

千代川における淵の構造と魚類の生息環境

Geometrical Characteristics of Pools and Habitat of Fishes in Sendai River

藤田正治*・道上正規**

by Masaharu FUJITA and Masanori MICHIEUE

Of elements related to river environment, pools play an important role in habitats of fishes. We investigated the geometrical and hydraulic features of a few pools naturally formed in Sendai River and observed the situation of habitat of fishes. The results indicated that the pool in the channel bend gave the inhabitable place to fishes due to the non-uniform structure of flow and river bed topography. The formation process of pool was also investigated theoretically and observationally with a focus on step-pool formation in mountain rivers. The comparison between theoretical and observational results showed that the pools were formed by the flood occurring once five years and the interval of the pool can be calculated by the presented method

Keywords step-pool formation, habitat, river environment

1. まえがき

河川環境整備を進めていく上では、河川環境を構成している諸要素について、生物学的側面からだけでなく水理学的側面からも詳細に検討することが重要である。たとえば、多くの魚類が生息できる環境をもつ河川とは、流速や河床材料が線的にも面的にも変化するような河川であり、淵・瀬の構造はそのような場を提供する。したがって、淵・瀬の周辺の局所的な水理学的構造を明らかにし、それと魚類の生息状況との関係を知ることが大切である。また、河川整備において淵・瀬を配置するとき、その河川の水理水文特性に応じた淵の規模および形状を与えなければその淵は十分機能を発揮することができないだろう。

本研究では、河川環境を構成している重要な要素として“淵”を取り上げて、その周辺の河道特性と魚類の生息状況の関係を鳥取県の千代川において現地調査により調べる。さらに、山地溪流に顕著にみられる階段状河床形態上の連続する淵を対象にして、その発生条件および形状特性について千代川で現地調査するとともに、淵形成の支配流量や淵の間隔について理論から検討する。

* 正会員 工博 京都大学助教授 農学部林学科

(〒606-01 京都市左京区北白川追分町)

** 正会員 工博 鳥取大学教授 工学部土木工学科

(〒680 鳥取市湖山町南4-101)

2. 淵周辺の河道特性と魚類の生息

2.1 渓流域

千代川支流の曳田川で河道形状および河床材料分布を調査した。図1は河道の平面形状および図中の測線L-L'に沿った縦断形状を示したものである。上流部の弯曲地点(2, B)付近には、粒径1 mから2 m程度の岩が堆積し、約2、3 mの落差を形成している。これは土石流のような巨石を含んだ流れが弯曲部に堆積して落差を作り、その下流に水深2 m程度の深くて大きい淵が形成されたものと推察される。以下、このような淵を落差型の淵(河川生態学¹⁾ではS型)と称する。淵の中の河床材料は約2～3 cmの礫である。その下流の(5, C)や(9, D)付近の狭さく部にも数十cmの礫が堆積し、落差型の淵を構成している。ついて、(8, E)や(9, F)付近の瀬の部分には、小さな階段状河床形態の淵群が形成されている。このように自然溪流では、弯曲部や狭さく部に粒径の大きな石や岩が堆積し、その下流に落差の大きな淵が形成される。また、淵と淵の間の勾配の急な部分には階段状河床形態の小さな淵群が形成される。なお、この周辺では潜水調査によりヤマメの生息が確認されており、図示したような大小の淵が共存するこの地域は溪流魚の良好な生息域である。

2.2 上流域

図2(a)は千代川上流の弯曲部の淵(M型¹⁾)周辺における等水深線および表面流速ベクトル、図2(b)は河床材料分布を示す。右岸は岩盤で水衝部になっており、水深4 m以上の深い淵が

