

液面制御機能付定量弁の性能試験

農林水産省農業工学研究所
農地整備部畑地かんがい研究室

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。農業農村整備事業における畑地灌漑施設は多種多様な資器材で構成された一つのシステムであり、その一部分でも欠陥、支障があればシステム全体としての機能を失う危険性さえある。これらの資器材を地域性の異なる畑地灌漑事業地区に導入するためには、個々の資器材の性能及び適用性について、十分な実験的検討が必要であり、その要請も強いものがある。

畑地灌漑施設においては、水利用の経時・経年的変化や多目的利用による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となっている。

この度、水利用の効率的な運用システム開発を目的に、自動灌漑送水システムにおける貯水槽の液面制御弁において、設定液面を保持すると同時に、必要に応じて過大流量をカットする可変の流量制御機能を備えた弁装置が開発された。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「液面制御機能付定量弁」の性能特性について試験を実施した。この試験成果は、1次圧の変動による水撃等の発生を抑制し、安定した定圧特性を保持するため、畑地灌漑施設の簡素化と末端需要者への安定した圧力と流量の供給に寄与するものと考えられ、ここに報告する。

1. 製品名

フロート式液面制御弁(流量制御機能付)

型式 UFSF-200

パイロット式1液面制御弁(流量制御機能付)

型式 UFSB-1W-200C

パイロット式1液面制御弁(流量制御機能なし)

型式 UFSB-1W-200

パイロット式2液面制御弁(流量制御機能付)

型式 UFSB-2W-200C

パイロット式2液面制御弁(流量制御機能なし)

型式 UFSB-2W-200

2. 製造者名

株式会社 横田製作所

3. 試験の目的と試験項目

自動かんがい送水システムにおける貯水槽の液面制御弁において、設定液面を保持すると同時に、過大流量をカットし、必要に応じて設定流量の変更が可能な流量制御機能(可変流量制御機能)を備えた弁装置の性能を確認する。

- (1) 設定水位(上限水位、下限水位)における液面制御機能
- (2) 過大流量カット及び可変流量制御機能

4. 試験条件

(4-1) 設定場所

株式会社 横田製作所内

(4-2) 試験日

平成10年2月19日、20日

(4-3) 測定機器

(4-3-1) ポンプ

$\phi 250 \times 7m^3/min \times 50m \times 1750rpm \times 132kw$

(4-3-2) 圧力測定

ブルドン管式圧力計

圧力(P_1, P_1') $\phi 100 \times \text{Max} 10kgf/cm^2$

圧力センサー

圧力(P_1, P_1') PG-10KU 0~10kgf/cm²

(4-3-3) 試験水槽水位

圧力センサー

水位(P_w) PG-2KU 0~2kgf/cm²

(4-3-4) 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 1 sec

移動平均回数 16回

流量測定の測定周期の単位 45msec

(4-3-5) 波形記録

増幅器

共和電業 DPM-612B

波形記録計

日置電機 メモリーハイコーダー8830

(4-3-6) 主弁開度

ストロークセンサー

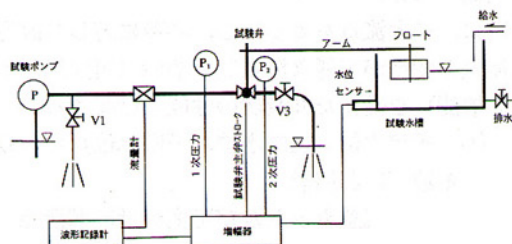
日本電気三栄 9E08-d3-100

定格測定距離 0~120mm

(4-4) 試験装置

(4-4-1) 配管系統図

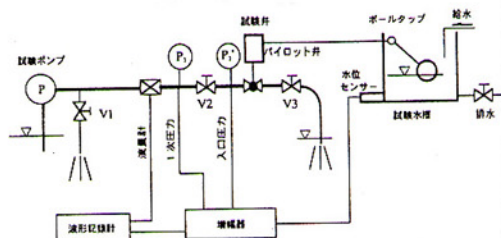
(フロート式液面制御弁 UFSF-200)



