1. 河道閉塞災害への「呼び水サイフォン排水装置」の提案

起動力は「水の力」!

(株)山辰組代表取締役博士(農学)○ 馬渕和三 日鐵住金建材(株) 岩佐直人 岐阜大学応用生物科学部 平松 研

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)」 $^{1)}$ 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,多摩川で $\Phi400$ mmの送水装置のモデル実験が行われ結果が報告されている $^{2)3}$ 。このサイフォンは起動に際し真空ポンプで充水しているが効率的に排水するためには 200 v,数 k w程度の動力を要するものと思われる。

弊社は平成9年に水中ポンプで起動しサイフォンで稼働する「エコポンプ」を開発し実用化した。しかし、取扱いに重機と200vの電源を要することは共通の課題であると考えた。

そこで、起動力として「呼び水」を利用するサイフォン排水装置を開発し課題を解決した。この排水装置は現場の作業環境に応じて「呼び水」の注水方法を選べることを特長とする。重機や車両が進入できる場合では水中ポンプや国土交通省の災害派遣用排水ポンプ車両で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」を注水しサイフォンを起動する。電源が全く無い場合、又は可搬の小型発電機しかない場合などは、それを使用して仮設の貯水タンクに給水した水を同様に排水ホースに「呼び水」として注水してサイフォン作用を起動する排水装置である。弊社では既に工事現場で小口径の装置を仮設工の水替え作業や散水作業に使用している。

弊社は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。今回、越美山系山の谷第1砂防えん堤に於いて

Φ200mmサクションホースを使用した「呼び水」 を起動力とするサイフォン排水装置の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地で「呼び水サイフォン排水設備」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

Φ60 mmのサクショ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 3.1 実験設備

実験設備全体図を(図-1)に表す。

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、砂防えん堤貯水池に水深 2mで浮遊させるフロートを取付ける。排水ホースはえん堤袖部を乗越えて下流の小段に至り、さらに下流方向へ進んで副えん堤の下流部の流路工底部で吐出し口を上向けて設置する。小段上において仮設の貯水タンク(図-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-3)」を通して側面から合流している。

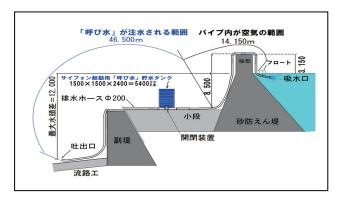


図-1 「呼び水サイフォン排水装置」実験設備図

3.2 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。

3.3 重機搬入が困難な場合を想定した器材選定

本呼び水サイフォン排水装置の幾つかの「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輌の代わりを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-2)。



図-2 型枠用部材で組上げた仮設タンク

部材 1 枚の大きさは横 1500mm×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 1500mm×1500mm×高 2400mm=容量 5400 ぱ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 m²×46.5m=1.46 m³ (容積)となる。本実験で開閉装置は(図-3)の物を使用したが、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 m³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。

3.4 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-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。



図-3 「開閉装置を備えた注水口合流部材」

「呼び水サイフォン排水装置」とは、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「呼び水サイフォン排水装置」と命名した。

3.5 排水ホース(サクションホース)

Φ200mm のサクションホースを使用した。本資 材は単位重量が7290g/mと軽量で,単体延長が20m 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。

3.6 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。弊社では研究を重ね、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-4)。これにより、ホ



図-4 抜けない排水ホース接続金具構造



図-5 排水ホースの接合状況 (テーピング)

一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-5)。

3.7 呼び水サイフォン起動実験

前述したが Φ200mm 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-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-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-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 12m 場合 8.74 m/min となり $\Phi 200mm$ 水中ポンプの標準的流量 の約 2 倍の排水能力となる(図-6)。



図-6 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⁴⁾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・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-1 水頭差と Φ200 mmサイフォン排水量

実	水頭差(m)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
測	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
値	流量 (m³/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
理計	理論値(m³/min)		3.50	4.28	4.94	5.53	6.05	6.54	6.99	7.41	7.82	8.20	8.56
理論	理論値との比率 (%)		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		Ф 200 mm Ф 250 mm										
	標準的流量	2 m	/min			4 m ³ /1	min 🖟	【上の排				8m³	/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-1:下2行)に表す。

- ○水頭差 1.0m(2.18 m³/min)で Φ150 mm水中ポンプ (排水量 2 m³/min)と同等以上。
- ○水頭差 3.0m(4.01 m³/min)で Φ200 mm水中ポンプ (排水量 4.0 m³/min)。
- ○水頭差 11.0m(8.38 m³/min)で Φ250 mm水中ポンプ (排水量 8 m³/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

