

# 開水路系を含む送水系パイプラインの通水試験における留意点

株式会社アルファ技研  
高橋 洋

## 1. はじめに

本報は、開水路系を含む送水系パイプラインの通水試験を行う際の留意事項について、国営土地改良事業で造成されたパイプラインのうち、弊社が平成26年度に担当した開水路（水路トンネル）とパイプラインで構成される複合水路での通水試験を踏まえ、①水張り作業に係る留意点、②水密性および機能の評価に係る留意点として報告する。

通水試験の対象施設は（以下、「試験対象施設」という）、延長約30kmに及ぶ送水系水路であり、管径2,100~1,200mmのオープンタイプパイプラインと取水施設（頭首工）の直下流に接続する延長約1kmの水路トンネル（標準馬てい形2r型、2r=2,200mm）を含んでいる。

## 2. 水路システムの概要

試験対象の水路システムは、オープンタイプパイプラインと水路トンネルにより構成される複合水路である。その特徴として、①本線の管種は主として鋼製管（STW）であり、②オーバーフロー式のオープンスタンド分水工により13の水理ユニットに分かれ（連続するオープンタイプパイプライン）、③当該区間の上流部の水路トンネルは開水路流を呈することが挙げられる。（図-1）

## 3. 通水試験の概要

通水試験は、パイプラインの水密性と安全性の確認を目的として行われる。通水試験は漏水試験と水圧試験に分類され、さらに、漏水試験は継目試験と水張り試験に分類される（図-2）<sup>1)</sup>。本報は、パイプラインの敷設を完了した後に、当該区間に充水し、主として水密性の確認を目的に行う“水張り試験”を対象とした。水密性の確認の対象は、管体、継手、通気施設、保護施設（排泥施設）である。

