

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2007～2009

課題番号：19580282

研究課題名（和文） 畑地かんがい用パイプラインの安全対策の最適化に関する研究

研究課題名（英文） Studies on Optimization of Safety Measure in Pipeline for Field Irrigation with Automatic Control Valve

研究代表者

稲垣 仁根 (INAGAKI HITONE)

宮崎大学・農学部・教授

研究者番号：30325732

研究成果の概要（和文）：

本研究は、畑地灌漑用パイプラインでの安全確保を目的とした自動弁の適用能力について実験的に検証した研究である。研究の内容は；1つは「自然流下系パイプラインに自動減圧弁や安全弁を用いることにより水圧を制御する技術を確立すること」、もうひとつは「ポンプ送水系パイプラインにおける水撃圧の発生を逆止弁を用いて抑制する技術を確立すること」である。これらの技術はパイプラインの最大水圧の減少に寄与して、安価な塩化ビニル管の安全利用を可能にし、また従来型の負圧対策施設を不要にする。

研究成果の概要（英文）：

This dissertation presents a series of studies conducted for investigating applicability of automatic control valves to guarantee the safety in field-irrigation pipelines. The final goal of the studies is to achieve a pressure reduction on field irrigation pipelines using automatic control valves. For the purpose, the studies focused on the following two main objectives; (1) in natural down-flow pipelines, establish a pressure control technique by applying automatic control valve and safety valve, and (2) in pumping pipelines, investigate for water column separation and establish a technique of controlling water hammer pressure by applying check valve. These techniques contribute to reduce maximum pressure in the pipeline and thus enable a safe use of low-cost polyvinyl-chloride pipes for field irrigation pipelines. Also, it allows to construct pumping pipeline system without having conventional facilities for negative pressure measures.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2008年度	2,000,000	600,000	2,600,000
2009年度	200,000	60,000	260,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：農業工学、農業土木学・農村計画学

キーワード：自然流下系パイプライン、低圧化システム、自動減圧弁、安全弁、定流量弁

1. 研究開始当初の背景

(1)自然流下パイプライン 南九州の畑地かんがい地区においては、水源のファームポンドが台地上にあり、受益地は台地の下に展開するような地形条件が多いという特徴がある。受益地に近い末端部分においては、管路の延長が長くなるために経済性に優れた塩ビ管の使用を求められるが、地形条件から作用圧力がどうしても大きくなるため、塩ビ管の破裂など事故が発生する事例が多いのが現状である。この困難を克服するために、自動減圧弁によりバルブ上流側（1次側）の圧力を減圧し、下流側（2次側）の圧力を一定に制御できる減圧システムが導入されていたが、静水圧の遮断ができないこと、減圧弁を直列配置すると減圧弁相互に自励振動を生じることなどがあり、従来型の自動減圧弁を使用した場合にはトラブルを生じているのが現状である。

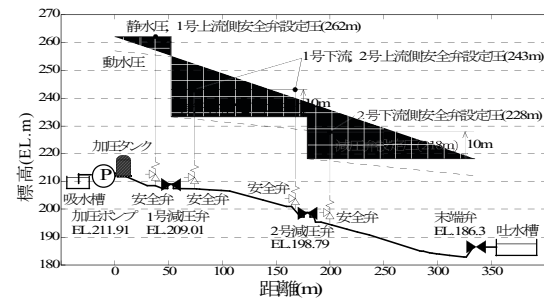
現在では、減圧弁自体の作動機構を改良した新型の自動減圧弁が提供されているが、減圧弁の作動が遅れて水撃圧の上流への伝播を完全に阻止できないこと、流速がゼロになる静水圧の遮断が不完全な場合があることなど、減圧弁単体での安全性の確保には限界があることが明らかになっている。また、減圧弁と定流量弁を併用すると、相互に自励振動を生じることが明らかとなっている。

減圧システムの導入において、安全性を確保するための技術としては、安全弁の併用が効果的であることが明らかとなっているが、種々の条件下における安全性を確保する技術の開発は未整備な状況にあり、設計段階へ提供できるレベルには至っていない。

