

漂砂系土砂管理のための統合型モニタリング・予測解析システムの構築

豊橋技術科学大学 ○岡辺拓巳*, 加藤 茂*
東京大学 佐藤慎司**, 田島芳満**,
下園武範**
大阪大学 青木伸一***, 佐々木勇弥***
筑波大学 武若 聡****
島根大学 佐藤裕和*****

総合的土砂管理 河口 漂砂
モニタリングシステム 砂州 密度流

研究の目的

本研究では、高い費用対効果の先端的な地形・漂砂の計測技術を統合するとともに、新たな視点による洪水時の土砂輸送の特性を実験により定量評価し、河川から海へ至る土砂動態を総合的に解明する漂砂系土砂動態モニタリングシステムを構築する。

研究の内容

天竜川（静岡県）およびその河口域を対象に研究を実施した。複数の計測手法による地形のモニタリングや実験の成果から、河川から河口へ流れ出る土砂の動態のほか、河口域に蓄積された土砂が形成するテラスや砂州地形の変化や周辺海岸での地形変化を明らかにする。以下に、漂砂の流れに沿って、河川から河口、周辺海岸の順に研究内容と成果を述べる。

まず、河川においては河道砂州の土砂供給ポテンシャルを評価した。大規模に発達した河道砂州は、植生（草、樹木）の繁茂を伴っており、洪水時の流砂の捕捉や砂の掃流を阻害する一方で、除草などの管理が行き届けば、天然の置土となる可能性もある。そこで、砂州上の植生の抵抗をManning則で表現することで、一次元河床変動計算によって砂州の掃流砂の供給ポテンシャルを評価した。その結果、洪水時には、樹木の繁茂した砂州の影響によって河川水位が上昇することを算出でき、防災面からも砂州と植生の重要性を示した。土砂管理においては、樹木は残しながら除草のみでも、出水規模に応じて数千～数十万 m³ の土砂を河道砂州から下流へ供給することができることを明らかにした。

河川出水による河口・海域への土砂供給においては、河川水と土砂で構成される泥水流の挙動が重要な役割を果たす。そこで、泥水が密度の異なる河口域でどのように振る舞うか、その挙動特性を水理実験により把握した。泥水は粒径の異なる粒子を複数の割合で作成し、粒度分布を変化させて密度との関係について調べた。その結果、少粒子の混入割合が、泥水流の挙動と河口テラス斜面で

の堆積特性に影響を与えることを把握した。次に、2018年7月7日に天竜川河口において観測を実施し、出水時の濁水に関する現地データを取得した。これは、7月6日にピークを迎えた洪水イベントで、最大流量は約6000 m³/sであった。波浪は比較的小さく、河口前面の水深約10～16 mの5地点において、塩分、水温、濁度の鉛直分布を計測するとともに採水も実施した。これより、海域の表層から2 mまでに加えて、底部で濁度の大きな増大が見られた。海底付近の高濁度水は、塩分との比較から底質の巻き上げが原因と考えられる。また、泥水に含まれる浮遊砂濃度は小さく、このイベントでは水理実験で検討したような濁水流が生じていなかった。しかしながら、洪水直後の河口での多地点・多層の水質観測は貴重であり、重要な観測データを取得することができた。

洪水で河口域に供給された土砂は、河口テラスや砂州を形成して隣接海岸への供給源（ストック）となる。河口砂州の出水や波浪に対する地形的応答は、土砂プロセスを把握するために重要な情報である。ここでは、洪水時の波浪の有無による砂州の変化特性を、カメラ画像分析を用いて明らかにした。河口左岸に設置したカメラで、約2 kmに渡る砂州の形状を連続的にモニタリングし、砂州の越流や崩壊、開口のプロセスを検討した。その結果、砂州の高さによって、主な侵食要因が越波か越流かに分別できることを示した。また、開口部から河川側への波浪の侵入の影響は小さいこと、砂州の前進・後退が越波と河道側の侵食で生じることを明らかにした。このことから、波浪による砂州の後退・河道内の土砂堆積を防ぐことも考慮した出水管理が必要である。

海域では、河口の土砂が隣接する海岸へと輸送されるため、広域的な海底地形の定量的な把握が重要である。本研究では、一般的な深浅測量とは異なる地形データの入手法として、漁船ビッグデータによる海底地形モニタリングを展開した。これは、対象海域を操業するシラス漁船および遊漁船の操業中に得られる位置（緯度および

