

砂州における河床強度の空間分布特性と 土砂の物理特性との関係

RELATIONSHIP BETWEEN SPATIAL DISTRIBUTION OF BED STRENGTH
AND PYISICAL CHARACTERISTICS OF BED MATERIAL ON SAND BARS

竹林 洋史¹・藤田 正治²・上戸 亮典³・佐本 佳昭⁴

Hiroshi TAKEBAYASHI, Masaharu FUJITA, Ryousuke KAMITO and Yoshiaki SAMOTO

¹正会員 博士（工学） 京都大学准教授 防災研究所
（〒612-8235 京都府京都市伏見区横大路下三栖東ノ口）

²正会員 工学博士 京都大学教授 防災研究所
（〒612-8235 京都府京都市伏見区横大路下三栖東ノ口）

³学生会員 学士（工学） 京都大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻
（〒615-8540 京都市西京区京都大学桂Cクラスター）

⁴正会員 修士（工学） 三菱商事
（〒100-8086 東京都千代田区丸の内二丁目3番1号）

Spatial distribution of bed strength, porosity of the bed and the sediment size distribution of bed material is studied on the bar which is located in the Kizu River in Kyoto Pref. by use of field survey and the numerical analysis. Furthermore, relationship among the parameters is discussed.

The results show that the porosity is varied from 0.4 to 0.17 on a bar in spite of that the constant value (0.4) is used in the bed deformation analysis. Furthermore, the first penetration value is larger as the porosity is larger and the linear relationship is found between them. However, when the porosity is smaller than 0.22, the first penetration value becomes very small.

When bed deformed very well, the porosity of the bed material becomes large. On the other hand, when bed deformation is very small, the porosity of the bed material becomes small. A part of these tendencies is reproduced by use of the horizontal two dimensional bed deformation analysis.

Key Words : Bed strength, Porosity, Sand bar, Sediment size distribution, Numerical analysis

1. はじめに

河床面以下の土砂の物理・力学特性は、河道内の動植物の生息場の物理特性を評価する上で重要なパラメータとなる。例えば、アユなどの河床に産卵する魚類については、河床表層が非常に堅いと、産卵場形成のために尾ビレで土砂を動かすことができない。また、粗い粒径ばかりが集まって大きな空隙が形成されると、アユモドキなどは、洪水中の隠れ場所として利用したりするが、粒度分布幅が広くて空隙のスケールが小さくなると、アユモドキは利用しなくなる。

このように、河床面以下の土砂の物理・力学特性は、ハビタットの評価として非常に重要な要素となるが、既存の河道内の土砂動態に関する研究では、河床面より上、もしくは河床表面の薄い層のみを対象としており、河床面以下の地盤の空隙率や河床の強度などの河床地盤の土砂の物理・力学特性についてほとんど扱われていない。