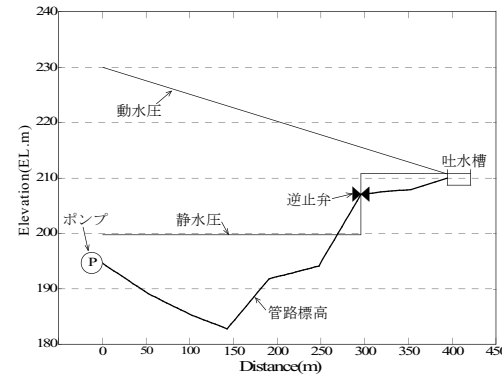
従来のパイプライン設計では、パイプラインの中間地点で定流量弁により流量を制御することは、バルブ下流側の流れを乱し、エアの混入などトラブルの原因になると考えられていた。そのため、定流量弁はパイプラインの末端に設置し、2次側は大気に開放するように設計されていた。一方、管理者側から、パイプラインの上流側で流量を一定に制御したいという要請があり、定流量弁をパイプラインの中間地点に配置する事例も多くなっており、技術的な課題となっている。

(2)ポンプ送水系パイプライン 研究代表者は、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、水撃圧防止弁を負圧発生地点の下流側に単独あるいは直列に設置する方法を

提案している。水撃圧防止弁は、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。この方法は、



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を水撃圧防止弁により抑制するものであり、従来型の水撃圧対策としてのフライホイールやワンウェイサージタンク等の設置を省略して、水撃圧対策施設の設備費と維持管理を削減することを目的としている。

このポンプ停止に起因する圧力低下、負圧発生、水柱分離、分離した水柱の再結合という一連の水撃圧発生のメカニズムは、実験的に十分明らかにされているとは言えない状況にあり、今後、水撃圧防止弁を用いた対策を設計レベルまで確立する必要がある。

2. 研究の目的 本研究は、畑地かんがい用パイプラインにおいて、自動減圧弁、逆止弁、安全弁などの動力を必要とせず水圧で作動する自動弁を用いた安全対策の有効性とその最適化について、実験専用のパイプラインを用いた研究により明らかにしたものである。研究の対象は、畑地かんがい用の自然流下系パイプラインとポンプ送水系パイプラインであり、具体的な研究内容は、「自然流下系パイプラインにおいて、自動減圧弁を用

いて圧力を削減し、安価な塩化ビニル管の使用を可能にする低圧化パイプラインを構築する場合に、安全弁を用いて過剰な圧力の発生を抑制する技術」と「ポンプ送水系パイプラインにおいて、逆止弁を用いてポンプ急停止時の水柱分離と水撃圧の発生を抑制する技術」の確立である。

本研究は、畑地かんがいパイプラインを計画する当初の段階において、地区の実情に応じた安全かつ経済性に優れたパイプラインシステムを選定でき、さらに最適な路線選定を可能にするための「畑地かんがい用パイプラインの安全対策の最適化」について技術指針を整備することを目的としている。

3. 研究の方法 パイプラインの自動弁に関する既往の研究は、数値モデルによるシミュレーションまたは実際に運用を行っているパイプラインにおける実験が主であり、自動弁などの施設や実験の条件などに制約があるため、実験専用のパイプラインを整備して、詳細な現地実験を実施する必要がある。

本研究で整備した鹿児島県大野岳パイプライン実験施設は、口径 100mm の塩化ビニル管を使用し、1カ所の逆止弁を設置した延長 400m のポンプ送水系パイプラインと安全弁を併設する減圧弁を2カ所に配置した延長 350m の自然流下系パイプラインから構成されており、圧力計、流量計、差圧計などセンサー類を配置して、計測システムを構築している。

具体的には、以下の(1)~(3)項目について、現地実験で検証を行った。

図 1: 自然流下系実験パイプライン縦断面図
図 2: ポンプ送水系実験パイプライン縦断面図

(1)自動減圧弁を配置した低圧化パイプラインシステムの安全性に関する内容

従来型および新型の自動減圧弁を単独、直列、並列で設置し、安全弁と組み合わせた設定条件における圧力制御の挙動について、詳細な現地実験を行い、検証を加えた。さらに、直動式およびパイロット弁式安全弁を水撃圧抑制対策として用いた場合の効果について実験を行い、末端バルブ閉鎖により発生する水撃圧を減少させるために、有効な安全弁と減圧弁の機種との関係を求めた。

