

# 簡易型システムによる橋脚周辺および 発生源における流木挙動の観測調査

Observations on behavior of driftwoods around bridge piers and their  
source region by using simplified monitoring systems

赤堀 良介<sup>1</sup>・村上 泰啓<sup>2</sup>・土田 宏一<sup>3</sup>・白井 博彰<sup>4</sup>

Ryosuke AKAHORI, Yasuhiro MURAKAMI, Koich TSUCHIDA, Hiroaki SHIARAI

<sup>1</sup> 正会員 Ph.D. 独立行政法人 寒地土木研究所 寒地河川チーム (〒 062-8602 札幌市豊平区平岸 1 条 3 丁目)

<sup>2</sup> 正会員 工博 独立行政法人 寒地土木研究所 寒地河川チーム (〒 062-8602 札幌市豊平区平岸 1 条 3 丁目)

<sup>3</sup> 正会員 株式会社 福田水文センター 調査部 (〒 001-0024 札幌市北区北 24 条西 15 丁目)

<sup>4</sup> 正会員 北海道フィールドサポート株式会社 水文環境調査グループ (〒 001-0024 札幌市北区北 24 条西 15 丁目)

In this study, the behavior of driftwoods around bridge piers and their source region were observed by using a web-based and remote-controlled monitoring system and simplified stand-alone systems. The later stand-alone systems were proposed to solve the problems that the former advanced web-based system inherently poses, such as cost-demanding maintenance or restrictions of locations. During the observation period, the extensive depositions of driftwoods and the movement of woods in a source region of driftwoods were not observed. However, the temporal change in the number of driftwoods which flew downstream around bridge piers were observed. The result confirms the previously observed tendency, in which the emergence of a peak of the number of driftwoods is observed in advance of that of water level.

*Key Words* : driftwood, filed observation, bridge pier, monitoring system

## 1. はじめに

出水時に河道内を流下する流木は、橋脚等や取水施設等へ集積し、堰上げによる氾濫や構造物の破壊といった重大な被害を及ぼすことから、その流下と集積に関するプロセスの解明が求められている。しかしながら、これまで、流木の橋脚への集積状況や山地溪流からの流出に関しては、現象そのものがイベント期間を通して連続的に観察された例はほとんどなく、詳細な機構は未だ明らかとなっていない。

このような調査のためには、発生予測が困難である大規模な出水に備えた継続的な観測が必要である。流木の流下状況に関しては、佐藤ら<sup>1)</sup>がインターネットベースの常時観測システムを提案し、橋脚部周辺における流木監視を目的とした画像の取得、水位および流速の計測を行ってきた。

佐藤ら<sup>1)</sup>の観測システムは遠隔地からの常時観測が可能であるなど多くのメリットが存在するが、一方で中継施設の設置や電源設備の設置等、十分なリソースが必要とされる。観測の実施にあたっては費用や立地の面での制約が多く、これまでは同システムによる調査やその継続が困難な場合が存在した。このような問題

点に対処するため、本研究では低コストでフレキシブルな可搬型の観測システムを提案し、実際の河川を対象として流木挙動の観測を行った。これは商用電源やネットワークとは独立した稼働が可能なシステムであり、市街地から離れた地域など、これまでインターネットベースのシステムでは観測が困難であった土地における観測を可能とする。このシステムを用いて、出水時に随時流木の挙動を観測することで、システムの有効性を確認するとともに流木の挙動に関する知見の蓄積を試みた。

また、過去に行われた連続的な流木流下観測<sup>1)</sup>では、出水イベント内に 200 本を超える流木が通過した場合においても、流木は橋脚間を散発的に通過することが多く、橋脚への大規模な集積を観察するには至らなかった。実際に集積が生じる場合には、上流部分のどこかの点で流木同士があらかじめ近接した状態となる必要があると推測されるが、流木の生産源における発生時の状況が観察された場合、集積機構の解明にあたって重要な情報となる。このため、本研究では前述の流木流況観測と同時に、発生源での流木の移動機構の把握を目的として簡易な無人観測システムを構築し、山地溪流域における流木の移動状況の調査を行った。