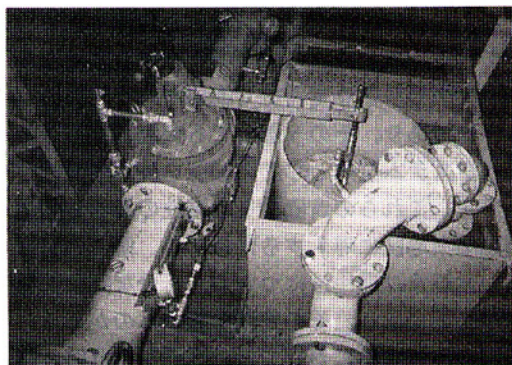
(4-4-2) 配管系統図

(パイロット式液面制御弁

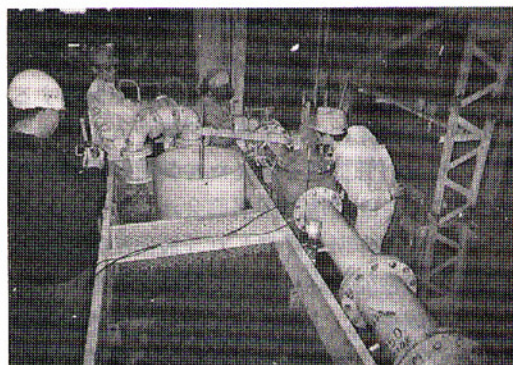
UFSB-1W-200C, UFSB-2W-200C)



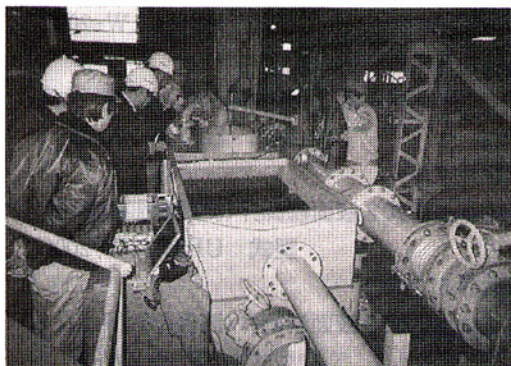
(4-4-3) 試験施設



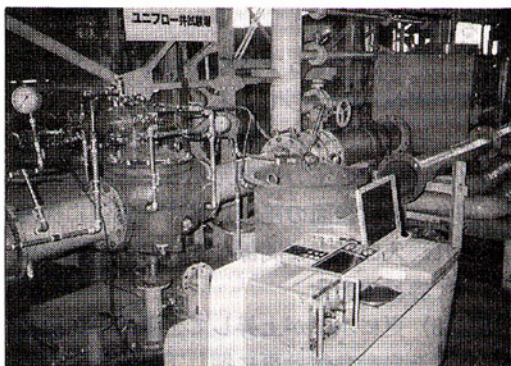
フロート式液面制御弁



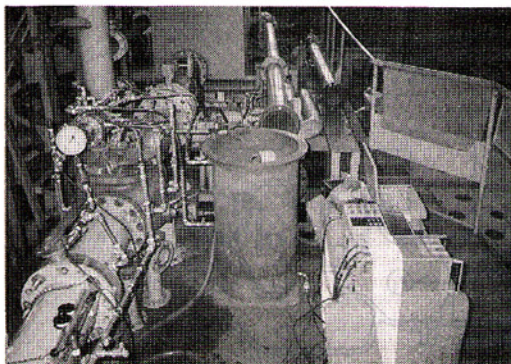
パイロット式液面制御弁



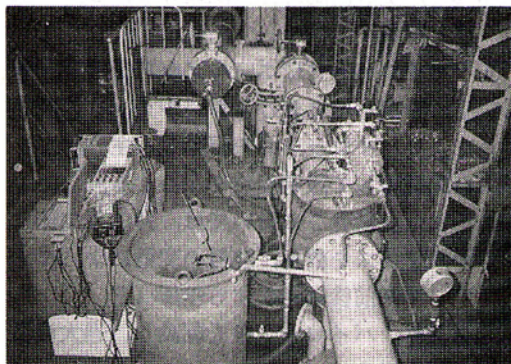
フロート式液面制御弁



パイロット式液面制御弁



パイロット式液面制御弁



パイロット式液面制御弁

5. 機構の概要

液面制御方式として、水位によってフロートで弁を直接駆動するフロート式と、水位によってボールタップを開閉し、弁を駆動するパイロット式の2型式の試験弁についての、各々の機構と特長は次の通りである。

(5-1) フロート式液面制御弁 (試験弁1)

