

# 熊本白川河口干潟における土砂収支の検討

栗山善昭\* ・滝川 清\*\* ・榎園光廣\*\*\*  
野村 茂\*\*\*\* ・橋本孝治\*\*\*\*\* ・柴田貴徳\*\*\*\*\*

熊本白川河口干潟を対象として、干潟およびその周辺で取得された広域かつ長期の深淺データと波浪データ、流量データとを基に、干潟の土砂収支を検討した。その結果、大規模な出水があった場合には、約 65 万 m<sup>3</sup>/yr の河川からの流出土砂量に対して、干潟およびその周辺から約 35 万 m<sup>3</sup>/yr の土砂が流出し、残りの約 30 万 m<sup>3</sup>/yr が干潟およびその周辺に堆積するのに対して、大規模な出水がない場合には河川からの流出土砂量が約 10 万 m<sup>3</sup>/yr となるため、約 25 万 m<sup>3</sup>/yr の侵食となることが明らかとなった。

## 1. はじめに

干潟の地形変化はそこに生息する生物の分布に影響を与えることから、干潟の地形変化や底質移動に関する研究が精力的に行われている。底質の浮遊に関しては、古川 (2000) や内山 (2001)、横山・宇野 (2001) などが現地観測データを基に浮遊底質濃度と波浪、潮汐流、吹送流などとの関係を検討するとともに、Bassoullet ら (2000) や Dyer ら (2000)、Christie ら (2001) はヨーロッパの泥質干潟における現地観測結果より浮遊底質フラックスの卓越方向を検討している。干潟の地形変化に関しては Kirby ら (1993) や Allen・Duffy (1998) が干潟地形の時間変動特性や地形変化と潮汐振幅、波浪との関係を調べている。さらに、滝川ら (1999) や古川ら (2000) は長期間の現地地形データを基に干潟地形の長期変動特性を検討するとともに、宇多ら (1998) は干潟の形状に及ぼす波浪エネルギーフラックスの影響を調べている。

以上のように、干潟の底質移動や地形変化に関しては多くの研究があるものの、今後の地形変化、ならびに、それに伴う生態系の変動を予測する上で重要となる干潟の土砂収支に関する研究は非常に少ない。その一つの原因は、干潟の地形変化を把握する上で航空写真が有効活用できない点にある。砂浜海岸の場合、土砂収支を検討する際の解析領域内の変化土量推定において航空写真が用いられることが数多くあるものの、干潟では海底勾配が緩やかなため航空写真から汀線位置を読みとる際の誤差が大きく、土量変化を推定するためには深淺データが

必要となる。しかしながら、広大な干潟を含んだ深淺データは少なく、よって、干潟の土砂収支が検討された例はほとんどなかったと言える。

このような状況のもと、宇野ら (2002)、末次ら (2002) は、熊本県白川河口干潟での地形データや濁度データを基に、白川河口干潟における 1 年間の土砂収支を示した。ただし、検討対象期間が 1 年と短く、長期的な傾向は不明である。そこで、本研究では、熊本白川河口干潟を対象として、干潟およびその周辺で取得された広域かつ長期の深淺データと波浪データ、流量データとを基に、干潟の土砂収支を検討した。

## 2. 干潟の地形変化

解析対象の熊本県白川河口干潟の位置を図-1 に、解析対象領域(沿岸方向約 3 km, 岸沖方向約 4 km)を図-2 に示す。白川河口干潟における潮位差は 4.5 m である。解析領域を 4 つの小領域に分割し(図-3)、各小領域ならびに解析領域全域における土量変化を 1976 年~2002 年までに取得された 5 枚の深淺図(1976 年, 1978 年, 1997 年, 2000 年, 2002 年測量)を基に求めた。図-4 はその結果を示したものであり、図-5 は大規模な堆積が生じ

