

17.2 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

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 18～平 22

担当チーム：水利基盤チーム（寒地農業基盤研究グループ）

研究担当者：中村和正、小野寺康浩、佐藤 智、

須藤勇二、横木淳一、川辺明子

【要旨】

老朽化した水利施設の機能診断方法に関する研究では、頭首工の各部位の劣化状況や農業水利施設が冬期間にさらされる温度を調査した。その結果、コンクリート農業水利施設の機能診断を行う場合、水分条件や表面温度の日較差、凍結融解回数などについて、構造物の部位ごとの相違を反映させる必要があることが示唆された。

開水路の表面補修工法の開発に関しては、タイプの異なる3種（ウレタン樹脂、セメントモルタル、FRPM板）の表面被覆補修材料を用いた試験施工区間での観測・調査を継続するとともに寒冷地の施工時および供用後の条件等を想定した環境でのウレタン樹脂、セメントモルタルの付着強さの室内試験を行った。屋外で冬期間と通水期間を2期ずつ経過した時点では、各補修工法とも概ね良好に経過している。また、室内試験結果からは、ウレタン樹脂は表面から水分を与えた凍結融解の繰返しでは付着強さの低下が小さいことが判った。今後は背面側からの水分供給を想定した試験が必要と考えられる。

頭首工の表面補修工法の開発では、補修材料を塗布した供試体を屋外に暴露し、ひずみ等の計測を行った。その結果、南に向けて設置した供試体で補修面のひずみが大きく変動していた。また、一部の材料で細かいひび割れが確認されたが、それ以外の補修材料では目立った変化はみられなかった。今後は頭首工のおかれる環境として想定される、水中部や吃水部での試験も必要と考えられる。

さらに、泥炭等の特殊土地帯における管水路の経済的設計技術に関しては、ジオグリッドによる埋設管の浮上抑制および沈下抑制の機構解明のために土槽実験等を行った。浮上抑制機構に関しては、有効上載荷重が、ジオグリッドを用いない場合に比べて、管頂高さでジオグリッドを結合する標準的な断面では約2割増、管頂高さのジオグリッドがない断面では約1割増することが判った。また、沈下抑制機構に関しては、ジオグリッドのみを施工する断面に比べ、ジオグリッド上に基床材を施工する断面の方が管の沈下抑制により効果があることが判った。

キーワード：頭首工、開水路、表面被覆補修工法、泥炭、埋設管、ジオグリッド

1. はじめに

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。老朽化が進行している道内の水利施設の機能回復を補修・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。また、補修・改修技術の適用性の検証にあっても、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がなされる必要がある。

道内老朽水利施設の構造物機能診断方法の研究に関しては、平成18年度から老朽化した水利施設の劣化状況調査（頭首工）および表面温度観測と老朽頭首

工の補修後の状況調査を行っており、平成20年度もこれを継続した。

開水路の補修工法の開発に関しては、タイプの異なる3種の工法を用いて平成18年に行った現地適用性検証のための試験施工箇所での観測・調査を継続するとともに、補修材の耐久性評価に関する室内試験を実施した。

頭首工の補修工法の開発に関しては、補修材を塗布した供試体を屋外に暴露し、ひずみ等の計測を行った。

さらに、特殊土地帯における管水路の経済的設計技術に関しては、管水路の浮上抑制および沈下抑制を目的としてジオグリッドを用いた場合の浮上抵抗力を土槽実験等により検討した。

2. 道内老朽水利施設の構造機能診断方法に関する調査

2. 1 目的

北海道内に築造されている水利施設の場合、老朽化を進行させる大きな要因として、寒冷地特有の凍結融解の繰返し作用や、温暖な都府県ではあまりみられない雪氷の影響がある。

今年度は、昨年度に引き続き、寒冷環境下で長年供用されてきた頭首工にみられる経年劣化の傾向や農業水利施設のコンクリート表面温度などを調査し、凍結融解の作用頻度を把握した。

2. 2 調査方法の概要

2.2.1 劣化状況調査

積雪寒冷地に築造されている頭首工では、流水、石礫などによる劣化に加え、凍結融解作用や結氷などによって劣化が促進される。

このような寒冷地の頭首工の劣化環境を踏まえ、平成 18 年度は、主に道内 2 箇所の老朽頭首工を対象に劣化状況を調査した。平成 19 年度以降は、積雪量の多寡や地域性を考慮して、調査箇所を追加した。さらに老朽頭首工の補修後の劣化状況調査を比較的寒冷な府県での事例を含めて行った。

2.2.2 表面温度観測

積雪寒冷地の農業水利施設に対する劣化予測や各種の補修・改修技術の適用性評価を行うためには、現場での凍結融解の有無や作用頻度を把握する必要がある。

コンクリート構造物ではその面の向いている方位や周囲の地形によって、その部位が受ける凍結融解作用に差がみられる。それゆえ、表面温度の観測は劣化状況調査を実施している頭首工および道内の老朽コンクリート用水路で温度環境の異なる部位ごとに行っている。

2. 3 結果および考察

2.3.1 寒冷地の老朽頭首工の経年劣化の傾向

頭首工を構成する施設には天端を有するものも多く、床版などの天端付近や側部（気中部）では、雨水や融雪水が停滞、通過するような箇所で、局所的に凍害ひびわれが発生している事例がみられた（写真-1）。

水中部ではモルタル分の摩耗、表面部の粗骨材の流失なども生じていた。

また、きつ水部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。このように、きつ水部においては気温の変化のほかに、水位変動によっても凍結融解が生じていた。



写真-1 堰柱部の凍害ひびわれ

2.3.2 補修後の状況

写真-2は府県における樹脂系素材で表面被覆工法を施した頭首工の5年経過後の状況である。石礫の衝突などにより、堰柱表面部の被覆材が破損、剥離している。積雪寒冷地の場合、このような破損箇所から水分が浸入し、凍結融解の繰返しによって劣化が促進することが想定される。積雪寒冷地における頭首工の表面被覆工法には、衝撃や凍結融解作用に対して抵抗性の高い工法が必要と考えられる。



