

植生域氾濫実験における樹幹部模型の相似則

秋田大学 松富英夫 大沼康太郎 今井健太郎

1. はじめに

植生が絡んだ流れの研究が盛んに行われている。著者らも津波対策の一つである防潮林の津波減勢効果などを明らかにする目的で、植生模型を用いた実験的研究を行っている^{1), 2)}。その際に悩むのが、対象樹種をどのように模型化すればより実際的か、ということである。著者らのこれまでは、費用を除けば、所有する実験装置に由来する制限（主に縮尺比）と見た目から植生模型を選択してきたと言わざるを得ない。この状況は既往の同種の研究においても同じであろうし、改善されなければならない。その一改善策として、対象とする流れに応じた植生模型の相似則の誘導が考えられる。

そこで、本研究は津波や洪水氾濫流のように長波（静水圧）近似が可能な流れを対象として、黒松などの樹幹部に適用できる相似則の検討を行うものである。流水中の樹冠（枝葉）部は流速の大きさに流れ方向の投影面積が変化するなど非常に複雑であり、樹冠部や植生全体の相似則は今後の課題である。

2. 相似則

氾濫流では流れ先端部を除いて長波近似が可能、すなわち流速が鉛直方向にほぼ一様と見なせる。氾濫流の植生に作用する各種流体力（抗力、慣性力、造波抵抗力）では抗力が支配的である²⁾。よって、樹幹部が一樣円柱と見なせるならば、作用抗力も一様（等分布する）と考えられる。

今、図-1に示すように氾濫流速を u 、浸水深を h 、樹幹部を直径 d の直円柱とすれば、単位水深当たりの抗力 p は、

$$p = \frac{1}{2} \rho C_D u^2 d \quad (1)$$

ここで、 ρ は流体の密度、 C_D は抗力係数である。

一方、根はしっかりと地中に張り付き、樹幹部は片持ち梁と見なせ、樹幹高 $> h$ で、式(1)の抗力が等分布（ C_D も一定と仮定）するならば、水面での樹幹部の水平変位（撓み） y は、

$$y = \frac{ph^4}{8EI} \quad (2)$$

ここで、 E は樹幹部の弾性係数、 $I (= \pi d^4/64)$ は樹幹部の断面二次モーメントである。

式(1)を式(2)に代入すれば、次式を得る。

$$\frac{C_D}{16} = \frac{Ely}{\rho u^2 dh^4} \quad (3)$$

円柱の場合、レイノルズ数 $Re (=ud/\nu)$ 、 ν ：動粘性係数）が 10^3 程度を超えると、抗力係数はほぼ一定（0.8 ~ 1.2）である。よほどの小規模実験でない限り、 $Re > 10^3$ は満足される。例えば、 $d=0.24\text{cm}$ を用いた著者らの実験では^{1), 2)}、多くの場合がこの条件を満足する。よって、原型と模型の相似則として次式を得る。

$$\left(\frac{Ely}{\rho u^2 dh^4} \right)_p = \left(\frac{Ely}{\rho u^2 dh^4} \right)_m \quad (4)$$

ここで、添字 p と m は各々原型と模型を示す。樹幹部を円柱とすれば、式(4)は次式となる。

$$\left(\frac{Ed^3y}{\rho u^2 h^4} \right)_p = \left(\frac{Ed^3y}{\rho u^2 h^4} \right)_m \quad (5)$$

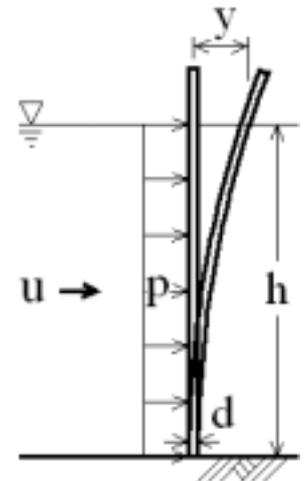


図-1 モデルと記号

氾濫流に対しては一般に次のフルードの相似則が用いられる．

$$\frac{u_p}{u_m} = \sqrt{\frac{h_p}{h_m}} = \sqrt{\lambda} \quad (6)$$

ここで， λ は原型と模型の縮尺比（縮尺分母数）である．

幾何学的な量 d と h は原型と模型の縮尺比を統一すれば相似性が保証される．よって，式(5)と(6)から次式を得る．

$$\frac{E_p}{E_m} = \frac{\rho_p y_m}{\rho_m y_p} \lambda^2 = \frac{y_m}{y_p} \lambda^2 \quad (\because \rho_p = \rho_m) \quad (7)$$

