2003年8月洪水における沙流川支川宿主別川の河畔林倒伏調査

Field observation on uprooted trees due to flood on August 2003 at the Shtukushubetsu river basin

(株) 北開水エコンサルタント 独立行政法人北海道開発土木研究所 独立行政法人北海道開発土木研究所 正員 油川曜佑 (Yousuke Aburakawa)正員 渡邊康玄 (Yasuharu Watanabe)正員 阿部修也 (Shuya Abe)

1. はじめに

2003 年 8 月に発生した台風 10 号は、北海道胆振地方の東端に位置する沙流川の洪水を引き起こし深刻な被害を与えた。これまでに、この洪水に関してあらゆる側面からの解析が行われてきた。著者らは河畔林と洪水の関係を把握するため、洪水直後に沙流川中流域における河畔林の状態を調査した結果を報告している 1)。また、渡邊らは、流木の挙動と影響を調査し、河道内に存在する河畔林が上流からの流木を大量に捕捉する一方で、自身も流木となり下流に流下したことを明らかにしている 2)。

流木は洪水時の流水の阻害を招いたり、橋脚等の河川 構造物に引っ掛かり大きな流水抵抗がかかることによる 構造物の破損を生じさせる場合がある。このため河畔林 の流木流出対策を行うことは、洪水被害の低減につなが り、今後の河川環境を踏まえた河川整備や河川管理を行 う上で必要不可欠な事項となっている。このことから本 論文では今だ明らかとなっていない沙流川上流域での洪 水時における流況を把握するため現地調査結果から検討 し、また沙流川中流域(以下中流域と表記)との比較を 試みている。

2. 標準地調査

2.1 調査範囲の概要

洪水後の調査を実施した箇所は、沙流川の支流である宿主別川下流の左岸沖積地に位置する。ヤナギ類のほかにドロノキ、シラカンバ、ケヤマハンノキが混交し、山腹斜面に近い箇所では、上記樹種のほかにミズナラ、イタヤカエデ、ハルニレなども出現する。また、高木層の平均樹高は10mで、低木層は発達していない。この点から河畔林の構造がこの地域では標準的であると考えられる。しかしながら、一帯を標準地とするには調査量が膨大となるため、このうち写真-1 に示したように 12,400 ㎡を調査範囲とした。

2.2 毎木調査

毎木調査の対象としたのは、1762 本で、立木密度は 1.75 本/10 ㎡である。毎木調査により明らかになった河畔林の各要素について、以下に記す。

① 樹種

ヤナギ類が本数比で全体の78%を占めるが、ドロノキ等の河畔性樹種、イタヤカエデ、ミズナラ等の山地性樹種も出現する。15%を占める山地性樹種は、ほとんどが中央部の山腹斜面よりに分布している。

② 胸高直径

3~6cmの個体が多く、平均は6.1cmである(図-1)。

③ 樹高

樹高は 4~6mのものが多く、平均で 6.6mである。中流域では河道に近い箇所ほど、また上流域のブロックほど樹高の低い傾向が見られたが、成立箇所による樹高分布の明確な相違は見られない。

④ 倒伏傾斜角度 · 倒伏方向

中流域における現地調査¹⁾による倒伏角度は、50°~75°の範囲が多く、これと比較して上流域である今回の調査範囲では倒伏の大きな樹木の割合が小さい結果を得た(図-2)。なお、本調査範囲では河道に近い箇所ほど、また上流側のブロックほど倒伏角度が大きく、倒伏方向も一定の方向を示している傾向が見られる。

2.3 洪水時推定水深

河畔林内には、幹枝にゴミや草わら等の付着物が確認 できなかった。このため洪水痕跡からピーク水深を求め ることはできない。

そこで、毎木調査時に流木が標高 155m 程度までに最大堆積していたことから、この付近にまで流水が達していたと考え、樹木各々の標高の差から水深を想定した。その結果本イベントでは最大 8.5m、平均 7m 程度の水深となったと判断した。

