

長大水路における用水到達時間を考慮した通水試験について

柿下 大

はじめに

本報は、開水路が介在する長大管水路について、令和3年度～5年度に行った通水試験のうち、主に令和4年度の通水試験について、暫定供用と併行して行った内容を記述したものである。

管水路の通水試験は、水路の水密性および安全性の確認を目的に行うもので、本通水試験の対象となる用水路は、国営かんがい排水事業勇払東部地区(平成13年度～令和6年度)により建設された厚幌導水路である。本用水路は平成30年度から暫定供用が開始されたが、同年9月に発生した北海道胆振東部地震により、管の離脱のほか、地盤の沈下や法面の崩壊等の甚大な被害を受け、その後、直轄災害復旧事業勇払東部地区により被災施設の復旧工事が行われた。厚幌導水路の施工開始から暫定供用と被災を経て、災害復旧および通水試験に至る経過を表-1に示す。

通水試験は、北海道胆振東部地震による被災と復旧工事を経て、復旧が完了した上流側から順次実施(令和3～5年度)され、令和4年度より暫定的な供用、令和6年度から全面供用が開始されている。

表-1 厚幌導水路の施工・通水試験・供用区間の工程実績

区分	H17 ... H29/H30			R1 R2 R3 R4 R5 R6						
施工	かん排									
	災害復旧									
通水試験	厚幌ダム～5区分水工									
	5区分水工～野安部分水工									
	野安部分水工～鹿沼分水工									
供用区間	厚幌ダム～軽舞2分水工									
	厚幌ダム～5区分水工									
	厚幌ダム～野安部分水工									
	厚幌ダム～鹿沼分水工									

1. 地区概要

国営かんがい排水事業勇払東部地区は、北海道の胆振東部に位置する勇払郡厚真町および同郡むかわ町に

跨る3,290haの農業地帯である。本地区の営農は、水稻を中心に、小麦、大豆、野菜等を組み合わせた経営が展開されている。

(1) 厚幌導水路の概要

厚幌導水路は、二級河川厚真川に造成された厚幌ダム(補助多目的)を取水源とする。路線は、ダム直下の調圧施設を起点として、厚真川左岸に沿って南西方向へ流下し、厚真町市街地の南縁に至る。その後、南へと転進して、厚真川支流の軽舞川や野安部川等を横断し、終点の鹿沼分水工(むかわ町字鹿沼)に至る全長L=28.5km、最大口径2,400mm、最大設計流量Q=8.106m³/s(深水期)のオープンタイプパイプラインである(図-1)。

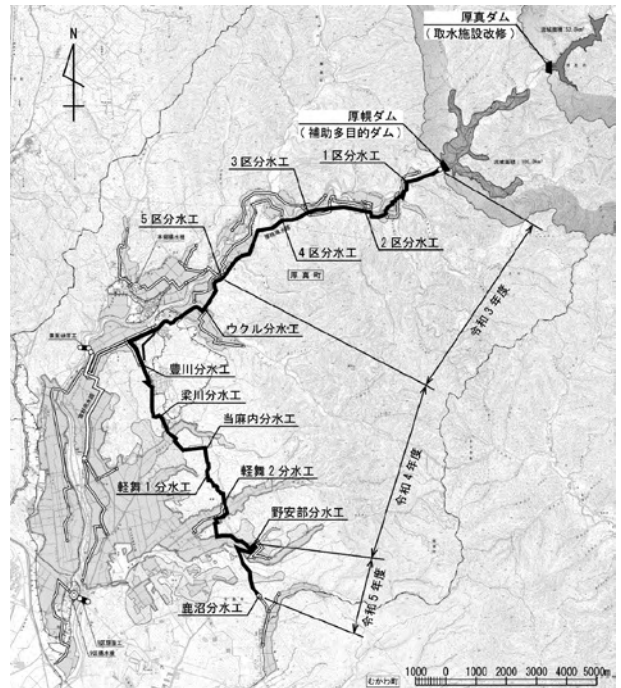


図-1 厚幌導水路位置図と通水試験実施年度

(2) 水路システムの特徴

厚幌導水路の水路システムは、オープンタイプパイプラインと開水路(トンネル、分水工等)により構成される複合

水路であり、自由水面を有する分水工により13の水理ユニットに分割され、トンネルおよび開水路形式の分水工では、開水路流を呈する点に特徴を有する。

路線は、分水工型式の特徴により、厚幌ダムから路線のほぼ中間に位置する5区分水工までの上流区間と、当該分水工から鹿沼分水工に至る下流区間に大別できる(表-2、図-2)。

