

第五章 白川河口域の地形・底質変化

上流から供給された土砂は河口域に堆積し、また潮汐や河川流の影響を受けて再移動している可能性がある。そこで本章では、出水期の直前、出水期直後、出水期から2ヶ月経過した平水時に地形測量と底質の採取をそれぞれ行い、河口干潟の地形・底質変化を明らかにする。

5-1 調査方法

5-1-1 調査時期と項目

図-5-1に2001年4月から2002年3月までの河川流量と濁度を示し、ここに観測時期を記入した。第四章では6月中旬から7月中旬までを出水期と定義したので、地形・底質調査は出水前調査として2001年6月4日～10日に、出水後調査を7月7日～9日に、平水時調査を9月2日～7日にそれぞれ行った。

調査項目は地形測量と底質採取であり、地形測量から地形の変動量を、採取した底質の分析によって粒径の分布状況を求め、それらから粒径別の土砂移動量を算出する。

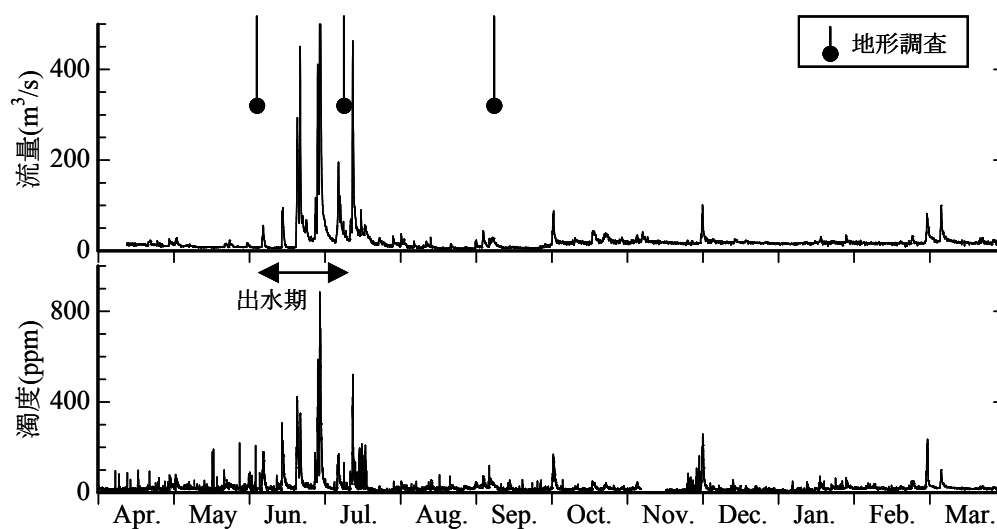


図-5-1 観測実施時期

5-1-2 地形測量

深浅測量は図-5-2 に示すラインで実施した。測量範囲は澁筋の縦断方向に河口より沖合 4km まで、澁筋の横断方向に 2.5km までであり、この範囲内を澁筋の横断方向に 250m 間隔で深浅測量を行った。測線数は 23 本である。

測量には音響測深機（千本電気，PDR101 型，周波数 200kHz）を用い、これを作業船に設置し時速 8km 程度で計測を行った。XY 座標の計測に際し、DGPS の時間と同期させて記録紙に 5 秒ごとにマーカー線を入れた。XY 座標の測定には DGPS（トリングル社，PRO-XR）を使用し、1 秒ごとの緯度・経度データをパソコンに取り込んだ。

計測後、音響測深機の放電紙に記録された水深を読み取り、DGPS によって得られた位置座標データと併せて水深データを作成した。さらに、河口 0km の水位と沖合 5km で熊本港湾工事事務所により観測されている潮位から、両地点での水面勾配を考慮して測量船の水面標高を求め、水深データを地形標高データに換算した。

なお、作業船による深浅測量では、計測中の船の動揺や、測深機の精度の問題から、誤差が生じる。この補正を後述する方法（5-2 節）で実施し、最終的な地形データを得た。

5-1-3 底質採取

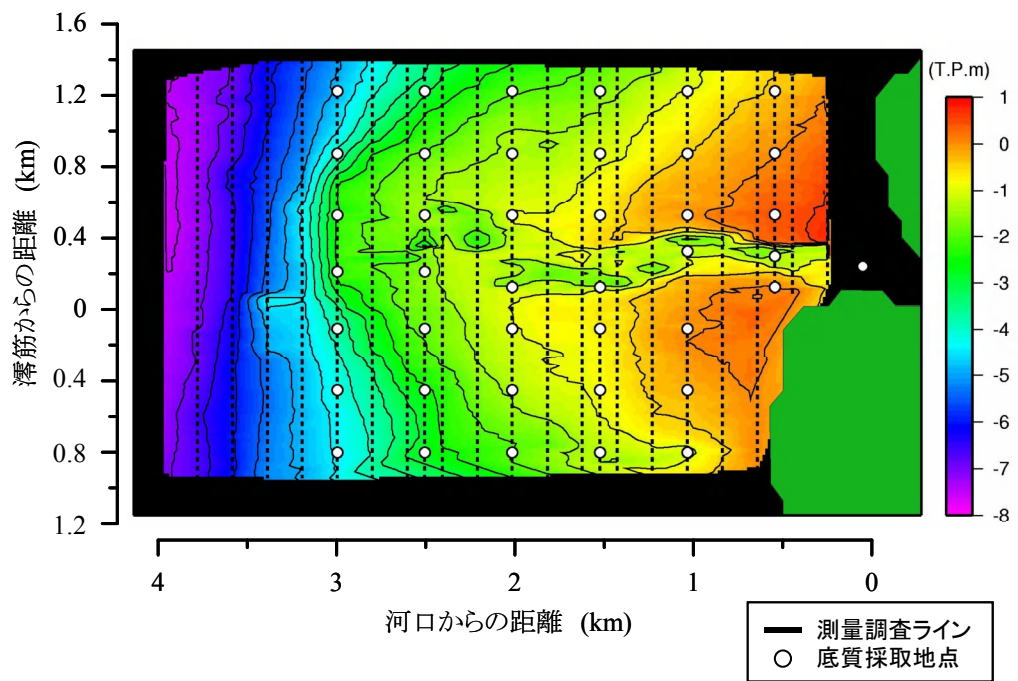
底質採取地点は図-5-2 の丸印である。採取範囲は澁筋の縦断方向に 3km、澁筋の横断方向に 2.5km であり、ここに 500m 間隔の格子状に採取ポイントを取り、合計 47 地点において底質の採取を行った。なお、採取ポイントは測量ライン上に位置するように設定した。

採取方法は、採泥器を用いずにダイバーが直接採取する方法とした。その理由は、本調査に先駆けて実施した事前調査では、エクマンバージ採泥器を使用して底質を採取したが、その際、表層に堆積した浮泥分が水と共に抜け出てしまった。更に、調査地には硬い砂質層も分布するため、採泥器による底質採取は困難であった。

そこで、表層の浮泥を攪乱させずに底質を採取するために、ダイバーが表層 10cm 程度の底質をプラスチック製の容器（600cc）に直接採取する方法をとった。また、採取時には表層の浮泥にスケールをさして、その堆積厚を目視で計測した。

採取した底質は実験室へ持ち帰り、各種土質分析を行った。分析項目は粒度分布、比重、含水比、強熱減量である。粒度分布の測定は、試料を乾燥させた後に、0.075mm 以上についてはふるい分け分析を、0.075mm 以下の試料に対してはレーザー回折式の粒度分布測定装置（島津製作所，SALD3000S）を用いて分析を行った。

これらの結果を粒度分布、代表粒径（D10，D50，D90）、泥分含有率、淘汰係数に整理した。



図－５－２ 測量調査の実施ラインと底質調査地点

5-2 測量データの補正

音響測深による水準測量の精度は5cm程度である。仮に測量範囲(4km×2.5km)の地盤高さが一律に5cmずれていると、50万m³の過大評価となり、かなり大きな量である。この原因は、波浪による測量航走中の船の揺れや、音響測深機の分解能(数cm)などが考えられ、測定技術上は誤差を除去するのは困難である。そこで測量精度を向上させるために、次に示す方法で出水直後の地盤高さを補正する。

出水前後の地形変化に関して、測量データから作成した横断面図の地形変化高と、ダイバーがスケールで直接計測した表層浮泥の堆積厚を比較したところ、測量結果とダイバーの観測結果の間に開きがあった。表-5-1にダイバーによる堆積厚の観察結果と、同じ地点の測量により得られた地形変化高をまとめた。なお、表には後述する補正内容もまとめてある。サンプリング地点の対応はLが干潟左岸、Cが滞筋、Rが干潟右岸を示し、末尾の数値が大きいほど滞筋からの距離が離れていることを示す。

ここで、ダイバーの観察結果を、①底質変化が明瞭な地点、②変化が起こらなかった地点、③底質変化が不明瞭な地点、にそれぞれ分類した。これを模式図に示すと図-5-3のようになる。地形変化現象としては強い流れによって地形が削り取られる作用と、洪水時に上流部から供給された粘土質から砂質の土砂が堆積する作用の2つが考えられる。

滞筋のような流れの強い場所では、水量が増加する洪水の前半では侵食が起こり、水量が低下する後半では土砂が堆積すると推測される。このような場所では、侵食や堆積の過程をダイバーの目視で確認するのは不可能なため、③に相当する。したがって、補正の対象外とした。

