

瀬の空間構造と環境特性に関する現地観測

Study on spatial structure and environmental characteristics of riffles by a field observation

池田駿介*・戸田祐嗣**・佐野貴之***

By Syunsuke IKEDA, Yuji TODA and Takayuki SANO

It is required for hydraulic engineers to manifest the hydraulic and environmental characteristics of riffles and pools. We conducted a field observation at Aki-river in Akiruno-city in Tokyo on 11 and 12, Sept. '96. In the observation, the spatial variations of hydraulic and environmental characteristics were measured in detail using various devices. It is found that the both of the diameters and the standard deviations of the large scale channel-bed gravels are the important factors in determining the texture of water surface. The amount and spatial variation of dissolved oxygen is governed mainly by the photosynthesis of waterweeds growing on the gravels.

Keywords: riffles, water surface texture, gravels, waterweeds, dissolved oxygen

1. はじめに

近年、河川環境の重要性が強く認識され、日常の河川空間の環境・アメニティーという観点から瀬と淵に関する注目が高まっている。それに伴い瀬や淵の環境・水理特性に関する研究が次第に増加しつつある。既往の環境学的な研究¹⁾としては、生態系に関する現地調査や音環境特性に関する研究などが挙げられる。しかしながら、環境学あるいは生態学的な調査と同時に水理学的特徴を計測した研究は少なく、流れとの因果関係が不明確なため環境特性の理解は定性的な段階に留まっている。また、力学的な研究²⁾に関しては平均流速場や平均水深などの大局的な特徴に関して研究がなされており、環境に影響を及ぼす水表面や底質付近の流れの微細構造や空間構造に関する研究は依然少ない。

筆者ら³⁾は瀬を対象として環境的な要素に影響を及ぼすミクロな流れの構造や河川景観上重要となる水表面の運動の特徴を明らかにするために瀬の乱流構造に関する現地観測を実施し、景観や気泡の混入を特徴づける水面や流速の非定常な変動が底質によって作られる組織的な渦構造によるものであることを指摘した。本研究では、前報の点計測からさらに進んで瀬の時空間構造に着目し、流れ場の水理特性、河川景観上重要である水面形の空間構造、水質などの環境要素の時間的な変動特性などについて現地観測を行い、その結果を報告する。

* 正会員 工博 東京工業大学教授 工学部土木工学科

** 正会員 工学士 東京工業大学助手 工学部土木工学科

*** 学生員 東京工業大学 工学部土木工学科

(〒152 東京都目黒区大岡山 2-12-1)

2. 観測地及び観測概要

観測は平成 8 年 9 月 11, 12 日に、東京都あきるの市秋川に架かる秋留橋より 300 mほど上流地点の瀬で行った (図-1)．観測地点には長さ60m 程度の水面変動の激しい瀬が連なっていた．瀬の上流側には水深が浅く川幅の広い穏やかな淵が形成されており，下流側は川幅は狭いが河道の湾曲による水深の深い淵が形成されていた．観測日は両日にわたり晴天であり，両日通じての水深の変化の最大値は 1cm 程度で安定した流れが形成されていた．

現地観測では，地形，日射，水質，底質，流速，水面形と多岐にわたる計測を行った．図-2 に観測地の概要図と座標系を示す．

水理学的な計測は注目するスケールを 3 段階に分割し実施した．まず，観測対象とした瀬の大局的な特徴を捉えるために流心線に沿って 110m の区間で河床高，水面高をレベルにより計測した．ついで，60m 程度の瀬の中でみられる多様な水面テクスチャの変化の要因を捉えるために 14m (横断方向) × 20m (流下方向) の領域 (エリア A) 全体に 1m × 1m 間隔の格子を配置し，それぞれの格子点上で水深，底質分布を計測した．底質分布の計測には透明の亚克力板を底面とした約 1m 四方の箱を用いてビデオ画像によって計測した．さらに，チャラ瀬とザラ瀬 (3 章)³⁾で起こる局所的な水面変動を捉えるため，先述のエリア A の中からそれぞれの瀬を 1 箇所ずつ選び，1.2m (横断方向) × 1.35m (流下方向) の領域 (エリア B) を設定して，その領域内を横断方向に

