

振動流中におけるブリックパターンリップルの形成過程

九州大学 総理工 学生会員 ○津守 博通 正会員 杉原 裕司
正会員 松水 信博 非会員 本地 弘之

1.はじめに

ブリックパターンリップルとは、振動流中の砂面に形成する2次元リップルの峰と峰の間に、振動方向と平行なブリッジが交互に架かった3次元リップル構造である(図-1参照)。ブリックパターンリップルについては、近年特に理論的な見地から様々な考察がなされているが、その形成機構は未だに解明されていない。

Matsunaga & Honji¹⁾は、静止流体中で半円柱の2次元リップル模型を微小振動させた時に、レンガ模様の3次元的な流れ構造が形成することを可視化実験により見出した。彼らは、この3次元流れがブリックパターンリップルの形成要因であると主張したが、その振動条件はリップルのそれとはかけ離れており、その結論には問題が残った。Hara & Mei²⁾は、2次元リップル上の振動流が遠心力不安定によって3次元構造に遷移することを安定性解析に基づいて明らかにした。彼らは、リップル近傍に形成される3次元的な定常流がブリックパターンリップルの形成要因であると考察した。また、最近ではScandura, Vittori & Blondeaux³⁾も、2次元リップル上の流れが3次元構造を持つという立場から、数値計算に基づいてブリックパターンリップルの形成機構を議論している。このように、ブリックパターンリップルの形成機構を2次元

リップル上に形成する流れの3次元構造と結びつけようとする理論が提案されているが、その妥当性を実験的に検証しようとした研究は皆無であり、ブリックパターンリップル形成の具体的なシナリオは現在もお不明なままである。

本研究は、これらの理論を実験的に検証し、ブリックパターンリップルの形成機構を明らかにすることを最終的な目標としている。本報告では、形成機構の理論を検証する上で重要であるブリックパターンリップルの幾何形状ならびに、2次元リップル模型上の振動流中に形成する流れの3次元構造を可視化した結果について述べる。

2.実験装置および実験方法

図-2に実験装置の概略図を示す。この装置は、15×15cmの断面を持つU字型振動流水槽であり、ピストンを往復運動させることによって水槽中に振動流を発生させた。リップルの形成実験では、底質として比重2.65、平均粒径D=0.03cmのガラスビーズを用いた。また、可視化実験は、波長3.2cm、波高0.9cmの2次元リップル模型を水槽底面に設置し、トレーサーにアルミ粉末を用いて行った。表-1に振動条件を示す。ここで、 d_0 , f はそれぞれ振動流の振動幅、振動数であり、L1 および L2は、それぞれ実験において形成されたブリックパターンリップルの振動方向波長およびブリッジ間隔を示す。

3.実験結果および考察

図-3は、ブリックパターンリップルの形成領域を示す。ここで、 F_d および δ は次のように定義されている。

$$F_d = \frac{U_m}{\sqrt{(\rho_s/\rho - 1)gD}}; \quad \delta = \sqrt{\frac{2\nu}{\omega}}$$

ただし、 U_m ($=1/2d_0\omega$; $\omega=2\pi f$): 振動流の最大流速、 δ : 振動流境界層厚さ、 ρ_s, ρ : ガラスビーズ、水の密度、 g :

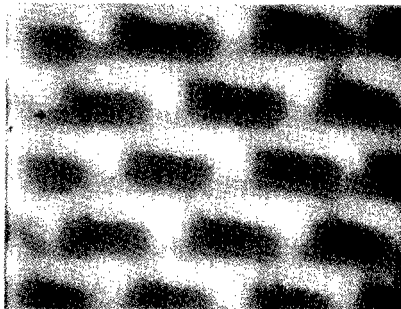


図-1 振動流中のブリックパターンリップル

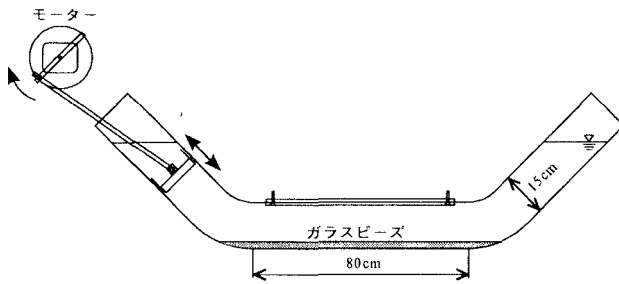


図-2 実験装置の概略図

表-1 振動条件とリップルの波長

Exp No.	d_0 (cm)	f (Hz)	L1 (cm)	L2 (cm)
1	3.0	1.80	2.5	4.9
2	2.5	2.00	2.2	3.5
3	4.0	1.40	3.5	7.0
4	4.5	1.35	3.5	5.5
5	3.6	1.60	3.2	4.9
6	5.0	1.20	3.9	7.1
7	6.0	1.20	5.4	8.9
8	2.5	1.80	2.2	4.1
9	3.5	1.70	3.2	4.4
10	3.0	1.60	2.7	3.9
11	4.0	1.50	3.4	6.0
12	2.8	2.00	2.5	5.0
13	3.5	1.50	2.9	3.8
14	3.8	1.50	3.1	5.0
15	3.5	1.40	3.0	6.1
16	5.8	1.20	4.8	7.2

