

津波の減勢を目的とした海岸樹木の模型について

秋田大学 正員 松富英夫 埼玉大学 正員 原田賢治
BPPT A. Bagyo Widagdo MMAF Subandono Diposaptono

1. はじめに 津波の減勢を目的とした海岸林樹木の幾何学的特性と力学的特性は、海岸林の津波減勢効果を正確に推定するためばかりでなく、諸検証のために実施される水理実験での樹木模型の縮尺や比重、弾性係数、材料選択といったことでも必要である。

本研究は、津波の減勢を目的とした海岸林の実装をインドネシアで考えているため、対象樹種を Casuarina とし、先ずその幾何学的特性の現地調査結果と力学的特性の現地試験結果を論じる。次に、これらの結果を踏まえて、水理実験における樹木模型の検討例を示す。

2. 幾何学的特性 図-1

に樹木諸元の定義を示す。図-2~4 は各々樹高 H 、樹冠高と最大樹冠幅 B の胸高直径 D への依存性を示す。以下、図-6 を除いた図-7 まで、凡例の四角は Sea casuarina、三角は Shrimp casuarina である。樹齢の場合に比べて¹⁾、データ

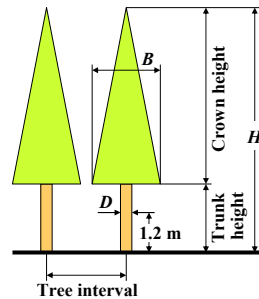


図-1 樹木諸元の定義

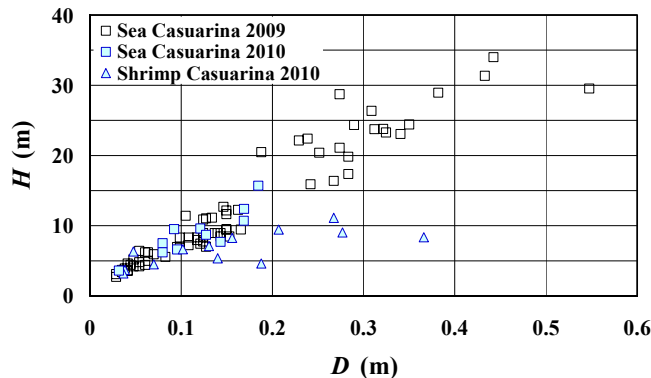


図-2 樹高 H と胸高直径 D の関係

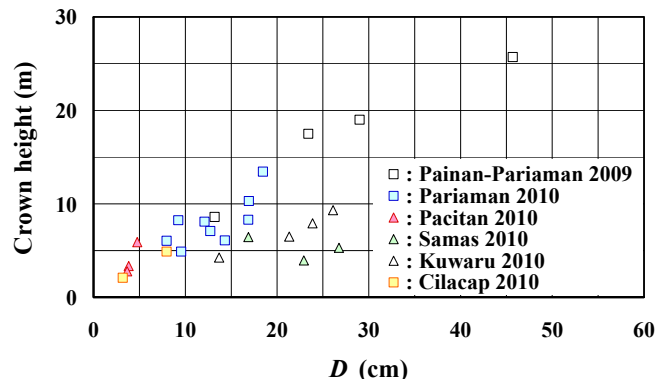


図-3 樹冠高と胸高直径 D の関係

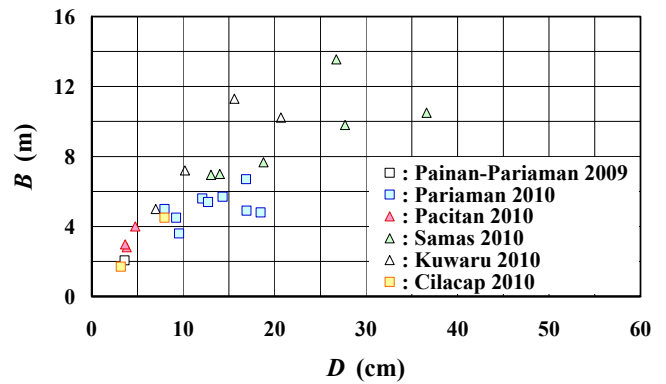


図-4 最大樹冠幅 B と胸高直径 D の関係

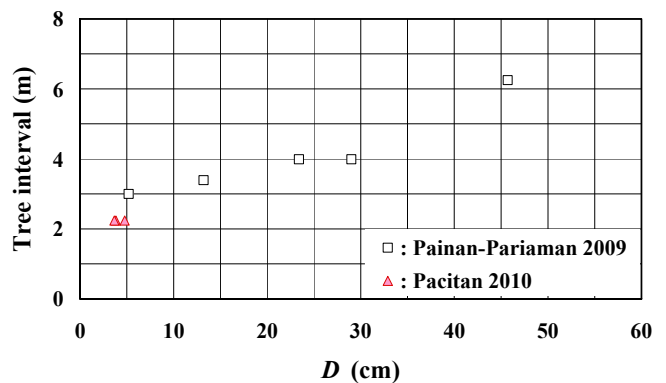


図-5 樹木間隔と胸高直径 D の関係

