

流量制御機能付定圧弁の性能試験

農林水産省農業工学研究所 畑地かんがい研究室

北村浩二・小泉 健・宮本輝仁

1. はじめに

複雑かつ多様化している畑地の水需要に対処するため、畑地灌漑用の資器材も急速に複雑化している。畑地灌漑事業において、これらを導入するためには、個々の資器材の性能と適用性について、十分な実験的検討が必要であり、その要請も強い。

畑地灌漑においては、水利用の用途が多岐にわたり、水需要の増大とともにパイプラインによる流量の適正な計画配分と、使用目的に応じた所要水圧を確保できる自動灌漑送水システムの確立が課題である。

流量制御については、定流量弁が幹線から末端に至るまで、必要に応じて設置され、水利用の目的に応じた機能を発揮している。しかし、圧力制御については、直接インラインで減圧弁等による制御方式を採用すると止水性に対する信頼性が劣るため、パイプラインや関連機器には安全側をとって高圧仕様を適用しているのが現状である。また、圧力、流量を適用の両方を単一弁で制御しようとする、複雑な機構と周辺機器との組み合わせが必要となるのが課題となっている。

この度、止水性に優れ、広範囲に適用可能な定圧特性を有する定圧弁に流量制御機能を付加した可変流量機能付定圧弁が開発された。そこで、(社)畑地農業振興会からの受託により、

(株)横田製作所が開発した「流量制御機能付定圧弁」の性能特性について試験を実施したので、ここに報告する。

2. 従来の定圧弁の問題点

定圧弁の圧力制御の方法としては、電気、油圧等の外部動力による駆動装置で作動するものと、管路の圧力により無動力で作動することによって2次圧力を維持する方法がある。畑地灌漑のように水利用の変動が著しい用途においては、外部動力による制御では急変現象への追従が困難であり、無動力の自動定圧弁が採用されているが、従来の定圧弁には、次のような問題がある。

- (1) 末端側の使用流量が零になると、2次側に圧力が漏れて1次圧と連続する。
- (2) 下流側の圧力変動が急激な場合には、弁の作動が追従できず、圧力制御が不安定となる。
- (3) パイロット弁を作動するラインはニードル弁等の微小通路で構成されており、畑地灌漑においては微小なゴミ等によって詰まりを生じやすく、メンテナンスが煩雑となる。

3. 流量制御機能付定圧弁の特徴

従来の定圧弁においては、一般に、応答性を敏感にして急変現象に対して追従性を向上させようとしても、僅かの遅れがあるために、主弁は急激に開閉して水圧振動の発生源となってい

