

港湾空港技術研究所 資料

TECHNICAL NOTE
OF
THE PORT AND AIRPORT RESEARCH INSTITUTE

No.1074 March 2004

熊本県白川河口干潟における土砂収支

栗山 善昭
橋本 孝治

独立行政法人 港湾空港技術研究所

Independent Administrative Institution,
Port and Airport Research Institute, Japan



目 次

要 旨	3
1. はじめに	4
2. 干潟の地形変化	4
2.1 解析領域および解析データ	4
2.2 平面図の比較	5
2.3 縦横断面図の比較	5
2.4 土量変化	8
3. 沿岸漂砂量	8
3.1 波浪データの概要	8
3.2 沿岸漂砂量の推定方法	8
3.3 沿岸漂砂量の推定結果	11
4. 白川からの流出土砂量	11
4.1 河川流量データの概要	11
4.2 河川流出土砂量の推定方法	12
4.3 流出シルト量の推定結果	13
5. 土砂収支の検討	13
5.1 土砂収支の検討手法	13
5.2 土砂収支の検討結果	14
5.3 考察	14
6. おわりに	15
謝辞	15
参考文献	15

Sediment budget on an intertidal flat at the mouth of the Shirakawa River, Japan

Yoshiaki KURIYAMA*
Koji HASHIMOTO**

Synopsis

Sediment budgets on an intertidal flat at the mouth of the Shirakawa River in Kumamoto, Japan, where the averaged offshore wave height is 0.33 m and the mean spring tidal range is 4.5 m, were investigated using bathymetry, river discharge and wave data. The investigated period from 1976 to 2002 was divided into four short periods according to the dates when surveys were conducted, and sediment budget quantities during the short periods including the volume changes, the amount of sediment supply from the river and the sediment transport rate due to waves and tidal currents were estimated. The estimated sediment budget quantities with large sediment supply from the river significantly differed from those with less sediment supply, and the development and decay of the flat strongly depended on the amount of sediments discharged from the river. With large supply from the river of $6.8 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{yr}$ of sediment, which was caused by major floods, the flat had accumulation and the accumulation rate was $3.5 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{yr}$. On the other hand, the flat was eroded at a rate of $2.5 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{yr}$ with little supply from the river of $0.8 \times 10^5 \text{ m}^3/\text{yr}$ of sediment.

Key Words: intertidal flat, river mouth, sediment budget, field data

* Head, Littoral Drift Division, Marine Environment and Engineering Department

** Trainee, Littoral Drift Division (Alpha Hydraulic Consultants Co. Ltd.)

Nagase 3-1-1, Yokosuka, Kanagawa 239-0826, Japan

Phone : +81-46-844-5045 Fax : +81-46-841-9812 e-mail: kuriyama@pari.go.jp

熊本県白川河口干潟における土砂収支

栗山 善昭*
橋本 孝治**

要 旨

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。しかしながら、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く、その知見の蓄積が求められている。

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および波浪データや河川流量データを基に、白川河口干潟の土砂収支（解析領域内の土量変化、波による沿岸漂砂量、河川からの流出土砂量）を検討した。その結果、干潟の地形変化は河川からの流出土砂量によって大きく異なることが明らかとなった。大規模な出水があった場合には、年平均で約35万 m^3 の土砂流出に対して、白川から約68万 m^3 の流入があったため解析領域で約34万 m^3 の堆積が生じた。一方、大規模な出水がなかった場合には、白川から流出土砂量が約8万 m^3 であるため解析領域で約25万 m^3 の侵食が生じる結果となった。

本研究成果は、河口域に広がる干潟の保全計画や干潟造成の際の土砂管理に役立つものと考えられる。

キーワード：干潟，河口，土砂収支，現地観測

* 海洋・水工部漂砂研究室長

** 海洋・水工部漂砂研究室研修生（㈱アルファ水工コンサルタンツ）
〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1 港湾空港技術研究所
電話：046-844-5045 Fax：046-841-9812 e-mail:kuriyama@pari.go.jp

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(古川ら, 1999), 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, 内山(2000), 内山(2001), Uchiyamaら(2001)は, 千葉県盤州干潟における現地観測より, 浮遊底質濃度は下げ潮時に大きな波浪が来襲し, かつ風の吹送方向と潮汐流の方向が一致したときに大きくなることを示した。滝川ら(1999)は, 熊本県白川河口干潟の河口滞筋部における現地観測より, 白川河口では水深, 流速が同程度であっても水面付近では上げ潮時の浮遊底質濃度のほうが下げ潮時のそれよりも大きいことを示した。さらに, 横山・宇野(2001)は同干潟の沖合, 河口, 河道内で流れ, 濁度, 塩分などの観測を行い, 沖合と河口では潮の満ち引きで流速が増大するときと強風時に濁度が増大することを明らかにした。底質移動に関しては, Bassoulletら(2000)やDyerら(2000), Christieら(2001)がヨーロッパの泥質干潟において波, 流れ, 浮遊底質濃度などの現地観測を行い, 卓越する潮汐流(満ち潮もしくは引き潮)にかかわらず, 波浪が大きいときには沖向きの浮遊底質フラックスが卓越し, 波が小さい時には岸向きの浮遊砂フラックスが卓越することを示した。また, 古川ら(2000)は千葉県盤州干潟において波, 流れ, 濁度などを観測し, 風速が8m/sを越えると風に起因する波浪により底泥が浮遊すること, 底泥浮遊フラックスは吹送流の方向と一致することを明らかとした。

干潟の地形変化に関してはKirbyら(1993)が北アイルランドにおける現地データを基に干潟地形が1年周期で変動していることを示した。Allen・Duffy(1998)は, イギリスのSevern Estuary内では波が大きくなるにしたがって地盤高さは低くなる傾向にあること, エスチュアリの外側では潮汐振幅が大きくなるにつれて地盤高さは高くなるのに対してエスチュアリの内側では潮汐振幅が大きくなるにつれて地盤高さは低くなることを示した。

中・長期の地形変化に関しては, 古川ら(2000)が千葉県盤州干潟における地形測量結果を基に, 場所によっては7年間に1m近い変動があるものの地形形状はそれほど変化していないことを示した。さらに, 宇多ら(1998)は, 千葉県盤州干潟の形状が流入河川である小櫃川の河口中心線に対して非対称であり, これは河口中心線に対する波浪エネルギーフラックスの非対称性で説明できることを示した。滝川ら(1999)は, 熊本県白川河口干潟における1973年から1997年までの4回の測量結果を基に, 白川河口干潟のデルタが1978年から1990年にかけて堆積

傾向にあったことを示した。一方, Roberts・Whitehouse(2001)やPritchardら(2002)は干潟の地形変化に与える潮汐の振幅や潮汐流の流速波形の非対称性の影響を数値シミュレーションモデルにより検討し, 潮汐の振幅が大きくなるほど, また, 潮汐流の流速波形が非対称になるほど干潟の海底勾配が急になることを示した。

