

# 積雪寒冷地における農業水利施設の送配水機能の改善と 構造機能の保全に関する研究

秀島好昭<sup>1)</sup>、中村和正<sup>2)</sup>、小野寺康浩<sup>3)</sup>、佐藤智<sup>4)</sup>、須藤勇二<sup>4)</sup>、鶴木啓二<sup>5)</sup>、  
古檜山雅之<sup>5)</sup>、川辺明子<sup>6)</sup>、金田敏和<sup>5)</sup>、中谷利勝<sup>7)</sup>、岡下敏明<sup>8)</sup>、石井邦之<sup>9)</sup>、  
細川博明<sup>10)</sup>、長畑昌弘<sup>10)</sup>

## RESEARCH ON IMPROVEMENT OF WATER CONVEYANCE/DISTRIBUTION SYSTEM AND STRUCTURAL FUNCTIONS MAINTENANCE OF IRRIGATION FACILITIES IN COLD SNOW REGIONS

HIDESHIMA Yoshiaki, NAKAMURA Kazumasa, ONODERA Yasuhiro, SATO Satoshi,  
SUTO Yuji, UNOKI Keiji, KOHIYAMA Masayuki, KAWABE Akiko, KANETA Toshikazu,  
NAKAYA Toshikatsu, OKASHITA Toshiaki, ISHII Kuniyuki, HOSOKAWA Hiroaki,  
NAGAHATA Masahiro

### 要旨

我が国の食料供給拠点となっている北海道においては、積雪寒冷な気象環境と泥炭などの特殊な土壌が広域に分布しているという地域特性に応じた技術開発を進めながら、農業基盤整備を実施してきた。これからは、整備してきた農業水利施設などの機能・性能を長寿命化するための適切な維持・予防対策および農業用水の需給変動に対応できる機能を確保するための技術開発を求められている。

農業水利施設は送配水機能とそれを支える構造機能より成っているが、これら機能を保全するためには、土地利用動向と水需要の変化の把握、冷害対策などの水田水需要への対応、高水圧を有する大規模畑地灌漑施設の維持管理、積雪寒冷な気象条件や泥炭などの特殊土壌からなる地盤条件に対応する調査・設計や改修のための技術開発が課題である。

このため、本重点プロジェクト研究では水田灌漑施設の送配水機能の評価・改善技術を開発するとともに、畑地灌漑施設の予防保全技術の開発を行う。また、積雪寒冷地域の特性を反映した農業水利施設の構造機能の診断方法および補修・改修技術の開発と、泥炭地盤における管水路の新たな設計手法を確立する。これら、一連の研究成果として、予防保全技術としての補修・改修計画作成手法の提案および、水田灌漑における効率的で安定した送配水機能を確保するための施設の操作方法の提案を行うものである。

**キーワード：**積雪寒冷、泥炭、気候変動、農業水利施設、水田灌漑、畑地灌漑、  
コンクリート開水路、機能診断、予防保全、表面被覆補修工法、ジオグリッド、浮上抑制、沈下抑制、水管理、水位調整施設

**Synopsis:**

Agricultural infrastructure improvement of Hokkaido where is a food supply center in Japan has developed along with technological advancement applied to regional characteristics, which include the area's cold snowy climate as well as its extensive peat and other unusual soil. Against this background, there is an increasing need for appropriate maintenance and protection measures to ensure longer life for irrigation facilities and other infrastructures, and for technological development to secure functions for dealing with variations in demand for agricultural water.

Irrigation facilities consist of water conveyance/distribution and related structural functions. A challenge to be addressed in promoting the maintenance of these functions involves technological development to clarify changes in land use trends and water demand, to cope with fluctuations in water demand for paddy fields due to measures taken in order to protect rice plants from cold-weather damage and other reasons, to support the maintenance and management of large-scale upland irrigation facilities with high water pressure, and to enable surveying, design and improvement of facilities in cold snowy climates and in peaty ground and other unusual soils.

Accordingly, this priority research project is to develop technologies for the evaluation and improvement of water conveyance/distribution functions relating to paddy field irrigation facility and for the implementation of preventive maintenance relating to upland irrigation facilities. It is also designed to advance the development of a method for diagnosing the structural functions of irrigation facilities suited to the characteristics of cold snowy regions and technologies for repair and improvement related to such functions, and to establish of a new design approach involving the verification of methods for designing and constructing water pipelines in peaty ground. From a series of research fruit a method for planning related repair and improvement and a technique for operating irrigation systems to secure efficient and stable water conveyance/distribution functions for paddy field irrigation is proposed.

**Keywords:**

cold snow region, peat, climatic variation, agricultural irrigation facility, paddy field irrigation, upland irrigation, concrete open channel, functional diagnosis, preventive maintenance, surface coating method, geogrid, uplift control, subsidence control, water management, cross-regulator

- 1) 前寒地農業基盤研究グループ長 (現 株式会社農土コンサル)
- 2) 寒地農業基盤研究グループ水利基盤チーム 上席研究員
- 3) 寒地農業基盤研究グループ水利基盤チーム 総括主任研究員
- 4) 寒地農業基盤研究グループ水利基盤チーム 主任研究員
- 5) 寒地農業基盤研究グループ水利基盤チーム 研究員
- 6) 前寒地農業基盤研究グループ水利基盤チーム 研究員  
(現 国土交通省北海道開発局鹿追地域農業開発事業所)
- 7) 技術開発調整監付寒地技術推進室 主任
- 8) 技術開発調整監付寒地技術推進室 研究員
- 9) 前技術開発調整監付寒地技術推進室 研究員  
(現 国土交通省北海道開発局札幌開発建設部農業整備課)
- 10) 技術開発調整監付寒地技術推進室道北支所 主任研究員

# 積雪寒冷地における農業水利施設の送配水機能の改善と構造機能の保全に関する研究

## 目 次

1. 序論	1
2. 寒冷地水田灌漑および大規模畑地灌漑に適した送配水機能の診断・改善技術の開発	1
2. 1 研究目的	1
2. 2 研究方法	2
2. 3 研究成果	3
2. 4 まとめ	9
3. 農業水利施設の構造機能の安定性と耐久性向上技術の開発	10
3. 1 研究目的	10
3. 2 研究方法	11
3. 3 研究成果	11
3. 4 まとめ	22
4. 農業水利施設の補修・改修計画技術に関する研究	23
4. 1 研究目的	23
4. 2 研究方法	23
4. 3 研究成果	23
4. 4 まとめ	30
5. 結論	31

## 1. 序論

北海道においては、夏期の寡雨や積雪寒冷な自然環境、さらに、泥炭などの軟弱地盤などの地域的な条件の下、農業生産基盤の整備を進めてきた。このことなどにより、北海道では大規模な農業が展開され、国内でも有数な食料供給拠点となっている。この間、社会経済状況の変化により、営農や土地利用形態の変化が生じているとともに、社会資本整備へのより効率的な投資が求められている。

このことから、既存施設の適切な保全による施設の長寿命化や、機能を確保するための技術開発が必要である。そこで、本重点プロジェクト研究では、積雪寒冷な環境や特殊な地盤条件下での水利施設の建設・維持技術および地域の営農構造に適用するための用水利用技術に関して、以下の研究を行った。

①寒冷地水田灌漑および大規模畑地灌漑に適した送配水機能の診断・改善技術の開発

②農業水利施設の構造機能の安定性と耐久性向上技術の開発

③農業水利施設の補修・改修計画技術に関する研究

①の研究では、水利システムが有する用水供給機能や制御機能の水需要の変化や気候変化に対する適合性に関して用水量や管理面から評価する手法を明示した。②の研究では、積雪寒冷な環境においても、水利機能を担保する構造性能を確保するための技術開発を行った。③の研究では合理的に水利施設の更新を計画する手法の提案を行った。

## 2. 寒冷地水田灌漑および大規模畑地灌漑に適した送配水機能の診断・改善技術の開発

### 2.1 研究目的

他府県に比べて深水用水など特徴的な水需要形態を持つ北海道を対象に、積雪寒冷地の水田灌漑施設における送配水機能の診断手法および送配水機能改善技術の開発を行う。さらに、近年に整備が図られてきた大規模畑地灌漑施設については、その維持管理の低コスト化を目的として、施設の機能評価と予防保全技術の開発を行う。

### 2.1.1 寒冷地水田灌漑施設の送配水機能の診断・改善技術の開発

(1)水利システムの用水需要の変化把握と性能評価手法

水稻の作付率の変化などが用水需要量に影響を与える場合の水利システムの評価手法を示す。長期にわたって国内でのコメの消費は減少傾向にあり、近年は空知総合振興局管内や上川総合振興局管内でも作付率は約60%にとどまっている。このため、現時点では水田用水の送配水管理には支障が少ない状態といえる。しかしながら、国際的な食糧需給動向への懸念などがあり、今後の作付面積は、減少・増加の両面の可能性を有している。このため水利施設の耐用年数が数十年であることを考えれば、そのような近い将来の用水需要変化を予想し、その対応を事前に検討する必要がある。また、検討にあたっては、直播栽培の導入や田畑輪換などの用水需要の予想変動因子をも列挙し、それぞれが用水需給に与える影響も検討しなければならない。

さらに、24時間周期で変動する圃場用水需要への対応も考慮することが肝要である。北海道では農家が冷害対策としての間断取水を励行しているが、これは、早朝あるいは夜間に取水し昼間は取水を停止することで水田内の水温上昇を図るものである。用水路のすべてが開水路である場合には、個々の農家が間断取水を行っても用水路全体の送配水に支障を与えることはないが、用水路に管水路が含まれている場合には、圃場の給水栓の開閉が管水路区間全体の流量・圧力に影響を与えるため、用水路全体の送配水が不均等になることがある。よって、開水路から管水路への転換が進んでいる状況で、圃場の間断取水が用水供給を阻害しないような安定した送配水機能が求められる。これらのことから、地域農業構造の変化と用水供給システムの課題を把握し、必要な改善策を提案する。

(2)気候変動に対する用水源の特徴と用水供給能力の評価

20～30年先の近い将来において、用水需給に影響を与えると考えられる因子について、その影響の大きさを検討し、地域の営農構造と気象変化に対する水利システムの管理面での改善方法について示す。

### 2.1.2 大規模畑地灌漑施設の機能評価と予防保全技術

北海道の大規模な畑地灌漑の先行地区では、通水

施設・水管理施設の老朽化が徐々に始まっており、パイプラインシステムの安定的な供用を確保するために、送配水機能の適切な診断と予防保全による効率的な維持管理技術が求められる。このため、畑地灌漑施設の現状での維持管理費の傾向や施設の劣化状況を調査、評価し、予防的処置を含めた維持管理技術の提案を行う。

## 2.2 研究方法

### 2.2.1 寒冷地水田灌漑施設の送配水機能の診断・改善技術の開発

#### (1) 水利システムの用水需要の変化把握と性能評価手法

水田用水の需給に影響を与える因子としては、気候変動に伴う蒸発散量の変化、田畑輪換に伴う減水深の増減、直播栽培の導入、および、気候変動による降水量や気温の変化による水源河川流出量の変化などが考えられる。田畑輪換に伴う圃場単位用水量の変化などは既往データを収集し、圃場の水管理の実態は農家・農業改良普及センター・JA等からの聞き取りから把握した。

送排水機能の評価手法の検討については、北海道内の代表的な長大幹線水路（送水路）から分水するA支線開水路（996ha）を参考にして、1000ha規模の支線開水路モデルを構築した。支線開水路モデルは、送水路から分水した水路を1次支線、それから分水したブロックを2次ブロックとし、100ha規模の2次ブロックが10区画あることを想定した。モデル全体の縦横比や地形勾配、計画流量、水路諸元などはA支線開水路での値を参考にした。2次ブロック内の水路の平面配置は、図-2.4に示すように、くし型と魚骨型の2とおりとした。

これらデータにより、送配水シミュレーションを行い、システムの性能評価手法を開発した。

#### (2) 気候変動に対する用水源の特徴と用水供給能力の評価

温暖化シナリオは、気候変動に関する政府間パネル（IPCC）の温室効果ガス排出シナリオのうち、経済重視で地域志向が強まると仮定した「SRES A2シナリオ」とした。

気候変動予測モデルは、日本付近の詳細な気候変化を再現するために気象庁・気象研究所により開発された水平解像度 20km の地域気候モデル（以下、RCM20 と記す）とし、将来流出量の予測には、気象庁

保有の RCM20 の日データを利用した。

将来予測の対象は、水田用水供給を行っているHダム流域およびその灌漑区域とした。対象期間は、1991～2000年（以下、過去10年間と記す）と2031～2050年（以下、将来20年間と記す）で、RCM20データは当該区域メッシュの日平均気温、日降水量（以下、モデル気温、モデル降水量と記す）、観測所データはHダム近傍の測候所の日平均気温、日降水量（以下、実測気温、実測降水量と記す）、Hダム上流の日流量（流域面積=4.3km<sup>2</sup>）である。なお、Hダムは、施設容量が8,060千m<sup>3</sup>、水利用期間が5月1日から9月30日、貯留期間が10月1日から翌年8月24日である。

日流出量の再現モデルとして4段のタンクモデルを採用し、実測流出高とモデルによる計算流出高を比較してHダムにおけるタンクモデル定数を決定した。

決定されたタンクモデルを用いて、灌漑用水源としての融雪水の流出変化を検討した。

### 2.2.2 大規模畑地灌漑施設の機能評価と予防保全技術

予防的処置を含めた維持管理技術を構築するため、先行的畑地灌漑地区の維持管理費や機能診断の事例や施設の老朽化状況を整理した。また、建設から40年程度が経過した小口径管路の機能診断調査から、管路の全体的な劣化傾向や漏水の生じやすい条件について解析した。

畑地灌漑施設の維持管理費の事例として、道内の供用を開始して10年以上を経過しているK地区の大規模畑地灌漑施設における機能診断調査のデータを収集し、補修・点検等に要した費用を整理した。畑地灌漑施設の維持管理では、バルブ類の補修・点検費用の年ごとの変動が大きい。バルブ等の老朽化状況については、北海道内の畑地灌漑施設の機能診断

表-2.1 調査対象地区の概要

項目	A地区	B地区	C地区
管路延長 (m)	16,533	39,433	46,237
管種	PCP, FRPM, STPY,	DCIP, VP	DCIP, FRPM, VP
最大口径 (mm)	1,200	1,000	1,100
最大通水量 (m <sup>3</sup> /s)	0.900	0.452	1.075
付帯施設数 (カ所)	117	201	210

PCP: PC管、FRPM: 強化プラスチック複合管、STPY: アーク溶接炭素鋼管、DCIP: ダクタイル鋳鉄管、VP: 硬質塩ビ管

事例を3地区分(表-2.1)収集し<sup>9, 10)</sup>整理した。北海道南部にあるA地区は、国営事業によりダムから末端圃場配管までの整備が行われ、施設築造後25~30年以上が経過している。B地区とC地区は、北海道東部の畑作地帯であり、国営事業によるダムや用排水路の整備が行われ、施設供用後10年以上が経過している。

## 2.3 研究成果

### 2.3.1 寒冷地水田灌漑施設の送配水機能の診断・改善技術の開発

(1) 水利システムの用水需要の変化把握と性能評価手法<sup>1)</sup>

#### 1) 積雪寒冷地における水田用水需給の変動要因

気候変動に伴う蒸発散量の変化や、生産調整に伴う田畑混在状態での減水深増大、畑作利用から水田に復元した直後の用水量増大および、直播栽培の導入などが水田用水の需給に影響を与える。これら変動要因についてシミュレーションした結果を示す。

①気候変動に伴う蒸発散量の増加は1mm/d程度<sup>1)</sup>であり、必ずしも大きいものでない。

②生産調整に伴う水田・畑地隣接状態での横浸透量は0.6mm/d程度<sup>2)</sup>の減水深の増加をもたらすが、適正減水深(20mm/d~30mm/d)と比較すると大きなものでない。

③田畑輪換に伴う圃場単位用水量の変化は水田利用3年間と畑地利用3年間の繰り返し条件で試算すると、図-2.1のとおり作付率と用水量の減少割合は一致せず、水田の作付率が100%から50%に低下し、用水量は代かき期で13%程度、普通期で20%程度しか減少しない。作付率の大小は用水を供給する面積の変動であるから、地域の用水量を変動させる因子として大きなものと考えられる。

④図-2.2のとおり、北海道内における近年の直播栽培面積の推移<sup>3), 4)</sup>は平成19年以降に急増しているが、北海道内での水田作付面積に対する割合は平成20年でも0.4%である。なお直播栽培の普及技術の進捗と今後の課題は、表-2.2のように整理した。直播栽培面積の拡大傾向は今後注目しておく必要があるが、水田作付面積の数%といったレベルまでに普及するには時間を要すると考えられる。

直播栽培は乾田直播と湛水直播の2つに区分され、圃場の水管理は異なる。農家、農業改良普及センターおよびJA等からの聞き取りから、直播栽培の水管理

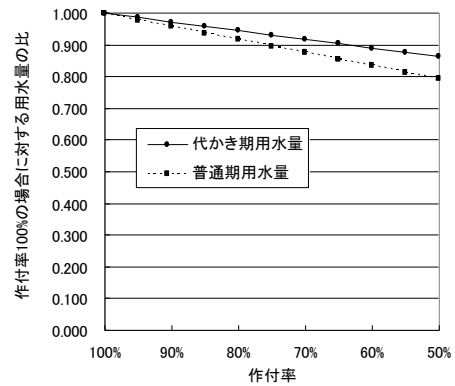


図-2.1 作付率100%の場合に対する各作付率での用水量の比

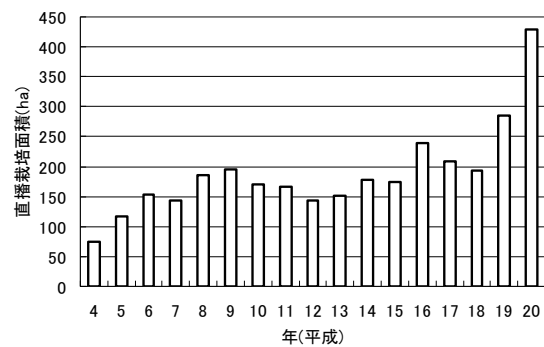


図-2.2 北海道における直播栽培面積の推移

理・水需要の特徴を表-2.3のように整理した。

聞き取り調査では、乾田直播は代かきを行わないにも関わらず移植栽培水田に比べて減水深が大きくないこと、および、播種後の入水時の水需要も移植栽培での代かき時に比べて小さいことがわかった。

一方、湛水直播では移植栽培に比べて代かき時期がやや早く、落水時期がやや遅くなるため、湛水直播が拡大する場合には用水供給時期の調整が必要となる可能性がある。

これらのように、乾田直播・湛水直播とも移植栽培とは水管理・水需要の特徴が異なるものの、直播栽培面積の拡大には、まだ時間を要すると考えられるので、現時点での想定では直播栽培が用水需要に与える影響は小さいと考えられる。

#### 2) 水田用水需要変化のシナリオ

将来の北海道内の水田用水需要変化のシナリオは図-2.3のようにまとめられる。

用水需要に与える影響として、蒸発散量の変化や直播栽培面積の拡大などは影響が小さく、道産米の食味向上や作物のエネルギー利用などによる水田作付率の変化の影響が大きい。よって、水田作付率の変化に復田の影響を加味することで将来の用水量を

