

II-182

オギを有する河岸の侵食限界流速

東京工業大学大学院

学生員 佐藤 健二

東京工業大学工学部

正 員 福岡 捷二

建設省淀川工事事務所

正 員 新井田 浩

1. オギの河岸侵食抑制効果

オギが、河岸をヒサシ状（図-1）に保持し河岸の侵食を抑制することが明らかにされてきた¹⁾。

オギがどの程度の流速まで河岸のヒサシ長を維持することができるか、そのヒサシ長と限界流速との関係が明かなれば、オギを河岸保護材として有効に利用できる場所を決めることが可能となる。そこで先に見いだした現地でのオギの地下茎の引張り強度の測定結果をもとに、オギをもつ河岸の耐侵食力と流速の関係を検討した。

2. オギをもつヒサシ状河岸の侵食限界流速

原位置試験機によるオギの根の引張り強度の測定結果を図-2に示す¹⁾。この図よりオギの引張り強度は27 kgf/本程度で、この値は諸々の条件によらずほぼ一定値をとる。この理由は、オギの地下茎が柔軟であるために外力の方向に応じて自由に向きを変えられることによる。また、最終的な破壊は地下茎の節で生じることから、この強度は地下茎の引張り強度といえる。

ある大きさをもつヒサシ状河岸に対して、流れから受ける流体力を外力とし、オギの地下茎が有する引張り力とのつり合いからヒサシ河岸の破壊限界流速を見積る。ヒサシ状河岸を図-3のようにモデル化する。流れによる外力は、①ヒサシ前面にかかる流体力、 F_{x1} 、②ヒサシ上部のオギにかかる流体力、 F_{x2} 、である。

$$F_{x1} = C_D \cdot \rho \cdot a \cdot c \cdot u^2 / 2 \quad (1)$$

$$F_{x2} = C_D \cdot \rho \cdot \phi \cdot h \cdot \sigma \cdot a \cdot c \cdot u'^2 / 2 \quad (2)$$

ここで、 C_D ：抗力係数（＝1）、 ρ ：水の密度、 ϕ ：オギの茎径、 σ ：オギの密度、 a ：ヒサシの長さ、 u ：主流の接近流速、 u' ：オギ群中の流速（ $= u \cdot \exp(-2.15x)$ ）。オギ群中の流速 u' は流下方向に指数関数的に減衰するが、減衰の定数は模型実験より求めた。このとき、ヒサシの最上流の破壊部（流下方向の長さを d_B とする）に作用する流下方向の流体力の合力は、次のように与えられる。

$$F_x = F_{x1} + \int_0^{d_B} F_{x2} dx \quad (3)$$

ヒサシ状の河岸はある高さ、および幅に対して流体力を受けるので、 x 方向の流体力 F_x によって xy 面内、および xz 面内での曲げモーメント（ M_{xy} 、 M_{xz} ）を受けることになる（図-4、図-5）。こ

