

建設省土木研究所 ○鈴木 浩之
 矢澤 昭夫
 水山 高久

はじめに

本研究は、山岳道路が土石流発生時に受ける被害の形態と、その発生過程およびカルバート、洗越による対応の可能性と留意点について実際に土石流の発生した箇所の模型を用いて検討したものである。

1、研究対象事例

山岳道路の例として、昭和57年長崎豪雨災害で被害を受けた、長崎県芒塚町を流れる4の沢を取り上げた。模型の縮尺は1/55で、4の沢を横切る国道34号線の上流130m、下流260mの延長390mの区間とした。模型では、モデル地の上部部の土石流の発生した渓流は平均勾配15.8度、幅8m~10mのほぼ直線に近い形をしていることから、二次元水路とした。扇状地部は、最大幅270m、平均勾配1/7(約8度)である。河床はモルタル製の固定床とし、道路盛土部分のみを土石流と同一の材料で製作した。

2、実験条件

流量は、近接する1の沢の土石流発生時刻の10分間雨量(mm)から合理式で計算した $Qp=8.1m^3/S$ を基に、土石流のフロント部が清水流量の数倍になることを考慮して、清水の3,6,9倍の流量に近い1,2,3 l/Sとした。土砂量は、長崎災害の報告書より、土石流の土砂量を $2,047m^3$ (模型で約14%)、崩壊した盛土の土砂量を $9,930m^3$ (模型で60%)とした。実験に用いた土砂の粒度分布は、現地調査結果から、平均粒径 $d_m=0.5m$ 、最大粒径 $d_{max}=1.5m$ として調合した。

3、盛土+カルバートに関する実験結果と考察

3、1 発生させた土石流の諸元

発生させた土石流の波高と流速を図-1に示す。発生した土石流の流速と波高は、給水量の増加につれて直線的に大きくなる。図-2は、土石流の波高と流速から計算した土石流のピーク流量と給水量の関係を示したものである。図から、発生した土石流は給水量のほぼ3倍になっていることが分かる。

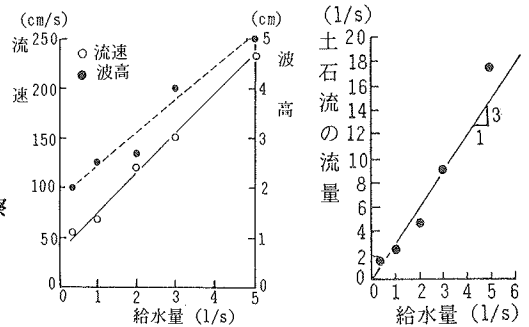


図-1 給水量と流速、波高の関係 図-2 土石流の流量

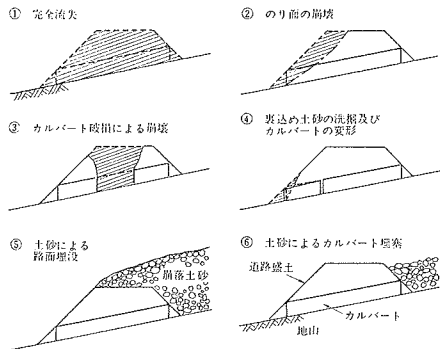


図-3 盛土の被害形態の分類

3、2 被害形態と災害の発生過程の分類

(1) 盛土の被害形態

昭和58年の島根豪雨災害調査によると盛土の被害形態は、図-3のように6つのタイプ

に分類されている。¹⁾ 今回の実験ではこのうち、カルバートを一体として製作したことから、③と④の被害形態を除く4つの被害形態が観察された。

(2) 災害の発生過程

図-3は災害後に盛土の状態を観察して分類したもので、出水中の被害の発生過程を表したものではない。そこで、災害の発生過程を実験より表-1のように6つに分類した。ただし、分類(a)は実験では生じなかった。災害の発生過程と被害形態の実験結果は表-2のようになった。実験ではほとんどの災害発生過程が(c)となっており、実験終了後の被害形態はほとんどのケースが盛土の完全流失であった。災害の発生過程が(c)になるのは、谷の出口での流路幅の変化、勾配の変化の影響で土石流の流速が急激に減少して土砂と水とが分離し、水のみが先に盛土に達して湛水し、この湛水が盛土の上流側の土砂体積を促進させるために土砂が盛土を乗り越える以前に水のみが乗り越え、下流法を洗掘するためである。

