

河川と帯水層の相互作用を考慮した河川流況の解析

名城大学理工学部 正 員 原田 守博
名城大学大学院 学生員 ○ 柘植 裕介

1. はじめに

河川水は河床への浸入や地下水湧出など周辺の帯水層と交流しつつ流れている。その交換量は通常、河川流量に比べ小さいが、堰によって流量の多くが取水される場合には、河川の流況を決める重要な要素となる。流量の著しい減少は水質の悪化を招き、生態系や河川景観にとって障害となるため、河川環境を保全するには維持流量を正しく評価する必要がある。本研究は、山間の盆地地形を例にとり、河川と帯水層の相互作用に伴う河道流況の変化を理論解析するとともに、水理実験により検証し、現地スケールの計算を試みた。

2. 理論解析

(1) 対象とする現象：直線河道に帯水層が結合した状況を想定する。上流から河道に流入する流量は、帯水層への浸入のため一旦は減少するが、その後帯水層からの湧出により回復する。この河川と帯水層の間の交流とそれに伴う河道の流況の変化を水理モデルにより解析する。

(2) 基礎方程式：河道流量 $Q(x)$ は、上流端からの河道流入量を Q_0 、地点 x までの帯水層への伏流総量 $Q^*(x)$ とすると、連続式(1)で与えられる。伏流を伴う場合の河道の水面形方程式は、Manning 則を用いると、式(2)となる。ここに $h(x)$ は河道水深、 I は水路勾配、 α はエネルギー補正係数、 β は浸入のとき $\beta=1$ 、湧出のとき $\beta=2$ である。勾配 I で傾斜した帯水層中の伏流水位 $\phi(x,y)$ は、透水係数を k 、帯水層の平均水深を H_0 とすると、Dupuit の仮定により式(3)に従う。ここに $\varepsilon = I/H_0$ である。伏流水の境界条件は、図-1 より周囲の3辺は不透水条件であるが、河道の水位は相互作用の結果として定まる。河道の水面形を仮定することにより、 $\phi(x,y)$ の分布さらには河道単位長さ当りの伏流流束 $q^*(x)$ が求められる。伏流総量 $Q^*(x)$ は式(4)で与えられるので、式(1)に代入して $Q(x)$ を得ることができる。 $Q(x)$ と $q^*(x)$ を用いて、式(2)を数値計算することにより、河道水面形が更新される。

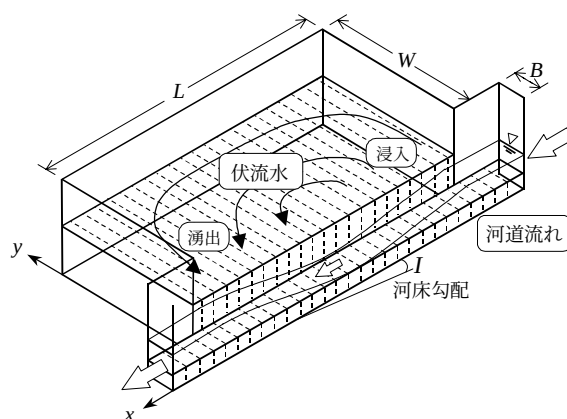


図-1 対象とする現象

$$Q(x) = Q_0 - Q^*(x) \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$\frac{dh}{dx} = \frac{I - \frac{n^2 Q(x)^2}{h^{4/3} B^2} - \frac{\alpha q^*(x) Q(x)}{gh^2 B^2} \beta}{1 - \frac{\alpha Q(x)^2}{gh^3 B^2}} \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} - \varepsilon \frac{\partial \phi}{\partial x} = 0 \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$Q^*(x) = \int_0^x q^*(x) dx \quad \dots\dots\dots (4)$$

3. 水理実験

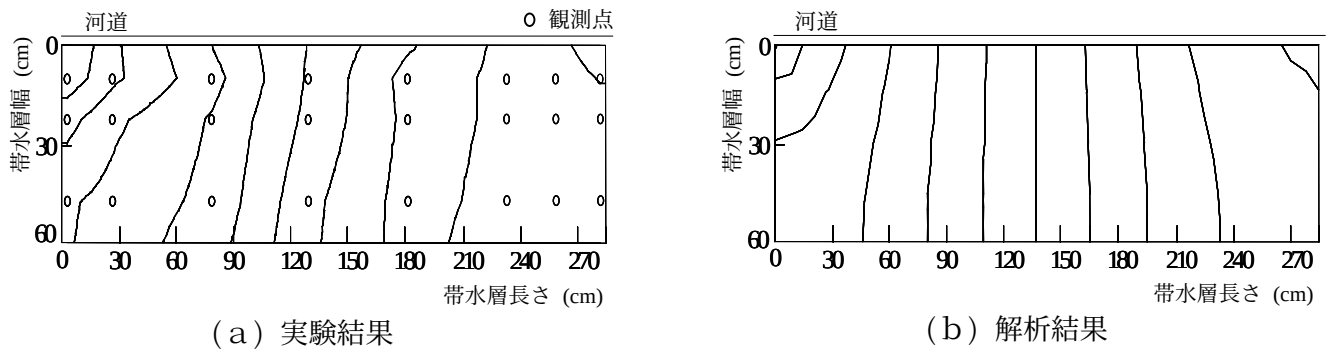
解析モデルの妥当性を検証するために、河道と帯水層から成る実験水路を製作した。河道部 ($B=2\text{cm}$) の河床および帯水層 ($L=283\text{cm}$, $W=60\text{cm}$) にはガラスビーズ (透水係数 $k=3.8 \times 10^{-2} \text{ m/sec}$) を充填した。実験では水路勾配 I を3通り、上流端の流入量 Q_0 を4通りに変化させて、帯水層中の伏流水位の分布、河道上の水面形を測定した。河道の流水抵抗は Manning の粗度係数 $n=1.1 \times 10^{-2} \text{ m}^{-1/3} \text{ sec}$ であった。

