

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・受託研究費

研究期間：平 18～平 22

担当チーム：水利基盤チーム

研究担当者：中村和正、小野寺康浩、池田 司、
佐藤 智、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冬期間にさらされる温度を調査した。日射をうけるコンクリートの南面の表面温度は、0℃を挟んで10℃前後まで上昇した。劣化状況の調査では、融雪水が停滞、通過する箇所や、隅角部において凍害によるひびわれや、断面欠損が生じていた。それゆえ、農業水利施設におけるコンクリート構造物の機能診断や補修工法の適用性の評価を行う場合、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。

また、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種の工法を用いて試験施工を実施し、現地適応性検証のための観測・調査を継続している。冬期間と通水期間を1期ずつ経過した時点では、目地部周辺に若干の変状がみられたが、各補修工法とも概ね良好に経過している。観測を継続している表面温度および表面補修部の発生ひずみの経時変化については、今後、補修材の耐久性試験の試験条件を設定に使用するほか、積雪寒冷条件に適した補修工法の検討を行うための基礎的なデータとして利用する。

さらに、泥炭等の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の解明のために土槽実験と一面せん断試験を行った。実験では、3種類の断面（管頂高さでジオグリッドを結合する標準的なタイプ、管頂高さのジオグリッドがないタイプ、ジオグリッドがないタイプ）を設定し、地盤試料は高圧縮性模擬土を使用した。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。

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がなされる必要がある。

平成 18 年度は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、老朽化した水利施設（頭首工）の劣化状況調査および表面温度観測を行い、平成 19 年度はこれらを継続したほか、老朽頭首工の補修後の

状況調査を行った。

また、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開始した。

さらに、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、管水路の浮上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や一面せん断試験により検討した。

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頭首工の場合、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頭首工のコンクリート表面温度などを調査した。

2.2 調査概要

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状況調査を府県での事例を含めて行った。

2.2.2 表面温度観測

積雪寒冷地の老朽頭首工に対する劣化予測や各種の補修・改修技術の適用性を評価するためには、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。

平成18年度までの老朽頭首工の劣化状況調査の結果、コンクリート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、劣化予測や補修技術の適用性評価では、部位ごとの温度環境の違いを考慮する必要がある。平成18年度より、道内2箇所の老朽頭首工において方位面や地形条件を勘案して表面温度の観測を開始した。平成19年度は、積雪量の多寡や地域性を考慮して、さらに2箇所の老朽頭首工を観測対象に追加した。

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、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）。



写真-1 堰柱部の凍害ひびわれ

水中部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、凍結部と非凍結部が隣接している箇所（写真-2）では、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をおこす。このように、きつ水部においては気温の変化のほか、水位変動によっても凍結融解が生じている。



写真-2 きつ水部の凍結状況

2.3.2 補修後の状況

写真-3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、補修後においても経過観察が必要と考えられる。



写真-3 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週間における南面、北面の表面温度と外気温の温度変化を図-1に示す。外気温は、 -10°C 程度まで低下し、日最高気温も最大で 2°C 程度であるが、日射を受ける南面では 0°C をはさんで 10°C 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。

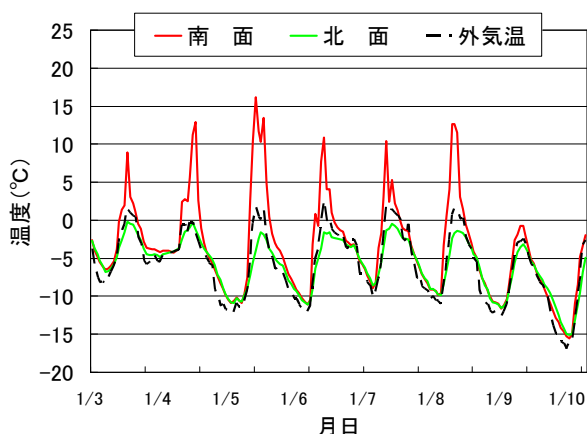


図-1 冬期における頭首工の表面温度と外気温の変化

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、単年度あたりの凍結融解回数を試算した。この試算では、最低温度が -5°C を下回ると著しい凍害を受けること、また、最低温度の保持時間の凍害に対する影響は小さいことなど¹⁾を考慮して、 -6°C で凍結、 0°C で融解と仮定し凍結融解回数を求めた（図-2）。

