

4. 河道閉塞による湛水部の緊急排水技術の開発

株式会社大林組

株式会社ダムドレ

○ 西村 俊亮

柴田 昌輝

佐藤 忖

1. はじめに

豪雨や地震によって、山間部で斜面崩壊や地すべりが発生すると、流出した土砂が河道を閉塞し、背面に湛水部が形成されることがある。近年では、平成 23 年 9 月に四国・中国地方に上陸した台風 12 号による集中豪雨で、和歌山県および奈良県で大規模な河道閉塞が 5 ヵ所で形成された事例が報告されている¹⁾。河道閉塞が決壊すれば、短時間に大量の土石流が下流域に流れ込み、甚大な二次災害を引き起こす可能性がある。二次災害を未然に防ぐためにも迅速な排水作業が求められる。

現在河道閉塞による湛水部の緊急排水には、排水ポンプ車や大型の電動ポンプなどが用いられている。しかし、災害直後は土砂災害によって周辺道路が寸断され、現地への車両や重機の搬入が困難な場合もあり、①排水作業を開始するまでに多大な時間を要する、②継続的な排水には大量の燃料供給が必要となる、③夜間には燃料が不足し十分な排水作業ができない、といった問題がある。

そこで、ヘリコプターによって排水装置を現地に輸送することを想定し、人力のみで迅速に排水装置を設置でき、災害直後から緊急排水を開始できる技術(以下、ポータブルサイフォン排水)を開発した(図-1)。

2. 技術の概要

ポータブルサイフォン排水は、サイフォンの原理を利用することで、燃料を不要とし、昼夜連続排水が可能である。サイフォンの原理とは、排水管内を水で満たした状態にすると、水中ポンプを介さずとも、水位の高い方から低い方へ、出発地点の水位より標高が高い所を通過して水が移動するという原理である。

排水装置は、以下の部材で構成される(図-2)。

- ・ポータブル排水管：人力で運搬可能な排水管で、現場で必要な本数を接続して使用する。
- ・軽量バルブ：吸い込み口と吐き出し口に設置し、排水の起動・停止の役割を担う。
- ・バルブユニット：サイフォンの開始に必要な水を管内に注水するための「注水バルブ」、管内の空気を抜くための「エア抜きバルブ」、管内が水で

満たされたことを検知するための「満水検知装置」で構成される。標高が最も高い位置に設置する。

軽量バルブおよびバルブユニットは、制御盤によってコントロールされており、排水装置設置後に制御盤の自動運転を ON にすれば、図-3 に示すフローに従って、サイフォン排水が開始される。また、排水中に湛水部の水位が目標まで下がると、水位計がこれを検知して、制御盤により軽量バルブが閉じられ、排水が停止される。この時管内は満水状態で保持されるため、降雨等で再び水面が上昇した際、注水なしで排水が再開される。