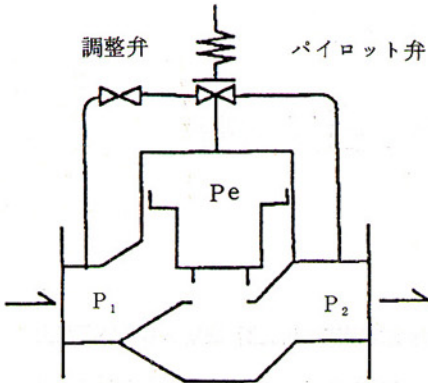


図-2 流量制御機能付定圧弁

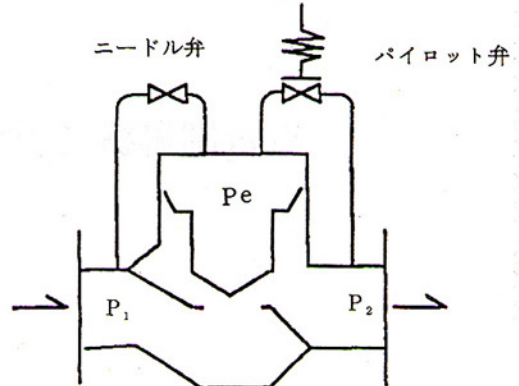


図-1 従来型の一例

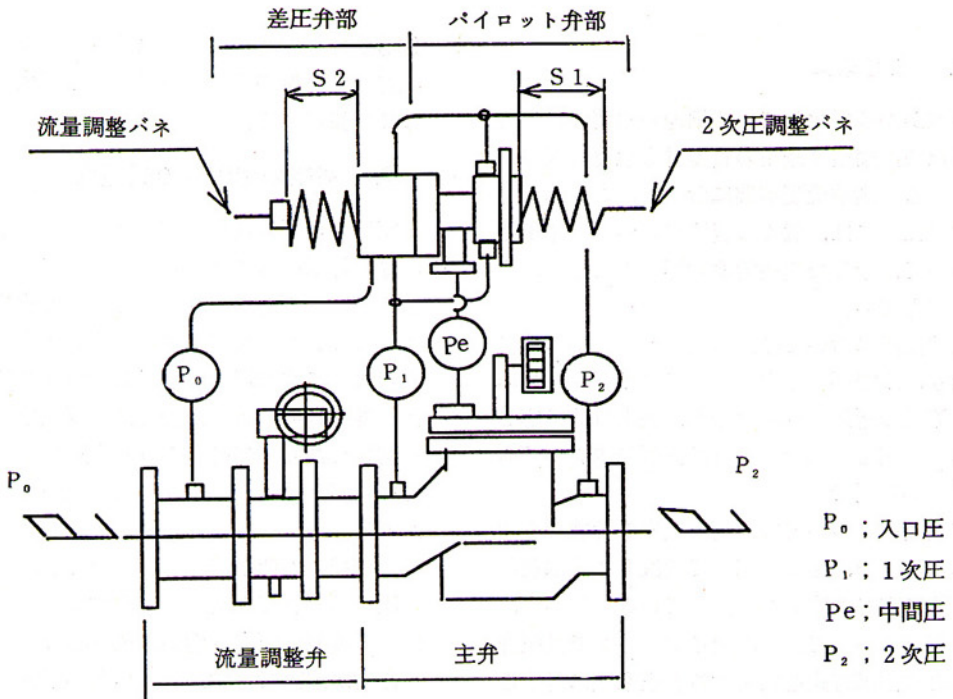


図-3 流量制御機能付定圧弁の構成

ると考えられる。このため、ニードル弁等で通路を絞り、感度を鈍くして急変現象に対しては、安全弁等他の付帯設備を併用して対応しているのが現状である。

従来の減圧弁の中から一例を図-1に示す。ニードル弁を経由して主弁上面に1次圧を導き、パイロット弁を通して2次側に放出する。パイロット弁は2次圧により自動開閉して中間圧を

形成し、主弁を開閉して2次圧を一定に保持する。

これに対して、流量制御機能付定圧弁の特徴は、図-2に示すように、1次圧、2次圧の両方を直接パイロット弁に導き、パイロット弁内で直接中間圧を形成して主弁を作動する。1次圧は感度の調整弁を経由してパイロット弁に導かれているが、ニードル弁等のような微小絞り機

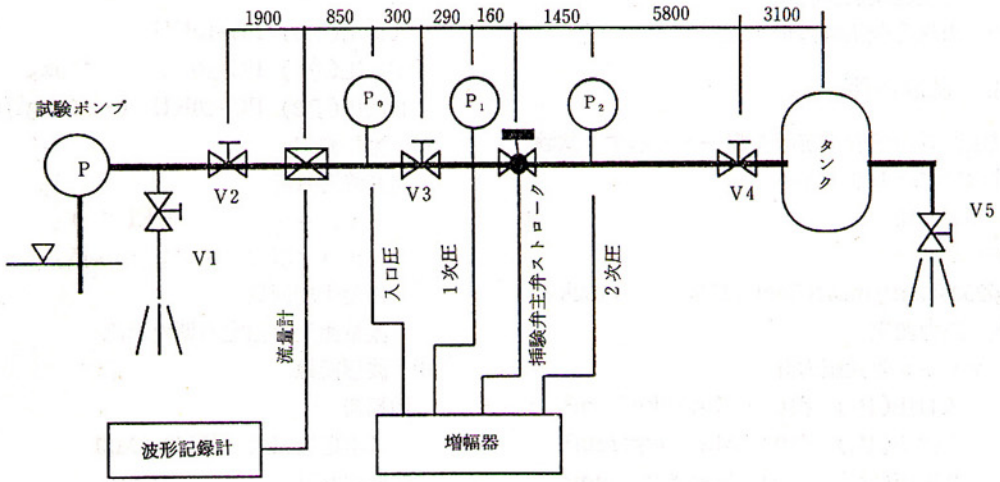


図-4 配管系統図

構ではなく、一般のボール弁等での調節程度で十分であり、主弁上面への圧力及び主弁開閉のための流量の補充、放出がスムーズとなり、応答性に優れ、2次圧が安定する。

4. 流量制御機能付定圧弁の構成と制御機能

流量制御機能付定圧弁の構成を図-3に示す。主な構造と制御機能は次のとおりである。

(1) 定圧特性

パイロット弁は、1次圧 P_1 と2次圧 P_2 への通路を開閉して中間圧 P_e を形成し、主弁上面に伝達して主弁を制御し、2次圧を一定に保持する。2次圧は2次圧調整バネの操作により設定する。