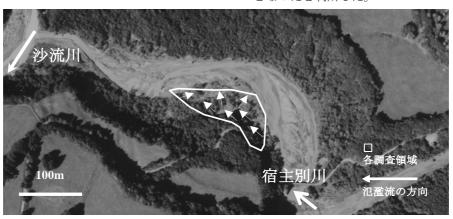


写真-1 標準地全域状況

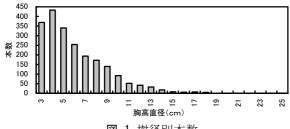


図-1 樹径別本数

3. 測定結果

3.1 倒伏試験調査方法

洪水時の流速を推定することを目的として、代表箇所6 本の樹木を、樹木の根元から1.2mの高さにワイヤーを張 り、引き倒し荷重を計測して倒伏限界モーメントを求め た。また、ピーク時の傾き距離から倒伏角度を求めるた め、地上高0.25mと1.0mに変位計をセットした。ここで、 樹高また樹径と倒伏角度の関係について、中流域との結 果1)と合わせて図-3,4に示した。これらより中流域同様、 今回の標準地においても樹木構造と倒伏角度には相関性 がないこと判断できる。このことから、倒伏角度のみで 倒伏か否か判断することとした。図-5に最大荷重時での 樹木の倒伏角度との関係を示した。この結果から倒伏 50°以上を完全倒伏、それ未満を不完全倒伏とした。

3.2 引き倒し試験結果と回帰式の算定

引き倒し試験を行った結果、樹木の直径(d)と倒伏限 界モーメント(M_c)に式(1)で得られる回帰式の関係を見出 した。

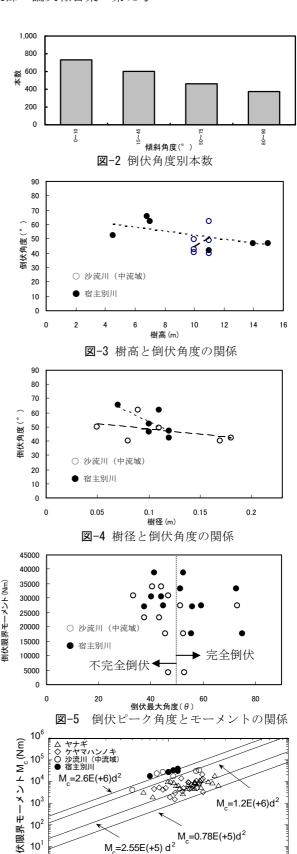
$$M_c = 2.6 \times 10^6 d^2 \tag{1}$$

ただし樹種、土質等樹径以外の要素を無視し最小二乗法 により求めている。これまでにも同様な方法で試験が行 われてきており、図-6に1992年8月鵡川洪水後の結果 を、また沙流川中流域についても併記した³⁾。今回の標 準地での樹木がいずれの場合の試験地と比較しても倒伏 しにくいことがわかる。この理由については生育地の土 壌等の影響が存在していると考えられるがそれについて は今後の課題としたい。

3.3 樹木の倒伏分類ならびに倒伏時の流速推定

本研究では洪水流によって発生した樹木の倒伏という 実現象の結果から、どのような流れで樹木の倒伏が生じ たかを推定することとした。

今回の洪水ではどの時点で樹木の倒伏が発生したかは 不明である。このため樹木が倒伏した時間が異なれば、 倒伏から推定される流速の生起した時間も異なる。洪水 は時間的にも場所的にも複雑な現象の複合であり、倒伏 状況が洪水後の状況であることを考え合わせると、得ら れる結果は概略なものとなる。しかし、洪水中の現象に 関する知見は未だ十分とは言えないことから今回の洪水 で生じた現象の解明の第一歩として検討することとした。 樹木の倒伏の仕方には樹高と水深との関係で次の倒伏の 形態 Case-a,b,c が想定される。以下にそのときの流速の 推定式について概略を記述する。ただし以下で各記号は



h; 水深、 h_0 ; 下枝長さ、 h_1 ; 樹高である。また、水深方 向の流速分布には洪水時であることを考え 1/7 乗則を用 いている ³⁾。

10⁻¹ 直径 d (m)

