

# 河道閉塞災害への排水装置の提案

起動力は「水の力」！

呼び水式・山辰サイフォン排水装置

馬 淵 和 三・平 松 研・岩 佐 直 人・馬 淵 剛

ここ十数年ほど前からと言えるほど、まだ人々の記憶に新しい範囲で発生し始めた自然災害として、従来の日本の気象には見られなかった局所的に発生するゲリラ豪雨がある。深層・表層崩壊など地すべりが発生する可能性が高いとされる危険箇所も新たな研究により多く確認された。これら特殊な気象や地形が起因して容赦なく発生する地すべりによる河道閉塞災害に対する対策方法の確立が求められている。

キーワード：異常気象，ゲリラ豪雨，地震，地すべり，天然ダム，河道閉塞，排水，呼び水，サイフォン，汎用品

## 1. はじめに

地震、豪雨等により河道閉塞が発生し、二次災害が想定される場合は緊急的に仮排水路を構築する必要がある。仮排水路構築までの間は天然ダムの水位抑制対策が必要であり、その1つとして国土交通省では「大規模な河道閉塞（天然ダム）の危機管理のあり方（提言）」<sup>1)</sup>において、ほとんど動力を必要とせず排水作業が可能となるサイフォン排水装置の開発の重要性が提言された。

そこでサイフォンの起動時においても電気を使用しなくても「水」を「呼び水」として利用することでサイフォン排水作業を起動できる装置を開発した。これは現場条件に応じて以下の2通りの「呼び水」の注水方法があることを特長とする。

- ①重機や車両が進入できる場合の「呼び水」注水方法は、電気を使用して水中ポンプや国土交通省の災害派遣用排水ポンプ車両等の動力により本排水装置の注水合流部材を通して排水ホース内へ「呼び水」を注水するサイフォン起動方法。
- ②電源が全く無い現場条件の場合の「呼び水」注水方法として、縦長の貯水タンクを組立て、それに給水した水の水压を動力として同じく排水ホースに「呼び水」を注水するサイフォン起動方法。

既に工事現場で小口径のサイフォン排水装置を仮設工の水替え作業や散水作業に使用している。

天然ダムでの排水実績は無いため現場での対応方法が不明な部分も多くあるが、重機や車両が現地に侵入できない場合を想定し比較的小規模な天然ダム対策の

排水装置として、人力での運搬や作業を可能とすることをねらいとして開発した。越美山系山の谷第1砂防堰堤に於いてΦ200mmサクシオンホースを使用して「水」を起動力とするサイフォン排水装置の実証実験等を行ったのでその成果を報告する。

## 2. 実験の目的

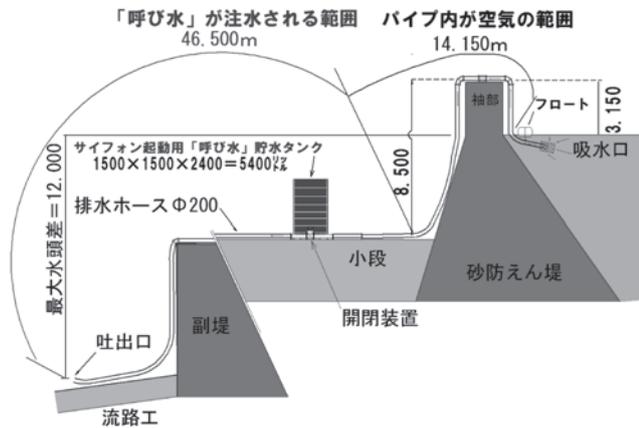
一般的に作業員が災害現場で「呼び水式・山辰サイフォン排水設備（以下「本排水装置」という）」の設置作業を行う場合に、電子計測器等を使用して管内の数値を確認しながらの作業は現実的ではないため、簡易な測量器具で確認できる揚程高や水頭差を確認する際の目安となる数値を求めることを目的として以下の3項目を挙げた。

- ①「呼び水」方法によるサイフォン起動実験  
柱状に組上げた「貯水タンク」の水圧を利用して排水ホース内の一定部分に「呼び水」を注水する方法でサイフォンの起動が可能か否かを確かめる実験。
- ②水頭差の変化に伴う排水量確認実験  
同設備を使用して吐出し口を上下することでダム貯水池との水頭差を段階的に変化させて排出量の変化を測定。
- ③サイフォンによる限界揚程高の確認  
Φ60mmの透明サクシオンホースを使用しダム貯水池からの揚程高を段階的に大きくして、負圧下におけるサイフォン作用の揚程限界高を求める。

