

大口径パイプライン「道央注水工」の通水試験並びに北海道胆振東部地震災の特徴

伊東 啓人
柿下 大

はじめに

本報は、国営道央用土地改良事業により、平成 16 年～平成 28 年にかけて建設され、現在、国営造営施設直轄管理事業大夕張地区により管理運用されている道央注水工（最大口径φ3,000mm）について、その水路システムや管理体制等の特徴を踏まえて実施した通水試験（水張り試験）の取り組みを紹介する。また、供用開始翌年の平成 30 年に発生した北海道胆振東部地震による被災状況にもとづき、パイプライン設計に係る耐震上の留意点について一考察を加えた。

道央注水工の施工、通水試験、供用および震災までの経過を表-1 に示す。通水試験は、着工から 10 年後の平成 26 年に道央注水工の中間付近の丘陵地に位置する馬追調整工の上流区間から着手し、平成 27 年に馬追調整工の試験湛水を挟み、その下流区間を平成 27 年と平成 29 年に行って、全線（L=32.5km）の試験を完了した。

通水試験を終えた平成 29 年度から全面供用が開始されたが、その翌年のかがい 終了直後に発生した北海道胆振東部地震（9 月 6 日）によって、付帯施設の一部が被災した。

当該施設は、水路形式の特徴により、川端ダムから馬追丘陵西端に位置する馬追調整工までの上流区間と、それより下流区間に大別できる（図-1）。

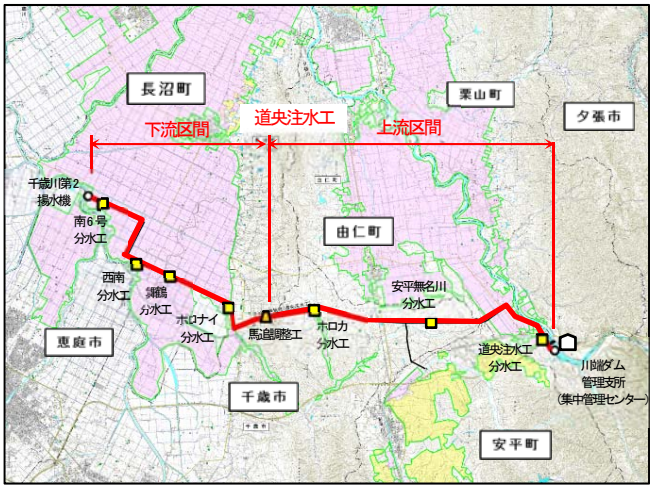


図-1 道央注水工位置図

表-1 道央注水工の通水試験等の工程実績表

区 分		H16	…	H22	…	H25	H26	H27	H28	H29	H30
施 工	道央注水工	←									→
	馬追調整工			←		→					
通 水 試 験	道央 上流区間					↔					
	注水工 下流区間						↔		↔	↔	
試験湛水(馬追調整工)							↔				
供 用	道央 上流区間								←	→	
	注水工 下流区間								←	→	
	馬追調整工								←	→	
胆振東部地震											☀

1. 道央注水工の概要

1.1 水路システムの特徴

道央注水工は、夕張川に造成された川端ダムを起点として、西進しながら馬追丘陵を経て石狩平野の千歳川流域を横断し、恵庭市北島の千歳川第 2 揚水機に至る、全長 L=32.5km、最大口径 3,000mm、最大流量 Q=17.484m³/s のパイプラインである。

(1) 道央注水工上流区間

- ① 馬追調整工より上流区間は、開水路流を呈する函渠やトンネル工とオープンタイプパイプラインにより構成される複合形式の水路である（図-2）。
- ② パイプラインは、口径φ3,000mmの強化プラスチック複合管（FRPM 管）を主体とし、最大設計水圧は 0.3MPa、計画最大流量は Q=17.484m³/s である。
- ③ 分水施設は、オープン形式の道央注水工分水工（ゲート式）と安平無名川分水工（オーバーフロー式）、クローズド形式のホロカ分水工が配置されている。
- ④ 当該区間は、JR 石勝線、JR 室蘭本線、国道 274 号および国道 234 号の横断箇所を含む。

