

# 積雪寒冷地における老朽水利施設の 表面温度と凍結融解回数

寒地土木研究所 水利基盤チーム ○横木 淳一  
小野寺康浩  
佐藤 智

老朽化が進んでいる寒冷地の農業水利施設を表面被覆工法によって補修する際には、凍結融解の繰返し作用への配慮が必要である。本報では、寒冷地で適用する補修材や補修後の耐久性に関する評価手法を検討する目的で、頭首工や用水路が現地で曝されている温度環境や凍結融解回数を検討した。その結果、頭首工では施設の各方位面の中でも南面側で凍結融解の発生頻度が高かった。それゆえ、施設の南面の温度環境を想定した条件での検討が重要である。また、用水路では躯体の温度変化や凍結融解の発生頻度は積雪や雪庇の形成状況にも左右され劣化環境は一様ではないことから、側壁上部などの過酷な条件下での検討が重要と考えられる。

キーワード：頭首工、用水路、表面温度、凍結融解回数、補修

## 1. まえがき

北海道内には、農業用水利施設として、頭首工 215 箇所、用排水路は約 9 千 km が整備されてきた<sup>1)</sup>。それらの中には建設から数 10 年経過し、老朽化が著しいものもみられる。

道内の水利施設の経年劣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が挙げられる。

老朽化が進んでいる道内の農業水利施設（ここでは主にコンクリート構造物）を補修する場合、積雪寒冷地に特有の過酷な気象環境への配慮が必要である。積雪寒冷地の頭首工や用水路の補修にあたっては、一般的には凍害や流水による摩耗による劣化部を除去し、老朽躯体の表面部を被覆する表面被覆工法が検討されることが多い。一方、積雪寒冷地での老朽水利施設への表面被覆工法の実績は少ないため、補修後の寒冷地での耐久性の評価手法を確立する必要がある。

本報では、寒冷条件下で耐久性の高い補修技術を検討するために、水利施設（頭首工と用水路）の表面部に生じる温度変動の観測結果と凍結融解回数について検討した。

## 2. 調査方法

### (1) 頭首工の表面温度

頭首工の施設は全ての方位面を有しており、方

位面によって劣化状況に差が生じている事例が多い<sup>2)</sup>。現在、道内の地域性、積雪量の違いを考慮し、頭首工の方位面に配慮したコンクリート表面温度の観測を行っている。観測では、頭首工の各方位面や天端面に温度センサーを設置し、表面温度を連続測定した<sup>3)</sup>。本報では、図-1 に示した 2 箇所の頭首工（K 頭首工、S 頭首工）における観測結果を示す。なお、K 頭首工は 1970 年に築造され、太平洋側の積雪量が比較的少ない地域に位置している。S 頭首工は 1957 年に築造され、内陸部の積雪量が比較的多い地域に位置している。

### (2) 用水路の表面温度

用水路のような延長の長い水利施設の場合は、施設周辺の地形、水路断面の規模、側壁の方位面等によって、冬期の温度環境は変化する。



図-1 調査位置図

本報では、図-1 に示す2箇所のコンクリート製の用水路(H用水路、K用水路)における側壁面の表面温度観測結果を示す。観測区間の水路型式は、H用水路は1966年に造成されたL型コンクリートブロック区間で、K用水路は1970年に造成された現場打ちコンクリートフルーム区間で、両観測区間ともに原地盤掘り込み型の水路区間である。なお、K用水路の観測区間には2006年度に表面被覆工法による補修工法の試験施工区間を設けており、表面温度の観測は、未補修区間の他にセメント系と樹脂系の補修区間でも行った。表面温度の観測では、用水路の側壁に温度センサーを設置し、連続測定を行った。

### (3) 調査期間の冬の気象条件

本論では、2006年度と2007年度の表面温度の観測結果を述べるが、両年度の冬期間における気温と積雪深についてH用水路近傍のアメダスデータ<sup>4)</sup>を例に比較する(図-2)。

