

水撃ポンプ内の発生水撃圧力と伝播速度について

(株)ワイアンドケイ企画 ○清水 康史
日大生産工(院) 濱田 龍寿
日大生産工 遠藤 茂勝

1. まえがき

近年の目ざましい経済発展は、その弊害とも言える地球温暖化やオゾン層の破壊等、地球規模の環境破壊を伴うことで遂げられてきたといっても過言ではない。この地球規模での環境問題は、早急な対策が必要であるため、最近では色々な施策が講じられるようになってきた。

CO₂などの排出物の抑制を課題としたクリーンエネルギーへの転換、これまでの生産・廃棄の社会システムから「活用・再生」への転換による持続可能な循環型社会の形成等が代表的な施策といえる。

これから述べる「水撃ポンプ」に関しては、無動力で駆動する特性を考慮すると、クリーンエネルギーに属するものである。

一般的に水撃ポンプは、長時間の稼動が可能であり、揚水を目的としたものだけでも以下のような利用がある。

簡易水道 親水やせせらぎの用水を揚水
防火用貯水池への揚水 山小屋、キャンプ場への用水供給 工事現場への用水供給
水田、畑地等への灌漑用水の供給
酪農、畜産等の用水供給 果樹園等の各種栽培への用水供給 ビルの屋上緑化に対する給水施設 発展途上国における水不足を抱える電気のない地域への導入 水撃ポンプによる発電施設 環境問題対策等が考えられる。特に、発展途上国における利用は、現地で入手が可能な資材を用いての製作が可能であるため期待されている。

このように水撃ポンプの利用は、これまでいくつかの発展途上国において報告されているが、適正技術として、さらに発展途上国のみならず国内においても多様な利用が今後期待されるものとする。

国内では、湖沼や河川等の閉鎖性水域での水質に係わる環境問題が特に取り込まれている。生活排水、工場排水、農畜産排水等の流入による富栄養化や地球温暖化等による水温の上昇等を起因とする藍藻類の異常発生がそれにあたる。この藍藻類の異常繁殖により、水道水質の低下、発生地域での悪臭、不衛生、景観の悪化などさまざまな環境問題が発生する。藍藻類は、このような水域の水面に繁殖する藻類で、一般には「アオコ」と呼ばれている。

このアオコ問題の中長期的な対策は、下水道整備や細菌による分解等によるものであるが、一方、短期的な対策としては、超音波照射、高電圧パルス照射、薬剤処理、オゾン処理、キャピテーション処理等が試みられてきた。この短期的な処理方法の選択は、これまで各管理者の試行要因によるものであり、いずれも、効果的な処理方法としての確立していない。

そこでこれらの問題の対処方法として、水撃ポンプによる水撃圧力等の特性を利用することが考えられる。

水撃ポンプは導水管内で発生する水撃圧の作用で供給水頭の10～20倍の高揚程の揚水が可能で、流水が供給される限り何年でも動き続けるポンプである。揚水流量は少ないとしても24時間連続運転が可能であり、その意味ではかなりの量の揚水ができる。しかし、このような水撃ポンプはあまり実用化されておらず、今後の利用に向けて詳細な検討が望まれる。本研究では基礎的な研究として、ポンプの作動に関係する弁角度や、導水管長や勾配等の影響について検討することを目的とする。

Study on the Water Hammer Pressure and Propagation Velocity
due to Hydraulic Ram

Yasushi SHIMIZU, Tatsuhisa HAMADA and Shigekatsu ENDO

2. 実験概要及び結果

本来、水撃ポンプは、タンク部に揚水管を取付けて導水管を流れてきた水の一部を揚水するためのものであるが、本実験ではFig-1に示すような実験装置を用いて水撃ポンプの特性について検討を行った。

貯水槽の水面から弁室中心までの落差である水頭差を3.0m、塩ビ管を用いた導水管径 ϕ 50mm、導水管長15.0m、導水管勾配 9° ($=15.8\%$)、タンク容量は150.0ℓとした。さらに、貯水槽から水撃ポンプまでの各点の圧力を計測するために、タンク内に1箇所(0ch)、弁室内に1箇所(1ch)、導水管内は弁室から3.0mピッチで5箇所(2ch~7ch)、導水管隅角部に1箇所(8ch)の計8箇所に圧力計を設置した。一方、排水弁の取付角度は鉛直からの角度で表す4ケース($\theta = 50.09^\circ$ 、 63.00° 、 76.00° 、 92.28°)とした。また、弁室と導水管の継ぎ手部には構造上可撓継ぎ手を設けた。

水撃ポンプ内で発生する水撃圧は、上流側の供給タンクから導水管内を自然流下した水が、ポンプ内に設置された排水弁を急激に閉じることによって生じるもので、瞬間的な圧力変化を伴う圧力記録から特性を検討する。

