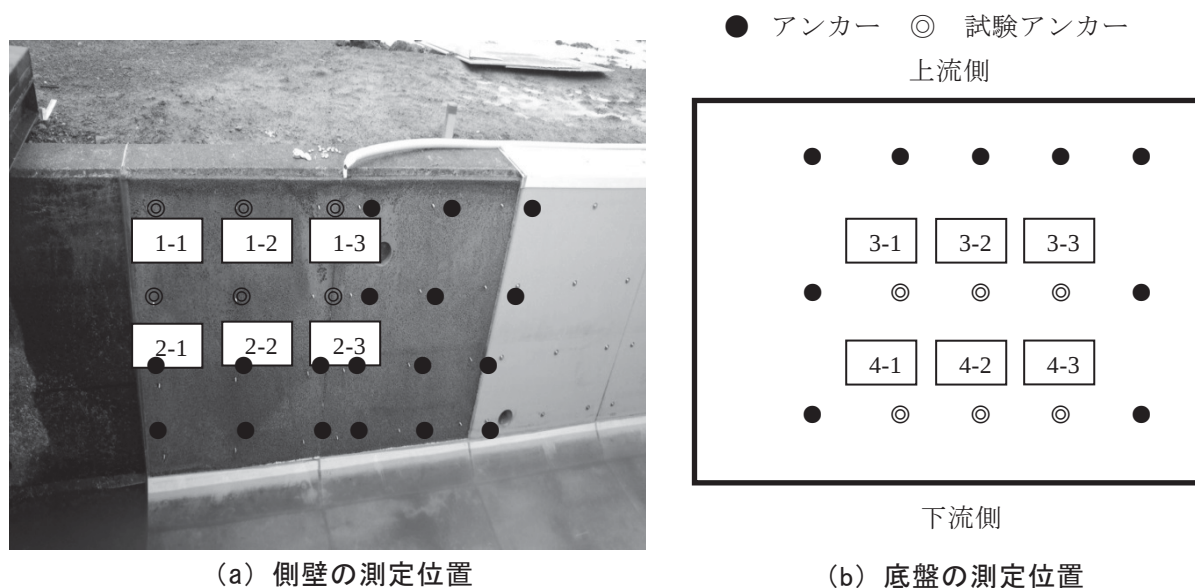


リューム（内面高さ 1,510mm，内面幅 1,800mm，側壁厚さ 260mm，以下，N 水路）において，約半年が経過した 2015 年 4 月に，側壁および底版においてアンカー引抜試験を実施した結果を示す。試験位置図を図（7）－3 に示す。アンカー埋込深さは 6cm である。ここで，側壁においては，2-1 と 2-3 は反力板無しで測定，その他は反力板有りで測定している。また，底版の全ては反力板無しで測定している。



図（7）－3 アンカー引抜試験の位置図

試験結果を表（7）－3 に示す。FRPM 板の固定に必要な引抜荷重は 7.6kN であることから，側壁および底版の両方とも十分に FRPM 板を固定できていることがわかる。

このように，躯体に埋込まれたアンカーは，FRPM 板を躯体に固定するのが第一の役割であるが，一方で躯体のモニタリングにも利用することができる。アンカー引抜き試験後は，FRPM 板の再設置のために新たな位置に金属拡張アンカーを打ち込み，そのアンカーが次のモニタリングで使われることになる。

表（7）－3 アンカー引抜試験による最大引抜荷重（kN）

|            | 側壁上段  |       |       |       | 側壁中段  |       |       |       |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|            | 1-1   | 1-2   | 1-3   | 平均値   | 2-1   | 2-2   | 2-3   | 平均値   |
| 最大引抜荷重（kN） | 16.71 | 12.36 | 10.48 | 13.18 | 16.18 | 11.21 | 11.64 | 13.00 |

|            | 底版中段  |       |       |       | 底版下段  |       |       |       |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|            | 3-1   | 3-2   | 3-3   | 平均値   | 4-1   | 4-2   | 4-3   | 平均値   |
| 最大引抜荷重（kN） | 21.03 | 10.84 | 18.21 | 16.69 | 15.87 | 14.87 | 16.23 | 15.66 |

