

◆ 特集：国土交通省国土技術研究会 ◆

## 漂砂系における流砂量モニタリングに関する調査

国土交通省河川局砂防部海岸室  
 国土交通省国土技術政策総合研究所河川研究部海岸研究室  
 国土交通省東北地方整備局河川部河川計画課  
 国土交通省北陸地方整備局河川部河川計画課  
 国土交通省中部地方整備局河川部河川計画課  
 国土交通省中国地方整備局河川部河川計画課  
 国土交通省四国地方整備局河川部河川計画課  
 国土交通省九州地方整備局河川部河川計画課

### 1. はじめに

1998年7月に河川審議会総合土砂管理小委員会から「流砂系の総合的な土砂管理に向けて」の報告が出され、水系における山地から海岸までの全領域を含んだ総合的で計画的な土砂管理が望まれている。このことから、今後は「流砂系の総合的な土砂管理に向けて」の理念に基づいた海岸保全を推進することになる。このためには、海岸および河口域での土砂動態と土砂収支を把握して、海岸保全に必要とされる計画流砂量を提示することが重要となる。

そこで、国土交通省国土技術研究会の指定課題として「漂砂系における流砂量モニタリングに関する調査」を提案し、さまざまな現場条件下での漂砂系における沿岸漂砂や沖合への損失土砂、および河口域での土砂動態を把握することにした。具体的には、調査データが豊富な阿武隈川、姫川、手取川、大井川、日野川、仁淀川、大淀川が流入する直轄海岸などで、各々の土砂動態を対象とした現地調査とその解析を行うとともに、漂砂系における流砂量モニタリング手法を提案する。

### 2. 漂砂系の概念と土砂収支の把握

本調査では流砂系を、陸域における土砂の運動領域である流域と、沿岸域での土砂の運動領域である漂砂系、これら2つの領域が接合する河口域からなると定義する。流砂系における総合的な土砂管理では、水流の場合の計画流量に相当する計画流砂量が必要とされる。流砂系における計画流砂量は、最上流の土砂生産や河川の河道内への土砂の堆積・滞留を考えると、必ずしも上流側から決めていくことが得策とは言えない<sup>1)</sup>。つまり、

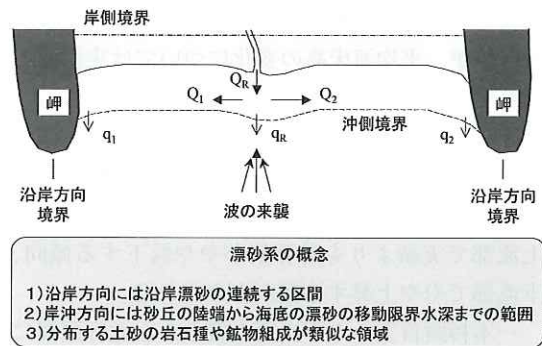


図-1 漂砂系の概念

流砂系における土砂管理計画では、まず、下流側の海岸（漂砂系）での計画流砂量を、流砂系全体のバランスを考慮して決めるべきである<sup>1)</sup>。

漂砂系は図-1に示すように、1) 沿岸方向には沿岸漂砂の連続する区間、2) 岸沖方向には砂丘の陸端から海底の漂砂の移動限界水深までの範囲、3) 分布する土砂の岩石種や鉱物組成が類似な空間的領域と定義する。また、漂砂系では波浪の作用による左右岸側への沿岸漂砂 ( $Q_1$ ,  $Q_2$ ) や沖合への損失土砂 ( $q_1$ ,  $q_2$ ) などの土砂動態と、出水時における河口域での土砂動態 ( $Q_R$ ,  $q_R$ ) が生じている。そこで、これらの土砂動態に関する調査・解析を行い、各土砂量を精度良く把握して、海岸における計画流砂量を提示する必要がある。