2次側の使用量が增大すると2次圧 P_2 が低下しようとするが、パイロット弁が作動し、主弁上面の圧力 P_e を2次側に放出して主弁を開き、設定圧を保持する。

一方、2次側の使用量が減少すると2次圧 P_2 が上昇しようとするが、パイロット弁が作動し、1次圧 P_1 を主弁上面に伝達し、圧力 P_e を昇圧して主弁を絞り、設定圧を保持する。

(2) 可変流量制御特性

2次側の使用流量を規制するために、定圧弁上流側に流量調整弁部と、パイロット弁に差圧

弁部を付設して流量制御機能を付加している。

あらかじめ設定した流量を超えると、パイロット弁に付設した差圧弁が流量調整弁の前後に発生する差圧($P_0 - P_1$)を受けて作動し、パイロット弁の2次側放出通路を閉鎖して主弁上面の圧力 P_e を昇圧し、主弁を絞って設定流量に制御する。設定流量は差圧弁部の流量調整バネの操作により調整可能としている。従って、流量調整弁は固定オリフィスを適用することも可能である。

(3) 止水特性

下流側の使用流量が零になると2次圧は1次圧に近づこうとするが、パイロット弁が2次側への通路を完全に遮断して、主弁上面に1次圧を送り込み、主弁を閉止し、完全に1次側と2次側を遮断する。即ち、各々の圧力が高くなるほど、閉止力も大きくなり、止水特性が向上する。

5. 性能試験の目的と試験項目

自動灌漑送水システムにおける1次圧の変動、及び末端側の使用量の変動に対しても設定圧力を保持すると同時に、必要に応じて可変の流量制御機能を備えた弁装置の性能を確認する。

- (1) 1次圧の変動と2次圧の定圧特性
- (2) 末端側の使用量の変動と2次圧の定圧特性

- (3) 可変流量制御特性
- (4) 末端弁全閉時の止水性

6. 試験条件

試験装置の配管系統図を図-4に示す。試験条件は次のとおりである。

(1) 測定機器

(a) ポンプ

$\phi 250 \times 7 \text{m}^3/\text{min} \times 50 \text{m} \times 1750 \text{rpm} \times 132 \text{kW}$