試験対象施設では、水張り試験で水密性および安全性を確認した後に、開水路（水路トンネル）区間について、流量を数段階で変更して用水到達時間の検証を行った。

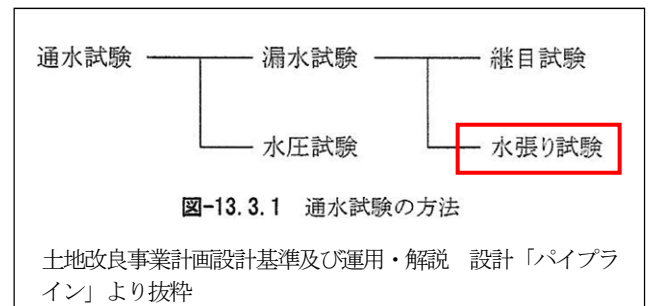


図-13.3.1 通水試験の方法

土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 設計「パイプライン」より抜粋

図-2 通水試験方法の分類

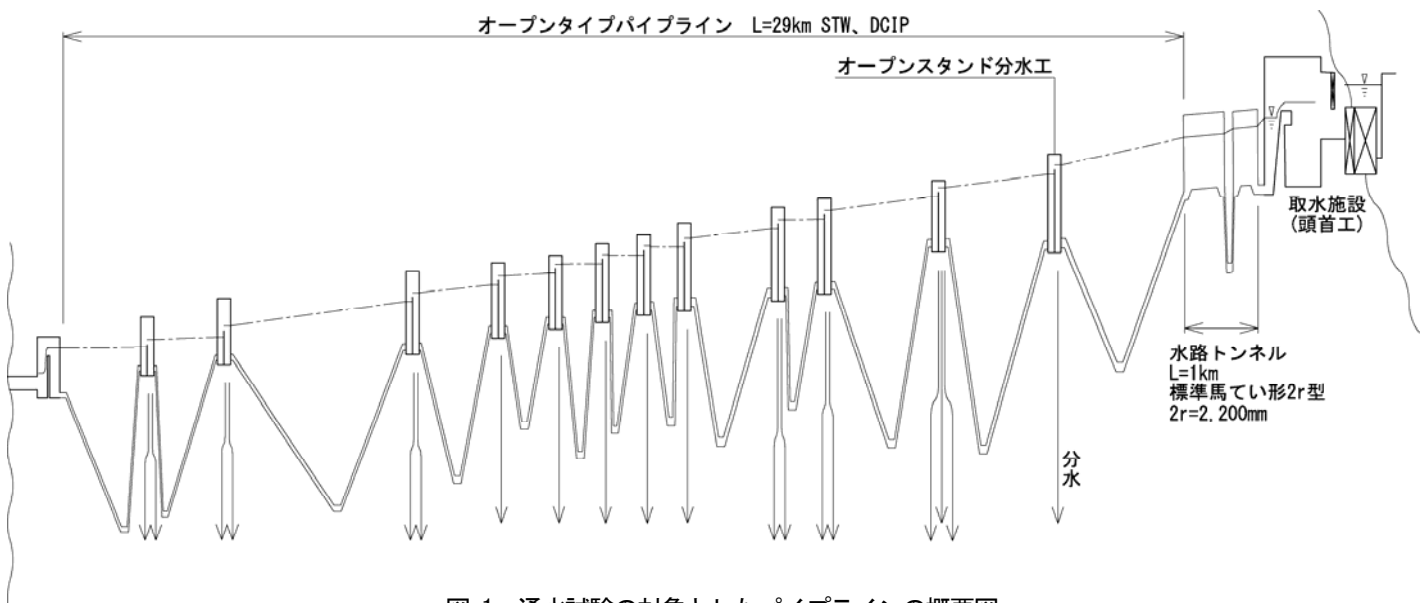


図-1 通水試験の対象としたパイプラインの概要図

## 4. 水張り作業に係る留意点

### (1) 充水量

管水路が空虚の状態からの初期の水張り作業は、エアハンマーなどによる危険防止のため、管内の空気と水の入れ替えがスムーズに行われるように、充水量は計画最大流量の1/5～1/10以内の流量で十分時間をかけて行うこととされている<sup>2)</sup>。

試験対象施設は、最大管径 2,100mm で設計流量は Q=約 5m<sup>3</sup>/s と規模が大きい。加えて、その線路は山間域を通り起伏が多く傾斜も大きい。初期の水張り作業のときに管内は空虚である。この際、下りの傾斜部は開水路流を呈して射流で流下し流速が大きくなる場合がある。このとき、管水路内の跳水の発生、あるいは下り傾斜の下端部においてスラスト力による継手 (DCIP) の抜け出し等が懸念される。充水量は、計画流量に比して流量は少なくても、管内の射流の発生や満流時よりも狭い範囲 (管底付近) に流水のエネルギーが集中することなどに配慮を必要とした。

試験対象施設の充水量 q は、規定の試験工期を踏まえつつ、設計流量が 5m<sup>3</sup>/s 以上で管径が同程度である A 地区の事例を参考として (表-1)、q=0.3m<sup>3</sup>/s (設計流量の 1/17) を最大として計画した。実際の水張り作業の現場では、排気不良によるエアハンマーなどの不具合はなく、安全かつ所定の試験工期に作業を完了しており、充水量として妥当であったと判断する。

表-1 他地区における水張り試験の充水量一覧表 (当社実績)

地区名	実施年度	施設規模		充水量 q (m <sup>3</sup> /s)	Q/q
		管径 (mm)	設計流量 Q (m <sup>3</sup> /s)		
A地区	H8	2,000	8.000	0.300	1/27
B地区	H11～15	1,650	3.900	0.200	1/20
C地区	H15	2,000	3.600	0.250	1/14
D地区	H20	2,400	2.557	0.250	1/10
E地区	H26	3,000	17.827	0.500	1/36