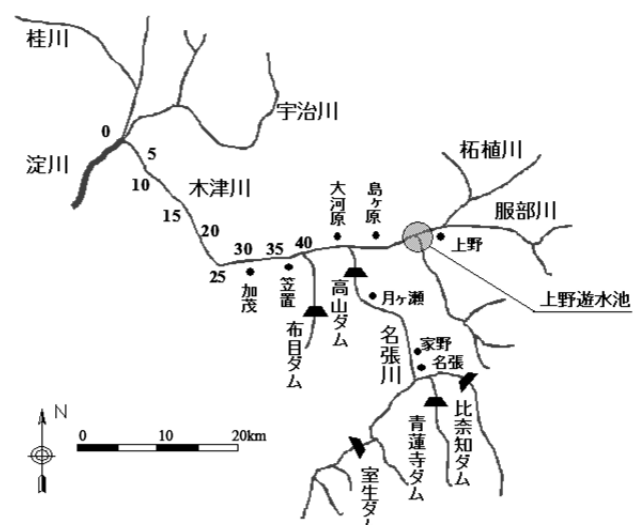


図-1 木津川水系

そこで、本研究では、京都府・木津川下流域に形成された砂州を対象として、平水時に水面から露出している

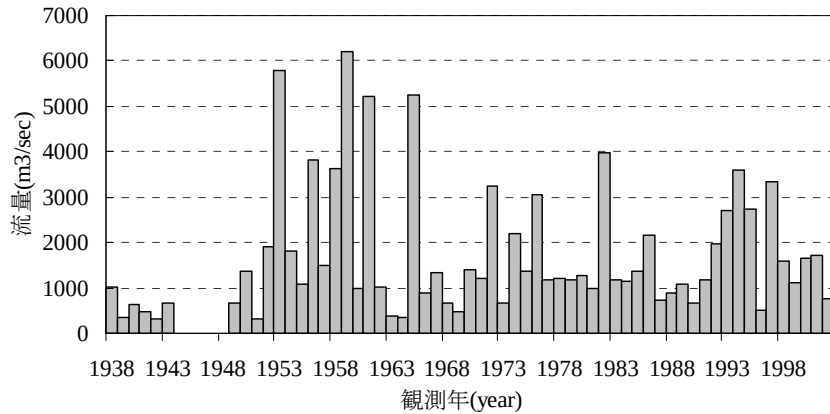


図-2 加茂地点における時間平均流量の年最大値

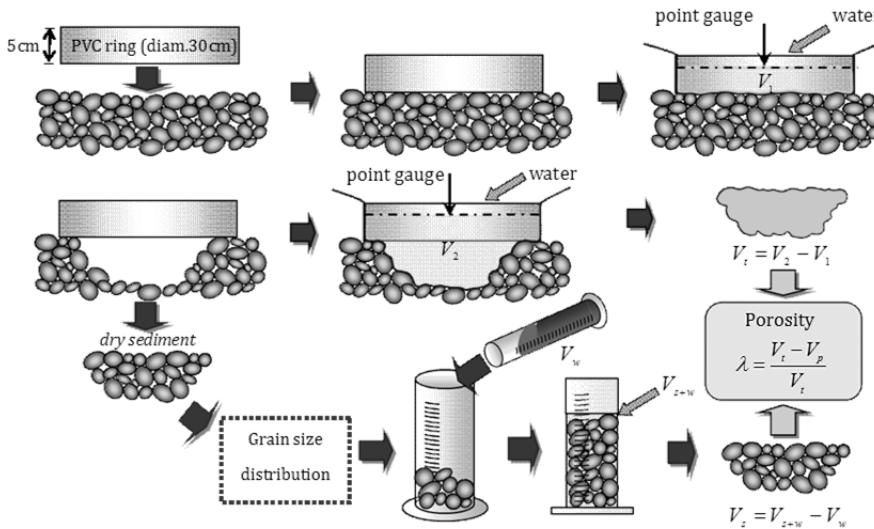


図-3 空隙率の測定方法

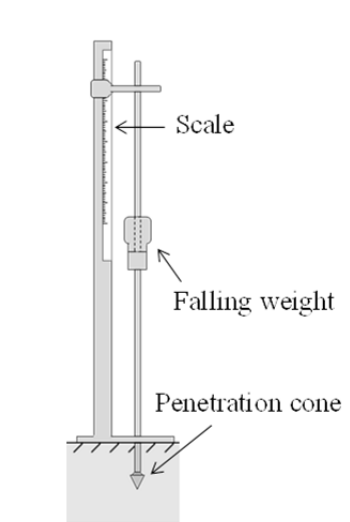


図-4 長谷川式簡易貫入試験機

領域における地盤の堅さ、空隙率、粒度分布等の空間分布特性について、現地調査及び数値解析によって明らかにするとともに、地盤の堅さ、空隙率、粒度分布等の相互の関係について、考察する。

2. 木津川の概要

本研究で対象とした河川は、京都府を流れる木津川である。図-1に木津川の概要を示す。木津川は、鈴鹿、布引山脈に源を発し、上野盆地において柘植川、服部川を合流して西へ流れて岩倉峠を通る。さらに、名張川を合流して笠置溪谷に至り、加茂から4kmほど下流において山付区間から沖積地河川の性状へ変わり、枚方市において宇治川および桂川と合流して淀川となる。木津川の流域面積は、枚方地点において約1650km²（笠置地点約1300km²）である。流域の平均年降水量は約1600mm程度であり、我国の平均値にほぼ等しい。図-2は淀川合流地点から約30km上流に位置する加茂地点における時間平均流量の年最大値である。なお、調査対象地域の砂州の冠水流量は、約300m³/sである。