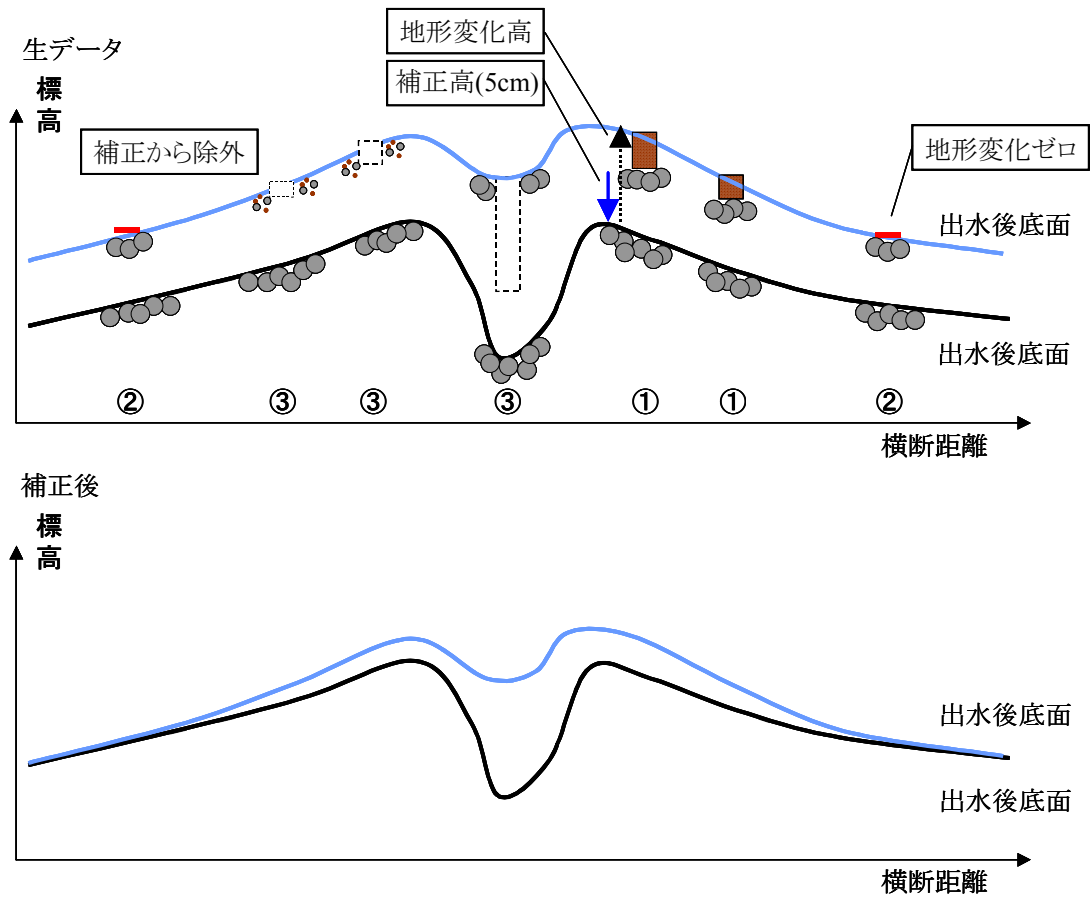
一方、滞筋から離れた干潟のように流れが弱い場所では出水前後で地形が変化しないか、主に泥質が堆積すると推測される。洪水時には粘土質から砂質までの土砂が供給されると考えられるが、砂は泥に比べて沈降速度が速く移動限界も大きいため、流れの弱い場所で砂だけが移動(侵食・堆積)して、泥が移動しないという状況は考えにくい。一方、泥だけが堆積して砂が移動(侵食・堆積)しないという状況は考えられる。

そこで、干潟で砂質の上に泥質のみが堆積したような場所は①に分類し、泥質の堆積厚を地形変化量と見なす。また、砂質が変化しなかった場所は②に分類し、地形変化量をゼロと見なした。また、干潟で砂質から砂泥の互層や砂と泥の混合層に変化した場所や、ダイバーの目視では元の地盤からの変化量が判別できなかったような場所は③に分類し、補正対象から除外した。

以上の整理を表-5-1の各地点について行った結果、表の右欄が得られた。これより、測量による地形変化高と観測結果との差を計算したところ、測量による出水後の変化量が多く地点で過大であった。この結果から、比較対象とした全地点の観測結果と測量結果の差の平均を計算したところ、-4.95cmとなった。したがって、全測量結果に対して一律-5cmの補正を行った。以下で使用する結果は補正後のものである。

表－５－１ 堆積厚の目視結果と測量による地形変化高（左），及び補正量（右）

Site	0.5L3	0.5L2	0.5L1	0.5C	0.5R1	0.5R2	0.5R3	0.5R4
出水前コメント	－	－	軟泥	砂泥(表面浮泥)	砂泥(表面浮泥)	砂泥(表面浮泥)	砂泥(表面浮泥)	砂泥
出水後コメント	－	－	砂泥	砂	軟泥	砂泥(表面浮泥)	砂泥(表面浮泥)	砂泥(表面浮泥)
浮泥測定結果	－	－	－	－	－	0	0	－
測量変化量	－	－	3.01	19.81	1.24	-0.01	2.56	－
地形変化の判定	－	－	③	③	③	②	②	－
実測変化量	－	－	－	－	－	0	0	－
測量変化量	－	－	－	－	－	-0.01	2.56	－
補正高	nd	nd	nd	nd	nd	-0.01	2.56	nd
Site	1.0L3	1.0L2	1.0L1	1.0C	1.0R1	1.0R2	1.0R3	1.0R4
出水前コメント	砂泥	砂泥	砂泥	砂泥	砂泥	砂泥	砂泥	砂泥
出水後コメント	砂泥	軟泥	軟泥	砂泥	軟砂泥	軟砂泥	軟砂泥	砂泥
浮泥測定結果	0	3	5	－	0	0	0	－
測量変化量	0.01	8.42	5.95	48.2	-6.12	-6.97	13.22	－
地形変化の判定	②	①	①	③	①	①	①	－
実測変化量	0	3	5	－	0	0	0	－
測量変化量	0.01	8.42	5.95	－	-6.12	-6.97	13.22	－
補正高	0.01	5.42	0.95	nd	-6.12	-6.97	13.22	nd
Site	1.5L3	1.5L2	1.5L1	1.5C	1.5R1	1.5R2	1.5R3	1.5R4
出水前コメント	砂泥	砂泥	砂泥	砂泥	軟砂泥	砂泥	砂泥	－
出水後コメント	軟泥	軟泥	軟砂泥	軟砂泥	軟泥	軟泥	軟泥	軟泥
浮泥測定結果	3	－	－	－	20	5	10	－
測量変化量	13.11	4.52	6.17	80.21	34.43	22.88	17.95	－
地形変化の判定	①	③	③	③	①	①	①	－
実測変化量	3	－	－	－	20	5	10	－
測量変化量	13.11	－	－	－	34.43	22.88	17.95	－
補正高	10.11	nd	nd	nd	14.43	17.88	7.95	nd



- ①底質変化が明瞭な地点: 出水後に泥質が堆積→堆積厚＝地形変化量
- ②変化が起らなかった地点: 出水前後ともに砂質→地形変化量ゼロ
- ③底質変化が不明瞭な地点: 堆積、侵食が特定できない→補正から除外

図－５－３ 地形変化と特徴と補正の考え方

5-3 出水前後の地形及び底質変化

ここでは、出水前（6月初旬）と出水後（7月初旬）の地形及び底質の変化状況について整理する。

5-3-1 地形変化

測量により得られた出水前後の干潟部等深線の変化図を図-5-4に、干潟部横断面図を図-5-5にそれぞれ示す。これらより、河口から沖合2.5km付近までは遠浅になっており、沖合3km付近から急激に深くなるデルタが形成されていることが分かる。

出水後の地形変化の特徴としては、全体的に堆積傾向で、特に干潟中央部において堆積が顕著であった。

河口0kmから沖合1kmにかけては、等深線図（図-5-4）では、あまり変化していないように見られる。横断面図（図-5-5）によれば、滞筋が0.3~0.5m埋まり、1kmは滞筋の肩がけずれていた。

沖合1kmから3kmにかけては、出水後の等深線が大きく沖合へと前進していることから、この範囲は堆積傾向であった。特に滞筋部周辺の等深線の前進が顕著であり、出水前後の等深線変化が干潟の外側に向かうにつれて小さくなっていることから、滞筋周辺で堆積が顕著であったことがうかがえる。例えば沖合1.5kmでは、横断面図（図-5-5）から滞筋の右岸側の肩部において堆積が顕著であり、地形変化量を読み取ったところ0.2~0.3mの地形上昇が認められた。また、この範囲においては滞筋の形状が出水前後に大きく変化し、滞筋が埋まっていることが見て取れる。

沖合3kmから4kmにかけては、デルタ前面において出水後に堆積傾向であると推測された。また、河口テラスの外縁部においては等深線に大きな変化はないことから、出水前後において目立った地形変化は起こらなかったと推測される。

以上より出水後の河口域の地形変化は、海岸周辺では滞筋が堆積し、その肩部は侵食され、干潟中央部においては0.2~0.3m程度の堆積、沖合部ではほとんど変化が見られなかった。

塚本ら（1999）は過去の測量資料から、白川河口域においてはピーク流量が1,500m³/s以下の出水では、デルタ肩が沖合に前進するほどの地形変化が起こらないと報告している。今年度の出水期のピーク流量が1,100m³/sであったことから、劇的な地形変化は起こらなかったものの、標高にしても0.2~0.3m上昇していた。

