

福岡県内の砂河川における掘削形状の違いによる土砂堆積の軽減・遅延効果

THE COMPARISON OF THE SEDIMENT DEPOSITION SPEED IN THE DIFFERENT AREA OF CROSS-SECTIONAL PROFILE ON A SAND BED RIVER IN FUKUOKA PREFECTURE

高比良光治¹・萱場祐一²・島谷幸宏³・中森健一⁴・内田唯史⁵

Koji TAKAHIRA, Yuichi KAYABA, Yukihiro SHIMATANI,
Kenichi NAKAMORI, and Tadashi UCHIDA

¹学生会員 九州大学大学院工学府（〒819-0395 福岡市西区元岡744番地）

²正会員 工博（独）土木研究所自然共生センター（〒501-6021 各務原市川島笠田町無番地）

³フェロー会員 工博 九州大学大学院工学研究院（〒819-0395 福岡市西区元岡744番地）

⁴非会員 福岡県北九州県土整備事務所宗像支所（〒811-3436 宗像市東郷1-2-1）

⁵正会員 工博（財）九州環境管理協会（〒813-0004 福岡市東区松香台1-10-1）

In the Saigo River which is one of the sand bed rivers in Fukuoka Prefecture, different two areas of the cross-sectional profile were prepared. The riverbed in the one area was flat, a fairway was provided for another riverbed. We monitored the riverbed shape, the riverbed materials, and the vegetation in both areas, and grasped the effect of the fairway which had the possibility making the deposition speed of sediment decline.

As the result, the sediment deposition speed in the area where the fairway existed was slower than in the flat area and there was little sediment on the flood channel of the former. The cause of such a difference was that the amount of flown sand in the area where the fairway existed was more than in the flat area. Also, we supposed that the sand in the area where the fairway exists drifted in the low-flow channel mainly and the sand in the area on the flat riverbed drifted in both of the low-flow channel and the flood channel. This result clarified that the securing of a fairway is one of the ways of delaying the sediment deposition on the sand bed river, and will contribute to the cut of the administrative and maintenance expenses on the river.

Key Words : sand riverbed, sediment deposit, cross section profile, fairway, riverbed materials, river maintenance

1. はじめに

福岡県内の多くの河川は流域の表層地層が崩壊しやすい花崗岩で形成されているため¹⁾, そこから生産された多くの砂が出水のたびに河道内に流下・堆積する。そのため、福岡県では頻繁に河道掘削を行うなど対策に苦慮してきた。これまで福岡県が実施してきた主たる河道掘削方法は、兩岸の間を平坦に深く掘る単断面の形状によるものであり、掘削土量も多かった。しかし、横断面形状の設定によっては土砂流送量が増加し、河道への土砂堆積速度を抑制できる可能性があるため、福岡県では従来と異なる断面形状による掘削を試行し、土砂堆積の軽減・遅延効果の高い掘削方法の検討を行ってきている。

本報では、この掘削試行区間を対象として経年的な地形変化を調査し、掘削形状の違いと土砂堆積過程および堆積速度との関係をケーススタディーとして示し、その要因について考察する。具体的には、砂河川の一つ西郷川において河床を平坦に掘削した区間（以下、平坦河床区という）と河川敷を兩岸に高く残して深い滞筋を確保した区間（以下、滞筋区という）を対象として河床横断形状・河床材料・植生の経年変化を調査し、その傾向を示す。また、横断形状の差異が土砂の流送量に及ぼす影響を推定し、この結果から掘削形状の違いと土砂堆積の軽減・遅延効果との関係を考察する。なお、砂河川における動的平衡河床の断面形状については既往研究があるが^{2, 3)}, 中小河川において、かつ掘削形状を変えて差をモニタリングしたものは見当たらない。

4. 調査方法

a) 横断測量

各年の出水による土砂の堆積および浸食量を把握するために、掘削直後の2007年6月、および年度ごとの出水期終了後にあたる2007年10月、2009年1月、11月において、図-1に示した滞筋区および平坦河床区のそれぞれ4側線で横断測量を実施した。