被害形態が完全流失となるのは、盛土に使用した土砂の粒径が粗く、粘着性に乏しく崩れ易いために僅かな量の越流水でも盛土法面が洗掘され崩壊することと実験では雨から計算された流量の3倍及び6倍の多量の水を与えたこと及び、河床をモルタルで製作してあることから、盛土と河床の境界で滑りが生じ易かったことが考えられる。

被害形態が完全流失となるのは、盛土に使用した土砂の粒径が粗く、粘着性に乏しく崩れ易いために僅かな量の越流水でも盛土法面が洗掘され崩壊することと実験では雨から計算された流量の3倍及び6倍の多量の水を与えたこと及び、河床をモルタルで製作してあることから、盛土と河床の境界で滑りが生じ易かったことが考えられる。

3.3 盛土の代表的な被害発生過程

災害の発生過程は、土砂が盛土を乗り越える以前に流水のみが盛土を乗り越え、下流法を洗掘する場合が多い。代表例を図-4に示し、被害の発生状況を説明する。図-4は、給水量 $1\frac{1}{3}$ l/s、高さ3cm、幅2cmのカルバート、盛土は実際の災害時と同じ位置にある場合である。土石流は水路の出口を通過すると、河床勾配の減少・河幅の増加等の影響によりその流速と波高を減ずる。また、土石流がかなり濃度の低い流れとなり、土石流(土砂)が盛土に達する以前に盛土の上流側に湛水を生じる。この湛水の影響により、砂防ダム上流のような堆砂形状となる。(図-4(a)6~9秒)このとき、カルバートに水は流れ

表-1 被害の発生過程の分類

番号	被害の発生過程
(a)	土石流の流体力が直接盛土を破壊する
(b)	土石流により流下した土砂が盛土を乗り越え、盛土の下流法面を洗掘する
(c)	土石流により流下した土砂は、直接盛土まで達するが、盛土がアースダムのようになり、上流面が湛水して流水のみが盛土を乗り越え、盛土の下流法面を洗掘して破壊する
(d)	盛土がアースダムのようになり、盛土の上流面に堆積した土砂及び水の埋砂(水圧により盛土全体が滑動又は崩壊する
(e)	盛土の浸透能よりも土石流の流量が少ないために、流水の越流は発生しないが、浸透水により盛土下流より崩壊する
(f)	盛土およびカルバートの破壊は発生していないが、土砂によって埋没する

表-2 実験結果一覧表

No	流量	模型条件	道路の位置	0m ⁻¹ 形状	過程	形態
1	1.0	盛土+50m ⁻¹	災害前地形	43cm, b2cm	Ⅲ	①
2	3.0	"	"	"	Ⅲ	①
3	5.0	"	"	"	Ⅱ	①
4	0.56	"	"	"	V	※1
5	1.0	"	上流へ25m	"	Ⅲ	①
6	2.0	"	"	"	Ⅲ	①
7	1.0	"	上流へ50m	"	Ⅲ	①
8	2.0	"	"	"	Ⅲ	①
13	2.0	盛土+25m ⁻¹	被災前位置	44.5, b3cm	Ⅲ	①
14	2.0	"	"	46, b4cm	Ⅲ	①
15	2.0	"	"	49, b4.5cm	※2	-

