

水平導水型水撃発生システムの水理特性について

日大生産工（院）
日大生産工

○平井 泰造
遠藤 茂勝

1.はじめに

これまでは、化石燃料や電力を駆動力源として多く使用してきた。低コストで容易に手に入れることで、これら燃料を利用し動力を得ることで、揚水する場合当たり前に利用してきた。

しかし今や、化石燃料の枯渇や環境汚染などの問題は深まる一方である。このままでは今後の持続可能な社会の発展は不可能であるということが認識されるようになった。エコノミーの工業文明から、エコロジー重視の文明へと世の流れが変化してきた。

その一つとして、管路流れでは好ましくない現象であるとされ対策がとられてきた水撃現象を、工学的な有効利用の試みがなされている。

この水撃現象の有効利用例の一つに、水撃ポンプによる揚水利用があげられます。水撃ポンプには落差のある流水を動力源とし

ていて、平地でも 30cm 程度の落差をとることが出来れば利用可能で、構造が簡単で低コストでの製作が可能、しかも燃料費がゼロという性質を持っている。

水撃現象とは管路において流体が流れている管内の弁を急激に閉鎖すると、管内の流速が減速し零となるため、管路系の圧力が急激に上昇する現象のことである。ぶつかったときに、振動と衝撃波に変換され、あたかも金槌で管を叩いたときと同じ音が発生することからウォーターハンマー（水槌）現象とも呼ばれている。

本実験の目的は、水頭値と弁角度を変えることによって水撃ポンプがどこまで作動するか実験を行い、その条件化で得られた周期、圧力、流量はどのように変化していくかをグラフ化し検討していく。

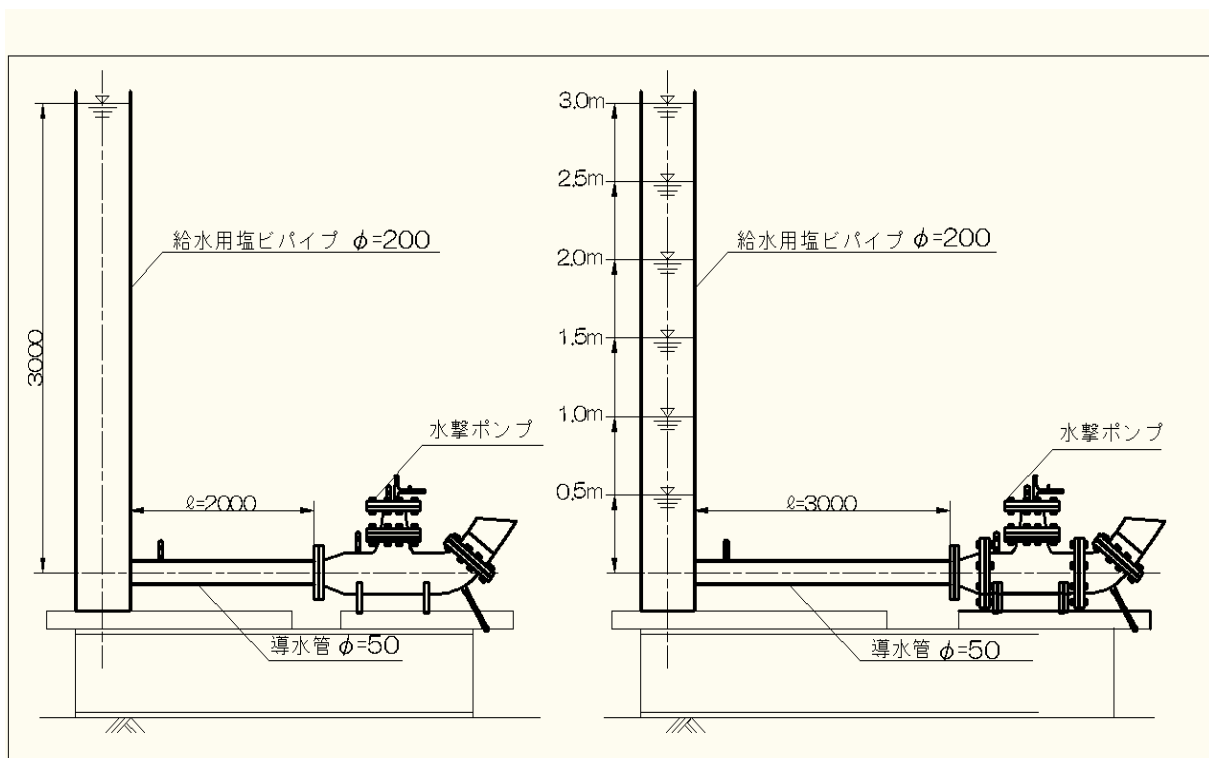


Fig.1 実験装置概略図

2.実験装置及び方法

本実験では水平導水型水撃発生システムの水理特性を調べるために、導水管の長さや排水弁角度を変えることで水撃現象が起こるのか検討し、実験において算出した水撃圧、周期、流量をグラフに表して検討する。

