

2006年8月洪水における音更川河道変遷

THE ALTER OF OTOFUKE RIVER AT FLOOD IN AUGUST 2006

油川曜佑¹・渡邊康玄²・玉館敦³・坪内大輔⁴

Yousuke ABURAKAWA, Yasuharu WATANABE, Atushi TAMADATE
and Daisuke TUBOUCHI

¹正会員 修士(地球環境科学) (株)北開水工コンサルタント(〒080-0314 河東郡音更町共栄台西11丁目1番地)

²正会員 博士(工学) (独)土木研究所寒地土木研究所(〒062-8602 札幌市豊平区平岸1条3丁目1-34)

³非会員 (株)北開水工コンサルタント(〒080-0314 河東郡音更町共栄台西11丁目1番地)

⁴非会員 北海道開発局帯広開発建設部治水課(〒080-8585 帯広市西4条南8丁目)

Typhoon No. 10, which struck Hokkaido Prefecture in August 2006, caused flood on the Otofuke River, which is in the part of the Tokachi district. At this event the trees colony which is in this river was mostly collapsed, and the situation was altered before or after a flood. In this research, the flow velocity into trees during the collapse of tree colony was observed by ADCP.

As the result the flow distribution was changed from uniform against the perpendicular direction to the parabola as time passes. This changing means that the prevention was reduced by the tree collapse on the flood. And in this paper it is considered about cause of tree colony collapse, as one of that factor, it was mentioned the flood time on the tree colony and so on.

Key Words : tree colony collapse, driftwood, ADCP, field observation, Otofuke river

1. はじめに

河道内に植生する樹木は多様な生態系を形成する上で非常に重要な役割を担っている。一方で、洪水時における樹木は水位上昇を引き起こし、特に樹木の流木化は洪水被害を拡大する一要因となりうるため、流木の流出特性について把握しそれらの対策を行うことが今後の河道計画を策定していく上で重要課題の一つであると考えられる。しかしながら、実際の洪水時においては河道内における流出箇所を特定することは困難であることなどからリアルタイムに流出の挙動を観測した例はほとんど報告されておらず流木の流出特性に関しては未だ不明な点が多いというのが実情である。そのため、これらに関する現象を解明していくためには実測に基づいた基礎的なデータの集積が望まれる。

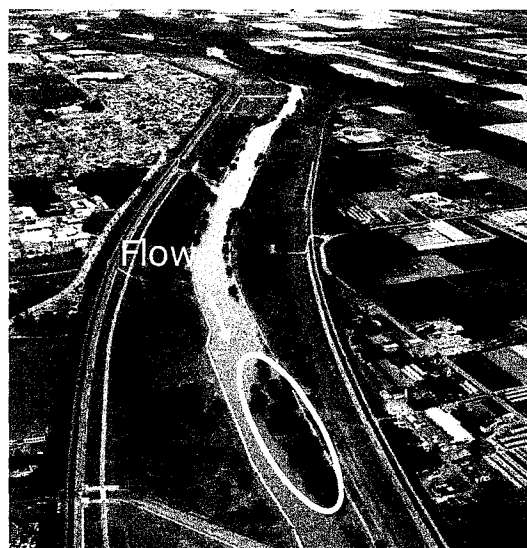


写真-1 音更川の様子

2. 調査経緯

写真-1に示すように北海道十勝地方を流下する音更川

においてはこれまで2003年8月洪水、2005年9月洪水時の2カ年にわたりADP(多層式超音波流速計)をスライドさせる方式を導入した樹木間流速計測などの流況観測が行わ