### 3. 「呼び水」方法によるサイフォン起動実験

#### (1) 実験設備

実験設備全体図を図一1に表す。



図一1 「本排水装置」実験設備図

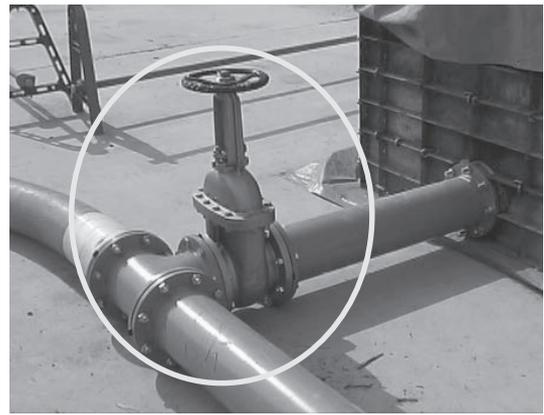
吸水口となる上流側のホース先端に「雑物吸入防止網」を備え、砂防堰堤貯水池に水深2mで浮遊させるフロートを取付ける。排水ホースは堰堤袖部を乗り越えて下流の小段に至り、さらに下流方向へ進んで副堰堤の下流部の流路工底部で吐出し口を上に向けて設置する。小段上において仮設の貯水タンク(図一2)から排水ホースへ「呼び水」を注水するための注水パイプが「開閉装置を備えた注水口合流部材(図一3)」を通して側面から合流している。

#### (2) 流出した浮遊物への対策

「雑物吸入防止網」は10cm四角程度の堅固な網目で構成され、この網目を通った雑物はΦ20cmの吸水口から水と共に吸入して下流へ排出する。流出してきた流木など大きな浮遊物が吸水口に吸い付かないよ



図一2 型枠用部材で組上げた仮設タンク



図一3 「開閉装置を備えた注水口合流部材」

うに50cmほどの間隔を確保することを目的としている。2~3cm程度の細かい網目とした場合は目詰まり防止のメンテナンスを要するため10cm程度としメンテナンスフリーとした。吸水ホースの水面部分が浮遊物に挟まれるのを防止するために吸水ホースの水面付近にも堅固な防護網を設けることも良い。

#### (3) 重機搬入が困難な場合を想定した器材選定

「本排水装置」の現地条件に応じた幾つかの「呼び水」の注水方法は前述したが、今回の実験は重機・車両の搬入ができない場合を想定し、排水設備の部材も基本的に人力での小運搬が可能な器材を中心に構成した。水中ポンプ或いは災害派遣用排水ポンプ車輛の代わりに果たす仮設の貯水タンクは、コンクリート打設用の型枠で人力小運搬のできる一般的なメタルフォームを使用、任意の大きさに組み立てることができる(図一2)。

部材1枚の大きさは横1,500mm×縦300mm×厚55mm、参考重量13.7kg/枚である。これを組合わせて最終的にメタルフォーム32枚を使用し、底辺1,500mm×1,500mm×高2,400mm=容量5,400ℓの仮設の貯水タンクを設置し、内部5面を1枚のブルーシートで覆って水密性を高めた。本実験の場合、貯水タンクの容積としては排水ホースの総延長60.65mに対して、「呼び水」を注入する部分が46.5m(総延長の約77%)となっているため、排水ホース断面 $0.0314\text{ m}^2 \times 46.5\text{ m} = 1.46\text{ m}^3$ (容積)となる。本実験で開閉装置は図一3の物を使用した。開閉作業に各1分程度を要しジャストタイムで開閉できない。このため開閉作業中に流れる水が必要となるためメタルフォームを追加して貯水タンクの容積を排水ホースの注水部の延長の容積の約3倍以上の $5.40\text{ m}^3$ として増加した。

開閉作業が速やかに行える開閉装置があれば「呼び

水」も少なくて済み、貯水タンクの部材の運搬・組立作業も少なくて済むため、省力化・省資材化のためワンタッチ開閉装置を開発中である。

#### (4) 注水口合流部材とその役目

貯水タンクから下流側にある排水ホース内へ注水を行いホース内が満水状態となったら注水口合流部材に備えた開閉装置（図一3）を閉じる。排水ホース内へ注水された「水」は引き続き流下しようとするが、貯水タンクからの注水が途絶えたため上流側の排水ホース内の空気を引き込む。砂防えん堤の貯水池に投入された排水ホースの吸水口にはストローでジュースを吸込むと同様の現象が発生する。貯水池で吸込まれた水が下流側の吐出口に到達すると排水ホース全体が満水状態で流下を続けるサイフォン作用が起動することとなる。

