

# 洪水出水による都市河川河口の地形変化

木下歩\* 宇野宏司\*\*

## Topographic Change of the Urban River Mouth by the Flood

Ayumi KINOSHITA\* Kohji UNO\*\*

### ABSTRACT

In this study, we carried out continuous monitoring and field survey to grasp the water environment and topographic change at river mouth bar by the flood. Study site is Akashi River mouth, Hyogo Prefecture in JAPAN. Akashi River is one of the typical urban river, the bar and terrace at the river mouth repeat appearance and disappearance. In this study, first, we observed the shape of the bar using a portable GPS and digital camera. Second, we grasped the topographic change by the ground level survey using electronic level equipment and the image analysis for calculation of the mean diameter. Finally, the continuous monitoring at the river mouth and the daily observation before and after flood were conducted. From these observations, it is clarified the river mouth bar and terrace tends to be formed in the winter and be washed away by the flood in rainy season.

*Keywords* : continuous monitoring, topographic change, river mouth bar, flood, portable GPS

### 1. 研究背景と目的

明石川は、神戸市、明石市、三木市の3市を流れ播磨灘に注ぐ2級河川で、流路延長21.0 km、流域面積128.4 km<sup>2</sup>の都市中小河川である。本河川の河口では、砂州やテラスが形成され、ヨシ等の抽出植物が繁茂し、淡水魚であるコイなども生息している。下流域の伊川合流部から河口までの区間（約1.7 km）には、高潮堤防、高潮堰が設けられている。これらの地形は河道内への波浪の侵入や塩水の遡上を防止する役割を果たしている。一方で、砂州が過剰に発達し河口部が閉塞状態になると、洪水疎通能が低下する。その結果、近年多発している局所豪雨のような短期間に大きな出水があった場合、河道内水位が急上昇し、親水空間が浸水する可能性がある。また明石川河口右岸には船上浄化センターが隣接しているため、河口閉塞が進むと放流した処理水が海域へ放流されることなく、河口部に停滞し、水環境を悪化させるといった問題も起こりうる。このように防災や環境面から重要な機能を果たしていると思われる河口砂州の地形や底質は、河川流による上流

から土砂輸送や、波・流れによる漂砂によって常に変動している。こうした変動が水質や洪水氾濫リスクにどのような影響を及ぼすのかを定量的に把握し、適切な河道計画の策定や洪水ハザードマップの作成を行う必要がある。

明石川河口においては、ラジコンボートを用いて河口域の地形と水質の時空間変動の把握を行った宇野ら<sup>(1)</sup>の研究事例があるが、河口砂州の地形変化を対象とした研究はなされていない。

そこで本研究では、図-1に示す明石川河口左岸に形成される河口砂州及び右岸から伸びるテラスを対象に、砂州形状と底質の時空間変化の特徴をとらえることを目的として、毎月1回の継続的な現地調査と連続モニタリング、2度にわたる24時間の集中調査を実施し、洪水に伴う大きな出水の前後での河口砂州・テラスの地形変化及び明石川河口の水環境変化を把握する。

### 2. 調査概要

2012年4月～2013年9月までの期間で毎月1回大潮の干潮時に、明石川河口左岸沿いに形成される砂州と右岸から伸びる前面テラスを対象とし、地形の時空間変動の把握に関する現地調査を行なった。ここでは干潮時の汀線を境界とし、汀線で囲まれる砂州全域内に

