

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—

小樽開発建設部 倶知安開発事務所 河川課 ○池田 共実
小樽開発建設部 工務課 飯田 孝
株式会社ドーコン 河川環境部 傳甫 潤也

尻別川の砂州や中州が固定化した箇所ではヤナギ類が繁茂しているため、流下能力上の支障等の治水面への影響が懸念される。今後の河畔林や河道の管理等に資するため、平成23年9月出水により生じた河道内の樹木倒伏状況と出水時の再現外力から、土砂堆積厚による抵抗力増加に着目した倒伏判定手法を検討した。本報では、この倒伏判定手法の着目点と現地での実証実験の状況について報告する。

キーワード：河畔林管理、ヤナギ、土砂堆積、倒伏判定

1. はじめに

尻別川は、全国有数の良好な水質等により、内水面漁業、カヌー等の河川利用が盛んである等、治水、環境の両立した河畔林管理が求められている¹⁾。特に、積雪寒冷地特有の河道内に樹木が自然繁茂し易い地域²⁾であることから、流下能力の低下、偏流発生による河岸や堤防侵食等の治水面への影響が懸念される。このため、治水安全度を確保するための効率的な管理が求められることから、洪水時の樹木抵抗となる箇所の抽出や、治水面への影響の評価、事前対応等の検討が必要となる。

検討の前段で必要となる樹木の挙動把握については、既往研究において、樹種を変えた引き倒し試験^{3,4)}、実績洪水における倒伏や流失の再現検討⁵⁾等により、洪水外力による破壊条件が検討されている。しかし、セグメント2のような河道内に土砂堆積が生じ易い河川区間⁶⁾では、根元部分の幹が埋没することで、砂州に杭を打ったような状況となり倒伏し難い現象が見られるが、こうした箇所を対象とした検討はほとんど行われていない。

本報では、今後の尻別川の効果的な河畔林管理、ひいては河道管理への活用に向け、①平成23年9月の中小出水で発生した樹木倒伏状況、②砂州、中州における土砂堆積厚を考慮した倒伏判定手法の検討、③倒伏判定手法の精査に向けた現地引き倒し試験について報告する。

2. 尻別川の概要

尻別川は、ニセコアンヌプリ、無意根山、尻別岳等に囲まれた流域であり、流域面積1,640km²、幹川流路延長126kmで、兩岸の山地に挟まれた帯状の盆地を流れる。河床勾配は、直轄管理区間（図-1下流部）のうち、河口～KP18は1/5,000程度（セグメント2-2）、KP18より上流は1/800～1/500程度（セグメント2-1、1）となっている。

Tomomi Ikeda, Takashi Iida, Junya Dempo

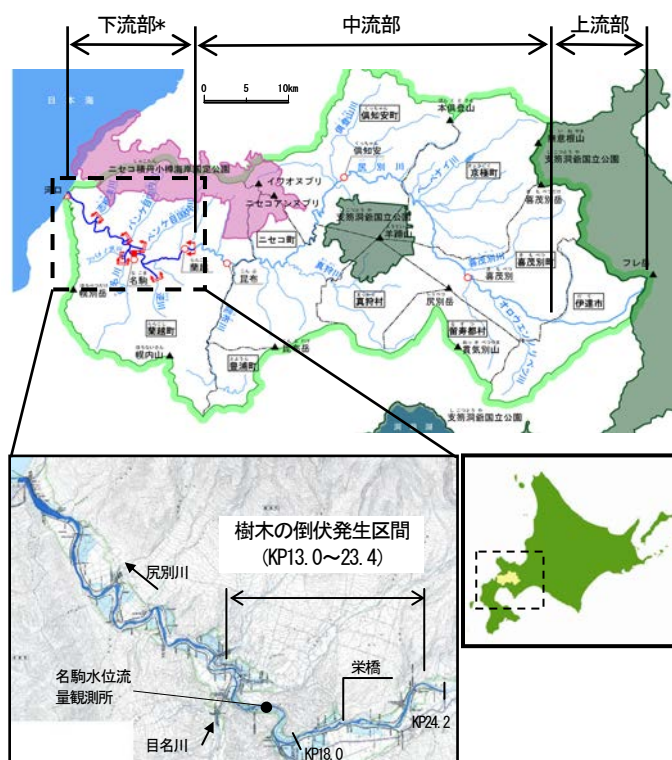


図-1 位置図

*直轄管理区間（～KP24.2）

河床高の変化傾向については、直轄管理区間全体で平均河床高は低下傾向となっているが、今回の樹木倒伏が発生した検討対象区間（KP13.0～23.4。以降、検討区間）の中州周辺では、濤筋部の最深河床高の低下、水裏部での土砂堆積による地盤高上昇といった横断的に高低差の大きな箇所が見られている（例えば図-11）。