※1: パイピングによって流量が増加した。

※2: カルバートの浸透能力が大きく、盛土に被害が発生しなかった。

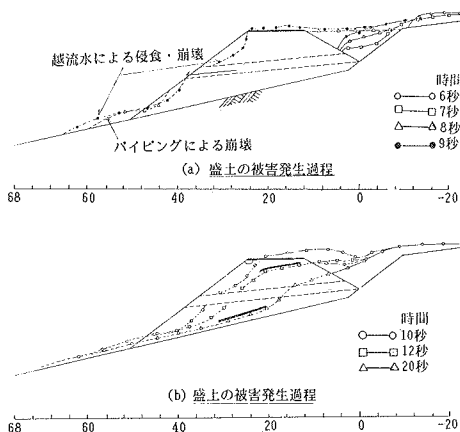


図-4 盛土の被害発生過程

ている。流水の越流は10秒頃から発生し、盛土の下流法を侵食する。また、図-4の例では盛土の透水性がよいため、浸透水が湧出する法先付近からも崩壊が発生する。この法先の崩壊は、越流水による下流法の洗掘が発生する1~2秒前に発生しているが、越流水による洗掘が顕著になると区別が出来なくなる。次に、盛土が完全に破壊されるまで(10秒~20秒)の状況であるが、まず10秒では、路面の一部欠損が生じるものの、まだ盛土は土石流発生以前の高さを維持している。その後、12秒頃になると、盛土自体が高さを減じ、路面の下を水が流れる。その後、更に洗掘が進み路面も崩れ落ち、盛土の洗掘につれて徐々に下流に押し流される。カルバートは約20秒頃までは元の位置に有るが、カルバートの下の土砂が半分程度洗掘されると河床に沿って徐々に下流に押し流される。その後、約25秒頃までに盛土は完全に流失してしまう。

3.4 カルバートの疎通能力の検討

盛土が十分に強く、上流面を不透水性の材料で被覆した場合、流下してくる土石流に対し、その疎通能力が十分で有れば、盛土が破壊されることはないと考えられる。そこで、実験に用いたカルバートにどの程度の疎通能力があるかを、越流の発生しなかった例について試算した。カルバートの流れは、6つのタイプに分類され、本実験はタイプ3(オリフィスと同様のカルバート)に分類される。そこで、流量はオリフィスの計算に従って算出する。

本実験に用いたカルバートは長方形断面を有しており、長方形大オリフィスとして考える。但し、盛土の上流面は湛水しており、流入する水の接近流速の影響は無視するものとする。カルバートの通過量は、 $Q = 2/3 \cdot C \cdot b \cdot \sqrt{2g} [H^{3/2} - (H-d)^{3/2}] \dots\dots\dots(1)$ となる。ここに、 Q :カルバートを通過する流量、 C :係数、 b :カルバートの幅、 g :重力の加速度、 H :カルバート上流面の水深、 d :カルバートの高さである。なお、係数 C の値は、通常0.45~0.75の範囲にある。ここで、(1)式は鉛直オリフィスの場合の流量の式であり、本実験のように、カルバート(オリフィス)の上流面が鉛直より θ 度で傾斜している場合は流量を補正する必要があり、 $Q_0 = Q \cdot \sec \theta \dots(5)$ で表される。ここに、 Q_0 : θ 度で傾斜したオリフィスの流量、 Q :傾斜したオリフィスと H_1, H_2 が等しい鉛直オリフィスの流量、 θ :オリフィスの傾斜角度である。長方形標準オリフィスの係数 C の標準値は、ほぼ0.63であり、この値を用いて(2)式によってカルバートの疎通能力を計算した結果を図-5に示す。

実験で越流が発生しなかった場合の実測値

(図中○印)と計算値はほぼ等しくなっていることから(5)式でオリフィスの流量が計算できることが分かる。また、図-5中のカルバートの高さ $d=6\text{cm}$ 、幅 $b=4\text{cm}$ のものでは、盛土の上流側の水位が盛土高さと同じまで達したとすれば、計算上は、給水量(21/sec)よりも疎通能力(2.21/sec)が大きくなる。しかし、実際には越流が発生

