

II-110

植生水路での洪水波の伝播に関する一次元数値計算

群馬大学大学院 学生員 茂木宏一 群馬大学工学部 正会員 清水義彦
 群馬大学工学部 正会員 小葉竹重機 群馬大学大学院 学生員 栗原 仁

1. はじめに

実河川では高水敷や砂州上に繁茂した植生群落によって洪水時に河道狭窄部を作り出すことが少なくない。こうした区間の上流側では一般に堰上げとなって洪水の疎通能力は阻害されるものの、その下流側では洪水のピーク流量が低減し、いわゆる河道貯留を産み治水上有利になることがある。このように河道に植生群落がある場合、洪水波形や伝播特性にどのように影響するかを把握することは重要で、本研究では植生帯のある場での洪水波の変形について MacCormack 法を用いた一次元非定常流数値計算により検討を行った。

2. 一次元非定常流数値計算の概要

流れの基礎式は St. Venant 方程式と連続式である。これらを MacCormack 法を用いて差分化すると、次のようになる。

$$A_i^p = A_i - \frac{\Delta t}{\Delta x} (B_i - B_{i-1}) + C_i \Delta t \quad (\text{predcitive step}) \quad (1)$$

$$A_i^c = \frac{1}{2} (A_i + A_i^p) - \frac{\Delta t}{2\Delta x} (B_{i+1}^p - B_i^p) + \frac{1}{2} C_i^p \Delta t \quad (\text{corrective step}) \quad (2)$$

ここに、 Δt は計算時間刻み幅、 Δx は流下方向の計算距離刻み幅で、MacCormack 法では各時間ステップを予測段階（上付きの p）と修正段階（上付きの c）の 2 段階から計算する。マトリックス A, B, C は、以下のようになる。

$$A = \begin{pmatrix} uh \\ h \end{pmatrix}, B = \begin{pmatrix} u^2h + 0.5gh^2 \\ uh \end{pmatrix}, C = \begin{pmatrix} gh(S_0 - S_f) \\ 0 \end{pmatrix} \quad (3)$$

ここに、 u ；流下方向の流速、 h ；水深、 g ；重力加速度、 S_0, S_f ；水路床勾配、摩擦勾配（ $=n^2u_i^2/h_i^{4/3}$ 、 n ；Manning 粗度係数）である。

3. 植生帯区間を含む水路での洪水波の計算

水路下流端から水路側壁に沿って植生帯が存在する状況を想定し（植生帯の縦断長 L_v 、植生帯幅 B_v ）、植生帯上流側の堰上げ区間から植生帯区間の末端（水路下流端）までを計算領域とした。水路上流端での境界条件は、流量ハイドログラフを与え、そこでの水深は Box スキーム（式（4））から計算した。一方、水路下流端では流量、水深ともに未知量であるため、流量と水深が限界水深の関係を満足するとし、これと Box スキームとを連立させた。

$$\frac{h_m^{n+1} - h_m^n}{\Delta t} + \frac{h_{m+1}^{n+1} - h_{m+1}^n}{\Delta t} + \frac{q_{m+1}^{n+1} - q_m^{n+1}}{\Delta x} + \frac{q_{m+1}^n - q_m^n}{\Delta x} = 0 \quad (4)$$

ここで、 $m=1, m=\max-1$ の場合はそれぞれ上流端、下流端の境界条件に対応し、 n ；時刻、 q ；単幅流量（ $=uh$ ）である。植生域、非植生域で Manning 粗度係数を $n_{\text{non}}, n_{\text{veg}}$ として（ $n_{\text{non}} < n_{\text{veg}}$ ）、 n_{veg} の値は模擬植生帯を用いた非定常開水路実験^{1)・2)}で得られた流量ハイドログラフのピーク値に合うように同定した。こうして決められた n_{veg} の値を用いて計算した流量ハイドログラフを図 1 に示す。同図には計算と対応す

る条件での実験結果¹⁾として非植生水路、植生水路でのハイドログラフも併記している。計算値は実測波形の概略を説明できるが、実測波形の盛り上がり（植生帯による反射波、60 sec 付近）は再現できていない。図2は流量ハイドログラフから求めた n_{eq} の値を用いて計算した水深ハイドログラフと実験結果を比較したもので、水深のピーク値のみならず、波形全体の再現性も良くない。とくに、Manning 粗度係数の値は流量ハイドログラフに与える影響は比較的鈍感であるのに対し、水深ハイドログラフには敏感に影響する。従って、植生帯による粗度の増大をManning 粗度係数（しかも植生帯区間で一定値）の取り込みによって表現するのは難しいようである。