樹林化については、空中写真の変遷、植生図を見ると、全体に、平成8年、平成13年頃から進行しており、現状の約7割（低水路では約9割）がヤナギ林となっている。

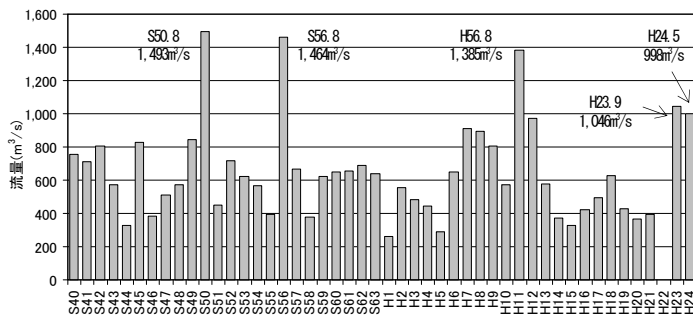


図-2 名駒観測所における年最大流量
(H22は欠測。H23,24は暫定値)

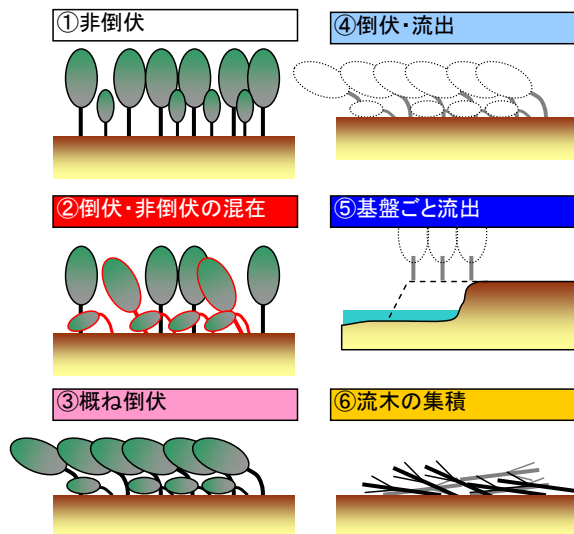


図-3 出水後の樹木破壊の形態

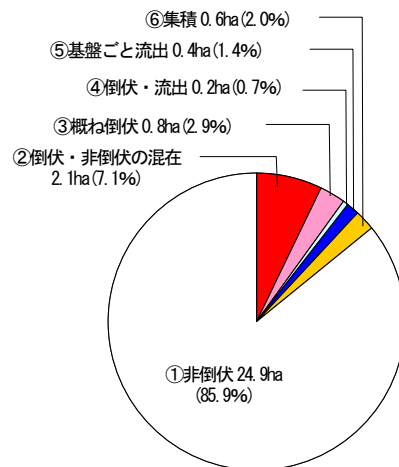


図-4 樹木変化形態の面積構成
(KP13.0～23.4の砂州や中州の樹林)

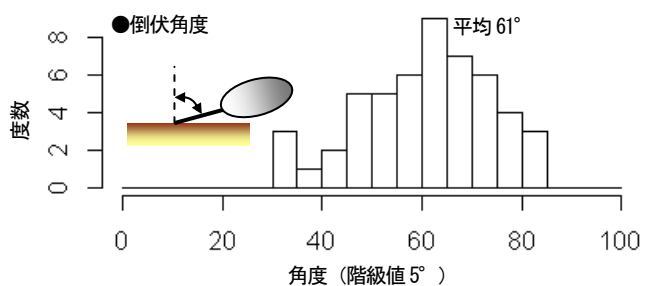
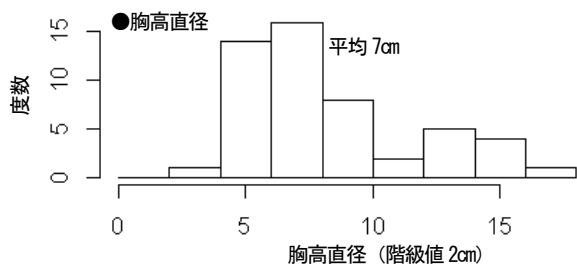
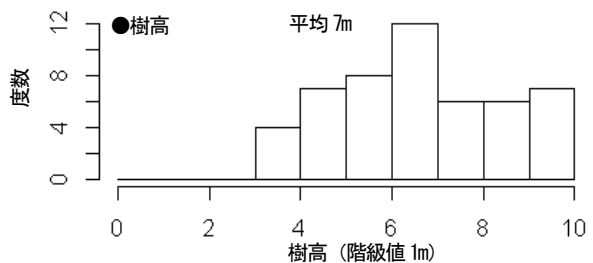