「本排水装置」は、サイフォン作用を起動する「呼び水」を排水ホースの中・下流部分へ総延長の2/3以上の範囲に注水する際に動力を使用するか否かを問わず、「呼び水」が流下するエネルギーで上流の貯水池の水を吸水しサイフォン作用を起動するシステムであるため開発者の名前を入れて「呼び水式・山辰サイフォン排水装置」と命名した。

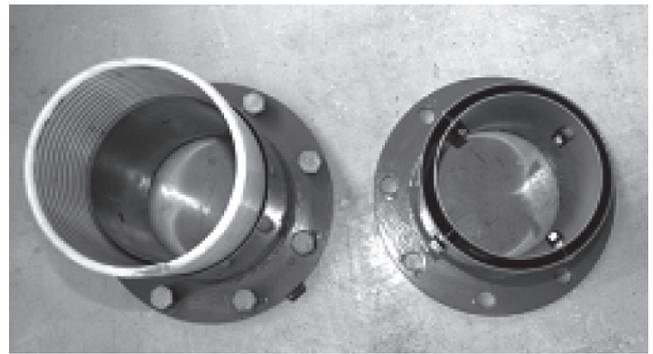
#### (5) 排水ホース（サクシオンホース）

Φ 200 mm のサクシオンホースを使用した。本資材は単位重量が 7.3 kg/m と軽量で、単体延長が 20 m で接合部が少なく気密性に優れ、製造メーカーも多数存在し規格も統一され調達し易いと考えた。

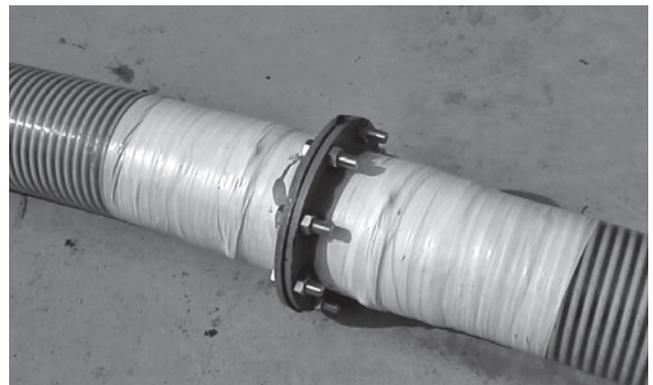
#### (6) ホース相互の接続金具

ここで、従来の排水ホース相互の接続金具はタケノコ型で挿入部が先端に向かって細い筒形状のため排水ホースから抜け易いという課題があったが、研究を重ね、接続金具の挿入部にボルト貫通用の孔を4ヵ所設けた接続金具を開発した。

金具挿入後に排水ホースの同じ位置にも穴を開けてホースと接続金具と共にボルトで貫通して固定する特許取得金具である（図一4）。これにより、ホースをクレーンで吊り上げたり、移動のために重機で引っ張っても、ホースそのものをブラ下げ状態で通水しても、ホースと接続金具が抜け落ちることは無い。また、接合部は気密性をより補強するためテーピングしている（図一5）。



図一4 抜けない排水ホース接続金具構造



図一5 排水ホースの接合状況（テーピング）

#### (7) 呼び水サイフォン起動実験

前述したがΦ 200 mm 排水ホース内全体を満水状態にすることなく「呼び水」によりサイフォンを起動できるかが大前提となる実験の主目的である。

以下の手順で実験を行った。

- ① 仮設の貯水タンクへの給水方法は図一2の手前の送水パイプを使用し2インチのエコポンプで給水した。
- ② 給水完了後、貯水タンクと連結してある注水口合流部材に備えた開閉装置（図一3）を開いて排水ホースへ一気に「呼び水」を注水する。
- ③ 注水当初は排水ホース下流側吐出し口には白い空気混じりの水が出てくるが、1分程度で透明になるので、そのタイミングで図一3の開閉装置を素早く閉じる。
- ④ 開閉装置を閉じると、流下する水と排水ホース内の空気と綱引き状態となるため数秒間は「止まったか」と思うほど流れ出る流量が減少する。
- ⑤ ダム貯水地の水を呼び込んでサイフォン作用で流れ始めると流量は水頭差 12 m の場合 8.74 m<sup>3</sup>/min となり、Φ 200 mm 水中ポンプの標準的流量の約 2 倍の排水能力となる（図一6）。