(2)ポンプ送水系パイプラインにおけるポンプ急停止時の水柱分離による水撃圧の発生機構

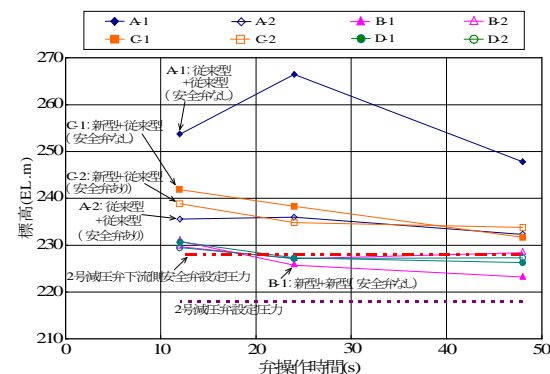
ポンプ送水系パイプラインにおける研究では、実験用パイプラインにおいて、ポンプ停止前にポンプ吐出弁を閉鎖し、ポンプ吐出側の圧力を蒸気圧まで急激に低下させることにより、管路の途中で水柱分離と再結合が発生し、圧力上昇が発生する状況を確認する。この実験により、負圧による水柱分離と再結合による圧力発生メカニズムを検

討した。

(3)逆止弁を用いたポンプ送水系パイプラインの水撃圧抑制 ポンプ送水系パイプラインの水柱分離が発生すると予想される箇所の下流側にスイング式逆止弁を設置する方法が、ポンプ動力喪失時に発生する水撃圧に対して有効な対策であると考えられている。このスイング式逆止弁による圧力上昇の抑制効果を実験的に明らかにし、改良型である無水撃逆止弁を設置する場合について比較検討した。

(4)定流量弁を設置した低圧化システムの安定性

パイプラインの中間位置に制御方法の異なる流量固定型と流量可変型の直動式の定流量弁を設置して、通水時の安定性について比較検討を行った。また、新型と従来型の自動減圧弁を上流側に設置し、流量固定型と流量可変型の定流量弁を下流側に設置して組み合わせ、現地水理実験の実施により自動弁の



組み合わせによる通水時の安定性や自励振動の発生について検証を加えた。

4. 研究成果

(1)安全弁による低圧化システムの圧力制御対策について

1)自動減圧弁を単独、直列設置した場合の圧力制御機能

従来型および新型の自動減圧弁を単独、直列で設置し、安全弁と組み合わせた設定条件における圧力制御の挙動について、以下の結論が得られた。

- 従来型減圧弁については、末端弁の操作時間が長い場合は、減圧弁の下流側圧力を設定圧力に制御することは可能である。
- 従来型減圧弁を用いる場合は、減圧弁上下流の圧力を遮断し、下流側圧力を設定圧力に制御するため、安全弁を併用する必要がある。
- 新型減圧弁は末端弁の閉鎖による下流側圧力の上昇に敏感に反応して全閉するため、下流側圧力の上昇を抑えることができる。
- 従来型減圧弁を直列配置した場合には、安全弁を併用することにより、段階的に静水

圧を設定圧力に制御することが可能となるが、低圧化システムの機能の維持は安全弁に全面的に依存することとなる。

- ⑤ 新型減圧弁を直列配置した場合には、減圧弁単独で通水停止時の段階的な圧力遮断が可能になるため、低圧化システムを安定して稼働することができる。
- ⑥ 減圧弁を直列に配置する場合、2 台の減圧弁の上下流に合計 4 台の安全弁を取り付けることで、中間の管路における圧力の上昇に対する抑制効果が得られ、安全性が増加する。

