

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 報告会

日時:平成26年1月23日(木)

流木の生産・流出特性

埼玉大学大学院理工学研究科 田中規夫

流木の生産・流出特性(流木収支)

3流域、神達地区流域の樹木がどのようなルートでどこに流れ、堆積したかを調査した。

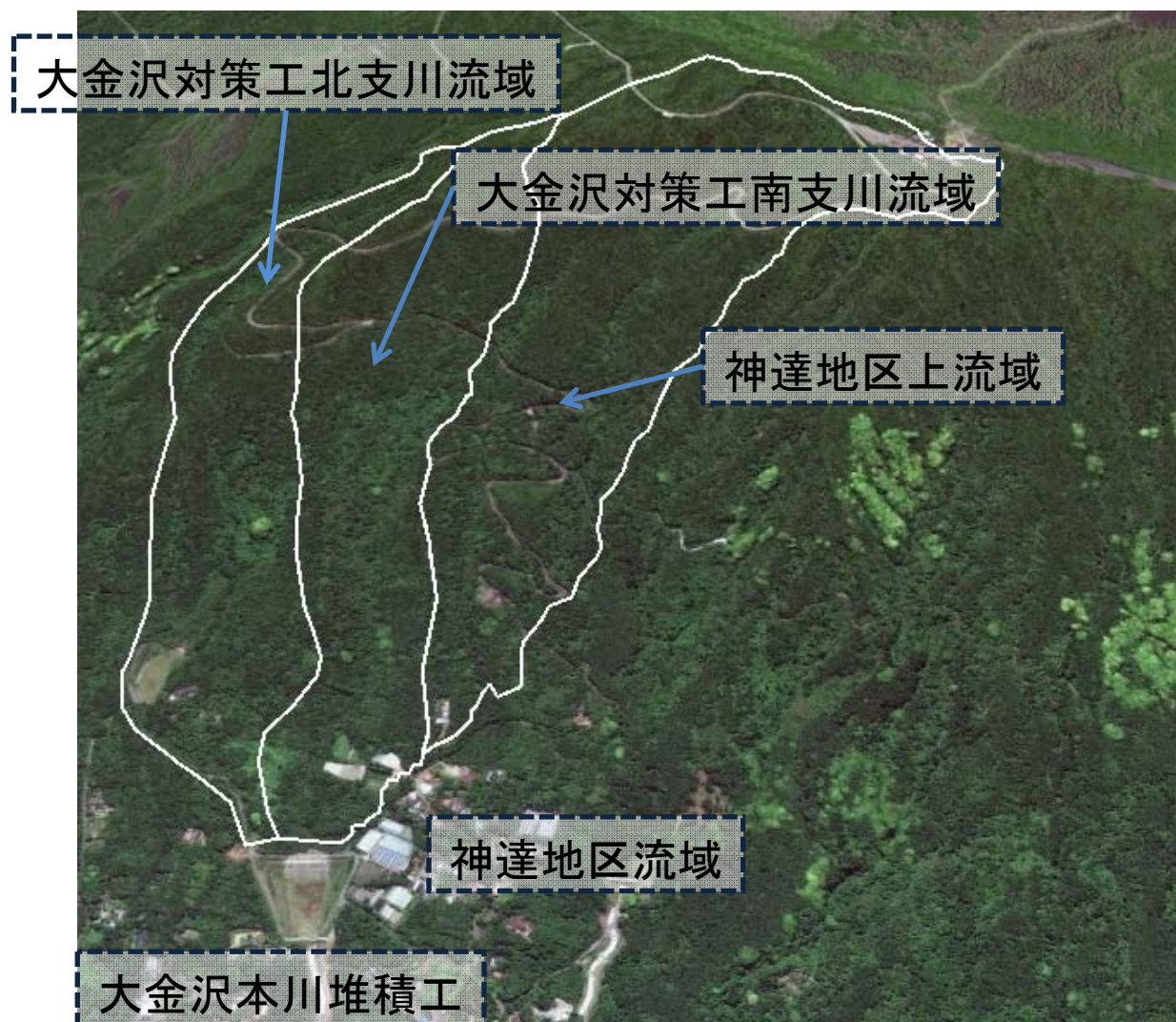


図1 伊豆大島の流域界:白線部分(Google Earth上の画像)

