

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

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. 研究の背景と目的

インド洋大津波以降、砂丘植生やマングローブ等の海岸林が津波による流体力を低減する効果が見直され、植林等も行われている。一方で2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震による津波のような巨大津波において、海岸林は流木化し被害を拡大する可能性があるという指摘がなされている。上記以外の既往津波後も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影響」は定性的には指摘されていたが、定量的に比較されることはなかった。また、貯木場から発生した木材浮遊物の挙動を解析するモデルの提案はあるものの、東北地方太平洋沖地震後において、特に宮城県仙台平野などで多く確認されたような、海岸林の倒伏による抵抗の減少、樹木の流失による流木の発生、漂流した後の家屋と流木の衝突による家屋への付加的な衝撃力の発生、という一連の事象を表現するモデルは存在しなかった。

そこで本研究では、上述の一連の事象をモデル化することにより流木の挙動を捉える。流木の家屋への衝突力と家屋の受ける抗力を定量的に比較することで、流木化の影響について検討することを目的とする。

2. 研究方法

(1) 数値計算法 津波の運動は三次元の運動方程式を水深積分した平面二次元の非線形長波方程式を差分法により解析する。その上で、流木の運動は抗力および慣性力を考慮した運動方程式を解くこととする。ここで、岸沖方向を x 方向とした場合の運動方程式は式(1)で与えられる (y 方向も同様の式となる)。

$$m(dV_x/dt) = \rho vol(Du_x/Dt) + \rho C_M vol(Du_x/Dt - dV_x/dt) + (1/2)\rho C_{Dx} A_{Dx} \sqrt{(u_x - V_x)^2 + (u_y - V_y)^2} (u_x - V_x)$$

ここに、 m : 流木の質量, vol : 流木の体積, ρ : 津波氾濫水の密度, V_x : 流木の速度, u_x : 流木が位置している地点での津波の流速, t : 時間, A_{Dx} : 投影面積, C_{Dx} : 抗力係数(=2.0), C_M : 付加質量係数(=1.0)とする。

対象樹木はクロマツとし、幹部分は直径 $d=0.26\text{m}$ 、高さ $l=11\text{m}$ の円柱と仮定し、根鉢部分は直径 $D=2.0\text{m}$ 、高さ $L=1.0\text{m}$ の楕円体とした。

流木の位置はラグランジュ的に追跡することで求め、 x 方向を以下に示す (y 方向も同様の式となる)。

$$dX/dt = V_x$$

流木の運動開始条件は樹木が流失判定された時からであり、流失限界を $M = 5d^2$ で与える。流木の運動停止条件は流木が家屋と衝突した場合、もしくは水深が流木の根鉢直径を下回った時である。

流木と家屋の衝突は完全非弾性衝突と仮定し、衝突力は力積により求められる。 x 方向の式を以下に示す

$$I_{cx} = 0 - mV_{cx} = \int_{t_c}^{t_c + \Delta t} F_{cx} dt$$

ここに、 I_{cx} : x 方向の力積, F_{cx} : x 方向の流木の衝突力, t_c : 衝突する瞬間の時刻, Δt : 衝突力が加わる時間 (=0.11s), V_{cx} : 衝突する瞬間の流木の速度とする。なお、 y 方向の運動方程式も同様の式となる。

(2) 数値解析条件

数値解析は宮城県仙台市宮城野区における地形及び樹林帯、家屋配置で行う。計算座標は汀線と垂直方向に x 軸、汀線方向に y 軸とする。計算領域は $76830\text{m} \times 100\text{m}$ とし、計算格子は $10\text{m} \times 10\text{m}$ とする。津波は水深 200m の部分において周期 30 分で発生させ、汀線で 10m の津波浸水深となるような条件とした。海底勾配は数値計算開始点より $0 \sim 3100\text{m}$ (勾配 0)、 $3100 \sim 29330\text{m}$ (勾配 $1/312.5$)、 $29330 \sim 38440\text{m}$ (勾配 $1/181.8$)、 $38440 \sim 70440\text{m}$ (勾配 $1/1111.1$)、 $70440 \sim 72650\text{m}$ (勾配 $1/111.1$) とする。陸上勾配および樹林帯、家屋群の配置は図-1に示す。流木は樹林帯のうち流失域で生産され、範囲は $310\text{m} \times 100\text{m}$ である。流木となりうる樹木すべてを計算すると莫大な量を計算することになるため、それぞれの計算格子の中心に1本設置し、

キーワード 流木, 海岸林, 衝突力 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

計 310 本を正方配列とした。

3. 結果および考察

流木の漂流運動の時間的変化を平面二次元上で表したものを図-2 に示す。多くの流木は第 1 家屋群に堆積しており、現地の被災状況に近い状態である。流木の家屋への衝突力と津波による家屋の最大抗力と距離の関係を図-3 に示す。津波による家屋の最大抗力は汀線から近いほど増大するが、一方で流木の家屋への衝突力は汀線からの距離とは関係なく 0~20kN の間に分布する。家屋の抗力は流速と投影面積、すなわち水深により大きさが決まるが、流木の衝突力は流木の速度のみで大きさが決まる。内陸へ行くほど水深は減少したが、流木の速度には大幅な減少がなかったと言える。