3. 現地観測

(1) 観測方法

現地調査は、河床表層と下層の空隙率及び粒度分布の測定と河床表面から約1mまでの深さの河床強度を測定した。本調査では、河床表層は、河床面から約10cmの深さとし、その下の約10cmの厚さの部分を下層とした。空隙率は、図-3に示すように、測定した水及び土砂の堆積の関係から得た。粒度分布は、採取した河床材料を実験室に持ち帰り、篩い分けによる粒度分析を行った。河床強度の測定は、図-4に示す長谷川式の簡易貫入試験機を用いて貫入量を求めた。長谷川式簡易貫入試験機は、2kgの落錘を50cm落下させることにより、土壌表面より深さ100cmまでの土壌の硬さを、半連続的に知ることができる小型貫入試験機である。観測では、土壌表面より深さ100cmまでの打撃回数と各打撃回数による貫入値を記録している。なお、河床強度は貫入値により表現し、貫入値が大きければ河床強度は小さく、貫入値が小さければ河床強度は大きいものとする。

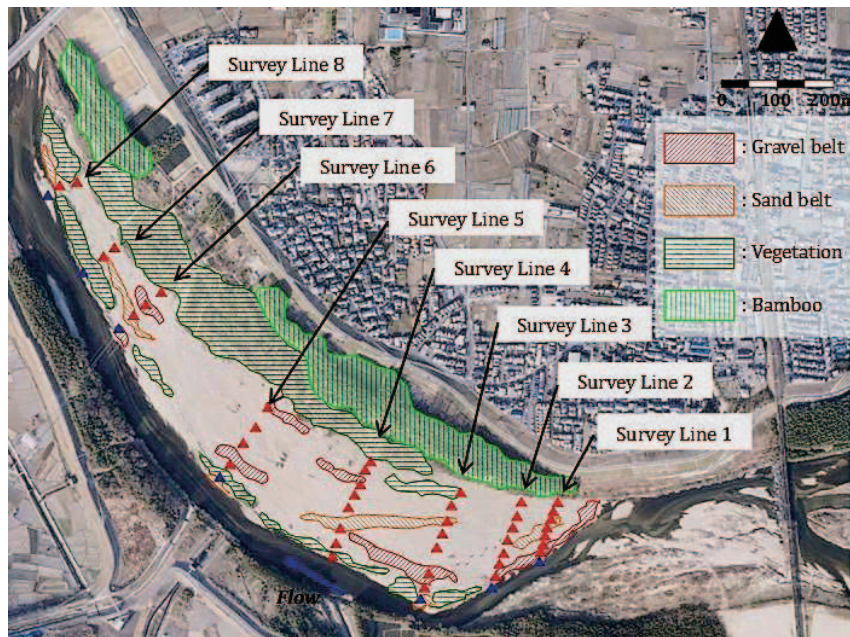


図-5 対象砂州における河床材料及び植生分布の様子

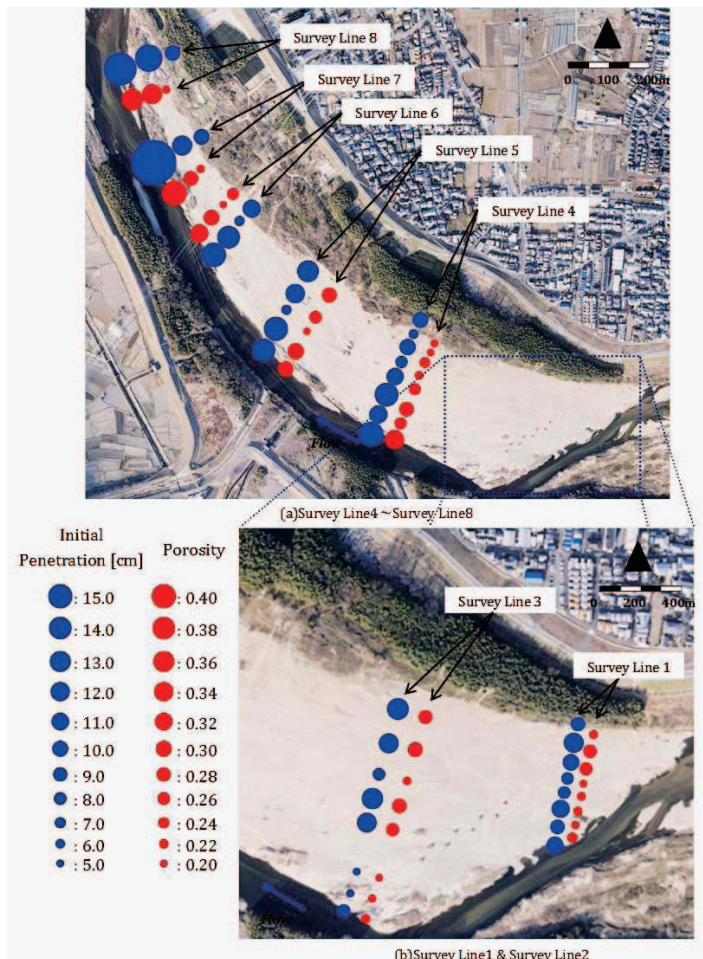


図-6 表層の空隙率の平面分布と貫入試験の一回目の貫入値の大きさの平面分布

(2) 観測地点

河床材料及び植生分布の様子を航空画像データ上に示したものを図-5に示す。対象砂州における河床材料は横

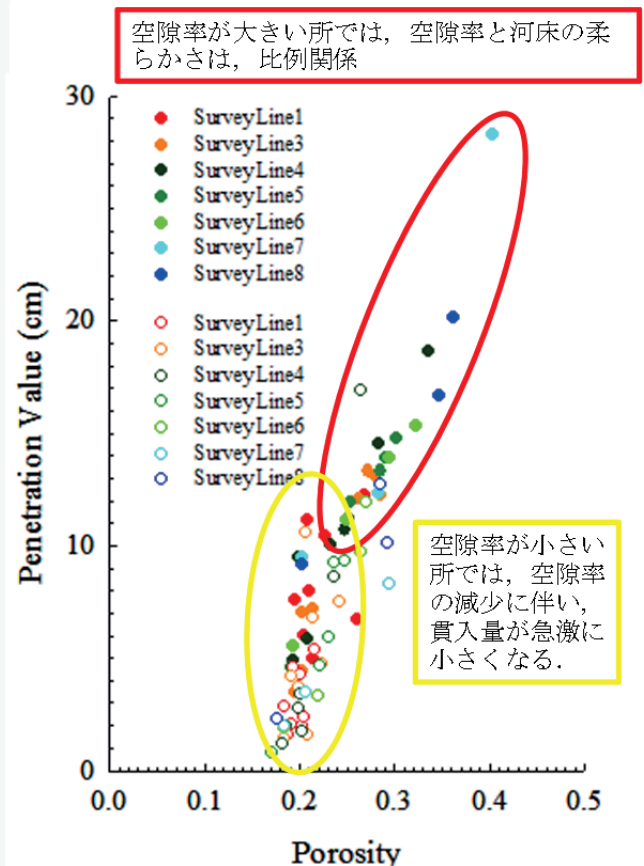


図-7 表層の空隙率と貫入試験の一回目の貫入値の大きさ関係（塗りつぶしのプロット）、および下層の空隙率と下層に最初に貫入した時の貫入値の大きさ関係（中抜きのプロット）

断方向において砂帯（砂堆ではない）や礫帯など帯状に交互に現れていた。さらに、植生も所々に分布している。このような特徴を現地において砂礫帯及び植生が繁茂している範囲をGPS及び巻尺により計測し、位置座標を取

