

ARGUS ビデオ解析による宮崎住吉海岸の長期地形観測

鈴木高二朗* ・高橋重雄** ・山縣延文***
堀田 治****・栗山善昭*****・Stefan Aarninkhof*****
Gerban Ruessink*****・Irv Elshoff*****

宮崎住吉海岸に隣接する高層ホテルにビデオシステムを設置し、5, 6 km にわたる広域な海岸の映像を、長期にわたって撮影し、バーやトラフ等の波浪や潮位に対する挙動を調べた。当海岸には 2 つのバーがあり、波浪によって沿岸方向および岸沖方向にバーが変形する過程が捉えられた。また、ビデオの平均画像に映っている砕波帯の輝度分布から、波のエネルギー減衰を得て、バートラフの水深の算定を行った。また、潮位変化と画像処理により、汀線付近の断面計測を行い、離岸堤背後の砂の堆積状況について解析を行っている。

1. はじめに

ARGUS ビデオモニタリングシステムは砕波帯のビデオ画像の平均をとり、浅い部分と深い部分を分離することでバー・トラフの位置を特定しようとするシステムであり、90 年代前半より米国、オランダ等で砕波帯のバー・トラフの挙動等を調べる目的で使用されてきた。このシステムでは、深浅測量を行わなくてもバーの位置等を長期にわたって観測することが可能であり、これまでに、数年周期でバーが汀線付近で発生し、その後沖へ移動して消滅するといった現象が多く、その海岸で確認されるに至っている (Plant・Holman, 1997)。我が国にも多くの多段バー海岸があり、こうしたビデオシステムによる観測が我が国の多段バー海岸の水理現象を把握する上で大きな役割を果たすものと考えられる。

一方、これまで行われてきたビデオモニタリングに関する研究の中心的な目的は、砕波帯の水深を求めることである。ビデオで砕波帯の水深が得られれば、これまでの深浅測量を大幅に省力化できることになることから、ビデオ画像による深浅図の算定に関する研究は、Lippmann・Holman(1989)から始まり、最近では Aarninkhof ら (1997) 等によって精力的に行われている。

今回対象とする宮崎住吉海岸は近年、海岸侵食に見舞われており、水深 4, 5 m 付近にあるバーの挙動が浸食過程を明らかにする上で重要であると考えられる。しかし、年に数回の深浅測量では、波浪や潮位の条件に対してどのようにバーが移動しているのかを捉えるのは困難であり、バーの挙動に関しては未だに不明点も多い。

そこで本研究では、宮崎住吉海岸に隣接する高層ホテルにビデオシステムを設置し、5, 6 km にわたる広域な海

岸の映像を長期にわたって撮影し、バーやトラフ等の波浪や潮位に対する挙動を調べた。さらに、ビデオ画像システムによる水深の算定によって、既存の深浅測量を軽減できるかについて検討を行うこととした。

2. 観測方法

2.1 ビデオシステムの設置

海岸汀線から約 600 m 岸側に離れた高さ 153.5 m のホテルの屋上に 5 台のビデオカメラを設置し、平成 13 年 8 月より観測を開始した。毎日毎正時に 10 分間の映像を 2 秒間隔で PC にとりこみ、それぞれのスナップショット、平均画像、分散画像を生成し、その後、物理座標に変換した上で、5 枚の画像を 1 枚の画像に合成している。画像データは、深夜にインターネットサーバーに転送され、毎日の画像がインターネット上で外部から見られるようになっている。また、画像の座標変換を行うために、カメラ設置時にカメラの位置と映像に映し出される地上の代表的な点の位置を GPS にて計測した。

2.2 解析内容

図-1 は 9 月 10 日に撮影された写真であり、今回のビデオシステムの中で基礎となる画像処理である。それぞれ、スナップショット (図-1 (a)) と 10 分間のビデオ画像の平均画像 (図-1 (b))、5 枚の画像を重ね合わせ