表-2.2 直播栽培の普及技術の進捗と今後の課題

直播面積が伸びる要因		直播の普及上の課題
現在まで	乾田直播(美唄など)や湛水直播(深川・妹背牛など)の試験栽培・研究開発の成果	①除草剤・除草技術 除草剤は開発されてきた。苗立ちが揃わないと複数回の除草作業が必要となり移植栽培より費用がかかることがある。
今後	経営面積が15~20haを超えると、育苗・移植に必要な労働力を賄うことが困難になり、直播の導入などの対応が必要となる。  (ただし、共同育苗施設の導入や、移植時期のみの雇用労働力で対応している農家もいる。)	②直播に適する品種 これまで適当な品種の開発が待たれていたが、近年「大地の星」や「ほしまる」が開発された。 ③新たな機械装備の開発とコスト 播種機の開発等が進んだが、機械の効率的利用によるコスト削減が必要である。 ④圃場条件 土壌の均平性や水管理機能(地下灌漑など)に優れた圃場条件が必要である。 ⑤栽培技術 安定的収量を確保するために、栽培技術の改良が進められている。

表-2.3 直播栽培の水管理・水需要の特徴(聞き取り調査)

乾田直播	湛水直播
① 代かきを行う必要がないため、代かき用水については移植栽培との競合はない。	① 代かき時期は、やや移植栽培より早い。
② 播種後の入水・再入水は、土壌が乾燥した条件下での入水となる。しかし、湛水する必要がないことから、おける代かき作業に比べ、入水量は少なくなると思う	② 代かきは、入水量を少なくし、移植栽培に比べて堅めに行うよう指導している。このため、播種作業までの必要水量は移植栽培と同等あるいは少なくなる。
③ 移植栽培と生育ステージがずれる。そのため、水需要の大きな時期もずれるので、移植栽培との水の競合はない。	③ 落水出芽法では播種後落水し、出芽後1.5葉まで乾燥しない程度に土壌水分を保ち、さし水程度しか用水を補給しない。1.5葉経過後は湛水し、移植栽培と同様の普通期用水管理で経過する。
④ 代かきを実施しないにもかかわらず、減水深は移植栽培に比べて大きくなるわけではない。この理由としては、1)除草剤が有効になるためには2日程度の湛水保持が必要であるため、減水深の大きな圃場では乾田直播が導入されないこと、2)大型機械により各作業(耕起、均平、播種、鎮圧)を実施することで作土直下に堅密層が形成されること、などがあげられている。	④ 1.5葉まで湛水しないことから、土壌の透水性の増大が想定され、1.5葉経過後の用水増加が懸念される。その場合、移植栽培との競合の可能性あり。
	⑤ 幼穂形成期が遅いため、通常年における水稻の冷害危険期に合致せず、深水は必要ない。移植栽培の深水の需要とは競合しない。
	⑥ 生育が移植栽培と比較し遅いことから、落水時期も遅い。
	⑦ 移植栽培に比べ生育ステージがずれることで、水利用競合時期もずれる。

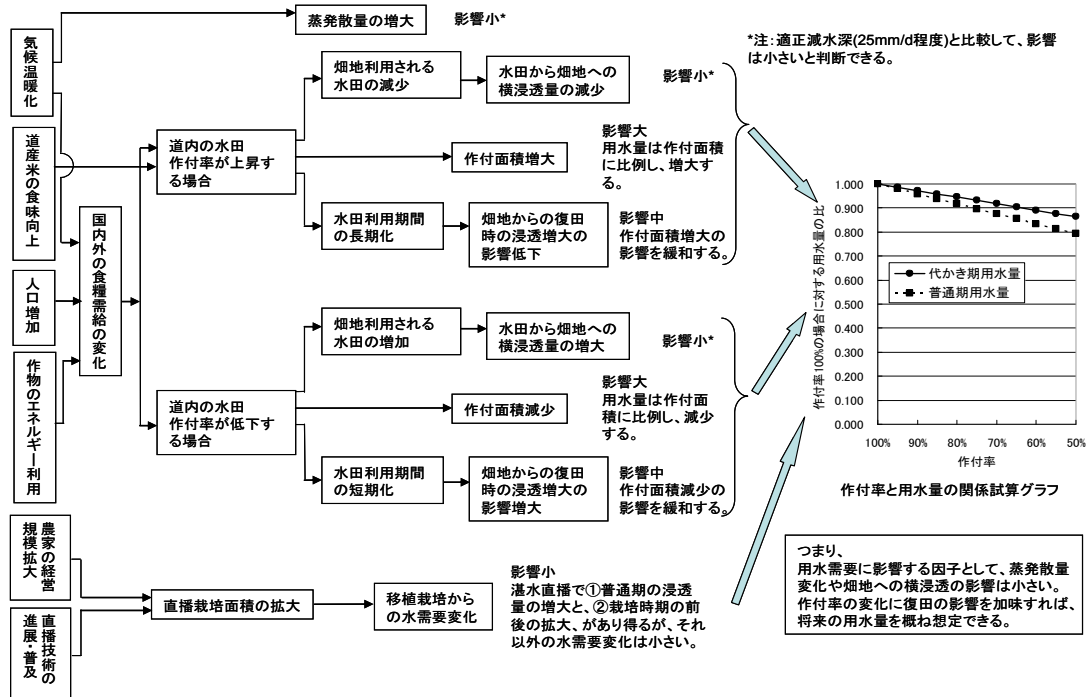


図-2.3 将来の北海道内の水田用水需要のシナリオ

概ね想定できる。

3) 寒冷地水田用水の送配水機能評価手法<sup>5)</sup>

北海道内では活着期から幼穂形成期ごろにかけて、遅延型冷害を回避するために夜間あるいは早朝に取水することが指導されている。そのため、支線水路

にクローズドタイプの管水路が導入される場合には、これらの支線水路への分水量に大きな日内変動が生じ<sup>6)</sup>、これに伴い幹線水路の水位・流量が変動するようになる。その結果、開水路形式の他支線水路への分水量も日内変動を生じることとなる。

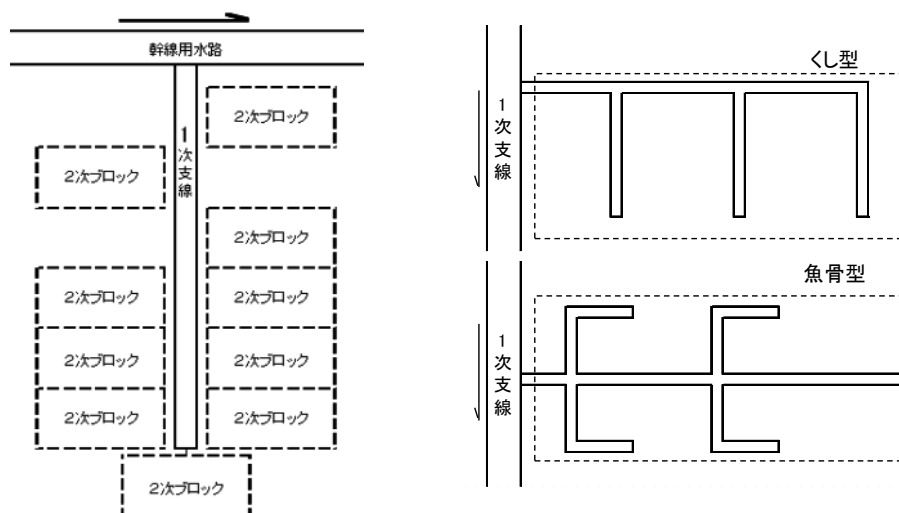


図-2.4 支線開水路モデル

このような送配水管理上の問題に対しては、支線管水路の上流端に調整池を設置するのが根本的な解決策であるが、既設の水利施設の管路化においては用地や水頭配分の問題から調整池の設置が困難であることが多い。その場合、支線の管路化が水利施設系全体の送配水の支障となるのか否か検討する必要がある。

支線の管路化を想定した送配水管理のシミュレーションは不定流解析によって可能であるが、開水路形式の支線への分水量が、どの程度の日内変動を生じると配水管理に支障を生じるかの判定基準は現在のところ示されていない。このことから、開水路形式の支線への分水量に日内変動を与えた解析を行い、配水管理に与える影響を検討した。

代表的に1,000haから成る支線開水路モデル(幹線用水路～一次支線(100haの2次ブロックが10区画連結)～2次ブロック内はくし型および魚骨型の水路が平面配置)(図-2.4)に水路勾配、粗度係数等の水理諸元を与え、次の手順による解析により、表-2.4の結果を得る。

- ①すべての分水ゲートは普通期の計画流量どおりの分水が実現する開度で固定した。ゲートと水位の高さの比較により、オリフィス流れか否かを判定し、それに応じて分水量の計算を行った。
- ②1次支線管路上流端での流入流量は日平均が計画流量どおりとなるようにし、1日を周期としてサインカーブとなるような変動を与えた。変動幅は計画流量に対して0～50%の範囲で与えた。
- ③1次支線の流れと2次ブロックへの分水量は不定

表-2.4 2次ブロック内の配水状況と溢水の有無(計算結果)

1次支線 への分水 量変動	2次ブロックの $\Sigma Qd/Qp$ の max、min (魚骨型)		2次ブロックの $\Sigma Qd/Qp$ の max、min (くし型)		フリーボ ード不足 が生じる2 次ブロック 数	溢水が生 じる2次ブ ロック数
	max	min	max	min		
	0%	1	1	1		
±5%	1.02	1.00	1.01	1.00	0	0
±10%	1.06	1.00	1.04	0.99	0	0
±15%	1.15	0.99	1.09	0.99	1	0
±20%	1.29	0.99	1.17	0.99	1	0
±25%	1.46	0.94	1.27	0.96	2	0
±30%	1.65	0.84	1.40	0.87	2	0
±50%	2.56	0.73	1.91	0.77	4	1

流解析によって計算した。

④2次ブロック内の配水状況の検討では、流れの変化の到達時間を無視し、ブロック内の各分水量はそこでの等流水深と分水ゲート開度を用いて計算した。

表-2.4の「 $\Sigma Qd/Qp$ 」は、各2次ブロック内用水路への1日の供給水量を計画用水量で除した値である。水田灌漑における用水計画では圃場用水量に灌漑効率として搬送ロス分10%、分水管理ロス分5%を考慮して用水量が決められている。これらのことを考慮して、すべての圃場への日供給水量が計画の85%以上となることを必要条件とすると、「 $\Sigma Qd/Qp$ 」が0.85を下回らない、1次支線への分水量変動が±25%の変動までは許容できる範囲と考えられる。一



表-2.5 寒冷地における水田用水施設の送配水機能評価のステップ(案)

ステップ番号	目的	対象流量	管水路支線の日内変動の考慮	粗度係数	不定流解析の要否	検証項目	特記すべき評価基準、対応策等、その他
1	水路断面の妥当性	すべての期別の計画流量(防災流量含む)	考慮しない	計画値	不要	幹線水位・流速・分水水位など	特記すべき評価基準 開水路支線への分水の許容変動範囲 →普通期計画分水量の±25%(暫定値)以内ただし、日合計分水量は計画を満たすこと
2	水路断面の妥当性(粗度変化考慮)	すべての期別の計画流量(防災流量含む)	考慮しない	区間ごとの経年変化の実態値	不要	幹線水位・流速・分水水位など	
3	日内変動の影響程度	普通期流量	考慮する(水需要の台形モデルなど)	計画値	必要	幹線水位・流速・分水水位、開水路支線への分水安定性	対応策等 ①水位、流量の調整 →チェックゲートや中間貯留池等 一本線水位の調節が不可能な場合には、分水側が本線水位の変動の影響を受けない施設(下流水位一定ゲート等)の検討もあり得る
4	日内変動の影響程度(粗度変化考慮)	普通期流量	考慮する(水需要の台形モデルなど)	区間ごとの経年変化の実態値	必要	幹線水位・流速・分水水位、開水路支線への分水安定性	
5	管水路支線への分水量減少時間での降雨流入時の余水処理	普通期流量+降雨時流入水 <small>(※注参照)</small>	考慮する(水需要の台形モデルなど)	計画値	必要	幹線水位・流速、放余水工での処理流量と放余水先での処理可能流量	②余水処理の安全性 →適切な規模の余水吐及び放流工、放流先の容量確保 退水時の取水制限率 当該地域の過去の取水制限率から設定
6	管水路支線への分水量減少時間での降雨流入時の余水処理(粗度変化考慮)	普通期流量+降雨時流入水 <small>(※注参照)</small>	考慮する(水需要の台形モデルなど)	区間ごとの経年変化の実態値	必要	幹線水位・流速、放余水工での処理流量と放余水先での処理可能流量	
7	退水時の送水管理	退水時の取水制限率を反映させた流量	考慮する(支線ごとの分水規制など、退水時の対応方法を反映させる)	計画値	管水路支線の日内変動を考慮するならば必要	幹線水位・流速・分水水位など	
8	退水時の送水管理(粗度変化考慮)	退水時の取水制限率を反映させた流量	考慮する(支線ごとの分水規制など、退水時の対応方法を反映させる)	区間ごとの経年変化の実態値	管水路支線の日内変動を考慮するならば必要	幹線水位・流速・分水水位など	

(注：降雨時には管水路支線への分水が0になるおそれがある豪雨時でも、何らかの理由で頭首工での取水量の減少させられない用水施設では、管水路支線への分水量がゼロになる時間帯で最も余水処理量が多くなる期別計画流量を選定する必要がある)

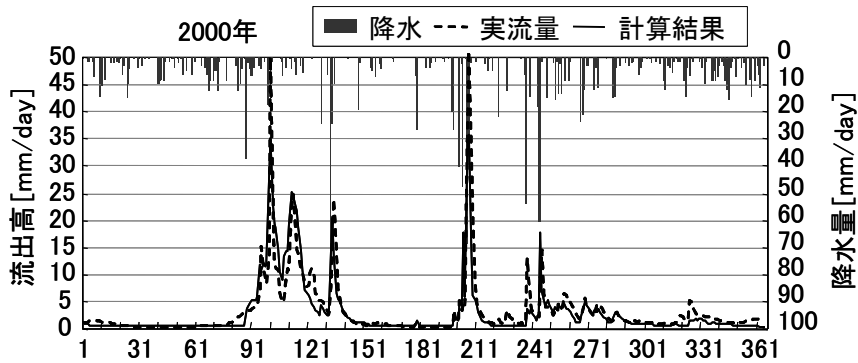


図-2.5 流出再現計算結果の事例(2000年、実測降水・気温使用)

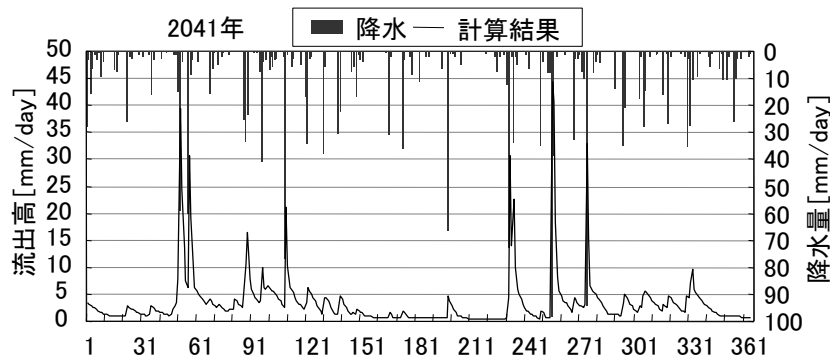


図-2.6 将来の流出予測計算の事例(2041年、年総量補正降水を使用)

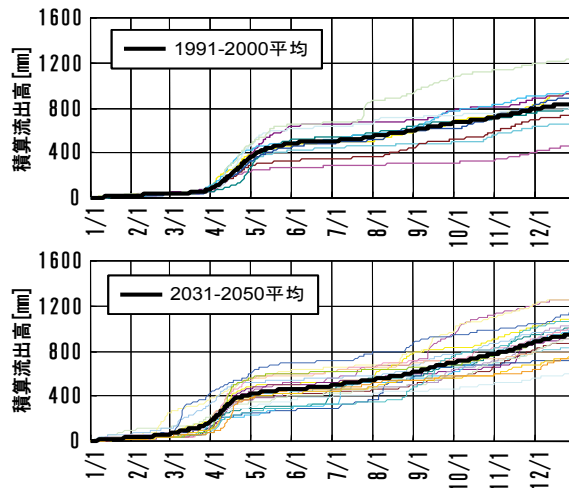


図-2.7 年間の積算流出高(上図：過去10年間の実測、  
下図：将来20年間の計算値(年総量補正降水を使用))

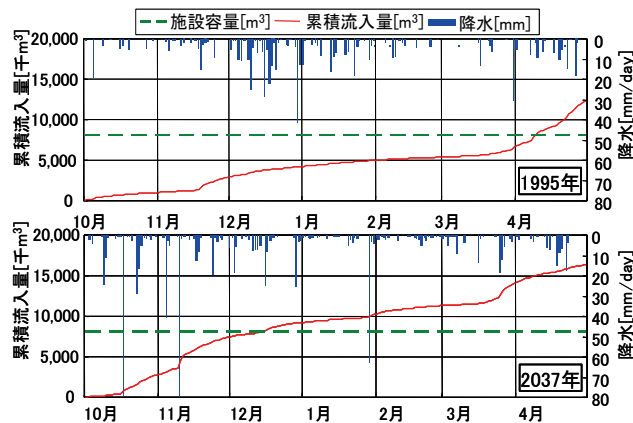


図-2.8 貯留期間中の降水と流入の事例(上図：過去10年間の実績、  
下図：将来20年間の計算値(月別補正降水を使用))

方、安全面からの評価では、2次ブロック内ではフリーボードが不足となる区間が発生するのは±15%の条件からである。

このような試算を基礎に、分水量変動の許容範囲を反映させて作成した寒冷地における水田用水施設の送配水機能評価のステップ(案)を表-2.5に示す。なお表-2.5では、暫定的に開水路支線への分水量の許容変動範囲を±25%としているが、フリーボードの不足の観点を重視する必要がある場合は±15%とする。

(2) 気候変動に対する用水源の特徴と用水供給能力の評価

1) 流出モデルによる将来流量の変動予測<sup>7)</sup>

日流出量の再現モデルとして、4段のタンクモデルを採用した。まず、日平均気温と日降水量により、タンクモデルへの入力値(降水量-蒸発散量)を与えて流量を再現し(図-2.5)、実測流出高とモデルに

よる計算流出高を比較してHダムにおけるタンクモデル定数を決定した。

次に、決定されたタンクモデルを用いて、モデル気温とモデル降水量による過去10年間の流出高の計算を行った。実測流出高と実測降水量による計算流出高、モデル降水量による計算流出高を比較したところ、年ごとの差はみられたが、10年間の平均で比べると、月別補正・年間総量補正した降水量による計算流出高は実測流出高と同程度となった。以上より、モデル値による再現計算が可能と判断した。

次にモデル気温、モデル降水量を用いて将来20年間の流出高を推定した。図-2.6に事例を示す。

各年の積算流出高を算出すると、融雪に起因する春の立ち上がりが過去10年間では4月初旬から急激であるのに対し、将来20年間では1月当初から徐々に立ち上がり始めていた(図-2.7)。また、融雪流出が終了する時期は春先の顕著な傾きが緩くなる変曲