制御盤には、排水が正常であることを携帯電話に通知する機能を付与し、遠隔監視を可能にした。

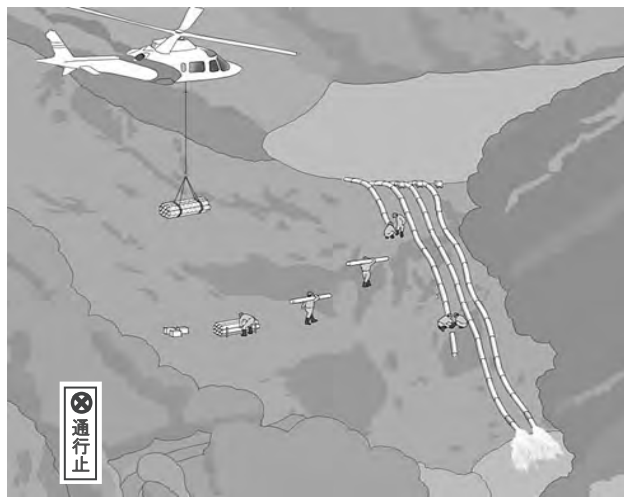


図-1 ポータブルサイフォン排水の適用イメージ

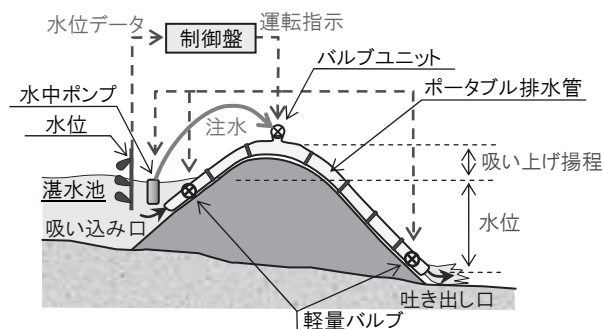


図-2 排水装置の構造

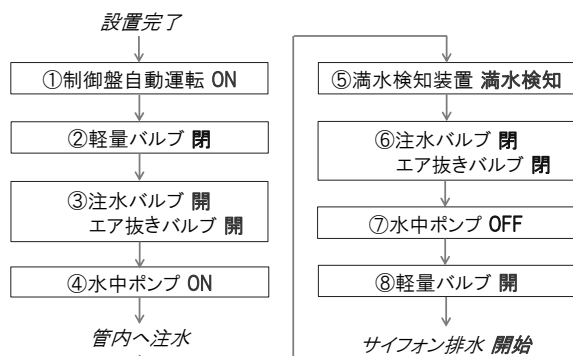


図-3 自動運転フロー

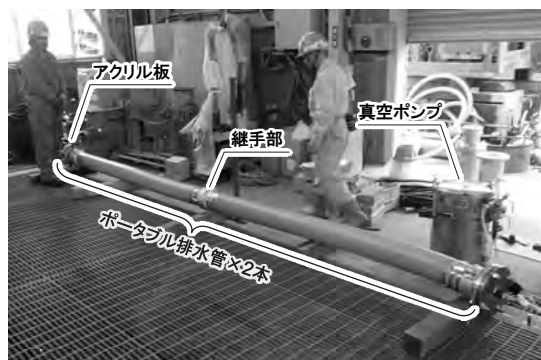


写真-2 ポータブル排水管の気密性確認 実験状況

3. 開発における検討事項

3.1 部材の選定

排水装置の各々の部材について、人力で運搬でき、簡単・迅速に組み立てられ、十分な排水能力を確保できるものを選定した。

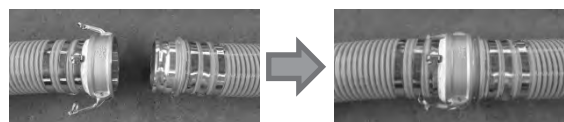
(1) ポータブル排水管

ポータブル排水管には、サクシオンホースを採用した(写真-1)。サクシオンホースは、軽量で可搬性に優れる上に、柔軟性があり、設置現場の凹凸にも対応できる。サクシオンホースの継手にはカムロックを採用し、ワンタッチで接続可能とした。管径は、次項に示す軽量バルブに合わせて内径φ150mmとし、1本の長さは可搬性を考慮して2.5mとした。重量は、カムロックを含めて約15kgである。

継手部の気密性は、サイフンの原理の成立性に大きく関わる。そこで、サクシオンホースと継手の取付け部および継手の連結部が、所定の気密性を有していることを検証するために、実験を実施した。

写真-2 に示すように、ポータブル排水管を2本連結させ、一方の端部をアクリル板で閉塞し、もう一方の端部を真空ポンプに接続した。次に真空ポンプを作動させて、管内を減圧していった。

管内に作用させる最大負圧は、限界圧力水頭を参考に決定した。サイフン排水では、排水装置の頂部付近で負圧が最大となり、それが限界圧力水頭以下になるとサイフン排水が継続できなくなる。一般的に、限界圧力水頭は-7.0m~-8.5mである²⁾。一方で、限界圧力水頭が-8.7mで管内に気泡が発生した事例³⁾