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における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測量データおよび波浪データや河川流量データを基に, 白川河口干潟の土砂収支を検討した。

2. 干潟の地形変化

2.1 解析領域および解析データ

解析対象である熊本県白川河口干潟の位置と解析対象領域を図-1に示す。解析対象領域は, 熊本港右岸側に発達する白川河口干潟で沿岸方向3.5km, 岸沖方向4.0kmの範囲である。白川河口干潟における潮位差は4.5mである。

解析対象領域における深淺測量は, 国土交通省熊本港湾・空港整備事務所によって, 1976年から2003年までの期間に合計8回行われた。測量データは, 沿岸方向および岸沖方向ともに100m間隔のデジタルデータとして整理されている。また, 測量データの鉛直座標系は, 熊本港のD.L.を基準面にして, そこから上向きが正(地盤高)と定義されている。解析に用いた測量データを図-2に示す。解析領域内の地盤高は, 約D.L.+3mからD.L.-6mの範囲にある。また, 滞筋は沿岸距離1.0kmから1.5kmの範囲に形成されているのが分かる。

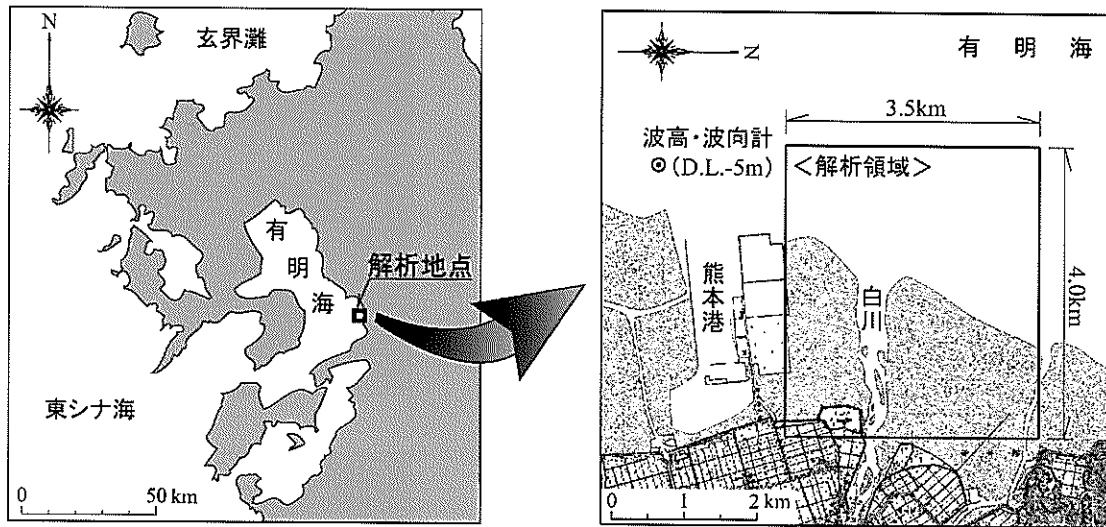


図-1 解析地点と解析領域

2.2 平面図の比較

図-3は各期間における地形変化の平面分布を示したものである。赤は堆積領域を、青は侵食領域を示している。これらの図より、1978年10月～1997年8月に生じた堆積は、主として干潮時の河口部で生じているのが分かる。変化量としては2m前後である。2002年6月～2002年8月にかけては、L.W.Lより上方で堆積領域が広がっている。その他の期間では侵食領域が広く分布し、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、解析領域内でほぼ一様に生じている。

図-4は地形変動の標準偏差を、図-5は地形変化のトレンドを示したものである。図中の等深線は平均地盤高のものである。図-4を見ると、干潮時の河口部および滞筋部で偏差は大きく、最大偏差は1.6m程度になっている。それ以外の領域における偏差は0.1m～0.2m程度であり、地形変動は小さいことを示している。図-5に示すトレンドを見ると、干潮時の河口部で0.1m/yr前後の堆積領域が分布している。また、白川右岸側でL.W.Lより上方で侵食領域が分布しているが、その侵食速度は小さい。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。これらの結果より、白川河口干潟では、堆積時に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、侵食時には全領域で一様に侵食が生じるものの(図-3)、長期的な傾向で見ると河川流出土砂の影響が小さい干潟右側で緩やかな侵食が生じる結果となった。

2.3 縦横断面図の比較

各測線毎の縦断・横断の重ね合わせから、干潟地形の

経年的な変化について考察した。図-6に縦断面図の比較を図-7に横断面図の比較をそれぞれ示す。

図-6より断面勾配を推定すると、L.W.Lより上方では概ね1/800となっている。一方、L.W.Lより下方では沿岸方向の位置によって断面勾配は異なる。勾配が最も急な箇所は滞筋周辺であり、1/150から1/200程度となっている。その他の断面では、沿岸距離500mおよび2000m付近で1/500程度であり、沿岸距離3000m以降ではL.W.Lより上方と同様の1/800程度である。全ての断面で生じた1978年10月～1997年8月の堆積後の断面勾配を見てみると、堆積前の断面勾配とほぼ同様であることが伺える。このことから、白川河口干潟では、断面形状を維持した地形変化が生じていると言える。

続いて、干潟地形の経年変化について縦断面図の比較から考察する。L.W.Lより上方では比較的、地形変化は小さい。ただし、滞筋が存在する沿岸距離1200mの断面では、滞筋の変動に伴う地形変化が大きく現れている。L.W.Lより下方の地形変化を見ると、沿岸距離1000m～2000mにかけての断面で土砂の堆積が顕著に生じているのが分かる。この土砂の堆積によって1978年10月～1997年8月の期間で、干潟は沖合へ約500m前進している。一方、河口部から離れるにつれて堆積傾向は小さくなり、沿岸距離3000mの断面では、顕著な地形変化が生じていない。このことから、河口部から2km程度離れると河川流出土砂の影響は小さくなるものと推察される。

次に、横断面図の比較(図-7)から干潟の地形変化について考察する。岸沖距離500m～1500mにおける断面では、滞筋が変動する程度で、土砂の堆積や侵食はほとんど生じていない。岸沖距離2500mの断面では、滞筋部を中心