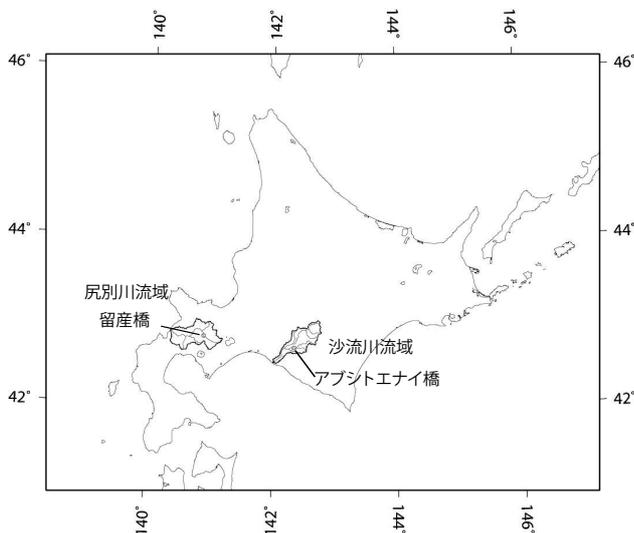


図-1 実験水路概略図

## 2. 流木監視調査

### (1) 観測地点および観測期間

流木流下状況の調査対象は、尻別川の留産橋と沙流川水系額平川のアブシトエナイ橋（図-1）とした。前者は上流に洪水調整のためのダムを有しておらず、大規模な流木の発生が生じた場合にダムによるトラップを経ない状態での流木の観測が可能であると考えられる。また後者は2003年の沙流川出水時における流木被害の被災橋梁である<sup>2)</sup>。両者ともに、機材設置や橋梁上からの見通しの可否、低水路内に橋脚を有する点なども考慮して観測対象とした。

### (2) 観測機器の配置

留産橋の観測には、設置済みであった既存のインターネットベースの観測システムを用いた<sup>1)</sup>。留産橋におけるシステム構成を図-2に示す。これは橋梁上に監視カメラや非接触流速計等を設置し、橋梁近傍に置かれた基地局を通してインターネット回線に接続することで、遠隔地のPC上から常時モニタリングを可能とするシステムである。同システムは出水の開始を逃すことなく観測が可能であるなど利点も多いが、基地局のような中継施設の常設が必要であり、電源や用地の確保などシステム構築にあたっての制約が多い。アブシトエナイ橋に関しては商用電源の確保が困難であるなど、同システムの構築が困難であったため、スタンドアロンの運用が可能な可搬型の観測システムを新たに構築した。その際の機器の配置図を図-3に示す。これは、金属製の架台に監視カメラ（CANON製VC-50CiR）、夜間撮影用の投光器（岩崎電気製H8420型）、非接触型流速計（アジア海援隊製MWH17）を配置したものであり（図-4）、機器類は車両内に設置された移動基地