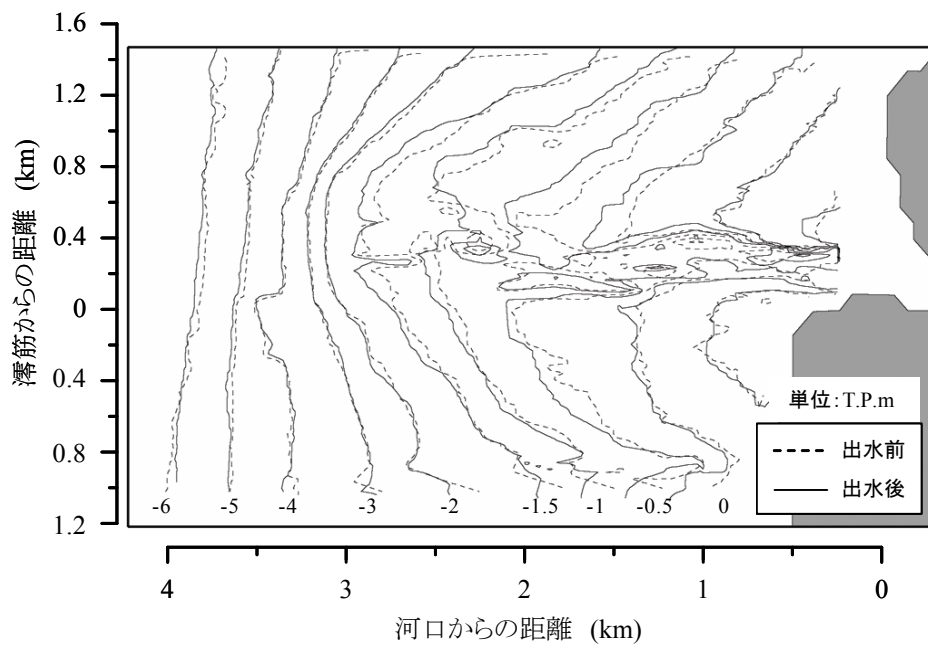


図-5-4 出水前後の干潟部等深線図

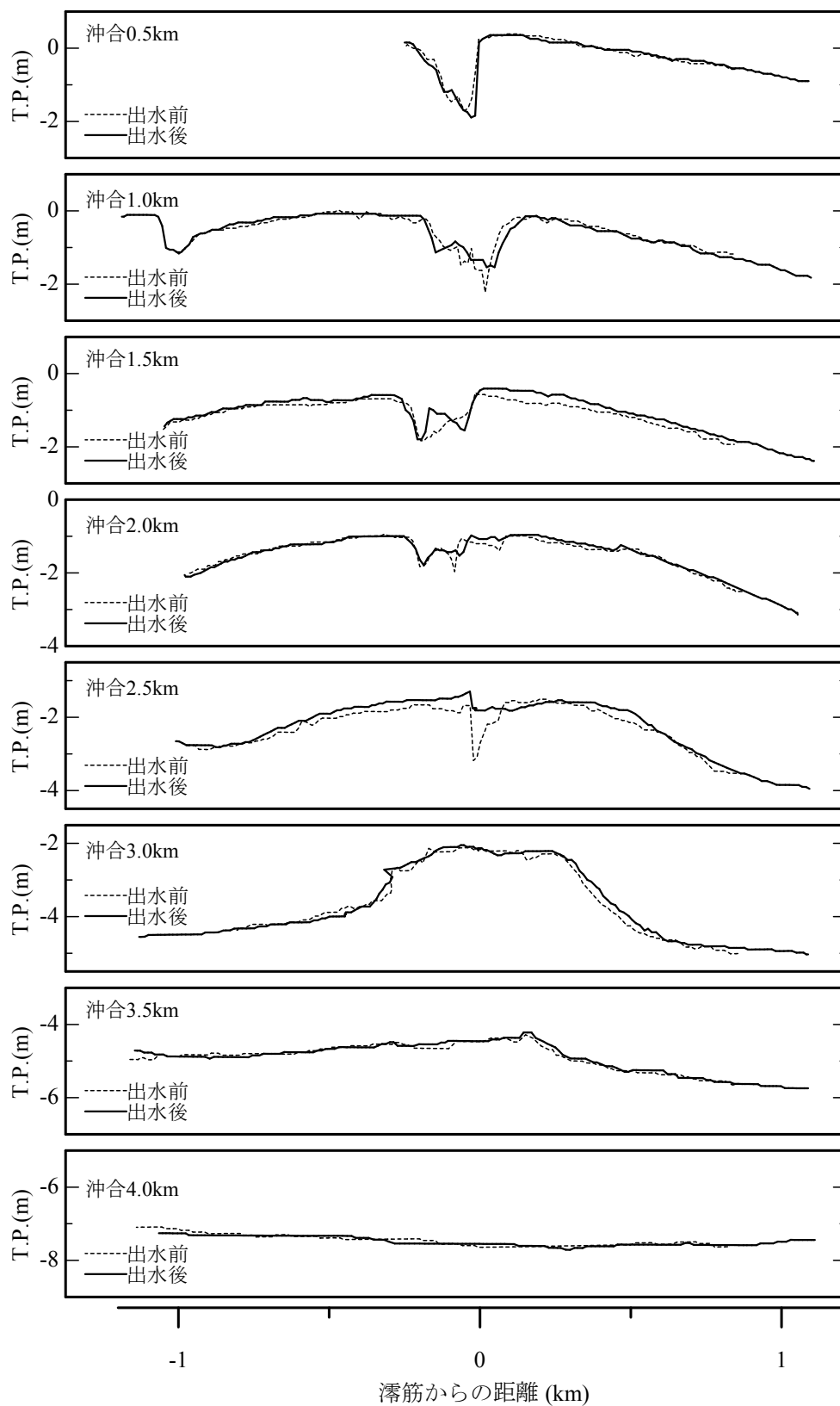


図-5-5 出水前後の干潟部横断面図

5-3-2 底質変化

(1) 指標の説明

出水前後の底質分析結果を横断距離毎にまとめたものを図-5-6～11に示す。上の図は中央粒径，中段は泥分含有率，下段は淘汰係数を示している。サンプリング地点の対応はLが干潟左岸，Cが濬筋，Rが干潟右岸を示し，末尾の数値が大きいほど濬筋からの距離が離れていることを示す。

泥含有率とは，0.074mm以下のシルト・粘土の割合である。

淘汰係数とは粒度の分布範囲の広さを表すもので，次式で表される(堀川ほか, 1974)。

$$S = \sqrt{D75/D25} \quad (3-1)$$

ここで，S：淘汰係数，D25，D75はそれぞれ累積百分率が25%，75%である粒径値を示す。淘汰係数の値が大きいほど底質に含まれる粒径は不均質であることを示し，値が小さいほど粒径が均質化していることを示す。つまり淘汰係数は，底質の堆積環境が土砂の付加の起こりやすい条件下にあるのか，水理的な選別等により細粒分が除去しやすい条件下であるのか，判断する指標になる。例えば，海浜でふるい分けが良好な場合には淘汰係数は1.25程度となる。

(2) 沖合0.5km～1kmの変化

沖合0.5km(図-5-6)と1.0km(図-5-7)では，出水前に0.5kmのL1(左岸堤防付近)においてD50が0.01mm，泥含有率が90%を越えていたため泥質であったが，その他の地点は概ね細砂質であった。また，0.5kmのL1と1kmのR4を除いて淘汰係数が1.5程度であり，流れの影響で泥質が堆積しにくい環境であった。

出水後には0.5kmのL1ではD50が0.2mmに，泥含有率が数%に変化し，淘汰係数も2.94から1.5に低下しているため，泥質がフラッシュされたようである。濬筋近傍のCとR1では出水後にD50が0.2mmから0.02mmへと変化し，泥含有率も0%から70～100%へと増加していることから，この範囲においては出水前後でシルト質が堆積した。右岸のR2からR4までと，1.0kmでは出水前後で大きな変化は見られず，0.2mm程度の細砂であった。

(3) 沖合1.5km～2.5kmの変化

沖合1.5km(図-5-8)と2.0km(図-5-9)，2.5km(図-5-10)では，前述の通り出水後に堆積傾向が顕著であった。

出水前にはいずれの地点も右岸の端を除いて，粒径は0.2mm程度の細砂質，泥含有率は数%程度，淘汰係数は1.3～1.7程度で，完全に砂質干潟である。テラス外縁部にあたる右岸R4ないしR3では潮汐や波などの水理的な影響が少なく，泥質が堆積している。

出水後には、1.5km において L1～C～R2 の中心範囲でわずかに粒径が小さくなり、泥含有率が多くなっているが、細砂主体でありあまり変化が見られない。しかしその両脇では細砂から泥質へと変化した。2.0km では R4 を除くほぼ全ての地点で泥含有率が大幅に上昇して、細砂から泥質へと変化した。2.5km も同様で、R3, R4 を除くほぼ全ての地点で細砂から泥質へと変化した。特徴的なのは淘汰係数で、一部の地点を除きほぼ全域で 2 を越える値を示しており、洪水によって各種粒径が堆積した様子が見える。なお、右岸の端は常に泥質であった。

以上より、この領域では干潟の肩部を中心に泥質の堆積が著しいと判断された。

(4) 沖合 3.0km の変化

沖合 3.0km (図-5-11) ではテラスの前縁部である R1 において泥含有率が上昇しており、この場所も堆積傾向であったことから、泥質の堆積があったものと推測される。

ただし、全体的には洪水前後の変化は少なく、テラス前縁部 (C, R1) において粒径が 0.2mm 程度、泥含有率が数%、淘汰係数が 1.5 前後であり、砂が干潟から滑り落ちているような様子を示しており、一方、テラス外縁部では粒径が 0.02mm、泥含有率が 80%以上、淘汰係数が 2.5～3.5 であり、流れが淀んで泥質が堆積しやすい環境となっている。

(5) 全体的な傾向

以上の結果を平面図にまとめたものを図-5-12 に示す。図では泥質で淘汰が悪い状態を黒系統色で、砂質で淘汰がよい状態を白系統色で示している。また、図の左列が洪水前、右列が洪水後である。

これより、洪水前には干潟部分は砂質が堆積していたが、干潟テラスの外縁部で泥質主体の堆積状況であった。その理由としては、干潟部分は潮流や波浪の影響で水理的な淘汰が進み、外縁部では干潟に比べて水深が深いために流れが淀みやすい、といったことが考えられる。

一方、洪水後には地形の前進が顕著な 1.5km～2.5km において、干潟の扇状の地形に沿って泥質の堆積がみられた。干潟テラスの外縁部では泥質からの変化は明確には現れず、地形変化も少なかったことから、洪水による河口からの土砂放出の影響をあまり受けなかったものと考えられる。

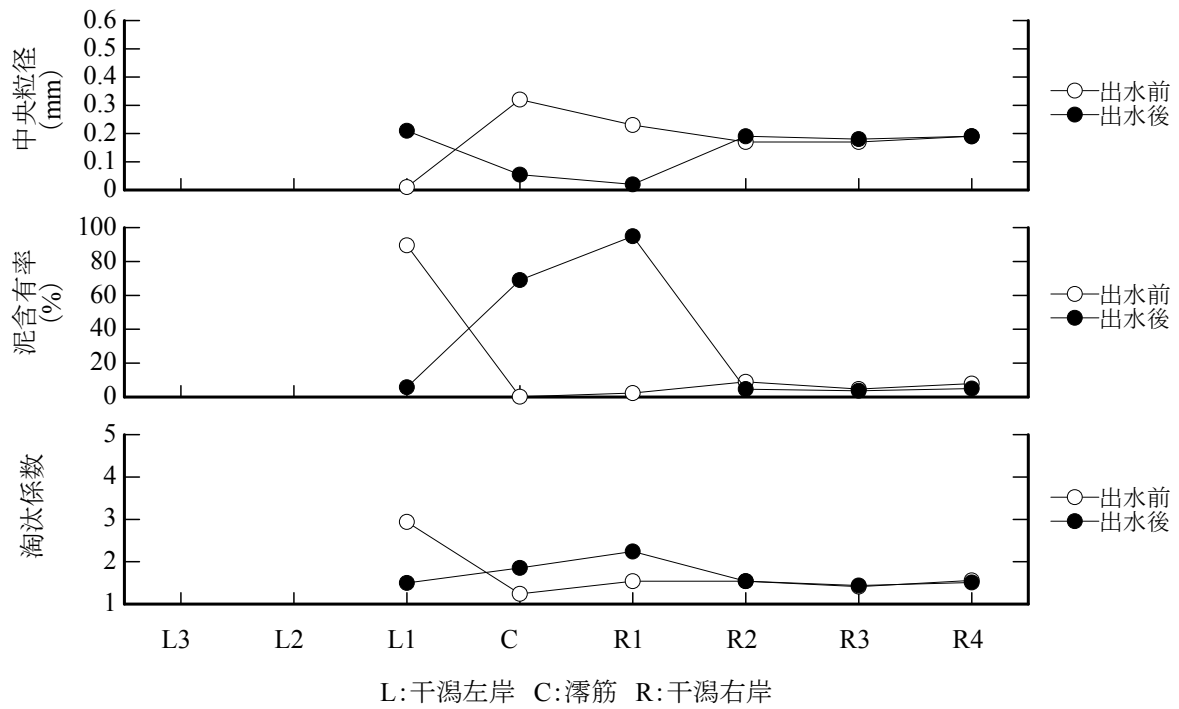


図-5-6 中央粒径・泥含有率・淘汰係数の横断分布 (沖合 0.5km)

