

## 平成 22 年 7 月 16 日に広島県庄原市で発生した豪雨災害における流木実態調査

## Investigation of drift wood caused by heavy rain at Shobara, Hiroshima on July 16, 2010

渋谷 一* <sup>1</sup>	香月 智* <sup>2</sup>
Hajime Shibuya	Satoshi Katsuki
大隅 久* <sup>3</sup>	國領 ひろし* <sup>3</sup>
Hisashi Ohsumi	Hiroshi Kokuryo

## 1. 緒言

平成 22 年 7 月 16 日、広島県庄原市で 1 時間に 64mm という局地的な集中豪雨により土石流が発生し、大量の流木が流出した<sup>1),2)</sup>。

わが国の流木災害は頻発しており、流木に関する実態調査も多くなされている<sup>3)~6)</sup>。しかし、これらの流木の調査においては流出率や発生量、空隙率などに着目して、体積を基準とする単位で評価されているものが多いのが現状である。これは、砂防基本計画策定指針<sup>7)</sup>において、流木の捕捉を計画する際に体積を基準に定められているためと考えられるが、流木の長さや直径の分布特性などについては詳細に検討されていないのが現状である。

一方、流木捕捉施設の流木捕捉効果やメカニズムを検討する際には、流木の長さや直径などが非常に重要<sup>8)</sup>とされており、現在の土石流・流木対策設計技術指針<sup>9)</sup>で考慮されている最大流木長のみでなく、平均流木長も考慮すべきという指摘もある<sup>10)</sup>。

そこで本報は、今回広島県庄原市において発生した流木について、災害発生直後の 7 月 24 日に行った実態調査の結果を報告するものである。

## 2. 調査の概要

## 2.1 降雨および調査地域の概要

図-1 に、広島県庄原測候所における気象庁のアメダスの雨量データを示す。17 時 10 分から 40 分にかけて非常に激しい雨が降っていたことがわかる。

図-2 に、調査した地域である広島県庄原市の川北町重行地区を示す。篠堂川上流部付近（図-2 右方向）では十数箇所の表層崩壊が視認できた。これらの表層崩壊に伴い発生した土石流は、篠堂川および大津恵川を流下したようである。現地調査では、図-2 中の写真②の付近において土砂が大量に堆積しており、図-2 中の写真③の位置にあるじょうでん橋の直下流にある小橋梁に多数の流木が捕捉され、後続の流木が溢れ出て図-2 中の点線の丸印

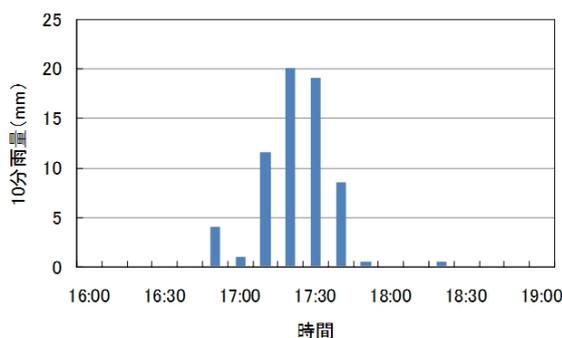


図-1 平成 22 年 7 月 16 日の雨量データ  
Fig.1 Rainfall data on July 16, 2010



図-2 調査地域

Fig.2 Investigation area

で示す地域に大量に堆積している様子が確認できた。なお、表層崩壊の起きている地点からじょうでん橋までの距離は概ね 2~4km ほどである。

写真-1 に、図-2 中の点線の丸印で示す本調査地域の全景を示す。本調査は写真に示す約 200m×100m の田畑に堆積した流木について調査を行った。

\*1 学生会員 防衛大学校理工学研究科 Graduate school of science and engineering, National Defense Academy (g47049@nda.ac.jp)

\*2 正会員 防衛大学校システム工学群建設環境工学科 Department of Civil and Environmental Engineering, School of Systems Engineering, National Defense Academy \*3 正会員 砂防鋼構造物研究会 Society for the Study of Steel Sabo Structures



写真-1 調査地域全景

Photo 1 Panoramic view of investigation area



写真-2 直径の計測要領

Photo 2 Measurement of diameter



写真-3 根部の直径の計測要領

Photo 3 Measurement of diameter of root

表-1 計測結果

Table 1 Measurement results

	長さ (m)	直径 (cm)	根部直径 (cm)
標本数	205	205	116
最大値	20.30	56	200
平均	6.1	25.1	98.0
標準偏差	3.1	8.1	34.7