写真-2 表面補修施工後の堰柱部の劣化状況

2.3.3 表面温度と凍結融解回数

平成20年1月上旬の1週間における頭首工の南面、北面の表面温度と外気温の温度変化を図-1に示す。

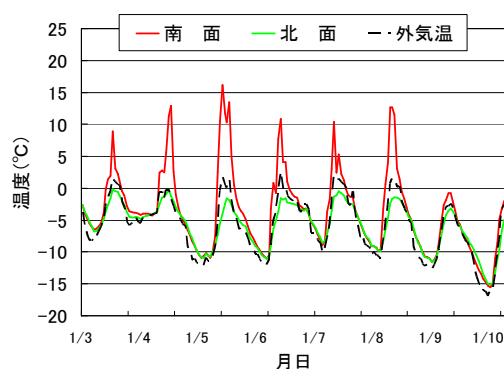


図-1 冬期における頭首工の表面温度と外気温の変化

外気温は、-10 程度まで低下し、日最高気温も最大で2 程度であるが、日射を受ける南面では0 をはさんで10 前後まで上昇していた。南面では水分の供給条件によっては凍結融解作用が頻繁に起こる環境にあることがわかる。北面は、外気温とほぼ同程度の変動であり、一度凍結すると融解しにくい環境にあることがわかった。

また、A頭首工（少雪地域）、B頭首工（多雪地域）での平成 18 年度冬期のコンクリート表面温度の実測値を用いて、1 年あたりの凍結融解回数を試算した。試算では、コンクリートの供試体に対して凍結温度を -5 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文献^{1),2)}があることから、これを参考にして、凍結融解の判定ではコンクリートの表面温度の変化に着目し、-5 で凍結、0 で融解と仮定した。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（図-2）。

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。また、A、B頭首工で天端面の凍結融解回数に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³⁾。このように、積雪の多少によってもコンクリートがさらされる凍結融解環境は異なる。

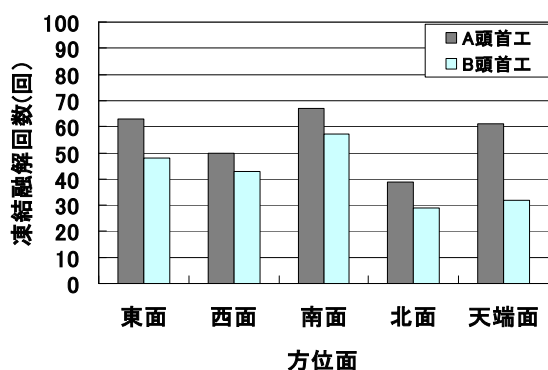


図-2 各壁面における凍結融解回数

道央にある開水路（用水路）の側壁における平成18年度と平成19年度の凍結融解回数を図-3に示す。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回であり、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。

この開水路は側壁高が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³⁾。

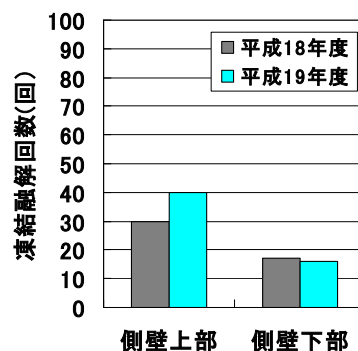


図-3 用水路の側壁における凍結融解回数

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、頭首工と開水路では凍結融解回数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、開水路は現地盤堀込式の水路形式のため、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になっていると考えられる。

冬期間の表面温度観測の結果は、補修を行う場合の耐久性評価の試験条件の設定に用いることができる。また、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おいて方位面の差を考慮するためのデータとすることができる。

2. 4 小括

老朽化した農業水利施設を対象に、凍結融解作用等による経年劣化状況の調査を行うとともに、コンクリート表面温度観測によって得られたデータを基に凍結融解回数の試算を行った。

頭首工の凍害による劣化は、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生じていた。また、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。

冬期間の表面温度観測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る。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。

3. 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

3. 1 目的

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、劣化が進みやすい点が特徴的である。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早いと考えられる。その主な補修工法として表面被覆工法があるが、積雪寒冷地への適用技術が十分に確立されているとはいえない。

このため、北海道北部における表面被覆材による補修工法の試験施工とその後の経過観察および道外寒冷地(岩手県)での補修事例についての情報収集・現地調査を継続して行うとともに、寒冷地の冬期の施工時および供用後の条件を想定した室内試験を行った。

3. 2 表面被覆材による補修工法の試験施工

3.2.1 方法

平成 18 年 11 月にウレタン樹脂系素材(以下、樹脂系と称する)セメントモルタル系素材(以下、セメント系と称する)FRPM 板の計 3 種類の表面被覆材を対象にした試験施工を行い、積雪寒冷地における表面被覆材の適用性について現地検証を開始した。試験地は、北海道北部に位置する高さ 2 m × 幅 6 m の断面を有する供用中のフリーム水路である。観測項目と内容および頻度は以下のとおりである。なお、観測機器の配置を図-4 に、冬期間の試験施工区間の状況を写真-3 に示す。

- (1)目視調査(2回/年(融雪後、落水後))
- (2)温度(水路側壁表面部、水路側壁背面部、水路本体と補修部材の境界部の温度など。1回/2時間、自動観測)
- (3)ひずみ(水路側壁表面の鉛直線上に発生するひずみ。1回/2時間、自動観測)
- (4)水路側壁間の距離および傾斜角(冬期間のみ、手動観測)
- (5)凍結深(冬期間のみ、手動観測)
- (6)積雪深(冬期間のみ、手動観測)
- (7)表面被覆材の付着強さ(樹脂系、セメント系)

