

琉球大学学術リポジトリ

自然石を用いた水制効果に関する研究

メタデータ	言語: 出版者: 沖縄科学防災環境学会 公開日: 2022-07-25 キーワード (Ja): キーワード (En): river flow, flow controll, Mach line, hydruolic jump, riffle and pool 作成者: 玉城, 正寛, 仲座, 栄三 メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.24564/0002019426

自然石を用いた水制効果に関する研究

玉城正寛¹・仲座栄三²

¹琉球大学工学部環境建設工学科 (〒903-0123 沖縄県西原町千原1番地)

²正会員 琉球大学工学部工学科 (〒903-0123 沖縄県西原町千原1番地)

E-mail: enakaza@tec.u-ryukyu.ac.jp

自然河川の持つ多様な環境特性などが失われた河川において、人工的に自然石を配置し、流れの特性を変え、河道内に淵や瀬を形成させる工法などがとられている。それには、経験者による直観に頼っている部分もあり、力学に基づいた検討も期待されている。本研究は、iRIC-Nays2DHを用いた数値計算によってそうした工法の特性を力学的に明らかにしている。研究では、直線状河川及び蛇行部を有する河川モデルに対して、自然石を直線状に配置した場合、流れに対して凹状及び凸状に配置した場合について検討している。直線状に配置した場合は、その下流側に射流部が形成され、Mach lineの形成により、河道中央部にMach lineの集中点が形成され、そのパターンが継続しながら跳水現象が形成されることが明らかにされている。また、流れに対して凹状及び凸状に配置した場合は、それぞれ河道中央部に流速の低下域及び増大域を形成させることが明らかにされている。

Key Words: river flow, flow controll, Mach line, hydraulic jump, riffle and pool.

1. はじめに

河川改修等で、淵や瀬など、自然河川の持つ多様な地形特性などが失われる場合が多々ある。このような河川に対しては、人工的に淵や瀬などを再生させ、自然河川の持つ多様性を再生させる試みがとられる場合がある。沖縄県の南部にある雄樋川においても、自然石を用いた水制によって、淵や瀬を人工的に形成させる工法がとられている。この工法に対しては、経験豊かな技術者による直観が活かされている。

本研究は、このような自然石を用いた水制に対する人の直観的工法が流体力学的にどのような特性を有するものか、またその流体力学的発生メカニズムはいかようなことになっているのかを数値計算によって明らかにするものである。

2. 数値計算及び水理実験の概要

2.1 数値計算手法

数値計算には、北海道大学清水教授を中心とする研究グループによって開発普及されているiRIC-Nays2DHを使用した。Nays2DHは、基本的には流体の質量保存則と運動方程式を差分法によって2次元(平面)解析す

るものであり、固定床及び移動床上の流れ及び地形変化などを計算可能となっている。数値計算では、直線状河川モデル及びサインウエーブを用いた蛇行河川モデルを対象として行った。以下にそれぞれの河川形状特性とそれらに対する数値計算条件を示す。

2.2 直線状河川モデル

幅60cm、長さ10m、勾配1/1000の直線状開水路内の流れを対象とし、上流端流量条件として $Q = 0.015\text{m}^3/\text{s}$ を与えた。その際、マンニングの粗度係数は $n = 0.007$ に設定した。また、計算格子としては流れ方向に0.02m、横断方向に0.005mを設定した。下流端条件は、等流計算条件に設定した。

2.3 蛇行河川モデル

サインカーブによって蛇行角度 45° (波数1)とし、水路幅60cm、長さ10m、勾配1/1000の流れを対象とし、上流端流量条件として $Q = 0.015\text{m}^3/\text{s}$ を与えた。その際、マンニングの粗度係数は $n = 0.007$ に設定した。また、計算格子としては流れ方向に0.02m、横断方向に0.005mを設定した。下流端条件は、等流計算条件に設定した。

2.4 自然石モデル及び配置

自然石モデルとしては、雄樋川の自然石の代表的形状の1/25スケールを考慮して、高さ2.5cm、幅を4.0cm、長さ6.0cmを基本形状とした。直線状河川モデルに対して、流れ方向の石の長さの影響を検討する解析では、石の長さを3.0cm、6.0cm、12.0cmの3種に設定した。自然石の配置は、横断方向に等間隔で直線状に配置した場合と、流れに対して凸状に配置した場合、さらに流れに対して凹状に配置した場合を検討した。