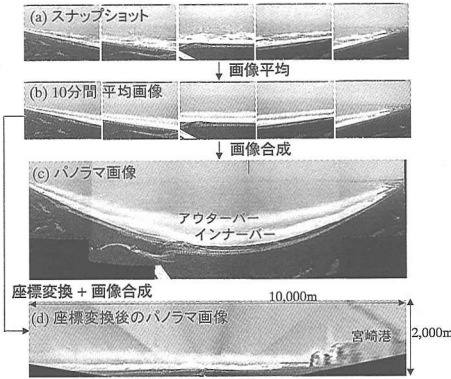


図-1 画像平均、画像合成と座標変換

* 正会員 工修 (独法) 港湾空港技研 主任研究官
** 正会員 工博 同上 海洋・水工部長
*** 工修 国土交通省九州地方整備局下関港湾空港技術調査事務所長
**** 国土交通省九州地方整備局宮崎港湾空港工事事務所長
***** 正会員 工博 (独法) 港湾空港技研 漂砂研究室長
***** WH ± Delft Hydraulics

たパノラマ画像 (図-1 (c)), さらに立体座標に変換して得られた合成画像 (図-1 (d)) である。座標変換後の画像は遠方になるほど解像度が粗くなるが、地図上の平面地形とよくあっているのが確認されている。なお、当ビデオステーションより 3 km 離れた南側に宮崎港が位置しており、宮崎港の北側には突堤で囲まれた人工ビーチ等が見られ、その左横には 10 基の離岸堤が設置されている。図-1 の画像を基礎情報として、以下の項目について解析を行った。

①波浪条件とバー・トラフの岸沖方向の移動との関係, ②バーやリップチャネルの沿岸方向の移動, ③輝度値からの断面計測, ④感潮帯の海岸断面の変化 (離岸堤

背後)。

なお、解析にあたっては、宮崎港の潮位データと志布志港の波浪データを用いている。本調査期間中、宮崎港の波高計が故障していたため志布志港の波浪データを用いているが、宮崎の波高は図-2 に示されるように志布志の 1.5~2 倍程度の大きさである。

3. 住吉海岸のバー・トラフ

3.1 アウターバー、インナーバーの変形

図-1 に示されるように、当海岸には 2 つのバーがあることが分かった。岸に近い方のインナーバーは観測期間中平均すると汀線から 70 m 沖にあり、沖のアウターバーは汀線から約 300 m 沖に位置している。インナーバーでは有義波高が 50 cm を越えると砕波が見られるが、アウターバーは高波浪時にしか見られなかった。

図-3 は、インナーバーとアウターバーの特徴的な動きを示す画像であり、9 月 22 日、9 月 25 日、10 月 15 日、10 月 19 日に撮影されたものである。

まず、図-3 (a) のように波高が大きい日には、アウターバー、インナーバーともに沿岸方向には直線的な形状をしている。その後波高が小さくなり、波高の小さい日が 2, 3 日続くと、図-3 (b) のようにインナーバーは三日月型バーと呼ばれる沿岸方向に波打った形状となり、離岸流の発生しているリップチャネルが見られるようになる。さらに、波高の小さい日が続くと、インナーバーは汀線に近づいてきてその一部は汀線に付着し、リップチャネルはよりはっきりとした形になってくる (図-3 (c))。しかし、波高が大きい日が再び来ると、インナーバーは沖へ移動し、沿岸方向に波打った形はなくなり、再び直線的な形状になる (図-3 (d))。

このようにアウターバーは沿岸方向に直線的であり変化が見られないが、インナーバーは変化が激しく、8 月~10 月にかけての台風シーズンには、このようなバーの動きが繰り返し見られた。

3.2 バーの岸沖方向の移動

図-4 は、2002 年 9 月 22 日と 9 月 29 日の映像であり、下の図は $y=150$ m の点線部の輝度値を抽出したものである。輝度値は 0~255 の値で示してあり、輝度値が大きいほど明るく、255 が白、0 が黒に相当する。9 月 22 日は、台風の影響で波高が大きかったため、汀線から 270 m 付近にアウターバーを示す輝度値のピークが見られる。それより岸側にはトラフをはさんで $x=70$ m 付近にインナーバーが見られ、輝度値は最大値 247 となっている。さらに、岸側に見られる輝度値のピークは汀線を示している。汀線の輝度値の幅が小さいのは、当海岸の前浜部が小さく、護岸の狭い範囲が最終砕波点になっているためである。波高が比較的小さい 9 月 29 日には、アウター