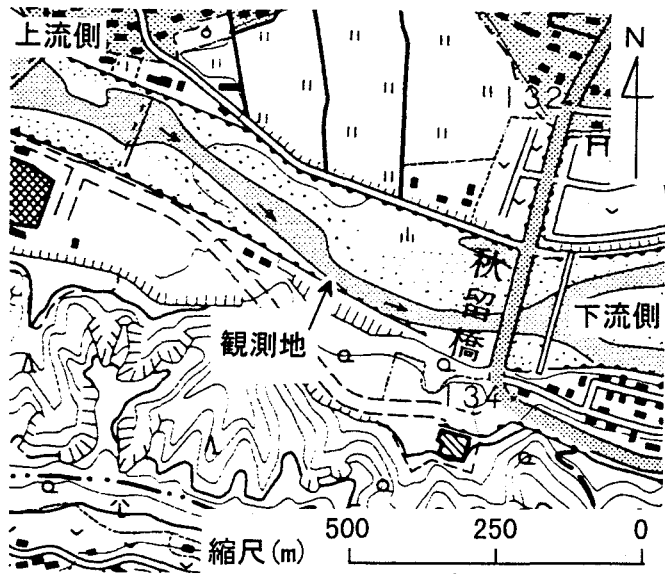


図-1 観測地地図

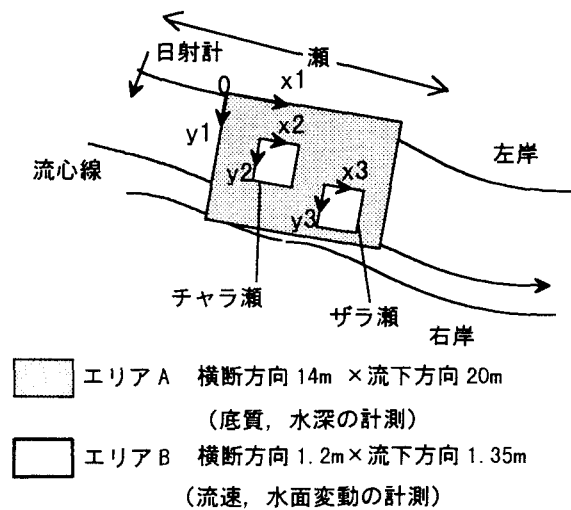


図-2 観測地の概要図と座標系

表-1 各地点における観測項目

	観測項目	計測方法
流心線	地形測量	レベル，メジャー
エリア A	底質，水深	メジャー，ビデオ
エリア B	水面変動，流速	容量式波高計，電磁流速計
瀬の上流地点	日射量	日射計
瀬の中央	水質，光の透過率， 底質付着藻類	多項目水質計，エコ プローブ
下流側の淵	水質，光の透過率， 底質付着藻類	多項目水質計，エコ プローブ

10cm 間隔, 流下方向に 15cm 間隔の格子に区切り, 各格子点上の水面高を容量式波高計 (KENEK(株)製) を用いて計測した。また, エリアBのそれぞれの中心でI型の電磁流速計 (KENEK(株)製, 検出部φ 8mm ×3cm) を用いて水平流速成分の水深方向分布を計測した。波高計及び電磁流速計はサンプリング周波数 20Hz で計測し, フィルター処理により 5Hz のデータに変換した。また, 基準高さは観測領域の内, 流心線に沿った最下流地点の河床高さをを用いた。

また, 水理学的な特徴と同時に瀬の環境的な特徴を把握するために, 以下に挙げる項目を計測した。日射計 (英弘精機(株)製) を鉛直上向き, 下向きの両方に設置し, 水面のアルベドを計測し, さらに水中に透過する日射量を計測した。この透過日射量については, 瀬の開始地点で植生の光合成に重要と思われる可視光域のほぼ中央部の波長 (610nm) の透過率をエコプローブ (TERAL KYOKUTO(株)製) を用いて水深方向に計測した。また, 観測対象の瀬と上流側の淵で底面から 10cm 付近の DO 及び水温の日変化を簡易型多項目水質計 (堀場製作所(株)製) によって計測した。水質計測を行った瀬 (チャラ瀬, ザラ瀬) と淵の底質からそれぞれ 10~20cm 程度の石を 3 個 (計 9 個) サンプルングし, それぞれの石の表面に付着している藻類を採取し, 吸光分析によってクロロフィル a 量を計測した。表-1 に観測項目の一覧を示す。