## 2.3 計測要領

本調査に当たっては石川らの調査<sup>3)</sup>を参考に、写真-1に示す地域に堆積する流木のうち長さ約2m以上、直径約10cm以上の流木を対象に抽出して、長さ、直径、根部の直径の計測を行った。本調査地域には対象となる流木が全部で252本存在したが、水田の中にあつて計測がはばかれるものもあり、これらを除外して205本の流木の計測を行った。

流木の長さの測定においては、巻尺を用いてその全長を測定した。長さの計測精度は概ね5cm単位で測定を行った。

直径の測定においては、写真-2に示すようにコンベックスを直接当てて測定した。計測部分は、根の付いている流木については胸高直径を、根の付いていない折れた流木については、直径の太い方の端部から約1m付近の直径を計測した。直径の計測精度は概ね1cm単位で測定を行った。

根部の直径の測定においては、長軸と短軸を測定することが望ましいと考えられるが、流木同士の絡みあいや埋没等により測定が困難であったため、写真-3に示すよ

うに計測可能な方向でコンベックスを直接当てて測定した。根部の直径の計測精度は概ね10cm単位で測定を行った。

## 3. 計測結果および考察

### 3.1 計測結果

表-1に、計測結果の概要を示す。表において、根部の直径の標本数が116本と少ないのは、計測した205本のうち根が付いている流木が116本であり、残りの89本は折れて根が付いていなかったためである。

表-2に、計測結果を既往の調査結果と比較して示す。なお、石川らの調査結果<sup>3)</sup>は文献中のグラフから概ねの値を読み取ったものであり、土井らの調査結果<sup>4)</sup>は表からデータを抽出したものである。これより、本調査における長さや直径の最大・平均値はいずれも概ね既往の調査の範囲内に収まっていることがわかる。

計測した流木の特徴としては、以下の点が挙げられる。

- ① 根の付いている流木は、枝の付いたものは一本もなく、端部が流下途中で折れてしまっている。
- ② 根の付いていない流木は、その幹の両端が折れた状態である。
- ③ いずれの流木も、樹冠部は全く残っていなかった。また、枝や葉についても全く残っていなかった。

現地調査において地元の方に話を伺ったところ、間伐等は行われていなかったという話であるので、枝や葉は枯れ落ちたものではなく、流下途中ですべて折れてしま

表-2 計測結果の比較

Table 2 Comparison of measurement results

(a) 長さの比較

	本調査	石川らの調査結果 <sup>3)</sup>					土井らの調査結果 <sup>4)</sup>			
		①鍋倉沢本川	②鍋倉沢左支川	③西平沢右支川	④東平沢右支川	⑤東平沢左支川	①氷川支川	②屋形川	③鶴田川	④河崎川
標本数	205	32	39	16	12	24	400	1460	750	2700
最大値	20	14	12	10	12	14	20	10	7	8
平均	6	10	10	10	10	10	12	3	5	5

(b) 直径の比較

	本調査	石川らの調査結果 <sup>3)</sup>					土井らの調査結果 <sup>4)</sup>			
		①鍋倉沢本川	②鍋倉沢左支川	③西平沢右支川	④東平沢右支川	⑤東平沢左支川	①氷川支川	②屋形川	③鶴田川	④河崎川
標本数	205	32	39	16	12	24	400	1460	750	2700
最大値	56	35	52	45	50	55	40	40	50	50
平均	25	25	26	24	27	24	12	30	30	30

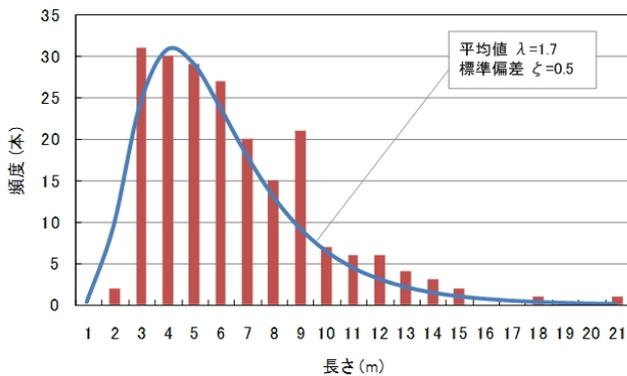


図-3 長さの頻度分布  
Fig 3 Histogram of measured lengths

ったものと考えられる。このことは、「多少なりとも流送された流木は枝条のほとんどが分離し幹だけとなっている」という、既往の報告<sup>11)</sup>と同様の結果となっている。

