

河川における流速の周期性の発生特性に関する研究

嶋田 嵩弘^{1*}・小山 直紀¹・諸岡 良優¹・山田 正²

¹中央大学大学院理工学研究科（〒112-8511東京都文京区春日1-13-27）

²中央大学理工学部（〒112-8511東京都文京区春日1-13-27）

* E-mail: takahiro@civil.chuo-u.ac.jp

渦やボイルといった乱流運動は河川の浸食・運搬作用を大きく促進させるものであり、実河川におけるこれらの現象の評価は治水上の観点からも重要な問題である。これに対する取り組みとして、過去に実観測に基づいて乱流構造の解析や定量的評価がされてきた。本研究では蛇行河川を対象にボイル発生時におけるADCPを用いた観測を実施した。一定時間、同一地点に観測機を設置して行う観測によって取得した流速3成分の時系列データから、レイノルズ応力の鉛直分布を評価することで観測地点における乱流構造を示した。また、スペクトル解析を行い、ボイルの定量的な評価を試み、ADCPを用いた乱流構造の捕捉に関する一つの知見を示した。

Key Words : flow measurement, Vietnam, meandering channel, ADCP, Kolk-Boil Vortex

1. 研究背景

河川は浸食、運搬、堆積の諸作用を行う。これらによって河川は水とともに土砂を運搬し、その流路、地形を絶えず変化させている。特に出水時には流水の増加に伴い、流れも勢いを増すことで水面には渦やボイルといった現象が見られる。これらは大規模乱流運動と呼ばれ、河川の浸食、運搬作用を大きく促進するものである。しかし、河道の安定は治水の観点において重要な問題であり、そのために護岸や水制の設置といった対策がなされてきた。

このような背景から、実河川における乱流運動の把握は重要課題とされ、過去に多くの研究がなされてきた。

木下²⁾は洪水時の河川の航空写真の解析から縦渦の実在を示し、石原³⁾は超音波流速計を用いて実河川におけるレイノルズ応力の分布を評価し、その乱流構造の大きな知見をもたらした。近年においてはその観測機器の発達から、あらゆる現象を捉えられるようになってきており、萬矢⁴⁾はADCP(Acoustic Doppler Current Profiler)を用いて河川2次流を評価している。

本研究では、実河川における乱流運動把握のための取り組みとして、水面にボイルが確認できる地点において

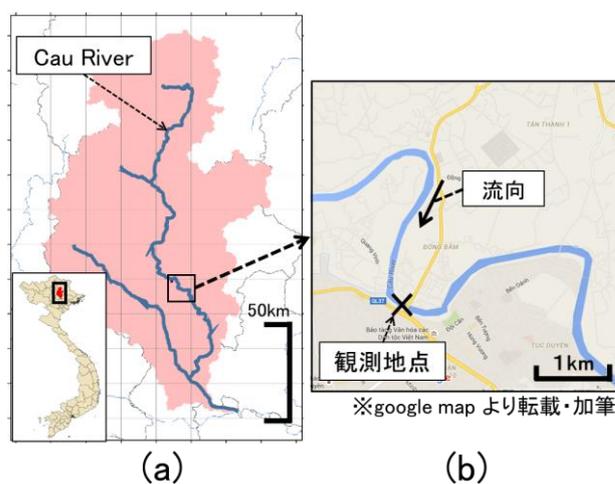


図-1 (a) . ベトナム カウ川流域.
(b) . 観測実施地点の流路形状.

ADCPを用いた定点観測を実施した。その結果を示すとともに、その観測値の解析を行い、得られた知見を報告するものである。

2. 観測実施概要

観測を実施した地点は図-1 (a) に示した、ベトナムの首都ハノイより北東80 kmに位置するThai Nguyen Prov. を流れるCau River (以下、「カウ川」) である。流路長は288 km, 流域面積は6,030 km²であり, 形状比で表すと0.07となるような細長い形状の流域を持つ河川である⁵⁾。本河川の流路は図-1 (b) に示すような蛇行形状をしており, ×で示した湾曲部において観測を実施した。ここは水位観測所の設置地点にあたり, 著者らの観測期間である2015年8月6日から7日を含めた同地点における水位ハイドログラフを図-2に示す。これに示すように観測は減水期に実施し, そのピークを捉えることができなかったものの, 著者らが乾季の2015年2月に実施した低水観測時よりは増水している時期に観測を実施できた。流速も低水時に比べて大きく, 図-3に示すように水面にボイルの発生を確認することができた。

