

II-21

河川における抽水植物の水質浄化機能に関する研究

北海道大学工学部 学生員 清田 康明
 北海道大学工学部 正会員 橋 治国
 北海道大学工学部 フェロ会員 黒木 幹男
 北海道大学工学部 フェロ会員 板倉 忠興

1. はじめに

近年、河川機能としては治水機能や利水機能だけでなく環境機能なども求められ、環境を考慮した河川づくり（多自然型河川工法など）や、それに関する研究が積極的に行われている。そのなかで水生植物の繁殖する水際や湿地の生態系が種々の機能を持つことが見直され、その水質浄化作用が注目されつつある。その作用は、植物に付着している微生物などの多様な生物群が相互に作用していると予想され、それについての研究も多くおこなわれている。しかし、実河川での研究は数少ないようである。

本研究では、実河川において河川水中抽水植物（本研究の場合クサヨシが大半をしめる）による水質浄化機能を、特に浮遊性物質（SS）の低減効果について検討する。

2. 調査河川

調査した河川は早来町を流れる安平川水系フモンケ川である。フモンケ川は図-1 に示すとおり遠浅川～安平川へと注ぐ川で、全長約 10km、幅約 5 m、平均流量 0.32 m³/s（平成 8 年）、上流北側は自衛隊演習場、河川の東西には牧場が広がっている。平成 8 年度は富岡橋から遠浅川合流地点まで（4.2km）はほぼ全域（草昭橋、草生橋間の堰上流約 100 m間は片側のみ植生域がある。）にわたり写真-1 のように、中央に幅約 1.5 m の非植生域があり、その両側にクサヨシの植生域が存在した。しかし、平成 9 年 3 月に開晴橋からその下流の堰まで浚渫工事がおこなわれ、その区間での植生が取り除かれた。本研究では植生域がある区間を対象区間とし、採水は開晴橋、草昭橋、草生橋、合流点の 4 地点で、またその他の調査はおもに草生橋付近でおこなった。

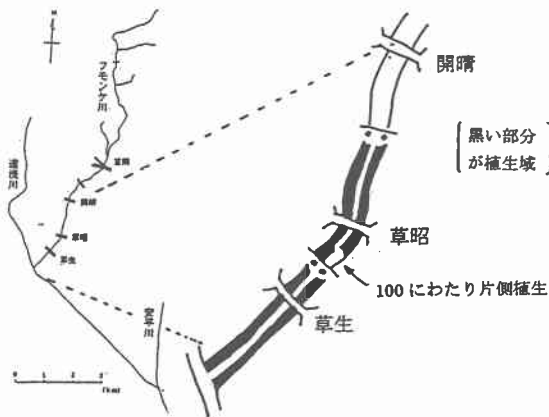


図-1 フモンケ川と植生の様子



写真-1

Water purification by emerged plants on the river

by Yasuaki KIYOTA, Harukuni TACHIBANA, Mikio KUROKI and Tadaoki ITAKURA

3. 水質

図-2に1996年7月16日のフモンケ川の各橋（富岡橋、開晴橋、草昭橋、草生橋）での水質変化を示す。横軸左側が上流で、縦軸左側は、電気伝導度、右側がその他の成分の値である。

抽水植物による水質変換は、植物に付着する微生物が作用して発揮されるものと予想されるが、図-2ではっきりと変化しているのは、微生物が直接関係ないであろう浮遊性物質（SS）だけである。微生物の活動は、晴れた暖かい日に活発になると考えられる。よって、その他の成分に対する抽水植物の効果（実際は付着微生物によるものであろうが）がないと考えるのは、筆者としては本意ではない。

目立った変化をしているのはSS成分だけであるので、本研究ではSS成分の減少が、抽水植物によるものであるかを計算することとする。

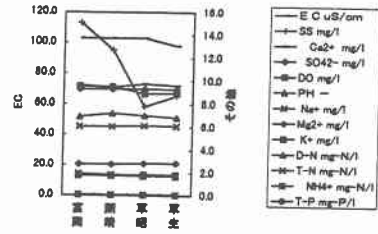


図-2 水質

4. SSの濃度変化

4.1. 計算式

図-3のような流路を植生域と非植生域とに分けたモデルを考えた。モデルでは非植生域から植生域へフラックスが生じ、植生域では固有の沈降係数が存在するものとした。各域で式を立てると以下ようになる。

