

戸蔦別川における樹木倒伏試験の事例

日本工営株式会社 ○松山洋平, 上條孝徳, 永野統宏, 工藤朝日, 鈴木淳己, 阿部勉
国土交通省 北海道開発局 帯広開発建設部 天羽淳, 秋山瑤貴(現所属 北海道開発局 室蘭開発建設部 厚真川水系砂防事業所)

1. はじめに

十勝川水系札内川流域では昭和47年度から直轄砂防事業が着手され、昭和56年に札内川砂防基本計画が策定された。現在は札内川・戸蔦別川で事業が行われており、これまで11基の砂防堰堤、15基の床固工等が整備されている。平成28年8月出水では砂防基本計画に規定される計画流出土砂量を超える土砂流出や多量の流木流出があり、これを契機として令和2年に砂防基本計画の改定が行われた。基本計画改定に際しては流木対策計画も検討されている。戸蔦別川では昭和63年から床固工群区間の樹林帯を緩衝林・緑の砂防ゾーンとして位置づけており、砂防施設施工後の裸地への植林等の対策が行われている。床固工群区間は河床勾配が1/70~1/200程度であり、掃流区間となる。

本研究の目的は、緑の砂防ゾーンの管理手法の検討の基礎資料とするため河川林の樹木の倒伏試験を行い、想定される出水に対して倒伏しない胸高直径を設定し、これに基づいた生長管理目標を検討するものである。

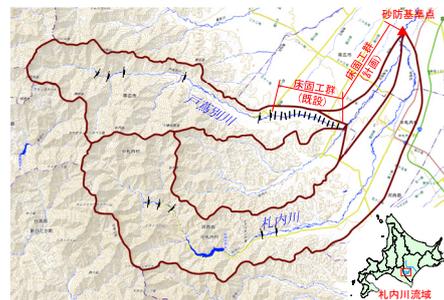


図-1 戸蔦別川位置図

2. 倒伏試験

2.1 河川の水流による樹木倒伏のメカニズム及び抵抗力

(1) 樹木倒伏のメカニズム

砂防樹林帯は、堆積土の二次移動防止・上流からの流出土砂を捕捉し下流への流出を抑制するバッファ機能といった効果が期待されるが、同時に洪水流による倒伏・流木化の危険性がある。洪水流によって河道の樹木が倒伏する要因は樹木に作用する流体力、掃流力による生育基盤土壌の洗堀、幹の折損等が考えられる。本研究においては主に流体力による倒伏を想定して耐力を確認する。水流による樹木倒伏の外力は根元を始点とする回転モーメントであり、以下の数式¹⁾で表される。

$$M_f = \frac{1}{2} \rho C_d S U^2 L$$

ここに、 M_f : 倒伏モーメント, ρ : 水の密度, C_d : 抗力係数(樹幹部 1.2, 樹冠部 0.6), S : 流水中の樹木の投影面積, U : 水深平均流速, L : 流水の作用高である。

(2) 倒伏に対する抵抗力

上記の外力に対し、樹木は幹の強度、土壌と一体化した根系の支持力によって倒伏に対抗する。根系の支持力は支持根の数・直径等による引き抜きや剪断への抵抗力、根張りの範囲・深さ(緊縛している土壌の容量)による転倒への抵抗力からなる。土壌条件や樹種・根系の発達状況が同様の場合は成長指標である胸高直径と倒伏に対する抵抗力がよく相関する²⁾ことが知られており、本検討においても胸高直径と倒伏モーメントの関係を整理する。

$$M_c = a d^2$$

ここに、 a : 定数, d : 胸高直径, M_c : 倒伏限界モーメント

2.2 倒伏試験手法

(1) 調査対象木の選定

緑の砂防ゾーンの基本林樹種を優先し、樹種、胸高直径にバリエーションを持たせた14本を選定した。現地に生育する樹種は主にハルニレ・ケヤマハンノキ・ドロノキ等(浅根性)、ヤチダモ・ミズナラ等(深根性)であり、これらの中から胸高直径10~30cm程度の範囲で試験対象木を選定した。

(2) 調査手法

対象樹木にロードセルを挟んだ牽引ケーブルを取り付け、バックホウで牽引して引張力を記録するとともに樹木の傾きをビデオカメラで記録し、引張力と傾きから倒伏限界モーメントを算出する。標準的な計算式は以下のとおりである⁴⁾。

$$M_{max} = FL \sin \theta$$

ここに、 M_{max} : 最大モーメント, F : 引張力, L : 積荷点高さ, θ : 倒伏角度

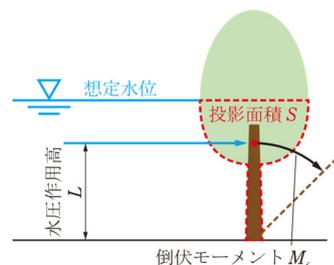


図-2 立木に作用する流体力

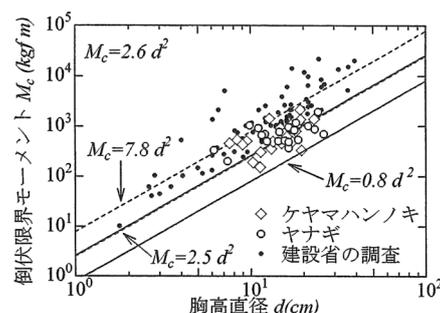
図-3 倒伏限界モーメントの例³⁾

写真-1 倒伏試験状況

2.3 倒伏試験結果

樹木の耐倒伏力は根鉢の規模（表面積）や生育土壌の含水比等が影響するが、根鉢の表面積はまた根系の深さによっても異なるとされるため、深根性、浅根性によっても異なる傾向を示す可能性がある。本研究の目的は胸高直径を基準にした管理基準を定めることにあり、また既往文献²⁾によれば倒伏モーメントが胸高直径の二乗に相関することが分かっていることを踏まえ、胸高直径と倒伏荷重・倒伏モーメントに着目して結果を整理した。