(b) 圧力測定

ブルドン管式圧力計

入口圧(P_0) $\phi 100 \times \text{Max} 10 \text{kgf/cm}^2$

1次圧(P_1) $\phi 100 \times \text{Max} 10 \text{kgf/cm}^2$

2次圧(P_2) $\phi 100 \times \text{Max} 7 \text{kgf/cm}^2$

圧力センサー

入口圧(P_0) PG-10KU 0~100kgf/cm²

1次圧(P_1) PG-10KU 0~100kgf/cm²

2次圧(P_2) PG-20KU 0~20kgf/cm²

(c) 流量測定

超音波流量計

トキメック UFP-100

アナログ出力 ダンピング時間 1sec

移動平均回数 16回

流量測定の測定周期の単位 45msec

(d) 波形記録

増幅器

日本電気三栄 6M62, 6M21

波形記録計

日本電気三栄 オムニエース RT3200

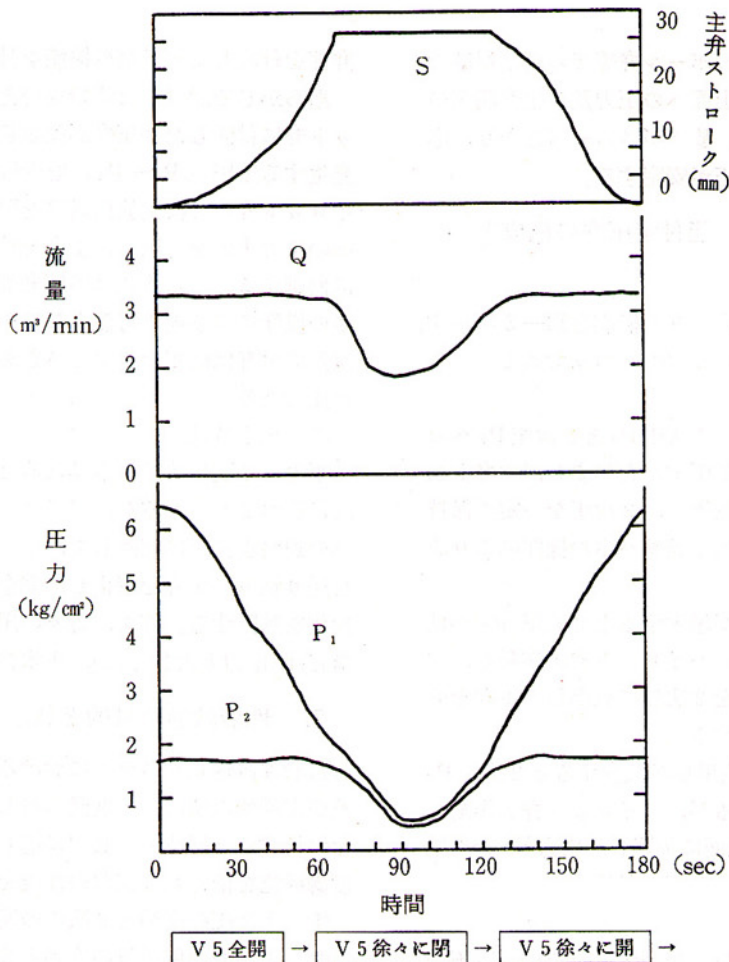


図-5 1次圧の変動と2次圧の定圧特性

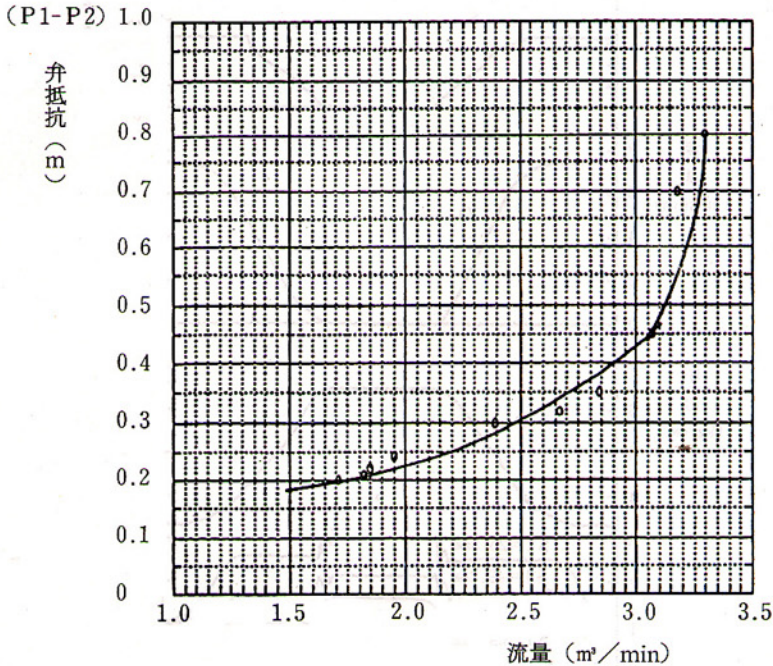


図-6 流量と弁抵抗 (差圧) の関係

(e) 主弁開度

ストロークセンサー

日本電気三栄 9E08-03-30

定格測定距離 0~30mm

を全開から徐々に閉じて1次圧を減ざると、主弁ストロークは1次圧の低下に呼応して開き、減圧量を変化させながら2次圧を設定圧に保持する。2次圧が設定圧よりも低下している領域

7. 性能試験の結果

(1) 1次圧の変動と2次圧の定圧特性

定圧弁の基本的な第1の機能として、1次側の圧力変動に対して、常に設定された2次圧を保持することがあげられる。

本実験ではその機能を確認するため、管路はポンプで加圧送水し、管径に対して略適切な流量(3.3m³/min)になるようライン末端弁V5を調整して定常状態としておき、この状態で入口弁V2を操作して1次圧P₁を最大値(全開)~最小値(P₁=0.5kgf/cm²)まで変化させ、圧力P₁、P₂及び流量と主弁ストロークをセンサーで出力し記録した。尚、超音波流量計の表示値を確認するため、全巾セキに落として相異なることを確認した。