### (2) 用水到達時間

初期の水張り作業は、計画流量に比して小流量で行う。管径 (設計流量) が大きい場合の充水量は、設計流量の数十分の一となる。このとき、とくに水路トンネルなどの開水路部は、圧力流の管水路に比して用水の到達により多くの時間を必要とし、試験工程への影響が大きい。通水試験における用水到達時間は、試験工程計画や人員配置計画の策定に係る重要事項である。

延長 L=約 1,000m の水路トンネル (標準馬蹄形 2r 型) を含む本地区では (図-3)、試験工程計画の段階で水路トンネルにおける用水到達の特性時間として、概ね定常状態となるまでの時間を把握できる式 1 の貯留にもとづく特性時間 (2/3～全量到達) を参考とした。<sup>3)</sup>

$$T = \frac{\Delta V}{\Delta Q} \quad (2/3 \text{ 到達時間}) \quad \dots \text{式 1}$$

$$\Delta V = \frac{Q_2 \cdot n \cdot L}{12 \cdot r^3} - \frac{Q_1 \cdot n \cdot L}{12 \cdot r^3} \quad (\text{標準馬蹄形断面 } 2r \text{ 型}) \quad \dots \text{式 2}$$

ここに、T: 用水到達時間 (s)、ΔV: 貯留変化量 (m<sup>3</sup>)、ΔQ: 流量変化量 (m<sup>3</sup>/s)、Q<sub>1</sub>: 変化前流量 (m<sup>3</sup>/s)、Q<sub>2</sub>: 変化後流量 (m<sup>3</sup>/s)、n: 粗度係数、L: 区間距離 (m)、I: 勾配、r: 上部半円の半径 (m)

表-2 は、水張り試験の完了後に流量を 3 段階に変更し、水路トンネル区間の用水到達時間を検証した際の計算値と実測値である。試験計画の段階で水路トンネルの粗度係数 n は、コンクリート水路の標準値として n=0.015 を想定した。この場合、各流量の計算値と実績値との差は最大 4 分であり、式 1 による計算値は、実際の作業に概ね支障のない精度と判断できる。一方、用水到達時間が実績値に最も近い粗度係数を逆算すれば、n=0.012 となった。なお、表の用水到達時間には、弊社における複数地区の実施経験にもとづき 1～1.5km/分と想定したときの管水路 (L=3.6km) の用水到達時間 (3分) を含む。

上記のとおり、式 1 は試験の工程計画策定において実用的な精度を有する結果であった。この際、とくに、より延長の長い開水路区間を含む場合に、初期の通水段階における粗度係数 n は、磨耗等の少ないコンクリート水路の状態も想定して、n=0.015～0.012 程度から複数選定し準備しておくことが試験計画の検討に有効と考える。

表-2 用水到達時間の検証結果

流量 (m <sup>3</sup> /s)	用水到達時間 (分)			実績値
	貯留変化にもとづく計算値			
	n=0.015	n=0.013	n=0.012	
0.0 → 0.5	23	22	22	22
0.5 → 1.0	15	15	15	17
1.0 → 1.8	13	12	12	11