図一六 サイフォン作用による排水状況

#### 4. 水頭差の変化に伴う排水量確認実験

この排水設備で下流部吐出し口の高さを上下に段階的に変化させて、上流部の貯水池の水面との各水頭差毎の排水量測定を超音波流量計（ポータフロー X）を使用し実施した。各水頭差毎の測定回数3回の平均値、及びベルヌーイの定理<sup>4)</sup>により算出した流量を理論値として併記し、実測値との比率も示した（表一1）。理論値算出にあたり、吸込み口の形状損失係数は0.5、配管曲がり部の形状損失係数は0.2、配管の損失係数は0.03とした。

表一1 水頭差とΦ200mmサイフォン排水量

水頭差 (m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
実測値												
流速平均 (m)	1.13	1.60	2.07	2.44	2.79	3.15	3.47	3.75	3.89	4.07	4.32	4.50
流量 (m <sup>3</sup> /min)	2.18	3.12	4.01	4.75	5.42	6.12	6.74	7.26	7.55	7.91	8.38	8.74
理論値 (m <sup>3</sup> /min)	2.47	3.50	4.28	4.94	5.53	6.05	6.54	6.99	7.41	7.82	8.20	8.56
理論値との比率 (%)	88.4	89.0	93.7	96.1	98.0	101.2	103.1	103.9	101.8	101.2	102.2	102.1
理論値と実測値との流量比率平均=98.4%												
水中ポンプ口径	Φ150mm				Φ200mm				Φ250mm			
標準的流量	2 m <sup>3</sup> /min				4 m <sup>3</sup> /min				以上の排水量			
									8 m <sup>3</sup> /min			

理論値に対する実測値の比率は98.4%となり、実測値と理論値はほぼ同じ結果となった。

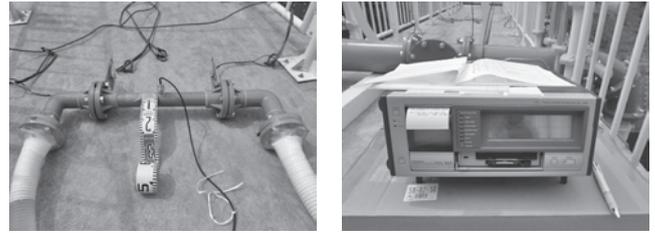
また、各水頭差毎の排水量の実測値を水中ポンプの一般的な排水能力と比較したものを表一1：下2行に表す。

- 水頭差 1.0 m (2.18 m<sup>3</sup>/min) で Φ 150 mm 水中ポンプ (排水量 2 m<sup>3</sup>/min) と同等以上。
  - 水頭差 3.0 m (4.01 m<sup>3</sup>/min) で Φ 200 mm 水中ポンプ (排水量 4.0 m<sup>3</sup>/min)。
  - 水頭差 11.0 m (8.38 m<sup>3</sup>/min) で Φ 250 mm 水中ポンプ (排水量 8 m<sup>3</sup>/min) と同等以上。
- となり、排水計画の参考とすることができる。

#### 5. サイフォンによる限界揚程高測定実験

##### (1) 頂部圧力測定実験及び気化状況確認方法

リボンテープと圧力計 (HTVC-100kp) を取付けた



図一七 サイフォン試験管と圧力計 (左) と測定器 (右)

サイフォン試験管 (図一七左) の上下流側に口径 Φ 60 mm の透明サクシオンホースを取付け、堰堤上流側の吸水部にエコポンプを装着し貯水池に浸ける。もう一方は袖部を挟んで下流側小段へ降ろす。サイフォン試験管に取付けた圧力計の数値はケーブルを介して静ひずみ測定器 TDS-303 (図一七右) により測定を行った。

実験では、サイフォン試験管をクレーンで吊上げ、0.25 m ~ 1.0 m の間隔で揚程を変化させた (図一八)。揚程の段階毎に負圧値と流量等の測定を行うとともに気泡の発生状況を目視で確認しながらサイフォン作用が可能な揚程限界高を求めた。



図一八 負圧値測定状況 (ダム上流から望む)

