

CMI 報告

大規模災害対応サイフォン排水の 現場適用に向けて

佐々木 隆男

1. はじめに

近年、地震や豪雨等の自然災害により大規模な河道閉塞が形成されており、この崩壊による二次災害を防ぐため仮排水路設置等の対策工事がなされている。この工事中は湛水面の上昇を抑制するための緊急排水が行われ、従来では排水ポンプによる緊急排水が行われてきた。この排水ポンプを運転するためには発電機用燃料が必要となるが、道路が寸断された状況ではヘリ空輸による燃料補給も必要となり、平成16年新潟県中越地震では日当たり約54万円の費用が必要であった。このため国土交通省砂防部などから「大規模な河道閉塞（天然ダム）の危機管理のあり方（提言）」において、排水方法の一つとしてほとんど動力を必要とせず排水が可能となるサイフォン排水が提言された。

しかしサイフォン排水は導入実績がなく、具体的な設置方法や揚程の限界等が確認されていない。このような背景から、国土交通省において実大規模の大口径管を使用したモデル実験業務の技術提案が公募された。当協会はこの業務を受注して実験に参画した。実

験の結果、サイフォンの起動・停止に係るノウ・ハウや適用限界は圧力水頭で -8.7 m （実験配管の揚程では 7 m ）であることなどが確認された。

本稿では、モデル実験の概要を紹介し、災害現場でのサイフォン排水実施に係る課題と提案を述べる。

2. モデル実験

モデル実験では以下の事項を確認するものとした。

- ①管内の充水方法とサイフォン起動方法
- ②配管内圧力と流量
- ③負圧下における気泡の発生と配管挙動

また、モデル実験とは別に管材質と継ぎ手部の信頼性を確認する要素試験を行った。

(1) モデル実験の実験設備

モデル実験は、多摩川河口から約 22.4 km 地点に位置する二ヶ領宿河原堰右岸に於いて実施した（写真—1参照）。管路は堰上流水面から取水し、最大 7 m の高さを乗り越えて河床に排水するものとした。延長 75 m の配管には、人力で設置できる重量を考慮しつつできるだけ大容量の排水が可能な口径 $\phi 400\text{ mm}$ を選択した（図—1参照）。

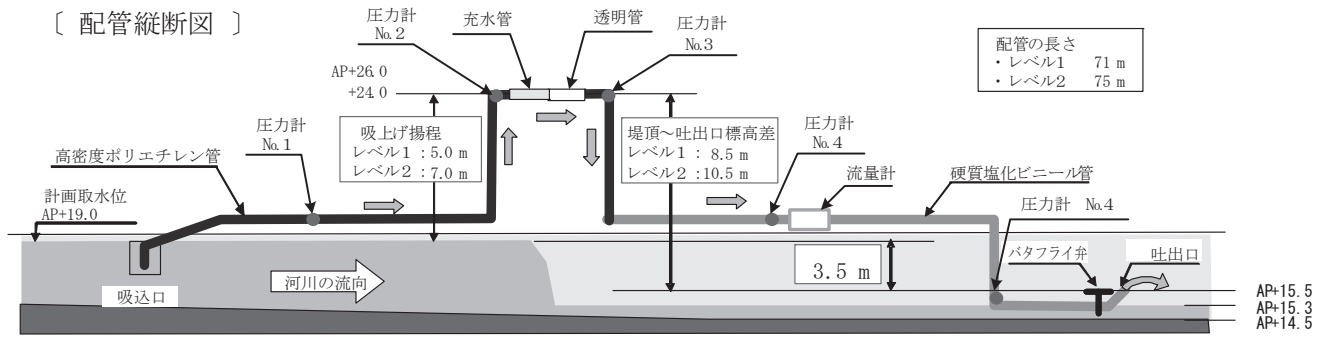
吸込み部はベルマウスではなく単純な曲管構造にして、ゴミ防護スクリーンを設けた。サイフォン頂部には管内を水で満たすための注水ポンプ及び真空ポンプ接続口を設けた充水管を設置し、流水の状況を観察できるように長さ 1 m の亚克力透明管を接続した。

吐出部にはサイフォン起動に際して管内を充水するため、排水の停止あるいは流量調節のため止水バルブ（バタフライバルブ）を設けた。

配管には、配管内圧力計5箇所、超音波流量計1箇所と振動加速度計を設置し、止水バルブ開度との関連を調べた。また、実験時の気象観測として大気圧、気温、湿度を測定した。