2)安全弁の最適な配置

安全弁を水撃圧抑制対策として用いた場合、末端バルブ閉鎖により発生する水撃圧を減少させるために効果的な配置について、以下の結論が得られた。

- ① 末端のバルブ閉操作による通水の急停止が行われた場合、従来型減圧弁においては、2 次側圧力制御機構が対応できないため、発生した水撃圧が減圧弁を透過して上流端へ到達し、管路全体に波及する。従って、減圧弁の下流側に安全弁を設置することが有効である。
- ② 新型減圧弁は制御性が良く、反応が敏感で、末端弁を急閉鎖した場合、減圧機構が十分作動し主弁が速やかに閉鎖するが、弁の作動が減圧弁上流側へ水撃圧を伝播する原因になる。従って、減圧弁の上流側に安全弁を設置することが有効である。
- ③ 新型減圧弁、従来型減圧弁ともに安全弁は減圧弁の上下流に設置が必要である。

図 3: 末端弁操作時間と末端部最大圧力

3)安全弁の機種による水撃圧抑制効果の違い

また、直動式およびパイロット弁式安全弁の水撃圧抑制効果について、以下の結論が得られた。

- ① 直動式安全弁とパイロット弁式安全弁の作動状況の水撃圧抑制対策の面から比較すると、両タイプとも必要な機能を有している。
- ② パイロット弁式安全弁は直動式安全弁に比べて作動が緩やかであるが、安全弁の吹出流量はやや多く、流量特性に優れている。

4)減圧弁を並列設置した場合の圧力制御機能

従来型と新型の減圧弁を並列に設置した場合の圧力制御機能について、以下の結論が得られた。

- ① 異機種の減圧弁を組み合わせると並列配置し、安全弁を併用しない場合は、従来型減圧弁の特性が優先されるため、通水停止時に静水圧が減圧弁の上下流で連続する現象を生じる。
- ② 減圧弁を並列配置する場合には、異機種の組み合わせは可能である。ただし、減圧弁の 2 次側圧力を制御するために、安全弁

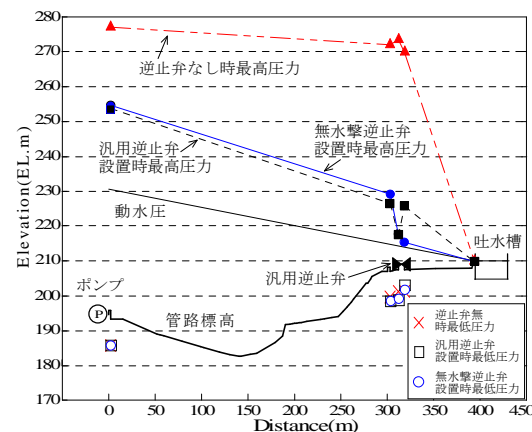
を併用する必要がある。

- ③ 末端弁閉鎖時間が長い場合に、従来型減圧弁を主弁、新型減圧弁をバイパス弁として組み合わせれば、減圧弁の 2 次側圧力の制御を安全弁に依存することなく、流量の変化に対応した圧力制御が可能となる。

(2)定流量弁を設置した低圧化システムの安定性

1)定流量弁をパイプライン中間地点に設置する場合の流量制御機能について

- ① 管路圧力の変動に対して、定流量弁の流量制御機能は速やかに追従する。
- ② 減圧弁の下流側に下り勾配の延長の長い管路を有することは、圧力の低下による空気混入や負圧の発生が懸念されるが、管路圧力が低下し、定流量弁の下流側で負圧を生じた場合でも、流量制御機能は作動する。
- ③ 定流量弁の下流側で負圧を生じた場合は、キャビテーションが継続して発生する。
- ④ キャビテーションの発生が継続することは、弁体の摩耗、損傷を招くので、下流側の勾配を一部で立ち上げるなど縦断計画を工夫する必要がある。



- ⑤ パイプラインの中間、特に分岐地点において定流量弁を設置して、流量制御を行う場合は、定流量弁の下流側の管路縦断をできる限り工夫する、または末端分水工のバルブ開度を絞って、末端の管路圧力を上昇させるなどの対策を講じることにより、キャビテーションの発生を抑制する必要がある。
- ⑥ 流量固定型および流量可変型定流量弁の作動状況について比較すると、流量を一定に保持するという機能については、同程度の性能を有していると考えられる。
- ⑦ 流量固定型定流量弁は、設定流量を変更する場合、弁内部の流量調整管を交換して、設定流量を段階的に選択する必要がある。また、管路の流況の影響を受けて、定格の流量が得られない場合がある。
- ⑧ 設定流量を変化させると、定流量弁の機種の違いにより、流量制御に違いが現れるが、その差は僅かであり、実用上は特

