粘着性・非粘着性河床混在場における土砂輸送と河床の鉛直構造

Sediment transport and vertical structures of riverbed materials in a mixed field of non-cohesive and cohesive sediment

北海道大学工学部環境社会工学科　○学生員　岡安努 (Okayasu Tsutomu)
北海道大学大学院工学研究院　正　員　久加朋子 (Tomoko Kyuka)
北海道大学大学院工学研究院　正　員　今日出人 (Hideto Kon)
北海道大学大学院工学研究院　フェロー　清水康行 (Yasuyuki Shimizu)
（株）建設環境研究所　加藤康充(Yasumitsu Kato)

1. 序論

2018 年, 北海道胆振東部地震により厚真川上流域では広域にて山腹斜面崩壊が発生した [1]．**図-1** に，厚真川流域で確認された崩壊地の土層の拡大写真を載せる．**図-1** から分かるとおり，厚真川流域の土層は樽前山の降下火砕堆積物によって構成されており，既往報告 [1] によると，シルト・粘土成分を含有する軽石である樽前 b や樽前 d が大半を占めることが指摘されている（樽前 d 降下軽石層は, 図-1 の橙色の土層が該当する）．厚真川流域での山腹の崩壊面積は 22.06km^2 と推定されており [2]，今後，降雨に伴いこれらの崩壊土層に由来するシルト・粘土成分が高濃度で厚真川へと流入し，比較的勾配の緩やかな厚真川中・下流域の河床構成材料に影響を与えると考えられる．

厚真川を含む道南太平洋・道東太平洋海域は優良なシシャモ水産資源を有する地域である．**図-2** に，厚真川下流域のシシャモ産卵場の一部の上空から撮影した写真を示す．**図-2** より，厚真川下流の流路は比較的直線化されており，流路内には交互砂州が形成されていることが分かる．シシャモの生態に関する既往報告 [3] によると，シルト・粘土層が河床表層に堆積すると，産卵場として不適当になることが指摘されている．このため，厚真川下流域の交互砂州から形成される河道内へのシルトや粘土成分の流入は，砂礫河床への産卵を好むシシャモなど，水産資源に影響を及ぼす可能性が危惧される．今後の対策を検討する基礎資料として，交互砂州から形成される河川におけるシルト・粘土成分増加に伴う河床構成材料の時空間的な変化とそれに伴う中長期的なシシャモの産卵環境への影響の把握は，水産資源の維持および河川管理の面から重要な課題になると考えられる．

上述のような粘着性土砂と非粘着性土砂が混在する場の河床変動特性や河床材料構成の変化については，数少ないながら幾つか報告がある [4] [5]．関根ら [4] は，粘土河床への砂礫の供給を流量と給砂量を変化させることにより検討を行い，粘土と砂の混合層の形成と耐浸食性の向上を指摘している．また，竹林らはトンレサップ川を対象とした河床材料調査と解析結果により，初期河床が粘着性と非粘着性とで河床形状の変化の差異はほとんど見られないとしている．一方で，粘着河床の方が上流からの給砂材料による粗粒化の下流への伝播が速いことも指摘している．ただし，いずれも粘着性河床材料で構成される流路に非粘着性の土砂が供給された場合に着目しており，今回の厚真川のような砂で構成された砂州河川に多量のシルトや粘土が供給された場合，どのような河床変動や鉛直方向の河床材料構成の変化が生じるかに関する知見は非常に限られた状況にある．

図-1 崩壊地の土層の拡大写真．

図-2 厚真川下流域の写真，白線は砂州前縁を示す．
（撮影日：2019/07/26，北海道提供）

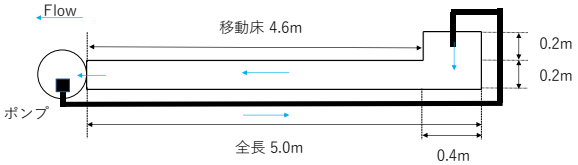

図-3 実験水路（平面図）

そこで，本研究では粘着性土砂が供給された場合の河床形状変化と土砂輸送特性の把握を目的とし，水路実験を実施した．具体的には，非粘着性河床である砂礫河床への給砂材料を変えることにより実験を行った．これより，非粘着性河床に対する粘着性土砂の堆積分布と河床形状の変化を把握した．