3.2.2 目視調査結果

各表面被覆補修工法について、平成 19 年、平成 20 年の融雪後と落水後に目視調査を行った(写真-4)。結果は次のとおりである。

(1)平成 19 年

落水後に目地部付近で若干の変状がみられたが、概ね良好に経過している。

(2)平成 20 年

前年からの大きな変化はみられなかった。

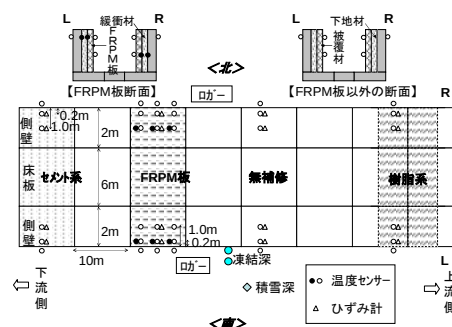


図-4 観測機器の配置



写真-3 試験施工区間における冬期の観測状況



写真-4 落水後の目視調査状況

3.2.3 表面温度および発生ひずみ等の観測

図-5 は平成 20 年度冬期のセメント系(南面)の表面温度等の測定結果である。温度変化は、各補修工法とも日射の影響により南面側で大きく、真冬日が続く期間でも、0 をはさむ温度変化を繰り返していた。各補修工法の温度は気温の影響で多少違いはあるが年ごとに大きな変動はみられなかった。

図-6 は平成 20 年度冬期の補修表面の発生ひずみの測定結果である。発生ひずみは、施工初年度は樹脂系の日変動が大きく、セメント系の日変動は小さかった。素材毎に発生ひずみの日変動が異なるのは、

日射等の影響による伸縮量の違いによるものと考えられる。平成 19 年度以降は樹脂系、FRPM 板は 1 年目に比べて発生ひずみの日変動量に大きな変化はみられなかったが、セメント系では日変動量が大きくなった。セメント系は、樹脂系、FRPM 板に比べ素材の吸水性が高いため、冬期の融雪水の侵入にともなう凍結融解の影響を受けやすい(写真-5)。セメント系の発生ひずみの日変動量が大きくなった原因が凍結融解の影響によるものかどうかは現時点で明らかではないが、今後のひずみ量と表面形状の変化を注視する必要があると考えられる。

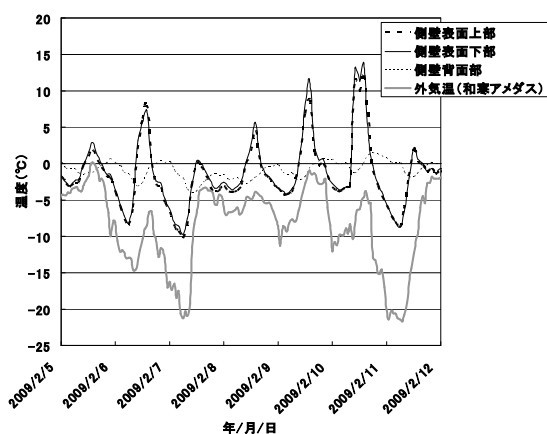


図-5 南面における温度経過(セメント系の例)

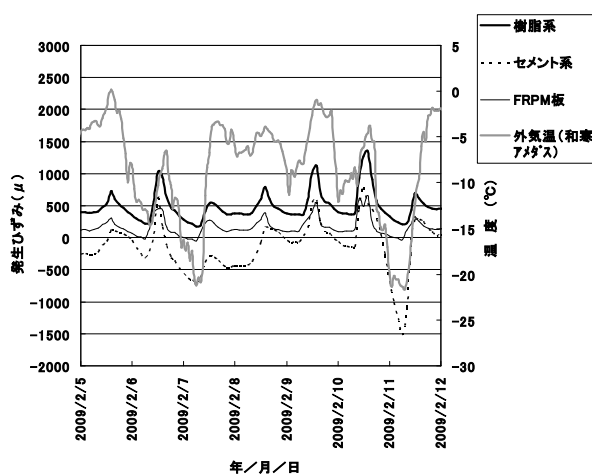


図-6 南面における発生ひずみ

水路側壁間の距離は各補修工法とも毎年冬期間に最大 1cm 程度の減少がみられ、融雪期を迎えると回復した。側壁背面部では冬期間を通じ凍結しており、また、北面の側壁は雪底で覆われており、凍上力と雪底力が水路側壁間距離を減少させる主な原因と考えられる。

また、高温に対する素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 FRPM 板が 42 、セメント系が 37 、樹脂系が 32 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 程度であった。側壁水中部は真夏でも 20 前後であった。

なお、1 年間を通して表面温度が最も高温となる時期は通水期間終了後の 9 月上旬であり、セメント系、樹脂系は 40 程度、FRPM 板は 55 程度に上昇した。



写真-5 南面における冬期間の水路側壁
(セメント系補修区間)

3.2.4 表面被覆材の付着強さの測定⁴⁾

樹脂系の試験施工区間で測定した付着強さを図-7 に示す。樹脂系の試験施工では劣化部除去後の凹凸部を断面修復材で平滑に仕上げてから表面被覆材を塗布した区間と、凹凸部をそのままにして表面被覆材を塗布した区間を設けており、後者の方が付着強さが大きい。断面修復材を施工した区間では、断面

