港湾空港技術研究所)

質疑

ライン画像で岸沖方向の流速はどのようにして求めるのでしょうか？

回答

沿岸方向の流速を推定するのと同じ手順で、先ず岸沖方向のライン画像を作成し、その後岸沖方向の流速を推定します。前報(武若ら、海岸工学論文集、第48巻、p128、図-3、2000)には岸沖ライン画像の一例があります。他の観測日に撮った画像の中には離岸流の発生を捉えていると考えられる画像があります。ただし、現在所有している画像データに顕著な岸沖方向の流れが捉えられている例が少なく、また、本格的に解析を行っていないこともあり、ここでは「岸沖方向の流速を推定することも原理的に可能である」と回答するのに留めておくことにします。

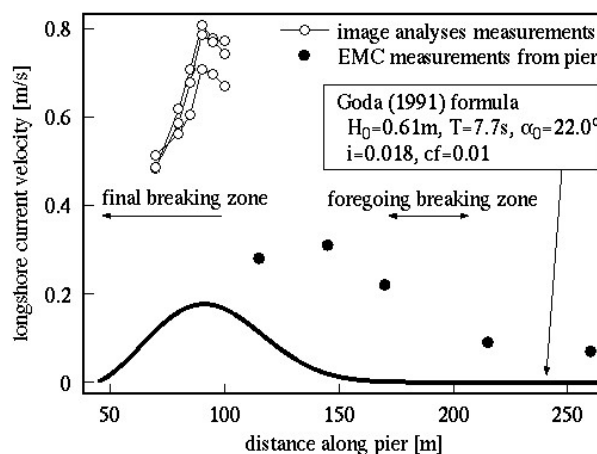


図 24-1 沿岸流速公式と観測値の比較

論文番号 25

著者名 大山 巧, 長谷部雅伸

論文題目 砕波による渦度供給を考慮した砕波帯内の波・流れ場のモデル化

討議者 日野幹雄 (中央大学)

質疑

「渦度を含んだ波」は「普通ポテンシャル波」に変わる、「渦度が波のエネルギーへ変わる」と説明されたように思うが、そのプロセスを式と言葉で示してほしい。エントロピー増大の法則との関連をどう説明するのか。「渦度が消える (Dissipate する)」とういことなら良いが....

回答

討議者は、潜堤上で砕波した後 (渦度を含んだ波が生成された後)、潜堤背後で渦なしの波が再生されるという説明のことを指摘されているかと思います。ただし、これは「一旦、渦に変化したエネルギーが再びポテンシャル波のエネルギーに移行する」という意味ではなく、「潜堤の場合は斜面上の砕波と異なり全てのエネルギーが (渦度を介して) 逸散されるのではなく、ポテンシャル波として残されているエネルギーが形態を変えて (分裂波として) 伝播される」という意味です。以下、本質的な部分を説明します。

まず、トータルのエネルギーバランスを支配しているのは、式(10)の運動量方程式ですが、その中に

$$\frac{\partial M_{xx}}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \int_{-h}^{\eta} (u_r^2 - U_r^2) dz \quad (u_r : \text{渦度流速成分}; U_r : u_r \text{ の水深平均値})$$

といった項が現れています。これは渦度流速成分が鉛直分布を持つことによって生じる項であり、物理的な意味は Surface Roller モデルにおける過剰運動量 (Excess Momentum) の項と同じです。

Madsen らの論文 (Coastal Eng. Vol. 32, pp.255-287, 1997) に詳しく示されているように、この項によりエネルギーが逸散されることになります。すなわち、本モデルは、「砕波 渦度の生成

渦度流速成分の発生 エネルギー逸散」という流れになっているわけです。また、渦度の時空間変化に関しては、式(19)の渦度方程式：

$$\frac{\partial \bar{\omega}}{\partial t} = \bar{P}_{\omega} + \bar{\nu}_t \frac{\partial^2 \bar{\omega}}{\partial z^2} \quad (\bar{P}_{\omega} : \text{砕波による渦度供給フラックス}, \bar{\nu}_t : \text{渦動粘性係数})$$

を底面および水表面での渦度が 0 ($\bar{\omega} = 0$ at $z = -h, \eta$) という境界条件の基に解いています。この式は、いわゆる 1 次元熱伝導方程式であり、渦度は時間の経過とともに鉛直に拡散しながら逸散されます。

以上のプロセスで示したように、本モデルでは渦に移行されたエネルギーが再びポテンシャル波のエネルギーに戻ることはなく逸散されることから、エントロピー増大の法則に従っていると考えます。

