

(独) 土木研究所 栗原淳一, 桜井 亘, 鈴木隆司  
株式会社 建設技術研究所 ○ 長井 斎, 松原智生, 西口幸希

1. はじめに

平成 18 年 9 月 16 日に佐賀県唐津市田頭川で発生した土石流は、偶然にも地元の住民がビデオカメラで撮影していた。その映像には、多量の流木が土石流の先端部に集中している様子や、その先端部が橋梁部を通過する際に瞬間的に閉塞するものの、瞬時に主桁が原形を留めたまま流されてしまう状況が撮影されていた。土石流に伴う流木が橋梁部等で閉塞を起し、氾濫や主桁の流失の原因になることは定性的には以前から指摘されていたが、実際に主桁が流失する瞬間の映像が記録された事例はほとんどない。ここでは、この映像を基にして、流木の閉塞が原因で主桁に作用した力を逆算し、その影響の評価を試みた。なお、映像は現地に在住する百武常光氏および NHK 佐賀放送局のご好意により、研究用として土木研究所に提供して頂いたものである。

2. 土石流の発生と被害状況

平成 18 年 9 月 16 日の佐賀県地方は、台風 13 号の北上に伴って局地的な集中豪雨(最大時間雨量 92 mm/hr:午前 8 時頃, 図-1 参照)が発生し、各地で土砂災害が発生した。唐津市田頭川(氾濫開始点上流の流域面積 1.20 km<sup>2</sup>)では、午前 10:50 頃に土石流が発生し、多量の流木と共に土砂が下流域に氾濫した。映像によれば、土石流が発生した時刻には雨は小降りになっていたようである。

流域状況を図-2 に示す。流域の流末は、県の施工による溪流保全工が整備されており、土石流はこの流路に沿って流れた。この土石流による人的被害はなかったものの、溪流保全工に架かっていた橋梁 7 基が流失した。このうち上流から数えて 6 基目の橋梁(以下、「橋梁 6」とする)が土石流によって流失する瞬間を住民が撮影に成功している。橋梁が流される瞬間の主な映像を写真-1~3 に示す。この写真から分かるように、土石流の先端部に多量の流木が集中した状態で橋梁部に到達している。橋梁部に達した瞬間、流木が障害となって一時的に閉塞したように見えるが、数秒後には主桁が一気に流失している。映像(動画)で見ると、橋梁がほとんど抵抗するような状態はなく、一瞬で流された印象を受ける。橋梁 6 の諸元は、幅員 6 m, 橋長 17 m, 主桁厚 75 cm で、車両が充分に通行できる規格である。土石流の規模は溪流保全工の諸元と土石流の発生直前の映像から、流速が約 9 m/s、流量は約 50 m<sup>3</sup>/s と推定された。

なお、現地の立木は胸高直径が 30 cm を上回るスギ人工林で、他の災害現場に比べて手入れの行届いた山林ではあったが、実際には斜面崩壊によって多量に流木となって流出しており、このような短時間に強度の大きな降雨が集中する災害では一般に言われている森林の防災効果は期待できず、むしろ被害を助長する結果になっている。

3. 流木閉塞による土石流流体力の増分を仮定した場合の試算

(1) 検討方法

主桁の流失が滑動によると仮定し、荷重は水平に作用するものとして次の 2 つの状態について安定性を照査した(図-3)。

- ◆ 試算1: 土石流の流体力のみが作用した場合の滑動に関する安全率  $F_s$  の試算
- ◆ 試算2: 主桁が流失する限界条件として滑動の安全率  $F_s$  を 1.0 と仮定し、この状態を満たす水平力を逆算した結果から土石流の単位体積重量を試算