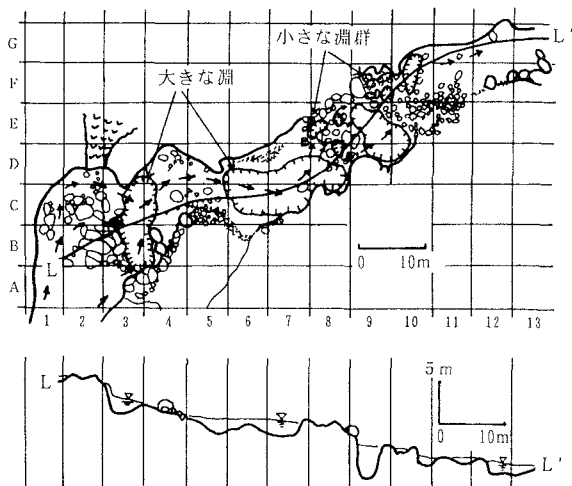


図1 渓流域の淵の構造

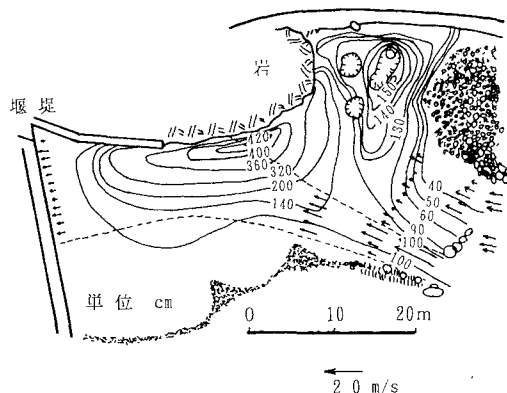


図2(a) 上流域の弯曲部にできた淵の形状

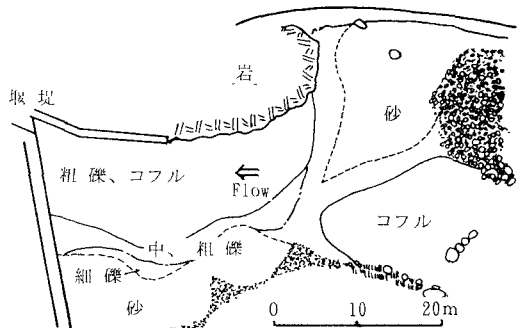


図2(b) 弯曲部の淵の河床材料

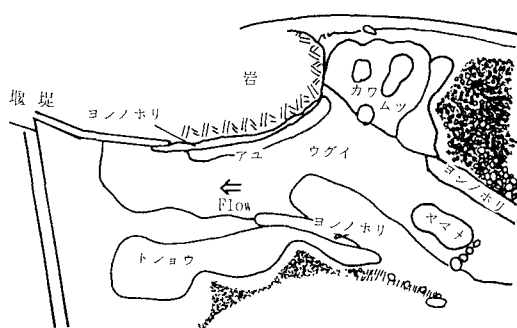


図2(c) 弯曲部の淵周辺の魚類の生息

形成されている。淵の河床材料は粗礫やコブルで構成されている。ここから左岸にかけてのいわゆるかけ上がり部では、河岸に向かって河床材料は細粒化している。淵に向かう流れの個所はコブルで形成されており、その右岸は砂で構成された淀みになっている。図 2(c) はこの淵に生息する魚の分布を潜水調査により調べた結果を示したものである。流速や河床材料の大小に応じて、アユ、ヤマメ、ヨシノボリ、ウグイ、カワムツ、ドジョウなどが住み分かれている。このように、混合砂で構成された弯曲部に自然にできた淵においては、平面的に流速、水深、河床材料が著しく変化し、そのため多くの魚種が淵全体で生息することができる。

2.3 下流域

図 3(a)、(b)は、下流域の砂州の水衝部に形成された淵の等水深線および魚類の生息分布と河床材料分布を示したものである。右岸には局所洗掘を防ぐため根固めブロックが入れられている。最深部で水深240cm 程度であり、前述の弯曲部の淵よりは小規模な淵である。また、浅瀬が砂質土、深みが砂礫で構成されているが、それほど幅広い粒度分布にはなっていない。このようなあまり変化のない河道では多くの魚類の生息は望めないかもしれないが、ここには2 個所に捨て石群が入れられており、潜水調査するとこの付近に多くの魚種が生息している。また、根固めブロックの周辺にも色々な魚類の生息が確認された。このように、下流域にできる淵の周辺では流速や河床材料が上流部ほど顕著に変化しないが、捨て石や根固めブロックを投入することにより流れに変化が生まれ、多くの魚類が生息できる環境を作り上げることができる。