固定条件として圧力タンク容量 1ℓ、排水位アジャスタ長 30cm、導水管材質を塩化ビニルとする。変動条件として導水管長を $L=3.0\text{m}$ 、 2.0m 、 1.0m の 3 ケース、排水弁角度を $\theta=50^\circ$ 、 63° 、 76° 、 92° の 4 ケース、供給水頭は $H=0.5\text{m}$ 、 1.0m 、 1.5m 、 2.0m 、 2.5m 、 3.0m の 6 ケースとし、合計 72 ケースの実験を行った。

3.実験結果と考察

水撃ポンプの導水管長と排水弁角度を変えて水頭値を一定にしたときにポンプを作動させてポンプが動いた状態の記録を取った。

(1)水撃ポンプ作動状況

水撃ポンプを動かし水撃が連続して起こったか、弁が閉鎖した状態のままか弁が一度開いたがそのまま水が流れ水撃現象が起こらない状態かを調べた作動の結果を表-1、2、3 に示す。表の○、△、×は水撃装置の様子を表す。

○…水撃現象が連続して起こる

△…排水弁が閉じたまま、水撃現象が起こらなかった

×…排水弁は開いて、水は流れるが水撃現象が起こらなかった

表-1 の場合は排水弁角度 $\theta=50^\circ$ 以外の角度では高い確率で水撃現象が確認できた。排水弁角度 $\theta=50^\circ$ 、 63° では、すべて排水弁が閉鎖したまま水撃現象が起こらなかった状態である。そして、排水弁角度 $\theta=76^\circ$ 、 92° においては、排水弁が開放したまま水撃現象が起こらなかった状態である。

同様に表-2、表-3 の水撃ポンプ稼働状況は、 $L=2.0\text{m}$ では $L=3.0\text{m}$ の状況と近い結果が求められた。しかし $L=1.0\text{m}$ の場合は、すべて水撃現象が起こらなかった。これは流速が早すぎるため弁が閉じたままになってしまったためである。弁角度が小さくなるほど、弁の可

表-1 水撃ポンプ稼働状況($L=3.0\text{m}$)

		導水管長 $L=3.0\text{m}$			
		排水弁傾斜角度 ($^\circ$)			
		50	63	76	92
供給水頭 (m)	0.5	○	○	×	×
	1.0	△	○	○	×
	1.5	△	○	○	○
	2.0	△	○	○	○
	2.5	△	△	○	○
	3.0	△	△	○	○

表-2 水撃ポンプ稼働状況($L=2.0\text{m}$)

		導水管長 $L=2.0\text{m}$			
		排水弁傾斜角度 ($^\circ$)			
		50	63	76	92
供給水頭 (m)	0.5	△	○	×	×
	1.0	△	○	○	×
	1.5	△	△	○	○
	2.0	△	△	○	○
	2.5	△	△	△	○
	3.0	△	△	△	○

表-3 水撃ポンプ稼働状況($L=1.0\text{m}$)

		導水管長 $L=1.0\text{m}$			
		排水弁傾斜角度 ($^\circ$)			
		50	63	76	92
供給水頭 (m)	0.5	△	△	×	×
	1.0	△	△	△	△
	1.5	△	△	△	△
	2.0	△	△	△	△
	2.5	△	△	△	△
	3.0	△	△	△	△

動範囲は狭くなってしまふ。そのため、排水弁角度が小さくなると、多少の供給水頭であっても、閉鎖したままの状態となる。そこで、

導水管長 $L=3.0\text{m}$ と $L=2.0\text{m}$ における圧力 P 、流量 Q 、開放時間 T_0 について検討した。

(2) 供給水頭とポンプ作動周期

水頭差による実験結果から、どのような傾向が見られるのか確認するためにグラフを作成した。各パラメーターはそれぞれの弁角度を示したものである。

まず図-1、図-2 は供給水頭と弁の開放時間のグラフである。縦軸に弁の開放時間 T_0 を示し、横に供給水頭 H を示した。周期は弁が開放する時間を 10 回分取ったものの平均値である。こちらをしてみると、水頭差があがるにつれて、弁の開放時間が短くなることを確認できる。弁角度 $\theta=63^\circ$ の場合は急激に解放時間が短くなっている。しかし、角度 $\theta=76^\circ$ 、 92° の場合ではややゆるやかに解放時間が短くなっていくことが確認できる。水頭差と弁の開放時間は、水撃圧力が関係していると予測される。水撃圧力 P が大きくなると、流速も比例し大きくなる。従って、弁を閉める力が大きいと、早く弁が閉まり、開放時間が短くなると考えられる。つまり、1 開放時間あたりに排水される流量が少なくなる。図-1 と図-2 のグラフを比較すると図-1 のグラフではデータにかなりばらつきがある。

