

新型自動減圧弁による管路圧力の制御技術

A Pipe Pressure Control Techniques by Advanced Pressure-reducing valve

稲垣 仁 根[†] 國 武 昌 人^{††}
(Hitone INAGAKI) (Masato KUNITAKE)

I. はじめに

岩崎は、平成2年に新しい平成の時代を迎えるにあたり、これまでの昭和最後の10年間の水路技術を総括し、将来に向けた展望と課題を示している¹⁾。

その中で平成新時代の水路技術分野での課題の一つとして「管水路系における安価な定圧、定流量制御方式の開発」を挙げている。

自動減圧弁は、管路の圧力により無動力で弁が作動して下流側圧力を設定圧力に維持する点に特徴があるが、一方、①通水停止時に静水圧が連続するため、下流側パイプラインは上流側の静水圧を用いなければならないこと、②減圧弁を直列配置とするとお互いに共振するため並列配置とする必要のあること、③水撃圧が減圧弁を通過して上流側へ伝播することが課題として残されていた。

著者らは上記①、③の課題の解消を目指し、自動減圧弁と安全弁、エアバックを組合わせたインライン減圧型システムを提案^{2)~5)}しているが、今回さらに②の直列配置を可能とするために自動減圧弁の作動機構に改良を加えて、実機を製作し水理実験を行ったので結果を報告する。

II. 現行の設計方針および減圧弁の問題点

1. 現行の設計方針

現行の設計基準⁶⁾では、従来型の自動減圧弁は上記の①、③に示すような課題があるため、設計水圧の設定においては図-1に示すように「自動減圧弁を用いた場合の下流側パイプラインの設計に当たっ

ては、下流側パイプラインの静水圧は上流側の静水圧が連続するものとして設計を行う。」との方針を示している。

2. インライン減圧型システムの設計水圧

著者らが提案しているインライン減圧型システム^{2)~5)}は、2次圧一定制御の従来型の自動減圧弁と安全弁、エアバックを組合わせることにより、送水停止時の静水圧を制御し、さらに下流側パイプラインの水撃圧を抑制して、安価な塩化ビニル管の採用を目指したものである。

したがって、従来型自動減圧弁を用いたインライン減圧型システムにおける設計水圧は図-2に示すようになる。

3. 従来型自動減圧弁の問題点

従来型自動減圧弁は、複数台を直列配置すると自励振動が発生するが、これを避けるために、弁の配置を直列配置ではなく並列配置とする必要があることが指摘されている^{7)~9)}。

