

大和川河口域の河道安定管理に向けた 土砂動態調査報告

宮田 大悟¹

¹大和川河川事務所 工務課 (〒583-0001大阪府藤井寺市川北3丁目8番33号)

大和川は河口域の流下能力確保策として河道掘削を展開してきた。掘削後に起こりうる応答性による河床変動を注視し、中長期視点での持続的な流下能力管理を行っていく必要がある。ライフサイクルコストに優れた効率的河道管理立案のために、まず河床変動の実態と特性を解明し、施策評価として再現精度の高い水系土砂移動モデルを構築する。今回はモデルパラメータ設定及び精度検証においての基礎となる現地の連続観測データについて、約3年にわたり調査を実施した手法と結果について中間報告を行う。

キーワード 河床変動調査 土砂移動 洪水時流砂量調査 河積管理

1. 大和川の概要

大和川の下流域（大阪府域）では、1704年の付替えによって築造されたいわゆる人工河川であり、河床勾配、河川幅等も人為的に定められたものを起源に形成されている。古くから河口域の土砂堆積は顕著であったと記されているが、昭和初期からしばらくは埋立土砂確保、航路確保のための浚渫等により、塩害防止の潮止め堰、河床低下防止として帯工が設置されたほど河床高は大幅に低下した経緯がある。しかし浚渫が終了するとともに再び河口部は堆積傾向に転じた。その後昭和57年8月洪水を受け、治水に対する気運が高まったこと等を受け、以降は主に河川事業として河道掘削が展開されている。

2. 本調査の背景、経緯

大和川は2013年11月に策定した河川整備計画に必要とされる流下能力を確保した後は、それを維持するために河道を安定的に管理する段階にシフトすることとなる。流下能力の維持にあたっては、ライフサイクルコスト、河川環境への影響に配慮した施策の立案・展開が求められる。

その検討ツールとして、大和川の河床変動の特徴を的確に捉えた将来再現性の高い土砂移動モデルを構築し、様々な施策をシミュレートし、施策評価することが必要である。モデルパラメータ設定、モデル検証には長期の実測データ蓄積が不可欠であることから、大和川の河口域を中心に土砂移動に関する各種連続データ観測、さらに土砂移動の支配的要素である洪水時の流砂観測についてモニタリング調査を行い、本報告とした（図1）。



本報告範囲

図1: 全体検討プロセス

3. 調査範囲、調査項目

モニタリング調査の区間は、過去より掘削工事を展開している河口域からおおよそ4kmとした。図2に調査範囲と観測機器設置位置を示す。感潮区間かつ塩分濃度が変化する汽水環境であることから、土砂堆積や水環境にも影響を及ぼしていると想定される。堆積土砂の動態、上流からの土砂供給、塩水遡上等の水質・流動特性及び洪水時の河床変動特性を把握するため、2010年12月より（1）河床材料調査、（2）水位・水質調査、（3）河床高の現地観測（4）洪水時流砂観測を実施している。

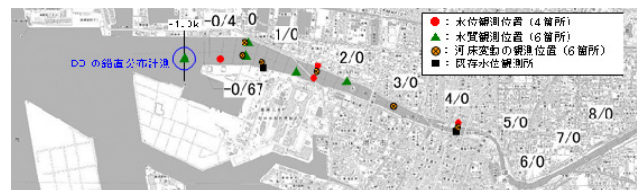


図2: 調査範囲 観測機器設置

（1）河床材料調査

最初に河口域の河床材料・土砂堆積状況を把握するため、河床材料調査、ボーリングによる堆積厚等の調査を実施した

（2）水位・水質調査

平常時及び洪水時の流動および水質特性を把握するため、水位・水質（水温、塩分、溶存酸素）の連続観測を実施している。なお、水質観測では、底層

(河床上30cm)に測定機器を設置し連続観測を実施した。また海域から上流4.0kの範囲にて水質の鉛直分布について大潮の上潮から満潮にかけて縦断的に計測した。(2011年に2回実施)