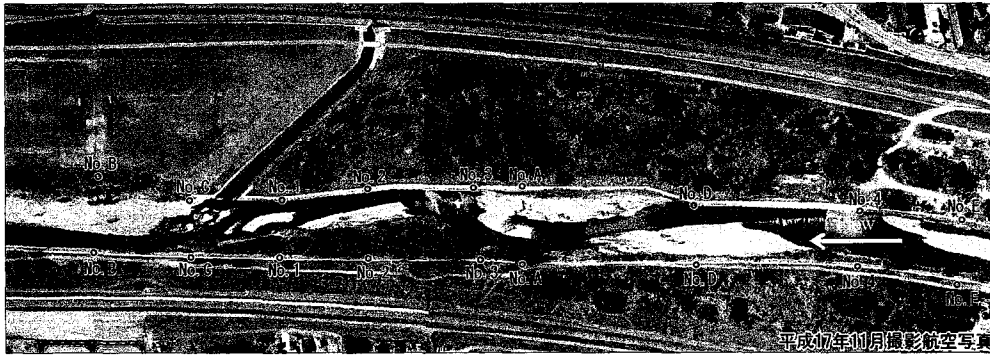


図-1 音更川調査区間

れ、洪水規模や樹木密度によっては樹木群内流量を無視することはできない場合もあることを提唱してきた¹⁾。これらに関しては有用な知見が得られたものと思われるが、より詳細な検証のためには継続した観測が必要となる。

このことから2006年8月に発生した台風10号に刺激された低気圧により引き起こされた2006年8月音更川洪水時においても同様の手法による調査を実施しデータの蓄積を図る予定であった。しかしながら、本イベントではこれまで調査区間として選定していた樹林帯が崩壊し大量の樹木が流出することになった。これらに関しては予想出来ない現象であったが、従来予定していた計測機器を事前に設置していたことから偶然にも貴重なデータとして樹林帯が崩壊していく中でADCP(超音波多層式流速計)を用いた固定流速観測による樹木内流速分布の計測を実施することができた。

本論文では洪水時における流況を把握する目的として現象論を中心に記述し、樹林帯の崩壊に伴う流速分布の変化について特筆した。また洪水前後における音更川河道変遷について報告するとともに、樹林帯崩壊要因に関する考察を試みた。

3. 現地観測の概要

(1) 対象洪水の概要

2006年8月13日に父島の西南西約410キロで発生した台風10号は九州地方を北上し台風に刺激された秋雨前線がかかる北海道十勝地方に大雨をもたらした。その結果、音更川流域では平常時に70.81m程度の水位が2006年8月18日10:00頃に徐々に上昇し始め2006年8月19日11:00には最大ピーク72.50m(指定水位を0.1m超過)を記録した。また雨量は8月18日6:00に最大31.5mmを記録した。この降雨により音更川では樹木への冠水が起こった。

(2) 調査区間の概要

調査河川となる音更川は北海道十勝地方を流れる1級河川十勝川の一次支川であり流域面積740.3km²・流路

表-1 樹木調査結果

測線	調査面積(m ²)	平均樹径(cm)	平均樹高(m)	本数(本)	樹木密度(1/m ²)
No.2	130	6.9	4.9	69	0.53

延長93.5kmの1級河川である。調査対象となる箇所は図-1に示すように音更川下流(KP 1.8~2.4km)の左岸に位置しており、ヤナギ類を主とする一斉林が砂州上に発生している。一帯内を調査することは困難であるが林分構成の把握のため図中のNo.2を中心に幅5m(上流側2m、下流側3m)の樹木・草本類調査を実施したところ、表-1に示すような結果が得られた。調査区間に繁茂する樹林帯面積は約5000m²程度であることから樹木密度を考慮すると本区間には2650本程度の樹木が植生していることになる。また、草本類に関してはクサヨシ、オオイタドリ、エゾイラクサ、ツルヨシ、エゾノギシギシ、オオヨモギ、イラクサなどが生育していた。

4. 洪水時観測

(1) 樹木間固定流速観測機器の設置

No.2測線上の樹林帯内に超音波多層式流速計(ADCP-Acoustic Doppler Current Profilers)を設置し、図-2の模式図に示したように洪水時における樹木間固定流速連続観測を実施した。

流速計の設置は降雨により水位が上昇する前に行い、ADCPをチューブにしっかりと固定し左岸高水敷際から約20mの位置に植生する樹木にロープで十分に繫留した。また、観測時期は水位が上昇し観測可能な水深を確保できる状態となった平成18年9月19日7時20分から9時40分までとし10分間隔で計測を実施した(図-3)。