3. 瀬の慣習的分類

本論文中で用いる瀬の慣習的分類について以下に簡単な説明を述べる。

チャラ瀬: 水深が浅く (20cm~40cm 程度), 水表面は波立っているが気泡の混

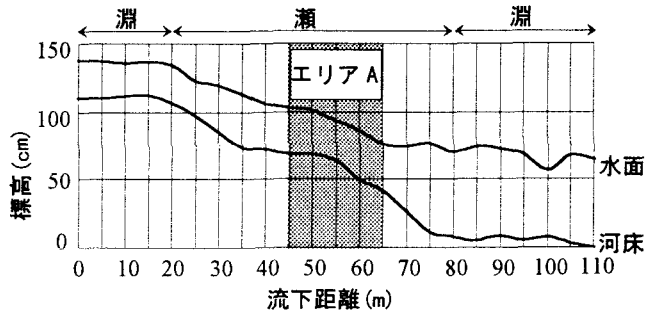


図-3 流心線に沿った河床高と水面高

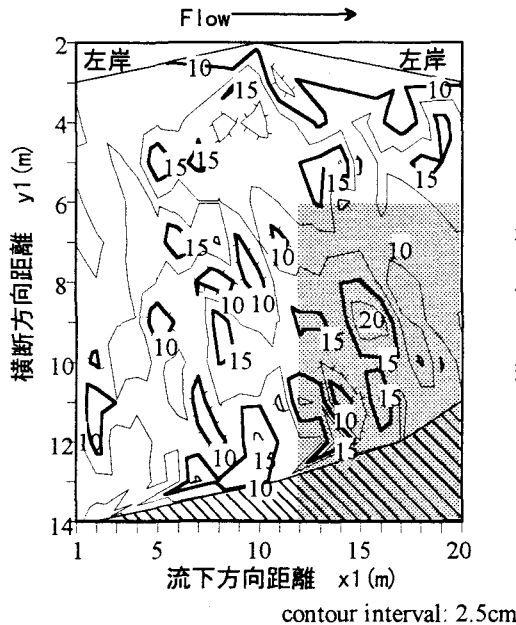


図-4(1) 大礫径の空間分布

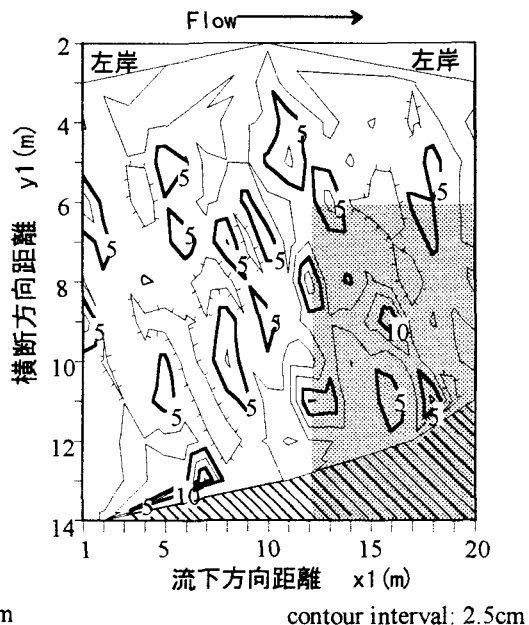


図-4(2) 大礫径の標準偏差の空間分布

注 1) 斜線部はザラ瀬, 他はチャラ瀬

注 2) 斜線部は光量不足のため計測していない

入は起こっていない。

ザラ瀬：チャラ瀬と同程度の水深であるが、水表面の波立ちは激しく気泡の混入を伴って白濁している。

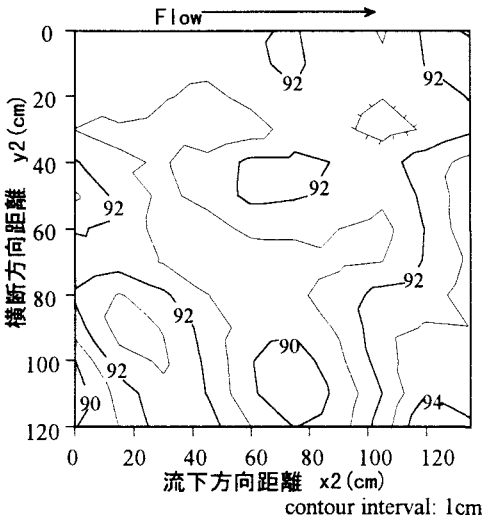
4. 観測結果

4-1 観測対象とした瀬の概要（地形測量の結果）

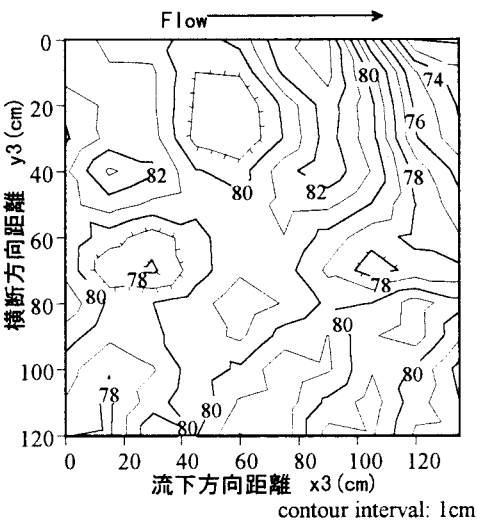