結果を図-5に示す。図-5において、V2

表-1 流量と差圧の関係

流 量 (m³/min)	差 圧 (P ₁ -P ₂) m
3.30	0.80
3.18	0.65
3.07	0.45
2.84	0.35
2.67	0.32
2.39	0.30
1.93	0.24
1.82	0.22
1.71	0.20

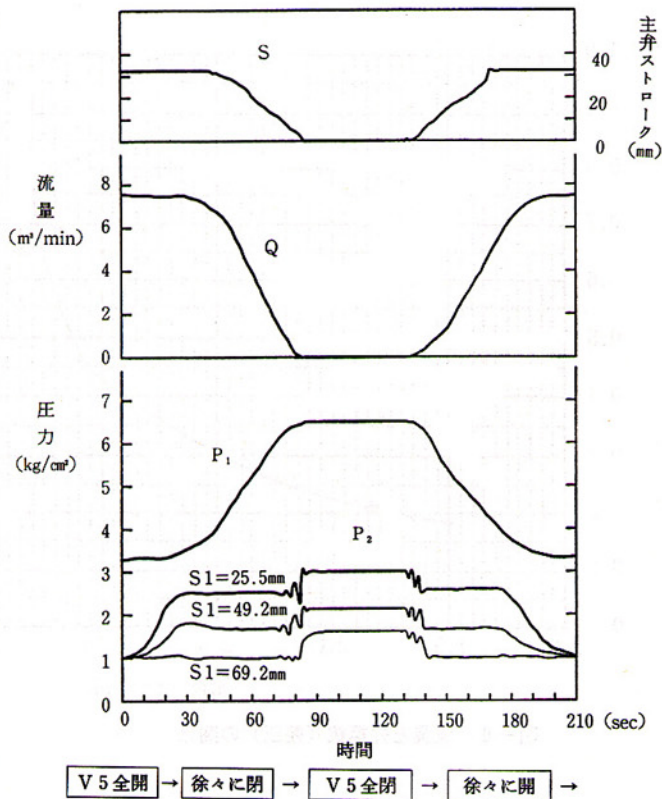


図-7 末端側の使用量の変動と2次圧の定圧特性

表-2 パイロット弁2次圧調整バネと2次圧の関係

パイロット弁2次圧調整バネ S_1 (mm)	2次圧 P_2 (kgf/cm ²)
69.2	1.0
49.2	1.7
25.5	2.5

は、1次圧 P_1 と2次圧 P_2 との差が狭まり、圧力制御の最低作動差圧以下の範囲である。図-5よりデータを読み取り、流量と試験弁の前後の圧力差 ($P_1 - P_2$) との関係を表-1にまとめ、図-6にプロットした。図中の屈曲点が試験弁の定圧特性の最低作動差圧で、その圧力制御限界点は約 0.4 kgf/cm^2 である。

(2) 末端側の使用量の変動と2次圧の定圧特性
定圧弁の第2の機能として、末端側の使用量

の変動に対しても常に設定圧力を維持することがあげられる。

本実験では入口弁 V_2 を全開にし、末端弁 V_5 を全開～全閉～全開に操作して定圧特性を確認した。2次圧の設定は、パイロット弁の2次圧調整バネを調整して行なった。結果を図-7及び表-2に示す。流量を増減させても2次圧は設定圧に制御されている。また2次圧の設定はパイロット弁の調整により $\pm 0.7 \text{ kgf/cm}^2$ 程度までは可能であることを確認した。