2.5 水理実験装置及び方法

実験には、琉球大学工学部水圏環境工学研究室所有の幅60cm、長さ10mの直線状開水路を用いた。その上端から任意の水量を流せ、他端は自然放流となっている。河床勾配は任意に変化可能であり、本研究では1/1000に設定した。

3. 数値計算結果

3.1 数値計算結果の実験値との比較

直線状河川モデルに関して、数値計算値と実験値との水深の縦断方向分布の比較を図-1に示す。この場合、自然石の配置は、上流端から3.3mの位置において、河川横断方向に直線状に行った。図示のとおり、数値計算値は実験結果による水深の分布によく一致している。このとき、1次元定常流解析による限界水深は4.1cmである。射流域となる部分に対して実験結果が得られていないが、これは、水面変動を容量式波高計で計測しており、その計測限界水深以下となっていることによる。ここに示すように、実験値と数値計算値との一致度は良好であり、数値計算の大よその妥当性は示されたといえる。

3.2 自然石の水制効果

(1) 直線状河川モデルの場合

図-2に、流速ベクトル及び流速強度の分布（色によるコンター分布）の数値計算結果を示す。また、図-3に、パーティクルパス及び水深分布（色コンター分布）、図-4に、渦度の分布を示す。これらの図において、最上段から3段目までは、自然石を河川横断方向に直線状に配置した場合であり、石の高さ及び幅を同一にし、長さを上から順に3cm、6cm、12cmと変化させた場合に当たる。一方、4段目及び5段目は、それぞれ基本形状の石（高さ2.5cm、幅4.0cm、長さ6.0cm）を用い、流れに対して凸状及び凹状に配置した場合に当たる。