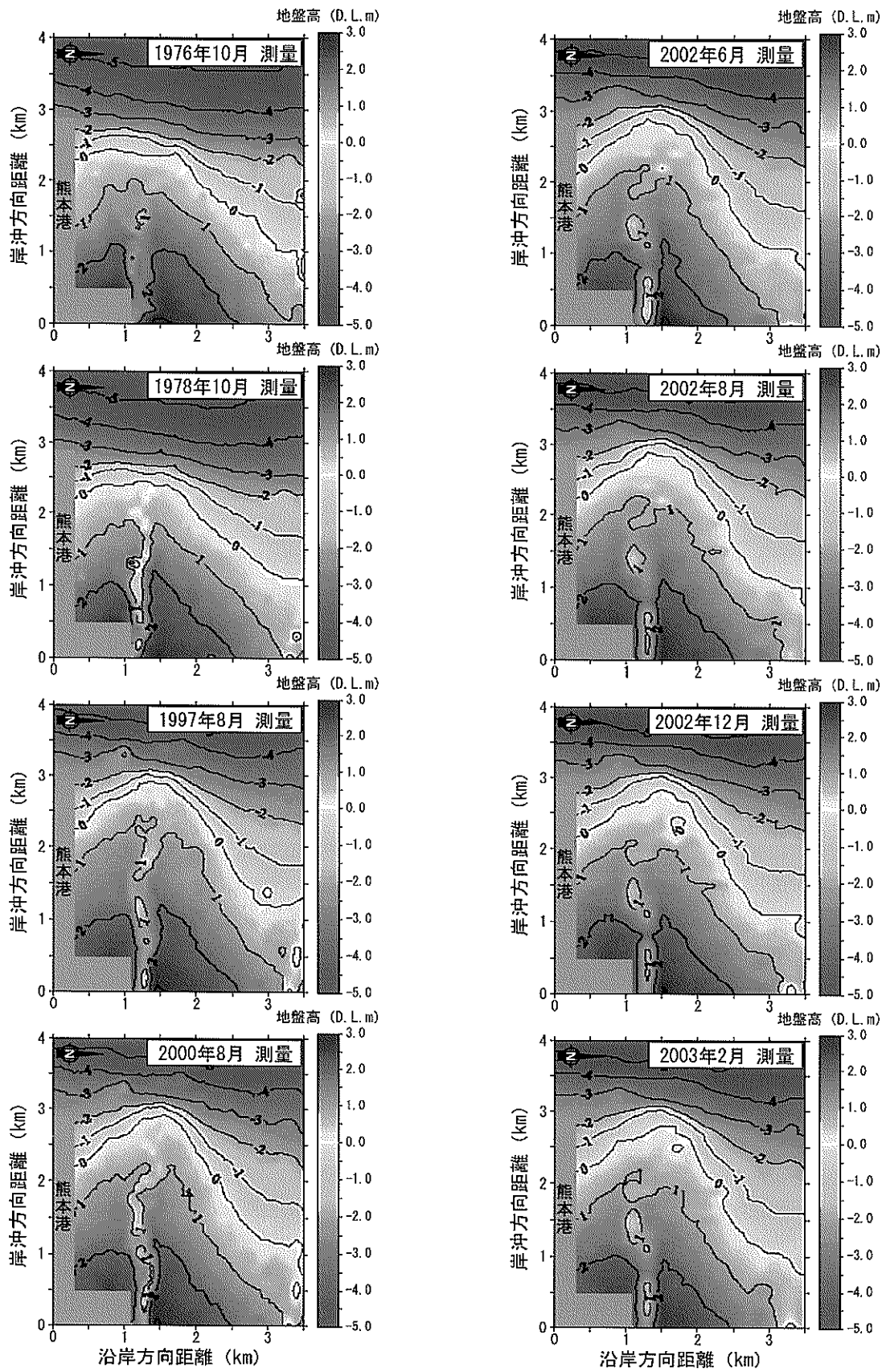


図-2 測量データ

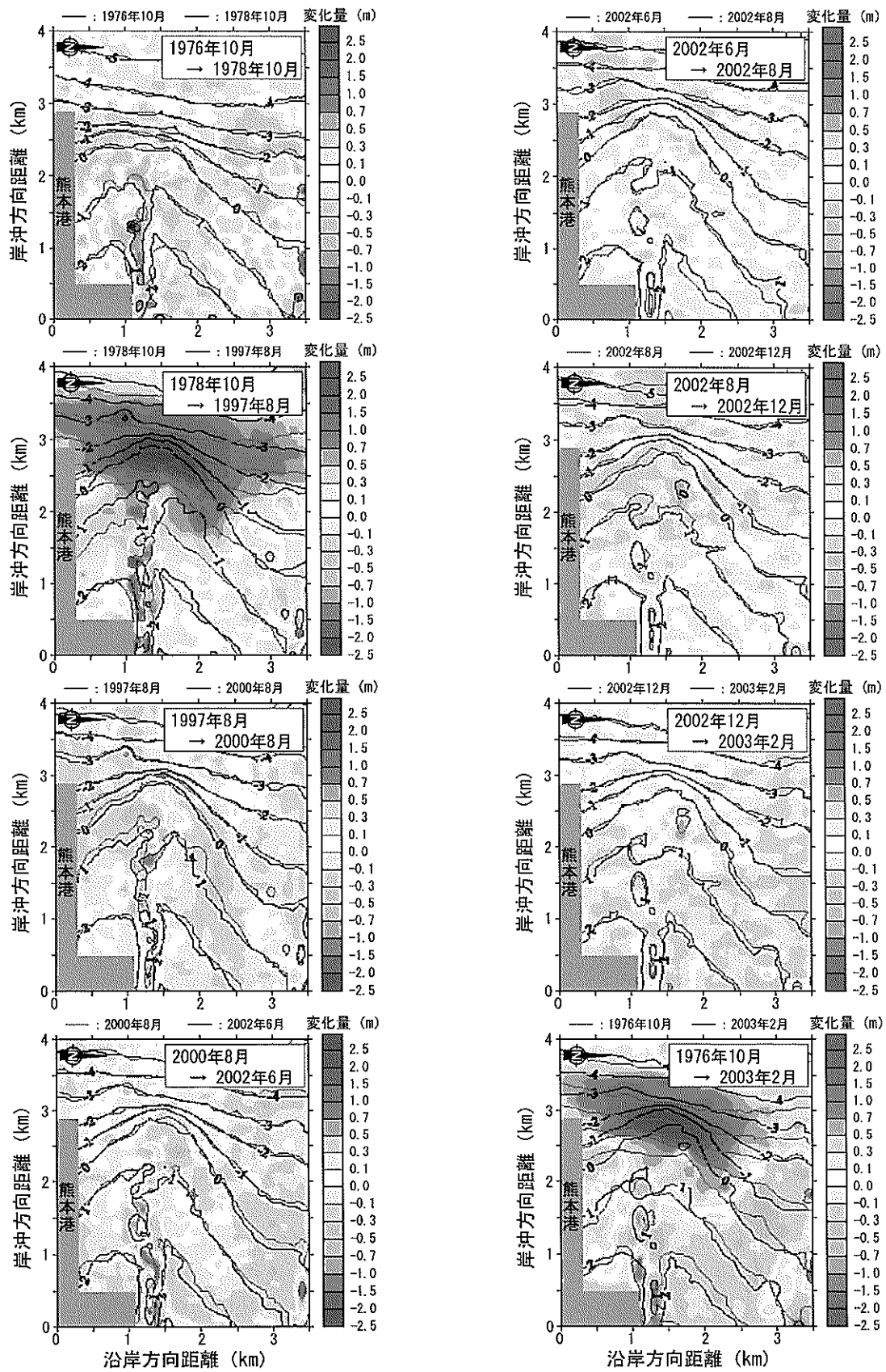


図-3 各期間における地形変化の平面分布図

とした沿岸距離500m~2000mの領域に土砂が堆積している。特に滞筋右側の領域で大きな堆積が見られる。岸沖距離3000mの断面においても、1978年10月~1997年8月にかけて滞筋右側の領域で土砂は大きく堆積している。しかし、岸沖距離3500mの断面を見てみると、局所的な土砂の堆積は見られず、緩やかに一様に土砂は堆積している。また、岸沖距離4000mの断面では、土砂の堆積はほとんど生じていない結果となっている。これより、白川河口干潟の地形変化は、D.L.-5m以浅の領域で顕著であると推察される。