漂砂系における土砂動態および土砂収支を把握するためには、まず、①漂砂系を設定して、②侵食・堆積実態を明らかにし、③漂砂系に分布する底質の特性を調査する(表-1)。次に、各土砂量を表-1の④~⑦に示した調査手法などにより精度良く推定する。さらに、定期深淺測量データの解析から得られる地形変化量の経年変化と、海浜変形モデルから推定される沿岸漂砂量との整合性

Investigation of Methods of Monitoring Sediment Transport Rates in Sediment Cells

表-1 漂砂系における説明すべき項目と調査手法 (案)

①漂砂系の境界の設定	<p>土质地質図などから対象とする沿岸における地形・地質の特徴を把握し、固結・半固結堆積物からなる岬や海食崖を沿岸方向境界として設定する。岸側境界は堤防・護岸や道路および防砂林などの人工構造物とする。沖側境界は計画波浪と土砂の代表粒径から算定される底質の完全移動限界水深を指標として設定する。また、設定した漂砂系に流入する主な河川の流域の地質も把握する。</p>
②侵食・堆積実態の把握	<p>第2次世界大戦直後に米軍が撮影した航空写真と、その後国土地理院が数回にわたって撮影した航空写真を収集して、①で設定した漂砂系における各時期の汀線形状を読みとり、それらを比較して汀線経年変化図を作成する。また、漂砂系内に測線を設けて定期深淺測量を行い、海浜縦断面の特徴を把握するとともに、それらのデータから汀線位置を求めて汀線経年変化図を作成する。そして、得られた汀線経年変化図をもとに漂砂系における侵食実態を把握する。</p>
③底質粒径の把握	<p>定期深淺測量の測線から代表的なものをいくつか選び、それらの測線に沿って漂砂系の岸側境界から沖側境界の範囲の数地点で底質を採取する。そして、採取した底質の粒度分析・鈹物組成分析・堆積年代分析などを行い、中央粒径やふるい分け係数および粒度加積曲線、代表鈹物や堆積年代を把握する。</p>
④沿岸漂砂量 $Q_1$ , $Q_2$ の推定	<p>①で設定した漂砂系全域において、②で得られた汀線経年変化を再現する汀線変化モデル（または等深線変化モデル）を構築して、各代表時期の沿岸漂砂量分布図を作成する。各モデルの構築では、波浪観測で得られたデータを統計処理して得られた各方向のエネルギー平均波と、③で把握した底質の中央粒径などを用いて汀線経年変化の再現精度を向上させる。漂砂系全域の汀線経年変化の再現性が悪い場合は、流入する河川の左岸側と右岸側に分けて汀線変化モデル（または等深線変化モデル）を構築する。汀線経年変化の再現で得られた沿岸漂砂量分布図から、左岸側と右岸側の最大沿岸漂砂量を把握して、沿岸漂砂量 <math>Q_1</math>, <math>Q_2</math> を推定する。</p>
⑤沖合への損失土砂量 $q_1$ , $q_2$ の推定	<p>定期深淺測量のデータからいくつかの代表時期の地形変化量を算出し、①で設定した漂砂系の沖側境界より沖合への土砂の堆積状況を把握する。特に、漂砂系の沿岸方向境界の沖合における土砂の堆積状況を調べ、沖合への損失土砂量を推定する。また、任意水深の地点に蛍光砂などのトレーサーを投入し移動状況を調査することも有効である。</p>
⑥河川流出土砂量 $Q_R$ の推定	<p>定期深淺測量により河口域のデータが蓄積されている場合は、それらからいくつかの代表時期の地形変化量を算出し、河口域への河川流出土砂量を推定する。また、河口域において堆積物を柱状採取し、その堆積年代と河川からの出水履歴を比較・検討することも有効である。なお、1次元河床変動計算などにより実際の河床変動を再現して、代表時期の河川流出土砂量を推定する方法もある。</p>
⑦河口域沖合への損失土砂量 $q_R$ の推定	<p>定期深淺測量により河口域のデータが蓄積されている場合は、それらからいくつかの代表時期の地形変化量を算出し、河口域沖合への損失土砂量を推定する。また、河口域において堆積物を柱状採取し、その堆積年代と河川からの出水履歴を比較・検討することも有効である。</p>
⑧土砂収支の推定	<p>定期深淺測量のデータからいくつかの代表時期の地形変化量を算出し、①で設定した漂砂系内のいくつかの代表時期における土砂収支を推定する。また、④で算出した沿岸漂砂量、⑤で求めた沖合への損失土砂量、⑥で得られた河川流出土砂量、⑦で求めた河口部沖損失土砂量との整合をとり、各代表時期の土砂収支の推定精度を向上させる。</p>

