

29 雲仙普賢岳で発生した火砕流熱風部による災害

建設省土木研究所 ○石川 芳治
 山田 孝
 矢島 重美
 (株)八千代エン지니어リング 下田 義文

1. はじめに

1991年6月3日と6月8日に雲仙普賢岳で発生した火砕流により多くの人命が失われ、家屋や公共施設等も甚大な被害を被った。一般に火砕流は溶岩岩塊、溶岩片等からなる本体部（下層部）と火山灰を含む高温・高速の爆風からなる熱風部（上層部）に区分される。火砕流の本体部の運動や災害発生機構についてはこれまでも研究が進められ、ある程度の知見が得られているが、熱風部の運動や災害発生機構に関する研究はほとんどなされてきていない。1991年の6月3日ならびに6月8日に雲仙普賢岳で発生した火砕流熱風部による災害実態を調べ、火砕流熱風部の特性について考察した。

2. 火砕流熱風部による被害

1991年6月3日と6月8日に雲仙普賢岳で発生した火砕流により、43名の犠牲者が発生し、129戸の家屋が破壊あるいは焼失した。表一1に示すように、熱風部により120戸の家屋が焼失し、約2.9km²に渡る森林の樹木が倒れたり、焼け焦げた。火砕流の熱風部による家屋および森林の被害は火砕流全体の被害のそれぞれ約9割および約7割に達し、火砕流災害を防止するためには熱風部による被害発生機構の解明が重要である。そこで、6月3日と6月8日の火砕流の主として熱風部による被害の形態を調査し、高温による被害状況および爆風による被害状況から火砕流の熱風部の温度および風速を算定した。

3. 火砕流熱風部の温度

6月3日および8日の火砕流による災害発生直後の空中写真、斜め写真、ビデオ、陸上自衛隊による地上写真を用いて、車両の熱被害（タイヤ、バンパー等の焼失状況）、家屋の炎上・焼失状況を調べ、火砕流熱風部の温度の推定を試みた（図一1）。

6月3日、8日の火砕流では車両や家屋が本体の堆積区域から数100mも離れていたにもかかわらず、

熱風部による高温等により焼失した。これら焼失した材料の発火温度を調べることで熱風部の温度の最低値を推定できる。自動車メーカーのデータによると、タイヤ、内装、バンパー、ハンドルに使用されている合成樹脂類（ゴム、ポリエチレン、ポリプロピレン、等）およびランプ、レンズ等の合成樹脂類（メタクリル等）の融解温度は約150～170℃、引火温度は約300～350℃、発火温度は400～450℃である。6月3日の場合、本体の

表一1 火砕流の本体部と熱風部による被害

火砕流	本体部・熱風部の区分	被災家屋		被災森林面積		影響範囲	
		戸	%	km ²	%	km ²	%
6月3日	本体部	9	16	0.86	25	1.0	25
	熱風部	49	84	2.62	75	3.0	75
6月8日の火砕流による増加分	本体部	0	0	0.33	54	0.9	45
	熱風部	71	100	0.28	46	1.1	55
6月3日+6月8日	本体部	9	7	1.19	29	1.9	32
	熱風部	120	93	2.90	71	4.1	68
合計		129	100	4.09	100	6.0	100

注) 家屋数は一世帯を1戸と数えた。また、倉庫等独立して建てられた建物も便宜上1戸として数えた。

堆積範囲よりも流下方向では700m, 6月8日の場合、流れの方向に対し直角な方向では30~100mの範囲でタイヤが焼失している、この範囲では約300~450°C以上の温度があったと推定できる。ただし、タイヤの焼失した範囲からわずかに30m離れた位置で合成樹脂の融解していない車両が存在することから、熱風部の温度はその流下方向等の違いにより著しい差があるようである。