ワンタッチ接続

写真-1 ポータブル排水管

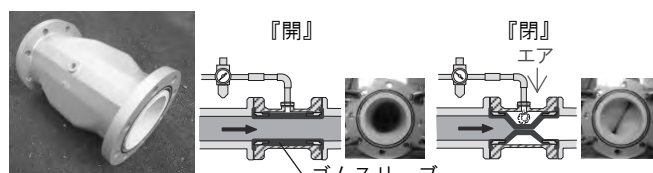


図-4 空気ピンチバルブ構造

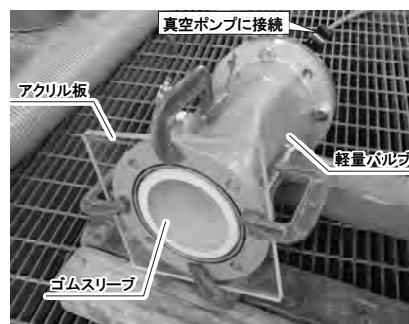


写真-3 軽量バルブの耐負圧性確認 実験状況

も報告されている。以上を参考に、本実験では管内に作用させる最大の負圧を-0.090Mpa(圧力水頭-9.2m相当)とした。

実験の結果、-0.090Mpaまで減圧しても空気の侵入は確認されなかった。また、最大負圧のまま1時間放置したところ、管内圧力は変化せず、排水管継手部の気密性は十分確保できることを確認した。

(2) 軽量バルブ

軽量バルブには、アルミ鋳鉄製空圧式ピンチバルブを採用した(図-4)。空圧式ピンチバルブは、バルブ内に筒状のゴムスリーブが設置してあり、空気を送り込んでゴムスリーブを変形させることでバルブを開閉する仕組みである。弁体がゴムスリーブであるため、φ150mmで約20kgと非常に軽量なのが特長である。一方で、空圧式ピンチバルブは、その構造上管内に負圧がかかるとゴムスリーブが内側に変形し、管内を閉塞してしまう可能性がある。そこで、軽量バルブの耐負圧性を検証する実験を実施した。

写真-3 に示すように、軽量バルブの一方をアクリル板で閉塞し、もう一方を真空ポンプに接続した。次

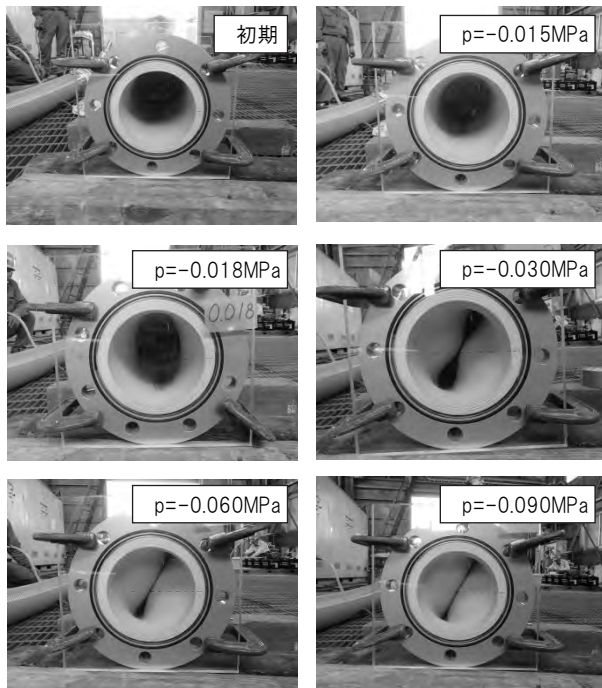


写真-4 軽量バルブ断面変化状況

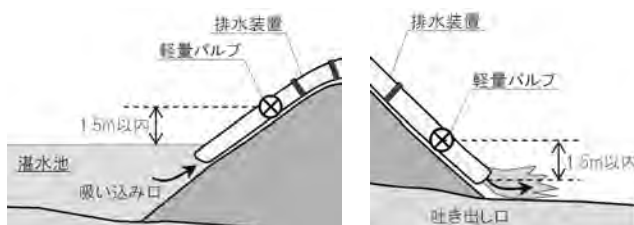


図-5 軽量バルブの配置位置

に真空ポンプを作動して軽量バルブ内を徐々に減圧し、ゴムスリーブの変形による断面変化を目視により観察した。軽量バルブ内に作用させる最大負圧は、前項の実験と同様に、 -0.090MPa とした。