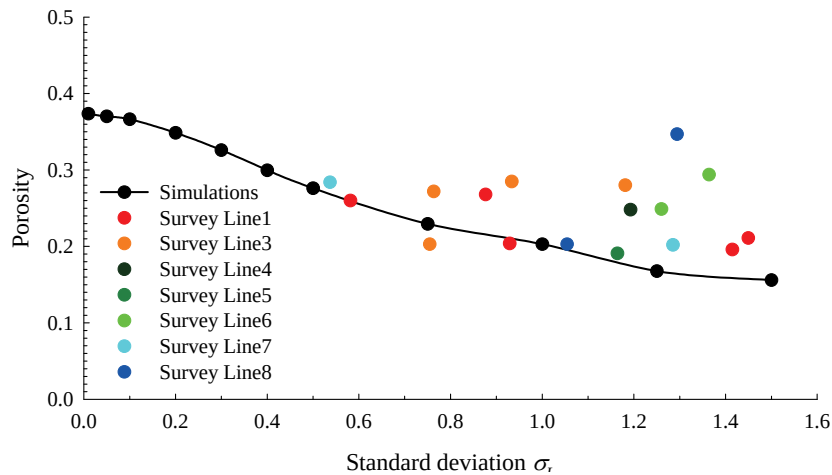


図-8 河床材料の粒度の標準偏差と河床材料の空隙率との関係

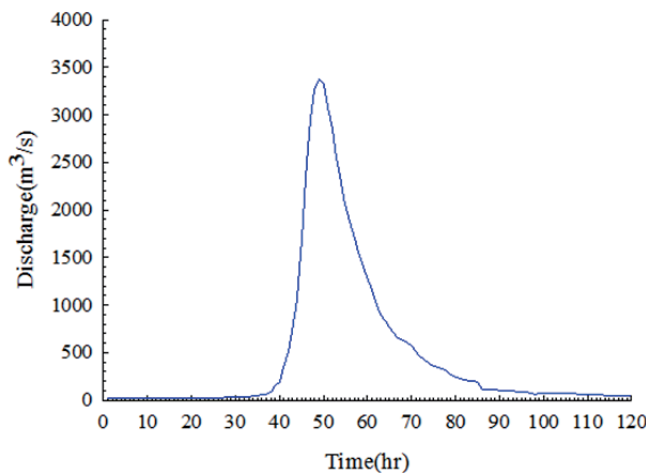


図-9 解析に用いた上流端流量

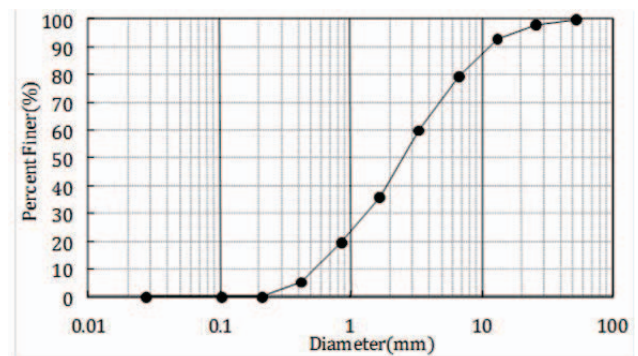


図-10 河床土砂の初期の粒度分布

得した．図には，現地観測時に確認した範囲における砂礫帯及び植生分布をそれぞれ図中の凡例に基づいて示しており，観測点も明記している．

(3) 結果と考察

図-6に表層の空隙率の平面分布と貫入試験の一回目の貫入値の大きさの平面分布を示している．図より，空隙率の値が大きい場所では，貫入試験の一回目の貫入値の大きくなっており，両者が良く一致していることが分かる．また，一般に河床変動解析では，空隙率の値は0.4の一定値が用いられるが，一つの砂州の中でも0.4から0.17程度まで非常に大きく変動していることが分かる．さらに，貫入試験の一回目の貫入値の大きさも15cm以上から5cm以下まで非常に大きく変動していることが分かる．

次に，空隙率の値が大きい場所を見ると，平水時の流路近傍と植生帯と裸地の境界部分に集中していることが分かる．平水時の流路近傍については，流水による河床変動に伴う攪乱によって，空隙が大きく保たれていることが予想される．一方，植生帯と裸地の境界部分についても，図-5に示すように，礫帯が形成されており，植生も生えていないことから，洪水時には主流から分岐した流れが形成され，比較的，攪乱が多い状況であったこと

が予想される．

図-7には，表層の空隙率と貫入試験の一回目の貫入値の大きさの関係（塗りつぶしのプロット），および下層の空隙率と下層に最初に貫入した時の貫入量の大きさの関係（中抜きのプロット）を示している．まず，表層と下層を比べると，下層の方が空隙率が小さく，貫入量が小さくなっていることが分かる．これは，洪水の減衰時や洪水後の降雨などにより，下層には上層から細粒土砂が流れてくるとともに，圧密が進みやすいためと考えられる．

