

令和 5 年 6 月 13 日現在

機関番号：13201

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K21055

研究課題名（和文）堆積土の帯磁率異方性による水害痕跡調査法の開発と災害シナリオ解明への挑戦

研究課題名（英文）Development of flood damage trace investigation method by magnetic susceptibility anisotropy of sedimentary soil and challenge to elucidate disaster scenario

研究代表者

木村 一郎（Kimura, Ichiro）

富山大学・学術研究部都市デザイン学系・教授

研究者番号：60225026

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,900,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は河川底質土砂の帯磁率（粒子が磁化を帯びる現象）とその異方性が堆積時の流況を記録しているという特性を利用し、洪水時の流況の情報を求めるという手法の開発を目指すものである。室内水路実験結果から、流水と帯磁率異方性テンソル、さらには粒子楕円体の三軸ととの間の相関性が指摘され、帯磁率計測が洪水痕跡調査の有力な調査方法となりうることが示唆された。また、帯磁率楕円体の最小軸は鉛直方向から上流側に傾き、最大軸は流れと平行に集中するという特徴的な性質なども見出された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

堆積時の流況と土砂粒子の帯磁率および粒子配列の相互の関係を系統的かつ制御された実験条件のもとで検討した事例はこれまでほとんど例がなく、新規性が高い研究といえる。特に、河川工学分野では帯磁率を計測に利用する発想がこれまでほとんどなかったため、学術的に意義が高いと考えられる。一方、最近増加しつつある河川災害の減災に向けて、過去の洪水痕跡調査はその手掛かりをしる有益な方法であり、本研究で用いた手法や知見はこのような分野にも貢献でき、社会的意義も大きい。

研究成果の概要（英文）：This research uses the magnetic susceptibility and its anisotropy (AMS) in river sediment, which records the flow regime during deposition, to obtain information on the flow characteristics during past floods. Laboratory experimental results of with an open channel flume indicate correlations between running water, the magnetic susceptibility anisotropy tensor, and the three axes of the particle ellipsoid measured with X-ray CT scan. It was suggested that the AMS could be a powerful research method for river engineering. In addition, a characteristic phenomenon was found that the minimum axis of the magnetic susceptibility ellipsoid tilts upstream from the vertical direction, and the maximum axis concentrates parallel to the flow direction.

研究分野：水理学

キーワード：帯磁率異方性 河川

1. 研究開始当初の背景

近年の豪雨災害は頻発化・巨大化の傾向にあり、特に大量の土砂の移動を伴う泥流・土石流などの土砂災害も多くなっている。河川氾濫災害に比較して、土砂災害は、人命にかかわる大災害となる可能性が高く、その対策は急務となっている。ところで、水害の減災方策構築の為に、災害時の水と土砂の動的メカニズムの解明が不可欠である。さらに、これらの検討においては、洪水時の観測を詳細に行うことが望ましいが、現実問題として災害発生中は危険と伴うため、観測を実施することが難しい。したがって、必然的に事後の調査が重要となってくる。このような水害の事後調査の方法としては、土砂の堆積特性や橋梁・堤防等の構造物の破壊の状況、氾濫高の痕跡等の調査が行われる。しかしながら、これらは主に断片的な情報を用いた定性的な推測にすぎず、土砂の駆動力の水流（流速ベクトル）の情報を得ることはできない。

2. 研究の目的

本研究では土砂の帯磁率（土砂粒子が磁化を帯びる現象）とその異方性に着目、これが堆積時の流況や堆積の形態を記録しているという特性を利用して、洪水時の流速ベクトルを求めるといった手法の開発を目指すものである。この手法が確立されれば、水害痕跡の新規調査法となり、河川水害履歴の研究にも役立つと考えられる。

帯磁率異方性は地盤応力調査、雪氷層の構造解明、地滑り等の調査などに用いられた例があるが、河川工学での応用は国内外で殆どない。帯磁率の計測技術そのものは、地球科学・物理学分野でほぼ確立されているが、得られた帯磁率異方性と流体力の関係の検討研究はこれまで全くといっていいほど無かった。このため、本研究は非常にチャレンジングな分野といえる。

3. 研究の方法

研究方法の基本となる知見は、河川流中の土砂粒子は水流の影響で堆積すると流体力（掃流力）ベクトルに呼応した方向性を有する粒子群を形成する点である。目視ではこの方向性は読みとることはできないが、土砂に含まれる微量の磁性物質の磁化し易さは測定が可能である。そして、その計測結果は図1に示すような楕円体表示（AMS楕円体）で示すことができる。このような帯磁率テンソルと流体力ベクトルとの関係を定量化すると、災害時の水流の方向・大きさなどの履歴を知ることが可能となる。