(3) 河床高の現地観測

河床変動の一般的な調査手法としてリング法があるが最大洗掘深と堆積厚しか把握できない。一方で河道に大がかりな観測機器を設置すると、漁業、航行への影響や、観測機器周辺の流況影響が発生することから、今回はリング法をベースに圧力式水位計を組み合わせた河床高計測機器を考案した(図3,4)。これにより洪水初期～ピーク流量にかけての河床低下、洪水後期の再堆積の挙動を時系列変化で捉えることができ、より詳細に河床変動特性を把握できる。

観測にあたっては河床上に設置した河床高計測機器とその上部に固定した水位計で観測される水深差を求め、上部水位計の設置標高から河床高を推定した。なお、再堆積後の河床高を把握するため、出水が発生した場合は直ちに河床高計測機器の埋没深を測定している。

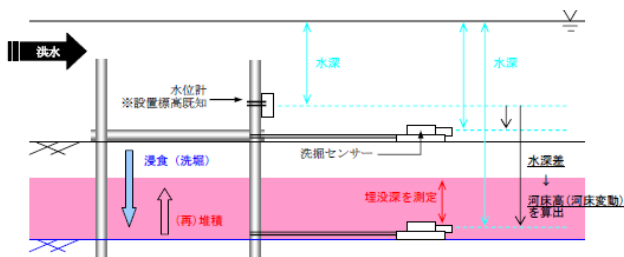


図3(上): 設置機器

図4(下): 河床高計測機器による観測方法

(4) 洪水時流砂観測

洪水時に流下する土砂の物性および供給量は水系の土砂移動特性の中でも重要な要素といえる。推定式でも算出は可能であるが、水系ごとに特徴がある場合が多いことから、実測データによる確認が望ましく、今回洪水時の土砂供給について現地観測を行った。(2012、2013年)

観測方法については2012年は橋梁等からバケツや、ウェイトをつけたホースを投下してサンプル採取し

ていたが、早い流れや流下物の影響が大きく、一般的に流砂量の大きい中～低層部(河床付近)のサンプルを得るのに苦慮した。2013年は観測手法を改良し、流量観測用のH鋼に小型ポンプを設置する採水方式を考案し、また水質自動観測装置の採水機能も利用することで安定的に中層及び下層部分の3層採水が可能となった。観測位置は基準点である柏原観測所(大和川17k)と主要支川である石川の合流点付近(大和川18.4k)、大和川本川の藤井観測所(大和川25.4k)の3地点で行った(図5,6)。



図5(左): 洪水時流砂観測位置

図6(右): 洪水時流砂観測機器

4. 観測調査結果 (2010年12月～)

得られた過年度の観測データを踏まえ、大和川下流部の水位、水質(溶存酸素、塩分)および河床変動の特徴についてとりまとめる。平常時と洪水時に局面を分類して述べる。

(1) 平常時

1) 水位、水質(溶存酸素、塩分)

- ・潮位変動は約3.0kまで伝搬している(図7)。
- ・横断方向に顕著な違いはない。
- ・溶存酸素は、大阪湾由来の貧酸素水塊の影響を受けるため河口域で貧酸素傾向が顕著である(図8)。
- ・塩分は基本的に1.6k付近まで遡上している(概ね毎潮汐)(図8)。
- ・遡上形態は弱混合型であり、淡水(河川水)は水面下を薄く流下している。