図-5 倒伏樹木の概況

3. 平成23年9月出水時の状況

(1) 出水の概況

平成23年9月は、北海道付近に停滞した前線と台風12号、13号により全道的に大雨が発生した⁷⁾。尻別川では、9月5～6日でニセコ雨量観測所（開発）で159mm/2日の降水量、名駒観測所で1,046m³/s（概ね1/10確率流量規模）の出水が発生した（図-2）。この出水による河道変化の特徴は、KP13.4右岸での河岸侵食、検討区間での樹木倒伏等である（図-1）。

(2) 樹木の倒伏状況

出水時の樹木破壊の主要形態は、図-3に示す事象が見られ、これらを平面図上で区分すると、砂州や中州（低水路）の樹木29haのうち、12%の約3.5ha（集積を除く）で樹木群の倒伏等が見られた（図-4）。また、図-3の「倒伏・非倒伏の混在」「概ね倒伏」箇所のサンプリング調査から、倒伏樹木については、図-5のように、樹高4～10m（平均7m）、胸高直径4～10cm（平均7cm）、倒伏角度40～80°（平均60°）が多い状況となっていた。倒伏角度については、沙流川の平成15年8月洪水時の状況（倒伏角度50～75°が多い）⁸⁾と同様な傾向であった。

4. 土砂堆積厚を考慮した倒伏検討

ここでは、実績の出水外力、樹木倒伏状況を基に、土砂堆積厚毎の倒伏限界モーメントを算出した上で、実績出水における倒伏状況の再現性を検討した。

(1) 出水外力の算定

倒伏モーメントの算定に必要となる外力（流速、水

表-1 計算条件表 (iRIC使用)

項目	内 容
計算区間	KP12.8~24.2 (検討区間 KP13.0~23.4 以外は助走区間)
断面形状	H18 定期横断測量データ
計算格子	流下方向: 8 分割 (概ね 25m 間隔) 横断方法: 高水路 8 分割×2, 低水路 10 分割
粗度係数	高水路=改修計画粗度係数 低水路=準二次元不等流計算による逆算粗度
樹木	H19 樹木
初期水面形	等流計算
下流端水位	KP12.8 の痕跡水位 (左右岸平均の 5m)
計算流量	1,046m ³ /s (平成 23 年 9 月の名駒地点の実績ピーク流量)
計算時間	10hr (36000 秒)