水撃圧は弁室内で発生するので、まず弁室内の圧力記録を拡大して示したものがFig-2

である。これは、弁室内(1ch地点)の圧力を時系列で示したもので、横軸に時間 t 、縦軸に圧力 P をとったものである。この記録のように水撃圧は突然大きくなり、わずかの時間で急激に低下するのが特徴である。図中のA点は導水管内の流速が増大し弁が閉じた瞬間の時間で、そのことによって圧力が急激に増大することが分かる。そのピーク圧がB点でこの場合は弁角度が $\theta = 63.00^\circ$ の場合であるが、水撃圧力は約250kPaを超えることが分かる。C点では大気圧より圧力が低く負圧となっており、そのときに弁は開くものと考えられる。その結果D点より再び流水が始まり、その後弁が閉鎖する間の流水のわずかな圧力が記録されている。D~E点の圧力記録が不安定なのは、弁の周りを水が流れるためにやや脈動的な圧力となっているためと考えられる。やがて流速が増大し、弁の流水抵抗が大きくなって弁は閉じることとなり、再び水撃圧が発生する。この繰返して水撃ポンプは連続的に水撃圧を発生させる。

弁室内の連続的な圧力記録を示したものがFig-3である。このように弁の運動が規則的になると、ほぼ一定の周期で一定圧力の水撃圧が発生することがわかる。

そこで、これらの記録から弁室内の弁角度

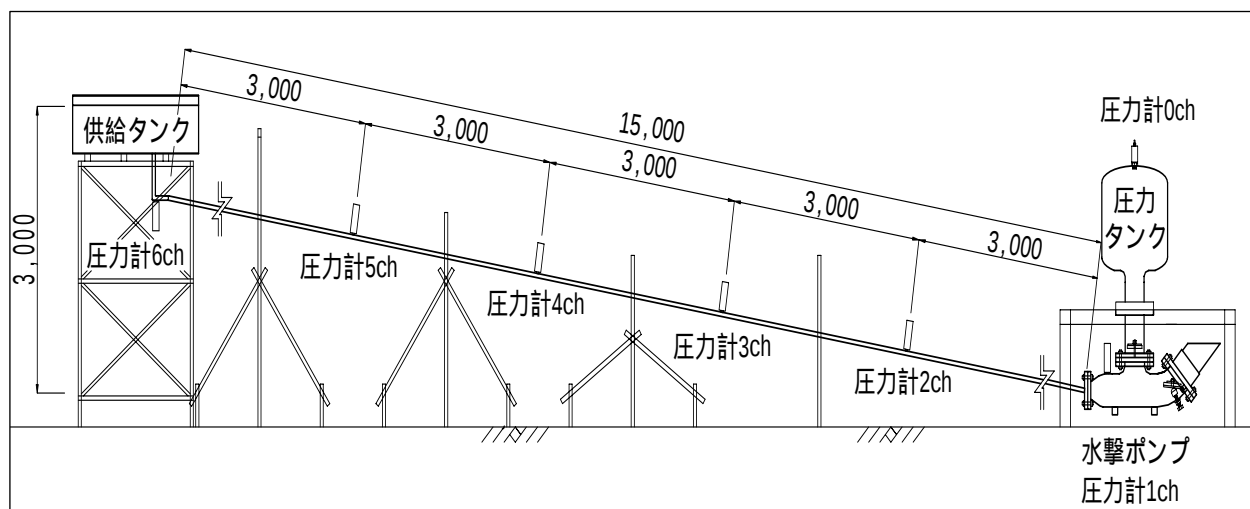


Fig-1 水撃実験装置概略図

の違いによる水撃圧の結果をまとめたものがFig-4である。これは、弁角度による平均水撃圧を表したもので、弁角度が 50° から 63° 程度では水撃圧はほぼ近い値を示していることがわかる。しかし 75° 程度になると、水撃圧は急激に増大することが分かる。しかし、 90° 近くにしても水撃圧はあまり変わらないことが認められる。このことは弁の傾斜角度により流速が変わること示しており、約 70° 程度であれば導水管内の流速が大きくなり、その結果大きな水撃圧となることが分かる。つまり弁角度が大きくなると流れによる弁の閉鎖時の慣性モーメントが大きくなるために、水撃圧が増大するものと考えられる。したがって、大きな水撃圧を得るためには弁角度を 70° 以上にすることが分かる。

このような水撃圧の伝播圧力を示したものがFig-5である。この図は1chと4chの12m離れた地点の圧力記録を、時間軸をずらして重ねたものである。このように圧力値は異なるものの2地点の伝達圧力周期はほとんど変わらないことが分かる。これは、水撃圧が極めて速い速度で伝達することを示している。この傾向は弁角度によっても全く同様で、一般に水撃圧は極めて伝達速度が速いことが分かる。