(2) 道央注水工下流区間

- ① 馬追調整工より下流区間は、クローズドタイプパイプラインとオープンタイプパイプラインにより構成される複合形式の水路である（図-2）。
- ② パイプラインは、口径φ2,950～1,500mm、管種はダクタイル鋳鉄管と鋼管が用いられ、最大設計水圧 0.8MPa、計画最大流量は Q=15.131m³/s である。

- ③ 分水施設は、オープン形式のポロナイ分木工（オーバーフロー式）、舞鶴分木工（ゲート式）、西南分木工（ゲート式）および南6号分木工（ゲート式）が配置され、終点は千歳川第2揚水機に接続する。
- ④ 当該区間は、馬追調整工からポロナイ分木工までの馬追丘陵をクローズドタイプパイプラインで下り、その後、千歳川流域の低平地をオープンタイプパイプラインで流下する。民家との近接区間や国道337号の横断箇所を含む。

(3) 馬追調整工

馬追調整工は、馬追丘陵の西端部、道央注木工のほぼ中間付近(起点から約18km地点)に位置する貯留量 $V=120,000\text{m}^3$ を有する調整池である(図-2)。

本施設は、清流千歳川流域への夕張川由来の水の無効放流を抑制するため、長大な道央注木工の水理特性を踏まえて、道央注木工下流区間(パイプライン)への通水を停止する必要がある場合に、開水路を含む上流区間の水理特性から、川端ダム取水停止後もしばらく続く流水を緊急的に一時貯留するための施設として設置された。

1.2 水利使用の特徴

道央注木工のかんがい用水は、夕張川の自流と夕張川総合開発事業により建設された夕張シューパロダム(多目的ダム)の貯水を主たる水源とし、当該ダムから夕張川に注水した用水を、その下流に位置した川端ダムより取水する。

道央注木工は、千歳市、恵庭市、安平町および長沼町に跨る約10,000haの水田および畑を受益とし、6箇所の分木工から注水して、千歳市、安平町、ながめま土地改良区および恵庭土地改良区がそれぞれ管轄する揚水機場等を介して受益地に送水される。ハウス取水を除くかんがい期間は4月21日から8月31日で、区間別に表-2の水利使用が規定されている。

表-2 道央注木工 区間別の水利使用一覧表

区 間	最大流量 (m^3/s)	水利使用 期間
起点 ～安平無名川分木工	17.484	4/21～8/31
安平無名川分木工～ホロカ分木工	16.415	4/21～8/31
ホロカ分木工 ～ポロナイ分木工	15.131	4/21～8/31
ポロナイ分木工 ～舞鶴分木工	12.752	4/21～8/31
舞鶴分木工 ～西南分木工	8.136	4/21～8/31
西南分木工 ～南6号分木工	3.649	4/21～5/25
南6号分木工 ～終点	3.649	4/21～5/25