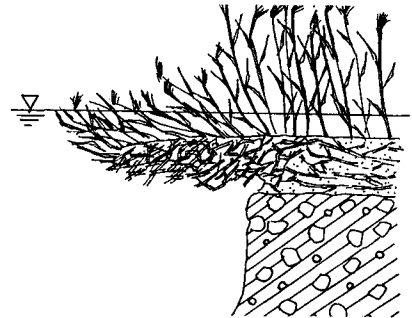


図-1 オギをもつ河岸のヒサシ状構造

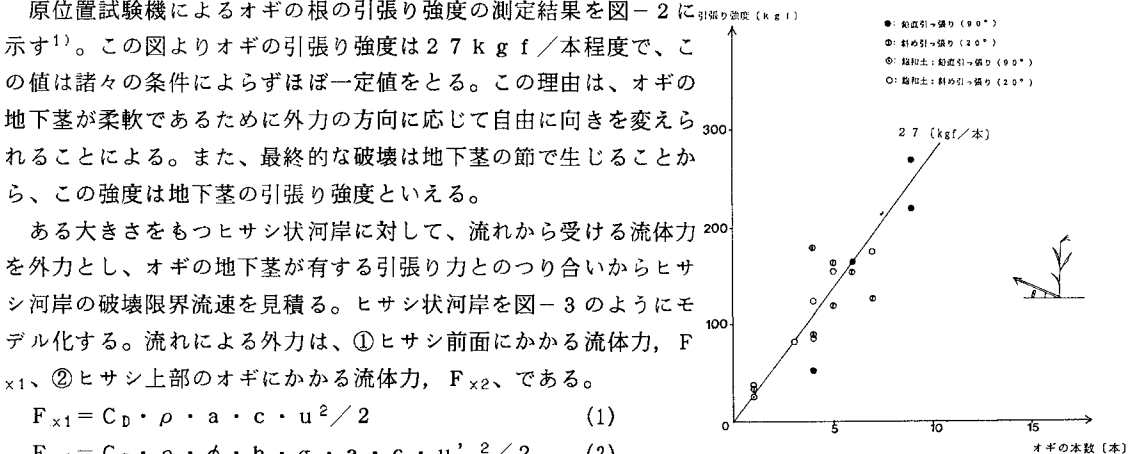


図-2 オギの根の引張り強度

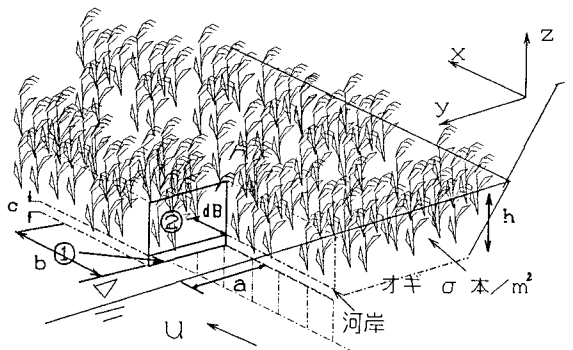


図-3 計算モデル図

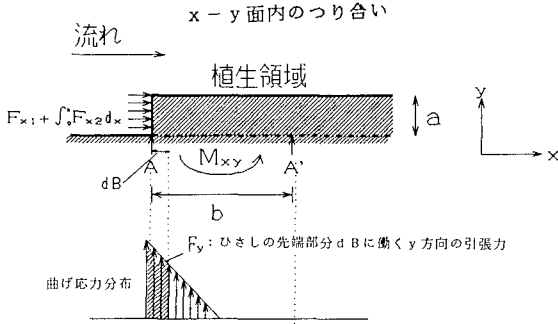


図-4 x-y面内の曲げ応力分布

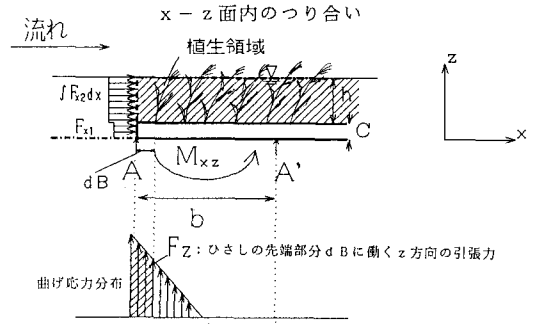


図-5 x-z面内の曲げ応力分布

これらのモーメントは次のように表現される。

$$M_{xy} = (F_{x1} + \int_0^b F_{x2} dx) \cdot a / 2 \quad (4) \quad M_{xz} = \int_0^b F_{x2} \cdot (c + h / 2) dx + F_{x1} \cdot c / 2 \quad (5)$$

ここで、 $b : u'$ が十分に減衰する距離(ここでは、約90%減衰する距離の $b = 1\text{m}$ をとっている)。これらの曲げモーメントによって、A-A'面に生じる曲げ応力 F_{xy} 、 F_{xz} を三角形分布と仮定する。そして、この曲げ応力の分布から dB の部分に作用する y 方向、 z 方向の応力が次のように求められる。

$$F_y = \int_0^b 1/2 M_{xy} (1 - 2x/b) / b^2 dx \quad (6) \quad F_z = \int_0^b 1/2 M_{xz} (1 - 2x/b) / b^2 dx \quad (7)$$

以上から、破壊を受ける部分 dB に働く外力の合力ベクトル $\mathbf{F} = (F_x, F_y, F_z)$ が求まり、この外力 $\mathbf{F}$ と破壊面でのオギの地下基の引っ張り耐力 R とのつり合いから以下のようにヒサシの限界流速 u_{cr} が求まる。

$$R = r \cdot \sigma' \cdot dB \quad (8)$$

$$u_{cr} = \left(\frac{r \cdot \sigma' \cdot dB}{\sigma \cdot C_D \cdot a \cdot (K1^2 + K2^2 + K3^2)^{1/2} / 2} \right)^{1/2} \quad (9)$$

$$K1 = c + \phi \cdot h \cdot \sigma \cdot \int_0^b f(x)^2 dx$$

$$K2 = 6a \cdot dB \cdot (1 - dB/b) \cdot (c + \phi \cdot h \cdot \sigma \cdot \int_0^b f(x)^2 dx) / b^2$$

$$K3 = 6 \cdot dB \cdot (1 - dB/b) \cdot (c^2 + \phi \cdot h \cdot \sigma \cdot (2c + h) \cdot \int_0^b f(x)^2 dx) / b^2$$

ここで、 u_{cr} : 限界流速、 r : オギの地下基の引っ張り強度 (27kgf/本)、 σ' : 単位流下距離あたりのオギ地下基の本数、 $f(x) := \exp(-2.15x)$ 。

ヒサシ状構造の張り出し長さ a を変数としたときの限界流速 u_{cr} の計算結果を現地(多摩川40km付近)のデータと共に図-6に示す。ここで現地でのデータは、洪水後にとられた河岸測量による a の値と洪水中の流速測定による u を用いてプロットしている。この図より計算結果が現地での測定結果を説明できるものとなっていることがわかる。ヒサシ長が $a = 2.0\text{m}$ より大きいところを示していないのは、低水路と高水敷高が 2.0m 以上になると一般にヒサシの自重でヒサシが崩落するためであり、この領域では限界流速を求めることに意味を持たないためである。この図によれば、流速が 2m/s 以下であれば、ヒサシ長が 0.8m 以上の長さを保持でき、このヒサシ状構造によって河岸の侵食を抑制する効果が期待できると考えられる。

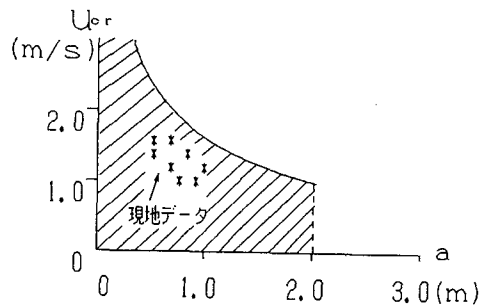


図-6 ヒサシ長さを限保つことができる限界流速との関係
(計算結果と現地測定結果との比較)