表-2 各区間の諸元

区間	管種	管径 (mm)	最大設計流量 (m ³ /s)	
上流	厚幌ダム ～ 5区分水工	強化プラスチック複合管 (FRPM管)	2,400 ～ 2,000	8.106 ～ 6.730
	5区分水工 ～ 鹿沼分水工	強化プラスチック複合管 (FRPM管) ダクタイル 鋳鉄管(DCIP)	2,000 ～ 900	5.629 ～ 0.390

2. 厚幌導水路の通水試験

(1) 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が目的であり、漏水試験と水圧試験に大別され、漏水試験は、更に継目試験と水張り試験に分類される(図-3)。

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行う「水張り試験」を対象とした。

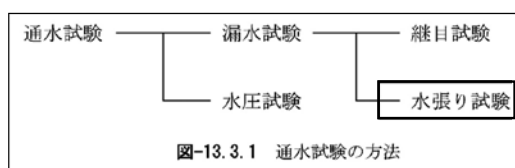


図-3 通水試験方法の分類¹⁾

(2) 本通水試験の特徴

本通水試験は、令和3～5年度の3カ年に亘って、復旧を終えた上流から順次実施し、通水試験を完了した区間は、翌年から暫定供用を開始した。

初年(令和3年度)の通水試験は、起点から5区分水工(上流区間:L=9.8km)までを実施した。

全面供用開始(令和6年度)に向けた事業スケジュール等を考慮すると令和4年度は、5区分水工から野安部分水工までの試験延長がL=16.5km(支線用水路を含むと試験延長L=27.8km)と長くなり、試験はかんがい期間である8月上旬からの開始とせざるを得なかった。

本用水路は長大であり、一部に開水路区間を有する水路特性より、適正な充水量や用水到達時間を考慮した試験計画を立案した点、および上流区間の暫定供用と併行して、その下流区間で通水試験を実施した点に特徴を有する。