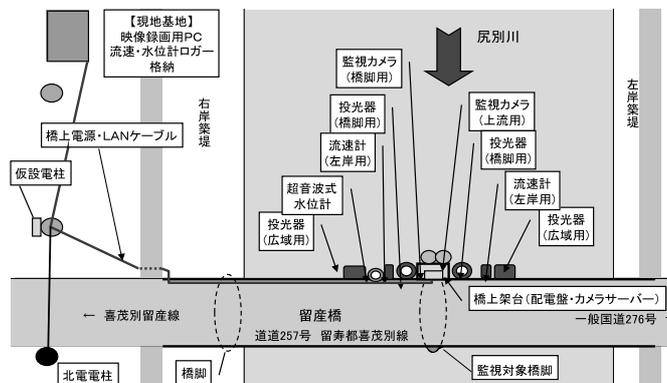


図-2 インターネット型観測システム機器配置図（留産橋）

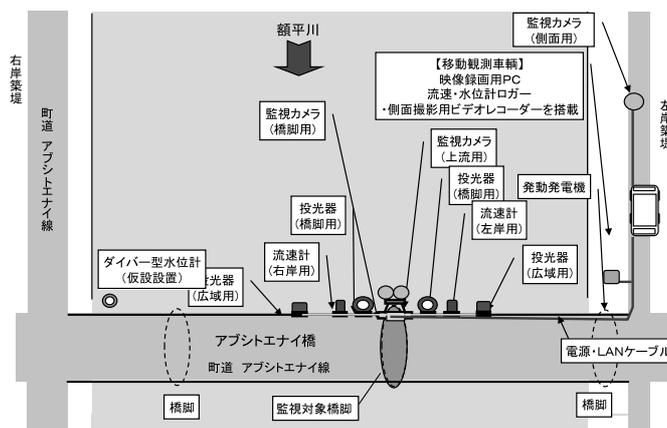


図-3 可搬型観測システム機器配置図（アブシトエナイ橋）



図-4 アブシトエナイ橋での可搬型システム架台設置状況

に接続され、観測情報の集積を行う。また、後述する2010年8月の出水に関しては、可搬型システムの準備期間であったため、便宜的に民生品のビデオカメラを利用した機器配置で観測を行った。この場合、ロープによる三脚の固定によってカメラを欄干に設置することとなり、橋梁上からせり出して橋脚を撮影することが出来ず、橋梁上から上流側水面を斜めに見下ろしたアングルでの撮影となった。

### (3) 観測項目

留産橋に設置されたインターネット型の観測システムにより、10分インターバルでの静止画および各計測値のウェブ配信を行った。配信画像は、橋脚周辺と上流方向を向いた2画面である。通常時の映像録画は全日録画を行い、1週間ごとに上書きされる。降雨イベント時には、遠隔操作により、カメラアングルの調整、夜間照明の点灯、録画の上書きモード解除を行い、連続動画を電子媒体に記録した。アブシトエナイ橋での可搬型システムによる観測では、気象情報等を参考に、出水イベントが予測される場合に担当作業者が随時同システムを橋梁欄干に設置し、車両上の移動基地内媒体へと録画情報を記録することで観測を行った。両観測地点ともに、民生品のビデオカメラを使用したアブシトエナイ橋での8月の観測を除き、カメラと併設された水位計により水位計測を行っている。

### 3. 流木発生源調査の概要

流木発生源における移動機構に関する調査は、額平川流域総主別川最上流部を対象とした(図-5)。ここで対象河川を右支川と仮称する。著者らの事前踏査により、右支川の流木は、溪流沿いに単木、埋木の状態で分布しているのが観察されている。本調査では、溪流周辺に散在する流木の出水イベントでの移動量を計測するため、後述する固定カメラの撮影範囲を含む前後区間において個々の流木に標識を設置し、観測期間の前後でGPS測量および基地点からの放射法測量等により位置を計測することで流木移動量の把握を試みた。観測地点におけるマーキングされた流木の様子を図-6に示す。観測期間は、現況調査を2011年8月30日とし、発生後調査を積雪前の同年11月17日とした。

また、2003年8月出水において、当該溪流においては約3.7%の崩壊面積率で斜面崩壊が発生した<sup>3)</sup>。周辺の斜面状況や崩壊跡地の観察により、当時、斜面崩壊の多くは基盤岩表面がすべり面となった表土と樹木が主体となった表層崩壊であったと考えられることから、実際の豪雨時には標識した流木の再移動に加え、斜面崩壊等によって樹木が流路内に供給されることが想定される。このような現象も観測の対象として、電源(太陽光パネル195W12V:1枚、および蓄電池80Ah10W105A/h12V:4個)、LED照明(18LED12V、10Wの専用太陽光パネルとバッテリーを併設)、雨量計、制御装置を具備した固定焦点カメラ(パナソニック製BB-HCM735)を現地に設置し(図-7)、溪流沿いの流木や大出水時の流木挙動の把握を試みた。この際、静止画像取得のインターバルは1秒から3秒とした。

