

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 1 日現在

機関番号：12102

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2010～2012

課題番号：22740329

研究課題名（和文）

非定常振動流下におけるリップルの遷移特性の解明

研究課題名（英文）

A research on ripple transient under unsteady oscillatory flow

研究代表者

関口 智寛 (SEKIGUCHI TOMOHIRO)

筑波大学・生命環境系・講師

研究者番号：90400647

研究成果の概要（和文）：本課題においては、振動流条件の変化に呼応するウェーブリップルの遷移について、特に振動流の方向変化の影響に着目し、二方向振動板装置を用いた実験を行った。これにより、リップル遷移の類型化を行い、各リップル遷移の発現条件を明らかにした。

研究成果の概要（英文）：This research focused on ripple transition responding to sudden change in oscillatory-flow conditions, especially its direction. A series of experiment using two-directional oscillatory bed showed some typical transition and their occurrence conditions.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	2,200,000	660,000	2,860,000
2011 年度	600,000	180,000	780,000
2012 年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：地形学・堆積学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・地質学

キーワード：地層、浅海環境、水理実験、ベッドフォーム、遷移

1. 研究開始当初の背景

典型的なウェーブリップルは、一様波長で二次元的な波形の微地形で、水面波による定常振動流と堆積物粒子の相互作用により、それらの特性に応じた平衡状態へと自己組織化する。現世の浅水深域に遍在するウェーブリップルの痕跡（堆積構造）は、さまざまな地層中に見つかり、地層生成時の古水理環境を定性的・定量的に読み解く上で不可欠なツールとなっている。古水理環境復元の重要な根拠となっているのが、定常一次元振動流がつくる平衡リップルに関する実験的研究の成果であり、これまでに平衡リップルの形状・サイズと振動流・堆積物特性の関係、形

成条件、形成メカニズムなどが明らかにされている。

しかし、ウェーブリップルは振動流条件の変化に応じて頻繁に形を変えるため、地層中に観察されるリップルが、地層生成時の振動流条件に対応する平衡リップルであったとは限らない。このため、非定常振動流による一連の遷移過程を十分に理解していなければ、地層中のリップルの成因的解釈を誤る恐れがある。逆に、これらを理解することで、地層生成時の振動流条件についてより正確な情報が得られる可能性がある。

申請者はこの点に着目して非定常一次元振動流によるリップル遷移に関する二次元

造波水路実験に取り組み、(1)初期リップル波長、(2)振動流の振幅、(3)振動流の非対称性、(4)堆積物粒径に応じて遷移過程が異なり、その過程で多様な特徴的遷移リップルが一時的に形成されることを示した。さらに遷移リップルの一部が波の進行方向の指標となる可能性と、複合流に生起すると一般的に考えられてきた円頂型リップルが波浪作用のみで形成されることを明らかにした。しかし、これまでの研究では、波浪変動の重要な要素である振動流（波浪）の方向変化を考慮していないほか、リップル遷移メカニズムの定量評価が不十分だった。

振動流の方向変化を伴わないリップル遷移過程に関しては 10 年間に申請者の研究以外に少なからずの研究が行われている（ただし、いずれの研究も遷移メカニズムについては十分踏み込んでいない）。それに対して振動流の方向変化の影響に関する実験的研究については研究例そのものが世界的に乏しい。波浪による振動流は多かれ少なかれ非対称性を有するため、きわめて理想化された実験しか行われていないといわざるをえない。

2. 研究の目的

本研究課題では、振動の諸元（振動方向、周期、振幅、非対称性）の変動に呼応するリップル遷移を系統的に検証する。これにより、リップル遷移過程について定性的・定量的な記述を行うとともに、リップル遷移過程と特徴的な遷移リップルに関するフェーズダイアグラムを提示するほか、流体運動を可視化して流れ場と堆積物粒子の挙動を解析し、リップル遷移プロセスとの関係を明らかにする。本研究課題の結果と過去の研究成果をあわせ、非定常振動流下のリップル遷移過程の解明を目指す。

3. 研究の方法

本課題では、(1)一次元正弦振動、(2)一次元非対称振動、(3)二次元振動の変動に呼応したリップル遷移について、特に振動流の方向変化の影響に着目した実験を行う。

振動流の方向変化によるリップル遷移に関する実験的研究がこれまで行われていないのは、二次元造波水路や振動流トンネル、一方向振動板など、リップル研究において一般的な実験装置では、振動流（波浪）の方向を変化させられないためである。複数の造波装置をもつ大型平面水槽であればそのような実験も可能であろうが、大型水槽実験には大量の堆積物と多大な労力が必要なことに加え、波の反射制御が難しく流れ場が空間的に不均一となりやすいため、系統的な実験が難しくなる。そこで、本研究では申請者が開