調査時期と出水との関係を明らかにするため、調査対象区間の流量の推移と調査時期との関係を図-3に示す。ここで流量は、増水による河床変動を対象とするため、気象庁が公表する近傍の宗像観測所降雨量データから合理式⁶⁾により求めたピーク流出量とした。

b) 河床材料調査

各年度の出水期終了後に当たる2007年10月、2009年1月、9月に調査区間全域をランダムに踏査し、目視によって河床材料を礫（ $\phi 2\text{mm}$ 以上）、粗砂（ $\phi 0.85\sim 2\text{mm}$ 未満）、中砂（ $\phi 0.25\sim 0.85\text{mm}$ 未満）、細砂（ $\phi 0.075\sim 0.25\text{mm}$ ）、シルト・粘土（ $\phi 0.075\text{mm}$ 以下）に分類し、目視地点における優占河床材料を記録した。調査結果を基に河床材料別の面積を求めた。

c) 植生調査

各年度の出水期終了後に当たる2007年10月、2009年1月、9月に調査区間全域を踏査し、植物群落の分布を目視により記録した。調査結果を基に植物群落別の面積を求めた。

d) 土砂堆積量の算出

横断測量の結果を基に、河道掘削直後の2007年6月時点を基準に変化した河床横断の面積を測定し、単位河道長あたりの土砂堆積量（ m^3/m ）とした。

e) 水理量、流砂量の算出

初期断面形状の違いと出水時の水理量および土砂流送量との関係を明らかにするため、滞筋・平坦河床区の水理量、流速、摩擦速度、掃流砂量および浮遊砂量を算出した。計算期間は観測期間に合わせて2007年6月から2009年11月までとした。

河川水位は、前述の降雨量から求めたピーク流量から、Manningの平均流速公式⁷⁾を用いた等流計算により求めた。次に、河川数と低水路の流速・摩擦速度を水理公式集（平成11年度版）⁷⁾第2編河川編「2.2.4 直線・一様・幅広水路における横断方向の運動量輸送（d）複断面水路の場合」に準じて計算した。使用した境界混合係数は、低水路幅と川幅の比が0.6未満であったため0.17とした⁸⁾。

掃流砂量の計算には芦田・道上の式⁷⁾、浮遊砂量の計算には芦田・道上の式⁹⁾を用いた。計算には図-4に示す単純化した断面を用い、滞筋・平坦河床区の各代表的断面であるNo. 11、No. 26の形状を基にそれぞれ川幅39.5m、36m、 $B=11.5\text{m}$ 、 10m 、 $t=9.5\text{m}$ 、 9m 、 $n_1=1.5$ 、 3.3 、

