

## 定常・非定常流における流木群の衝突力に関する基礎実験

埼玉大学大学院

学生会員 ○宮原 海

埼玉大学レジリエント社会研究センター

正会員 田中 規夫

### 1. 研究背景と目的

2013年10月16日大型台風26号の記録的な大雨に見舞われた伊豆大島では、一度に大量の火山灰層が崩壊し、加えて多くの樹木が流木化した。流木を巻き込んだ泥流は多量の水分を含み、高い流動性を示すものであった。そのため神達地区の家屋群を破壊した後、運動を停止することなくそのまま流路工へと流入した。流木は元町橋地点で閉塞し、その周辺において大量の流木氾濫を発生させ被害を拡大させた。このように流木が発生し家屋や構造物に衝突することで流体力が増大することに加え、河川橋梁などに堆積することで抗力の増大や水深の急激なせき上げが生じ、大規模な氾濫へと繋がる危険性があると言える。そこで、本研究では定常・非定常における流木群の衝突力および衝突時間について基礎実験によって比較し、現象の相違を解明することを目的として実験を行った。

### 2. 研究方法

定常流実験は広幅水路(幅0.7m,長さ5.0m)で水路床勾配 $i=0.0027$ を用いて繰り返し回数10回で実験を行った。家屋モデル(縦5cm,横5cm,高さ10cm)と単体流木モデル(直径0.4cm,長さ12.5cm)と流木同士が枝などによって絡まった場合を想定して5本からなる流木群モデルを作成した。流木群モデルは糸を用いて5mm間隔で連結されたものであり、絡まっている枝の分程度ずれることを想定した。広幅水路の定常流中でこれらの流木モデルを家屋モデル上流1.5mから投入し、家屋モデルに衝突した際の衝突力と挙動を分力計と動画撮影から解析した。

非定常流については、ゲート急開装置を有する造波水路(幅0.4m)を用いて実験を行った。家屋モデル・流木群モデルについては定常流と同様のものを用いた。流木の条件として、家屋モデルの上流側10cmおよび30cmの位置に流木の長辺を流下方向と平行に静止させて置いた。波を安定させるためにゲート急開装置直後に水平の板を設置し、その更に後ろに勾配をつけるための傾斜板を設置した。家屋モデル(5cm×5cm×10cm)による抗力の観測は上下端の影響を考慮し、傾斜板中央付近において行った。非定常実験については水路床勾配 $i=0.04$ および $0.003$ の2ケース、タンク水深 $h=5\text{cm}$ ,  $10\text{cm}$ の2ケース、流木と家屋間の距離 $=10\text{cm}$ ,  $30\text{cm}$ の2ケース、繰り返し回数それぞれ3回の計24ケースについて計測を行った。

本実験での定常流条件は水深 $h=4.5\text{cm}$ に対し、フルード数 $Fr=V/(gh)^{0.5}$ ,  $V$ : 流速(m/s),  $g$ : 重力加速度( $\text{m/s}^2$ ),  $h$ : 水深(m)が1.1程度であった。また非定常での水理条件は勾配 $i=0.04$ において水深1.1cmに対しフルード数1.3程度であり、勾配 $i=0.003$ においては水深1.33-2.8cmに対してフルード数2.1程度であった本実験では、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。

### 3. 結果および考察

(1) 分力計の計測値と力積式から求めた計算値の比較について： 図-1は実際に流木群衝突実験を行った際の分力計の計測値(y軸)と流木群の質量、衝突速度、衝突時間から計算した算出衝突力(x軸)を比較したものである。図においてプロットされた点は概ね $X=Y$ の直線に沿っていることから、計測された衝突時間は精度の高いものであると考える。

(2) それぞれの条件における衝突時間の変化について： 流木の衝突時間に関する知見は、流木を伴う泥流などの土石流の数値解析を行う際に非常に重要である。図-2において非定常でフルード数が異なるケースについて見ると、同程度の衝突時間( $i=0.04$ において平均衝突時間0.0044,  $i=0.003$ において平均衝突時間0.0048)を示している。このことから本実験において、フルード数の違いは衝突時間の変化に大きな影響を与えないと言える。これに対してフルード数が同じくらいのものについて定常流・非定常流の違いについて着目すると、定常流と比べ非定常での衝突時間はおよそ1/10程度と極めて小さい値を示している(定常流における平

均衝突時間 0.0394)。これは非定常流において、流木群が家屋モデルに当たった瞬間に跳ね上がる水に持ちあげられるような挙動を示したことが原因であると考えられる (図-3)。