非植生域

$$\frac{\partial C_m}{\partial x} UBH + wBHC_m - q_{sm}BH + 2Fh = 0 \quad (1)$$

植生域

$$\frac{\partial C_p}{\partial x} ubh + \gamma wbC_p - q_{sp}bh - Fh = 0 \quad (2)$$

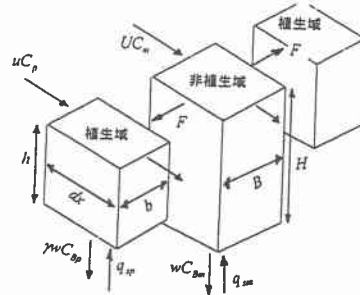


図-3 モデル

ただし、 C_m : 非植生域のSS濃度、 x : 縦断方向の距離、 U : 非植生域の流速、 B : 非植生域の幅、 H : 非植生域の水深、 w : 沈降速度、 q_s : 河床からのpick up、 F : 横断方向へのフラックス、 C_p : 植生域のSS濃度、 u : 植生域の流速、 b : 植生域の幅、 h : 植生域の水深、 γ : 沈降係数

$$\text{ここで、} F = -\varepsilon \frac{\partial C}{\partial x} = -\varepsilon \frac{C_p - C_m}{\Delta y} = \beta(C_m - C_p) \quad (3)$$

を代入、河床からのピックアップはないものとして $q = 0$ とすることにより、式(1)、(2)は以下ようになる。

$$\frac{\partial C_m}{\partial x} UBH + wBHC_m + 2\beta(C_m - C_p) = 0 \quad (4)$$

$$\frac{\partial C_p}{\partial x} ubh + \gamma wbC_p - \beta(C_m - C_p) = 0 \quad (5)$$

式(4)、(5)より

$$\frac{\partial^2 C_m}{\partial x^2} + A \frac{\partial C_m}{\partial x} + BC_m = 0 \quad (6)$$

ただし、 $A = \frac{w}{U} + \frac{2\beta h}{UBH} + \frac{\gamma w}{uh} + \frac{\beta}{ub}$ 、 $B = \frac{w^2\gamma}{Uuh} + \frac{2\beta\gamma w}{UBHu} + \frac{\beta w}{Uub}$
 ここで $A^2 - 4B > 0$ なので式(6)より

$$C_m = C_1 \exp\left(\frac{-A + \sqrt{A^2 - 4B}}{2}\right)x + C_2 \exp\left(\frac{-A - \sqrt{A^2 - 4B}}{2}\right)x \quad (7)$$

式(7)の右辺第1項と第2項を β の値を変え表したものが図-4
 である。図-4からわかるように第2項は減少率が大きいので
 式(7)に与える影響が小さいとして省略し、第1項のみで C_m を
 以下のように表現する。

$$C_m = C_1 \exp\left(\frac{-A + \sqrt{A^2 - 4B}}{2}\right)x \quad (8)$$

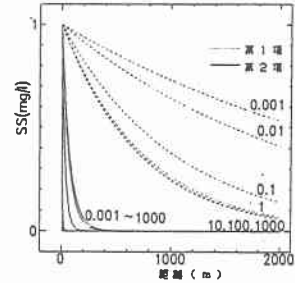


図-4 式(7)の右辺第1項と第2項

4.2. γ と β の決定

γ と β を決定するために図-5、写真-2のように草生橋上流で植生境界を片側のみ 35m にわたり、ベニヤ板で仕切り植生域と非植生域の上流と下流（図-5の×じるし）で SS の濃度を測定した。