次に，表層・下層の区別は考えず，空隙率と貫入試験の一回目の貫入量の大きさ関係を見ると，両者には明確な線形関係があり，空隙率の増加とともに貫入量が大きくなっている．ただし，空隙率が0.22程度まで小さくなると，急激に貫入量が小さくなることが分かる．これは，空隙率が大きいときは，貫入によって地盤中の土粒子が移動して，粒子の再配置が比較的容易に行われるが，空隙率が小さいと，貫入コーンによる土砂の移動が発生しにくくなり，土粒子径の影響を強く受けやすくなるものと考えられる．つまり，土粒子径の大きい砂礫に貫入コーンが当たると，空隙率が大きい場合は，砂礫の移動が可能であるが，空隙率が小さいと砂礫が移動出来ず，

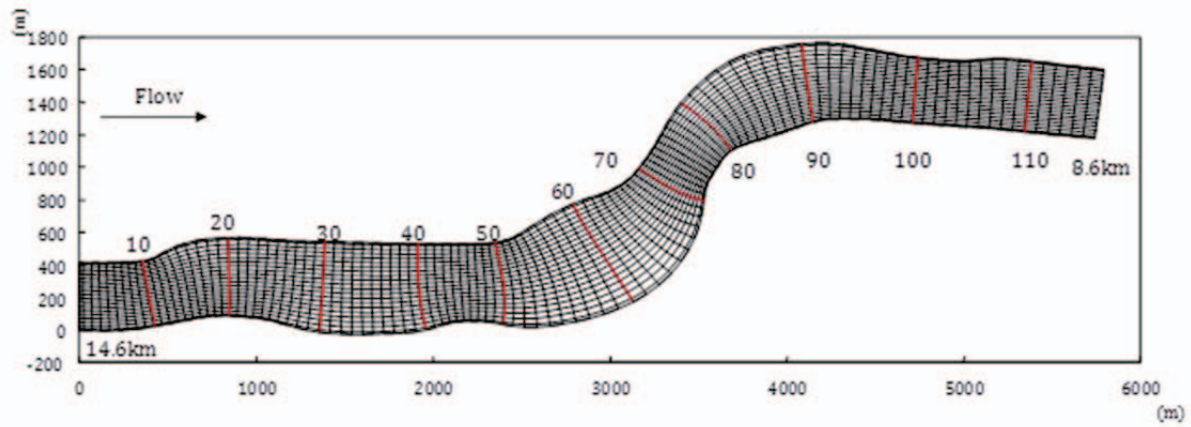


図-11 解析に用いた計算格子

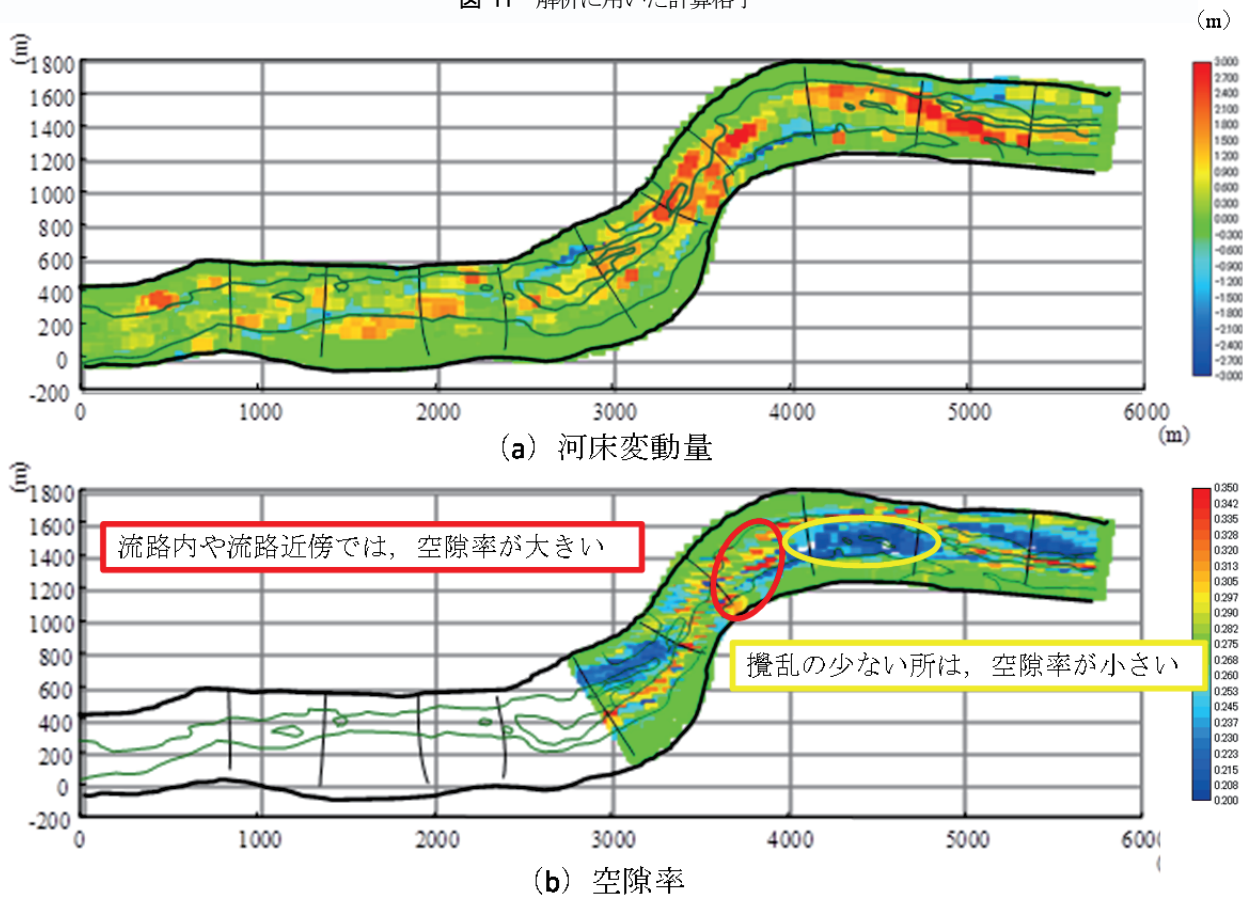


図-12 出水前後における河床変動コンターと出水後の空隙率の平面分布

それ以上の貫入が発生しないと考えられる。一方、土粒子径が小さいときは、貫入コーンの衝突による土粒子の移動は小さいため、空隙率が小さくてもある程度の貫入量が得られるものと考えられる。

河床材料の粒度の標準偏差と河床材料の空隙率との関係を図-8に示す。図には、藤田ら⁹⁾による粒子のパッキングモデルによる空隙率の関係も実線で示している。藤田らのモデルによる空隙率の値は、同一の粒度分布では最も小さい値になるようなパッキング方法を用いている。パッキングモデルによると、河床材料の粒度の標準偏差が小さくなり一様粒径に近づくとき、空隙率が大きくなる。一方、河床材料の粒度の標準偏差が大きくなって粒度分