2) 河床変動

- ・大きな変化は見られず、河床は安定している。

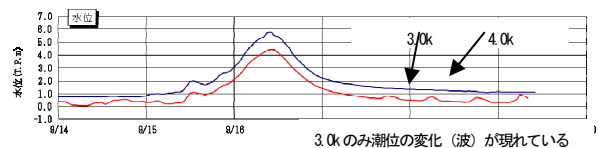


図7: 水位計の水位データ

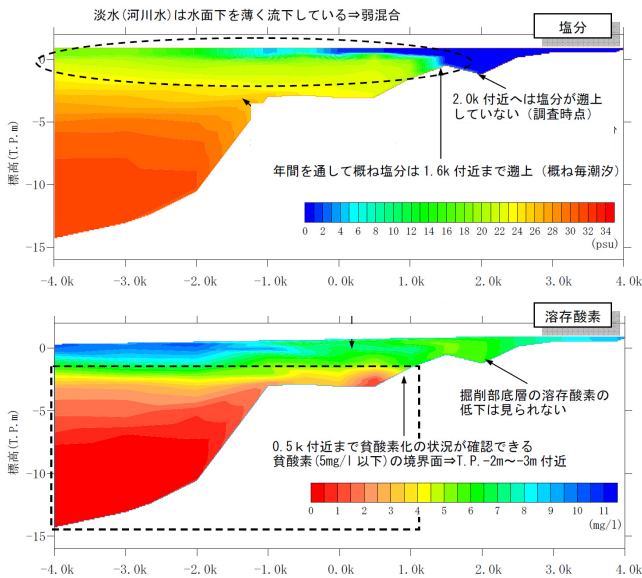


図8：平常時の塩分及び水質の分布状況（2011年7月観測）

(2) 出水時

1) 水位、水質（溶存酸素、塩分）

- 100～200 m³/s 程度の出水による水位上昇や塩分低下といった影響は、0.0kまで生じている。
- 横断方向の水位変動に顕著な違いはない。
- 河床が顕著に動き始める500 m³/sの出水では、潮位によらず河川水は全層で流下し、-1.0kより下流側へ海水はフラッシュされる。
- 出水時における塩分の低下と同時に、上流からの供給または鉛直混合の発生等により、貧酸素化し

ている河口部の-1.0kの底層溶存酸素濃度が上昇する。ただし、すぐに出水発生前の状況に戻る。

2) 河床変動

約3年間の河床変動観測データについて図9に示す。

- 一部を除き、出水ごとに河床低下や再堆積を繰り返しながら、やや低下傾向にある箇所も見られるが観測期間においては全体として動的に安定している。
- 3.0kに設置したセンサーについては緩やかではあるが堆積傾向を示しており、これはセンサー設置以前の2011年に実施した河道掘削工事の応答性によるものと推察される。
- 500 m³/s 未満の出水時における河床変動は全体的に小さく、500 m³/s を超える出水時に顕著に変動している。
- 多くの場合、1洪水中に河床低下（立ち上がり～ピーク付近）と再堆積（低減期）が発生しており、小中規模の洪水での洪水前後の顕著な河床変化（正味の河床高変化）は見られず、動的な平衡状態にある。
- 1000 m³/s（年最大流量程度）規模の洪水においては全域的に50cm程度の侵食、堆積が発生し河床が攪乱されている。底生生物の生息域としては厳しい環境となっていると予測される。
- 2013年9月の台風18号による洪水では大和川において氾濫危険水位を上回る流量となり、戦後为数の記録的洪水となった（柏原観測所約2,000 m³/s※速