凍結融解回数は、A、B頭首工ともに南面で最も多く、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25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さらされる凍結融解環境は異なる。

図-1に示したような表面温度の変化の幅は、補修を行う場合に躯体と補修材の熱膨張の差による剥がれに対する耐久性の検討に用いる。図-2に示した凍結融解回数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ほか、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。

2.4 小括

老朽化した頭首工を対象に、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を行った。

コンクリートの凍害による劣化は、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、冬期間の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面の差を考慮するためのデータに用いることができる。

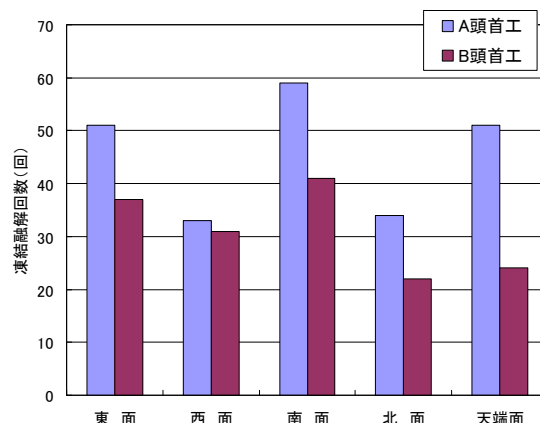


図-2 各壁面における凍結融解回数

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・現地調査を行った。

3.2 表面被覆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、モルタル系素材、FRPM板の計3種類の素材を対象にした試験施工を行い、現地検証を開始した。試験実施地は、北海道北部に位置する高さ2m×幅6m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-3に、冬期間の試験施工区間の状況を写真-4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)表面被覆材の付着力（ウレタン樹脂系、モルタル系）

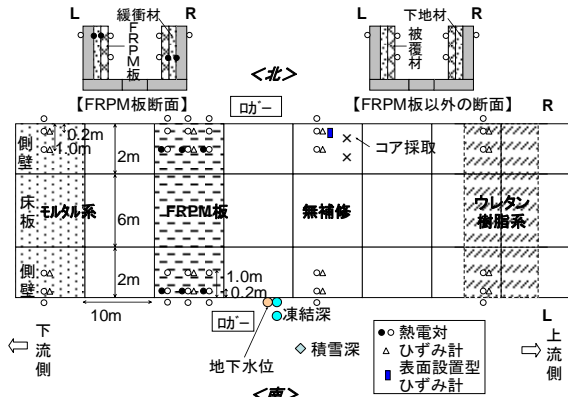


図-3 観測機器の配置



写真-4 試験施工区間における冬の観測状況

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 年の融雪後と落水後に目視調査(写真-5)を行った結果は次のとおりである。

- (1)平成 19 年の融雪後
各工法とも変状は認められなかった。
- (2)平成 19 年の落水後
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。



写真-5 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

表面被覆補修材料の温度変化は、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、毎日のように0℃をはさむ温度変化を繰り返していた(図-4)。また、補修表面の発生ひずみは、ウレタン樹脂系素材の日変動が大きく(図-5)、モルタル系素材の日変動は小さい結果となった。ウレタン樹脂系素材は日射等の熱による素材の伸縮性が大きいことが考えられる^{2),3)}。