をとった土砂収支図 (表-1、⑧) を作成する。そして、この土砂収支図から海岸における計画流砂量を提示すれば、流砂系の総合的な土砂管理を考慮に入れた海岸保全計画が立案できる。

ただし、表-1に示した漂砂系における土砂動態の調査手法はまだ確立されておらず、不十分な点もある。そこで、各海岸で行われている土砂動態に関する調査・解析結果をとりまとめ、調査手法の有効性と効率性の評価により、漂砂系における各土砂動態の調査手法の確立を進めている。こ

うちの沿岸漂砂 ( $Q_1$ ,  $Q_2$ ) に関する調査手法については中部・中国地方整備局が、沖合への損失土砂 ( $q_1$ ,  $q_2$ ) に関する調査手法については北陸・九州地方整備局が、河口域での土砂動態 ( $Q_R$ ,  $q_R$ ) の調査手法については東北・四国地方整備局が主体となって検討している。

### 3. 沿岸漂砂 ( $Q_1$ , $Q_2$ ) の調査手法

沿岸漂砂 ( $Q_1$ ,  $Q_2$ ) に関する調査・解析手法としては、航空写真や深淺測量データから得られた

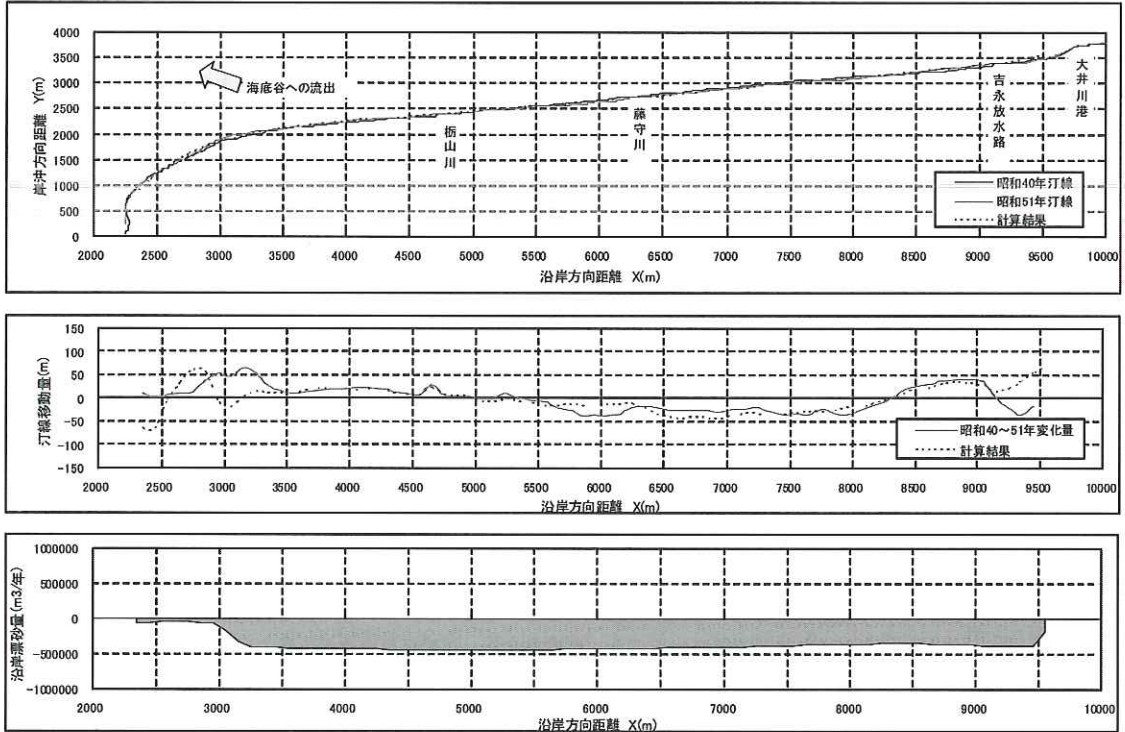


図-2 駿河海岸の大井川左岸側の訂線変化の再現結果と沿岸漂砂量分布

汀線の経年変化を海浜変形モデルで再現する手法が有効である。海浜変形モデルの構築には、広範囲における長期間の汀線変化予測に適した汀線変化モデルがよく用いられる。汀線変化モデルの計算は大きく分けて、波浪変形計算、沿岸漂砂量の計算、汀線変化の計算の3つで構成される。つまり、波浪観測で得られた方向別のエネルギー平均波と海岸の代表粒径を設定して、汀線変化モデルで現地海岸の汀線の経年変化を再現することにより、沿岸漂砂量 ( $Q_1$ ,  $Q_2$ ) を推定できる。

その例として、駿河海岸の大井川左岸側を対象とした、汀線変化モデルによる汀線の経年変化の再現結果を図-2に示す。計算結果は実際の汀線変化の傾向とほぼ一致しており、下段の沿岸漂砂量分布図から昭和40年～昭和51年における大井川左岸側の沿岸漂砂量 ( $Q_2$ ) は最大で約50万 $m^3$ /年と推定される。このように、航空写真や深淺測量データの解析から得られた汀線の経年変化を海浜変形モデルで再現する手法によれば、代表時期(港湾の整備前や整備後、侵食対策後など)における沿岸漂砂量 ( $Q_1$ ,  $Q_2$ ) を精度良く推定することができる。