写真-4 に実験の結果を示す。写真-4 に示すように、バルブ内の圧力が -0.018MPa になると、ゴムスリーブが内側に変形し始めた。その後、 -0.030MPa でゴムスリーブの一部が接着し、さらに -0.090MPa でゴムスリーブが密着して閉塞した。

以上の結果から、軽量バルブが元の断面形状を維持できる圧力は、 -0.015MPa 以下と考えた。これを圧力水頭に換算すると 1.5m となる。この圧力水頭より負圧が大きくなると、軽量バルブ断面が縮小され、排水効率が低下する。よって、軽量バルブを排水装置に組み込む際は、吸い込み側、吐き出し側のそれぞれの水位から 1.5m 以内の高さに設置する必要がある(図-5)。

(3) バルブユニット

写真-5 に示すように、バルブユニットは、注水バルブ、エア抜きバルブ、満水検知装置から構成される。材質は硬質塩化ビニルで、内径 $\phi 150\text{mm}$ 、長さ 0.7m 、重量約 25kg である。

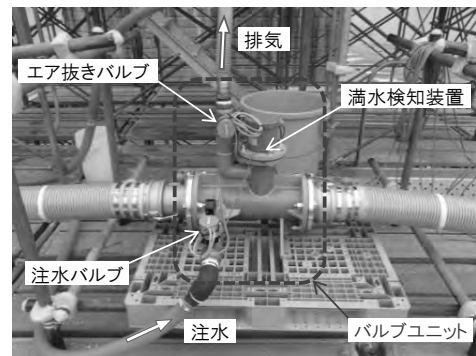


写真-5 バルブユニット

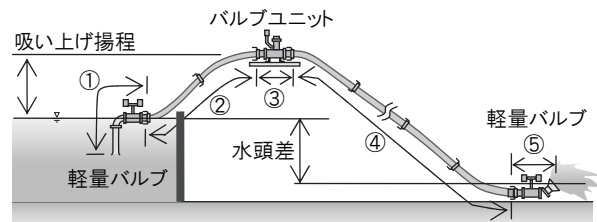


図-6 排水管区間区分図



写真-6 排水実験状況

表-1 排水実験結果

ケース	水頭差 (m)	排水管延長 ①+②+③(m)	排水管延長 ④+⑤(m)	流量 (m^3/min)
case1	1.51	8.3	17.3	2.6
case2	1.51	8.3	24.8	2.3
case3	0.59	8.3	17.3	1.5
case4	0.75	8.3	24.8	1.5

※排水管延長①～⑤は図-6 に示す区間に対応する

3.2 排水実験による摩擦損失係数の設定

排水計画時に必要となる排水量は、管内流速と管断面積を掛け合わせることで算出する。管内流速は、図-6 に示す区間ごとの損失水頭を計算し、ベルヌーイの定理²⁾より、水位差と全体の損失水頭が等しくなる「水頭差 $H = \text{損失水頭の合計 } \Sigma h$ 」として算出する。

損失水頭として考慮するものは、全区間(区間①～⑤)における摩擦損失水頭に加え、吸い込み口となる区間①で発生する流入損失水頭、曲管損失水頭、吐き出し口となる区間⑤で発生する曲管損失水頭、拡大管損失水頭、吐出残留速度水頭である。この内摩擦損失水頭は全区間で発生し、排水量に大きな影響を与えるため、摩擦損失係数は、排水実験(写真-6)を行い、その結果をフィードバックして設定した。

排水実験では、水頭差と排水管の延長をパラメータとして実験ケースを設定し、各ケースの流量を計測した。表-1 に排水実験ケースおよびその結果を示す。



写真-7 現場検証状況(多摩川ニヶ領宿河原堰)