図-6 樹木直径と倒伏限界モーメントの関係

 $M_c = 2.55E(+5) d^2$

 $M_z=1.2E(+6)d^2$

10⁰

 $M_c = 0.78E(+5)d^2$

10³

10²

10

10⁰

Case-a) 樹木の樹幹部分のみが浸水しているとき $(h_0 > h)$

推定流速は(2)で与えることが可能である1)。

$$u = \left\{ \left(1.2 \times 10^6 \right) / \left(\frac{2}{7} \rho C_d dh_0^2 \right) \right\}$$
 (2)

Case-b) 樹木の樹幹部分と樹冠の一部が浸水しているとき $(h_{\theta} < h < h_{I})$

このとき流水が幹部と樹冠部に作用するため、それらの合成モーメントを用いる必要がある。樹冠部に作用するモーメントを算定するためには、樹冠部の構造を把握しなければならない。ゆえに調査区間に残存する代表的な樹木を選定し模式図を作成し樹冠部構造を把握することを試みた。ここで沙流川中流域においては樹高と樹冠部の形状に相関が確認されたため振幅値と樹高の関係から推定流速式を求めたが、上流部を対象とした今回はそのような関係が見られなかったことから樹高の違いを考慮せず樹冠部の形状についてフーリエ級数展開を行った。この結果を用いると調査区の樹木の抗力の作用幅 b(z) は式 (3) として表せる。

図-7(a) 樹木倒伏分布図 (倒伏角度 50°以上)

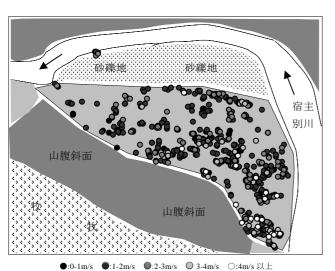


図-7(b) 樹木倒伏生起流速分布図 (倒伏角度 50°以上)

$$b(z) = 0.56\{\sin\frac{k\pi}{h_1 - h_0}(z - h_0)\}s \qquad (3)$$

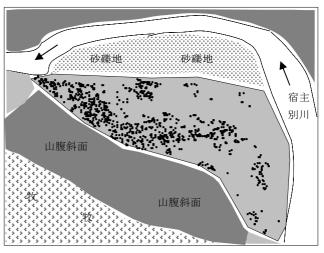
ここで α_k ; 振幅、s; 枝張長、z; 河床からの高さである。式 (3) を用いた値と各樹木の値を比較すると、平均相対誤差5.9%、最小0.8%、最大11.9%となった。

この関係より、推定流速は式(4)で与えることが可能である。

$$u(z) = \frac{2.6 \times 10^{6} d^{2}}{\frac{64}{49} \rho C_{d} h^{-\frac{2}{7}} s \int_{h_{0}}^{h} z^{\frac{9}{7}} b(z) dz}$$
(4)

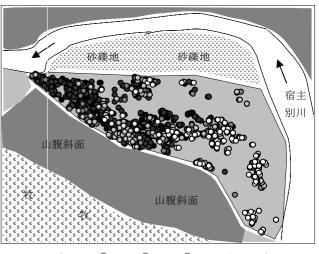
Case-c) 樹木全体が浸水しているとき $(h>h_I)$

Case-b同様、合成モーメントを用いる必要がある。このとき樹冠部が完水しているため水深(h)を樹高(h₁)に置き換え、推定流速式を式(4)で表すことが可能であると考えられる。



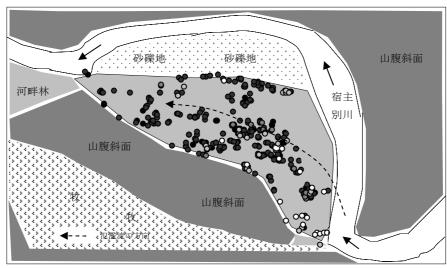
×:倒伏角度 60° 未満の樹木

図-8(a) 樹木倒伏分布図 (倒伏角度 50°未満)



●:0-1m/s ●:1-2m/s ●:2-3m/s ○:3-4m/s ○:4m/s 以上

図-8(b) 流速分布図 (倒伏角度 50°未満)