図-3 に観測対象とした瀬の流心線に沿った縦断地形図を示す。河床勾配が大きくなる 20m 地点から 80m 地点付近までの約 60m にわたって水面変動の激しい瀬が形成されていた。ほぼ等流状態で流れている 45m から 65m 間の領域にはチャラ瀬やザラ瀬が混在して多様な水面が形成されており、この領域を先述のエリア A とした。また、瀬の上流側では、水深、河床勾配の小さい淵（トロ）が形成されており、下流側では湾曲部外岸で見られる水深の大きな淵が形成されていた。

表-2 チャラ瀬，ザラ瀬の水理量

	水深平均 流速 (cm/s)	水深 (cm)	局所 Fr 数
チャラ瀬	72	26	0.45
ザラ瀬	90	25	0.57

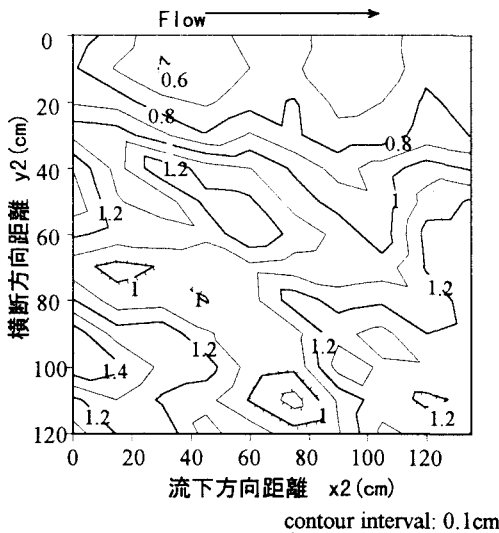


(1) チャラ瀬

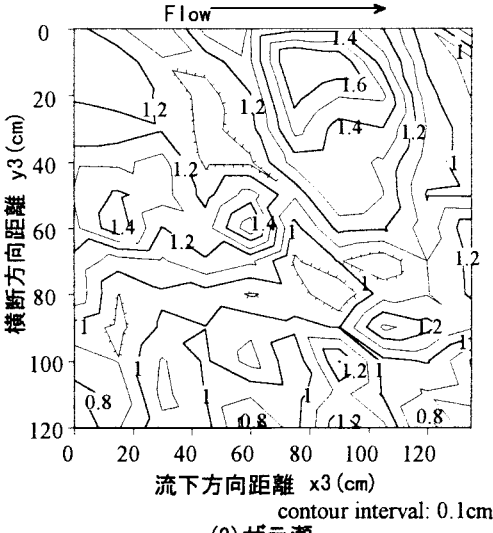


(2) ザラ瀬

図-5 時間平均水面（基準高さは図-3 の最下流点の河床）



(1) チャラ瀬



(2) ザラ瀬

図-6 水面変動の R. M. S.