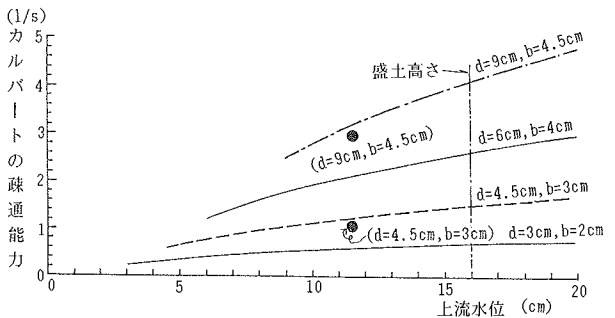


図-5 上流水位とカルバートの疎通能力の関係

して盛土が破壊された。これは、カルバートの入口付近に土砂の堆積が生じカルバートを通過する流量が減少したためと考えられる。このように、カルバートの上流に土砂堆積が発生した場合はカルバ

ートへの流入量が減少し、越流が発生する可能性がある。

4、洗越の状況

土石流が発生する危険性のある溪流を道路が横断する方法として、ここまで述べてきたような盛土+カルバートの他に、橋梁、洗越土石流覆工がある。ここでは、洗越で溪流を横断する道路について、同じ模型を用いて検討した。洗越は、土石流の流下部（水路出口付近）、流下域から堆積域への遷移域、堆積域にそれぞれ設置した。洗越の高さは河床より5.5cm（実物で約3m）とし、ベントナイトと細砂を混合したものをを用いて製作した。

水路の出口付近に洗越を設置した場合、土石流によって運搬された土砂が堆積し、一旦は、洗越は埋没するが道路面上の土砂は、後続流により洗い流される。洗越は土石流によって破壊されることはなく、土石流通過後も道路としての機能は十分有している。洗越を災害発生時に道路のあった位置に設置した場合と土石流堆積域に設置した場合では、流水が先行して洗越に達し、土砂の到達時間が下流ほど遅れるものの、洗越が一旦土砂で埋まり、後続流で洗い出されるという状況は上流に設置した場合と同様である。このように、洗越はその強度が十分ならば、土石流によっても破壊されることなく、簡単な土砂除去作業で道路としての機能は維持されるものと期待できる。ただし、今回の実験では河床をモルタルで製作しており、洗越下流の洗掘は考慮されていない。実際には、越流水により洗越の下流がかなり洗掘されることが考えられ対応を考える必要がある。

5、結論

以上の実験結果から、土石流が発生・流下する危険性のある溪流を山岳道路が横断する場合、カルバートでは、① 大断面のカルバートを採用する。② 下流法面を保護し、越水しても洗掘されないようにする。③ 盛土への浸透を抑え、パイピングによる法先の破壊を防ぐ。ことが留意点となる。

さらに、大礫、流木によるカルバートの閉塞を防ぐための簡易なダムやフェンスを上流に設けることは、越水が発生させず、一度堆積した土石流を後続流で洗い流させるために有効と考えられる。

また、溪床と道路面の比高が小さい場合、特に山岳地域の小規模な道路では、洗越が積極的に採用されてよいように思われる。

参考文献

- 1)：村上順雄、寺田章次、佐々木康、松尾 修；昭和58年7月豪雨（島根）によるカルバート被害の調査，土木技術資料 VOL.28 No.6（1986），pp20-25
- 2)：瀬尾克美、水山高久、万膳英彦；昭和57年7月長崎豪雨による土砂災害調査報告書 §1, §2, 土木研究所資料第2107号 1984.3
- 3)：上原信司、水山高久；土石流動態観測に基づく土石流ピーク流量の検討，新砂防 Vol.37, No.3（1984.9）pp.23-24
- 4)：VEN TE CHOW; OPEN-CHANNEL HYDRAULICS, McGRAW-HILL KOGAKUSHA, LTD., (1959), pp492-498