ところで、皆生海岸全域においては波・流れに伴う土砂動態に関する現地調査が行われている。



図-3 砂漣による土砂動態の推定

そして、調査時点において海底に形成されていた砂漣の形状や方向から、土砂の移動過程が図-3の矢印のように推定されている。また、砂漣が調査海域全体で形成されていることが確認され、波浪により生じる砂漣は水深が浅い場所よりも深い場所の方が少し北へ向いていることが分かった。この北向きの砂漣は水深-3m～-4mに顕著に見られ、この位置は碎波帯内で北向きの沿岸流が発達することから、海底での土砂の移動・堆積に沿岸流も影響している可能性が指摘されている。

以上のように、沿岸漂砂 ( $Q_1$ ,  $Q_2$ ) に関する調査手法としては、海浜変形モデルを用いた汀線の経年変化の再現による沿岸漂砂量分布の推定が提案できる。しかし、海浜変形モデルでは海岸における底質は単一粒径と仮定しているため、砂礫混

じりの底質が分布する海岸では汀線の経年変化の再現精度が良くない場合がある。したがって、駿河海岸のように流入する河川の左右岸側で底質粒径が異なる海岸では、その底質特性を反映した海浜変形モデルの改良が今後の課題として残されている。また、皆生海岸のように現地調査により沿岸流に伴う土砂の移動・堆積が確認されている海岸では、その機構を反映した海浜変形モデルの改良が望まれる。

#### 4. 沖合への損失土砂 (q<sub>1</sub>, q<sub>2</sub>) の調査手法

沖合への損失土砂 (q<sub>1</sub>, q<sub>2</sub>) に関する調査手法としては、蛍光砂などのトレーサーを投入して移動状況を調査する手法がよく用いられる。また、河川流域と海岸に分布する土砂の岩種・鉱物を調べて供給源と移動方向を推定する手法、および深浅測量データを解析して領域別の土砂量変化を算出する手法なども有効である。