5.1 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)を取付けたサイフォン試験管 (図-7 左) の上下流側に口径 Φ60 mmの透明サクションホースを取付け、えん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-7右)により測定を行った。





図-7 サイフォン試験管と圧力計(左)と測定器(右)

実験では、サイフォン試験管をクレーンで吊上げ、0.25m~1.0mの間隔で揚程を変化させた(図-8)。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-8 負圧値測定状況 (ダム上流から望む)

5.2 揚程高の変化に伴なう気泡と気化現象

測定結果を表-2及び図-9に表す。表-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 6m までは配管内に変化は無く、揚程 7m 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-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 7.5m で流れの分断が確認されたが、流れは継続していて流量の最大値4.03 m³/min (揚程 6m)に対し3.60 m³/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-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9.25m 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

9.05m, 吸い込み側 8.55m 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 7.0mを超えた時点で増加割合が小さくなり、その後は 90kPa 付近でほぼ一定となった。

表-2 揚程高と頂部圧力・流量の結果表

		頂部原	ェーー Eカ	気泡発生時					
揚程(m)	流量(L/s)	水柱換算 (m)	kPa	吐口側水柱 高さ(n)	吐出側管内の観察				
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	-	揚程を上げると、分断された水面は				
8.50	2.66	-9.22	-90.4	_	一定の高さ (水柱10.4m~10.8m) を維				
8.75	2.25	-9.26	-90.8	-	持するように挙動する。 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。				

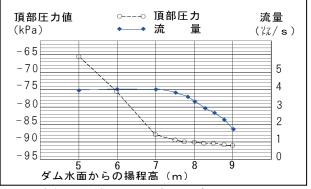


図-9 頂部圧力と流量の変化表



図-10 揚程高 7.0mで流下する微量の気泡

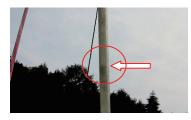


図-11 空洞が形成された流れの分断部分

5.3 流量測定方法

流量測定は、底辺 $1.0m \times$ 底辺 $1.0m \times$ 高さ 0.5m = 容積 500 %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-2)。実験当初から $4.0\ell/s$ とほぼ一定の数値を保っていたが揚程高が 7.0m 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 9.0m までで

あった (表-2), (図-9)。

5.4 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7.0m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.「呼び水サイフォン排水装置」による排水計画 6.1 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と排水量を土木工学ハンドブック⁴⁾を参考にして(表-3)、(図-12)のように算出した。