布幅が広がると、空隙率は小さくなる。図より、現地調査のデータにおいても、標準偏差が小さく一様粒径に近づくとき、空隙率が大きくなり、パッキングモデルの値に近い値となっていることが分かる。一方、標準偏差が大きく、粒度分布幅が広がると、空隙率が小さくなり、パッキングモデルの値に近づく実測データもあるが、0.4程度の大きな空隙率も存在することが分かる。これらの結果は、粒度分布が広がると、空隙率が必ず小さくなるわけではなく、攪乱の程度、堆積や堆積後の圧密などの過程の違いによって空隙率は大きく変化することを示すものと考えられる。

4. 数値解析

(1) 数値解析法と解析条件

河床変動特性と空隙率の関係を調べるため、現地調査を行った砂州を含む約6kmの区間を対象として、河床変動解析を行った。解析に用いた基礎方程式は、平面二次元の河床変動解析によるものである²⁾。解析に用いたハイドログラフを図-9に、初期粒度分布を図-10に示す。対象領域の砂州は、前述のように、約300m³/sで冠水する。また、初期粒度分布は、現地調査結果をもとに対象地域の平均的な粒度分布を与えている。なお、初期条件では、粒度分布は空間的に一様に与えている。図-11には計算格子を示す。計算対象領域は三川合流地点から上流14.6km～8.6kmの区間としており、計算格子は流下方向に116点、河道横断方向に22点のグリッドとしている。図中における赤い線は断面10～110を10断面おきに示したものである。現地調査を実施した砂州は、縦断方向のメッシュ番号75～105の右岸側に位置している。