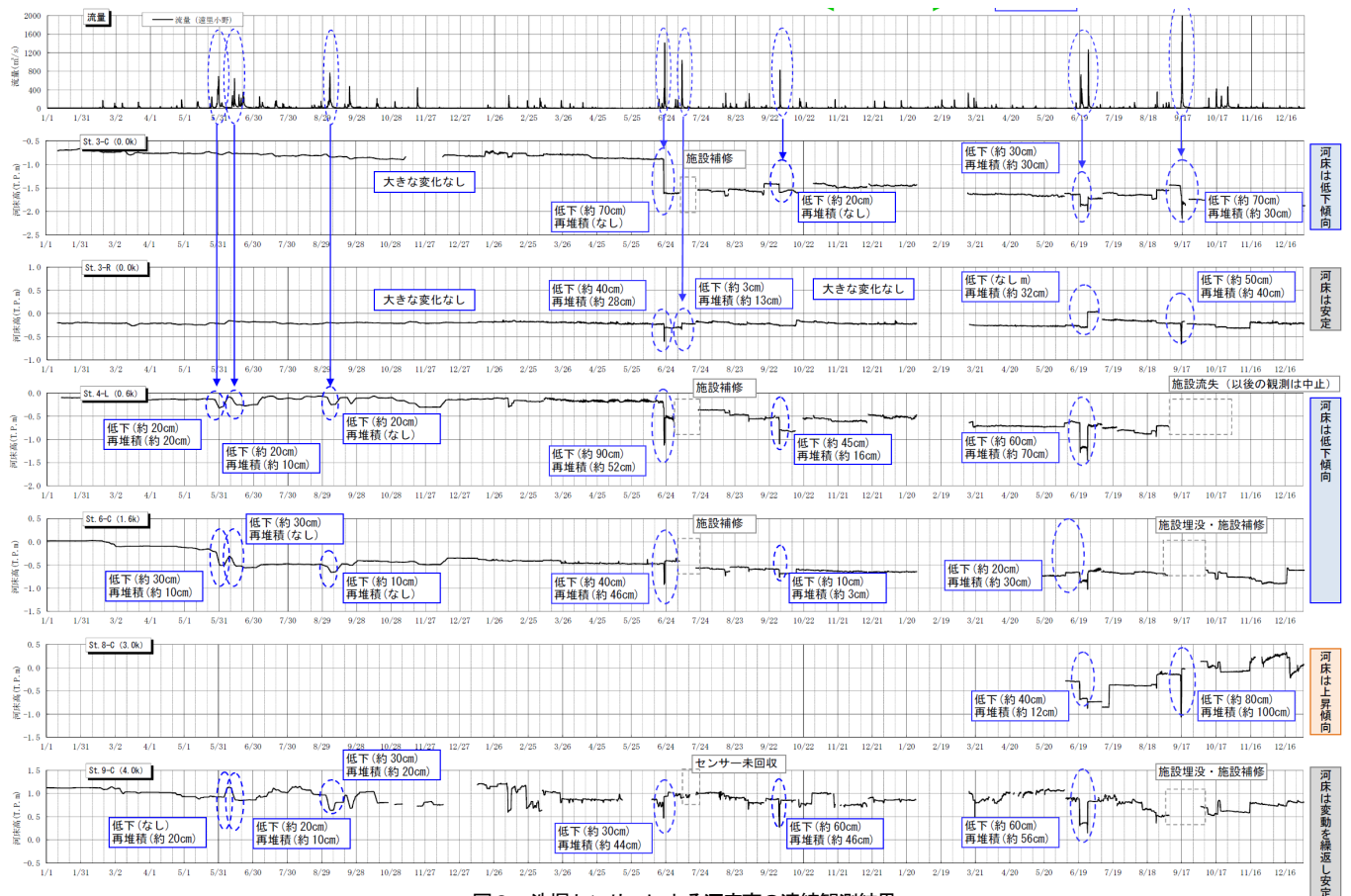


図9：洗堀センサーによる河床高の連続観測結果

（平成23年1月～平成25年12月 センサー番号の末尾は左右位置を示す：右岸(R) 左岸(L) 中央(C)）

報値 生起確率約1/5)。観測されたデータでは洪水初期に約80cm 河床が低下し、その後約100cm 再堆積と大規模な河床変動が見られた。また本洪水により埋没もしくは流出した機器もあり、機器設置根入れが1.2m程度あったことから、広い範囲で1m程度の河床低下と堆積が発生していたものと推察される。このような生起確率の比較的低い洪水の河床変動の観測データは非常に貴重であった。

