

II-186 ダム下流部における河谷堆積層への伏流過程

名城大学理工学部 正会員 原田 守 博

1. はじめに

ダム下流部のいわゆる減水区間では、河道の枯渇化により、生態学的のみならず景観的にも種々の問題が生じ、流域住民にとって劣悪な河川環境となっている。近年この問題を改善するために、貯水池から環境維持流量として一定量の放流が行われている。放流量は流域面積100km²当り0.3~0.5m³/sec程度が目安とされている¹⁾が、維持流量は流域の特性や対象地点によって変動するため、画一的な基準で議論すべき性格のものではない。とくに、河谷内に厚い浸透性河床が形成された流域では、放流量の一部が河床に伏流浸透し、期待された流況の改善が見られない場合も考えられる。本研究は、こうした流域を対象に、ダム下流部における伏流水のポテンシャル分布ならびに伏流量について、基礎方程式に基づき理論解析を行い、水理実験の結果と比較することによって、環境維持流量を伏流現象も考慮しつつ評価しようとしたものである。

2. 問題の設定

河川水の伏流過程の解析は、従来より、河川の横断断面における伏流水面や浸透流量を鉛直二次元問題として扱ったものが多い²⁾が、ここでは見方を変えて、図-1のように、ダムから下流にまっすぐに延びた河川を平面的に捉え、河川水が河道から有限の幅をもった堆積河床に飽和浸透してゆく状況を考える。

解析に当たって以下の仮定をおき、ダムからの放流量が与えられたときの伏流浸透流の平面ポテンシャル分布ならびに河道からの伏流強度の分布と伏流総量を、河床堆積層の透水係数と河道水深および河道から側岸までの河床幅と河床勾配を媒介として議論することとする。

- (1) 河谷の底面は流下方向のみに一定勾配で傾斜している。
- (2) 河谷堆積層の層厚および透水係数は空間的に一定とする。
- (3) 伏流水はデュビーの仮定に従い、基礎式は線形化して扱える。
- (4) 河道の水深は近似的に一定とし、定常流れを取り扱う。

3. 伏流に伴う堆積河床中の定常ポテンシャル分布

上述の仮定により、伏流水の支配方程式は次式のようになる。

$$H_0 \left(\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} \right) - I \frac{\partial \phi}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

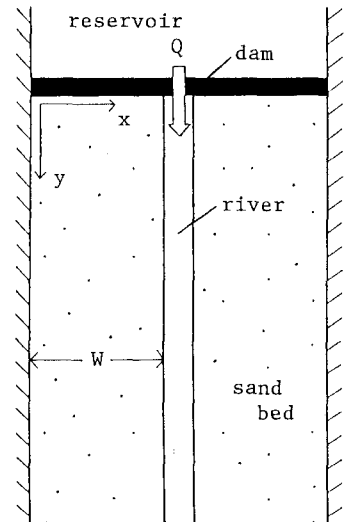


図-1 対象とする河川形態

ここに、 x ：側岸から横断方向に測った距離、 y ：ダム地点から河床に沿って流下方向に測った距離、 H_0 ：伏流水の代表水深であり、ここでは河道近傍の伏流水深とする。I：河谷の流下方向の勾配であり、河谷底面の標高を $z(y)$ とすると、緩勾配では $I \equiv -\partial z / \partial y (>0)$ である。 $\phi(x,y)$ ： H_0 を基準として測った伏流水面までの距離であり、伏流水の水深は $H_0 + \phi(x,y)$ で表される。ただし、 $H_0 \gg \phi(x,y)$ である。

河道は河谷の中央に位置するものとして、右岸側のみについて解析を行うことにすれば、境界条件は、

$$x=0; \quad \frac{\partial \phi}{\partial x} = 0 \quad (2)$$

$$x=w; \quad \phi = 0 \quad (3)$$

$$y=0; \quad \frac{\partial \phi}{\partial y} = I \quad (4)$$

$$y \rightarrow \infty; \quad \frac{\partial \phi}{\partial y} \rightarrow 0 \quad (5)$$

ここに、 w ：側岸から流水の存在する河道までの距離である。式(2)は側岸が不透水であること、式(3)は河道が伏流水にとって境界水位となっていることを意味する。式(4)はダムが不透水壁でダム直下の水面勾配

