

土砂供給量の違いが粘性土を含む蛇行流路の
発達に与える影響に関する実験的研究

Experiments on the effect of sediment supply on the development of meandering channel containing cohesive soil

北海道大学工学院環境フィールド工学専攻 ○学生員 天見有志 (Yuji Amami)
北海道大学大学院工学研究院 正会員 久加朋子 (Tomoko Kyuka)
北海道大学大学院工学研究院 フェロー 清水康行 (Yasuyuki Shimizu)

1. はじめに

湿原は貴重な動植物の生息、生育の場であり、保水、遊水機能、地域気候を緩和する機能など重要な価値や機能を有している。近年、流域の土地利用の変化、経済活動の拡大とそれに伴う河川からの土砂等による流入負荷の増大などの問題が起きている¹⁾。粘着性の河床材料を有する湿原河川のような場で、土砂供給が流路形態にどのような影響を及ぼすかについて詳細について把握した報告は非常に限られている。粘着性土砂で構成されている河床材料の上に非粘着性土砂が供給される場合において、供給される砂礫の量が比較的少ない条件であれば、砂礫が直接接触することによる浸食促進作用が支配的となり、湾曲部内岸付近での顕著な浸食が起こる。一方、砂礫の供給量が大きくなると、内岸から形成された砂層がさらに外岸側に向かって広がることになる²⁾と報告されている。実際の湿原河川を扱った田中らの研究³⁾で、低平地湿地での蛇行の平面形状は、流下方向に沿って曲率が不連続となる折れ曲がった幾何形状となっており、河床形状や掃流砂等の水理特性から、穿入蛇行に類似すると報告されている。しかしながら、土砂供給量が流路の横方向移動や流路形態そのものに与える影響に関する検討は非常に少ない⁴⁾。

そこで本研究では、水路実験を行い、河床材料に粘性土が含まれる河川において上流からの土砂供給量の違いが流路形成にどのような影響を及ぼすかを実験により把握することを目的とした。本研究では、水路幅、粒径、流量が等しい条件の下、給砂量の違う3ケースの実験と蛇行部において内岸側を意図的に堆積させ、蛇行を発達させる1ケースの計4ケースの実験を行った。

2. 水路実験

(1) 実験水路

本実験では、まず初めに Smith⁴⁾の実験を参考に、湿原の蛇行形状を再現することを目指した。図-1 に水路

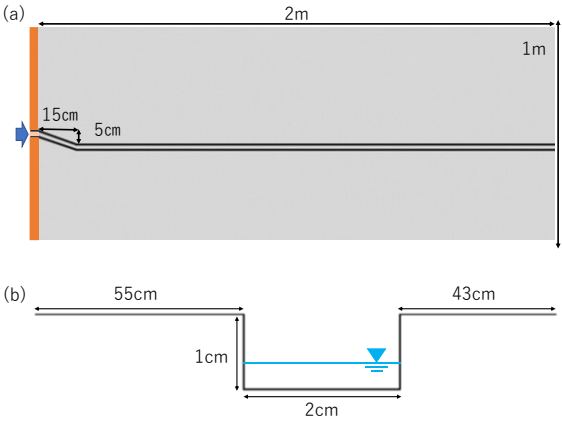


図-1 水路実験概要

- (a) 実験水路概要 (赤線は(b)の横断面図を示す)
- (b) 低水路横断面図 ((a)赤線、低水路部分拡大)

実験概要を示す。実験水路は北海道大学大学院工学研究棟内に設置された可傾斜水路を用いた。水路のサイズは全長 2m、幅 1m、勾配 0.02 であり、実験開始時には図-2 のように幅 2cm、深さ 1cm の初期低水路を作成した。河床材料には、珪藻土（粒径：0.1142mm（114.2μm）、比重：2.2）と粘着性材料としてクニゲル（比重：2.6）を用い、実験中にある程度河岸侵食が起こるように混合比を数種類試した結果、重量比 8：2 で混ぜ合わせたものを使用することとした。

(2) 実験条件

実験条件を表-1 に示す。流量はすべてのケースで一定流量とし、12ml/sec を与えた。実験初期の等流水深は 0.31cm、無次元掃流力は 0.527 である。Case1 は、実験水路上流端に位置する流路の流入角度を傾かせることで、実験開始から 8 時間ほどの間のみ河岸侵食に伴う土砂が下流に供給されるものの、その後、低水路内の土砂移動が生じなくなる場合を想定したケースである。Case2 お