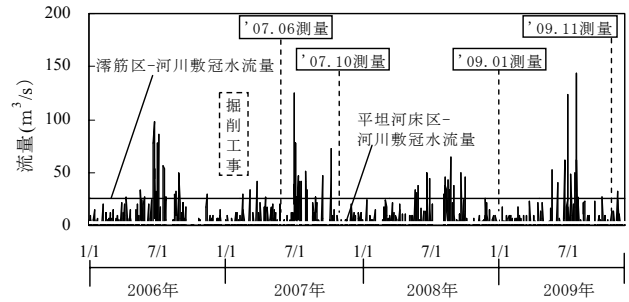


図-3 調査対象区間の流量の推移と調査時期

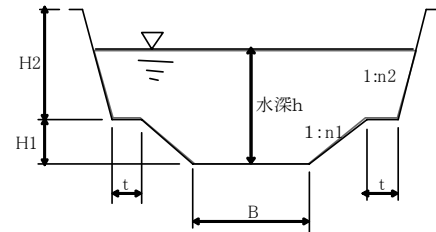


図-4 水理量、流砂量の計算に用いた横断面の形状

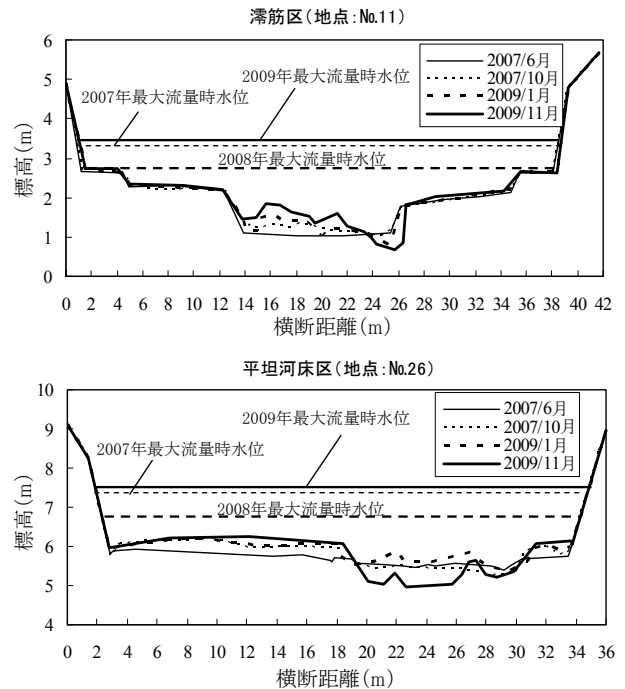


図-5 河床横断形状の経年変化

$n_2=1.07$, 0.94 , $H_1=1\text{m}$, 0.3m , $H_2=2.8\text{m}$, 3.2m , 低水路粗度 $=0.02$, 河川数粗度 $=0.03$, 勾配 $I=1/500$, 代表粒径 $d_{60}=1.3\text{mm}$ とした。

5. 調査結果

(1) 横断測量結果

滞筋区と平坦河床区における横断形状の経年変化には縦断方向に大きな差異がみられなかったため、各区の代表的断面であるNo.11とNo.26の横断形状を図-5に示す。

滞筋区の河川敷は、2009年11月現在掘削直後の2007年6月とほぼ同じ形状が維持され、土砂の堆積はほとんどない。低水路では、左岸側に土砂が堆積して中洲が徐々に形成され、右岸側では河床が低下した。

平坦河床区の河川敷は、2007年7月の出水により地盤高が上昇したが、同年10月以降は大きな変化はみられなかった。一方、低水路では、2008年の出水で堆積が起こり地盤高が上昇した後、2009年7月の出水で逆に河床が洗掘された。この洗掘によって河川敷と低水路の河床高の差が1m以上となり、明瞭な滞筋が形成された。ただし、低水路幅はほとんど変化していない。

(2) 河床材料調査結果

河床材料の経年変化を図-6に示す。

滞筋区では、陸上部が粘土・シルトまたは細砂などの細粒土が主体で、経年変化は小さい。水中部は中砂が主体であり、陸上部と同様に経年変化は小さい。

平坦河床区では、2007年10月時にはその前の出水で河川敷に多量の土砂が堆積した。その主体は中砂であった。その後、礫が徐々に増加した。

水中部も陸上部と同様に、2007年10月は中砂が主体であったが、粗砂・礫の割合が徐々に増加した。

(3) 植生調査結果

植物群落別面積の経年変化を図-7に示す。

滞筋区は、掘削工事によって河川敷が水面から1m以上と高くなり乾燥したため、1年生草本群落で乾地に生えるタチスズメノヒエが観測期間中継続して優占した。また、掘削に伴う整地・乾燥化によって河川敷が地域住民に利用しやすい形状となったため、草刈りが頻繁に行われるようになり、草丈が低く管理された。このため、植生遷移は初期の段階で停止した状態である。

平坦河床区では、滞筋区と種類は異なるが同じ1年生草本のオオイヌタデ・オオクサキ群落が続いて優占していたが、徐々に減少した。ヨシ・ツルヨシ・オギなどの草丈の高い植物の割合は、調査期間中を通して少なかったが、徐々に増加した。

