

減圧弁を用いた低圧化樹枝状管路における管路の固有振動周期による 圧力脈動の成長と消滅

Growth and Extinction of Pressure Vibration in the Low-Pressure Arborescent Pipeline System using Pressure Reducing Valves due to natural vibration period of the pipeline

○福本大心・稻垣仁根
Taishin Fukumoto · Hitone Inagaki

1. はじめに

自然流下系のパイプラインは、樹枝状の系統をとることが多く、複数の減圧弁が設置されることが一般的である。このようなパイプラインでは運用後に圧力脈動が発生することがあるが、設計段階での圧力脈動発生の単純な評価は難しい。そこで、圧力脈動の発生、成長、消滅の機序について、単純化したモデルを想定し、机上と数値シミュレーションにより検証を行った。

2. 机上モデルによる減圧弁1次圧の増強の機序

減圧弁が直列に組み込まれた管路においては、減圧弁が瞬間的かつ適切量だけ降下して減圧弁下流側の圧力上昇を制御する場合、管路下流端で生じた圧力波は、減圧弁の作動によって2倍に増幅されて上流側に伝達される¹⁾。また、Akiyoshi et al.²⁾により直列单管路（減圧弁末端配置）の水撃波の発生過程は説明されているので、樹枝状管路の分岐を想定し、主管路の中間点に減圧弁が接続した場合における、減圧弁1次圧の増強の機序について検討した。図1のような管路を想定して、波動方程式の一般解を適用し、支線管路から生じた圧力波に対して上流へ伝播する圧力波の関係を求めた。減圧弁主管路中間接続の場合、減圧弁の作動によって増幅されて上流側に伝達された圧力波が2方向に分かれて主管路を伝播するため、圧力波の大きさは、減圧弁による2次側で制御した圧力となることが示された。

3. 机上モデルによる圧力脈動の成長

圧力脈動の成長や消滅は、減圧弁上下流の管路の固有振動周期と密接に関連していることが報告されている²⁾。管路の固有振動周期に依存する圧力脈動の成長や消滅のシステムについて、机上モデルにより検証した。圧力脈動の起点と過渡現象について、図2の概念図の机上モデルによる結果を図2,3の模式図に示す。ファームポンドから支線分岐点、支線分岐点から幹線末端、支線の減圧弁から支線末端までの距離をL、圧力の伝播速度をaとする。バルブ操作により発生した圧力波が減圧弁で増幅され、主管路上流へ伝播し、その後反射・再増幅を繰り返すことによって複雑な干渉波が形成される。

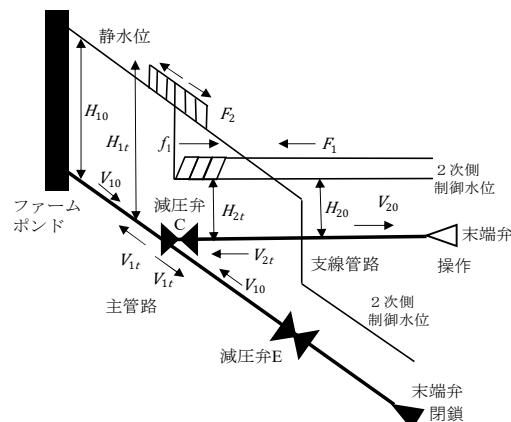


図1：減圧弁主管路中間接続の圧力伝播
Pressure propagation with pressure reducing valve connected in the middle of the main pipeline

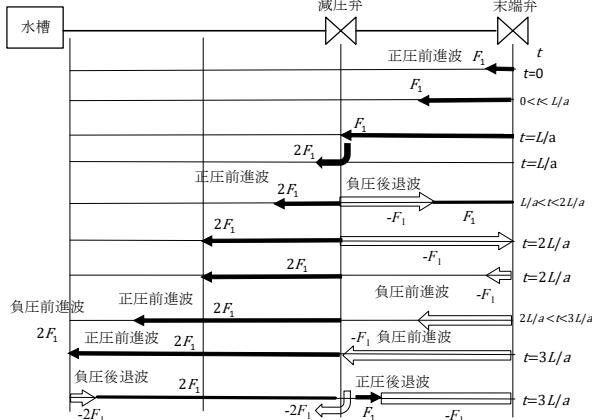


図 2: 減圧システム末端で発生した圧力波の伝播模式図 ($t=0 \sim 3L/a$)
Schematic diagram of the propagation of pressure waves generated at the end of a branch line pipeline ($t=0 \sim 3L/a$)