表-1 実験条件

	流量	給砂量	通水時間	初期水深	勾配	無次元掃流力	フルード数
Case1	12ml/sec	なし	24時間	0.31cm	0.02	0.527	1.108
Case2	12ml/sec	2.54g/min	6時間	0.31cm	0.02	0.527	1.108
Case3	12ml/sec	10g/min	4時間	0.31cm	0.02	0.527	1.108
Case4	12ml/sec		8時間	0.31cm	0.02	0.527	1.108

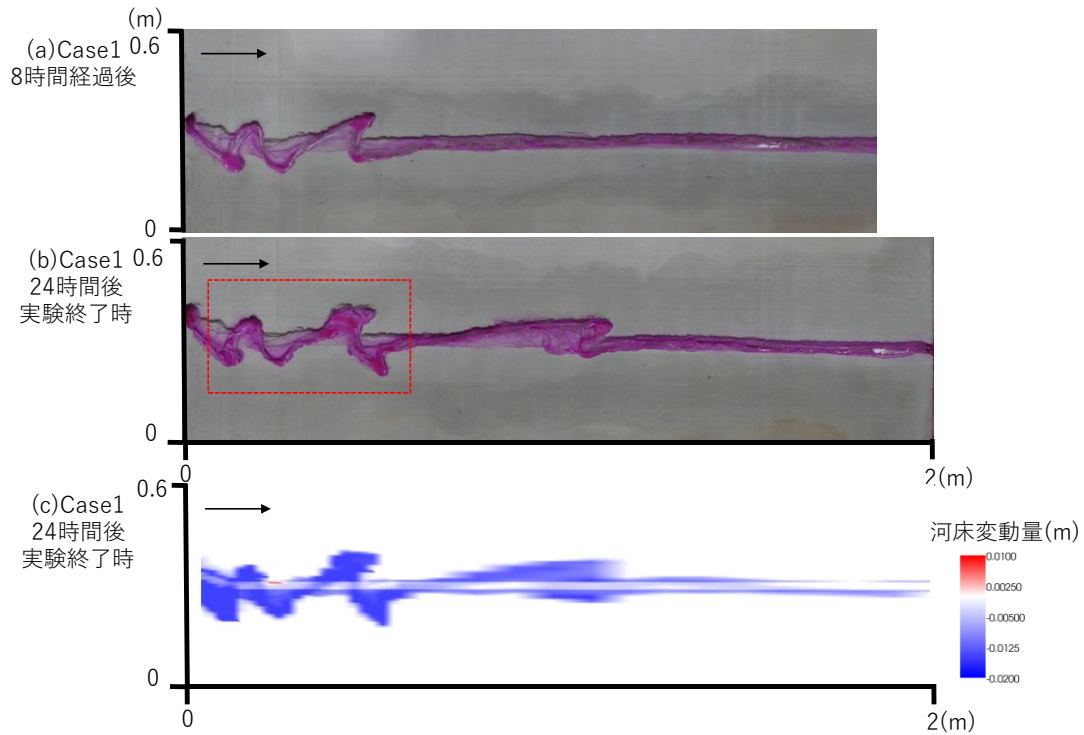


図-2 Case1 における蛇行の平面形状の変化

(a) 8 時間経過後, (b) 24 時間後 (実験終了時, 赤枠は図-3 で示す範囲を示す)
(c) 河床変動量コンター図 (24 時間後: 実験終了時)

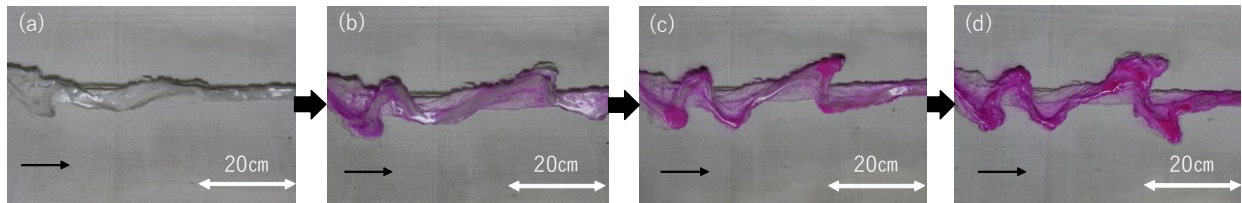


図-3 Case1 上流 5 cm~65 cm 付近の変化 (図-2-b の赤枠部分)