水平変位 y も幾何学的に相似とすれば，式(7)は次式となる．

$$\frac{E_p}{E_m} = \lambda \quad (8)$$

式(7)と(8)は表向きには（実際は樹齢や部位で E が異なるかもしれない）同じ樹種の模型を否定する．

式(7)の方が模型材料選択の自由度が大きい．しかし，植生に作用する流体力として造波抵抗力が無視できないとすれば²⁾，植生の揺動速度が造波抵抗力に関係するので，式(8)が推奨の相似則となる．なお，この種の模型実験では揺動ばかりでなく，乱流（渦）スケールの問題なども存在する．

3．検討例

防潮林や防砂林として利用されることが多い黒松を検討対象とする．縮尺比は著者らの所有する実験装置の制約に由来する 1/50，1/100 と 1/200 の3種類とする．原型寸法や浸水深は適当である．過去の津波氾濫流に遭遇した防潮林の平均像や樹高と胸高直径の関係などは文献³⁾を参照されたい．

表-1 に検討結果を示す．ただし，弾性係数は曲げに基づく平均的なもので，相似則には式(8)を，流速はこれまでの実測における下限のフルード数 $Fr=0.7$ を用いて推定しており^{4),5)}， C_D は 1.0 を採用している．

縮尺比 1/50 ~ 1/100 の曲げ弾性係数は低密度ポリエチレン ($E \approx 1.5 \times 10^3$)⁶⁾ やメタクリル樹脂 (1.1×10^3)⁶⁾ などのものとほぼ同じである．これらは比較的入手し易く，加工も容易で，本相似則は現実的である．そして，縮尺比 1/200，樹幹部にアクリル樹脂棒 (32×10^3) を用いた著者らの実験^{1),2)} は不適切と言わざるを得ない．

4．おわりに

氾濫流かつ樹幹部に対してであるが，植生模型実験を行う際の簡単な相似則を提示した．本相似則は表向きには同じ樹種の模型を否定する．検討例を通して，本相似則が現実的であることを確かめた．今後は本相似則に基づいた植生模型実験により，植生域を氾濫する津波などの基礎水理を議論したい．

参考文献

- 1) 松富英夫・穂積拓哉・今井健太郎：砂嘴植生域を越える津波の基礎水理，海岸工学論文集，第 48 巻，pp.316-320，2001.
- 2) 今井健太郎・松富英夫・高橋智幸：津波氾濫流の植生に作用する各種流体力，海岸工学論文集，第 50 巻，2003.
- 3) 首藤伸夫：防潮林の津波に対する効果と限界，第 32 回海岸工学講演会論文集，pp.465-469，1985.
- 4) 松富英夫・飯塚秀則：津波の陸上流速とその簡易推定法，海岸工学論文集，第 45 巻，pp.361-365，1998.
- 5) 松富英夫ら：1998 年パプアニューギニア津波の陸上での流勢と被害，海岸工学論文集，第 46 巻，pp.381-385，1999.
- 6) 化学便覧応用編（改訂 3 版）：日本化学会編，丸善，pp.808-822，1980.

表 - 1 樹幹部模型の検討例

	原 型	模 型 (1/50)	模 型 (1/100)	模 型 (1/200)
樹 高 (m)	10	0.2	0.1	0.05
樹 冠 幅 (m)	3	0.06	0.03	0.015
胸高直径 (m)	0.2	0.004	0.002	0.001
浸 水 深 (m)	7	0.14	0.07	0.035
弾性係数 (kgf/cm ²)	10×10^4	2×10^3	1×10^3	5×10^2
流 速 (m/s)	5.8	0.82	0.58	0.41
抗 力 (kgf/m)	343	0.137	0.034	0.0086
水平変位 (m)	1.31	0.026	0.013	0.0066