

太田川河口域における風が浮遊土砂輸送に及ぼす影響の現地観測

Observations of Effect of Wind on Sediment Transport in Ohtagawa Estuary

川西 澄¹・横山智弥²・Mahdi RAZAZ³・福岡捷二⁴・阿部 徹⁵

Kiyoshi KAWANISHI, Tomoya YOKOYAMA, Mahdi RAZAZ, Shouji FUKUOKA, and Toru ABE

Suspended sediments in estuaries play a significant role in understanding ecological and engineering problems. However, our knowledge for the transport processes of suspended sediments is insufficient, because the flow structures are very complex. To shed light on the effects of wind on sediment transport in Ohtagawa estuary, long-duration observations were carried out, using acoustic Doppler profiler. In usually, the direction of the sediment transportation was toward upstream for the restricted freshwater discharge. When the wind blows downstream, the suspended sediment intrusion is encouraged. In flooded time, the direction of the sediment transportation was toward downstream.

1. はじめに

感潮河川における懸濁粒子の輸送には、河川流量、風、潮差、平均水深などの要因が寄与していると考えられる。しかし、その実態把握は十分であるとはいえない状況である。風の効果は多くの感潮域において説明されており、例えば、Goodrich (1985) による Chesapeake 湾における観測では、風による流れが密度流より一般的に大きく、特に風が発生している間は潮汐流と同じオーダーになり得ることが示されている。

広島市を流れる太田川放水路は、平均水位と潮位差が同程度であることに加え、上流の水門操作による淡水流入量の変化により、流れ場および密度場が時間的、空間的に著しく変動する水域である。市街地を流れる太田川放水路には適切な河道管理が求められ、また、河口域に形成される干潟には多様な生物が生息していることから土砂環境などの河川環境の把握が必要となっている。著者らは前報で、数値モデルを用いて、塩水と浮遊土砂の遡上が風の影響を大きく受けることを示した。本研究では多点で長期観測を行うことにより、流動と浮遊土砂輸送量の空間変動特性の把握、河川流量、風、潮差と平均水位が浮遊土砂輸送量に及ぼす影響を現地調査から確認することを目的とする。

2. 観測概要

広島市の西部を流れる太田川放水路において図-1に示

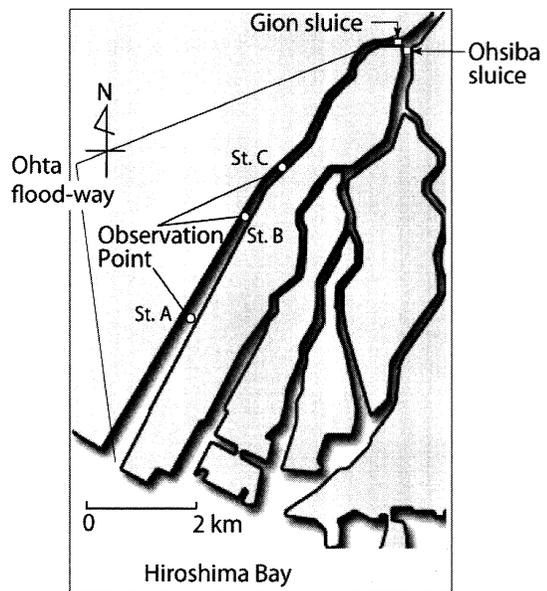


図-1 観測地点

すように3地点で測定を行った。放水路の堤防法線は河口から5.5km上流まで直線である。太田川では河口から約9km地点に祇園水門および大芝水門が設置され、放水路と市内派川に分派されている。放水路側に設置された祇園水門は平常時、3つある水門のうち、右岸側の水門のみが開度0.3mに設定されており他の2つの水門は閉じられている。感潮域であるため、正確な放水路への流入流量データはないが、平常時、太田川流量の約10%が放水路へ流入していると考えられている。太田川流量が400m³/sを超えた場合、水門は全開となり太田川流量の半分強が放水路へ流入する。ただし、今回の測定期間において一部、水門のメンテナンスのため、平常時であっても右水門以外の水門が開放されていた期間があった。