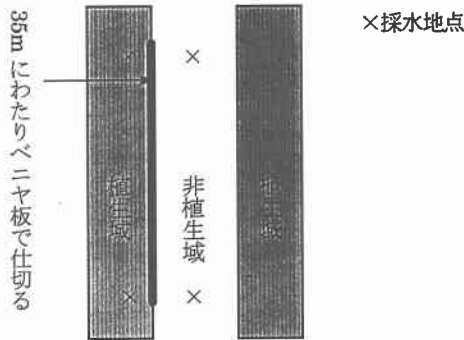


図-5 仕切った様子



写真-2

4.2.1. γ の決定

植生境界を仕切っているので、モデルの植生域と非植生域の間のフラックスはないとして、式(5)を以下のようにする。

$$\frac{\partial C_p}{\partial x} ubh + \gamma w C_p = 0 \quad (9)$$

よって

$$C_p = C_3 \exp\left(-\frac{\gamma w}{uh}\right)x \quad (10)$$

測定は3回（7月25～26日、9月6～7日、10月19～20）、各回に植生域で1時間おきに24回、非植生域で6時間おきに5回おこなった。3回のデータを1まとめとし、全データをその濃度によって3つの区分（1～5、5～10、10～20mg/l）に分けた。その減少の様子を図-6に示す。図-6から3つの区分のそれぞれにおいて、その減少の割合が同等として各範囲で平均値を求めそれぞれ式(10)により、 γ を算出した。

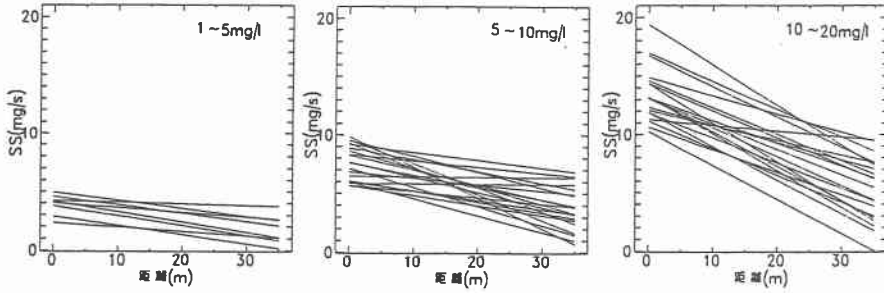


図-6 仕切ったとき植生域での SS の減り

表-1

	1~5mg/l	5~10mg/l	10~20mg/l
減少の平均(mg/l)	3.86→1.76	7.66→3.74	13.43→5.41
γ	74.9	68.4	86.7

表-1に平均値と γ を示す。表から見て取れるように、それぞれの区分での γ はほぼ同等と見れる範囲にあるといえる。よって、 γ はSSの濃度に関係なく一定の値であるとして、 $\gamma = 75$ とする。

4.2.2 β の決定

①ベニヤ板で仕切ったときの非植生域側でのデータは図-5からわかる通り、非植生域と片側の植生域のもの（以下主流部とする。）である。このデータを使うために式(1)のフラックスを片側のみに変え、その式により β を決定する。式(1)を変形して以下の式を使う。

$$C_{m35} = C_4 \exp\left(\frac{-A' + \sqrt{A'^2 - 4B'}}{2}\right)x \quad (10)$$

$$\text{ただし、} A' = \frac{w}{U} + \frac{\beta h}{UBH} + \frac{\gamma w}{uh} + \frac{\beta}{ub}, \quad B' = \frac{w^2 \gamma}{Uuh} + \frac{\gamma w \beta}{UBHu} + \frac{w \beta}{Uub}$$

主流部での上流と下流の測定結果も同様に3つの区分にわけ、図-7中の点で示す。 β の決定も γ と同様の方法で決定しようと試みたが、できなかった。その原因としては、次のようなものである。各区分に、例として β の値を変えたもの(0.01, 1, 100)を図-7中に線で示す。計算値は β を変化させても、 $\beta=100$ 以上では収束し35m間ではほとんどSSが減少しないことが分かる。区分「1~5 mg/l」では下流側の35m地点でSSの濃度が増加しているの、一致しないのは明らかである。「5~10mg/l」、「10~20mg/l」では、パラッ