型式 UFSF-200

試験弁1の特長は、バランス機構によりコンパクトなフロートで開閉が確実であることと、全域定流量性能があることである。その構成を次に示す。

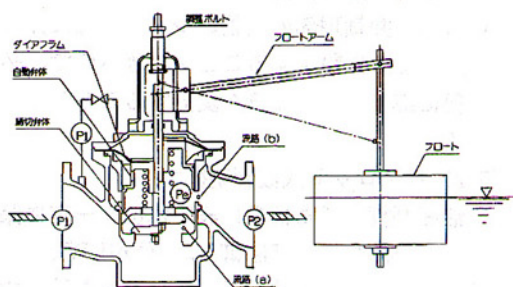


図5-1 試験弁1；構造と作動
(左側断面は閉止状態)

(5-1-1) 貯水槽の水位が上昇しフロートが上昇してくると、フロートアームを介して主軸が押し下げられ、締切弁体の流路(a)が狭まってくる。この動作に応じて流量が低下すると同時に中間圧力 (P_e) が低下してく

る。

(5-1-2) それに従って自動弁体はダイヤフラム上面から作用している入口圧力 (P_1) により押し下げられ、流路(b)を絞って中間圧 (P_e) は元の圧力に復元する。そのため締切弁体の前後面の差圧は常に一定値に保持され、入口圧力に関係なく、弁の開閉は極めて容易である。

(5-1-3) 更に水位が上昇して上限水位付近になると自動弁体は更に押し下げられ、ついに主軸の段付部に当接して締切弁体と一体化し、締切弁体の下面に作用していた入口圧力 (P_1) と、ダイヤフラム上面に作用していた入口圧力 (P_1) はバランスする。

(5-1-4) その結果軸推力はフリーとなり、圧力に関係なく弁の開閉は極めて容易となり、コンパクトなフロートで確実に締切が可能となる。このためフロートアームの張出しは短くてよく、据付面積の省スペース化がはかれる。

(5-1-5) 水位が低下すると、フロートが降下して給水を始め、更に水位が低下して締切弁体は全開となるが、弁自体が定流量機構を持っているため、設定流量を保持すると共に、入口圧力の変動に対しても、常に安定した流量を保持する。

(5-1-6) 弁軸頂部の調整ボルトで任意に弁の全開位置を設定することができるので、必要に応じて設定流量を変更することができる。

(5-2) パイロット式液面制御弁

液面制御方式には常に設定水位を一定に保持する目的の1液面制御と、水位がLWLまでは弁閉止状態を保持し、LWLになった時点で始めて給水を開始する2液面制御弁とがある。また各々の弁に流量制御用オリフィスを装備して過大流量をカットし、定流量を保持する機能を備えた弁が開発された。これらの4型式の試験弁についての、各々の機構と特長は次の通りである。

試験弁 2 ;

パイロット式 1 液面制御弁 (流量制御機能付)

試験弁 3 ;

パイロット式 1 液面制御弁 (流量制御機能なし)

型式 UFSB-1W-200

試験弁 4 ;

パイロット式 2 液面制御弁 (流量制御機能付)

型式 UFSB-2W-200C

試験弁 5 ;

パイロット式 2 液面制御弁 (流量制御機能なし)

型式 UFSB-2W-200

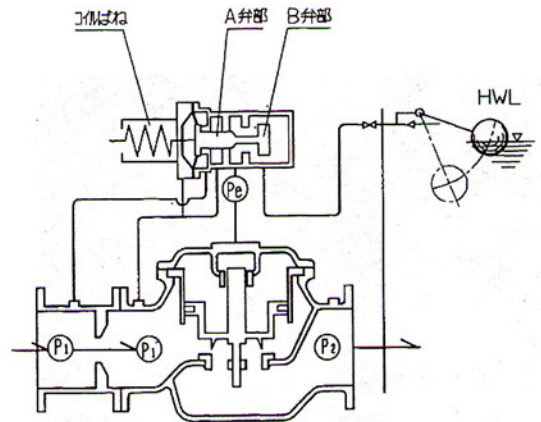


図5-2 試験弁 2 ; 構造と作動
1 液面制御弁 (流量制御機能付)

(5-2-1) 1 液面制御弁 (試験弁 2, 3) の機構と特長

(a) パイロット弁にボールタップを接続配管し、設定水位におけるボールタップの開閉によりパイロット弁を駆動し、主弁開度を自動調整して設定水位を保持する。

また試験弁 2 においては、弁の入口側にオリフィスを備え、流量の変動によってオリフィス前後に発生する差圧 ($P_1 - P_1'$) により、パイロット弁を駆動し、過大流量を防止する。