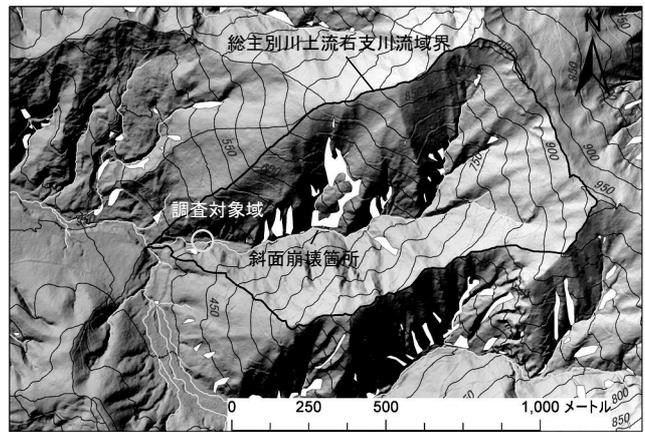


図-5 流木発生源調査対象箇所



図-6 流木へのマーキングの様子



図-7 流木発生源調査観測機器

### 4. 流木監視調査結果

#### (1) 期間中の降雨と出水イベント

期間中の水位と雨量の状況を、対象地点近傍の観測所のデータから示す。図-8は留産橋観測地点上流にあ

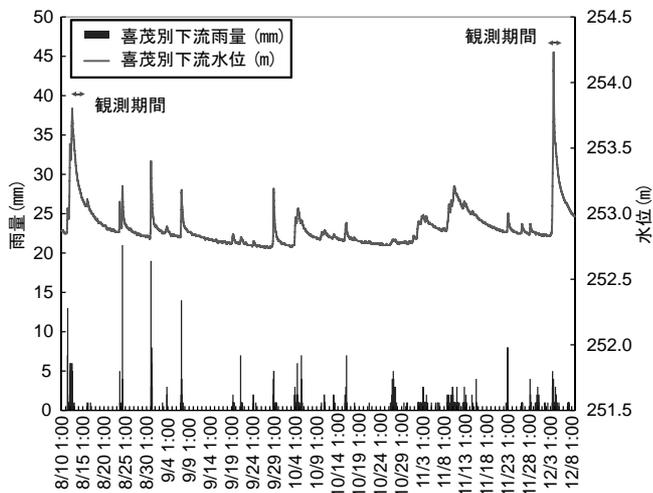


図-8 観測期間の水位と雨量：喜茂別下流観測所 2010 年

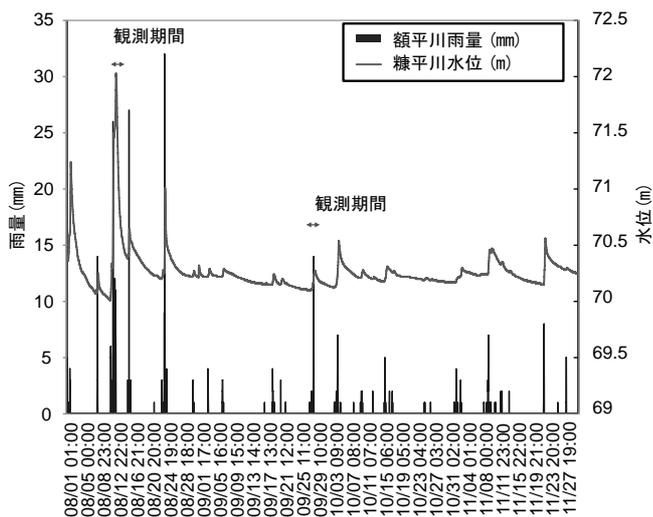


図-9 観測期間の水位と雨量：額平川観測所 2010 年

喜茂別下流観測所（小樽開発建設部）での水位と雨量を示した物である。本報告では 8 月 12-13 日の出水と、12 月 3-4 日の出水に関して結果を後述する。8 月 12-13 日の出水に関しては、水防団待機水位（253.81m）とほぼ同程度の水位を記録し（253.80m）、12 月 3-4 日の水位はそれを大幅に越え、同観測所において平成 17 年以降での最高水位（254.23m）を示した。図-9 はアブシトエナイ橋観測地点最寄りの額平川観測所（室蘭建設管理部）における水位と雨量を示した図である。8 月 11-13 日に掛けての出水では、同観測所における水防団待機水位（71.48m）を超える値（72.03m）を示しているが、その後、観測期間中に大きな出水は無く、9 月 27-29 日に示した水位も 70.27m に留まる。