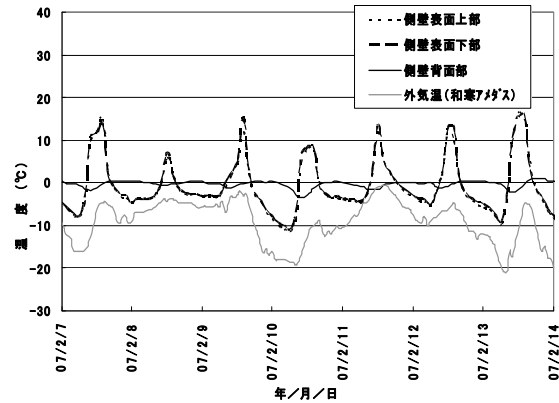


図-4 南面における温度経過

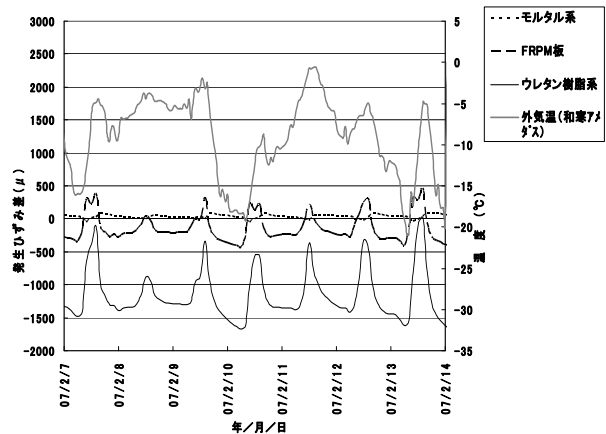


図-5 南面における発生ひずみ

水路側壁間の距離は各補修工法とも冬期間に1cm程度の減少がみられ、融雪期を迎えると回復した(図-6)。側壁背面部では冬期間を通じ凍結しており、凍上が水路側壁間距離の減少の主な原因と考えられる。

なお、表面被覆材の付着力試験結果については、データを蓄積させた後報告する。

表面温度および発生ひずみ等の経時変化については、積雪寒冷地の気象条件を模した補修材の耐久性試験の条件設定に使用するほか、目視調査で不具合が発生した際の原因の検討に用い、積雪寒冷条件に適した補修工法の検討を行うための基礎的なデータとして利用する。

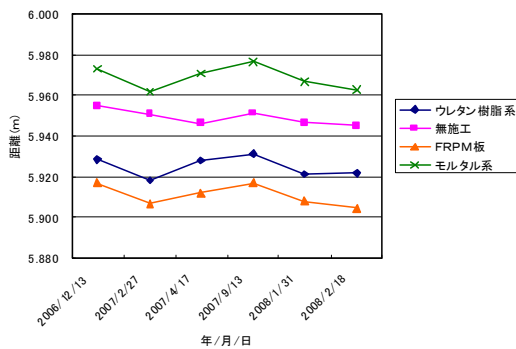


図-6 水路側壁間距離の推移

3.3 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4)にとりまとめている。



写真-6 現地調査状況

3.4 小括

老朽化したコンクリート開水路の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開始した。

冬期間と通水期間を1期ずつ経過した時点では、各補修工法とも目地部周辺に若干の変状がみられたが、概ね良好に経過している。現地での補修表面温度等の観測結果は、補修材料の適用性評価の試験条件に反映するほか、変状等が発生した際の原因推定に用いる。

4. 特殊土地帯における管水路の経済的設計技術の開発

4.1 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。高地下水時

と埋設管の空虚時が重なると発生する危険のある管の浮上への低コストな対策として、ジオグリッドを用いた埋設工法の普及が進んでいる。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、詳細な土槽実験を実施し、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。

4.2 方法

4.2.1 模型断面と測定項目の概要

土槽実験は、図-7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。地盤試料には模擬土を使用し、所定の乾燥密度(0.70g/cm³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0.1mm/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。

なお、模擬土は、泥炭が有する物性のバラツキの大きさを排除して高圧縮性土の力学特性の安定した再現性を得るためにカオリンと裁断したコピー用紙(4×40mm)と水を重量比16:4:7で配合して練り混ぜたものを所定の密度($\rho_d=0.70\text{g/cm}^3$)に締め固めて人工的に作製した試料である⁵⁾。