図示のとおり、直線状に配置した場合については、配

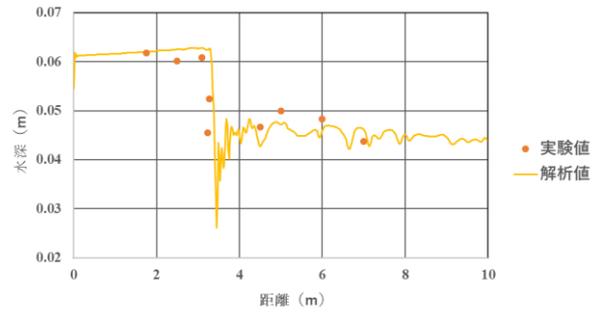


図-1 水面の縦断方向分布の数値計算値と実験値との比較

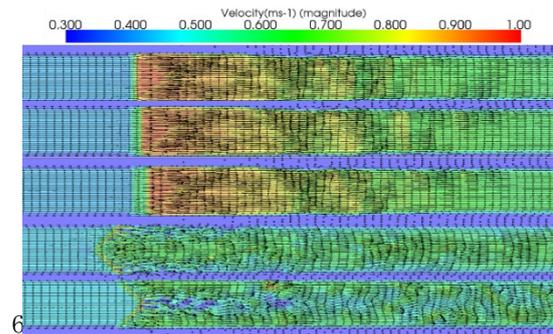


図-2 流速ベクトル分布及び流速強度分布

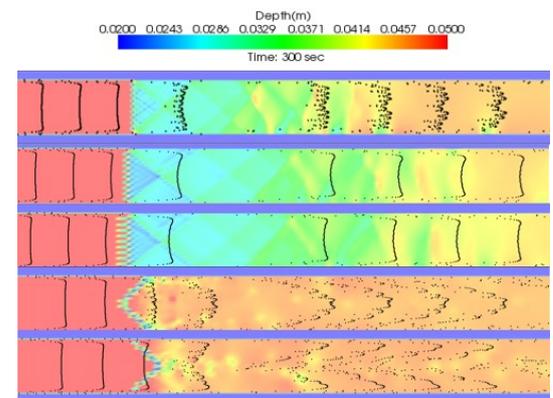


図-3 パーティクルパス及び水位分布

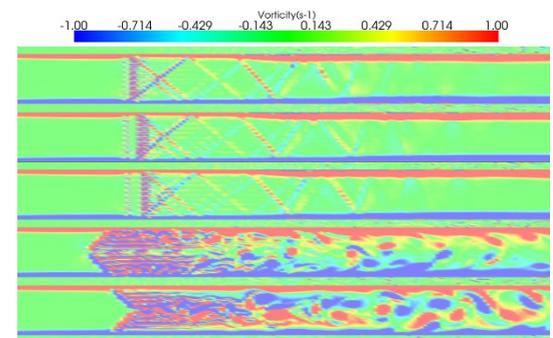


図-4 渦度分布

置した石の後端部から Mach line が発生しているのが明瞭に見える。また、その収束域が見られる。射流部における Mach line は、一旦河道中央部で収束した後に、両側壁（河岸）で反射し、再び河道中央部で収束するパターンをとり、それが継続する形で跳水現象が発生している。また、渦度は、Mach line の収束帯で局在化している。パーティクルパスの分布は、石を直線状に配置した上で石の長さを伸ばすと、射流域が伸びること、流れに対して整流作用があることを示している。

石の配置を凹状及び凸状とした場合、流速ベクトル分布及びパーティクルパスの分布から、横断方向に流速分布を大きく変えている。流れに対して石を凸状に配置した場合の渦度は、左岸側に強い正の渦、右岸側に強い負の渦を発生させ、それらが共に河道中央部に向けて組織化して移流している。逆に、流れに対して石を凹状に配置した場合には、河道中央部の速度欠損に伴う強いせん断によって強い渦度が形成され、流下と共に組織化している。ここに見るように、自然石の流れに対して凹状及び凸状に配置することで、その背後の河道中央部付近の流れを弱めたりあるいは強めたりすることができ、河道内の流れをコントロールできることが示される。

(2) 蛇行河川モデルの場合

自然石の配置形状がその下流域の流れパターンを大きく変化させることが上の議論で明らかとなった。このような工法を用いて、それが蛇行した河川の流れをもコントロールし得るかどうかの検討を以下に行う。

図-5 に、数値計算によって求めた流速ベクトル及び流速強度の分布を示す。図-6 に、パーティクルパス及び水深分布を示す。また、図-7 に、渦度分布を示す。石の配置形状は、上から順に、石設置なし、石の直線状配置、石の凸状配置及び凹状配置となっている。

紙面に向かって凸部となる蛇行部の流れに着目すると、自然石を設置しない場合においては、蛇行部の内側となる右岸から少し河道中央部に寄った箇所（流れの慣性によって）流れが集中し、流速が増大している狭い帯域が存在する。逆に、凸部の外側となる左岸側では水位の上昇と流速の低下が見られる。

自然石を直線状に配置した場合、それによる堰あげ効果のために、その上流部で水位が高まり、流れの強さも河川全体に亘っていくぶんか低下している。自然石の流れに対して凸状に配置した場合、その下流側の流れはわずかに河道中央寄りとなり、最大流速の発生箇所は石を配置しない場合に比較して右岸から河道中央部によった