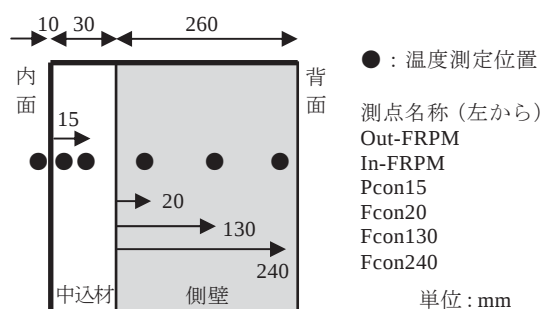
## (7) - 2 水路更生工法の保温性の実測温度に基づく評価

## (7) - 2 - 1 開水路および温度測定の概要

本節では、水路更生工法に要求される保温性を検証するために、本工法を施したコンクリート開水路で測定した実測温度に対して考察を加える。水路更生工法を施したコンクリート開水路は、凍害による劣化が顕著に発生している北海道にある施工後 40～50 年が経過した RC 現場打ちフリューム（内面高さ 1,510mm，内面幅 1,800mm，側壁厚さ 260mm）である。配筋状況やコンクリートの配合などは不明である。本工法による施工は、2014 年 10 月に行われた。施工延長は 1 スパン 9m の内の 6m であり、残り 3m には本工法の性能評価および施工性の比較工法として無機系表面被覆工法（プライマーをエポキシ系としたポリマーセメント工法，被覆厚さ 10mm）を施している。

温度測定は、水路更生工法を施した側壁において、FRPM 板の外側（Out-FRPM）、FRPM 板の内側（In-FRPM）、ポーラスコンクリートの中央 15mm（Pcon15）、側壁内部の表面から 20mm（Fcon20）、130mm（Fcon130）、240mm（Fcon240）および外気温の 7 箇所である。これらの位置はほぼ同じ高さであり、一次元方向の温度分布が把握できるようにしている。温度測定位置を図（7）- 4 に示す。また、無機系表面被覆工法を施した区間においても、同一高さにおける側壁内部の表面から 20mm（Icon20）、130mm（Icon130）、240mm（Icon240）の 3 箇所温度測定を行っている。ここで、側壁内部の温度測定のための熱電対温度計の設置は、まず外径 100mm のコアビットで側壁に孔（削孔径 105mm）を開け、別途作製しておいた熱電対温度計を埋設した円柱形コンクリートテストピースをその孔に差し込むことで行った。このテストピースの作製は、次の要領で行っている。熱電対温度計を所定の位置に配置した直径 100mm×高さ 250mm の円筒形型枠（紙製型枠，ソノールド）内にコンクリートを打設し、温度測定用コンクリートテストピースを作製する。円筒形型枠の内周面には厚さ 4mm のゴム板を設置することで周面からの水分、温度の影響が極力及ばないようにしており、これによりテストピースの上下端の一次元方向の温度分布が把握できるような配慮をしている。打設するコンクリートの配合は、本開水路の施工年を考慮して non-AE コンクリートとし耐凍害性の観点から水セメント比を 55%にしている以外は任意とし、材料はセメントに普通ポルトランドセメント（密度 3.15g/cm<sup>3</sup>），細骨材に鳥取県産陸砂（密度 2.59 g/cm<sup>3</sup>，吸水率 1.59%，粗粒率 1.83），粗骨材に鳥取県産碎石（密度 2.59 g/cm<sup>3</sup>，吸水率 1.62%，粗粒率 6.68）を用いている。スランプは 10.5cm，空気量は 4.5%である。打設後のテストピースは材齢 7 日まで湿布養生を行い、その後は室内で静置して保管し、材齢 25 日目に内周面にゴム板がある紙製型枠のまま現地に設置した。テストピースの設置状況を図（7）- 5 に示す。温度計測は 1 時間に 1 回である。