(3) 定常流・非定常流における衝突力の比較 定常流の衝突力と非定常流の衝突力を比較したところ大きな相違が見られた。定常流においては、せき上げの影響が上流側に及ぶため衝突直前に流木群が減速される。そのため、せき上げた水がウォータークッションのような役割を果たすことが考えられる。これに対し、非定常流においては定常流の場合と同様にせき上げ現象は生じているが、せき上がった水の層は薄く、上流側ではなく構造物にそって上方への高い跳ねあがりであった。そのため、流木は減速の影響を受けづらく、ぶつかった瞬間に上方に持ち上げられる (図-3)。このことから、衝突時間が短く、かつ衝突力が大きいものとなった (図-4 に衝突力のスパイク波形を示す)。なお、分力計に衝撃力が検知できる場合とできない場合があった。これは物体前面のせき上げが定常流の場合と比べ、水深の数倍以上も跳ね上がり、かつその高さが変動したため、跳ね上げた水が下に落ちてきているようなタイミングによってはウォータークッションのような働きをする場合もあったと考えられる。

4. 結論

- 1) 定常・非定常流ともに家屋モデル前面においてせき上げ現象が発生しているが、その形態の違いから流木の衝突力に大きな差が生じた。
- 2) 非定常における流木の衝突時間は、定常流のものと比較して約 1/10 程度と極めて短時間であった。そのため射流における衝突力の評価の際は、衝突時間に留意する必要があると言える。

謝辞：本研究には、河川砂防技術研究開発制度 砂防技術分野「火山地域における水文・土砂流出メカニズムの解明と土砂災害防止事業支援のための数値シミュレーション法の開発」の予算を使用した。記して謝意を表します。

参考文献：田中規夫、流木の生産・流出特性、土木学会・地盤工学会・日本応用地質学会・日本地すべり学会 平成 25 年 10 月台風 26 号による伊豆大島豪雨災害緊急調査団 最終報告書、2014. 5.

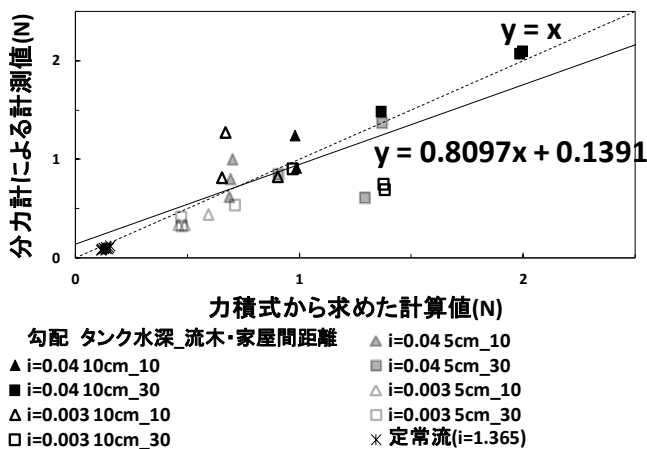


図-1 分力計の計測値と計算値の比較

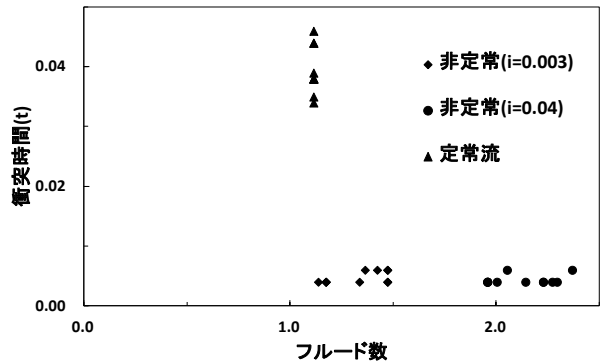


図-2 フルード数と衝突時間の関係



図-3 流木の衝突直後の様子(非定常)

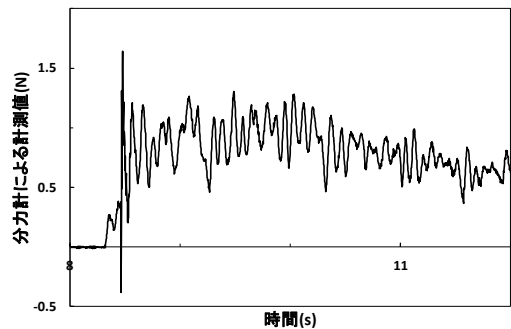


図-4 家屋モデルに働く力の時間変化(流木モデル(5本)有り)