(4) 土砂堆積量の算出結果

河道掘削直後の2007年6月時点を基準にした単位河道長あたりの土砂堆積量の増減を図-8に示す。

滞筋区では、平坦河床区に比べて堆積速度が緩やかであった。

平坦河床区では、調査前の出水流量が約64m³/sと少なかった2009年1月に堆積量が大幅に増加したが、過去20年間で第2位となる144 m³/sの出水があった2009年7月後の11月には逆に洗掘によって堆積量が減少した。なお、降水量から算出した過去20年間の年最大流量の平均は90 m³/s、最大は166m³/s、最小は46 m³/sである。

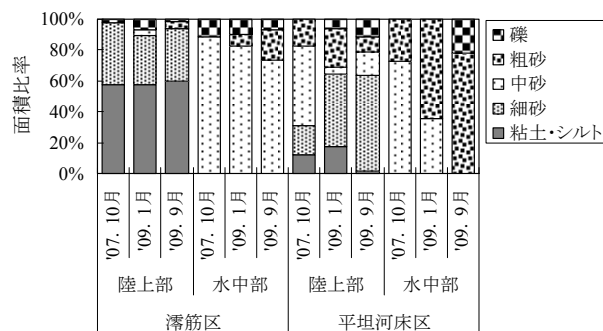


図-6 河床材料の経年変化

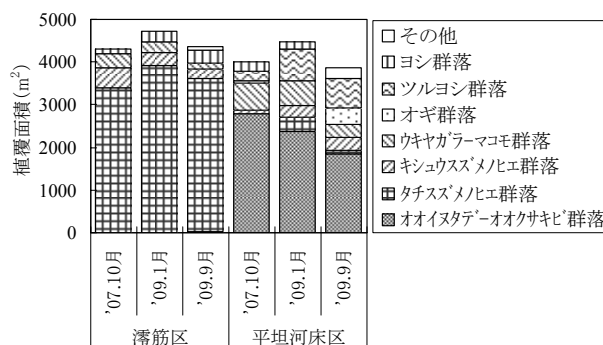


図-7 植生の経年変化

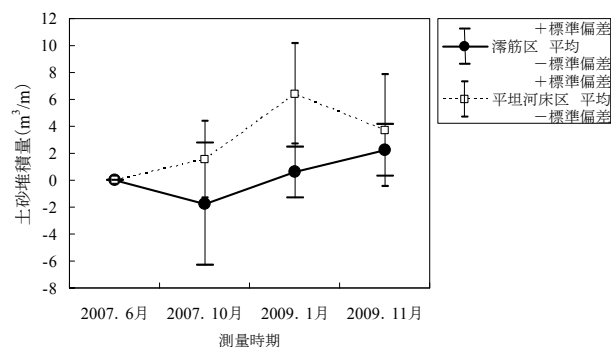


図-8 土砂堆積量の経年変化

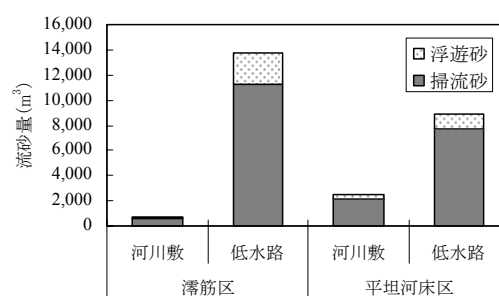


図-9 観測期間中の流砂量（計算値）

(5) 流砂量の算出結果

観測期間中の滞筋区・平坦河床区の河川敷・低水路別の流砂量の計算結果を、図-9に示す。流砂量は、両区とも低水路が河川敷に比べて多かった。また、流砂形態は、ほとんどが掃流砂で、浮遊砂は少なかった。流砂量の区別合計は、滞筋区が平坦河床区の約1.3倍と多かった。

