

京都府立大学農学部 ○平野洋一, 水原邦夫, 大手桂二

1 はじめに

景観・環境保全を考慮した砂防施設として「緑の砂防ゾーン」が各地で計画・検討されている。これは堆砂空間内に常水路を設けて小規模の高水を疎通させ、高水敷に粗度抵抗としての樹林帯を適切な密生度に仕立てて大規模高水時の流送土砂を堆積、捕捉するとともに緑豊かな環境を創出することを目的としている。この計画に関して、策定指針(案)が作成されているが、設計基準となる樹木による流れの抵抗、堆積効果量等の算出法については規定されていないのが現状である。

ここでは、ゾーン内において掃流砂を抑制するための樹林の適切な密生度の算定や計画堆積規模の決定等の基準となる流れの抵抗則と掃流砂量について検討を行った。

2 流水抵抗に関する理論的考察

樹林帯流路における流水抵抗が砂礫材料による表面抵抗と樹幹の形状抵抗の和で表せるものとする。つまり、河床に作用するせん断応力 τ_0 を次式で与えるものとする。

$$\tau_0 = \rho \cdot U_*^2 = \tau_v + \tau_s \quad \text{..... (1)}$$

ここに、 ρ は水の密度、 U_* は摩擦速度、 τ_v は河床単位面積当りの樹幹の抵抗、 τ_s は河床の砂礫による表面抵抗を意味する。

樹幹抵抗 τ_v に関して、ここでは流れ方向のみの力のつりあいを考えており、抗力に対して揚力は無視できる。また、簡素化のため樹幹の形状、配列が一定と仮定し、形状抵抗に比べ表面の摩擦抵抗を無視すると、樹幹が流体より受ける力、すなわち樹幹による抵抗は、一般に

$$\tau_v = \rho \cdot N \cdot C_d \cdot A \cdot \beta^2 \cdot \frac{U_m^2}{2} \quad \text{..... (2)}$$

で表せる。ここに、 N : 河床単位面積当りの樹木の本数、 C_d : 樹幹の抵抗力係数、 A : 樹幹1本当りの流れ方向の投影面積、 $\beta := U_v/U_m$ (U_v : 樹幹に作用する代表流速 U_m : 断面平均流速) である。

一方、河床の砂礫による表面抵抗として Manning の抵抗則を用い、 $U_* = (g R I)^{1/2}$ とすると、 τ_s は

$$\tau_s = \rho \cdot g \cdot n_s^2 \cdot R^{-1/3} \cdot U_m^2 \quad \text{..... (3)}$$

で与えられる。ここに、 n_s : 河床に樹木が存在しない場合の粗度係数、 R : 径深。

(2)式と(3)式を(1)式に代入し整理すると、樹林帯流路における抵抗則の一般式として次式を得る。

$$\frac{U_m}{U_*} = \left(\frac{N \cdot C_d \cdot A \cdot \beta^2}{2} + \frac{g \cdot n_s^2}{R^{1/3}} \right)^{-1/2} \quad \text{..... (4)}$$

さらに、Manning の粗度係数で表現すれば、

$$n = R^{1/6} \cdot \left(\frac{N \cdot C_d \cdot A \cdot \beta^2}{2g} + \frac{n_s^2}{R^{1/3}} \right)^{1/2} \quad \text{..... (5)}$$

3 流水抵抗と掃流砂量に関する実験的考察

実験は、幅10cm、長さ約2mの木製水路に樹林帯に関する粗度として人工芝(長さ20mm、直径1.5mm)を張り付けて行い、粗度の密生度を7段階、水路勾配を3° (I=0.0524)とした。実験に用いた砂は、中央粒径 0.188mm、均等係数 1.5、比重 2.67 のほぼ様な粒径の豊浦標準砂を用いた。流速の測定は塩水速度法を用い、水深は流量および平均流速より逆算し求めた。実験条件は、表-1に示すとおりである。

図-1の図中●印は、(5)式を用いて算出した Manningの粗度係数nの計算値と実験値を比較・検討したものである。一方、図中○印は、Meyer-Peter Müllerの掃流砂式((6)式)を用いた計算値と実験値の関係を示している。

$$qB = 8 \cdot (\tau * e - \tau * c) ^{3/2} \cdot (s g d ^3) ^{1/2} \quad \dots\dots\dots (6)$$

なお、(5)式、(6)式において用いたCd、β、g、sの数値およびns:河床に樹木が存在しない場合の粗度係数、τ*e:有効掃流力、移動限界掃流力τ*cに関する式はそれぞれ以下のとおりである。

$$Cd = 1.2, \quad \beta = 1.0, \quad g = 9.8 \text{ m/s}^2, \quad s = 1.65$$

$$ns = 0.0192 \cdot d_{90}^{1/6} \quad (d_{90} : \text{cm単位}) \quad \dots\dots\dots (7)$$

$$\tau * e = U * e^2 / (s g d) ; U * e = (ns/n) ^{3/4} \cdot U * \quad \dots\dots\dots (8)$$