日本海に面した石川県高岩岬から福井県越前岬に至る約223kmの加越沿岸では、波浪観測とトレーサー調査が南端の加佐ノ岬周辺と金沢港周辺で行われている。このトレーサー調査によると、観測期間中においては金沢港方面に向かう北東方向の沿岸漂砂が卓越しており、金沢港防波堤沖合(水

深20m)では30m/sを越える強い北向き流れにより北向きの沿岸漂砂が生じていたことが明らかとなった。また、図-4に示すように、漂砂系の沿岸方向境界と考えられていた加佐ノ岬を越えて、南側沖へトレーサーの一部が移動・堆積していることが確認された。つまり、波浪観測とトレーサー調査によって、沿岸漂砂を遮断すると考えられていた金沢港防波堤沖合への損失土砂と、漂砂系の

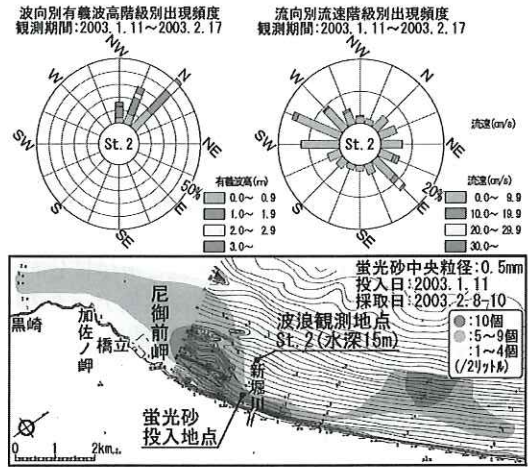


図-4 加越海岸でのトレーサー調査結果



図-5 日向灘沿岸に分布する底質の特性

沿岸方向境界と考えられていた加佐ノ岬沖合への損失土砂の存在が明らかにされた。

宮崎県東部の日向灘沿岸では、各河川の河道内と海岸における計18地点での土砂採取と、底質の重鉱物分析が行われている。この調査・解析結果から、①耳川～小丸川の河道内の土砂には尾鈴酸性岩を特色とした鉱物が含まれており、底質は北側へ移動していること、②一ツ瀬川周辺は四万十累層群の土砂のみで形成され、底質は北側と南側に移動していること、③住吉海岸から青島にかけては霧島火山岩類を中心とした鉱物で形成され、大淀川の土砂は北側に多く移動しており、住吉海岸の沖側にも分布していることが分かった(図-5)。また、住吉海岸における深浅測量データを解析した結果によると、宮崎港と宮崎空港の沖側領域では土砂が経年的に堆積していることが明らかになった。このように、河川の河道と海岸に分布する堆積物の重鉱物分析および深浅測量データの解析から、海岸への土砂の供給源と土砂の移動方向、および漂砂系外の沖合への損失土砂を把握することができる。

沖合への損失土砂 ( $q_1$ 、 $q_2$ ) に関する調査手法としては、蛍光砂などのトレーサーを投入して移動状況を調査する手法、河川流域と海岸に分布する土砂の岩石種・鉱物を調べて供給源と移動方向を推定する手法、および深浅測量データを解析して領域別の土砂量変化を算出する手法が提案できる。しかし、トレーサー調査は局所的で短期的な調査になり、土砂を広範囲で採取することと重鉱物分析には時間と経費がかかる。したがって、①深浅測量データの解析から領域別の土砂量変化を把握して、②沖合へ土砂が堆積している範囲で詳細なトレーサー調査を行う、などの調査フローの確立が課題として残されている。