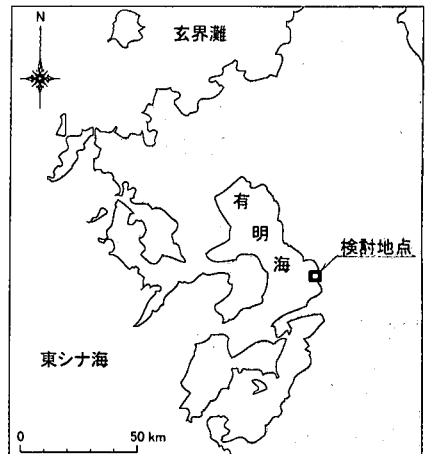


図-1 解析地点

- \* 正会員 博(工) (独法)港湾空港技術研究所海洋・水工部漂砂研究室長(熊本大学客員助教授, 沿岸域環境科学教育研究センター)
- \*\* 正会員 工 博 熊本大学教授 沿岸域環境科学教育研究センター
- \*\*\* 国土交通省九州地方整備局熊本港湾・空港整備事務所長
- \*\*\*\* 国土交通省九州地方整備局熊本港湾・空港整備事務所第一工務課長
- \*\*\*\*\* 正会員 修(工) (株)アルファ水工コンサルタンツ ((独法) 港湾空港技術研究所漂砂研究室研修生)
- \*\*\*\*\* 正会員 博(学) 福山コンサルタンツ(株)事業部長兼調査部長(熊本大学客員教授, 沿岸域環境科学教育研究センター)

ていた1978年～1997年の地形変化と侵食が生じていた1997年～2002年の地形変化を示したものである。

1978年から1997年にかけては解析領域全体で約650万 $m^3$  (34.5万 $m^3/yr$ )の堆積が生じているのに対して、それ以外の期間では平均26.3万 $m^3/yr$ の侵食が生じている。1978年～1997年に生じた堆積は、主として河口のL.W.L.付近で生じている(図-5(a))。白川の左岸側と右岸側とを比較してみると、左岸側に比べて右岸側のほうが堆積量が大きい(図-4)。さらに、滞筋周辺では、左岸側で堆積が生じ右岸側で侵食が生じている(図-5(a))ことから、1978年～1997年にかけては滞筋が右岸側に移動しつつ土砂が干潮時の河口付近に堆積したものと推察される。一方、侵食は堆積のように特定の領域で生じているわけではなく、L.W.L.よりの上方の領域ではほぼ一様に生じている(図-5(b))。

### 3. 沿岸漂砂量

続いて、本領域における土砂収支を検討するために、

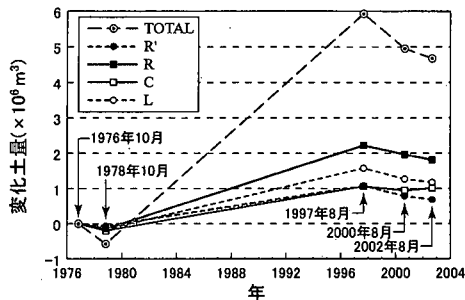


図-4 解析領域における土量変化

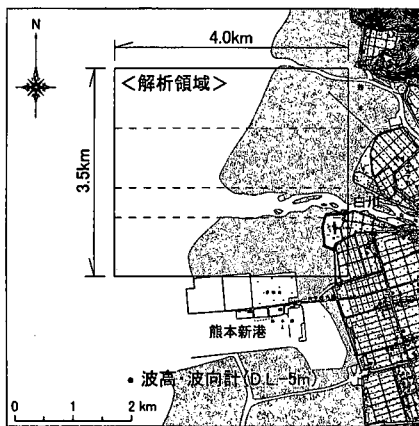
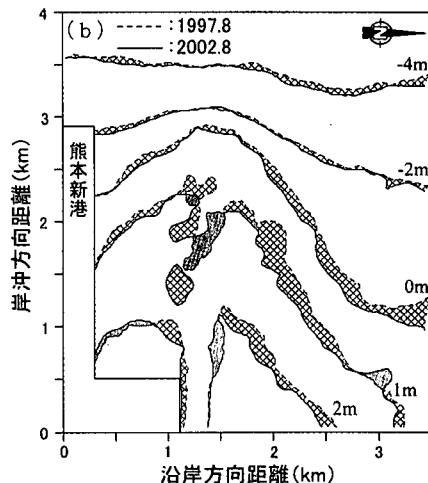
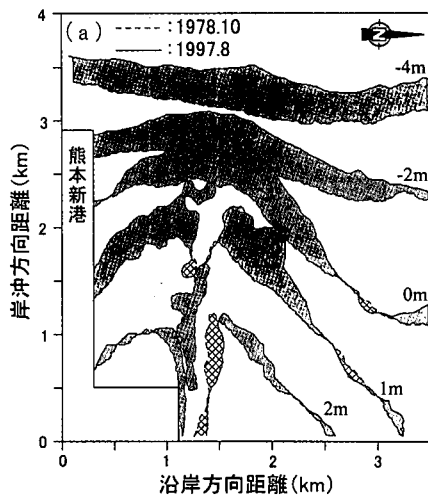