本研究では、Nortek社製の超音波ドップラー流速分布

1 正会員 工博 広島大学大学院准教授
2 学生会員 広島大学大学院工学研究科社会環境システム専攻
3 学生会員 広島大学大学院工学研究科社会環境システム専攻
4 フェロー 工博 中央大学研究開発機構教授
5 正会員 国土交通省中国地方整備局

計(2MHz - Aquadopp Profiler, 以下AqPrと呼ぶ)を用いて、流速と散乱強度の鉛直分布を測定した。ソナー方程式により補正した散乱強度は、測定領域付近の水を採水ろ過することにより算出した重量濃度とキャリブレーションを行うことにより浮遊土砂濃度(SSC)に変換した。3地点ともに平均時間は90秒、セル厚10cm、測定間隔は20分、センサー付近の測定不能間隔は15cmとなっており、St.A(水道管橋：河口から約2.8km上流地点)においては2007年12月14日から2008年1月4日の間において橋からAqPrを係留し、水面から河床方向に測定を行い、St.B

(己斐橋：河口から4.8km上流地点)においては2007年11月20日から12月15日、12月22日から2008年1月16日、2月1日から2月26日の3回、河床にサイドック型のAqPrを設置することで河床から水面へ上向きに測定を行った。St.C(山手橋：河口から約6.0km上流地点)では河床にAqPrを埋設することで上向きに測定を行った。設置が困難であること、また観測機器の電池容量、個数の都合上、観測期間がばらばらであり、長期間連続的に測定することができなかった。なお、St.Aに気象観測装置を設置することにより、放水路に沿った風速の連続測定も同

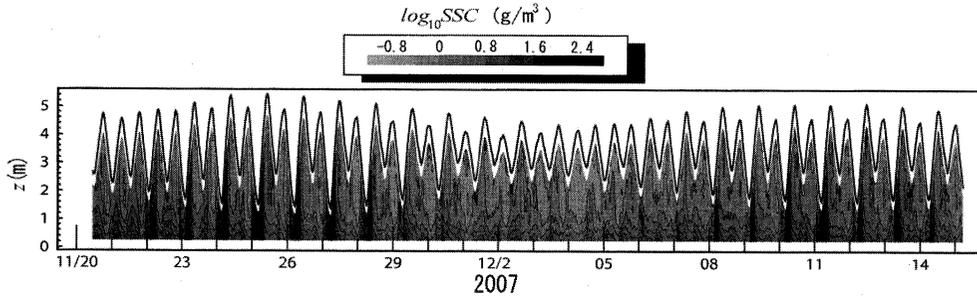


図-2 浮遊土砂濃度(SSC)の時空間分布(St.B)