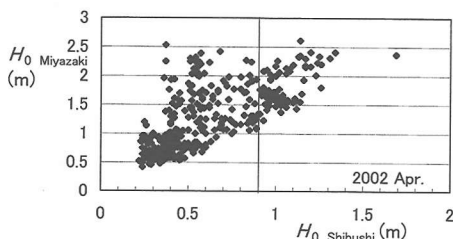


図-2 志布志港と宮崎港の波高の相関

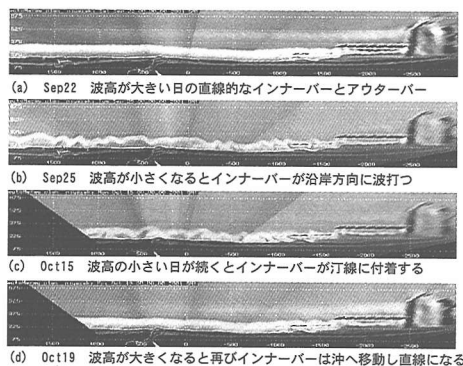


図-3 宮崎海岸でのバーの変形特性

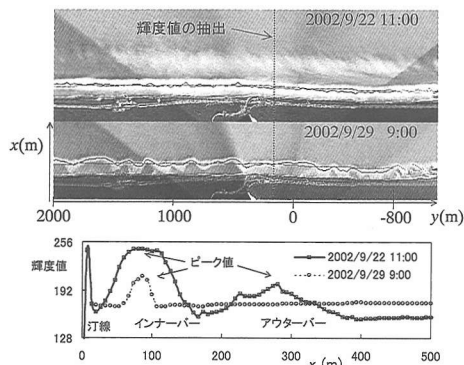


図-4 輝度値とバーの位置の抽出

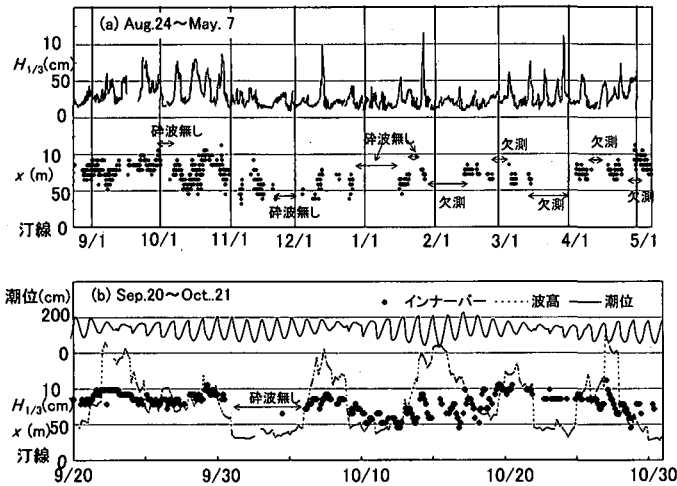


図-5 バーの岸沖方向の移動と波浪、潮位との関係

バーが見られず、インナーバーと汀線にピーク値が見られる。

バーの岸沖方向の移動を調べるため、ここでは輝度値のピーク位置がバーの位置であると考えて解析を行うこととした。図-4のインナーバーの中にある2本の黒い線は、輝度値のピーク値の位置を示している。なお、 $y = -800 \sim 2000$ m 区間のバーの平均位置もともに示している。

図-5は、バーの汀線からの平均位置と波高（志布志港）、潮位（宮崎港）との関係である。図-5(a)は2001年8月24日～2002年5月7日までのデータであり、図-5(b)は2001年9～10月の台風シーズンについて拡大して見たものである。なお、データはビデオが撮影されている昼の時間のみ示してある。

バーの位置にばらつきが見られるが、図-5(b)でバーの位置と潮位とを比較すると、大潮の日にはばらつきが大きく、インナーバーの位置が潮位によって変動しているのが分かる。バーは満潮（干潮）時に岸（沖）側に移動しており、10月15日頃には、潮位変化で30 m以上バーが岸沖方向に動いていることになる。ただし、これは水深の変化で砕波点がずれることによる見かけ上のバーの動きであり、実際にバーが移動しているわけではない。

一方、波高によってもバーが移動しており、この場合は潮位による動きに比較すると動きがなだらかであるが、波高の増大によってバーが沖へ移動し、小さくなるとゆっくりと岸へ戻ってくるのが分かる。波が高くなる時のバーの沖への移動は速く、1日約20 mの速度で一気に沖へ移動するのに対し、波高が小さい日の岸への移動は緩やかで、1日5 m程度である。

10月2～6日にかけてはデータが無いが、これは波高が小さいため、インナーバーの上で砕波が見られないた

めである。インナーバーは志布志港での有義波高が約50 cm以上の際に見られた。一方、アウターバーが見られるのは高波浪時のピーク時間のみで、期間を通してあまり見られなかった。そのため、観測期間が短かったこともあり、波崎海岸（Kuriyama, 2000）や海外の多段バー海岸で見られるような沖方向へのアウターバーの移動は観測されなかった。