2.4 土量変化

解析領域を4つの小領域に分割し(図-8)、各小領域ならびに解析領域全域における土量変化を算出した。図-9は、1976年10月の地形を基準としてときの解析領域の土量を示したものである。1978年10月~1997年8月にかけては解析領域全体で約650万 m^3 、年平均に換算すると34.1万 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25万 m^3/yr の侵食が生じている。小領域LとRとを比較してみると、小領域Rの方が変化土量が大きく、白川右岸側の方が堆積傾向は強いことを示している。2002年6月以降の土量変化を見ると、6月から8月にかけては堆積を示し、それ以降では侵食を示しており、季節的な変動が存在しているようである。

3. 沿岸漂砂量

3.1 波浪データの概要

続いて、本領域における土砂収支を検討するために、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-1に示す通りで、観測水深はD.L.-5mである。入手した波浪データは1980年1月~2003年3月までである。しかし、1995年以前では取得率が低く、50%以下となる月が大部分を占めている(図-10)。また、波向観測は2000年から開始されており、それ以前のデータには波向の情報が含まれていない。

図-11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年変化を示したものであり、図-12はその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。また、波向は夏期でW方向に変動するが、概ねWNW方向である。経年変化を見てみると、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、波向観測が始まった2000年以降の波浪データか

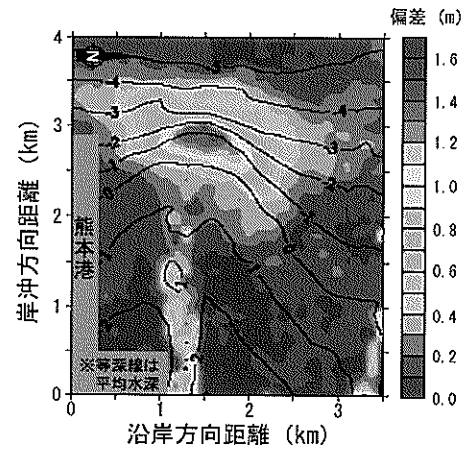


図-4 地形変動の標準偏差

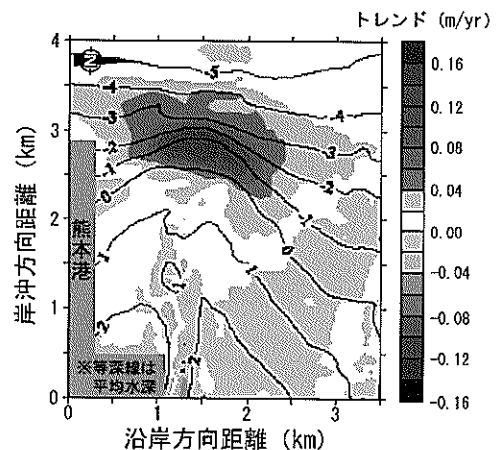


図-5 地形変化のトレンド

ら算出される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。

3.2 沿岸漂砂量の推定方法

沿岸漂砂量は、図-13に示すように、解析領域の右側境界(P_1)および左側境界(P_2)の2点で算出した。右側境界における沿岸漂砂量算定地点(P_1 地点)はL.W.L.の汀線位置と陸側境界との中間のD.L.+0.5mに位置しており、左側境界の算定地点(P_2 地点)も右側境界と同様にD.L.+0.5mに位置している。左側境界に関しては、現在、熊本港の防波堤がD.L.約-2mの地点まで延伸されていることから、防波堤先端をまわって南側へ移動する土砂量はごく僅かであると考えられる。そこで、熊本港がある程度整備された1993年以降における左側境界の沿岸漂砂量は0であると推定した。

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。砕波指標としては不規則波に対す

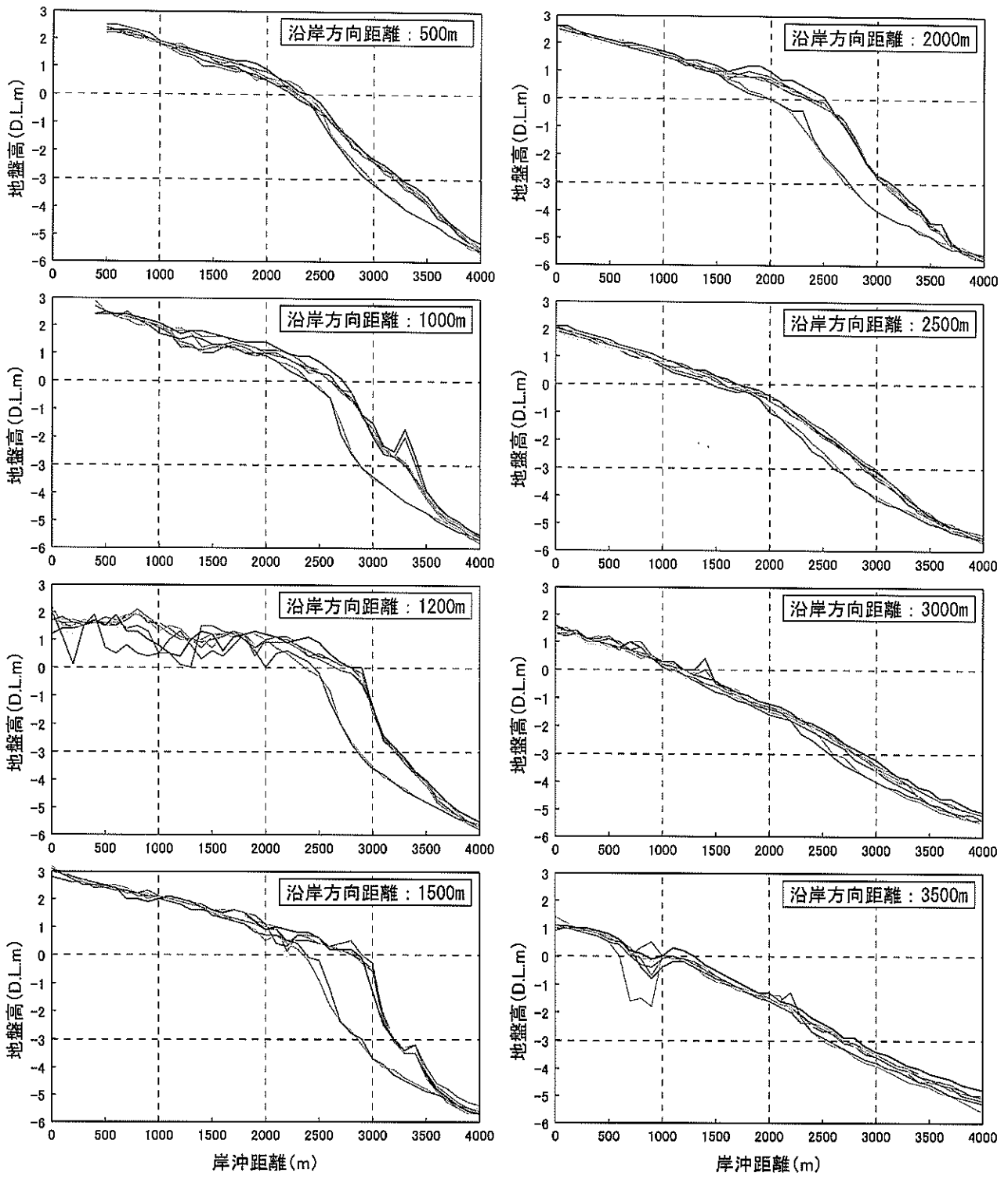
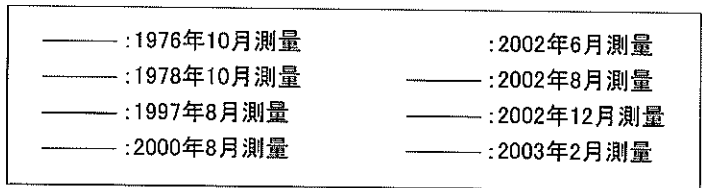