●:0-1m/s ●:1-2m/s ●:2-3m/s ◎ 3-4m/s ○:4m/s 以上 図-9 流速分布図

3.4 樹木倒伏Caseの分類

標準地の毎末調査の対象である1762本について樹高と水深との関係から倒伏Case-a,b,cで分類した。ここで、樹木の倒伏角度に着目する。図-2に示した通り、全ての樹木が完全に倒伏してはいない。このとき完全倒伏した樹木は528本、そのうち倒伏Case-aは18本、bは180本、cは417本である。また不完全倒伏の樹木は1147本である。完全倒伏した樹木の分布図を図-7(a)で示した。また図-8(a)は完全倒伏していない樹木の位置を示した。中流域とは異なり成立箇所による樹高分布の明確な相違が見られないため水深と樹高の関係による倒伏の形態の分布を把握することはできないが、河道に近い箇所ほどまた上流側ほど完全倒伏した樹木が多く見られ、一方山腹斜面付近の樹木は不完全倒伏の樹木の割合が圧倒的に高いことが確認できる。

3.5 流速分布

3.3における流速算定式を用いて全樹木の倒伏生起推 定流速を求めた。Case-b,cでの樹冠部モーメント算定に用 いる抵抗係数値は C_d '=0.62を用いた $^{4,5)}$ 。また幹部の抵抗 係数値は C_d =1.2とした。しかしながら今回の標準地にお いても、得られた各々の推定流速式は樹木が完全に倒伏 するときのみに適用が可能であり倒伏が不十分なときに は妥当な値を得ることができない。ゆえに、本解析では 完全倒伏した場合と不完全倒伏状態とを区分して考えを 進める必要がある。完全倒伏した樹木から算定される流 速をu₁、完全倒伏していない樹木から算定される流速を u_2 とし、実際に樹木が倒伏した際の流速を u_0 とすると $u_1 < u_0 < u_2$ になる関係が存在することになる。図-7(b)に完 全倒伏したと判断されるすなわち倒伏角度50°以上の樹 木を対象とした倒伏生起流速分布図を示した。図-8(b) に完全倒伏していない判断されるすなわち倒伏角度50° 未満の樹木を対象とした流速分布図を示した。図-8(b) については実際倒伏していないのにも関わらず倒伏した としているため、算定された流速は実際よりも大きい。 図-7(b)と図-8(b)との比較から実際に生じたと考えられ る流速分布図として図-9が得られた。これより、上流側付近では流速3-4m/sあるいは4m/s以上で通過し、下流側では流速1-2m/sを生じたと判断される。このことについてはさらに詳細な検討が必要であるが、以下のように考えることができる。すなわち湾曲部内側の流れの乱れにより様々な方向への倒伏が確認されるものの、ある程度樹木倒伏方向に一貫性があり氾濫流が一定方向にのみ通過するものと考えられる。ゆえに、低水路との境界付近に植生する河畔林は流速の大きな流れの影響を直接受けるが、下流に向かうに従い流れの大きさが弱められたと判断できる。

4. まとめ

得られた値から樹木の流れに対する位置により、洪水 流から受ける力が大きく異なることが確認された。今後、 2次元流況計算による数値解析などを行うことで、洪水 時全体像の推定が可能となると考えられる。

5. 謝辞

本論文における樹種等の調査については、(財)林業土木 コンサルタントの協力を得た。ここに記し、感謝の意を 表します。

6. 参考文献

- 1)油川曜佑、渡邊康玄、阿部修也:沙流川2003年8月洪 水における樹木の倒伏状況から算定される流速,水工学 論文集第49巻,2005(投稿中)
- 2) 鈴木優一、渡邊康玄: 出水に伴い発生した流木の影響, 河川技術論文集第10, pp107-112, 2004
- 3) 渡邊康玄、市川嘉輝、井出康郎: 洪水時における樹木の河道内倒伏限界,水工学論文集第40巻,1996.
- 4) 林建次郎、辰野正和、長林久夫、橋本晴行,単独樹木 に作用する風力計,流体力の評価とその応用に関する研 究論文集第2巻,pp96-103,2003
- 5) 油川曜佑、鈴木優一、渡邊康玄:高水敷に生育するヤナギの抵抗,河川技術論文集第10巻,pp83-88,2004