(3) 供給水頭と水撃圧力

次に、図-3、図-4 は供給水頭と水撃圧力のグラフである。横軸に供給水頭 H を示し、縦軸に水撃圧力 P を示した。このグラフを見ると、水頭差 H 、弁角度が上がるにつれて水撃圧力 P が上がっていることが確認できる。この結果から水頭差 H が上がることで、流速が加速していき、水撃圧力が上がることで流速と水撃圧力は比例することが確認できる。導水管長が 3.0m の状態では圧力の上がり方にぶれがあるが 2.0m ではきれいな比例のグラフになっている。

(4) 供給水頭と流量

次に、図-5、図-6 は供給水頭と流量のグラフである。縦軸に 1 開放時間当たりの排水流量 Q を示し、横軸に水頭差 H を示した。このグラフを見ると、供給水頭 H が上がるにつれ

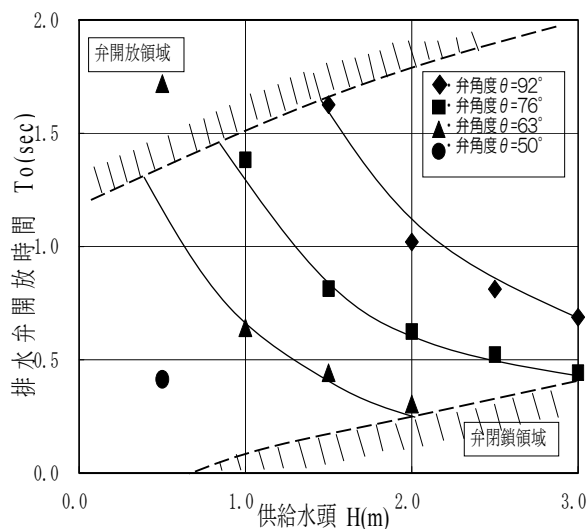


図-1 $L=3.0\text{m}$ の供給水頭と周期

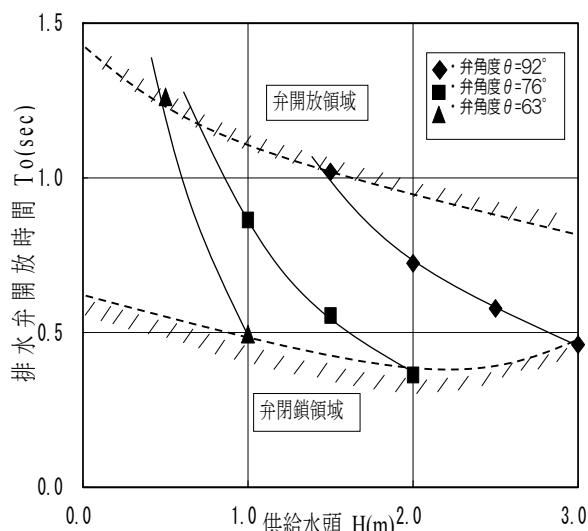


図-2 $L=2.0\text{m}$ の供給水頭と周期

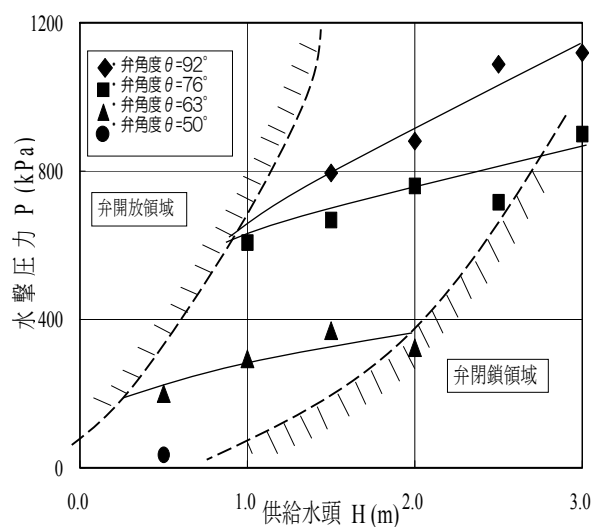


図-3 $L=3.0\text{m}$ の供給水頭と水撃圧力

て1開放時間当たり排水流量 Q は下がっていることが確認できる。それぞれの角度の1開放時間当たりの排水流量 Q は供給水頭 H と比例的に下がっていることも確認できる。また、弁角度が上がるにつれて1開放時間当たりの排水流量 Q は上がっていることも確認できる。この結果から、水頭差が小さいときの流量が多いのは流速が低いため、弁の開放時間が長くなり、排水するための時間を多く得られるためであると考えられる。図-5、図-6のグラフではどちらのグラフも比較的データにばらつきがなく取ることが出来た。