(3) 通水試験における留意点

「(2)」で述べた本通水試験の特徴を踏まえ、安全かつ円滑に試験を実施するため、試験計画策定と実施に当たっては特に①～③に留意した。

- ① 対象施設の特徴を踏まえた試験計画の策定
- ② 暫定供用区間の利水と通水試験の両立
- ③ 試験関係者(発注者、施設管理者)との協働

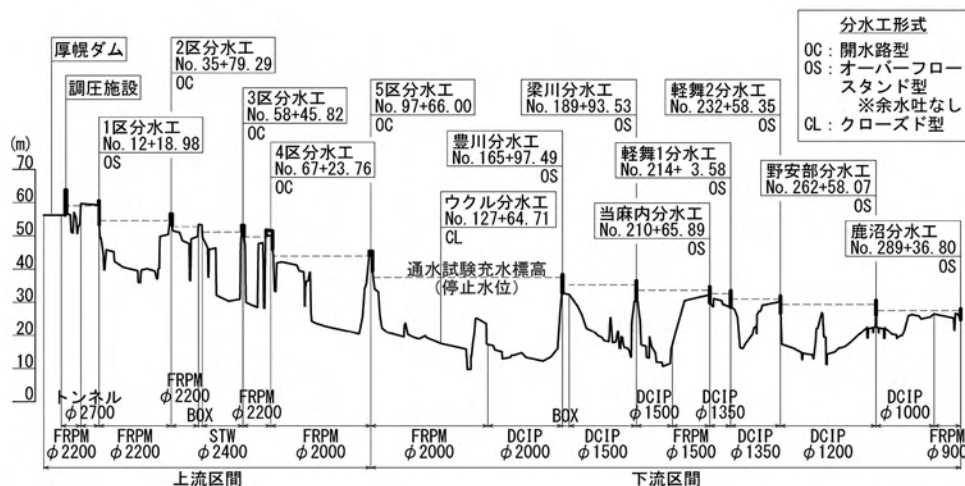


図-2 厚幌導水路縦断模式図

3. 施設および試験の特徴を踏まえた試験計画

(1) 計画充水量

1) 試験用水

試験用水は、厚幌ダムの貯留水を利用し、ダム取水放流設備の途中から分岐する農業用設備(調圧施設)により取水する。取水量の調整は、調圧施設のジェットフローゲート(JFG:φ1600mm)により行い、ゲート上流の超音波流量計指示値により確認する。JFGの操作は、胆振農業事務所(発注者)と受注者の協働で行う計画とした。

なお、試験用水は、発注者が厚幌ダム管理者の北海道と取水のための事前協議を行い、許可を得て取水した。

2) 計画充水量

管水路の初期の水張り作業は、エアハンマーの発生等を防止し、管内の残留空気と水の入れ替えがスムーズに行われるよう、充水量は計画最大流量の1/5~1/10以内の量で十分に時間をかけて行うこととされている²⁾。

対象施設は、最大管径2,400mm、最大流量Q=8.106m³/sと規模が大きく、起伏の大きい山間域を通る路線配置から急傾斜区間が多く存在する。管内が空虚である水張り作業時には、下り傾斜区間で射流を生じ、下端部で跳水やスラスト力の発生が懸念されることに配慮が必要であった。

本試験では、表-3に示す他地区の事例より、管径および設計流量が同程度である地区Aを参考にQ=0.3m³/s(最大設計流量の1/27)を計画充水量の最大値とした。

実際の水張り試験では、排気不良やエアハンマーの発生等はなく、スムーズな排気により充水を完了しており、この計画充水量は、水張り試験の安全かつ円滑な実施に有効であった。

表-3 水張り試験充水量の他地区事例(当社実績)

地区名	実施年度	施設規模		充水量 q (m ³ /s)	q/Q
		管径 (mm)	最大設計流量 Q (m ³ /s)		
A	平成8年	2,000	8.000	0.300	1/27
B	平成11~15年	1,650	3.900	0.200	1/20
C	平成15年	2,000	3.600	0.250	1/14
D	平成20年	2,400	2.557	0.250	1/10
E	平成26年	3,000	17.827	0.500	1/36

(2) 充水スケジュール計画

1) 用水到達時間

開水路区間を有する本導水路の通水試験では、圧力流の管水路区間に比して、用水到達に長い時間を要する開水路区間における用水到達時間の把握が重要であった。

特に本用水路のように管径(設計流量)が大きい施設では、充水量が設計流量の数十分の一程度と小さいため、用水到達時間がより長くなり、試験工程への影響が大きい。通水試験計画では、式1³⁾により開水路区間の用水到達時間を算定した(表-4)。

$$T = \frac{\Delta V}{\Delta Q} \dots \text{式1}$$

$$\Delta V = \frac{Q_2 \cdot n \cdot L}{I^{1/2} \cdot r^{5/3}} - \frac{Q_1 \cdot n \cdot L}{I^{1/2} \cdot r^{5/3}} \dots \text{式2}$$

※ 標準馬蹄形 2r 型の例

ここに、T:用水到達時間(s)、ΔV:貯留変化量(m³)、ΔQ:流量変化量(m³/s)、Q1:変化前流量、Q2:変化後流量、n:粗度係数、L:区間距離(m)、I:勾配、r:上部半円の半径(m)

表-4 開水路区間の用水到達時間の計算値

計算区間	形式	延長 (m)	変化後 流量 [※] m ³ /s	粗度 係数	流速 m/s	流積 m ²	貯留 変化量 m ³	到達 時間 分
トンネル	標準馬蹄形 2R=2.70m	558.0	0.300	0.015	0.660	0.454	253.554	14
			0.050		0.562	0.089	49.802	17
2区分水工	BOX-C 2300×2300	22.0	0.300	0.014	0.701	0.428	9.412	1
			0.050		0.356	0.140	3.087	2
開水路	BOX-C 2300×2300	99.8	0.300	0.014	0.701	0.428	42.694	3
			0.050		0.356	0.140	14.002	5
3区分水工	BOX-C 2300×2300	22.2	0.300	0.014	0.701	0.428	9.476	1
			0.050		0.356	0.140	3.108	2
4区分水工	BOX-C 2300×2200	37.0	0.300	0.014	0.701	0.428	15.833	1
			0.050		0.356	0.140	5.193	2
5区分水工	BOX-C 2200×2100	78.4	0.300	0.014	0.711	0.422	33.116	2
			0.050		0.362	0.139	10.866	4
豊川分水工	BOX-C 1500×1500	178.3	0.200	0.014	0.685	0.293	52.147	5
			0.050		0.414	0.120	21.394	8