図-2 解析領域



■: 堆積領域    ▨: 侵食領域

図-5 (a) 1978年～1997年, (b) 1997年～2002年の地形変化

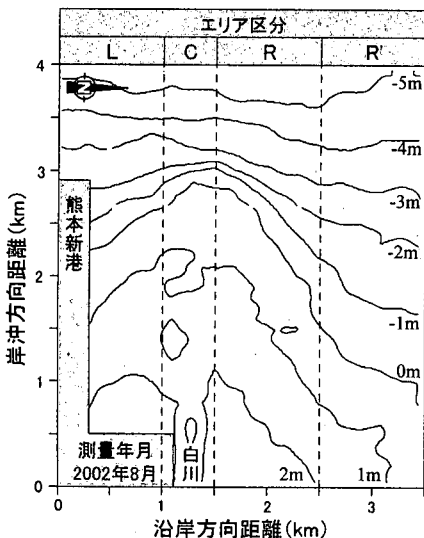


図-3 小領域の位置と干潟地形 (2002年8月, L.W.L.基準)

熊本港沖で観測された波浪データを基に沿岸漂砂量を推定した。波高計の位置は図-2に示す通りである。図-6は取得率が高くなった1995年以降のエネルギー平均の波浪諸元の経時変化を示したものであり、図-7は波浪諸元の月変動を示したものである。波浪は1月~3月にかけて大きく、7月に最も小さくなっている。経年変化をしてみると、多少の変動はあるものの、波浪諸元の変動は比較的小さいと言える。そこで、以下の解析では、波浪による沿岸漂砂量は一定であると仮定し、エネルギー平均の波浪諸元である沖波波高0.33m, 周期3.0s, 波向き289°(北からの入射を0°とし、時計回りを正とする)を用いて沿岸漂砂量を求めた。

解析領域の左側境界では、熊本港の防波堤がL.W.L.約2mの地点まで延伸されており、かつ、等深線が卓越波向に対してほぼ直角である。よって、ここでの沿岸漂砂量はゼロであると仮定した。

一方、右側境界の沿岸漂砂量は、沿岸漂砂量公式を基に推定した。一様勾配、平行等深線を仮定して、波高計設置位置の波浪諸元を沖波諸元に戻した後、白川河口干潟前面における波浪変形を計算した。碎波指標としては不規則波に対する合田の算定図(合田, 1990)を用い、沿岸漂砂量としては、次式を用いた。

$$Q_L = \frac{K}{(\rho_s - \rho_w)g(1-\lambda)} (EC_g)_b \cos \alpha_b \sin \alpha_b \dots (1)$$

ここで、 $\rho_s$ は底質の密度、 $\rho_w$ は海水の密度、 $g$ は重力加速度、 $\lambda$ は空隙率(=0.4)であり、下付の $b$ は碎波位置の値であることを示している。係数 $K$ としては0.2を用い、汀線の向きとしては右側境界に近い沿岸方向3500m地点におけるL.W.L.0.5mの等深線の向きを用いた。このようにして求めた沿岸漂砂量は1万 $m^3/yr$ であった。

#### 4. 白川からの流出土砂量

白川からの流出土砂量は、末次ら(2002)による河口近くでの浮遊土砂量の観測結果などを基に推定することを試みた。ただし、河口付近で観測された浮遊土砂のほとんどがシルト、粘土であり、その成分は図-5などに示されている干潟の地形変化を引き起こした砂を中心とした底質の成分とは異なっていると考えられる。しかしながら、地形変化に寄与する白川からの流出土砂量は、白川から流出するシルトの量に比例すると考え、まず、後者を推定することを試みた。