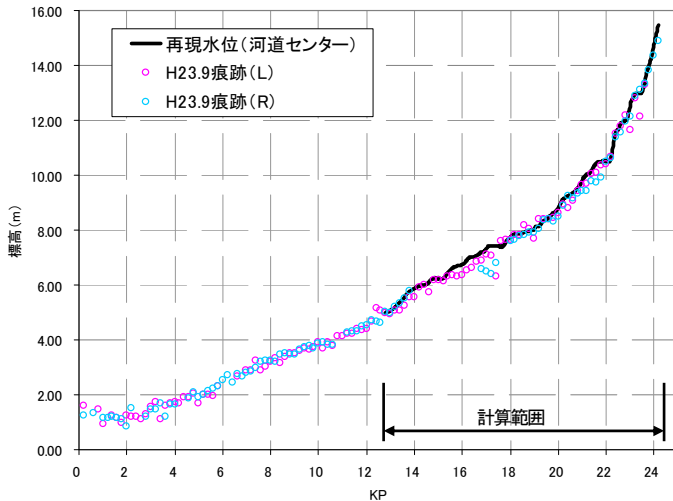
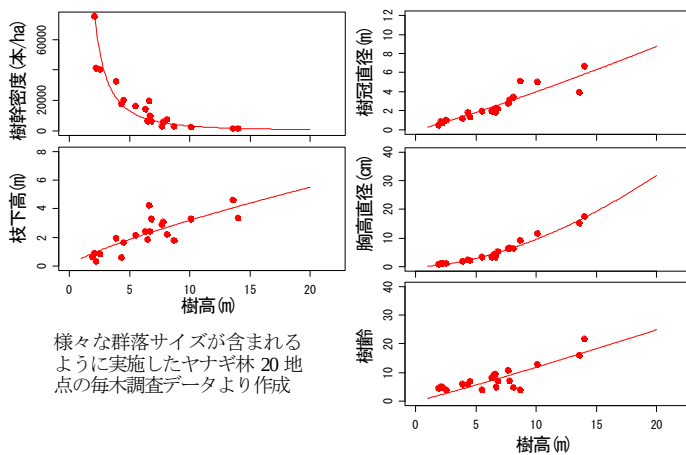


図-6 計算水位と痕跡水位

図-7 樹高と樹木形状の関係性¹⁰⁾

深) (式1参照)³⁾ を把握するため、平面二次元流況計算 (iRIC使用)⁹⁾ により検討区間の流況を把握した。流況計算は、表-1のように、出水前の河道状況を用い、ピーク流量を対象とした定常状態で行った。計算水位は、痕跡水位を比較的良好に再現しており、外力算定は概ね妥当といえる (図-6)。

(2) 樹木形状の把握

外力を受ける樹木形状は、必要となる変数 (枝下高、

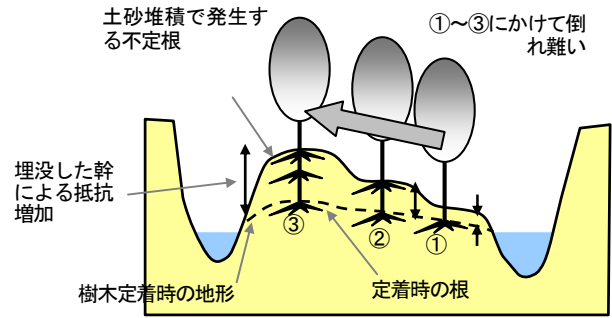


図-8 土砂堆積と樹木の倒れ難さ (イメージ図)

胸高直径等)³⁾ を、レーザプロファイラデータ (LPデータ) から得られる樹高と (ORGデータとGRDデータの差分)、樹高-樹木形状の相関から設定した (図-7)。LPデータは平成18年撮影であるため、5年分の成長を樹齢-樹高の関係から設定した。また、推定式を用いてH18樹高をH23樹高に成長させることについては、推定値と現地調査の値から妥当性を確認した。

(3) 土砂堆積状況の把握

土砂堆積による倒伏への抵抗力増加のイメージは図-8に示すとおりである。土砂堆積による埋没が生じると、多くの樹木は枯死するが、ヤナギ類は不定根を発生させながら適応する。このため、地中には幹が太い主根として残る。このような土砂が幹を支える影響で、倒伏への抵抗力が増加すると考えられる (以降、杭効果と称す)。

これらを考慮するため、樹木定着後の堆積厚を次のように算定した。まず、樹木の定着年の推定 (樹高-樹齢の相関より) と、各年代の地形整理 (各年代の測量横断による地形メッシュ) を行い、次いで、定着した年代の地形を特定した上で、現在の地形 (LPデータのGRDデータ) までの標高差を算定し、これを樹木定着後の堆積厚とした。

(4) 倒伏限界モーメントの推定

倒伏限界モーメント M_c (式1) の推定は、樹木破壊形態のうち「倒伏・非倒伏の混在」「概ね倒伏」 (図-3、図-4) のデータ (5m×5mピクセル) を用いて行った。

上記の出水外力、樹木形状を用いて倒伏モーメント M_f (式1)³⁾ を算定し、その M_f を樹木定着後の堆積厚毎 (～0.5m、0.5～1.0m、1.0m～) に区分した。

$$M_f = \frac{1}{2} \rho C_d S U^2 L \quad (\text{式1})$$

$$M_c = a DBH^2 \quad (\text{式2})$$

ここに、 a : 定数、 DBH : 胸高直径、 M_f : 倒伏モーメント (kg・m)、 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 : 流水の作用中心面からの高さである。