4. 輝度値からのバー・トラフ水深の算定

4.1 輝度値を用いた水深の算定法

ここでは、ビデオの平均画像に映っている砕波帯の輝度分布を砕波によるエネルギー減衰分布に比例すると考えて水深

を計測しようとする Lippmann and Holman (1989) の方法に従って、水深の算定を行う。この方法は、平均画像に白く映っている砕波後の泡の映像が、波のエネルギー減衰量 ε に比例するという仮定に基づいている。すなわち、図-4に見られるような輝度値 $I(x)$ と波のエネルギー減衰 $\varepsilon(x)$ が比例するというものである。

具体的には、以下の式により水深を求める。

$$I(x) \propto \varepsilon(x) \quad (1)$$

$$\varepsilon(x) = \frac{I(x) - I_0}{[I(x) - I_0]_{\text{total}}} \varepsilon_{\text{total}} \quad (2)$$

$$\frac{\partial}{\partial x}(Ec_g) = \frac{\partial}{\partial x} \left[\left(\frac{1}{8} \rho g H_{\text{rms}}^2 \right) C_g \right] = \varepsilon \quad (3)$$

$$\varepsilon = \frac{3\pi^{1/3}}{16} \rho g B^3 f \frac{H_{\text{rms}}^5}{\gamma^2 h^3} \left[1 - \frac{1}{(1 + (H_{\text{rms}} \gamma h)^2)^{5/2}} \right] \quad (4)$$

ここで、 $I(x)$ 、 $\varepsilon(x)$ は、砕波の輝度値、エネルギー減衰量であり、 I_0 は砕波帯の輝度値の積分、 $\varepsilon_{\text{total}}$ は沖波の総エネルギーである。また、 E 、 C_g 、 H_{rms} 、 h は、それぞれ波のエネルギー、群速度、波高、水深であり、すべて x の関数である。なお、 $H_{\text{rms}} = H_{1/3}/1.416$ である。また、変数は時間平均された量である。一方、 ρ は水の密度、 g は重力加速度、 B 、 γ は現地観測から得られた経験的な定数であり、本研究では1.54、0.42を用いている。なお、砕波帯内の波高を規定する式 $H = \gamma h$ の γ である。また、 x は汀線を0として沖向きがプラスの座標である。

計算は、分散関係式と組み合わせて(3)式を沖から岸へ前進差分で解いていく。このとき、分散関係式を解く際に、水深 h が必要となるため、本研究では(4)式をニュートン法で解いて水深を決定した。なお、(2)式は本計算の基本となる仮定であり、沖の波浪条件と砕波帯の輝度値から砕波帯内のエネルギー減衰分布を決める