3.2 長さの分布特性

図-3に、流木の長さについて1m毎の頻度分布を示す。これより、崩壊斜面付近における樹高が約25m以上であったのに対し、流木長は最大でも20.30mとなっており、また大半の流木が10m以下の長さとなっていることがわかる。これは3.1節でも述べたように、流下途中で流木が折れてしまっていることが原因と考えられる。

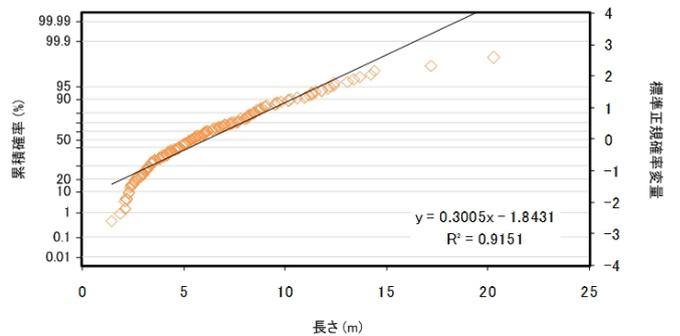
なお図-3中に示す曲線は、対数正規分布曲線でフィッティングした曲線である。図-4に、長さの計測結果を確率紙で整理したグラフを示す。なお、図-4(a)は正規確率紙で、図-4(b)は対数正規確率紙でそれぞれ整理したグラフである。これより流木の長さの分布は、正規確率紙上における近似直線の決定係数が $R^2=0.92$ となっていて、3m以下もしくは12m以上の点に対する相関性が低くなっているのに対し、対数正規確率紙上における近似直線の決定係数は $R^2=0.99$ と非常に良い直線性が現れており、対数正規分布でよりよく説明できることがわかる。また、図-3からも対数正規分布でよくその傾向を表現できていることがわかる。

ここで、対数正規分布における流木の長さの95%超過

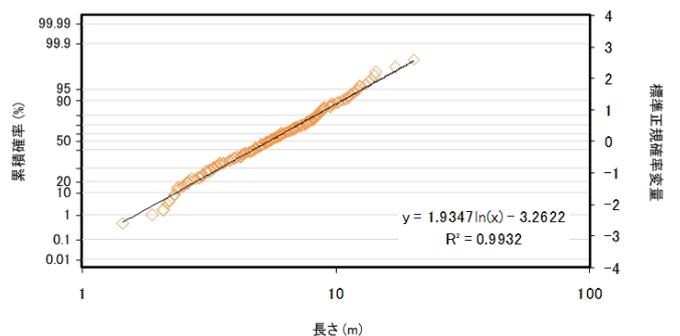
確率値（以下、95%流木長と呼ぶ）を $l_{95}$ と定義すると $l_{95}=12.1\text{m}$ となり、計測された流木の最大長 $l_{\text{max}}=20.30\text{m}$ よりもかなり短い値となっていることがわかる。さらに、表-1に挙げる平均長 $l_{\text{mean}}$ は6.1mとなっており、平均長と最大長の比は $l_{\text{mean}}/l_{\text{max}}=0.30$ 、平均長と95%流木長の比で見ても $l_{\text{mean}}/l_{95}=0.50$ となっており、流木の長さは最大長（ $l_{\text{max}}$ もしくは95%流木長 $l_{95}$ ）に比べて短いものが多く含まれ、その多くが最大長の半分以下となる傾向があることがわかる。