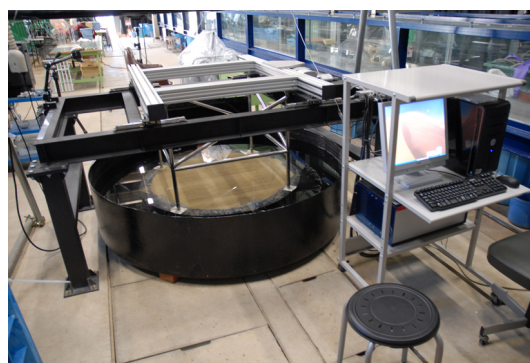


図1 二方向振動板装置

発した二方向振動板装置（図1）を用いる。この装置は、任意方向の対称・非対称一次元振動、任意の二次元振動を発生でき、試験砂床の直径が1 mと小型で、反射波が発生しないことから、効率的に研究を進めることができる。

実験では二次元的な初期リップルをあらかじめ形成し、これにさまざまな定常振動を作用させることで、非定常振動流下でおこる既存リップルと振動流の相互作用を模式的に再現し、リップル遷移を引きおこす。遷移過程をデジタルスチルカメラとビデオカメラにより記録し、リップルの遷移による流れ場と堆積物挙動の変動を明らかにする。これにより、二次波峰や三次元リップルの形成に対する角度変化の影響を評価する。

一次元正弦振動実験の取りまとめと並行して一次元非対称振動による実験を行う。実験条件については一次元正弦振動実験の結果を参考にした。この実験では、特に円頂型リップル形成など正弦振動との差異に注目し、振動流の方向変化と非対称性の程度がリップル遷移過程におよぼす影響を評価する。

二次元振動下でのリップル遷移については、実験条件の組みあわせが膨大になるため、楕円振動等、比較的単純な二次元振動に絞った実験を行う。

4. 研究成果

1) 対称一次元振動下によるリップル遷移の特徴

対称な一次元振動下においては、リップル遷移は、初期波峰と振動のなす角 θ 、諸条件から予測される定常リップル波長 l_0 と初期リップル波長 k の比 l_0/k に依存した。

$\theta > 75^\circ$ の時には、リップルは既往研究が明らかにしたリップル遷移と同等の遷移をみせた。すなわち、 $l_0/k > 1$ の場合は、三次元化と融合による長波長リップルへの遷移を、 $l_0/k < 1$ の場合は、初期波峰と平行な二次波峰の発達による分裂と、その後の融合による短波長リップルへの遷移をみせた。ただし、一

連の波長変化における波峰線オリエンテーションの変化は顕著でなく、ほとんどの場合において、波長の補正完了時には、初期的な波峰線オリエンテーションがそのまま維持されるかリップル波峰線と振動が約 80° をなすかのいずれかであった。

$\theta < 50^\circ$ の場合、 l_0/k によらず、初期リップルのトラフに初期波峰と斜交～直交する二次波峰が発生し、それらの発達により初期リップルフィールドが上書きされた。この場合、最終的に形成されるリップル波峰のオリエンテーションは振動とほぼ直交した。初期リップルのトラフに出現する二次波峰群は必ずしも振動と直交せず、時に 10° ほどのずれをみせた。

$\theta = 50 \sim 75^\circ$ の場合には、その中間的な遷移がみられた。 $l_0/k < 1$ の場合は、時に、初期波峰と平行な二次波峰、斜交する二次波峰からなる網目状の二次波峰の発達により短波長リップルへ遷移した。 $l_0/k > 1$ の場合は、不規則な三次元リップルと融合を経て長波長リップルへと至った。この場合も、最終リップルは振動とほぼ直交した。

以上の結果を基に、リップル遷移に関するフェーズダイアグラムを作成した。

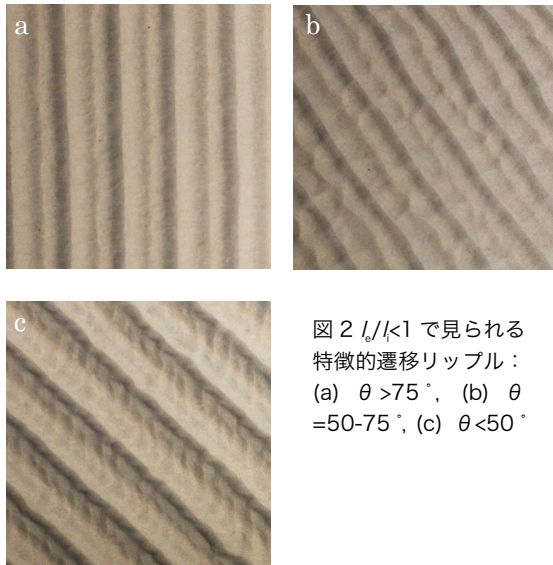


図2 $l_0/k < 1$ で見られる特徴的の遷移リップル：
(a) $\theta > 75^\circ$, (b) $\theta = 50 \sim 75^\circ$, (c) $\theta < 50^\circ$