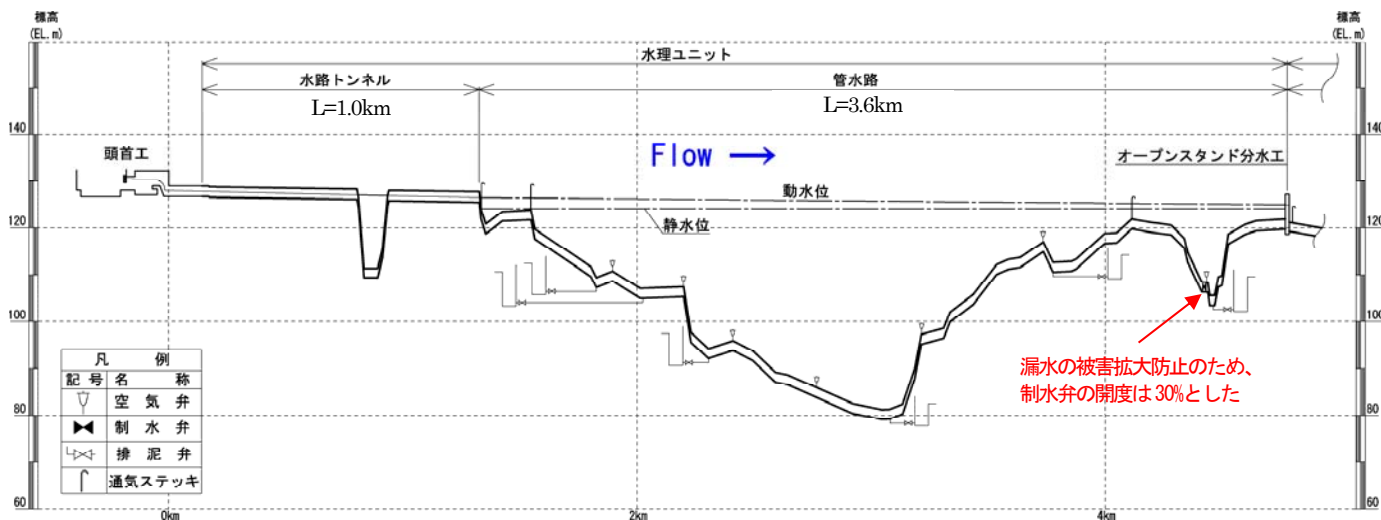


図-3 水路トンネルを含むパイプラインの縦断模式図

### (3) 漏水等の被害拡大防止

山間地域に敷設されることの多い送水系パイプラインでは、付帯施設の制水弁工や排泥弁工の操作方式は手巻き式であることが多い。このとき、とくに本管に設置される制水弁は、管径が大きくなれば、その開閉操作に多くの時間を必要とする。

本地区の水張り試験では、水張り作業中に漏水を生じた場合の被害拡大防止策として、管水路の途中に設置される制水弁の開度は、全閉までの操作時間を短縮するため、充水量の通過に支障とならない範囲で小開度とした(写真-1 開度 30%程度)。試験対象施設の制水弁は、低キャピテーションバタフライ弁が設置されており、小開度でもキャピテーションは生じにくい。なお、通常のパタフライ弁が用いられている場合は、キャピテーションに対する検証を行い、安全な範囲で開度を設定している。



写真-1 管路途中の制水弁の中間開度設定の事例  
(水張り作業時、流量制御は別地点)

## 5. 水密性および機能の評価に係る留意点

### (1) 管体および継手の水密性

試験対象施設では、管体および継手の漏水は生じなかった。

試験対象施設は、延長約 30km のうち、その約 9 割で鋼製管が用いられている。本管の漏水を生じなかった理由として、鋼製管は口径 2,100~1,350mm の規模のため、①管体の接合部は内外面溶接され確実に一体の管路が形成されたことにより、②接合部からの漏水の危険度が少なくなった効果が大きいと推察する。

### (2) 付帯施設の水密性

#### ①通気施設

試験対象施設の水張り試験では、空気弁工や排泥弁工等の付帯施設において漏水を生じた。

空気弁工からの漏水は、遊動弁体の止水不良と配管のフランジ部からの漏水であった。遊動弁体の止水不良は、パッキンとの間のゴミ詰まりを原因とするケースが他の要因に比して多く見られた。この場合は、充水後の清掃により速やかに止水した(図-4)。また、フランジ部からの漏水の原因は、パッキンの不具合によるものであった(写真-2)。