4-2 底質、テクスチャの空間的特徴 (エリア A の計測結果)

図-4(1)、(2) にエリア A 全域において観測された底質の大礫径、標準偏差のコンター図を示す。図中のハッチング領域はザラ瀬で他の領域はチャラ瀬 (左岸近くは瀬わき) である。流れに大きな影響を与える径の大きな底質に着目し、画面内に写った底質のうち大きい径のものから5個サンプリングし、その平均径 (大礫径と称する) と標準偏差を示してある。鮮明なビデオ画像から大きさを判断できる底質の個数は 40~50 個程度であることから、サンプリングした礫は河床表面構成材料を個数百分率で表したときの $d_{88} \sim d_{90}$ 程度以上の礫の平均径 (大礫径) や標準偏差を表していると考えられる。流路中央付近で大礫径を比べると、チャラ瀬の中にもザラ瀬と同程度の大きさの底質が存在する箇所も見られるが、ザラ瀬では全体的に大礫径、標準偏差が共に大きいという特徴がある。ザラ瀬では跳水に伴って気泡混入が生じており、その様な跳水現象を引き起こすためには局所的な水深の変化 (つまり局所 Fr 数の変化) が必要となる。従って、ザラ瀬が存在するためには底質径の大きいことや底質径の大小の値の変化があり、局所 Fr 数が大きく変化することが重要であることを示している。つまりチャラ瀬、ザラ瀬を水理学的に分類するためには、局所 Fr 数に加えて局所的な石の大きさや底質の標準偏差のような底質の状態を把握することが重要であることを示している。

4-3 チャラ瀬、ザラ瀬における水量と水表面の空間的変動 (エリア B の計測結果)

表-2 にチャラ瀬、ザラ瀬の各観測領域の中央付近の点での水量 (水深平均流速、水深、局所 Fr 数) を示す。局所 Fr 数は若干ザラ瀬の値が大きいものの、共に常流域であり、局所 Fr 数だけでは流れ場の決定的な違いはみられなかった。図-5 に時間平均水表面、図-6 に水面の時間変動の R. M. S. 値のコンター図を示す。全体の構造はチャラ瀬、ザラ瀬共に時間平均水面の波長が流下方向に約 60~80cm 程度であり、チャラ瀬に比べてザラ瀬の方が振幅の大きな波形が形成されている。この R. M. S. 値は変動の小さな地点ではチャラ瀬、ザラ瀬間で大きな相違がないが、変動の大きな地点ではザラ瀬の方が大きな値をとる。ザラ瀬では跳水に伴う非定常な水面変動が起こっていることから、跳水前の射流域では変動が小さく、跳水後の常流域で大きな変動が生じていると考えられる。しかしながら、時間変動の R. M. S. 値が時間平均波形の振幅と同じオーダーの値を取るため、今回の時間平均波形から瞬間的な波形の構造を推論することは困難であり、今後、室内実験などにより明らかにしていく必要がある。

4-4 瀬の諸環境

図-7 に9月12日の下向き短波放射量と上向き短波放射量を示す。水面での日射の反射率は日中で5%程度であり、殆どが水中に透過していることが分かる。図-8 に水温及び溶存酸素量の日変化を示す。14:00 付近の溶存酸素量のデータが他のデータと比べ特異な値を示しているが、その原因については現在の所不明である。日中の溶存酸素は過飽和状態にある (飽和値は水温 20℃で 8.84mg/l、水温 25℃で 8.11mg/l)。日中

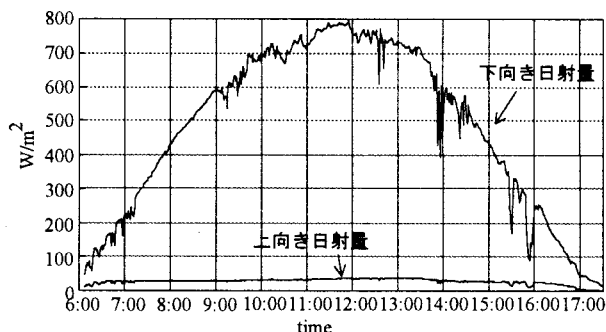


図-7 日射量 (9月12日)