しかし、減圧弁の直列配置ができないとパイプラインの段階的な設計圧力の低減ができないため、減圧弁の能力がパイプラインシステムのコストダウン

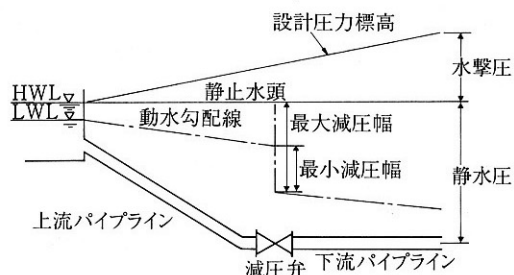


図-1 減圧システムにおける現行の設計水圧



自動減圧弁、インライン減圧型システム、水理実験、直列配置、設計内圧、塩化ビニル管

[†] 鹿児島大学大学院連合農学研究科 ^{††} 宮崎大学農学部

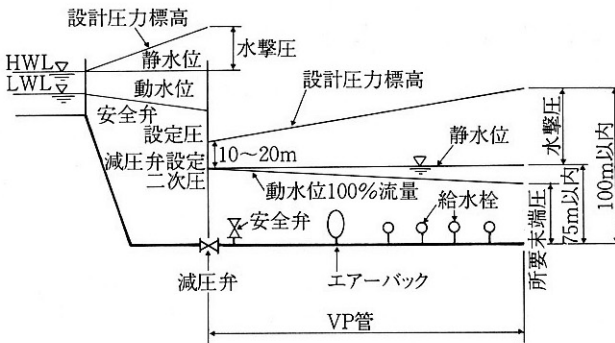


図-2 インライン減圧型システムの設計水圧

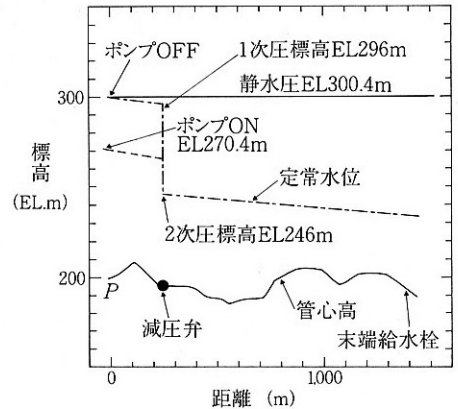


図-4 実験パイプライン縦断面図

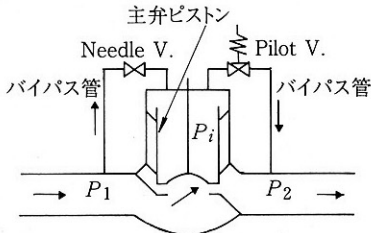


図-3 従来型自動減圧弁の模式図

に直接的に結びつかない点が問題となる。

III. 従来型自動減圧弁の作動機構と応答特性

1. 従来型自動減圧弁の作動機構

従来型の自動減圧弁の模式図を 図-3 に示す。「パイロット弁+主弁ピストン」方式を例に作動方式を説明する。

減圧弁には主弁の上部を介して、弁の上下流の間にバイパス管が付設されている。上流側のバイパス管にはニードル弁が、下流側にはパイロット弁が設置されており、おのおののバイパス管内の流量を制御し、定常状態では主弁は静止した状態で、上下流のバイパス管の流量は等しくなっている。

流況変更などによって管内の圧力に変化が生じた際には、パイロット弁内のダイヤフラムに作用する2次圧 P_2 の変動に伴ってパイロット弁の開度が変わり、バイパス管内の流量を変化させ、主弁ピストンを上下させる。その結果、減圧弁下流側の圧力 P_2 があらかじめ設定した圧力に回復して、定圧を

保持する機構となっている^{7)~9)}。

主弁ピストンの動きは、ダッシュポットで固定されたおもりの運動と同じであるので、主弁ピストンの移動距離 z に関する運動方程式は、主弁ピストンの上、下部に作用する力の釣り合いから(1)式で与えられる。(1)式の左辺第1項は主弁ピストンの慣性力、第2項は粘性摩擦抵抗、右辺は外力である。

$$\frac{W}{g} \frac{d^2 z}{dt^2} + R \frac{dz}{dt} = AP_i - BP_1 + W \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 z ：下方向を正とした時の主弁ピストンの移動距離、 A ：主弁ピストン上部の面積、 B ：主弁ピストン下部の面積、 W ：主弁ピストンの重量、 R ：主弁ピストンの速度に比例する抵抗係数、 P_1 ：上流側1次圧力、 P_i ：主弁ピストンの上部圧力、 g ：重力加速度、 t ：時間。

2. 従来型自動減圧弁の応答特性

最初に現地での水理実験により、自動減圧弁の応答特性を確認するものとする。

実験対象とした「パイロット弁+主弁ピストン」型の自動減圧弁を設置したパイプラインを 図-4 に示す。さらに、このパイプラインで通水を停止した場合の水理実験の結果^{2),3)}を 図-5 に示す。実験結果から通水を停止した場合は、減圧弁の2次側圧力が設定圧力標高 EL. 246 m から上昇し、ほぼ静水圧 EL. 300 m まで上昇していることがわかる。