末次ら(2002)は河口近くで浮遊土砂量を観測し、過去の観測データも含めて浮遊土砂量と河川流量との関係を検討した。その結果、1997年以降は、1990年以前に比べて、同じ河川流量であっても流出土砂量が約1/10程度に小さくなっていることを示すとともに、その原因の一つとして、1993年以降、阿蘇山で降灰が観測されていないことを指摘した。そこで、本検討では、1992年以前は1990年以前のデータを基にした関係式、1993年以降は1997年以降のデータを基にした関係式を用いて河川からのシルトの流出量を推定した。末次ら(2002)に示されているデータを基に、河川流量と流出土砂量との関係を求めたところ、1990年以前と1997年以降の関係式としてはそれぞれ式(2)、(3)が求めた。図-8はそれらの関係式を示したものである。

$$Q_R = 1.452 \times 10^{-6} Q^{2.305} \dots (2)$$

$$Q_R = 3.482 \times 10^{-7} Q^{2.165} \dots (3)$$

ここで、 $Q_R$ はシルトの流出量、 $Q$ は流量である。

図-9は、河口から約12km上流の代継橋における1966年~2000年の流量データを基に求めた月毎の平均流量と最大流量を示したものであり、図-10は1976年以降の平均流量、最大流量ならびに上記の方法で求めた流出土砂量の経年変化を示したものである。1年の変動をしてみると波浪とは対照的に河川流量は7月に最も大きくなっている。また、経年変化に関しても、比較的一定な波浪諸元とは異なり河川流量の変動は大きい。

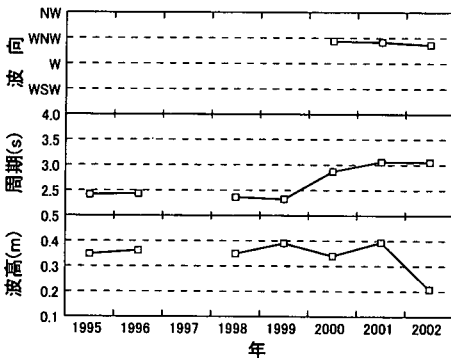


図-6 熊本港沖の波浪諸元の経年変化

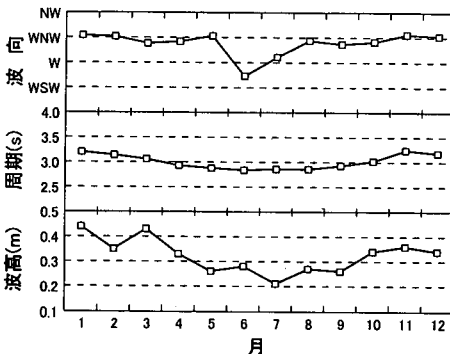


図-7 熊本港沖の波浪諸元の月別変動

5. 土砂収支の検討

前述したように、地形変化に寄与する白川からの流出土砂量は、式(2)、(3)によって白川から流出するシルトの量に比例すると仮定する。さらに、沿岸漂砂以外の要因により解析領域外に流出する土砂量は時間的に一定であると仮定する。

以上の仮定のもと、実測の地形変化量と推定された白川からのシルトの流出量と沿岸漂砂量を基に白川河口干潟の土砂収支を検討する。具体的には、白川河口干潟の土砂収支を以下の式で仮定し、未知数である  $a$ 、 $Q_0$  を推定された地形変化量と実測の地形変化量との誤差が最小となるよう最小二乗法によって求めた。

$$Q_v = aQ_R - Q_L - Q_0 \dots\dots\dots(4)$$

ここで、 $Q_v$  は地形変化量、 $Q_R$  は白川からの流出シルト量、 $Q_L$  は沿岸漂砂による土砂流出量、 $Q_0$  は沿岸漂砂以外による土砂流出量、 $a$  は地形変化に寄与する河川からの流出土砂量の流出シルト量に対する比である。なお、容積に関する値は粒子間の空隙を含んだものとし、河川流量データが欠測の期間の流出土砂量は1992年以前と1993年以降のそれぞれの月毎の平均流出土砂量から推定した。

計算の結果、 $a=0.51$ 、 $Q_0=36.2$  万  $m^3/yr$  となった。図-11 は実測の地形変化量と推定された地形変化量を比較したものであり、図-12 は、以上の検討結果を基に推定した白川河口干潟の土砂収支を示したものである。図-12(a) が大規模な出水が生じたとき(1978年~1997年)の年平均の土砂収支を、(b) が1997年以降の大規模出水が無かったときの年平均の土砂収支を示している。ただし、誤差の調整はしていないので土砂収支は0とはなっていない。出水があった場合には、年平均で約36万  $m^3$  の土砂流出に対して、白川から約63万  $m^3$  の流入があったため解析領域で堆積が生じたことを示している。一方、出水がなかった場合には、白川から流出土砂量が約7万  $m^3$  であるため解析領域で侵食が生じる結果となった。