\* 専攻科 都市工学専攻

\*\* 都市工学科 准教授

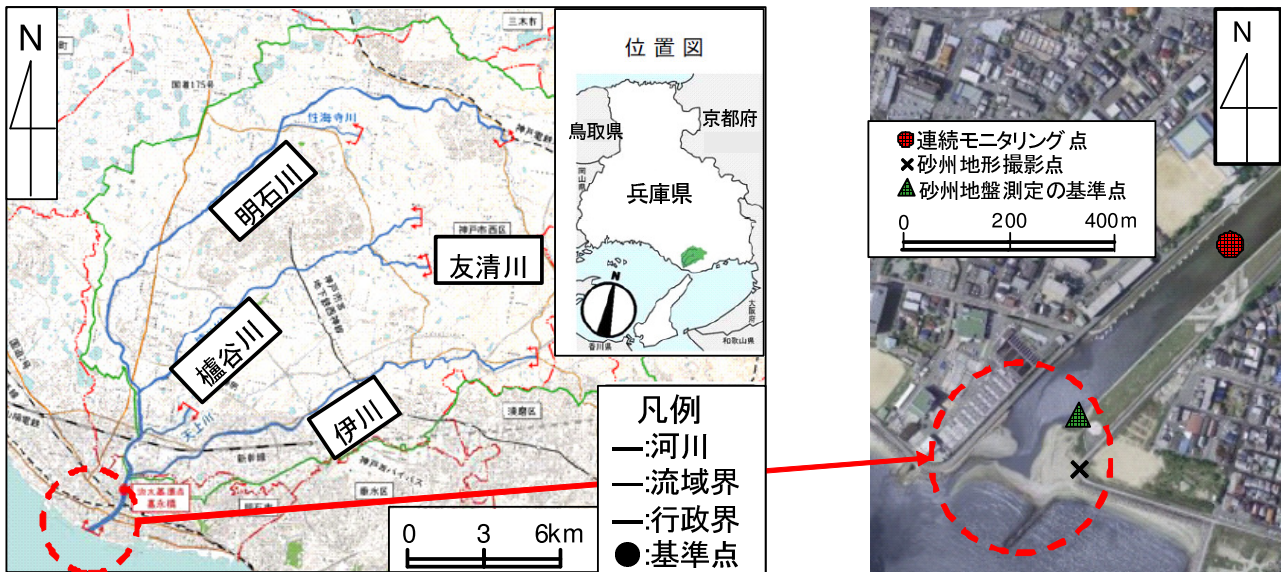


図1 明石川流域と現地調査地点

約 10 m 間隔の測点を設け、地盤高の測定及び平均粒径算出のための表層底質の画像撮影を行った。また、左岸堤防上の定点において砂州の形状変化を把握するため砂州全体の撮影を行った。水環境については、計器を用いた連続モニタリング、河口閉塞時（2013年4月26、27日）と閉塞が解消された時期（2013年8月5、6日）の2回にわたる集中調査を実施した。詳細については以下に示す。

### 2.1 定点観測

(a) 砂州形状の把握 明石川河口先端の左岸堤防上より河口砂州の形状をデジタルカメラ（COOLPIX P6000, Nikon 社）で定点撮影し、砂州全体の形状を把握した。また、携帯型 GPS（GPSMAP60CSx, GARMIN 社）で汀線沿いの位置データを記録した。

(b) 砂州の地盤高の把握 砂州上に電子レベル（DL-103, TOPCON 社）を据え付け、各測点の地盤高を測定した。ここでの地盤高は、基準点（砂州上流側にあるコンクリート地盤：図1参照）での高さを0とした場合の相対的な高さである。また、各測点の位置情報については、携帯型 GPS（GPSMAP60CSx, GARMIN 社）を用いて記録した。なお、調査月で砂州形状は常に変化し、各月の測定は厳密には一致しない。そこで各月の地盤高を比較するため、測点を用いて領域を三角形要素分割<sup>(2)</sup>し、空間分布図を作成したのち、2次元1次補間関数を用いて、定点での値に空間補間によって算出した。

(c) 平均粒径の算出 各測点において、デジタルカメラ（COOLPIX P6000, Nikon 社）の接写による表層底質の画像撮影を行った。取得されたそれぞれの画像に対し、Rubin らの提案する画像の空間統計特性を考慮した画像処理方法<sup>(3)</sup>を用いて、各測点の平均粒径を算出した。また、地盤高と同様に各月の値を比較する



図2 集中調査における計器設置図

ため定点での値を補間した。

2.2 連続モニタリング 河口から上流側約 400 m 地点の右岸護岸下（図1参照）に自記録式水温塩分計（COMPACT-CT, JFE アドバンティック社）と自記録式水位計（HOBO U-20, onset 社）を取り付けたブロックを設置し、2分間隔で水深、塩分、水温を計測した。

2.3 集中調査 2013年4月に完全に河口閉塞となった明石川河口は、2013年6月の梅雨前線に起因する降雨によって、河口閉塞が若干解消された。本調査では、河口閉塞時と閉塞が解消された時期の明石川河口の流動環境を比較した。この集中調査では図2に示すように、右岸テラスの中央沖側と岸側に自記録式水位計（HOBO U-20, onset 社）と自記録式水温塩分計（COMPACT-CT, JFE アドバンティック社）を、右岸テラスの上流側に自記録式流向・流速計（INFINITY-EM AEM-USB, JFE アドバンティック社）を設置した。これらの計器の測定間隔は、それぞれ4秒、1秒、0.1秒である。