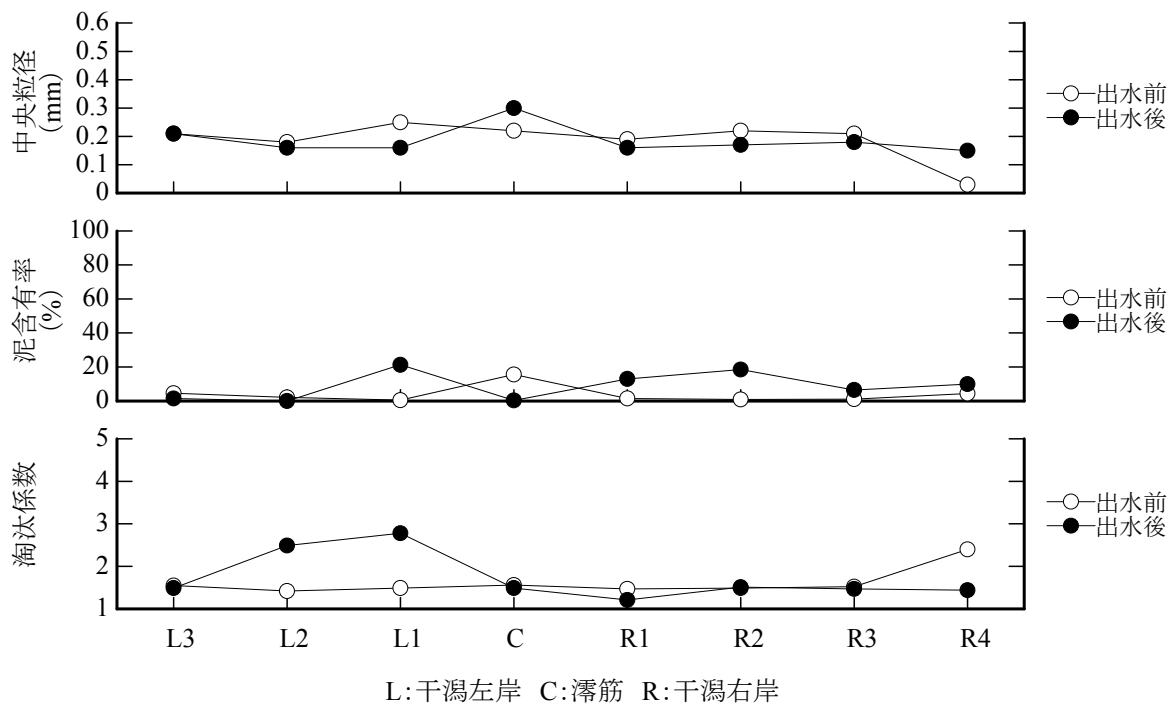


図-5-7 中央粒径・泥含有率・淘汰係数の横断分布 (沖合 1.0km)

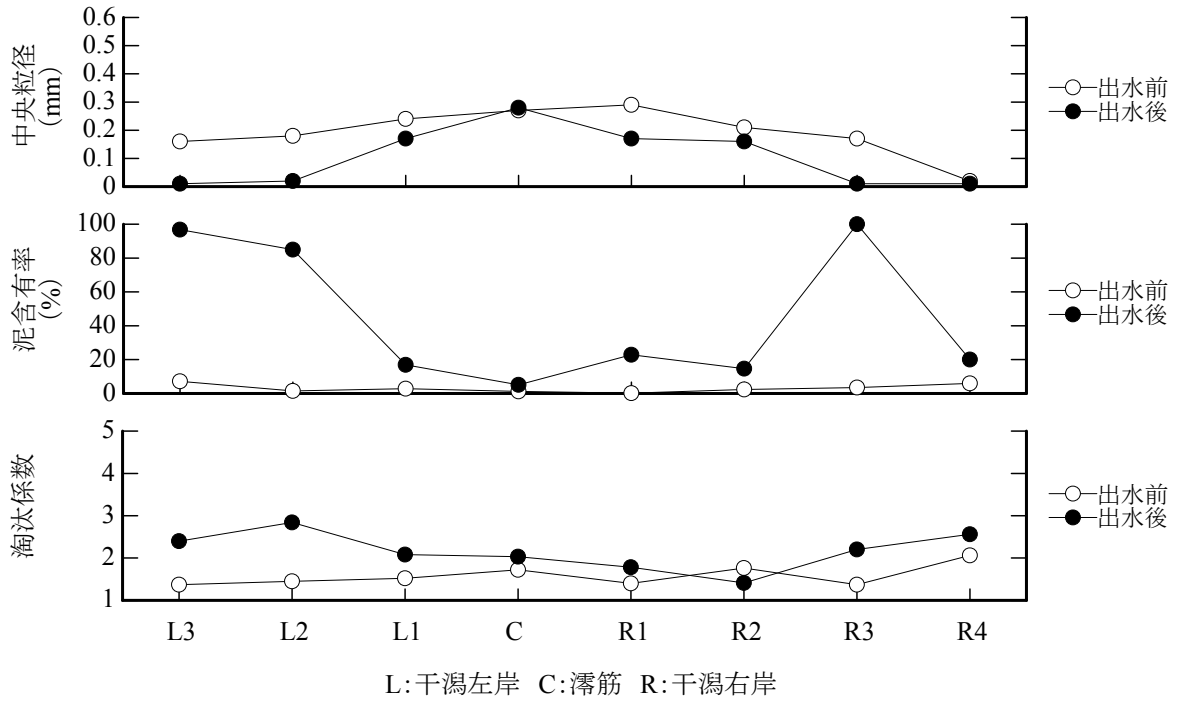


図-5-8 中央粒径・泥含有率・淘汰係数の横断分布 (沖合 1.5km)

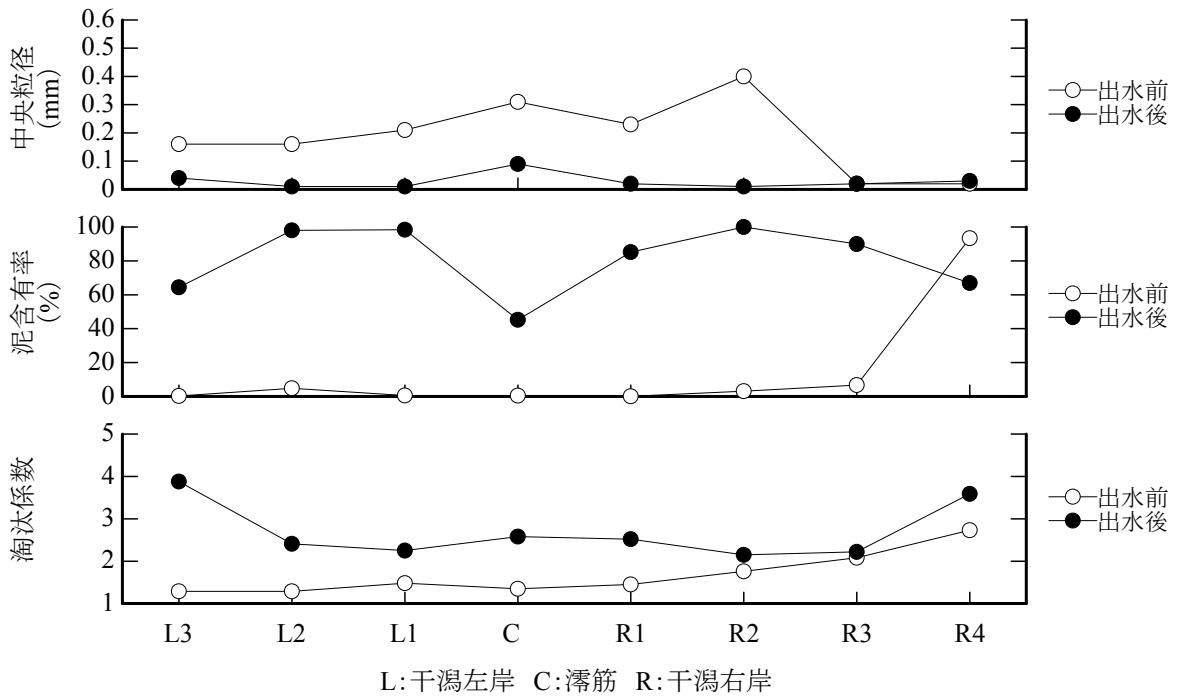


図-5-9 中央粒径・泥含有率・淘汰係数の横断分布 (沖合 2.0km)

