

実用的な流木衝突力の推定法

秋田大学 学員○末永 修
秋田大学 正員 松富英夫

1. まえがき 著者らは流木衝突力の実用的な評価式を提案したが¹⁾、評価式の係数に曖昧さが残されていた。本研究はその評価式を再検討して係数を確定するなど、より実用的な評価式を提案するものである。

2. 実験 実験は見かけの質量係数と衝突力に関する実験の2種類からなる。

(1) 見かけの質量係数に関する実験²⁾ 津波による流木の漂流形態は、①段波の先端部に伴う場合、②陸上遡上流れ(以下、サージと呼ぶ)の先端部に伴う場合、③それらの背後、つまり定常的な流れに伴う場合の三つに大別されよう。前二者での流木衝突力は急変不定流でのものなので、見かけの質量係数が重要な要素となり、実験的な検討が必要である。定常的な流れでの緩衝機能については、孤立構造物の場合に限られているが、実験及び理論的な検討³⁾が行われており、その成果を利用する。実験に使用した水路は、水平に設置された鋼製矩形水路で、段波とサージはゲート急開により発生させた。測定項目は全力(波力+流木衝突力)の他に、段波やサージの衝突前後の受圧壁近傍での水深と挙動、流木の移動速度と挙動である。

(2) 衝突力に関する実験^{4), 5), 6)} 水路実験は、見みかけの質量係数や水理量と結びつけた流木衝突力が議論できるなどの利点がある反面、流木降伏応力や衝突角度の影響の議論が難しいなどの欠点がある(流木衝突力は被衝突物の剛性ばかりではなく、流木の降伏応力も関係する)。また、水路実験では実験規模を小さくせざるを得ず、衝突力やその測定精度に不安が残る。これらを解消する一方法として、空中での実規模に近い衝突力実験を考えた。実験は、足場パイプで槽をくみ、流木を細いワイヤーでつり、地面に水平・鋼板に垂直に背後へ引っ張って自由落下させ、固定された鋼板にぶつける方法で行った。測定項目は、流木の衝突力F、衝突力立ち上がり時間、衝突前後の移動速度、衝突時の鋼板との最大接触面積である。

3. 実験結果とその考察

(1) 見かけの質量係数 受圧壁の開度λによる見かけの質量係数 $C_{MA}(=1 + \text{見かけの付加質量係数})$ の変化を図-1(a)と(b)に示す。図中の各実験値は10回の

平均で、見かけの質量係数は次式から評価されている。

$$\int_0^t F(t) dt = C_{MA} M V_{A0} \quad (1)$$

ここで、 C_{MA} : 見かけの質量係数、M: 実験時の湿潤状態での流木質量、 V_{A0} : 流木衝突直前での流木後端部、流木長が46.4cm以上の場合は受圧壁から約50cm上流での流木先端部の水平移動速度、t: 時間である。

左辺の力積は全力の時間波形において流木の衝突に起因した三角形部分をプランメータで計測することで評価した。図-1(a)と(b)の実線は構造物にとって危険側を想定した時の実験直線で、段波の場合は

$$C_{MA} = 1.7 \quad \lambda \geq 40\% \quad (2a)$$

$$= 0.03\lambda + 0.5 \quad \lambda < 40\% \quad (2b)$$

サージの場合は、 $C_{MA} = 1.7 \quad \lambda \geq 40\%$ (3a)

$$= 0.015\lambda + 1.1 \quad \lambda < 40\% \quad (3b)$$

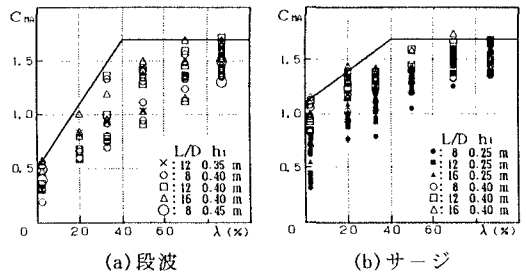


図-1 開度λによる見かけの質量係数 C_{MA} の変化
λ=100%の時、見かけの質量係数は本来の質量係数と解釈される。段波とサージ共に、その値は約1.7である。λ<40%の時、サージの見かけの質量係数は段波のそれよりも大きい。これは、流木の諸元と移動速度が同じ時、流れ先端での水位と水位変化率は、サージの方が小さく、受圧壁衝突後に上方へ投げ出される流体の緩衝機能も小さいと予想されるので理解できることである。本研究は簡便で実用的、かつ構造物にとって危険側を想定した時の衝突力評価式の提案を目指しているため、開度による見かけの質量係数の変化は考慮せず、一律に段波とサージでは1.7、定常的な流れでは後藤ら³⁾の結果である1.9を採用する。よって、本研究での最終的に使用する見かけの質量係数は本来の質量係数とも解釈されるものである。

(2) 衝突力 a) 各種無次元量への依存性

降伏応力 σ_i は、最大衝突力÷構造物(鋼板)と流木衝突部の最大接触面積と定義する。流木衝突力 F_M に影響する因子として、構造物の固定方法、構造形式や材料特性値などを除けば、流木の衝突速度 V_{A0} 、直径 D 、長さ L 、降伏応力 σ_i 、密度 ρ_A 、衝突角度 θ 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。

$$F_M / \gamma D^2 L = f(V_{A0} / (gD)^{0.5}, L/D, \sigma_i / \gamma L, \theta) \quad (4)$$