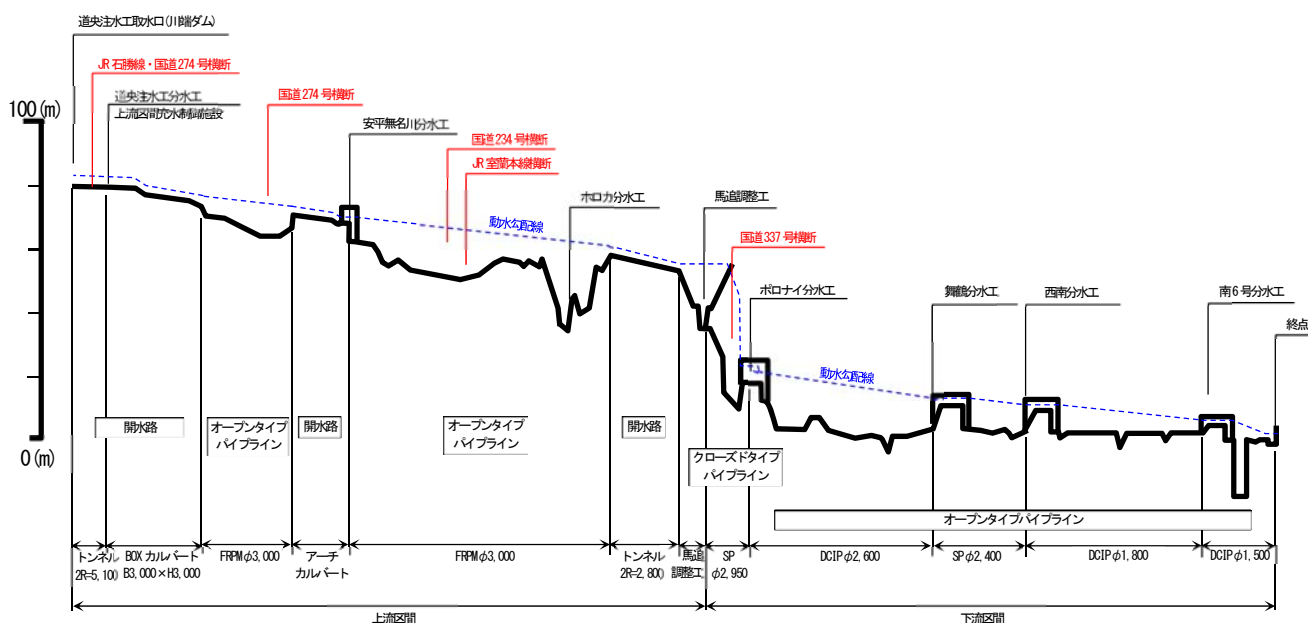


図-2 道央注木工縦断模式図

また、道央注水工の用水は、国営大夕張地区かんがい排水事業で建設された由仁幹線の用水と併せて川端ダムから取水され、その下流約 1km に位置する道央注水工分水工（写真-1）でそれぞれに分水される（図-3）。

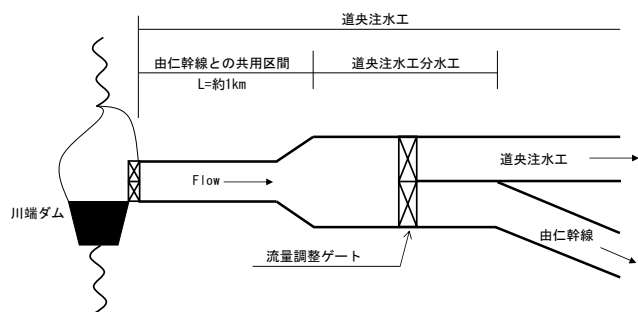


図-3 道央注水工と由仁幹線の取水・分水の概念図



写真-1 道央注水工分水工の分水状況

1.3 管理体制の特徴

道央注水工の水源施設である夕張シューパロダムは、夕張川ダム総合管理事務所により管理操作が行われ、そこから夕張川に注水されたかんがい用水を取水する川端ダムおよびその付帯施設である道央注水工は、夕張川ダム総合管理事務所川端ダム管理支所により、国営造成施設直轄管理事業大夕張地区として管理操作が行われている。

道央注水工は、各分水工と馬追調整工を管理ポイントとして、テレコン、テレメータの管理設備を配置し、川端ダム管理支所で集中管理される。また、清流千歳川への夕張川由来の水を無効放流することは、水質面から制約があるため、道央注水工の操作は複数の土地改良区等が管理する注水先の水利施設との連携が重要となる。そのため、川端ダムや道央注水工とその関連施設が、それぞれの管理情報を相互に共有できる水管理システムが整備されている（図-4）。