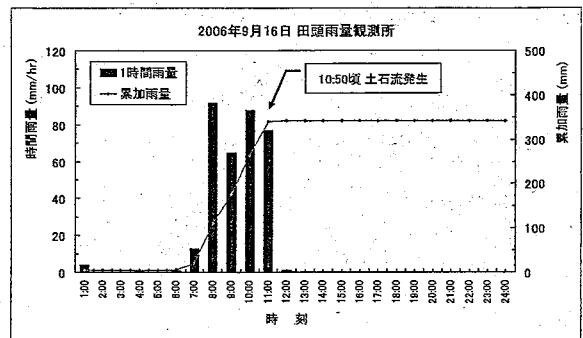


図-1 田頭雨量観測所(県所管)の降雨状況

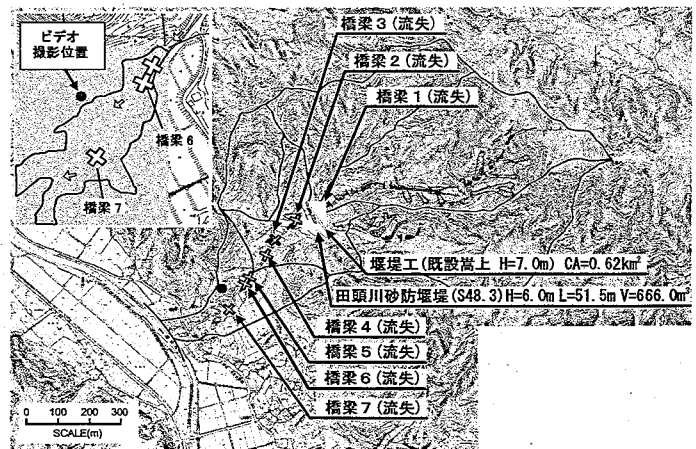


図-2 田頭川の流域状況図

これらにより主桁の流失に影響する荷重の割増し分を推測した。

## (2) 算定式

土石流流体力の算出には以下の式を用いた(砂防基本計画策定指針(土石流・流木対策編より))。

$$F = Kh \cdot (\gamma d / g) \cdot Dd \cdot U^2$$

ここに、F: 単位幅当りの土石流流体力(kN/m), U: 土石流の流速(m/s), Dd: 土石流の水深(m), g: 重力加速度(9.8 m/s<sup>2</sup>), Kh: 係数(1.0とする),  $\gamma d$ : 土石流の単位体積重量(kN/m<sup>3</sup>)である。

なお、試算のための数値として、主桁の自重:1,591 kN, 橋梁の摩擦係数:0.6, コンクリートのせん断強度:490 kN/m<sup>2</sup>, 河床勾配:1/10, 河床幅:7.2 m, 土石流流速:9.9 m/s, 粗度係数:0.03, 土石流水深:1.38 m, 土石流流量:50 m<sup>3</sup>/s, 土石流の単位体積重量:15.9 kN/m<sup>3</sup>, 土石流の濃度:0.3, 水の密度:11.76 kN/m<sup>3</sup>とした。

## (3) 計算結果

計算結果を表-1 に示す。この表から、通常の土石流の2倍以上の単位体積重量がないと主桁は滑動しないことになる。

表-1 主桁の安定解析の試算結果

	安全率 F <sub>s</sub>	土石流流体力 (kN/m)	土石流の単位体積 重量 (kN/m <sup>3</sup> )
試算1	3.6	220.0	15.9
試算2	(1.0)	466.4	33.6 (逆算)

## (4) 考察

前項の計算結果から、土石流流体力だけでは主桁は滑動・流失せず、滑動・流失するためには通常の土石流の2倍以上の単位体積重量である必要があるという結果になった(ここでいう単位体積重量は見かけのものである)。先端部に多量の流木が存在していたので、流木の自重分が加わり単位体積重量が大きくなっていくと推定されるが、このほかに図-4 に示すような上向きの力が加わって転倒モーメントが働き、橋梁の破壊につながったことも考えられる。すなわち、流木により橋梁部の上流側で閉塞が生じ、主桁より低い位置に土石流が流れ込んでくると集積した流木が持ち上げられるようになって上向きの力がかかるという推定である(図-4)。実際、被災直後の現場を見ると、主桁部だけがきれいに流され、その下流側の橋台等のコンクリート部はほとんど損傷していなかった。水平力だけで主桁が流されたのであれば、その直下流の護岸部にも破損が生じるはずである。また、撮影された映像でも主桁の左岸側が大きく持ち上げられ、はみ出した状況が映っている。このようなことから、橋梁が流失したのは、土石流・流木による荷重だけではなく、流木の閉塞が影響して主桁に対し上向きの力が加わり、これに対する抵抗が弱かったためと考えられる。

