

定常流中における流木の挙動と家屋への衝突力評価に関する基礎実験

埼玉大学工学部建設工学科 学生会員 ○荻野 和剛
 埼玉大学大学院 学生会員 鈴木 一貫
 埼玉大学大学院 正会員 田中 規夫

1. 研究背景と目的

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震による被害の現地調査において、地震に伴って発生した津波によって福島県、宮城県、岩手県の沿岸部における海岸林はほとんどが破断、もしくは地盤の液化・洗掘等の影響で、根ごと流木化した。津波先端の段波状のものが通過した時だけではなく、水位が上昇した後に流木化した樹木も多いことが、多くの津波映像や既往研究で報告されている。津波の流体力に関する知見を得るために、海岸林の長所と短所、すなわち、「津波による流体力を低減する効果」と「流木化し被害を拡大する二次的な影響」について比較し、海岸林の減災効果と二次被害影響の関係性を解明することは重要である。鈴木・田中(2012)は数値計算によって流木被害の解析をおこなっているが、同方法は、力積方程式から流体力を算定する際に、衝突時間 dt の推定に課題があった。本研究は流木の衝突力影響を精度よく評価するため、実験で観測した衝突時間からフルード相似則を用いて実現象における衝突時間を推定し、流体力に占める流木衝突の影響について解明することを目的とする。

2. 研究方法

(1) 実験方法 本研究では定常流の流木が家屋に与える影響について把握するため、広幅水路(幅 0.7m)水路長 5.0m)に水路勾配($i=1/365$)設置して定常流を発生させた(図-1)。本実験での定常流条件(水深 $h=1.5\sim3.0\text{cm}$ に対し、およそフルード数 $Fr=0.5\sim0.6$ 程度の範囲)となった。以下に、フルード数の定義を示す。

$$Fr = V / \sqrt{gh} \quad (a)$$

ここに、 V : 流速(m/s), g : 重力加速度(m/s^2), h : 水深(m)である。家屋モデル(縦 5 cm×横 5 cm×高さ 10 cm)を水路中央に設置し、その上流 1.5m の点から流木を水路横断方向中央に投入し、家屋への衝突をビデオで撮影した。同時に家屋モデルに設置した分力計によって、衝突した際の衝突力も測定した。実験ケースについては、流木サイズの直径と長さを表-1 のように設定した。流木はラミン丸材(比重 $S=0.6\sim0.8$ 程度)を使用、実験前に水に浸し、流木の比重は $S=0.9\sim1.05$ になるように管理した。実験に用いた流木スケールは長さ $L=12.5\text{cm}$ 、直径 $d=0.3, 0.4, 0.5, 0.6\text{cm}$ の 4 種類である。水深は $1.5\sim3.0\text{cm}$ の 0.5cm 刻みでおこなった。本実験では、分力計によって流体力、流木衝突力、流木衝突立ち上がり時間を計測した。

(2) フルード相似則を用いた流木衝突時間 dt の算出方法

本実験の結果を用いて、実現象における衝突時間を推測するのに用いるフルード相似の式を以下に示す。

$$T_R/T_M = (K_R/K_M) \times (h_M/h_R)^{0.5} \quad (b)$$

ここに、 T_R : 実現象における流木衝突時間, T_M : モデル実験における流木衝突時間, K_R : 実現象における代表長さ, K_M : モデル実験における代表長さ, h_R : 実現象における水深, h_M : モデル実験における水深である。以下、計算条件について記載する。実現象値としては鈴木・田中(2012)における計算結果より、流木径 $K_R=26\text{cm}$ 、流木長 $L_R=11\text{m}$ 、水深 $h_R=2.0\text{m}$ 、また、実験から計算に用いる条件は、観測された衝突立ち上がり時間(秒)、流木径 $K_M=0.3\text{cm}$ 、流木長 $L_M=0.125\text{m}$ 、水深 $h_M=2.5\text{cm}$ とする。