点付近とすると、過去 10 年間では 5 月中旬頃までであるのに対し、将来 20 年間では 5 月より以前であるのも特徴的である。

2) 用水計画への対応

貯留開始の 10 月 1 日から水利用開始の 5 月 1 日までのダムへの累積流入量を算出すると、図-2.8 のようになる。過去 10 年間、将来 20 年間いずれも水利用開始前までに施設容量に達していたが、累積流入量がダム施設容量に達する時期は、過去 10 年間の実測値では概ね 4 月であるのに対し、将来 20 年間の計算値では、4 月より相当に早まっている (表-2.6)。

H ダム地区の水利用計画に基づき、半旬ごとにダ

表-2.6 ダム確保容量到達月

月	1991-2000年 実測 (N=10)	2031-2050推定 (N=19)		
		降水補 正無し	降水月 別補正	降水年 総量補正
11月	—	—	1	9
12月	—	4	8	4
1月	—	6	2	2
2月	—	—	1	2
3月	2	5	4	1
4月	8	3	2	1
未達	—	1	1	—

(数字は頻度)

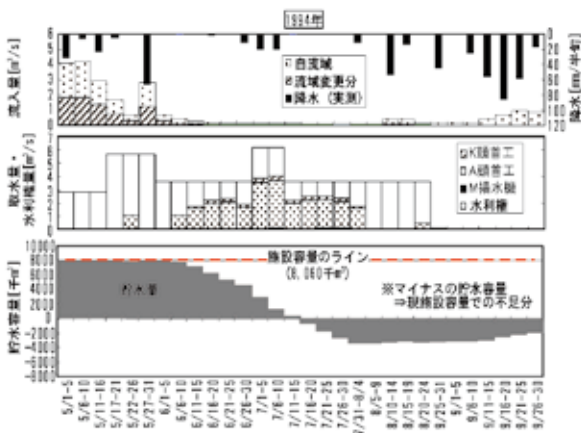


図-2.9 半旬ごとの貯水容量と諸水量の状態 (1994 年実測値)

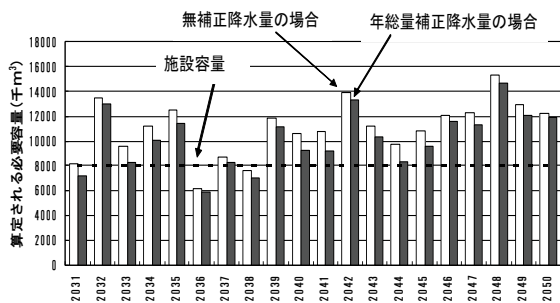


図-2.10 H ダムにおける将来の必要容量

ム貯水容量・取水施設の取水量・ダム流入量・降水量を算定した (図-2.9)。降水が少ないと、田畑の消費水量分の取水が行われることでダム貯水量が減少し、降雨が多いとダム貯水量が増加しているのがわかる。また、水利用期間中に貯水量がなくなりマイナス値となっているのは、当該地区に必要な水量のうち、当該ダムの貯水量の不足を表すものである。なお、ダム貯水容量の最小値と施設容量 (8,060 千 m<sup>3</sup>) との差が、水利用期間において当ダムで確保すべき容量である。

次に、すべての年についてダムの確保容量を算出すると、図-2.10 のように整理される。施設規模超過 (容量不足) は、将来 20 年間で 17~18 回の発生頻度となった。将来 20 年間の降水量は補正の有無によらず過去 10 年間よりも増加しているものの、融雪の終了が早まり、水利用期間初旬に融雪による流入が減少することが、このような容量不足の一因と考えられる。

H ダムでは貯留開始が前年 10 月からと他のダムに比べて時期が早い、道内の農業ダムの多くでは取水当年の春頃から貯留開始となることを考えれば、将来 20 年間では融雪時期が早まる年もみられることから、貯留の開始時期によっては必要水量の確保が厳しい場合もあると考えられる。貯留開始時期の見直しや、流域内での水利用調整が必要となる場合がある。

2.3.2 大規模畑地灌漑施設の機能評価と予防保全技術

機能診断調査<sup>8)9)</sup>のデータによると、「用水路の保護・復旧・漏水対応」や「バルブ類」の補修・点検費用は年ごとの変動が大きい、その累積費用は着実に増加している。よって、畑地灌漑施設の維持管理においてはバルブ類の劣化の原因の検討やその防止、パイプラインでの漏水防止などが重要であるといえる。パイプラインにおける漏水・破損の原因として地盤条件があるが、埋戻し土の強度不足がより一般的な要因といえる<sup>10)</sup>。このため予防対策技術として、以下のことを提案する。

(1) 積雪寒冷地における冬期施工では、埋戻し材料が部分的に凍結していることがあり、融解後の密度は低くなる。過大なたわみが見いだされた場合は、施工時期の確認を行うことが必要である。当該区間が冬期施工であれば、漏水・破損の予防として同様の条件となっている区間の変状調査が必要である。

(2)埋設管の近傍に他の埋設構造物がある場合には、仕様どおりの掘削断面・締固め機械による施工が困難となる場合があり、締固めが不十分や不均一などにより管に大きなたわみが生じることがある。このような区間では、たわみ率の計測・分析により安全性を確認することが必要である。

(3)埋戻し部周辺の地下水位が高い場合には、管周囲の土が軟弱化し、管の過大な変形につながる可能性がある。特に、管の剛性が高く土被りが大きい場合には、管体への荷重配分が大きくなるため注意が必要である。なお、管周囲が軟弱化しているか否かは、サウンディング試験により確認できる。

(4)埋戻し部周辺で地下水の流動がある場合には、管路に沿って設けられているドレーンパイプの亀裂から細粒分の流亡が生じることがあり、これが管側部の土の反力低下や、礫による点載荷が生じて、管の過大なたわみや破壊につながる可能性がある。このような場合の管の変形は、管底部の連続しない水たまりや、触診で感じられるような凹凸、浅いが連続性の良い数条の亀裂、となって現れるため、管内調査による変状の有無の確認が必要である。

なお、管路内部の変状調査で着目すべき基本的な項目はたわみ率である。たわみ率の大きさと亀裂の発生傾向としては、たわみ率が3~5%となると管頂および管底のそれぞれ内側に軽微であるが亀裂が生じている事例も報告されている<sup>10)</sup>。可能であれば定期的な計測を行い、経時的変化を分析することが有効である。また、効率的な調査を行うためには、内水圧の高さや周辺地下水位の状況、土被りの大小、冬期施工の有無などの諸条件によって重点監視区間を設定することも有効である。

調査員の入ることができない中小口径管の調査では、管路の粗度係数による間接的な内面状態の把握や、水利用を停止した状態での水面変化から漏水の有無の確認が行われることが多い。既存のパイプラインでは、空気弁等を利用して流量計や水圧計を接続しているのが現状である。しかしながら、空気弁はこのような調査のためを考えた設計とはなっておらず、空気弁の保護管が小さいことや、空気弁に排気バルブがないことのため、計測機器が接続できない場合がある。既存のパイプラインの補修・改修時には、計測機器の接続の利便性を考えた設計が必要である<sup>11)</sup>。

内面観察ができない場合には健全度判定(表-2.7)に必要な情報が限られる。たとえば、空気弁の構造

表-2.7 パイプラインの健全度

健全度 ランク	施設の状態	対策の 目安
S-5	変状がほとんど認められない状態。	不要
S-4	軽微な変状が認められる状態。	要観察
S-3	変状が顕著に認められる状態。	補修
S-2	施設の構造的安定性に影響を及ぼす変状が認められる状態。	補強
S-1	施設の構造的安定性に重大な影響を及ぼす変状が複数認められる状態。	改築

上の問題から内水圧の測定が不能な場合には粗度の算出ができず、漏水の有無だけでの判定結果により、S-5からS-3まで2段階低下してしまうことがある<sup>11)</sup>。このことから、管内調査が必要である。

## 2.4 まとめ

本研究成果を取りまとめると以下のとおりである。

「寒冷地水田灌漑施設の送配水機能の診断・改善技術の開発」に関しては、

(1)北海道内における、近い将来の水田用水需給に影響を与える重要な因子は作付率の変動である。

作付率は、国内外の食糧需給や国内でのコメの需要の変化などに左右されるため、予測は困難である。しかしながら、作付率の上昇する場合と低下する場合のそれぞれにおいて、変動幅を想定し、いずれの場合でも送配水を可能とするため、幹線水路の水位調整ゲートなどの可否を検討することが必要である。

(2)支線水路のパイプライン化が進みつつあるが、幹線水路の水管理機能の評価項目として、幹線水路の水位・流量変動に起因する支線開水路への分水量日内変動の許容変動範囲を、支線開水路モデルのシミュレーションによって明らかにした。また、この許容範囲を反映させて、送配水機能診断のステップを提示した。将来を想定した水田用水施設の送配水機能診断にあたっては、用水需給の変動要因を考慮して、将来の水需要を幅広く想定し、提案した機能評価のステップに則って送配水機能の確認を行うことが必要である。

(3)近い将来の気候変動については、シミュレーション結果より降水量の増加が予測されており、年間用水供給量が大きく不足する懸念は小さいと考えられる。しかし、融雪時期の早期化を生じるため、貯留開始時期の見直しや、流域内での水利用調整が必

要となる場合がある。

「大規模畑地灌漑施設の機能評価と予防保全技術」  
に関しては、

(4)パイプラインシステムにおける漏水発生は維持管理費を大きく変動させる因子になっている。漏水の発生要因としては地盤条件や埋め戻し部の強度不足があげられ、埋戻し土の強度不足の原因と診断方法について提案した。

### 3. 農業水利施設の構造機能の安定性と耐久性向上技術の開発

#### 3.1 研究目的

北海道内に築造されている水利施設のなかには、建設から数10年を経過し老朽化が著しくなっているものも多くなっている。道内の水利施設の性能・機能回復を補修・改修で行う場合、積雪寒冷地域に特有の過酷な気象環境への配慮が重要である。すなわち、対象とする施設の経年劣化の履歴、劣化部位の特徴、劣化の原因を把握し、これらと積雪寒冷環境との関連を明らかにすることが必要である。補修・改修技術の適用性の検証にあたっては、施工時や供用開始後におかれる積雪寒冷環境を反映させた評価を行う必要がある。また、北海道の低平地において農業用水のパイプラインを建設する場合、広範に分布する泥炭地盤を通過することが多く、管の浮上対策や不同沈下への経済的な対策が必要となっている。

このために、以下の項目の技術開発を行う。

##### 3.1.1 積雪寒冷地における農業水利施設の構造機能の評価診断方法の提案

北海道内に築造されている水利施設の場合、流水や石礫などによる磨耗や損傷に加え、寒冷地特有の凍結融解の繰返し作用による劣化などの影響がある。特にコンクリート開水路では部材内部の凍害劣化が想定されるので、凍結融解の作用頻度や水路側壁の内部温度・水分などを観測し、外部環境の影響程度とその機構の推定により、作用ファクターと構造物の劣化診断予想の方法を提案する。

##### 3.1.2 老朽化したコンクリート開水路の寒冷地型の補修・改修技術の開発

コンクリート開水路は他のコンクリート構造物と比べて部材厚が薄いことや湿潤な環境におかれることで劣化が進みやすい特徴がある。さらに積雪寒冷地においては、冬期の過酷な温度環境に曝されているために老朽化の進行が速いと考えられる。このような劣化に対して、維持管理費を抑制しながら施設を長期にわたって供用するためには、寒冷地に適用できる補修工法が必要となる。このため、主な補修工法の一つである表面被覆工法に着目して、積雪寒冷地で適用可能な補修・改修技術の開発を行う。

### 3.1.3 老朽化した頭首工の寒冷地型の補修技術の開発

頭首工において、老朽化を進行させる大きな要因として、積雪寒冷地特有の凍結融解の繰返し作用や、施設本体に作用する大きな温度変化がある。また、頭首工の補修では、気中部と水中部が対象となることから、開水路と同様に、積雪寒冷地における頭首工の補修技術である表面被覆材の塗布技術の適用性評価を行う。

### 3.1.4 特殊土壌地帯における管水路の経済的設計技術の開発

北海道に広範に分布する泥炭等軟弱地盤において農業用パイプラインを敷設している。このような地域は地下水位が高く、融雪期や大雨の際には地表面付近まで上昇する。泥炭等の軟弱地盤では、地下水位の上昇と管の空虚が重なると発生する管の浮上対策とともに、地盤の高圧縮性、低強度に起因した管の不同沈下への対策が必要となる。したがって、ジオグリッドを使用した、より経済的な沈下抑制や浮上防止を行う工法と設計技術を開発する。

## 3.2 研究方法

### 3.2.1 積雪寒冷地における農業水利施設の構造機能の評価診断方法の提案

長年供用されてきた水利施設にみられる経年劣化の傾向の分析およびコンクリート表面温度などの調査から凍結融解の作用頻度を把握し、劣化予測や残存寿命を推定するための基礎データを収集する。また、薄い部材の内部劣化の進行解明のためにコンクリート開水路の凍害発生パターンや凍害発生部への融雪水の供給状況などの調査や側壁内部の温度および水分の観測・分析を行う。

### 3.2.2 老朽化したコンクリート開水路の寒冷地型の補修・改修技術の開発

タイプの異なる3種の工法の実証試験および寒冷地の施工時および供用後の条件を想定した室内試験による長期的な耐久性を評価して、積雪寒冷地に適応した補強・改修技術を開発した。

### 3.2.3 老朽化した頭首工の寒冷地型の補修技術の開発

補修材を塗布した供試体を屋外暴露試験や室内試

験により耐久性の評価を行う。

### 3.2.4 特殊土壌地帯における管水路の経済的設計技術の開発

高圧縮性土を模擬した材料を使用し、土木シートによるパイプの浮上抑制や不同沈下抑制の土槽実験を行い、現場データと対照することで具体的な設計方法と工法の提案を行う。

## 3.3 研究成果

### 3.3.1 積雪寒冷地における農業水利施設の構造機能の評価診断方法の提案

(1) 水利施設の劣化状況の特徴

1) 頭首工の経年劣化傾向

頭首工を構成する施設において、気中部では堰柱部や床版などの水平部材や側部の、雨水や融雪水が停滞、流下するような湿潤条件におかれやすい部位で、局所的に凍害ひび割れが発生している事例が多くみられた(写真-3.1)。水中部ではモルタル分の摩耗や表面部の粗骨材の流失なども生じている。また、気中部と水中部の境界付近で水面直上部が凍結している場合、水位の上昇によって凍結部が一旦融解し、水位低下により再度凍結する。このため、この部分では凍結融解によっても部材表面部の欠損が生じていた。

2) コンクリート開水路の凍害発生部位と積雪状況

埋設区間の側壁では、図-3.1に示す左岸(南西面)の天端付近にスケーリングが、気中部(灌漑期水位より上部)および目地付近において多数のひび割れが発生している。右岸(北東面)には目視では凍害劣化は見られない。一部露出区間の側壁では、左岸(西面)の天端付近にスケーリングが、気中部および目地付近に多数のひび割れが発生している。側壁の上部が露出している右岸には、天端付近にスケーリングが、また側壁背面(西面)には微細なひび割れが発生している。埋設区間と一部露出区間の積雪形状は図-3.1に示すとおりである。埋設区間の凍害が認められた左岸側壁は、雪庇の発達が小さく、冬期間を通して気中部の壁面が露出し、融雪が進む3月には天端が露出している。一方、右岸側壁は12月以降雪庇が徐々に発達し2月に最大となり、天端付近は冬期間を通して雪で覆われている。一部露出区間は、左岸は天端および側壁の大部分が露出しており、右岸は天端から左岸ハンチに達する雪の吹き溜まりが



形成され、内面は雪で覆われている。また、右岸の天端付近は、冠雪と気温上昇時に雪が解け露出する時期があった。埋設区間の左岸内面では、積雪期でも日中にはひび割れ箇所から水が浸み出している状況がみられる。

目視観察による凍害劣化の程度を比較すると、①埋設区間左岸（南西面）（写真-3.2）>②一部露出区間左岸（西面）>③一部露出区間右岸背面（西面）>④一部露出区間右岸内面（東面）>⑤埋設区間右岸（北東面）（写真-3.2）となった。すなわち①、②では融雪の進行時に多量の水分供給と日射による日々の凍結融解が併行して生じている。これに対して、③では露出した時点以降に積雪と融雪が繰り返され凍結融解が生じるものの、水分供給が減少するため、①、②に比べて凍害劣化の程度が低いと考えられる。⑤については、融雪とともに水分が供給されているはずであるが、温度変化が小さいため凍害の程度が極めて低かったと推察される。

(2)凍結融解作用の頻度予測

冬期間の表面温度観測は、補修を行う場合の耐久性評価の試験条件の設定や、機能診断における劣化予測や残存寿命の推定において方位差を考慮するためのデータとして利用した。

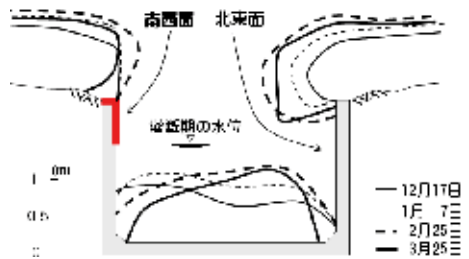
1)頭首工における外気温と表面温度の関係および、凍結融解の頻度

A頭首工（少雪地域）、B頭首工（多雪地域）での平成18年度冬期の1年あたりの凍結融解回数を算出した結果を図-3.2に示す。凍結融解回数の算出にあたっては、コンクリートはその表面温度が $-5^{\circ}\text{C}$ 以下になると凍結、 $0^{\circ}\text{C}$ を超えると融解するものとした<sup>13)、14)</sup>。なお、凍結融解回数の解析期間については11月1日から4月30日とした。その結果、凍結融解回数は、A、B頭首工ともに南面で1年に60~70回程度と最も多く、日射の差によって各方位面での回数に差が生じていることがわかった。

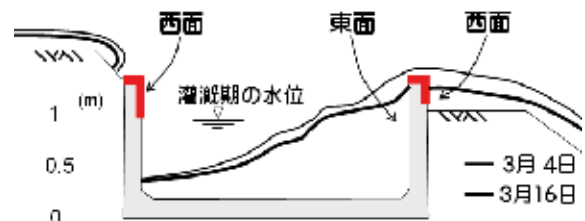
また、A、B頭首工の天端面の凍結融解回数では、積雪の少ない地域で約60回、多い地域で約30回であり、30回程度の差がみられるが、これはB頭首工では天端面が積雪で覆われていた期間が長く、その間の温度変化が小さかったためと考えられる。このように、積雪の多少によってもコンクリートが曝される凍結融解環境は異なる。



写真-3.1 頭首工堰柱部のひび割れ



a) (完全) 埋設区間



b) 一部露出区間

図-3.1 積雪形状と凍害劣化部位



埋設区間左岸（南西面）  
凍害ひび割れ箇所からの浸み出し  
(2010年3月24日, 15:00)



埋設区間右岸（北東面）  
(2010年3月24日, 15:00)