a) 4 時間後, b) 5 時間 30 分後, c) 8 時間後, d) 24 時間後

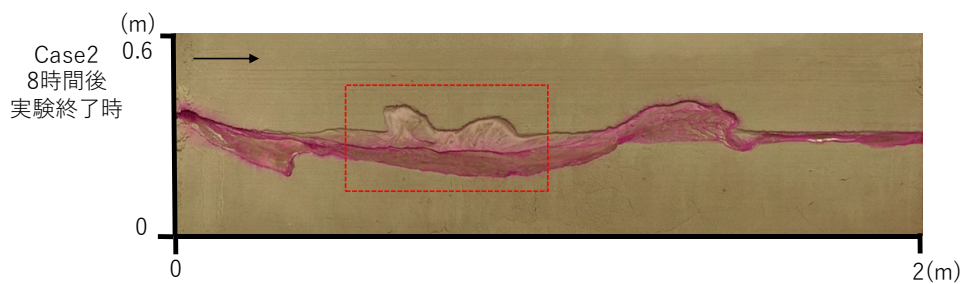


図-4 Case2: 実験終了時 (6 時間後, 赤枠は図-5 で示す範囲を示す)

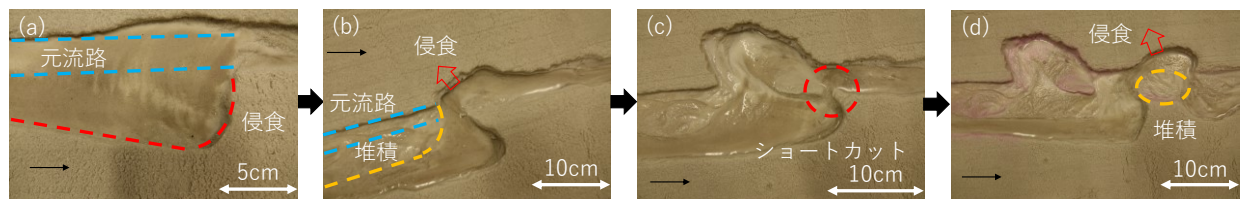


図-5 Case2 上流 50 cm~80 cm 付近の変化(図-4 の赤枠部分)

a) 1 時間 30 分後, b) 2 時間 30 分後, c) 3 時間 40 分後, d) 4 時間 20 分後
(青線: 元流路の位置, 黄色線: 堆積箇所, 赤線: 侵食やショートカットを示す)