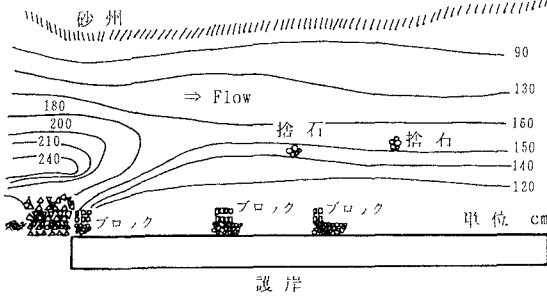


図 3(a) 砂州の水衝部の淵の形状

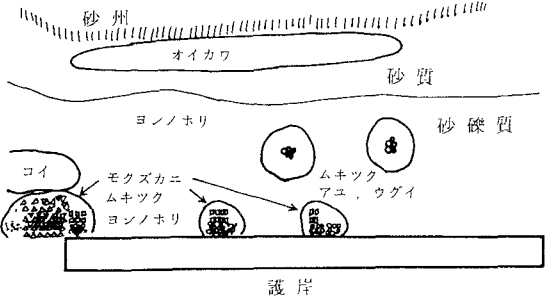


図 3(b) 砂州の水衝部の淵の河床材料と魚類の生息

表 1 調査区間の概要

項目 河川名	勾配	川幅 (m)	河床平均粒径 (cm)
八東川	1/320~1/30	25~78	7.1~32.5
糸白見川	1/14~1/5	3~9	24.6
加地川	1/34~1/7	3~11	測定せず

3. 階段状河床形態上の淵についての現地調査

3.1 調査区間の概要

千代川には色々なタイプの淵が見られ、それぞれ魚類の生息には重要であるが、ここでは、とくに河川上流部や山地渓流に見られる階段状河床形態の淵に着目して、その形成条件や形状特性を検討する。調査したのは、千代川、その支流の八東川および八東川の支川の糸白見川、加地川で、階段状河床形態上の淵の間隔、形状および河床材料の粒度分布などを測定した。調査区間は八東川で6 区間、糸白見川で9 区間（うち支川2 区間）、加地川で9 区間（うち支川3 区間）設定された。一つの区間長は80m から160m であり、その区間の河床形態を簡単な測量によってスケッチし、淵の位置、淵の種類²⁾を明確にした。各区間の平均河床勾配、平均河幅および河床材料の平均粒径は表 1 のような範囲にある。ここに、河床平均粒径は八東川では各調査地点で実測した結果、糸白見川では1 箇所の測定結果である。

3.2 河床の粒度分布

図4は糸白見川の一つの区間の河床全体および階段状河床形態のステップ（段差の部分）の粒度分布を調べた結果を示したものである。湍流部の粒度分布を求めることは難しいが、ここでは、河道をステップの部分、粒径の大きな礫で覆われた部分、砂や礫で構成された部分に分け、資料採集不可能な前2者ではメジャーによる現地計測と写真撮影により粒度分布を求め、後者では淵と瀬で採取された資料のふるい分け試験により粒度分布を求めた。その後、各領域の面積比を考慮して全体の粒度分布を算定した。ステップは河床材料の中の約80%粒径よりも大きな礫で構成されている。また、ステップの平均粒径は河床材料の平均粒径の約4倍、10%粒径は約2倍程度であり、ステップの最小粒径は河床材料の平均粒径とほぼ一致している。

3.3 形状特性

図5は階段状河床形態の淵の間隔（階段状河床形の波長に相当）の河川上流方向への変化を調べた結果を示したもので、階段状河床形が発生していなかったり、部分的に発生している地点はその位置のみが示されている。河口から約22km付近から上流に階段状河床形態が見られはじめ、約30kmより上流に明確な階段状河床形態の淵が存在していた。この図からわかるように上流ほど淵の間隔は狭くなり、とくに八東川から両支川に入り河床勾配が増加すると間隔が急激に減少している。ついて、淵の段差（ステップの部分の河床の段差）を河床材料の平均粒径で無次元化すると1から4の間の値になり、ステップの構成材料の最小粒径から平均粒径までの段差の淵が洪水の規模に応じて形成されるものと考えられる。図6は淵の落差と水深の関係を示したもので、落水脈が高いほど大きな淵が形成されている。参考に落差型の淵の場合の結果も示しているが、ほぼ同様の傾向が見られる。淵の長ささと深さの比の値は、0.05から0.25の間でばらついているが、平均すると約0.1付近に集中しており、淵の縦断形状はほぼ相似形であるとみなせる。