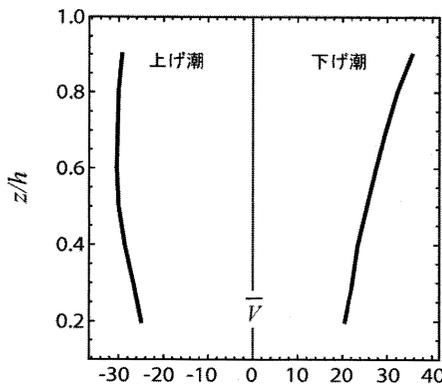


図-3 位相平均流速の鉛直分布

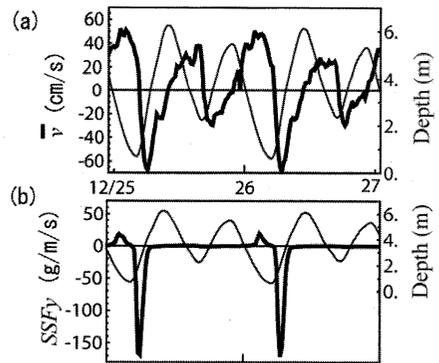


図-4 大潮時の水深と(a)平均流速、(b)浮遊土砂フラックスの経時変化

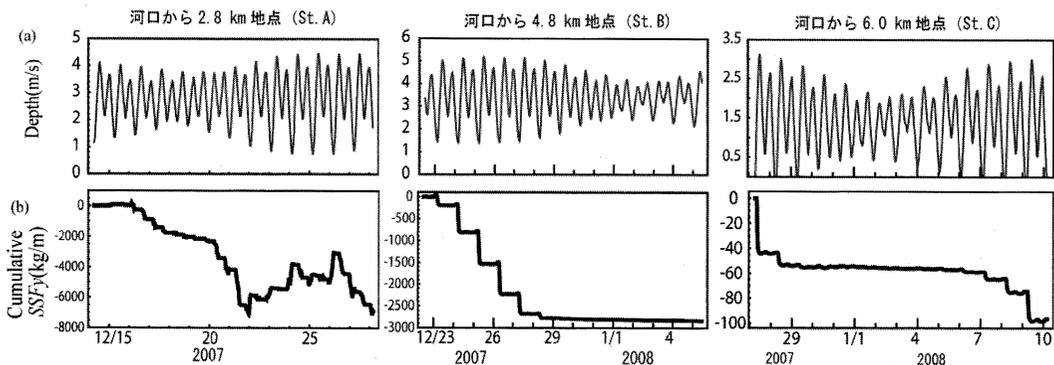


図-5 (a)水深、(b)浮遊土砂フラックスの累積値の経時変化

時に行っている。

3. 観測結果

(1) 放水路上の流動と懸濁粒子の輸送

平水期において、太田川放水路の3地点において超音波ドップラー流速分布計AqPrを用いて、流速と浮遊土砂濃度(SSC)の鉛直分布の連続測定を行った。

図-2にSt.Bにおいて約半月の期間において観測された浮遊土砂濃度を示す。平常時、浮遊土砂の濃度変化は潮流による河床堆積物の巻き上げによって起こっており、潮流の大きな大潮期において高い濃度となっている。上げ潮期、下げ潮期それぞれの位相平均流速を示した図-3および大潮期の平均流速と浮遊土砂フラックスを示した図-4を見ると、上げ潮時と下げ潮時での分布形は異なっている。これはTidal strainingによるもので上げ潮時には上層と底層の流速差が小さいが、下げ潮時には底層の流速と上層の流速差が大きくなっている。また、低低潮直後の上げ潮流速が最大となり、下げ潮の流れから上げ潮の流れへと急激に変化している。

放水路内の下流方向への浮遊土砂フラックスを次式により評価した。

$$SSF_y = \int_{z_1}^{z_2} SSC(z) v(z) dz \quad (1)$$

ここで、 v は下流方向の流速であり、積分の下限 z_1 は超音波分布計の第一測定層の高さ、上限 z_2 は水面からの音波の反射の影響がない最上測定層の高さである。(1)式より求めた浮遊土砂フラックスの一番変化が激しい大潮期の経時変化を図-4(b)に示す。大きなフラックスが間欠的に発生しており、上流方向を示す負のピークが卓越し、流速が最大となる低低潮後に上流方向に土砂が輸送されていることがわかる。

次に主流方向の土砂の輸送量を次式を用いて評価した。

$$SSF_y \text{の累積値} = \sum_{i=1}^n SSF_y(t_i) \Delta t \quad (2)$$

ここで n はデータ数、 Δt はデータ時間間隔(1200秒)である。図-5に3地点で計測を行った約半月間の主流方向の輸送量を示す。どの地点でも潮流が一番大きな大潮期において上流方向へ輸送されており、小潮期においてはほとんど輸送されていない。縦断方向の分布を見ると河口に近づくほど輸送量が增大しており、潮汐の影響を強く受けていることがわかる。