図-6 Case3：実験終了時（4 時間後）

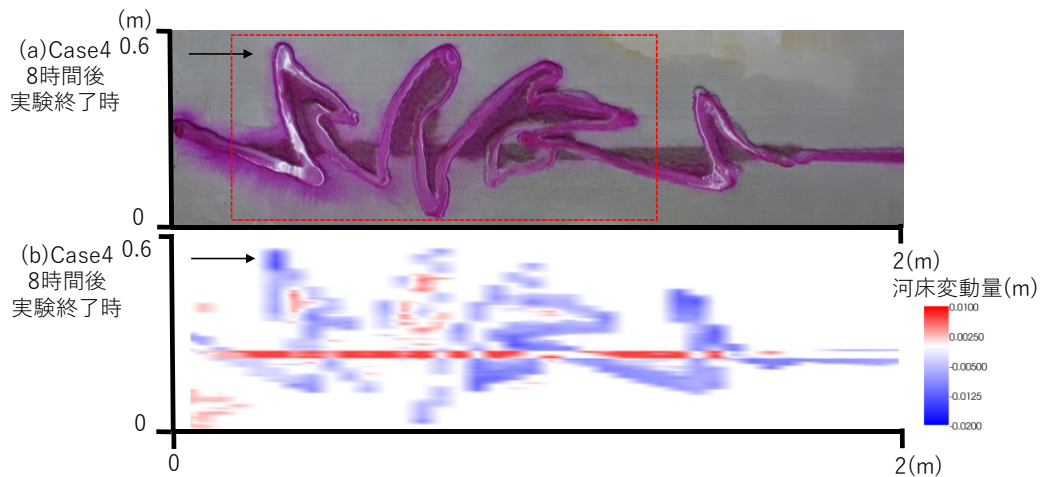


図-7 Case4：実験結果

(a) 実験終了時（8 時間後、赤枠は図-8 で示す範囲を示す）、(b) 河床変動量コンター図（実験終了時：8 時間後）

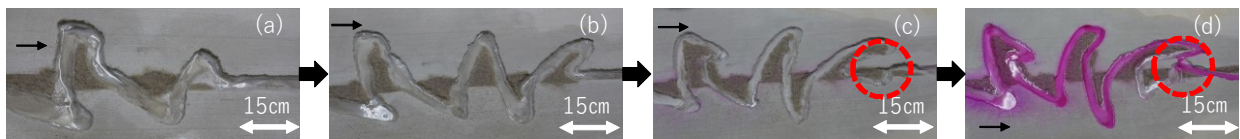


図-8 Case4 上流 10 cm~120 cm付近の変化（図-7-a の赤枠部分）

a) 2 時間後、b) 4 時間後、c) 5 時間後、d) 6 時間後（図中赤枠部分は neck cut-off を示す）

よび Case3 は、Case1 と同じ条件のもと、上流端から河床材料と同じ構成の土砂を供給するケースである。Case2 と Case3 の土砂供給量は、芦田、道上の式⁵⁾を用いて計算された平衡給砂量（15g/min）と予備実験を踏まえ、給砂材料は河床材料に用いている珪藻土を使用し、給砂量なし（Case1）、2.54g/min（Case2）、10g/min（Case3）の 3 ケースを行った。最後に、Case4 は今回の実験にて河床材料と同じ構成土砂を上流端から供給した場合、比重が比較的軽いために供給砂量の大半が河床に堆積せず下流に流れてしまったため、蛇行部内岸の堆積部分を意図的に堆積させる参考として実施したケースである。蛇行部内岸に珪砂 4 号（粒径：0.61mm，比重：2.65）を投入し、堆積させる 1 ケースを行った。

3. 実験結果と考察

(1) 土砂供給が非常に少ない場合（Case1）

図-2 に Case1 における蛇行の平面形状の変化を示す。また、図-3 に Case1 における上流端から 5cm~65cm 付近（図-2-b 赤枠部分）の変化を示す。図-2-b、図-2-c から Case1 実験終了時の流路変動を確認すると、上流では

曲率が不連続となる折れ曲がった幾何形状の蛇行流路の発達が確認できることが分かる。これは上述の鉤路湿原を流れる蛇行形状と類似しており、今回の粘着性土砂を用いた流路形成実験にてある程度現地の平面形状に近い地形が得られたと考えられる。ただし、実験開始から 8 時間程度経過後から明瞭な流路変動は生じず、下流域では蛇行流路が発達せず、直線のままで流路が拡幅した（図-2-b）。これは、Case1 では給砂していないため、8 時間以降に上流端での河床低下、および蛇行流路の発達が緩慢化した後、上流から下流域へと移動する土砂量が非常に少なくなったためと考えられる。そこで、図-3 に、Case1 の上流域（図-2 の赤枠）における蛇行流路平面形状の発達の時間変化を確認する。図-3 より、4 時間後から 8 時間後にかけて明確な蛇行が発達していることが分かる。しかし、8 時間以降蛇行部外岸側に河岸を侵食しているものの大きな変化はないことが分かる。

(2) 土砂供給が存在する場合（Case2, Case3）

続いて、上流端からある程度土砂供給がある場合の流路形態の変化について Case2 と Case3 より確認する。図

-4 に Case2 の実験終了時の写真を示す。図-4 より、Case2 の実験終了時の流路形態の平面形状を確認すると、上流からの土砂量が多いケースでは蛇行状態を維持できず、曲率が緩やかな平面形状を有する蛇行流路が形成されつつあることが分かる。Case2 の蛇行発達の様子（図-4 赤枠部分）を図-5 に示す。Case2 では、図-5-a、図-5-b から実験開始後河岸侵食と土砂の堆積により、蛇行が発達し始めていることが分かる。その後、3 時間 40 分経過後には、図-5-c（赤線部分）からショートカットが発生し、流路が直線化したことが分かる。さらに 4 時間 20 分経過後には、図-5-d から再び図-5-b のように蛇行が発達し始めたことが分かる。しかし、実験開始から 8 時間経過後の実験終了時の画像（図-4-a（赤枠部分））を確認すると、実験水路中央部分の流路は直線化しており、再びショートカットが発生して蛇行形状を維持することが出来なかったことが分かる。これは、供給砂の比重が比較的小さいため、土砂の大半が河床に堆積せず下流に流れてしまうこと、たとえ堆積しても容易に流出することから、蛇行内岸側にてショートカットが発生しやすい状況であったためと考えられる。したがって、一時的に屈曲した蛇行は見られたものの、数度のショートカットにより流路が直線化したことで、全体としては緩やかな曲率を持つ蛇行形状が形成されたと考えられる。