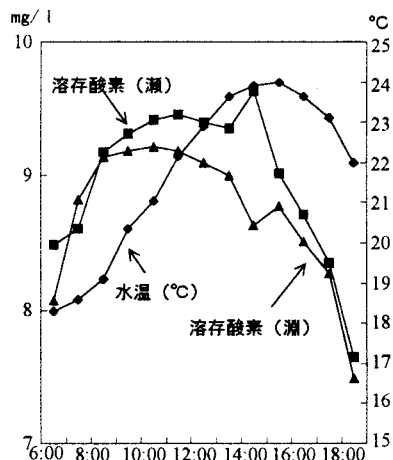


図-8 水温 (°C) と溶存酸素量 (mg/l) の日変化 (9月12日)

の水温の上昇に伴い水中飽和酸素量は減少するので、溶存酸素量が日中増大するには曝気や植物の光合成などによる水中への酸素の活発な取り込みが必要となる。水深などの水理量の変化は観測期間中殆ど

表-3 底面への光の到達と一次生産量

	水深 (cm)	底面への光 の到達率 (%)	底質に付着する クロロフィル a 量 (mg/m ²)	光飽和 光合成速度 (mg.O ₂ /m ² /hr)
チャラ瀬	26	97.4	39	273
ザラ瀬	25	97.5	104	728
淵	60	94.2	61	427

見られなかったことから、水面からの曝気量の変化が溶存酸素量の日変化を起こしているとは言い難い。従って、この日中の溶存酸素量の増加は光合成によると推論される。

表-3 にチャラ瀬、ザラ瀬、淵における川底への光の到達率、底質に付着する藻類のクロロフィル a 量、河床の藻類を珪藻と仮定した時の水温 20℃での光飽和光合成速度を示してある。この光の到達率はエコプローブで計測した光の透過率と瀬、淵の水深を用いて算出した。水表面から入射した日射は、本観測が対象とした水深 25cm 程度の瀬では 97.5%程度が底面まで到達している（但し、ザラ瀬では水表面が白濁するためアルベドが変化し、到達量は異なっていると考えられる）。従って、日中は底質付近で光合成を行うのに十分な光量が確保されている。また、底質付着藻類と考えられる珪藻の光飽和光合成速度より算定した単位時間当たりの酸素生産量は、日変化と対応した量を示す。従って、観測によって示された瀬や淵の溶存酸素量の日変化は、底質付着藻類の光合成による酸素生産が主たる要因と考えられる。本観測で得られた底質付着クロロフィル a 量は中栄養湖の全水柱のクロロフィル a 量（例えば、諏訪湖：55～103mg/m²）^{4),5)}に匹敵し、加えて底面への光の到達率が高いため底質の付着藻類による一次生産量は高い。

5. 結論

秋川において瀬と淵に関する現地観測を行った結果、本観測の範囲内では以下に挙げられるような特徴が見いだされた。

- 1)チャラ瀬、ザラ瀬の違いは、局所 Fr 数、底質径、標準偏差などに関連しており、気泡混入が激しく起こる地点では、局所 Fr 数のみならず底質の径やその標準偏差が大きい。
- 2)チャラ瀬に比べ、ザラ瀬では時間平均水面の振幅や非定常な水面変動の空間的な最大値が大きい。
- 3)日中の河川水中の溶存酸素は過飽和状態にあり、11 時頃ピーク値をとる。この主たる原因は底質に付着する藻類の光合成による酸素放出であると考えられる。
- 4)観測対象とした瀬と淵では底質に付着する藻類が多く、底面への光の到達率も高いため一次生産量が高い。今回の観測で得られたデータをもとに室内実験で瀬を再現し、水理特性の詳細な把握を行う予定である。

謝辞：本研究は基盤研究(B)(2)（課題番号：07455195，研究代表者：池田駿介）の補助を受けている。記して謝意を表します。

《参考文献》

- 1)例えば、土屋十圓，佐藤一夫，岩永勉他：いきものの生息環境を考慮した河川改修と生物相に関する調査，水工学論文集，第 40 巻，pp. 175-180，1996。
- 2)藤田正治，道上正規：千代川における淵の構造と魚類の生息環境，水工学論文集，第 40 巻，pp. 181-186，1996。
- 3)池田駿介，戸田祐嗣：瀬の水理特性に関する現地観測，水工学論文集，第 40 巻，pp. 901-906，1996。
- 4)山本譲太郎，伊藤猛夫：水界動物生態学Ⅰ，共立出版，1973。
- 5)生嶋功：水界植物群落の物質生産Ⅰ，共立出版，1972。