## (2) 出水イベント時の監視映像

図-10 は、8 月 12-13 日に行われたアブシトエナイ橋流木観測時のビデオカメラによる流況画像を 1 フレーム切り出したものと、それに対する解析に使用された

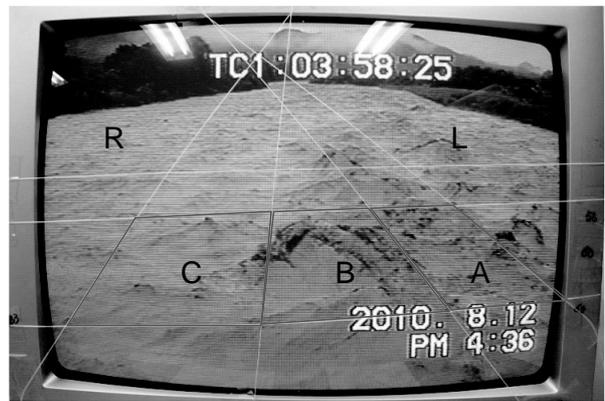


図-10 アブシトエナイ橋での 8 月出水時撮影画像と計数時の領域分割

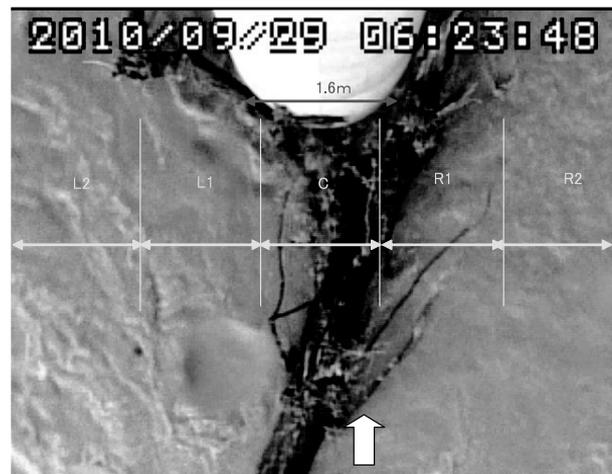


図-11 アブシトエナイ橋での 9 月出水時撮影画像と計数時の領域分割

水面での領域区分を示した物である。この観測において、カメラは橋上から上流側水面を斜めに見下ろすように設置された。撮影された画像を図-10 のように準備されたモニターに映し、エリア別、流木のサイズ別に、10 分間ごとの流下本数を計測した。

図-11 は、同様に 9 月 27-29 日に行われたアブシトエナイ橋流木観測時の監視カメラによる流況画像の 1 フレームと領域区分を示した物である。この観測ではカメラは架台に設置されており、橋脚周辺を直上から撮影することが可能となっている。撮影された画像を図-11 のように準備されたモニターに映し、エリアごと、流木のサイズごとに流下本数を計測した。留産橋での撮影と流下本数の計測に関しては、図-11 に示された画像と同様の取得画像と領域区分を設け、計数を行った。

