

直列配置したスイング式逆止弁によるポンプ急停止時の水撃圧抑制対策について

Countermeasure of Water hammer after Pump Power Failure Using Series Swing Check Valves

○稲垣仁根* 奈良大和** 藤澤 豊** 斎藤正樹**
Hitone Inagaki*, Yamato Nara**, Yutaka Fujisawa**, Masaki Saito**

1 はじめに

ポンプ送水系パイプラインにおいて、ポンプ動力喪失時に発生する水撃圧を抑制するために、スイング式逆止弁の改良型である水撃圧防止弁を負圧発生地点の下流側に3台直列に設置する方法を検討した。ポンプ動力を喪失した場合の水柱の分離と再結合に伴う水撃圧の発生に対する水撃圧防止弁による抑制効果について現地計測を行い、水撃圧防止弁を設置する方法の有効性を確認した。さらに、水撃圧防止弁の簡略化したモデルと水柱分離の離散型空洞モデルを用いたシミュレーションにより実用に耐える精度で再現することができた。

2 検討パイプラインの概要

検討の対象としたF県B市のポンプ送水系パイプラインは、Fig.1に示すような単一の管路で下流端に吐水槽を有するパイプラインである。ポンプ、管路と吐水槽の諸元をTable 1に示す。

Fig.1に簡易計算図表による最高・最低圧力標高と水柱分離の離散型空洞モデルを用いたシミュレーションによる最高・最低圧力標高を示す。吐水槽から約400m地点で縦断勾配が急変する区間では、負圧が広範囲に発生するが、その大きさが最大20m程度であるので、計算図表と数値計算による最高圧力標高の値は、ほぼ一致した傾向を示している。

3 水柱分離の離散型空洞モデル

水撃作用の解析に用いる基礎方程式は、液体単相流についての運動方程式と連続方程式であり、数値計算には特性曲線法を用いた。ポンプ動力喪失時の圧力低下による水柱分離の発生および空洞の成長と水柱の再結合による消滅については、水柱分離モデルとして実績のある離散

型空洞モデル¹⁾を採用した。空洞容積の算定は、計算格子点の上下流側の流速を用いる方法を採用し、空洞が生じた時の圧力波の伝播速度については、気体混入時の空洞容積率(ボイド率)を用いた圧力伝播速度の式を採用した。本稿で使用した離散型空洞モデルについては、Table 2に特徴を示す。

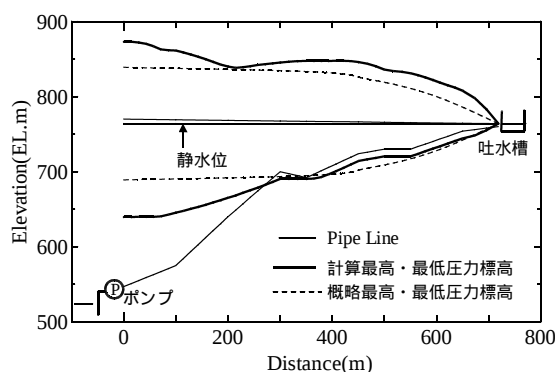


Fig.1 最大最小圧力標高縦断図(逆止弁なし)

Table 1 ポンプ、管路および吐水槽の緒元

ポンプ台数	ポンプ				ポンプ段数
	定格回転数 RPM	慣性モーメント ポンプ・電動機 kgf・m ²	GD ² フライホイール kgf・m ²		
1	3600	2.3	0		1
効率100%時					
流量 m ³ /min	吐出圧 m	出力 KW	吐水槽 EL.m	水面標高	ポンプ吸水槽 EL.m
0.417	223	58	764		547
管の内径 m	管路延長 m	ダルシー・ワイス パツハの係数	管厚 mm	管材のヤング係数 × 10 ¹⁰ kgf/m ²	
0.1	718	0.02	45	2.0	

Table 2 離散型空洞モデルの概要

項目	採用モデル
空洞の初期条件	計算格子点に空洞は存在しない
空洞の発生条件	圧力水頭 < 蒸気圧の時、計算格子点のみに発生する
空洞の大きさ	計算格子点の上下流側の流速の差を用いて計算する
格子間の水の状態	圧力の低下に伴い水中に気泡が発生する
圧力波の伝播速度	ボイド率αを用いた気液混相流

4 水撃圧防止弁のモデル

水撃圧防止弁²⁾は、スイング式逆止弁の改良型であり、管路の流れが逆流に転ずる瞬間、管内の水が停止した状態で弁体が閉鎖することに特徴がある。

*宮崎大学農学部 Faculty of Agriculture, Miyazaki University

**クラウンエンジニアリング(株) Crown Engineering Co., Ltd.

キーワード: パイプライン,

ポンプ動力喪失, スイング式逆止弁

著者らは、ポンプ動力を消失した場合の水柱の分離と再結合に伴う水撃圧に対する水撃圧防止弁の抑制効果について、バルブ地点の流速を直接的に設定する簡略化を行った水撃圧防止弁のモデルと離散型空洞モデルを用いたシミュレーションによりその効果を確認している³⁾。本検討で採用した水撃圧防止弁を含んだ場合の解析のフローチャートを Fig.2 に示す。