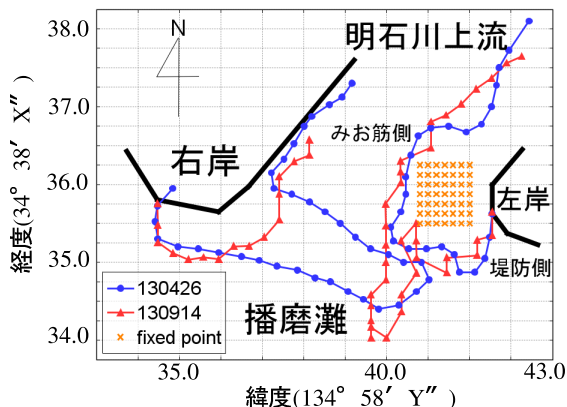


図3 砂州形状

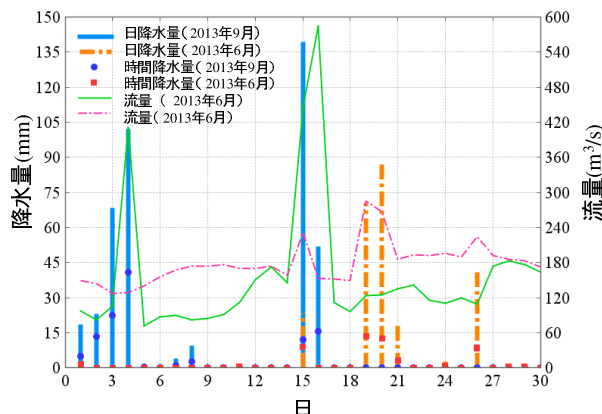


図4 気象データ



写真1 砂州形状 (閉塞時, 2013年4月27日)



写真2 砂州形状 (フラッシュ直後, 2013年9月14日)

### 3. 調査結果および考察

3.1 砂州の形状把握 図3, 写真1, 2に2013年4月と2013年9月の砂州形状を示す。これを見ると, 4月には見られた右岸テラスが9月には消失しており, 砂州地形が沖方向に伸びた形状となっていた。

3.2 出水になる降雨と流量変化 砂州の形状変化の一因には降雨による出水が挙げられると考え, 気象庁アメダス明石観測所(明石市二見町南二見)で観測された降水量データ<sup>(4)</sup>をまとめた。図4に出水の見られた2013年6月と9月の降水量と明石川河口の流量を示す。流量については, 明石川水位観測所から得られた水位と設定されたHQ式を用いて算出した。6月の降水量と流量を見ると, 6月19, 20日の降雨に伴い約130 m<sup>3</sup>/sもの急激な流量の上昇が見られる。降雨後においても河口内の流量は, 18日の降雨前の流量を上回る180 m<sup>3</sup>/s以上の流量が9日間続いたことから, 出水が大きかったことがうかがえる。また9月は, 台風1317号の接近に伴う降雨により4日の時間降水量が41 mmを示し, このタイミングで砂州が完全にフラッシュされたと考えられる。この時の流量を見ると, 9月4日で411 m<sup>3</sup>/sであり, 6月20日の流量約285 m<sup>3</sup>/sに比べ約1.4倍もの規模であった。なお, 明石川河口の計画高水流量は1300 m<sup>3</sup>/sである。