表-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

20	表	ξ−3	1-1		水頭	差と延り	長による	る排水	量(m³/	/min)			
大調	延	長	(m)	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
Total Continue			20										
理 16	4	de l	18									7.72	7.38
12	ᅵᅵ										7.66	7.28	6.96
10	径	生										6.81	6.51
# 作位 1	Φ	-										6.31	6.03
表 3-2 水頭差と延長による配管頂部圧力(m) 表 3-3 3.56 3.27 3.05 2.86 2.71 2.55 2.8 4.96 4.96 4.97 4.95 3.83 3.66 3.27 3.05 2.86 2.71 2.55 3.84 4.96 3.93 3.56 3.27 3.05 2.86 2.71 2.55 3.84 3.94 3.94 3.94 3.94 3.94 3.94 3.94 3.9	:00											5.76	5.50
(m) 4 7.46 6.31 5.56 5.67 5.28 4.96 4.99 4.44 2	mm H	位										5.15	4.92
表 3-2 水頭差と延長による配管頂部圧力(m) 接換												4.46	4.26
表-3-2 水頭差と延長による配管頂部圧力(m) 20	(n	m)	4	7.46	6.31	5.56	5.03	4 63	4.31	4.05	3 83	3 64	3.48
選手 (m) 20 40 60 80 100 120 140 160 180		- 1 H											
1			2									2.57	2.46
大調		-	3-2	5.28	4.46 水頭差	3.93 と延長	3.56 による	3.27 配管J	3.05 頁部圧	2.86 カ(m)	2.71	2.57	2.46
日		-	3-2 (m)	5.28	4.46 水頭差	3.93 と延長	3.56 による	3.27 配管J	3.05 頁部圧	2.86 カ(m)	2.71		
### ### ### ### ### ### ### ### ### ##	延	長	3-2 (m) 20	5.28	4.46 水頭差	3.93 と延長	3.56 による	3.27 配管J	3.05 頁部圧	2.86 カ(m)	2.71	2.57	2.46
中 注 12 -9.40 -9.80 -8.84 -8.64 -8.4 10 -9.36 -9.00 -8.73 -8.53 -8.37 -8.2 10 -9.31 -8.89 -8.60 -8.39 -8.22 -8.09 -7.9 10 -9.31 -8.89 -8.60 -8.39 -8.22 -8.09 -7.9	延	長水	B-2 (m) 20 18	5.28	4.46 水頭差	3.93 と延長	3.56 による	3.27 配管J	3.05 頁部圧	2.86 カ(m)	2.71	2.57	2.46
mm ⊯ A	延力弱	長水頂	3-2 (m) 20 18 16	5.28	4.46 水頭差	3.93 と延長	3.56 による	3.27 配管J	3.05 頁部圧	2.86 力(m) 140	2.71 160 -9.19	2.57 180 -9.23	2.46 200 -9.03
HW.	延加速	長水頂	B-2 (m) 20 18 16 14	5.28	4.46 水頭差	3.93 と延長	3.56 による	3.27 配管刀 100	3.05	2.86 (m) 140 -9.14	2.71 160 -9.19 -8.92	2.57 180 -9.23 -8.98	2.46 200 -9.03 -8.81
平世 0 000 070 040 000 004 700 700 77	延 口径 Φ	長水頂	3-2 (m) 20 18 16 14	5.28	4.46 水頭差	3.93 と延長	3.56 による 80	3.27 配管刀 100 -9.40	3.05 頁部圧 120 -9.08	2.86 カ(m) 140 -9.14 -8.84	2.71 160 -9.19 -8.92 -8.64	2.57 180 -9.23 -8.98 -8.73	2.46 200 -9.03 -8.81 -8.58
0 -9.23 -8.13 -8.42 -8.20 -8.04 -7.92 -7.82 -7.7	延 力或差	長水頂差	3-2 (m) 20 18 16 14 12	5.28	4.46 水頭差	3.93 と延長 60	3.56 による 80 -9.36	3.27 配管I 100 -9.40 -9.00	3.05 頁部圧 120 -9.08 -8.73	2.86 カ(m) 140 -9.14 -8.84 -8.53	2.71 160 -9.19 -8.92 -8.64 -8.37	2.57 180 -9.23 -8.98 -8.73 -8.49	2.46 200 -9.03 -8.81 -8.58 -8.36
(m) 4 -9.08 -8.49 -8.16 -7.95 -7.80 -7.69 -7.61 -7.55 -7.5	延 力或差	長水頂差	3-2 (m) 20 18 16 14 12	5.28	4.46 水頭差	3.93 と延長 60	3.56 による 80 -9.36	3.27 配管I 100 -9.40 -9.00	3.05 頁部圧 120 -9.08 -8.73	2.86 カ(m) 140 -9.14 -8.84 -8.53	2.71 160 -9.19 -8.92 -8.64 -8.37	2.57 180 -9.23 -8.98 -8.73 -8.49 -8.24	2.46 200 -9.03 -8.81 -8.58 -8.36 -8.13

ここで, (表-2) の微量な気泡が混入し始めた揚程高 7.0m では水柱換算-8.97m, 頂部圧力-88kPa, 流量は 4.0 m³/s と減少傾向になる手前であるため, 頂部圧力の水柱換算の検討基準数値を-8.97 ≒-9.0m とした (表-3-2)。

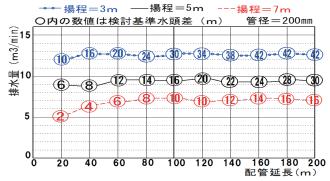


図-12 揚程と配管延長と排水量の関係図

計算に際し吸水側の揚程高は 7m, 5m, 3m の 3 段階で算出した。また配管延長の単位はサクションホースの 20m 単体長さに合わせて $20m\sim200m$ として試算した。吸水側勾配を 1:2 として揚程 7m の場合 15m の吸水側ホース配管を必要とする。

対象とする天然ダムの規模に応じて(表-3),(図-12)を参考にして①水頭差,②排水ホース配管延長,③排水量,④多条配管本数,⑤仮貯水タンクの大きさを試算し計画することができる。

6.2 具体的な排水計画の試算例

2011 年に和歌山県田辺市熊野 (いや) で発生した天然ダムの規模 (近畿地方整備局調査結果: 2011/9/10 時点) は堰止め高さ 60m, 堰止め長さ 250m となっていた。堰き止め湖への流入量を仮に 1.25 m³/s とすると 75 m³/min の流入量になる。天然ダム天端での揚程高 7m に水位が上昇してからの排水作業を起動水位とし 10m 毎に水頭差を増大した場合の排水ホースの各配管延長図 (図-13) を作成し (図-12), (表 3-1) と併せて検討する。

●排水ホース配管最短延長:(図-12)でわかるように同一揚程高の場合,配管の延長を伸ばして水頭差を大きくしても排水量には大きな増大が見込めないので,最小限の設備で最大の排水作業ができる排水設備を検討する必要がある。