図-12 (a) に出水前後における河床変動コンター、図-12 (b) に空隙率の平面分布を示したものである。空隙率の算定に関しては、Sulaimanらの方法³⁾を用いた。そのため、空隙率の値は最密充填時の値に近い値となっている。初期における空隙率の値は約0.28であった。これを踏まえて、初期の空隙率の値を基準として暖色及び寒色により空隙率の変化を表現している。図より、流路内や流路近傍の河床変動の大きい領域では、空隙率が大きく評価されていることが分かる。これは、河床材料の細粒化により、粒度分布幅が減少し、河床材料が一樣粒径に近づいたためと考えられる。一方、砂州上の河床変動量の少ない領域では、空隙率が小さく評価されており、河床擾乱の大きさと空隙率の関係は、ある程度表現されていることが分かる。しかし、図-8に示したように、粒度分布幅が広がると、空隙率の値は大きくなるような状態も考えられ、密に充填する状態を対象としたSulaimanらの方法³⁾では、十分に表現出来ないことは容易に想像が出来る。これらについては、今後の課題と考えている。

5. 結論

京都府・木津川下流域に形成された砂州を対象として、平水時に水面から露出している領域における地盤の堅さ、空隙率、粒度分布等の空間分布特性について、現地調査及び数値解析によって明らかにするとともに、地盤の堅さ、空隙率、粒度分布等の相互の関係について、考察し

た。得られた成果をまとめると、以下のようである。

- 1) 空隙率の値が大きい場所では、貫入試験の一回目の貫入値が大きくなっており、両者には線形の関係がある。しかし、空隙率が0.22程度まで小さくなると、急激に貫入値が小さくなることから分かる。これは、空隙率が大きいときは、貫入によって地盤中の土粒子が移動して、粒子に再配置が比較的容易に行われるが、空隙率が小さいと、貫入コーンによる土砂の移動が発生しにくくなり、土粒子径の影響を強く受けやすくなるためと考えられる。
- 2) 一般に河床変動解析では、空隙率の値は0.4の一定値が用いられるが、一つの砂州の中でも0.4から0.17程度まで非常に大きく変動しており、河床変動特性に影響を与えることが予想される。
- 3) 標準偏差が小さく一樣粒径に近づくと、空隙率が大きくなる。一方、標準偏差が大きく、粒度分布幅が広がると、空隙率が小さくなる実測データもあるが、0.4程度の大きな値も存在することが分かる。これらの結果は、粒度分布が広がると、必ず空隙率が小さくなるわけではなく、攪乱の程度、堆積や堆積後の圧密などの過程の違いによって空隙率は大きく変化することが分かる。
- 4) 平面二次元解析の結果に対して、Sulaimanらの方法³⁾を用いて空隙率の平面分布を求めた。その結果、流路内や流路近傍の河床変動の大きい領域では、空隙率が大きく評価されていた。一方、砂州上の河床変動量の少ない領域では、空隙率が小さく評価されており、河床擾乱の大きさと空隙率の関係は、ある程度表現されていることが分かる。

謝辞：本研究は国土交通省・河川砂防技術研究開発（研究代表者：竹門康弘）による助成の助成を受けて行われた。記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 藤田正治, Muhammad SULAIMAN, Jazaul IKHSAN, 堤大三：河床材料の空隙率の変化を考慮した河床変動モデルとその適用, 河川技術論文集, Vol.14, pp 13-18, 2008.
- 2) Hiroshi Takebayashi, Shinji Egashira, Haisheng Jin and Tadashi Sasaki : Water Surface Elevation at the Upstream Side of a River Mouth Sandbar during Floods, Journal of Coastal Research, SI50, pp. 700-704, 2007.
- 3) Muhammad SULAIMAN, Daizo TSUTSUMI, Masaharu FUJITA : Porosity of Sediment Mixtures with Different Type of Grain Size Distribution, 水工学論文, Vol51., pp.133-138, 2007.

(2012. 4. 5受付)