2次圧が設定圧よりも低下している領域は、試験に使用したポンプの性能を超えている範囲を示している。

(3) 可変流量制御特性

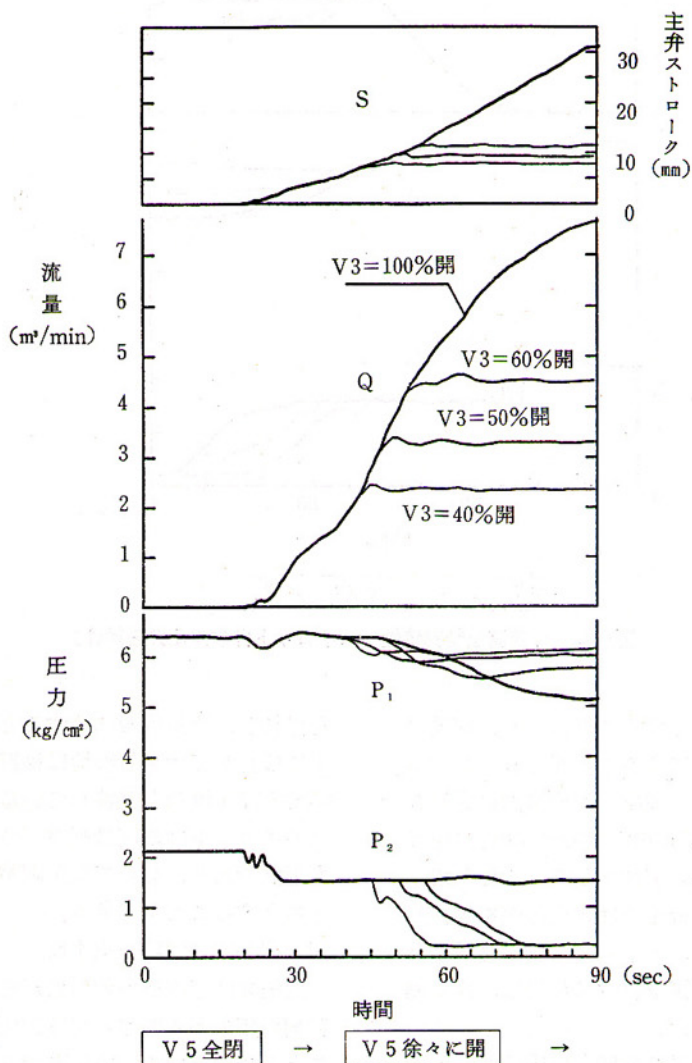
定圧弁は末端側の使用流量にかかわらず2次圧を保持するよう、主弁を自動閉鎖して流量を追従させる機能の特徴とするが、総合灌漑送水システムにおいては、計画分水量に流量制御す

表一三 可変流量制御特性 (流量調整弁 V 3 を操作)

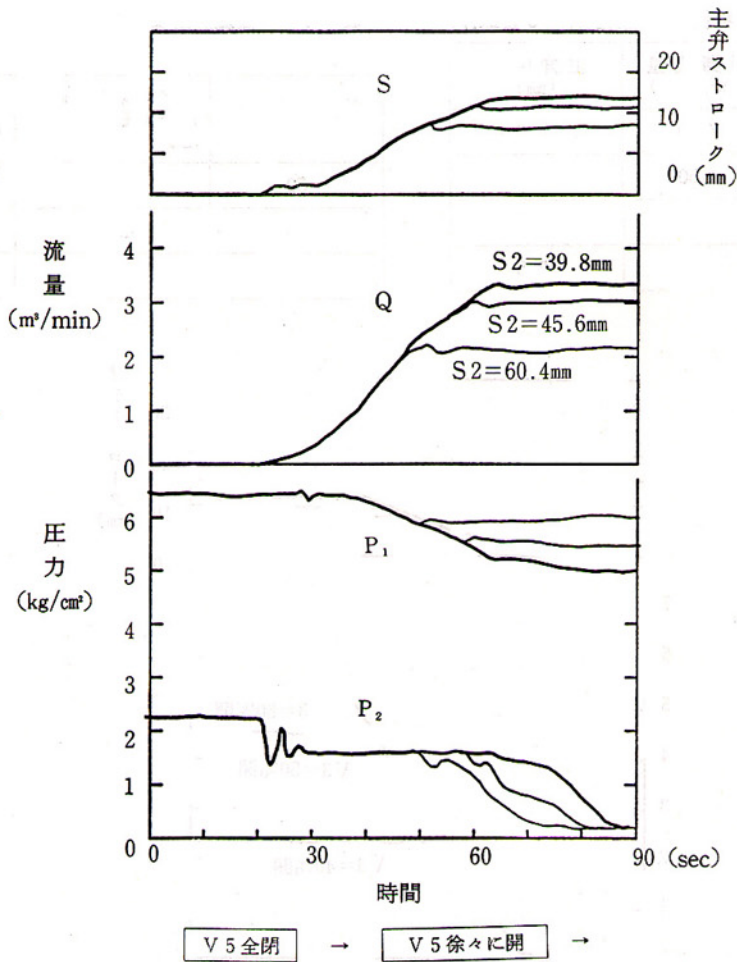
流量調整弁 V 3 開度 (%)	制御流量 (m ³ /min)	主弁開度 (mm)
100	7.80	32.0
60	4.50	11.5
50	3.26	9.3
40	2.30	7.5

