

18 砂防ダム堆砂地の植生が流れに及ぼす影響

— 水理模型による実験的検討 —

京都府立大学農学部	○ 水原邦夫
利根川水系砂防工事事務所	国友 優
林野庁治山課	松山康二
六甲砂防工事事務所	山内 修

1. はじめに

都市周辺の溪流においては、砂防施設が配置されている溪流空間は土砂の生産・流出の場であるとともに、豊かな自然環境が残る貴重なオープンスペースとして地域住民に憩いの場を提供している。このような溪流空間の中で、特に砂防ダム堆砂地は水辺の環境とオープンスペースの両面の環境を持つ所であり、とりわけ木本植生がほど良く繁茂したダム堆砂地は環境面からみると利用価値の高い場所であると考えられる。しかしながら、砂防ダム堆砂地に侵入した木本植生を防災の安全面からみたとき、その植生量の過多なる場合は、流水の疎通能力の減退に伴い土砂堆積が進行し、洪水の氾濫による災害あるいは植生の流木化による災害などを惹起する危険性も有り得ると考えられる。このように、砂防ダム堆砂地に生育する木本植生を生態系や景観保全を理由に肯定的に考える見方と防災の安全面から否定的に考える見方とがあるが、両方とも深く考究されたものではないので、現在のところその議論は平行線を辿っている。筆者らは砂防施設の付加価値を考慮した環境面と防災の安全面との調和的妥協点を科学的に見い出すことを目的として、従来よりいくつかの調査研究を行ってきているが、本研究では防災の安全面の観点から、砂防ダム堆砂地における植生繁茂の許容度を定めるべく、その前段階として、堆砂地内の木本植生の密生度の変化に伴って水位・流況にどのような変化が生じるかを水理模型実験の手法を用いて検討したので、その結果についてここに報告する。

2. 実験装置および実験方法

模型化の対象とした砂防ダムは、六甲山系の諸河川に既設の満砂ダムの中から、堆砂地内の木本植生の密生度が異なる5つのダムを選定し、それらのダムの諸元をそれぞれ平均化した規模の、堆砂地平面形状が台形で両側岸斜面の傾斜角が一様な仮想的なものとした。原型における各諸元の値は、堤長:70m、水通し高さ:3m、水通し下幅と上幅:15mと21m、堆砂地長:150m、堆砂地上流端幅:45m、堆砂勾配:1/30、両側岸斜面勾配:30°である。実験に当たっては、模型縮尺は1/50とし、フルードの相似則に基づきダム及び堆砂地模型を作製した。なお、堆砂地は満砂状態で固定床とした。模型通水流量は水通し断面の計画高水位2mとした場合の実流量に相当する模型流量を基準として、その2/3、1/2、1/3の4段階(4.70ℓ/sec、3.13ℓ/sec、2.35ℓ/sec、1.57ℓ/sec)を設定した。木本植生モデルは高さ5cm、直径2.75mmの鋼製円柱を用い、流木化しないものと仮定し堆砂面に一様に格子千鳥状に配列固定した。植生粗度の密生度は次の4段階に設定した。それらをPATTERN 1(粗度要素無し、 $\lambda=0$)、PATTERN 2

(8cm間隔、312.5本/m²、 $\lambda=1.86 \times 10^{-3}$)、PATTERN 3 (4cm間隔、1250本/m²、 $\lambda=7.42 \times 10^{-3}$)、PATTERN 4 (2cm間隔、5000本/m²、 $\lambda=29.7 \times 10^{-3}$)と呼ぶ。ここに、 λ は粗度要素の河床に平行な断面積合計の河床の全表面積に対する比である。以上のように流量4水準、密生度4水準の実験条件の下で、各ケースにおける堆砂面の水位および流況(流速、流向)の変化特性を詳細に調べ解析に供した。

3. 結果および考察

3.1 密生度の差異による堆砂地の流況の変化特性

図-1は、密生度の増大が堆砂地の流況に及ぼす影響の差異を調べるために、ダム天端からの各相対距離(水通し下幅に対するダム天端上流端からの距離の比)における流れのフルード数(Fr)の変化を、流量 $Q=3.13 \text{ l/sec}$ の場合について示したものである。この図から明かなように、密生度 PATTERN 1および PATTERN 2では、相対距離が約2以上の地点では $Fr > 1$ 、以下では $Fr < 1$ となるが、PATTERN 3および PATTERN 4では全ての地点で $Fr < 1$ となっている。すなわち、PATTERN 1とPATTERN 2の場合には、図-2に示すように明確な跳水前線が観察されたが、PATTERN 3および PATTERN 4の場合では、跳水現象は認められなかった。これは図-3に示す堆砂地中央部における縦断方向の水面形からも分かるように、密生度の増加に伴い通水抵抗が大きくなるために、流速が低減し水位が堰上げられて、射流から常流への変移点が堆砂地外の上流水路に移ったためと思われる。なお、他の流量の場合でもほぼ同様な結果となっている。