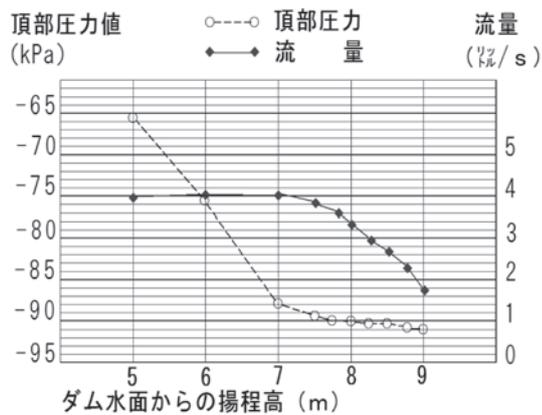
##### (2) 揚程高の変化に伴う気泡と気化現象

測定結果を表一2及び図一9に表す。表一2では各揚程における吐出側配管の内部の観察結果も記載している。

揚程 6 m までは配管内に変化は無く、揚程 7 m において、管内に気泡が混入し始め流下するのが確認され (図一10)、さらに揚程を上げると気泡の発生はより激しくなり、揚程 7.5 m で流れの分断が確認されたが、流れは継続して流量の最大値 4.03 m<sup>3</sup>/min (揚程 6 m) に対し 3.60 m<sup>3</sup>/min と 89.3% ≒ 約 90% の流量が保たれている。流れの分断の増大は図一11に示すように、空洞が形成されて明瞭に水面が視認されるようになり、その水面にサイフォン試験管から水が落下する状態で流下し流れは継続している。さらに揚程を

表一2 揚程高と頂部圧力・流量の結果表

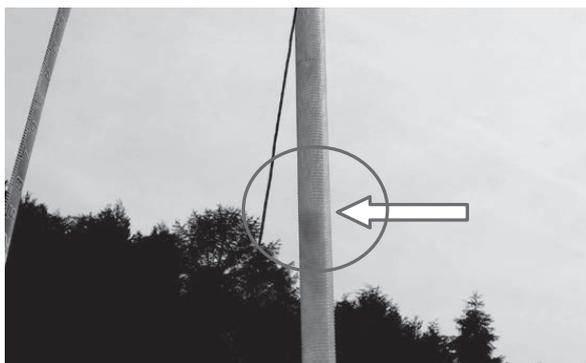
揚程 (m)	流量 (L/s)	頂部圧力		気泡発生時吐口側水柱高さ (m)	吐出側管内の観察
		水柱換算 (m)	kPa		
5.00	3.97	-6.69	-65.6	-	変化なし。
6.00	4.03	-7.72	-75.7	-	変化なし。
7.00	4.00	-8.97	-88.0	-	気泡が混入し始め流下するのが確認できる。
7.50	3.82	-9.13	-89.5	10.40	気泡の発生が激しく、塊状に確認できる。
7.75	3.60	-9.18	-90.0	10.85	流れが分断され、水面が確認できる。
8.00	3.31	-9.19	-90.1	10.40	分断されているが、未だ流れている。
8.25	2.99	-9.22	-90.4	-	-
8.50	2.66	-9.22	-90.4	-	揚程を上げると、分断された水面は一定の高さ(水柱10.4m~10.8m)を維持するように挙動する。
8.75	2.25	-9.26	-90.8	-	流れは継続している。
9.00	1.72	-9.28	-91.0	10.80	-
9.25	-	-	-	9.05	流れは完全に停止し、水柱が残っている。水柱の高さは9.05m。
8.00	-	-	-	-	揚程を徐々に下げると8.0mにて再び流れ始めた。



図一9 頂部圧力と流量の変化表



図一10 揚程高7.0mで流下する微量の気泡



図一11 空洞が形成された流れの分断部分

上げると、吐出側配管の流れの分断位置は、吐出し口からの水柱高さを一定に保つような挙動(空洞の範囲が大きくなる)を示した。揚程を9.25 mまで上げた時点で流れが停止した。停止時の水柱高さは吐出側9.05 m、吸い込み側8.55 mであった。貯水池水面からの揚程高の増加に伴い負圧値はマイナスに大きくなり続けるが、揚程高7.0 mを超えた時点で増加割合が小さくなり、その後は90 kPa付近ではほぼ一定となった。