表一四 可変流量制御特性 (パイロット弁の差圧弁を操作)

流量調整弁 V 3 開度 (%)	パイロット弁の差圧弁流量調整バネ S ₂ (mm)	制御流量 (m ³ /min)
50	60.4	2.22
50	45.6	3.03
50	39.8	3.30



図一八 可変流量制御特性 (流量調整弁 V 3 を操作)



図一9 可変流量制御特性 (パイロット弁の差圧弁を操作)

る機能を定圧弁に付加することにより、施設の自動化や管理を容易にすることができる。本実験は供試弁の上流側に設置した流量調節弁V3を、開度全開(100%)、60%、50%、40%に流量設定し、定常状態から末端弁V5を操作して、開度に応じた設定流量までは定圧特性を維持し、設定流量を超えると、パイロット弁に付設した差圧弁が作動して定流量特性に移行し、流量制御することを確認した。

次に、流量調節弁V3を50%に固定し、パイロット弁に付設した差圧弁の流量調整バネを操作して、設定流量を3種類に調整して測定した。

結果を図一8、図一9及び表一3、表一4に示す。設定流量までは流量を補充して定圧特性

を保持し、設定流量に達すると流量カーブは水平に移行して定流量特性に移行し、末端弁を開いても設定流量を保持している。また流量調整はパイロット弁の流量調整バネの操作によっても可能であり、従って流量調整弁を固定オリフィスとすることもできる。

(4) 末端弁全閉時の止水性

定圧弁は下流側の使用量が零になっても、上流側の圧力が遮断されて設定圧力に維持できることが条件となる。本実験では末端弁V5を全閉して30分以上保持し2次圧が設定圧を維持することを確認した。

結果を図一10に示す。2次圧力は通水時より0.5kgf/cm²程度上昇して完全に水平に移行し

安定する。途中1次側の圧力を変動させても安定状態を維持している。

8. 考 察

性能試験の結果によって確認された流量制御機能付定圧弁の有する特性により、畑地灌漑システムの設計に導入することに関して、次のような利点があげられる。

(1) 1次圧の変動及び末端側の使用量の変動に対しても、安定して応答し、流況の急変に対する水撃等の発生を抑制して安定した定圧特性を保持しているため、施設の簡素化が図れると同時に、末端の需要者に対して安定した圧力と流量を保証することが可能となる。

(2) 定圧弁に可変の定流量特性を付加することにより、過大流量を防止して計画配水が可能となり、供給主導型の総合灌漑送水システムの流量管理が可能となる。

また、一般の減圧弁と異なり、設定した流量以上になると、流量をカットするだけではなく、この時点からは定流量を保持するため、末端需要者としては、設定された流量の範囲内において相互の配分を考慮した有効な水利用が可能となる。また、末端の需要者の手によって、現場でも圧力及び流量の操作が可能であり、自由度のある柔軟な水利用が可能となる。

(3) 末端側が夜間等において使用量が零になっても、完全に1次圧を遮断して定圧特性を保持しているため、末端側のパイプライン設計に低圧仕様が適用可能となり、管材費のコストダウンを図ることができる。