(2) 樹木間固定流速観測結果

a) 樹木間流速経時変化

観測により得られた樹木内流速鉛直分布として図4(a)-(f)に経時変化による代表例を示した。

得られた流速分布図からその構造は時間の経過に伴い変化していることに気が付く。一般に流れの中に剛体が

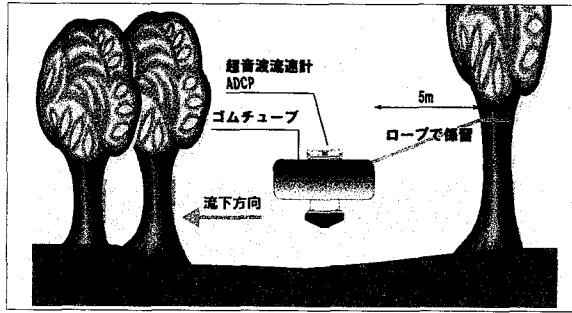


図-2 ADCPによる固定流速観測模式図

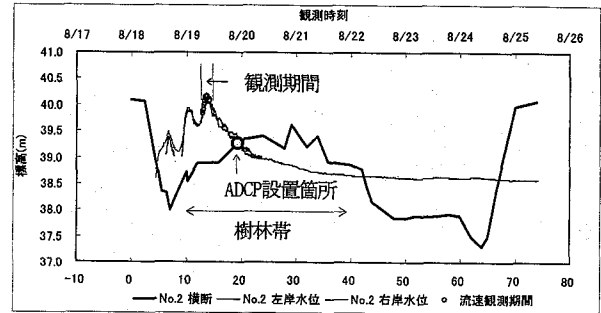


図-3 樹木内流速観測時間

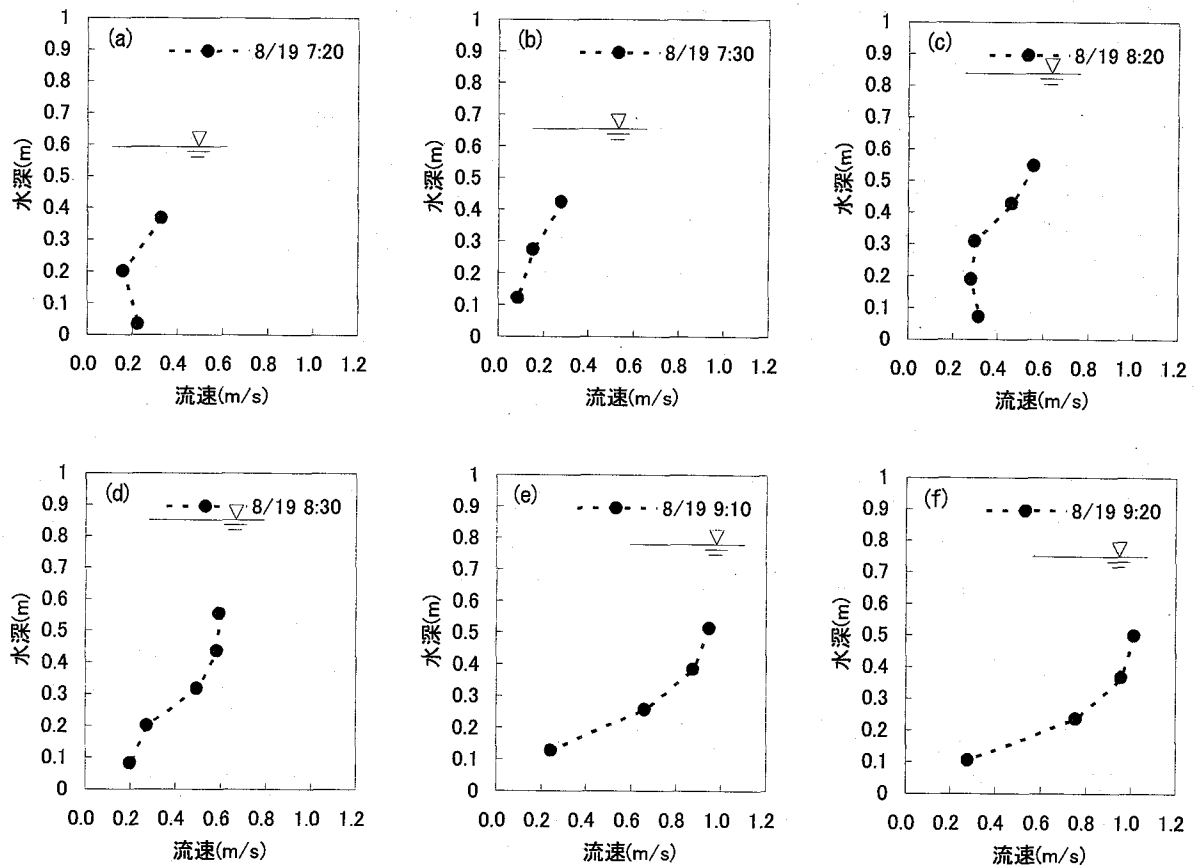


図-4 樹木内流速分布変化 (a)-(f)

存在する場合、その剛体が受ける力は $F=1/2C_d A u^2$ (C_d : 抵抗係数、 A : 剛体の投影面積、 u : 流速) で算定される。ゆえに流れの中の樹木には流速の2乗に比例する力が働く。そのため、流れには流速の2乗に比例する抗力が抵抗として働くことになる。つまり、流れに働く抗力は流速の大きい表面付近で大きく、流速の小さい底面付近で小さく働くことから、樹木群の存在する場の流速は、水深方向に一樣化し樹木群が存在しない場合の放物状の流速分布とは大きく異なると考えられている。本調査により得られた流速分布図は、時間が進行するにつれてその分布は鉛直方向に一樣な形状(a)-(b)から一樣な形状と放物状との中間的分布形(c)-(d)を経て放物状(e)-(f)に変化する傾向を示している。これらの分布図の変化を上