経度)・水深(魚群探知機による測深値)を収集し、地形データを生成する手法である。2007年より漁業者との協力関係を構築し、継続的なデータ収集を行ってきた。これにより、天竜川河口を含めた数十kmに渡る海底地形データを分析できる。その結果、2017年から2018年にかけて、河口前面の沿岸方向1kmの範囲で水深2mを超える堆積が生じており、出水に伴う河川からの土砂供給があったことを示唆した。また、隣接する海岸では、2018年21および24号台風で海岸施設が被災しており、その近傍で地形が侵食されていることを把握した。河口から10km東側に位置する福田漁港では、河口からの沿岸漂砂が続いており、港口部が土砂により埋没しつつあることを定量的に明らかにした。2017年と比較しても2m以上浅くなっており、早期の浚渫工事が必要と考えられる。

先述した河口砂州と異なり、河口テラスは海中の地形であるため、可視情報だけでのモニタリングは難しい。そこで、Xバンドレーダを用いることで、リモートセンシング技術による砂州(陸上)と河口テラス(海底)を紐づけた地形計測・分析を実施した。この際、漁船ビッグデータによるテラス地形データを統合し、河口域全体の地形変動を分析する。レーダエコーからは砂州の移動や面積を算出し、時間的な変動を捉えた。これより、2007年からの10年間に砂州は河川側へ約3m/yrの速度で移動していることがわかった。また、テラスの水深8m地点は40m/yrの速度で侵食が続いており、特に浅い水深ではこの速度が大きい。さらに、これらの傾向と2011年から続く海域の波浪エネルギーの増大傾向が調和的であることもわかった。河川出水に対する地形的な挙動は、2013~2014年の5回のイベントを基に検討した。その結果、出水量の増大に対して砂州の面積は大幅に減少する一方、テラスの岸沖断面積は増加する傾向があった。これは、河川上流あるいは砂州からの土砂供給を反映しているものと考えられる。

河口にストックされた土砂は、波浪によって隣接する海岸に沿って移動し、砂浜を形成する。従って、広域土砂管理においては、河川・河口だけでなく、連続する海岸も広くモニタリングする必要がある。先述した福田漁港東側において、カメラ画像を用いたARGUSビデオモニタリングシステムを設置し、この可視情報から浅海域の地形を推定した。これにより、高頻度に海岸近くの海底地形データを取得し、台風前後の変化を捉えた。水深推定に際しては、カメラ画像に写った砕波減少に対して合田の砕波モデルを適用する点に特徴がある。また、このモデル適用に際し、光学的な修正に漁船ビッグデータの地

形情報も融合して用いた。得られた地形データは、沖合のサンドバーなどをよく推定できていた。ただし、沖合の水深推定には高波浪が、岸側の水深推定には波の穏やかなときが適しているなど、波の状況によって空間的な推定精度が大きく異なることも明らかとなった。しかしながら、高波浪を伴った台風の前後の地形を比較したところ、このバーが約80m沖合に移動していることを把握した。これは、高波浪時のサンドバーの一般的な応答に一致しており、この手法の有用性を示した。

研究の成果、新知見

先端的な土砂動態・沿岸域地形の計測技術を実フィールドで統合するとともに、新たな視点による洪水時の土砂輸送の特性を数値計算や実験、観測により定量評価し、河川から海へ至る土砂動態を総合的に捉えた。

河川では河道砂州と植生の関係を数値計算により評価し、除草することで数千~数十万 m^3 の土砂を河道砂州から下流へ供給できるポテンシャルを示した。洪水による泥水の挙動は、そこに含まれる細粒成分の割合によって異なることを水理実験により明らかにした。一方、実海域では洪水時の水質観測を実施し、実際の泥水に含まれる浮遊砂濃度が小さく、底層に大規模に土砂を供給するような密度流の発生が限られた条件であることを把握した。河口砂州は高波浪による越波と洪水による越流で地形変化するが、これらはその標高に依存することを、カメラ画像によるモニタリングで明らかにした。沿岸漁業と協働したビッグデータによる海底地形モニタリングでは、2017年から2018年にかけて、河口前面に土砂供給があったことを捉えた。また、隣接する海岸では、台風で被災した海岸施設近傍の侵食状況を明らかにした。このビッグデータは、XバンドレーダやARGUSモニタリングと融合することで、それぞれの解析結果を向上させた。Xバンドレーダでは、砂州地形の長期経時変化をリモートセンシングで捉えた。海底のテラス地形とともに河川側へ移動しており、これが波浪エネルギーの増大トレンドと調和的であることを示した。河口から土砂供給を受ける海岸では、カメラで得られた砕波情報から、浅海域の水深推定技術を構築した。台風によるサンドバーの沖側への移動を捉えており、地形モニタリング手法としての有用性を示した。

今後の予定

対象河口域でのモニタリングデータの蓄積を継続するとともに、洪水で得られた現地観測データの分析を進め、洪水による河口域への土砂供給を定量的に評価する。隣接する海岸においても計測技術の統合をさらに進める。