写真-3.2 融雪水の供給状況と凍害劣化程度

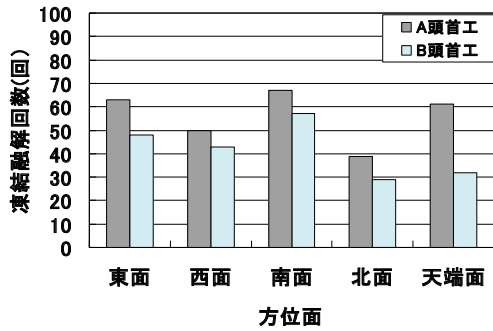


図-3.2 壁面方位による凍結融解回数推定値

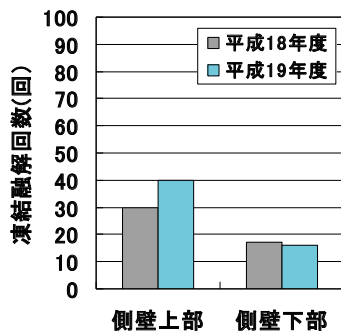


図-3.3 開水路側壁の位置における凍結融解回数推定値

## 2) 開水路の各部位の凍結融解の頻度

道央にあるコンクリート開水路の側壁(側壁高2.6m)における凍結融解回数の推定値は図-3.3のとおりである。側壁の上部と下部の凍結融解回数には差がみられる。側壁上部では凍結融解回数が年間30~40回あるのに対し、側壁下部では半分程度の年間約15回である。また、年度の違いによる回数の変化も上部より小さい。これは下部では積雪で覆われ温度変化が抑制されることが影響していると考えられる。なお、側壁の上下での凍結融解回数の違いは、側壁の高さによって異なると考えられる。

## (3) 水路側壁内部の温度環境・水分環境の把握

平成21年度の冬期から、昭和49年度に施工された掘り込み形式の現場打ちフルーム水路区間で、側壁の温度および水分の観測を開始した<sup>12)</sup>。観測位置は、図-3.4に示すように、左岸側壁において、気中部と水中部の2箇所とし、右岸側壁では気中部の1箇所とした。

凍結融解期における側壁部材の表面および内部の温度変化の一例を図-3.5に示す(平成22年3月2日)。左岸(南西面)は日中に温度変化が大きく、部材内部まで凍結と融解が生じる温度環境におかれている。右岸(北東面)では温度変化は小さく、部材表面付

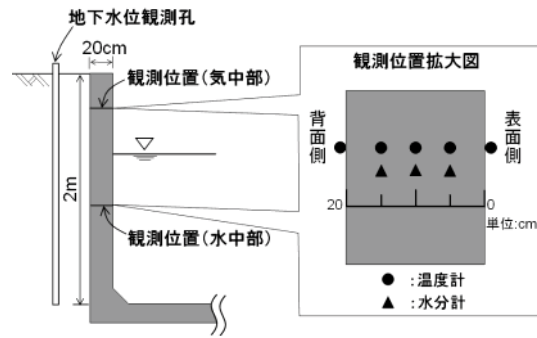


図-3.4 部材中の水分変化等の計測

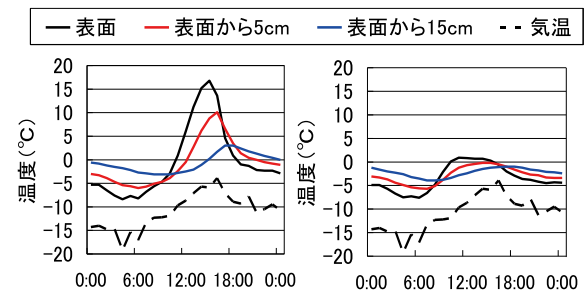


図-3.5 側壁部材の表面と内部の温度の周日変動の計測例

近を除いて0°C以下で推移しており、凍結融解が生じにくい温度環境におかれている。このように、左岸と右岸では側壁の温度環境に大きな違いがあり、左岸では右岸に比較し、より部材の内部まで凍結融解作用が及ぶ環境にあることがわかった。

観測区間の左右岸側壁の表面から深さ10cmにおける平成22年3月1日から7月31日までの、水分センサーの計測電圧の割合と同じ深さのコンクリート温度および気温を図-3.6に示す。水分センサーの計測電圧の割合とは、センサーを設置した孔内にモルタルを充填した後の各センサーの最大出力電圧値を100%とした場合の、各計測時の出力電圧の比率であり、水分の相対値を表すものである<sup>13)</sup>。

凍害が見られる左岸気中部では、図-3.6と同様に、融雪が進行する3月上旬から3月下旬にかけての温度変化が右岸気中部に比較して大きく、断面の中心部において0°C前後する温度変化が生じていた。

左岸気中部では、3月上旬から5月上旬までコンクリート内部で水分は緩やかに増加し、5月上旬以降に水分は減少していく傾向がみられた。なお、同断面の表面から深さ5cm、15cmでも、4月下旬から5月上旬以降に水分が減少する傾向がみられており、融雪終了後には3点全ての深さで水分の減少が生じてい



た。これに比べて、左岸水中部および右岸気中部では水分の変化は小さく、左岸水中部では4月下旬以降の水路への通水の影響はほとんどみられなかった。

以上のように、側壁内部の水分の観測により、凍害が発生している左岸気中部では、凍害が見られない部位とは異なり、側壁断面全体での季節的な水分の変化が生じる傾向があることがわかった。

さらに、凍害劣化区間の冬期間の観察および側壁内部温度や気温の観測結果の分析から、凍害が生じている左岸側壁気中部では、融雪水による多量の水分供給と断面内部まで及ぶ凍結融解作用が並行して生じる環境であることがわかった。また、部材表面部の劣化状況に加え、部材内部への凍害劣化深さも把握する必要があることが示唆された。

### 3.3.2 老朽化コンクリート開水路の寒冷地型の補修・改修技術の開発

#### (1) 補修工法

本研究で検討した補修工法は、コンクリート構造物の耐久性の向上や劣化の進行を抑制する表面被覆工法とした。使用した材料は施工実績がある、ウレタン樹脂系材料（以下、樹脂系）、セメントモルタル系材料（以下、セメント系）、FRPMパネル（以下、パネル系）の計3種類とした。各補修工法の施工断面の概要を図-3.7に示す。

各補修工法の適用にあたっては、寒冷地での施工性に配慮した。すなわち、セメント系では低温下でも付着強度が早期に発現する低温速硬化型のセメントを使用した。樹脂系では速硬化タイプの吹付けウレタン樹脂を用いた。パネル系では躯体コンクリートとFRPMパネルとの隙間に浸入した水分が結水することによる膨張力を吸収する目的で、躯体コンクリートとFRPMパネルとの間に緩衝材を用いた。なお、施工は、セメント系とパネル系はコンクリート躯体の表面にのみ施工を行い、樹脂系は目地を止水処理したうえで、目地とコンクリート躯体の表面を併せて施工を行った。また、樹脂系は、超高压洗浄面による劣化部除去後の凹凸部を断面修復材で平滑に仕上げた後から、表面被覆材を施工した区間と断面修復を行わず劣化部除去後の凹凸部をそのままにして、表面被覆材を施工した区間を設けた。後者では表面凹凸が残るため、その粗度係数についても照査した。計測機器の配置等は図-3.8に示した。

観察や計測項目は、目視調査、温度やひずみの計測に加え、①付着強さ試験(JSCE-K531-1999:建研式

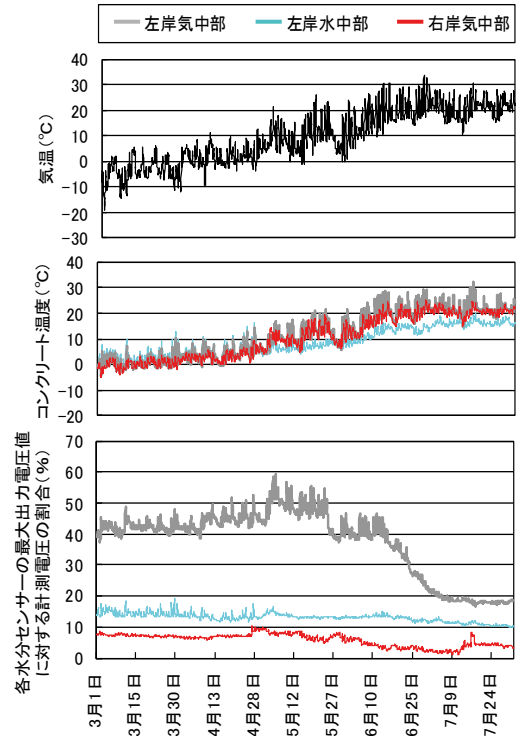


図-3.6 コンクリート内部(10cm 深さ)の温度と水分指標

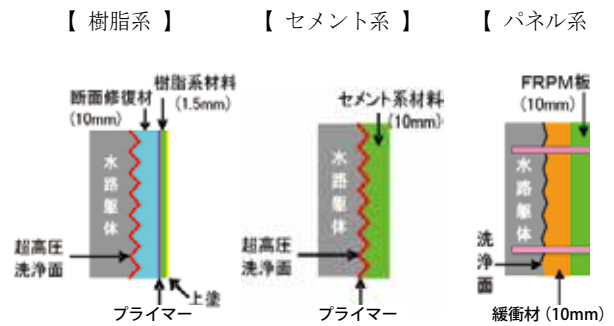


図-3.7 補修工法の施工断面

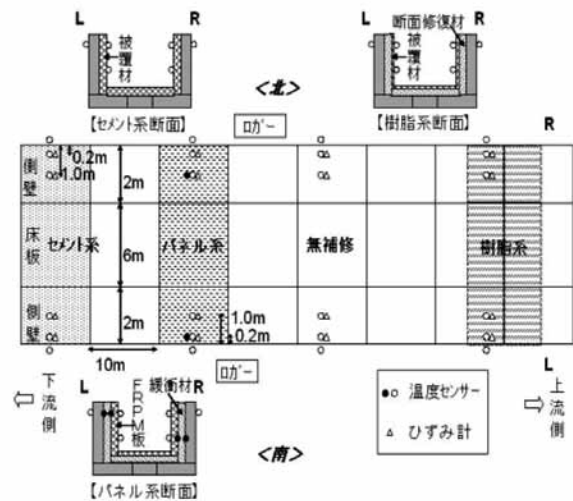


図-3.8 計測機器の配置

付着力試験)、②摩耗量計測(毎灌漑期終了時期にベンチピンからの距離測定)、③緩衝材の含水比試験(緩衝材は、EPS(ビーズ法ポリスチレンフォーム)、PE(発泡ポリエチレン)、EPT(エチレンプロピレンゴム)の3種類)を実施した。

温度観測結果から整理した平成20年度冬期における樹脂系とセメント系の補修表面、およびパネル系の緩衝材と水路躯体コンクリートとの間における凍結融解回数を図-3.9に示す。この回数は $-5^{\circ}\text{C}$ で凍結、 $0^{\circ}\text{C}$ で融解が生じるものとして求めた<sup>13)</sup>、<sup>14)</sup>。凍結融解回数は、南面ではセメント系が約30回、樹脂系が約20回、北面ではセメント系、樹脂系ともに約15回であった<sup>12)</sup>。また、パネル系の水路躯体コンクリートの凍結融解回数は少なく、これは緩衝材の断熱効果によるものである<sup>12)</sup>。なお、樹脂系、セメント系の1回の凍結時毎の最低温度の平均値は南面、北面ともに $-7^{\circ}\text{C}$ 前後であった。

また、高温に対する表面被覆材の耐久性評価の試験条件設定に使用する目的で、夏期の補修表面温度の測定も行っている。平成20年の通水期間中における側壁気中部の最高温度は、南面ではパネル系が $42^{\circ}\text{C}$ 、セメント系が $37^{\circ}\text{C}$ 、樹脂系が $32^{\circ}\text{C}$ 程度であった。北面では各材料とも大きな差が無く、最高で $25^{\circ}\text{C}$ 程度であった。側壁水中部は真夏でも $20^{\circ}\text{C}$ 前後であった。

## (2) 補修工法の評価

### 1) 樹脂系工法

①目視調査では、平成19年～平成21年(半年～3年経過後)の間は、ひび割れ、浮き、剥離等の目立った変状は見られず概ね良好な状態にある。なお、目地にも被覆材を施工したことにより、目地の止水が不完全なところで水分浸透により断面修復部で剥離が生じたが、水路躯体に施工した被覆材において剥離を起こさせるものではなかった。なお、剥離部分については再補修済みである。

平成22年(3年半および4年経過後)に、底版の目地およびその周辺で浮き(一部でひび割れ)が見られたが、水路躯体部分には目立った変状は見られなかった。施工後4年の時点では、水路躯体部分で変状はなく良好な状態を保っていることが確認できた。なお、目地部分の対策としては、セメント系、パネル系と同じく縁切りを行うとともに、必要に応じ、目地専用の補修工法を組み合わせることも考えられる。

②付着強さ<sup>15)</sup>、<sup>16)</sup>の変化は、図-3.10のとおりであ

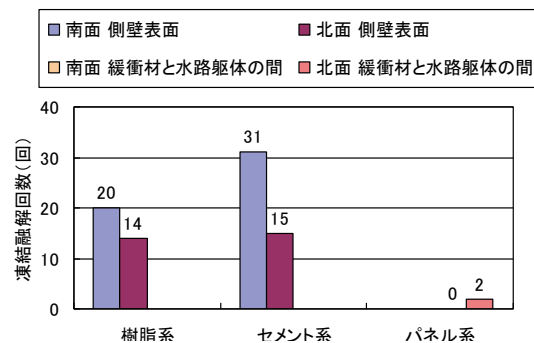


図-3.9 冬期の凍結融解回数(平成20年度)

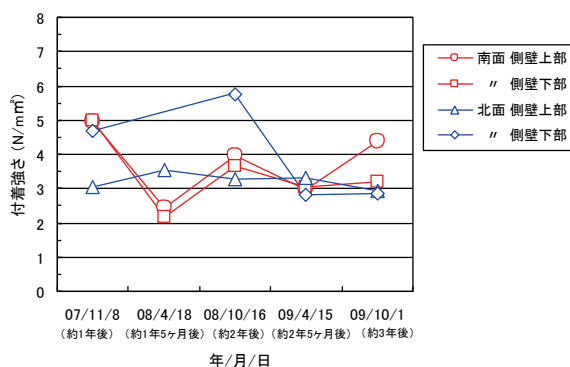


図-3.10 付着強さの経時変化  
(断面修復無しの区間)

る(断面修復無しの区間)。

表面被覆材に必要なとされる付着強さは、工法や被覆材のタイプにより異なるものの、一般に $1.0\text{N}/\text{mm}^2$ 程度が多い。樹脂系では断面修復を行わない場合は $1.0\text{N}/\text{mm}^2$ を大きく上回っている。表面に凹凸が残ることにより粗度係数がやや大きいことの問題がない場合には、経済的でもあることから、優位な工法であると考えられる。一方、断面修復を行った場合の付着強さは、測定時期によるバラツキがみられたが $1.0\text{N}/\text{mm}^2$ 前後となっていた。なお、剥離面は断面修復材を2層に分けて施工した境界部分であったことから、補修前の躯体コンクリートに断面欠損等の問題があり、断面修復材の施工をする場合には施工を慎重に行う必要があると考えられる。

### 2) セメント系工法

①目視調査<sup>12)</sup>では、平成19年～平成21年(半年～3年経過後)の間は、ひび割れ、浮き、剥離等の目立った変状は見られず、概ね良好な状態であった。平成22年(3年半および4年経過後)に、南面側壁上部に微細なひび割れが見られたが、これは表面のセメントペースト部であり、補修内部にまで達しているものではなかった。また、他には、浮き、剥離等の

目立った変状は見られなかった。この結果、施工後4年の時点で大きな変状はなく良好な状態を保っていることが確認できた。

②セメント系では付着強さ<sup>12)</sup>の付着強さ試験での測定値は1.0N/mm<sup>2</sup>前後であった。しかし、付着境界面付近の躯体コンクリートで剥離が起こっていたことから、表面被覆材の付着強さは測定値以上であると考えられる。

③灌漑期間を1回経た時点を基準にした、通水4回目までの磨耗量<sup>12)</sup>の推移を図-3.11に示す。通水4回終了後の時点で、流水のある側壁下部で南面、北面ともに0.4mm、常に気中にある側壁上部で0.3mmであることから、被覆材の厚さ10mmに対して小さい値である。

3) パネル系工法

①目視調査では、平成19年～平成21年(半年～3年経過後)の間は、FRPM板は変状が見られず、アンカーも抜け落ち等はなく、良好な状態を保っていた。平成22年(3年半および4年経過後)に、緩衝材EPT区間の底版の高さが他の緩衝材を用いた区間よりやや低くなっていたが、他にはとくに変状は見られなかった。この原因は、EPTが他の材料に比べ変形しやすい材料であるため、水圧、積雪荷重による圧縮量が他の緩衝材より大きいことと経年変化により復元力が弱まってきたことによるものと考えられる<sup>12)</sup>。この結果、施工後4年の時点で大きな変状はなく良好な状態を保っていることが確認できた。

②適当な緩衝材の選択にあたっては、次のような結果を得た。図-3.12は天端から下への距離毎に測定した緩衝材の含水比<sup>12)</sup>を示す。EPSは灌漑期(普通期)水位より下の部位で含水比が高くなっており、PEとEPTは全体的に含水比が小さいことがわかった。EPSは水分を多く含むことから、他の材料に比べて凍結融解作用の影響を受けやすい状況にあることが示唆された。

また、緩衝材に500サイクルの凍結融解を与え、圧縮残留ひずみ試験(JIS K6400-4:2004、圧縮残留ひずみ試験(B法))に準拠し、凍結融解サイクル0サイクルおよび、50、100、300、500サイクル後に測定を行った。凍結融解0サイクル時点でも各種材料の圧縮分が回復していないが、EPSの圧縮残留ひずみが最も大きかった。また、各種材料の圧縮残留ひずみの凍結融解による変化は認められない結果を得た(図-3.13)。3種類の緩衝材の中では、供用後の含水比が低く凍結融解作用が受けづらいと考えられること

や、目視調査による変状がないこと、凍結融解後も復元力が保たれることから、PEが最も適していると考えられる。

(3) 塗布条件による適用性検証

寒冷地における表面被覆工法の施工時期は灌漑期間終了後の秋以降となる。このため、施工時および供用後の条件を想定し、低温下での養生および凍結融解作用の繰り返し後の表面被覆材の付着強さを測定した(JSCE-K531-1999 表面被覆材の付着強さ試験方法)。結果は次のとおりである。

①コンクリートの付着表面(基板)の水分を7.5%～

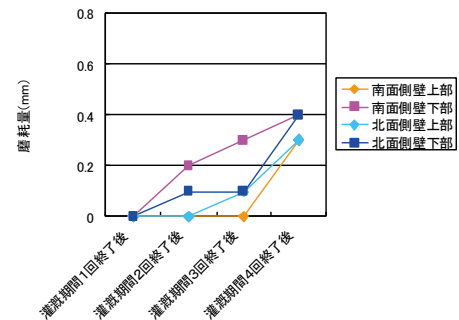


図-3.11 セメント系工法の磨耗量の経年変化

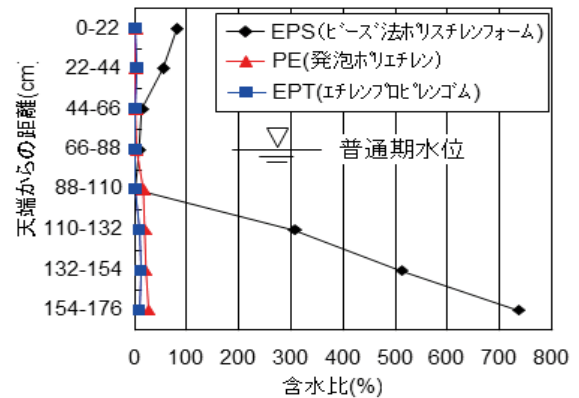


図-3.12 各種緩衝材の含水比

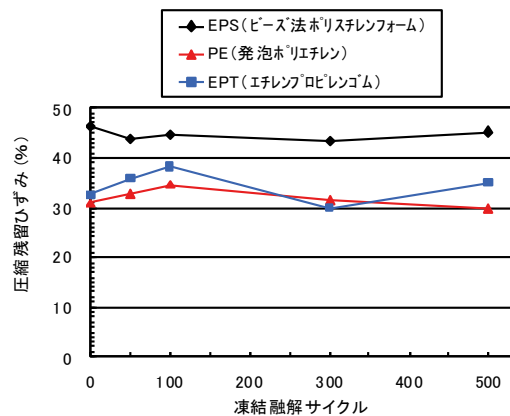


図-3.13 凍結融解サイクル後の圧縮残留ひずみ



8.0%<sup>17)</sup>の状態に塗布した場合、凍結融解 300 サイクルまでの樹脂系表面被覆材の付着強さの変化は、**図-3.14**のとおりである。樹脂系では凍結融解 300 サイクル後も付着強さの低下はほとんど見られず、1.0N/mm<sup>2</sup>以上の付着強さを有していた。