(b) 給水中は、パイロット弁の A 弁部、B 弁部が作動して中間圧 P_e を形成し、主弁上面に伝達して主弁開度を自動調整しているが、設定流量を超えると、差圧 ($P_1 - P_1'$) に

よりパイロット弁のA弁部は開き、B弁部は閉じて、中間圧 P_e を上昇させ、主弁を絞って過大流量を防止し、弁の作動は定流量機能へと移行する。

- (c) 設定流量の微調整はパイロット弁のコイルばねでできる。また広範囲に流量制御が必要な場合は、固定オリフィスの代りにバタフライ弁等の可変の流量調整弁を設置する。試験弁2には流量制御機能を確認するためにバタフライ弁を設置した。

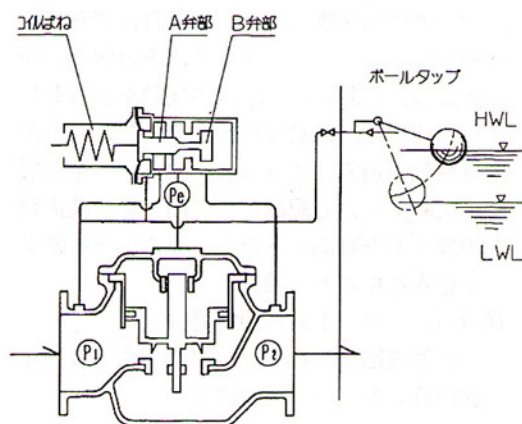


図5-3 試験弁3；構造と作動
1 液面制御弁（流量制御機能なし）

- (5-2-2) 2液面制御弁（流量制御機能付）（試験弁4）の機構と特長

上限水位、下限水位の2液面において弁の開閉をし、貯水を使い切った後に給水始めて常に貯水を活性化すること、および流量制御機能を装備して、過大流量をカットし、設定流量を保持する機能がある。

- (a) 上限ボールと下限ボールを備えたボールタップを接続配管し、設定水位（HWL, LWL）におけるボールタップの開閉によりパイロット弁を駆動し、主弁開度を自動調整して、HWLで閉止、LWLで給水開始という2液面の制御ができる。また、オリフィスを備えて、流量の変動によってオリフィス前後に発生する差圧（ $P_1 - P_1'$ ）によ

りパイロット弁を駆動し、過大流量を防止する。

- (b) HWLから水位が低下しても、ボールタップはトグル機構によって閉じたままのため、主弁は全閉状態を保持している。

次に、LWLまで低下して下限ボールのウェイトが作用し始めると、トグル機構が解除され、ボールタップが開き、主弁上面の圧力が開放されて主弁は全開となり給水を始める。そして水位がHWLに達して、上限ボールの浮力がトグル機構を反転させるまで給水続ける。

- (c) 過大流量防止の仕組みと特性は試験弁2と同じである。
(d) なお、広範囲に流量制御が必要な場合は、固定オリフィスの代りにバタフライ弁等の可変の流量調整弁を設置する。

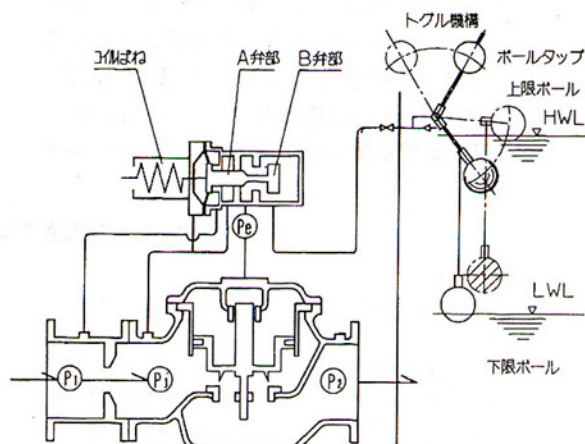


図5-4 試験弁4；構造と作動
2 液面制御弁（流量制御機能付）

- (5-2-3) 2液面制御弁（流量制御機能なし）（試験弁5）の機構と特長

- (a) パイロット弁に上限ボールタップと下限ボールタップを接続配管し、設定水位（HWL, LWL）における各ボールタップの開閉によりパイロット弁を駆動し、主弁開度を自動調整して、HWLで閉止、LWLで給水開始という2液面の制御ができる。