記の一般則に当てはめて考えると、時間経過とともに流水中の抵抗要因が減少していることになる。

実際の例として図-5(a)(b)に樹木群の時間経緯による状態を比較した。これら2枚は撮影アングルが異なるが両者に示される樹木の位置は①-⑤に対応している。その結果、区分③④では極わずかではあるが樹木が消滅している。また区分⑤では樹木が傾斜している。これらは局所的には小さな変化であるが河道全域において同様の現象が起きていると考えればその影響は大きいと思われる。次に平均流速の時間変化について見てみると時間の経過に伴いその値は増大する傾向がある。一般に知られているマンニングの式 $u=1/n \cdot h^{2/3} \cdot i^{1/2}$ (u : 流速、 n : 粗度係数、 h : 水深、 i : 水面勾配) によると、流速は水深の

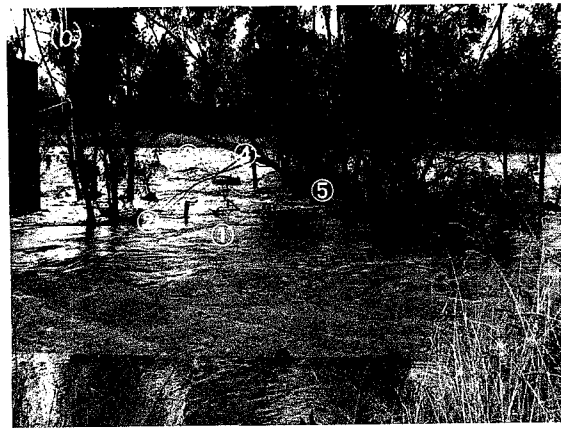


図-5 洪水時における流水障害の変化 (a) (b)

2/3乗、水面勾配の1/2乗に比例することになる。ゆえに水深・水面勾配が大きくなれば流速も大きくなることになるが、今回の計測では8:50前後より水深・水面勾配ともに小さくなるにも関わらず流速は大きくなっていることがわかる(図-6・図-7)。これは図-8に示したように粗度係数が時間とともに減少しているためであり、地盤を含めた樹林帯の崩壊により流水障害の割合が減少したことが起因していると考えられる。