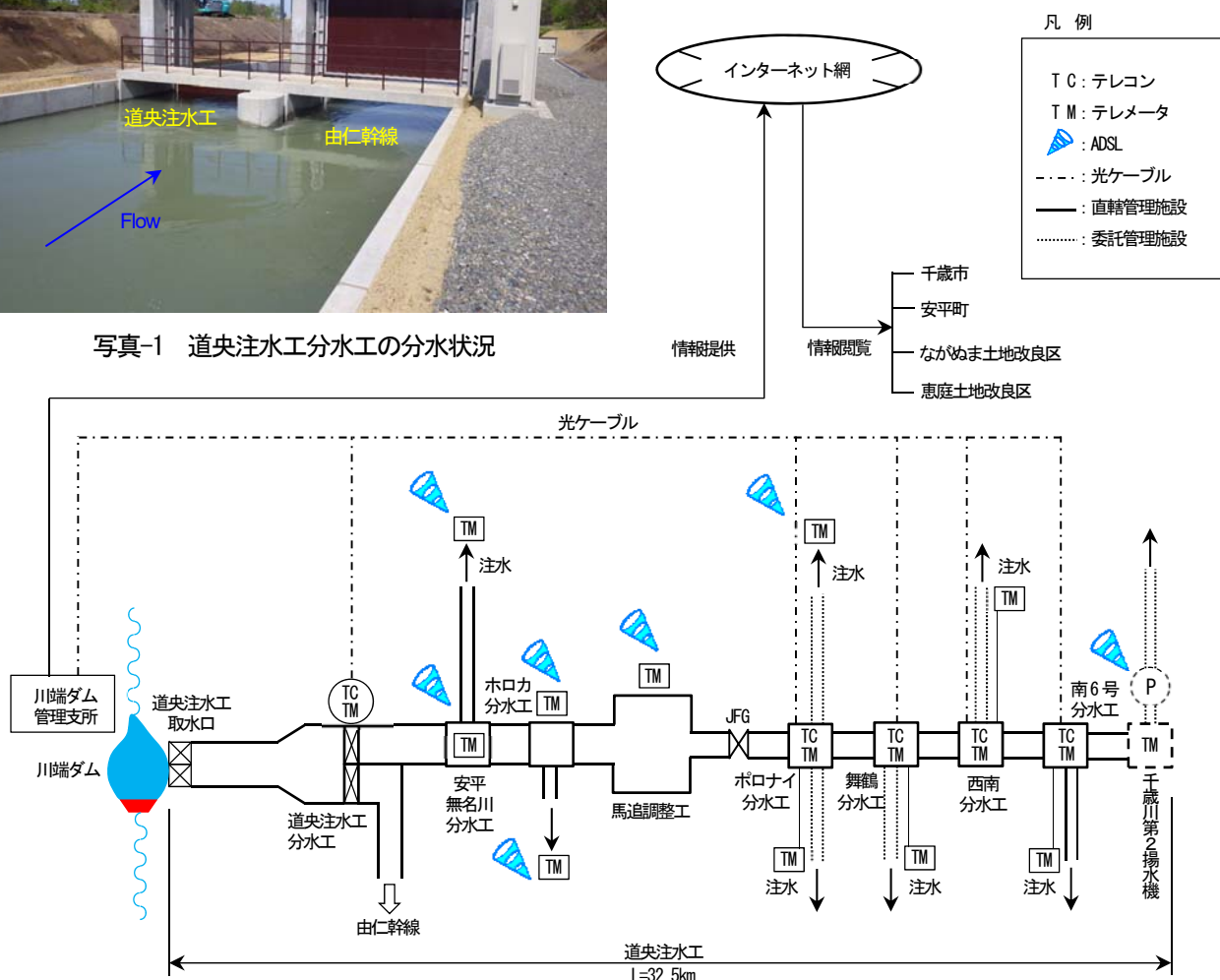


図-4 道央注水工の水管理システム概念図

2. 道央注水工の通水試験の特徴

道央注水工の通水試験は、馬追調整工の上流区間を平成26年度に行い、平成27年度に馬追調整工の試験湛水、その下流区間を平成27年度と平成29年度に実施した。

上流区間の通水試験(水張り作業)は、4つの水理ユニットを延べ7日間で行い、下流区間は5つの水理ユニットを延べ9日間で行った。

本通水試験は、前記した当該施設の特徴を踏まえ、安全で円滑・効率的な試験実施を目標として、とくに、以下に列記した試験の準備と管理に留意して実施した。

- ① 水張り前の管内点検（事前点検）
- ② 試験関係者との情報共有と協働
- ③ 試験流量（充水量）管理の精度確保
- ④ 馬追調整工の試験湛水と通水試験との連携
- ⑤ 施設規模に留意した安全性の評価と対応