水理実験により通水停止時に減圧弁の1次圧と2次圧が連続することが確認できたので、(1)式で示さ

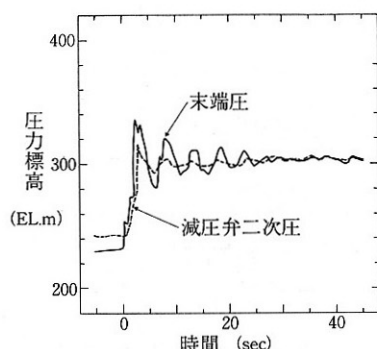


図-5 通水停止時の圧力変化図

れる減圧弁の応答を表-1に示す数値モデルでシミュレーションにより再現し検討した。解析ケースとしては、表-2に示す3ケースを検討した。

図-6～8に解析結果を示すが、流況変化後にも通水が行われるケースA、Bでは2次圧は最終的に設定圧に回復しているものの、ケースAでは通水開始時に圧力が20mまで低下したり、ケースBでは一時的に60mまで上昇したりする現象が認められる。

また、通水を停止するケースCでは、2次圧は1次圧まで上昇する結果となっており、これは水理実験の結果とも一致している。

これらの結果より、従来型減圧弁の作動については、通水時で流況が安定している時には特に問題を生じないものと考えられるが、管内の流況が変化した場合に管路系の圧力変化のタイムスケールに対して減圧弁の応答特性が追従できず、2次圧の制御が不十分なものになるものと考えられる。

表-1 減圧弁条件

項 目	記号	単位	減圧弁
管 口 径	D	mm	100
主ピストン弁体重量	W	t	0.0175
主ピストン弁抵抗係数	R	t/m/s	211.3
主ピストン弁上部面積	A	m ²	0.0119
主ピストン弁下部面積	B	m ²	0.0079
バイパス管面積	a	m ²	0.000071
上流側1次静水圧	P_1	m	70.0
下流側2次設定圧力	P_2	m	46.6

表-2 解析ケース

ケース名	条 件	流量変化
A	通水停止から通水開始	0.0 → 0.05 m ³ /s
B	通水から流量減少	0.05 → 0.02 m ³ /s
C	通水から通水停止	0.05 → 0.0 m ³ /s

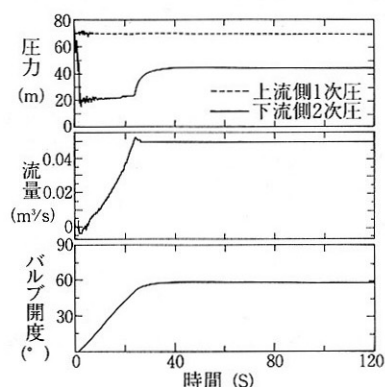


図-6 圧力流量変化図 (ケース A)

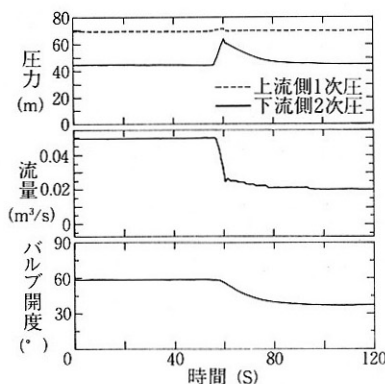


図-7 圧力流量変化図 (ケース B)

IV. 新型自動減圧弁の作動機構

1. 作動機構の改良箇所

従来型の自動減圧弁は流況変化時におけるメカニズム、具体的には主弁ピストンの開閉作動方向の判断、さらに主弁ピストンに作用させる力の選択に課題があり、ピストンの作動が流況の変化に遅れたものと考えられる。

そこで、従来型の「パイロット弁+主弁ピストン」型の自動減圧弁を基本としつつ、改良を加えて新型減圧弁の作動機構を検討した結果を以下に示す。

(1) 主弁ピストンの動き 主弁ピストン①については、従来型と同様にダッシュポットで固定された

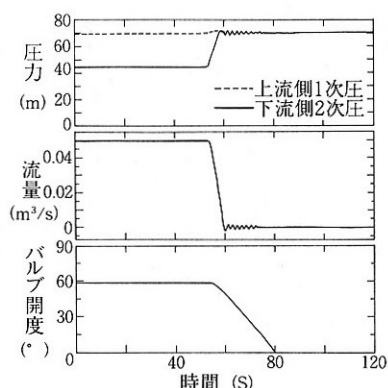


図-8 圧力流量変化図 (ケース C)