6. 考察

滞筋区では、図-8 に示したように緩やかに土砂堆積量が増加し、各調査時期間で急激な地形変化はみられなかった。特に、図-5に示したように河川敷はほぼ同一の形状を維持し、河川敷上の土質も図-6に示したように粘土・シルトが多く、低水路の主な河床材料である中砂の堆積はほとんどみられなかった。一方、平坦河床区における地形は経年的に大きく変化し、2009年1月までは河川敷を中心に堆積が進んだが、2009年7月の出水で低水路の河床が低下し、複断面的な河道へと変化し、土砂堆積量も減少した。河床材料にも変化がみられ、陸上部の河川敷は地盤高が高くなった2007年10月時には河床材料と同じ中砂が多かったが、その後は中砂に替わってより粒径の小さい細砂の割合が増加した。これとは逆に、低水路の水中部は中砂に替わって粗砂・礫が多くなるという河床材料の粗粒化が観察された。

以上から、観測期間において滞筋区は河川敷の地形が維持され、土砂の流送は主として低水路で行われたが、平坦河床区では河川敷の地形が低出水時に大きく変化し、低水路と同じ河床材料の堆積がみられたことから、低水路だけでなく河川敷も土砂の流送に関わったことが推測された。また、滞筋区における土砂堆積速度がより緩やかであったことは、土砂流送量が平坦河床区に比べて多かったためと示唆された。

植生の土砂堆積への影響をみると、滞筋区の河川敷は、地形変化がほとんどみられず、草刈によって草丈が低く管理されたこともあり、植物による微細粒土の捕捉はほとんどなかったものと考えられる。また、平坦河床区の河川敷でも、土砂の堆積要因となるようなヨシ・ツルヨシ・オギなどの草丈の高い植物が少ない掘削直後の2007年の出水で土砂の堆積による地盤高の上昇が起こっており、植生が土砂堆積要因となった可能性は低い。

以上の現象を、①流量と流砂形態（掃流・浮遊）の関係、②観測期間内の流量に対応した流砂形態の時系列変化、③流量に対する流砂量の変化という視点で以下に解析し、中・長期的な地形変化について考察する。

最初に、流量と流砂形態の関係について検討を行う。河床の砂が掃流状態となる閾値は、岩垣の式⁷⁾から河床材料 ($d_{60}=1.3\text{mm}$) に対する限界摩擦速度 $u_{*c}=2.8\text{cm/s}$ を得ることができる。滞筋区および平坦河床区の低水路では、ともに $0.2\text{ m}^3/\text{s}$ （水深約5cm）でこの限界摩擦速度に達するため、僅かな増水で河床材料は移動しやすい状態にあったと推測される。河川敷では、平坦河床区が $2.2\text{ m}^3/\text{s}$ 、滞筋区が $27\text{ m}^3/\text{s}$ で限界摩擦速度に達し、両区に差異がみられる。いずれも河川敷の冠水流量とほぼ一致し、冠水後間もなく砂が動き出すことになる。