2006年度の冬期(11月～4月)の気温は平年より高めに推移し積雪量は平年より少なかった。2007年度の冬期(11月～4月)の気温は2月まで平年並みで、3～4月は高めに推移し、積雪は平年より少なかった。

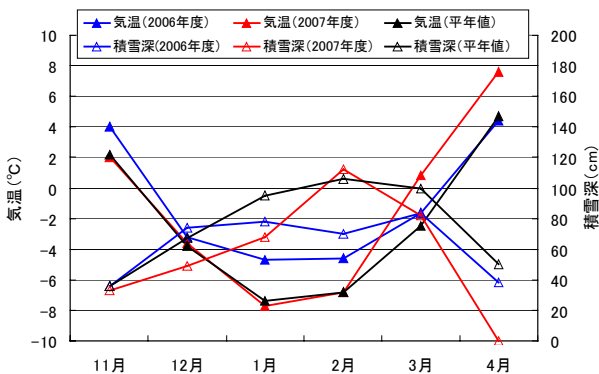


図-2 H用水路近傍の気温と積雪深

## 3. 表面温度観測結果

### (1) 頭首工の表面温度

図-3 にK頭首工の2007年1月10日から13日までの、表面温度観測結果を示す。南面は、厳寒期の外気温が0℃以上にならない真冬日においても日射の影響により10℃前後まで上昇しており、一日の温度差も最大30℃程度と大きく、表面に水分が供給されるような条件にあれば凍結融解を起こす環境におかれていることがわかる。また、東面や天端面についても、気温よりも大きな温度変動が生じており、最高温度も0℃以上で水分条件によっては一時的ではあ

るが凍結融解をおこす可能性がある。なお、北面は気温と同じような変動であり、一日の温度較差も15℃前後であるが0℃以下の日も多く、一度凍結すると融解しにくい環境にあることがわかる。このように、頭首工では方位面によりそれぞれ温度環境も異なることから補修材を選定する際には、南面のような大きな温度変化とともに、各面で生じる大きな温度差にも留意する必要がある。

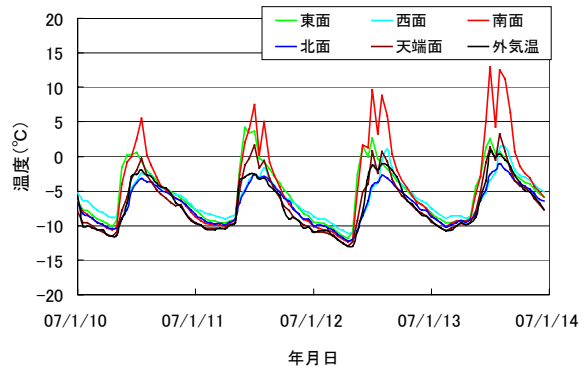


図-3 K頭首工における表面温度と外気温

図-4 にS頭首工の2007年1月10日から13日の表面温度観測結果を示す。S頭首工においては、真冬日でも日射の影響を受けやすい南面では、他の方位面と比べ温度が上昇しており、南面に関してはK頭首工と同様、凍結融解を受けやすい環境にあることがわかる。S頭首工は東面が山手側にあるため、日射の影響は少ないが、東面でも、5～10℃の温度変動で、最高温度が0℃を超える日もみられた。また、天端面は温度変動幅が2～3℃と小さいが、これは天端面が雪で覆われ、積雪による断熱効果で温度変化が抑制されたためである。