おもりの運動と同じとする。

(2) **圧力伝達方式** 新型弁では上流側の1次圧力を下流側のパイロット弁②に直接伝達する方式とする。

(3) **応答感度調節方式** 新型でも従来型と同様に上流側のボール弁③により感度の調節を行う方式とする。

(4) **パイロット弁の作動方式** 新型では1次圧と2次圧の両方が直接パイロット弁に伝達され、パイロット弁内でピストンを作動させるためにどちらの圧力を使うかを選択した上で、主弁の上部に作動圧力を伝達する機構とする。

主弁ピストンに1次圧あるいは2次圧を直接作用させるため作動が速く確実になることに特徴がある。

(5) **2次側設定圧力の調整** パイロット弁上部の調節ボルト⑥によってダイヤフラムを押すコイルバネの強さをダイヤルゲージ⑦に合わせて調節することにより2次側の制御圧力を任意に設定できる方式とする。

2. 開閉方向作動の説明

新型自動減圧弁の開方向と閉方向の作動を具体的に説明する。

(1) 定常状態 (図-9)

- ① 2次圧 P_2 が設定圧 P_0 となる。
- ② 2次圧 P_2 とパイロット弁のコイルバネ⑤の力がバランスして、A、B、C室が連続する中間位置にピストン⑧が停止する。
- ③ 1次圧 P_1' と2次圧 P_2 から、中間圧 P_e を作

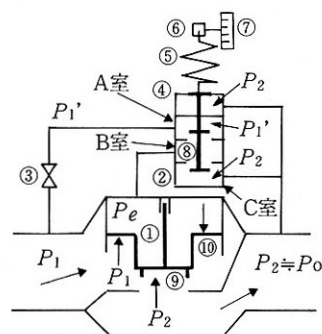


図-9 定常時の作動状態

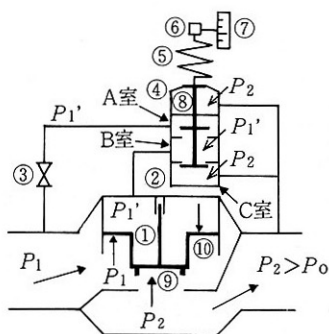


図-10 主弁の閉方向の作動状態

成し主弁ピストンの上部に伝達する。

- ④ 主弁ピストン①の外側⑨の部分には2次圧 P_2 が、外側⑩の部分には管路内の1次圧 P_1 が作用するので、この合力とピストンを上から押す力 P_e が釣り合いピストンが停止する。

ここで、 P_1' は感度調整のため管路内の圧力をボール弁③により多少絞られた後の1次圧である。

(2) 閉方向作動 (図-10)

- ① 2次圧 P_2 が設定圧 P_0 以上となる。
- ② パイロット弁のコイルバネ⑤がダイヤフラム④に押される。
- ③ パイロット弁のピストン⑧が移動し、B室とC室の圧力伝達を遮断する。この時点で2次圧 P_2 は主弁上部に伝達するルートを断たれる。
- ④ 同時にA室とB室の連絡が確保され、1次圧 P_1' がA室、B室を通過して、主弁ピストン①の内側に作用する。
- ⑤ 主弁ピストン①の外側⑨の部分には2次圧 P_2 が作用するので、ピストンを上から抑える力 P_1' に押されて閉まる。

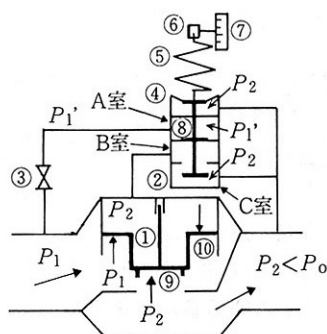


図-11 主弁の開方向の作動状態

(3) 開方向作動 (図-11)

- ① 2次圧 P_2 が設定圧 P_0 以下となる。
- ② パイロット弁のコイルバネ⑤がダイヤフラム④を押す。
- ③ パイロット弁のピストン⑧が移動し、A室とB室の圧力伝達を遮断する。この時点で1次圧 P_1 は主弁ピストン上部に伝達するルートが断たれる。
- ④ 同時にB室とC室の連絡が確保され、2次圧 P_2 がC室、B室を通過して、主弁ピストン①の内側に作用する。
- ⑤ 主弁ピストン①の外側⑩の部分には管路内の1次圧 P_1 が作用するので、ピストンを上から押す力 P_2 が負けて主弁ピストンが開く。