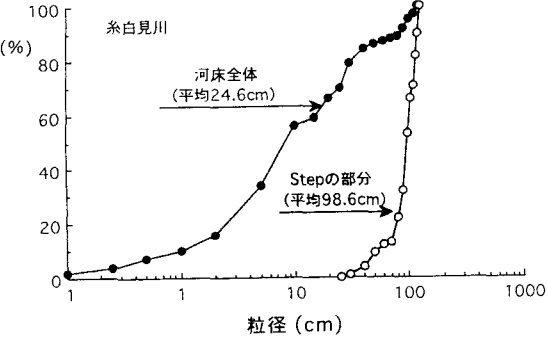


図4 河床材料の粒度分布

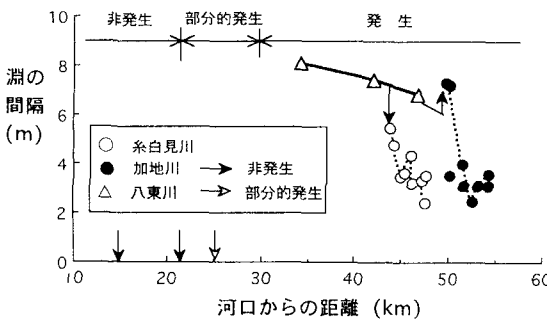


図5 淵の間隔の河川上流方向への変化

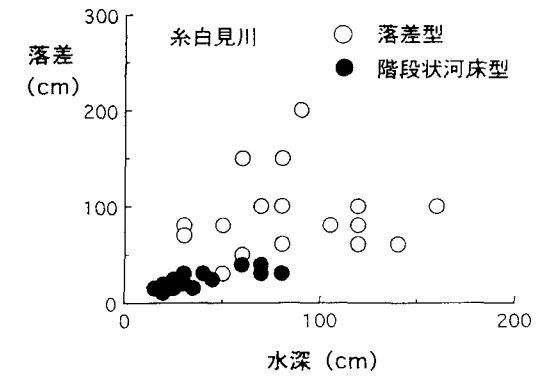


図6 淵の落差と水深

4. 階段状河床形態上の淵についての理論的考察

4.1 淵の発生条件

芦田らの研究³⁾によると、階段状河床形の発生条件は、① 河床材料が混合砂であること、② 流れが射流であること、③ 初期河床の平均粒径 d_m あるいはそれよりも大きい粒径 βd_m の礫が移動して、分級現象が活発であること、④ 最大粒径程度 γd_m の礫は移動しないことである。階段状河床形態上の淵の発生領域は、これらの条件を考慮すれば水深平均粒径比 h/d_m と無次元掃流力 τ_{*m} をパラメータとして描かれる。図7はそ

れを示したもので、Upper flow regime と Lower flow regime の境界線（条件②）、活発な分級作用を表す線（条件③）および最大粒径の移動限界線（条件④）で囲まれた領域が淵の発生領域である。ただし、相当粗度高と d_m の比は3.0、砂礫の比重は2.65、 $\beta=1.0$ とした。また、条件④についてはステップの構成材料の平均粒径が移動しない条件になるものとし、図4を考慮して γ は4とした。参考のために、ステップの構成材料の10%粒径の礫の移動限界も示している。図7には、1、5、20年確率の洪水に対する各調査地点の h/d_m と τ_{*m} の計算結果を淵の発生・非発生別に示している。計算は等流状態を仮定し、糸白見川および加地川の平均粒径は全て24.6cm、八東川の平均粒径は表1に示すようなそれぞれの地点の値を用いた。この図から5年確率と20年確率の流量のとき理論上の発生領域に淵が発生していることがわかる。1年確率の洪水では掃流力が小さいために活発な土砂移動が起きず、階段状河床は発生しない。20年確率の洪水に対する結果では、ステップの構成材料の10%粒径以上の礫が移動する条件になる地点が多くある。したがって、このような洪水では図4のような材料からなるステップは不安定になるものと考えられ、一度形成された淵が破壊されることもあり得るものと考えられるが、この点についてはステップの強度について検討して行く必要がある。以上より、千代川では5年確率の流量より大きい流量の洪水のとき階段状河床形態上の淵が形成されるものと推察される。