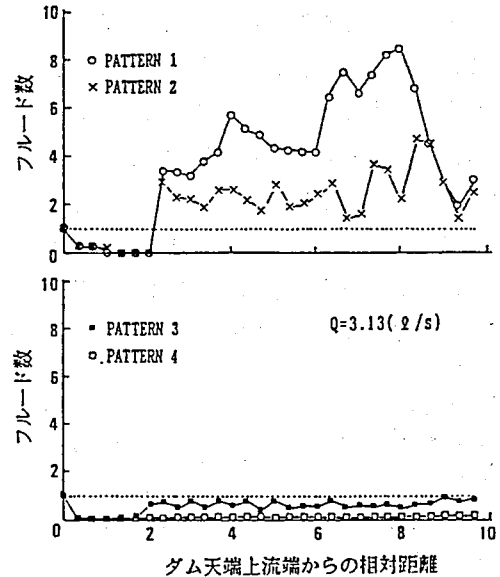
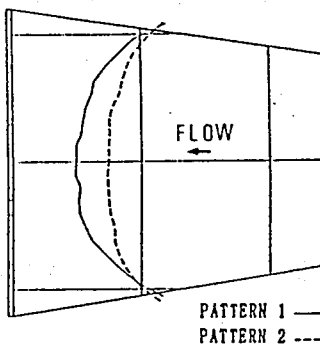


図-1 密生度の差異による流れのフルード数の変化



$Q=3.13 (\text{l/s})$

図-2 跳水前線の形成

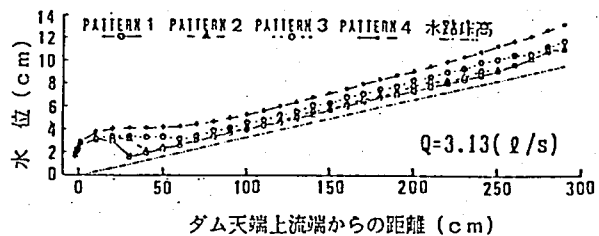


図-3 密生度の差異による縦断面水面形の変化

3.2 密生度の差異による水理量の変化特性

図-4は、密生度の増大に伴う堆砂地の横断方向における水深変化を、同一流量($Q=3.13 \text{ l/sec}$)の

下で、ダム天端上流端より1cm、10cmおよび50cm上流の横断測線について示したものである。この図から分かるように、ダム直近の1cmの横断測線では、堆砂地の縦断中心線から左右両側約20cmの地点より外側では、密生度の増大に伴って水深は大きく増大しているが、その地点より内側では越流水脈の影響が強く、水深の変化は少ない。一方、50cmの横断測線では、密生度の増大に伴って水深は堆砂幅全体にわたって増大していることが分かる。なお、PATTERN 1、PATTERN 2の場合に、両側岸近傍で水深が急激に増大しているが、これは、この横断測線が跳水前線を横切っていることに起因している。

図-5は、縦軸を植生粗度が無い場合（PATTERN 1）の水深に対する粗度が有る場合の水深の比として、この水深比と密生度 λ との関係を、ダム天端より上流1cm、10cm、50cmの各横断測線について比較図示したものである。この図から明らかなように、50cmの横断測線では密生度の増加とともに水深比は急激に大きくなり、その増加率は漸減する傾向を示している。しかしながら、1cmと10cmの横断測線についてみると、密生度の増大に関わらず、水深比はほとんど変化せず最大密度でも1.3程度の値となっていることが分かる。これらの事実から、ダム水通し近傍では、ダム越流水脈の慣性力の影響が大きいので水深比はあまり増大しないが、水通し部より上流へ離れるほど越流水脈の影響が及ばなくなり、密生度の増加に伴う通水抵抗の増大が直接的に影響して水深比も増大するものと考えられる。