なお、図-10 と図-11 とでは撮影された範囲が異なり、判別出来る流木のサイズや数量も異なる。以降の結果に関しては、流木の数量よりも、その増減の傾向を議論する。

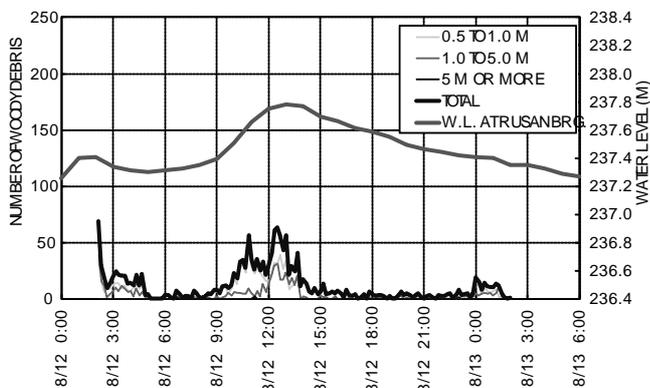


図-12 2010年8月12-13日の流木流下数変化(留産橋)

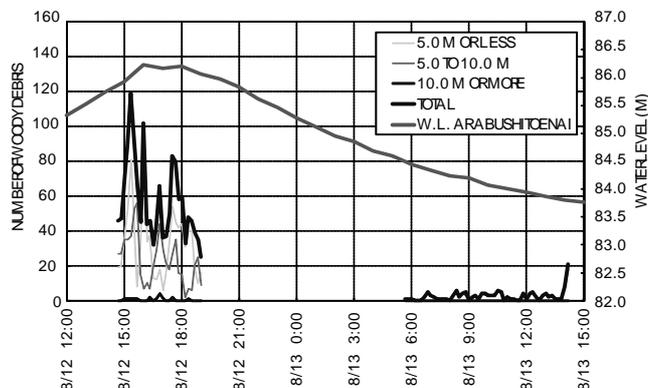


図-14 2010年8月12-13日の流木流下数変化(アブシトエナイ橋)

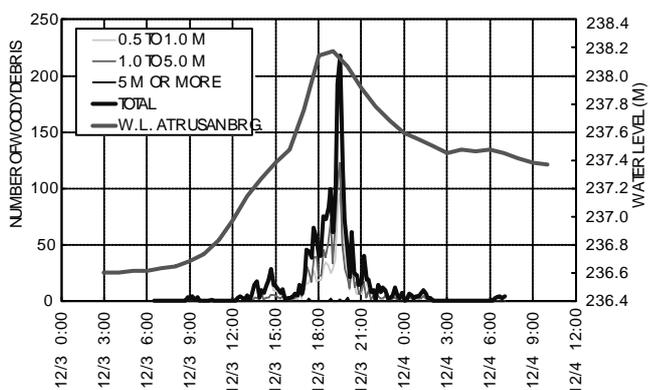


図-13 2010年12月3-4日の流木流下数変化(留産橋)

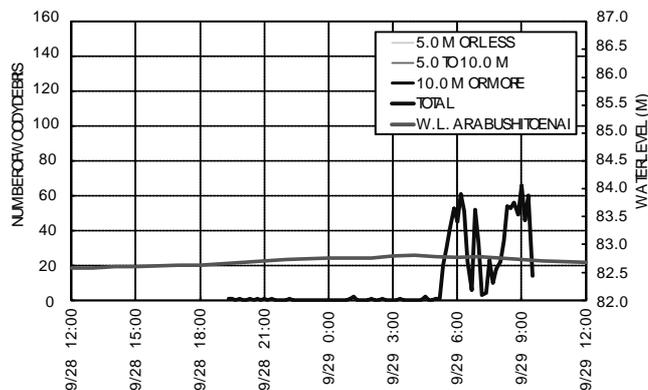


図-15 2010年9月27-29日の流木流下数変化(アブシトエナイ橋)