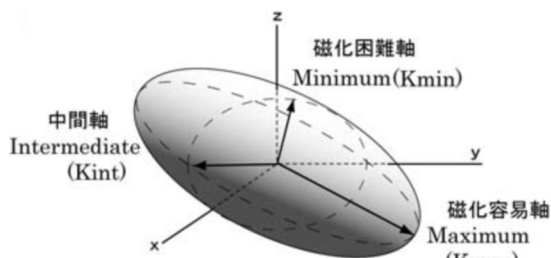


図1 帯磁率異方性テンソルの楕円体表示

帯磁率異方性は、地盤工学の分野などでは比較的一般的に用いられる手法であるが、水工学・河川工学の分野での適用例は極めて少ない。このため、まずは実験と帯磁率の計測を繰り返し実施し、その対応関係をつぶさに検討してということからスタートすることとする。図2に水理実験の様子を示す。用いた水路は幅15cm、長さ4mの可変傾斜型アクリル製直線水路であり、流量を調整して循環させる機能を有している。底面には、砂の定着を容易にするため、ウレタン製のメッシュを敷設した。上流からこの図のように通水しながら給砂を行い、堆積物を形成する。また、比較のため、静水状態で沈降堆積物を形成する実験も実施した。堆積物のサンプリングには図3に示すような2cm角のプラスチック製のキューブを用いた。実験に用いた砂は、富山市岩瀬浜の海砂と、同じく富山市を流れる神通川の下流部付近から採取したものをを用いた。

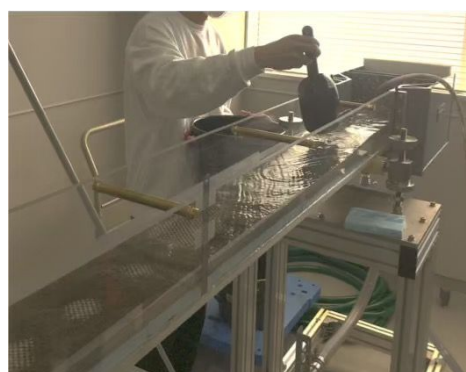


図2 実験水路での堆積実験の様子。

研究期間の途中で、X線CTスキャン（測定は外部機関に委託）による粒子配列の直接観測を行うことを研究方法に加えた。これにより、砂粒子を楕円体として近似したとき、長軸、短軸、中間軸の方向を抽出することが可能となる。この結果とAMS楕円体の三方向とを比較することで、帯磁率異方性と、粒子配列の関係を明らかにすることができる。

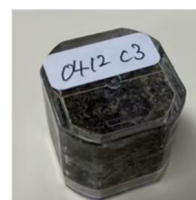


図3 採取資料の例

4. 研究成果

(1) 静水条件下と流水条件下での堆積特性の比較^{1,2)}

まずは、静水条件下と流水条件下の各実験における結果を比較する。静水条件下で堆積させた場合には、粒子近似楕円体およびAMS楕円体の長軸と中間軸が水平面方向に、短軸が鉛直方向を向くとともに

に、楕円体が水平面に寝そべるような方向性を示すことがわかった。これに対し、流水条件下で堆積した場合、粒子近似楕円体および AMS 楕円体の長軸は流れと平行に配列し、上流側を水平面から下方に傾ける方向性を示すことがわかった。

(2) 水理条件と粒子

流水条件下の実験においては、全ての流量条件の実験において X 線 CT 画像から求められた粒子楕円体（粒子を楕円体に近似したもの）の長軸は流れと平行に配列し、上流側を水平面から下方に傾ける粒子が多くなった。また、流量が増加するほど、流れと平行な方向により集中し、上流側に傾く粒子がより増加する傾向がわずかながらも認められた(図3)。これより、流量の増加に伴って粒子の配列の集中度合が高まる可能性が示唆されたといえる。

(3) 水理条件と帯磁率異方性

流水条件下の実験においては、AMS 楕円体の最小軸は鉛直方向から上流側に傾き、最大軸は流れと平行に集中する傾向が認められた(図4)。流量の増加に伴い、最大軸は流れと平行な方向に集中していく挙動を示すことも確認された。

(4) 粒子配列と AMS

粒子楕円体の長軸と AMS 楕円体の最大軸の方向を比較すると、粒子楕円体の長軸の分布が集中する方向と AMS 楕円体の最大軸の平均方向は類似した方向を示した(図5)。粒子楕円体の長軸と AMS 楕円体の最大軸の方向は、個々の試料で完全に一致するとは言えないが、各堆積実験における 9 試料の平均的な粒子楕円体の長軸と AMS 楕円体の最大軸の方向は類似する傾向があることが示唆され結果となった。

(5) まとめと今後の課題

本研究により流水と帯磁率異方性テンソル、さらには粒子楕円体の三軸との間の相関性が指摘され、AMS 計測が洪水痕跡調査の有力な調査方法となりうることが示唆された。しかしながら、定量化にはさらに多くの条件での検討が必要であり、今後さらに研究を発展させていく必要がある。

参考文献

- 1) 澤田智尋,立石良,木村一郎,石川尚人:流水中での土砂堆積物の粒子配列と初磁化率異方性の関係性の解析,土木学会全国大会,2022.
- 2) 澤田智尋,立石良,木村一郎,石川尚人:人工堆積物の粒子配向と初磁化率異方性の関係性の解析,日本地球惑星科学連合 2022 大会, SEM15-P06, 2022.