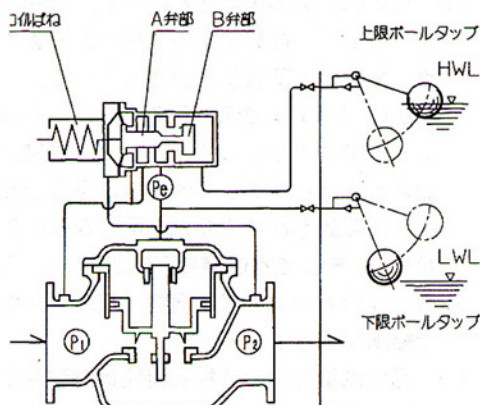


図5-5 試験弁5；構造と作動
2液面制御弁（流量制御機能なし）

(b) HWLから水位が低下して上限ボールタップが開いても、下限ボールタップが開くまでは、パイロット弁のB弁部は閉じたままのため、主弁上面には入口圧 P_1 が作用して主弁は全閉状態を保持している、次にLWLまで水位が低下すると、下限ボールタ

ップが開き、主弁上面の圧力が解放されて主弁は全開となり給水を始める。そして水位がHWLに達するまで給水を続ける。

6. 試験結果

(6-1) 設定水位における液面制御機能（開閉特性）

液面制御弁の基本的な第1の機能として、設定液面まで水位が上昇すると閉止し、水位が低下すると開弁して給水を開始する機能がある。

本実験ではその機能を確認するため、試験用ポンプで加圧送水し、定格流量に調整して運転中に、水位を変動させて、その作動状態を記録した。計測は、水位の変動を圧力センサーで検知し、流量は超音波流量計、弁の開度は弁軸の頂部にストロークセンサーを設置して同時に出力し記録した。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。

(6-1-1) フロート式液面制御弁

結果を図6-1-1に示す。（代表例として1次圧1k, 5kの場合を示す）

フロート式液面制御弁 開閉特性

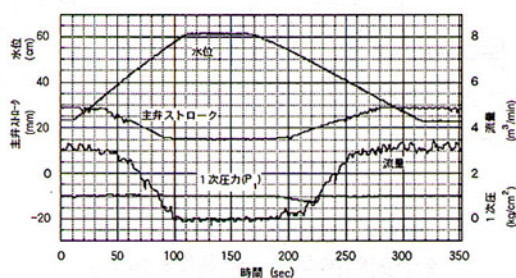


図6-1-1(1次圧1k)

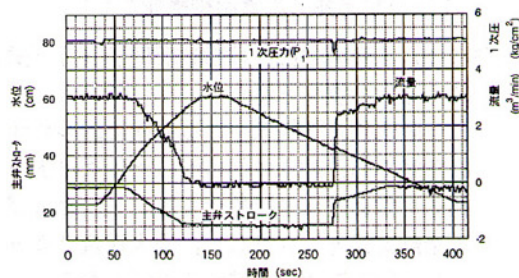


図6-1-1(1次圧5k)

(a) 図6-1-1において、V1を調整して1次圧を $P_1 = 1, 3, 5 \text{ kgf/cm}^2$ に保持しながら、各々の1次圧において定格流量状態から水位を徐々に上昇させると、フロートが上昇し、弁を閉止して閉止状態を保持する。次に水位を徐々に低下させると、フロートが

降下して開弁し、給水を開始することを示している。

(b) 弁開時の形態を観察すると、水位が低下し始めても弁閉止状態をしばらく保持し、更に水位が低下して初めて弁が開いて、給水を開始する特性があることを示している。

この傾向は1次圧が高くなるほど顕著になる。

これは、締切直前の長時間にわたる極少水量域状態を避けることができる特長があることを示している。

また、弁閉付近の極少水量域のチャタリ

ングの傾向もなく安定している。

(c) 弁の閉止水位 (HWL) は1次圧に殆ど関係なく一定で設定水位を保持している。

これらのデータを記録波形から読取り表6-1-1にまとめた。

表6-1-1 1次圧と水位の関係

1次圧 (P1) kgf/cm ²	閉止水位 (HWL) cm	開弁開始水位 cm	弁全開水位 (LWL) cm	制御水位差 (HWL-LWL)cm
1.0	61.0	56.5	32.4	28.6
3.0	61.2	52.7	35.1	26.1
5.0	60.7	42.1	34.3	26.4

(6-1-2) パイロット式液面制御弁
結果を図6-1-2, 4, 5に示す。

図6-1-2, 試験弁2; 1液面制御弁
(代表例として1次圧1k, 5k)

