

鳥取大学 工学部 道上 正規
 鳥取大学 工学部 ○ 藤田 正治
 (株)フジタ技術研究所 池見 拓

1. はじめに

山地河川の淵の存在は、良好な生物の生息空間や河川景観を与えるうえで不可欠な要素である。淵の形成には多くの要因が関係しているが、淵の形状や間隔を決定する主な条件は、河道条件、水文条件および土砂生産条件である。したがって、生物の生息や景観上良好な淵の構造をもった河川造りを進めていくうえで、淵の形成過程や形状特性を上述の3つの条件と関係づけて明らかにすることが重要である。本研究は、鳥取県の千代川およびその支流において、山地河川の代表的な淵である階段状河床型の淵に着目し、その形状および間隔、河床材料の粒度分布などについて調査し、淵の形成過程や形状特性について河道形状や既往流量を考慮して検討するものである。ここで、階段状河床型の淵とは、波高や波長が水理学的に規定される階段状河床形態のプールの部分が発達して形成されたものである。

2. 調査地点の概要

図1に示す千代川の支流の八東川、その支流の糸白見川および加地川において、階段状河床型の淵の間隔、深さおよび河床材料の粒度分布などについて調査した。調査区間は八東川で6区間、糸白見川で9区間（うち枝谷2区間）、加地川で9区間（うち枝谷3区間）設定された。各区間長は80m から160mである。糸白見川においては、1区間だけ平板測量、水準測量等により淵・瀬の構造を詳細に測定した。各区間の平均河床勾配、平均河幅および河床平均粒径は表1のような範囲にある。

図2は、糸白見川および加地川における典型的な階段状河床型の淵の連続構造の例として、糸白見川で測定した河床の平面図を示したものである。図中には、瀬と淵の位置とともにステップ（淵の上流の段差）の位置を水流の落差別に示している。弯曲部や狭窄部には土石流の堆積によると思われる大きな落差があり、その間に小さな階段状河床型の淵が点在している。全ての淵の平均間隔は3.2m、10cm以上の落差のものが5.0m、20cm以上の落差のものが5.6mであり、様々なスケールの淵が共存していることがわかる。図3は、淵の間隔（階段状河床形の波長）の流下方向の変化を調べた結果を示したもので、階段状

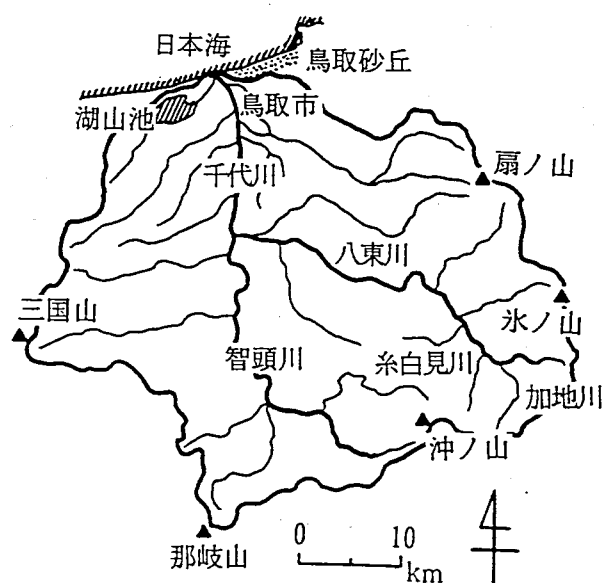


図1 調査河川

表1 測定区間の勾配、川幅および河床平均粒径

項目	勾 配	川 幅	河床平均粒径
河川名		(m)	(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