以上のように、頭首工では南面側の温度変化が大きく、また、天端等の水平面については積雪の多い地域では凍結融解が抑制される期間が生じることがわかる。

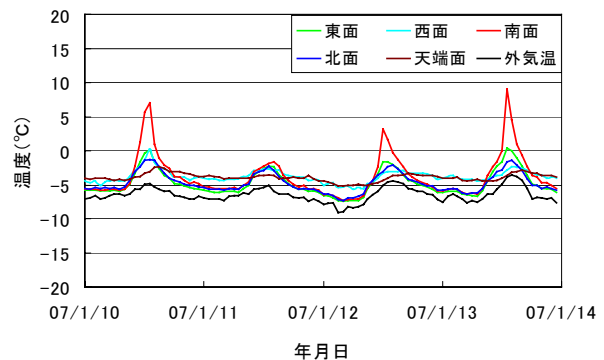


図-4 S頭首工における表面温度と外気温

## (2) 用水路の表面温度

図-5 にH用水路における、2008年2月10日から13日までの水路側壁(壁高2.6m)における表面温度観測結果を示す。温度測定位置は、南東面(右岸側)の側壁上部(側壁天端から0.5m下の部位)と側壁下部(側壁天端から2.0m下の部位)の2箇所である。2月11日までは側壁上部、下部の表面温度はほぼ同様で、真冬日でも日中には20℃以上まで上昇しているが、2月11日以降は図-5に示すように側壁下部においては水路内の積雪で覆われた結果、表面温度は1~2℃で推移し、温度変化が抑制されている。

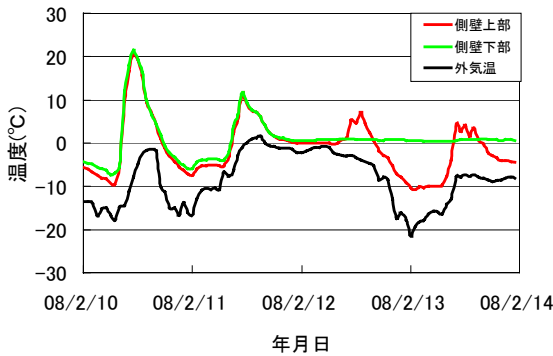


図-5 H用水路における表面温度と外気温

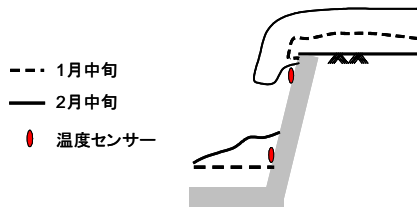


図-6 積雪状況

このように用水路では、同じ側壁面でも積雪状況によって側壁の上部と下部では温度環境が大きく異なる。また、図-6のように側壁天端側から雪庇が徐々に発達し、側壁の上部も積雪で覆われることがある。このように、水路側壁の温度変化は水路内の積雪や雪庇の形成状況に左右され、冬期間の表面温度環境は一様ではないことがわかる。

図-7 にK用水路における2007年2月10日から2月14日までの水路側壁(壁高2.0m)の南面における表面温度観測結果を示す。温度測定位置は、未補修区間、およびセメント系、樹脂系の補修区間ともに側壁天端から1.0m下の部位である。この期間、外気温は終日0℃を下回る真冬日が連続しているが、南面では日射の影響により、最高温度は未補修区間で20℃程度まで上昇し、セメント系および樹脂系の補

修区間でも15℃前後まで上昇していた。また、最低温度はいずれの区間も同程度であった。表面温度の変動幅は未補修区間、セメント系補修区間、樹脂系補修区間の順に大きく、厳寒期であるが15~30℃程度の日較差が生じていた。このように、補修材料の違いにより若干の温度差はみられたが、全ての区間において、温度変化の面からは凍結融解が起こる温度環境にあった。

図-8 に水路側壁の北面における各区間の表面温度を示す。北面については、未補修区間、およびセメント系、樹脂系の補修区間のいずれも、5℃前後の日較差で南面に比べ温度変化が少なかった。これは、北面では日射の影響が少ないことが考えられる。

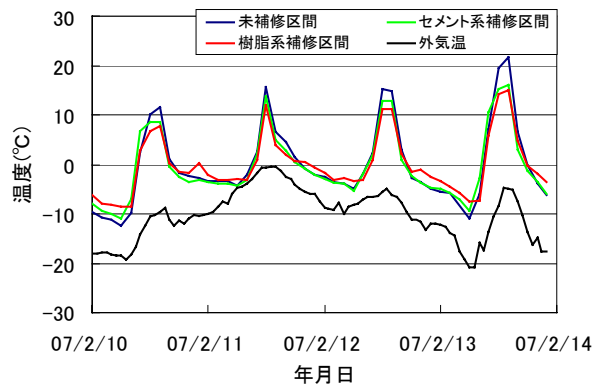


図-7 K用水路における表面温度と外気温(南面)