3) 洪水時流砂観測

洪水流砂量観測については2013年度に3回採水を実施した。そのうち1回は先述した台風18号洪水も含まれており、以下にSS値の結果を示す(図10)。

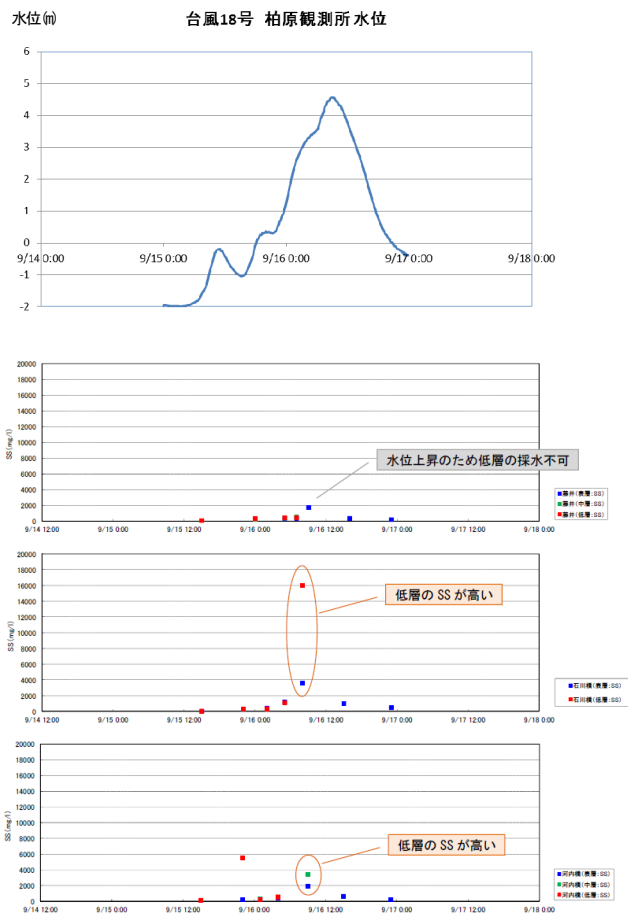


図10：台風18号柏原観測所(17k)水位と洪水サンプルSS計測結果
(上：藤井観測所 中：石川合流点 下：柏原観測所)

SSの測定値は各地点とも水位上昇にともなって上昇し、水位の低下にともないSSが低下するといった流量変動に応じた変化が確認された。また、流量のピーク時には、石川合流点と柏原観測所で表層のSSより中層または底層のSSが高くなった。

粒度分布に関しては代表粒径は各地点とも概ね20～100 μ mの範囲にあり、出水初期に大きく後期に向けて小さくなる傾向となった(図11)。

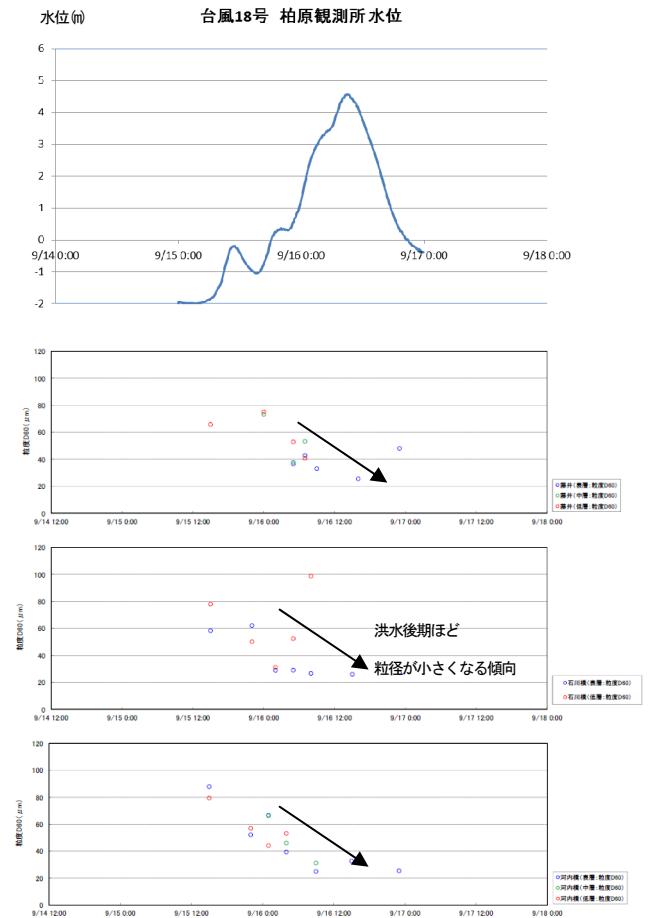


図11：台風18号洪水サンプル粒度計測結果
(上：藤井観測所 中：石川合流点 下：柏原観測所)

以上の調査結果について浮遊土砂量と流量との関係を推定した。

第1回(2013.6.20-21)、第2回(2013.6.26)、第3回(2013.9.15-16 台風18号)の出水時の調査結果に基づく浮遊土砂量と流量との関係は、我が国の一般的な範囲に含まれている。ただし石川は流量あたりの浮遊砂量が比較的多いことが伺える(図12)。

第3回(2013.9.15-16 台風18号)の出水時の調査結果の特徴として、水位が高水敷を超えた後に浮遊砂量が増加していることが挙げられる(図12)。これはサンプル水色が顕著に変化したことでも確認できている。