図-6 縦断図の比較

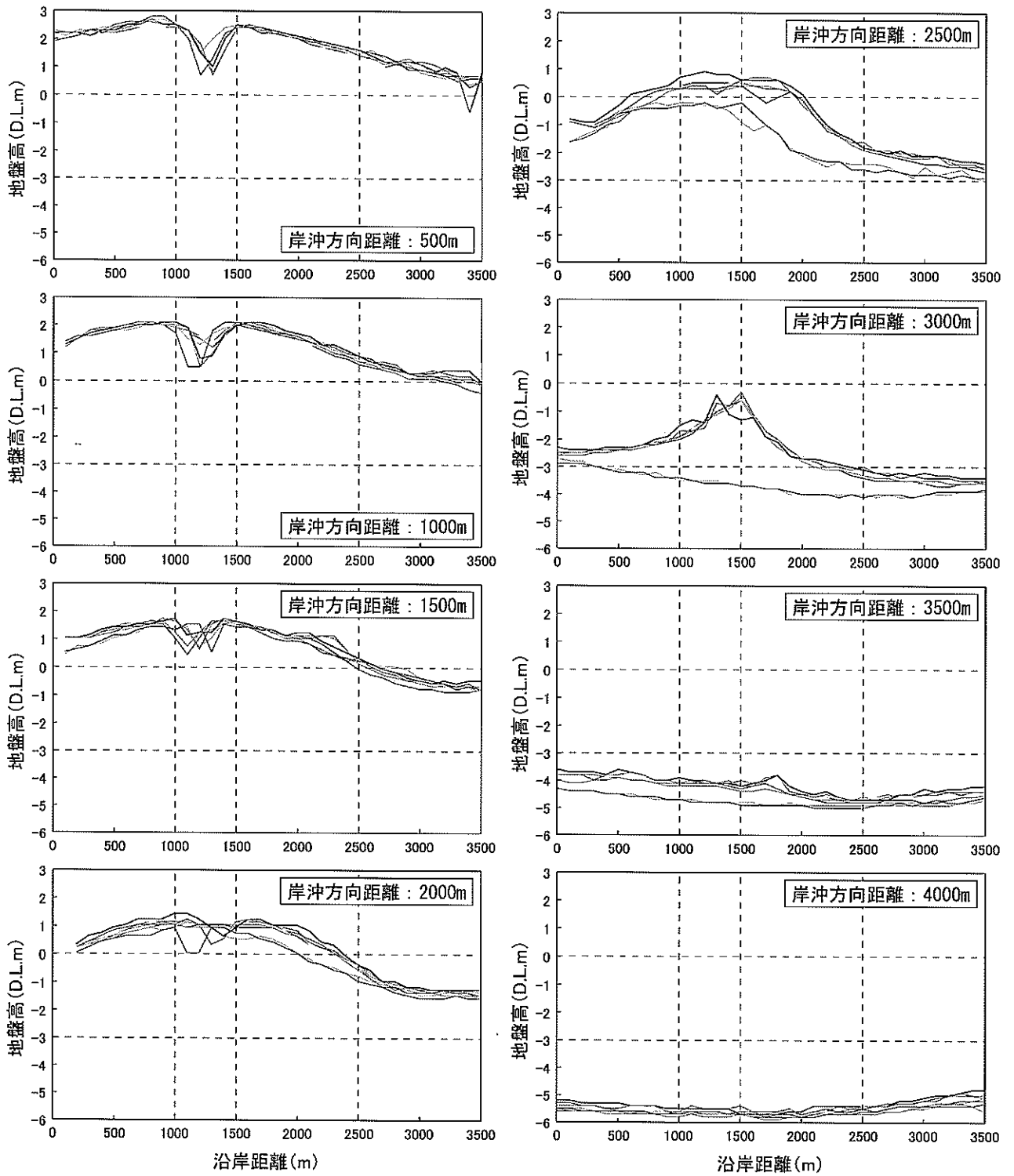
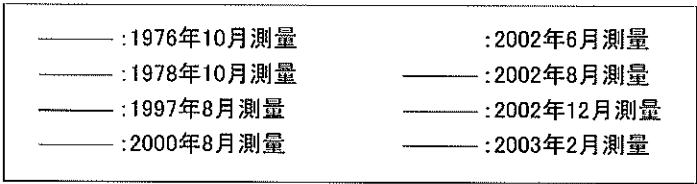


図-7 横断図の比較 (沿岸距離 1000m~1500m は滞筋領域である)