写真—1 モデル実験の全景



図一 1 モデル実験の配管縦断面図と圧力測定点

(2) 実験結果

① 配管内充水とサイフォン起動方法

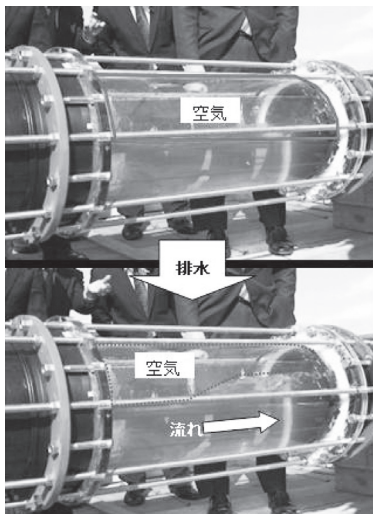
配管内の充水は、水中ポンプ (0.2 m³/min) と真空ポンプ (-93 kPa) を併用と、真空ポンプ単独運転の二通りとした。ほぼ満水となった所要時間は表一のとおりで、配管の気密性が確認できれば真空ポンプ単独運転で短時間に充水は完了できることが確認された。

表一 1 充水所要時間 (ポンプ運転時間)

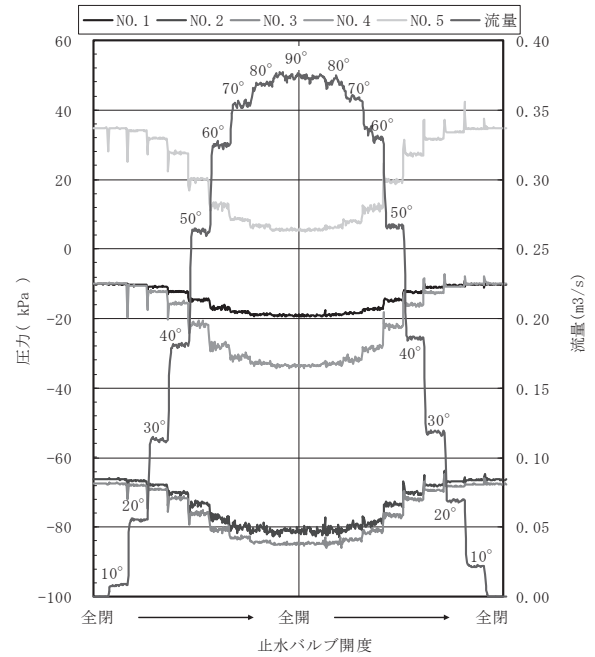
	水中ポンプ(WP)	真空ポンプ(VP)	合計
WP, VP 併用	約 29分	約 6分	約 35分
VP 単独	-	約 13分	約 13分

また、充水完了後に止水バルブを開放すれば、サイフォンは起動する。バルブの開度と排水量 (流量) の関係を確認した (図一 2 参照)。

なお、この実験では、配管最高地点の管内に管の断面半分程度といった大量の空気が残っている場合でも、サイフォン起動には支障がないこと、流量 0.17 m³/s (流速 1.4 m/s) 以上となれば空気は水流に載って排出されることを確認した。



写真一 2 管内空気の排出状況



図一 2 配管内圧力と流量測定結果

② 配管内圧力と流量

吸い上げ揚程 7 m の配管内圧力と流量の測定結果を示すと図一 2 のとおりで、配管内圧力は計画取水水面 (図一 1 参照) より高い位置では負圧、低い位置では正圧である。負圧の最も大きい配管最高地点は、水を流さない静圧状態では揚程に等しい圧力を示し、流量が増えると負圧はより大きくなることが確認された。

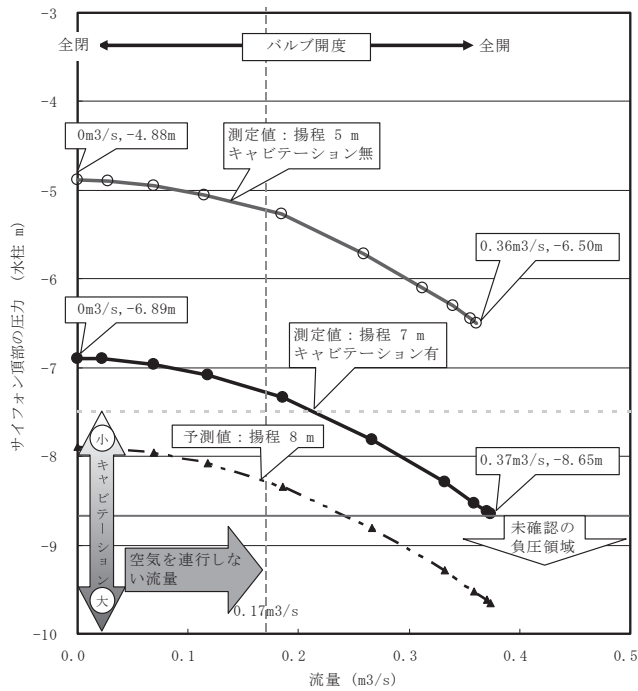
また、実験結果の配管内圧力や流量は、水理学の計算値に近いものとなった。

③ 負圧下における気泡の発生と配管挙動

揚程 7 m では静圧状態でもキャビテーションと呼ばれる気泡の発生が確認されたが、この実験では、最大流量時でも気泡の影響による管の異常振動等は確認されなかった。

(3) 実験結果の整理 (吸い上げ揚程の限度)

