

画像解析を用いた干潟の浮遊シルト群の挙動特性の解明

高橋俊之*・陸田秀実**・高須賀正博***・土井康明****

本論文は、潮汐変動と波浪外力の相互作用下における浮遊シルト群の挙動特性を解明することを目的として、断面 2 次元移動床実験および現地観測において浮遊シルト群のビデオ撮影を行うとともに、得られた画像を輝度別解析したものである。その結果、移動床実験より、同一の波浪条件下で水位変動が加わった場合、水位低下時の方が沖側における濁度が拡大することがわかった。また、現地観測においても、下げ潮時の水位低下とともに底面近傍の濁度は、上げ潮時と比較して大きくなることが分かった。以上より、砕波をトリガーとしてシルト群は巻き上げられ、波浪によるセットダウン効果と下げ潮時の沖向き質量輸送が加わって、沖側濁度が増大すると考えられた。

1. はじめに

近年、干潟や藻場の再生が積極的に議論され、各地で干潟や藻場の造成が進められている。李ら (1999) は干潟生物に対する重要因子としてシルト粒子 ($74\mu\text{m}$ 以下) を挙げているが、現状での干潟造成においては確立された設計手法はなく、浮遊シルト群の挙動特性を解明することは重要な課題である。

佐藤ら (1991) は室内実験において、砕波帯付近のビデオ画像処理を行い、浮遊砂濃度と浮遊砂移動速度を推定する手法を提案しており、田中ら (1999) は PIV 解析による 1 周期間の浮遊砂量計測を行い、シートフロー条件下での岸沖漂砂量は細砂混合率が大きい程、沖向きの平均通過浮遊砂量が大きくなることを示している。これらに対し、柿木・辻本 (2004) は砂粒子を画像から直読する手法を提案し、2 次元造波水路において底面付近の浮遊砂濃度計測を行い、その適用範囲が従来手法と同等であることを示している。

また、姜ら (2000) は造成干潟の耐波安定性を把握するために、浚渫土を用いた室内実験を行い、その結果、覆砂の有無や大小によらず、波作用下で浚渫土地盤が運動することにより、間隙水圧が上昇し、液状化現象が発生することを報告している。

内山ら (2000) は干潟における漂砂特性を把握するために、東京湾盤洲干潟において現地観測を行い、干潟地形は潮汐変動による水位変化により、侵食と堆積を繰り返しながら、イベント時には侵食堆積量が大きく変化することを報告している。

しかし、水位変動が加わった長周期間の波作用下での

シルト群挙動は対象としておらず、現地観測においては、浮遊シルト群の鉛直分布はほとんど把握されていない。本研究では、断面 2 次元移動床実験及び現地観測において浮遊シルト群の挙動をビデオ撮影し、得られた画像を輝度別解析することによって、潮汐変動と波浪作用下における浮遊シルト群の挙動特性を明らかにする。

2. 移動床実験の概要

図-1 に実験装置概要を、表-1 に実験条件を示す。実験は、鉛直 2 次元造波水路 (幅 0.2m 、高さ 0.6m 、長さ 9.0m) を用い、水路底面には $1/10$ 勾配で中央粒径 $200\mu\text{m}$ のガラスビーズを敷設し、さらに、底面上には汀線を基点として、岸沖方向に (岸方向を正、沖方向を負) $70\mu\text{m}$ のオレンジ色ガラスビーズを 30cm 間隔で円形に設置した。入射波高 4.0cm 、周期 1.0s の波を作用させるとともに、実験スタートから $10\text{cm}/90\text{min}$ の割合で水位を昇降させ、波作用と水位変動の下で、それぞれ 90 分間実験を行った。

実験状況は、3CCD デジタルビデオカメラ (Sony 社

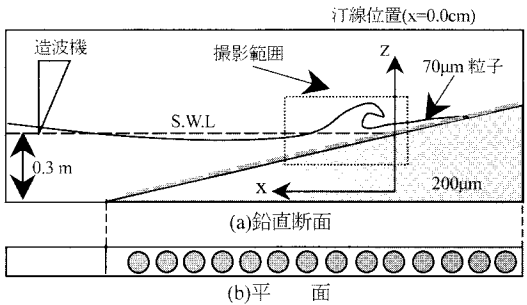


図-1 実験装置の概要

表-1 実験条件

Case	水位条件	入射波高	水深変化量	砕波形状
No. 1	定水位	4.1 cm	0.0 m	巻き波型
No. 2	上げ潮時	4.0 cm	+0.1 m/90 min	巻き波型
No. 3	下げ潮時	4.4 cm	-0.1 m/90 min	巻き波型