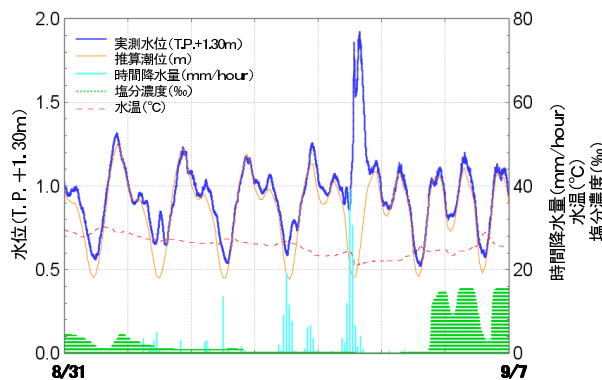
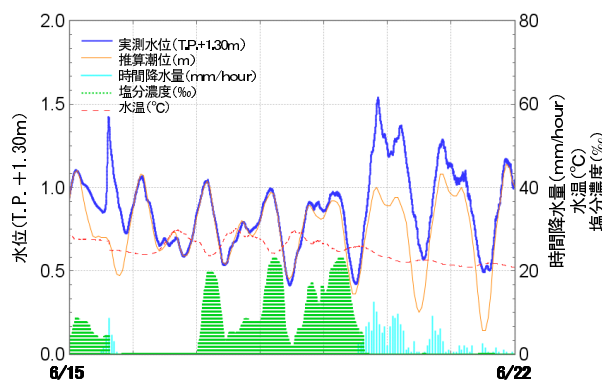


図5 連続モニタリング結果  
(上: 2013年6月, 下: 2013年9月)

3.3 連続モニタリング 図5に6月と9月の降雨の見られた前後の連続モニタリング結果を示す。いずれの日も出水による水位の上昇と, 海からの塩分供給が絶たれていることが確認された。干潮時にもかかわらず水位上昇が顕著に見られた9月4日の降雨によって, テラス及び砂州がフラッシュされたと推察される。その後は, 河口閉塞が解消され, 潮位変動により塩分の遡上を確認された。

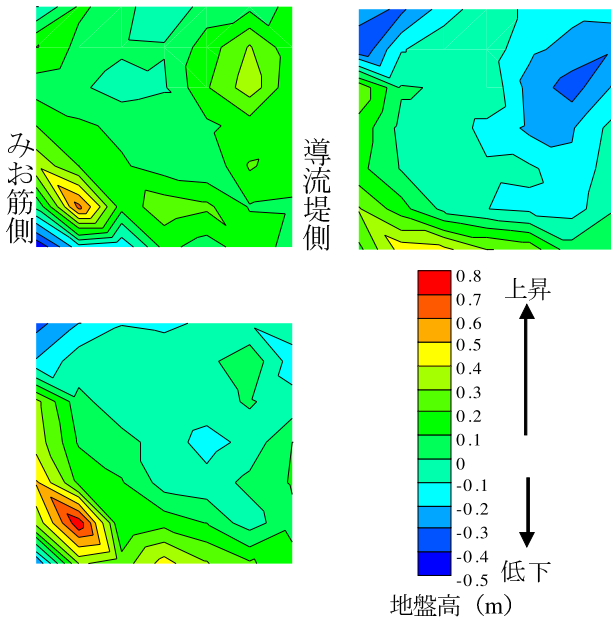


図6 地盤高の差値

(左上: 6月-4月, 右上: 9月-6月, 左下: 9月-4月)

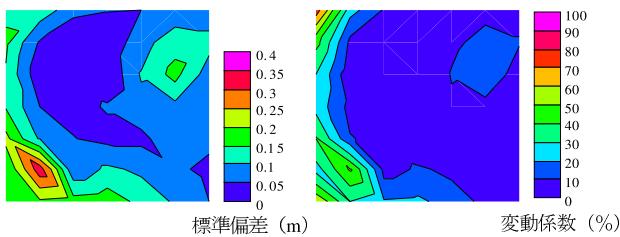


図7 地盤高の標準偏差と変動係数

3.4 砂州の地盤高及び粒度変化 本調査では、砂州の地形変化や潮汐の影響により厳密な測定地点が異なるため、他の月の観測値との比較ができない。そこで5 m 間隔の格子状の定点(図3参照)を設けて、定点での補間値を算出し、空間分布図を作成した。対象としたデータは、4月の閉塞時、6月、9月の降雨後の地盤高、平均粒径である。また、両者の標準偏差と変動係数の空間分布についても示した。図6に4月と6月、6月と9月、4月と9月の地盤高の空間分布図の差値、図7に地盤高の標準偏差と変動係数を示す。差値については、例えば4月と6月については6月から4月の差をとった。9月と4月の差値を見ると、上流側付近では地盤高は低下しているが、沖側前面では地盤高の上昇が見られる。これは、降雨による出水に伴い上流側の砂が沖側へ流されたためであると考えられる。その地点の地盤高のばらつき具合を示す標準偏差について見ると、砂州中央部に比べみお筋側が0.15以上と大きく、特に沖側前面では0.3以上となっており、出水の影響による変動は沖側前面が大きかったことがうかがえる。地盤高の大きさとその相対関係からみたばらつき具合を示す変動係数については、みお筋側で大きくなるのがわかっ