論文番号 26

著者名 黒岩正光, 松原雄平, 犬飼拓志, 野田英明, 孫 彰培

論文題目 1 方程式乱流モデルを用いた準 3 次元海浜流数値シミュレーション

討論者 日野幹雄 (中央大学)

質疑

エネルギー \tilde{k} は鉛直平均した 2 次元の式で、 k は 3 次元場の z 方向の変化か？両者の結びつきについて説明されたい。

回答

本モデルでは、水平方向および鉛直方向の(渦動粘性係数で代表させる)乱れの拡散を別々に取り扱っている。本来、3次元の乱れの運動エネルギーの輸送方程式を直接解き、渦粘性を評価すべきであるが、水平と鉛直拡散の特性が異なることから、それぞれについて解くことを試みたものである。

\tilde{k} の1方程式は水平渦動粘性係数のみを評価するもので、 k は鉛直方向の渦動粘性係数を評価するためのものである。 k は3次元場の z 方向の変化であるが、厳密に水平方向の移流拡散の影響は取り込まれていない。流れの3次元計算を行うことによって得られる水平方向流速の鉛直分布に起因する乱れエネルギー生成項を考慮している。 \tilde{k} と k との関係については、厳密ではないが、流れ場の3次元計算から得られる流速分布に起因する shear が乱れエネルギーの生成項に、すなわち \tilde{k} については断面平均流速から得られるせん断変形によるものが、 k については流速の鉛直分布に起因するものが乱れエネルギー生成項に考慮されており、同時に流れの運動方程式、乱れエネルギーの1方程式を解くことによって相互の関係が保たれる。ただし、水平と鉛直方向の渦動粘性係数は別々に解を得ることが可能であるが、 k の鉛直平均と \tilde{k} は一致しないという問題点がある。今後、3次元の乱れの運動エネルギーに関する1方程式を直接解く方法を試みる予定である。

論文番号 27

著者名 池野勝哉, Mohammad Dibajnia, 喜岡涉

論文題名 可視化手法を用いた波群中波の追い付き現象の計測

討議者 日野幹雄(中央大学)

質疑

「波群を構成する個々波の追い付き現象により、新たな長周期波が形成され・・・」と言われましたが、「波群による surf beat の発生」と本質的に同一メカニズムのことではないか。

回答

結果的に「新たな長周期波」は「surf beat の一種」となりますが、今回、その発生プロセスの一つが個々波の追い付き・合体・吸収によるもので、長周期波の波峰がより追い付き現象の顕著な個々波間にシフトすることを示した。これは振幅の違いによる分散性が顕著となる極浅海波の場合にできる長周期波 (surf beat) になる。

討議者 柿沼太郎(東京大学大学院)

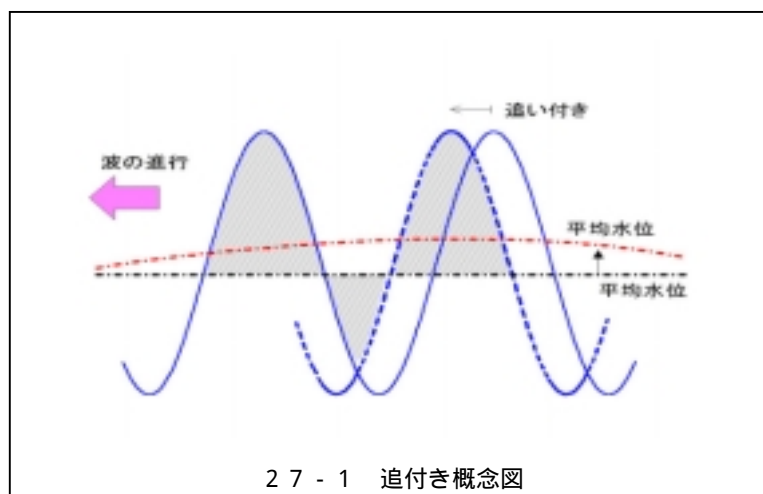
質疑

波の追い付きによって長周期成分が発生する機構の概念図を示されたが、その際に「長周期波の正体」と述べられた。今回の可視化実験によって見出されたその正体について詳しく教えて頂きたい。

回答

追い付きにより発生する長周期成分は下図のような追い付きにより上昇・シフトする平均水位

に起因していると考えられます。また、可視化実験により追い付き現象を伴う個々波間のトラフレベルが上昇する様子を確認できました。そして、追い付き後の合成波における上層部と下層部では、異なる流速場が存在し、摩擦の少ない下層部を上層部が滑るように遡上しており、いわゆる遡上域の長周期化されるプロセスの一因がここにあると思われま