* 正会員 修(工) 復建調査設計株式会社 環境技術部 環境技術1課
** 正会員 博(工) 広島大学助教授 大学院工学研究科社会環境システム専攻
*** 広島大学工学部研究生
**** 工博 広島大学教授 大学院工学研究科社会環境システム専攻

製)を用いて水槽側面からシルト群の巻き上げ及び浮遊状況を撮影した。また、撮影時には撮影範囲の明るさが均等になるように照明を当てた。

輝度別解析において、図-2に示すように濁質量と輝度が比例関係になることを事前確認した。撮影映像から1/30 s間隔で画像を抽出し、狭領域での解析グリッドは図-3に示すように砕波点を中心に沖側と岸側に設定した。広領域の解析では図-4に示すように、 x 方向79分割、 z 方向22分割とし、画像解析ソフト(ライブラリー社製、Gray-val)を使用して、グリッド毎に平均輝度を求めた。

3. 移動床実験の結果と考察

(1) 位相平均輝度値の時系列変化

実験開始38分後における1分間の位相平均輝度は、図-5に示すとおりである。このとき、上げと下げで実験開始からそれぞれ約4.0 cmの水位変化が生じており、定水位からの相対水位差は約8.0 cmである。コンター線の間隔は輝度値で2間隔である。上げ潮時では砕波点付近よりも沖側($x = 13$ cm 付近)において、平均輝度は鉛直方向にはほぼ一様となるのに対し、下げ潮時では底面極近傍でシルト群が浮遊し、高濁度水塊が不連続に局在化している。このため、砕波前後において鉛直方向の平均輝度勾配が大きくなる。

図-6は、上げ潮時及び下げ潮時における砕波前から砕波直後の位相平均輝度値を示している。水位上昇時には大きな時間経過による明確な差異は見られないが、水位下降時には時間経過とともに、 $x = 63$ cm 付近において砂漣が出現し、沖側輸送力が増大していることがわかる。

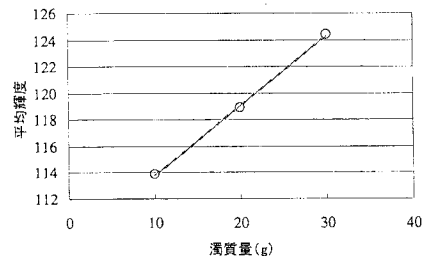


図-2 濁質量と平均輝度の関係

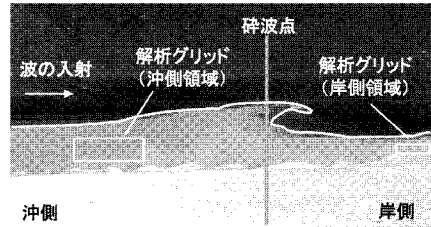


図-3 岸沖平均輝度解析グリッド

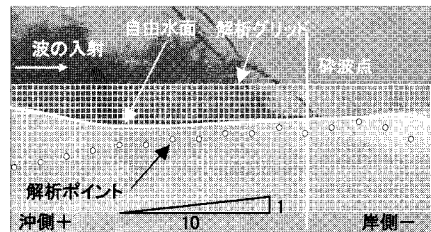
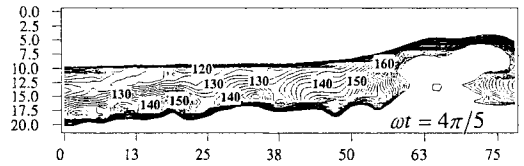
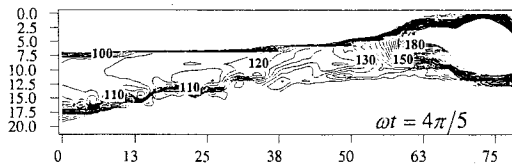
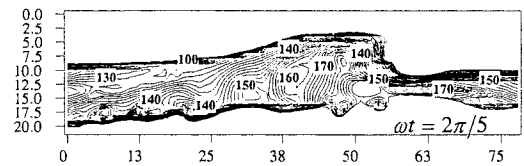
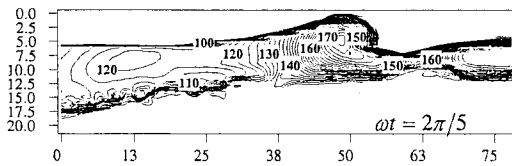
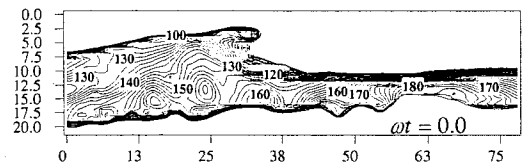
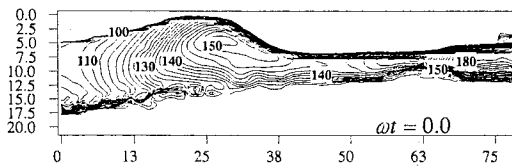