減水時は増水時より流量あたりの浮遊砂量が多いことから、攪乱頻度の低い高水敷由来の細粒土によるものと考えられ、低水路における掃流砂とは、流出形態が異なるものと考察した。

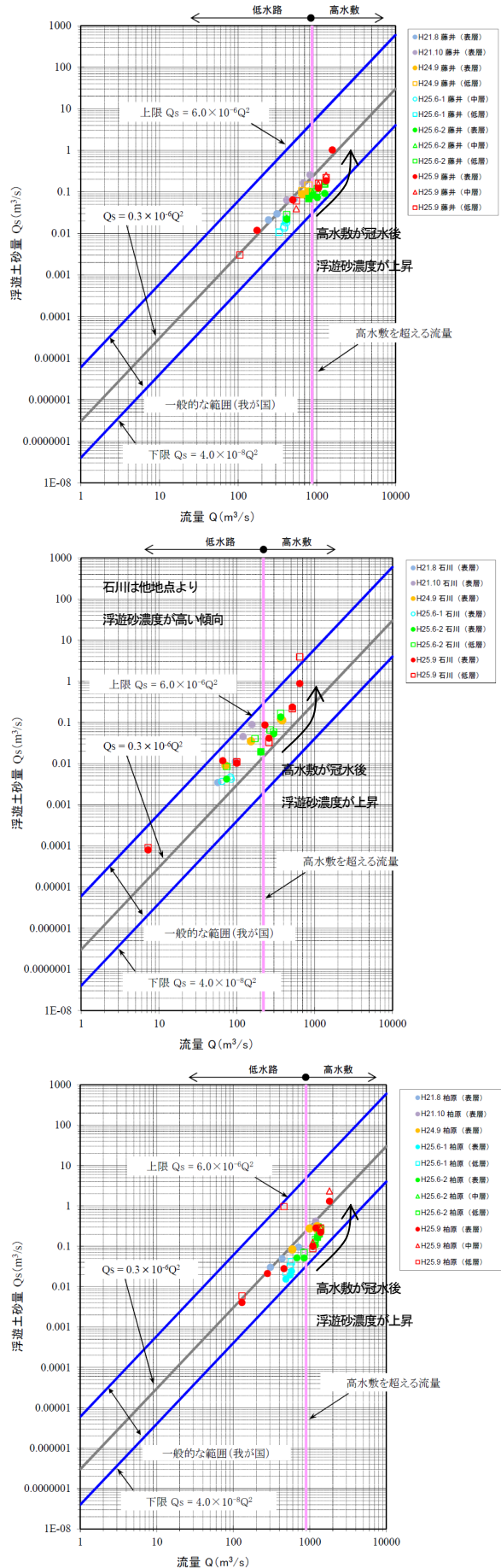


図12：洪水時の浮遊土砂量-流量 (Q-Qs)

(上：藤井観測所 中：石川合流点 下：柏原観測所)

5. 本調査における課題と留意点

(1) 設置機器がもたらす洗掘影響

今回、圧力式水位計を用いて河床の変動を確認したが、設置機器自体から生じる局所洗掘の発生について留意する必要がある。

図13はピーク流量300m³/s および800m³/s 程度の洪水時における河床高計測機器と施設固定杭に設置した鉄製リングの比高差を示しており、マイナス値が施設周囲で局所洗掘が生じていることを示している。今回、固定杭とセンサーに離隔をもうけて局所洗掘の影響低減に配慮した構造としている。

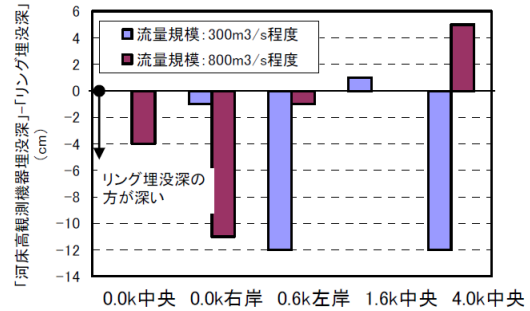


図13：河床高計測値と、固定杭のリングとの比高差

(2) 砂州の移動の発生影響

2013年の台風18号出水では、左岸の干潟が消失し、その直下流の砂州が拡大した。河床変動測定値はポイント（1点の標高）であり、それを周辺の河床高として取り扱う前に、砂州の移動など局所的な河床変化にも注目しておく必要がある。