図-5 は樹木間隔と胸高直径の関係を示す。植林されたものなので、胸高直径の増大につれて、樹木間隔は間伐により階段的に増大すると考えられる。図によると、約 2 m の倍数で樹木間隔が増大しているように見える。階段的に増大していないとすれば、Casuarina の植林における樹木間隔の基準はなく、経験に頼っていると云わざるを得ない。

図-6 は Sea casuarina の各高さ z (樹高を 10 等分) における実質体積を直径 D の円柱に換算して表現したときの D の鉛直分布を示す。ただし、 D の最大値 D_{max} で正規化されている。Sea casuarina は地面から樹高の 4 割あたりで最大の実質体積を持つようである。樹冠部の

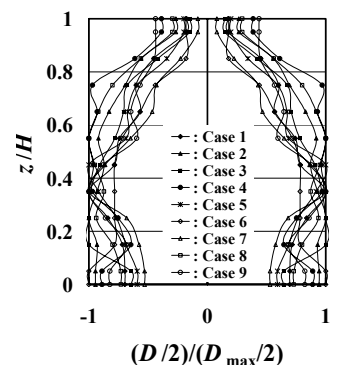


図-6 樹木の実質体積

下端は地面から樹高の 2 割あたりである (図-2 と 3)。

図-7 は樹冠部の全実質体積と樹冠部を円錐と仮定したときの体積から算定した樹冠部平均の空隙率 λ の胸高直径への依存性を示す。Sea casuarina の樹冠部の

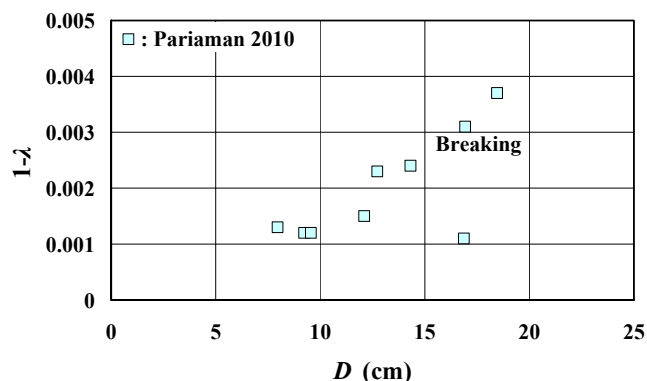


図-7 樹冠部の平均空隙率 λ と胸高直径 D の関係

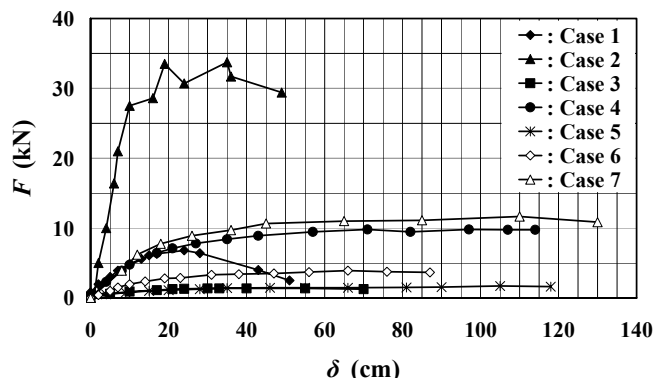


図-8 水平力 F と水平変位 δ の関係

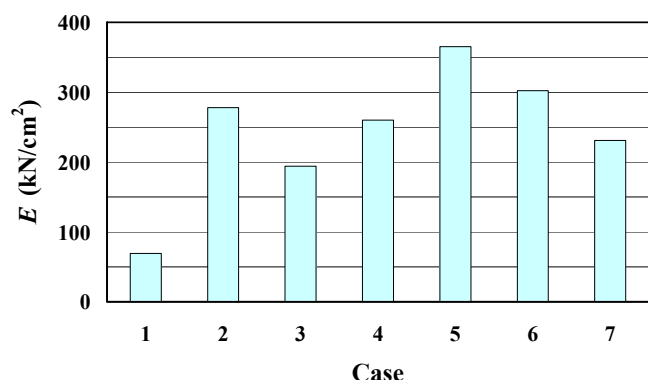


図-9 各試験ケースにおける合成弾性係数 E

実質体積は 0.1~0.4% (樹冠部を円柱と仮定すればこの 1/3), 空隙率は 99.6~99.9%程度であることが判る。実質体積は胸高直径 (樹齢) とともに増大することが判る。