図-4 解析グリッド及び底面輝度解析対象点



(a) 上げ潮時

(b) 下げ潮時

図-5 位相平均された砕波帯の平均輝度の時空間変化 (実験開始38分後)

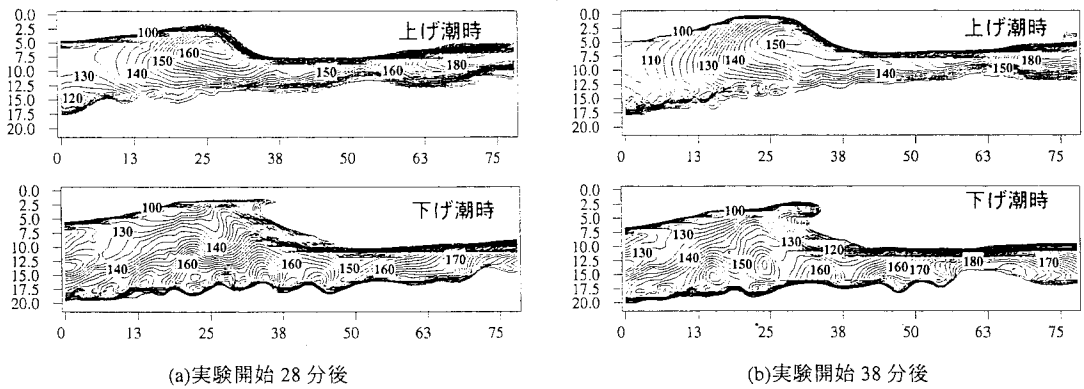


図-6 位相平均された砕波時および砕波直後の平均輝度の瞬間像 (位相 $\omega t=0.0$)

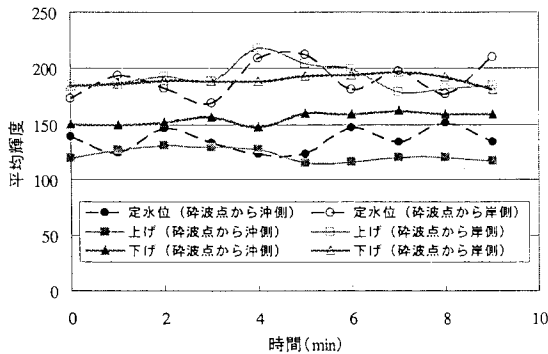


図-7 砕波点岸側・沖側の平均輝度(濁度)の時系列変化

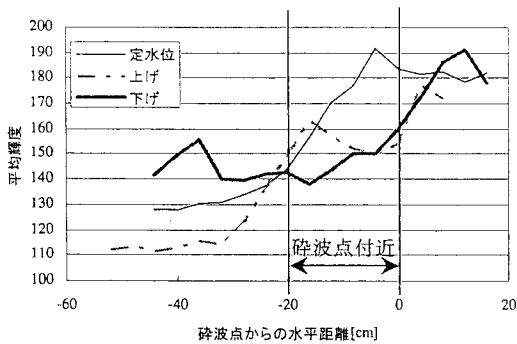


図-8 底面極近傍の浮遊シルト群の平均輝度の平均輝度の岸沖方向変化

同時に、 $x = 13 \sim 38$ cm の範囲における底面近傍の平均輝度値の鉛直勾配は時間経過とともに小さくなっている。

以上より、波作用下で水位が変動するとき、水位低下による底面せん断応力の増大と、戻り流れの影響が大きくなることによる沖側輸送力の増大により、浮遊シルト群の分布範囲も沖側に拡大するものと考えられる。

