

溪床堆積物中におけるパイプ流発生条件及び関連する水文事象

○佐藤博文（愛知県，前三重大学生物資源学部） 山田孝（三重大学大学院生物資源学研究科）

【1. はじめに】

2008年9月に三重県いなべ市の藤原岳西之貝戸川で発生した土石流（以下，2008年土石流）観測成果（山田ら，2009）では，溪床堆積物横断面（堰堤施工のための掘削断面）での伏流水の流量と濁りの増加⇒伏流水噴出し孔（以下，パイプ孔）の閉塞⇒伏流水の複数個所からの噴出しの後に土石流の発生が観測された。これらの一連の水文現象が溪床堆積物再移動型土石流の発生プロセスであると想定される。豪雨時の伏流水には堆積物マトリックス部を流れる伏流水成分に加えてパイプ流による伏流水成分が追加され，伏流水の噴出し現象は，主に「パイプ流」によるものと考えられる。パイプ流の発生とその後の関連水文現象をリアルタイムで観測・監視することは土石流の発生予測を行う上で重要と考える。本研究では，昨年度の観測（花田ら，2011）を継続し，パイプ流の発生・非発生降雨条件，パイプ流と伏流水の流量・濁り，水温変化との関係を明らかにすることを目的とする。

【2. 研究方法】

研究対象地は藤原岳西之貝戸川第6号堰堤直上下流部であり，堰堤上流域の流域面積は0.75K m²・平均勾配は24.3°，地質は中古生層の石灰岩である。堰堤の水通し天端と堰堤から150m上流部に画像データ記録装置（brinno社 Garden WatchCam）を設置し，床固工施工のために掘削された溪床堆積物横断面での複数のパイプ孔から排出される伏流水（パイプ流）の発生時刻とその継続時間を観測した。また第6号堰堤最下段の2つの水抜孔に超音波水位計（Banner社 U-GAGE QT50U）を設置し，水位の変化を観測した。さらに水抜孔からの流出水を120lバケツで受け水温の自動計測を行った。流出水の濁りについては堰堤直下に画像データ記録装置（KADEC-EYE II）を設置し，その画像から濁り始め時刻とその継続時間を判読した。パイプ流イベントは2011/5/29（最大10分間雨量7mm，発生時土壤雨量指数116.7mm，以下，イベントI），2011/7/19（7mm，126.7mm，以下，イベントII），2011/9/4（10mm，120.8mm，以下，イベントIII）と過去の3事例の6事例（表-1）を使用する。パイプ流発生時の土壤雨量指数と10分間降雨の関係からパイプ流発生・非発生降雨条件を整理した。また，超音波水位計データから算出した流量データと画像判読により算出した流量データ（2011年観測以前のデータ）を用いて，堰堤水抜孔からの排水流量と画像データ記録装置により確認されたパイプ流発生時刻とその継続時間との関係を考察した。これらの流量データは，水位データを用いてマンギング式から算出した。さらに，堰堤水抜孔からの排水の濁りとパイプ流との発生時間差と濁りの継続時間を5事例から算出した。土石流発生時の水温変動の観測事例はないが，パイプ流発生時の急激な地下水温上昇が，著者らによって2010年に観測されており，今年度は堰堤水抜孔からの排水の水温変動を観測し，パイプ流発生時刻，流量変化との関係を考察した。

【3. 結果と考察】

3.1 パイプ流発生・非発生条件（図-1）

土壤雨量指数と10分間雨量の関係を図-1に示す。パイプ流発生降雨条件は概ね，土壤雨量指数110mm以上かつ10分間雨量7mm以上とみなすことができる。西之貝戸川での土石流発生限界降雨量は土壤雨量指数110mm以上かつ10分間雨量17mm以上（藤原岳周辺流域土石流発生基準雨量等検討委員会，1995）であり，土石流の発生のためにはパイプ流発生に必要な10分間雨量の2倍強の降雨強度が必要

表-1 パイプ流イベントデータ

	2009/10/8	2010/8/9	2010/8/12	2011/5/29	2011/7/19	2011/9/4
最大10分間雨量(mm)	7	7	7	7	7	10
累積雨量(mm)	114	97	67	138	151	142
パイプ流発生時 土壤雨量指数(mm)	111.8	122.5	124.6	116.7	126.1	120.8
パイプ流発生時刻	6:30	8:00	9:50	14:30	17:50	5:50
堰堤水抜孔排水での 濁り発生時刻	6:10	7:50	9:50	14:30	欠測	5:30
水抜孔排水濁り発生時刻と パイプ流発生時間差(分)	20分	10分	0分	0分	不明	20分

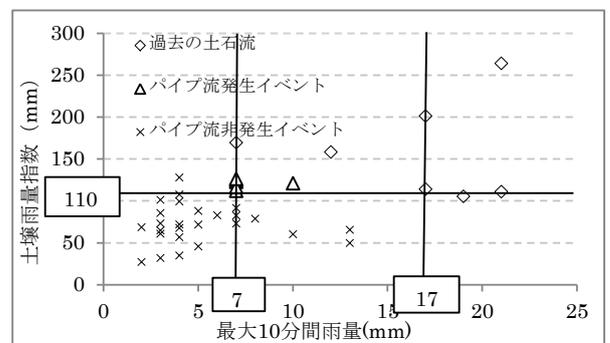


図-1 パイプ流発生降雨と土石流発生限界基準雨量

である。パイプ流発生後にそのような高強度の降雨を経験することにより、上述のパイプ孔の閉塞による急激な間隙水圧の上昇、溪床堆積物の不安定化と移動(土石流発生)が発生すると考えられる。