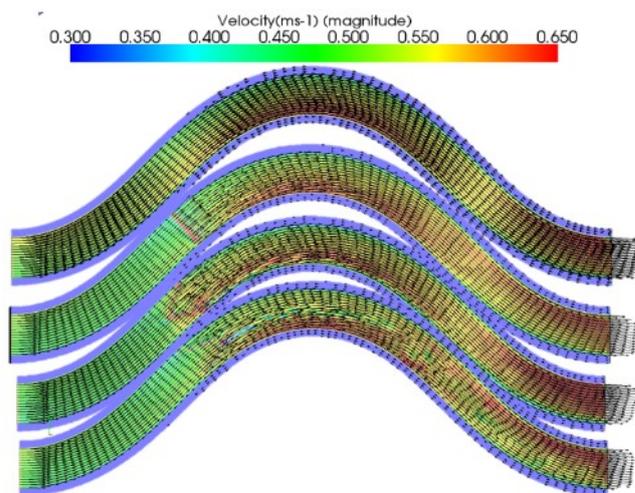


図-5 流速ベクトル及び流速強度の分布

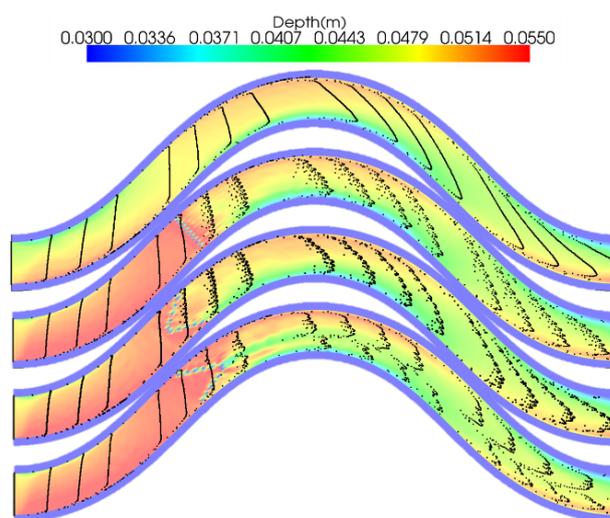


図-6 パーティクルパス及び水位分布

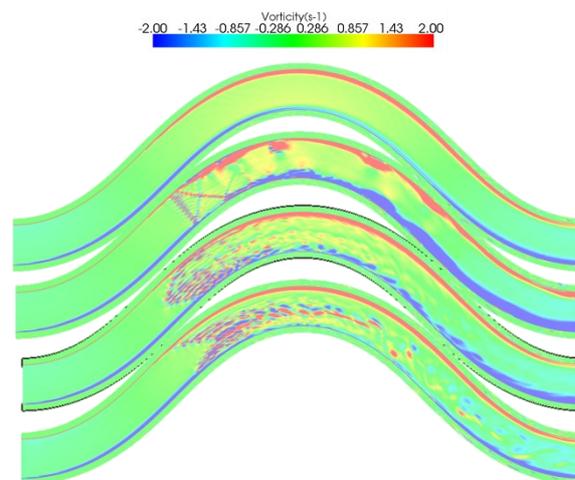


図-7 渦度分布

位置にある。これらの結果に対して、石を凹状に配置した場合、河道中央で流速が低下し、その状態が河川蛇行の凸部を過ぎて右端境界までも続いている。このとき、パーティクルパスは、河道中央部で大きく遅れ、その傾向は右端境界までも続いている。

渦度については、石を横断方向に直線状に配置した場合、Mach line の収束域と両岸から強い渦が生じている。石の流れに対して凸状に配置した場合、蛇行凸部頂点を過ぎた内側下流となる右岸側において、組織化した負の渦が周期的に岸から剥離する様子が見られる。また、石の流れに対して凹状に配置した場合、河道中央部に大きな速度欠損部が現れることから、そこに正負の組織化した渦対が現れ、流下と共に拡散している。

4. まとめ

沖縄県南部の雄樋川には、蛇行部の入り口となる上流側に、自然石が河川横断方向に凹状及び凸状に組み合わされて配置されている。それらは、その下流部に瀬と淵を形成させるためと解釈される。本研究による数値計算結果によれば、石を河川横断方向に一直線に配置するとその背後に射流域が形成され、自然石後端から Mach line が発生し、それが河道中央部に収束した後、両側壁から反射されて、再度収束するなどのパターンを繰り返し、跳水を形成する。流れに対して凸状に石を配置した場合、

直線状配置の場合とは大きく異なり、その下流部の河道中央部で流れが強まり、逆に凹状に配置した下流では流れが弱まること明らかとなった。その効果は、蛇行河川においても検討され、石の設置形状が蛇行部の流れを大きく変え、そしてそれが遥か下流までも及ぶことが明らかとなった。したがって、こうした石の配置パターンを適宜用いることで、河川の流れを人工的にコントロールすることが可能となり、人工的に瀬や淵を形成させることも可能と判断される。これまで、経験者の直観的判断に基づいて配置されてきた自然石を用いた流れの制御に、ある一定の力学的根拠を与えることができた。今後は、この効果が河床変動等にかような影響を及ぼすかを明らかにすることが求められる。

謝辞

本研究を実施するに当たり、「尾崎次郎基金」の支援を受けたことに対し、心からの感謝の念を捧げる。また、琉球大学工学部技術部の宮里信寿氏には実験に際してご協力を頂いた。ここに記し、感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 福岡捷二：洪水の水利と河道の設計法，森北出版株式会社，436p.，2005.

(2020.9.1 受付)