

掃流砂の作用により生じる一様湾曲流路内の粘土河床の変動

早稲田大学理工学術院

正会員 関根 正人

早稲田大学大学院

学生員 ○ 佐藤 裕

早稲田大学大学院

学生員 芦澤 穂波

早稲田大学大学院

学生員 吉川 文嵩

1. 序論

東南アジアのメコン川や我が国の筑後川感潮域における一部区間の河床は粘着性土で構成されている。このような非粘着性および粘着性材料の両方が存在する河床変動メカニズムは未だ十分に理解されていない。本研究では、砂礫が供給される河道湾曲部の粘土河床に焦点をあて、形成される河床構造を明らかにすることを目指し、実験的検討を行った。

2. 実験の概要

本研究は、幅 20cm、高さ 40cm、中心曲率半径 100cm、湾曲角 270° のステンレス製一様湾曲水路を用いた。湾曲部の上流側には 150cm の直線区間が接続されている。水路内には固定床区間（直線区間、 $\theta=0^\circ \sim 90^\circ$ かつ $\theta=240^\circ \sim 270^\circ$ ）と移動床区間（ $\theta=90^\circ \sim 240^\circ$ ）を設けている。非粘着性材料として珪砂 3 号（60% 粒径 1.56mm、比重 2.65）、粘着性材料として T.A カオリン（60% 粒径 0.007mm、比重 2.65）を用いた。移動床区間に設けた粘土河床については、T.A カオリンに水を加えて練り混ぜ、15cm の水深で 15 時間水中静置したものを用いている。水中静置後の水含有率 R_{wc} は 0.8 程度である。

本実験条件は以下の通りである。水路幅を水深で除した値 $B/h=3.72$ 、 $Fr=0.84$ 、 $\tau^*=0.107$ である。流量は 300 l/min、河床勾配は約 1/200、通水時間は 30 分とした。また、固定床と移動床の境界直前（ $\theta=75^\circ \sim 90^\circ$ ）にて 5 分間に乾燥重量 1795g の珪砂を給砂した。横断面一様の給砂となるように留意した。この給砂量は、Meyer-Peter&Müller の式より算出した平衡流砂量の 20% に値する。河床高および水位等の水理量はレーザ式変位センサ、ポイントゲージを用いた。さらに河床状態を把握するためにカメラによる撮影、単位時間当たりの流出土砂量および水温の計測を行った。詳細な流速計測は行っていないが、同一の水路でのほぼ同じ条件下での実験結果¹⁾や昨年からの検討より、移動床区間では十分に発達した二次流が発生しているものと考えている。

3. 掃流砂の影響により形成される河道湾曲部の粘土河床構造

図-1(a) は通水後の河床状態である。固定床区間より掃流砂として運ばれてきた砂礫は内岸側に沿うように下流へと移動し、砂層を形成した。この砂層は粘土河床区間上流端（ $\theta=90^\circ$ ）では、ほぼ全幅にわたるが、次第に内岸側によっていき、その後一定幅に収束している。二次流による内岸に向かう流れ作用が卓越し、これを縦断方向に連続して受けることで擬似平衡状態に達したためであると考えられる。図-1(b) は、 15° おきに計測した変化量を面的に示したものである。外岸付近に着目すると、浸食は 5mm 以下にとどまっている。湾曲部砂河床での流砂の移動は、既往研究²⁾で述べられている通り「斜面上の砂礫を外岸側へ転がり落とす方向に働く重力の作用」と「内岸側に運び上げる方向の二次流の作用」によって決定づけられる。外岸部での浸食が顕著でないことから粘土河床上の砂礫の移動は、二次流の作用が支配的に作用していると考えられる。

次に河床鉛直構造について述べる。砂、混合層を取り除き、各層上面での計測を行うことで各層の厚さ及びその横断方向分布を調べた。その結果を図-2 に示す。 $\theta=180^\circ \sim 210^\circ$ の河床に着目すると、類似の河床構造となっており、平衡状態に近いものであると考えられる。粘土層の最大浸食深は、外岸付近ではなく砂層と粘土河床の境界付近でみられた。 180° 地点に着目すると、粘土露出部分における浸食深に比べ 6.75 倍ほどである。このメカニズムについて考察する。固定床区間より下流へ移動する砂礫は浸食促進作用を発揮するとともに、

キーワード：粘土河床、二次流、掃流砂の移動、河床変動

連絡先：〒 169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1, TEL 03-5286-3401, FAX 03-5272-2915