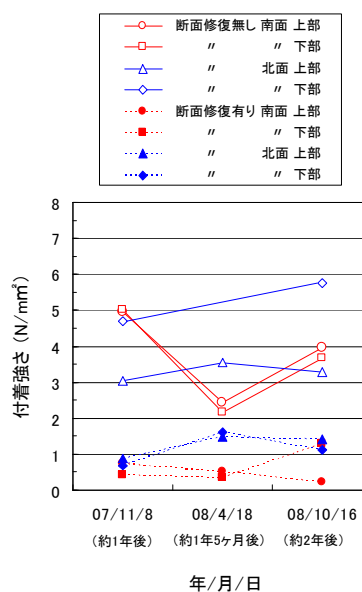


図-7 試験施工区間での付着強さ

修復材内で剥離がみられたことから、断面修復部の強度が表面被覆工法の付着強さを決める要因となることが推察された。

3.3 室内試験⁵⁾

3.3.1 方法

積雪寒冷地の施工時および供用後の条件等を想定し、低温下での養生および凍結融解作用の繰返しで表面被覆材の付着強さに与える影響を、試験施工と同じ樹脂系とセメント系の表面被覆工法について検討した。付着強さ測定用の供試体は、モルタル基板(縦 70mm×横 70mm×高さ 50mm)に樹脂系は 1.5mm 厚、セメント系は 10mm 厚で被覆材を塗布したものをを用いた。

供試体の養生は気中養生とし、5 で 5 日、0 で 23 日低温養生(現場施工で短期間の給熱養生後に曝露を想定したケース)、5 で 28 日低温養生(現場施工で長期間の給熱養生を想定したケース)および比較対照として 20 で 28 日養生(室内での標準的な養生を想定したケース)の計 3 ケースで行った。

養生後に JIS A 1148-2001 に準拠し水中にて凍結融解の繰返しを与えた。凍結融解過程では、被覆面のみから水分が侵入するよう、供試体の側面、底面をブチルゴムで覆っている。

付着強さの測定は、JSCE-K 531-1999「6. 表面被覆材の付着強さ試験方法」で、凍結融解 0(養生後)、50、100、300 サイクル後に行った。

3.3.2 結果および考察

養生後の付着強さを表-1に示す。3 ケースの養生後の付着強さを比較すると、樹脂系、セメント系ともに標準的な養生の場合と比べ、低温で養生した 2 ケースで付着強さが小さかった。しかし、いずれの条件でも一般に必要とされる 1.0 N/mm^2 程度を上回る値であった。

表-1 養生後の付着強さ

被覆材料	養生条件	付着強さ(N/mm^2)
樹脂系	① 5°C, 5日+0°C, 23日	3.51
	② 5°C, 28日	3.50
	③ 20°C, 28日	4.22
セメント系	① 5°C, 5日+0°C, 23日	1.99
	② 5°C, 28日	1.36
	③ 20°C, 28日	2.59

凍結融解後の付着強さは樹脂系では300サイクル後でも十分な付着強さを保っていた。その理由は樹脂系の被覆材は透水性が低く、被覆材表面側からの水分浸透が少ないことから、凍結融解の影響を受けにくかったためと考えられた。セメント系では凍結

融解の繰返しにより付着強さが小さかった。なお、樹脂系、セメント系ともに養生温度による違いは明確でなかった。

付着強さ試験後の剥離面は、樹脂系では付着境界面より内側の基板に生じるケースが多く、被覆材と基板の界面では、付着強さの測定値を超える強度を有することが示唆された。セメント系では被覆材とモルタル基板との付着境界面で剥がれていたことから、測定値が表面被覆材とコンクリート基板の境界面での付着強さである。

今回の凍結融解試験は補修表面からの水分供給を想定したものであり、今後は背面側からの水分供給を想定した試験が必要と考えられる。

3.4 補修事例調査

積雪寒冷地のコンクリート開水路の補修事例として、岩手県で実施したPR施工区間の補修後の状況について、現地調査を行っており(写真-6)、補修材料毎にみられた変状の特徴等について整理した。詳細は文献 6)にとりまとめている。



写真-6 現地調査状況

3.5 小括

老朽化したコンクリート開水路の積雪寒冷地における補修工法の適用技術確立のための試験施工を実施し、補修後の変状調査および補修表面温度および発生ひずみの連続観測等を継続するとともに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を行った。

試験施工区間で冬期間と通水期間を2期ずつ経過した時点では、各補修工法とも概ね良好に経過している。また、現地での表面被覆材の付着強さはウレタン樹脂系の表面被覆材を劣化部除去面に直接塗布した場合に大きいことが判った。

室内試験では、低温で養生したことによる付着強さの大きな低下はみられず、ウレタン樹脂系では被覆材表面側からの水分供給による凍結融解作用の影響も小さかった。今後は背面側からの水分供給を想定した試験が必要と考えられる。

4. 老朽化した頭首工の寒冷地型補修技術の開発

4. 1 目的

北海道内には、農業用水を河川から取水するための施設として頭首工が多数築造されており、そ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。道内の頭首工では、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などがある。また、施設本体に作用する大きな温度変化も劣化の要因となる。そこで、積雪寒冷地における頭首工の補修工法を検討するにあたり、各種補修技術の適用性評価のため、各種の表面被覆材を塗布した供試体を作成し暴露試験を行っている。

4. 2 方法

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1種類（厚さ1.5mm）〕の塗布面（7cm×7cm）を気中部にて各方位および上に向けて設置し、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。

4. 3 結果及び考察

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図-8に示す。図は、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⁷⁾。

試験開始から約1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。今後も観察を継続し、変状の有無等を監視する。

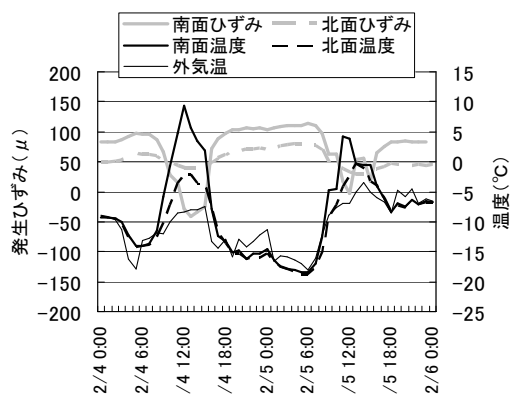


図-8 冬期における補修表面の発生ひずみ
(樹脂系補修材による補修供試体の例)

