

透水性河床をもつ河川の伏没過程に関する水理実験

名城大学理工学部 正員 原田 守博

同 上 柘植 裕介

同 上 平出 亮輔

1. はじめに

扇状地のように地盤の透水性が高い地域では、河川水が河床に伏流し、流量の減少する河川が少なくない。とくに、上流でダムなどにより取水される場合には、河道が枯渇して水無し川となるケースも発生する。その結果、しばしば「河原砂漠」に近い状況も生じている。こうした問題を改善し、潤いのある水辺環境を再生するためには、河川の流れと河床中の浸透流との交流関係を考慮しつつ、河川の維持流量を評価することが必要となる。本研究は、河川水の河床への伏没過程を明らかにするために、浸透層の上を流れる開水路流れについて水理実験を行なうとともに、理論的解析との比較検討を試みたものである。

2. 水理実験

浸透層上の開水路流れについては従来からいくつかの研究があるが、流水が完全に伏没する現象については行われていない。そこで研究の第一歩として、図-1のようなガラスビーズによる浸透層をもつ小規模水路（長さ $L=405\text{cm}$ 、幅 $B=3.3\text{cm}$ ）を制作し、伏没現象の諸特性を調べることを試みた。この水路では、上流端からの流入によって浸透層上の流れが生じるが、ある割合が浸透流となって伏流し、状況によっては流量全部が伏流する「伏没点」が生じる。実験では、上流端での流量 Q や水路勾配 i_0 、浸透層の透水係数 k などを変えて、流水の水面形や伏没点の位置に及ぼす影響を検討した。浸透層（厚さ $m=9.5\text{cm}$ ）には粒径の異なる3種類のビーズを用いたが、ここでは透水性が高い粗粒ビーズ（平均粒径 $d_{50}=1.5\text{mm}$ 、透水係数 $k=1.2\text{ (cm}^3/\text{sec)}$ ）の場合について報告する。

3. おもな実験結果

まず、ビーズ河床の流水抵抗を調べるために、浸透層が無い水路の河床にビーズを貼りつけ、さまざまな流量 Q や水路勾配 i_0 に対して、図-2のような水深分布を求めた。図中に示した等流水深は Chezy 係数を $C=70$ 程度の値 (cm, sec 単位)とした場合であるが、他のケースにおいても Chezy 係数は同様な値となることが分かった。また、水路下端の低下背水は、わずか数 cm の区間で認められるのみである。

つぎに図-3は、浸透層が無い場合とある場合について、流量と水路勾配が同じときの河床上の水深分布を重ねて示したものである。これを見ると、浸透層が存在することによって、上流端から370 cm 付近で伏没

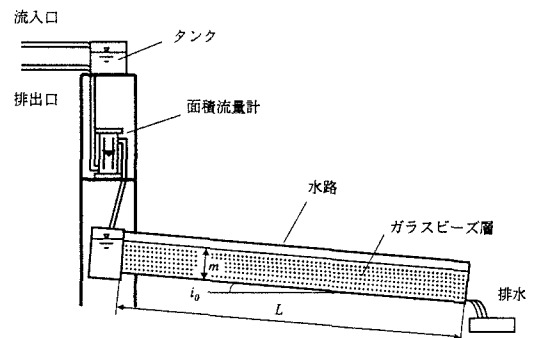
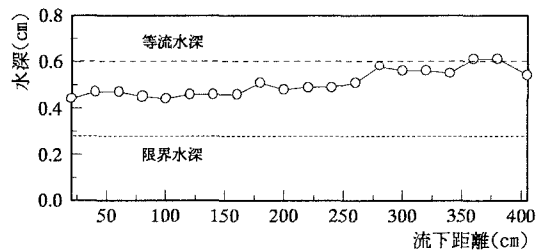
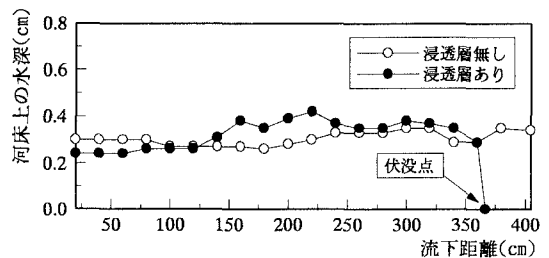


図-1 実験水路

図-2 浸透層が無い場合の水深分布
($Q=5.5 \times 10^4 (\text{cm}^3/\text{hr})$, $i_0=1/50$)図-3 浸透層がある場合と無い場合の比較
($Q=2.5 \times 10^4 (\text{cm}^3/\text{hr})$, $i_0=1/50$)