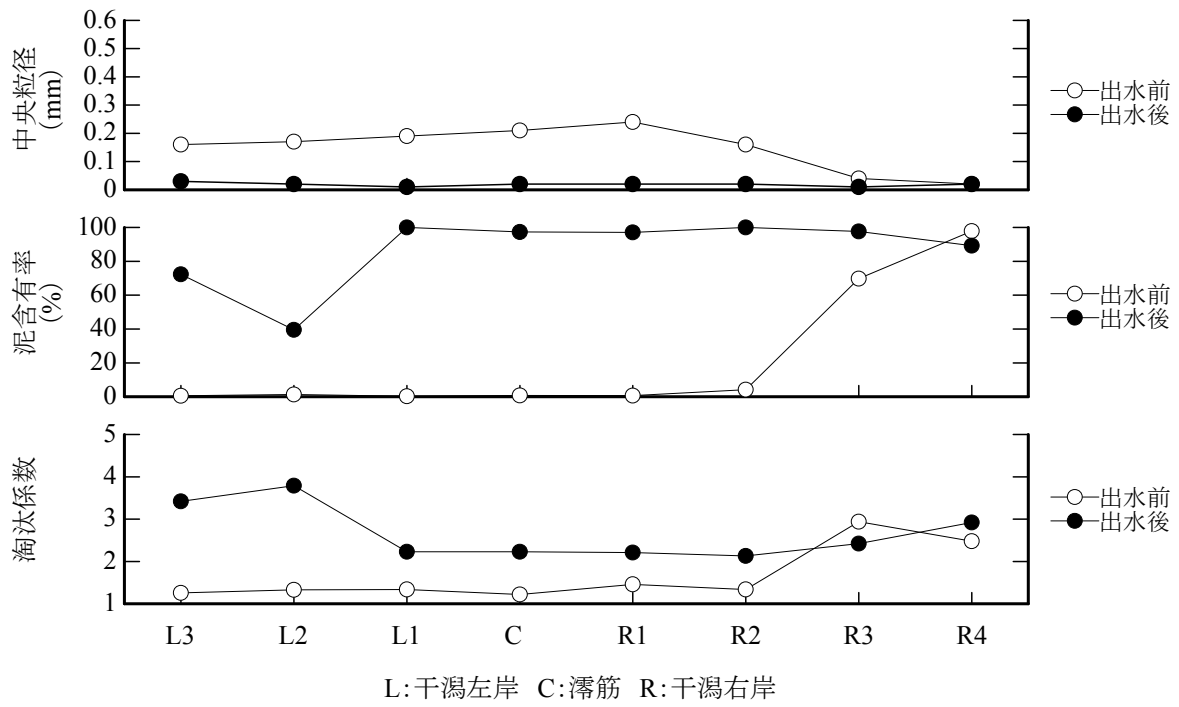


図-5-10 中央粒径・泥含有率・淘汰係数の横断分布 (沖合 2.5km)

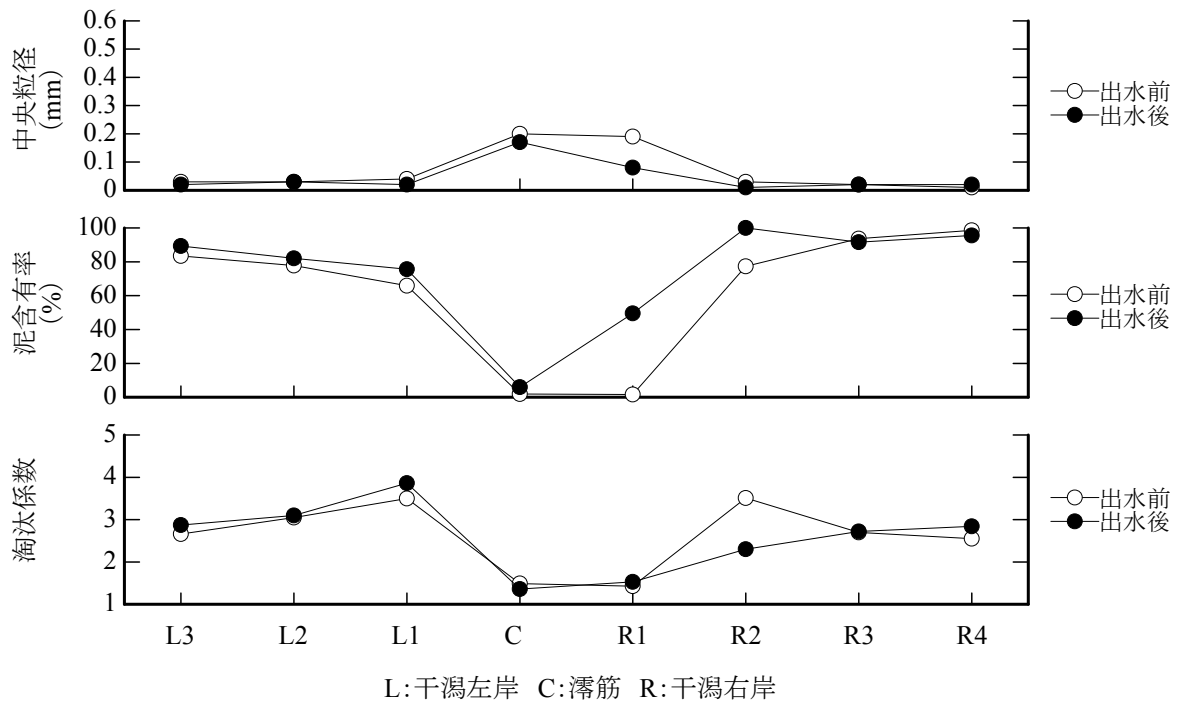


図-5-11 中央粒径・泥含有率・淘汰係数の横断分布 (沖合 3.0km)

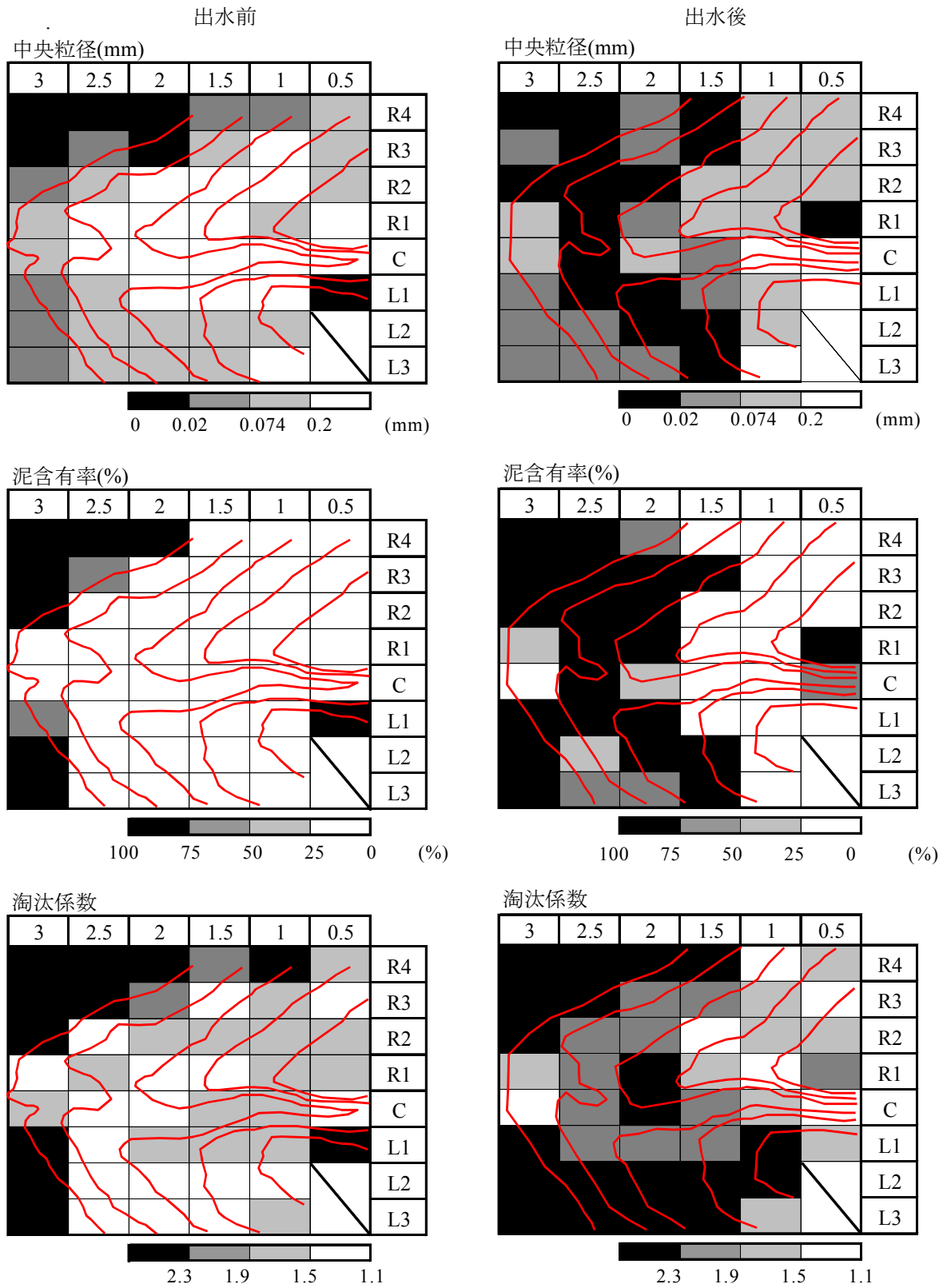


図-5-12 中央粒径・泥含有率・淘汰係数の平面図
(左：出水前，右：出水後)

5-4 平水期の地形及び底質変化

ここでは、平水期（9月初旬）の地形及び底質の変化状況を出水前（6月初旬）及び出水後（7月初旬）と比較する。

5-4-1 地形変化

図-5-13 に出水後から平水期にかけての干潟部等深線の変化図を、図-5-14 に出水前と平水期の干潟部等深線の比較を示す。また、図-5-15 に出水後から平水期にかけての干潟部横断面図を示す。

出水後から平水期の地形変化（図-5-13）は、河口から沖合 3km まで全体的にわずかに等深線が後退し、横断面図（図-5-15）から滞筋が首を振っている様子が見て取れる。したがって、干潟は全体的に侵食傾向であると言える。また、干潟の北側では南側に比べて等深線の前後が大きい。

次に、出水前と平水期を比較すると（図-5-14）、滞筋が北から南に移動しているが、出水後に比べれば（図-5-12）全体的には等深線が接近している。したがって、平水期にも土砂の移動が生じており、徐々に安定した地形に復元してゆくと考えられる。

平水期に土砂の移動が起きた要因として、潮汐流による底質の移動が考えられる。沖合 0km から 3km の干潟部では干潮時に底質が干出するため、潮汐流による表層底質の巻き上げが生じやすい。そのため、上げ潮時の底泥の巻き上げ量が、下げ潮時の巻き上げ量よりも大きければ、干潟中央部の底質が侵食され、潮流と共に河口周辺や河道内へ移動、堆積するという可能性が考えられる。