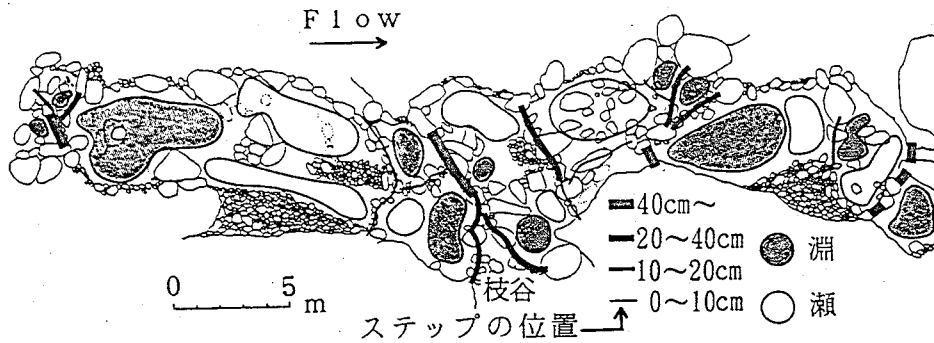


図2 淵・瀬の連続構造

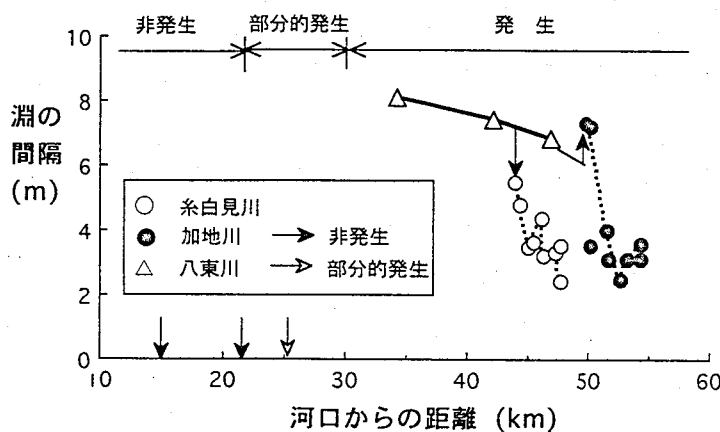


図3 階段状河床型の淵の発生区域と淵の間隔の変化

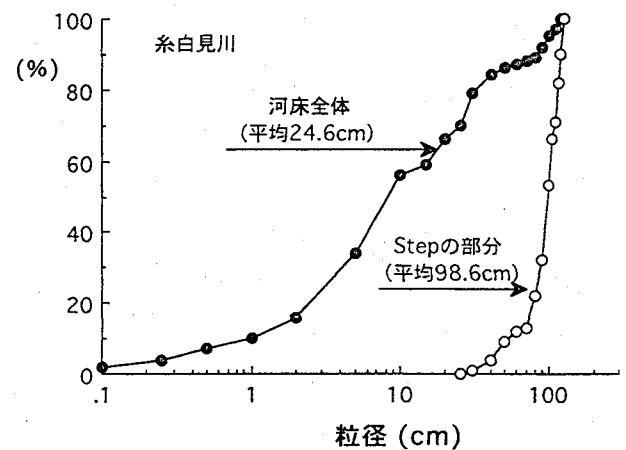


図4 河床およびステップの粒度分布

河床形態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示されている。河口から約22km付近から階段状河床形態が見られはじめ、30kmより上流には明確な階段状河床型の淵が見られた。上流ほど淵の間隔は狭くなり、とくに、八東川から支川の両河川に入ると間隔が急激に減少している。図4は、図2に示す区間の河床材料および全てのステップの構成材料の粒度分布を求めた結果を示したものである。ステップは河床材料の中の80%粒径よりも大きな礫で構成されており、大きなステップほど大きな粒径の礫で構成されている。また、全ての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. 階段状河床型の淵の発生条件と支配流量

芦田らの研究によると¹⁾、階段状河床形態の発生の条件は、① 河床材料が混合砂であること、② 流れが Upper flow regime 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、分級現象がかなり活発であること、④ 最大粒径程度 γd_m の礫は移動しないことである。②、③、④の条件はそれぞれ次式のように表わされる。

$$\frac{h}{d_m} \leq \left[6 + 5.75 \log \frac{h}{\alpha d_m} \right]^2 s \tau_{*m} \dots\dots\dots (1)$$

$$\tau_{*m} = \frac{u_*^2}{s g d_m} \geq \beta \tau_{*cm} \dots\dots\dots (2)$$

$$\tau_{*m} = \frac{u_*^2}{s g d_m} \leq \gamma \tau_{*cm} \dots\dots\dots (3)$$

ここに、 h ：平均水深、 d_m ：平均粒径、 τ_{*m} ：平均粒径に対する無次元掃流力、 α ：相当粗度高と d_m の比、 s ：砂礫の水中比重、 u_* ：摩擦速度、 g ：重力加速度である。式(1)、(2)および(3)は、それぞれ条件②、③、④に対するものである。