図-4に示すように傾斜角と倒伏モーメントの関係において樹種の違いは認められず、倒伏モーメントが明確なピークを持つもの、明確なピークを示さずに倒伏するものがある。なお、本研究の中で、これらは主に胸高直径や根鉢の幅に依存することが分かっている。

樹木の胸高直径から当該地域の樹木における倒伏限界モーメントを推計するため、最大倒伏モーメント値と各樹木の胸高直径の関係を表すモデル式を算出した。モデル式は既往文献²⁾で主体となっている胸高直径の2乗と倒伏限界モーメントの相関式の形式で算出した。

$$M_c = 8.86d^2 \text{ (kgf} \cdot \text{m)}$$

また、文献³⁾では次式が得られており、これと概ね近似する結果を得た。

$$M_c = 7.8d^2 \text{ (kgf} \cdot \text{m)}$$

これらを合わせて図-5に示す。

3. 管理基準値の設定

倒伏試験実施対象付近における計画ピーク流量840m³/secに対し等流計算により水位及び流速を算出し、これによって胸高直径区分ごとの倒伏モーメントを求め、倒伏可否の判定を行った。試験地点は砂防堰堤の堆砂域に近い範囲であり河床勾配は1/140程度と緩く、流速は0.54m/secと小さいが水位は5.31mと高い。算出結果を表-1に示す。この流れに対する流体力により、倒伏モーメントの明確なピークが発生しなかった胸高直径10cm以下の小径木が倒伏する結果を得た。このため、胸高直径の管理基準値を10cmと設定することが考えられる。

樹林帯管理の具体的な対策は、低水敷と連続する林分で胸高直径10cm以下の林分及びびや過去の同様の調査で倒伏しやすい傾向であったヤナギ・シラカンバは優先的に除伐対象とすることや、枝下高を高くすることで水圧を受ける樹冠部を減らす「裾枝打ち」を実施することが考えられる。

表-1 モデル式に基づいた胸高直径区分別樹木モデルの倒伏判定

胸高直径 (cm)	樹高 (m)	胸高直径 (cm)	流速 (m/s)	水位 (m)	投影面積		作用点高 (m)	安全率	倒伏限界 モーメント (N・m)	倒伏 モーメント (N・m)	判定
					幹 (m ²)	樹冠 (m ²)					
~10	8.3	8.8	0.54	5.31	0.27	5.43	4.0	2.0	6727	29338	倒伏
10~20	12.7	13.9	0.54	5.31	0.68	0.95	3.4	2.0	16784	6978	残存
20~	17.2	25.0	0.54	5.31	1.33	0.00	2.7	2.0	54294	12095	残存

4. おわりに

本研究では樹木倒伏試験を行って戸蔭別川の床固工群区間における樹林帯管理基準値の検討を試みた。管理基準値の設定にあたっては同一河川の多地点において試験を行い区間ごとに適切な管理基準を設定し、今後の出水時における樹木の流失や流木径等についても調査・整理を行い、管理基準値として設定した値が妥当であるか検証を行うことが望ましい。管理基準値の運用に向けては、現況の樹林の高さや密度を把握した上で、目標とする樹林の高さや密度を把握し、林分ごとに必要な管理作業を整理することが必要である。

謝辞：本研究の実施にあたり、西江建設株式会社には倒伏試験の準備・安全管理・試験実施にあたり多大なご協力をいただいた。ここに謝意を表す。

参考文献

- 1)池田共夫, 飯田孝, 傳甫潤也: 尻別川における河畔林管理—平成23年9月出水での低水路樹木の倒伏検討—, 第57回(平成25年度)北海道開発技術研究発表会, 2014.
- 2)リバーフロント整備センター: 河川における樹木管理の手引き, 1999.
- 3)渡邊康玄, 大塚正登志: 河道内樹木の倒伏限界調査, 第39回(平成7年度)北海道開発技術研究発表会, pp.29-36, 1996.
- 4)田中規夫, 八木澤順治, Methsiri Samarakoon, 佐々木寧, 利根川誠: 地盤強度と根の形状特性が樹木転倒限界に与える影響について, 河川技術論文集第16巻, pp.225-230, 2010.

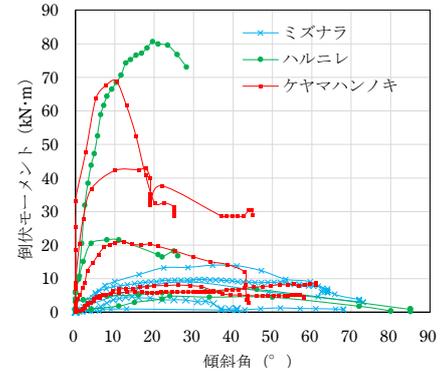


図-4 傾斜角と倒伏モーメントの関係

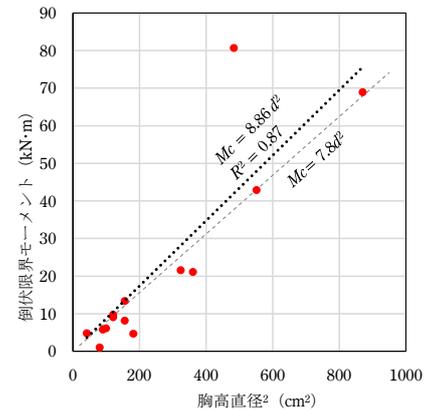


図-5 胸高直径と倒伏限界モーメントの相関