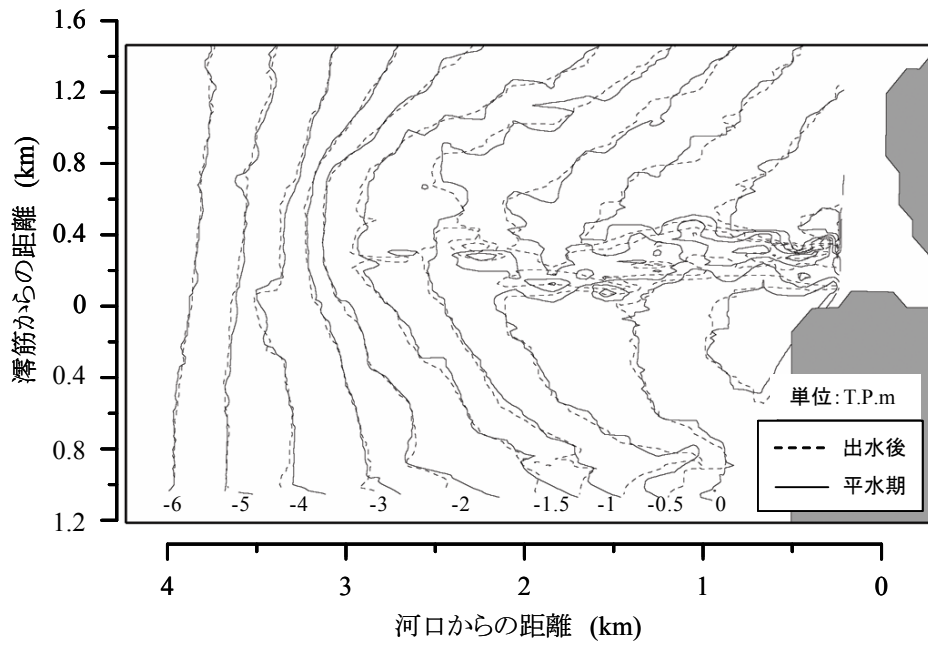


図-5-13 出水後から平水期にかけての干潟部等深線の変化

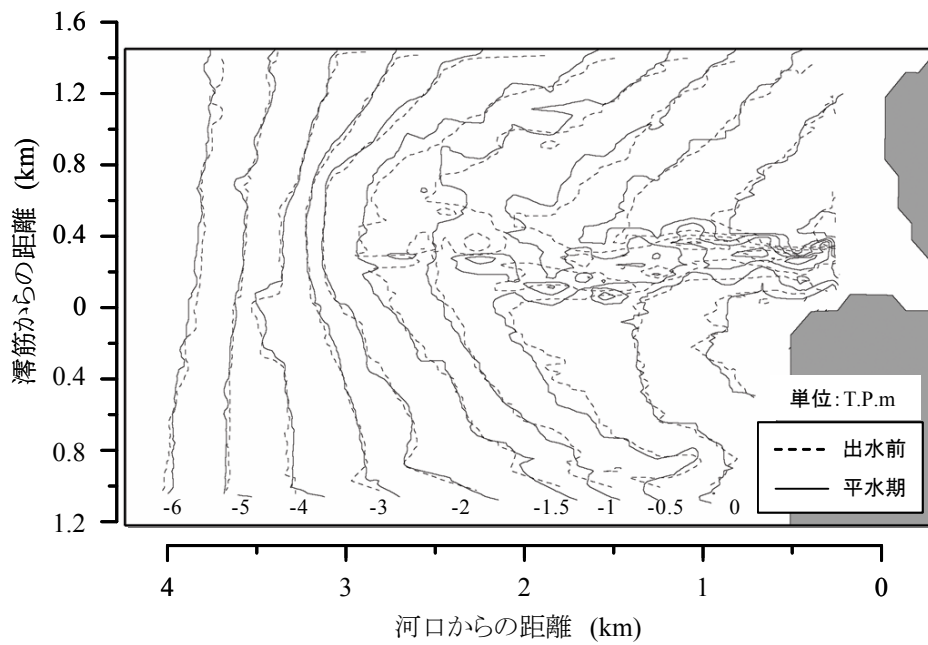


図-5-14 出水前と平水期の干潟部等深線の比較

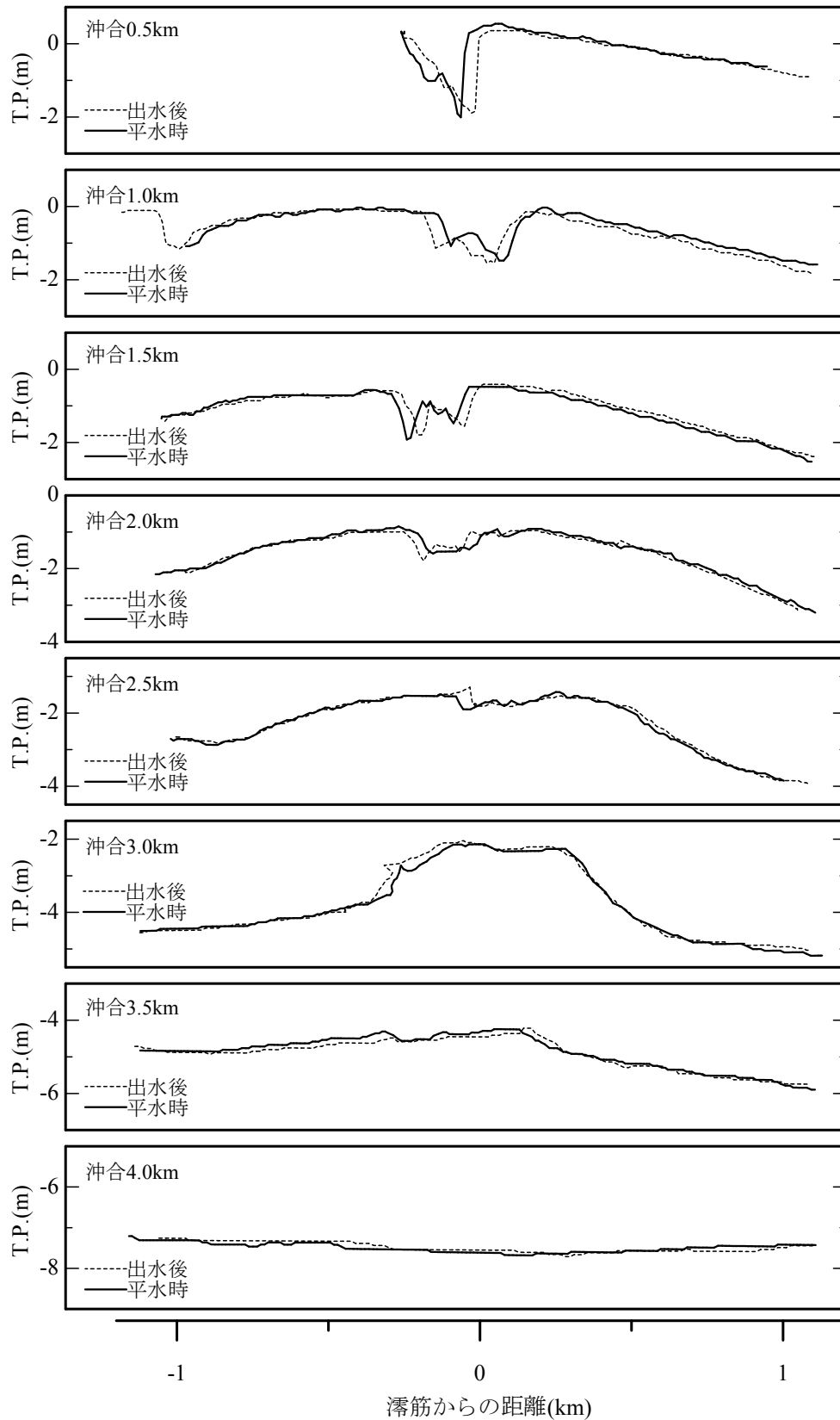


図-5-15 出水後から平水期にかけての干潟部横断面図

5-4-2 底質変化

平水期の底質分析結果を横断距離毎にまとめたものを図-5-16~21 に示す。なお、比較のために出水前後の分析結果もプロットしている。上の図は中央粒径，中段は泥含有率，下段は淘汰係数を示している。また，図-5-22 にこれらの結果を平面図にまとめた結果を示す。図では泥質で淘汰が悪い状態を黒系統色で，砂質で淘汰がよい状態を白系統色で示している。

横断図より，平水期の底質の性状は出水前の状態に近くなっていることが理解できる。特に泥質の堆積が顕著であった沖合 2.0km (図-5-19) にはその様子がよく現れている。ここでは，出水前には粒径が 0.2mm 程度，泥含有率が数%，淘汰係数が干潟部 (L2~R3) で 1.4 前後であり，砂質であった。出水後には粒径が 0.02mm 程度，泥含有率が 80% を越え，淘汰係数は全地点で 2 を越え，泥質へと変化した。平水期には，粒径が 0.1mm 程度，泥含有率が 20% 以下に，淘汰係数は干潟部で 1.5~2.0 に低下し，シルト混じり細砂になっている。つまり，出水後の 2 ヶ月間で徐々に出水前の状態に戻りつつある。

底質性状の平面図を洪水前後の図 (図-5-12) と比較しても，同様の状況は明らかであり，5-4-1 で指摘した底質移動の可能性がここでも示された。

以上より，出水後から平水期にかけての地形変化は，干潟の全域で侵食傾向を示した。また，平水期の地形及び底質状況は出水前に近づきつつあるが，2 ヶ月間では完全に復元していない。したがって，出水による地形底質変化は急激であり，一方，平水期の潮汐流による地形底質変化は緩やかであるものの，日常的に濁質を発生させている可能性があることが分かった。