※ いずれも変化前流量を0m³/sとした。

2) 充水スケジュール

試験計画では、詳細な充水作業スケジュールについて担当者間での情報共有に資するため、排泥施設や分水工等の水槽施設への用水到達、空気弁フロートの浮上、試験区間の充水完了等のイベント発生時刻をフロー図に示した「充水スケジュール」を作成した(図-4)。

充水スケジュールは①～④を考慮し、充水開始から各イベント発生までの所要時間を算定することにより立案した。

- ① 開水路区間の用水到達時間
- ② 下り勾配区間の用水到達時間
- ③ 管路および水槽の充水時間
- ④ 管内洗浄(排泥施設からの放水)作業の所要時間

現場での試験中は、充水スケジュールを確認しながら試験の進捗管理を行った。スケジュールに対して試験(充水作業)の進捗に遅れが生じた場合には、漏水の可能性があるため、路線上の監視を強化する対応を行い、試験の安全性と漏水事故への即応性の確保に配慮した。

(3) 利水と試験の両立に資する試験計画

令和4年度の通水試験は、前年に通水試験を完了した上流区間(起点～5区分水工)を供用(暫定利水)しつつ、下流区間(5区分水工～野安部分水工)を対象とし、かんがい期間である8月上旬から開始した。

かんがい期間外に実施する通水試験は、水路起点の調圧施設より試験用水のみを取水し充水を行う計画で実施されたが、本通水試験では、試験用水として、供用区間の余水を活用する試験計画を立案した。

- ・ 通水試験が上流区間の利水に影響を与えてはならない。
- ・ 本導水路はオープンタイプパイプラインであり、供用区間の末端では、管理用水として余水を生じていた。
- ・ 余水は、供用区間末端である5区分水工直下の排泥施設から排水路へ全量放水する管理が行われていた(図-5-1)。
- ・ 余水は0.3m³/s程度であり、試験区間の計画充水量(0.200～0.040m³/s)を上回っていた。

このことから、試験区間の充水方法については、通水試験実施前状態(図-5-1)から充水作業時(図-5-2)および、充水終了時(図-5-3)の操作手順として①～④のとおり計画した。

