

II-83

大規模実験に基づく流木衝突力

秋田大学 武田和彦

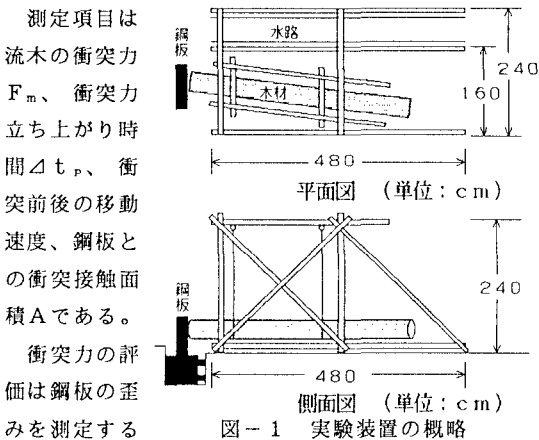
秋田大学 正員○松富英夫

1. まえがき

本研究は、津波時の漂流物として流木を取り上げ、実規模に近い衝突力実験を行って流木衝突力の特性を検討すると共に、実用的な衝突力評価法を考案するものである。

2. 実験

実験装置の概略を図-1に示す。実験は、足場パイプで檣を組み、細いワイヤーで檣に吊った流木を固定された鋼板に衝突させるというものである。



測定項目は流木の衝突力 F_m 、衝突力立ち上がり時間 Δt_p 、衝突前後の移動速度、鋼板との衝突接触面積 A である。衝突力の評価は鋼板の歪みを測定することで行った。鋼板は堅固なコンクリート製の溝に豆ジャッキで固定した。衝突力のキャリブレーションは秤量 1 tf の秤とチェーン・ブロックを用いて行った。衝突力の経時変化はペン・レコーダーで記録した。

流木衝突（移動）速度の評価は上方からのストロボ撮影に基づく写真判定法によった。また、ストロボの閃光開始には赤外センサー・スイッチを、発光間隔・回数（4回）の制御にはシグナル・コントローラーを用いた。衝突速度の調節は流木の背後への引っ張り距離で行った。

接触面積の評価は、衝突により流木の押し潰れた部分を紙にトレースし、それをプランリメーターで測定する方法によった。

使用流木の諸元と衝突条件を表-1に示す。Dは流木径、 θ は衝突角度で、流木長軸と被衝突物の垂線となす水平角、 v_{A0} は目標とした衝突速度、Lは流木長、 L/D は細長比、Wは実験時の流木重量である。

表-1 実験条件

D (cm)	θ°	v_{A0} (cm/s)	L/D	W (kgf)	樹種
20	5	100~250	6~20	24~81	カラ松
	10	〃	〃	29~118	〃
	15	〃	〃	32~110	〃
	20	100~200	8~14	31~55	〃
30	5	50~200	6~14	84~253	カラ松・ラウソク
	10	100~250	6~13	66~208	ラウソク・カラ松
	20	50~200	6~10	78~134	カラ松

※ L/D の刻み幅は全て0.25。

3. 実験結果とその考察

本実験結果からは衝突力立ち上がり時間や反発係数等の検討も可能だが、本研究では衝突力のみの検討を行うことにする。

3.1 衝突力の各種無次元量への依存性

衝突力 F_m に影響する因子として、被衝突物の特性値などを除けば、衝突速度 v_{A0} 、流木径 D 、流木長 L 、降伏応力 σ_f 、衝突角度 θ 、密度 ρ_A 、重力加速度 g などが考えられる。これらの因子間で次元解析を行えば、次式を得る。

$$F_m / \gamma D^2 L = f \{ v_{A0} / (gD)^{0.5}, L/D, \sigma_f / \gamma L, \theta \} \quad \cdots (1)$$

ここで、 γ は流木の単位体積重量である。

無次元衝突力 ($F_m / \gamma D^2 L$) の各無次元量に対する依存性は以下のようになった。①無次元衝突速度が大きくなるにつれて、無次元衝突力は大きくなる（図-2）。②流木径が大きくなるにつれて、無次元衝突力は大きくなる傾向にある（図-2）。③無次元衝突力は細長比にほとんど依存しない（図-3）。④全体的に見ると、無次元降伏応力が大きくなるにつれて、無次元衝突力は小さくなるように判断されるが、凡例ごとに見るとそうではない。これは一部の無次元降伏応力の範囲にデータが集中していることによる。このことは、データをグループ分けして検討する必要があることを示唆している（図-4）。⑤衝突角度が大きくなるにつれて、無次元衝突力は小さくなる（図-5）。

流木径ごとに回帰式を求め、データ量を重みとして各無次元量のべき指数の修正を行うと、次式となった。

$$F_m / \gamma D^2 L \sim \{ v_{A0} / (gD)^{0.5} \}^{0.90} (L/D)^{0.060} \cdot (\sigma_f / \gamma L)^{0.19} \theta^{-0.050} \quad \cdots (2)$$

式(2)は、①無次元衝突力は細長比にほとんど依存しないこと、②降伏応力が大きくなるにつれて、衝突力が大きくなること、③衝突力は衝突角度にほとんど依存しないこと、などを示している。