式(1)～(3)を使えば、階段状河床型の淵の発生領域が h/d_m と τ_{*m} をパラメータとして与えられる。図5(a)はそれを示したもので、Upper flow regime とLower flow regime の境界線、最大粒径の移動限界線および活発な分級作用を表す線で囲まれた領域が淵の発生領域である。ただし、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、観測値から γ は4とした。また、 α および β はそれぞれ3および1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されている。この図には、5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24.6cm、八東川の平均粒径は表1の値を用いた。理論上の発生領域に淵の発生が見られる。したがって、現在千代川に見られる階段状河床型の淵はほぼ5年確率の洪水で形成される階段状河床形に対応している。図5(b)は20年確率の洪水に対する結果である。このときも理論と実際の発生領域は一致しているが、ステップの構成材料の10%粒径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のような材料から成るステップは不安定になるものと考えられる。また、このような大洪水時には、以前に形成された淵が破壊されることも考えられるが、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、千代川の階段状河床型の淵の形成に係わる支配流量は5年確率の洪水に対するものであることが推察される。

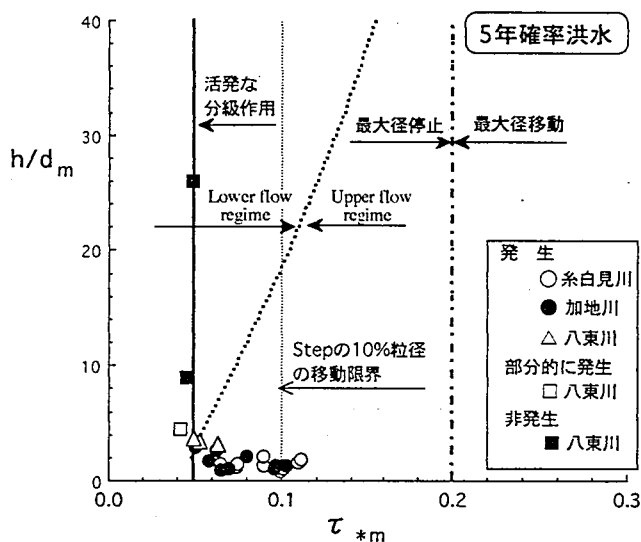


図5(a) 階段状河床型の淵の発生条件

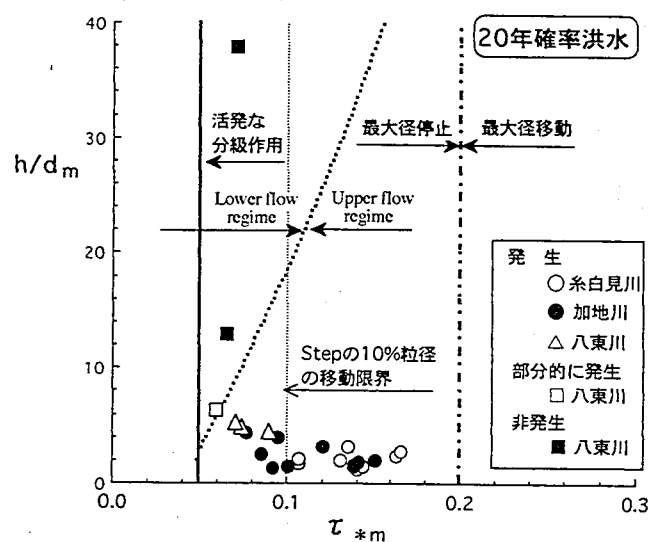


図5(b) 階段状河床型の淵の発生条件

4. 淵の間隔と形状

芦田らの研究によると¹⁾、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、つぎのようなケネディーの式で求められる。

$$F_r = \frac{2 + k_* \tanh k_*}{k_*^2 + 3k_* \tanh k_*} \dots\dots\dots(4)$$

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、階段状河床型の淵の間隔も上式の λ で求められる。図6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年確率の洪水に対する水理量から k_* と Fr を求めたものを示したものである。これより、千代川では、階段状河床型の淵は5年確率の洪水のときの階段状河床形の波長に対応して形成されており、また河川の淵形成に係わる支配流量がわかれば式(4)より淵の間隔が推定できることがわかる。また、図4に示す20cm以上の落差の淵は、式(4)から逆算すると19年確率の洪水に対応して形成されるものと考えられ、実際の河川には、色々な洪水に応じたスケールの違う淵が共存している。図7は、各区間の淵の深さ(ステップの部分の段差)の平均値 Δ と5年確率洪水に対する無次元掃流力との関係を示したものである。淵の深さを河床材料の平均粒径で無次元化すると1から4の間の値となり、ステップの構成材料の最小粒径から平均粒径までの深さの淵が、洪水の規模に応じて形成されるものと考えられる。図8は、淵の長さ(水深)と水深との関係を示したもので、両者にはほぼ正の相関が見られ、落水脈が高いほど大きな淵が生じている。