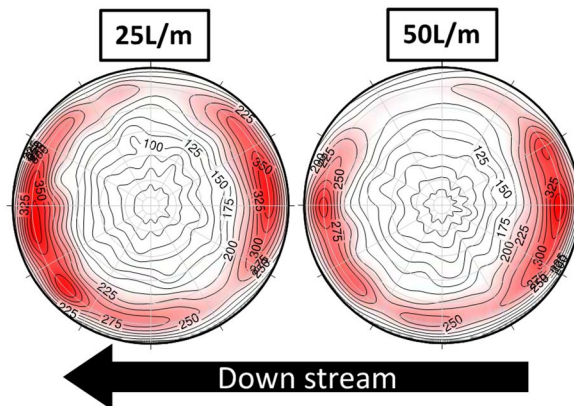


図3 粒子楕円体長軸の配列分布のコンター図。各流量での採取試料のうち1試料分の結果。長軸方向を等面積投影図上で下半球投影。

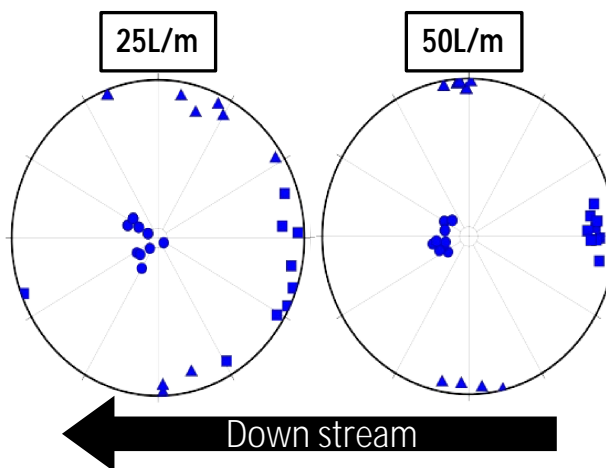


図4 AMS楕円体の最大, 中間, 最小軸の方向の分布。各流量での採取試料の全9試料分の結果。等面積投影図上で、軸方向を下半球投影。

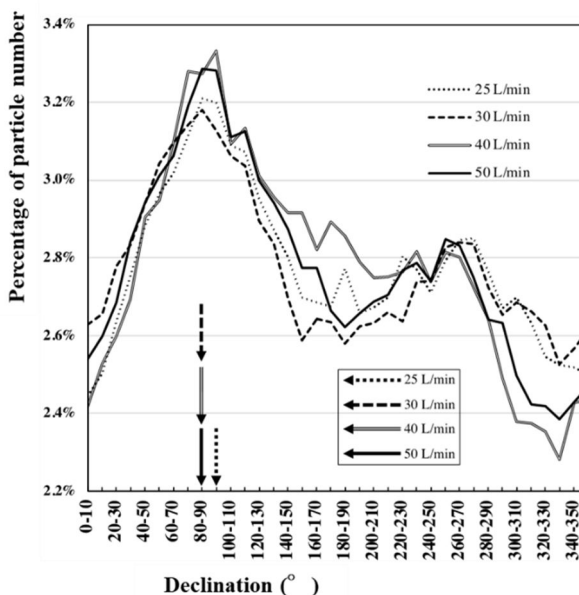


図5 粒子楕円体長軸と AMS 楕円体最大軸の方向比較。横軸は下半球投影した際の偏角。上流方向を 90°, 下流方向を 270°。折れ線は粒子楕円体の長軸の偏角の流量別平均分布, 矢印は AMS 楕円体の最大軸偏角の流量別平均方向。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 1件 / うちオープンアクセス 1件）

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 立石 良, 木村一郎, 石川尚人
2. 発表標題 現世洪水堆積物の帯磁率異方性と水理条件の関係について
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2021年大会, HCG28-P02.
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 澤田智尋, 立石良, 木村一郎, 石川尚人
2. 発表標題 流水中での土砂堆積物の粒子配列と初磁化率異方性の関係性の解析
3. 学会等名 令和四年度土木学会全国大会, 京都
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 澤田智尋, 立石良, 木村一郎, 石川尚人
2. 発表標題 人工堆積物の粒子配向と初磁化率異方性の関係性の解析
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2022大会, SEM15-P06, オンラインポスターセッション
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 木村 一郎	4. 発行年 2021年
2. 出版社 森北出版	5. 総ページ数 368
3. 書名 iRICによる河川シミュレーション	

〔産業財産権〕

〔その他〕

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	酒井 英男 (Sakai Hideo) (30134993)	富山大学・理学部・客員教授 (13201)	
研究分担者	泉 吉紀 (Izumi Yoshinori) (60793669)	サレジオ工業高等専門学校・その他部局等・講師 (52604)	
研究分担者	立石 良 (Tateishi Ryo) (30823322)	富山大学・学術研究部都市デザイン学系・准教授 (13201)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------