3.3 直径の分布特性

図-5に、流木の直径について5cm毎の頻度分布を示す。なお図-5中に示す曲線は、対数正規分布曲線でフィッティングした曲線である。直径の分布についても長さの分



(a) 正規確率紙



(b) 対数正規確率紙

図-4 確率紙による整理  
Fig 4 Plotted on probability paper

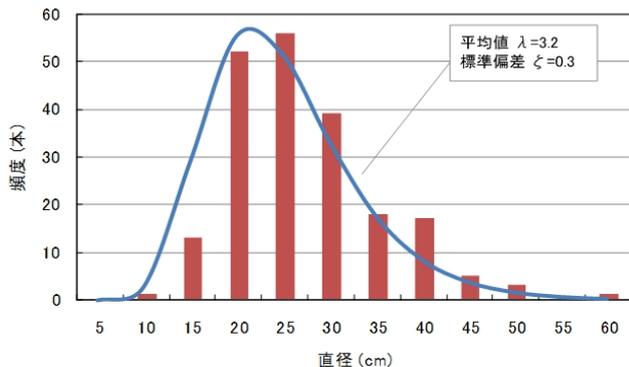


図-5 直径の頻度分布  
Fig 5 Histogram of measured diameters

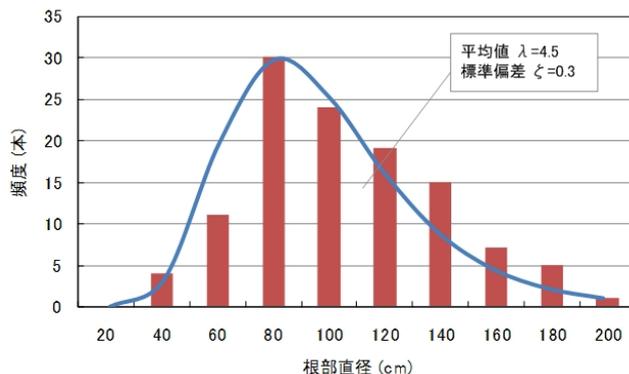


図-6 根部の直径の頻度分布  
Fig 6 Histogram of measured diameters of root

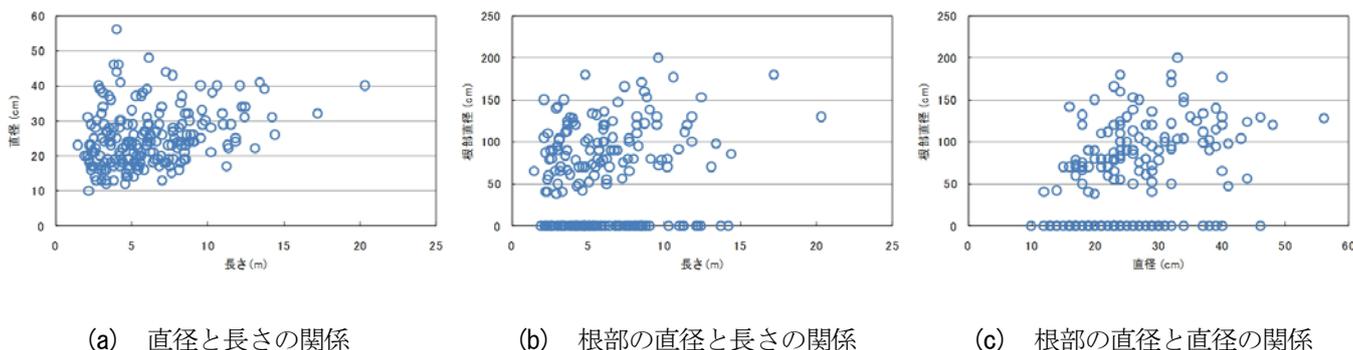


図-7 計測項目の相関性  
Fig 7 Relationships between measured properties

布と同様に、概ね対数正規分布でよくその傾向が表されていることがわかる。

ここで、対数正規分布における流木の直径の95%超過確率値（以下、95%直径と呼ぶ）を  $d_{95}$  と定義すると、計測された流木の最大直径  $d_{max}=56\text{cm}$  に対し  $d_{95}=40.2\text{cm}$  となっている。さらに、表-1 に挙げる平均直径  $d_{mean}$  は  $25.1\text{cm}$  となっており、平均直径と最大直径の比は  $d_{mean}/d_{max}=0.45$ 、平均直径と95%直径の比で見ても  $d_{mean}/d_{95}=0.63$  となっており、流木の直径も最大直径（ $d_{max}$  もしくは95%直径  $d_{95}$ ）に比べて短いものが多く含まれ、その平均値は最大直径の半分程度となる傾向があることがわかる。

以上の傾向は流木の長さによく似ているが、直径については流下に伴う折損等による減少は見受けられず、源頭部における直径の傾向がそのまま表れているものと考えられる。

### 3.4 根部の直径の分布特性

図-6 に、流木の根部の直径について20cm毎の頻度分布を示す。なお図-6中に示す曲線は、対数正規分布曲線でフィッティングした曲線である。根部の直径の分布についても同様に、概ね対数正規分布でよくその傾向が表されていることがわかる。

ここで、対数正規分布における流木の根部の直径の

95%超過確率値（以下、95%根部直径と呼ぶ）を  $d_{s,95}$  と定義すると、計測された流木の最大根部直径  $d_{s,max}=200\text{cm}$  に対し  $d_{s,95}=162.8\text{cm}$  となっている。さらに、表-1 に挙げる平均根部直径  $d_{s,mean}$  は  $98.0\text{cm}$  となっており、平均根部直径と最大根部直径の比は  $d_{s,mean}/d_{s,max}=0.49$ 、平均根部直径と95%根部直径の比で見ても  $d_{s,mean}/d_{s,95}=0.60$  となっており、やはり流木の根部直径も最大根部直径（ $d_{s,max}$  もしくは95%根部直径  $d_{s,95}$ ）に比べて短いものが多く含まれ、その平均値は最大根部直径の半分程度となる傾向があることがわかる。