②コンクリートの付着表面(基板)の水分を 7.5%~8.0%<sup>17)</sup>の状態に塗布した場合、凍結融解 300 サイクルまでのセメント系表面被覆材の付着強さの変化は、**図-3.15**のとおりである。セメント系では凍結融解 300 サイクル後も付着強さの低下はほとんど見られず、1.0N/mm<sup>2</sup>以上の付着強さを有していた。

また、表面被覆工において、表層の劣化部を超高圧洗浄により除去した上にウレタン樹脂を塗布し、表面に凹凸面を残した水路の水利的諸元の結果については次のとおりである。

③水路の粗度係数に関しては、**図-3.16**のように、超高圧洗浄した水路の粗度係数はやや大きい傾向であったが、プライマーおよびウレタン樹脂を塗布した水路(写真-3.3)では粗度係数が低下し、磨耗した水路と同等かそれ以下となった。

設計基準に示される粗度係数の標準値である 0.012~0.016 の範囲にあり、断面修復材を用いず、表面に凹凸のある状態に直接プライマーおよび樹脂

系材料で被覆した場合であっても水利的に大きな問題は生じないと考えられ、実用的な工法であるといえる。

### 3.3.3 老朽化した 頭首工の寒冷地型補修技術の開発

#### (1) 補修工法と耐久性

野外観察結果から、頭首工のような構造物では、方位面や部位による劣化やその作用が大きく異なることが判明した。このため、局所的な環境の違いによる表面被覆材の挙動を暴露試験で検証した。

樹脂系被覆材による補修供試体の表面部における発生ひずみと表面温度の変化を測定した。なお、暴露試験は表面被覆材〔セメント系 2 種類(厚さ 10mm の厚塗りタイプ、厚さ 2mm の薄塗りタイプ)、樹脂系

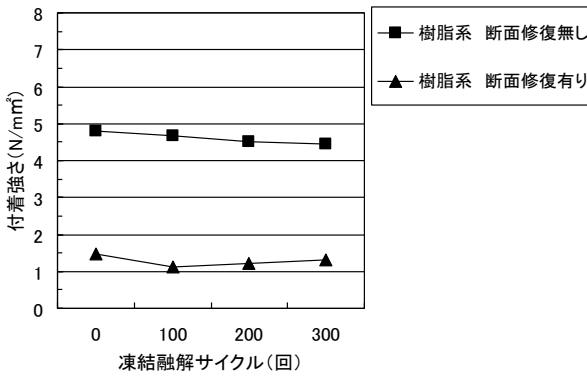


図-3.14 凍結融解回数と付着強さ(樹脂系)

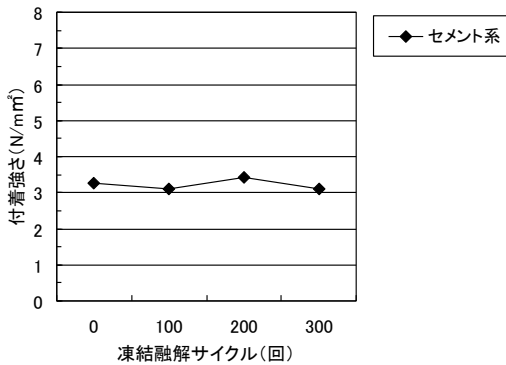


図-3.15 凍結融解回数と付着強さ(セメント系)

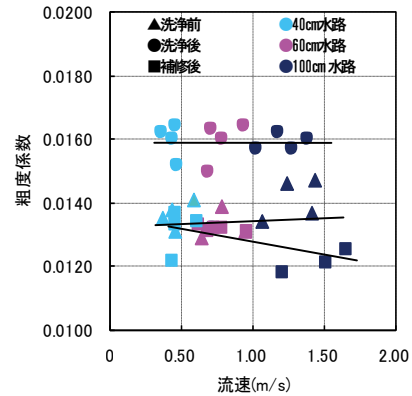


図-3.16 流速と粗度係数の関係



写真-3.3 劣化部除去後のウレタン樹脂直接塗布

1 種類 (厚さ 1.5mm) の塗布面 (7cm×7cm) を気中部で上向き、かつ各方位ごとに設置し、塗布面に生じるひずみの計測、塗布面の経過観察を行った。図-3.17は、真冬日における観測結果であるが、南向きに設置した供試体は日射の影響により表面温度が10℃程度まで上昇しており、補修面の発生ひずみも大きく変動していた。一方、北向きに設置した供試体については、最高温度が0℃を下回り、発生ひずみの変動は小さかった<sup>18)</sup>。

試験開始から約3年経過後までの観察の結果では、セメント系の厚塗りタイプの塗布面で一冬経過後に細かいひび割れが確認されたが、その後のひび割れの大きな進展はみられなかった。また、セメント系の薄塗りタイプ、樹脂系の塗布面では目立った変化はみられなかった。暴露試験で観測した補修供試体表面部の発生ひずみは、各方位面でひずみ量に差異がみられ、真冬日のような低温下においても引張と圧縮のひずみが生じていた。補修材の施工厚によってもひずみ量に違いがみられた。

また、温冷繰返し試験の1000サイクル時点の結果概要は、次のとおりである。なお、試験は、断面修復材〔セメント系1種類(厚さ10mm)〕、表面保護材〔セメント系2種類(厚さ10mmの高靱性セメント厚塗りタイプ、厚さ2mmの薄塗りタイプ)〕の塗布面(7cm×7cm)を、試験水槽内において、気中条件、水中条件、および、水位変動を与えた喫水条件で温冷の繰返しを与え、塗布面の経過観察や温冷繰返し後の付着力を検証した。なお、温冷の温度設定は、1サイクルの温度変化パターンを-20~+20℃とし、繰返し回数は1000回とした。

(2) 補修工法の評価

温冷繰返し試験の結果、気中条件では変状が少な

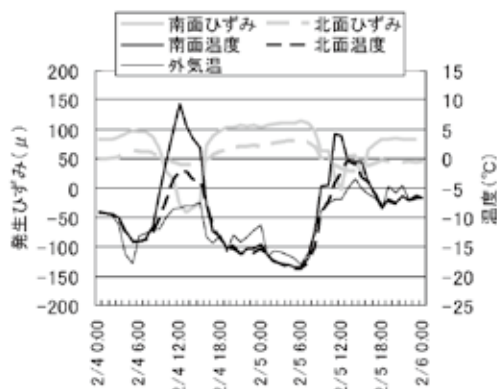


図-3.17 冬期の補修表面における発生ひずみ (樹脂系補修材の供試体)



写真-3.4 温冷繰返し1,000サイクル後の喫水部に配置した補修供試体の表面 (供試体のサイズ: 縦7cm×横7cm)

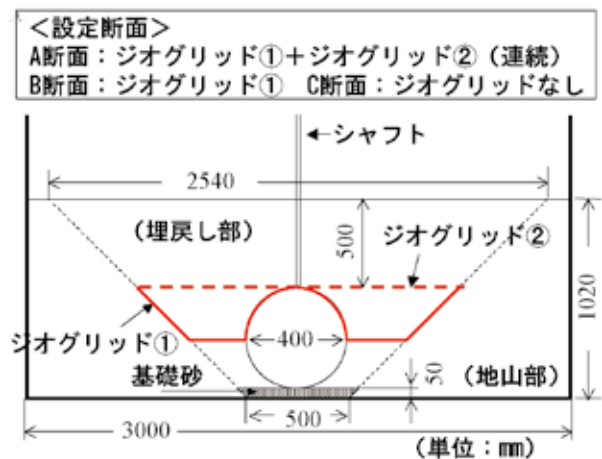


図-3.18 浮上抑止機構に関する模型断面

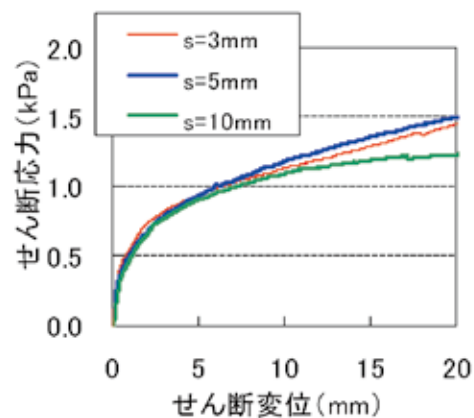


図-3.19 一面せん断試験結果例 (成層方向0°)

いものの、水中条件では断面修復材は不規則な紋様をもつ微細ひびわれが発生した。喫水条件では、断面修復材を施工厚10mmで塗布した供試体では最大スケーリング深さ0.4mm程度の変状が生じたが、表面保護材を施工厚2mmで塗布した供試体は健全な状態を保持していた(写真-3.4)。

上記の試験の結果から、気中および喫水条件については、断面修復材を施工した後に薄層の表面保護材を上塗り施工することで、寒冷条件下でも比較的長期にわたる耐久性があることが確認された。

### 3.3.4 特殊土地帯における管水路の経済的設計技術の開発

#### (1) 土槽実験による浮上抑止機構の検証

浮上対策の土槽実験は、図-3.18に示すような断面で行った。土槽の奥行きは1,000mmで、中央部に配置したVM管(長さ980mm)を2本のシャフトに固定して引き上げる仕様である。断面はA(管頂高さでジオグリッドを結合する標準的なタイプ)、B(管頂高さのジオグリッドがないタイプ)、C(ジオグリッドがないタイプ)の3種類を設定した。なお、当節では使用した土木シートのタイプにより、以降ではジオグリッドと呼称する。地盤試料には模擬土を使用し、所定の乾燥密度(0.70g/cm<sup>3</sup>)で仕上がり厚10cmを10層盛立てて土槽内地盤を作製した。試験は、地盤作製後に地表面高さまで注水し、最大浮上変位量150mmまで0.1mm/minで管を引き上げ、浮上変位量と管にかかる荷重を計測した。また、土槽正面から30分間隔で定点写真撮影を行い、画像解析を行った。さらに、地盤の強度特性を調べるために次の方法により、一面せん断試験(JGS 0560)を行った。せん断箱は15×15×高さ6.5cm、せん断速度0.1mm/min、最大せん断変位20mm、圧密応力は3種類(0.87、1.74、2.61kPa)と設定した。試料の成層方向は水平方向に対して0°、45°、60°、90°の4種類で、後者3つは凍結後に整形して作製した。いずれの試験も飽和排水条件である。

土槽実験での管上地盤の緩い拘束状況に符合させるためには、一面せん断試験においてせん断箱の拘束に影響されない程度までせん断箱の隙間(以下、sと表す)を大きくする必要があったと考えられたことから、sを変えた成層方向0°の一面せん断試験結果を示す(図-3.19)。せん断変位10mm程度まではsに依らず概ね同じ応力-変位関係が得られたので、この領域での近似曲線を以後の評価に用いた。成層方向

90°ではsに依らない応力-変位関係を得ることができなかったが、せん断応力とsの対数との間に直線関係が認められた(図-3.20)。

写真-3.5は、土槽実験によるC断面の管引き上げ終了時の状況である。写真中に示すような内側(赤実線)と外側(点線)、その中央部(一点鎖線)、の3種類のスベリ面を設定し、管にかかる荷重の評価を試みたのが図-3.21である。計算値は、画像解析から得た地盤内変位と一面せん断試験結果から算出したせん断抵抗力に、各スベリ面内部の土塊重量を加え

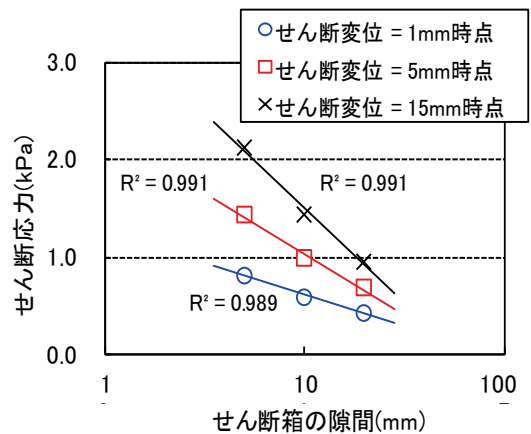


図-3.20 せん断箱の隙間の影響例(成層方向90°)

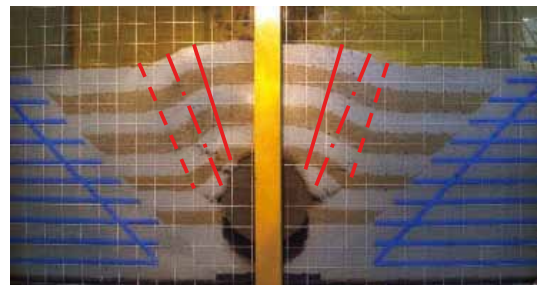


写真-3.5 浮上試験終了時の様子(C断面)

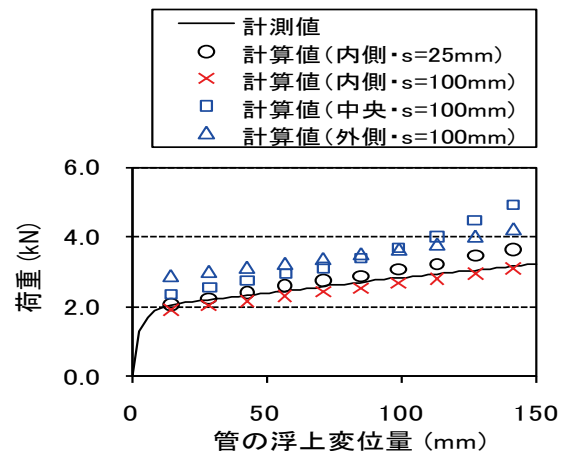


図-3.21 浮上変位量と引上げ荷重の関係(C断面)



たものである。各  $s$  におけるせん断応力は、**図-3.19** と **図-3.20** から得た近似曲線を用いて算出した。なお、中央と外側スベリ面を用いた場合の計算引上げ荷重は、管の浮上変位量が小さい段階から一貫して、計算値より大きく評価していることから、浮上抵抗力の評価には内側スベリ面を採用するのが妥当と考えられた。

**図-3.22** に、各断面での管にかかる補正計測荷重と浮上変位量との関係を示す。(補正計測荷重は内側スベリ面内部における水面高さより上部への地盤の隆起による有効上載荷重の増加分を計測荷重から差し引いた値である) なお、C断面において、補正計測荷重がほぼ一定に達した時点の変位量を管上方の地盤の力学的安定性を保持するための閾値 (**図-3.22** 中の  $d_b$ ) と見なすこととした。

**図-3.23** は A、B 両断面における補正計測荷重と C 断面における補正計測荷重の比を示したものである。管の浮上変位量によってその値は変化するが、 $d_b$  では A 断面は 1.20、B 断面は 1.10 となる。すなわち、ジオグリッドの有効上載荷重増加割合は、A 断面ではジオグリッドがない C 断面の荷重の 2 割程度、B 断面では 1 割程度を見込むことができる。

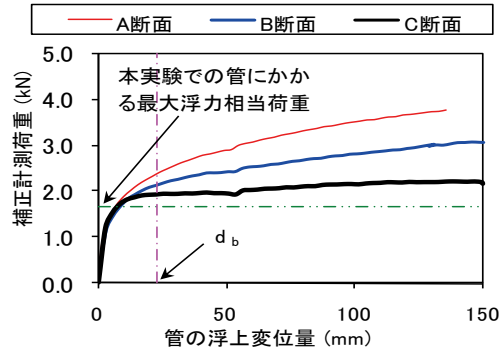
また、ジオグリッドを管底位置および管の基床下面位置に配置した場合について、沈下抑制性能の比較を行った。その結果、基床面下位にジオグリッドを配置した場合、沈下抑止効果(引張ひずみの発生状況から判断)が大きいことがわかった。これは、沈下の荷重が基床により分散され、ジオグリッドに効果的に摩擦力を生じたためと推察した。

(2) 土木シートの浮上抑制性能と設計

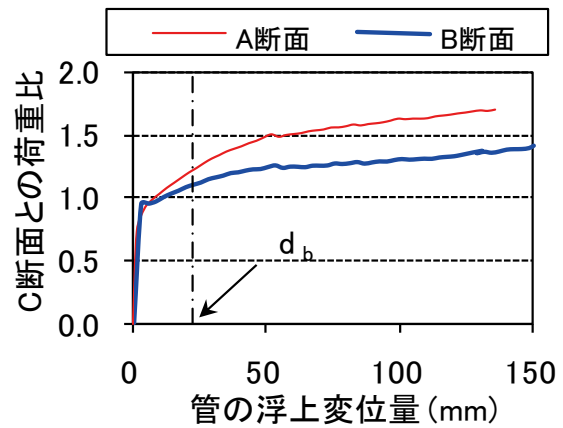
先の現場実験および室内実験により、浮上防止の設計法を次のように提案する。

土木シートを使った浮上防止の基本断面を**図-3.24** とし、仕様は次のとおりである。

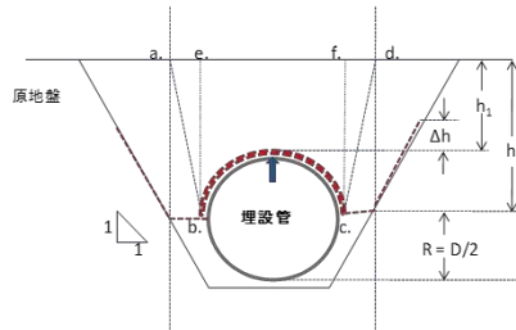
- ①土木シートはジオグリッドとする。
- ②土木シートの敷設形状は、管上部の土塊を包み込まない図のような一重の敷設を標準(推奨)とする。
- ③土木シートの最深標高  $b$  は、管周辺への土の埋戻し施工の難易を考慮して、埋設管の大円位置とする。
- ④掘削切土面に沿って土木シートを敷設するが、その長さは管頂標高に余裕高さ  $\Delta h$  を計上した値とする ( $\Delta h$  は後述)。
- ⑤断面は泥炭土を埋戻し、その後、埋戻し土が安定した時期を想定するもので、図の a. b. c. d. で囲む土塊(容量)が浮上抵抗土塊として作用する。すなわち、



**図-3.22** 荷重履歴



**図-3.23** C断面との補正計測荷重比履歴



**図-3.24** 土木シートの標準的な敷設配置

浮力からこの土塊重\*を減じた力がジオグリッドの浮上抵抗力とする。

(\*ここでの土塊重とは、地下水位上下で区分する湿潤土重量と水中での有効重量で計算される。)