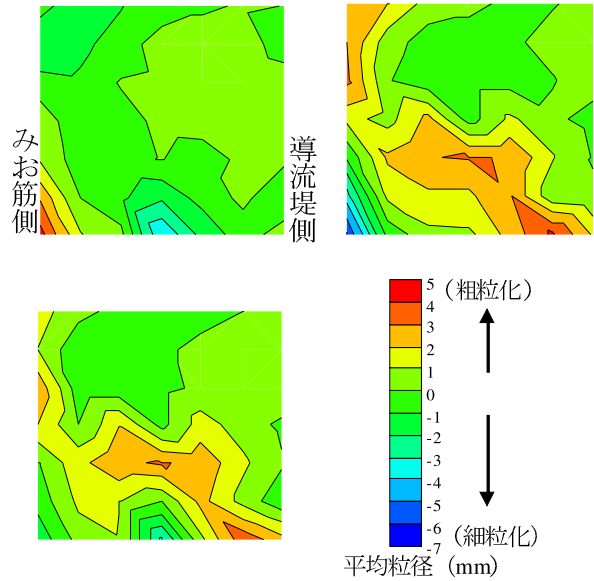


図8 平均粒径の差値

(左上: 6月-4月, 右上: 9月-6月, 左下: 9月-4月)

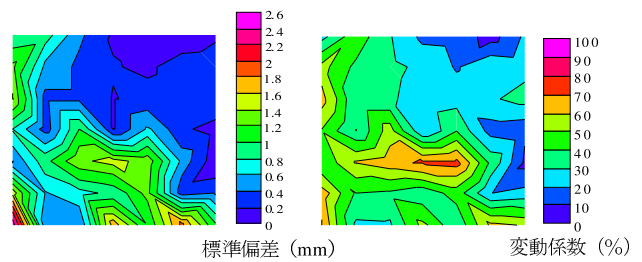


図9 平均粒径の標準偏差と変動係数

た。これは、出水の影響によるものと考えられる。図8に4月と6月、6月と9月、4月と9月の平均粒径の空間分布図の差値、図9に平均粒径の標準偏差と変動係数を示す。9月と6月の差値を見ると、6月の降雨後は沖側前面で粗粒化が見られたが、9月には上流側と砂州中央部でも粗粒化が見られた。6月の降雨では砂州は完全にフラッシュはしなかったが、沖側前面においては出水によって細砂が乱され、粗粒化したと考えられる。一方、9月4日には時間降水量41 mm、流量411 m<sup>3</sup>/sを示し、砂州がフラッシュするほど出水が大きく、それに伴い砂州中央部まで粒径の大きい砂が運ばれ、堆積し粗粒化したと考えられる。また、沖側前面が細粒化していることから、洪水末期に微細粒子が堆積したと考えられる。標準偏差について見ると、汀線沿いで大きくなっていった。特に出水の影響が大きいみお筋側は、沖側前面では2 mm以上を示した。変動係数について見ると、砂州中央部が大きくなっていった。これは、砂州が完全にフラッシュされる規模の出水においては、砂州中央部の地形が大きく乱されることが推測される。



表 1 沖側水位の解析結果

年月日	最大波高(m)	1/10最大波(m)	1/3最大波(m)	平均波(m)
2013年4月26日	0.205	0.098	0.061	0.023
2013年8月5日	0.394	0.176	0.126	0.067

表 2 岸側水位の解析結果

年月日	最大波高(m)	1/10最大波(m)	1/3最大波(m)	平均波(m)
2013年4月26日	0.01	0.003	0.002	0.002
2013年8月5日	0.048	0.018	0.012	0.007