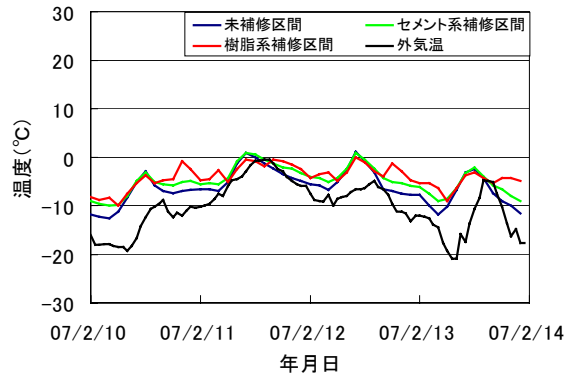


図-8 K用水路における表面温度と外気温(北面)

このように用水路では、同一区間であっても側壁の方位や左右岸で雪庇の発達状況が異なる場合には、水路躯体の温度変化や凍結融解環境に大きな差が生じる。これらのことが、劣化の進行にも大きな影響を与える要因となり、補修工法を選定するうえでも考慮する必要がある。用水路の表面補修後の耐久性評価にあたっては、冬期の環境条件が過酷で雪庇の形成が少ない南面などの側壁上部を想定した条件設定が必要と考えられる。

#### 4. 凍結融解回数

##### (1) 凍結融解回数の試算方法

凍結融解回数の算出方法についてはいくつかの考え方があり、とくに凍結温度については、 $-1^{\circ}\text{C}$ <sup>5)</sup>、 $-2^{\circ}\text{C}$ <sup>6)</sup>、 $-5^{\circ}\text{C}$ <sup>7)</sup>等の考え方がある。文献 7)では、コンクリートの供試体に対して、凍結温度を $-2^{\circ}\text{C}$ として凍結融解試験を行った場合、耐久性指数にほぼ変化が無かったのに対し、凍結温度を $-5^{\circ}\text{C}$ とした場合、耐久性指数が大きく低下すると示されている。しかし、補修材に対しての凍結融解試験で凍結温度を変化させた場合の試験結果や規格は無いため、本論で使用する補修材に対する凍結融解回数の算定では、表面温度観測により得られたデータをもとに、コンクリートの表面温度が $-5^{\circ}\text{C}$ で凍結、 $0^{\circ}\text{C}$ で融解と仮定した(図-9)。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。また、用水路については表面温度の観測を開始した時期が異なるため、H用水路の解析期間は2006年11月27日から2007年4月30日とし、K用水路は2006年12月13日から2007年4月30日とした。

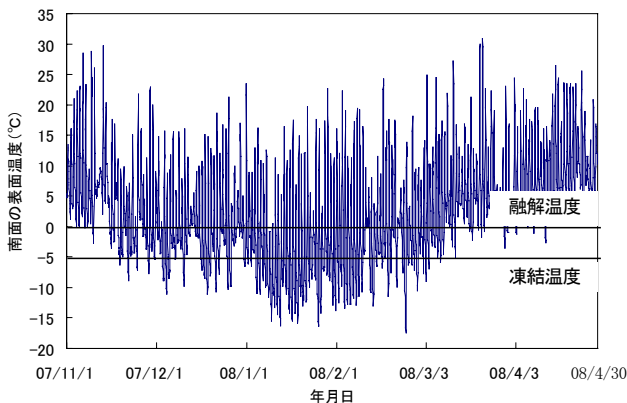


図-9 表面温度と凍結融解回数の試算に用いた凍結・融解温度(K頭首工の例)