余裕高さと言える  $\Delta h$  は、管頂部位置までの土の沈下量 ( $S_1$ ) と大円位置での土の沈下量 ( $S_2$ ) の相違を是正する ( $S_2 > S_1$ ) 考えを導入したものであり、次のように計算する。

⑥沈下量は攪乱した泥炭の変形係数で推量する。泥炭土の湿潤単位体積重量 ( $\gamma_t$ )、変形係数 ( $E$ )、管径の半分 ( $R$ ) から  $\Delta h$  の目安を得る。

表-3.1 泥炭の変形係数の例

変形係数Eの推定方法	変形係数E (kN/m <sup>2</sup> )	備考
乱した泥炭のせん断試験(圧密過程データ)	200 ~ 390	試料の含水比(w=230~550%)
不攪乱泥炭の一軸圧縮試験	60 ~ 300	水平、鉛直方向で採取(W=650~780)

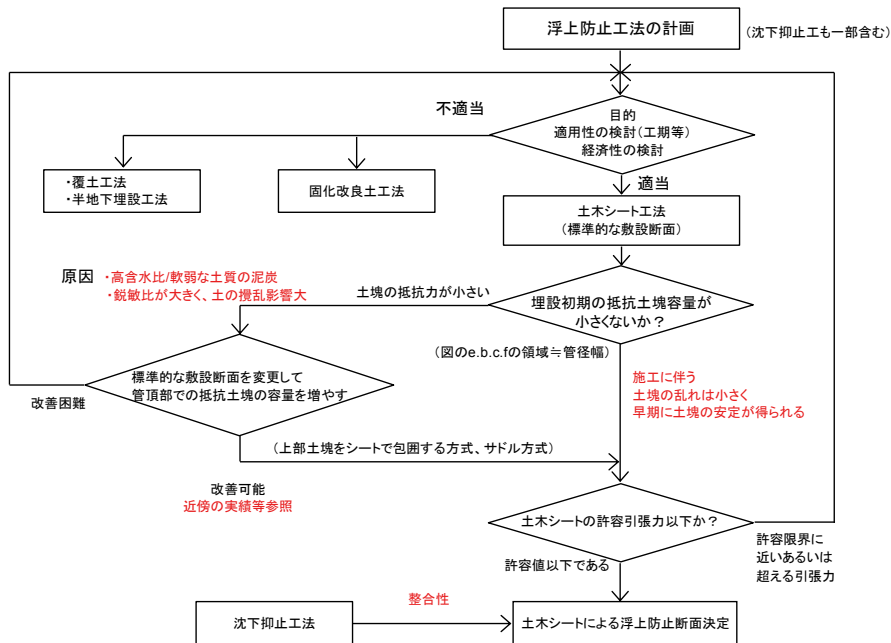


図-3.25 浮上防止断面の詳細検討と設計のフロー

すなわち、

$$E \cdot (\Delta h / R) = \gamma_t \cdot R \rightarrow \Delta h = \gamma_t \cdot R^2 / E$$

Δh と掘削斜面勾配から、余裕長を求める(実用的には10cm単位長で整理する)。表-3.1に泥炭土の変形係数を例示した。

例えば、Φ2,000mmの管埋設を想定するとR=1,000mm(1m)、泥炭の湿潤単位体積重量 $\gamma_t=1.2g/cm^3$ 、変形係数 $E=200kN/m^2$ の諸量を選んで計算すると、 $\Delta h=0.06m$ となる。これを斜面延長に直し( $\times\sqrt{2}$ )、整理すると、土木シートの余裕として、10cm程度を見込めばよいことになる。

なお、使用する土木シートの許容引張応力等は、製造メーカーの資料を参照にする。

以上は、管路建設後の埋戻し土が安定した時期での浮上防止機能の推定方法である。このため、埋戻し土層が安定するまでの過渡期においても埋設管の安定性を事前に検討する必要がある。具体的には、図-3.25のフロー図に作業手順を示した。

土木シートによる浮上防止の標準的な断面の設計法は当節の冒頭のとおりであるが、掘削や埋戻しにより乱された泥炭土は、掘削以前の成層した状態に

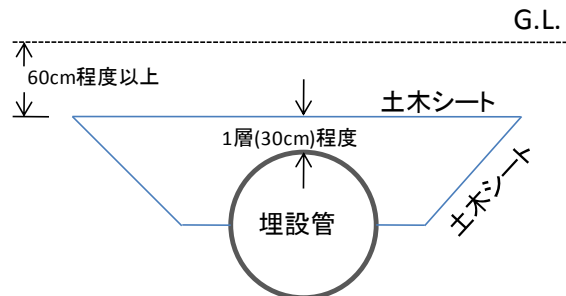


図-3.26 標準的断面と異なる浮上防止

\* 埋設深が深く、管頂埋戻し1層の土塊を土木シートで包囲

比べ、より軟弱な性質を呈する。これらの特徴は、含水比が相対的に高く、また、鋭敏比が高い泥炭ほど強く現れる。すなわち、施工後2~3年経過後は埋戻し土の圧密により強度回復や圧縮性の改善がみられるが、施工当初では、自然堆積状態と比較して土の性質が不安定化していることに留意することが肝要である。

図-3.24に示したように、施工直後の浮力作用期では抵抗土塊はおよそ管径幅の上部土塊として試算される。すなわち、浮力に対する抵抗力を土木シート



の引張抵抗が大きく分担することになり、素材の強度確認等が必要となる。管に作用する埋戻し断面の荷重分布を確保するために、図-3.26に示すような土木シートで包囲する方法やサドル方式(このとき支承や反力が確保される埋戻し工が必要)での検討が必要となる場合もある。この場合、実施現場近傍での工法選択の実績や土質が参考となる。

### 3.4 まとめ

本研究成果を取りまとめると、以下のとおりである。

「積雪寒冷地における農業水利施設の構造機能の評価診断方法の提案」に関しては、

(1) 水利施設では、雨水や融雪水の停滞箇所や移動経路など湿潤条件におかれやすい部位で凍害による劣化が生じていた。さらに、凍害発生部の積雪状況を観察した結果、凍害発生には部位ごとの積雪状況が関与する。温度解析から、頭首工の凍結融解の1年間あたりの作用頻度は南面側で最も多く1年に60～70回程度、天端面では積雪の少ない地域で約60回、多い地域で約30回であった。開水路では側壁が冬期間も露出している部位で年間30～40回の凍結融解が作用していた。表面温度観測結果は補修材の耐久性評価の試験条件設定や、機能診断における劣化予測や残存寿命の推定に方位の差を考慮するためのデータとして利用できる。

「老朽化コンクリート開水路の寒冷地型の補修・改修技術の開発」に関しては、

(2) 凍害を生じているコンクリート開水路側壁の内部温度・水分の観測の結果、側壁は部材内部まで凍結融解が及ぶ温度環境におかれていること、凍害の生じている部分では、側壁深さ方向全体で季節的な水分の変化が生じる傾向があることが確認された。これまでの成果および既往の技術・知見を用いて、コンクリート開水路および頭首工のコンクリート施設を対象とした「積雪寒冷地の農業水利施設の機能診断手法に関する技術資料(案)」<sup>20)</sup>に取りまとめた。今後、寒冷地のコンクリート開水路の内部の劣化状況を正確に把握する診断方法を確立することが重要な課題である。

(3) ウレタン樹脂、セメントモルタル、FRPMパネルの計3種類の素材による表面補修工法では、各材料とも施工後4年を経過した時点では目立ったものはなく、良好な状態を維持している。特に、コスト低減

のために劣化部除去面に断面修復を行わずにウレタン樹脂を塗布した工法で最も表面被覆材の付着性が良いことがわかった。なお、この工法では補修表面に凹凸が残るが、水理実験による粗度係数はコンクリート開水路として十分許容できる範囲であった。長期的な耐久性の検証に関しては、樹脂系材料とセメントモルタル系材料は、ともに温冷繰返し試験において良好な結果を得たほか、技術的な留意点も明らかにした。さらに、FRPMパネルでは緩衝材の断熱効果によって、補修された躯体コンクリートが受ける凍結融解作用が抑えられることがわかった。パネル系の緩衝材としては、凍結融解後も圧縮後の復元力が保たれることなどから、発泡ポリエチレンが最も適していると考えられる。成果と既往の技術・知見を「積雪寒冷地のコンクリート開水路の補修に関する技術資料(案)」<sup>21)</sup>として取りまとめた。

「老朽化した頭首工の寒冷地型の補修技術の開発」に関しては、

(4) 頭首工の表面補修工法の適用性評価のための暴露試験では、被覆材の塗布面が真冬日でも、南面では大きな温度変化による発生ひずみが顕著であった。頭首工の補修は気中部と水中部が対象となるため、試験水槽内において気中・水中条件下にて補修供試体に温冷繰返しを与え、それぞれの部位の特徴を把握した。水面の変動範囲に相当する喫水部では、補修材料によってはスケーリングが生じることがわかった。本研究項目で得られた成果と既往の技術・知見を用いて、「頭首工のコンクリート施設における寒冷地補修技術に関する資料(案)」<sup>22)</sup>を取りまとめた。

「特殊土地帯における管水路の経済的設計技術の開発」に関しては、

(5) 高圧縮性土中の浅埋設工法の埋設管浮上防止機構、および低強度に起因した不同沈下抑制機構の解明のために土槽実験等により、有効上載荷重増加割合や支持力効果について把握した。これらの成果から、「泥炭性軟弱地盤のパイプラインにおける土木シート利用検討の要点」<sup>22)</sup>として、取りまとめた。

## 4. 農業用水利施設の補修・改修計画技術に関する研究

### 4.1 研究目的

農業用水路を低コストで良好に維持管理するためには、送配水機能診断と構造機能診断の結果を総合的に検討し、必要に応じて適切な工法で補修・改修を実施しなければならない。本研究では、寒冷地農業用水施設を補修・改修する場合の時期の選択方法、異なる施設間での対策実施の優先順位の決定方法などを検討して、補修・改修計画技術の提案を行う。また、今後の施設改修計画の参考とするため、改修後の用水施設における水管理実態を調査する。

### 4.2 研究方法

(1) 補修・改修計画手法については、まず北海道内の水利施設に対する機能診断事例を分析し、技術者が機能診断および予防保全対策立案を進めるうえでの手法・知見の向上が求められている事柄を整理する。(2) 次に、国内外での農業水利施設の補修・改修の優先順位の決定方法の事例収集・分析および、北海道内で実施された改修事業のうち6地区を事例として補修・改修の優先順位決定方法を分析するとともに、水利施設の設計技術者を対象としたアンケートを行い、優先順位決定のフローを整理して、「農業水利施設の補修・改修の優先順位決定方法の技術ガイド(案)」<sup>24)</sup>を作成する。

(3) 一方、改修後の用水施設における水管理実態調査では、まず、空知総合振興局管内にある12箇所の土地改良区において、改修後の用水施設における水管理状況の聞き取り調査を行う。

(4) 次に、幹線用水路の送水管理にとって重要な水位調整ゲートの利活用状況や課題について検討し、水位調整ゲートにバイパスや余水吐を併設する場合に不可欠な情報である幹線用水路の流量変動の大きさの推定方法を示す。

### 4.3 研究成果

#### 4.3.1 優先順位決定方法の提案

国内外の補修・改修の優先順位決定方法の事例分析結果では、複数施設に対して緊急度や重要度と

いった各種因子を総合的に考慮できる汎用的な方法は未だ確立されていない。

そのため、北海道内における改修事業のうち6地区における補修・改修の優先順位決定方法の分析と、水利施設の設計技術者に対するアンケートをもとに、優先順位決定のための指標とフローの案を作成した。

#### (1) 優先順位決定のための因子の抽出

代表的な工種の更新事業が行われている北海道内の6地区の事業計画書を分析した結果、整備工程を決める上で考慮されている因子は表-4.1のような7種類であった。

#### (2) 各因子の重み設定

優先順位決定にあたり考慮する因子間の相対的な重要度を重みとして設定した。重みとは、重み付け設定者の価値規範を数値化するもので、その設定方法には表-4.2に示す2種類の手法がある。ここでは、このうち計画担当者のイメージに近いと考えられる直接評価法により重みを設定した。重みは設定する者の価値観によって異なるので、複数の者によって実施することが基本である。

また、重み付け設定者は、様々な見地から総合的に各評価因子の重要性を評価できる者である必要があり、農業農村整備に精通した有識者や当該施設を計画・整備・管理する担当者が相応しい。このことを踏まえ、農業農村整備に関わり、事業執行者および施設管理者は除く設計技術者26名(経験年数10年以上)を対象に各評価因子の重要度を点数化(重み付け)するアンケート調査を実施し、点数を重み

表-4.1 整備工程を決定する因子

地区	施設の健全度	水利システム	農業生産の効果	維持管理費	第三者被害	他事業等との調整	残耐用年数
A	○	○	○	○	○	○	○
B	○	×	○	×	×	○	×
C	○	×	○	○	×	○	×
D	○	×	×	○	○	×	×
E	○	×	×	○	○	×	×
F	○	×	×	○	○	×	×

○：考慮している、×：考慮していない(又は不明)

表-4.2 重みづけ設定方法

手法	手法の概要と特性
直接評価法	<ul style="list-style-type: none"> <li>全評価因子の重みを同時に直接的に決定する方法。</li> <li>一対比較法と比べて、各評価因子の重みの大きさにそれほど大きな差がつかない傾向がある。</li> </ul>
一対比較法	<ul style="list-style-type: none"> <li>2つの評価因子の相対的重要度を全ての評価因子ペアについて評価することによって全評価因子の重みを計算によって決定する方法。</li> <li>直接評価法と比べて各評価因子の重みの大きさが極端に出る場合もある。</li> </ul>

割合に換算し、各評価因子の重みとして設定した(表-4.3)。

(3)優先順位を総合的に考慮するための指標

表-4.1 に示す7個の因子のうち、「他事業等との調整」と「残耐用年数」は施工順序を調整する因子であり、地域事情により千差万別で、一定の数値的評価が困難である。そのため残りの5個の因子を基本要素とした。それぞれの因子の評価方法と重みを表-4.4 に示す。

評価点は、定量的な基準による評価については4段階とし、定性的な評価は3段階とした。

補修・改修を予定している施設毎に、この表によって評価値 = ΣPi・Wi を算定し、それらを比較することで優先順位を検討することができる。

(4)工程決定のためのフロー

実際の補修・改修の工程は、前節で述べた施設毎の評価値による優先順位に対して、図-4.1 のフローのように、表-4.5 に示す工程調整のその他の要因を考慮して決定される。

(5)適用性の検討

作成した指標の適用性をみるため、収集事例地区にあてはめて得られた指標による順位付けと事業計画を対比した。その結果は図-4.2 のとおりである。指標に基づく補修・改修の優先順位は事業計画で定められた優先順位とほぼ同じになることが確認できた。

結果を取りまとめて、「農業水利施設の補修・改修の優先順位決定方法の技術ガイド(案)」<sup>24)</sup> を作成した。

4.3.2 改修後の用水施設における水管理状況調査

(1)用水施設改修の効果と課題

聞き取り対象は表-4.6 に示す6地区、12土地改良区である。改修による管理労力や管理費用等の変化や、改修後の用水路や水管理システム等の操作状況の聞き取りから、用水施設の改修効果と課題が次のように明らかになった。

1)揚水機の減少と維持管理費の変化に関しては、ほとんどの土地改良区において、幹線用水路の路線変更や管水路化により、自然圧での送水が可能となる範囲が広がったことで、大小の揚水機場を廃止することができ、管理労力や管理費用が減少した。たとえばD土地改良区では、改修で揚水機の数が概ね1/3に減ったことにより電気代も約1/3になった。

2)管理労力・費用の節減に関しては、開水路の時代

表-4.3 各評価因子の重み

施設健全度	24%
水利システム	15%
農業生産の効果	20%
維持管理費	18%
第三者被害	23%

表-4.4 各因子の評価点と重み

因子	評価点(P)	重み(W)																				
施設の健全度	<p>■ 新築施設については全額(B)に占めるAランクとBランクの占める割合で配点する</p> <table border="1"> <tr> <td>100%以上</td> <td>3点</td> <td>2点</td> <td>2点</td> <td>2点</td> </tr> <tr> <td>75%~99%</td> <td>2点</td> <td>2点</td> <td>2点</td> <td>2点</td> </tr> <tr> <td>50%~74%</td> <td>1点</td> <td>1点</td> <td>2点</td> <td>2点</td> </tr> <tr> <td>25%以下</td> <td>0点</td> <td>1点</td> <td>1点</td> <td>2点</td> </tr> </table> <p>17%以下 17%~33% 33%~66% 66%以上</p>	100%以上	3点	2点	2点	2点	75%~99%	2点	2点	2点	2点	50%~74%	1点	1点	2点	2点	25%以下	0点	1点	1点	2点	24
	100%以上	3点	2点	2点	2点																	
75%~99%	2点	2点	2点	2点																		
50%~74%	1点	1点	2点	2点																		
25%以下	0点	1点	1点	2点																		
水利システム	<p>■ かんがい用水計画の見直し等の影響を考慮する場合</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>高い(3.0点)：当該施設を評価しないが他への影響がある</li> <li>中間(1.5点)：当該施設を評価しないが他への影響はあるが、管理の強化で回避可能</li> <li>低い(0.0点)：水利システム上、他への影響がない</li> </ul> <p>■ 湧水部への影響を考慮する場合</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>湧水部下20%以上~3点、湧水部下10~20%~2点</li> <li>湧水部下0~10%~1点、湧水部下なし~0点</li> </ul>	15																				
農業生産の効果	<p>■ 全体受益面積(B)に対する支配面積(A)の割合で配点する</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>A/B &gt; 33% ~ 3点、17% &lt; A/B ≤ 33% ~ 2点</li> <li>8% &lt; A/B ≤ 17% ~ 1点、A/B ≤ 8% ~ 0点</li> </ul> <p>■ 具体的に灌漑毎で効果が整理されている場合、面積をコストに置き換えて投資効果から定性的に評価する</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>高い(3.0点)：投資効果が非常に高い</li> <li>中間(1.5点)：投資効果が高い</li> <li>低い(0.0点)：他と比べて同程度である</li> </ul>	20																				
維持管理費	<p>■ 全体維持管理費(D)に対する当該施設の維持管理費(A)の割合で配点する</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>A/D &gt; 33% ~ 3点、17% &lt; A/D ≤ 33% ~ 2点</li> <li>8% &lt; A/D ≤ 17% ~ 1点、A/D ≤ 8% ~ 0点</li> </ul> <p>■ 上記により難い場合、定性的な判断で配点する</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>高い(3.0点)：当該施設の維持管理の負担が大きい</li> <li>中間(1.5点)：やや負担を感じている</li> <li>低い(0.0点)：特に負担が大きいと言っているが、他と同程度である</li> </ul>	18																				
第三者被害	<p>■ 路線別評価については経路(B)に占める影響区画(A)の割合で配点する</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>A/B &gt; 33% ~ 3点、17% &lt; A/B ≤ 33% ~ 2点</li> <li>8% &lt; A/B ≤ 17% ~ 1点、A/B ≤ 8% ~ 0点</li> </ul> <p>■ 点源施設及び上記に因りかたい場合はリスクの復元(発生確率と影響度)から配点する</p> <table border="1"> <tr> <td>大</td> <td>3点</td> <td>1点</td> <td>2点</td> <td>3点</td> </tr> <tr> <td>中</td> <td>0点</td> <td>1点</td> <td>1点</td> <td>2点</td> </tr> <tr> <td>小</td> <td>0点</td> <td>0点</td> <td>0点</td> <td>1点</td> </tr> </table> <p>発生確率 大 中 小</p>	大	3点	1点	2点	3点	中	0点	1点	1点	2点	小	0点	0点	0点	1点	23					
大	3点	1点	2点	3点																		
中	0点	1点	1点	2点																		
小	0点	0点	0点	1点																		