4. 火砕流熱風部の風速

6月3日ならびに6月8日の火砕流により多くの樹木や電柱がなぎ倒されている。樹木はほとんど根から倒壊しており、本体部から流下方向に950m, 横方向に200m程度の範囲に認められる(図-2、3)。また、電柱の被災形態は根入れ部からの倒壊と電柱の途中での折損の2種類あり、各々、本体部から流下方向に950m, 800m横方向に30~150m程度の範囲に認められる(図-4)。

樹木の倒壊強度については杉の引き倒し実験結果¹⁾をもとに根本での最大曲げモーメントM(tfm)を算出した。

$$M=170\phi^3 \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 ϕ : 樹木の幹径 (m) である。

また、倒壊した電柱についてはその根入れ部からの倒壊強度を砂質地盤における根入れの浅い頭部自由端の杭の基礎の限界水平強度P(tf)を求める式によって算出した。

$$P = \frac{K_p \gamma B l^2}{2(1+l/B)} \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここに、 $K_p = \tan^2(45 + \phi/2)$ 、 γ : 単位体積重量 (tf/m³)、 ϕ : 土の内部摩擦角、B: 電柱の直径 (m)、l: 電柱の根入れ長 (m) である。

折損した電柱については九電工の設計基準に従い、末口から25cm下の位置に設計強度の2倍の集中荷重が作用したときに曲げ破壊するとして地上面での極限曲げモーメントM(tfm)を算出した。

$$M = (L - 0.25 - l) \times 2R \quad \dots\dots\dots (3)$$

ここに、L: 電柱長 (m)、l: 根入れ長 (m)、R: 設計強度 (tf) である。

一方、熱風部(流体)が樹木や電柱に衝突する時に樹木や電柱に作用する力(流体力)(F(tf))は一般に次式により求められる²⁾。

$$F = \frac{1}{2} C_D \rho v^2 A \quad \dots\dots\dots (4)$$

ここに、 C_D : 抗力係数(円形では0.8)、 ρ : 空気の密度 (tf·sec²/m⁴)、v: 速度 (m/sec)、A: 流れへの投影断面積 (m²) である。

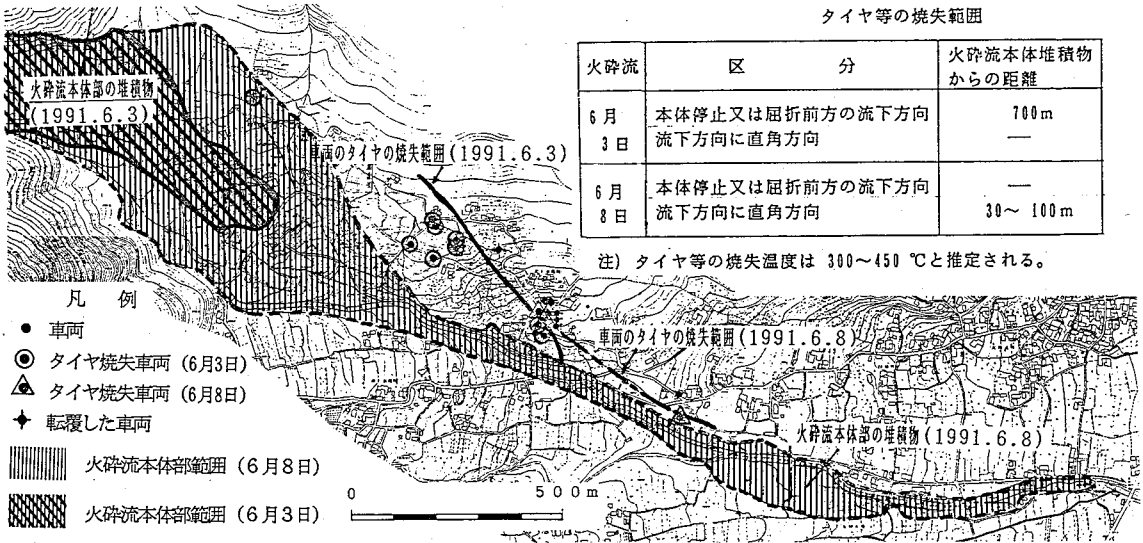
ここでは、熱風部の空気の密度を先に検討した熱風部の温度400°Cを参考に、1気圧の条件で求めると式(4)は