論文番号 28

著者名 梅山元彦，新谷哲也

論文題目 斜面を遡上する内部波の変形・砕波に関する可視化実験と k-モデルを用いた数値解析

討議者 大山 巧（清水建設㈱技術研究所）

質疑

下層の流体がちぎれて遡上するところまで数値モデルで再現できるのか？

回答

本計算では、上層と下層の両方を含めて計算領域とし、内部波の伝播・変形は密度の輸送方程式を解いて求めています。従って、ちぎれて遡上する部分も密度が移流・拡散する過程として再現されます。

質疑

ちぎれて遡上した（下層）の流体はその後どのような挙動を起こすのか？また数値モデルで再現できるのか？

回答

実験において、ちぎれて遡上する下層流体は、遡上しながら徐々に混合して減衰していきます。その後、その流体はある程度遡上したところで、今度はシート状の流れとなって斜面を下り、次に打ち寄せる内部波と干渉します。このシート状の流れは、非常に薄いため計算メッシュを非常に細かくしないと正確には計算で再現できないと考えられます。しかし、本計算においても斜面に取り残された密度の高い流体が斜面を下って流れていく挙動を確認することができます。

討議者 長谷部雅伸（清水建設株）

質疑

乱流モデルとして k- モデルを採用していらっしゃいますが、なぜこれを採用したのか理由もしくは考え方をお願いいたします。

回答

既往の研究において、斜面上の内部波の碎波・変形に関する数値計算には、k- モデルや LES が乱流モデルとして使われてきています。本研究では、水槽全体を計算領域としているため、3次元計算を必要とする LES よりも2次元の k- モデルの方が計算時間などの面から適当だと考え採用しました。将来的には、いろいろな乱流モデルを採用して適用性の検討を行ってみたいと考えています。

討議者 山崎裕介（東京理科大学水理学研究室）

質疑

数値計算のことについてですが、平均圧力 \bar{p} をどのように求めているのかがわかりませんでした。 \bar{p} は連続式から求めたということですが、連続式は、

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0$$

であり、これからどのように求めたのでしょうか？

また、数値計算の誤差の考察で、移流項の風上差分の精度を QUICK スキームよりも精度の良いものをとということですが、そんなに風上差分の数値粘性が効いているのでしょうか？それよりも圧力の取り扱いや乱流モデルの取り扱いの方が重要な気がします。

回答

圧力 \bar{p} の求め方に関しては、SIMPLE 法に関する論文や書籍を読んでいただければわかりますが、SIMPLE 法では圧力を決めるために、圧力そのものでなく、その補正量を変数とする圧力補正式を解きます。その圧力補正式は連続式を変形することによって得ることができます。その後、得られた圧力補正量に従って圧力・速度を修正して収束解を求めていきます。

内部波の碎波部分では、当然乱流モデルに依存する影響が重要な位置を占めると思われます。しかし、本計算では、内部波の造波部分から伝播していく過程も計算しており、水深の変化しない部分において内部波が伝播する際に、密度境界面が実験よりも不鮮明になる傾向が得られました。これは、乱流モデルというよりも移流項の差分化の影響（数値拡散）によるものであると考えられます。本研究では、以前 QUICK スキームではなく Hybrid 法を用いて移流項を近似していましたが、この場合には内部波が数値拡散の影響で減衰し、周期が短い場合には斜面まで到達しないケースもありました。

論文番号 29

著者名 後藤仁志，酒井哲郎，林 稔，織田晃治

論文題目 MPS 法による津波の堤越流・氾濫過程の数値シミュレーション

討論者 大山 巧（清水建設（株）技術研究所）

質疑

粒子数をどのような基準で設定すればよいのか？

回答

格子を使う方法で、グリッドスケールをどのように選べばよいのかという問題と同様と考えます。粒子スケール以下の流れの構造は無視されることを前提に適切なスケールを選ぶこととなります。

討論者 日野幹雄

質疑

（大山氏の質問と後藤・織田氏の回答を聞いてのコメント）流体要素の大きさ Kolmogorov scale まで小さくできればよいが、そうでなければ流体要素内の turbulence の作用が表現されない。それ故 LES 的な formulation が必要でしょう。

回答

重要な点に関する御指摘かと存じます。Navier-Stokes 式を解くと言う立場をとっていますので、暗黙のうちに DNS と言っていることになるかと判断される方々が少なくないのかも知れません。御指摘のように LES と同様のサブモデルが必要であると考えており、その種のサブモデルを SPS 乱流モデルと名付けて、Smagorinsky モデルを組み込んだ MSP 法による計算の枠組みを提案しております。以下の文献を御参照いただくと幸いです。

Gotoh, H., Shibahara, T. & Sakai, T.: Sub-Particle-Scale Turbulence Model for the MPS Method - Lagrangian Flow Model for Hydraulic Engineering -, Computational Fluid Dynamics Jour., Vol.9 No.4, pp.339-347, 2001.