(3) 流量測定方法

流量測定は、底辺1.0 m × 底辺1.0 m × 高さ0.5 m = 容積500 lの容器を使用し、容器が満水になる時間をストップウォッチで計測して算出した(表一2)。実験当初から4.0 l/sとほぼ一定の数値を保っていたが揚程高が7.0 mを超えた時点から減少を始めた。実験値が得られたのは揚程高が9.0 mまでであった(表一2, 図一9)。

(4) 気化状況の変化と限界揚程高

揚程高と気化現象実験の結果により、サイフォン排水作業を計画するには吸入側の揚程高は安全側をみて7.0 m前後とし激しい気化現象が発生しない状態で行う事が望ましい。この状態で排水ホースの配管延長に伴いどれだけの水頭差を設けることが、より効率の良い状態でのサイフォン排水作業を行う装置となるかを試算する事ができる。

6. 「本排水装置」による排水計画

(1) 天然ダムを想定した排水計画の目安

これらの実験結果と併せ、天然ダムのサイフォン排水計画の参考資料として、排水ホースの延長毎に基準となる水頭差を求めるため、各延長毎の配管頂部圧力

表一3 (-1・2) 揚程高7mの配管頂部圧力制限を考慮した排水量表

表一3-1 水頭差と延長による排水量 (m<sup>3</sup>/min)

延長 (m)	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
口径φ200										
水頭差									7.72	7.38
18									7.28	6.96
16									7.16	6.81
14							7.57		6.81	6.51
12					8.02	7.46	7.01	6.63	6.31	6.03
10				7.96	7.32	6.81	6.40	6.05	5.76	5.50
8			7.87	7.12	6.55	6.09	5.72	5.41	5.15	4.92
6		7.72	6.81	6.16	5.67	5.28	4.96	4.69	4.46	4.26
単位 (m)	4	7.46	6.31	5.56	5.03	4.63	4.31	4.05	3.83	3.64
2	5.28	4.46	3.93	3.56	3.27	3.05	2.86	2.71	2.57	2.46

表一3-2 水頭差と延長による配管頂部圧力 (m)

延長 (m)	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
口径φ200										
水頭差										
18									-9.23	-9.03
16									-8.98	-8.81
14									-8.73	-8.58
12					-9.40	-9.08		-9.14	-8.92	-8.73
10				-9.36	-9.00	-8.73		-8.84	-8.64	-8.49
8				-9.31	-8.89	-8.60		-8.53	-8.37	-8.24
6				-9.31	-8.89	-8.60		-8.22	-8.09	-7.99
単位 (m)	4	-9.08	-8.49	-8.16	-7.95	-7.80		-8.04	-7.92	-7.82
2	-8.04	-7.74	-7.58	-7.47	-7.40	-7.35		-7.61	-7.55	-7.50
								-7.27	-7.25	-7.23



ちなみに、水位の上昇により揚程が7m、5m、3mと変化する場合において水中ポンプメーカーの公表している排水量表による排水量とサイフォン排水量の比較図を図-13に表す。揚程7mで1.67倍、揚程5mで2.12倍、揚程3mで2.40倍の排水量となるため、水位が上昇して揚程が5m以下となると排水ホースの配管はそのままでも水中ポンプ排水量の2倍以上の排水量をサイフォン作用により排水させる事ができる事となる。

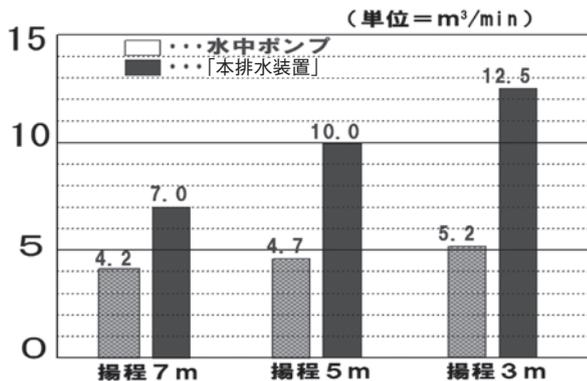


図-13 水中ポンプと「本排水装置」の排水量比較図

●貯水タンクの大きさ：排水ホース1本の延長120mで、「呼び水」注水範囲は延長の2/3以上とする。ホース断面積  $0.0314 \text{ m}^2 \times 120 \text{ m} \times 2/3 = 2.51 \text{ m}^3$  の容積となる。メタルフォームで底辺  $1.5 \text{ m} \times 1.5 \text{ m} \times$  高さ  $1.8 \text{ m}$  ( $0.3 \text{ m} \times 6$  段) =  $4.05 \text{ m}^3$  (余裕を含みホース内容積の約1.6倍となる) の貯水タンクを組み立てる。13条の各排水ホースへの注水は1つの貯水タンクから順次行う事ができるので1基で良い。この多条配管起動方法は特許申請中である。