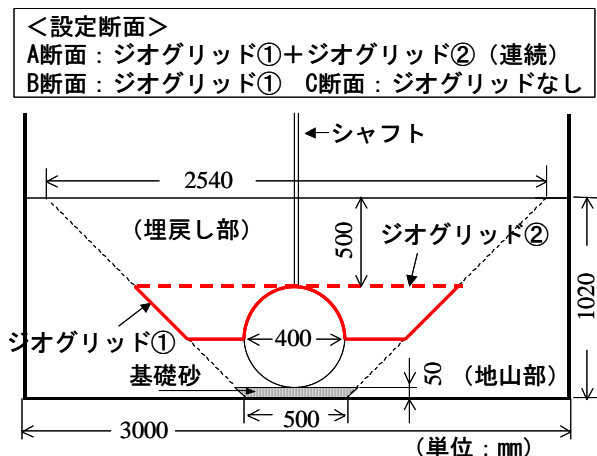


図-7 模型断面図

4.2.2 一面せん断試験の概要

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15×15×高さ6.5cmで、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。

4.3 結果と考察

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-8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-9)。

図-10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)、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-11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⁵⁾参照)。各sにおけるせん断応力は、図-8と図-9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に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る。

図-12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閾値(図中の d_b)と見なすこととした。

図-13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。

設計上でスベリ面を傾斜タイプとして取り扱うかどうかについては、経済性と、傾斜角度の設定方法の

信頼性との両観点から検討する必要があるであろう。

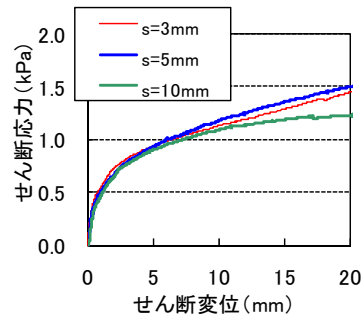


図-8 一面せん断試験結果(0°)

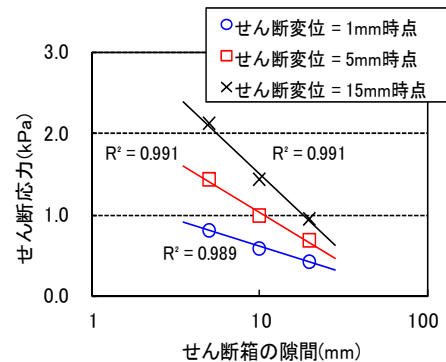


図-9 せん断箱の隙間の影響(90°)

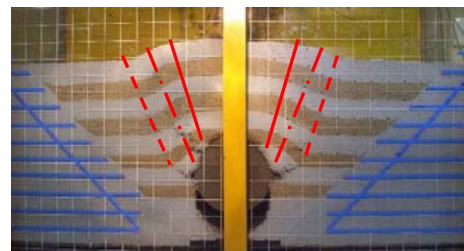


図-10 試験終了時の状況(C断面)

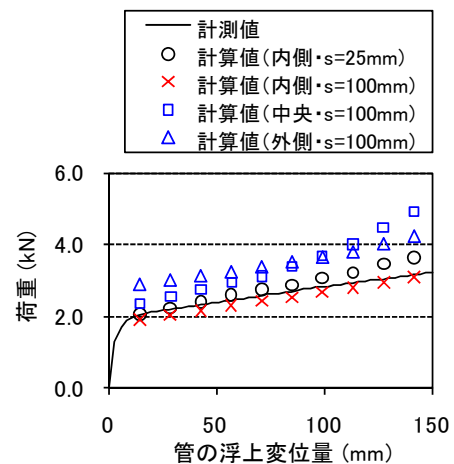


図-11 荷重と浮上変位量の関係(C断面)