### (3) 流下流木数

本報告で提案した観測システムは、第一義的には橋脚周辺の流木の集積過程観察を目的とした物である。しかしながら、両観測地点において観測期間中に大規模な流木の集積は発生せず、この目的のための直接の知見を得ることは出来なかった。ここでは佐藤ら<sup>1)</sup>にならない、流木の流下数を時系列的に計数した結果を述べることで、出水時の流木の挙動に関して傾向を得る物とする。

図-12と図-13は、留産橋観測地点での8月と12月の観測時における、観測地点での水位と流木流下数の時間帯による変化を示したもので、図-14と図-15はアブシトエナイ橋観測地点での8月と9月の観測時における、観測地点での水位と流木流下数変化を示したものである。図-14に関してはビデオカメラによる緊急の撮影のため十分な照明が用意出来ず、夜間の撮影範囲が昼間のものと大きく異なった。このため、ここでは昼間部の結果のみ示している。また、図-14の観測時には観測地点における水位計の設置も準備が完了していなかった。このため、ここではその後の水位計が設置された期間に得られたアブシトエナイ橋での水位と額平川観測所での水位との比較から両者間の一次回帰式を求め、同時刻の額平川観測所における水位から得ら

れた、観測地点での水位の推測値を記入している。これらの結果のうち、先に示したように、図-12、図-13、図-14は水防団待機水位以上の出水時のものであるのに対し、図-15は平水時と水位が大きく変化していない状況での結果となる。なお、図-14に関しては、観測開始時刻が水位ピークの直前となっており、流下開始時点のデータが得られていない。一方で図-15では水位のピークが到達する時刻の10時間以上前から流木流下が観測されており、簡易型のシステムにおいては、現象の初期段階での観測が、開始の判断や現象の時間的進行に左右されることが伺われる。

図-12と図-14の結果に関しては、既報<sup>1)</sup>で示されたように、水位のピークが到達する以前に流木流下数のピークが生じていることが改めて確認された。また図-13では流下数のピークは水位のピークの到達にわずかに遅れるが、水位ピーク到達以前に、期間中の流木数の大半が既に流下しているという点では、これまでの結果と同様の傾向を示している。しかしながら、例えば図-12において、0.5m-1.0mの長さを有する流木が先に流下数ピークを迎え、1.0m-5.0mの長さを有する流木のピークがその後を追うといった傾向が見られるのに対し、図-13では12月3日18:00から21:00の間にどちらの長さの流木も急激に最大値を迎えるとい

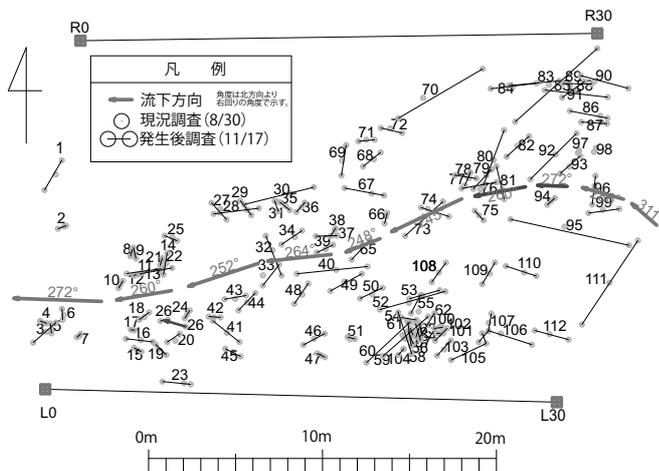


図-16 流木発生源調査流木位置

た相違が見られる。河道内流木の再移動に関しては、その浮遊限界や移動限界が流木の直径と水深に依存すると考えられ<sup>4)</sup>、移動限界の低い小型の流木が水位の上昇に応じて先行して移動すると考えられるが、図-13内のピーク時間帯の傾向はそれとは異なり、単純な河道内の流木の再移動とは異なる現象が発生していたことが推測される（なお目視による観測では、斜面崩壊による流木化のような大規模な生産が生じた様子は見られなかった）。例えば、12月の出水では数年に一度の頻度でしか冠水しない箇所からの流木の再移動等があったと考えられることから、洪水履歴の影響等も考慮の必要があると考えられる<sup>5)</sup>。