(2) 水位変動による輝度値の時系列変化

砕波点の岸側と沖側における浮遊シルト群の輝度値の時系列変化を把握するために、図-3 のように砕波点を基準として底面付近沖側・岸側に解析グリッド設定し、

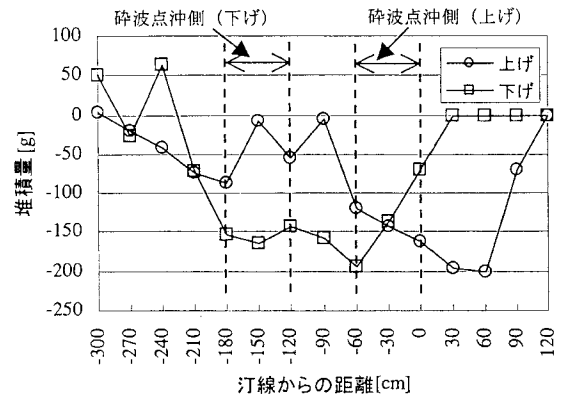


図-9 岸沖方向のシルト粒子堆積量

表-2 輝度別解析範囲における砕波点沖側の平均輝度とシルト粒子消失量

区分	平均輝度	平均粒子消失量
上げ潮	113.5	141 g
下げ潮	146.7	153 g

それぞれの平均輝度値を求めた。図-7 は定水位・上げ潮・下げ潮のそれぞれについて、実験開始28分後～38分後までの約10分間における岸沖の平均輝度値の時系列変化を示したものである。横軸の時間軸における0分は実験開始28分後を意味する。

これより、砕波点よりも岸側では、いずれの水位変化の場合も平均輝度値に大きな違いは見られないが、砕波点沖側では下げ潮時において最も平均輝度値が高く、浮遊シルト量が多くなる。

(3) 底面近傍の浮遊シルト群の岸沖変化

図-4 に示す底面極近傍(岸沖16地点)の浮遊シルト群の平均輝度値の岸沖変化は図-8 に示すとおりである。図-8 の横軸は、砕波点を基準に岸側を正、沖側を負とし、図中の「砕波点付近」は、定水位・上げ潮・下げ潮の砕波帯付近からジェット水塊突入地点までの範囲を示している。

水位変化時(上げ, 下げ)の平均輝度のピーク位置は, 上げ潮時で碎波帯 $x = -20 \text{ cm} + 5 \text{ cm}$ 付近, 下げ潮時で $x = +10 \text{ cm}$ と -40 cm 付近に見られ, 水位変化とともに高濁度領域が岸沖方向に移動し, 下げ潮時のピークは沖側に現れる. また, 実験終了後の岸沖方向のシルト粒子堆積量は図-9 に示すとおりであり, 負の値は初期シルト粒子量 220 g に対する消失量を表している. 碎波点沖側における最大堆積量は下げ潮時で約 50 g , 上げ潮時で 0 g であり, 下げ潮時に堆積量が多いことが分かる.

また, 表-2 に示すように, 輝度別解析範囲における各水位変化時の碎波点沖側平均輝度とシルト粒子消失量を比較すると, 下げ潮時の方が沖側での消失量は多く, 平均輝度も高くなっている. すなわち, 碎波点沖側では下げ潮時の方が浮遊シルト群の量が多くなるとともに, 消失量も下げ潮時の方が多くなる.

4. 現地観測の概要

潮位変動による底面近傍の濁度変化を把握するために, 平成16年11月27日大潮期に, 広島県尾道系崎港造成干潟海老地区(図-10 参照)にて, 特殊光源(LX-55, Sea & Sea 社製)の下, 水中ビデオ撮影を行った. 本造成干

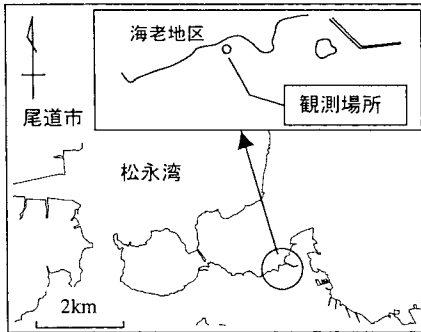


図-10 現地観測地点(尾道系崎港造成干潟)