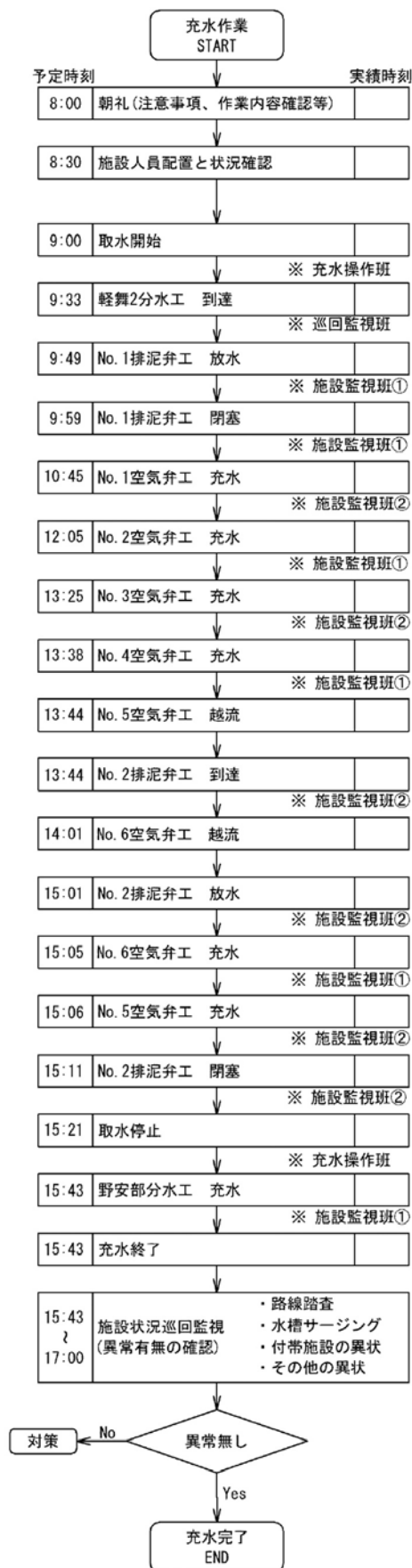


図-4 充水スケジュール(軽舞2分水工～野安部分水工)

【充水作業時の操作手順】

- ① 排泥施設(放水地点)下流の制水弁を開いた後、
- ② 排泥バルブ開度を調整(絞る:開度→小)し、放水量を減量して試験区間への通水を行う。

【充水終了(非充水作業)時の操作手順】

- ③ 充水作業終了後は、再び排泥バルブ開度を調整(開度→大)し、
- ④ 制水弁を閉塞して、5区分水工から流下する余水を全量放水する。

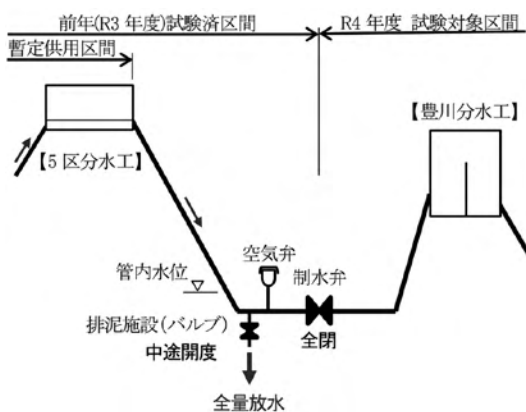


図-5-1 5区分水工～豊川分水工 模式図

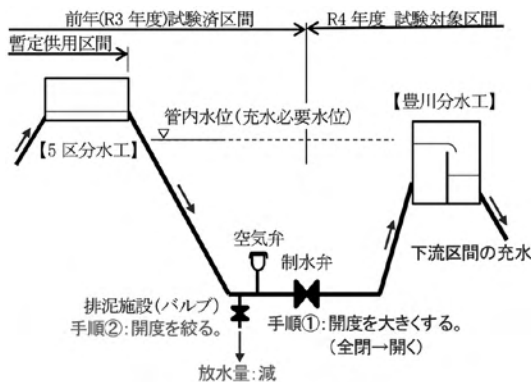


図-5-2 5区分水工～豊川分水工 模式図
(充水作業時のバルブ操作)

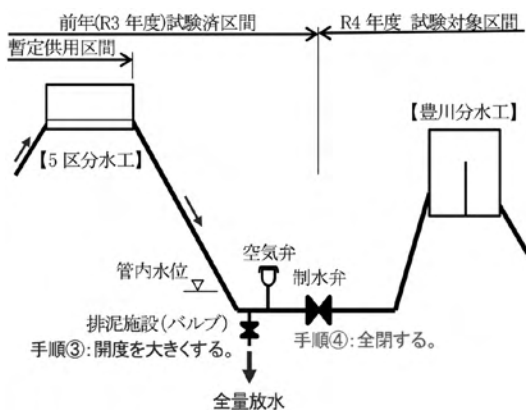


図-5-3 5区分水工～豊川分水工 模式図
(充水終了時のバルブ操作)

4. 試験実施上の課題と対策

(1) 利水と通水試験の両立

1) 試験の実施における課題

試験計画に基づく通水試験では、充水作業を行っていない期間(非充水作業時:夜間や休日)における5区分水工下流の排泥バルブ操作(開度調整)と当該バルブ上流の管内水位が課題となった。