##### (2) 頭首工の凍結融解回数

図-10は、2006年度と2007年度のK頭首工における各方位面および天端面の凍結融解回数の試算結果を示したものである。各年度ともに、温度変化の一番大きい南面が最も凍結融解回数が多く、温度変化の少ない北面が最も回数が少ない。表面温度の変動幅が南面より少ない東面や天端面においても、比較的多い回数となっている。これらのことから、南面以外の面でも水分供給条件が加われば、凍結融解を受ける環境になる。

図-11は、2007年度を例にK頭首工における月別の凍結融解回数を示したものである。冬期間全般を通して南面、東面、天端面で凍結融解回数が多い

傾向がみられる。天端面では、11月の凍結融解回数が多い、南面や東面では1、2月の回数が多い。また、11月から1月にかけては北面を除く方位面や天端面では凍結融解回数が増加する傾向が認められるが、2月から4月にかけては各面の凍結融解回数には大きな違いはみられない。このように、各方位面や天端面で凍結融解回数に差はみられるものの、水分の供給があれば各面で凍結融解を受ける環境にあり、補修材には凍結融解抵抗性の高い材料が求められる。

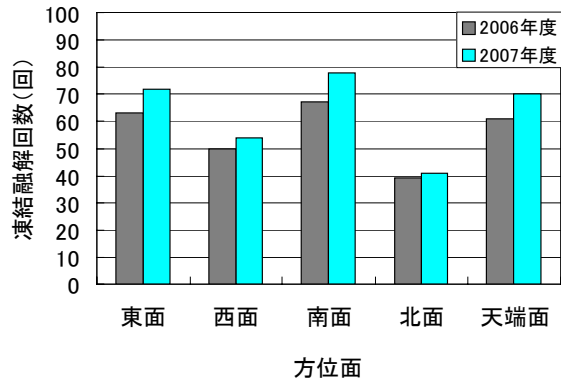


図-10 K頭首工の各方位面等の凍結融解回数

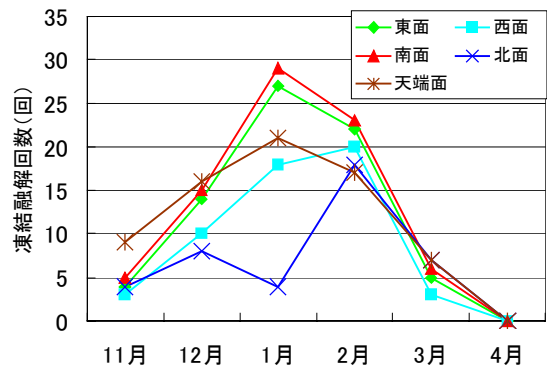


図-11 K頭首工の月別の凍結融解回数(2007年度)

図-12には、2006年度を例にK頭首工とS頭首工の凍結融解回数の比較を示す。各方位面の凍結融解回数は、全体的にK頭首工が10回程度多い傾向がみられるが、天端面においては30回程度の差が生じている。S頭首工の天端面はK頭首工よりも積雪で覆われていた期間が長いので凍結融解回数が少なくなっている。このように、同時期でも頭首工の立地地点により、おかれている積雪条件が異なることから、頭首工等の補修材の選定にあたっては、補修する部位への配慮とともに、施設の立地する地域の気象条件も重要な要素であると考えられる。また、補修工法の選定や、補修後の耐久性評価では、頭首工

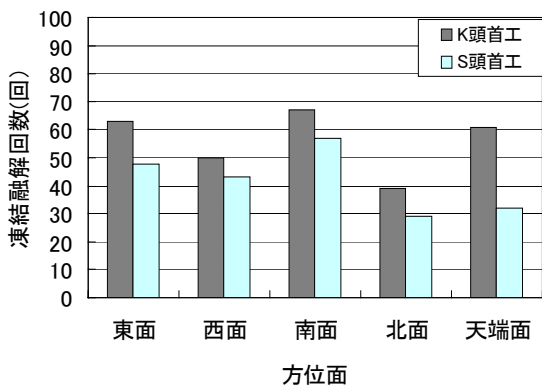


図-12 S頭首工とK頭首工の凍結融解回数

の各面の中でも温度変化が大きく凍結融解の発生頻度が高い施設の南面の環境を想定した条件下での検討が必要である。

### (3) 用水路の凍結融解回数

図-13 に H 用水路の側壁における 2006 年度と 2007 年度の凍結融解回数を示す。両年度ともに、側壁の上部と下部の凍結融解回数には差がみられ、側壁の上部と下部では凍結融解環境が異なっている。