## (7) - 3 - 2 実測温度の結果および考察

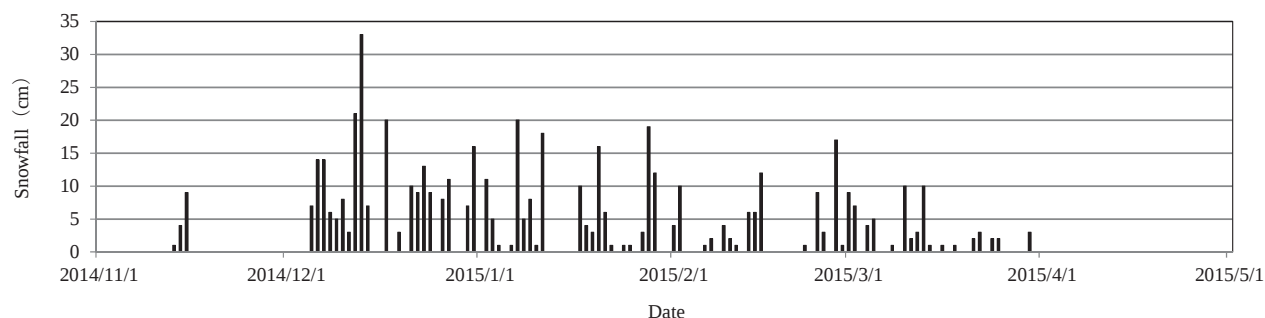


図（7）- 4 水路側壁における温度測定位置

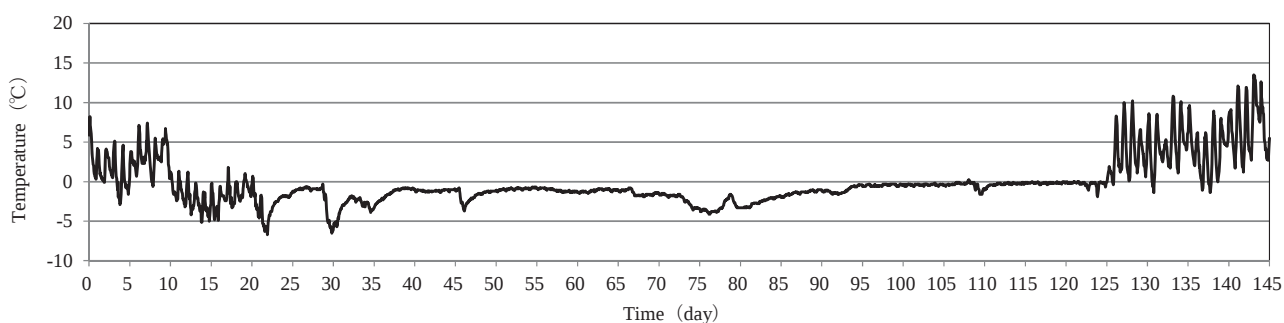


図（7）- 5 テストピースの設置状況

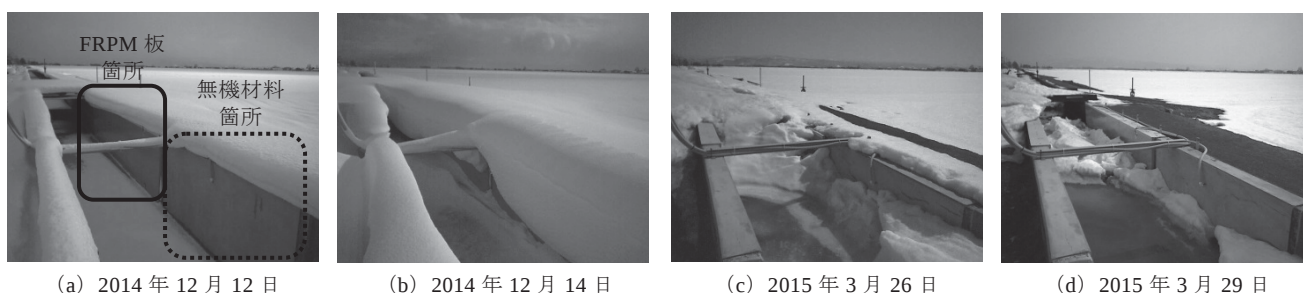
2014 年 11 月 22 日から 2015 年 4 月 16 日までの 145 日間における実測温度の結果を示し、考察を加えることで、水路更生工法の保温性を評価する。