樹林帯の崩壊は図-5において区分③-⑤では変化が見られた一方で区分①・②ではほとんど変わらなかったことから判断されるように主流部側から進行し徐々に樹林帯部分が侵食されていくように思われる。このため、樹林帯内に設置されたADCPは時間の経過とともに主流部の流れが加わり流速分布の形状が放物状にシフトしたと考えられる。これらの現象を踏まえ、次に樹木内流速理論を用いて観測時において樹林帯がどの程度減少したか推定した。

b) 樹木外流速理論式を用いた樹木密度変化の推定

樹木群内での流速分布式を表す式を渡邊は(1)式で表している²⁾。

$$u_i = \sqrt{\frac{2}{A}} \left[1 + \frac{2}{\chi^2} \{ c_0 \exp(\chi z) + c_1 \exp(-\chi z) \} \right] \quad (1)$$

なお、各記号についてはこれまでも報告しているのでここでは割愛することにする。式中に示される A は流水に対する樹木投影面積を樹木繁茂面積で除した無次元樹木密度と樹木の抵抗係数の積で表されることから、無次元樹木密度を未知数として理論式による平均流速と固定観測による平均流速が合致するようにトライアルアンドエラーさせた。

その結果、調査時間7:20~7:50、9:20~9:40の間における算定値は異常値を示したため棄却したが、図-9に示すように樹木密度は時間の経過とともに数%程度減少する傾向が見られた。これより樹木内流速理論式によっても時間ごとの流水の抵抗要因となる樹木の障害面積の減少がある程度再現された。