2.1 水張り前の管内点検（事前点検）

道央注水工は、着工から通水試験着手までに10年を経過し、その間、管水路は空虚の状態にあった。管内水の荷重がかからない状態が長期間に亘っており、とくに、地下水位が高いあるいはその変動が大きい区間などは、浮力の変化や基礎材の状態変化などが影響して、管体に構造的な変状を生じている可能性があると考えた。

通水試験のリスク管理（漏水リスク低減）として、水張りの事前に管内に入管し、目視によるクラック等の変状の有無、継手の間隔と状態および管体の変形（たわみ量）の確認を行う事前点検を計画し実施した（写真-2、写真-3）。

事前点検から、クラックや基準を超える変状は確認されなかった。



写真-2 目視点検状況



写真-3 たわみ量の計測状況

2.2 試験関係者との情報共有と協働

(1) 試験関係者合同会議の開催

円滑な通水試験の実施や漏水等の緊急時の即応性確保と被害拡大防止をより確実とするため、通水試験業務の発注者（札幌南農業事務所）と道央注水工の予定管理者（H26年度時点）であった川端ダム管理支所及び受注者（アルファ技研）にて、試験計画の検討段階から試験方法やスケジュール等の調整を進めた。また、試験の直前には、緊急時の対応を担う協力業者を加えた関係者合同会議を開催して、通水試験の内容の周知と関係情報の共有に努めた。

(2) 施設操作の協働（役割分担）

道央注水工に取水する川端ダムは、夕張川に造成された第3類ダムである。その運用には、洪水時のダムからの放流に係る洪水吐ゲートの操作が伴い、道央注水工取水口からの取水にあたっては、洪水吐ゲート操作と連携した高度な技術と経験を必要とする。

道央注水工の通水試験の取水操作は、試験関係者間の調整を経て、本ダムを管理する川端ダム管理支所が担う体制とした。一方、取水後の道央注水工分水工などでの試験流量の調整は、通水試験員（アルファ技研）が担当することとして、協働体制で試験に臨んだ。

(3) 試験の情報共有と安全強化

施設操作の協働体制や複数の試験関係者が係る試験体制の中で、試験現場での相互の連絡はデジタル簡易無線により行うことを基本とした。

また、道央注水工における試験中の水利情報は、既設の水管理システムを稼働して分土工水位などを把握することに加えて、JR 横断部などの通水試験における重要管理ポイントには、水位の遠隔監視装置を設置（仮設）するとともに、この情報を携帯電話で閲覧するアプリケーションを試験関係者に配布して試験情報を共有した。複数の目で試験状態を監視することにより、漏水被害拡大のリスク低減に努めた（写真-4）。

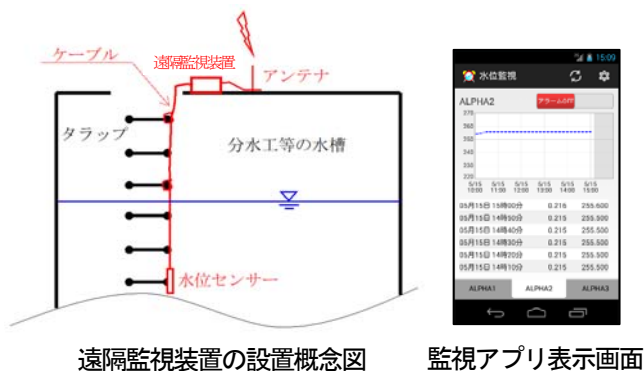


写真-4 遠隔監視装置と監視アプリ

2.3 試験流量（充水量）管理の精度確保

通水試験では、空虚の管内に充水することから、通気施設の排気能力（空気と水の円滑な入れ替え）やフリーフローで流下する流水の作用などを勘案のうえ、安全な充水量を計画することが重要である。