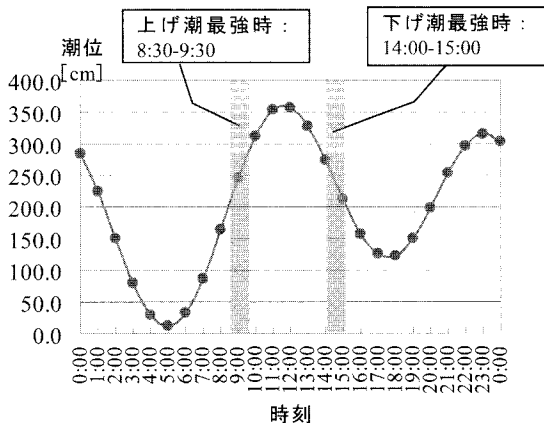


図-11 ビデオカメラの撮影時間

潟は, 浚渫土砂を投入後, 表層部分を覆砂した約 16 ha の人工干潟であり, 造成後約20年経過した現在も, 安定した基盤形状を維持している.

観測当日の潮汐は図-11 に示すとおりであり, 観測時間は上げ潮最強時・下げ潮最強時において, それぞれ1時間ずつ行った. 1時間の連続撮影が困難だったため, 10分間隔で約1分間の撮影を繰り返し行い, 底面近傍の濁度変化映像を得た. 得られた映像は, 上げ潮時5パターン, 下げ潮時6パターンの合計11パターンである.

観測機器の固定は, ハウジング(VX-PC300, Sea & Sea 社製)したデジタルビデオカメラ(DCR-PC300K, SONY 社製)をアクリル製の固定具に固定して海底面に設置した. 撮影中はカメラの焦点をレンズから 60 cm 先に固定し, 録画のON-OFFは手動で行った. カメラ設置概要は図-12 に示すとおりである.