- ① 試験区間の充水時は、排泥バルブ上流の管内水位を豊川分水工の越流堰高以上(充水必要水位)とする必要がある。(図-6:①)
- ② 非充水作業時に排泥バルブ開度を大きく設定して、上流の管内水位が低下し過ぎると、管路内が空虚となり、充水再開時における充水必要水位までの水位上昇(再充水)に時間を要する。(図-6:②)
- ③ ②より、充水再開時の作業効率を考慮すれば、非充水作業時における排泥バルブ上流の管内水位は、豊川分水工の堰高(充水必要水位)程度を維持することが重要である。(図-6:③)
- ④ 一方で、排泥バルブ開度を小さく設定し上流水位が上昇し過ぎると、5区分水工で溢水を生じる危険性がある。(図-6:④)
- ⑤ ③④は、通水試験の効率化と非充水時の安全管理においてトレードオフの関係にあり、非充水作業時の上流区間における利水(余水)量と排泥バルブ開度のバランス調整による適正な管内水位の維持が、試験実施上の課題となった。

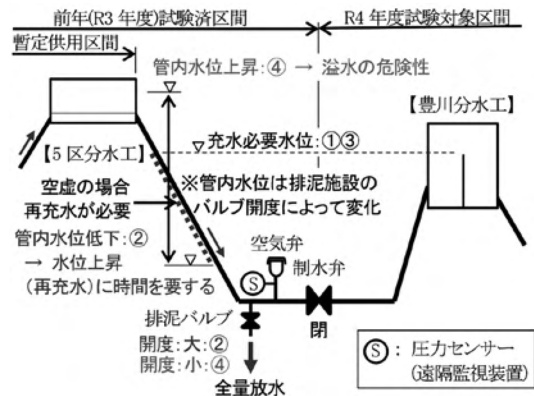


図-6 非充水作業時における管内水位概念図

2) 課題解決のための対策と効果

本試験での課題への対応として、管内圧力の遠方監視装置および監視アプリケーション(以下「監視アプリ」と称す。)を活用した。

排泥バルブ下流の空気弁に圧力センサーおよび遠方監視装置を設置し(図-7、写真-1)、クラウドサービスを利用して、計測値(圧力)から換算した管内水位をスマートフォンアプリ(自社開発)で遠方監視した。

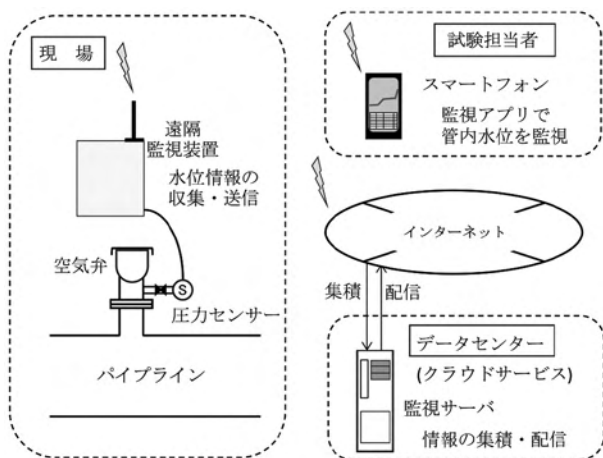


図-7 遠方監視のシステムイメージ図

本手法は、充水作業を行っていない夜間や休日における適正な管内水位の管理を常時監視により可能とし、前記した課題の解決に大きな効果を発揮した。

なお、監視アプリは、計測値が事前に設定した閾値(時間変化量)を超過した際に、警報(アラーム・メール配信)を発する機能を有する。



写真-1 遠隔監視装置設置状況

(2) 試験関係者の情報共有

本通水試験では、長大な施設規模から、特に漏水事故等の未然防止と緊急事態における即応性の確保が重要とされ、これには、業務発注者である胆振農業事務所、施設管理者である厚真町土地改良区および受注者(当社)の三者間の情報共有が課題であった。

このため、試験の事前に、三者が出席する合同会議を開催した。ここでの確認事項は、①試験対象区間・試験方法・工程計画、②かんがい期間の利水計画、③緊急時の連絡体制や対応を行う協力業者、④試験における留意点等である。本会議の開催により、試験関係者間の共通理解の下に試験を実施した結果、事故や利水への影響、受益者を含む関係者とのトラブル等はなく試験を終了し、会議は円滑かつ安全な試験実施に有効であった。