表-2 倒伏限界モーメントの推定式

$M_c = a * DBH^2$

	区分	a	備考
今回試算	堆積厚~0.5m (平均値)	10.4	H23.9 尻別川出水実績 (ヤギ)
	堆積厚 0.5 ~ 1.0m (平均値)	16.9	
	堆積厚 1.0m~ (平均値)	29.1	
	全体の平均値	16.6	
事例① ³⁾	建設省 (平均値)	7.8	引き倒し試験 (様々な樹種)。
	建設省 (下限値)	2.5	
事例② ⁴⁾	渡邊ら (平均値)	2.6	引き倒し試験 (ヤギ・ヤマノキ)
	渡邊ら (下限値)	0.8	
事例③ ¹¹⁾	西田ら (平均値)	4.3	引き倒し試験 (ヤギ)
事例④ ¹²⁾	豊平川 (平均値)	1.8	H23 豊平川出水実績 (ヤギ)
事例⑤ ⁸⁾	沙流川 (平均値)	12.2	引き倒し試験 (ヤギ)
事例⑥ ¹³⁾	千曲川 (平均値)	6.9	1999 年出水実績の倒伏式 (バリエジュ)

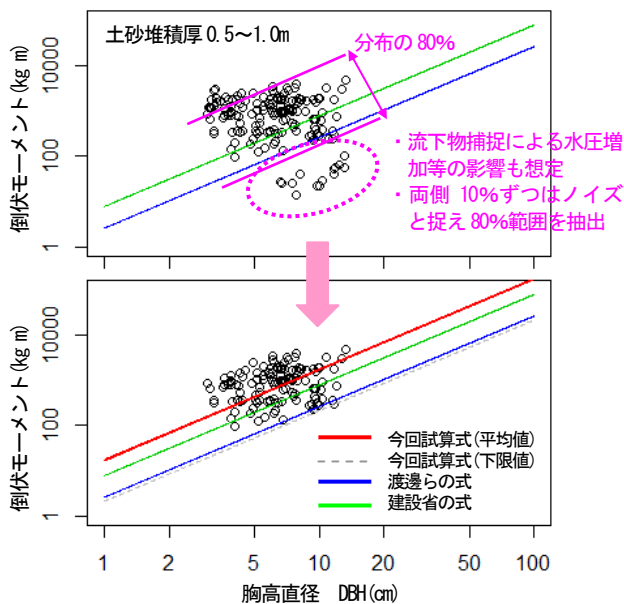


図-9 倒伏限界モーメントの推定例

堆積厚毎に M_c を集計した結果、図-9のように、流下物捕捉による水圧増加の影響（倒伏モーメントの小さい箇所での倒伏）等と思われる離散的なプロットが見られた。今回は洪水後の痕跡（水位、倒伏等）データからの検討であることから、図-9のように、分布の両側10%はノイズと仮定して棄却し、分布範囲の80%のデータを使用し、 M_c を推定した。

推定に際しては、 M_c が胸高直径（DBH）の二乗と定数 a から試算される検討例が多いこと（表-2参照）、今回のプロットも概ねDBHの二乗の傾きと類似（図-9）することを踏まえ、堆積厚毎に最小二乗法により定数 a を推定（切片を調整）した。この結果、表-2に示す M_c の推定式が得られ、今回試算式の定数 a は比較的大きな値であり、沙流川での検討例に近い傾向となった。

