

個別要素法による流木単体の衝撃力に関する基礎検討

(一財) 砂防・地すべり技術センター ○ 香月 智、井上隆太、和田眞典、吉田真也
防衛大学校建設環境工学科 堀口俊行

1. 緒 言

近年、土石流災害において、流木災害が大きくなってきた。例えば、令和4年8月の豪雨災害では、多数の流木が流出した小河川があり、中でも村上市大沢川では、不透過型堰堤が大量の流木を捕捉したものの、一部が越流・流下してボックスカルバートを閉塞し、越堤した流木が河岸にある家屋などを破壊した。その流木(上流堰堤で捕捉)は、写真-1に示すように立木の成長により、太いものが多い。

このように流木が既往研究の対象よりも大きくなると、衝突荷重も増大するので、その差異を把握しておくことが望まれる。そこで、本研究は、個別要素法を用いて、実流木の固定面への衝突荷重推定を試みたものである。

2. 参考実験研究²⁾

松富は、津波災害における流木の衝突荷重評価式を、実験値に基づき提言している。実験は、振り子式の装置を用いて、流木模型を剛な鋼板に偏角を与えて衝突させるものである。実験パラメータは、流木径を20cmと30cmの2種類、偏角を5°から20°までの4種類、流木の長さを直径の6倍のものから20倍のものまで0.25倍刻みに56種類程度、衝突速度は50cm/sから250cm/sまで50cm/s刻みで5種類の組合せである。材質は、カラ松もしくはラワンである。偏角により組合せ範囲が異なるものの、総計が1120通りに及ぶ膨大なデータである。

松富は、次の二つの無次元化パラメータを用いて、荷重と影響因子の関係を整理した。

$$F' = F_m / \gamma D^2 L \quad (1)$$

$$X' = \left\{ V_0 / (gD)^{0.5} \right\}^{0.9} (L/D)^{0.06} (\sigma_f / \gamma L)^{0.19} \theta^{-0.05} \quad (2)$$

ここで、 F' ：無次元化荷重、 X' ：無次元化影響因子、



写真-1 流木の太さ (村上市災害)

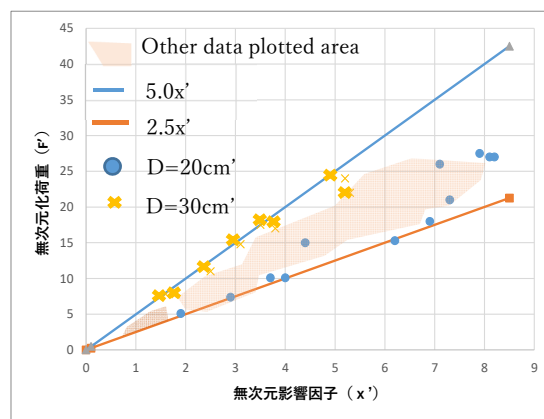


図-1 松富実験²⁾の読み取り図

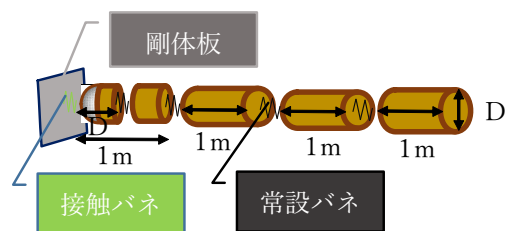


図-2 流木の DEM モデル

F_m ：最大衝突力、 γ ：単位体積重量、 D ：流木直径、 L ：流木長、 g ：重力加速度、 σ_f ：降伏応力、 θ ：偏角。

図-1に文献1)に示された実験結果を読み取ったものを示す。図中には、多くのデータのプロット領域と本研究で抽出対象とした偏角5°で直径D=30cm(以後D30と表記)とD=20cm(D20)のものを示し

ている。D=30cm のプロットは最大値側に、D=20cm のプロットは最小値側に寄っている。ただし、全データは、概ね線形領域に存在しており、その範囲は、比例係数 2.5 と 5.0 の線形関数に収まっている。

3. 解析要領

3.1 解析過程

解析は、第 1 段階として解析モデルの衝突点のばね係数設定等について、表—1 に示す松富実験の D30 と D20 にフィットするように校正する。第 2 段階として、実規模の流木を直径 50 cm で長さ 10m、衝突速度 3~10m/s を想定して解析を行い、衝突荷重の推定を行う。