表-1 実験の水理条件，実験は初期河床の交互砂州形成後（15 分通水）に開始．

Case No.	流量(m^3/s)	河床勾配	水温(°C)	給砂量		無次元掃流力
				硅砂(g/s)	カオリン(g/s)	
1	0.00093	1/100	18.5	4.07	0.00	0.108
2	0.00093	1/100	20.0	3.70	0.37	0.108

2. 実験概要

実験には，**図-3** に示す全長 5m，幅 0.2mの長方形矩形断面水路を作成した．水路側面には木材とアクリル板を使用し，水路左岸側から実験中に河床状況を確認できるようにした．

水路下流端には高さ 8cm の木材を水路横断方向に設置し，実験初期はこの高さまで土砂を敷き詰めるようにした．実験に用いた河床材料は，平均粒径 0.76mm，比重 2.65 の硅砂とした．実験の水理条件は厚真川下流域を想定し，岸・黒木[6]を参考に交互砂州形成領域となるように水理条件を定めた．実験水路の無次元掃流力 τ_*は実験で用いた硅砂に対して 0.108 程度であった．

実験条件を**表-1** に示す．流量は一定流量（Q = 0.00093m^3/s）とし，始めに 15 分通水することで交互砂州を作成した．交互砂州作成時の給砂材料は河床材料と同じ粒径の硅砂を用い，給砂量を 0.0000015m^3/sec（15 分あたり 3330.8g）とした．初期河床形成後，表-1 に示す 2 ケースを実施した．Case1 は硅砂のみを供給するケースである．一方，Case2 は厚真川にて砂河川にシルトや粘土が流入することを想定し，硅砂に加え，カオリン（比重 2.65）を硅砂に対して重量比で 1 割混合したものを給砂した．本実験では，Case1 と Case2 の土砂の給砂量を合わせるため，Case1 では Case2 で供給するカオリンの代わりに同重量の硅砂を追加して給砂した．各々の実験時間は（初期河床形成後），15 分間とした．

実験中，水路上部と側面にビデオおよびタイムラプスカメラを設置し，砂州の移動の様子を記録した．また，通水前後に河床高をレーザー砂面計（KEYENCE 社）にて測定した．

3. 結果と考察

3.1 河床形態の平面形状の変化

図-4 に水路上部から撮影した写真を示す．**図-4-a** は実験開始から 15 分後の初期河床であり，**図-4-b** と**図-4-c** は各々，Case1 と Case2 の実験終了時の河床である．また，**図-4-a'**，**図-4-b'**，**図-4-c'** に**図-4-a**，**図-4-b**，**図-4-c** それぞれのレーザー砂面計(KEYENCE 社)で測定した河床高を示した．

図-4 より，Case1 と Case2 の交互砂州の平面形状を比較すると，給砂材料に含む粘土の有無で砂州の波長が変化したことが分かる．**図-4** の赤枠で囲んだ範囲の砂州を比較すると，Case1 と Case2 の砂州半波長の長さは，Case1 で 0.51m，Case2 で 0.93m であった．つまり，粘土を混ぜて給砂した場合の方が砂州の半波長は 0.42m 長く，Case1 に対して 1.82 倍の波長となった．これは，既往報告の粘着河床の方が上流からの給砂材料による粗粒化の下流への伝播が速い[5]という点，あるいは固定床や岩盤上に形成される砂州の波長が移動床上の砂州に比べて延長するといった報告[7)8)]と類