配管最高地点の圧力 (圧力水頭に換算) と流量の関



図一 3 配管最高地点圧力と流量

係を再整理すると図一 3 のとおりである。

図には揚程 8 m の予測値を示したが、バルブを半分程度開いたところで、実験で確認された負圧よりも大きな状態となり、これ以上バルブを開けばキャビテーションも激しくなることが予測され、配管への悪影響が予想される。このような場合、流量を少なく制御して対策を行うことが必要となる。

モデル実験の範囲では、配管径に見合う流量を得るための吸い上げ揚程は 7m 程度が適用限度と考えられる。

3. 配管継ぎ手の要素試験

災害現場に配置される配管は、地表の凹凸や余震による変形に追従する特性が求められる。これを確認するためモデル実験で用いた 2 種類の樹脂製管について曲げ試験を実施した。

試験は、管長 20 m で管断面 90% を水で満たした後真空状態としたもので、管や継ぎ手部に变形が見られるまで、管の両端を移動式クレーンで吊り上げるものとした。

試験の結果、高密度ポリエチレン管は両端を 4 m 吊り上げた時点で、管本体に座屈を生じたが気密性は確保されていた。この時の管の曲率半径は $R = 8.9 \text{ m}$ であった。

硬質塩化ビニル管は、両端を 2.5 m 吊り上げた時点で管自体の变形は僅かであるが、接着継ぎ手部が抜け



写真一 3 高密度ポリエチレン管の曲げ試験状況



写真一 4 硬質塩化ビニル管の曲げ試験状況

出し、管の気密性が低下した。この時点の管の曲率半径は $R = 13.9 \text{ m}$ であった。

この結果から、硬質塩化ビニル管を用いる場合は可とう性継ぎ手の併用も必要と思われる。

4. 災害現場への適用に当たっての課題

これまでは河道閉塞でサイフォン排水の導入実績はなかったが、モデル実験から揚程 7 m、配管径 $\phi 400 \text{ mm}$ 、配管長 75 m のサイフォン排水手法が確立され、この条件が適用される災害現場であれば実用性は高い。しかし、実現場へ投入するには次の 3 つの課題がある。

- ①モデル実験で使用した高密度ポリエチレン管は継ぎ手部をフランジとしたことで重く、管を持ち上げるだけでも作業員 6 名は必要であるため、配管作業にはクレーン等の重機の使用が前提となる。ただし、実際の災害現場は巨石も点在するような不整地であるため、重機の使用は難しく、何らかの対策が必要と考えられる。
- ②大口径の配管は特注品であるため、入手するまで約 2～3 ヶ月必要である。緊急排水の観点から入手は課題となる。
- ③サイフォン排水は配管の気密性が重要で、配管設置後に外力を受けて変形する恐れがある時には、硬質塩化ビニル管の接着継ぎ手は、要素試験で見られたように管の抜けだしを生じて気密が保てなくなる。このため要所に可とう性継ぎ手が必要となるが、可とう性継ぎ手は納期 20 日程度を必要とする。

5. 解決策の提案

先の課題に対して次の解決策の提案を行う。

- ①湛水面の水位変動を考慮すれば、吸い込み側には可とう性に優れた高密度ポリエチレン管が適している。配管作業が人力となる場合は、管質量を考慮して小口径の配管とし、必要流量を確保するために多条配管とする方法を提案する。通常流通している管口径の上限はφ200 mm程度であるが、この口径での多条配管サイフンの実証を行い、発災時の速やかな対応方法を確立する必要がある。
なお、中部地方のある施工会社においては、砂防ダム堰堤の高低差を使い、φ200 mm サクシオンホースにより、災害対策を前提とした「サイフン排水の無電力始動実験」を計画している。その結果が何らかの形で報告されることを期待している。
- ②重機の使用が可能な現場では、1条で必要流量が確保できる大口径が適している。大口径管の入手には長時間を要することから、緊急に対応するためには管の備蓄が必要である。備蓄基地の整備が望まれる。
- ③継ぎ手は配管ルート変更の容易さや、使用後の保管を考慮すればフランジが優れる。高密度ポリエチレン管は口径 200 mm 程度であればフランジ管の入手

が5日～7日で可能である。解決策①との重複になるが、可とう性を特徴とする高密度ポリエチレン管による、短時間でのサイフン排水立ち上げの実証機会として、定期的な実施訓練を行うことが望ましい。

6. おわりに

これまではポンプで排水するしかなかった緊急排水であるが、燃料補給を必要としないサイフン排水の可能性が明らかとなり、排水手法の選択肢が一つ増えたと言える。この技術を少しでも早く現場へ導入していただけるように、モデル実験での課題とその対応策を述べさせていただいた。大口径機材の備蓄および、短時日で納入可能な配管材でのサイフン構築の両面から災害への備えをお考えいただければ幸いである。

JCMA

【筆者紹介】

佐々木 隆男（ささき たかお）
（一社）日本建設機械施工協会
施工技術総合研究所 研究第四部
専門課長