### 5. 河口域での土砂動態 ( $Q_R$ 、 $q_R$ ) の調査手法

河口域での土砂動態 ( $Q_R$ 、 $q_R$ ) の調査手法としては、1次元河床変動計算により河川からの流出土砂量を推定する手法がある。例えば、仁淀川流砂系における総合的な土砂管理に基づく海岸保全計画を立案する段階にきている高知海岸(図-6)では、1次元河床変動計算による河口からの流出土砂量の経年変化(図-7)が検討されている。これによると、河川からの流出土砂量は年によって大きく変化することが分かる。また、河床が比較的安定した近年(平成4～10年)を対象とした計算では、海域への流出土砂量(粒径  $d = 0.075\text{mm}$  以上)は平均  $10.4\text{万 m}^3/\text{年}$  と算定された。

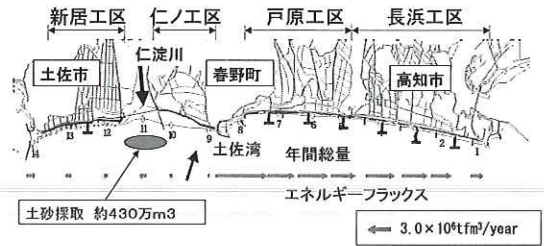


図-6 高知海岸の長浜-新居工区

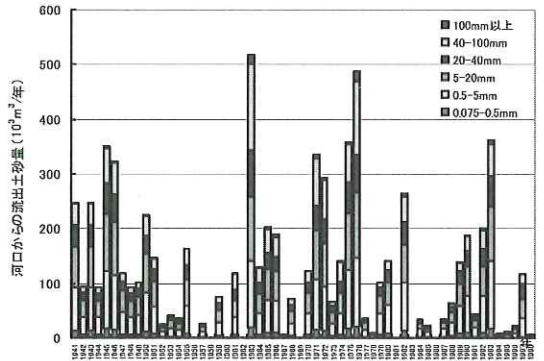


図-7 仁淀川からの流出土砂量の経年変化

一方、海域砂利採取禁止後における河口域地形の回復量を、深浅測量データ(河口を含む幅2kmの範囲)の経年比較から求めると、約  $10.5\text{万 m}^3/\text{年}$ (平成4～11年の平均値)となった。つまり、河川からの流出土砂量と河口域における堆積土砂量はほぼ一致することになる。したがって、土砂の粒径を考慮した1次元河床変動計算結果と深浅測量データの解析結果の比較により、河口域での土砂動態がある程度把握できると言える。

仙台湾沿岸の一部をなす仙台湾南部海岸では、図-8に示す阿武隈川の河口テラス上での堆積物の柱状採取・分析と、昭和59年から平成14年までの深浅測量データの解析が行われている。堆積物の柱状採取とその分析からは、河口テラスは粗粒砂層や砂礫層およびゴミ・木片混在砂層などに区別でき、それらの層は1回の大規模な洪水や暴浪波の来襲で堆積したと推定された。

この結果から、洪水によって土砂が堆積する範囲を設定して、河口テラスが固定化したと考えられる昭和61年3月から平成15年3月までの深浅測量データにより土砂収支を算定し、河口テラス部では約  $15\text{万 m}^3/\text{年}$ の堆積が進んでいることを明らかにした。また、深浅測量データから河川流量のピークが  $2,500\text{m}^3/\text{s}$ 以上の洪水時を含むデータのみを抽出して土砂変化量を求めた結果、1年当たり換算すると約  $51\text{万 m}^3/\text{年}$ の土砂が河口テラス上に堆積しているとの結果を得た。