流木の生産： 崩壊地付近の状況

1) 流木の生産

・樹林は標高が高い地点では直径が小さく密度が大で、低い箇所では直径が大きく密度が小さい分布であった。平均値として、樹高6m、直径10cm、樹木密度0.25本/m²、生木の比重(約1)を用いた。



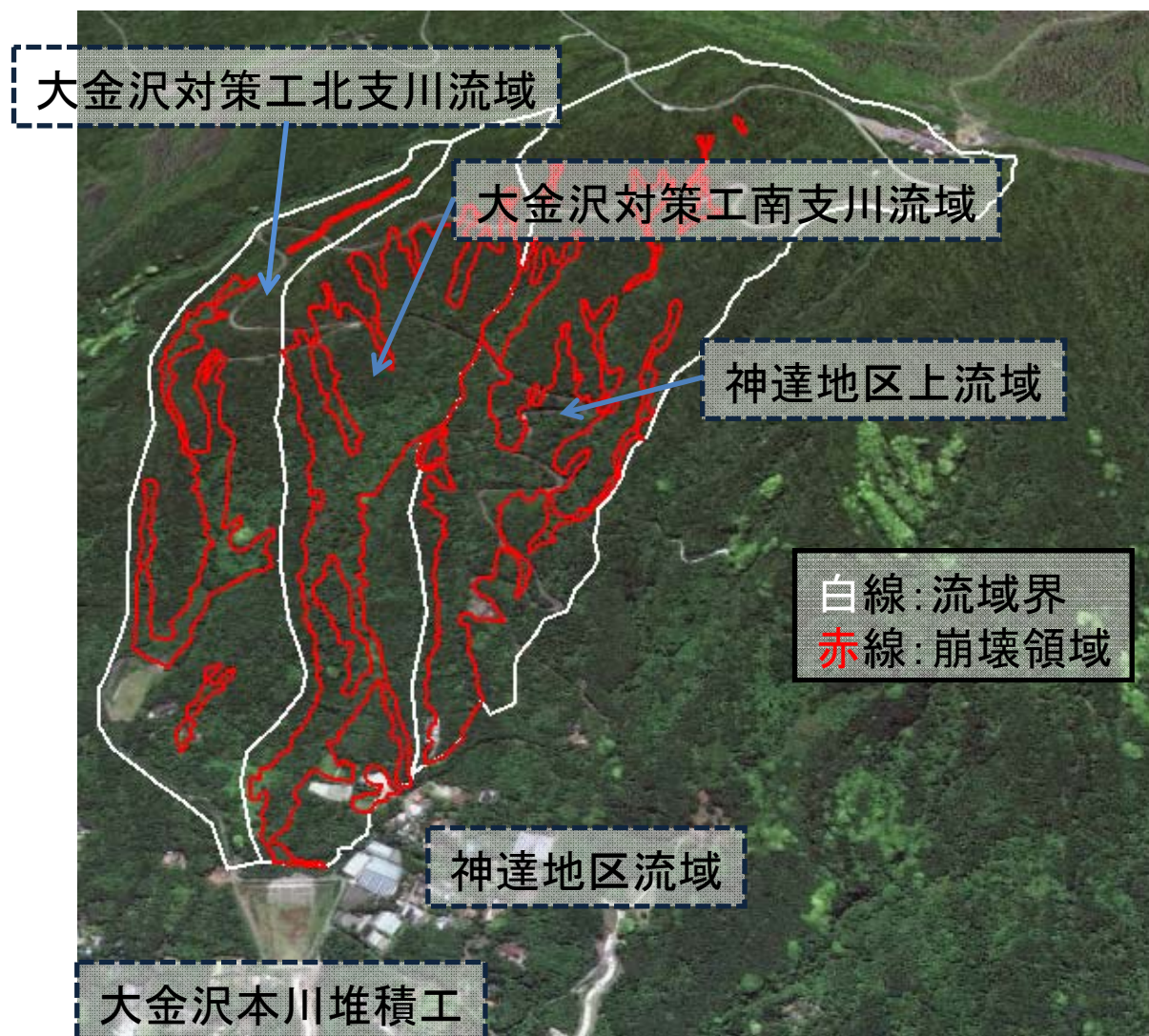
図2 源頭部付近の樹木(a)繁茂の様子(b)樹木の緒元



図3 下流域の樹木(a)繁茂の様子(b)樹木の緒元

流木の生産：生産量の解析結果

- ・航空写真(図4)の画像解析によって各流域の崩壊面積を各流域で算出した。
- ・この崩壊面積から生産樹木の大まかな重量を算定したところ、約4300tとなった。