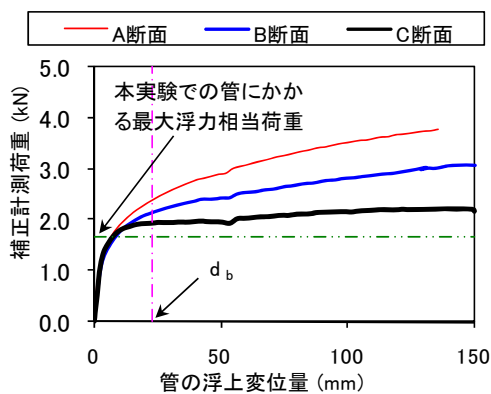


図12 荷重履歴

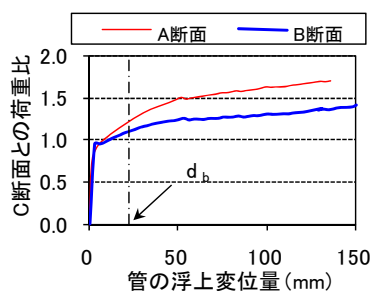


図13 C断面との補正計測荷重履比履歴

4.4 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判った。

次年度は、泥炭を用いた土槽実験による検証を行い、高圧縮性地盤における埋設管の浅埋設工法の設計手法の提案を行う。

5. まとめ

本研究では、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。今年度は、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、結氷と融解の発生頻度の高い部位で劣化が生じやすい傾向が認められた。また、各方位の日射等の環境条件には差違があることから、冬期間の表面温度

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面の差を考慮するためのデータとすることができる。

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を継続している。一部に変状はみられるものの概ね良好な状態を維持している。

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の解明のために土槽実験と一面せん断試験を行った。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。

平成20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応性評価を行うための室内試験の実施および試験施工区間における継続調査により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および管路の経済的設計手法の開発については、平成19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) 佐藤智・横木淳一・中村和正・小野寺康浩・田頭秀和・佐藤大輔・秦哲・草薙忍：積雪寒冷地の老朽農業用水路の補修技術に関する実験的検討、農業農村工学会北海道支部研究発表会講演集、pp. 20-25、2007
- 3) 佐藤智・田頭秀和・佐藤大輔・中村和正・横木淳一・小野寺康浩：農業用水路の寒冷地型補修工法の試験施工について、寒地技術シンポジウム寒地技術論文・報告集、pp. 259-262、2007
- 4) 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
- 5) 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
- 6) 田頭秀和・佐藤大輔・中村和正・池田司：高圧縮性地盤における埋設管の浮上抵抗力の評価、農業農村工学会北海道支部研究発表会講演集、pp. 44-49、2007

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

Abstract : In the study of functional diagnostic methods for obsolete water facilities, the temperature to which different parts of head works are exposed in winter and the deterioration conditions of such parts were examined. The temperature of the sunlit southern surface of concrete rose from sub-zero to around 10°C. In the study of deterioration conditions, cracks and cross-sectional defects were found at corners and sections where snowmelt accumulated or passed through. It was thus suggested that functional diagnosis and applicability evaluation of repair methods for a concrete structure at an agricultural water facility should consider the difference in the daily range of water conditions and surface temperature, 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, test construction was conducted in November 2006 using three different techniques, and observations and surveys have since been ongoing to verify their field adaptability. While deformation began to appear mainly around the joints after one winter and one flow examination period had passed, no significant damage was observed for any of the repair methods. The surface temperature and temporal changes in the cracking of parts where surface repair was applied have been observed to provide data for future use in setting conditions for repair material durability tests. Such data will also be used for analysis when failure is found by visual inspection, and as basic data for considering repair methods suitable for cold, snowy conditions.

Furthermore, concerning economical design technology for water pipelines in problem soil regions, such as peat lands, an earth-tank experiment and box shear tests were conducted to clarify the mechanism of inhibiting the floating of buried pipes installed in highly-compressible soil by the shallow-cover method. In the experiment, three types of cross section (a standard type where geogrids are connected at the height of the pipe top, a type without geogrids at the height of the pipe top and a type with no geogrids at all) were set, and highly-compressible stimulant soil was used. From the results, 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 with no geogrids.

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