に問題はない。

2) 自動減圧弁と定流量弁を設置する場合の振動発生について

- ① 通水時において、減圧弁と定流量弁との間で自励振動を生じていないので、減圧弁と定流量弁の直列配置については、特に使用を規制すべき要因は認められない。
- ② 減圧弁と定流量弁を直列配置した場合に、自励振動を生じた事例も報告されており、自励振動の発生は、管路の特性を含む複合的な要因が影響しているものと考えられる。減圧弁の振動の発生時には、速やかに原因を特定して、対策を講じる必要があるが、減圧弁の上下流に安全弁を設置することで対応が可能であると考えられる。

(3) 逆止弁によるポンプ送水系パイプラインの水撃圧抑制対策

ポンプ送水系パイプラインにおいて、ポンプが動力を喪失した時に発生する水撃圧に対する逆止弁を設置する安全対策については、以下の結論が得られた。

- ① ポンプ停止により負圧が発生し、水柱分離を生じる部分が存在しても、汎用スイング逆止弁や無水撃逆止弁を負圧発生地点の下流側に設置すれば、水柱分離後の再結合を防ぐことができる。
- ② 逆止弁の設置による圧力上昇の軽減については、逆止弁からの距離が近いほど分離した水柱の再結合防止効果が高く、圧力上昇の防止効果は高い。
- ③ 管路の中間に逆止弁を設置する場合はバイパス弁付き逆止弁の方が安全である。
- ④ 汎用スイング逆止弁と無水撃逆止弁の比較で一番大きな違いは、ポンプ停止時の逆止弁下流側の配管内の圧力変動の大きさである。

図 4: 最高最低圧力標高

本研究により、畑地かんがい用パイプラインにおける自動弁を用いた安全対策の有効性と最適な配置について、新しい指針を提案することができた。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 3 件)

- ① 高橋研二、稲垣仁根、多炭雅博、竹下伸一、安全弁による低圧化システムの圧力制御対策 (I) - 自動減圧弁を単独設置した場合 -、雨水資源化システム学会誌、査読有、15(1)、2009、pp. 23-30.
- ② 高橋研二、稲垣仁根、多炭雅博、竹下伸一、安全弁による低圧化システムの圧力制御対策 (II) - 安全弁による水撃圧対策 -、雨水資源化システム学会誌、査読有、15(1)、

2009、pp. 31-40.

- ③ 高橋研二、稲垣仁根、多炭雅博、竹下伸一、安全弁による低圧化システムの圧力制御対策 (III) - 自動減圧弁を直列設置した場合 -、雨水資源化システム学会誌、15(2)、2010、pp. 73-84.
[学会発表] (計 5 件)
- ① 高橋研二、稲垣仁根、自動減圧弁の2次圧制御に関する現地試験、第15回日本雨水資源化システム学会大会、2007、pp.111-114.
- ② 高橋研二、稲垣仁根、スイング式逆止弁によるポンプ急停止時の水撃圧抑制に関する現地試験、第15回日本雨水資源化システム学会大会、2007、pp.115-118.
- ③ 高橋研二、稲垣仁根、自動減圧弁を用いた現地実験用パイプラインにおける安全弁の効果について、第16回日本雨水資源化システム学会大会、2008、pp.81-84.
- ④ 高橋研二、稲垣仁根、逆止弁による塩ビ系送水ラインにおける水撃圧抑制について、農業農村工学会九州支部第90回講演会・シンポジウム、2009、pp. 21-28.
- ⑤ 高橋研二、稲垣仁根、安全弁による低圧化システムの圧力制御対策 - 安全弁による水撃圧対策 -、第17回日本雨水資源化システム学会大会、2009、pp. 57-62.

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況 (計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

稲垣 仁根 (INAGAKI HITONE)

宮崎大学・農学部・教授
研究者番号：30325732

(2)研究分担者
()

研究者番号：

(3)連携研究者
()

研究者番号：