

掃流砂の移動に伴う河道湾曲部の粘土河床の浸食現象

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	池田 憲昭

1. 序論

本研究では、掃流砂としての砂の移動に伴い粘土河床の浸食が促進される効果について明らかにすることを目指して、二次流の影響が顕著な一様湾曲水路において実験的な検討を行った。一様湾曲水路では、直線水路とは異なり、内岸側の流速が小さく、外岸側は大きいという特徴的な流速場となるため、そこで生じる河床の浸食は、縦断方向だけでなく横断方向にも顕著に異なる仕方で進行する。著者らは、粘土河床の浸食に及ぼす掃流砂礫の移動についての検討を進めているが、本研究はその理解を別角度から深めることを目的として行われたものである。

2. 実験の概要

実験は幅 20cm、高さ 40cm、中心曲率半径 100cm、湾曲角 270° の一様湾曲水路を用いて行った。湾曲部の上流側には 150cm の直線区間が接続されている。本研究では、全区間にわたって砂を敷き詰めた「砂河床実験」(これを Case S と呼ぶ)を参照実験として行った上で、湾曲部入口から $\theta = 90^\circ \sim 180^\circ$ の区間を粘土河床とし、その上下流区間を砂河床とした本実験(これを Case C と呼ぶ)を行った。砂としては珪砂 3 号 (60% 粒径 1.56mm, 比重 2.65) を、粘土としては T.A カオリン (60% 粒径 0.007mm, 比重 2.65) をそれぞれ用いた。粘土河床としては、T.A カオリンに水を加えて十分練り混ぜ、15cm の水深で 15 時間水中静置して十分締め固めたものを対象とした。なお、粘土に対する水の重量比率である水含有率は $R_{wc}=0.8$ であった。

実験条件は以下の通りである。Case S では、水路幅を水深で除した値 $B/h=3.36$, $Fr=0.57$, 無次元掃流力 $\tau^*=0.082$ であり、Case C ではそれぞれ $B/h=4.87$, $Fr=0.68$, $\tau^*=0.065$ である。また、流量は 200 l/min とし、模擬河床の縦断方向勾配は約 1/200 であり、通水時間は 40 分とした点は共通である。実験時には、水位などの水理量の計測とあわせて、通水前と通水後の河床面の高さをポイントゲージを用いて面的に計測した。また、河床状態を把握するため多くの画像を撮影し、これをのちに解析することにした。

本研究では、詳細な流速計測を行うことはしていないが、同一の水路でほぼ同様な条件下で行った実験の結果¹⁾から判断すると、 $\theta = 90^\circ \sim 180^\circ$ の区間では曲率に見合った十分に発達した二次流が発生しているものと考えてよい。ただし、この点は今後は改めて検証することを考えている。

3. 湾曲部の粘土河床上における掃流砂の動き

まず、Case S の実験の結果について説明する。図-1 は通水終了後の河床の状態を表すものである。この図には、画像解析により計測した河床高変化量の等値線図を重ねて示した。湾曲部外岸で顕著な浸食が生じる変動のパターンはすでに知られている通りである。このことから既往研究^{1),2)}などで調べられている通りの二次流が発達して生じていることがわかる。湾曲部砂河床上での流砂の移動は、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、逆に内岸側へ運び上げる方向の二次流の作用によって決定される²⁾。この二つの作用が釣り合うと動的平衡状態となり河床の変動が完了するが、この実験の結果も同様の状態になっている。

次に、本研究で新たに行った Case C の実験の結果について説明する。図-2 に通水後の粘土河床区間の河床状態を撮影した写真を示した。砂河川区間との境界である $\theta = 90^\circ$ の断面よりも上流側から掃流砂として運ば

キーワード：粘土河床、一様湾曲流路、掃流砂の移動、二次流、河床の浸食

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

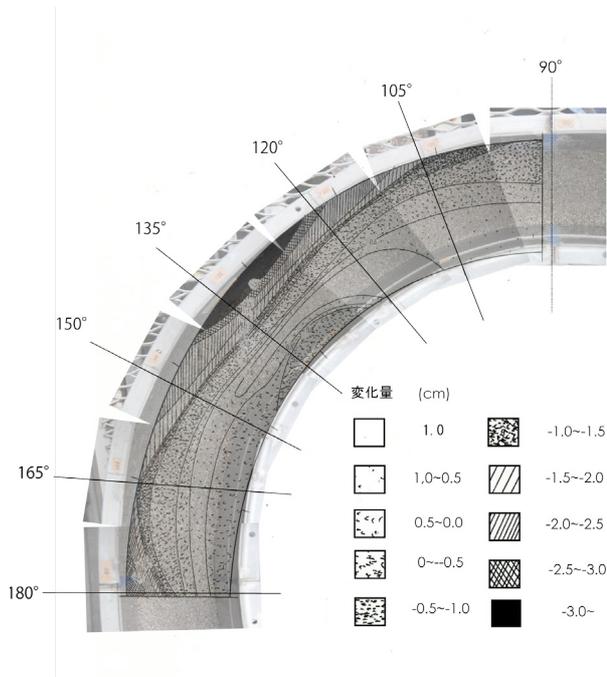


図-1 通水後の河床状況 (Case S) : 砂河床での実験の結果であり、通水後の河床の写真の上に、河床の変化量の等値線図を重ねたものである。図中の色の濃淡で通水前の河床高さからの変化の程度を示している。