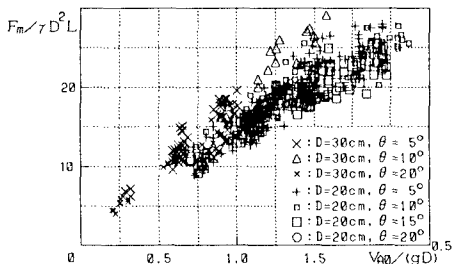


図-2 無次元衝突力の無次元衝突速度への依存性

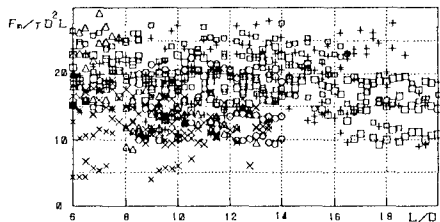


図-3 無次元衝突力の細長比への依存性

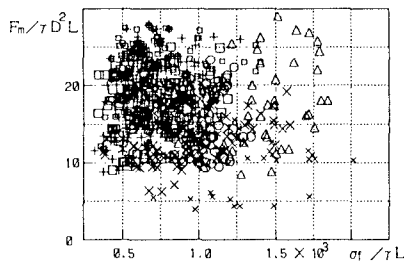


図-4 無次元衝突力の無次元降伏応力への依存性

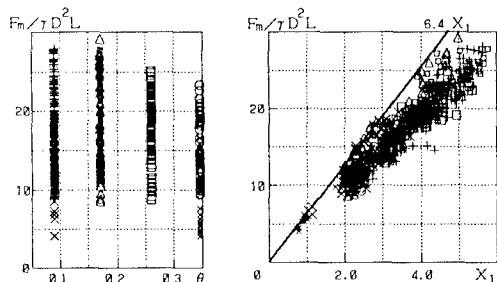


図-5 無次元衝突力の衝突角度への依存性 (左)

図-6 無次元衝突力と式(2)の右辺との関係 (右)

無次元衝突力を縦軸、式(2)の右辺(=X₁)を横軸に取ってデータ整理したものを図-6に示す。データの集中度は非常によく、式(2)は妥当な回帰式と判断される。危険側を考えると次式を得る(図-6中の実線)。

$$F_m / \gamma D^2 L = 6.4 \{ v_{A0} / (g D)^{0.5} \}^{0.90} \cdot (L/D)^{0.060} (\sigma_f / \gamma L)^{0.19} \theta^{-0.050} \dots (3)$$

3.2 衝突力の評価式

衝突力評価の基礎式として次式が考えられる¹⁾。

$$F = -C_M M d v_A / dt - (\pi \beta D^2 / 2) \cdot (C_M \rho_A E_A)^{0.5} (v_A - d\delta / dt) \dots (4)$$

Fは経時的な衝突力、C_Mは質量係数(=1+付加質量係数)、Mは流木の質量、v_Aは衝突中の流木移動速度、βは減衰定数、E_Aは弾性係数、δは被衝突物の撓み量である。

式(4)を流木の諸元等を用いて書き直し、θに前節の回帰式の結果を用いることにすれば、無次元衝突力は次式に依存することになる。

$$F_m / \gamma D^2 L \sim \{ v_{A0} / (g D)^{0.5} \}^{1.2} (\sigma_f / \gamma L)^{0.4} \cdot \theta^{-0.050} \dots (5)$$

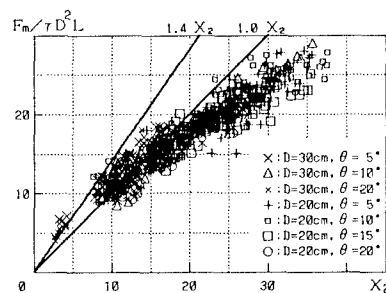


図-7 無次元衝突力と(5)式の右辺との関係

無次元衝突力を縦軸、式(5)の右辺(=X₂)を横軸に取った図-7によると、原点を通る直線上にデータは集中しないが、その傾向にはある。危険側を考えると、流木衝突力の評価式として次式を得る。

$$F_m / \gamma D^2 L = (1.0 \sim 1.4) \{ v_{A0} / (g D)^{0.5} \}^{1.2} \cdot (\sigma_f / \gamma L)^{0.40} \theta^{-0.050} \dots (6)$$

図-7中の実線が式(6)の上・下限である。実用には衝突角度を無視した次式が適するかもしれない。

$$F_m / \gamma D^2 L = (1.2 \sim 1.5) \{ v_{A0} / (g D)^{0.5} \}^{1.2} \cdot (\sigma_f / \gamma L)^{0.40} \dots (7)$$

図-7と同様な図を描き、それから得たものである。

4. むすび

主な結論は次の通りである。①係数値に曖昧を残したが、流木衝突力F_mの評価式(6)と(7)を導いた。②流木衝突力は、本実験の範囲内(衝突角度θ≤20°)では、θにほとんど依存しなかった。③無次元流木衝突力は細長比にほとんど依存しない。換言すれば、流木衝突力は細長比にほぼ比例する。

謝辞：本研究は文部省科研費(代表：東北大学首藤伸夫教授)により行われた。記して感謝の意を表する。

《参考文献》 1)松富・池田：海岸工学論文集,1994.