揚程高 7mの (表-3-1) の排水量とし。配管延長 120m (6.81 m³/min) と 140m (7.01 m³/min) では排水量は 3%程度と殆ど差が無い。ただし (図-12) で延長 140m の検討基準水頭差は 12m であり (図-13) のように延長を 140m とし水頭差を 20m とすると排水量効率が低下する。最適延長は 120m で検討基準水頭差 10m, 1 条あたりの排水量は (図 3-1) より 6.81 m³/min となる。流入量 75 m³/min÷6.81 m³/min=11.01≒11 条配管となる。サクションホースの必要本数は、配管延長 120m×11 条=1320m÷20m/本=66 本となる。

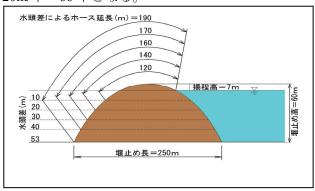


図-13 水頭差毎の配管延長想定図

●水位上昇と排水ホースの延長効果:ただし、降 雨等により堰止め湖の水位が上昇した場合、揚程 高が減少し水頭差は大きくなり排水量が増大する。 揚程高 3m となった場合は (表-4) により検討基準水頭差は 34m となるため地形的条件が許せば同じ 120mの延長のまま吐出し口の位置を下げて水頭差 34m を確保して排水量 12.56 m³/min として約1.84 倍にすることができる。一方,地形条件によりこの吐出し口を下げることができない場合は配管延長を 40m追加して 160m とすることで水頭差を 42m として排水量を 12.40 m³/min とする方法も考えられるが,(図-12)に表すように排水量の増減は配管延長よりも揚程高が大きく影響するため,延長を 160m としても排水量は 120m の 12.56 m³/min と殆ど変わらない。このため,現地の地形条件を判断して追加作業方法を選択することとなる。表-4 揚程高 3m の配管頂部圧力制限を考慮した排水量表

揚程3mの場合の水頭差と延長による排水量表(m³/min)

	延長	(m)	10	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
		44									12.70	12.08	11.54
		42									12.40	11.80	11.27
		40								12.80	12.11	11.51	11.00
		38								12.47	11.80	11.22	10.72
		36							12.93	12.14	11.48	10.92	10.44
		34							12.56	11.80	11.16	10.62	10.14
		32						13.09	12.19	11.45	10.83	10.30	9.84
П		30						12.67	11.80	11.08	10.48	9.97	9.53
径	水	28						12.24	11.40	10.71	10.13	9.63	9.21
Φ	頭	26					12.83	11.80	10.98	10.32	9.76	9.28	8.87
200		24					12.32	11.34	10.55	9.91	9.38	8.92	8.52
mm		22				13.04	11.80	10.85	10.10	9.49	8.98	8.54	8.16
		20				12.44	11.25	10.35	9.63	9.05	8.56	8.14	7.78
		18			13.38	11.80	10.67	9.82	9.14	8.59	8.12	7.72	7.38
		16			12.61	11.12	10.06	9.36	8.62	8.09	7.66	7.28	6.96
		14			11.80	10.41	9.41	8.66	8.06	7.57	7.16	6.81	6.51
		12		12.93	10.92	9.63	8.71	8.02	7.46	7.01	6.63	6.31	6.03
		10	13.19	11.80	9.97	8.79	7.96	7.32	6.81	6.40	6.05	5.76	5.50
		8	11.80	10.55	8.92	7.87	7.12	6.55	6.09	5.72	5.41	5.15	4.92
		6	10.22	9.14	7.72	6.81	6.16	5.67	5.28	4.96	4.69	4.46	4.26
		4	8.34	7.46	6.31	5.56	5.03	4.63	4.31	4.05	3.83	3.64	3.48
		2	5.90	5.28	4.46	3.93	3.56	3.27	3.05	2.86	2.71	2.57	2.46

●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 m²×120m×2/3=2.51 m²の容積となる。メタルフォームで底辺1.5m×1.5m×高さ1.8m(0.3m×6段)=4.05 m²(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。

6.3 資器材の調達数と施工費試算について

前記延長 L=120m, 水頭差=10m の呼び水サイフ オン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 サクションホースΦ200 mm: 20m/本, 66 本
- ② ホース接続金具Φ200 用 132 個
- ③ メタルフォーム 1.5m×0.3m 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加えてもらいたい。

また、Φ200mm 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Φ200mm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てご検討願いたい。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

砂防えん堤での「呼び水」方式のサイフォン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。

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) 社団法人土木学会: 土木工学ハンドブック第四版 I,p491, 1989.11