側壁下部では、凍結融解回数が側壁上部の半分程度に減少しており、また、上部のように年度の違いによる回数の変化も小さい。これは下部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。

H 用水路は側壁高が 2.6m であり比較的規模の大きい水路での事例といえるが、側壁の上部と下部では冬期に露出している期間の長い側壁の上部のほうが、凍結融解作用の影響を受けやすいことがわかる。

図-14 は、2007 年度における H 用水路の側壁上部と側壁下部の凍結融解回数を月別に示したものである。側壁上部は側壁下部に比べ水路内の積雪深が増加する 1 月と 2 月は凍結融解回数が多くなっている。初冬や融雪期については側壁上部と下部の凍結融解回数は同程度であった。このように、側壁の上部と下部では冬期間の中でも積雪の多い期間について大きく環境が異なるが、初冬や融雪期には、上部と下部で同じような環境にある。

図-15 に 2006 年度の K 用水路の側壁における凍結融解回数を示す。側壁の南面の凍結融解回数は、未補修区間とセメント系補修区間は同程度であったが、樹脂系補修区間は若干少ない結果となった。側壁の北面については、1 月、2 月には水路内の積雪深の増加と雪庇の発達によって側壁の大半が雪で

覆われたためこの間の温度変化が抑制されていた。このため、北面の凍結融解回数は、南面と比べると少なくなっている。

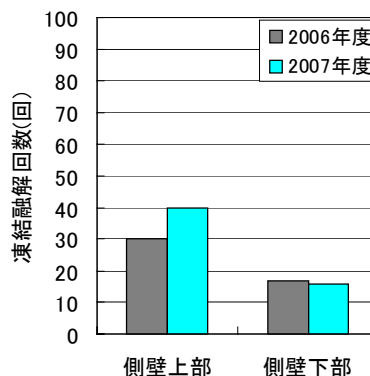


図-13 H用水路の側壁における凍結融解回数

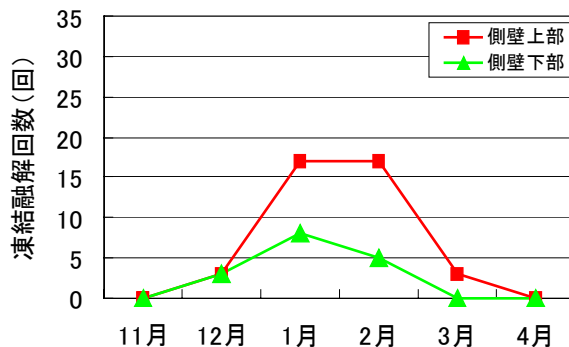


図-14 H用水路の月別の凍結融解回数(2007年度)

このように、K 用水路の表面温度測定結果から試算した凍結融解回数は、南面と北面で異なり、側壁の方位によって凍結融解環境にも違いがあることが認められた。また、補修区間においてはセメント系と樹脂系の区間では 10 回程度の差がみられた。

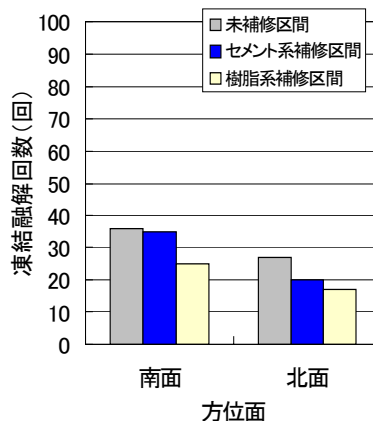


図-15 K用水路の側壁における凍結融解回数

今回の結果から、補修材の種類で凍結融解回数に差が生じる結果が得られており、このような凍結融解の作用数の違いが補修後の耐久性に及ぼす影響についても検討する必要性のあることが示唆される。