3. 結果および考察

(1) 実験結果の考察 図-2 に示すのは流木サイズ毎の分力計で測定した衝突力(以下、実測衝突力)と観測された衝突時間、流木質量・流木速度から力積式を用いて計算した衝突力(以下、算出衝突力)を比較したグラフである。実測衝突力は算出衝突力に比べて小さく評価され、およそ 0.4-0.6 倍程度となることが分かった。この要因は定常流中であるため、家屋モデルの前面に常にせき上げが生じており、衝突直前の流木速度を遅くしているため実測衝突力が小さくなったと考えられる。図-3 に流木サイズ同条件($d=0.3\text{cm}$)において、フルード数(水深)を大きくした際の実測衝突力と流体力の比較を示す。フルード数が大きくなるにつれ、全抗力に対する実測衝突力による影響は小さくなる。ここで、マニングの平均流速式を用いてフルード数を表すと、

キーワード 流木, 衝突力, 衝突時間 連絡先 〒338-8570 埼玉県さいたま市桜区下大久保 255

埼玉大学大学院理工学研究科 TEL E-mail: tanaka01@mail.saitama-u.ac.jp

$$Fr = \left(\frac{1}{n} \times i^{\frac{1}{2}} \times g^{-\frac{1}{2}} \right) \times h^{\frac{1}{6}} \quad (c)、\quad \text{流体力指標} \quad V^2 h = \left(\frac{1}{n} \times i^{\frac{1}{2}} \times h^{\frac{2}{3}} \right)^2 \times h = \frac{1}{n^2} \times i \times h^{\frac{7}{3}} \quad (d)$$

である。式(c)、(d)より、フルード数は水深の 1/6 乗、流体力（指標）はフルード数、すなわち水深増加による投影面積と流速の 2 乗（すなわち水深の 7/3 乗）に影響されるのに対し、運動量の変化と関係する衝突力は流速（すなわち水深の 2/3 乗）に影響されるためである。

(2) フルード相似則から求める流木衝突時間 流木径 $d = 0.3\text{cm}$ の実験において観測された衝突時間は $dt = 0.03$ 秒が割合で全体の 92.6%であった。そのため今回の計算において $T_M = 0.03$ 秒を使用して実現象での衝突時間をフルード相似式(b)より計算すると、 $T_R = 0.29$ 秒となる。

(3) 鈴木・田中(2012)と実験結果による考察 鈴木・田中(2012)は、数値計算により、 $T_R = 0.1$ 秒の場合の流木衝突力を流体力の 0.05~0.15 倍と見積もっている。本研究で求めた衝突時間より、鈴木・田中(2012)においてフルード数($Fr = 0.53 \sim 0.6$)と同条件の計算結果を抜粋し、衝突時間 $T_R = 0.29$ 秒を用いて再計算した結果が図-4 である。フルード数 $Fr = 0.56 \sim 0.6$ の部分はおよそ類似値(約 5%程度)を取っていることが分かる。海岸林は背後の流体力を減少させることが多くの数値計算によって研究されており、海岸林がこの衝突増加分以上の低減が期待できる場合であれば、二次的被害があっても海岸林の効果が上回ると考えられる。今後は、複数衝突する場合も含め、さらに詳細な検討を行う必要がある。

4. 結論

- 1) 流木は家屋前面におけるせき上げという局所スケール現象によって減速されるため、衝突力を数値計算で評価する際には、やや過大に衝突力を評価する可能性がある。
- 2) 水深が高いほど、流木による衝突の影響は流体力に比べて小さくなる。
- 3) 衝突時間から推定した実スケールの衝突時間と衝突力は鈴木・田中(2012)と類似の値(概ね 5%以下)となった。

参考文献： 鈴木一貫，田中規夫：津波により発生した流木が家屋に及ぼす衝突力に関する数値解析，土木学会第 67 回年次学術講演会，pp. 369-370 (II-185)，2012