(2) 長期変動要因による懸濁粒子の輸送特性

河口から4.8kmのSt. Bにおいて超音波ドップラー流速計、多項目水質計を用いて流速と土砂濃度の長期観測を行った。土砂濃度の長期変動を引き起こす主な要因として、河川流量、風、潮差、平均水深が考えられる。ウェー

レットフィルターを用いて日周期以下の変動を除いた長周期変動(日平均値)の経時変化を図-6に示す。それぞれ、河川流量 R 、下流方向風速 W 、平均水位 WL 、平均潮差 TR 、平均浮遊土砂フラックス SSF_y としている。尚、計測はダイバー手配の関係上、設置できる日が限られることや、AqPrの電池の寿命のため2007年12月15~22日、2008年1月17日~31日にかけて欠測となっており、この期間を図-6では灰色で塗りつぶしている。ここで河道に沿った風速については気象観測装置 Weather Station (Davis 社製)をSt.Aに設置し、欠測期間については広島気象台の風速、風向データを放水路に沿った風速に変換したものをを用いた。両者間の相関係数は約0.95と高く、広島気象台のデータも放水路に適用可能であった。なお、風向については放水路の下流方向を正としている。また、本研究では2007年11月から2008年3月まで観測を行っているが、渇水期と重なるためほとんどの期間で流量が少ない状態である。

平均潮差と浮遊土砂フラックスの関係を示した図-7を見ると、平均潮差が約2.5m以上の大潮時に土砂が輸送されていることが分かる。そこで大潮期の輸送を次の6つの期間に分けて土砂輸送を評価する。①2007年11月22~28日、②12月7~13日、③12月22~28日、④2008年1月6~13日、⑤2月4~12日、⑥2月18日~24日。なお、図-6の破線でこの期間を示した。土砂濃度フラックスに対する風の影響についてみると、図-8に示されるように水路下流方向の風が強く吹いた①、③の期間の輸送量が他の期間よりも上流方向への輸送量が增大したことが分かる。④については降水のため急激に河川流量が増大したため下流方向へ土砂が輸送されている。河川流量が少ない場合においては、浮遊土砂は潮汐の影響により大潮期に上流方向へ輸送され、さらに風が下流方向へ吹いた場合には上流方向への輸送がさらに促進される。

浮遊土砂フラックスに対する潮差や風などの影響度合いを調べるためにSt.Bで得られた大潮期(平均潮差2.5m以上)のデータに対し、(3)式の線形回帰式を用いて重回帰分析を行った結果を表-1に示す。

$$\overline{SSF_y} = \beta_0 + \beta_1 \overline{R_G} + \beta_2 \overline{W} + \beta_3 \overline{TR} + \beta_4 \overline{WL} \quad (3)$$

回帰推定値と観測値の関係は図-9に示す。両者の関係はほぼ線形となり、寄与率は0.78である。風に対する偏回帰係数は負となり、下流方向風が浮遊土砂の遡上を助長することを示している。また、浮遊土砂フラックスに及ぼす影響は平均潮差が最も大きいことが分かる。

表-1 浮遊土砂フラックスに対する重回帰分析結果 (St. B)