2) 非対称一次元振動によるリップル遷移の特徴

非対称振動下においても、リップル遷移には対称振動と同様の θ 依存性が見られた。 $\theta > 75^\circ$ 、 $l_0/k < 1$ の場合、既往研究で明らかにされているように、リップルは必ずしも分裂せず、初期波長、波峰線オリエンテーションを維持したまま円頂型リップルへと変形する場合があった。ただし、このような非対称性の影響は上述のプロセスに限定された。

$\theta > 75^\circ$ であっても $l_0/k > 1$ の場合には、非対称振動下特有の遷移リップルが形成されることはなく、長波長リップルへの遷移が見られた。 $\theta = 50 \sim 75^\circ$ では、不規則リップルを経たリップル波長、波峰線オリエンテーションの補正がおこり、 $\theta < 50^\circ$ では、対称振動と同等のリップル遷移が見られた。

3) 二次元振動によるリップル遷移の特徴

二次元振動流の変化によるリップル遷移実験も行った。しかし、遷移プロセスはより複雑であり、遷移過程の類型化にはいたっていない。今後のさらなる研究が求められる。

4) 流体運動の可視化：リップル遷移と剥離渦の関係

前述したように、リップルは一次元振動流の 10° 程度の方向変化には耐性が強く、 θ 値が高い場合には、初期リップルと平行な二次波峰の成長によるリップル波長の補正が、波峰線オリエンテーションの補正に優先されることが明らかになった。一方で、 θ 値が小さい場合には、二次波峰は初期地形と関わりなく形成され、波長の補正と波峰線オリエンテーションの補正がほぼ同時に完了した。これらの差異が生じる要因を探るため、特に特徴的なリップル遷移がみられた $l_0/k < 1$ に注目し、リップル上における流体運動を可視化したところ、 $\theta > 80^\circ$ においては、初期波峰と振動流のインタラクションに生起する剥離渦がリップル遷移に強く寄与しており、初期リップル波峰と平行な二次波峰の形成につながったことが明らかになった。一方、 $\theta < 50^\circ$ では渦の影響は限定的であった。

6) まとめ

本研究においては二方向振動板装置を用いてリップル遷移実験を行い、以下の結論を得た。

- (1) リップル遷移を類型化し、フェーズダイアグラムを作成した。
- (2) $\theta > 80^\circ$ の場合、リップルの波長補正は波峰線オリエンテーションの補正に優先される。一方、 $\theta < 80^\circ$ であれば、波長と波峰線オリエンテーションの補正がほぼ同時に完了する。
- (3) 特徴的の遷移リップルの形成に対する振動流の非対称性の影響は $\theta > 75^\circ$ 、 $l_0/k < 1$ の場合に限定的である。
- (4) リップル遷移はリップル上における渦の発達と密接に関連づけられる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕（計 3 件）

- ①関口智寛 (2011) ウェーブリップルの遷移過程. 地質学雑誌, 117, 141-147. https://www.jstage.jst.go.jp/article/geosoc/117/3/117_3_141/_pdf (査読あり)
- ②関口智寛 (2011) 浅海域の多角形リップル. 地質学雑誌, 117, IV. https://www.jstage.jst.go.jp/A_PRedirectJournalInit/-char/ja/?sryCd=geosoc&noVol=117&noIssue=3&kijiCd=117_117.3.VI&screenID=AF06S010 (査読あり)
- ③Sekiguchi T. (2011) Dataset of a Wave-Flume Experiments of the Ripple Deformation. Bulletin of the Environmental Research Center the University of Tsukuba, 12, 41-53. http://www.suiri.tsukuba.ac.jp/pdf_papers/terbull12/t1241.pdf (査読なし)

〔学会発表〕（計 4 件）

- ①Sekiguchi, T. Patterned three-dimensional wave-generated ripples: equilibrium vs. ephemeral. Experimental Stratigraphy Workshop. Austin, Dec. 11, 2012.
- ②関口智寛・新井賢造, 振動流の方向変化によるリップル遷移実験, 日本堆積学会 2011 年大会, 長崎, 2011 年 12 月 23 日.
- ③Sekiguchi, T. Ripples under two-dimensional oscillatory flow: a two-directional oscillatory-bed experiment. Geological Society of America Annual Meeting, Minneapolis, Oct, 11, 2011.
- ④関口智寛, 複雑な振動流下におけるベッドフォーム, 日本地球惑星科学連合 2011 年大会, 2011 年 5 月 24 日.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

関口 智寛 (SEKIGUCHI TOMOHIRO)

筑波大学・生命環境系・講師

研究者番号 : 90400647