老朽頭首工を補修するための表面被覆材の適用性検証にあたっては、各方位面の温度変化の違いを考慮した評価も重要と考えられる。また、頭首工のおかれる環境として想定される水中部での表面被覆材の耐久性試験も必要と考えられる。

4. 4 小括

各種補修工法の積雪寒冷地における適用性評価のため、補修供試体の暴露試験を行っている。

被覆材の塗布面は、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。約1年経過後までの観察結果では、セメント系の厚塗りタイプの材料で細かいひび割れがみられたが、その後のひび割れの進展はみられなかった。それ以外の材料ではとくに変化はみられなかった。今後は水中部を想定した試験も必要と考えられる。また、積雪寒冷地における補修工法の選定では、現地で曝される環境要因を考慮した適用性の検証が必要と考えられる。

5. 特殊土地帯における管水路の経済的設計技術の開発

5. 1 目的

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い。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。

このような背景から、泥炭地盤でも自由支承で建設可能な可とう性のパイプライン埋設工法として、平成8年頃から泥炭等の発生土を母材とした固化改良土を管周囲に巻き立て、管の浮上と不同沈下を抑制する工法が用いられるようになった。その後、管基礎工法の低コスト化として、管の上半分の土塊をジオグリッドで覆い浮上抑制を図り管基床部のみ固化改良土を用いる工法を経て、平成16年頃からは管基床部にジオグリッドを使用して不同沈下の抑制を図る埋設工法の普及が進んでいる。

このように、固化改良土からジオグリッドを使用する経済的な埋設工法に変遷する中で、泥炭等の軟弱地盤におけるジオグリッドを用いた埋設断面の浮上抑制、沈下抑制については次のような課題があった。

ジオグリッドを用いた浮上抑制工法は、砂質土や礫質土を使用した場合については詳細な研究が実施されているが、泥炭のような高圧縮性土については未解明な部分が多い。そこで、土槽実験を実施し、

高圧縮性土を用いた場合の同工法の浮上抵抗力の評価を行った。

また、ジオグリッドを用いた不同沈下抑制の効果についても調査データは少ない。このことから、土槽実験を実施し、載荷試験を行うことにより、ジオグリッドの不同沈下抑制効果の検証を行った。

5. 2 方法

5.2.1 浮上対策の模型断面と測定項目の概要

浮上対策の土槽実験は、図-9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V M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。地盤試料には模擬土を使用し、所定の乾燥密度($0.70\text{g}/\text{cm}^3$)で仕上がり厚10cmの層を10層盛立てて土槽内地盤を作製した。

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 $0.1\text{mm}/\text{min}$ 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。

また、地盤の強度特性を調べるために、一面せん断試験を行った。せん断箱は $15 \times 15 \times$ 高さ6.5cmで、せん断速度 $0.1\text{mm}/\text{min}$ 、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。

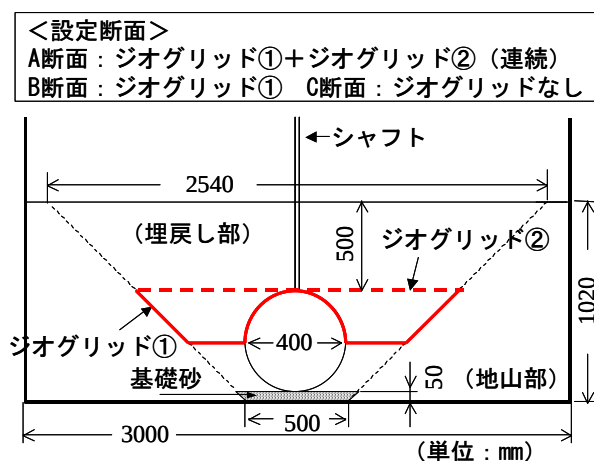


図-9 浮上対策模型断面図

5.2.2 沈下抑制対策の模型断面と測定項目の概要

ジオグリッドによる沈下抑制対策の検討断面を決定するために、管路沈下時の状況を管路の縦断方向の断面と横断方向の断面で比較すると図-10のとおりとなる。沈下量を一定とすれば、ジオグリッドの縦断方向のひずみは(沈下量)/(縦断延長)となり、横断方向のひずみは(沈下量)/(横断延長)となる。ここで(縦断延長)(横断延長)であることから、横断方向のひずみの方が大きくなる。そのため、実験断面は、管路の横断方向の断面を想定する。

また、ジオグリッドに生じるひずみの分布は、管とジオグリッドの間に基床材を施工することにより、変化することが考えられる。すなわち、図-11に示すように、上載荷重を管が受けた場合、基床材なしの断面では、管直下のジオグリッドに荷重が集中するのに対し、基床材ありの断面では、基床材によりジオグリッドの水平部および斜面部に荷重が分散されるため、基床材なしの断面では管直下のジオグリッド周辺のみひずみが発生し、基床材ありの断面ではジオグリッドの水平部および斜面部の広い範囲にひずみが発生することが考えられる。