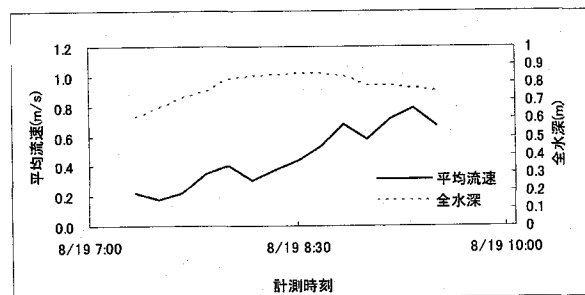


図-6 平均流速と水深の関係

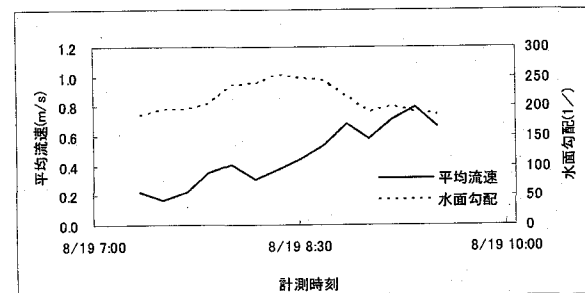


図-7 平均流速と水面勾配の関係

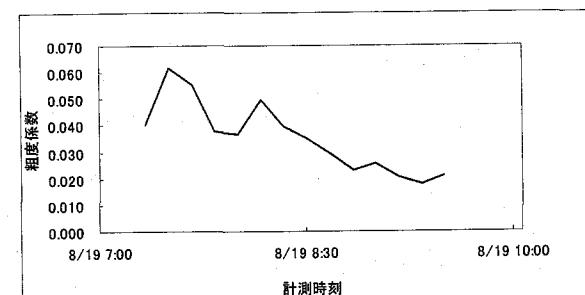


図-8 粗度係数の時間変化

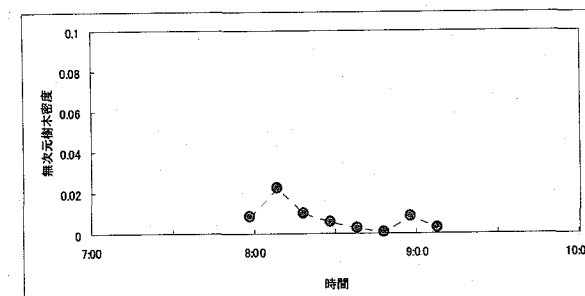


図-9 樹木内流速理論式による無次元樹木密度の算定



写真-2 樹林区間の変遷 (a) 洪水前 (b) 洪水中 (c) 洪水後

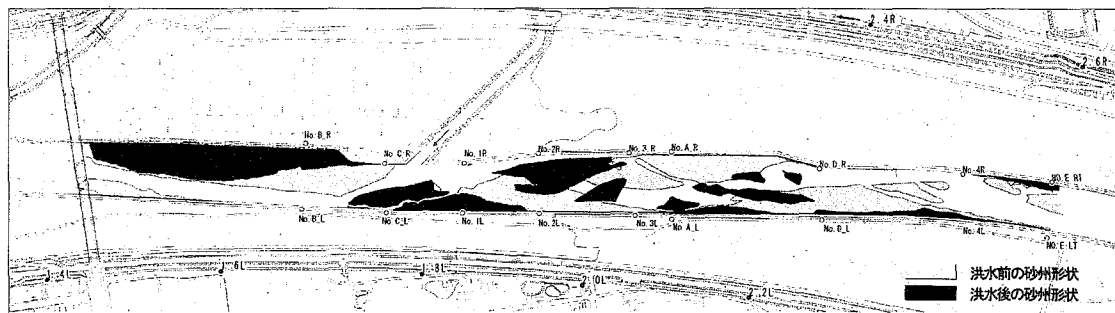


図-10 洪水前後における河道比較

5. 洪水前後の河道変遷

2006年8月音更川洪水では洪水前後における音更川の様相が劇的に変化した。写真-2(a)-(c)に定位置からの樹林帯区間の様子を示したが、樹林帯がほぼ消滅しており3900m²の樹木が流出したと算定された。

また、図-10はGPSを用いた河道追跡による洪水前後の重ね図を示した。これより洪水前後における流路は逆位相になったといえる。平常時における流路は砂州の形状に従うことから調査区間における砂州は半波長下流側へシフトしたと考えることができる。このことは図中に示した測線における横断測量結果からも明らかのように、洪水前後では断面形状に堆積と堆積箇所が逆転している(図-11)。また、図-12に堆積量と洗掘量との関係を示したが、ほとんどの測線において双方の量に差は小さく本洪水では上流からの砂州流入量と下流への砂州の流出量はほぼ等しいと考えられた。

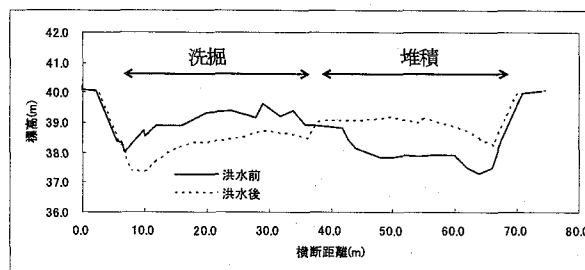


図-11 横断形状比較 (No. 2)

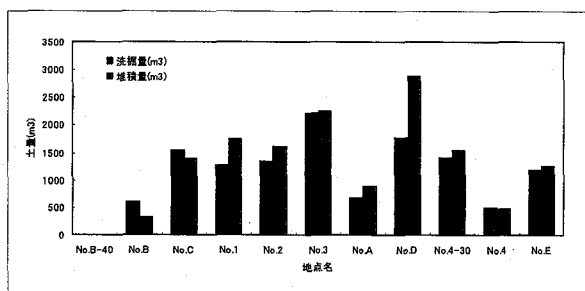


図-12 堆積・洗掘量の比較

6. 樹林帯崩壊要因

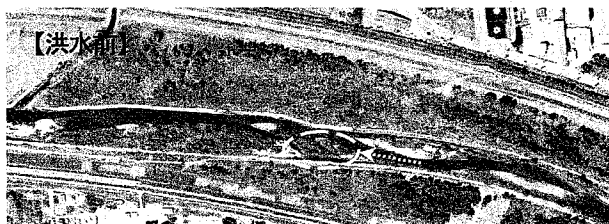
今回の洪水ではこれまで樹木間流速調査を実施してきた樹林帯のほとんどが流木化し消失するという現象が見られた。流量の大きさを考えると今回のピーク流量は297.2m³/s、2003年8月出水時は127.2 m³/s、また2005年9月出水時では454.3 m³/sであった。流量が2倍以上小さい2003年時は樹木の流出はほとんどなかった。一方、流量が1.5倍程度大きい昨年度では樹林帯面積8800m²対