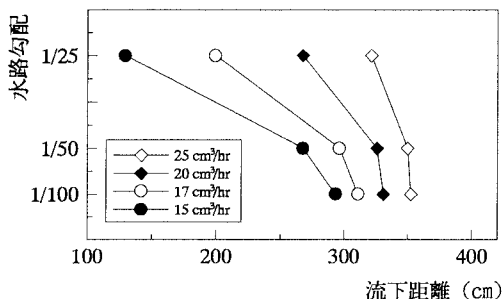


図-4 水路勾配による伏没点の位置変化

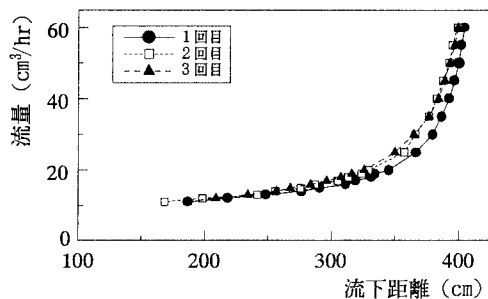


図-5 流量による伏没点の位置変化

が生じていることが分かる。また、水深分布を詳細に見ると、浸透層への伏流によって、水深は上流部で小さくなっているが、伏没地点に近づくにつれて増加する様子が認められる。この傾向は、他の実験ケースにおいても認められた。図-4は、流量を固定して水路勾配を変えたときの伏没点までの距離を比較したものである。図によると、勾配が 1/100, 1/50, 1/25 と変化するにしたがって、上流端から伏没点までの距離は短くなる。これは、勾配を急にすると浸透層中で流速が速くなり、伏流量が増加するためと考えられる。

図-5は、水路勾配を 1/50 に固定し、流量を変化させたときの伏没点の位置変化を示したものである。これによると、流量が増えるにつれて伏没点は下流側へ移動するものの、その変化は一様でない。これは、水路長が有限であり、水路下端から流下距離 350cm くらいまでは下端の影響を受けているためと考えられる。なお、同じ流量であっても、実験によって伏没点は平均 15cm ほど異なっている。これは、浸透層の締め具合の違いにより生じたものであろう。

4. 水理解析

河床上の単位幅流量 $q(x)$ は、上流端からの流入流量を q_0 、河床中の浸透流量を $q^*(x)$ とすると、連続式(1)が成り立つ。流量 $q(x)$ が流下方向に減少する場合の水面形方程式は、水路勾配 i_0 が小さい場合について Chezy 則を用いると、式(2)となる。ここに $h(x)$: 河床上的水深である。浸透流量は、透水係数を k 、浸透層厚を m とすると Dupuit の仮定により 式(3)で表わされる。したがって、基礎方程式(4)が得られる。境界条件は、上流端において式(5)とした。図-6は、 $i_0 = 1/100, 1/50, 1/25$ の場合について $q_0 = Q/B$ の値を変化させたときの伏没点の位置変化を計算したものである。 h_0 の値は、各流量に対する等流水深の 9 割の値を採用した。なお、解析には Mathematica 3.0 を使用した。図によると、水路勾配の減少に伴って伏没点は下流側に移動しており、そのこと自体は実験結果と符合している。しかし、伏没点位置の値や変化傾向は図-4と異なっている。

5. おわりに

浸透層をもつ開水路流れにおける伏没現象に注目して、室内実験ならびに数値解析を行なった。実験と解析の間で伏没点は合致していないが、定性的な変化傾向は説明された。今後、さらに実験の精度を上げるとともに、解析モデルについても検討していきたい。

$$q(x) = q_0 - q^*(x) \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$\frac{dh}{dx} = \frac{i_0 - \frac{q(x)^2}{C^2 h^3} - \frac{q(x)}{g h^2} \frac{dq}{dx}}{1 - \frac{q(x)^2}{g h^3}} \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$q^*(x) = -km \left(\frac{dh}{dx} - i_0 \right) \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$\left\{ q_0 + km \left(\frac{dh}{dx} - i_0 \right) \right\}^2 \left(\frac{1}{g} \frac{dh}{dx} - \frac{1}{C^2} \right) - \left\{ q_0 + km \left(\frac{dh}{dx} - i_0 \right) \right\} \frac{h}{g} km \frac{d^2 h}{dx^2} - \left(\frac{dh}{dx} - i_0 \right) h^3 = 0 \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$h(0) = h_0, \quad \left. \frac{dh}{dx} \right|_{x=0} = i_0 \quad \dots\dots\dots (5)$$

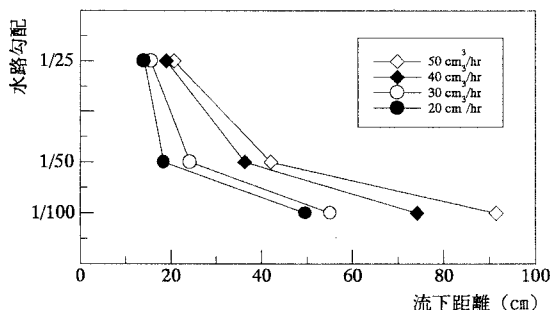


図-6 流量による伏没点位置の解析