### (3) 資器材の調達数と施工費試算について

前記延長  $L = 120 \text{ m}$ 、水頭差 =  $10 \text{ m}$  の「本排水装置」を設置するために必要な器材は以下に挙げられる。

- ①サクシオンホース  $\Phi 200 \text{ mm}$  :  $20 \text{ m}$  / 本, 66 本
- ②ホース接続金具  $\Phi 200$  用 132 個
- ③メタルフォーム  $1.5 \text{ m} \times 0.3 \text{ m}$  24 枚
- ④開閉装置付き注水口合流部材 11 個
- ⑤その他備品 (小型発電機・水中ポンプ等) 1 式

施工費については、今回の実験設備の準備には必要機材を搬入後にタンク1基、ホース約61mの設営に作業員5名が1日を要したが、天然ダムの場合、現場条件が不明で施工量も膨大であり概算の域を外れるため試算は控えさせて頂いた。

## 7. 今後の課題

頭書に記載した如く実際の災害現場での施工実績は無く、作業には想定外の事象や困難さが伴うことが予想される。人力作業を可能とすることを前提に考案した装置ではあるが、排水ホース専用連結金具で連結されたホースは通常の重機作業でも抜けないのが特長なので、バックホー及びヘリコプターでの吊上げ敷設作業は作業効率を一段と向上させるため選択肢のひとつとして考えられる。

また、 $\Phi 200 \text{ mm}$  排水ホースは規格品で市場に多く出ているが、幾つかのメーカーへの調査によれば在庫は5~10本/社程度と少ない。調査する中あるメーカーでは在庫50本程度と全てのラインを $\Phi 200 \text{ mm}$ の生産に切り替えて24時間体制で毎日10本づつを製造する体制を確約して頂けた。有事の際には不足本数を分担する速やかな製造体制や、緊急時のための排水装置敷設作業の訓練の実施など緊急時の資材調達体制と作業体制を構築しておく等の課題があるが、本工法を小規模な天然ダムを対象とするか、他の工法と組み合わせさせて頂きたい。また、災害現場で必要となる仮設電気を本排水装置の水流を利用して発電するためのマイクロ水力発電装置の開発も併せて取組んでいる。

## 8. おわりに

砂防堰堤での「本排水装置」呼び水式・山辰サイフォン排水装置の排水実験は成功したものの、天然ダムの排水作業に使用するためには多様な災害現地の状況把握と安全を優先した現地施工の可否判断など専門家の支援を多く必要とするためご指導を願いたい。

### 謝 辞

本実験に関して、国土交通省中部地方整備局越美山系砂防事務所、岐阜県、揖斐川町、地元諸家地区、(株)カクイチ、(株)ビーエムアイなど関係者の皆様のご理解とご協力、ご指導を賜りましたことに対して心より感謝の意を表します。

JICMA

《参考文献》

- 1) 国土交通省：大規模な河道閉塞（天然ダム）の危機管理に関する検討委員会：大規模な河道閉塞（天然ダム）の危機管理のあり方について（提言），3.天然ダムの危機管理のあり方 3-5 対策工事（2）排水対策，2009.3
- 2) 国土交通省関東技術事務所：武田直人：32.大規模災害に対応するサイフォン排水技術の開発，建設の施工企画 745号：pp.68～73，2012.3
- 3) 佐々木隆男：大規模災害対応サイフォン排水の現場適応に向けて，建設の施工企画，4月号，pp.92～95，2012.4
- 4) ㈱土木学会：土木工学ハンドブック第四版Ⅰ，p491，1989.11

【筆者紹介】

馬淵 和三（まぶち かずみ）  
㈱山辰組  
代表取締役



平松 研（ひらまつ けん）  
岐阜大学  
応用生物科学部  
教授



岩佐 直人（いわさ なおと）  
日鐵住金建材㈱  
商品開発センター  
部長



馬淵 剛（まぶち つよし）  
㈱山辰組  
環境事業部  
部長



お断り

この技術報文は、「平成 24 年度 建設施工と建設機械シンポジウム」の原論文とは一部異なる表現をしています。