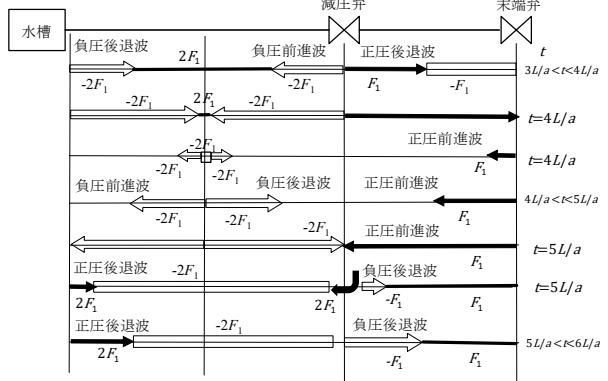


図 3: 減圧システム末端で発生した圧力波の伝播模式図 ($t=3L/a \sim 5L/a$)
Schematic diagram of the propagation of pressure waves generated at the end of a branch line pipeline ($t=3L/a \sim 5L/a$)

4. 数値モデルによる圧力脈動の再現

図 1 の管路を対象に、圧力伝播モデルとして数値モデルを構築し解析を行った。解析による圧力波の時系列変化を図 4 に示す。圧力の振幅は末端弁の方が分岐点より大きく、本管の下流部が上流部に比べて、脈動現象が顕著であると考えられる。さらに、分岐点には支線側の減圧弁から圧力が投入されるので、水槽からの反射波を含めて複雑な波形を生じている。また、これらの圧力波形に対してスペクトル解析を適用し、周期性の分析を行った。

5. まとめ

低圧化樹枝状管路における圧力脈動の発生、成長、消滅の機序について、机上および数値モデルにより検証した。本研究で得られた設計上の参考となる情報としては、以下の通りである。

- (1) 減圧弁末端配置の場合は、減圧弁上流側の固有振動周期が下流側に卓越する。また、上下流の固有振動周期が等しい場合は圧力脈動は成長し、2:1 の場合は成長しない。
- (2) 減圧弁中間配置の場合は、水槽から末端弁までの本管の固有振動周期と分岐点、減圧弁、末端弁までの周期が 2:1 としている。本管の水槽から分岐点までの上流部は、圧力脈動の成長は発生せず、周期は本管全体の固有周期 (2:1) とほぼ同じである。本管の分岐点から末端までの下流部では、上流部より大きな圧力振幅と本管の 1/2(1:1) の下流部相当の振動周期を生じている。

引用文献

- 1) 長 勝史 (1989): 管水路における自動減圧弁の応答動作と圧力脈動, 鹿児島大学農学部学術報告, 39, pp.273-286.
- 2) Akiyoshi, K., Suzuki, Y., Ito, H., and Inagaki, H. (2017a): Self-excited Pressure Vibration in the Low-Pressure Pipeline Using an Automatic Pressure-reducing Valve (I) -Growth mechanism of self-excited vibrations in the case of installing a pressure-reducing valve at the middle of the pipeline-, JRCSA, 23(1), pp.1-11.

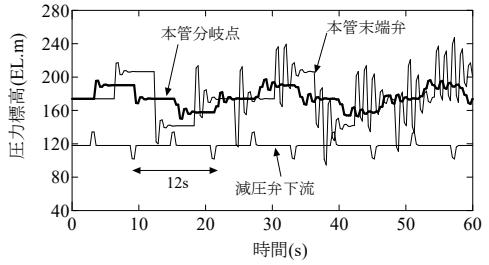


図 4: 数値解析による圧力波の時系列変化
Time series variation of pressure wave