(5) 倒伏状況の再現性

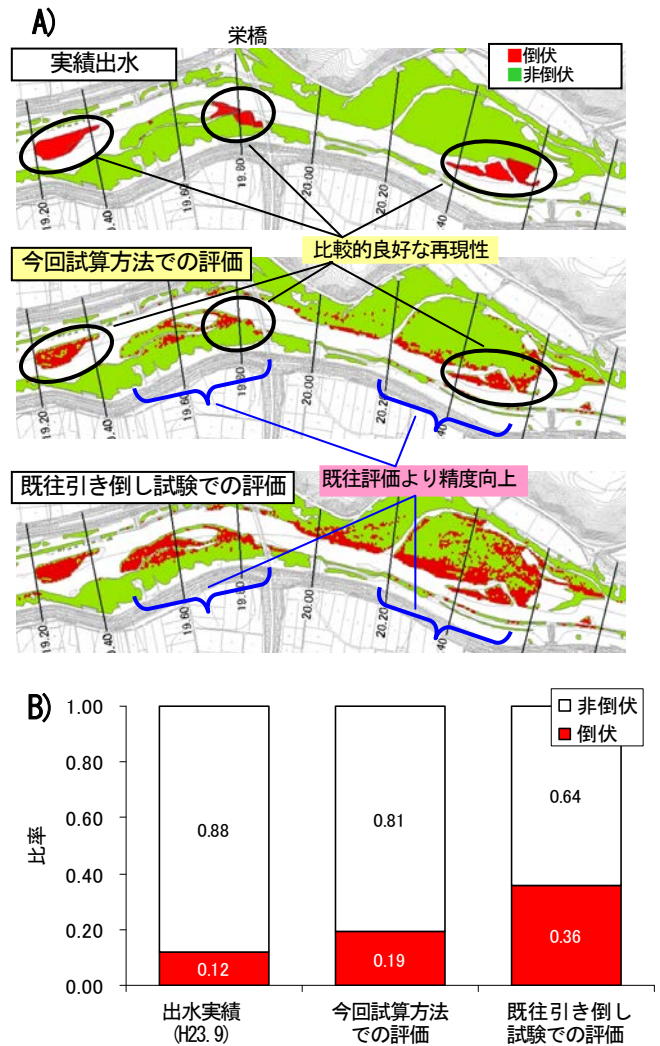


図-10 (A) 実績洪水の倒伏状況、今回試算方法及び既往引き倒し試験による倒伏判定。(B) 検討区間（KP130~23.4）での倒伏状況の再現性（出水実績の比率は、集積箇所以外で計上）

上記で試算した倒伏限界モーメント式（表-2今回試算）を用いて、平成23年9月出水での実績の倒伏状況の再現性を検討した。再現性の検討に際しては、北海道内の河畔に多く見られるヤナギ類、ケヤマハンノキを対象とした引き倒し試験（表-2 事例②の平均値）から得られた判定式による評価も行った。

この結果、図-10Aのように、既往引き倒し試験での評価を適用する場合には全体的に倒伏傾向であるのに対し、今回の試算方法では実績出水に近い箇所が倒伏箇所として判定された。また、図-10Bのように、検討区間の倒伏箇所の割合を見ると、出水実績12%に対し、今回試算方法の場合19%、既往引き倒し試験での評価の場合36%となり、今回試算方法の倒伏箇所の再現性が良好な状態となっている。