4.2 淵の間隔

芦田らの研究³⁾によると、階段状河床波の波長は反砂堆の波長と等しいものとして、ケネディーの式 $F_r^2 = (2 + k_* \tanh k_*) / (K_*^2 + 3k_* \tanh k_*)$ で求められる。ここに、 $k_* = 2\pi(h/\lambda)$ であり、 F_r ：フルード数、 λ ：波長である。したがって、階段状河床形態の淵の間隔も上式の λ で求められる。図8はケネディーの理論曲線および各調査地点における淵の間隔の実測値と5年確率および20年確率洪水に対する水理量から求めた k_* と F_r を示したものである。これより、5年確率洪水に対して両者はほぼ一致している。現在存在している階段状河床形態は過去の洪水履歴のもとに変形しながら形成されたものであるが、図7、8から判断すると淵の発生や間隔に関する支配流量

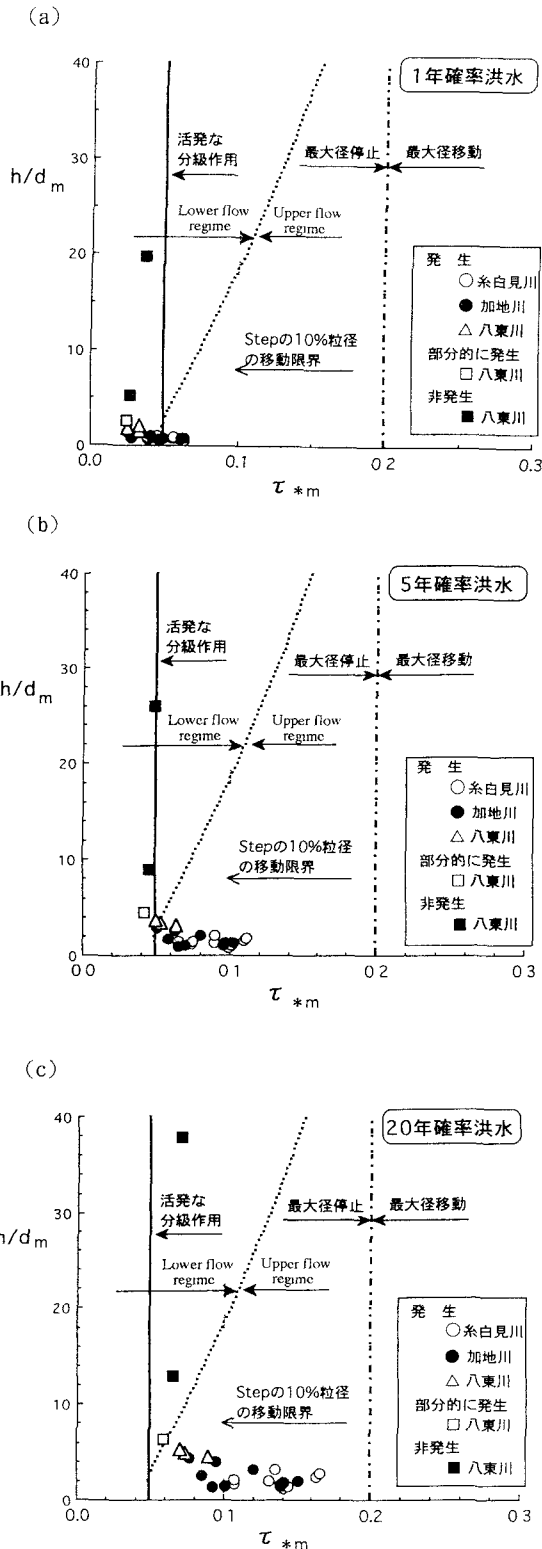


図7 (a)～(c) 階段状河床形態の淵の発生条件

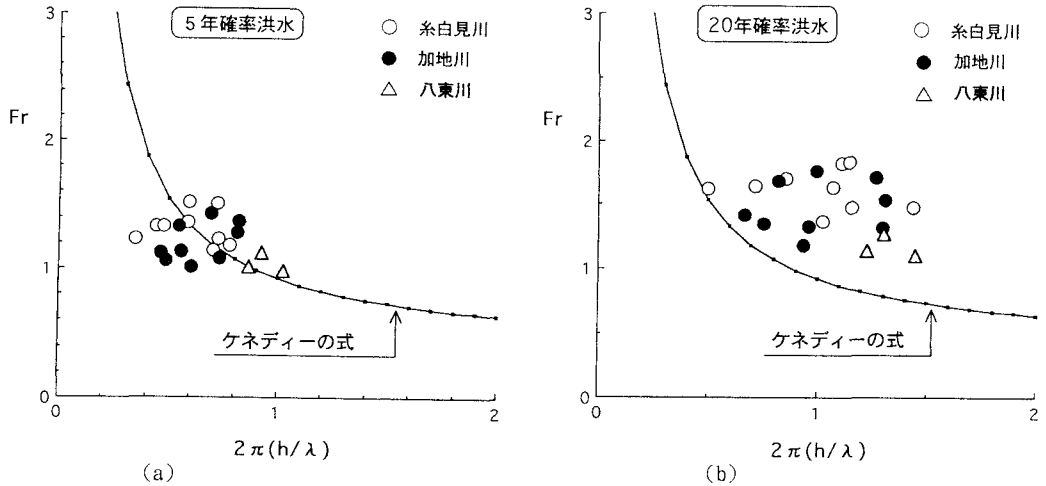


図 8 (a)、(b) 階段状河床形態の淵の間隔

は 5 年確率の洪水に対するものであると言える。また、このように、各河川において階段状河床形態上の淵の形成に係わる支配流量がわかれば、上式より淵の間隔が推定でき、今後人工的な淵を造成するときの目安を得ることができる。

5. 結 語

本研究では千代川の淵の構造と魚類の生息状況について調査するとともに、とくに階段状河床形態の淵の形状特性について調査と理論から検討した。以下に本研究の結果を列挙する。