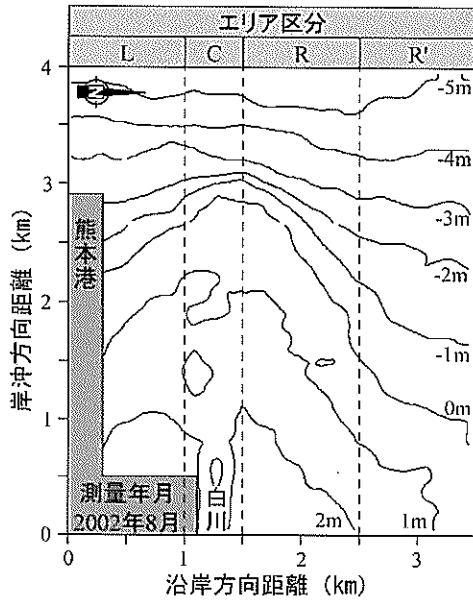


図-8 小領域の位置

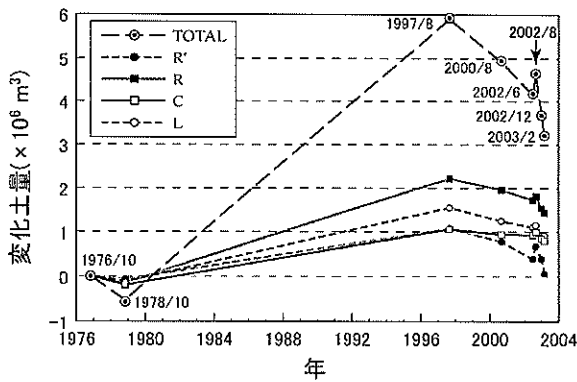


図-9 解析領域における土量変化

る合田の算定図(合田, 1990)を用いた。そして、次式から沿岸漂砂量を推定した。

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

ここで、 ρ_s は底質の密度、 ρ_w は海水の密度、 g は重力加速度、 λ は空隙率(=0.4)であり、下付の b は砕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 P_1 、 P_2 地点の等深線の向きを用いた。

3.3 沿岸漂砂量の推定結果

表-1に沿岸漂砂量の推定結果を示す。右側境界(P_1)においては、砕波波高が0.33m、砕波点における波向線と汀線直角方向とのなす角度が 3.8° と計算され、これより沿岸漂砂量は $1.3 \text{万m}^3/\text{yr}$ と推定された。一方、左側境界(P_2)においては、砕波波高が0.30m、砕波点における

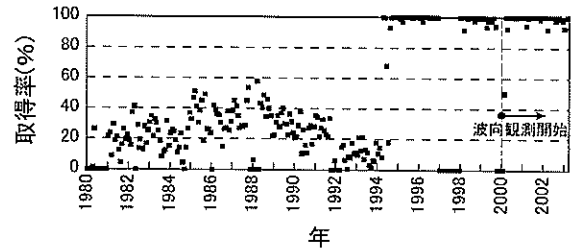


図-10 熊本港沖の波浪観測における取得率

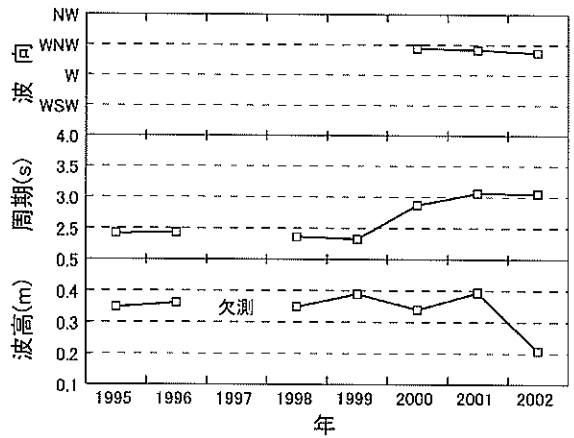


図-11 熊本港沖の波浪諸元の経年変化

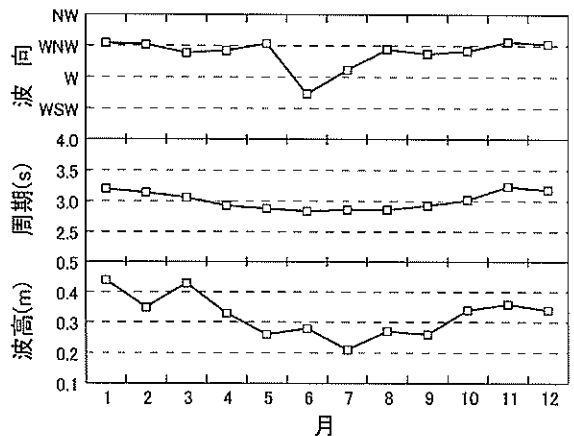


図-12 熊本港沖の波浪諸元の月別変動

波向線と汀線直角方向とのなす角度が 28.1° と計算され、これより沿岸漂砂量は $6.6 \text{万m}^3/\text{yr}$ と推定された。

4. 白川からの流出土砂量

4.1 河川流量データの概要

図-14は、白川河口から約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-15は1976年以降の平均流量、最大流量を示したものである。1年の変動

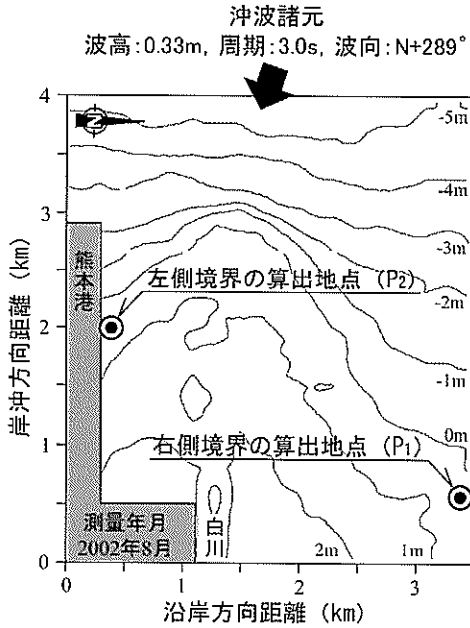


図-13 波浪諸元と干潟地形との関係と沿岸漂砂量算出地点

表-1 波浪による沿岸漂砂量の推定値

算出地点	P ₁ (右側境界)	P ₂ (左側境界)
碎波波高(m)	0.33	0.30
碎波点の波向(°)	N+292.2	N+268.1
汀線の向き		
沿岸漂砂量(万m ³ /yr)	1.3	6.6

を見てみると波浪とは対称的に河川流量は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。

表-2は、大規模な出水状況を把握する目的で、1976年～2000年における流量1000m³/s以上の発生日時と継続時間およびその間の最大流量を示したものである。1990年～1995年の期間における発生件数は7回であり、他の期間に比べ出水の発生が多くなっている。また近年では、1997年7月以降（2000年まで）に大規模な出水は発生していないことが分かる。

4.2 河川流出土砂量の推定方法

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成分はほとんどがシルト、粘土であり、図-3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