観測にはTeledyne RD Instruments社製Workhorse Monitor ADCPを用いて, 図-3に示すような体制で実施した。同地点における低水観測の経験から, 最大流速が2 m/sを下回ることで, 水面にボートを大きく揺動させるほどの波が生じないことが予想されたことから, リバーボートは軽量で操作性に優れたトリマランA型を採用した。これを川の両岸に渡したワイヤーを用いて操作することで, 橋脚のような構造物の影響を受けることのない状況でデータを取得しており, 河川流れの検証を十分に行うことのできる環境を確保できたものと考えられる。

本観測で取得したデータのうち, 解析に使用したのは一定時間, 同一地点に観測機を設置して行う定点観測によって得られた3次元方向の流速分布のデータである。計10ケースであり, 計測時間は770秒のものから3740秒のものまでである。ここで, 流下方向の流速を u , 横断方向の流速を v , 鉛直上向きを w と定義した。また, 同観測は鉛直方向に25 cmの解像度に設定し実施したが, 観測機の揺動を考慮し, 各データを鉛直方向の位置 z を水深 H で無次元化し, 10層となるように空間的に平均化処理を施した。これらのうち河床に近い2層分はADCPの不観帯のデータを含むため, これらを除いた流速時系列データを解析に用いた。

3. 観測結果

図-4は例として水位のピークに最も近い時刻に取得した $z/H=0.9\sim 1.0$ と $0.3\sim 0.4$ の位置の流速の時系列データである。全ケースを通して $z/H=0.9\sim 1.0$ の平均流速は $0.9\sim 1.0$ m/sであり, 平均水深は $5.6\sim 5.9$ mであった。このようなデータの乱流

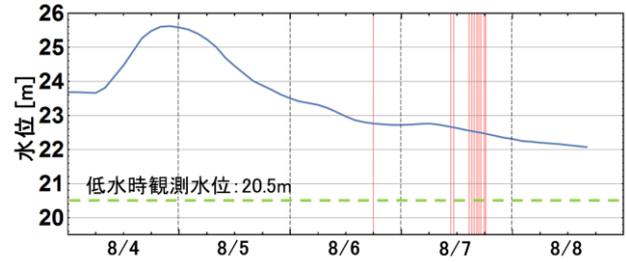


図-2. 観測実施地点の水位ハイドログラフ。
縦実線は定点観測開始時刻。



図-3. 観測実施の様子。

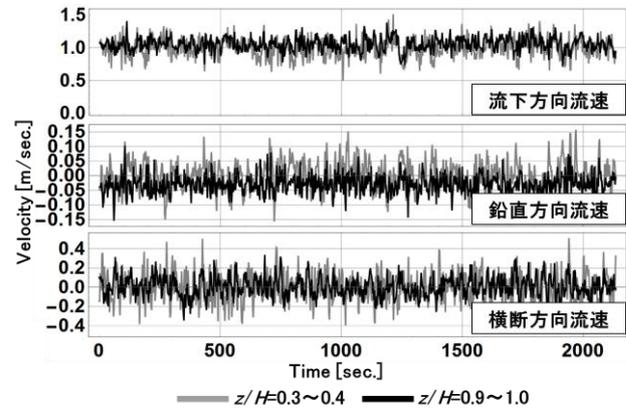


図-4. 流速3成分の時系列データの例。

特性の指標として, 各ケースのレイノルズ応力の鉛直分布を図-5に示す。多くのケースで石原ら³⁾の示した結果同様, 河床に向かって値が大きくなっていく傾向が見られるが, ◎で示したケースはそれらとは異なる傾向を示しており, 鉛直方向の変動が比較的大きく, 河床に近いところよりも中心部付近で大きな値を示している。このケースは水位のピーク時刻に最も近い図-4に示すケースであり, 他ケースと比較して流速が大きいことから, 地形の影響が強く出たものと考えられ, 観測地点の流路の蛇行に起因する2次流が原因の一つと考えられる。

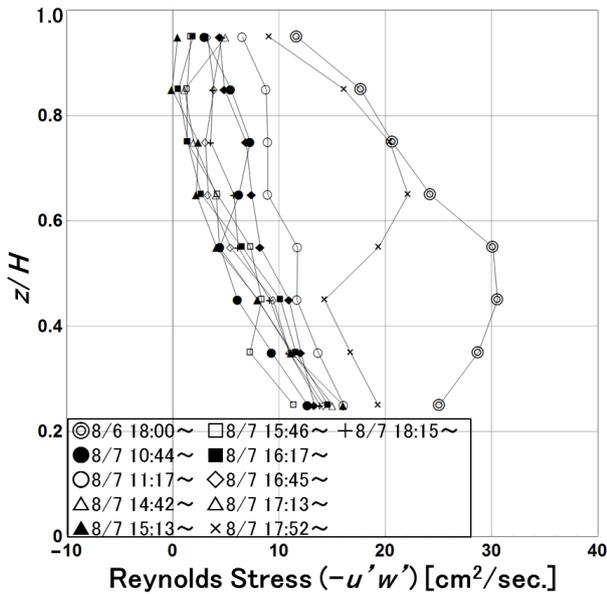


図-5. 観測ケース毎のレイノルズ応力の鉛直分布.