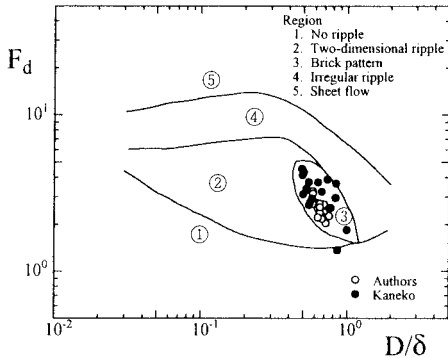


図-3 ブリックパターンリップルの形成領域

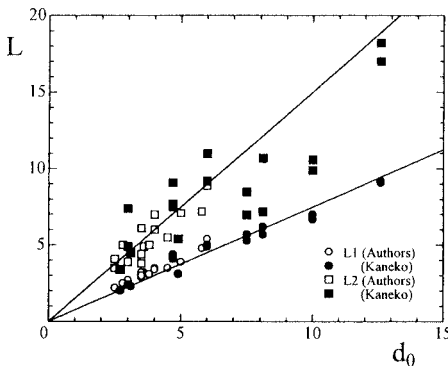


図-4 d_0 と L_1 , L_2 の関係

重力加速度, ν : 水の動粘性係数である。図中の実線は, Kaneko⁴⁾が提案したリップル形態を区分する境界線である。本実験の結果は Kaneko が示すブリックパターンリップルの形成領域に全て入っており, 彼の形成領域区分が妥当であることわかる。Kaneko は, F_d および D/δ の2つのパラメータに基づいて形成領域を定量化しているが, Vittori & Blondeaux⁵⁾ は F_d , $R_\delta (=U_m \delta/\nu)$, $R_d (=U_m D/\nu)$ の3つを用いて形成領域の理論的区分を試みており, 両者が整合しているか否かについては不明である。リップルの形成を規定するパラメータについても今後詳細な検討が必要であると思われる。

図-4 は, 振幅 d_0 とブリックパターンリップルの波長 L_1 , ブリッジ間隔 L_2 の関係を示したものである。安定なブリックパターンリップルが形成するとき, L_1 は d_0 の約 0.75 倍であり, また L_2 は d_0 の約 1.5 倍となっている。ただし, ブリックパターンリップルは, まず振動条件にあった2次元リップルを振動方向に形成し, その後に峰と峰の間にブリッジを架けていくので, L_2 は d_0 ではなくむしろ L_1 に規定されていると見るべきである。また, L_2 のデータは L_1 よりもバラツキが大きく, このことはブリッジがリップルよりも不安定であることを示唆している。なお, この結果よりブリックパターンリップルの形成機構を説明するモデルは, $L_1:L_2=1:2$ を満たすものでなければならないことがわかる。

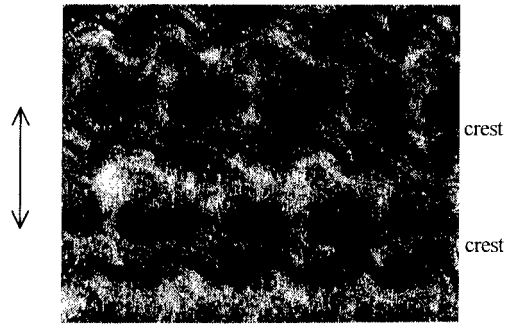


図-5 2次元リップル上の流れの3次元構造

図-5 は, 2次元リップル模型上の振動流を上方から見た可視化写真である。流れは紙面に対して上下方向に振動しており, 振動条件は $d_0=2.0\text{cm}$, $f=0.5\text{Hz}$ である。リップルの峰と峰の間にブリッジ状の線が交互に現れており, 3次元的な流れ構造を形成しているのがわかる。また, 横断方向に波状になった黒い線は, 流れが峰を越える際にできる剥離面のフロントにあたるものと考えられ, 隣接する線とは逆位相の関係にある。写真の流れ模様は, 図-1 のブリックパターンリップルの構造に類似しており, 2次元リップル上の振動流中にレンガ模様の3次元流れが形成することが確認できた。ただし, この写真の L_1/d_0 は 1.6 であり, 振動数もブリックパターンリップルの形成条件の値よりもかなり小さい。Hara & Mei は2次元リップル上の振動流中に様々なモードの3次元構造が現れることを指摘しており, 図-5 の流れもそのうちのひとつであると考えられる。ブリックパターンリップルの形成条件における流れの可視化については, 流れ場が乱流状態のため困難であった。

今後, 2次元リップル上に形成する流れの3次元構造がブリックパターンリップルの形成要因であるか否かを検証するために, LDV や PIV による流速計測を実施する予定である。

参考文献

- 1) MATSUNAGA, N. & HONJI, H. 1980 Formation mechanism of brick-pattern ripples. *Rep. Res. Inst. Appl. Mech., Kyushu Univ.*, vol.28, no.88, pp.27-38.
- 2) HARA, T. & MEI, C. C. 1990 Centrifugal instability of an oscillatory flow over periodic ripples. *J. Fluid Mech.* **217**, 1-32.
- 3) SCANDURA, P., VITTORI, G. & BLONDEAUX, P. 2000 Three-dimensional oscillatory flow over steep ripples. *J. Fluid Mech.* **412**, 355-378.
- 4) KANEKO, A. 1980 The wavelength of oscillation sand ripples. *Rep. Res. Inst. Appl. Mech., Kyushu Univ.*, vol.28, no.88, pp.57-71.
- 5) VITTORI, G. & BLONDEAUX, P. 1992 Sand ripples under sea waves. Part 3. Brick-pattern ripple formation. *J. Fluid Mech.* **239**, 23-45.