そこで、次に水撃圧の伝播速度について検討したものがFig-6である。この図は1chと4chの記録をもとに水撃圧が発生したときのそれぞれの時刻を求めるためのもので、二つの地点の圧力値の変動から水撃圧が伝わった時刻が判定できるので、それらから伝播速度を算出した。Fig-5で示した、水撃圧が発生した瞬間付近の圧力時系列の時間軸を拡大して示したものがFig-6である。弁室内（1ch）で水撃圧が発生し、弁室内の圧力が上昇する瞬間が時刻 であり、弁室内から12m離れた地点（4ch）に圧力が伝達され導水管内の圧力が上昇し始める瞬間の時刻が である。区間距離12mを伝達する時刻は、 と の時刻の差と距離との関係で圧力伝播速度が求まる。

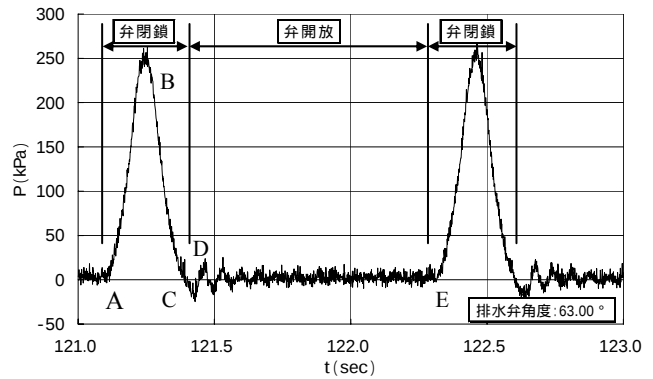


Fig-2 弁室内の水撃圧の時系列

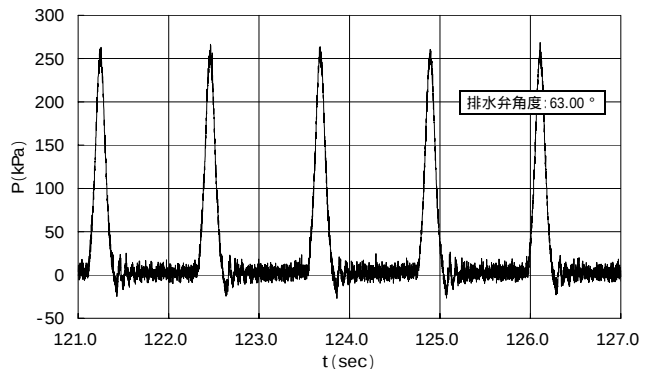


Fig-3 弁室内の水撃圧の時系列

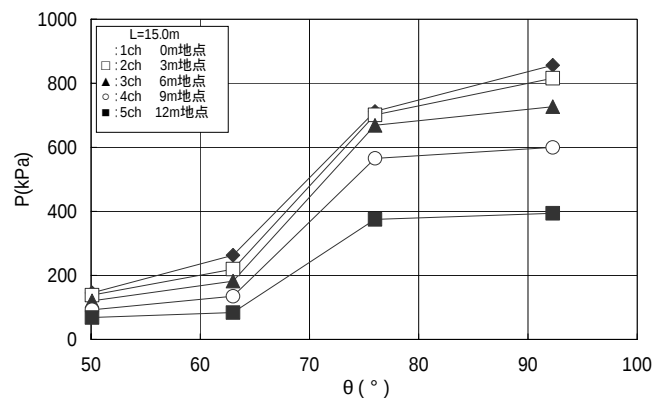


Fig-4 排水弁角度と最大水撃圧力

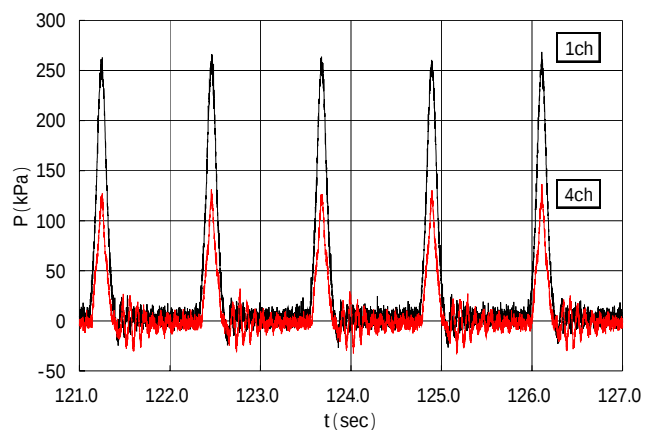


Fig-5 圧力時系列 (弁室内, 導水管内)