本解析結果と末次ら(2002)の結果とを比較してみると、本解析結果が1997年以降、干潟は長期的に侵食傾向となっているのに対して、末次ら(2002)の結果は2001年に限ったものではあるけれども堆積傾向を示してい

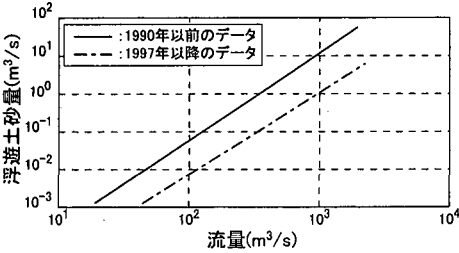


図-8 白川における流量と浮遊シルト量との関係

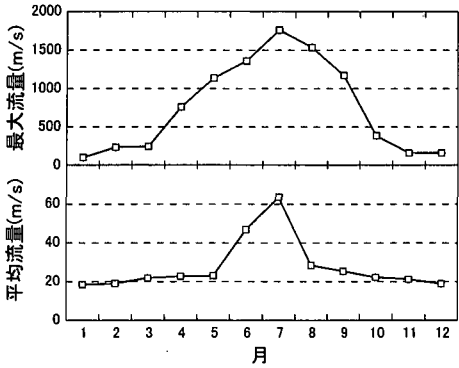


図-9 白川における流量の月別変動

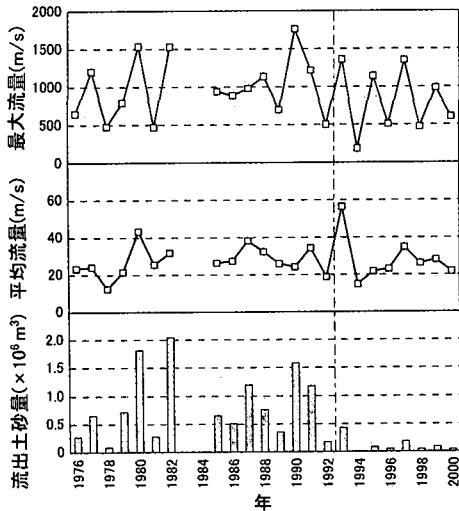


図-10 白川における流量および河川からの流出シルト量の経年変化

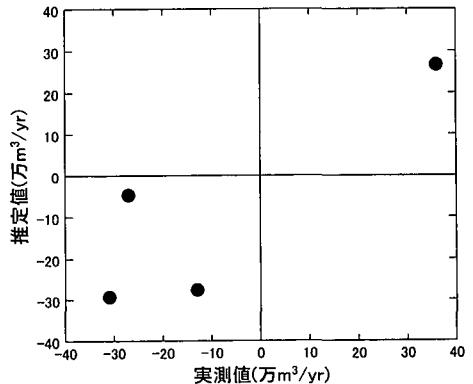


図-11 変化土量に関する実測値と推定値との比較

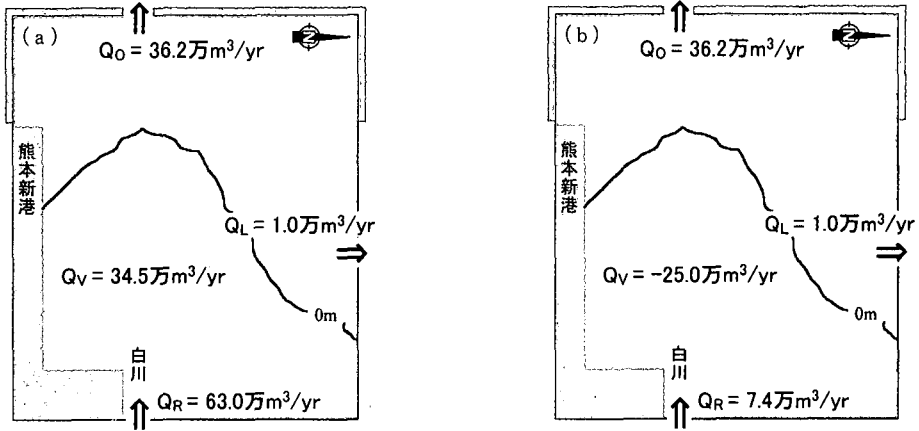


図-12 (a) 大規模出水があった場合、(b) 大規模出水がなかった場合 (1997年以降) の土砂収支

た。ただし、末次ら (2002) の地形変動量は 6 月～9 月までの短期の変動量を基にしたものであり、この時期の地形変化が長期の地形変化傾向と一致していない可能性もある。現在、1 年に 4 回取得された深淺データを基に干潟地形の短期変動特性を解析しているところであり、今後、それと長期変動特性との関係を検討していく予定である。