$$F = 0.210 \times 10^{-3} v^2 A \quad \text{となる。}$$

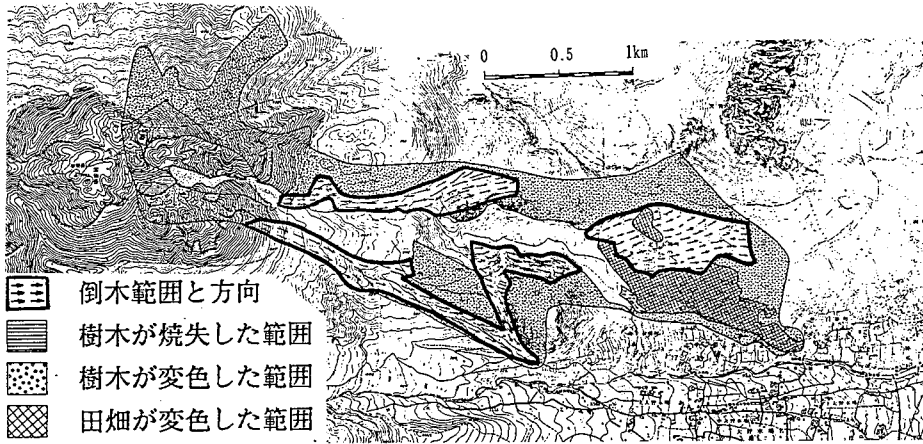
さらに、流体力の作用点を下端から55%の位置とすると樹木や電柱に作用するモーメントM(tfm)は

$$M = 0.1155 \times 10^{-3} v^2 L A \quad \text{で表される。}$$

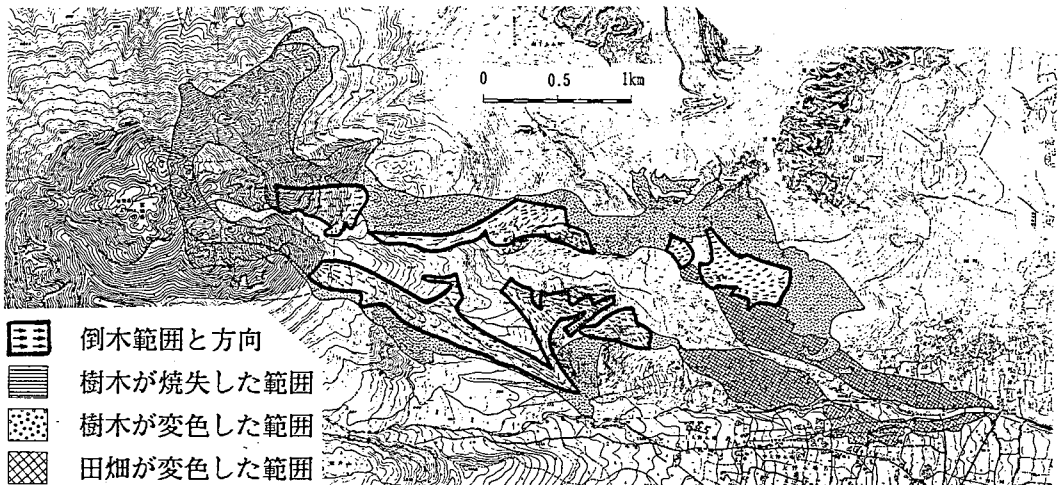
このようにして求めた熱風部の衝突による樹木および電柱に作用するモーメントと先に計算した電柱や樹木の倒壊強度を比較した結果、電柱のタイプにより若干異なるが電柱の根入れ倒壊時の最低風