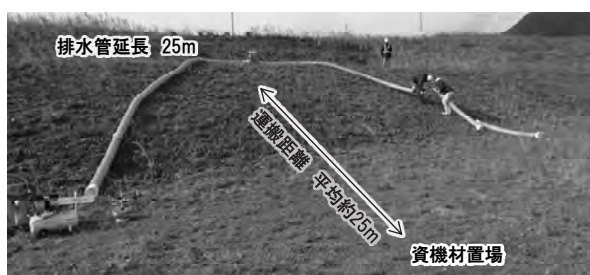


写真-8 現場検証状況(雲仙普賢岳)

排水実験の結果から摩擦損失係数を求めると0.031となり、排水計画時にはこの値を用いることとした。

4. 現場検証実験

ポータブルサイフォン排水は、国土交通省の「次世代社会インフラ用ロボット開発・導入の推進」の一環である「災害応急復旧技術の公募」に、「排水作業の応急対応」ができる技術・システムとして応募した。本公募において、ポータブルサイフォン排水は現場検証に値する技術として採択され、多摩川と雲仙普賢岳において現場検証実験を実施した。以下に現場検証実験の内容および結果を示す。

4.1 多摩川における現場検証実験

多摩川ニヶ領宿河原堰における現場検証は、ポータブルサイフォン排水の成立性および排水能力を確認するために実施した。写真-7 に示すように、吸い上げ揚程が 7m となるようにステージを組み、ステージ上にバルブユニットを配置した。排水管は、バルブユニットから多摩川上流側に 27.5m、下流側に 40.0m 設置した。なお、下流側の 40.0m は、本来の長さ 2.5m の排水管ではなく、20.0m のサクシオンホースを 2 本接続して実施した。水位差は、堰を挟んで 3.18m であった。限界吸い上げ揚程は計算上 7.21m であり²⁾、排水限界に近い条件である。

上記の条件でサイフォン排水を試行した結果、問題なく一定時間排水することができ、ポータブルサイフォン排水の成立性を確認することができた。また、計測した排水量は $2.40\text{m}^3/\text{min}$ であった。

事前に算出した排水量は $2.13\text{m}^3/\text{min}$ であり、計測した排水量の $2.40\text{m}^3/\text{min}$ と概ね整合する結果となり、排水量算出方法の妥当性が確認できた。なお、計測した排水量が計算結果を若干上回った原因は、下流側の排水管継手が本来よりも少なく、継手部における摩擦損失が低減されたためと推察される。

4.2 雲仙普賢岳における現場検証実験

雲仙普賢岳における現場検証実験は、排水装置設置の容易さを確認するために実施した。写真-8 に示すのり面(勾配 1:2.0、高さ約 3m)に、排水管延長 25m の排水装置設置に要する時間を計測した。作業人員は 2 名とし、作業員には作業直前に初めて手順

を伝えて、設置させた。資機材の運搬距離は平均で約 25m とした。

実験の結果、設置に要した時間はわずか 10 分程度であり、誰でも簡単・迅速に組み立てられることが確認できた。なお今回の結果を、仮に排水管延長 100m、運搬距離 100m に換算すると、約 2.5 時間で設置が可能となる。

以上の 2 つの現場検証実験の結果、ポータブルサイフォン排水は、次世代社会インフラ用ロボット現場検証委員会応急復旧部会から、「緊急排水作業が必要となった場合には、導入を検討すべき技術として推薦する。」との高い評価を頂いた。

5. まとめ

当社は、平成 23 年の台風 12 号によって形成された河道閉塞の緊急対策工事を担当した。ポータブルサイフォン排水は、その工事からニーズを汲み取り、開発に至った技術である。

この度、国土交通省の公募において、当技術の成立性や排水装置設置の容易さが示された。今後は、実現場への適用を目指していきたいと考えている。

参考文献

- 1) 土木学会地盤工学委員会斜面工学研究小委員会現地調査団:平成 23 年台風 12 号土砂災害第 2 回調査報告書,平成 24 年 8 月
- 2) 社団法人土木学会:土木工学ハンドブック第四版 I, pp.485-491,平成元年 11 月
- 3) 武田直人:大規模災害に対応するサイフォン排水技術の開発 - 河道閉塞の緊急排水対策 -,建設の施工企画,平成 24 年 3 月