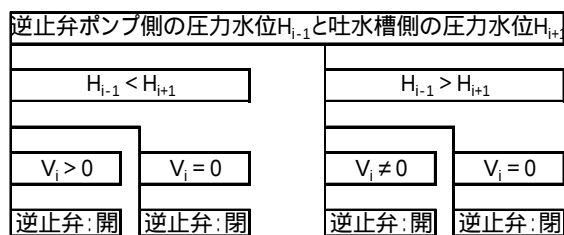


Fig.2 水撃圧防止弁を含む解析のフローチャート

5 水撃圧防止弁を3台直列に設置した場合の現地試験および数値計算による検証結果

吐水槽から約 400m 地点で縦断勾配が急変する区間では、負圧が広範囲に発生するので、ポンプ場から 350、550、650m の3箇所に水撃圧防止弁を設置して、水柱分離の発生と水柱の再結合を防止する対策を講じた。

現地実験により水撃圧逆止弁による水中分離の防止状況を計測し、さらに数値計算により再現して、圧力変動の時間変化を Fig.3 に示す。また、最大最小圧力標高縦断図を Fig.4 に、静止水位縦断図を Fig.5 に示す。加えて、ワンウェイサージタンクを3箇所設置した場合の最大最小圧力標高縦断図を Fig.6 に示す。

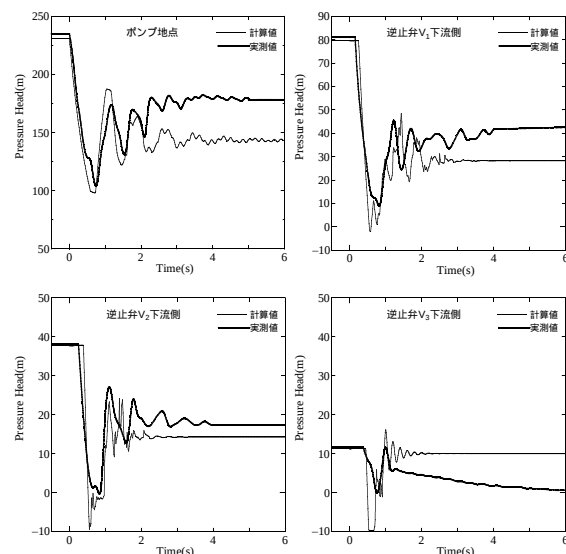


Fig.3 圧力変化の実測値と計算値の比較

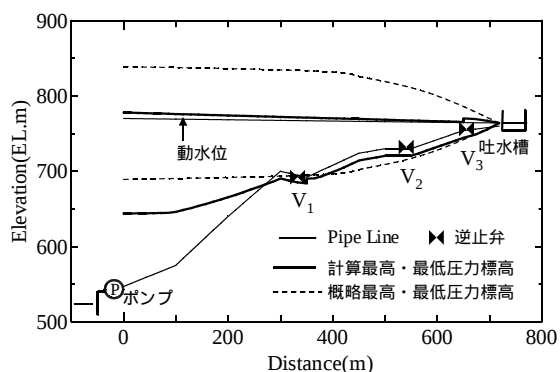


Fig.4 最大最小圧力標高縦断図（逆止弁あり）

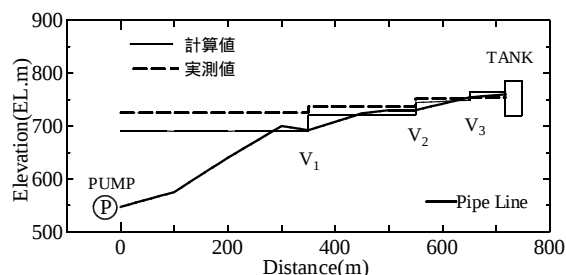


Fig.5 静止水位縦断図

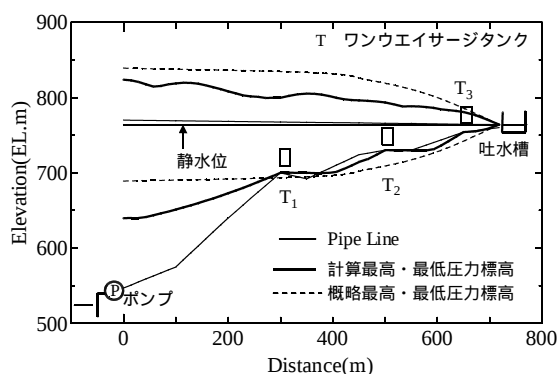


Fig.6 最大最小圧力標高縦断図
(ワンウェイサージタンク)

6 まとめ

- (1)ワンウェイサージタンクは、負圧の発生を抑制できるが圧力の上昇には抑制効果がない。
- (2)水撃圧防止弁は、負圧の発生だけではなく、圧力上昇を動水位までに抑制することができる。
- (4)静止水位が実測と計算で異なるのは、水撃圧防止弁のモデルの簡略化が原因であると推察される。
- (5)水撃圧防止弁の簡略化したモデルと離散型空洞モデルは、実用レベルでの再現は可能である。

参考文献

- 1)奈良, 斎藤, 稲垣, 中園, 秋吉(2003): 水柱分離を考慮したポンプ送水系パイプラインの設計手法に関する研究, 雨水資源化システム学会誌, 9(1), 25-36.
- 2)農業土木事業協会(2000): かんがいパイプライン機器便覧, p.238-239.
- 3)奈良, 稲垣, 斎藤(2003): 逆止弁によるポンプ急停止時の水撃圧抑制対策について, 平成 15 年度農業土木学会講演要旨集, 346-347