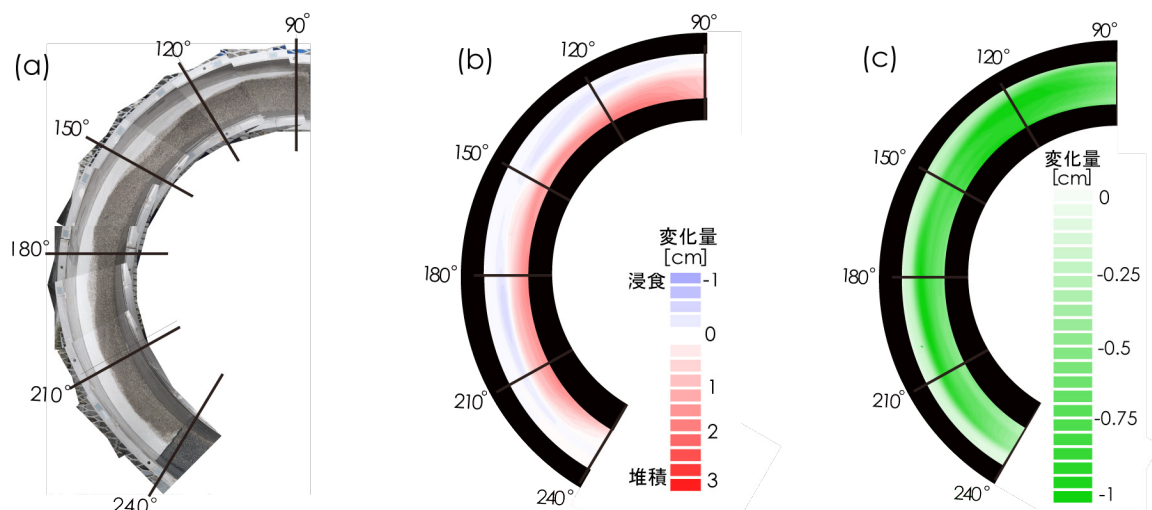


図-1 通水後の河床形状：(a) 通水後の河床写真である。粘土河床は白色である。(b) 通水前後の河床高の変化量をコンター図にした。赤色が堆積，青色が浸食を示す。(c) 粘土河床のみの浸食深コンター図である。砂層及び混合層を丁寧に取り除き，計測を行った。

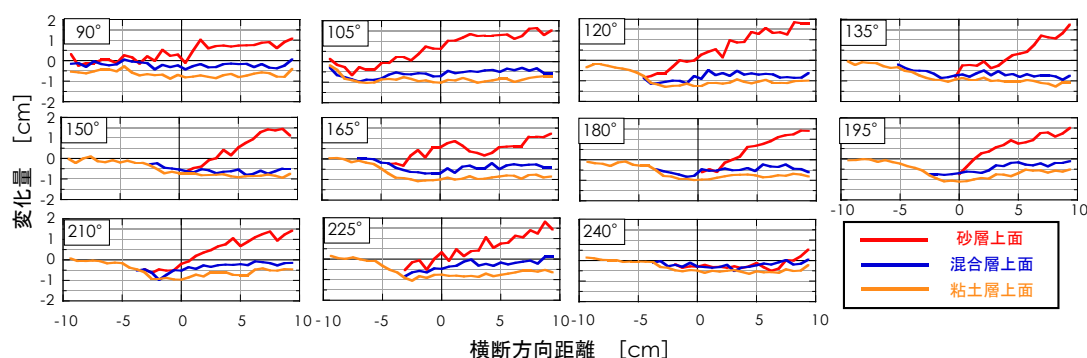


図-2 通水後の河床鉛直構造：粘土河床上で計測された河床高さを砂層，混合層，粘土層ごとに示した。横軸は横断方向距離であり，-10が外岸壁，10が内岸壁を示す。

粘土河床面下に入り込み混合層を形成する。粘土河床上の砂礫の移動は二次流の作用が支配的であり，この作用を連続的に受け内側に偏り進む。次第に内岸側から混合層上に砂層が形成され，粘土河床を覆い砂礫の衝突を抑えることになる。砂層と粘土河床の境界部では，砂礫の衝突を抑える効果と通過する砂礫の量に起因する衝突頻度が最適値となり，最も浸食されると考えられる。これと類似した点は岩盤河床でも確認されており，田口ら³⁾によって述べられている。水中安息角以上になると砂層の砂礫は崩れ，砂層は外岸方向へ広がる。これに伴い，浸食を受ける箇所も外岸方向へと時間的に変化する。図-1(c)は，粘土層のみの浸食深コンター図である。本実験条件は，水流の作用により粘土河床が大きく浸食されるほどではない。内岸側で砂礫の衝突による浸食促進効果が発揮され，従来知られている河道湾曲部砂河床とは異なり内岸側が低い地形となっている。さらに給砂量を大きくし通水時間を長くすることで，砂層は外岸方向へ広がり粘土河床を覆い，動的平衡状態に近づくと考えられる。なお，混合層の厚さ，被覆率および混合層中の粘土と砂の重量比率である粘土含有率 R_{cc} は本研究室の直線閉水路で確認された値と同じであることを確認している。

4. 結論

本研究では，一樣湾曲水路を用いた実験を行い，形成される河床構造について明らかにした。今後は給砂量や流量を変化させた実験を行うことで，さらなる現象の解明に努めていく。

参考文献：

- 1) 関根正人，吉川秀夫，井田泰蔵，高松諭，仲村学：斜め棧粗度による河川湾曲部の二次流制御に関する研究，土木学会論文集，No.558，II-38，pp.61-70，1997年2月
- 2) 池田駿介，山坂昌成，千代田将明：混合砂礫床一樣湾曲水路の平衡横断形状と Sorting について，土木学会論文集，第375号 / II-6，pp.151-160，1986年11月
- 3) 田口真矢，小林素直，リマアドリアーノ，泉典洋：一樣湾曲水路における部分的に砂礫被覆した岩盤河床の侵食に関する実験的研究，土木学会論文集 B1 (水工学)，Vol.74，No.4，I_1039- I_1044，2018