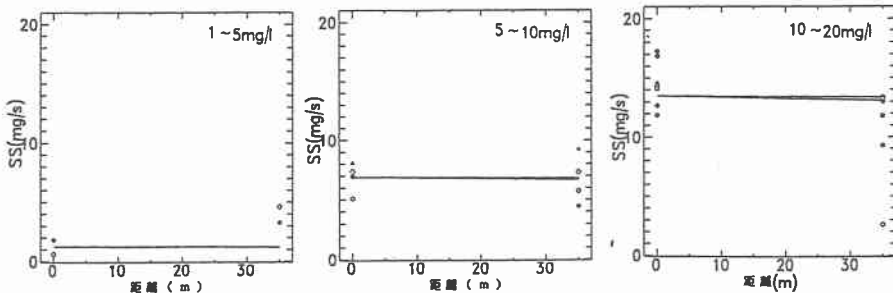


図-7 仕切ったとき主流部の SS の減り

キはあるものの計算値が測定値の範囲内にある。しかし、計算値の変化が小さいので β の決定が困難である。区分「1～5 mg/l」以外は β を決定できないものの、 β の定義に問題はないようである。

②泉、池田、伊東¹⁾は、植生域が水路の片側にある場合の横断方向濃度分布を求め、実験結果に適応するように $\varepsilon/u \cdot H$ を求めた。泉らによると、それは摩擦速度にほとんど関係なく0.06～0.1程度のものである。

本研究の場合に泉らの $\varepsilon/u \cdot H$ をあてはめると、 β は0.56～1.41となる。よって $\beta = 1.0$ と仮定する。

③縦断変化と計算値の比較

次に表-2に示す5回の測定値と計算値の比較を行う。計算値は各測定値の草沼橋の値を初期条件として与え計算する。

表-2 測定日の流量

	4月17日	5月3日	5月15日	5月29日	6月13日
流量 (m ³ /s)	0.259	0.206	0.224	0.221	0.329

表-2より各測定日の流量は6月13日を除いてほぼ同じとみれるので、現地で測定した以下の数値を用いた。

$U = 35\text{cm/s}$ (ただし、6月13日は 45cm/s とする。)、 $B = 150\text{cm}$ 、 $H = 40\text{cm}$