は水平であること、式(5)は十分に流下した地点の水面勾配は河床勾配に等しくなることを表している。

さて、これらの境界条件のもとで基礎式(1)を解けば、伏流水の平面的なポテンシャル分布 $\Phi(x, y)$ は、

$$\Phi(x, y) = \{H_0 + \phi(x, y)\} \cos I + z(y) \quad (6)$$

$$\text{ここに、} \phi(x, y) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{4 I \cdot (-1)^{n+1}}{(2n-1) \pi \cdot P_n} \cdot e^{-P_n y} \cos \frac{(2n-1) \pi}{2 w} x \quad (7)$$

$$P_n = \frac{1}{2} \left[-\alpha + \left\{ \alpha^2 + \left(\frac{(2n-1) \pi}{w} \right)^2 \right\}^{1/2} \right], \quad \alpha = \frac{I}{H_0} \quad (8)$$

上式によって得られる右岸側のポテンシャル分布の一例を示したものが図-2である。このケースでみれば、伏流水の水面形はダムの下流部で横断方向に大きく傾斜しているものの、数百mほど下流では河道水位とほぼ同じレベルまで上昇し、あとは河床勾配に従って流下する様子が分かる。

4. 河道に沿った伏流強度の場所的変化と伏流総量

河道から河床堆積層への伏流強度すなわち単位幅当りの伏流量 $q(y)$ は、

$$q(y) = K \cdot H_0 \left. \frac{\partial \Phi(x, y)}{\partial x} \right|_{x=w} = \frac{2 K H_0 I}{w} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{e^{-P_n y}}{P_n} \quad (9)$$

ここに、 K ：河谷堆積層の透水係数であり、ダムから流下距離 L までの伏流総量 $Q_s(L)$ は次式で表される。

$$Q_s(L) = \int_0^L q(y) dy = \frac{2 K H_0 I}{w} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(1 - e^{-P_n L})}{P_n^2} \quad (10)$$

したがって、距離 L での河道流量 $Q_r(L)$ は、ダムからの放流量を Q とすると、 $Q_r(L) = Q - 2 Q_s(L)$ まで減少する。図-3は、式(9)(10)から求められる伏流強度 q と伏流総量 Q_s の流下方向の変化である(w, H_0, I の値は図-2と同様)。図から分かるように、伏流強度はダム直下で大きな値となっているが、流下に伴って急速に減少しており、伏流総量は一定値に漸近している。これはポテンシャル分布(図-2)に対応したもので、ある程度流下したのちには、河床中の浸透流は河道流れとほぼ平衡状態になることを意味している。

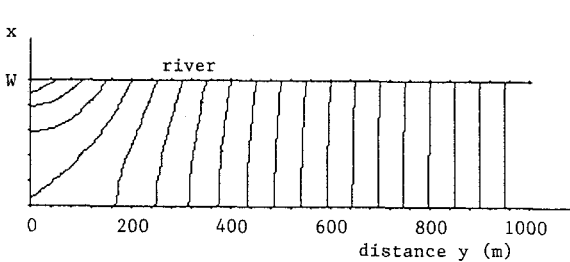


図-2 伏流水の平面ポテンシャル分布

[$w=250\text{m}$, $H_0=10\text{m}$, $I=1/100$
右岸側, コンターライン: 0.5m 間隔]

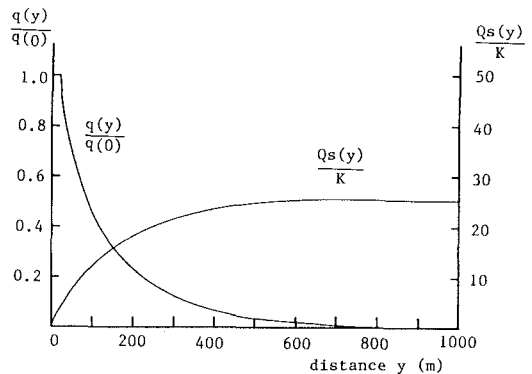


図-3 伏流強度と伏流総量の流下方向の変化

5. おわりに

理論解の妥当性を検証するために、河道に対応する開水路と河谷堆積層に相当するガラスビーズ層とを結合した模型河川を作成し、水理実験を実施した。ビーズ層中の浸透流をインクを用いて可視化したところ、伏流水の流れはポテンシャル分布の解析結果とよく一致し、上述の理論展開が有効であることが示された。今後、河道が蛇行によって湾曲している場合についても、理論的検討を進める予定である。

参考文献 1) 大滝克彦：中小水力開発に伴う維持流量決定の具体的事例，新エネルギー財団水力本部，1982。

2) たとえば，Muskat, M. : The Flow of Homogeneous Fluids through Porous Media, McGraw-Hill, 1937。