## 5. 流木発生源調査結果

流木発生源における移動量調査の結果を図-16に示す。現況調査では既存流木の中心位置を計測し、発生後調査では両端の位置を計測した。結果として、今回の観測期間においては流木の移動は見られず、現地観測の最大時間雨量 17.5mm/h では雨水は河床に浸透し、流木を移動させるような増水流況にはならないことが確認された。この原因として、調査溪流が付加体堆積物の地質領域に属し、チャートや緑色岩などの海洋プレート由来の硬質で比較的粒径が大きく透水性の高い河床材料が厚く堆積していることによるものと考えられる。

また、2003年8月出水において橋梁で堆積したような流木塊は斜面崩壊等によって発生したことが想定されるが、同様にこのような現象も観測されておらず、流木塊がどのように生産されたかについては、本観測では確認できなかった。

## 6. まとめ

出水時の河道内を流下する流木に関し、流下のメカニズムと橋脚周辺への集積に関するプロセスの解明を目的とした観測を行った。本研究ではインターネットベースの既設監視システムによる常時観測を行ったほか、それを基とした簡易な可搬型のシステムを用い、出水が予測される状況において橋梁欄干に設置することで観測を行った。これらにより、流木流下の挙動に関する知見の蓄積と簡易型システムの有効性の評価を試みた。また、上記の河道内流木観測に加え、流木発生源調査として対象河川最上流域の沢に散在する倒木の位置計測と降雨出水時の移動状況を把握するため、インターバル撮影が可能な無人カメラによる観測を行った。

本報告では大規模な流木集積は観測出来ず、集積メカニズムの解明には至らなかった。しかしながら流木本数の計数により、出水規模の違いと流木のサイズの違いに応じて、流木数のピークが出現する時間帯に差異が生じることが認められた。

また、流木発生源調査では降雨規模が小さかったため、倒木の移動は観測されなかった。

今回の観測事例を通して、流木監視システムについては、常設型に対して可搬型タイプの観測がコストの面で優れていることが確認されたが、洪水時の初期における観測データ取得が、観測開始の迅速さに依存するといった問題が生じた。機器の提供する機能自体に問題は無いため、さらに小型化することにより迅速性を増すことが出来ると考えられる。

## 参考文献

- 1) 佐藤徳人, 渡邊康玄, 白井博彰: 橋脚周辺における流木の挙動監視調査, 河川技術論文集, 第13巻, pp. 409-414, 2007.
- 2) 阿部修也, 渡邊康玄, 長谷川和義: 2003年台風10号出水における沙流川での橋梁被害, 河川技術論文集, 第11巻, pp. 109-114, 2005.
- 3) 村上泰啓, 鈴木雄介, 池島 剛: 航空レーザー測量結果を用いた沙流川流域の微地形判読と基盤岩の土砂生産特性について, 河川技術論文集, 第14巻, pp.127-132, 2008.
- 4) Braudrick, C. A., Grant, G.E.: When do logs move in rivers?, Water Resources Research, Vol.36, No.2, pp.571-583, 2000.
- 5) Haga, H., Kumagai, T., Otsuki, K., Ogawa, S.: Transport and retention of coarse woody debris in mountain streams: An in situ field experiment of log transport and a field survey of coarse woody debris distribution, Water Resources Research, Vol.38, No.8, doi:10.1029/2001WR001123, 2002.

(2011. 5.19 受付)