通水試験では、試験計画に従った流量の制御が安全な試験の実施に必須であり、とくに、大規模施設の場合は充水量

も大きくなることから、充水量の制御精度の確保は極めて重要となる。本通水試験では、施設規模や通気施設の排気能力ならびに他地区の事例を踏まえ、計画充水量は最大 $Q=0.5\text{m}^3/\text{s}$ とした。

道央注水工の通水試験は、由仁幹線のかんがい期に重なり、取水口の川端ダムからは道央注水工の試験用水と由仁幹線のかんがい用水を合わせて取水していた。道央注水工の試験用水は、取水口の約 1 km 下流に位置した道央注水分水工のゲート操作により調整した。当該ゲートの操作は、水理公式にもとづく「ゲート開度～流量計算」を目安に行うとともに、その下流の開水路区間でゲート操作時に流量観測を同時並行して行い、二重チェックすることで計画充水量の遵守を確実とした（写真-5）。



写真-5 道央注水工分水工のゲート操作と流量観測

2.4 馬追調整工の試験湛水と通水試験との連携

(1) 馬追調整工の試験湛水

馬追調整工は、供用に先立ち、施設の機能と安全性を確認するため、以下の判断から試験湛水が行われた。

- ① 馬追調整工は、傾斜のある丘陵地に配置され、一部が盛土構造となっている。当該部分における貯水時の安全性を確認することが重要と判断された。
- ② 馬追調整工の直下には民家等が建ちならび、国道 337 号線も隣接する。本施設に異常を生じた場合の社会的影響は大きく、施設運用に先立って貯水の安全性を確認することが重要と判断された。

なお、当該施設の試験湛水は、土地改良事業計画設計基準設計技術書「フィルダム編」²⁾に準拠した。

(2) 馬追調整工の貯留水を利用した下流区間の通水試験

道央注水工下流区間の通水試験にあたり、以下に示す道央注水工の整備状況、構造・水理特性および地域特性に着目し、通水試験効率の向上と環境影響の軽減に配慮して、馬追調整工の試験湛水の貯留水を道央注水工下流区間の通水試験に利用する試験計画を立案した。

- ① 道央注水工下流区間 L=14.5km のうち、西南分水工までの L=8.5km 区間は平成 26 年度に施工を完了し、平成 27 年度から通水試験が可能となった。
- ② 道央注水工下流区間の充水にあたり、川端ダムから取水した場合は、開水路を含む上流区間を経ることから試験用水の到達に約 3 時間を要する。
- ③ 試験湛水後の馬追調整工の落水を通水試験に利用することにより、清流千歳川水系への無効放流の抑制が可能となる。

以上の状況を勘案し、道央注水工下流区間の通水試験は、馬追調整工の試験湛水の落水と併せて行うことを計画した。この場合、馬追調整工の試験湛水による落水計画は 1m/日であり、これに相当する水量を下流区間のパイプラインに充水した ($Q=0.3\text{m}^3/\text{s}$)。

2.5 施設規模に留意した安全性の評価と対応

水張り試験の合否判定は、一般に設計基準¹⁾に示される標準許容減水量を基準とする。この場合、FRPM 管等を主材とする道央注水工の許容減水量 (V_0) は下式により算定される。

$$1 \text{ 日当り } V_0 = 50(l) \times \text{管径 (cm)} \times \text{延長 (km)}$$

本通水試験の減水量は、いずれの試験区間 (水理ユニット) も許容減水量を下回った。減水量の観測値は、最大でも許容減水量の 20% 程度であり、安全性に問題はなく試験の合否判定は“合格”となる範囲であった。なお、その他の区間の減水量は、許容減水量の数%であり、所要の水密性が確保されていることを確認した。

本試験では、標準許容減水量を基準とした判定に加えて、対象施設の規模 (最大管径 $\phi 3,000\text{mm}$)、および JR や国道などの重要インフラと隣接する立地環境から、施設重要度が極めて高いことを考慮して、許容減水量の 20% 程度の減水が確認された区間について、通水試験後も監視を継続することとした。