5. 通水試験の実施

(1) 用水到達時間を考慮した試験の効果

用水到達時間を考慮した充水スケジュールに基づく、各試験区間における充水所要時間(充水に要する時間)の計画と実績の対比を表-5に示す。

表-5 充水所要時間 計画・実績 対比表

区間	延長 (km)	計画 充水量 (m ³ /s)	試験計画			実績		対計画 実績比 (%) B/A
			所要 日数 (日)	充水 所要 時間 (min) A	用水 到達 時間 (min) ※1,2	充水 所要 時間 (min) B		
調圧水槽	-							
～1区分水工	1.0	0.300	1	220	(16)	233	6	
～2区分水工	2.4	0.300	2	508	(27)	530	4	
～3区分水工	2.3	0.300	2	570	(20)	556	-2	
～4区分水工	0.9	0.300	1	166	(9)	176	6	
～5区分水工	3.1	0.300	2	579	(37)	544	-6	
～豊川分水工	6.0	0.300	3	1131	(43)	1076	-5	
～梁川分水工	2.1	0.200	1	374	(20)	417	11	
～当麻内分水工	2.3	0.200	1	391	(12)	416	6	
～軽舞1分水工	0.7	0.160	1	145	(6)	132	-9	
～軽舞2分水工	1.6	0.160	1	256	(8)	240	-6	
～野安部分水工	3.0	0.080	2	826	(33)	763	-8	
～鹿沼分水工	1.8	0.050	3	1022	(73)	950	-7	
	27.2		20	6188	(304)	6033	-3	

※1 用水到達時間は、充水時間の内数。

※2 用水到達時間は、開水路区間および下り勾配の管路部を含む。

各試験区間における充水所要時間の実績値は、計画に対し最大で10%程度の差に収まっている。これは、試験の工程管理において実用的な精度であり、用水到達時間を考慮した充水スケジュールに即した試験の実施により、精度の高い工程管理を実現した。

また、各試験区間の充水所要時間のうち、用水到達時間は、短い区間で数分程度、長い区間では70分以上である。これは、用水到達時間を考慮しない試験計画の場合、実際の充水所要時間が用水到達時間相当分だけ長くなり、試験工程に遅れを生ずることを示唆し、路線全体では、工程に5時間程度の遅れを生じることが想定される。

長大用水路の通水試験では、用水到達時間を考慮した精度の高い工程管理が特に重要であり、円滑な試験の実施に有効であった。

(2) 現地作業における協働

1) 協働体制の構築

本通水試験は、施設規模から試験範囲が広範に及ぶことに加えて、充水量の制御、管路内の充水状況の確認、施

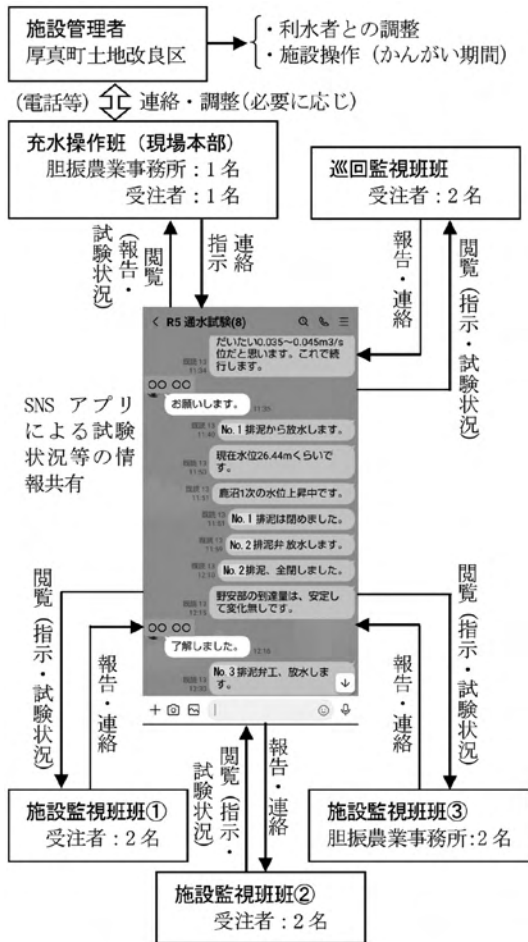


図-8 協働連絡体制図

設や路線上の安全確認、漏水監視等、複数の作業を並行して進めるため、複数グループによる作業分担と相互連携が重要となる。このため、本試験では、充水操作班(発注者・受注者：現場本部を兼ねる)、施設監視班および漏水監視班(受注者)の複数の班編成により、発注者と受注者が協働で作業に当たった。