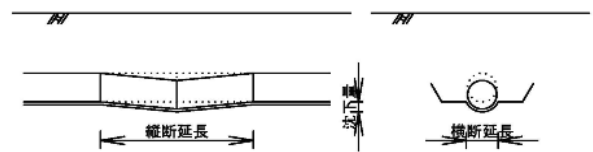


図-10 検討断面の概念図

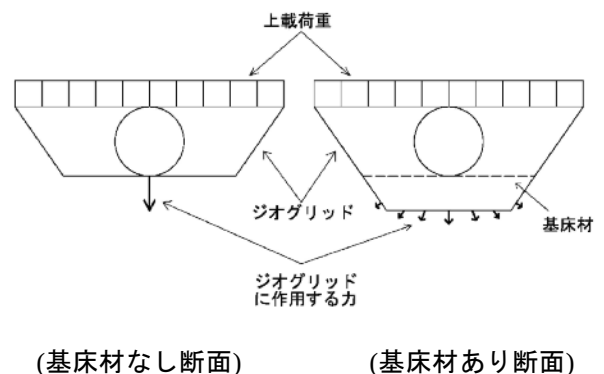


図-11 基床材による荷重分散の仮説

上記を踏まえ、沈下抑制対策の土槽実験は、図-12に示すような断面で行った。土槽の奥行きは1,500mm

で、載荷板（幅1,800mm、奥行き1,300mm）を降下させて上載荷重を加える仕様である。断面はD（基床材無しで管の直下にジオグリッドを敷設したタイプ）、E（管とジオグリッドの間に基床材を配置したタイプ）の2種類を設定した。地盤試料には、管水路工事の現地発生土を使用し、埋戻部には最大粒径19mmの砕石を使用した。なお地盤試料の締固め密度は、最大乾燥密度の80%（約 $1.07\text{g}/\text{cm}^3$ ）とし、同じ試料を用いてジオグリッドの配置を変更した2断面で載荷試験を行った。

これらの断面に対して、上面側から載荷板を $0.1\text{mm}/\text{min}$ の速度で鉛直方向に降下させ、約 $4\text{kN}/\text{m}^2$ 刻みで上載荷重を増加させた。実験では、目標値まで荷重を増加させた後は、上載荷重が安定するまで載荷板の鉛直方向の位置を固定した。このような載荷条件下で、管横断方向のジオグリッドのひずみ、地盤の変位量等を測定した。

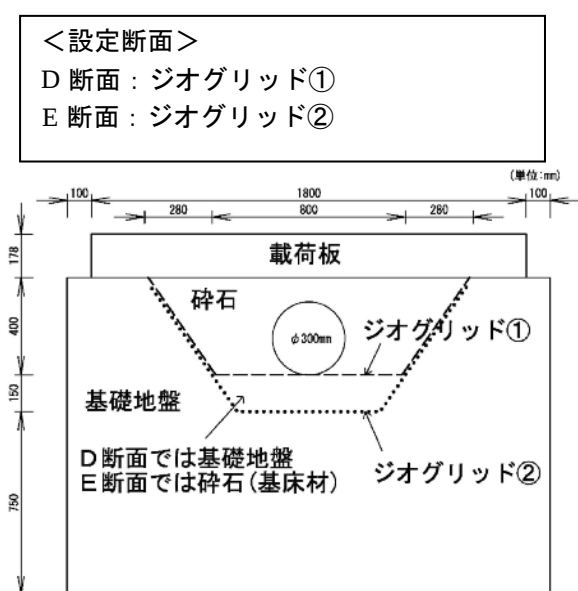


図-12 沈下対策模型断面図

5. 3 結果と考察

5.3.1 浮上抑制効果

土槽実験での管上地盤の緩い拘束状況に符合するためには、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ると考えられる。図-13に成層方向 0° の一面せん断試験結果を示す。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-14）。

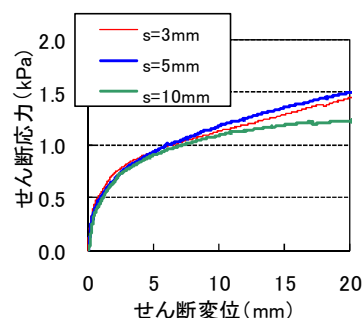


図-13 一面せん断試験結果(0°)

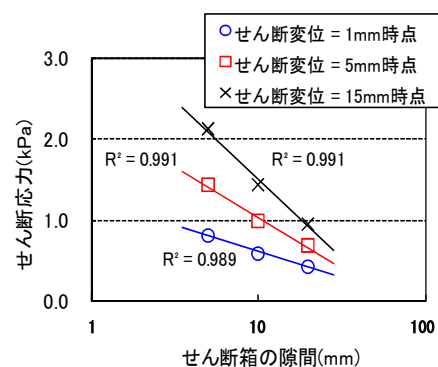


図-14 せん断箱の隙間の影響(90°)

写真-7は、C断面の管引き上げ終了時の状況である。図中に示すような内側（実線）と外側（点線）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-15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たものである（詳細は文献⁸⁾参照）。各 s におけるせん断応力は、図-13と図-14から得た近似曲線を用いて算出した。中央と外側スベリ面の場合は実験初期から一貫して管にかかる荷重を過大に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-16に各断面での管にかかる補正計測荷重（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）と浮上変位量との関係を示す。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変位量（図中の d_b ）と見なすこととした。

図-17 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といえる。

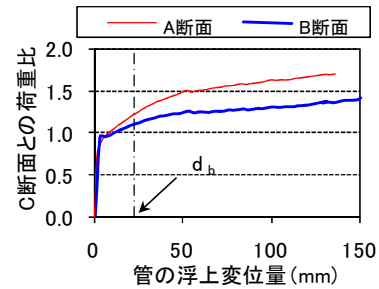


図17 C断面との補正計測荷重履歴

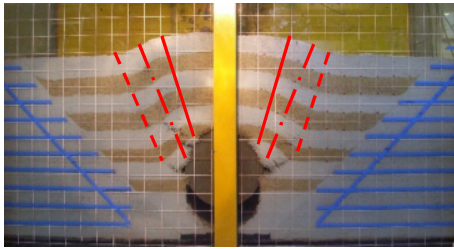


写真7 試験終了時の状況(C断面)

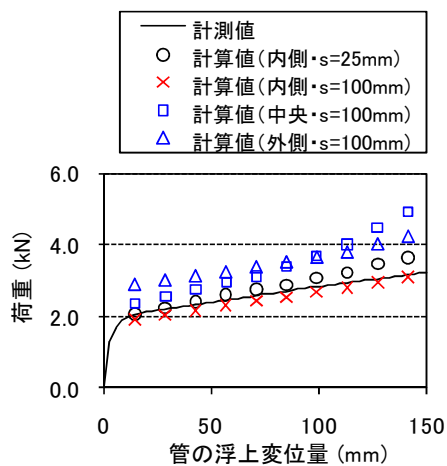


図15 荷重と浮上変位量の関係(C断面)