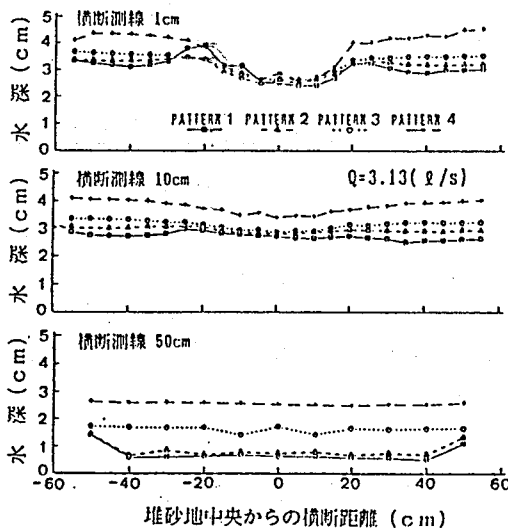


図-4 密生度の差異による横断水面形の変化

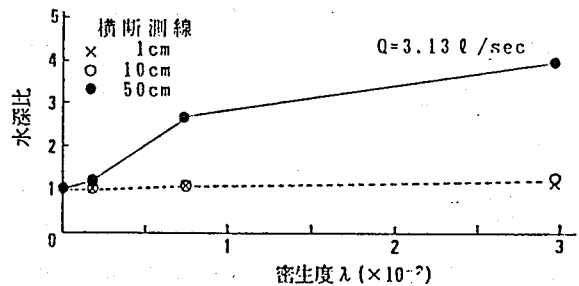


図-5 各横断面における密生度と水深比の関係

3. 3 マニングの粗度係数による通水抵抗評価

ここでは、密生度の増大に伴う通水抵抗の増大をマニングの粗度係数として評価する。マニングの粗度係数は次のように不等流の計算方法の一つである標準逐次法を逆算することにより求めた。逐次法の基礎式は、断面2を計算開始断面、断面1を計算終了断面とすると、次式で表される。

$$Z_1 + \alpha (U_{m1}^2 / 2g) = Z_2 + \alpha (U_{m2}^2 / 2g) + h_f \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 Z :基準面上の水位、 U_m :断面平均流速、 α :エネルギー補正係数(=1.1)、 g :重力の加速度である。また、 h_f は摩擦損失水頭で次式で与えられる。

$$h_f = \Delta X \cdot i_{e,v} = 1/2 \cdot \Delta X (i_{e,1} + i_{e,2}) \quad \dots\dots\dots (2)$$

一方、各分割断面は近似的に等流であると仮定すると、各分割断面のエネルギー勾配 I_e はマンニング式より次式で表される。

$$I_e = n^2 U_m^2 / R^{4/3} \dots\dots\dots (3)$$

ここに、 n :マンニングの粗度係数、 R :径深である。

したがって、式(1)～式(3)を用いて、未知数の n に逐次数値を代入し、 $I_{e1} \dots I_{en} = I_e$ となったときの n がその区間の粗度係数であるが、ここでは計算の便宜上、 $I_{e1} \dots I_{en}$ と I_e の差の絶対値が0.002以下となったときの n をその区間の粗度係数とした。なお、ダム近傍に死水域が生じたケースでは予め有効断面を算定し計算に使うことにした。

図-6は、流量をパラメータとして、密生度とマンニングの粗度係数の関係を表したものである。この図から分かるように、密生度の増大に伴い粗度係数はほぼ直線的に増大する傾向がある。また、同一密生度では流量が大なる場合ほど粗度係数の値は大きくなり、この傾向は密生度が大きいほど顕著となっている。

4. おわりに

本研究は、木本植生の侵入した満砂砂防ダムの堆砂地における複雑な水理現象を解明ための第一段階として、最も単純化した条件の下で行った実験的研究であるが、砂防施設の高度利用方法を考案するに際して一つの基礎資料を与えるものと思われる。今後、局所的な樹木群の存在による影響、樹木繁茂による土砂堆積の問題および流木化の問題などを踏まえた研究を行う予定である。

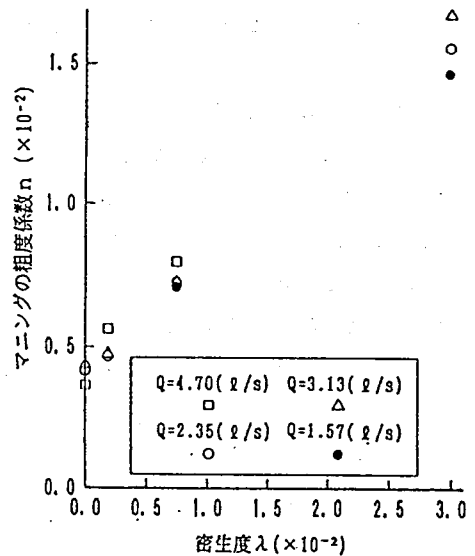


図-6 密生度とマンニングの粗度係数の関係