次に浮遊状態となる閾値について検討を行う。Rubeyの式⁷⁾から河床材料に対する沈降速度 $W_f=11.5\text{cm/s}$ を算

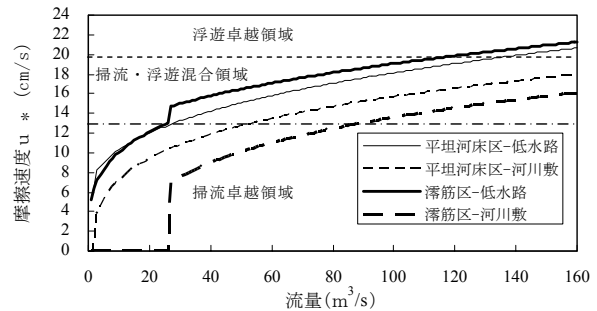


図-10 対象地区の河川流量と流砂形態との関係

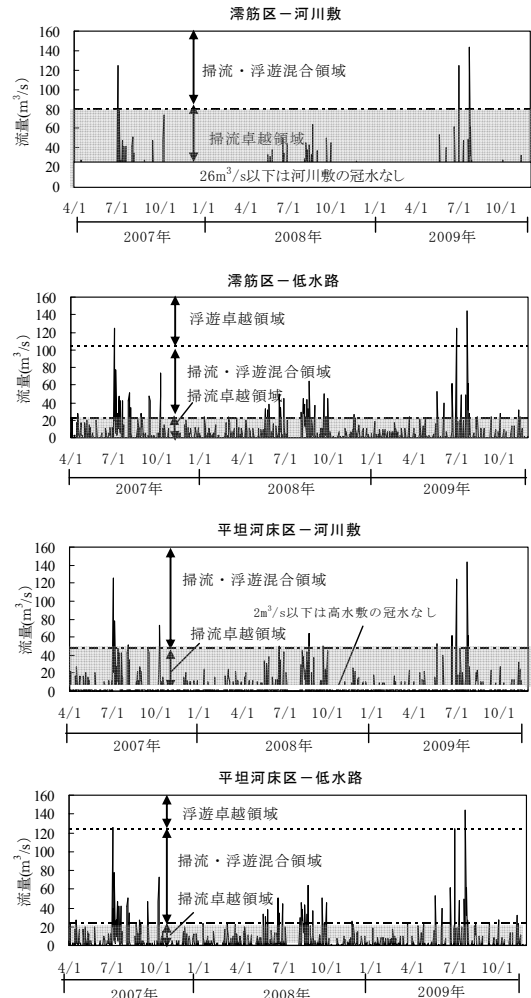


図-11 対象地区の河川流量の推移と流砂形態の区分

出し（水の動粘性係数 $\nu=0.01\text{cm}^2/\text{s}$ ，砂の水中比重 $=1.65$ として計算）， u_*/W_f が 1.08 ($u_*=12.4$) より小さい場合は掃流砂卓越で浮遊せず， 1.67 ($u_*=19.2$) より大きい場合は浮遊砂卓越， 1.08 から 1.67 の間は掃流・浮遊の混在領域と判断した¹⁰⁾。この基準に従うと、図-10に示すように、河床の砂が掃流状態で維持されるのは両区の低水路で流量約 $23\text{ m}^3/\text{s}$ 、平坦河床区河川敷では約 $47\text{ m}^3/\text{s}$ 、滞筋区の河川敷では約 $80\text{ m}^3/\text{s}$ までと考えられる。また、両区の低水路は約 $100\sim120\text{ m}^3/\text{s}$ を超えるとほとんどが浮遊状態になるが、河川敷では過去20年間の最大規模に近い約 $160\text{ m}^3/\text{s}$ でも浮遊が卓越することはない。

以上の結果を用いて、両区の河川敷・低水路別の河川流量の経年変化と流砂形態の区分を図-11に示す。両区の流砂形態を比較すると、低水路では滞筋区が平坦河床区に比べて掃流と浮遊の混合領域となる頻度が高く、河川敷では両区とも掃流と浮遊の混合領域となる頻度が低い。また、平坦河床区の河川敷において、掃流状態となる頻度が著しく高いことが解る。

流量と掃流砂量の関係を、両区の河川敷と低水路に分けて図-12に示す。滞筋区における低水路の掃流砂量は平坦河床区の低水路と比較してどの流量でも多い。また、河川敷を加えた場合でも滞筋区の掃流砂量は、平坦河床区と同等かそれ以上あり、特に10～50m³/sの小出水時には滞筋区が平坦河床区に比べて明らかに多い。

浮遊砂量については、図-13に示すようにどの流量においても滞筋区の低水路が最も多く、河川敷を加えた全量も、滞筋区が平坦河床区に比べて多い。

以上から、本研究の対象期間内における両区の流砂量は、滞筋区が平坦河床区に比べて多く、滞筋区は低水路において、平坦河床区では低水路と河川敷において土砂が流送されたこと、特に出現頻度の高い小出水時に差が大きくなることが示唆された。また、これらの結果は、滞筋区において河川敷の形状が維持されたこと、低水路での土砂堆積を抑制されたこと、平坦河床区においては初期形状が維持された2009年1月までは土砂堆積速度が滞筋区と比較して大きかったことをよく説明する。ただし、2009年7月の140 m³/s規模の大出水では、平坦河床区の初期断面形状そのものが大きく変化したため、上記水理検討結果の適用は難しい。しかし、本地区では平均年最大流量が90 m³/s程度で、50m³/s以下の小出水がほとんどであるため、滞筋区で土砂の堆積速度が遅いという傾向は長期的にみても変わらないと考えられる。