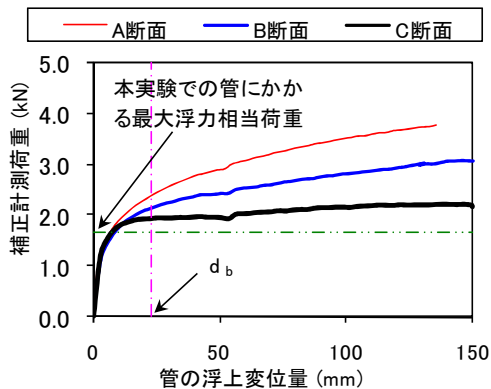
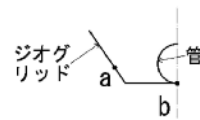


図16 荷重履歴

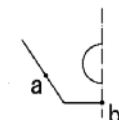
5.3.2 沈下抑制効果

上載荷重の増加過程におけるジオグリッドの発生ひずみの変化を図-18 に示す。基床材を施工せずジオグリッドのみを施工した D 断面では、上載荷重の増加に伴うジオグリッドの発生ひずみは小さく、ジオグリッドと基床材を組み合わせた E 断面では、上載荷重の増加とともにジオグリッドの水平部、斜面部に引張ひずみが増加する傾向が認められる。

このような、上載荷重増加に伴う管体沈下過程におけるジオグリッドのひずみ発生状況からみて、D 断面は沈下抑制効果が低い、E 断面は基床材による荷重分散効果とジオグリッドの引張力によって沈下抑制効果が発揮されるものと考えられる。



(D断面)



(E断面)

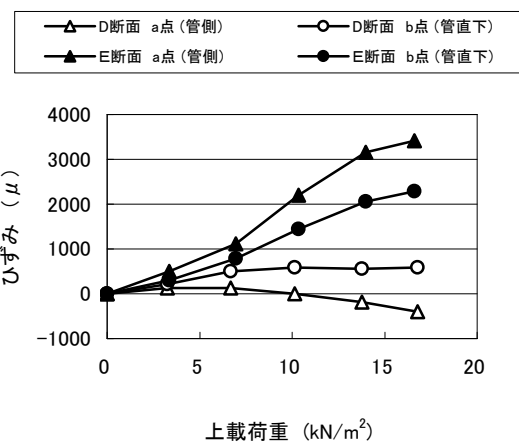


図-18 上載荷重とジオグリッドに発生するひずみ

次に、上載荷重が約 17 kN/m^2 の段階でのジオグリッドに発生したひずみ分布を図-19 に示す。

D 断面では、管直下付近に若干の引張ひずみが発生している領域がみられるが、ジオグリッドの水平部では管から離れるにしたがい引張ひずみが減少し、圧縮ひずみに移行している。また、ジオグリッドの斜面部は全て圧縮ひずみが発生しており、ジオグリッドの端部に近づくほどその値は大きくなる傾向にある。

一方、E 断面ではジオグリッドの水平部、斜面部ともに全て引張ひずみが発生しており、水平部では管直下で最大の引張ひずみが発生し、管から離れるにしたがい引張ひずみが減少している。また、斜面部では、管底高さ付近で最大の引張ひずみが発生している。

このことから、ジオグリッドを敷設したパイプラインでは、基床材施工の有無によりジオグリッドに発生するひずみには差があり、基床材を施工した断面の方が、基床材を施工しない断面に比べてジオグリッドには大きな引張ひずみが発生することがわかる。

図-20 のようにジオグリッドの微小要素を考えると、その左右端に作用する引張力（引張ひずみに比例）の差が、土から作用する摩擦力であると考えられる。すなわち、図-19 の着色部に相当するジオグリッドでは、ジオグリッドを斜め上に支持する摩擦力が作用していると考えられる。

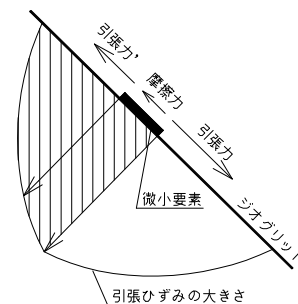


図-20 ジオグリッドの微小要素に作用する力

荷重の2割程度を見込むことができ、管頂高さのジオグリッドがないタイプの断面では1割程度を見込むことができることがわかった。

また、ジオグリッドを不同沈下対策に用いる場合には、管とジオグリッドの間に基床材を設けることにより不同沈下抑制効果がより大きく発揮されることがわかった。

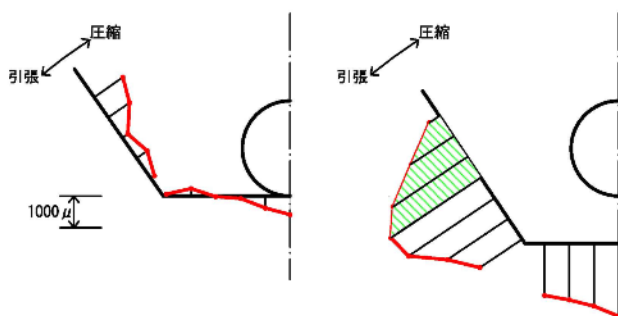
これらの知見は、ジオグリッドを用いた経済的な管路の断面設計に活用することができる。

6. まとめ

研究では、北海道の寒冷な条件を反映させた農業水利施設の構造機能評価診断方法、および老朽化した農業水利施設の補修・改修技術を開発する。今年度までに次のような成果を得た。

老朽化した水利施設の機能診断方法に関する研究では、北海道内の老朽頭首工の劣化状況調査および冬期間に頭首工おかれる温度環境の計測を行った。調査の結果、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。また、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試験の条件設定に用いることができ、凍結融解回数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。