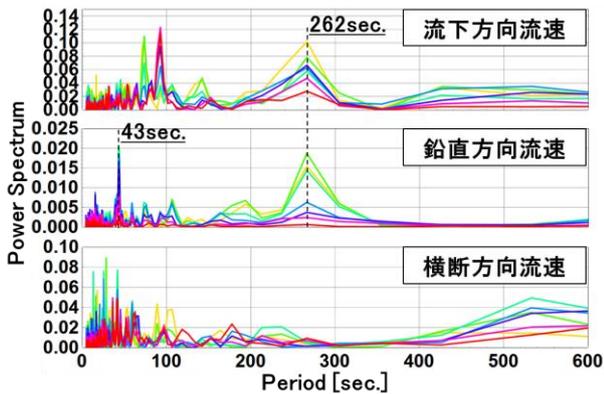


図-6. 水位ピーク時に最も近いケースの
パワースペクトル.

4. スペクトル解析

図-5に示すように、大規模乱流運動の存在が示唆される同データにおいて、その発生特性を検証するためにスペクトル解析を行った。図-4に示した各層における時系列の流速値に離散フーリエ変換をし、パワースペクトルを求めた。水位ピーク時に最も近いケースの解析結果を図-6に示す。uとwの多くの層において262秒の卓越周期が見られ、wに関しては43秒にも周期性が見られた。これと同様に他ケースでも解析を行った結果、wに関して解析対象データのうち最深層である $z/H=0.2-0.3$ から水面付近の $z/H=0.8-0.9$ にかけて10ケース中、水位ピーク時に近い4ケースで約40~60秒の卓越周期が見受けられた。こ

の周期の発生因として図-3で示したボイルであると考え、以下の式(1)に示すJackson(1976)⁶⁾が観測から見出したボイル渦の発生周期の関係式を用いて検証した。

$$T_{boil} \cdot U_{\infty} / h \cong 7.6 \quad (1)$$

ここに、 U_{∞} は水面付近 ($z/H=0.9-1.0$) の流下方向平均流速[m/s]、 h は平均水深[m]、 T_{boil} がボイルの発生周期[秒]を表している。これに同観測データを代入すると、対象の4ケースにおいて約40~47秒を示し、おおむね各ケースの卓越周期との一致を確認することができた。

しかし、図-6に示したものと同様に、各ケースに共通して数分スケールの卓越周期が見られ、これらに関しては今後検討していく必要がある。

5. 結論

本研究の結論を以下に示す。

- 1) 水位ピークに近いケースでレイノルズ応力分布に2次流を示唆するような傾向が見られた。
- 2) 実河川においてADCPを用いてボイルを定量的に評価することができた。
- 3) 実河川における乱流構造の捕捉に向けた一つの知見を示すことができた。

謝辞：本研究は、中央大学理工学研究所プロジェクト研究、「気候変動による河川・水環境への影響解明と適応策に関する研究～ベトナム Cau川を例として～」の支援を受けて行われたものである。

参考文献

- 1) 吉川秀夫：河川工学（改訂増補版），pp. 7-8，朝倉書店，1993.
- 2) 木下良作：航空写真による洪水流の解析，写真測量，Vol. 6，No. 1，pp. 1-17，1967.
- 3) 石原安雄，余越正一郎，上野鉄男：河川におけるレイノルズ応力の分布について，京大防災研究所年報第12号B，1969.3.
- 4) 萬矢敦啓，宇野哲平，木下良作，山下武宣：ADCPを用いた新たな試み～高度化処理について～，土木学会第62回年次学術講演会，62巻，2号，pp. 207-208，2007.
- 5) 高山茂美：河川地形，pp. 7-8，共立出版株式会社，1974.
- 6) R. G. Jackson. : Sedimentological and fluid-dynamic implications of the turbulent bursting phenomenon in geophysical flows, J. Fluid Mech., vol.77, 1976.