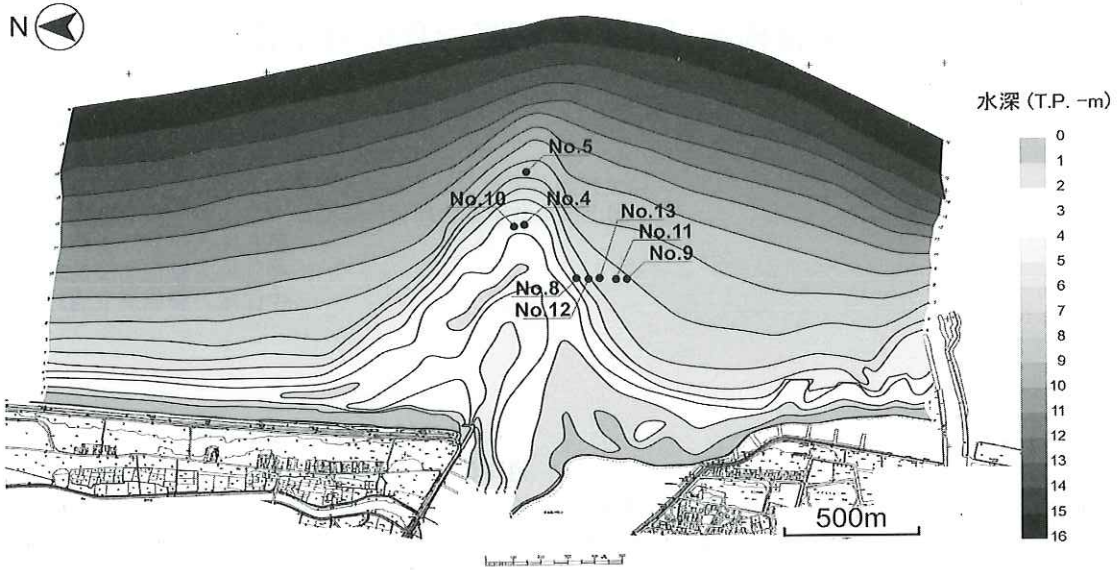


図-8 阿武隈川の河口テラスと調査地点-

さらに、河口テラス形成過程を再現した数値計算結果からは、河口テラスが沿岸漂砂の供給源となっている可能性が高いとの結論が得られた。以上のように、河口域での深浅測量データと河川からの出水の履歴を比較検討すること、河口テラス上で土砂を柱状採取して堆積年代分析を行うこと、河口テラスの形成・変形過程を海浜変形モデルで再現することにより、河口域での土砂動態 (QR、qR) が把握できる。

以上のように、河口域での土砂動態 (QR、qR) の調査手法としては、1次元河床変動計算により河川からの流出土砂量を推定する手法や、深浅測量データと河口域堆積物調査の解析による河口域での土砂の堆積過程を把握する手法などが提案できる。しかし、河口域では深浅測量データが不足していること、大がかりな土砂採取と堆積年代分析や鉱物組成分析には時間と経費がかかることなどが問題点として挙げられる。したがって、河口域での効率的な地形調査手法や堆積物調査手法の構築と、河口域における粒径別の土砂動態を再現できる海浜変形モデルの改良が今後の課題として残されている。

## 6. おわりに

流砂系の総合的な土砂管理および改正「海岸法」の理念<sup>2)</sup>に基づく海岸保全を推進するためには、海岸における計画流砂量の提示が望まれる。このためには、図-1に示した漂砂系における土砂動態に伴う各土砂量 (Q<sub>1</sub>、Q<sub>2</sub>、q<sub>1</sub>、q<sub>2</sub>、Q<sub>R</sub>、q<sub>R</sub>)

を精度良く把握する必要がある。そこで、平成17年度も各海岸で各土砂量に関する調査・解析を継続して行うとともに、河口域における出水時の土砂動態を解明するための効率的な地形調査手法を提案する。そして、それらの調査手法を体系化して、「漂砂系における流砂量モニタリング手法の手引き (案)」を策定する予定である。

## 参考文献

- 1) 磯部雅彦：海岸環境と流砂系土砂管理、河川、No.628、pp.24-31、1998。
- 2) 磯部雅彦：改正海岸法の理念の実現に向けて、海岸、第39巻第1号、pp.14-18、1999。

〔文責〕国土交通省国土技術政策総合研究所河川研究部  
海岸研究室主任研究官、博 (工) 山本幸次  
同 海岸研究室研究官 目黒嗣樹