このモデルを組み込むと計算負荷が大きくなるので、現時点では SPS 乱流モデルを外した計算を行っております。また、上記の論文では自由噴流を対象とした計算例しか公表していませんので、基本的な場での計算を系統的に行って、モデルの評価を進める必要があると考えております。

論文番号 30

著者名 柿沼太郎

論文題目 透水性海浜における内部波の挙動の数値計算

討論者 二瓶泰雄（東京理科大 土木）

質疑

どのような実際の現地条件に適用しようと考えているのか。

回答

海岸域や陸水域における内部波解明のために、内部波の完全非線形方程式系（柿沼，2000）を拡張し、斜面遡上部における内部界面の汀線移動及び地中空隙内における内部波の伝播の数値解析を可能にした。その結果、防災の観点から、湾内に密度躍層がある場合の津波や高潮の挙動、また、環境問題として、沿岸部の漁礁や底質移動に対する内部波の影響や、汽水域における海水

の遡上といった現地の諸問題に本モデルを適用できるであろう。また、本論文の図 - 9 は、潜堤内の内部波の挙動を示しているが、その絶対的な長さを大きくとると、島嶼地中部に進行する淡塩水境界面としての内部波の問題と見ることができる。

質疑

内部砕波の効果を考慮しないで数値計算を行うことは無理があるのではないかと？

回答

ここで扱った条件では、図 - 2 (b) に示したような不安定が生じることなく内部波が地中に透過している。内部波が非線形波動としてどのような挙動を示すのかを解明するにあたり、本 layer モデルは、不安定や混合を考えないがゆえに、強非線形性・強分散性を含む内部波の特性を調べるために有効である。砕波に伴う渦度の効果は、柿沼ら (1998) を参考にして本方程式系を渦度場に拡張し、乱れの効果は、表面波に対する既存のモデルを参考にして考慮するのであるが、これと同時に、内部界面の不安定を考慮可能なモデルを検討中であり、本モデルの結果と比較することによって、どのような条件において砕波の効果が重要となるかが明確になるであろう。

参考文献

柿沼太郎・渡辺 晃・磯部雅彦 (1998): 渦度を考慮した非線形緩勾配方程式, 土木学会第53回年講概要集, 11, pp. 258 - 259.

柿沼太郎 (2000): 非線形緩勾配方程式の内部波への拡張, 海岸工学論文集, 第47巻, pp. 1 - 5.

論文番号 31

著者名 宮武 誠, 藤間 聡, 川森 晃

論文題目 前浜浸透流が汀線侵食現象に及ぼす影響について

討議者 浅野敏之 (鹿児島大学)

質疑

遡上先端上部の砂層内でも鉛直方向流速があるのはおかしくないか。

回答

本解析で使用した飽和 - 不飽和浸透流方程式は、未知量をピエゾ水頭で扱っているため、飽和帯では位置水頭による重力成分(鉛直下向き)の浸透流が発生します。また、本実験の砂浜モデルでは、地下水位より上部の砂層厚が 20 cm 程度であり、論文中で示した水分保持特性曲線において、上部砂層全層は毛管飽和帯に相当しております。従いまして、遡上波先端よりも上部の砂層内で発生する鉛直下向き方向の浸透流は、毛管飽和帯の位置水頭による重力成分の浸透流であり、本実験での砂浜モデル内における毛管・飽和帯の浸透流挙動を再現しております。御助言いただいた事項にきましては、今後、詳細に検討し、遡上波先端より上部砂層表面の境界条件を改良していく所存であります。