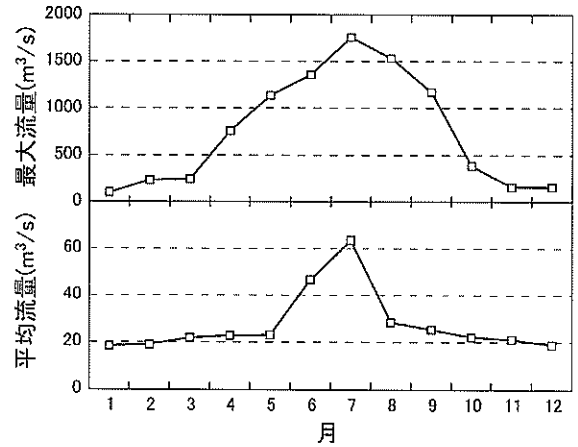


図-14 白川における流量の月別変動

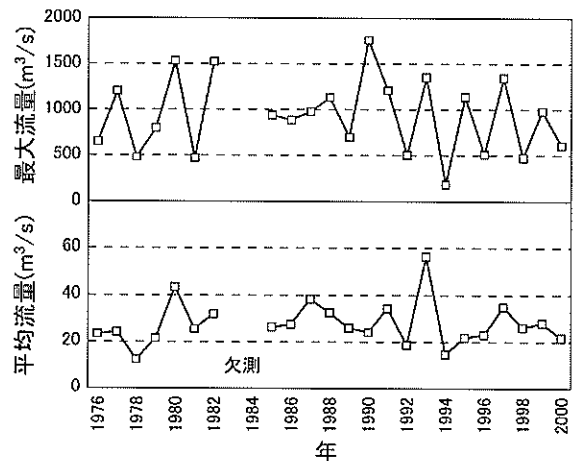


図-15 白川における流量の経年変化

表-2 白川における河川流量1000m³/s以上の発生状況

発 生 日 時	継続時間 (h)	最大流量 (m ³ /s)
1977年 6月 16日 6時	2	1203.64
1980年 7月 30日 17時	2	1132.28
1980年 8月 30日 8時	5	1534.18
1982年 7月 24日 15時	13	1526.88
1990年 7月 2日 14時	13	1760.54
1991年 6月 30日 23時	6	1216.48
1993年 6月 18日 14時	8	1357.44
1993年 7月 4日 21時	3	1035.50
1993年 7月 18日 1時	1	1128.41
1993年 9月 3日 24時	2	1170.99
1995年 7月 3日 15時	3	1141.48
1997年 7月 10日 16時	6	1348.96

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

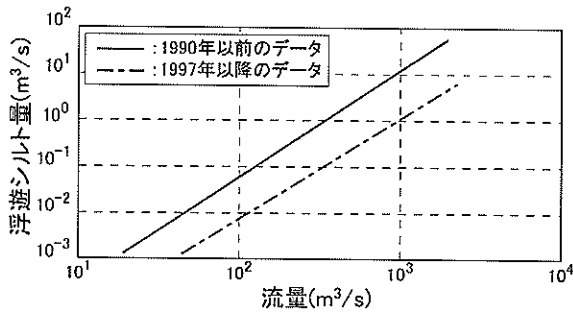


図-16 白川における流量と浮遊シルト量との関係

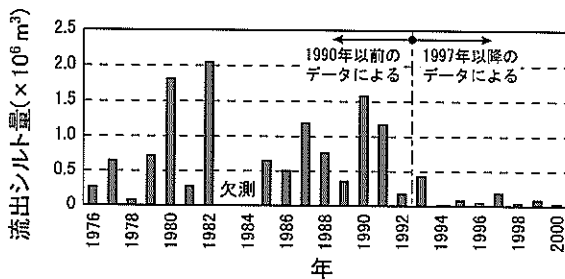


図-17 白川からの流出シルト量の経年変化

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浮遊土砂量が約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流出シルト量を推定した。末次ら(2002)に示されているデータを基に、河川流量と浮遊土砂量との関係を求めたところ、1992年以前と1993年以降の関係式としてはそれぞれ式(2)、(3)が求まった。図-16はそれらの関係式を示したものである。

$$Q_{s,1} = 1.452 \times 10^{-6} Q^{2.305} \quad (2)$$

$$Q_{s,2} = 3.482 \times 10^{-7} Q^{2.165} \quad (3)$$

ここで、 $Q_{s,1}$ は1992年以前のシルトの流出量、 $Q_{s,2}$ は1993年以降のシルトの流出量、 Q は流量である。

4.3 流出シルト量の推定結果

図-17は上記の方法で求めた流出シルト量の経年変

表-3 期間別地形変化量の実測値

期 間	地形変化量(空隙を含む体積)	
	期間計(万m³)	年平均(万m³/yr)
1976年10月 ～1978年10月	-53.1	-26.6
1978年10月 ～1997年8月	643.1	34.1
1997年8月 ～2000年8月	-96.7	-32.2
2000年8月 ～2002年8月	-27.7	-13.9

表-4 白川における期間別流出シルト量の推定値

期 間	流出シルト量(空隙を含まない体積)	
	期間計(万m³)	年平均(万m³/yr)
1976年10月 ～1978年10月	74.2	37.1
1978年10月 ～1997年8月	1396.3	74.1
1997年8月 ～2000年8月	23.2	7.7
2000年8月 ～2002年8月	20.2	10.1

化を示したものである。なお、流出シルト量は、毎時の河川流量データから算出した。また、河川流量データが欠測の期間については1992年以前と1993年以降のそれぞれの月毎の平均流量を用いた。

流出シルト量が最大となった年は1982年であり、約200万m³の流出量と算出される。1993年以降を見てみると、算定式が変わったことや大規模な出水が少なくなったことから、流出シルト量は非常に小さな値となっている。

5. 土砂収支の検討

5.1 土砂収支の検討手法

ほぼ同じ季節に取得された5枚の深淺図(1976年10月、1978年10月、1997年8月、2000年8月、2002年8月)を基に、解析領域における土砂収支図を検討する。

表-3は各期間毎の変化土量と年平均の値を示したものである。土砂が堆積したのは1978年10月～1997年8月の期間のみであり、年平均で34.1万m³/yrの堆積となっている。それ以外の期間では、約15万m³/yr～30万m³/yrの侵食である。

表-4は各期間毎の流出シルト量と年平均の値を示したものである。干潟地形で堆積が生じた1978年10月～1997

年8月の期間における流出シルト量は1396.3万m³、年平均74.1万m³/yrと推定された。一方、干潟で侵食が生じたそれ以降の期間では、10万m³/yr程度の流出量と推定された。

土砂収支の検討では、地形変化に寄与する白川からの流出土砂量は、前述したように、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、表-5に示す実測の地形変化量と推定された白川からの流出シルト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底質の連続式から導かれる以下の式で仮定し、この底質の連続式から導かれる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未知数である a 、 Q_0 を最小二乗法によって求めた。

$$Q_r = aQ_s - Q_L - Q_0 \quad (4)$$

ここで、 Q_r は地形変化量、 Q_s は白川からの流出シルト量、 Q_L は沿岸漂砂量による土砂流出量、 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て推定するため、河川からの流出シルト量としては、空隙率で補正した値を用いた。

5.2 土砂収支の検討結果

計算の結果、 $a=0.55$ 、 $Q_0=35.1$ 万m³/yrとなった。図-18は実測の地形変化量と式(4)より推定された地形変化量を比較したものであり、図-19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。干潟地形の変化は河川流出土砂量に大きく依存していることから、本検討では大規模な出水が生じた場合と生じなかった場合の2ケースについて土砂収支図を作成した。