観測結果の解析においては, 10分毎に撮影した約1分間の映像から, $1/15 \text{ s}$ 間隔で画像を抽出し, 移動床実験

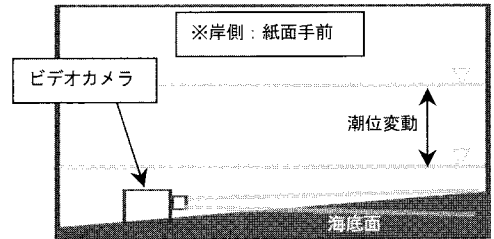


図-12 カメラ設置概略図

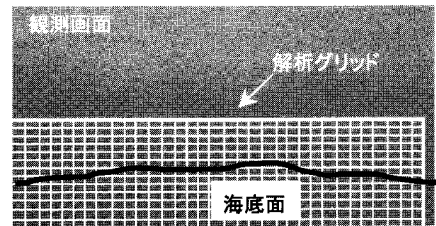


図-13 解析グリッド

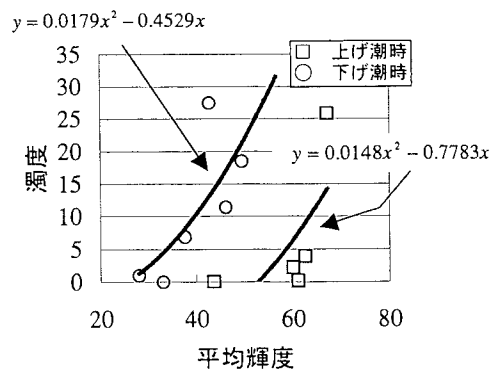


図-14 濁度と平均輝度の関係

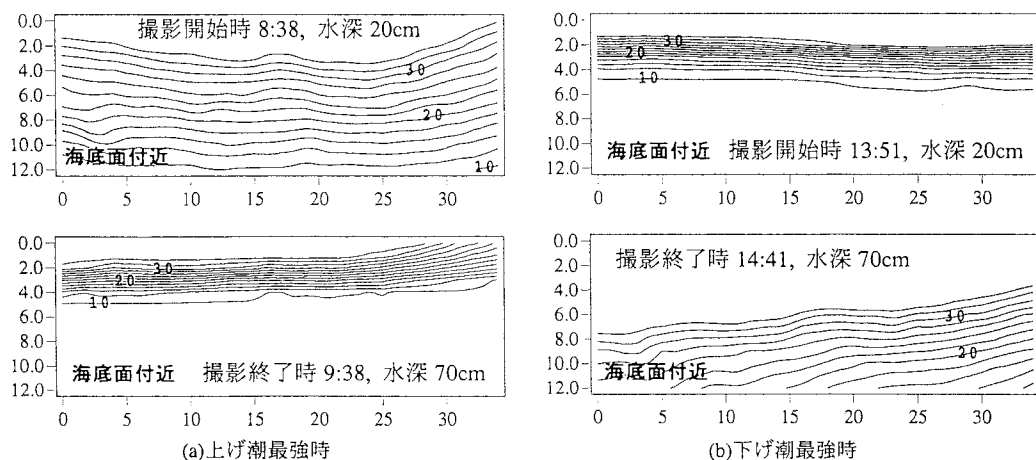


図-15 底面付近の濁度の時間的変化

と同様の輝度別解析を行った。解析グリッドの設定は、図-13に示すとおりであり、撮影画面の約1/2下とした。これは、水面からの散乱光の影響を可能な限り取り除くためである。また、観測時には撮影時間毎にカメラ設置点において海底面付近の海水を採水し、ポータブル多項目水質計 WQC-24 (東亜ディーディーケー株式会社製)を用いて濁度を計測した。

5. 現地観測結果と考察

(1) 濁度と輝度の関係

上げ潮時及び下げ潮時において計測した濁度と、画像解析より得られた平均輝度との関係は図-14に示すとおりである。なお、平均輝度は、解析画面全体の輝度の平均値であり、輝度の基準となる最小値の設定は、上げ下げそれぞれの最小値とした。

(2) 潮汐変動による底面近傍の濁度分布

海底面付近の濁度変化は図-15に示すとおりである。上げ潮の観測開始時から、時間の経過とともに水位が上昇し、海底面上の濁度が減少する。引き続き、下げ潮時になると、観測開始から水位の低下とともに、海底面近傍の濁度が増大していく。また、底面付近では、水深が70 cmの時、濁度分布に大きな差異は見られないが、水深が約20 cmの時、下げ潮時の底面付近の濁度が高い値を示している。以上より、下げ潮時の水位低下とともに、戻り流れによる岸側輸送力が強化され、結果として、底面付近の浮遊粒子群の濁度が高くなったと考えられる。

6. おわりに

以上の結果より、水位変動と波作用下における浮遊シルト群の挙動特性についてまとめると、以下のとおりである。

移動床実験結果より、同一波条件下の岸沖方向の浮遊

シルト量は、下げ潮時において沖側にピークが見られ、沖側へのシルト輸送量が大きくなり、その結果として、底面に敷設したシルト粒子の平均消失量も砕波点沖側で大きくなる。これは、水位の低下に伴う戻り流れによる沖側輸送力が水位上昇時よりも大きくなるためであると考えられる。また、現地観測結果より、上げ潮・下げ潮最強時における海底面近傍の濁度分布は、下げ潮時において高濁度となった。これは、冲向きの浮遊シルト群の輸送力が上げ潮時よりも卓越することによると考えられる。

以上、室内実験および現地観測結果から、干潟における浮遊シルト群は砕波をトリガーとして巻き上げられ、波浪によるセットダウン効果と下げ潮時の冲向き輸送力が加わって、沖側での濁度が増大すると考えられる。

今後は、水位変動に伴う浮遊砂挙動をモデル化し、干潟地形変化の予測手法を検討する予定である。

謝辞：本研究は、科学研究費補助金(課題番号16760411)の助成によるものであり、ここに謝意を表す。

参考文献

- 内山雄介・加藤一正・栗山善昭・古川圭太(2000)：東京湾盤洲干潟の漂砂特性について，海岸工学論文集，第47巻，pp. 521-525.
- 柿木哲哉・辻本剛三(2004)：浮遊粒子の粒度及び濃度分布の同時計測に関する基礎的研究，海岸工学論文集，第51巻，pp. 1446-1450.
- 姜閔求・高橋重雄・野々村治・高野忠志・黒田豊和(2000)：人工干潟地盤の耐波安定性に関する基礎実験，海岸工学論文集，第47巻，pp. 526-530.
- 佐藤愼司・久保田洋次(1991)：ビデオ画像を用いた砕波点付近の浮遊漂砂現象の解析，海岸工学論文集，第38巻，pp. 251-255.
- 田中正博・磯部雅彦・渡辺晃・岡本孝司・植村勇仁(1999)：PIV画像解析手法を用いた浮遊漂砂量計測，海岸工学論文集，第46巻，pp. 1351-1355.
- 李正奎・西嶋渉・岡田光正(1999)：干潟造成における立地選定と土壌構造を決定する因子に関する研究，水環境学会誌，Vol.2243，pp. 1206-1209.