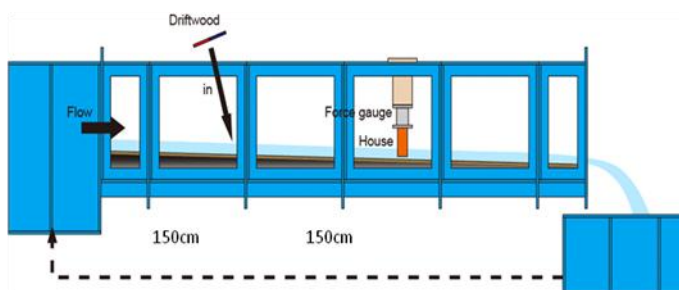


図-1 実験装置略図

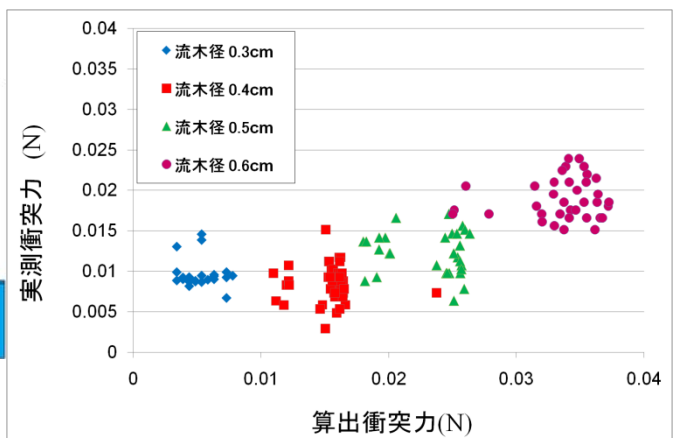


図-2 実測衝突力と算出衝突力の比較

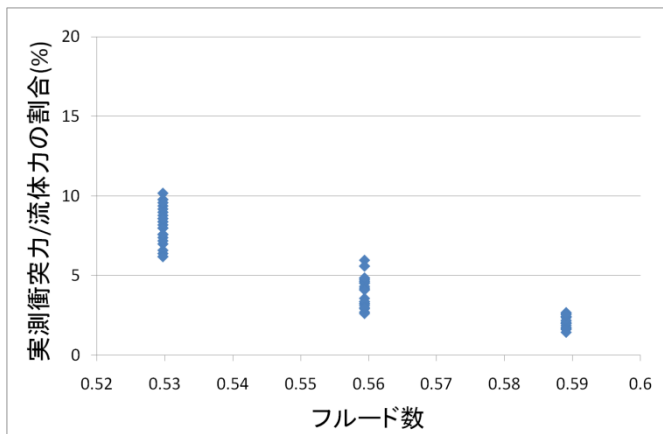


図-3 実測衝突力と流体力のフルード数毎の関係

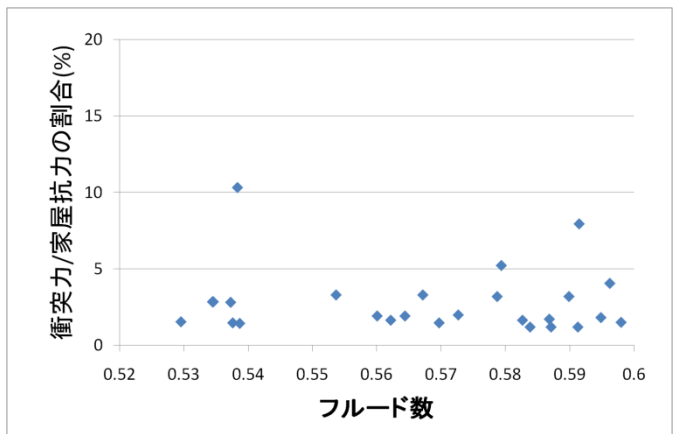


図-4 求めた衝突時間を代入した鈴木・田中(2012)計算結果