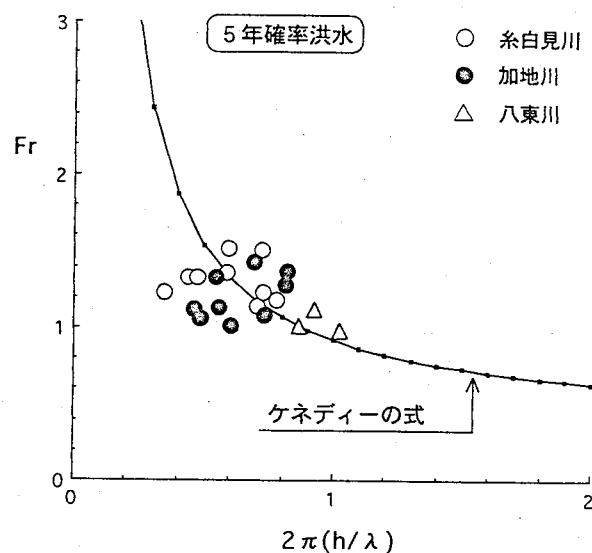


図6 階段状河床型の淵の間隔と Fr の関係

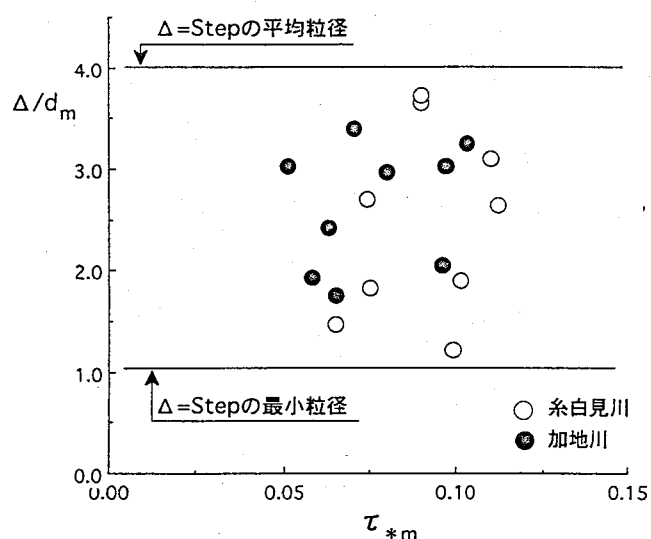


図7 階段状河床型の淵の深さ

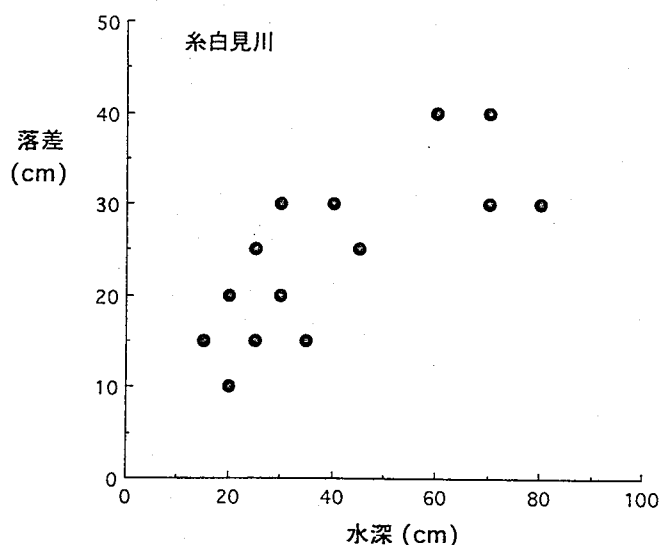


図8 落差と水深の関係

5. おわりに

千代川には色々な洪水に対するスケールの異なる階段状河床型の淵が共存しているが、小さい淵も含めた淵・瀬の構造はほぼ5年確率の洪水で形成される階段状河床形に対応している。この結果より、河道になじんだ淵・瀬の構造を明確にすることができる。しかし、実際には、過去の出水の履歴を通して現在の淵・瀬の構造が形成されているので、一旦形成された淵が発達したり破壊されたりする過程も明らかにする必要がある。最後に、本研究の一部は(財)砂防・地すべり技術センターの研究助成金の援助を受けて行われた。また、調査・解析にあたっては宮本邦明氏(鳥取大学地域共同研究センター)ならびに平井淳一君(鳥取大学学生)の協力を得た。ここに、記して謝意を表す。

参考文献 1) 芦田・江頭・安東、第28回水理講演会論文集、1984、pp. 743-749。