図6-1-4, 試験弁4; 2液面制御弁
(ドブル機構方式 1次圧3k)

図6-1-5, 試験弁5; 2液面制御弁
(2ボールタップ式 1次圧5k)

(a) 各試験弁共, V1を調整して1次圧を
 $P_1 = 1, 3, 5 \text{ kgf/cm}^2$ に保持しながら, 定

格流量状態から水位を徐々に上昇させると,
ボールタップ, ひいてはパイロット弁が作
動して弁閉止状態を保持し, 次に水位を
徐々に低下させると開弁し, 給水を開始す
ることを確認した。(図示は代表例のみ)

図6-1-2において, 水位波形に示す通り,
パイロット式はフロート式に比して, 水位
の変動に対して敏感に応動し, 弁の開閉作
動を行っている。試験水槽における弁の開
閉は50~100mmの水位間に制御している。

パイロット式1液面制御弁(流量制御機能付)開閉特性

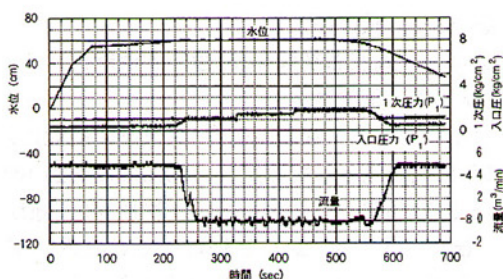


図6-1-2(1次圧1-1.8k)

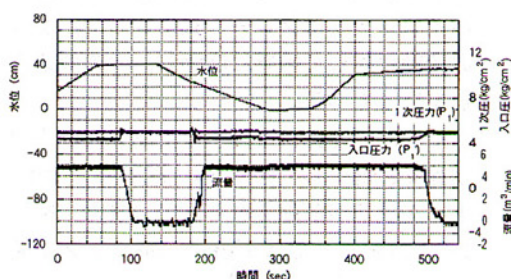


図6-1-2(1次圧5k)

パイロット式2液面制御弁
(流量制御機能付) トグル機構方式 開閉特性

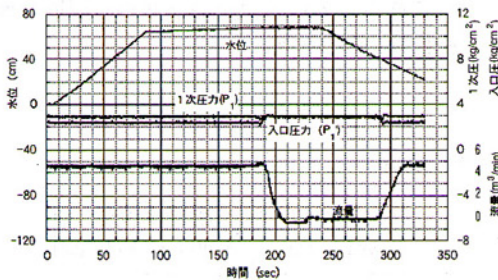


図6-1-4(1次圧3k)

パイロット式2液面制御弁(流量制御機能なし)
2 ボールタップ方式 開閉特性

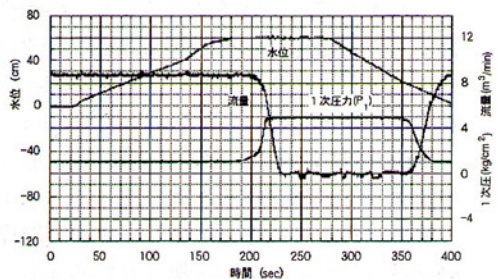


図6-1-5(1次圧5k)

- (b) 図6-1-4, 5において2液面の制御ができることを確認した。予め設定した上限水位と下限水位において、水位波形に示す通り、パイロット式はフロート式に比して、水位の変動に対して敏感に応動し、弁の開閉作動を行っている。

その開閉作動は上限水位で閉弁し、水位が徐々に低下して図6-1-4；試験弁4では、トグル機構が解除されるまで、また、図6-1-5；試験弁5では下限ボールタップが開くまでは閉止状態を保持し、下限設定水位において始めて全開し、給水を開始している。また一旦給水状態になると、水位は上昇しても上限水位に達するまでは給水を続けることを示している。

- (c) 図6-1-4；試験弁4はトグル機構によりパイロット弁を開閉させるため、他の弁に比して弁の開閉速度が速い傾向がある。この場合、1次圧をパイロット弁に導入する配管に設置した調整弁を調整することにより、弁の開閉時間を調整することができる特長がある。

- (6-3) 過大流量カット及び可変流量制御機能
一般的に液面制御弁は弁が全開すると圧力によって放流量が変動し、水源の適性配分ができなくなる可能性がある。しかし試験弁においては、流量制御機能を付加することにより、過大流量をカットするため施設の自動化や管理を容易にすることができる。