4. 植生帯前面の堰上げ区間での洪水波の計算

前節では植生帯区間も含めて計算を行ったが、ここでは植生帯前面の堰上げ区間での洪水波を計算した。実験より¹⁾、植生帯直前の最も高い水深（h）と流量Qの関係は $Q=10 \cdot h^\beta$ （ α は植生被覆率の関数、 $\beta \div 1.5$ ）で表現できるので、これとBoxスキームの連立を下流端での条件とした。図3、4は流量、水深ハイドログラフで、計算値と実測値の対応は比較的良好で、しかも植生帯による反射波も計算されている。図5には反射波の時間変化を示し、その遡上する様子も確認できた。

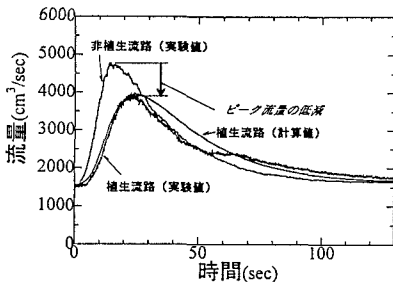


図1 植生帯下流端での流量ハイドログラフ

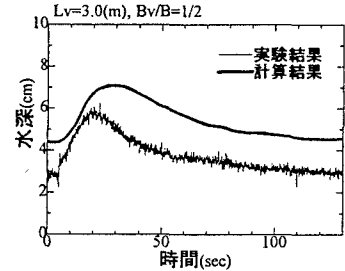
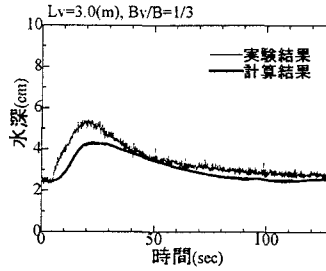


図2 植生帯直前での水深ハイドログラフ

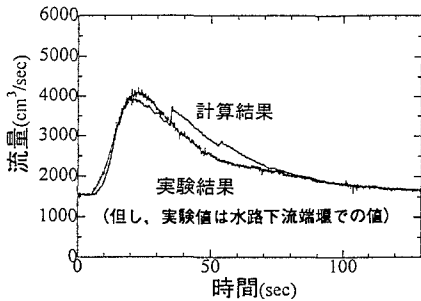


図3 植生帯直前の流量ハイドログラフ

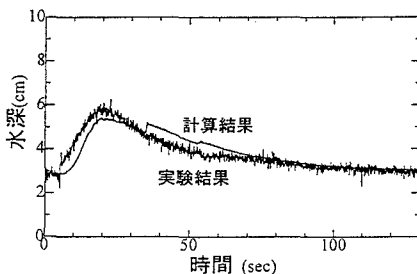


図4 植生帯直前の水深ハイドログラフ

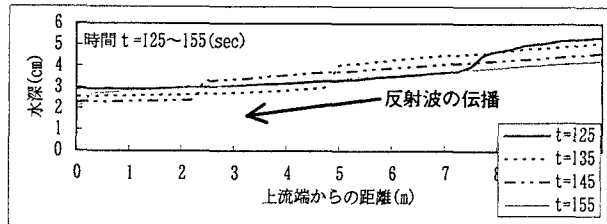
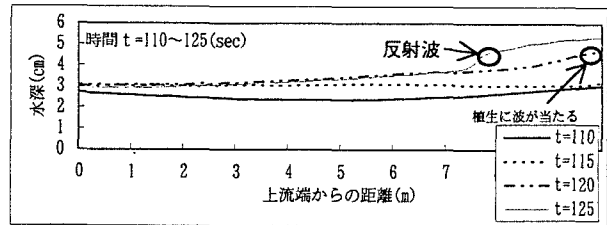


図5 植生帯上流の堰上げ区間での反射波の伝播

参考文献

- 1) 清水・小葉竹・江崎・茂木：植生水路における洪水波伝播に関する実験的研究，水工学論文集，第40巻，pp.1141-1144，1996。
- 2) 果原・清水・茂木・小葉竹：植生帯が洪水波形に及ぼす影響，土木学会，第51回年次学術講演会講演概要集，1996。