図-19(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)が大規模出水が無かったとき(1997年～2002年)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35万m³の土砂流出に対して、白川から約68万m³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8万m³であるため解析領域で侵食が生じる結果となった。

なお、干潟における地形変化は、特に堆積時において

表-5 各移動土砂量の一覧

算出期間	土砂量(万m ³ /yr, 空隙を含む体積)			
	Q _v	Q _s	Q _L (P ₁)	Q _L (P ₂)
1976年10月 ～1978年10月	-26.6	61.8	1.3	6.6
1978年10月 ～1997年8月	34.1	123.5	1.3	5.0
1997年8月 ～2000年8月	-32.2	12.8	1.3	-
2000年8月 ～2002年8月	-13.9	16.8	1.3	-

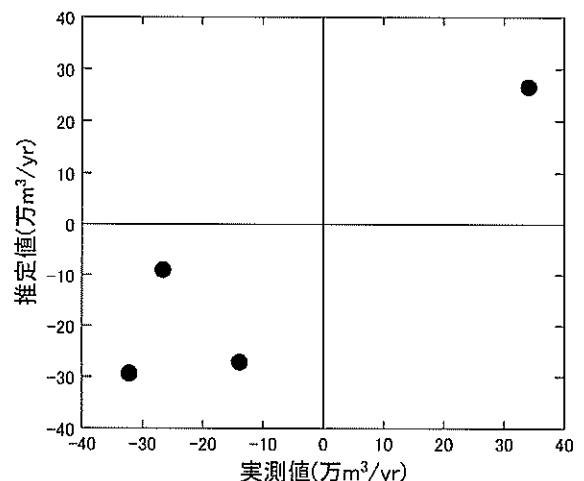


図-18 変化土量に関する実測値と推定値との比較

時間変動の大きい河川からの流出土砂量の影響を強く受けるため、ここで示した平均の値は、この土砂収支が毎年繰り返されるわけではなく、あくまで、ある期間内の平均の値を示しているにすぎない。

5.3 考察

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は長期の地形変化傾向と一致していないことが、図-6より分かる。しかしながら、本検討では2001年以降の河川流量データを取得していないことから、出水等の影響を検討することは困難である。河川流量データ取得後、地形変化と河川流量の短期的な変動特性を解析する予定である。

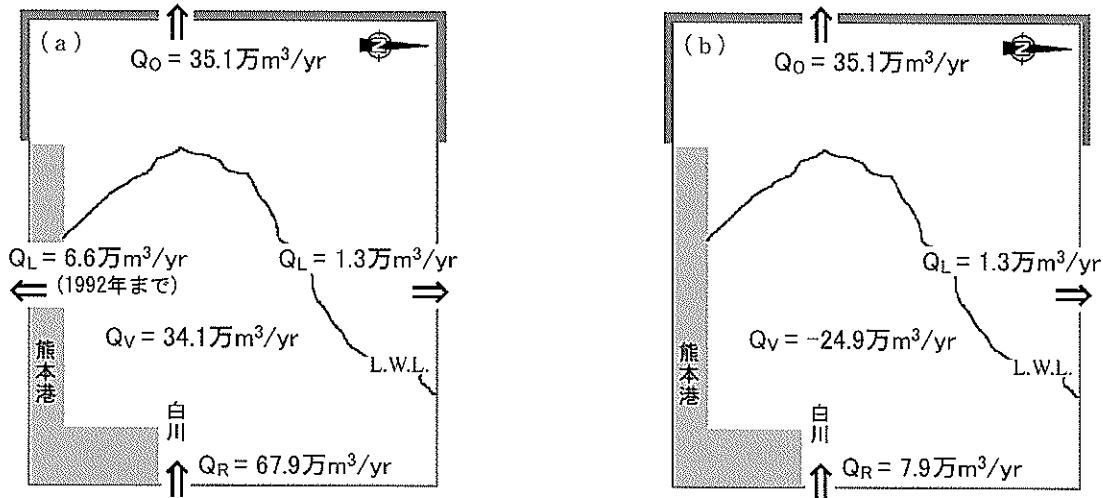


図-19 白川河口干潟における土砂収支。(a) 大規模出水があった場合、(b) 大規模出水がなかった場合

上記項目以外の今後の課題としては、以下の点が挙げられる：①潮流の考慮、② Q_0 の妥当性の検討、③地形変化に寄与する砂とシルトの割合の検討、④ a の妥当性の検討。課題①に関しては、遠浅でしかも潮位差の大きい干潟海岸では潮流が地形変化に大きな影響を与えると考えられるので、課題②に対する検討も含めて、数値シミュレーションモデルなどによる潮流での土砂移動量の検討を行っていく予定である。課題③に対しては、2002年度には短い時間間隔で深淺図が取得されており、大量のシルトが河川から流出する出水直後の地形データが含まれている可能性が高いので、流量データが得られ次第、2002年度の地形データを用いて地形変化に及ぼすシルトの影響を検討する予定である。課題④の検討にあたっては、河川における底質移動の数値シミュレーションモデルが必要になると考える。

6. おわりに

広域かつ長期の深淺データおよび波浪データや河川流量データを基に、熊本白川河口干潟の土砂収支を推定した。その結果、干潟の地形変化は河川からの流出土砂量によって大きく異なることが明らかとなった。大規模な出水があった場合には、年平均で約35万 m^3 の土砂流出に対して、白川から約68万 m^3 の流入があったため解析領域で約34万 m^3 の堆積が生じた。一方、大規模な出水がなかった場合には、白川から流出土砂量が約8万 m^3 であるため解析領域で約25万 m^3 の侵食が生じる結果となった。この結果は、大規模な出水が無い場合には干潟が縮小する傾向にあることを示しており、今後、白川河口干潟のモ

ニタリングを適切に行い、その地形変化を把握することが大切であると考えられる。

なお、本研究において、栗山は研究方針の作成と第1章、第6章の執筆を行い、橋本はデータの解析ならびに第2章～第5章の執筆を行った。

(2003年11月11日受付)

謝辞

本論文の作成あたり、熊本大学滝川清教授、当所佐藤恒夫海洋・水工部長、中村聡志底質環境研究室長、中川康之主任研究官より有益な助言をいただいた。また、深淺データ、波浪データは国土交通省九州地方整備局熊本港湾・空港整備事務所に提供していただき、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，333p.

- 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, 169p.
- 滝川 清・鈴木敦巳・古川憲治・大本照憲・山田文彦 (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・藤野智亮・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, 30p.
- 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.

港湾空港技術研究所資料 No.1074

2004.3

編集兼発行人 独立行政法人港湾空港技術研究所

発行所 独立行政法人港湾空港技術研究所
横須賀市長瀬3丁目1番1号
TEL. 046(844)5040 URL. <http://www.pari.go.jp/>

印刷所 有限会社 黎明社

Copyright © (2004) by PARI

All rights reserved. No part of this book must be reproduced by any means without the written permission of the President of PARI.

この資料は、港湾空港技術研究所理事長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部または一部の転載、複写は港湾空港技術研究所理事長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。