3.2 堰堤水抜孔からの排水の濁り

水抜孔からの排水の濁りとパイプ流発生時刻を比較すると、両者がほぼ同時刻に観測できたのが2事例、水抜孔からの排水が濁りはじめてから20分以内にパイプ流が発生したのが3事例観測できた。また、パイプ流の継続時間と濁りの継続時間は概ね一致した。このことから濁りの発生は、パイプ流発生時にパイプ内の石礫間に存在する細粒土砂の侵食のみならずパイプ壁から供給される伏流水に含まれる細粒土砂によると考えられる。

3.3 流量増加(図-2)

イベントⅢでは、パイプ流発生とともに堰堤水抜孔からの排水の流量は急激に増加した。パイプ流の流量ピーク(画像判読)の10分後には水抜孔での流量ピークを観測しており、画像撮影間隔が10分であることも考慮すると水抜孔からの排水とパイプ流の流量ピークは近似しているとみなせる。

3.4 水温上昇(図-2)

パイプ流非発生降雨では、降雨発生前の水温と比べて $-0.6\sim 0.6^{\circ}\text{C}$ の水温変動が観測された。パイプ流発生降雨では降雨発生前の水温と比べて $3\sim 4^{\circ}\text{C}$ の水温上昇が観測された。また流量が増加するにつれて水温が上昇する傾向が認められた。パイプ流が観測されなくなった以降も降雨が継続すれば、水温が高い状態が継続し、降雨量が減少していくにつれて降雨発生前の水温に近づくことが確認された。

以上のことから流量の変化情報はパイプ流の発生時刻とその継続時間、規模の推定、濁りの変化情報はパイプ流の発生時刻とその継続時間の推定、水温の変化情報はパイプ流の発生時刻を推定する上で重要であると考えられる。

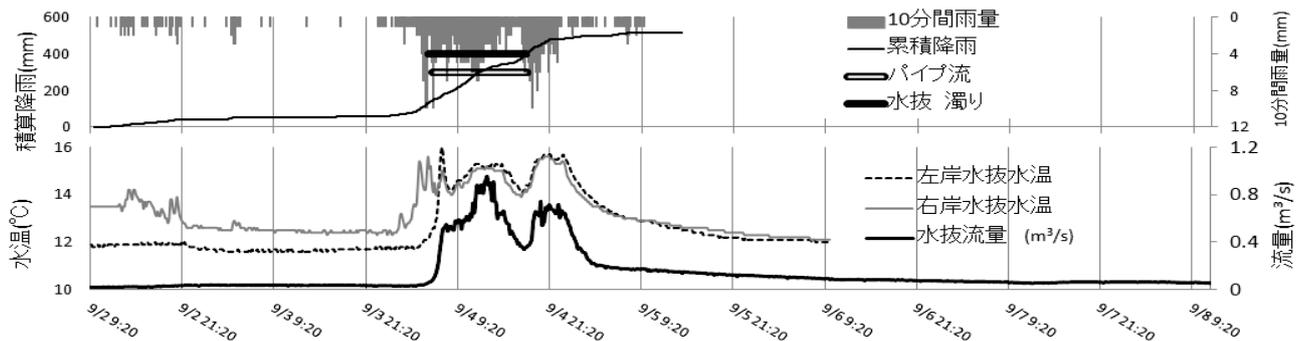


図-2 パイプ流発生時の堰堤水抜孔排水流量増加と排水水温の上昇

【4. 結論】

- (1) 調査地では、10分間雨量7mm以上かつ土壌雨量指数110mm以上でパイプ流は発生している。
- (2) 3事例がパイプ流発生前の20分以内に堰堤水抜孔排水に濁りが生じ、2事例がパイプ流発生と同時に堰堤水抜孔からの排水に濁りが生じた。パイプ流発生と堰堤水抜孔からの排水の濁りの発生時刻、継続時間は近似している。
- (3) パイプ流発生とともに堰堤水抜孔からの排水の流量は急激に増加する。
- (4) パイプ流発生降雨では堰堤水抜孔からの排水の水温が非発生降雨に比べて大きく上昇する。
- (5) 西之貝戸川の今回の観測地では、堰堤水抜孔からの排水の流量変化情報はパイプ流の発生時刻とその継続時間、規模の推定、濁りの変化情報は、パイプ流の発生時刻とその継続時間の推定、水温の変化情報は、パイプ流の発生時刻の推定のために重要であると考えられる。

参考文献

- 山田孝, 森健司, 沼本晋也, 林拙郎(2009): 砂防えん堤施工時の溪床堆積横断面を活用した土石流発生直前までの伏流水流出変化, 表面流発生プロセスの観測 - 三重県いなべ市藤原岳西之貝戸川での事例 -, 砂防学会誌, Vol.62, No.3, p.30-38
- 花田浩一, 堀内望, 山田孝(2010): 溪床堆積物中におけるパイプ流の発生・非発生条件及び流出特性, 平成23年度砂防学会研究発表会概要集, p.402-403