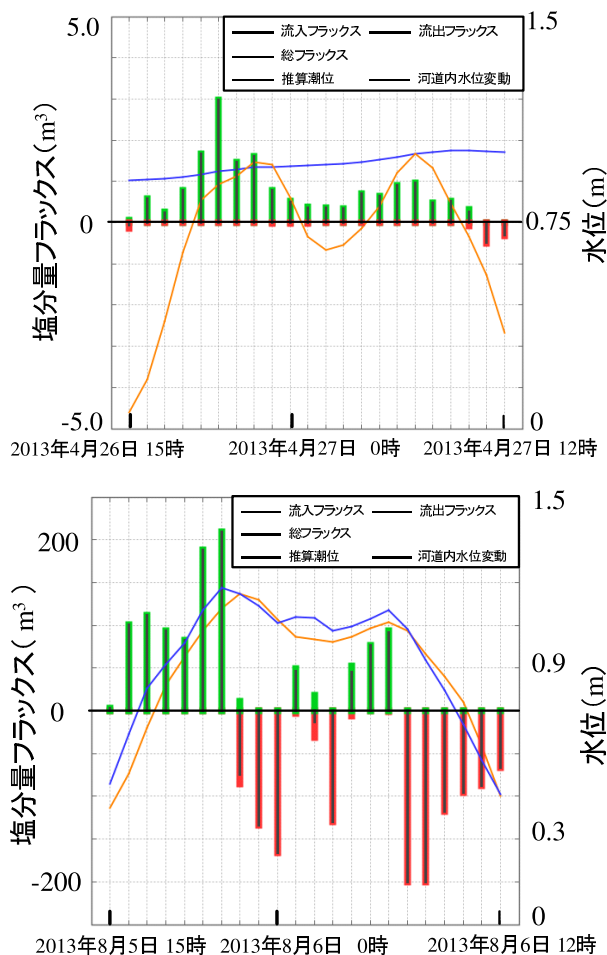


図 10 塩分量フラックス(上:4月,下:8月)

### 3.5 集中調査

(a) ゼロアップクロス法 沖側と岸側の水位に対して、河口の水位は波浪により不規則に変化するため、個々の波を定義し、水位が上昇しながら平均水位を切る時刻を区切りとするゼロアップクロス法を用いた。表 1 に沖側水位の解析結果を示す。4月の閉塞時に比べ8月の解消時の有義波が高くなっている。沖側の水位変動は、波浪と潮汐による変動が主であり、閉塞時・解消時で際立った変化はなかった。表 2 に岸側水位の解析結果を示す。4月の閉塞時の有義波高は沖側に比べて非常に低いことから、河口が閉塞することで、河口域は静穏な流動場となっていることがわかった。