図（7）－6 現地近くのアメダス観測所における降雪量



図（7）－7 外気温の変化



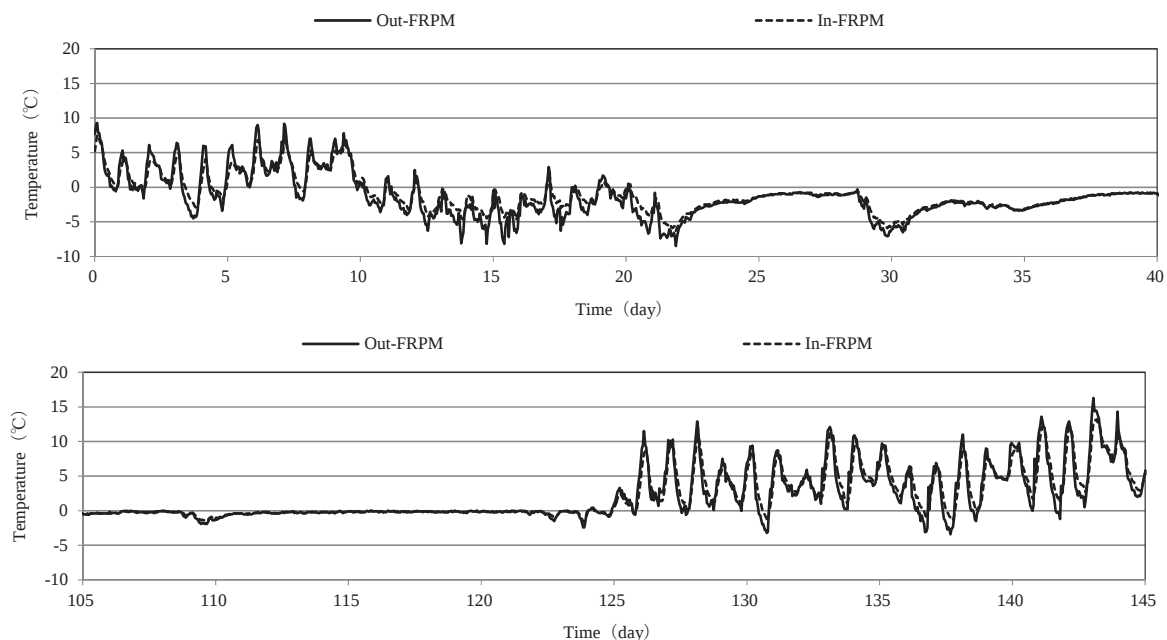
図（7）－8 定点カメラの画像

まず、現地に最も近いアメダス観測所で計測された降雪量を図（7）－6に示す。これからは、2014 年 11 月 22 日が本格的な降雪が始まる前にあたり、降雪は 2015 年 4 月 1 日以降にないことがわかる。

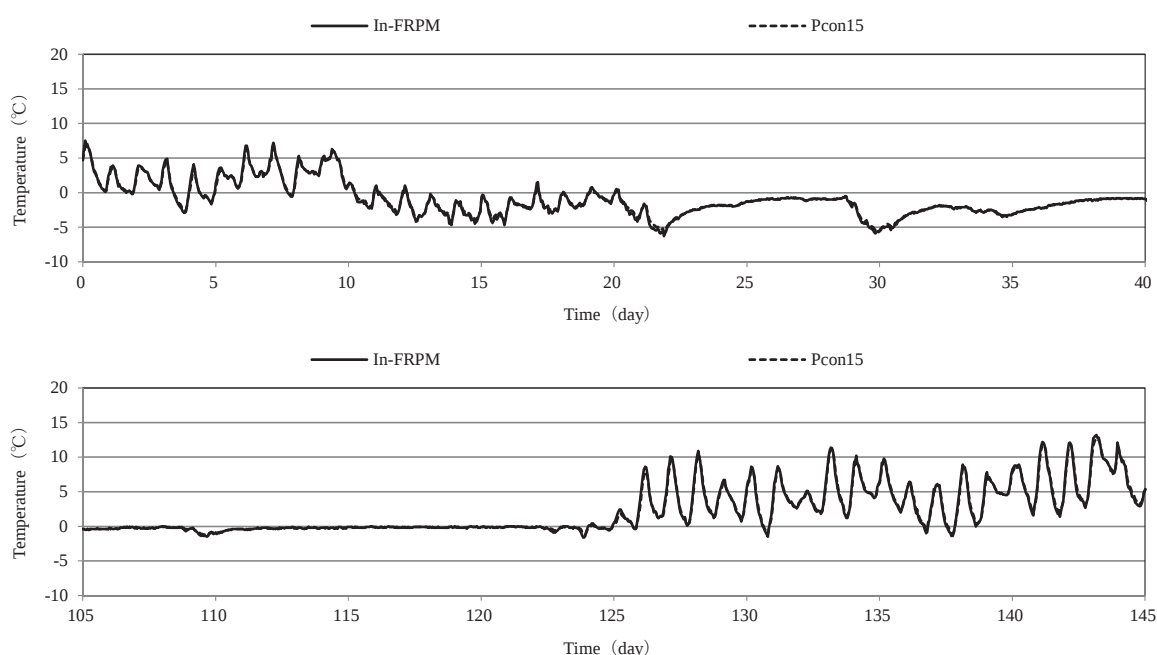
2014 年 11 月 22 日からの経過日数を横軸にして、現地における外気温の変化を図（7）－7に示す。外気温は図（7）－4に示す FRPM 板箇所において測定したものである。図からは経過日数 21 日（2014 年 12 月 13 日）までは気温の日振幅が見られるものの、その後は経過日数 125 日（2015 年 3 月 27 日）まで日振幅が見られず、125 日以降で日振幅が再度見られることがわかる。つまり、経過日数 22 日から 125 日までは、日最高気温と日最低気温ともにマイナスであり、外気温を測定する熱電対温度計が雪に埋もれている状況にあることがわかる。このことは、図（7）－8に示す同時刻（12 時）に撮影した定点カメラの画像からも確認できる。

