

河床への伏流浸透を考慮した河道水面形の数値解析

名城大学理工学部 正員 原田 守博

名城大学理工学部 学生員○今枝 伸夫

名城大学理工学部 学生員 海老子川 環

1. はじめに

日本の多くの河川では、ダムの建設によりその下流では水のない枯渇状態が発生し、生態系や河川環境について様々な問題が生じている。こうした河道の枯渇問題を改善するために、環境維持流量が放流され、一部で成果を挙げている。しかし、放流量が不十分であると流水の多くが河床に伏流浸透してしまい、流況改善が見られない場合も考えられる。したがって、環境維持流量の評価においては、河床への伏流量を見積りつつ、河道の流況を検討することが重要となる。本研究は、河谷堆積層への伏流現象を考慮することにより河道の水面形を検討する。

2. 対象とする河川形態と解析手法

(I) 河道水面形の解析：本研究では、研究の第一歩として、図-1に示すようなダムから下流に直線的に流下する河川を対象とする。流水は河川幅の中央に位置する河道を流れるものとし、河道の両側には幅 w の浸透性河床が広がっている。河床への伏流を伴う一様断面水路の水面形方程式は、次式の通りである¹⁾。

$$\frac{dH}{dy} = \frac{\sin I - \frac{n^2 Q_r^2}{R^{4/3} A^2} + \frac{\beta Q_r q}{g A^2}}{\cos I - \frac{\beta Q_r^2 B}{g A^3}} \quad (1)$$

ここに、 H ：河道水深、 y ：流下距離、 I ：河床勾配、 n ：マンニングの粗度係数、 Q_r ：河道流量、 R ：径深、 A ：河積、 β ：エネルギー補正係数、 g ：重力加速度、 B ：河道の水面幅である。

(II) 伏流浸透流の解析：上式中の q は河道から河床への単位長さ当たりの伏流量であるが、流下に伴って変動すると考えられる。いま、浸透性河床の層厚および透水係数を空間的に一様とし、河床中の浸透流はデュビーの仮定に従う不圧流であるとすれば、その支配方程式は、

$$H_a \left(\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} \right) - I \frac{\partial \phi}{\partial y} = 0 \quad (2)$$

ここに、 ϕ ：伏流水のポテンシャル、 x ：側岸から河道に直交する方向に測った水平距離、 y ：流下距離、 H_a ：河道近傍の伏流水深、 I ：河床勾配である（図-2参照）。伏流強度 $q(y)$ は上式(2)を解くことにより求められるが、その際、境界条件として河道の水深 $H_r(y)$ を設定することが必要となる。しかし、前述のように、河道の水面形を知るには伏流量の分布 $q(y)$ を与えなければならず、河道水深 H と伏流量 $q(y)$ は互いに境界条件としての役割を果たしている。したがって、式(1)と式(2)は連立して解くことが必要となるため、ここでは、両者を交互に解析し解を互

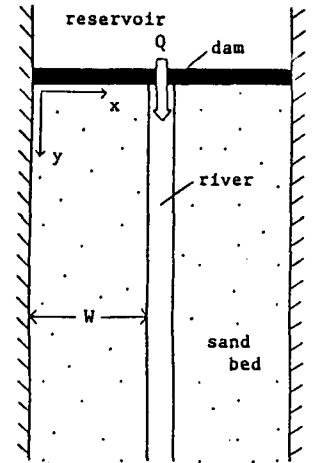


図-1 対象とする河川形態

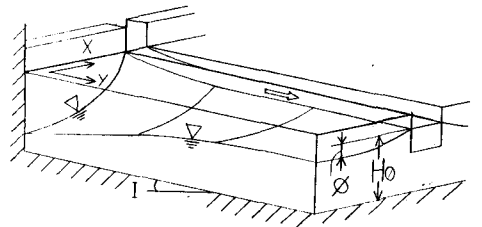


図-2 伏流現象の模式図

いに収束させる手法を採用する。解析の手順は以下のようである。

- ① 河道水深 H を一定値与えて式(2)を差分法にて数値解析し、伏流量の第1近似値 $q(y)_1$ を求める。
- ② $q(y)_1$ を式(1)に代入し、ルンゲクッタ法にて河道水面形の第一近似値 $H_r(y)_1$ を求める。
- ③ $H_r(y)_1$ を境界条件として式(2)を再び解き、伏流量の第2近似値 $q(y)_2$ を求める。
- ④ ②～③を解が収束するまで反復する。