ここで、 γ : 流木の単位体積重量、 g : 重力加速度である。樹種や木材の状態の特性は降伏応力と単位体積重量で表現する。無次元衝突力 ($F_M / \gamma D^2 L$) の無次元衝突速度 ($V_{A0} / (gD)^{0.5}$)、細長比 (L/D)、無次元降伏応力 ($\sigma_i / \gamma L$)、衝突角度 θ への依存性を検討した。流木径ごとに回帰式を求め、実験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。

$$F_M / \gamma D^2 L \sim \{V_{A0} / (gD)^{0.5}\}^{0.90} (L/D)^{0.06} \cdot (\sigma_i / \gamma L)^{0.19} \theta^{-0.05} \quad (5)$$

式(5)は、①無次元衝突力が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、衝突力は大きくなること、③衝突力は衝突角度にほとんど依存しないことを示している。これらは既報⁷⁾の理論の傾向と一致している。無次元衝突力を縦軸、式(5)の右辺(= X_1)を横軸にとって実験データを整理したものを図-2に示す。図によるとデータの集中度は非常によく、式(5)は妥当な回帰式と判断される。

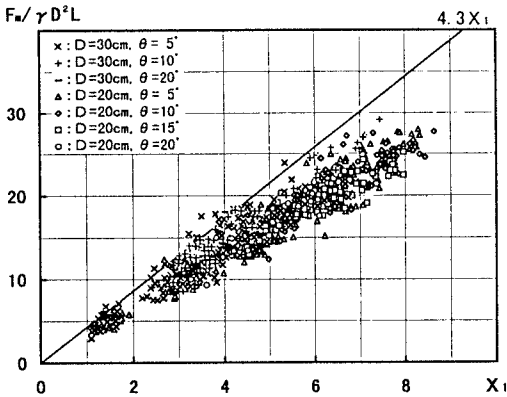


図-2 無次元衝突力と式(5)の右辺との関係

b) 実用式 測定精度を再検討した結果、実験での衝突力は真値より小さめであることが分かり、式(5)のべき指数に不安が残る。そこで、各無次元量への依存性は理論的に考察し、係数値のみを実験的に決める方法で流木衝突力の評価式を導くことにする。衝突角度に関する情報も理論的な考察から得られるが、簡単な

表現のものは得られない。そこで、前項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。

$$F_M / \gamma D^2 L \sim \{V_{A0} / (gD)^{0.5}\}^{1.2} (\sigma_i / \gamma L)^{0.4} \theta^{-0.05} \quad (6)$$

衝突角度への依存性が非常に小さいことから、実用的には衝突角度を無視した次式が便利と思われる。

$$F_M / \gamma D^2 L \sim \{V_{A0} / (gD)^{0.5}\}^{1.2} (\sigma_i / \gamma L)^{0.4} \quad (7)$$

式(7)の左辺を縦軸、右辺(= X_3)を横軸にとって実験データを整理したものを図-3に示す。データは原点を通る一直線上に集中している。衝突力の値が真値よりも小さめなことを考慮して、実験値の上限値を与える係数を採用すれば、空中での流木衝突力の簡便で実用的な評価式として、次式を得る。

$$F_M / \gamma D^2 L = 1.6 \{V_{A0} / (gD)^{0.5}\}^{1.2} (\sigma_i / \gamma L)^{0.4} \quad (8)$$

図-3中の実線が式(8)である。

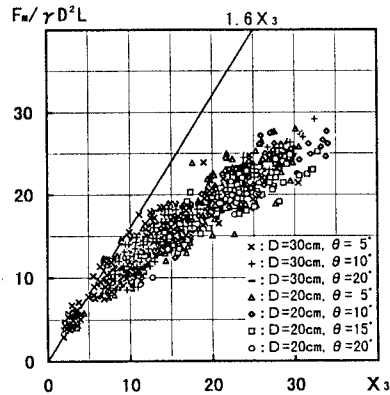


図-3 無次元衝突力と式(8)の右辺との関係

実際の流木衝突力は、式(1)の見かけの質量係数 C_{MA} の定義から理解されるように、空中での衝突力を基本として、水の全影響をひっくるめた見かけの質量係数を掛けることで得られると解釈される。よって、実際の流木衝突力は式(8)に見かけの質量係数を掛けた次式で評価される。

$$F_M / \gamma D^2 L = 1.6 C_{MA} \{V_{A0} / (gD)^{0.5}\}^{1.2} (\sigma_i / \gamma L)^{0.4} \quad (9)$$

4. むすび 流木衝突力の簡便で実用的な評価(式(9))を導いた。式中の見かけの質量係数は、段波やサージで 1.7、定常的な流れで 1.9を採用すればよい。

参考文献 1)松富・池田：海岸工学論文集，第43巻，1996。2)吉田・松富：東北支部講演概集，1996。3)後藤ら：第29回海講演文集，1982。4)鎌田ら：東北支部講演概要集，1995。5)武田・松富：東北支部講演概要集，1996。6)松富・渋谷：東北支部講演概要集，1997。7)松富・池田：海岸工学論文集，第41巻，1994。