

天竜川河口部における砂礫の選択的移動特性と砂州の変形機構

1. 研究の目的 絶えず変形する河口砂州形状は河口域周辺の地形変化や沿岸方向への供給土砂収支に甚大な影響を与える。本研究では上流域からの土砂供給量の枯渇により大規模な侵食変形が進行している天竜川河口砂州を対象とし、高頻度地形計測や画像観測、着色砂追跡調査等を通じて砂礫の移動特性と砂州の変形特性の解明を試みる。

2. 研究内容 天竜川河口砂州が大きく変形した2009年7月から10月にかけて合計7回の地形計測を実施し、河口砂州の変形特性を整理した。特に著しい変形が見られた砂州先端部では、定点観測カメラで撮影した潮位 TP+0m 時における107枚の静止画像に対して著者らが構築した画像分析手法を適用し、数時間オーダーで刻々と変化する砂州先端部の水際線位置を定量的に捉えた(図2, 3)。得られた水際線データより、砂州先端部の固定領域における陸域面積を算定し、その時間変化を波浪場、潮汐、河川流量と比較した(図3)。また観測期間中には台風18号に伴う有義波高10m強の高波浪が来襲し、砂州全体を上流(北)側へ押し込む大変形が見られたため、その前後における深淺測量結果から砂州上を北向きに通過した土砂移動量を推定した。次に砂州周辺における土砂の移動特性を把握するため、着色砂・礫の追跡調査を実施した。まず砂州先端部および中央部にそれぞれ250kgの着色砂・礫を投入し、砂州中央部では遡上帯を、先端部では周辺全域をそれぞれ対象に、新たに改良した画像抽出式着色砂計数器により着色砂の含有率を計測した。着色礫については遡上帯を含む任意地点における画像記録から、単位面積あたりの礫個数を数えた。着色砂追跡を含む全観測期間を通じてX-bandレーダおよび定点観測カメラによるリモート観測を行い、砂州周辺部の越波(浸水率)や波向の時空間変化を定量的に推定した。最後に透水層を考慮した修正ブシネスク方程式に基づき河口砂州への越波・遡上を含む波・流れ場の数値解析を実施し、リモート観測データや着色砂調査結果との比較を通じて特に砂州先端部における複雑な砂礫の移動特性について分析を加えた。

3. 主要な結論 観測期間中は南東からの来襲波浪が卓越し、砂州海側の汀線は西側・東側でそれぞれ前進・後退し、砂州中央部の着色砂追跡で見られた西向き移動と符合した(図1,4)。一方、砂州先端部では複雑な地形変化が見られ(図1~3)、先端部を南北に分割した領域1, 2(図2)における陸域面積の変化や外力場、着色砂の観測結果から、主に以下の事柄が明らかとなった。①越波を伴う高波浪は先端部を北向きに移動させた。②出水に伴う強い流れは北側陸域(領域1)のみを侵食した。③高波浪来襲後の低波浪により海岸線前面で浅瀬が発達し、海岸側の陸域面積(領域2)が増大した。④先端部の地形変化は越波が卓越する大潮時に顕著に見られた。⑤南東からの来襲波により砂州中央部での着色砂は西向きに移動したのに対し、先端部汀線付近では南西からの波向へと変化し、着色砂礫は東向きに移動した。これに伴い砂州先端(東端)部の陸域総面積は増大した(図3,5)。⑥着色砂に比べて礫はより北向きに移動する傾向が見られ、そのタイミングは画像分析に基づく浸水範囲(図6)が拡大した28日午前10時以降や、更なる浸水域の拡大が予想される同日深夜の満潮を経た29日であった(図5)。⑦台風18号に伴う砂州上の北向き土砂移動量の分布は砂州標高と強い負の相関を示し、越波や遡上に伴う浸水域の拡大時にのみ見られた礫の北向き移動特性と妥当に整合した。以上より、特に砂州先端部における砂礫の選択的移動とそれに伴う地形変化特性を説明するには越波や波向変化の推定が重要であり、修正ブシネスク方程式法による計算(図7)により、これらの現象は来襲波の長周期変動を伴う不規則性や河川流との干渉に伴う屈折効果を考慮することによって妥当に再現できることが分かった。

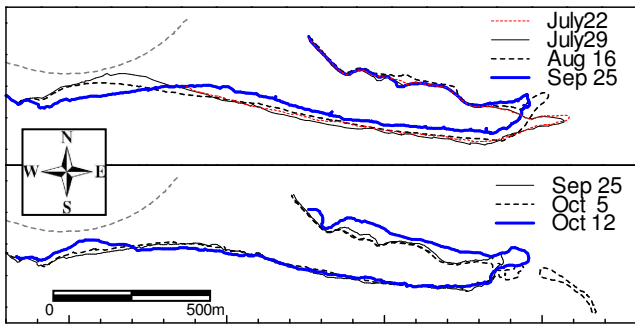


図-1 河口砂州平面形状の経時変化

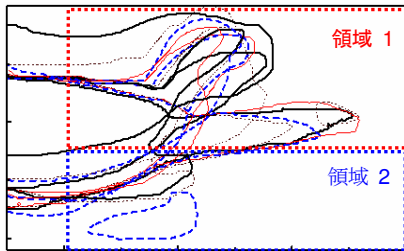


図-2 観測画像による砂州先端形状の高頻度抽出例 (異なる時間における先端部水際線位置を重ねて図示)