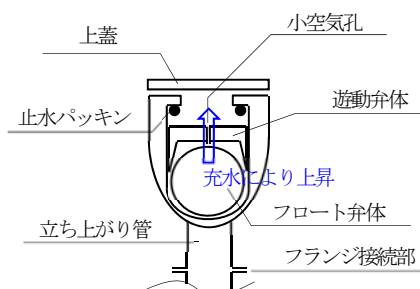


図-4 空気弁の構造概念図



以上の漏水は比較的少量の場合が多いものの、放置すれば空気弁室が水没して給排気機能に支障を及ぼす可能性などがあることから、水張り完了後の巡回による状況確認が重要である。



写真-2 空気弁工の漏水事例

空気弁の止水不良による漏水のうち、試験対象施設における特徴的な事例は、図-5 に概略の縦断形状を示した水理ユニットの高標高に位置する空気弁で生じた止水不良である(図-5 ①)。止水不良を生じた空気弁は、当初7.5k仕様の製品が用いられていた。一方、当該空気弁工は、特に静水頭2m未満の位置に配置していた。

本空気弁の止水不良は、静水位のとき、弁の止水のための水圧が十分得られないことが原因と判断した。静水頭が2m未満の場合には確実な止水が可能な低水圧に対応した施設的设计が必要である。

オープンスタンド分水工

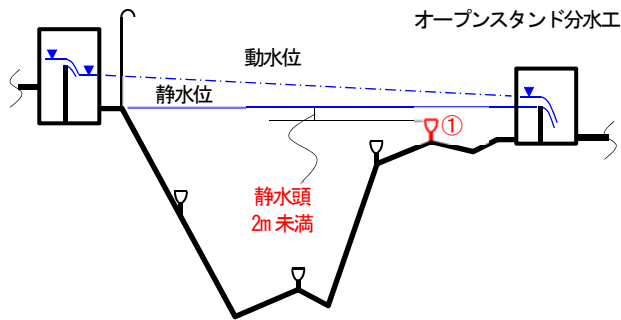


図-5 静水頭の小さい空気弁のある水理ユニットの概念図

## ②保護施設(排泥施設)

上記に加えて、付帯施設からの漏水として排泥弁工における弁の止水不良(不足)があった。空虚あるいは水圧が低い場合に全閉して漏れがない場合でも、充水に伴う水圧の上昇によって漏れを生じる場合があった。この際、ゴミの挟み込みの可能性もあるので、一旦、小開度で開操作してシール部の洗浄を行い、再度、厳重に閉そく操作を行うことにより漏水は停止した。

排泥弁は、水張り作業の事前および管内の洗浄のために使用した後の閉そく確認とともに、水張り作業中は定期的な巡回により止水状況を確認することが重要である。

## (3) 漏水の観測方法と評価における安全性と精度の向上

減水が管路からの漏水に起因する場合、減水量は水圧の低下に伴って減少する。一方、減水量が同じでも、水面(水圧)低下の速さは自由水面が位置する管路の敷設勾配によって変化する。水密性の評価においては、これらの判別が重要であり、1~10分間隔のきめ細かい連続観測によりこのような判別が可能となる。

本地区の水張り試験では、遠方監視機能を備えた自記式水位(圧)計による計測を行い、漏水の判別の精度向上を図るとともに、観測した水圧データの水位標高への変換や、水位の異常判定(警告閾値)による警報機能を備えたスマートフォン用のアプリケーション(自社開発)を利用することにより、減水傾向の変化(漏水の発生と拡大)への即応を可能とし、試験の安全性の向上に努めた(写真-3~写真-4)。