β_1	β_2	β_3	β_4	r^2
0.66	-0.31	-5.32	0.37	0.78

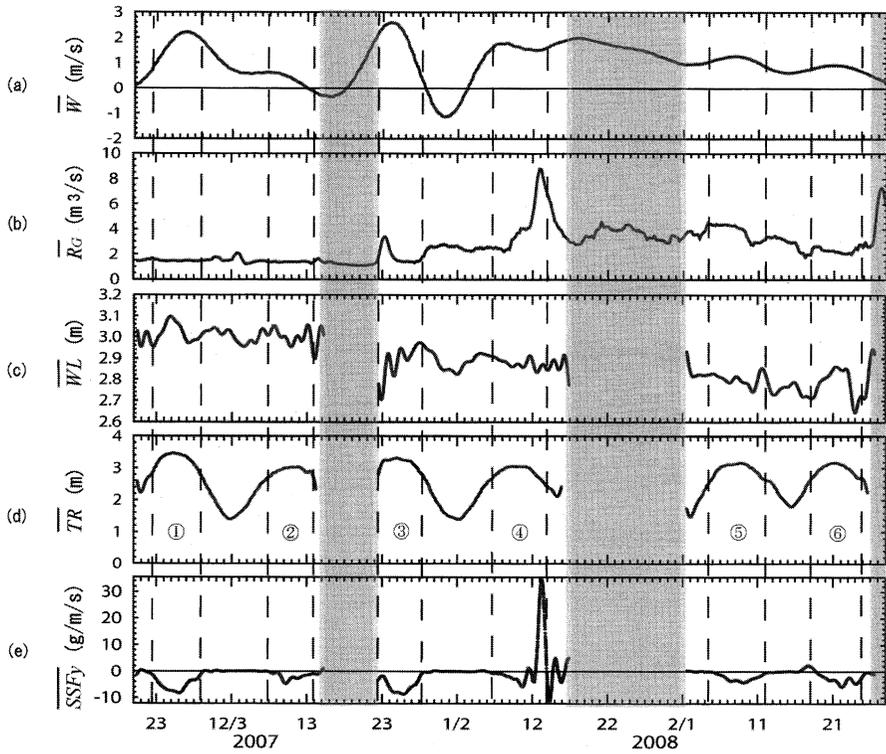


図-6 (a)水路に沿った風速, (b)河川流量, (c)平均水位, (d)平均潮差, (e)浮遊土砂フラックスの経時変化(St.B)

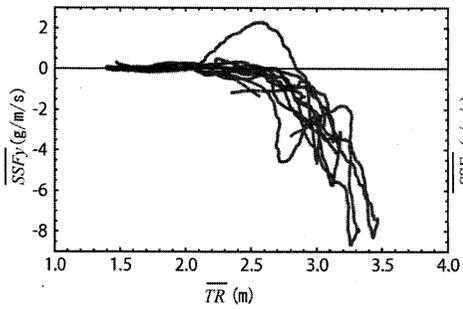


図-7 水路内の平均潮差と浮遊土砂フラックス(St.B)

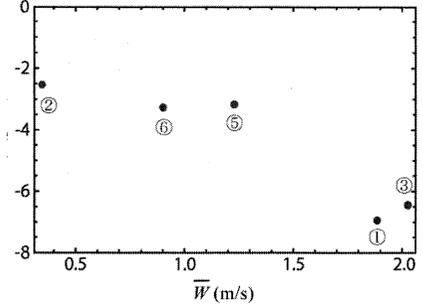


図-8 大潮期の水路に沿う平均風速と浮遊土砂フラックスの関係(St.B)

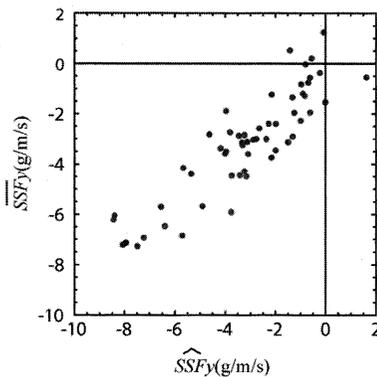


図-9 浮遊土砂フラックスの回帰推定値と観測値の関係(St.B)