7. 結論

本報告は、福岡県の代表的な砂河川である西郷川を対象に掘削形状の異なる2区を設定し、横断地形、河床材料、植生の経年変化を調査し、土砂の軽減・遅延効果について比較・検討したものである。

調査の結果、滞筋を確保した区（滞筋区）は、観測期間を通して河川敷の地形が維持され、土砂堆積速度が河床の平坦な区（平坦河床区）に比べて緩やかであった。これらの現象を流砂量の計算結果から検討した結果、滞筋区では土砂の流送は主に低水路で行われ、平坦河床区では低水路ほか河川敷も深く関わっていること、滞筋区の流砂量は平坦河床区より多いことが示唆された。

以上のことから、対象河川の流況にあった形状の滞筋を確保することで、砂河川における土砂の堆積を軽減・遅延させ、維持管理コストの低減が図れるものと考えられる。

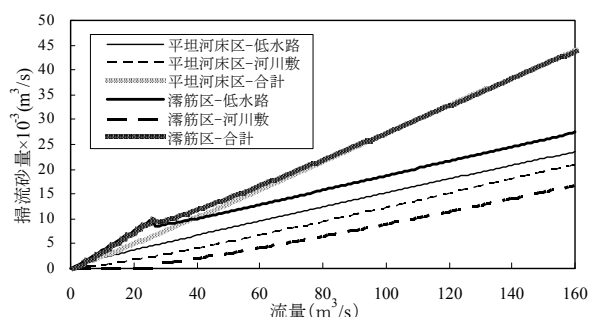


図-12 対象地区の河川流量と掃流砂量との関係

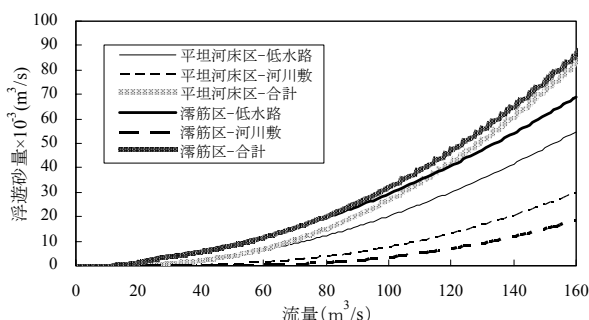


図-13 対象地区の河川流量と浮遊砂量との関係

謝辞：貴重な資料をご提供いただいた福岡県北九州県土整備事務所職員の皆様に感謝の意を表します。また、本研究にあたり助言・ご指導いただいた（有）オクト環境の奥田哲也氏に心からお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 福岡県地学のガイド編集委員会編：福岡県地学ガイド，福岡県の地質とそのおいたち，コロナ社，2004.
- 2) 泉典洋，池田俊介：直線砂床河川の安定横断河床形状，土木学会論文集No. 429/Ⅱ-15，pp57-66，1991.
- 3) 大同淳之：移動床を有する河道の平衡横断形，第26回水理講演会論文集，1982.
- 4) 福岡県宗像土木事務所，八千代エンジニアリング株式会社：西郷川浸水想定区域図作成業務委託報告書，2008.
- 5) 山本晃一：構造沖積河川学，山海堂，2004.
- 6) 川合茂，和田清，神田佳一，鈴木正人：河川工学，コロナ社，2002.
- 7) 土木学会水理委員会：水理公式集，第2編「河川編」土木学会，1999.
- 8) 原俊哉：境界混合係数fの考え方，北海道開発局開発土木研究所月報No. 554，pp14-16，1999.
- 9) 芦田和男，高橋保，道上正規：河川の土砂災害と対策，pp40-42，森北出版，1983.
- 10) 椿東一郎：水理学Ⅱ，第14章，基礎土工学全書7，森北出版，1974.

(2010. 4. 8受付)