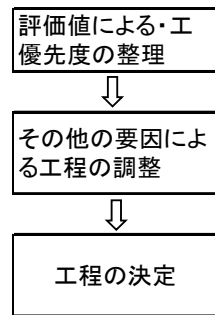


図-4.1 工程決定のフロー

には末端でも分水量の調整が必要であったが、末端のパイプライン化により管理人数は半分以下になり労力・費用削減になった土地改良区が多い。

3) 用水供給の安定に関しては、用水供給が安定したことの利点を述べる意見が多く、次のような意見があった。

- ・安定した水源のなかった地域や、従来は取水条件が上流側に比べて劣っていた幹線用水路の下流側の水田では用水供給が安定した。

- ・幹線用水路の通水時の用水到達時間は、改修前に比べて格段に短縮された。春先の通水で頭首工から幹線末端まで用水が到達するのに要する時間は、以前は半日ぐらいであったのが、今では2時間程度である。

- ・幹線用水路がオープンタイプのパイプラインになったため、幹線の起点の流入量を調整するだけで、各支線用水路への分水量も調整される。開水路であった頃は各支線用水路の起点でも分水量調整が必要であったことと比べると、節水が行いやすくなった。このことにより、平成19年の渇水に対応できた。もし国営用水路が無ければ壊滅的打撃を受けたと思う。

4) パイプライン化の効果に関しては、次のような高く評価する意見が多かったが、漏水等に関する課題についての意見もあった。

- ・開水路は末端まで水の調整をしなければならないが、パイプラインは分水の起点を調整するだけで良い。

- ・バルブ操作によって調整できるので無駄な水が生じなくなった。用水供給のロスが抑制でき、下流側の圃場への用水供給が安定した。

- ・埋設パイプライン化することで管理用道路から圃場への進入が可能となった。圃場用水路のほとんどは水田の短辺方向に配置するので農作業上も作業機械が用水路上で旋回できるので効率が良い。

- ・農家が草刈りをする時も平面なので刈りやすくなった。管理する改良区も使用する農家も、水頭の確保などの条件が許せば全てをパイプライン化したいと望んでいる。

- ・水管理はパイプラインの方が良いが、水が見えないので不安もある。

- ・漏水が起きると原因の究明が難しく、復旧費も高い。

- ・幹線用水路の改修後に既設の支線パイプラインにおいて、経年変化の生じていた一部の継手では漏水

が生じることがあった。

今後はパイプライン延長の増加や老朽化が進むと考えられるため、漏水箇所の簡便な調査技術の検討が課題である。

5) 取水時期の地域間差と分水工の構造の特徴は、次のとおりである。

町村単位程度の地域ごとに毎年の代かきの時期が2、3日ずれることがある。同一の大規模な幹線用水路から代かき時期の異なる2つの地域に送水する地

表-4.5 工程調整のその他の要因

工程調整の因子		因子の内容
協議調整		・工の前段で河川協議や道路協議、その他、関係機関との調整に一定期間を要する施設においては、これに要する期間を考慮する。
残耐用年数		機械設備（ゲート設備、電気設備、水管理制御設備）等では部品の耐用年数が短いものがあり、施工後の残耐用年数が課題となる施設においてはこの影響を考慮する。
工種の潜在的リスク		工種が持つ潜在的リスク（開水路は暫定復旧し易いが圧力管路は開水路に比べて復旧が難しい等）を考慮する。
事業費		事業費の平準化が必要な場合、施工時期の調整を行う。
その他	用地確保	事業計画に、特に考慮する必要がある場合には、これに要する期間を考慮する。
	文化・歴史	北海道の開拓史において、後世に残すべき文化遺産などを評価する。
	景観・観光	景観上重要な施設や多目的に兼用されている施設を評価する。
	食料自給率対策	食料の中核を担う重要地点を評価する。

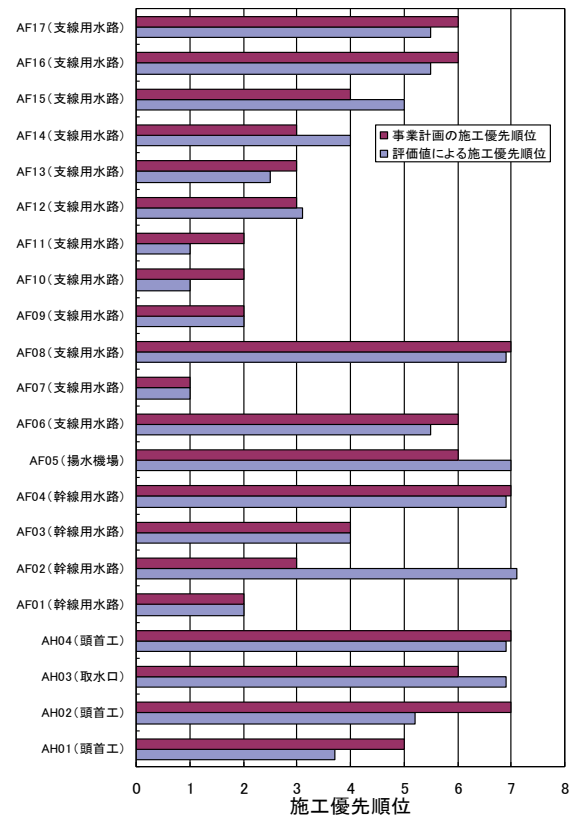


図-4.2 評価値優先順位と事業計画優先順位 (A地区の事例)

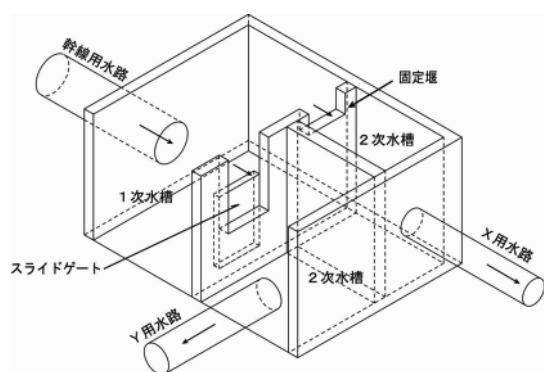


図-4.3 スライドゲートを用いた分水工の例  
(余水吐の図は省略)

区では、単純な定比分水工を採用すると、分水量調整ができないため、代かき作業の早い地域だけに送水することができない。そのため、オープンタイプパイプラインの分水工で、スライドゲートを採用した例がある(図-4.3)。スライドゲートは、固定堰の越流部の高さよりも下げることができる。この形式であれば、X、Y両用水路への分水量を制御でき、当然ながら一方だけの地域にも送水できる。

このように同一の水利システムで広域に配水する場合は、各地域の条件や気象条件によって用水量に差が出る場合もあるので、分水工は各地域の水使用状況に合わせて柔軟に分水量を調整できる施設が求められる。

#### (2) 水管理システムの利便性と課題

1) 監視項目とその利用に関しては、水管理システムにテレコントロールを行っている事例は少なく、テレメータを主とするものが多い。監視項目は、幹線開水路の水位やオープンタイプパイプラインの分水スタンド一次水槽水位、分水スライドゲート越流部の高さ(図-4.3参照)などが多い。幹線開水路の水位は流量に換算される。また、分水スタンド一次水槽水位と分水スライドゲート越流部の高さからは、分水量や下流側への送水量が算出され、それらのデータが土地改良区に送られている。

2) データの利用に関しては、電話回線を使用し、現地データがパソコンや携帯電話でリアルタイムに把握できるものが多かった。農家の水利用の傾向を知るといった目的のほかに、降雨時の流入水による開水路からの溢水防止のために利用している土地改良区も多かった。後者の場合、水位上昇を携帯電話で知ることができるため、安全管理に要する労力が節減されている。特に近年は、水位上昇に気づきにくい局所的な降雨が生じることがあり、水管理システム

が役立っているとのことである。

3) 監視項目や設置地点の充足度に関しては、基幹施設におけるテレメータの監視項目や地点について、供用開始後に過不足を感じている事例は少なかった。4) システム導入直後の課題としては、テレメータシステムのプログラムの修正や計器の使い方への習熟に数年を要した事例があった。

- ・システム設計のときに各計測項目とその計算処理について、十分に確認し、例えば、堰の越流公式などは、従来から使っていた公式が継続して使用されるよう注意した。それでも、若干のプログラム修正は必要となるものであり、システム設計の時には、十分に時間をかけて確認をした上で、さらに再確認をした方がよい。

- ・圧力式水位計のセンサーの清掃が不足して、実際の水深と表示値が異なる場合があった。原因に気付いてからは、毎年1回はセンサー部の清掃を確実にやっている。

- ・揚水機上流の吸水槽や河川の水位監視では、予期できないゴミの付着によりスクリーンの前後で水位差が生じることがある。水位の計測値に異常を感じたら、現場での現象の観察による確認により水管理システムの特徴を把握することが重要である。

- ・水管理システムを使用していない冬期間は電気を止めて経費の節約をしたかったが、屋外のテレメータ機器保護のためのヒーターを入れなければならないので止められなかった。そのため、機器更新時に取り外して屋内に保管できる小型の設備に替えた例もあり、管理方法の具体的な想定と確認が重要である。

5) システム機器更新の課題に関しては、現在の水管理システムに第2世代の携帯電話を用いているものが多く、それらの中には平成24年までに電話の世代更新への対応に多額の費用を要するものがある。費用の額は、テレメータのシステムによって様々であるが、1箇所当たり50~250万円を要するとのことであった。何らかの補助がなければ対応が困難と考えている土地改良区もある。

また、当初のテレメータが製造終了したため、今後壊れた場合、全体を新型にしなければならないため、当初設置時と同じぐらいの費用がかかるとのことだった。

6) セキュリティの課題に関しては、webを利用した監視システムで、現場でデータの収録を目的として遠隔地に設置されていたコンピュータがウィルス



表-4.6 調査対象の土地改良区の概要

国営事業地区	土地改良区	主な水路形式	水管管理の概要
No.1	A	幹線用水路がオープンタイプパイプラインで、支線用水路が開水路である。	A土地改良区では、Aダムがかりの水利系統全体（A、B、C）の情報を見ながら、B、C土地改良区への送水を管理している。他の2土地改良区は、それぞれの区域内の情報だけを把握している。
	B	幹線用水路は2条ある。そのうち1条は幹線・支線とも開水路である。もう1条は幹線がオープンタイプパイプラインで、支線はクローズドタイプパイプラインである。	頭首工・揚水機場・用水路を2人体制で土地改良区が管理している。末端分水の箇所については管理組合（農家）が水管理を行っている。
	C	A土地改良区からの導水幹線用水路と一部の支線用水路以外は、すべて開水路である。	1カ所のダムの管理を含めて、3名の管理人に送配水管理を委託している。
	D	幹線用水路には、開水路とオープンタイプパイプラインがある。支線用水路は開水路が多く、オープンタイプパイプラインもある。支線がパイプラインの場合でも末端までパイプラインが連続する場所はなく、途中から開水路になっている。	発電用のDダムの取水ゲートから末端約10haまでの幹線・支線全てを土地改良区で管理している。管理は委託した管理人が行っている。
No.2	E	幹線用水路は開水路である。管理区域に約120kmある支線用水路は、開水路と管水路が概ね半分ずつの延長で存在する。支線の管水路はオープンタイプとクローズドタイプがあり、圃場への末端用水路はクローズドタイプである。	頭首工は基幹水利事業により委託で1人で、用水路の巡回員は3人で、それぞれ管理している。
	F	幹線用水路は全て開水路である。支線は開水路と管水路の両方がある。	幹線用水路は土地改良区で管理している。支線用水路は40ある支線組合や地先農家で管理している。
	G	幹線用水路は、主として開水路である。支線用水路も主として開水路であるが、水頭が確保できるところは、近年、管水路化している。	土地改良区の管理は概ね支配面積が100ha以上の地点までであり、幹線は土地改良区管理である。支線は7つある支線組合が管理している。
No.3	H	幹線用水路はすべてクローズドタイプパイプラインであり、支線用水路は改修した路線はクローズドタイプパイプラインで、改修しなかった路線は開水路である。	土地改良区の管轄する範囲は、末端10haまでであり、それ以下は、31ある支線組合が行っている。
	I	すべてクローズドタイプパイプラインである。	H土地改良区の末端に位置しており、3つの支線組合が管理している。
No.4	J	幹線用水路は主に開水路、一部オープンタイプパイプラインである。支線用水路も大部分は開水路であるが、一部の支線はクローズドタイプパイプラインである。	幹線用水路は土地改良区で管理している。支線用水路は64の支線組合で管理している。
No.5	K	幹線用水路はすべて開水路であり、支線用水路も大部分は開水路で一部にクローズドタイプパイプラインがある。	幹線用水路は土地改良区で管理している。支線用水路は41の支線組合で管理している。
No.6	L	幹線用水路は、オープンタイプパイプラインに改修済みである。支線用水路は開水路とクローズドタイプパイプラインがあるが、すべてパイプラインに改修する予定である。	幹線用水路は土地改良区で管理している。それ以降の末端用水路は管理組合で管理している。

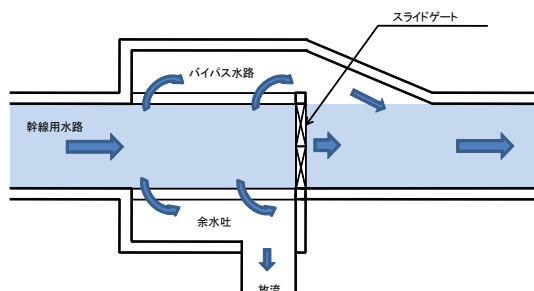


図-4.4 水位調整施設の型式例

に感染した事例があった。土地改良区では用途の限定されているこのコンピュータへの外部からのアクセスはほとんどないものと想定していたので、ウィルス対策がなされていなかった。外部からのアクセス経路が多様化してきているため、水管理システムの運用ではウィルス対策に十分注意が必要である。

#### 4.3.3 水位調整施設の課題と対策

##### (1) 水位調整施設の実態調査と課題

水位調整施設は、灌漑期間を通して各支線用水路へ分水するために、幹線用水路で必要となる水位を確保することを主たる目的としている。さらに、用水施設の改修による幹線用水路の粗度係数の減少による水位低下への対応や、パイプライン化された支線用水路へ分水量の変動に起因して、不安定となる幹線用水路水位の安定化の目的として設けられる。

表-4.6 に示す土地改良区のうち、B と E、F、G の 4

土地改良区を対象とした。聞き取り内容は、用水施設全体の水路形式の概要のほか、水位調整施設の形式や維持管理方法、維持管理上の課題である。

1) 水位調整施設の形式と操作に関して22箇所の実態調査を実施した。構造はほとんどがスライドゲートで、角落としや転倒ゲート、無動力の自動ゲートも少数あった。これらの施設には、図-4.4 に示すようなバイパス水路や余水吐の有無といった条件が異なる多様なものを含んでいる。水位調整を行う期間は、すべての施設で通水期間である。ゲート操作の頻度は様々であり、代かき期前に1度だけ調整するものがある一方で、毎日操作を行っている施設もある。操作方法はすべて土地改良区職員等による機側操作盤での手動操作である。また、水管理システムによる遠方監視カメラが設置されているところがあった。写真-4.1 は調査対象にした一施設でバイパス水路および余水吐が設置されている。



写真-4.1 水位調整施設の事例

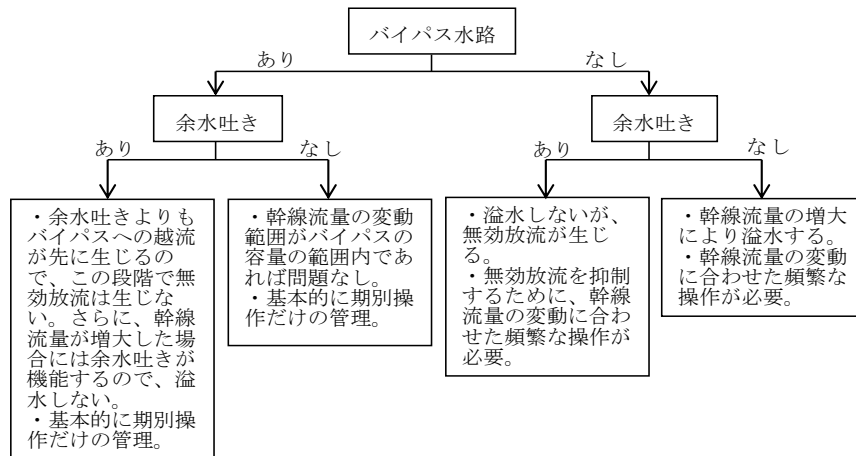


図-4.5 水位調整施設と管理労力

2) バイパス水路や余水吐の有無と維持管理に関しては、水位調整施設におけるバイパス水路や余水吐の有無と管理労力についてまとめたものを図-4.5に示す。

水位調整施設の設置位置における幹線用水路の流量は、上流側にある支線用水路や直接分水工での分水量の変化などに起因して変動する。これに伴い水位調整施設の直上流における水位も変化する。幹線用水路の流量変動が大きい地域では、水位調整施設の上流部で溢水を生じない安全な管理のためにバイパス水路や余水吐が必要となる。なお、バイパス水路や余水吐がない場合であっても、幹線用水路の流量変動が小さい場合には管理上の問題は生じない。

3) 水位調整施設の維持管理に大きな影響を与える因子は、その地点での幹線用水路の流量変動の程度である。よって、水位調整施設の計画では流量変動の想定が重要である。幹線用水路流量の変動因子は、図-4.6のように考えられる。対象としている幹線用水路において、これらの因子ごとに流量の変動の大きさや変動が生じる頻度や変動の発生時期の予測の可否などを整理し、バイパス水路や余水吐などの越

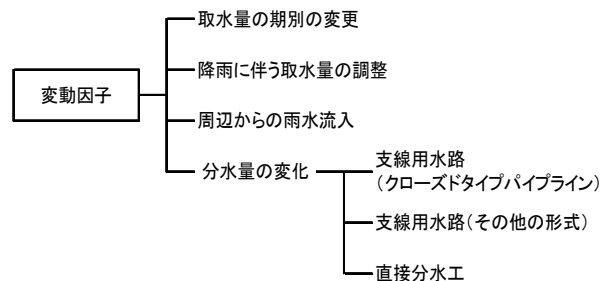


図-4.6 幹線用水路の流量の変動因子

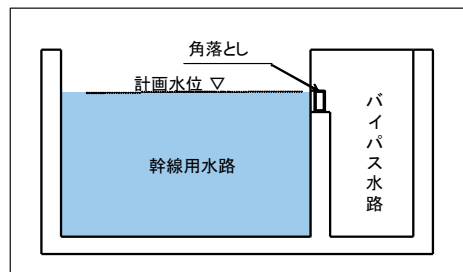


図-4.7 バイパスの越流部の模式

流部の高さや延長を含む水位調整施設の設計を考える上での入力条件とする必要がある。

また、土地改良区での聞き取りでは、図-4.7のよ

うに、バイパス水路の越流部に角落とし等を設置し、越流高さを調節できるような構造にしておくことが、維持管理にとって有効だろうという意見があった。その理由としては、想定困難な要因で流量変動が大きくなることもあり、その場合にはバイパス水路の越流部の容量不足が生じることから計画時に越流部の容量に余裕をみておくことが有利であるとのことであった。このような構造とすることで水管理は容易になると考えられるが、適切な余裕の決定方法の検討が必要である。