表-2 最大流量と樹木への冠水時間の比較

年度	最大流量(m ³ /s)	冠水時間(h)
2003年8月	127.2	15.5
2005年9月	454.3	14
2006年8月	297.2	25

し3732m²が流出した。これは全体の約1/4に相当する。このことから流量規模は樹木流出の一要因であると考えられることができる。しかしながら、今回と2005年時は流量

(a) 2001年8月



(b) 2005年9月



(c) 2006年8月

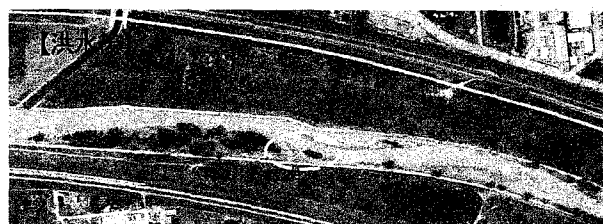


図-13 水衝部位置と樹木流出との関係(a)-(c)

に大きな差があるにも関わらず流出量にほとんど差はない。このことから樹林帯流出には他の要因も関与していると考えられる。

a) 樹林帯部の冠水時間の比較

これまで音更川では樹林が繁茂するNo. 2測線において洪水時における水位観測が行われてきた。表-2に各年における樹林帯への冠水時間を比較した。その結果、2003年8月、2005年9月での樹林帯への冠水時間は15時間程度であるのに対し、今回の出水では約1.7倍となる25時間であった。このことから今回はこれまでよりも砂州が発達する時間が十分に確保されたと考えられる。つまり洪水時には砂州の下流側への移動に伴い水衝部が経時的に変化する。水衝部は水の流れが最も強いので樹林帯にまで移動してくると樹林帯にインパクトを与えられ次々と崩壊したものと考えられる。

b) 洪水時における水衝部と樹木の位置関係の変遷

樹林帯の崩壊の要因として、洪水時における水衝部と樹木の位置関係に着目した。対象とする年代は2001年8月洪水、2005年9月洪水ならびに2006年8月洪水の3ヵ年とした。図-13(a)-(c)に各年度における洪水前後の写真を比較した。ここで洪水前の写真に着目すると平常時における流路は砂州の形状に沿って蛇行曲線を描いているが、いずれの年代ともその湾曲部分が樹林帯の先端部付近に位置していることがわかる。これは洪水時における流水がこの付近で最も大きな衝撃となる、すなわち洪水時における水衝部は図中の矢印に示した樹林帯に位置し樹林帯に大きな負荷を与えるものと考えられる。その結

果、樹木の流木化が進行し樹林帯が消滅したと思われる。

7. まとめ

本論文では2006年8月洪水における現地観測結果を中心に記述した。今回は樹林帯が崩壊する過程での流速調査を実施したがこのような条件下における観測例はほとんど報告されていないことから得られた調査結果は基礎データとして活用されることが期待される。今後は音更川の河道変遷についてより詳細な検証を行うために平面流況計算などによる調査区間の流況を推定し、実測観測結果との比較も必要になると思われる。

謝辞：本論文は北海道開発局帯広開発建設部により執筆の許可を得た。ここに記し関係者の方々に感謝いたします。

参考文献

- 1) 油川曜佑, 渡邊康玄, 石田洋一, 五十嵐拓, 玉館敦, 鈴木信幸, 三田村一弘: 洪水時における樹木内現地観測, 水工学論文集, 第50巻, pp. 89-94, 2006.
- 2) 渡邊康玄, 平野道夫, 井出康郎: 樹木群内の流速水深方向分布と浮遊砂の濃度分布, 北海道開発土木研究所月報, pp. 271-276, 1994.

(2007.4.5受付)