4. 解析結果と実験値の比較

(1) 帯水層中の伏流水位：帯水層を流れる伏流水の水位分布について、実験結果と解析結果の一例をそれぞれ図-2(a), (b)に示す。これらを比較すると、両者は完全には一致していないものの、伏流水の流れ

キーワード：相互作用, 環境維持流量, 伏流水, 必要流量, 水理実験

連絡先：〒468-8502 名古屋市天白区塩釜口1-501 Tel 052-832-1151 Fax 052-832-1178



図－2 帯水層中の伏流水位分布 ($Q_0 = 59\text{cm}^3/\text{sec}$, $I = 1/50$)

の向きは類似していることが分かる．すなわち，伏流水は上流部（左側）で河道から帯水層内部へ流動し，中央部では河道と平行に流れ，やがて下流部（右側）で河道へ流出する様子が認められる．この水位分布が左右でわずかに非対称となっているのは，帯水層全体が下流に傾斜しているためである．

(2) 河道の水面形：河道水面形の実験結果と解析結果の比較を図－3に示す．白丸で図示された実験結果によると，河道の上流部では帯水層への浸入によって河道流量が減少するため，河道水深も減少するが，河道の下流部では帯水層からの湧出によって流量が回復し，水深は増大している．また，河道水深の変化は浸入時には急激に低下しているが，湧出時には徐々に上昇している．実線で表わされる解析結果は，こうした実験結果の変化傾向とよく附合しており，解析モデルは実験結果をほぼ再現できていると言える．

5. 現地モデルの解析

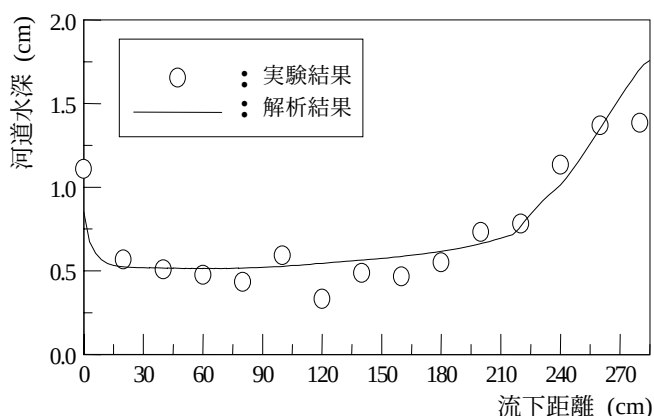
実験によって検証された水理モデルを，現地スケールでの相互作用現象を適用してみる．ここでは，山地流域の中流部を想定して，河道幅 $B=10\text{m}$ ，河道勾配 $I=1/100$ の河川に，長さ $L=1500\text{m}$ ，幅 $W=300\text{m}$ の帯水層が河道の両岸に隣接する場合を考える．上流から河道に流入する流量として，魚類の生息に必要な流量を仮定する．最近の調査報告¹⁾によると，魚類の産卵や移動に必要な水深は $0.15\sim 0.3\text{m}$ ，必要な流速は $0.3\sim 0.6\text{m/sec}$ であり，今回の河道の場合，必要流量として $Q_0=2\text{m}^3/\text{sec}$ を流すことにする．この流量に対する河道の水面形の計算結果を図－4に示す．これによると，透水係数が大きい場合には河道区間の大部分で必要水深を下まわる状態となる．したがって，河道の区間全体を魚類の生息に適した状態に保つためには，帯水層への浸透量を事前に評価した上で維持流量を設定すべきであることが分かる．

6. おわりに

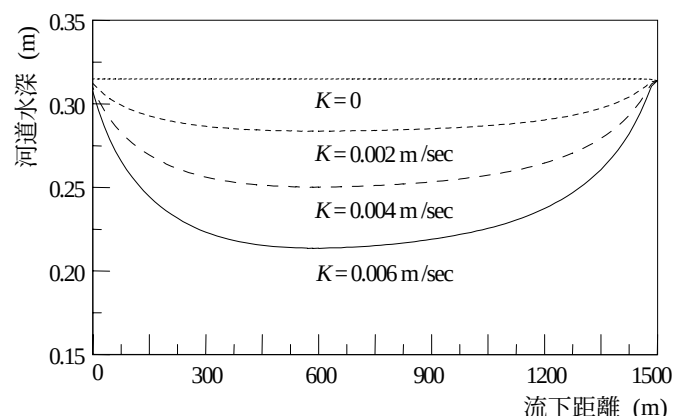
今回の解析では，単純な形状の堆積盆地を対象としたが，今後，より実際的な状況についても検討する．また，現地調査も実施するなど，河川の環境維持流量の合理的評価に向けて研究を進める予定である．

【参考文献】

- 1) 河川における魚類生態検討会：魚類からみた必要流量について，リバーフロント研究所報告 第10号, 1999.



図－3 河道水面形の実験と解析の比較



図－4 河道水面形に及ぼす透水係数の影響