FRPM 板の外側と内側にあたる Out-FRPM と In-FRPM の温度変化を、両者の差を見やすく示すために、経過日数 0 日（2014 年 11 月 22 日）から 40 日（2015 年 1 月 1 日）までと 105 日（2015 年 3 月 7 日）から 145 日（2015 年 4 月 16 日）の 2 つに分けて図（7）－9に示す。FRPM 板の内側は外側に比べて外気温に伴う温度変化が小さく、気温上昇時には低く、気温

低下時には高く推移していることがわかる。FRPM 板の内外の温度差は最大で  $4.6^{\circ}\text{C}$  あり、このことから FRPM 板によりそれより内部のポーラスコンクリートおよび側壁内部が保温されていることがわかる。また、外気温に日振幅が見られない経過日数 22 日から 125 日までは、FRPM 板の外側と内側はほぼ同じ温度変化をしており、積雪で覆われている期間は、FRPM 板の内外で温度差がほぼ無いことがわかる。



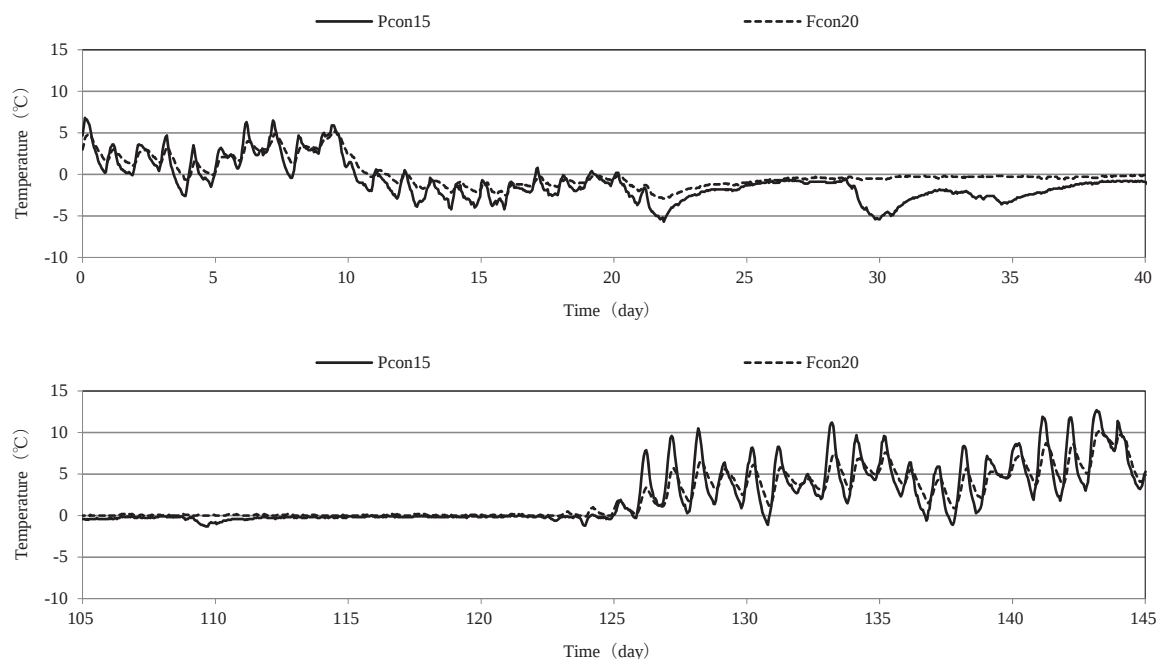
図（7）－9 FRPM 板の外側と内側の温度変化



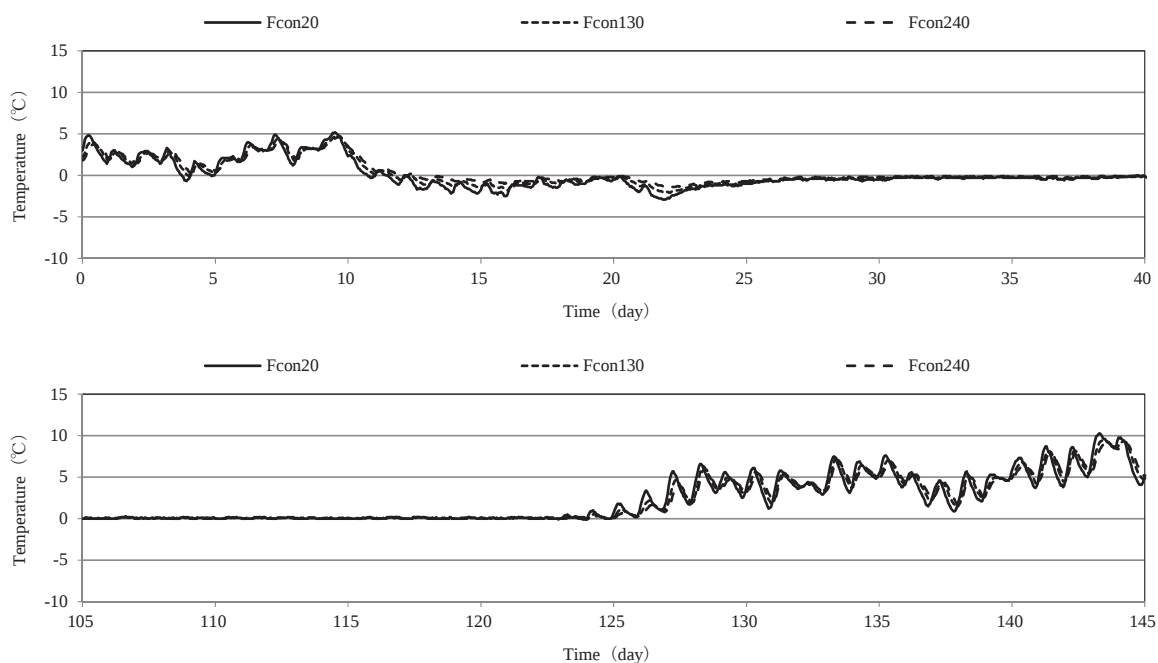
図（7）－10 FRPM 板の内側とポーラスコンクリートの温度変化

FRPM 板の内側の In-FRPM とポーラスコンクリートの中央 15mm にあたる Pcon15 の温度変化を図（7）－10 に示す。両者の間にはほとんど差が見られないことから、ポーラスコンクリート内部は FRPM 板から離れた位置においてもほぼ均一の温度変化をしていることがわかり、ポーラスコンクリートの深さ方向（部材厚方向）に温度勾配がほとんどないことがわかる。一方で、ポーラスコンクリートの中央 15mm にあたる Pcon15 と FRPM 板の位置における側壁内部 20mm にあたる Fcon20 の温度変化を示した図（7）－11 からは、Fcon20 が Pcon15 に比べて日振幅が小さくなっており、側壁内部の温度の変化はポーラスコンクリートよりも小さい。

これは、Pcon15 と Fcon20 の間の 35mm の距離も関係していると考えられるが、図（7）－12 に示す Fcon20 と Fcon130 の距離間 110mm の温度差に比べて Pcon15 と Fcon20 の温度差の方が明らかに大きいことから、異なる材料であるポーラスコンクリートと側壁コンクリートの熱伝導率の違い、両者の境界面における熱伝導が影響していると考えられ、側壁内部の温度変化の緩和にポーラスコンクリートが影響を及ぼしていることが示唆される。