## 4. まとめと今後の課題

橋梁が流失する瞬間の映像を解析した結果、① 流木を伴わない土石流流量から推算される土石流流体力では主桁は滑動しなかったこと、② 土石流流体力のみで主桁を滑動させるには実際の2倍以上の力を考えなければならないこと、③ 土石流の流下面上に浮上している流木が多量にあったことで、主桁を破壊する水平方向以外の外力が発生した可能性のあることが明らかになった。

今後の課題として、主桁の架設位置を計画する場合、現行基準では通常の余裕高にクリアランスを加える基準になっているが、多量の流木が流下するおそれがある場合には、現行基準で橋梁の安全性が確保されるのか再検討の余地がある。

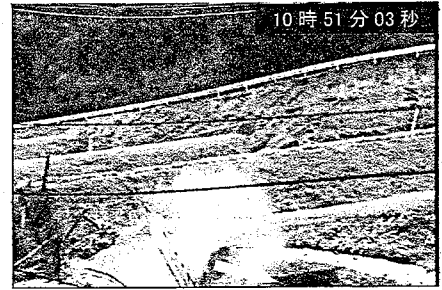


写真-1 橋梁6が破壊される

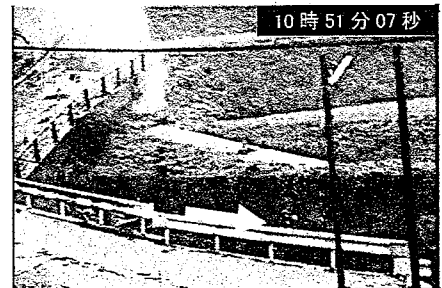


写真-2 橋梁が護岸に乗り上げる

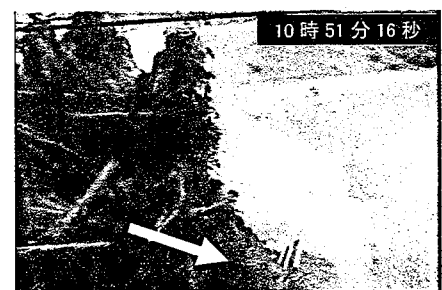


写真-3 多量の流木が流下する。

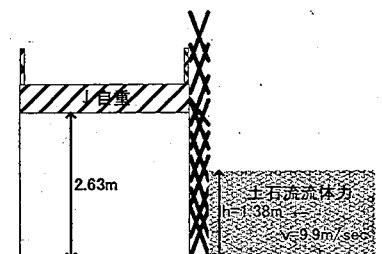


図-3 流木閉塞の見取り図

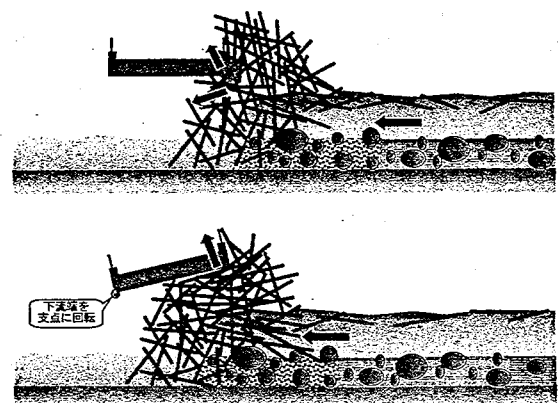


図-4 橋梁に作用する荷重(模式図)