続いて、図-6 に Case3 の実験終了時の写真を示す。図-6 より流路形態を確認すると、主流路は Case2 と同様に曲率が緩やかな平面形状を有する蛇行流路が形成されつつあることが分かる。しかし、Case2 と異なり、中流で浮州が形成され、流路が網状化していることが分かる。これは、給砂量が多く流路全体の河床が上昇し、河岸が侵食されやすくなったためと考えられる。

以上より、本実験条件下における Case1~Case3 の蛇行発達を比較すると、Case1 では実験開始から 8 時間後に蛇行発達が停止したため、蛇行を発達させるためにはある程度の給砂が必要であることが推察された。次いで、本実験にて給砂を与えた Case2 および Case3 では、Case1 の実験初期で発達した曲率が不連続となる折れ曲がった幾何形状の蛇行流路は形成されなかった。これは、本実験水路内にて屈曲した幾何形状の蛇行を発達させるには、Case2 よりもさらに少ない給砂量が必要であった可能性（Case1 と同じく若干河床低下しながら蛇行が発達する状況）、あるいは Case2 のように河床材料と同じ構成の土砂を上流端から与えた場合、比重が小さいために一度堆積してもすぐに流されやすいために蛇行流路内岸側にて固定砂州が発達せず、容易にショートカットしやすい状況が生じた可能性が考えられる。そこで、次の Case4 では後者の可能性について検討するため、Case2 において蛇行内岸の固定砂州が発達せずショートカットが生じたような箇所（図-5-b、図-5-d の黄色線部分）に該当すると思われる場所に実験途中に珪砂を投入し、ショートカットが起これないようにした。

(3)内岸側に土砂を強制的に堆積させた場合（Case4）

図-7 に Case4 の実験結果を示す。Case4 では図-7-a のようにその他のケースに比べて振幅の大きな蛇行流路が

発達したことが確認できる。図-8 に Case4 における上流 10 cm~120 cm付近（図-7-a の赤枠部分）の変化を示す。図-8-a、図-8-b から、蛇行部内岸の部分に土砂を投入し、内岸側への土砂の堆積を強制的に発達させた場合（ショートカットが起これないようにする）蛇行が非常に短時間で発達したことが分かる。また、図-8-c、図-8-d（図中赤丸部分）で neck cut-off が起こり、曲率が不連続となる折れ曲がった幾何形状の蛇行流路が形成されたことが分かる。このことから、蛇行部における内岸側への土砂の堆積速度および堆積した土砂の安定性が蛇行流路の平面形状の発達に大きく影響することが示された。

以上の実験より、湿原河川の蛇行流路は、Case1 のように非常に少ない土砂供給量で形成された可能性が高いと推察される。また、湿原においてはヨシやスゲといった草本植物が比較的短時間で侵入すると考えられ、これは内岸側での土砂の捕捉や流路のショートカットを抑制することで、長い時間をかけた蛇行形状の発達に関わっていると推察される。一方で、河川への土砂の供給量が増加する場合、低水路と河岸の比高差が減少し、それと共に流路の平面形状の変化速度が速くなる可能性も示唆された。

4. 結論

本研究では、粘性土を含む河川において土砂供給量の違いが流路形成に及ぼす影響を把握することを目的として水路実験を行った。給砂量の異なる 3 ケースと蛇行を発達させるため、蛇行部内岸側を強制的に堆積させる 1 ケースの計 4 ケースを行った。実験より、湿原河川の蛇行流路は、非常に少ない土砂供給量で形成された可能性が高いと推察された。一方で、河川への土砂の供給量が増加する場合、低水路と河岸の比高差が減少し、それと共に流路の平面形状の変化速度が速くなる可能性も示唆された。

謝辞

本研究の実験、論文の執筆にあたって、協力いただいた皆様にこの場を借りて感謝の意を表する。

参考文献

- 国土交通省：川本来の姿を甦らせる川づくり，2005
- 関根正人・佐藤裕・芦澤穂波・吉川文崇：河道湾曲部で発生する粘着性河床の変動プロセスに及ぼす掃流砂礫の影響，土木学会論文集 B1（水工学）Vol.74, No.5, I_931-I_936, 2018.
- 田中梢・田中岳・長谷川和義：低平地湿地の蛇行河川流路形成機構に関する基礎的研究，水工学論文集，第 56 巻，2012 年 2 月
- Charles E. Smith：Modeling high sinuosity meander in a small flume 1997, Geomorphology 25 1998. 19-30
- 芦田和男・道上正規：移動床流れの抵抗と掃流砂量に関する基礎的研究，土木学会論文報告集，第 206 号，1972 年 10 月