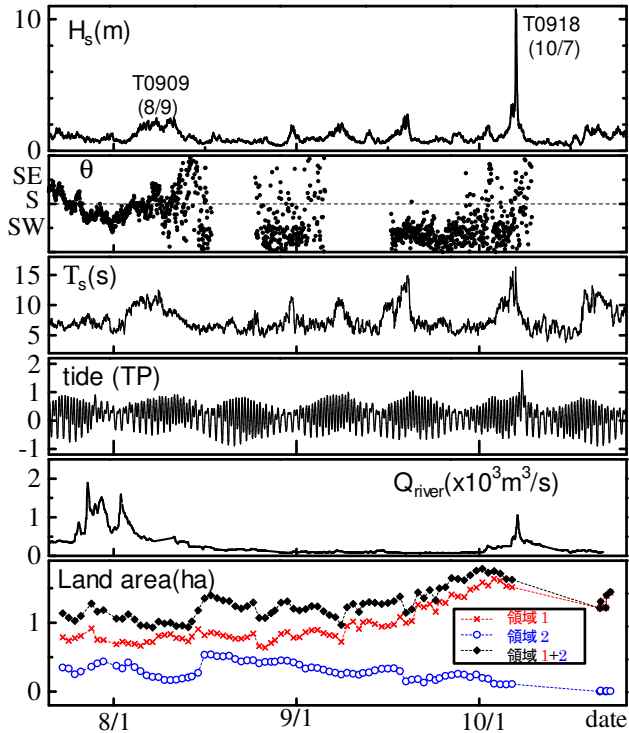


図-3 外力場および砂州先端面積の経時変化

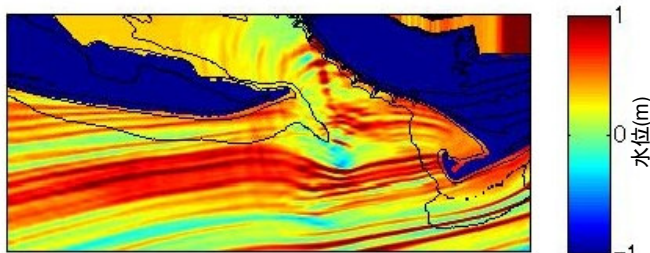


図-7 数値波動モデルによる瞬間水位分布 (不規則波：波・流れ干渉および遡上を考慮)

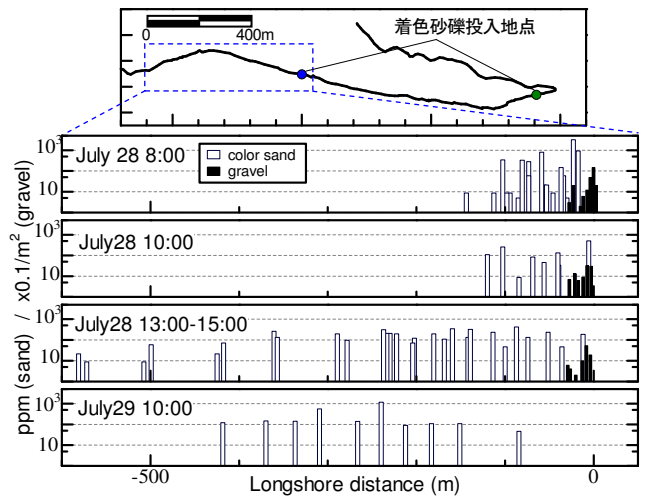


図-4 砂州中央部における着色砂・礫の追跡結果

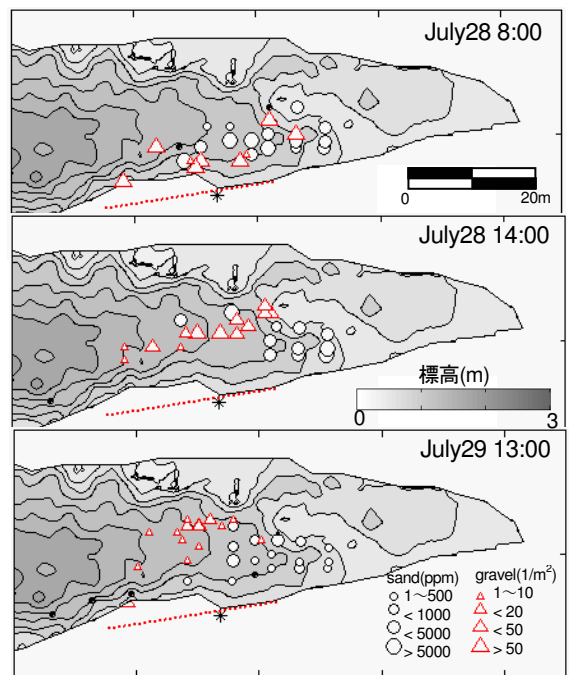


図-5 砂州先端部における着色砂・礫の追跡結果

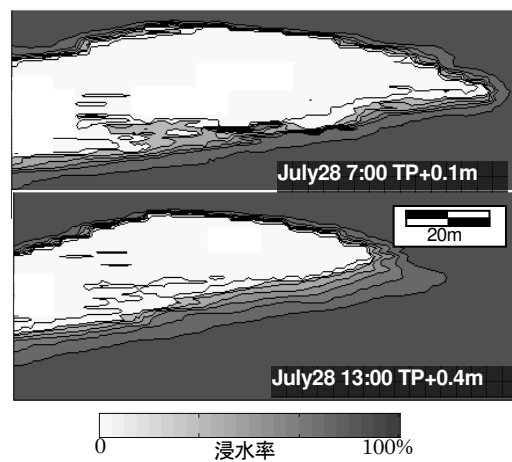


図-6 定点観測画像に基づく砂州先端部の浸水率