なお、ここでは伏流による河道水面形の変化を知ることを目的とするので、水面形は等流状態を基本とする。

3. 解析結果の一例

解析の一例として、表-1に示す河川形態について計算を行なった。図-3は、河道からの伏流量 q とそれによって変動する河道流量 $Q_r(y)$ の流下方向の場所的分布を示している。図において、各地点の河道流量 $Q_r(y)$ はその地点までの伏流総量($q(y)$ の積分値)だけ減少する。この図によると、 $q(y)$ はダム直下では大きいものの、流下するに伴って急速に減少し、ある程度下流ではほとんどゼロになっている。また、 $q(y)$ の値は河床幅 w が広い場合の方が大きく、より下流まで伏流が生じている。これらの結果、河道流量 $Q_r(y)$ は一定値に漸近することになるが、 $w=160\text{m}$ の場合で見れば、ダム地点での $11\text{m}^3/\text{s}$ から $8\text{m}^3/\text{s}$ へと3割近くも減少していることが分かる。

図-4は、同じ計算ケースにおける河道水深の流下方向の変化を示している。図-3に示したように伏流現象はダム直下で強く生じているので、水深は上流部で大きく減少し、しだいに等流水深に近づく様子が認め

表-1 計算に用いた数値

n	0.05
β	1.00
l	1/100
B	5 m
$Q_r(y=600\text{m})$	$7.99\text{m}^3/\text{sec}$

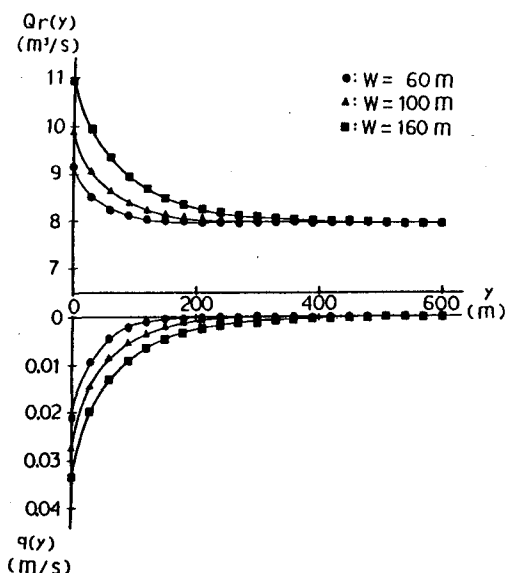


図-3 河道流量および伏流強度の変化

られる。また、河床の幅 w が広い場合ほど伏流量が多いため、水深の変化も大きくなっている。しかし、その変化幅は数cm程度であって、流量の変化に対して水深変化はごく僅かであると言えよう。

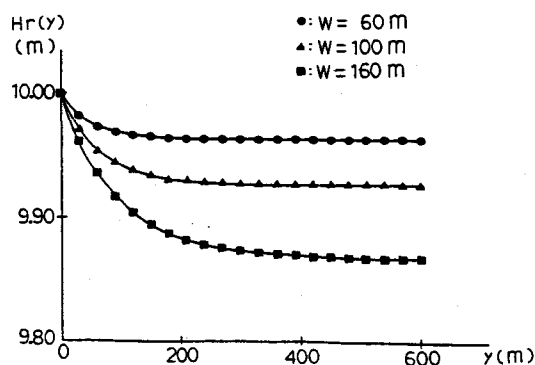


図-4 河道水深の変化

4. おわりに

本研究では、ダムから直線的に流下する河川を対象とし、伏流が生じる場合の河道の水面形を解析した。その結果、ダムからの放流水が河道を流下するのに伴い、河道流量は著しく減少してしまうものの、河道水深にはさほど大きな影響を及ぼさないことが明らかになった。

参考文献 1) たとえば、椿 東一郎：水理学 I，pp.169-171，森北出版，1973。 2) 原田守博：環境維持流量評価のためのダム下流部の伏流過程に関する考察，環境システム研究，vol. 21，pp.85-93，1993。