V. 水理実験による検証

新型減圧弁の機能を確認するために室内で水理実験を行ったので、実験内容について以下に報告する。

1. 実験施設

水理実験は屋内の実験施設で行ったため、約14mの直線ラインを確保し、中間地点に減圧弁を設置した。

管路圧力はポンプにより加圧し、流量はライン末端のバルブを操作することにより調節した。

2. 実験結果

水理実験は、減圧弁を1台設置する場合と直列に2台設置する2ケースを対象とした。実験条件は表-3に示すとおりとした。

ケースAにおいて定常状態から流量を減少させていき、いったん通水を停止させ、その後流量を増加させて定常状態に移行する操作を行った。

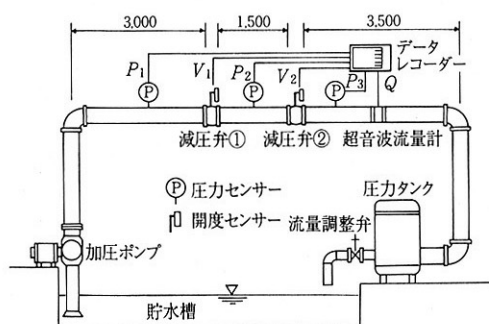


図-12 実験施設の模式図

表-3 実験条件

ケース	減圧弁	設定2次圧 (kgf/cm ²)
A	1台	1.8
B	2台	① 3.0 ② 1.8

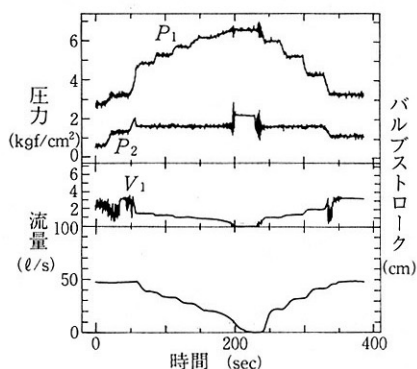


図-13 新型自動減圧弁1台設置時の圧力流量変化図(ケースA)

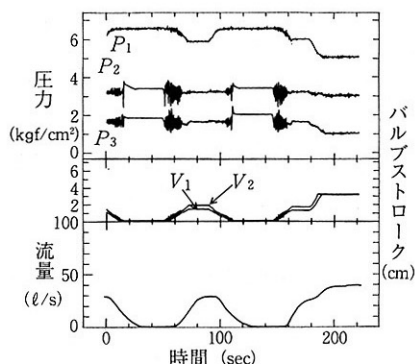


図-14 新型自動減圧弁2台設置時の圧力流量変化図(ケースB)

図-13に圧力、流量、バルブストロークを示すが、通水停止時において2次圧が設定圧より0.5 kgf/cm²程度高くなるが、通水時において流量を増減させても2次圧は設定圧に制御されている。

流量が増加して1次圧が3 kgf/cm²程度になると2次圧が減少して不安定になっているが、これは実験施設のポンプの能力が不足して生じたものである。

また、減圧弁を2台設置したケースBにおいては、定常状態から通水停止を経て定常状態の移行を2回繰返した。ケースBの実験結果を図-14に示す。

ケースAと同様に通水停止時において2次圧が設定圧より若干高くなる傾向にあるが、通水時においては2台とも2次圧は設定圧に制御されている。

したがって、実験結果からは「①減圧弁単独で上流側の静水圧を遮断できること、②複数台の直列配置が可能となること」がほぼ確認できた。

VI. 直列インライン減圧型システム

減圧弁を直列に配置して末端パイプラインのコストダウンを図ることは、これまで水撃圧に対する有効な対策がないことや減圧弁の応答特性に課題があり水理的な安定性が得られないことから諦めていたものである。今後、新型自動減圧弁をインライン減圧型システムの中に導入することにより、畑灌パイプラインにおいて設計内圧の直列段階的の削減が可能となり、低級管種である塩化ビニル管の広範囲な採用に道を開くものであると考ええる。