図-1～6のグラフにある2本の直線または曲線に挟まれた領域は弁閉鎖領域は、排水弁が閉鎖したまま、水撃現象が起こらない状態、弁開放領域は、排水弁が開放したまま、水撃現象が起こらない状態の領域を示している。このグラフを見ることで実験をしていない排水弁角度と供給水頭の場合での水撃現象が起こる範囲を予測することができる。

4.まとめ

本実験の結果をまとめると以下のように要約される。

- 1) 導水管長による排水弁角度と供給水頭の違いによって水撃現象が起こる範囲がわかった
- 2) 流速の大きさにより水撃現象が起こらない状態に違いがある
- 3) $L=3.0\text{m}$ と $L=2.0\text{m}$ では 2.0m のデータが取り易く実験に適していると言える
- 4) グラフを作ることによって水撃現象が起こる排水弁角度や供給水頭を予測することが出来る
- 5) 導水管長や供給水頭を上げれば数値が大きくなるわけではなく、それぞれに最適な条件がある

参考文献

- 1) 鏡 研一・出井 努・牛山 泉：自然の力で水を上げる水撃ポンプ製作ガイドブック，パワー社，1999.
- 2) 横山 重吉：現代理工学大系 水撃入門，日新出版，1979.

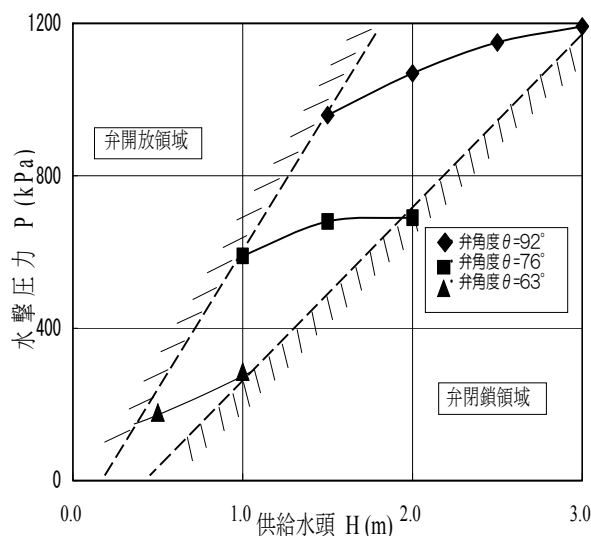


図-4 $L=2.0\text{m}$ の供給水頭と水撃圧力

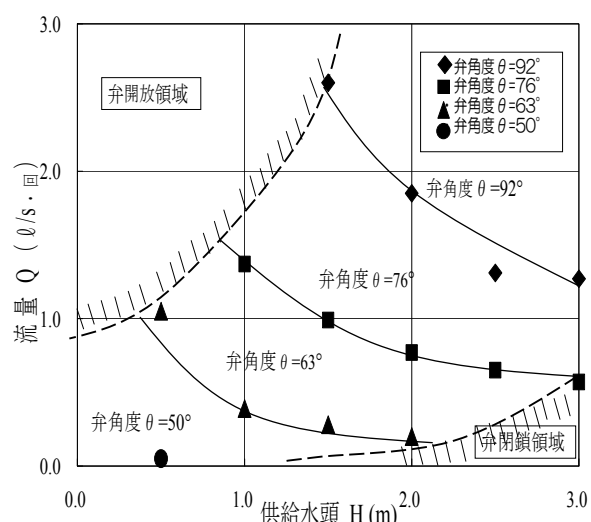


図-5 $L=3.0\text{m}$ の供給水頭と流量

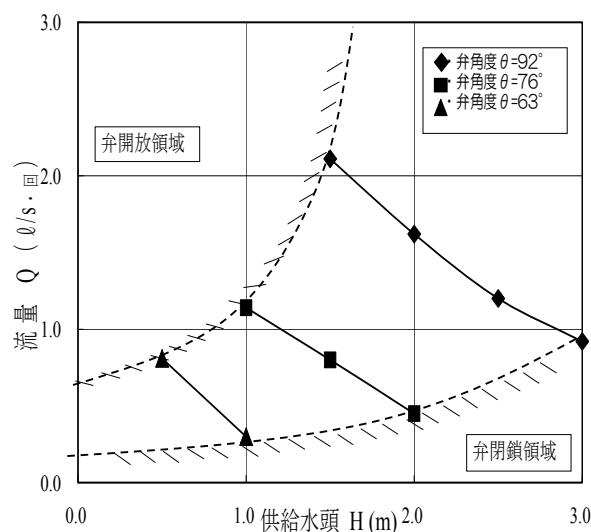


図-6 $L=2.0\text{m}$ の供給水頭と流量