写真-3 自記式水圧計の設置事例



写真-4 遠方監視装置の使用事例

スマートフォンアプリ(自社開発)による監視例

なお、水張り作業のときと同様の理由から、漏水観測期間は管水路の途中に設置される制水弁の開度を小開度としている。ただし、通水断面確保の必要はなく、水圧が伝達すれ

ば良いので、水張り作業のときよりもさらに小さい開度 5% 程度とした。

#### (4) 漏水観測における管内への混入空気の影響

図-6 は、試験対象施設のうち、一つの水理ユニット(図-7)における水張り後の水位観測事例である。水理ユニット途中の空気弁工における水圧観測値を水位に換算したものである。WL=121.5m 付近で一旦充水作業を終えて(A 区間)、夕方から管内水位(水圧)を監視したところ、水位の低下が見られた。空気弁工等の付帯施設やパイプライン線路上の点検から漏水などの異常は確認されなかったため、水位監視を継続した。水位の低下は約 12 時間後に WL=120m 付近で停止し、翌朝の点検からも施設の異常は認められなかったことから、残りの充水作業を行った(B 区間)。B 区間(静水位まで)の水張り後にも若干の水位低下が見られたが、30 分程度経過した後から水位低下は見られなくなった。前日の水位低下傾向を併せて、水位低下は漏水が原因ではないと判断した。

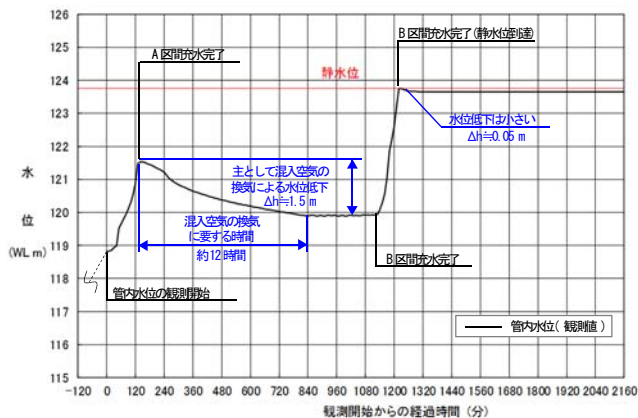


図-6 漏水観測における混入空気の影響事例

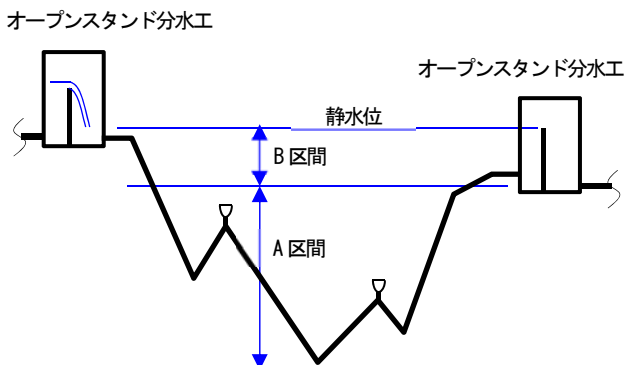


図-7 漏水観測で混入空気の影響を観測した水理ユニットの概念図

水位(水圧)低下の要因は、対象区間の管種が鋼製管(溶接継手)であることから継ぎ手部の伸びや吸水などの影響は小さく、主として水張り作業中に管水路内に滞留した空気(気泡)の影響と判断した。試験対象施設は、オーバーフロー式のオープンスタンドにより複数の水理ユニットが連続するオープンタイプパイプラインである(前出の図-1 参照)。

水張りの際、スタンド隔壁からの水脈落下により生じた気泡が管内連行し(写真-5)、さらに、急傾斜部等における非満流の流れに起因して生じた気泡が管水路内に滞留した。管内の気泡は、流水停止後に空気弁工や自由水面部から徐々に排除され、水位低下を生じたものと推察する。翌朝再開した静水位までの水張りは、水理ユニットの高位部が対象で傾斜が緩いこともあり、流水により発生・連行する気泡が少なく、水張り完了後の水位低下は比較的少なくなったものと推察する。

水流が隔壁から越流して管内に流入する構造のオープンスタンドを含む場合や、起伏が大きく急傾斜部を含む場合は、漏水の観測とその評価にあたり、水張り作業で生じて管内に滞留する気泡の影響に留意が重要である。水張りにより発生・連行する気泡の量は、施設の構造に加えて充水量とも関係があることから、とくに規模の大きいオープンタイプパイプラインでは、水張り作業時間(試験工期)の制約などに配慮しつつ、適正な充水量(少流量)の設定が重要と考える。