$u = 5\text{cm/s}$ 、 $b = 110\text{cm}$ 、 $u = 5\text{cm}$

以上より図(8)に測定値の縦断変化と計算値を比較したものを示す。

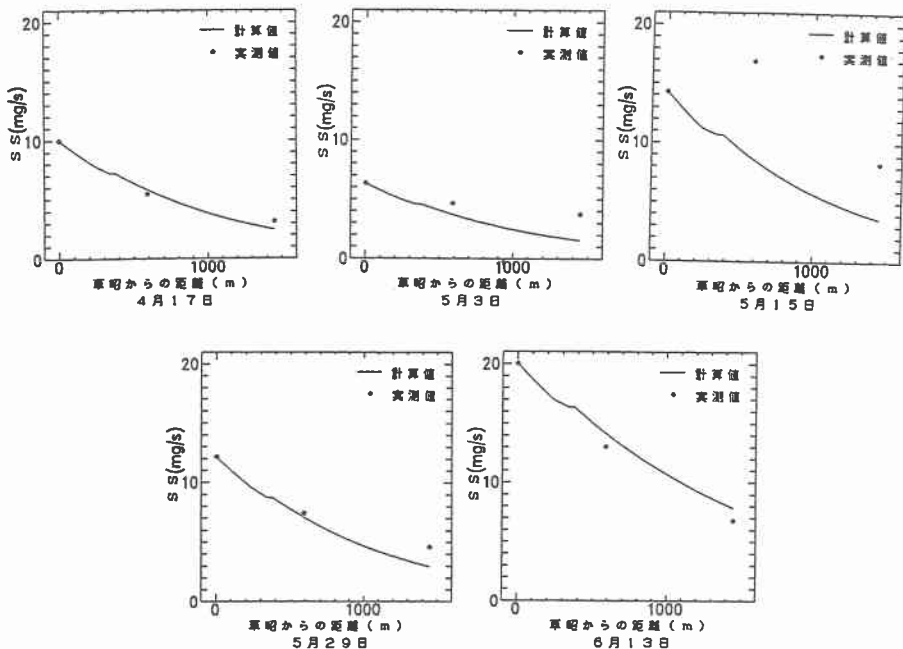


図-8 測定値の縦断変化と計算値

図-8で、計算値が250m～350mぐらいにかけて不連続なのは、その区間では片側のみの植生で非植生域の幅の違いから、他の部分と比べて減少の割合が変わるからである。5月15日以外のものは、測定値と計算値はほぼ一致していると見れる。よって $\beta = 1.0$ とする。

5. 結果と結果の解析

今回、図-3のようなモデルを考え、 γ 、 β を決定した。 $\gamma = 75$ 、 $\beta = 1.0$ である。

求めた γ 、 β を用いて以下のような解析を行った。

・ケース1 水路における植生域の割合を変化させる。

片側植生と両側植生で水路に占める植生域の割合を10%ずつ変化させたものを図-9に示す。

各条件は $U = 40\text{cm}$ 、 $H = 40\text{cm}$ 、 $u = 5\text{cm/s}$ 、 $h = 10\text{cm}$ である。

図-9からわかるように両側植生が片側植生に比べ減少率が大きいとその差は意外と小さいものであった。また両側植生と片側植生の差は植生の割合が少なくなるにつれ小さくなり10%ではほとんど同じになる。

・ケース2 非植生の水深を変える。

植生域の水深を一定として、非植生域の水深を10cmおきに変化させたものを図-10に示す。

各条件は $U = 40\text{cm}$ 、 $B = 150\text{cm}$ 、 $u = 5\text{cm/s}$ 、 $b = 175\text{cm}$ 、 $h = 10\text{cm}$ である。

実河川の場合、植生域のほうが非植生域に比べ浅いのが普通であるので、非植生の水深を10cmから深くしていった。結果は図-10に示すように浅いほど減少率が大きい。

・ケース3 非植生域の流速を変える。

植生域の流速を一定として、非植生域の流速を10cm/sから10ずつ変化させたものを図-11に示す。

各条件は $B = 150\text{cm}$ 、 $H = 40\text{cm}$ 、 $u = 5\text{cm/s}$ 、 $b = 175\text{cm}$ 、 $h = 10\text{cm}$ である。

図-11からわかるように非植生域の流速が遅いほど、減少率が大きい。

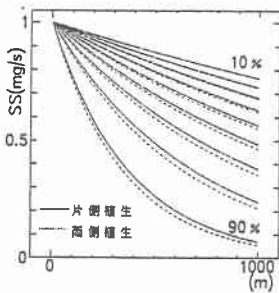


図-9 ケース1

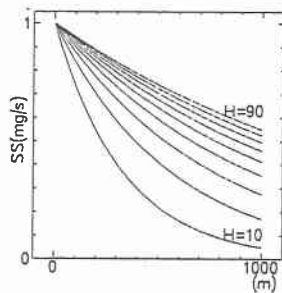


図-10 ケース2

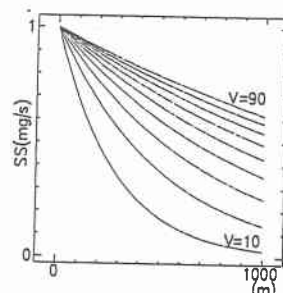


図-11 ケース3

6. まとめ

- ・植生域によるSS減少効果を計算するモデルを考え、係数 γ 、 β を決定した。
- ・占有面積が同じなら、片側植生も両側植生もSSの減少率は同等であることがわかった。
- ・植生域に対して非植生域の水深が浅く、流速が遅いほどSSの減少率は大きいことがわかった。

7. 参考文献

- 1) 泉・池田・伊藤：流水抵抗及び浮遊砂濃度に及ぼす植生の効果：第33回水理講演会論文集，pp313～318，1989