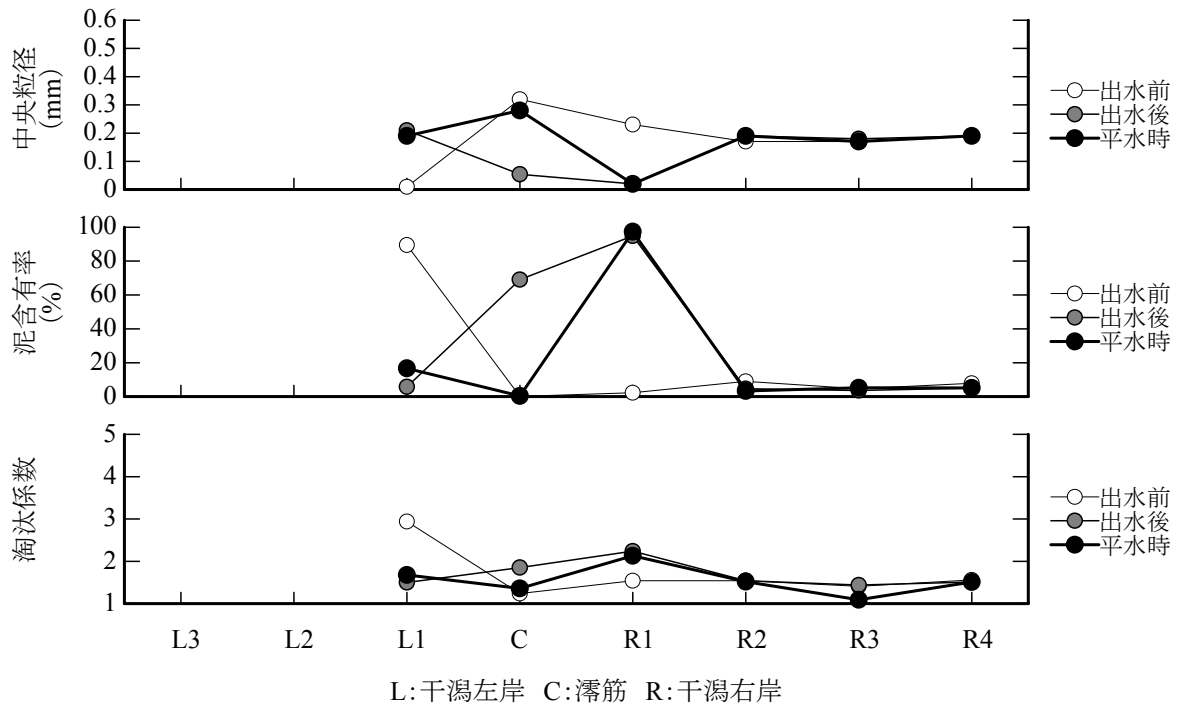


図-5-16 中央粒径・泥含有率・淘汰係数の横断分布（沖合 0.5km）

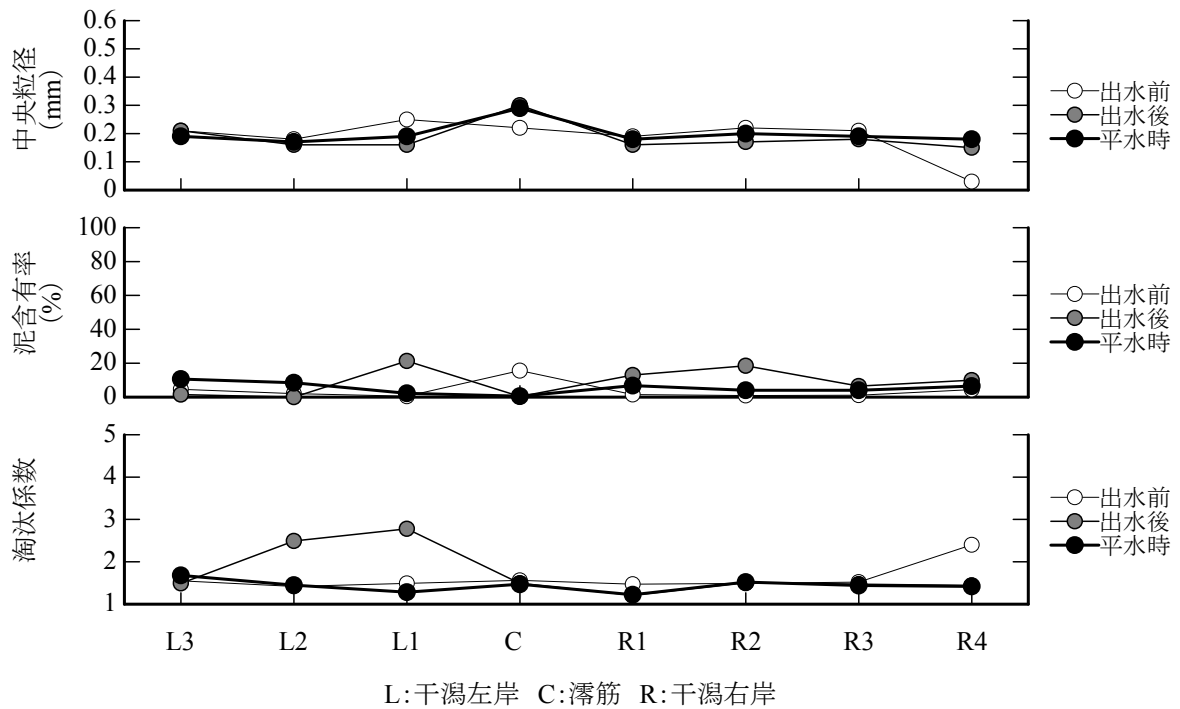


図-5-17 中央粒径・泥含有率・淘汰係数の横断分布（沖合 1.0km）

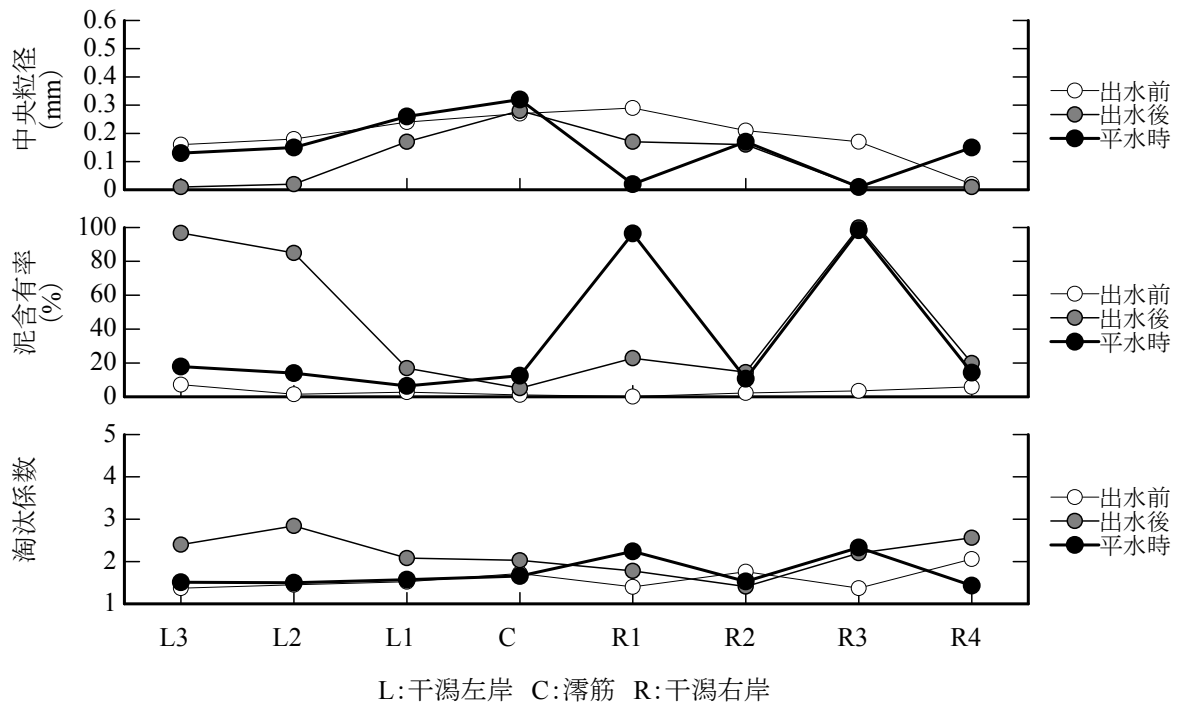


図-5-18 中央粒径・泥含有率・淘汰係数の横断分布（沖合 1.5km）

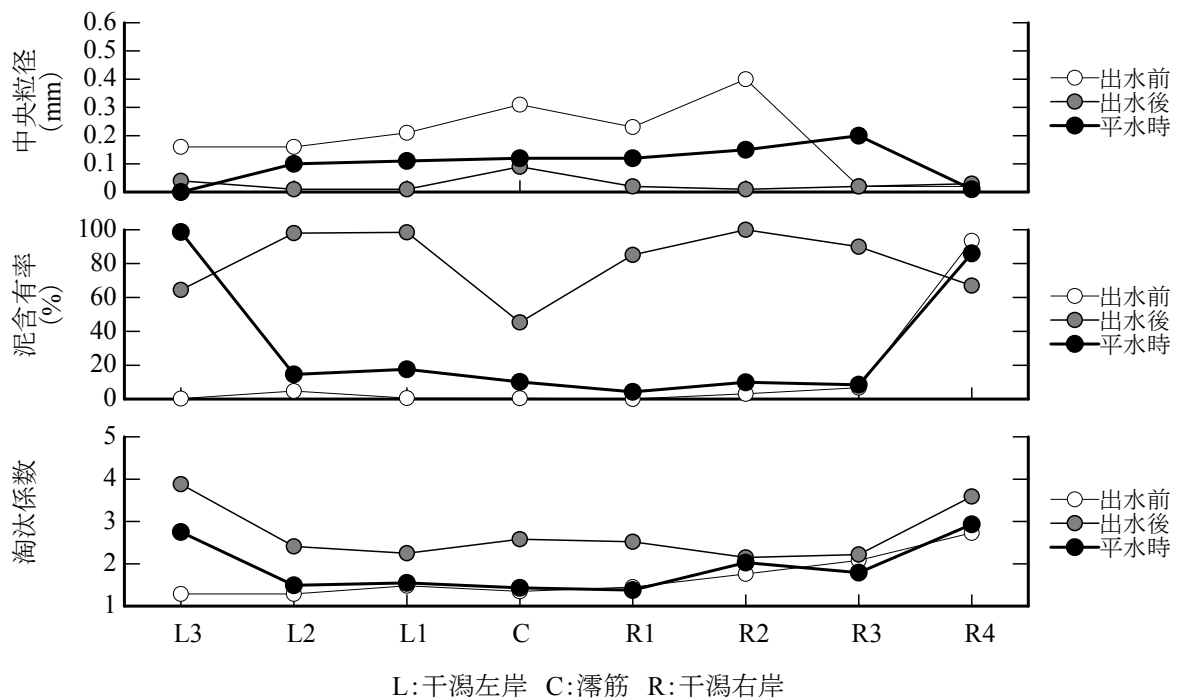


図-5-19 中央粒径・泥含有率・淘汰係数の横断分布（沖合 2.0km）

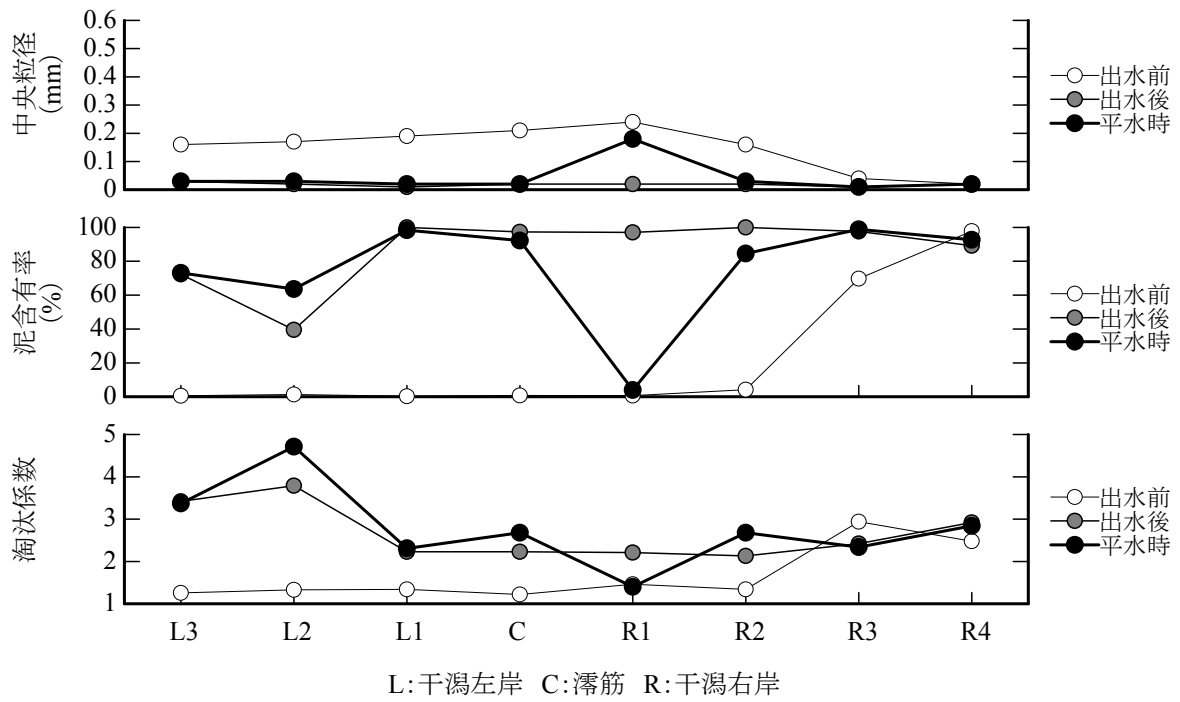


図-5-20 中央粒径・泥含有率・淘汰係数の横断分布（沖合 2.5km）

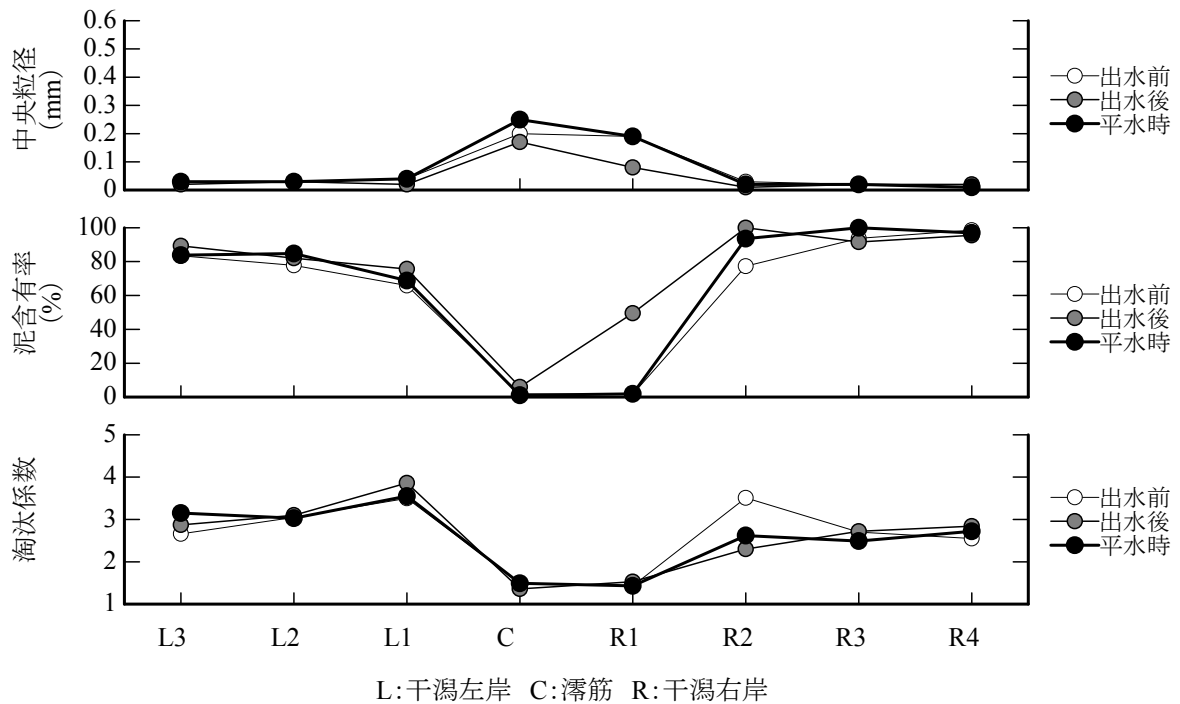


図-5-21 中央粒径・泥含有率・淘汰係数の横断分布（沖合 3.0km）

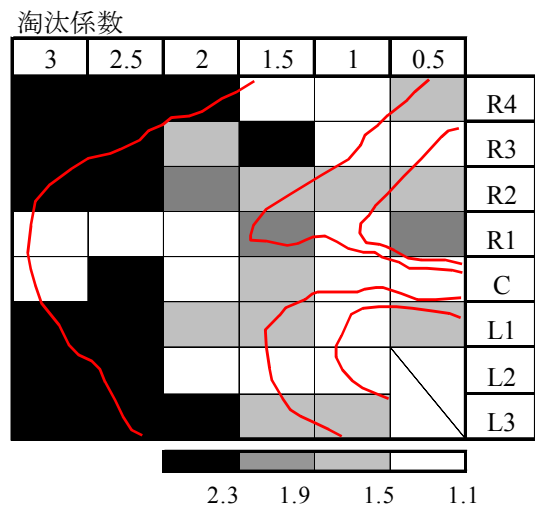
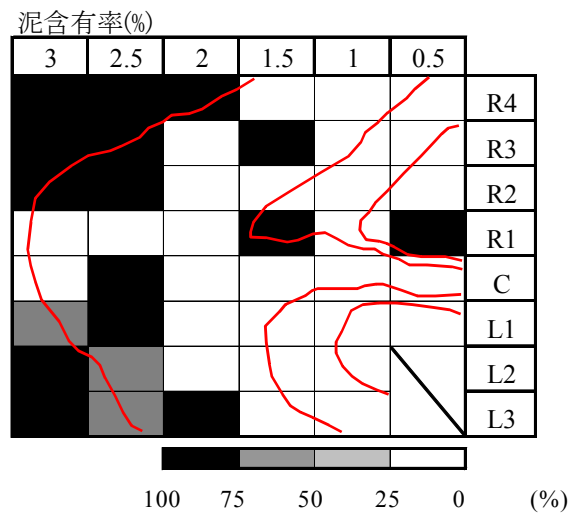
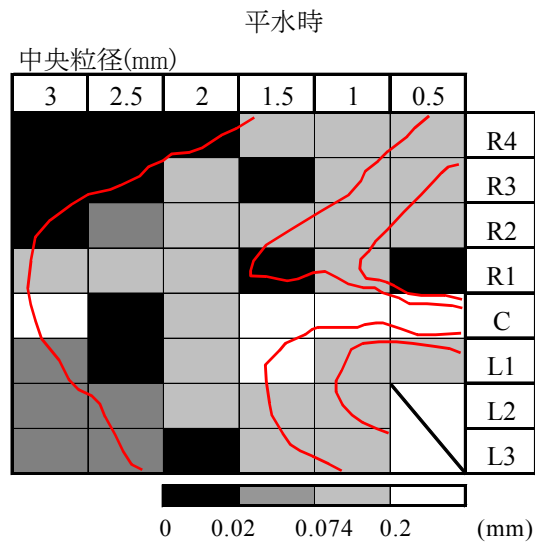


図-5-22 中央粒径・泥含有率・淘汰係数の平面図（平水期）

5-5 粒径別土砂移動量