このように、土砂堆積による杭効果を考慮することの有効性が示唆された。

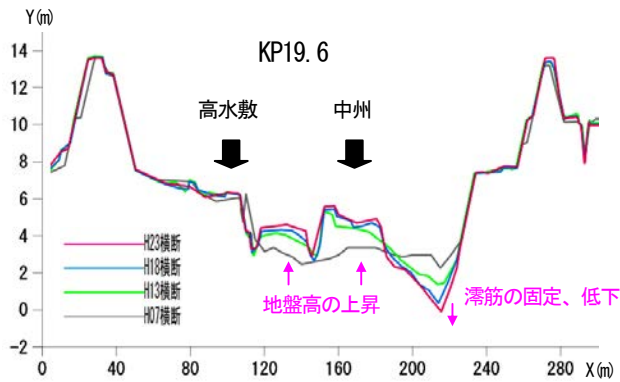


図-11 試験対象地の中州の横断変遷

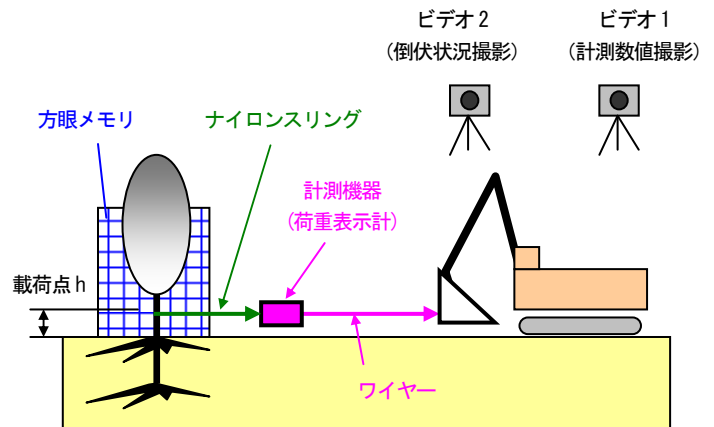
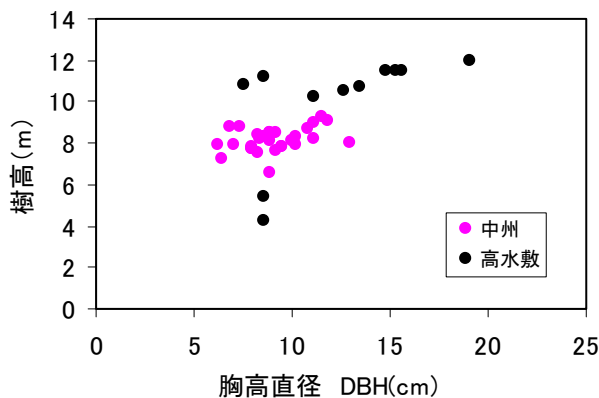


図-13 引き倒し試験の概要



区分	樹高(m)	胸高直径 (cm)
中州 (n=29)	6.6 ~ 9.3	6.2 ~ 13.0
高水敷 (n=11)	4.2 ~ 12.0	7.6 ~ 19.1

(最小~最大値)

図-12 試験樹木の形状

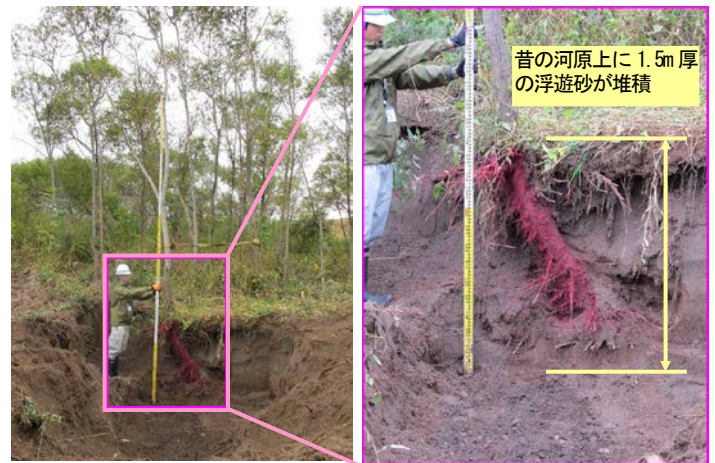


写真-1 中州樹木の幹の埋没と不定根の状況

5. 引き倒し試験の取り組み

前記の倒伏限界モーメントは、洪水ピーク外力、洪水後の倒伏状況に基づく逆算である。実際の樹木倒伏には、流下物捕捉による外力の増加や、樹木の立地環境の差（土砂堆積の程度、水分状態等）などの様々な要因が影響し、幹や根の生育状態等にも関連する。

これらを踏まえ、より詳細に、樹木の外力に対する挙動を把握するため、土砂堆積厚の大きな砂州と高水敷（土砂堆積なし）において、引き倒し試験を行い、土砂堆積による倒伏形態の違いや、今回逆算した倒伏限界モーメントの精査を行っている。

(1) 試験地の樹木と土砂堆積状況

試験箇所は、検討区間で樹木定着後の土砂堆積が最も大きい栄橋下流のKP19.6付近の砂州と、その周辺の高水敷である。KP19.6の横断変遷を見ると（図-11）、平成11年洪水（図-2参照）で中州の土砂堆積、右岸側の滞筋低



写真-2 引き倒し試験の状況

下が発生、その後経年的に中州への土砂堆積と、右岸の滞筋低下が進行したと考えられる（堆積の大きな箇所は平成7年頃から約2m堆積）。砂州上の樹木周辺を掘削すると、写真-1のように、昔の河原から定根が発生し、流下方向になびくように上方に成長しており、現在の地表から約1.5mの深さで浮遊砂の堆積、不定根の発生が見られた。