試験弁1；フロート式液面制御弁では流量調整ボルトの操作により、また、試験弁2，4；パイロット式液面制御弁では上流側に設置した流量調整弁V2を調整して、定格流量の100%，75%，50%，25%に流量設定し、V1を操作して1次圧を0.5～6kgf/cm²まで段階的に変化させて流量制御特性を確認した。計測は、1次圧の変動を圧力センサーで検知し、流量は超音波流量計、弁の開度は弁軸の頂部にストロークセンサーを設置して同時に出力し記録した。また、試験弁2，4；パイロット式液面制御弁は弁の入口側にバタフライ弁V2を設置し、流量の変動によってバタフライ弁V2の前後に発生する差圧($P_1 - P_1'$)によりパイロット弁を駆動しているため、バタフライ弁V2直後の圧力 P_1' も同時に記録した。

図6-3-1，試験弁1；

フロート式液面制御弁(流量制御機能付)

図6-3-2，試験弁2；

パイロット式1液面制御弁(流量制御機能付)
(共に代表例として開度50, 100%のみを図示)

- (6-3-1) 図6-3-1において、1次圧が0.5kgf/cm²から5.7kgf/cm²まで変動しても流量定格流量 $Q = 3.0\text{m}^3/\text{min}$ の±10%を保持している。また、1次圧の変動に対して過渡的な流量変動がなく、安定して定流量特性があることが確認できた。

- (6-3-2) 図6-3-2において、1次圧が1.0kgf/cm²

cm²から6kgf/cm²まで変動したときの流量の波形から、バタフライ弁V2直前の1次圧 P_1 とバタフライ弁V2直後の入口圧 P_1' との差圧($P_1 - P_1'$)が0.6kgf/cm²以上になると流量制御機能が作動していることがわかる。

また、バタフライ弁V2を操作すると、過渡的に流量変動が発生しているが、差圧($P_1 - P_1'$)がパイロット弁を作動させて定流量に復元している。

(6-3-3) 試験弁4；パイロット式2液面制御弁の流量制御機能は試験弁2と同一のため、

定流量特性も同じであり図示は省略した。

(6-4) 損失特性

試験弁3；パイロット式1液面制御弁（流量制御機能なし）において、弁全開状態に保持して、試験弁の前後の差圧を変化させて、流量と損失との関係を測定した。

測定は入口圧 P_1 、および出口圧 P_2 を読み取り、流量は超音波流量計の表示値を読み取り記録した。

結果を表6-4にまとめ、図6-4にプロットした。

本試験弁の損失係数 f は約11であった。

フロート式液面制御弁 定流量特性

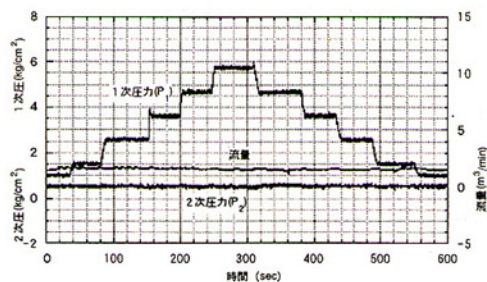


図6-3-1(開度50%)

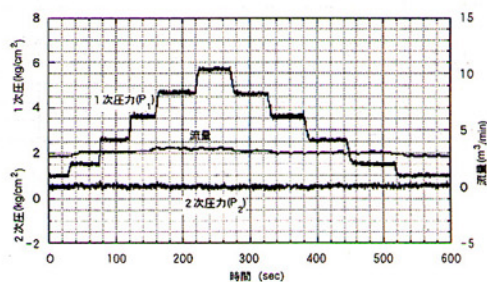


図6-3-1(開度100%)

パイロット式液面制御弁（流量制御機能付）定流量特性

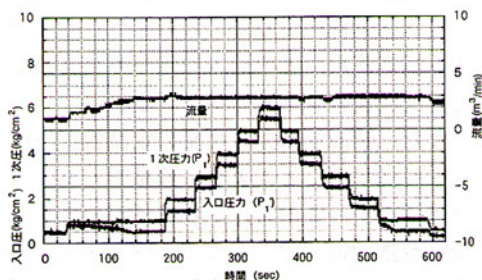


図6-3-2(開度50%)