写真-5 落下水脈による気泡の発生事例

## 6. まとめ

開水路系を含むパイプラインの水張り試験について、実績にもとづく留意点をまとめると以下のとおりである。

- (1) 水張り作業における 1/5~1/10 以内の充水量として、既往の実績にもとづき、設計流量 $Q=5\text{m}^3/\text{s}$ の管水路において充水量 $q=0.3\text{m}^3/\text{s}$  (1/17) を上限とした水張り作業を行い、所定の工期内で安全に試験を完了した。

- (2) 通水試験の工程計画や人員配置計画には、開水路部の用水到達時間の考慮が重要である。コンクリート水路では、 $n=0.015\sim 0.012$  の範囲で用水到達時間を把握しておくのが良い。初期通水の場合は、水路の磨耗等も少ないため、粗度係数が小さいときの適合がより良い傾向にある。用水到達時間は実測により検証することで、水路システム供用後の安全で効率的な操作管理にも有用となる。
- (3) 管径 800mm 以上の鋼製管は、接合部が内外面溶接されて一体の管路が形成されるため、接合部からの漏水の危険度は小さく、したがって施設全体としての漏水も生じにくい。重要度の高い大規模な幹線水路の安全性確保に有用である。一方、水圧により作動・止水する空気弁は、漏水防止として、その配置と静水位との関係を考慮のうえで止水性能を備えた製品の選定が重要である。
- (4) 水密性の評価には、水圧の変化や管路の敷設勾配の影響の判別が重要であり、1～10 分間隔のきめ細かい連続観測が有効である。自記式水位計に遠方監視や警報の機能を加えた観測を行うことで、漏水の発生や拡大への即応を可能として試験の評価精度と安全性を向上できる。
- (5) 水張り作業に伴って管水路内に滞留した気泡が、水位（水圧）低下の原因となる場合があった。気泡の量や大きさにより、その影響の大きさや継続時間は異なるものと推察され、漏水有無の判定に影響する。気泡の発生は充水量の増大に伴って増加する傾向にあり、規模の大きい送水系パイプラインでは、水張り作業時間の制約などに配慮しつつ、適正な充水量（少流量）の設定に留意が重要である。
- (6) 通水試験中、管水路の途中に設置される制水弁の開度は、全閉までの操作時間を短縮するため、充水量の通過や水圧の伝達に支障とならない範囲で小開度とすることにより、漏水等の非常時の被害拡大防止に有効となる。

## 7. おわりに

農業用パイプラインは、敷設工事を完了した時点だけでなく、供用後の維持管理段階においても、施設の点検・整備あるいは機能診断調査等のための落水により空虚となる機会がある。一旦、管路が空虚となれば、再通水に向けて初期通水と同様の充水作業を必要とする。このとき、安全で効率的な作業の実現には、本報で紹介したような施設の構造・規模ならびにパイプライン形式などによって特徴的な水理特性や付帯施設の挙動などを十分に把握したうえで、作業計画を検討し作業現場の管理に当たることが重要と考える。

本報の内容は、国営土地改良事業において造成されたパイプラインの通水試験業務の実績にもとづき整理したものです。関連業務のご発注により貴重な経験の場をご提供下さいました北海道開発局の関係各位には、ここに記して御礼申し上げます。

### 【参考資料】

- 1) 農林水産省農村振興局整備部設計課監修：土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 設計「パイプライン」、平成 21 年 3 月，p. 532
- 2) 農林水産省構造改善局総務課施設管理室：基幹水利施設指導・点検・整備マニュアル(パイプライン編)，平成 7 年 1 月
- 3) 農林水産省農村振興局整備部設計課監修：土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 設計「水路工」，平成 26 年 3 月，p. 731