出水後のデータ収集の際に、周辺の砂州の形成、移動状況について記録し、河床が全体的に変化したのか、限定的なものかを確認しておくことや、センサーの横断方向への複数配置等が有効である。

6. 今後の土砂移動シミュレーションモデル構築の方針

現在、得られた観測データを基に土砂移動モデルを構築しているところである。現在の検討モデルとその検討範囲について表1に示す。

表1：土砂移動モデル検討イメージ

モデル	再現レベル	解析時間	検討範囲
1次元土砂移動モデル	区間の土砂移動量 (距離標単位での 平均河床)	短時間 整備計画期間のシ ミュレートが可能	中長期的な土砂移動 をボリューム的に把 握。維持管理費用シ ミュレーションが可能
2次元、3次元土 砂移動モデル	平面2次元的な河 床変動 (メッシュ単位)	長時間 洪水期間程度のシ ミュレートが可能	詳細な土砂移動現象 の把握。導流堤など 河道整備による効果 の評価が可能

検討範囲における10年以上の中長期的な土砂移動をボリューム的に把握することを想定し、一次元土砂移動モデルを構築する。基本的にはこのモデルを基本に河道計画の方向性を見極めていく。

また、大和川河口域では海水との密度差が生じるため、表層付近と底層付近では流れや水質は不均質であり、洪水流や潮汐流、海水との化学的結合によって掃流・浮遊している可能性も考えられる。

さらに、今後具体的な河道計画立案段階となった際、水勢工や導流堤、掘削形状の工夫など左右岸で一様ではない施策も想定されることから、それらの評価については2次元、3次元による土砂移動シミュレーションが有効であり、モデル構築を進めていく。現状では演算処理時間の問題があり中長期的なシミュレートには向かないが、単一洪水における精密な評価ツールとして開発を進める。

7. 今後の河道管理施策の方向性

整備計画河道確保後の安定的な流下能力維持は、インフラ全般の維持管理費が増大している昨今においての財政的な要請でもある。「流下能力が得られる最小限での都度掘削」から、ライフサイクルコストの最適化を目指した河道管理へシフトすることを主眼として検討していく。適切な河道管理方策を立案する上での現段階の検討方向性について述べる（図14）。

コスト削減の観点	アプローチ	手法例
流下能力不足箇所の堆砂抑制	土砂供給の抑制	植林
	堆砂の抑制 堆砂の誘導 (流速・断面・水面勾配等の調整)	砂防ダム・貯砂ダム
		導流堤・水勢工
		河道断面形状の工夫
掘削コストの抑制	施工単価抑制	浚渫or陸上掘削最適化
	運搬費の抑制	運搬手法の工夫 (のせかえ回避)
		運搬ルート短縮
	土砂処分費の抑制	近傍受入先の確保

図14：流下能力維持におけるライフサイクルコスト最適化の考え方

ライフサイクルコスト＝インシヤルコスト＋メンテナンスコストであり、河道管理に当てはめた場合、流下能力維持コスト＝堆積抑制のためのコスト＋掘削コストと置き換えられ、掘削コストについてはアプローチとして掘削ボリュームの最小化と、掘削単価の低減の双方から展開することができる。

例えば、除去しやすい位置での低頻度・大ロットの効率的な維持掘削など工事における掘削単価の低減も重要な視点であり、他にも土砂受け入れ先、運搬方法などの社会的条件も関与する。

また、堆砂抑制については今後土砂移動モデルを用い評価選定を行う。例えば、堆砂が顕著で流下能力確保が厳しい区間の下流側の水位を低下させた場合、水面勾配がつき当該区間の流速が上昇するため、下流側に堆砂が誘導され、長期的には当該区間の堆砂量を減少させるとのシミュレーション結果が得られている。ダムや堰におけるいわば堆砂容量の発想と似ており、ランニングコスト低減に効果が期待できる。しかしその河床形状の整備費用コストがかさむ場合は都度掘削の方が経済的となる可能性もあるため、様々な施策について中長期での全体コストをシミュレートしながら進めていきたいと考えている。