※数値は現在得られている情報での暫定値

図4 流域界と崩壊領域(Google Earthの画像をもとに作成)

流木の堆積：各地点における堆積量の算定

2) 流木の堆積

流木の収支を抑えるため、堆積範囲を以下の4箇所(水色点線)に分類した。
現地調査ならびに航空写真で各地域に堆積した樹木を計測した。
計測方法:面積、高さ、正味の流木の割合(写真より推定)



図5 流木堆積位置の領域分け(写真はパスコ様より御提供)

流木の堆積： 堆積状況の写真



図6 堆積した流木の調査(a)元町橋周辺(b)元町橋(c)大金沢本川堆積工(d)海岸
※(a),(c)はパスコ様より、(b)は東京都大島支庁様より御提供

流木の生産と堆積の収支図(算定結果)

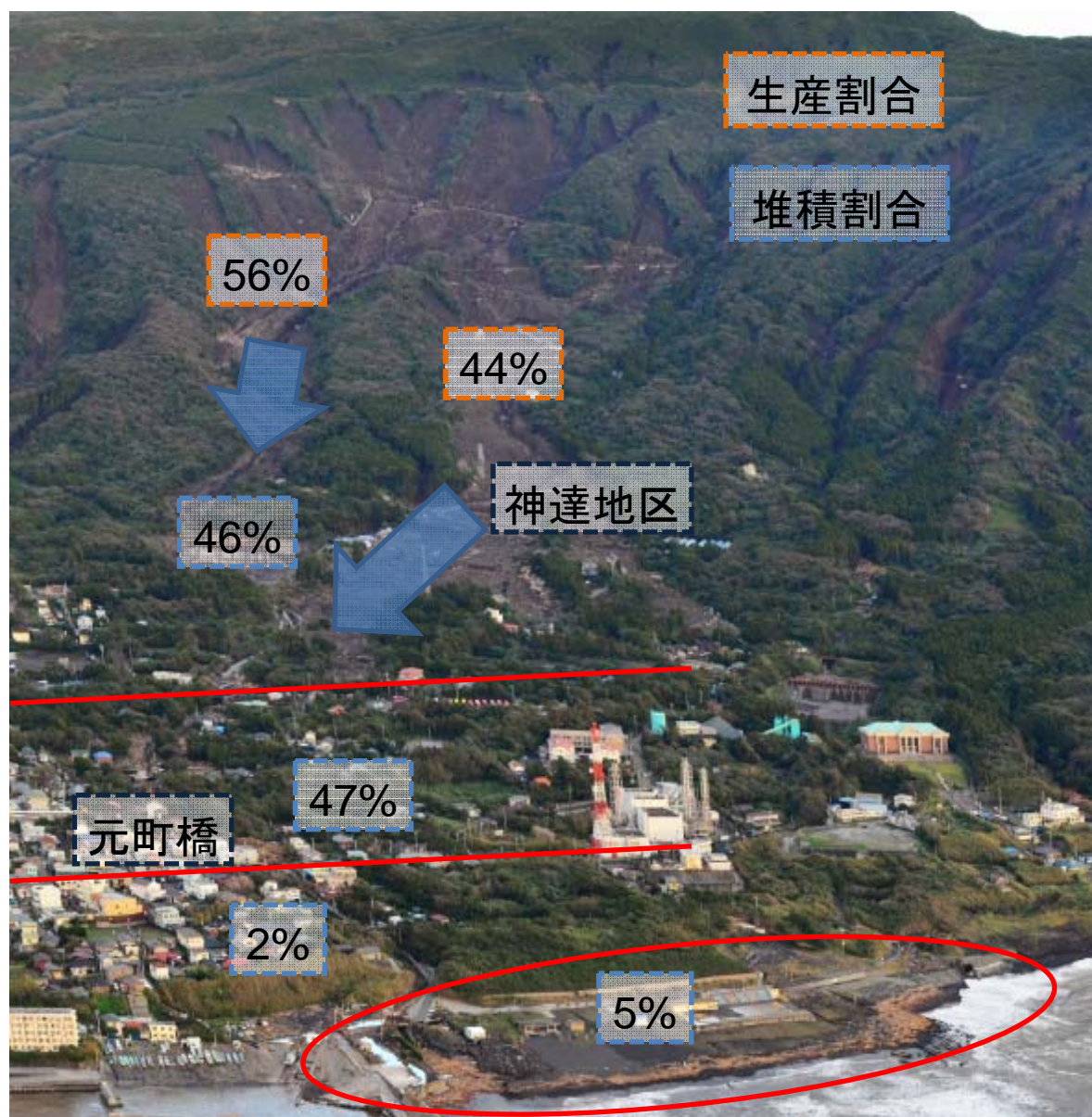


図6 流木の生産と堆積の収支(写真はパスコ様より御提供)

・大金沢流域北支川で生産された流木の一部と、神達地区上流で生産された流木のほとんどが、本川堆積工下流の流路工に流入し、流路工沿いに流下した。

・流路工途中の橋桁にぶつかり堆積した。

・元町橋においても橋桁にぶつかり、ここで大量に堆積した。

・残りは海岸へ向かい、全体の約7%が元町橋下流もしくは海岸に堆積した。

※数値は現在得られている情報での暫定値

泥流の流量、流速、水深の算出(神達地区)

- ・泥流がどの程度の流量で神達地区を通過したかを見積もり、神達地区の家屋に働いた力を算出することに重点を置いた。
- ・災害箇所において流量観測データはないことから、精密なモデル作成を行なうことは難しいが、ここでは山地上流域のデータをもとに作成された木村の総合貯留関数(式(1),(2))を用いて解析を行った。

$$s_l = 40.3q_l^{0.5} \quad (s_l: \text{単位貯留高(mm/hr)}, q_l: \text{単位流出高(mm/hr)}) \quad (1)$$

$$\frac{1}{3.6} f_1 A q_l + \frac{1}{3.6} (1 - f_1) A q_{sa,l} = Q_l \quad \text{流出高から流量への変換} \quad (2)$$