深淺測量より地形変化が，底質調査より粒径の分布状況が明らかとなったので，出水前後の地形変化量を粒径別，エリア別に求めた．地形変化量は出水前後の横断測線から，底面標高の変化を干潟左岸部，滞筋部，干潟右岸部毎にそれぞれ算出し，測線間の距離との積から求めた．さらに，底質分析の結果から底質を粗砂，細砂，シルト・粘土の3つの粒径集団に分類し，各地点での分類結果を地形変化量に反映させて，粒径集団別の地形変化量を作成した．表-5-2に結果を示す．

これより，河口干潟には出水前後に42.4万 m^3 の土砂が堆積したと推定された．内訳はシルト・粘土分が24.0万 m^3 ，細砂が17.5万 m^3 ，粗砂が0.9万 m^3 であった．算出された地形変化量の考察は，第七章の河口域全体の土砂収支において行う．

表-5-2 出水前後の粒径別地形変化量

河口からの距離 (km)	底質材料	土砂体積 (m^3)
1.0	シルト・粘土	2,986
	細砂	7,485
	粗砂	-
1.5	シルト・粘土	36,469
	細砂	83,443
	粗砂	7,546
2.0	シルト・粘土	59,772
	細砂	21,085
	粗砂	1,706
2.5	シルト・粘土	89,984
	細砂	4,894
	粗砂	-
3.0	シルト・粘土	50,472
	細砂	58,112
	粗砂	178
干潟部全体	シルト・粘土	239,683
	細砂	175,019
	粗砂	9,430
	総量	424,132

参考文献

- 塚本太一・大本照憲・矢北孝一・福島博文（1999）：白川河口域における流れと干潟の相互作用，土木学会第 54 回年次講演会要旨集，pp.494-495
- 堀川洋司（2000）：海岸工学－海洋工学への序説－，東京大学出版，pp.200-201