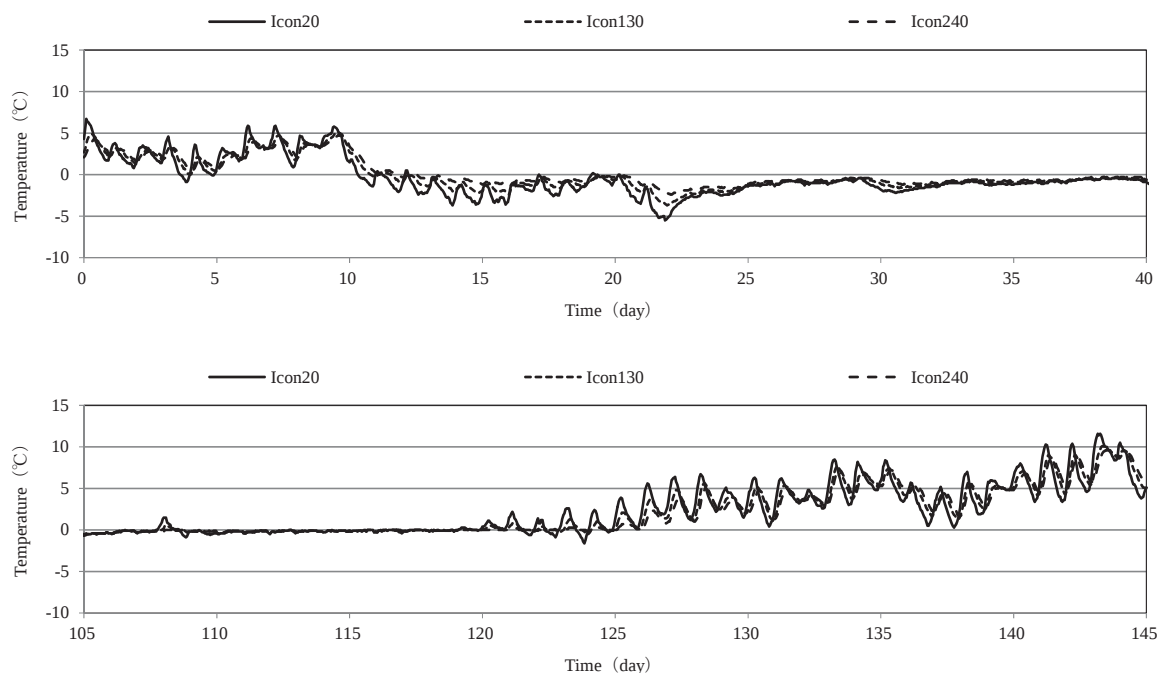


図（７）－１１ ポーラスコンクリートと FRPM 板の位置における側壁内部 20mm の温度変化



図（７）－１２ FRPM 板の位置における側壁内部の温度変化

FRPM 板の位置（以下、FRPM 板箇所）における側壁内部の温度変化を図（７）－１２に、無機系表面被覆工法の位置（以下、無機材料箇所）における側壁内部の温度変化を図（７）－１３に示す。両者ともに外気温に伴う温度変化は、表面側の 20mm が最も大きく、内部になるほど小さくなるのがわかる。ただし、外気温に伴う側壁内部の温度の日振幅は、例えば経過日数 10 日から 25 日の区間や 120 日から 145 日の区間に見られるように、明らかに無機材料箇所に比べて FRPM 板箇所の方が小さく、FRPM 板箇所の方が抑制されていることがわかる。ここで、経過日数 120 日（2015 年 3 月 22 日）から 125 日（2015 年 3 月 27 日）において、FRPM 板箇所には見られない日振幅が無機材料箇所で見られるのは、図（７）－８からも無機材料箇所の積雪が溶けて、無機材料表面が露出しているためである。



図（７）－１３ 無機系表面被覆工法の位置における側壁内部の温度変化

また、側壁内部の温度差は、Fcon20, Fcon130, Fcon240 の線の区別がし難いことからわかるように、無機材料箇所と比べて FRPM 板箇所の方が小さく、表面から 20mm と 240mm の間の温度差は無機材料箇所が最大で 4.3℃であるのに対し、FRPM 板箇所が 2.8℃である。側壁内部の深さ方向（部材厚方向）の温度差は、温度応力の中でも内部拘束応力の発生要因になり、引いては側壁に特徴的な層状ひび割れの発生要因になる（緒方ら，2010）ことから、側壁内部の温度差が小さくなる水路更生工法の方が無機系表面被覆工法よりも側壁内部の凍害劣化を抑制すると考察できる。

以上のことを総括すると、FRPM 板とポーラスコンクリートを用いた水路更生工法は、側壁内部の温度変化の日振幅および温度差の考察結果からも、無機系表面被覆工法に比べて凍害劣化を抑制するための保温性を有していると評価できる。