このようにして求めた圧力伝播速度 V を弁角度に対して示したものをFig-7である。横軸に弁角度を縦軸にそれぞれに対応する伝播速度を示したもので弁角度が 75° までは伝播速度がほぼ一定であるが、弁角度が 90° では著しく増大することが分かる。これは水撃圧が大きいことを示すもので、伝播速度は弁角度で支配されることがわかる。

次に圧力記録から時間当たりの圧力増加率を検討したものがFig-8で圧力速度 V_p を示したものである。これは衝撃の程度を調べたものである。横軸に弁角度をとって縦軸に圧力速度を示したものである。この結果では圧力速度が最も大きいのは弁角度が 75° の場合でそれよりも弁角度が大きいても小さくても低下することが分かる。このことは弁の運動速度に関係するものと考えられる。すなわち、弁の周囲を流体が流れるときの抗力との関係で、弁の運動が支配されるので、これについては弁の運動を詳細に検討する必要がある。

3. まとめ

以上のように水撃ポンプ内で発生する水撃圧と伝播速度は、極めて大きいことが判明した。そして、この水撃特性について判明したことをまとめると、以下のように要約される。

- (1) 水撃ポンプ内で発生する水撃圧は、弁の設置角度が大きくなるほど増加する。
- (2) 水撃ポンプ内の発生水撃圧力は、弁室内が最も大きく、弁室から離れるほど導水管内の圧力は低下するが、伝播速度は殆ど変わらない。
- (3) 水撃圧の衝撃の程度を表す圧力速度は大きく、これらの作用を応用する効果は大きいといえる。

以上のような水撃特性結果から、揚水機能のみならず多種多様に応用することが可能と考えられる。

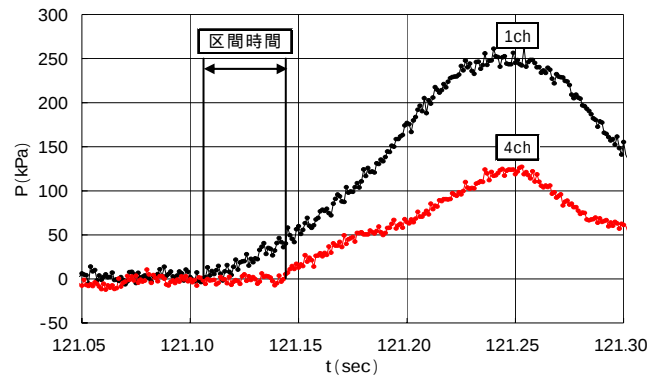


Fig-6 地点における水撃圧

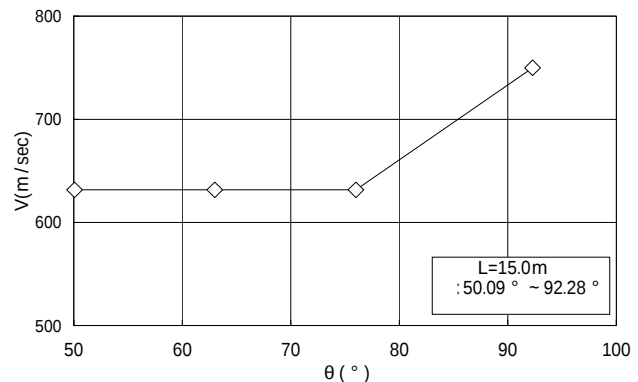


Fig-7 排水弁角度と伝播速度

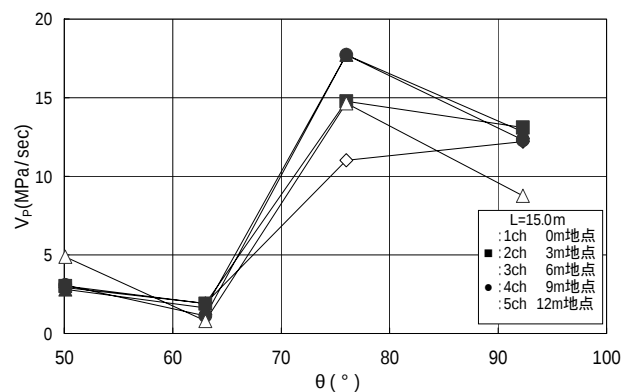


Fig-8 排水弁角度と圧力速度

「参考文献」

- 1) 鏡 研一、井出 努、牛山 泉：水撃ポンプの製作ガイドブック、パワー社（1999）pp.11～15
- 2) 秋元徳三：水撃作用と圧力脈動、日本工業新聞社（1972）p.13
- 3) 濱田 龍寿、石田 智宏、遠藤 茂勝：藍藻類の圧力処理について、日本大学生産工学部第39回学術講演会（2006）、p.77