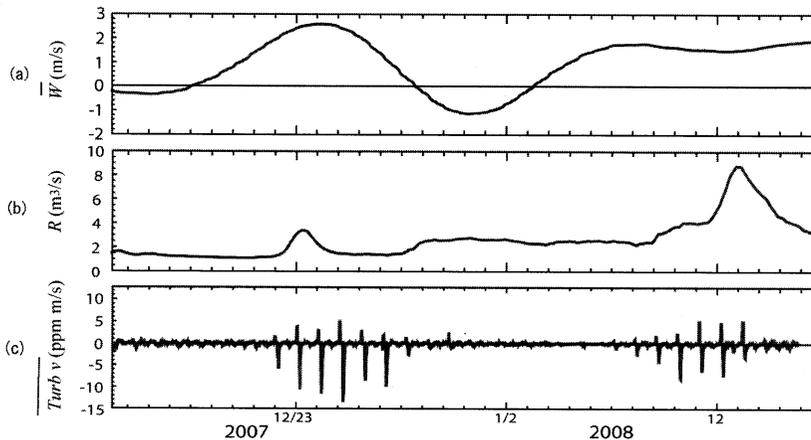


図-10 (a)水路に沿った風速, (b)河川流量, (c)濁度フラックスの経時変化(St.A)

小潮期に関しては降水がない場合、輸送はほとんどゼロとなった。今回の観測期間中において風速が強くなった期間が大潮期に集中しており、小潮期には強い風が吹かなかったため、小潮期における土砂輸送に及ぼす風の影響の評価は行えなかった。今後、更なる観測を行い、小潮期における土砂輸送に及ぼす風の影響の把握も行うこととしたい。

St.AについてはAqPrを取り付けた浮体が激しく揺れることがあったため長期間の土砂濃度をAqPrではうまく観測することができなかったため、多項目水質計で計測した河床から0.2mの高さにおける底層濃度の変化を図-10に示す。St.Bと同様に大潮期に上流方向の輸送が行われ、下流方向への風が強くなった場合にはさらに上流方向への輸送が促進される。また、流量が増大した場合には下流方向への土砂の輸送が増加するという結果になっている。

4. おわりに

太田川放水路内の流動と土砂輸送の変動特性を解明するために超音波ドップラー流速分布計を用いて流速、土砂濃度の長期にわたる現地観測を行うとともに気象観測装置を用いて水路上の風速についての測定を行った。その結果、土砂輸送量の変動特性およびそれに対する風の影響について次のことがわかった。

平水時には潮汐の変動が最も激しい大潮期において流動の非対称性のため、上流方向へ土砂は輸送される。ま

た、下流方向への風が吹いた場合には弱風、無風の場合と比べて土砂の遡上が促進される。小潮期に関しては風の影響について把握することができなかったが、弱風の平水時には輸送はほとんど行われていない。河川流量が急激に増大した場合には大潮期、小潮期に関わらず下流方向へ輸送される。

謝辞：本研究の一部は科学研究費基盤C（課題番号：18560499，研究代表者：川西澄）および(財)河川環境管理財団河川整備基金の補助を受けて実施したものである。ここに記して、深甚なる謝意を表します。

参考文献

- 川西澄・荒木大志・福岡捷二・水野雅光(2007)：風が太田川河口域の塩水遡上と土砂輸送に与える影響，海岸工学論文集，第54巻，pp.781-786.
- 川西澄・胡桃田哲也・Mahdi Razaz・水野雅光・福岡捷二(2008)：太田川放水路における塩水遡上と懸濁粒子の輸送特性，水工学論文集，第52巻，pp.1321-1326
- 川西澄・横山智弥・水野雅光・福岡捷二(2008)：超音波流ドップラー流速分布計による干潟上の浮遊堆積物の観測，水工学論文集，第52巻，pp.59-106.
- Gailani, J., C. K. Ziegler, and W. Lick, (1991) : The transport of sediments in the Fox River, J. Great Lakes Res., Vol.17, pp.479-494
- Goodrich, D. M. (1985) : On stratification and wind-induced mixing in the Chesapeake Bay, PhD thesis, Marine Sciences Research Center, State Univ of New York, Stony Brook, N.Y.
- Simpson, J. H, J. Brown, J. Matthews and G. Allen (1990) : Tidal straining, density currents, and stirring in the control of estuarine