また、流木の家屋への衝突力とその流木が衝突した家屋の最大抗力との比は 0.05~0.15 程度と小さく、数値計算によって流失と判定された家屋において、流木の家屋への衝突力とその流木が衝突した家屋の最大抗力との比は、最も大きい地点でも 0.08 となった。今回の地点では、砂丘背後の地盤高さの低い箇所でも多くの流木が発生したが、砂丘上の海岸林はなぎ倒されてもその場所にとどまっていたものが多いこと、なぎ倒されても樹林帯背後の流体力を低減する効果は、田中ら(2012)より確認されていることから、流木が直接的な要因となって家屋を流失させる可能性は少ないと言える。

4. 結論

流木の衝突力と家屋の受ける抗力との関係から、流木が家屋流失の直接的な要因ではないことがわかった。しかし、限界値付近では家屋流失に影響する場合もあると考えられるため、適切な樹林帯の配置が必要である。すなわち、堤防背後の落堀形成領域に樹木を植えないこと(田中ら, 2012)、樹木が流失しづらいよう砂丘高さを高くし樹木の根張りをよくし流失しづらくすること、流失した樹木が居住地まで到達しないように陸側に盛り土や樹林帯等でトラップさせることを提案する。

参考文献: 田中規夫, 安田智史, 八木澤順治, 津波時における海岸林の家屋被害軽減量の定量化, 東日本大震災津波による河川災害河川環境変化, 京都大学, 2012.

謝辞: アジア・アフリカ学術基盤形成事業(コーディネータ・田中規夫)経費の一部を使用した。記して謝意を表します。

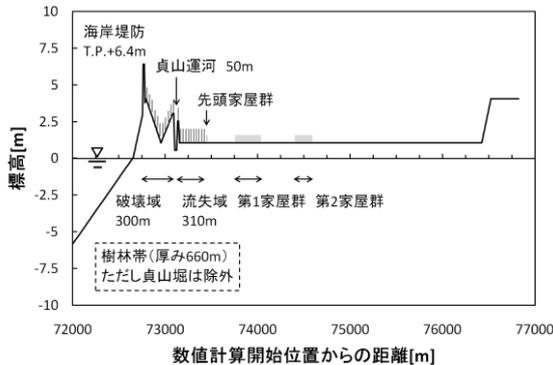


図-1 数値計算地形断面図 内陸部

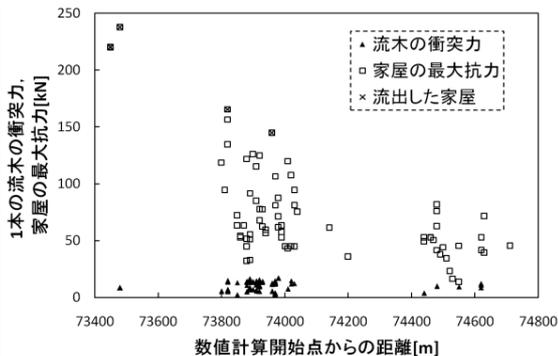


図-2 流木の衝突力, 家屋の最大抗力と距離の関係

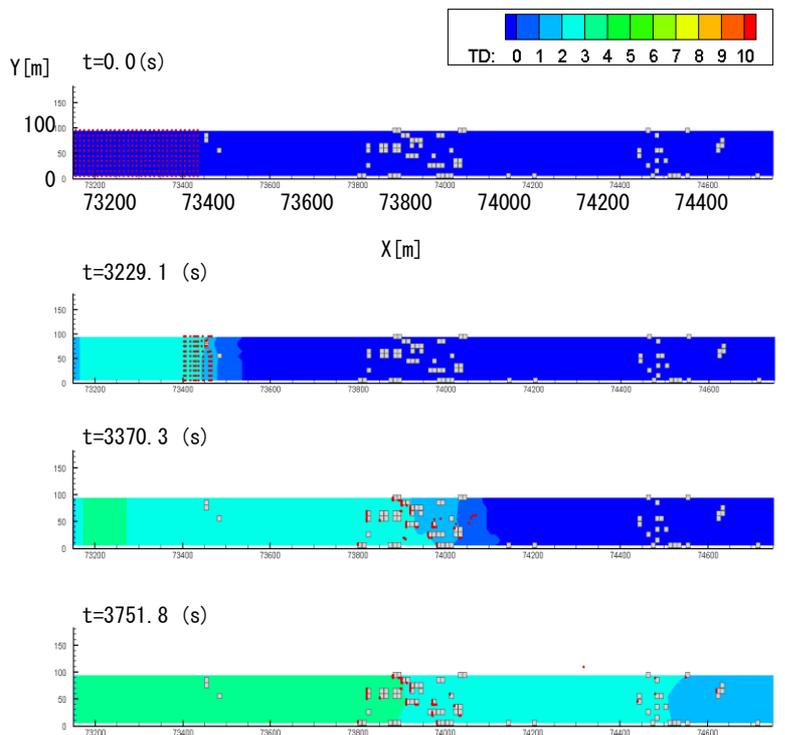


図-3 流木の漂流運動の時間的変化