また、令和4年度は、試験区間の上流を供用(利水)しながらの試験であったため、取水施設である調圧施設の操作(取水量調節)および利水者との調整には、施設管理者の協力が不可欠であり、発注者・施設管理者・受注者の協働体制を構築した(図-8)。

2) 作業前ミーティング

通水試験開始前の毎朝、各班の参加による作業前ミーティングを実施し、当日の試験内容と試験スケジュールおよび各班の所掌と作業における留意点等の説明を行い、参加者全員が共通理解のもとに作業に当たれるよう留意した(写真-2)。

また、安全衛生チェックリスト(自社様式)により、担当者の装備や安全対策(保護具着用、ガスモニターの携行等)の徹底を図り、作業時の安全確保と事故防止に努めた。



写真-2 作業前ミーティング実施状況

3) 作業終了時報告

担当者が現地を離れる夜間や休日前は、事故等を防止するための安全管理が特に重要であった。このため、現地作業終了時は、当日充水区間の路線踏査および減水状況の確認を行い、発注者への報告を徹底し、綿密な現地状況の把握と情報共有により事故等の防止に努めた。

6. まとめ

本報の通水試験は、長大用水路で、かつオープンタイプパイプラインと開水路により構成される複合水路である厚幌導水路の特性より、用水到達時間を考慮した通水試験を実施した点、並びに上流区間を供用(利水)しながら試験を行った点に特徴を有する。

安全かつ円滑な試験の実施のため、特に①対象施設の特徴を踏まえた試験計画の策定、②暫定供用区間の利水と通水試験の両立、③試験関係者(発注者、施設管理者)との協働に留意した。その効果は、次のとおりである。

(1) 試験計画の策定

一部に開水路を有する本導水路の特性を考慮し、試験計画では、開水路区間等の用水到達時間を算定するとともに、これを考慮した詳細な充水スケジュール(フロー図)を立案した。この試験計画に基づく工程管理のもとに通水試験を実施した結果、精度の高い工程管理が実現され、長大な用水路の通水試験において、用水到達時間を考慮することが、円滑な試験の実施に特に効果的であることが確認された。

(2) 利水と通水試験の両立

上流区間の供用(利水)と通水試験の両立策として、本線制水弁と排泥施設のきめ細かな操作により、上流の供用区間で発生する余水(管理用水)を通水試験用水として活用する試験計画を立案した。また、本計画に基づく試験実施上の課題解決に、管内水位の遠方監視装置および監視アプリを活用し、充水作業を行っていない期間の適正な管内水位の管理を実現した。

この結果、供用区間の利水に影響を与えず円滑に試験を完了することができた。

(3) 試験関係者との協働

試験関係者との協働を円滑に行うため、試験の事前に、発注者および施設管理者と受注者が参加する合同会議、試験当日の作業前ミーティング、および作業終了時の状況報告を実施するとともに、充水スケジュール等の詳細な試験計画を立案し、試験に関わる情報共有と共通理解を深めて試験を実施した。その結果、事故や関係者等とのトラブルはなく試験を完了した。

7. 謝辞

本報は、令和3年度から令和5年度までの3か年に亘って実施した厚幌導水路の通水試験について報告したものである。本用水路は、令和6年度より本格的供用を開始しており、今後、将来に亘って、地域農業のさらなる発展に寄与していくことを願うものである。

また、本報は、室蘭開発建設部胆振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胆振農業事務所、ならびに通水試験の実施にあたり多大なご協力を賜りました厚真町土地改良区の関係各位には、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(一社)北海道土地改良設計技術協会各位に感謝申し上げます。

(株式会社アルファ技研 事業部 事業部長代理 (技術士))

【引用文献】

- 1) 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」, 令和3年6月, p.557
- 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, p.I-1
- 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