#### 参考文献

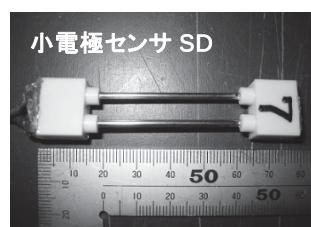
緒方英彦，鈴木哲也，山崎大輔，濱幸雄（2010）：壁状構造物であるコンクリート製開水路の側壁内部の凍害劣化，コンクリート工学年次論文集，32，pp.833-838

### (7) - 3 水路更生工法の水分排出効果のモニタリング

積雪寒冷地のコンクリート開水路では、水路内面および背面から供給される水分により側壁内部の水分が高まることで凍害による劣化が引き起こされる。そのため、積雪寒冷地のコンクリート開水路では、水路内面および背面から供給される水分を効率的に排出し、側壁内部における水分を低下させることが重要である。そこで、本節では、水路更生工法を適用したコンクリート開水路で側壁内部の水分の変化を把握することを目的とし、水分センサである小電極センサ（鎌田ら、1976）およびセラミックセンサ（湯浅ら、1997）を用いてモニタリングした結果を示す。

#### (7) - 3 - 1 試験施工における水分排出効果の確認手法の概要

試験施工において水分排出効果の確認に用いた小電極センサおよびセラミックセンサを図(7) - 1 4および図(7) - 1 5に示す。小電極センサ SD は、平行に配置した直径  $\phi 2\text{mm}$ 、長さ  $40\text{mm}$  のステンレス製埋め込み電極間の抵抗を測ることで、電極間に存在するコンクリートの含水状態を推定するセンサである。一方、セラミックセンサ CR は、乾燥状態では絶縁性、湿潤状態では導電性を示す円筒形のセラミックスの上下面に電極を焼き付け、電極間の抵抗を測ることにより含水状態を推定するセンサである。



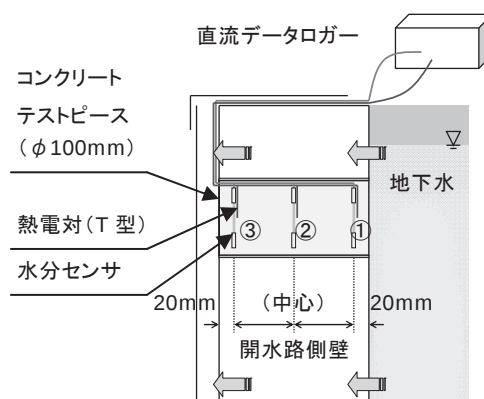
図(7) - 1 4 小電極センサ



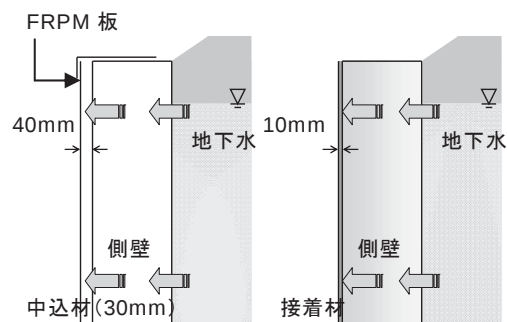
図(7) - 1 5 セラミックセンサ

水分排出効果の確認手法の概要を図(7) - 1 6に示す。本モニタリングでは、水分センサは熱電対とともにコンクリートテストピース内にあらかじめ埋め込み、これを開水路側壁のコア削孔跡に取り付けることにより設置した。水分センサおよび熱電対は、1 測点当たり、背面部①、中心部②、内面部③の計 3 箇所に設置した。なお、テストピースの側面はゴム材で被覆し、水分侵入は側壁の背面および内面からのみとした。

本モニタリングの試行対象工法は、前述の水路更生工法および無機系被覆工法である。各工法の概要を図(7) - 1 7に示す。水路更生工法 K では、側壁の内面に透水性に優れる中込材が配置され、躯体内部からの水分の排出が可能である（石神ら、2015）。一方、無機系被覆工法 M では、内面に樹脂系接着材が施され、水分の排出が抑制される。本モニタリングにおける試行箇所の水路更生工法の適用前の概況を図(7) - 1 8に示す。測点は、水路更生工法 K では 2 測点（SD：1 測点，CR：1 測点）を、無機系被覆工法 M では 1 測点（CR：1 測点）を設けた。本モニタリングでは、水分センサおよび熱電対を設置した後、試行対象工法をそれぞれ施工し、施工後の水分および温度の経時変化を記録した。



図(7) - 1 6 確認手法の概要



(水路更生工法 K) (無機系被覆工法 M)

図(7) - 1 7 試行対象工法の概要