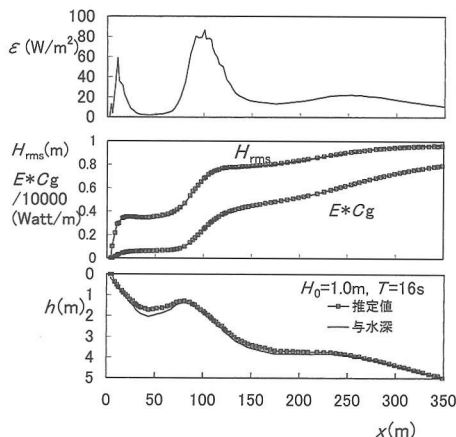


図-6 水深算定方法の理論的検証

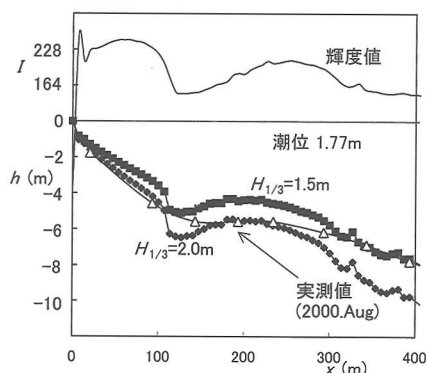


図-7 宮崎海岸パートルフの水深の算定

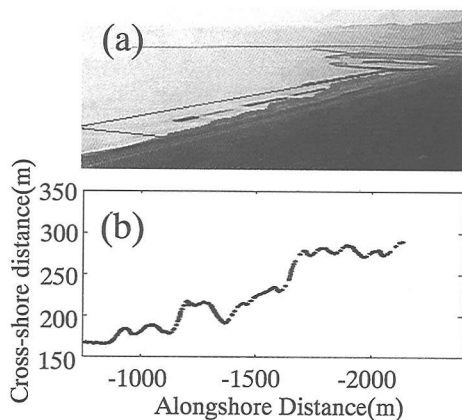


図-8 汀線の位置の抽出

式である。

図-6中の実線は、Lippmann・Holman (1989) の論文の中から、Super Duck の現地水深を引用し、理論的に求めた波高、エネルギーフラックス、エネルギー減衰 (①、②) であり、一方、四角印は (2)～(4) 式を用いてエ

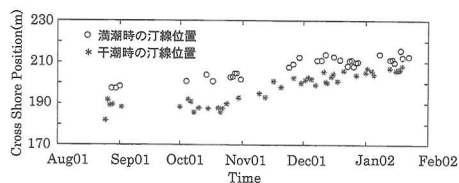


図-9 離岸堤背後の汀線の変化

ネルギー減衰分布 $\epsilon(x)$ から水深 $h(x)$ を逆に求めた場合 (③、④) の比較図である。エネルギーフラックスから逆に求めた水深は、トラフの部分を除くと元の水深とかなりよく一致しているのが分かる。

4.2 宮崎現地データへの応用

図-7は、今回の画像データから宮崎でのパートルフの水深を算定した一例であり、2002年9月10日の画像から算定したものである。ここでは志布志の波浪条件 $H_{1/3}=0.9$ m, $T_{1/3}=9.8$ s と図-2の宮崎と志布志の波高の相関図より波高を $H_{1/3}=1.5$ と 2 m, 周期を $T_{1/3}=9.8$ s とし、潮位は宮崎の潮位データより 1.77 m として計算を行った。沖合のバーの水深は、 $H_{1/3}=1.5$ m で約 4.4 m, 2 m で約 5.5 m である。同時期の実測値との比較では無いため正確な比較ではないが、2000年8月に行われた実測値と比較すると実測値は波高 1.5 m と波高 2 m で計算した推算値の中間に位置している。ただし、沖合の波浪データが大きく影響してくることから、今後、宮崎港の波浪データをもとに、精度を検証していく予定である。また、Wave Set Up の項等も含めて、今後より精度の高い推定を行う予定である。

5. 潮位変化と画像計測による汀線付近の計測

5.1 汀線位置の決定と解析対象

画像は一般に赤青緑 (RGB) の三原色に分けられるが、これを色相彩度明度値 (HSV) に変換した上で解析するとうまく陸と海を分離することができる。一般的に、海は低い色相値で高い彩度値を持ち、陸は高い色相値で低い彩度値を持っている。ホテル前面では、前浜がほとんど存在せず、護岸にかくれて汀線位置が見えない時期があるため、宮崎港北側の離岸堤背後の砂浜について、断面計測を行った。

5.2 離岸堤背後の汀線付近の断面変化

図-8 (a) は陸と海に映像を分離したものであり、座標変換すると、図-8 (b) のようになる。図-9は、観測開始から 2002年2月の間に、離岸堤背後の満潮と干潮汀線の位置が変化する状態を示したものであり、図-8 (b) の汀線の位置を $y=-750$ m～-2400 m の範囲で平均して求めたものを汀線としている。離岸堤背後では徐々に砂が堆積し、1日 0.1～0.15 m の速度で汀線が前進して

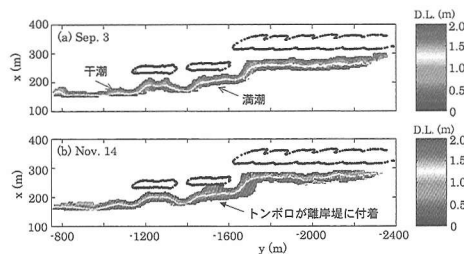


図-10 離岸堤背後の汀線の変化 (9/3 と 11/14 の比較)

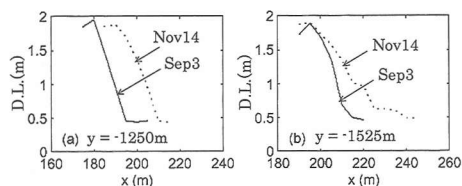


図-11 汀線付近の断面の変化 (9/3 と 11/14)