3. 力学的特性 図-8 は水平力 F と水平変位 δ の関係を示す。変位は地面から高さ 1.2 m のもので、胸高直径測定部のものではない。図から、弾性領域の存在が認められる。どちらの変位を採用しても、以下に述べる合成弾性係数 E に差がないことは確認した。

図-9 は樹木を片持ち梁と仮定し、弾性限度内の水平力と水平変位を用いて評価した弾性係数 E である。地盤を含めてのものであり、この弾性係数は地盤と樹幹の合成弾性係数と解釈すべきものである。合成弾性係数 E は平均で 272 kN/cm² (27,700 kgf/cm²) である。

4. 樹木模型の検討 前章までの幾何学的特性と力学的特性に基づいて、水理実験用の Casuarina 模型を検討する。津波減勢機能の継続性を考慮し、海岸林として純林かつ複層林を想定する。汀線での津波の高さが 3.3 m, 周期が 15 分の場合, Casuarina では樹齢 5 年

表-1 樹木模型の検討例

	Prototype	Model 1 (1/100)	Model 2 (1/200)	Remarks
Tree height (m)	10	0.1	0.05	
Crown height (m)	8	0.08	0.04	
Breadth (m)	6	0.06	0.03	
Diameter (m)	0.15	0.0015	0.00075	
Specific gravity	1.28	1.28	1.28	
Modulus of Elasticity (kgf/cm ²)	27,700 (2.72 GPa)	277 (27.2 MPa)	139 (12.6 MPa)	
Inundation depth (m)	5	0.05	0.025	0.3 → 0.05 0.2 → 0.03
Flow velocity (m/s)	4.2	0.42	0.297	
Drag force (kgf/m)	153 (1.50 kN/m)	0.0153 (0.150 N/m)	0.00382 (0.037 N/m)	$\rho=1030 \text{ kg/m}^3$ $C_D=1.1$
Deflection at water surface (m)	1.74	0.0174	0.0086	



図-10 樹木模型の材料

ものが津波の減勢に最も効果的である²⁾。したがって、高さの低い林帯に樹齢 5 年ものを想定して検討する。

表-1 に検討結果を示す。原型の樹高は 10 m, 胸高直径は 0.15 m, 比重は 1.28, 弾性係数は 272 kN/cm², 実験水路は長さ 30 m 程度を想定している。弾性係数の相似則には Matsutomi ら³⁾のものをを用いた。この相似則は樹冠部の枝にも適用できる⁴⁾。また、氾濫流速の推定には Matsutomi & Okamoto⁵⁾の推定式を用いた。

樹木模型材料として硬度 80°~60°の低比重シリコンゴムを用意した (図-10)。これらの材料特性を表-2 に示す。弾性係数は曲げ弾性係数で、高さ 20 mm, 幅 5 mm, 支間 100 mm の供試体で評価した。表から、想定水路では縮尺 1/200, 硬度 80°以上の模型が推奨される。

5. おわりに 現地調査と現地試験に基づき、Casuarina の幾何学的特性と力学的特性を検討し、津波減勢等の水理実験を実施する場合の Casuarina 模型の縮尺, 比重, 弾性係数, 材料について検討例を示した。

謝辞: 本研究は JST-JICA 地球規模課題対応国際科学技術協力「インドネシアにおける地震火山の総合防災策」(研究代表 佐竹健治)と科学研究費補助金 (基盤研究 (C))「津波被害の軽減を目的とした植生の実装に関する基礎的研究」(研究代表 松富英夫)として行われた。

参考文献

- 1) 松富英夫・原田賢治・A. Bagyo Widagdo : 海岸樹木の倒伏, 抜根, 折損に関する現地試験 - インドネシアの Casuarina を例に -, 東北地域災害科学研究, 47 巻, 2011. (印刷中)
- 2) 原田賢治・松富英夫・A. Bagyo Widagdo : 海岸林の生長による津波減衰効果の検討と管理手法の提案 - インドネシア沿岸における適応性の検討 -, 第 29 回日本自然災害学会講演概要集, pp.75-76, 2010.
- 3) Matsutomi, H., Ohnuma, K., Suzuki, A. and Imai, K.: Governing equations for inundated flow in vegetated area and similarity law for trunk, Proc. 30th ICCE, pp.1638-1650, 2007.
- 4) 今井健太郎・松富英夫: 樹冠部の変形を考慮した樹木の抵抗則とそれを用いた沿岸林域の氾濫計算, 土木学会論文集 B, Vol.64, No.3, pp.214-225, 2008.
- 5) Matsutomi, H. and Okamoto, K.: Inundation flow velocity of tsunami on land, Island Arc, Vol.19, Issue 3, pp.443-457, 2010.