(b) 塩分量フラックス 図 10 に岸側の水位と塩分濃度を用いて計算した塩分量フラックスを示した。こ

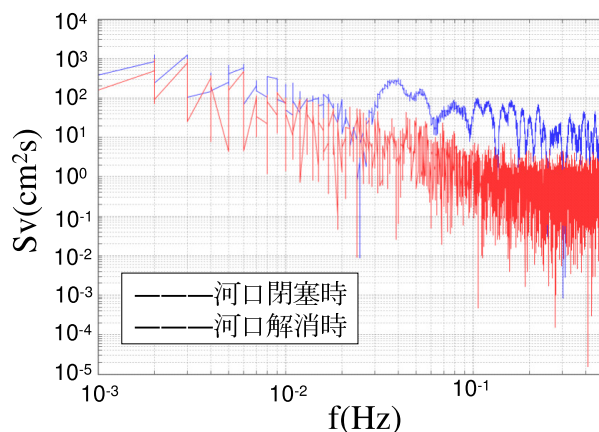


図 11 流速に対するスペクトル解析結果

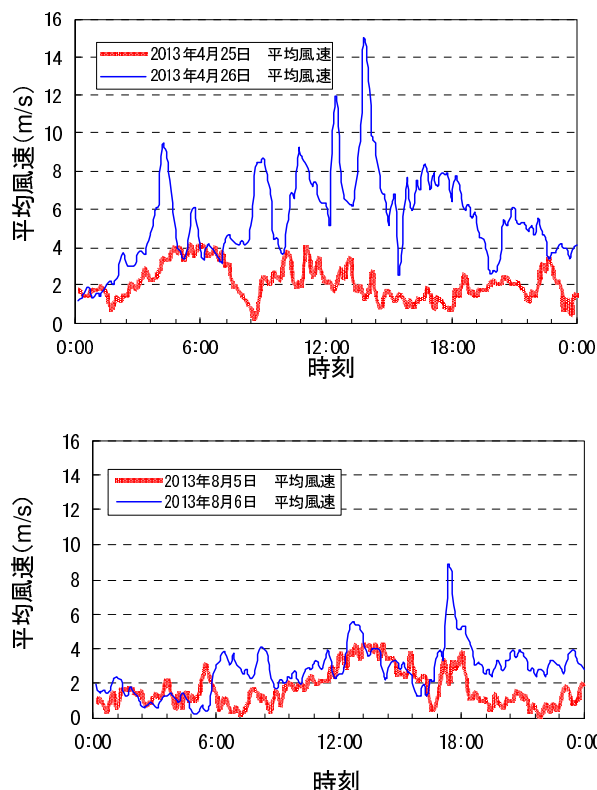


図 12 平均流速(上:4月,下:8月)

れは、観測された4秒間隔の水位データの時間変化から流入方向を決定し、河積に塩分の観測値を乗じることによって算出した。なお、河積は長方形断面と仮定して、水深に実際の平均河幅  $B=110$  m を乗じることによって決定した。また、水位データは1時間移動平均を行ったデータを使用した。これを見ると、解消時には確認された上げ潮時の塩分流入、下げ潮時の塩分流出が閉塞時には確認できなかった。また閉塞時には、塩分の流入は僅かであることがわかった。

(c) スペクトル解析 図 11 に流速に対するスペクトル解析の結果、図 12 に集中調査時の平均流速を示す。解消時の8月に比べ閉塞時の4月に大きなエネルギー

スペクトルが確認されたが、これは4月の風速は高く、風の影響が解消時に比べ強くあらわれたためと考えられる。平均風速を見ると、8月に比べ4月の平均風速は高く、4月25日から26日にかけて風速は大きくなっていた。

#### 4. まとめ

本研究では、明石川に形成される河口砂州及びテラスを対象に洪水出水による都市河川河口の地形変化及び明石川河口の水環境（水位・塩分）変化を把握することを目的に、毎月1回の継続的な現地調査と連続モニタリング、2回にわたる24時間の集中調査を実施した。その結果、都市河川の河口砂州は降雨による出水や波浪の影響で地形変化は約1年間で著しく変化することが明らかにされた。この河口砂州を適切に管理し、閉鎖的な都市河川河口の水環境の改善がなされることが洪水に伴う浸水リスク低減効果の実現に求められる。本研究で得られた結論を以下に示す。

(1) 2012年4月から2013年9月の期間行った現地調査の結果、夏季において、活発な降雨に伴い右岸テラスが消失していた時期は月変化でみても地形変化が大きく見られた。冬季にかけては右岸テラスが発達し、それに伴い左岸砂州地形の拡大傾向と砂州地盤高の安定化、平均粒径の均一化が見られ、2013年4月に河口は閉塞した。その後6月19、20日に連続して明石観測所では2013年初めての日降水量70mm以上の降雨により若干解消され、9月4日に時間降水量41mmという激しい降雨による出水で、砂州及びテラスは完全にフラッシュした。

(2) 連続モニタリングの結果より、梅雨による2013年6月、台風1317号による9月の降雨出水では、河口域の水位は顕著に上昇し、出水の影響で塩分供給が絶たれていたことが確認された。また、干潮時における降雨と水位上昇は、9月において砂州及びテラスがフラッシュされたことから、砂州の地形変化に大きな影響を与えることがわかった。

(3) 集中調査を行い閉塞時と解消時を比較した結果、閉塞時は潮汐の影響を受けず塩分供給は絶たれ、出水により解消されることで、塩分供給が再び行われることがわかった。また閉塞時は、河口域は静穏域となることから、降雨以外は風の影響が主に作用していることがわかった。

#### 参考文献

- (1) 宇野宏司, 新井淳平, 辻本剛三, 柿木哲哉:「安全かつ省力的・経済的な手法による都市河川河口動態の把握」, 水工学論文集, Vol.52, pp.1705-1710, 2012.
- (2) 谷口健男:「FEMのための要素自動分割—デローニ三角分割法の利用—」, 森北出版, 198p, 1992.
- (3) David M. Rubin: "A simple autocorrelation algorithm for determining grain size from digital images of sediment", Journal of Sedimentary Research, Vol.74, No.1, pp.160-165, 2004.
- (4) 気象庁・過去の気象データ  
<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>