今回の凍結融解回数の試算結果では、同じ南面においても、頭首工と用水路では凍結融解回数が異なる結果となった。頭首工は河川内に築造される構造物なので日射や風などの影響を受け温度変動が大きくなる。一方、用水路は H、K 用水路ともに現地盤掘込式の水路形式であるため、頭首工よりも日射や風の影響を受けにくい環境にある。

これらの要因が、今回比較した頭首工と用水路の凍結融解回数に差が生じる一因となっていると考えられる。

## 5. まとめ

老朽化が進行した農業水利施設の積雪寒冷地での補修工法の適性や施工後の耐久性評価のための試験条件等の設定に向けて、頭首工と用水路の表面部に生じる温度変化と試算による計算に基づく凍結融解回数を検討した。結果をまとめると次のようである。

- (1) 頭首工の表面温度は方位面、天端面で傾向が異なり、積雪の多少によらず南面では他の方位面に比べ大きな温度変化が生じていた。
- (2) 頭首工の凍結融解回数は南面側で最も多いが、他の方位面や天端面においても水分の供給があれば凍結融解を受ける環境にあるので、補修材には、凍結融解抵抗性の高い材料が求められる。
- (3) 頭首工の表面被覆工法の選定や補修後の耐久性評価では、施設の南面の環境を想定した条件での検討が必要である。なお、頭首工の床版等の天端面は積雪の多少により温度変化が異なる傾向がみられ、凍結融解環境に差が生じていた。
- (4) H 用水路における側壁の表面温度の観測結果では、用水路の側壁部における温度変化や凍結融解の発生頻度は水路内の積雪や雪庇の形成状況にも左右され、側壁の上部と下部では凍結融解環境に差が生じていた。
- (5) K 用水路における側壁の南面と北面では水路内の積雪や雪庇の形成状況が異なり、温度変化の

幅や凍結融解回数が大きく異なっていた。

- (6) 用水路の補修工法の選定では対象とする水路の積雪状況に配慮するとともに、表面補修後の耐久性評価では南面の側壁上部などの温度変化が大きい条件下での検討が重要と考えられる。

## 6. あとがき

本論では、2006 年度と 2007 年度における頭首工と用水路の表面温度の観測結果を基に凍結融解回数を算出した。

補修後の耐久性を評価するためには、例えば 20 年間といった長期間を想定した耐久性試験が必要である。今後はそのために必要な 1 年あたりの平均的な凍結融解回数の算出等を行う予定である。

謝辞：本研究をすすめるにあたり、観測箇所の選定や現地調査等において、北海道開発局農業水利課をはじめ関係開発建設部の担当課所には多大なるご支援を頂戴した。また、水利施設の原位置観測では、関係土地改良区等のご協力を得ている。末筆ながら、関係者の皆様に対して深く謝意を表します。

## 参考文献

- 1)黒崎宏・広部圭一：北海道の農業農村整備の状況、農業土木学会誌、72 号、6、pp.3～8、(2004)
- 2)小野寺康浩・横木淳一・中村和正・佐藤智・草薙忍・秦哲：積雪寒冷地の老朽頭首工でみられた経年劣化の傾向、第 56 回農業農村工学会北海道支部研究発表会講演集、pp.50～55、(2007)
- 3)横木淳一・小野寺康浩・中村和正・草薙忍・秦哲：積雪寒冷地における老朽頭首工の表面温度の観測について、平成 19 年度農業農村工学会大会講演会要旨集、pp.766～767、(2007)
- 4)気象庁 HP:<http://www.jma.go.jp/jma>
- 5)浜幸雄・松村光太郎・田畑雅幸・富板崇・鎌田英治：気象因子を考慮したコンクリート凍害劣化予測、日本建築学会構造系論文集、第 523 号、pp.9～16、(1999)
- 6)コンクリート技術の要点'99、日本コンクリート工学協会、p.155、(1999)
- 7)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、(1984)