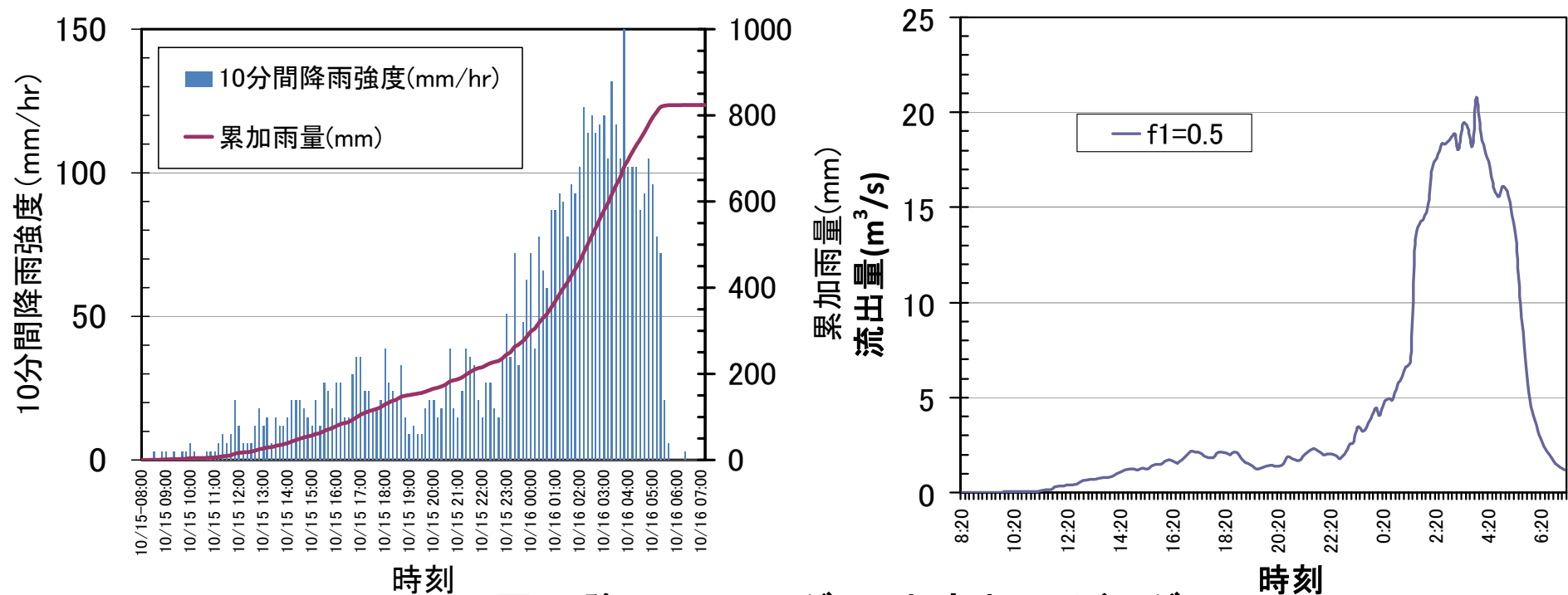
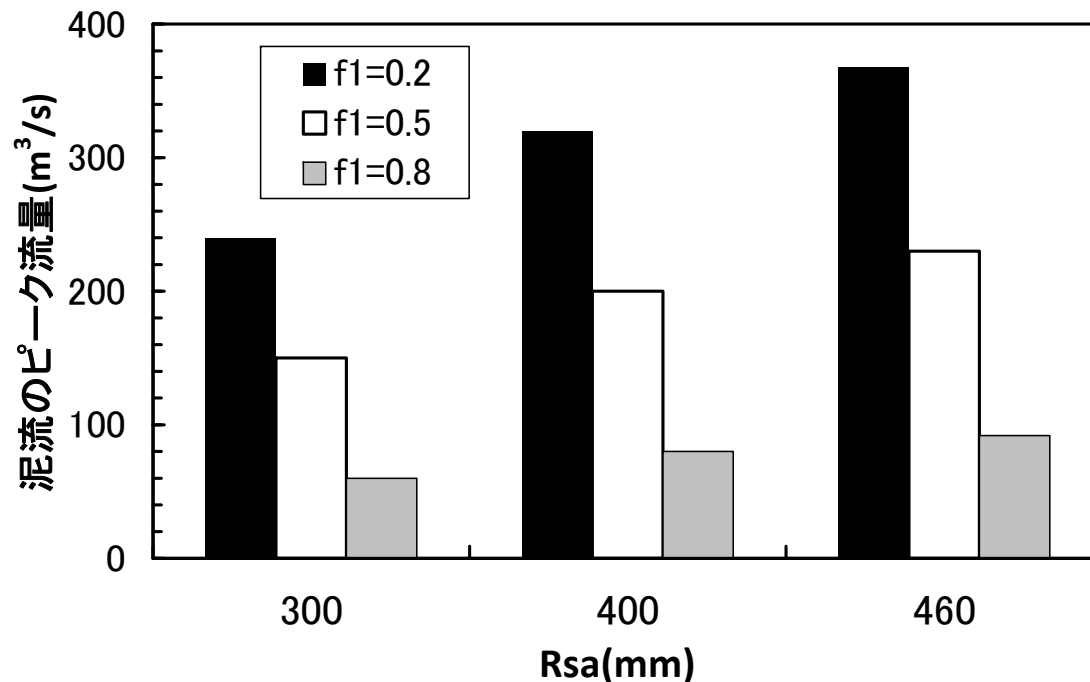


図7 降雨ハイトグラフと流出ハイドログラフ

泥流の流量、流速、水深の算出(神達地区)

崩壊地の最上流から神達地区までの距離は約1000mであり、その崩壊地に含まれる貯留量と土砂の量を算出し、それを新聞記事を参考に120秒で除すると下記の図8のようになる。貯留量は $f1$ によって大きく異なる。この流量を神達地区の幅150mで割って、水深と流速を求めた。

求めた流速で距離を割り、到達時間を検証すると、飽和雨量 Rsa が400mmでかつ一次流出率 $f1$ が0.2-0.8の幅で、到達時間は100-180秒となり、推定は概ね正しいことを示している。



水深・流速の算出

- ・マンニングの式を用いた。
- ・崩壊面は粘土のような不透水層なので $n=0.02$ とすると、泥流の水のみの水深は9~21cmとなる。
- ・土砂を含めて水深を想定し1.5~2.0倍とすると、泥流の水深は約18~42cmであったと推定される。