いる。満潮時と干潮時の汀線から感潮帯の幅を求めると2001年10月が最大で、15 mであった。一方、2002年初めには幅が狭くなり、幅は10 mになっている。

図-10は、堆積と侵食の状況を平面的に図示したものである。それぞれ、図-10(a)は9月3日、(b)は11月14日の状況であり、離岸堤の位置を同時に示している。離岸堤背後では観測期間を通して全体に堆積傾向にあったことが分かる。汀線が最も変化したのは、 $y = -1500$ m付近の離岸堤背後の海底断面であり、舌状砂州が前進し、11月14日には離岸堤に付着しトンボロになっている。

図-11は、9月3日と11月14日に、毎時刻の汀線の変化を調べ、海底断面のプロファイルを計測したものである。それぞれ、(a)は側線 $y = -1250$ m、(b) $y = -1525$ mである。この図からも砂が堆積し、ビーチが前進していたことがわかる。ビーチの傾斜は約1/15であるが、離岸堤背後にトンボロが形成されたためスロープが緩やかな形状に変化している。

6. ま と め

宮崎住吉海岸に隣接する高層ホテルにビデオシステムを設置し、5, 6 kmにわたる広域な海岸の映像を、長期にわたって撮影し、バーやトラフ等の波浪や潮位に対する挙動を調べるとともに、ビデオ画像システムによる水深の算定について検討を行った。その結果、以下のことが明らかとなった。

1) 当海岸には汀線から約70 m沖にインナーバー、300 m沖にアウターバーがある。アウターバーは沿岸方

向に直線的であり変化が見られないが、インナーバーは変化が激しく、波高の大きい日には1日20 mの速度で急激に沖へ移動し、沿岸方向に直線的になる。また、波高の小さい日には徐々に岸側に移動し、リップチャネルをとまって沿岸方向に波打つようになる。台風シーズンにはこのようなバーの動きが繰り返し見られた。

2) ビデオの平均画像に映っている碎波帯の輝度分布を碎波によるエネルギー減衰分布に比例すると考えて水深の算定を行った。同時期の実測値との比較では無いため正確な比較ではないが、2000年8月に行われた実測値と比較すると、一致していない部分もあり、今後、さらに検討を行う予定である。

3) 潮位変化と画像計測を組み合わせた計測により、離岸堤背後に徐々に砂が堆積する現象が観測された。

謝辞：本研究を実施するにあたって、濱田浩二工務課長他、三好一喜係長、外戸保勝元工務課長他、国土交通省宮崎港湾空港事務所の多くの方々のご指導、ご協力を頂いている。ビデオシステムのメンテナンスの多くは三好係長に行って頂いている。また、山田昌郎副所長、原田卓三技術開発課長、北島正明係長、箕作元課長他、下関港湾空港技術調査事務所の方々からも多くのご指導、ご協力を頂いている。さらに、石川設備営繕次長、清副長をはじめ、シェラトンオーシャングランデの方々に設置からメンテナンスに至るまで常日頃ご協力を頂いている。また、石貫事務局長をはじめ、宮崎県土木部の方々から設置に際してご協力を頂いている。最後に港湾空港技術研究所下迫健一郎室長、有川太郎研究官、高野忠志元研究員、大嵯菜々子研究員をはじめ耐波研究室の方々から多くのご協力を頂いている。ここに深甚なる感謝の意を表するものである。

参 考 文 献

- Aarninkhof, S. G. J., Pieter C. Janssen and Nathaniel G. Plant (1997): Quantitative Estimation of Bar Dynamics from Video Images, Proc. of Coastal Sediments '97, ASCE, pp. 365-374.
- Aarninkhof, S. G. J., and J. A. Roelvink (1999): Argus-based monitoring of intertidal beach morphodynamics, Proc. Of Coastal Sediments '99, New York, ASCE, pp. 2429-2444.
- Kuriyama, Y. (2000): Medium-term bar movement and sediment transport at HORS., Port and Harbour Research Institute Report 39, 4, pp. 51-74.
- Lippmann, T. C. and R. A. Holman (1989): Quantification of Sand Bar Morphology: A Video Technique Based on Wave Dissipation, JGR, Vol. 94, pp. 995-1011.
- Van Enckevort, I. M. J. and B. G. Ruessink (2001): Effect of hydrodynamics and bathymetry on video estimates of near-shore sandbar position, Journal of Geophysical Research, Vol. 106, pp. 16969-16980.