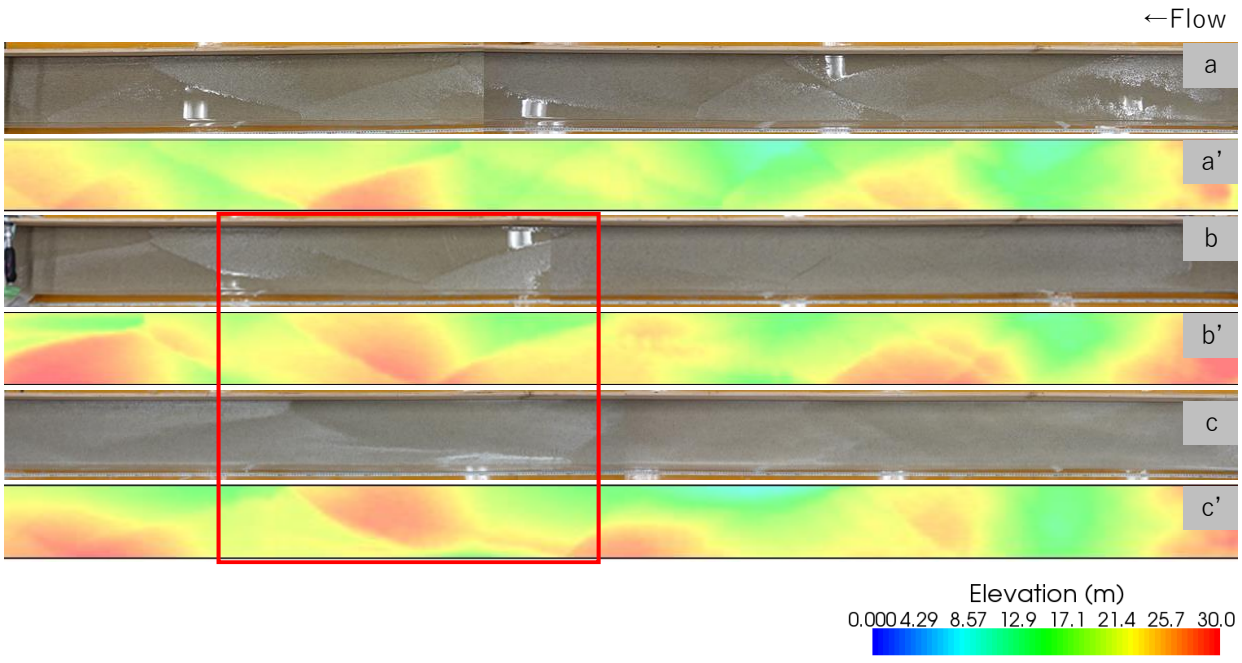

図-4 河床形状の様子（水路全長 5m，幅 0.2m）
a)　初期河床（15 分通水後），b) Case1 終了時, c) Case2 終了時

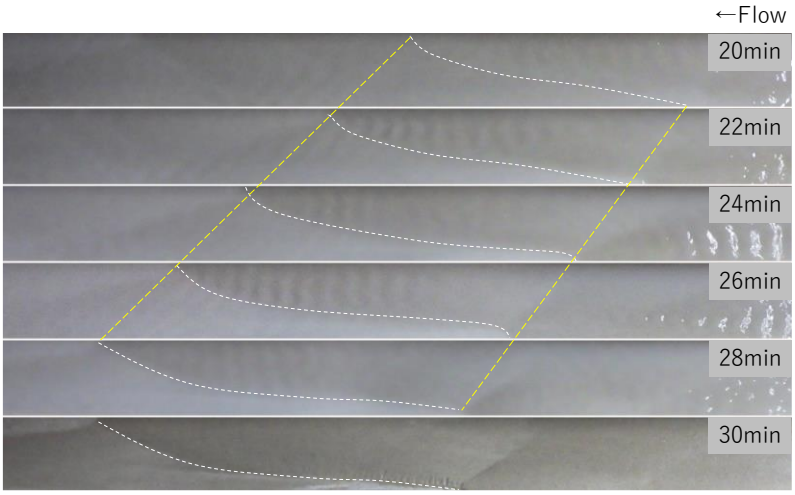

図-5 Case2 の河床形態の時間変化，砂州前縁を白点線で示す．前縁直下流に粘土（白色）が堆積．

似しており，粘土を給砂したことで砂州の伝播速度が変化したと考えられる．Case1 では，粘着性材料を含まないため，流砂は河床材料と交換しながらゆっくり輸送される．一方，Case2 では，河床材料に粘着性を有する細粒分が混在したことで，流砂と河床材料との砂の交換量が少なくなり，その分，砂州の前進速度が速くなったと考えられる．