継続監視の対象とした区間の減水 (許容減水量の 20% 程度) を水量に換算すると当初 $6\text{m}^3/\text{日}$ であった。この減水量が試験区間全体の継手部等に分散して生じているのではなく、1 箇所に集中している場合は決して少ない漏水量とはいえない。また、時間経過に伴って拡大すれば、施設の安全性に影響を及ぼす可能性もあると考えた。

約 2 年間に亘る継続監視から、減水 (漏水) は経年による増加傾向が認められた。詳細調査を行って漏水箇所を斜面工の継手部と特定し、内面バンドによる対策が行われ、その後に減水は確認されなくなった。継続的な監視が漏水被害の未然防止につながった。

3. 震災の特徴と対応策の一考察

3.1 平成 30 年北海道胆振東部地震による被災状況

北海道胆振東部地震の発生時 (9 月 6 日)、道央注水工はかんがい終了直後であり、管水路部はほぼ満水 (静水位) の状態にあった。道央注水工周辺の最大震度は震度 6 強 (安平町) が観測されている。

地震直後から、当該施設を管理する川端ダム管理支所により施設の緊急点検が行われ、道央注水工とその支線の安平川注水路 ($\phi 1,100\text{mm}$) において、いずれも空気弁工からの漏水が確認された。漏水を生じた空気弁工の配置および構造の特徴を表-3 に示す。

漏水は、いずれも空気弁の立ち上がり管の継手部 (写真-6) から生じており、とくに、首振りタイプに集中していた。

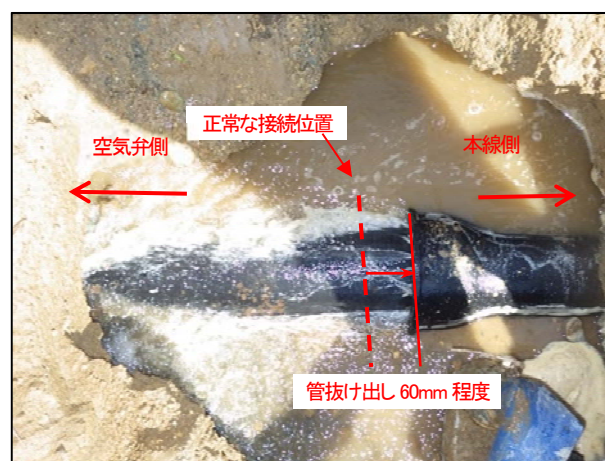


写真-6 立ち上がり管からの漏水状況³⁾ (安平-3空気弁工)

表-3 道央注水工及び安平川注水路の空気弁一覧表

施設名	空気弁 タイプ	首振り 延長 (m)	水平管 (立ち上がり管) 継手形式	漏水の 有無	備 考
道央-1	首振り	8.20	T形	無	
道央-2	首振り	15.50	T形	無	
道央-3	首振り	11.50	T形	無	
道央-4	首振り	2.60	K形	無	
道央-5	首振り	28.00	K形	無	
道央-6	立上	—	—	無	
道央-7	立上	—	—	無	
道央-8	首振り	11.30	T形	有	漏水①
安平-1	首振り	12.45	T形	無	
安平-2	首振り	10.76	T形	無	
安平-3	首振り	10.80	T形	有	漏水②
安平-4	首振り	18.10	T形	有	漏水③
安平-5	立上	—	—	無	
安平-6	立上	—	—	無	
安平-7	首振り	4.00	K形	無	
安平-8	首振り	15.25	T形	有	漏水④
安平-9	首振り	3.50	K形	無	
安平-10	立上	—	—	無	
安平-11	首振り	6.86	K形	無	
安平-12	立上	—	—	無	

3.2 パイプライン設計に係る一考察

空気弁の立ち上がり管は、本管と基礎条件が異なることに加えて、とくに、立ち上がり管が首振りタイプの場合は、その配管が本管の中心線と異なる方向に配置するため、地震時には空気弁立ち上がり管と本管の挙動も、それぞれ異なるものとなる可能性がある。このとき、継手抜け出しの許容量が相対的に小さい小口径の立ち上がり管で継手の変状が顕在化し易いものと推察する（図-5）。