3.2 解析モデル

流木の解析モデルは、図—2 に示すように、原則として 1 m 長の円柱形要素を連ねたものである。ただし、先端部分は、球形要素と半径長円柱の集合体要素とし、これに続く円柱要素との合計長が 1 m としている。これらの要素間には、常設バネを設定している（図の間隙は誇張している）。その剛性は、長さ 1 m 分の流木円柱の軸力と縮小変形の関係から導出する。また、このバネには並列してダッシュポットが設定されている。

先端要素の直前に、剛体平面を設定する。そのうえで球形要素と平面が接触すると、接触バネとダッシュポットが設定される。接触バネの剛性は、常設ばねの剛性の $1/n$ とした。これは、松富実験では、先端平面が偏当たりしているためである。この低減率 n を調整して、実験で得られた最大衝突力の再現性を得るように fitting を行った。表—2 に $n=500$ とした場合の最大荷重値を、図-1 の下限値と上限値に比較して示す。推定値は、4 ケースとも松富実験の上下限値の範囲にあり、fitting できている。よって、実規模流木の推定解析においても、この縮小率を用いた。

4. 解析結果

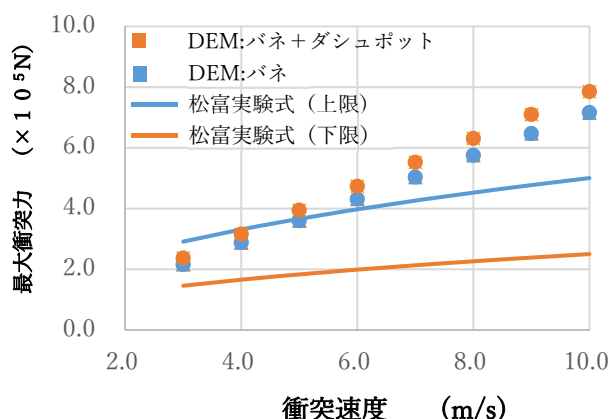
図—3 に、D50-L10m の計算結果における最大衝突力～衝突速度関係を示す。推定値は、ばね力のみの場合とばね力とダッシュポットの合計値を同時に示しているが、両者は、若干ダッシュポットの影響があるものの、概ね一致する。その衝突力は 3m/s では概ね $2 \times 10^5 \text{ N}$ (20 トン) であるが、10m/s では $7 \times 10^5 \text{ N}$

表—1 シミュレーションケース

区分	Case	直径	長さ	速度
松富実験再現 (カラ松)	Case1	20cm	4m	1m/s
	Case2	20cm	4m	2m/s
	Case3	30cm	4m	1m/s
	Case4	30cm	4m	2m/s
実規模推定(杉)	Case5	50 cm	10m	3~10m/s

表—2 松富実験と DEM 推定値($n=500$)

Case	X'	下限(N)	DEM(N) 【Y'】	上限(N)
Case1	3.14	1.0E4	1.36E4 【10.2】	2.1E4
Case2	4.28	1.4E4	2.72E4 【20.4】	2.9E4
Case3	2.55	1.9E4	2.36E4 【7.85】	3.8E4
Case4	4.76	3.6E4	4.72E4 【15.7】	7.2E4



図—3 最大衝突力～速度関係 (D50-L10m)

(70 トン) となり、自重 (1.7 トン) の 10~40 倍近くになる。ただし、松富推定式 (外挿) の上限を超えており、慎重な解釈が望まれる。

4. 結 言

個別要素法による推定衝突力は、実構造物に対して大きな破壊威力を有することを示唆している。一方、既往研究 (外挿推定) に比して、1.5 倍程度となっており、信頼性を高める研究継続が必要である。

参考文献

- 1) 石川芳治、水山高久、浅井信秀： 流木の衝突による鋼材の変形に関する実験的研究,新砂防、Vol.42,No.5(166) ,pp.11-20,Jan.1990
- 2) 松富英夫：流木衝突力の実用的な評価式と変化特性,土木学会論文集 , No.621/II-47 ,111-127, 1990.5