3.2 粘着性土（カオリン）の平面・鉛直方向の堆積（Case2）

図-5 に，Case2 の河床形態の時間変化を示す．また，**図-6** に水路側面から撮影した画像を示す．**図-5** および**図-6** より，粘土は砂州前縁直下流に沿って堆積しているのが確認できる（画像内の白い場所）．これは，流砂（硅砂）が砂州前縁直下流に堆積することで砂州が前進していくからであるが，今回供給した粘土成分も硅砂と同じ場所で河床材料に取り込まれることが分かる．つまり，砂州が前進するほど粘土成分が次第に砂州内部に取り込まれていくことになる．

一方，**図-5** より，低水流量時には陸域となる砂州中央部から砂州前縁部（砂州の下流端）には，粘土の堆積が比較的少ないように見受けられた．これは，高流量時，この場所の流速がその他領域にくらべて比較的速くなるためである．これより，出水中に供給されるシルトや粘土成分は流量低下後に主流路となる部分に多く堆積する可能性が示された．今後，検討ケースを増やし，シシャモの産卵場に影響を与える可能性があるかについて詳細を把握していく必要があると考える．

4. 結論

本研究で得られた成果は以下のとおりである．

(1) 本実験では交互砂洲形成領域にある非粘着性河床という条件のもと河床形状変化と土砂輸送特性について検討した．結果，給砂材料の粘土の有無により，砂州の波長が異なる結果が得られた．これは，粘土を給砂したことで砂州の伝播速度が変化するためと推察された．

(2) 粘土が堆積しやすい場所の分布を確認すると，砂州の上よりも低水路，とくに砂洲前縁直下流に堆積しやすい傾向が確認された．これより，粘土は低水路を移動していることが考えられ，今後引き続き詳細を把握していく必要があると考える．

図-6 Case2 の**砂洲の側面図**

5. 謝辞

本研究は，一般財団法人北海道河川財団による北海道胆振東部地震における厚真川流域の土砂災害に関する分野横断型研究の支援を受けた．ここに記して謝意を表する．

参考文献

1) 胆振東部地震崩壊調査速報：桜岡地区の崩壊箇所に露出する斜面表層の堆積物

2)Fengrui Wang： Coseismic landslides triggered by the 2018 Hokkaido, Japan（Mw 6.6）, earthquake: spatial distribution, controlling factors, and possible failure mechanism

3)新居久也，村上一夫，米田隆夫，上田宏：シシャモの遡上河川における産卵場所と物理環境条件の関係
日本水産学会誌/72 巻(2006)3 号

4) 関根正人，野本高視，河野大貴：砂礫の供給を受ける粘土河床の浸食過程と河床の鉛直構造，土木学会論文集 B1（水工学）Vol.71，No.4，I_859-I_864，2015.

5) 竹林洋史，中元達也，藤田正治：粘着性・非粘着生河床材料混在場における土砂輸送特性，京都大学防災研究所年報第 52 号 B 平成 21 年 6 月

6) 黒木・岸：中規模河床形態の領域区分に関する理論的研究，土木学会論文報告集, 342, pp.87-96, 1984.

7)室蘭建設管理部管内観測所：日流量年表

8)サムナー圭希，井上卓也，清水康之：岩盤床上の砂洲形成に伴う浸食地形，土木学会論文 B1（水工学）Vol.72, No.4, I_817-I_822，2016.

9)久加朋子，竹林洋史，藤田正治：固定床と移動床が混在する場における動的平衡河床の不可逆性，土木学会論文集 B1（水工学）Vol.71，No.4，I_889-I_894，2015