9. 今後の課題

畑地灌漑用の制御弁は計画流量と計画圧力の全域を制御の対象とし、その全範囲にわたって

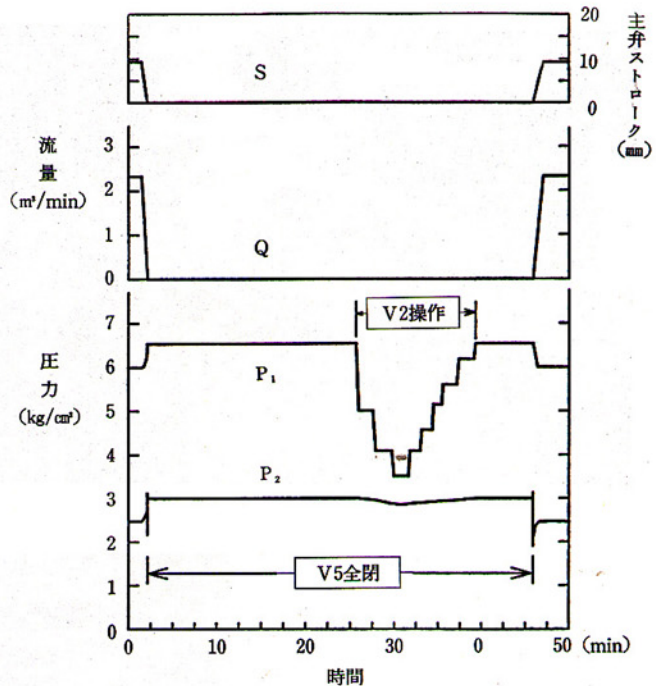


図-10 末端弁全閉時の止水性

の信頼性が要求される。しかし、畑地灌漑においては、水垢や生成物及びゴミ等による作動不良をあらかじめ予測しておく必要がある。今回、性能試験を実施した流量制御機能付定圧弁には、極微小通路がなく、弁自体については従来製品に比して大幅な改良がなされたといえる。しかし、定圧弁がゴミ等による作動不良や事故による昇圧の問題等を全て負担して解決するには限界があり、今後の課題としては、ゴミの排除のためのストレーナーや、事故による昇圧に対する安全対策としての安全弁等の周辺機器の信頼性をも含めた、畑地灌漑システム全体の信頼性をさらに向上させる方法について検討する必要がある。

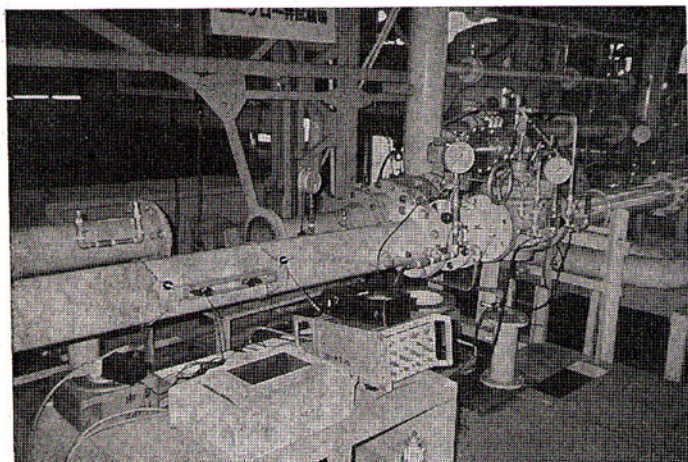


写真1 試験施設

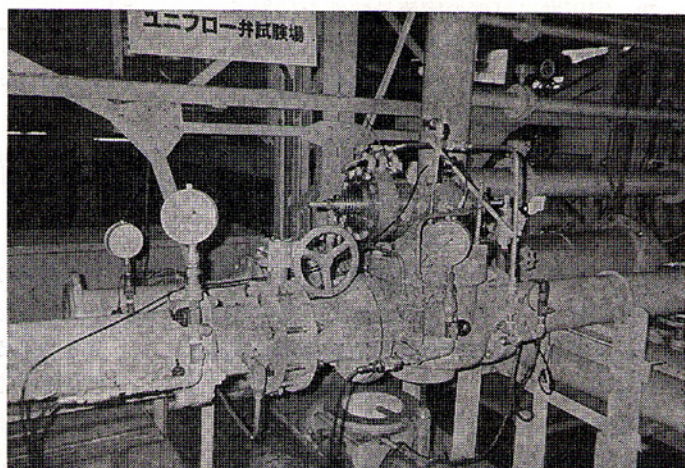


写真2 試験施設

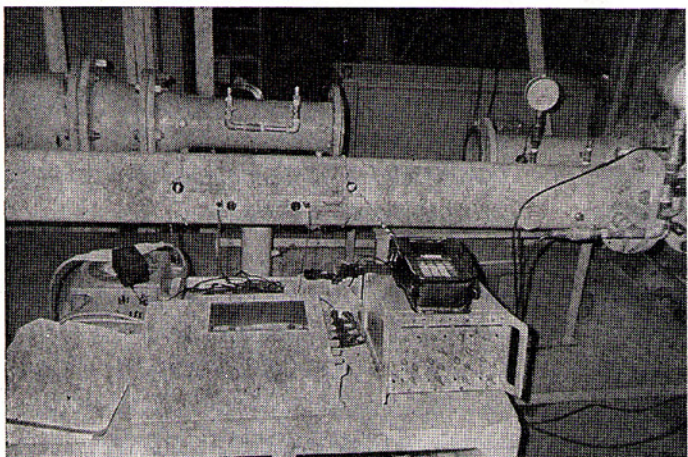


写真3 試験施設