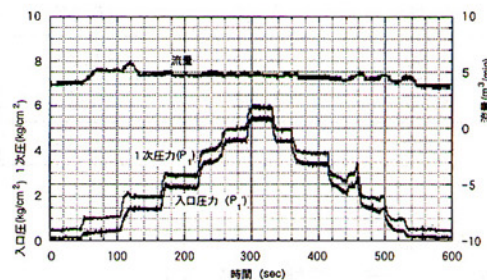


図6-3-2(開度100%)

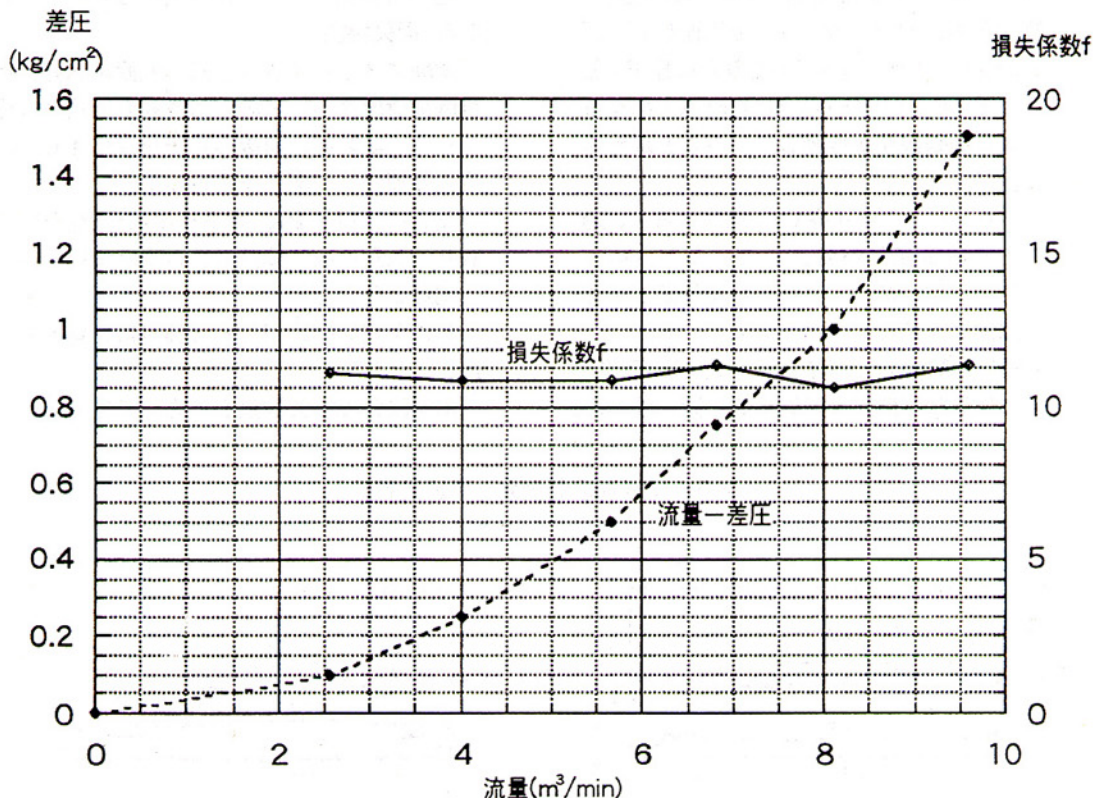


図6-4

流量—損失特性

表6-4

流量(m³/min)	差圧(kg/cm²)	損失係数 f
2.55	0.10	11.10
4.00	0.25	10.87
5.66	0.50	10.87
6.80	0.75	11.36
8.10	1.00	10.64
9.60	1.50	11.36

7. 評 価

(7-1) 液面制御機能（開閉特性）

常に設定水位を一定に保持する目的の1液面制御弁と、水位がHWLから低下しても弁閉止状態を保持し、LWLになった時点で始め

て給水を開始する2液面制御弁とについて試験を行ったが、各型式とも安定して設定液面を制御している。

使用目的に適した型式を選択して、各々の制御特性が有効に活用できる。

(7-2) 過大流量カット及び可変流量制御機能

流量制御機能付の弁においては、弁全開時でも設定流量以上の過大流量をカットして、適正な流量の計画配分ができる。

また、液面制御弁に可変の定流量特性の機能を付加することにより、流量をカットするだけでなく、この時点からは任意の計画分水量に流量設定ができるので、総合かんがい送水システムにおいて、施設の自動化や管理を容易にすることができる。

以上