## (2) 水位調整地点での流量変動の考察

### 1) 流量観測

流量調査は、空知総合振興局管内の平野部に位置し約 4,600ha の灌漑面積を有する N 用水地区で行った。N 用水地区の幹線用水路における流量・水位の調査地点は図-4.8 に示すとおりである。この地点より上流側で分水する水田面積は 2,506ha である。このうち、水田圃場の給水栓操作が幹線用水路の流量に直接影響を与えるようなクロズドタイプパイプライン形式の支線用水路や直接分水の受益面積は 227ha である。流量・水位調査地点におけるコンクリートフリーム水路の幅は 6.30m、深さは 2.15m であり普通期の水深は 1.83m である。

幹線用水路の流量はプロペラ式流速計を用い 2 割水深と 8 割水深での流速を測定して算出した。流量観測は平成 22 年 7 月 13～14 日、22～23 日、8 月 4～5 日、26～27 日の合計 4 期間で行った。これらの期間は用水計画上の普通期である。普通期は、冷害対策のための深水管理が行われる、圃場への取水量の日内変動が最も大きくなる時期である。それぞれの期間では、おおむね 12 時、18 時、0 時、6 時の 4 回の観測を行った。また、流量観測地点において、7 月 13 日～8 月 31 日に自記水位計による水位観測を行った。近傍気象官署の降水量および気温データも併せて整理した。

流量調査地点での水位の日内変動でもっとも多くみられたものは、日中（7 時～19 時）に高く、夜間（19 時～翌朝 7 時）に低いというパターンであった。典型的な水位変化を示す 7 月 14 日、15 日、21 日、26 日、27 日について、水位および流量を図-4.9 に示す。なお、これらの日については、図-4.10 の気象データでわかるように、流量変動に対する降雨や低温の関連が見られないことから影響が無視できると考えられる。

これらの 5 日のそれぞれで、日最大流量と日最小

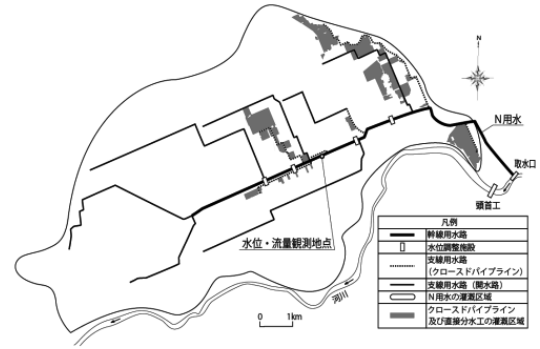


図-4.8 N用水地区の概要図

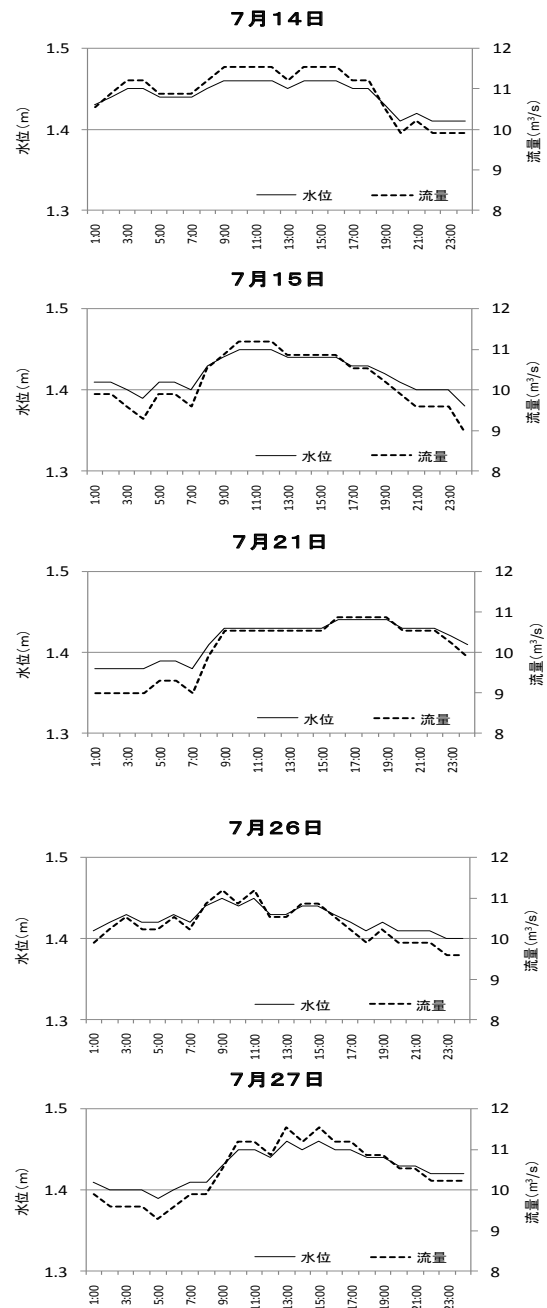


図-4.9 調査地点における水位と流量



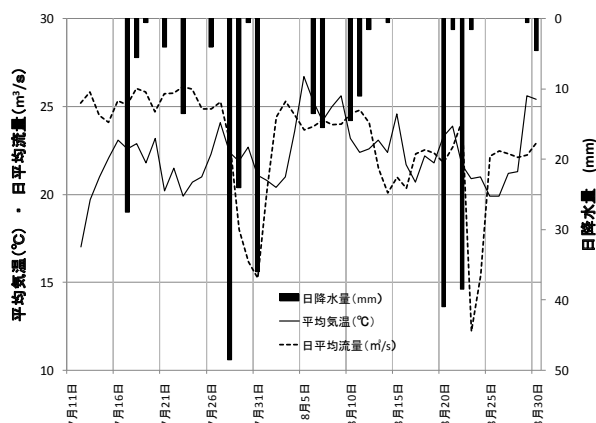


図-4.10 観測地点の気象  
(7月13日～8月31日)

流量の差を算出すると、 $1.6\text{m}^3/\text{s}$ 、 $2.2\text{m}^3/\text{s}$ 、 $1.9\text{m}^3/\text{s}$ 、 $1.6\text{m}^3/\text{s}$ 、 $2.2\text{m}^3/\text{s}$ であったが、圃場への取水量の日内変動が大きい普通期にあたる。それゆえ、調査地点における流量の日変動は最大で  $2.2\text{m}^3/\text{s}$  程度であると考えられる。

#### 2) 流量変動の要因と日内変動量の推定方法

調査地点での流量変化の特徴から、この地点より上流側に、分水量が、夜間に多く、昼間は少ない支線用水路があり、それは、直接分土工やクローズドタイプパイプライン形式の支線用水路が考えられる。この受益面積は  $227\text{ha}$  であり、これに作付  $75\%$  を考慮すると、水田灌漑面積は  $170\text{ha}$  である。図-4.9 のような典型的な水位変化においては、幹線流量の大きい時間帯は7時から19時までであることから、この  $170\text{ha}$  の水田圃場での取水時間を12時間と仮定すると、これらへの夜間の分水量は、事業計画書にある、支線用水路  $1\text{ha}$  当たりの普通期流量である  $0.0044\text{m}^3/\text{s}$  を用いて約  $1.5\text{m}^3/\text{s}$  と概算できる。この概算値は実際の幹線用水路における流量の日内変動の最大値  $2.2\text{m}^3/\text{s}$  を下回る。水田への取水時間を8時間と仮定すると、流量変動の概算値は約  $2.3\text{m}^3/\text{s}$  となる。

水位調整施設のバイパスや余水吐の設計においては、降雨時の流量変動のほかに無降雨時に生じる幹線用水路流量の日内変動を概算して考慮する必要がある。その場合、幹線用水路流量の日内変動の大きさはその地点より上流にある直接分土工やクローズドタイプパイプライン形式の支線用水路における取水が1日のうちの約8時間に集中するという想定が、流量変動に近い値となる。

#### 4.4 まとめ

本研究の成果は次のとおりである。

「順位決定方法の提案」に関しては、

(1) 事例収集・分析を行い、複数施設の間での補修・改修の優先順位の決定手法を分析した。北海道内の6地区の改修事業における補修・改修の優先順位決定方法の分析などから、優先順位決定のための指標とフローの案を作成した。これらの結果を「農業水利施設の補修・改修の優先順位決定方法の技術ガイド(案)」<sup>24)</sup>に取りまとめた。

「改修後の水田用水施設における水管理状況調査」に関しては、

(2) 土地改良区への聞き取りを中心として進めてきた。施設改修により用水供給が安定するとともに維持管理労力・費用の軽減や渇水時の対応の容易化などの効果が得られていること、改修後の水管理システムへの移行は概ね円滑に行われていること、などがわかった。今後の幹線用水路の送水管理にとって重要な水位調整ゲートの利活用状況に関する聞き取りでは、支線分水量の日々の変動に起因して幹線流量が増大した場合にも、ゲート上流側での溢水を防止できるようなバイパスや余水吐の併設の必要性が明らかになった。さらに、実際の幹線用水路において流量調査を行い、寒冷地の水田用水管理で生じる幹線用水路流量の変動に配慮したバイパス水路等の設計を考える上での入力条件の決定方法を示した。

## 5. 結論

積雪寒冷地における農業水利施設の送配水機能の改善と構造機能の保全に関する研究について、以下の研究成果が得られた。

「寒冷地水田灌漑および大規模畑地灌漑に適した送配水機能の診断・改善技術の開発」に関しては、

(1) 北海道内における近い将来の水田用水需給に影響を与える因子のうち重要なものは作付け率の変動であり、その変動要因と変動幅を想定し、送配水性能の検討が肝要である。また、変動を緩衝し、性能を付加する幹線水路の水位調整ゲートなどの要否を検討することが有用である。

(2) 支線水路のパイプライン化が進みつつある幹線水路の水管理機能の評価項目として、幹線水路の水位・流量変動に起因する支線開水路への分水量日内変動の許容変動範囲を、シミュレーションによって事例的に明らかにした。また、この許容範囲を反映させて、送配水機能の診断フロー(試案)を提案した。提案した診断フローに則って送配水機能の確認を行うことが必要である。

(3) 近い将来の気候変動については、気象シミュレーションによって降水量の増加が予測されており、用水供給量が大きく不足する懸念は小さいと考えられる。しかし、融雪時期の早期化を生じるため、貯留開始時期の見直しや、流域内での用水利用調整が必要となる場合があると考えられる。

(4) パイプラインシステムにおける漏水発生は維持管理費を大きく変動させる因子になっていた。漏水・破損の調査・管理の実態を把握し、予防保全技術を取りまとめた。

「農業水利施設の構造機能の安定性と耐久性向上技術の開発」に関しては、

(5) 水利施設では、雨水や融雪水の停滞箇所や移動経路など湿潤条件におかれやすい部位で凍害による劣化が生じていた。温度解析から、頭首工や開水路の凍結融解の1年間あたりの作用頻度を明らかにした。表面温度観測の結果は補修材の耐久性評価試験の条件設定に用いることができ、凍結融解回数の試算結果は機能診断における劣化予測や残存寿命の推定に方位面の差を考慮するためのデータに用いることができる。

(6) 凍害を生じているコンクリート開水路側壁の内

部温度・水分の観測の結果、側壁は部材内部まで凍結融解が及ぶ温度環境におかれていること、凍害の生じている部分では、側壁深さ方向全体で季節的な水分の変化が生じる傾向があることが確認された。

これまでの成果および既往の技術・知見を用いて、コンクリート開水路および頭首工のコンクリート施設を対象とした「積雪寒冷地の農業水利施設の機能診断手法に関する技術資料(案)」等<sup>20) 21) 22)</sup>を取りまとめた。

(7) ウレタン樹脂、セメントモルタル、FRPM パネルの計3種類の素材を対象とする表面補修工法では、初期段階の変状については、各材料とも施工後4年を経過した時点では目立ったものはなく、良好な状態を維持している。とくにコストの低減をねらいとして劣化部除去面に断面修復を行わずにウレタン樹脂を塗布した工法で最も表面被覆材の付着性が良いこと、また、粗度係数はコンクリート開水路として十分許容できる範囲であった。長期的な耐久性の検証に関しては、ウレタン樹脂系材料とセメントモルタル系材料は、ともに良好な結果を得たほか、技術的な留意点も明らかにした。パネル系の緩衝材としては、供用後の含水比が低く凍結融解作用を受けづらいつと考えられることや、目視調査による変状がないこと、凍結融解後も圧縮後の復元力が保たれることから、発泡ポリエチレンが最も適していると考えられた。成果と既往の技術・知見を「積雪寒冷地のコンクリート開水路の補修に関する技術資料(案)」<sup>21)</sup>として取りまとめた。

(8) 頭首工の表面補修工法の適用性評価のための暴露試験では、被覆材の塗布面が真冬日でも、南面では大きな温度変化による発生ひずみが顕著であった。頭首工の補修は気中部と水中部が対象となるため、試験水槽内において気中・水中条件下にて補修供試体に温冷繰返しを与え、それぞれの部位の特徴を把握した。水面の変動範囲に相当する喫水部では、補修材料によってはスケーリングが生じることがわかった。本研究項目で得られた成果と既往の技術・知見を用いて、「頭首工のコンクリート施設における寒冷地補修技術に関する資料(案)」<sup>22)</sup>を取りまとめた。

(9) 特殊土壌地帯における管水路の経済的設計技術に関しては、高圧縮性土中の浅埋設工法の埋設管浮上防止機構、および不同沈下抑制機構の解明のために土槽実験等により、有効上載荷重増加割合や支持力効果について把握した。これらの成果から「泥炭

性軟弱地盤のパイプラインにおける土木シート利用検討の要点(案)」<sup>23)</sup>として取りまとめた。

「農業水利施設の補修・改修計画に関する研究」に関しては、

(10) 事例収集・分析を行い複数施設の間での補修・改修の優先順位の決定手法を分析した。北海道内の6地区の改修事業における補修・改修の優先順位決定方法の分析などから、優先順位決定のための指標とフローの案を作成した。これらの結果を「農業水利施設の補修・改修の優先順位決定方法の技術ガイド(案)」<sup>24)</sup>に取りまとめた。

(11) 施設改修により用水供給が安定するとともに維持管理労力・費用の軽減や渇水時の対応の容易化などの効果が得られていること、改修後の新たな水管理システムへの移行は概ね円滑に行われていること、などがわかった。システムに付加すべきものとして水位調整施設があげられ、支線分水量の日々の変動に起因して幹線流量が増大した場合にも、ゲート上流側での溢水を防止できるようなバイパスや余水吐の併設の必要性が明らかになった。さらに、実際の幹線用水路において流量調査を行い、寒冷地の水田用水管理で生じる幹線用水路流量の変動に配慮したバイパス水路等の設けを考えた上での入力条件の決定方法を示した。

## 参考文献

- 1) 農林水産省構造改善局：土地改良事業計画設計基準 計画農業用水(水田)、pp. 47-48、1993
- 2) 北海道開発局：平成 18 年度 用排水・ほ場整備基礎諸元調査用水(水田)『豊正地区』調査報告書、2007
- 3) 北海道農政部：米に関する資料〔生産・価格・需要〕、p. 48、2009
- 4) (独) 農業・食品産業技術総合研究機構北海道農業研究センター北海道水田輪作研究チーム：北の国の直播 2004  
([http://cryo.naro.affrc.go.jp/chokuhan/04\\_chokuhan/index\\_04.htm](http://cryo.naro.affrc.go.jp/chokuhan/04_chokuhan/index_04.htm))
- 5) 中村和正・山田修久・磯部武・土橋博幸・手嶋真澄：支線開水路に対する分水量の日変動の許容範囲、平成 19 年度農業農村工学会大会講演会講演要旨集、pp. 290-291、2007
- 6) 中村和正：北海道の水田用水路の管路化による水需要の集中と対策、水利科学、No. 244、pp. 34-49、1998
- 7) 中村和正・多田大嗣・鶴木啓二・齋藤正美・松岡直基：北海道内の水田灌漑用ダムにおける将来の水収支の試算、寒地土木研究所月報、第 667 号、pp. 12-19、2008
- 8) 北海道開発局函館開発建設部：平成 17 年度駒ヶ岳外水利施設機能診断調査業務報告書、2006
- 9) 北海道開発局網走開発建設部：平成 17 年度網走地域施設機能診断保全対策検討業務報告書、2006
- 10) 秀島好昭：パイプラインの状態分析と管理・監視のための読本、-寒冷地の管水路構造機能の評価と予防保全をめざして(1)、2008
- 11) 大津将則・寒地土木研究所水利基盤チーム：農業用パイプラインの老朽化の診断・評価法、寒地土木研究所依頼研修報告書、2008
- 12) 北海道開発局農業水産部・函館開発建設部・旭川開発建設部・土木研究所寒地土木研究所：寒冷地における用水路の劣化と保全、第 54 回北海道開発技術研究発表会(指定課題)、2011
- 13) 佐野禎・末吉良敏・平田隆祥・十河茂幸：印加電圧方式によるコンクリートの水分率推定手法に関する基礎研究、コンクリート工学年次論文集、Vol. 27、pp. 589-594、2005

- 14) 長谷川寿夫・藤原忠司：凍害、技報堂出版、  
p. 41、1988
- 15) 鎌田英治：凍結融解抵抗性（耐凍害性）、コン  
クリート工学、Vol. 22、No. 3、pp. 38-46、1984
- 16) 佐藤智・横木淳一・小野寺康浩・中村和正・嘉指  
成詞・原直洋・秋山譲治：低温での養生や凍結  
融解を受けた表面被覆材の付着強さーウレタ  
ン樹脂系表面被覆材の事例ー、寒地土木研究  
所月報、第 673 号、pp. 12-18、2009
- 17) 佐藤智・横木淳一・小野寺康浩・嘉指成詞・秋山  
譲治：寒冷条件下でのウレタン樹脂系表面被  
覆材の付着強さ、コンクリート構造物の補修、  
補強、アップグレード論文報告集、第 9 巻、  
pp. 69-74、2009
- 18) 土木学会：コンクリートの表面被覆および表  
面改質に関する技術の現状、コンクリート技  
術シリーズ 58、p80、2004
- 19) 横木淳一・小野寺康浩・佐藤智・中村和正：積雪  
寒冷地における頭首工の表面温度環境、寒地  
技術論文集 Vol. 24、pp. 206-209
- 20) 土木研究所寒地土木研究所水利基盤チーム：  
「積雪寒冷地の農業水利施設の機能診断手法  
に関する技術資料（案）」、2011
- 21) 土木研究所寒地土木研究所水利基盤チーム：  
「積雪寒冷地のコンクリート開水路の補修に  
関する技術資料（案）」、2011
- 22) 土木研究所寒地土木研究所水利基盤チーム：  
「頭首工のコンクリート施設における寒冷地  
補修技術に関する資料（案）」、2011
- 23) 土木研究所寒地土木研究所水利基盤チーム：  
「泥炭性軟弱地盤のパイプラインにおける土  
木シート利用検討の要点」、2011
- 24) 土木研究所寒地土木研究所水利基盤チーム：  
「農業水利施設の補修・改修の優先順位決定  
方法の技術ガイド(案)」、2011