図8 飽和雨量と一次流出率による泥流のピーク流量の変化

※数値は現在得られている情報での暫定値

泥流の流体力と流体力モーメント(限界値との比較)

泥流のみの流体力や流体力モーメントは100%破壊流失限界を超えてはいないが、50%は超えた値になっている。流木衝突力はこれに比べると複数本が同時に衝突したとしてもやや小さい値である。f1の値によっても異なるが、f1が0.2-0.5くらいの現象が生じたことが推定される。

- ・水深が浅くて勾配が急であったため、流速が大きく破壊力が大きかった。加えて火山灰で貯留されやすい水が限界値を超えた場合には、逆に破壊力を増加させる。

- ・災害後の現地において、破壊された家屋の家財道具があまり泥まみれになっていなかったこと、基礎がむき出しになっていたこと(埋没していなかったこと)は、上記の考察を裏付けるものであると考えられる。

表1 家屋に働いた流体力とその限界値の比較

f_1	単位幅流体力	単位幅流体力によるモーメント	単位幅流体力	単位幅流体力によるモーメント
	$\rho_a u^2 h_a$ (kN/m)	$\rho_a u^2 h_a^2$ (kN)	$\rho u^2 h$ の限界値 (kN/m)	$\rho u^2 h^2$ の限界値 (kN)
0.2	84	36	30 (50%破壊)	34 (田中ら, 2012)
0.5	44	14	100 (100%破壊)	76 (高橋ら, 1985)
0.8	12	2		

※数値は現在得られている情報での暫定値

流木の衝突力

流木の衝突力

流木(質量 m)と家屋の衝突は完全非弾性衝突と仮定し、流速 V における衝突力 F は力積により求めた。

$$mV = F\Delta t$$

衝突時間の推定

衝突力が加わる時間 Δt は、FEMAの基準(木材と木材の衝突の場合)より1秒とした。

衝突力の算定結果(下表)

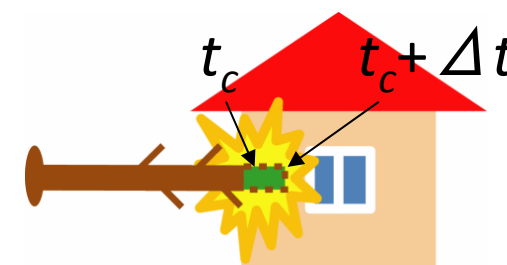
衝突力そのものは泥流の流体力(応力換算で100-200kPa)に比べて小さいものの、家屋にぶつかる面積が小さいため、同じ面積で比較すると実際はもっと大きい。

応力換算の衝突力: 50-60kPa

※ただし壁を局所的に破壊する力

表2 家屋に働いた流木の衝突力

f_1	1本あたりの 衝突力 (kN)	1本あたりの 衝突力によるモーメント (kNm)
0.2	0.46	0.10
0.5	0.39	0.06
0.8	0.27	0.03



※数値は現在得られている情報での暫定値

まとめ、提言

- ・神達地区の泥流は崩壊最上流部から2分程度で到達したと推算され、そのピーク流量は崩壊が生じない場合の流出量に比べて10-20倍程度とはるかに大であった。
- ・神達地区上流域で発生した泥流の破壊力は泥流だけでも家屋の50%以上を破壊する流体力を保持していたと考えられる。
- ・流木衝突力は家屋の壁全体が泥流から受けた力に比べると小さいが、ぶつかる面積が小さいので壁を破壊する衝突力をもっていたと考えられる。
- ・泥流は流動性が高かったため、家屋に衝突後も流木と共に流れ続け、大金沢本川堆積工下流の流路工に流れ込み氾濫した。
- ・流木の収支上は、流路工沿いに氾濫した流木の多くは神達地区の家屋を破壊したものが、流路に流入し氾濫したのと考えられる。
- ・流路工沿いの流木の氾濫は、道路橋桁付近に流木が集積したことで、その近傍の家屋周辺の氾濫が増大した。
- ・火山灰が堆積した地形の場合は貯留量が多いものの、いったん崩壊した場合には、貯留された分だけ破壊力が増大する。こうした地形における流出特性については、今後、観測で知見を高めていくことが必要である。