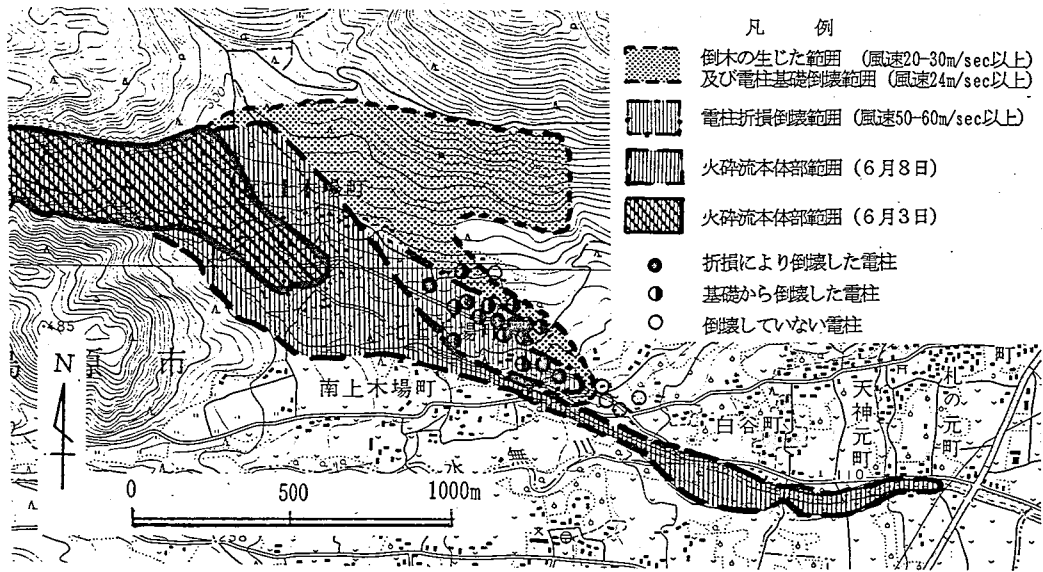
図一 6月3日・8日の火砕流熱風部による車両タイヤ焼失分布



図二 6月3日の火砕流熱風部による樹木等の被害分布



図三 6月8日の火砕流熱風部による樹木等の被害分布



図一4 火砕流熱風部による電柱の倒壊および倒木の範囲と推定風速

速は21.4~33.8m/sec,電柱の折損時の最低風速は48.8~69.2m/sec,樹木倒伏時の最低風速は樹木の直径(約8~21cm),樹高(約6~15m)によりほとんど変化せず約24m/secという値が得られた。これらの値を基に電柱や樹木の倒壊範囲を調査した結果、熱風部の風速分布をある程度明らかにすることができた。

5. 火砕流熱風部の風向

6月3日の火砕流の北上木場地区周辺での流下に見られるように倒木方向から推定すると火砕流本体部が流向を変えるところでも熱風部は直進している(図一2)。すなわち、本体部が流向を変えた後も熱風部は方向を変化せずそのままほぼまっすぐに流下しており直進性が強い。

6. おわりに

1991年6月3日および8日に雲仙普賢岳で発生した火砕流の熱風部による被害に関する各種の調査から火砕流の熱風部による被害の発生状況、熱風部の温度、風速、風向の概要を知ることができた。しかしながら今回の風速についての検討では熱風部に含まれる火山灰による流体力の増加等については考慮していないので今後この点についても検討する必要がある。

火砕流の熱風部はその影響範囲が広く、さらに高温、高速であるために人命、家屋、森林、農作物、公共施設等に甚大な被害を与える。今後は、火砕流の流下時のVTR映像の解析や、現地における流速、温度、密度等の実測等を通して本体部と熱風部の運動の関係、地形条件との対応等を検討し、あわせて模型実験を行うことで熱風部の運動モデルを力学的に解明し、精度の高いシミュレーション手法の開発、および熱風部を制御するための効果的な対策工の開発等に発展させていく予定である。

参考文献

- 1) 建設省土木研究所砂防研究室; 立木の衝撃緩衝効果に関する試験報告書、土木研究所資料第2560号、1988
- 2) 土質工学会編; 土質工学ハンドブック、土質工学会、1982