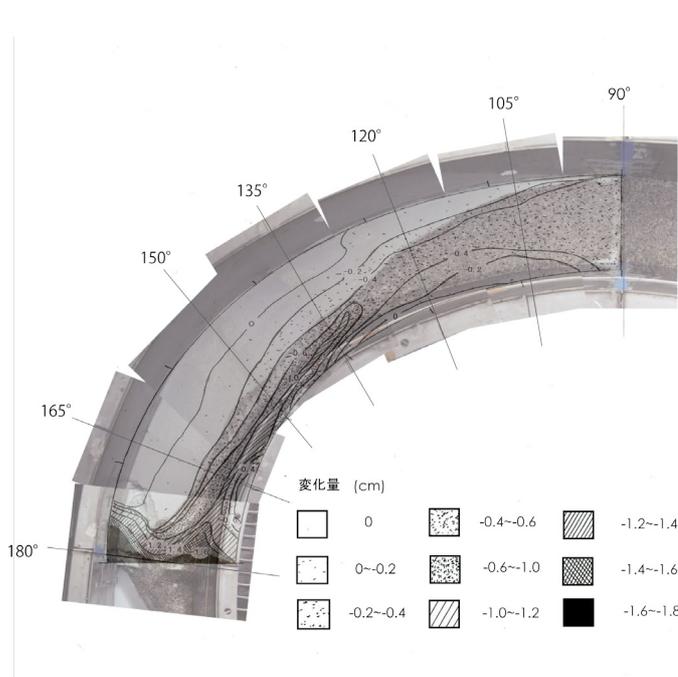


図-2 通水後の河床状況 (Case C) : 粘土河床での実験の結果であり、通水後の河床の写真の上に、河床の変化量の等値線図を重ねたものである。図中の色の濃淡で通水前の河床高さからの変化の程度を示している。

れてきた砂は、粘土河床を削りながらさらに下流へと移動した。このうちの一部の砂は粘土表面下に入り込み、表面を覆うように混合層を形成した。この混合層は、粘土河床区間の上流端(90°地点)付近では河床全幅にわたっているが、下流側に向かうにつれてその幅は小さくなる。これは、前述した二次流による内岸に向かう流れの作用が卓越し、これを縦断方向に連続して受けるためである。その結果、砂で被覆されることのない粘土河床の横断幅は上流側ほど小さなものとなる。また、ここで設定した Case C の実験条件下では、水流の作用により粘土河床が浸食されるほどの掃流力ではないため、外岸付近では浸食はほとんどが生じない。これに対して、砂礫は内岸側に偏って移動する傾向があり、掃流砂が粘土河床を削り取るような効果を発揮することから内岸側で浸食が生じ、その結果、砂礫が外岸側に運ばれることはない。なお、これに類似した指摘は、岩盤河床の浸食を取り扱った井上らの論文³⁾にも述べられており、ふたつの現象の根底には共通する点が少なくないように見ている。さて、図-2には、河床高変化量の等値線を併記しているが、上記の点はこの図からも明らかである。このように、上流側から掃流砂として砂礫が移動してくる場合に生じる粘土河床の浸食は、砂河床の場合とは明らかに異なるものとなる。なお、図-2の状態では、内岸側の粘土河床表面を砂礫が十分に被覆しており、その砂礫が移動してきた掃流砂と入れ替わるように抜け出す際に粘土の一部がわずかに連行されることはあり得るものの、河床はほぼ動的平衡に近い状態に達していると考えている。

4. 結論

本研究では、一様湾曲流路を用いた実験を通じて、上流からの掃流砂が輸送されてくる条件下で生じる粘土河床の浸食現象について検討した。今後は、流速場との関係を明らかにしていくほか、ここで説明した特異な浸食が生じる条件を明らかにすることも含めてさらなる検討を続けていく予定である。

参考文献：

- 1) 関根正人, 吉川秀夫, 井田泰蔵, 高松諭, 仲村学: 斜め栈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.
- 2) 池田駿介, 山坂昌成, 千代田将明: 混合砂礫床一様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.
- 3) 井上卓也, 矢部浩規: 岩盤上に形成される複数筋の形成過程, 土木学会論文集 B1 (水工学), Vol.73, No.4, pp.I_823-I_828, 2017.