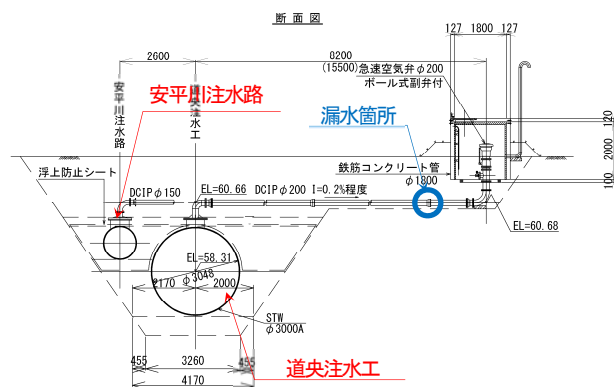


図-5 本管と空気弁立ち上がり管の構造事例
（安平-3空気弁工の例）

空気弁の設置にあたっては、その立地環境や用地の制約などから、本管の中心線と異なる方向への配管とならざるを得ない場合があるが、この際、立ち上がり管の耐震性能の向上として、以下の対策が有効と考える。

- ① 継手が伸縮・屈曲し、かつ離脱防止性能によって継手が抜け出さない構造とする。

- ② 継手を溶接・溶着し、変位を吸収する可撓管やポリエチレン管を配置する。

4. まとめ

- (1) 大規模なパイプラインは、その建設に複数年を要し、敷設から通水（水張り）までに長期間を経過する場合がある。この間、パイプラインは通常の使用条件とは異なる空虚の状態にあり、とくに大口径の場合は、地下水位変動やそれらに起因する基礎材の状態変化などの外的要因が影響して、構造的な変状を生じる可能性がある。一方で、その規模から空虚の管内への入管は比較的容易であり、通水試験における漏水リスクの低減として、水張り事前の管内点検が有効と考える。

- (2) 大口径パイプラインの通水試験では、漏水等を生じた場合の被害規模等から、災害の未然防止、迅速な情報収集および事態への即応性がとくに重要となる。そのためには、試験計画段階からの関係者間の綿密な調整、試験情報の共有、役割分担と協働体制の構築が有効と考える。

- (3) 大規模施設の通水試験では、安全で確実な試験の履行とともに、効率性にも配慮した試験の実施が重要となる。道央注水工の通水試験では、馬追調整工の試験湛水の落水を利用することにより、試験工期の短縮による試験効率の向上を実現した。

- (4) 大口径のパイプラインにおける水張り試験の可否判定にあたっては、供用後の漏水発生とその被害拡大のリスク低減を念頭に、一般に用いられる標準許容減水量との比較に加えて、施設の立地環境なども勘案した施設の重要度を踏まえて「減水量」を指標とした評価も考えられる。併せて、通水試験後の継続的な状態監視を行うなどの対応を検討すれば、漏水リスクの低減により有効となる。

- (5) パイプラインの耐震性の向上として、立ち上がり管が首振りタイプの空気弁工における配管に、離脱防止機能を有する継手や可撓管等の配置が有効と考える。

5. 謝辞

本報は、札幌開発建設部札幌南農業事務所よりご発注いただきました業務の成果の一部を報告したものです。

本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札幌南農業事務所、ならびに通水試験の実施にあたり多大なご協力とご指導を賜りました夕張川ダム総合管理事務所川端ダム管理支所の関係各位には、ここに記して御礼申し上げます。

最後に、本稿提出の機会を与えて下さった北海道土地改良設計技術協会各位に感謝申し上げます。

【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. 534
- 2) 農林水産省農村振興局監修：土地改良事業計画設計基準設計「フィルダム編」，平成 15 年 4 月，p. II-552
- 3) 札幌開発建設部夕張川ダム総合管理事務所 佐々木友也、林寿範、蒔苗英孝：北海道胆振東部地震に伴う道央注水工及び安平川注水路の漏水事故対応，平成 30 年

(株式会社 アルファ技研)