τ*c = 岩垣の移動限界掃流力の式

図中●印から、樹林帯における Manningの粗度係数の算定式としての(5)式が成り立っていることがわかる。また掃流砂量式としては、図中○印からもわかるように、M.P.M 式において有効掃流力を(7)式、(8)式により計算・導入すれば、計算値と実験値との比較において若干のパラツキは認められたもののオーダー的にはほぼ整合していることが確認できた。

表-1 実験条件および結果

No	密生度 木/cm ²	流量 cc/s	水深 cm	平均流速 cm/s	粗度係数n		流砂量qB	
					実験値	計算値	実験値	計算値
1	0.00	22.00	0.104	21.20	0.01092	0.01000	0.00282	0.02696
2	0.00	39.35	0.148	26.50	0.01103	0.01000	0.00547	0.06005
3	0.00	62.47	0.207	30.16	0.01200	0.01000	0.01809	0.11395
4	0.00	84.97	0.234	36.37	0.01075	0.01000	0.03915	0.14119
5	0.00	136.68	0.343	39.89	0.01248	0.01000	0.12037	0.26879
6	0.23	19.90	0.132	15.02	0.01807	0.01175	0.00151	0.02674
7	0.23	42.88	0.200	21.45	0.01650	0.01287	0.00830	0.04943
8	0.23	64.58	0.223	28.98	0.01309	0.01326	0.02429	0.05623
9	0.23	85.61	0.277	30.92	0.01408	0.01417	0.02985	0.07026
10	0.23	136.51	0.375	36.37	0.01449	0.01582	0.12620	0.08943
11	0.47	19.39	0.139	14.00	0.01905	0.01351	0.00126	0.01707
12	0.47	38.24	0.211	18.10	0.02026	0.01563	0.00603	0.02839
13	0.47	57.56	0.268	21.45	0.01990	0.01726	0.01484	0.03147
14	0.47	89.46	0.369	24.25	0.02149	0.02001	0.03495	0.04125
15	0.47	136.32	0.485	28.11	0.02194	0.02301	0.11496	0.04540
16	0.93	20.88	0.187	11.17	0.03035	0.01852	0.00098	0.00954
17	0.93	44.99	0.297	15.14	0.03007	0.02310	0.00695	0.01298
18	0.93	62.65	0.368	17.02	0.03058	0.02632	0.01317	0.01401
19	0.93	88.29	0.488	18.10	0.03419	0.03002	0.02369	0.01479
20	0.93	136.68	0.711	19.22	0.04031	0.03969	0.03710	0.01483
21	1.87	19.73	0.186	10.60	0.03189	0.02420	0.00149	0.00092
22	1.87	45.27	0.305	14.84	0.03119	0.03211	0.00829	0.00146
23	1.87	63.25	0.421	15.02	0.03766	0.03900	0.01018	0.00158
24	1.87	107.31	0.645	16.64	0.04396	0.05074	0.01804	0.00146
25	1.87	136.41	0.816	16.71	0.05022	0.03878	0.02623	0.00128
26	3.37	46.19	0.619	7.46	0.09573	0.09916	0.00000	0.00000
27	3.37	87.33	1.114	7.84	0.12736	0.10031	0.00042	0.00000
28	3.37	134.26	1.676	8.01	0.15437	0.12954	0.00062	0.00000
29	7.47	135.90	1.381	9.84	0.11382	0.16216	0.00003	0.00000

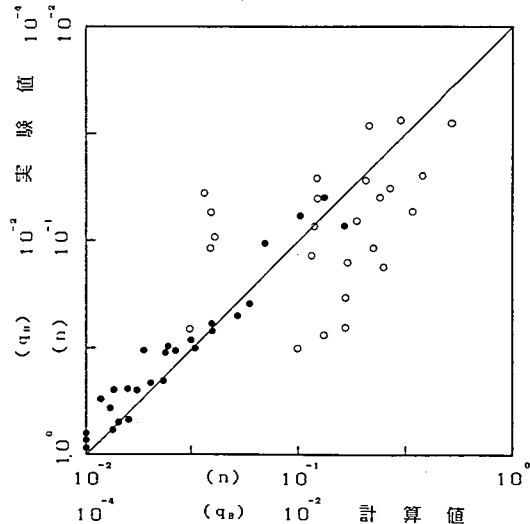


図-1 計算値と実験値の比較