このことから、中州の土砂堆積と樹林化については、「河原に幼木が定着し成長→平成11年出水での堆積で埋没するが再成長（平成13年空撮でも埋没後の再繁茂の兆候を確認）→その後は中州地盤高の上昇、右岸滞筋低下により、中州箇所での流水の攪乱力が低下→樹林成長の促進→融雪出水時等に流速を低減させ浮遊砂を捕捉（KP19.6の場合は湾曲内岸の影響も想定。図-10A参照）→さらなる中州の地盤高上昇とともに攪乱力の低下で、樹木成長→砂州の高地盤化と高木林化及び対岸の滞筋低下」といった樹木と地形変化の相互補完的な事象が推察される。

(2) 引き倒し試験の実施

試験に使用した樹木（ヤナギ類）は、図-12のように、中州については一斉林状であるため、樹高8m程度、胸高直径10cm程度付近に集中している。高水敷は、比較的大きな樹木が多く、樹高12m程度、胸高直径10cm以上のものが多い状況となっている。

引き倒し試験は、図-13のように、計測機器として荷重表示計（dynafor R3S 1250D）を設置し、バックホーで緩やかに荷重（概ね50kg間隔）をかけながら実施した。実績出水では、図-5のように60°程度で傾いているものが多く見られたことから、土砂堆積地ではこの辺りの傾斜までが倒伏形態の限界で、それ以上は異なる現象になることも想定される。また、不定根の発生は、倒伏後の流失の際の抵抗となることも想定される。これらを踏まえ、試験においては、転倒に加え、転倒後の引き抜きまで実施した。

7. おわりに

試験結果については、データの整理中であり、今回は結論までには至っていないが、今後は試験結果を踏まえ、今回の実績出水から逆算して推定した杭効果について分析を行い、倒伏条件を精査する必要がある。今回試験を実施した土砂堆積の大きな中州については、一斉林状で試験木の胸高直径が10cm程度に集中していることから、

別の区間への適用にあたっては、図-9のような倒伏限界モーメント式に反映させるための太さの異なる試験木データの補完、杭効果を発揮する土砂堆積の程度の把握等、追加試験が必要となる。

また、試験での倒伏形態等を踏まえ、土砂堆積による影響の解釈等、倒伏の評価方法についても検討していく必要がある。

参考文献

- 1) 尻別川水系河川整備計画
<http://www.ot.hkd.mlit.go.jp/kasen/iinkai/seibikeikaku.html>
- 2) 傳甫潤也・堀岡和晃・米元光明・伊藤昌弘（2008）人為改変後の低地の河畔におけるヤナギ林の地域分布，応用生態工学会誌 11: 13-27.
- 3) リバーフロント整備センター（編）（1999）河川における樹木管理の手引き．山海堂.
- 4) 渡邊康玄・市川嘉輝・井出康郎（1996）洪水時における河道内樹木の倒伏限界．水工学論文集 40: 169-174.
- 5) 田中規夫ほか（2010）樹木の洪水破壊指標と流失指標を考慮した砂礫上樹林地の動態評価手法の提案．土木学会論文集，B/Vol. 66, No. 4, pp. 359-370.
- 6) 藤田光一（2007）セグメント2における川幅縮小のメカニズムと予測技術，掘削後の河道応答を「もっと読もうとする」河川技術者のために．第43回水工学に関する夏期研修会公演原稿(1-20)．
- 7) 北海道開発局（2011）平成23年9月2日からの停滞前線等による大雨における河川の状況について（第2報）
- 8) 油川曜佑・渡邊康玄・阿部修也（2005）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 49: 583-588.
- 9) <http://i-ric.org/ja/>
- 10) 旭川開発建設部（2012）石狩川上流 河川事業計画検討業務報告書.
- 11) 西田貴博・崇田徳彦・三佐川剛昌（2010）留萌川の低水路樹木倒伏調査について．第53回北海道開発技術研究発表会概要集：安-05.
- 12) 小川康介・得能泰治・大山 孝（2012）豊平川における出水時の樹木影響と河畔林管理について，H23.9 出水における河畔林の倒伏解析．第55回北海道開発技術研究発表会概要集：安-17.
- 13) 服部 敦・瀬崎智之・吉田昌樹（2001）礫床河道におけるハリエンジュ群落の出水による破壊機構と倒伏発生予測の試み．河川技術論文集 7: 321-326.