また、開水路の表面補修工法の開発に関しては、ウレタン樹脂系材料、セメントモルタル系材料、FRPM板の計3種類の素材を対象にして、平成18年に行った表面補修工法の試験施工について目視調査等を継続している。各材料とも概ね良好な状態を維持して



(D 断面での 16.8 kN/m^2 時) (E 断面での 16.6 kN/m^2 時)

図-19 D・E断面のひずみ発生状況図

5.4 小括

泥炭等の高圧縮性土における埋設管の浮上抑制機構の解明を目的として高圧縮性模擬土を使用して土槽実験を行った結果、ジオグリッドの有効上載荷重増加割合は、管頂高さでジオグリッドを結合する標準的なタイプの断面ではジオグリッドがない断面の

いる。また、ウレタン樹脂系材料を劣化部除去面に直接塗布する工法が最も大きな付着強さを生じていた。積雪寒冷地の施工時および供用後の条件等を想定した室内試験では、低温で養生したことによる付着強さの大きな低下はみられず、ウレタン樹脂系では被覆材表面側からの水分供給による凍結融解作用の影響も小さかった。今後は背面側からの水分供給を想定した試験が必要と考えられる。なお、今年度から表面被覆材塗布後の粗度係数を測定するための前段階として、老朽水路の粗度係数測定のための水理実験を開始した。

頭首工の表面補修工法の開発に関しては、各種補修工法の積雪寒冷地における適用性評価のため、補修供試体の暴露試験を行った。被覆材の塗布面は、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。約1年経過後までの観察結果では、細かいひび割れがみられたものがあったが、その後のひび割れの進展はみられなかった。今後は水中部を想定した試験も必要と考えられる。積雪寒冷地における補修工法の選定では、現地で曝される環境要因を考慮した適用性の検証が必要と考えられる。

さらに、特殊土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を行った。その結果、ジオグリッドの有効上載荷重増加割合は、管頂高さでジオグリッドを結合する標準的なタイプの断面では、ジオグリッドがない断面の荷重の2割程度、管頂高さのジオグリッドがないタイプの断面では1割程度を見込むことができることが判った。また、ジオグリッドを不同沈下対策に用いる場合には、管とジオグリッドの間に基床材を設けることにより不同沈下抑制効果はより発揮されることが判った。

平成21年度には、寒冷地における頭首工および開水路の表面被覆補修工法の適用性評価を行うための試験の継続および試験施工区間における継続調査により、寒冷地での補修工法の適用性を評価するためのデータの蓄積を図るとともに、寒冷地における頭首工の機能診断手法については、平成20年度までの成果を補足する調査・実験を行い、手法としてとりまとめる。

参考文献

- 1) 長谷川寿夫・藤原忠司：凍害、技報堂出版、p.41、1988
- 2) 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
- 3) 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水利施設の表面温度と凍結融解回数、第52回北海道開発技術研究発表会、2009
- 4) 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 - ウレタン樹脂系表面被覆材の事例 -、寒地土木研究所月報（印刷中）
- 5) 佐藤智・横木淳一・中村和正・小野寺康浩：低温養生および凍結融解作用が表面被覆後の付着強さに与える影響、第57回農業農村工学会北海道支部研究発表会講演集、pp.26-29、2008
- 6) 佐藤智：農業水利施設の補修技術および補修後の変状、技術協第79号、pp.10-13、2008
- 7) 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
- 8) 佐藤大輔・田頭秀和・中村和正：泥炭の力学特性を模擬した実験用試料の作製の一例、寒地土木研究所月報、第637号、pp.44-47、2006

STRUCTURAL SAFETY REQUIREMENTS FOR AGRICULTURAL WATER FACILITIES AND TECHNOLOGICAL DEVELOPMENTS TO IMPROVE THE DURABILITY OF THOSE FACILITIES

Abstract : In a study of functional diagnostic methods for obsolete water facilities, the deterioration conditions of different parts of head works and the temperatures to which agricultural water facilities are exposed in winter were examined. The results suggested that functional diagnosis for concrete agricultural water facilities should consider water conditions, the difference in the daily range of surface temperatures, the number of freeze-thaw cycles and other factors for different parts of the structure.

Concerning the development of surface repair methods for open channels, observations and surveys were conducted in field test sections using three different surface coating/repair materials (urethane resin, cement mortar and FRPM board). Laboratory tests were also conducted on the bond strength of urethane resin and cement mortar in an environment simulating the construction and other conditions of a cold region. After two winters and two irrigation periods had passed, the conditions were generally good for all repair methods. The laboratory test results revealed that, when freeze-thaw cycles were repeated with applying moisture from the surface of the urethane resin, the deterioration in bond strength was insignificant. It is considered necessary to conduct tests by supplying moisture from the reverse side in the future.

Concerning the development of surface repair methods for head works, measurement of strain and other factors was conducted by exposing specimens treated with the repair materials to an outdoor environment. The results revealed significant variations in strain on the repaired surfaces of south-facing specimens. While fine cracks were found in some materials, no significant change was observed in others. It is necessary to conduct further tests under water and at the water line where head works are typically located.

Furthermore, concerning economical design technology for water pipelines in peat and other special soil regions, earth-tank and other experiments were conducted to clarify the mechanism of inhibiting the floating and settling of buried pipes using geogrids. Concerning the mechanism behind floating inhibition, the rate of increase in the effective overburden load was estimated to be around 20% for the standard-type cross section where geogrids were connected at the height of the pipe top, and 10% for the type without geogrids at the height of the pipe top (compared with the type without geogrids). It was also found that a cross section in which foundation material was placed on geogrids was more effective in inhibiting the settling of pipes than a section where only geogrids were installed.

Key words : head works, open channel, surface coating repair method, peat, buried pipe, geogrid