## 6. おわりに

広域かつ長期の深淺データと波浪データ、流量データを基に、熊本白川河口干潟の土砂収支を推定した。今後は、干潟地形の短期変動特性の解明およびそれと長期変動特性との関連把握、さらに沿岸漂砂以外で干潟域から流出する約 36 万  $\text{m}^3/\text{yr}$  の土砂量の妥当性およびそのメカニズムの検討を行っていく予定である。

謝辞：河川流量データは国土交通省九州地方整備局熊本河川国道事務所に提供していただいた。ここに記して、感謝の意を表します。

## 参考文献

- 宇多高明・神田康嗣・古田和久 (1998): 東京湾内における非対称河口デルタ地形の形成, 地形, 第 19 巻, 第 1 号, pp. 19-33.
- 内山雄介 (2001): 冬期の東京湾盤州干潟における浮遊砂生成機構および短期地形変動について, 土木学会論文集, No. 677/II-55, pp. 129-140.
- 宇野誠高・横山勝英・森下和志・高島創太郎・大角武志 (2002): 熊本県白川河口域における土砂動態, 海岸工学論文集, 第 49 巻, pp. 561-565.
- 合田良実 (1990): 港湾構造物の耐波設計—波浪工学への序説—増補改訂, 鹿島出版会, 333 p.
- 末次忠司・藤田光一・諏訪義雄・横山勝英 (2002): 沖積河川の河口域における土砂動態と地形・底質変化に関する研究, 国総研資料, No. 32, 169 p.
- 滝川 清・鈴木敦巳・古川憲治・大本照憲・山田彦彦 (1999): 有明海の白川・緑川河口域における干潟環境特性とその評価に関する研究, 海岸工学論文集, 第 46 巻, pp. 1121-1125.
- 古川恵太・藤野野亮・三好英一・桑江朝比呂・野村宗弘・萩本幸将・細川恭史 (2000): 干潟の地形変化に関する現地観測—盤州干潟と西浦造成干潟—, 港湾技研資料, No. 965, 30 p.
- 横山勝英・宇野誠高 (2001): 河川感潮域における高濁度水塊の挙動—強混合河川の場合—, 海岸工学論文集, 第 48 巻, pp. 631-635.
- Allen, J. R. L. and M. J. Duffy (1998): Medium-term sedimentation on high intertidal mudflats and salt marshes in the Severn Estuary, SW Britain: the role of wind and tide, Marine Geology, Vol. 150, pp. 1-27.
- Bassoullet, Ph., P. Le Hir, D. Gouleau and S. Robert (2000): Sediment transport over an intertidal mudflat: field investigations and estimation of fluxes within the "Baie de Marennes-Oleron" (France), Continental Shelf Research, 20, pp. 1635-1653.
- Christie, M. C., K. R. Dyer and P. Turner (2001): Observations of long and short term variations in the bed elevation of a macro-tidal mudflat, Coastal and Estuarine Fine Sediment Processes, edited by McAnally, W. H. and A. J. Mehta, Elsevier Science B. V., pp. 323-342.
- Dyer, K. E., M. C. Christie, N. Feates, M. J. Fennessy, M. Pejrup and W. van der Lee (2000): An investigation into processes influencing the morphodynamics of an intertidal flat, the Dollard Estuary, the Netherlands: I. Hydrodynamics and suspended sediment, Estuarine, Coastal and Shelf Science, Vol. 50, pp. 607-625.
- Kirby, R., R. J. Bleakley, S. T. C. Weatherup, P. J. Raven and N. D. Donaldson (1993): Coastal and Estuarine Studies 42, Nearshore and Estuarine Cohesive Sediment Transport, edited by Mehta, A. J., American Geophysical Union, pp. 378-392.