- (1) 河川上流部のわん曲型の淵の個所は、流速や水深のみならず河床材料も平面的に顕著に変化するため、多種多様な魚類が生息できる環境が備わっている。
- (2) 河川下流部にてきる砂州型の淵では、わん曲型の淵に比べて流速、水深、河床材料などの変化が少ないが、護岸にブロックを置いたり、流れの中心に捨て石を沈めておくとも様な魚類の生息地になり得る。
- (3) 千代川に現在見られる階段状河床形態上の淵は、過去の流量履歴によって形成と破壊を繰り返して形成されたものと思われるが、発生条件や淵の間隔の点から考えると、その間隔は約 5 年確率の洪水に対する理論的な階段状河床形のプールの間隔とよく対応している。
- (4) 階段状河床形態上の淵の段差はステップの構成材料の最小粒径から平均粒径の間で、長さや深さの比は約 0.1 である。

なお、本研究を遂行するにあたり、西田威君、青木聡君、平井淳一君（当時鳥取大学工学部 4 年生）の協力を得た。また、本研究の一部は、河川環境管理財団の研究助成金の援助を受けて実施された。ここに記して各位に謝意を表する。

参 考 文 献

- 1) (財) リバーフロント整備センター：まちと水辺に豊かな自然を II、山海堂、pp. 17-19、1992。
- 2) 藤田正治、道上正規：千代川の淵の構造と魚類の生息、鳥取大学工学部研究報告、1995、(投稿中)
- 3) 芦田和男、江頭進治、安藤尚美：階段状河床形の形成機構と形状特性に関する研究、第 28 回水理講演会論文集、pp. 743-749、1984。