以上の傾向は流木の直径とよく似ているが、根部の直径については流下に伴う折損等による減少が多く見受けられ、流木の長さと同様に流下の影響が大きく表れた分布と考えられる。

### 3.5 流木の長さや直径等の相関性

図-7に、流木の長さや直径等の関係について示す。なお、図-7(a)は直径と長さの関係を、図-7(b)は根部の直径と長さの関係を、図-7(c)は根部の直径と直径の関係をそれぞれ示している。また参考のため、折れてしまったことにより根の付いていなかった流木については、根部の直径を0としてプロットしている。

これより、長さや直径、根部の直径についてはいずれも相関性があまり見受けられないことがわかる。長さ

直径の係に相関性が見られないということは、流木が流下途中で折れる可能性は直径の大小によらず起こり得るものであるということを示していると考えられる。また、立ち木の根部の直径であれば樹齢に概ね比例すると考えられるため直径との相関性が高いと考えられるが、流木については写真-2, 3にも示すように細かな根は流下途中ですべて折れてしまっているために、直径との相関性がなくなっていると考えられる。

#### 4. 結言

本報は、豪雨・土石流とともに発生する流木の長さや直径の分布特性について現地調査の結果をもとに検討したものである。本調査の成果をまとめると以下のようになる。

- (1) 流木は、流下途中で樹冠部や枝葉が折損し、最大樹高よりも短くなる傾向がある。
- (2) 流木は、その直径によらず流下途中で幹が折損し、大半の流木は2~4km程度流下した時点ですでにその最大長さの半分以下の長さとなり、長さの分布は概ね対数正規分布に従う傾向がある。
- (3) 流木の直径の分布についても概ね対数正規分布に従う傾向があるが、流下に伴う直径の減少は見られないことから、源頭部の直径の分布特性がそのまま表れたと考えられる。
- (4) 流木の根部直径の分布についても概ね対数正規分布に従う傾向があるが、これは流下に伴い細かい根が折損することによる直径の減少の影響と考えられる。
- (5) 流下した流木の長さ、直径、根部の直径は、それぞれに相関性は見受けられない。

#### 謝 辞

本調査にあたり、広島県庄原市役所総務課危機管理係

の皆様および陸上自衛隊第13旅団に便宜を図っていただいた。ここに記して謝意を表します。

#### 参考文献

- 1) 朝日新聞：p.1, 2010.7.17
- 2) 日本経済新聞：p.39, 2010.7.17
- 3) 石川芳治, 水山高久, 鈴木浩之：崩壊・土石流に伴う流木の実態と調査法, 土木技術資料, vol.31, No.1, pp.23-29, 1989
- 4) 土井康弘, 南哲行, 山田孝, 天田高白：満砂状態の不透過型砂防ダムによる流木捕捉機構に関する実験的研究—土石流とともに流下する流木—, 砂防学会誌, Vol.52, No.6, p.49-55, 2000
- 5) 岡崎正宜, 伊藤博光, 神原孝義, 大谷健一：土石流発生溪流における流木の流出について, 平成20年度砂防学会研究発表会概要集, pp.22-23, 2008
- 6) 加藤誠章, 宮瀬将之, 池谷浩, 岡本敦：平成16年愛媛県東予東部地域の土砂・流木災害における発生流木量についての考察, 平成18年度砂防学会研究発表会概要集, pp.348-349, 2006
- 7) 国土交通省砂防部, 国土交通省国土技術政策総合研究所：砂防基本計画策定指針(土石流・流木対策編)及び同解説, 2007.11
- 8) 水山高久, 石川芳治, 矢島重美：透過型砂防ダムによる流木捕捉効果, 土木技術資料, vol.30, No.11, p.47-52, 1988
- 9) 国土交通省砂防部, 国土交通省国土技術政策総合研究所：土石流・流木対策設計技術指針及び同解説, 2007.11
- 10) 渋谷一, 香月智, 大隅久, 石川信隆, 水山高久：流木捕捉工の捕捉性能に関する実験的研究, 砂防学会誌, Vol.63, No.3 (掲載予定)
- 11) 森田和博, 山内隆弘, 水野幸雄, 山田謹吾, 中村明, 平山拓哉：岐阜県の土石流災害における流木について, 平成14年度砂防学会研究発表会概要集, pp.36-37, 2002