論文番号 33

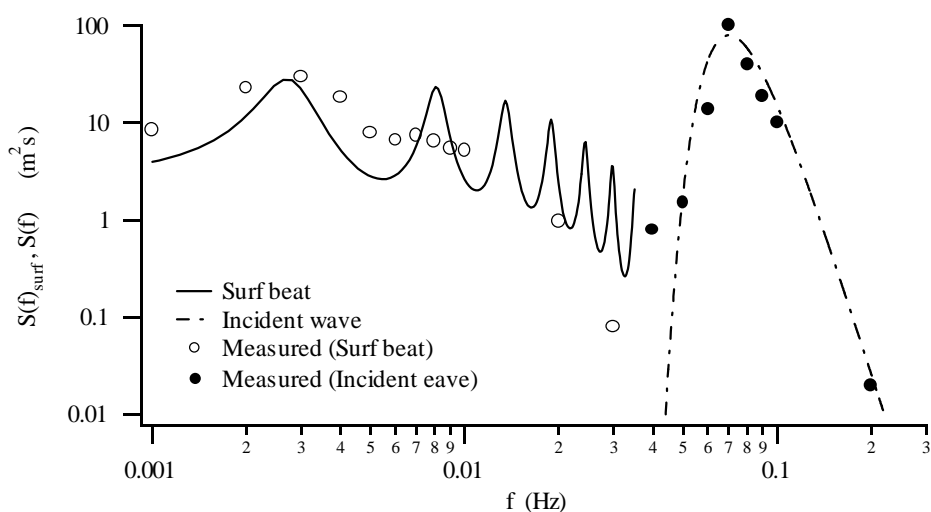
著者名 木村 晃, 中本克己

論文題目 リーフ上に発生する長周期自由波について

訂正(補足説明)

リーフ地形を常に P.161 の図 - 1 の様にステップで近似するのは若干乱暴かもしれませんが、リーフをこのように近似することの是非はリーフ前面からの反射率が一つの目安になると考えます。すなわち、リーフ前面の勾配を持つ様斜面からの反射率がほぼ 1 と見なせる場合には図のようにステップで近似してもよいと考えます。反射率は Battjes の実験公式 ($K_R = 0.1\xi^2$: $\xi = \tan \beta / \sqrt{H/L}$) で近似するとして、波形勾配として十分発達した風波の有義波の値 $(H/L)_{1/3} \approx 0.035$ を用いると、 β (斜面勾配) が 30° より大きければほぼステップで近似してもよいこととなります。

論文集の P.165 の図 - 3 はリーフフラットの幅を 650m として計算しております。これは仲座先生らの 1998 年の海講論文集 (pp.281-285) 中で示された値を用いたものです。しかし同論文集中の図 - 2 の地形図を参考にすれば、 $l=460m$ 程度と推定されます。下図は計算条件として l だけを 460m とし、他は論文集の図 - 3 と全く同じ条件で計算した結果です。図のように第 1 共振モードの部分の対応が改善されています。ただ、周波数が 0.01Hz から 0.03Hz あたりの対応がよくありませんが、これは摩擦を考慮していないこと、本モデルが 2 次元モデルであること等々の影響もあると考えますが現時点ではこれらの影響は評価しておりません。



論文番号 34

著者名 北野利一, 山本陽平, 喜岡 渉, 間瀬 肇

論文題目 時間領域における入反射分離法の試み

討議者名 合田良実((株) エコー)

質疑

分散関係を仮定しないで入反射分離ができるということで、ストークス波の高調波成分やスリットケーソンの反射波が 3 倍周波数成分を発生させる現象 (港研資料 No.270?, 1974, 低天端型護岸の越波 わからなかったら, goda@ecoh.co.jp へ問い合わせして下さい) の解析にも効用が大きいと考えられます。数値シミュレーションだけでなく、水理実験も簡単ですので、ご検討

下さい。

回答

本研究の応用についての示唆として、貴重なご意見ありがとうございます。本研究のねらいは、位相速度をあらかじめ仮定せずに、入反射分離を行うことができないか？ということであり、本研究の解析理論では、比較的近い距離にある3点での空間波形を三角関数の一部として表せると仮定しています（ただし、その振幅の時間変化はあるとします）。対象とする波は規則波ではないため、空間波形が三角関数からずれていることが、推定誤差として現れます。つまり、解析対象波は、ある程度狭い波数帯域に限定した波とする必要があり、広い帯域の波数を含む不規則波を対象とすることはできません。このことは、従来の周波数領域での入反射分離法において、設置した波高計間隔に応じた適切な範囲での波長を持つ波（その波長域に対応する線形分散関係から得られる周波数域の波）に限られる、という波高計設置間隔の問題と密接に関係します。したがって、高調波成分も含めた入反射分離を考える場合には、高調波成分波に応じた間隔で波高計を追加して解析する必要があると考えます。