図-15に直列インライン減圧型システムの設計内圧の考え方を示す。

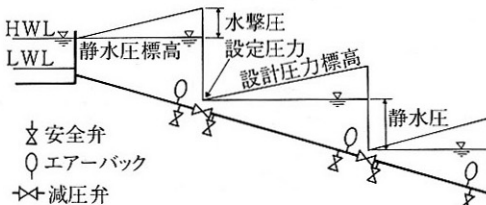


図-15 直列インライン減圧型システムの設計内圧

VII. ま と め

新型自動減圧弁はプロトタイプが製作され、室内試験を行って、基本的な性能を確認した段階であり、今後は現地でのパイプラインにおける水理実験が必要となる。

謝辞：本研究の遂行に際し、新型自動減圧弁の開発、製作、実験では(株)横田製作所小倉邦雄氏、谷本哲也氏をはじめ関係各位に多大なご援助をいただいた。ここに記して厚くお礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 岩崎和己：昭和最後の10年間における水路技術の総括と展望—平成時代の若い技術の担い手の門出によせて—、水と土80, pp. 31~38 (1990)
- 2) 木村 章・斉藤正樹・角田範明：自動減圧弁の応答性とパイプラインの低圧化システムについて、平成2年度農土学会大会要旨, pp. 98~99 (1990)
- 3) 斉藤正樹・稲垣仁根：インライン減圧型パイプラインの低圧化システムと現地計測、第50回農土学会中四国支部講演集, pp. 97~99 (1995), 農土論集投稿中
- 4) 斉藤正樹・稲垣仁根：自動減圧弁による低圧化パイプラインの実測とシミュレーション、第76回農土学会九州支部講演集, pp. 97~99 (1995), 農土論集投稿中
- 5) 斉藤正樹・三野 徹：パイプラインシステムの応答特性と制御タイムスケール、第50回農土学会中四国支部講演集, pp. 100~102 (1995)
- 6) 土地改良事業計画設計基準・設計・水路工（その2）パイプライン, p. 136
- 7) 畑地かんがい技術養成講習会テキスト, pp. 250~255 (1988)
- 8) 長 勝史・長 智男・黒田正治：管水路における減圧弁の動特性 (I), 農土論集127, pp. 43~50 (1987)
- 9) 長 勝史・黒田正治：管水路における減圧弁の動特性 (II)—自動振動現象とその発生機構—, 農土論集135, pp. 91~98 (1988)

[1995. 11. 15. 受稿]

稲垣 仁根



1956年 愛知県に生まれる
1982年 宮崎大学大学院農学研究科修士課程修了
1982年 (株)三祐コンサルタンツ入社
1987年 クラウンエンジニアリング(株)入社
1994年 鹿児島大学大学院
連合農学研究科(博士課程)入学
現在に至る

國武 昌人



1935年 福岡県に生まれる
1960年 佐賀大学農学部卒業
1968年 佐賀大学農学部助教授
1973年 農学博士(九州大学)
1974年 宮崎大学農学部教授
1993年 鹿児島大学大学院併任教授
現在に至る

新型自動減圧弁による管路圧力の制御技術

稲垣 仁根・國武 昌人

従来型自動減圧弁の課題である通水停止時に静水圧が連続すること、水撃圧が減圧弁を通過することの解消を目指し、従来型自動減圧弁と安全弁、エアバックを組合わせたインライン減圧型システムが提案されているが、今回さらに減圧弁の直列配置を可能とするために自動減圧弁の作動機構に改良を加えて、実機を制作し水理実験を行った。

実験結果からは「①減圧弁単独で上流側の静水圧を遮断できること、②複数台の直列配置が可能であること」がほぼ確認できた。今後、新型自動減圧弁をインライン減圧弁型システムの中に導入することにより、設計内圧の直列段階的削減が可能となり、塩化ビニル管の広範囲な採用に道を開くものと期待される。

(農土誌 64-3, pp. 57~62, 1996)



自動減圧弁、インライン減圧型システム、水理実験、直列配置、設計内圧、塩化ビニル管
