

積雪寒冷地における表面被覆工法が施工されたコンクリート開水路側壁の内部温度の推定

Estimating the Internal Temperature of the Side wall of a Concrete Open Channel where the Surface Covering Method was Applied in a Cold Region with Snow

○長島繁男 石神暁郎 大久保天

NAGASHIMA Shigeo, ISHIGAMI Akio, OHKUBO Takashi

1. はじめに

積雪寒冷地におけるコンクリート開水路の劣化予測を行う上で、凍害発生の要因であるコンクリート開水路の内部温度を把握することは重要である。しかし、表面被覆工法が施工されたコンクリート開水路の温度変化は、自然条件に支配されており非定常であることおよび表面被覆材の熱的性質が把握されていないことから、その手法は一般化されていない。本研究は、表面被覆材の熱伝導率、比熱および密度を把握し、表面被覆工法が施工されたコンクリート開水路側壁の内部温度の推定式を提案するとともに、北海道内の供用中の水路に設置した試験体から実測した温度と推定式から得られた結果との比較を行い推定式の適応性を検証することを目的とする。

2. 温度解析の概要

積雪寒冷地におけるコンクリート開水路では、積雪層が深い地表面および開水路の天端は、外気温や日射の影響は小さく熱の出入りは大きく遮断される。このため、温度解析に用いる基礎方程式は、開水路の通水面側の表面を熱伝達境界、表面以外を断熱境界とする式(1)で示す一次元非定常熱伝導方程式にて解析を行うこととした。式(1)の基礎方程式を解くにあたっては、表面温度を境界条件とした有限差分法による解法¹⁾を行う。

$$\frac{\partial T(x,t)}{\partial t} = \alpha \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}(x,t) \dots \dots \dots (1)$$

ここに、 T : 温度(°C), t : 時間(s), x : 表面からの深さ(m), α : 材料の熱拡散率($m^2 \cdot s^{-1}$)

3. 実験方法

実験で用いる無機系表面被覆材は、HPFRCC（複数微細ひび割れ型繊維補強セメント複合材料）タイプとPCM（超微粒子高炉スラグ系）タイプの2種類とする。実験は、室内試験と暴露試験の2つで構成されている。室内試験では、無機系表面被覆材の熱伝導率、密度、比熱の測定結果から熱拡散率を求め、式(1)の一次元非定常熱伝導方程式の解で求められる推定式を設定する。暴露試験では、推定式の適用性を検証するため、温度センサを埋め込んだ温度測定用の試験体を供用中の水路に設置し、Fig.1 に示す温度測定箇所にて表面温度および内部温度を測定する。本稿では、2種類の内、PCMタイプについて整理している。

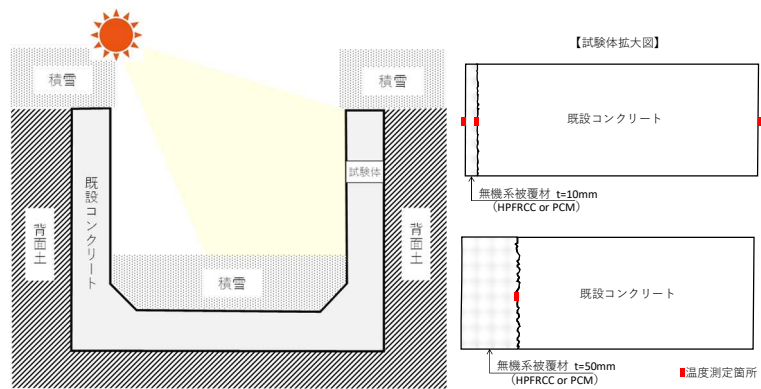


Fig.1 温度測定箇所
Temperature measurement point

国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所 Civil Engineering Research Institute for Cold Region, PWRI
コンクリート開水路、表面被覆材、凍害劣化予測、非定常熱伝導解析

Table 1 に温度解析に用いる PCM (超微粒子高炉スラグ系) の諸係数を示す。熱拡散率を算定するための熱伝導率および密度は実測値を用いる。また、比熱は、熱伝導率測定装置において熱伝導率と熱浸透率の関係から算出された値を用いる。既設コンクリートの熱拡散率は、コンクリートの温度解析で一般的に用いられる $0.83 \times 10^{-6} \text{m}^2/\text{s}^2$ とする。初期温度は、

項目	単位	値
熱拡散率	m^2/s	0.72×10^{-6}
熱伝導率	$\text{W}/\text{m} \cdot \text{K}$	1.323
密度	kg/m^3	2,143
比熱	$\text{kJ}/\text{kg} \cdot \text{K}$	852
初期温度	$^{\circ}\text{C}$	-2.1

Table 1 温度解析に用いる PCM の諸係数
PCM parameters used for temperature analysis

4. 結果および考察

本稿では、Fig.2 に PCM の深さ 50mm の 2021 年 12 月 28 日～2022 年 3 月 28 日の実測温度と解析温度の経時変化を示す。実測値と解析値の誤差は平均 1°C 以内であり、測定機器の精度が $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ であることから実測値と解析値はよく対応しているように見える。しかし、最大で 3.4°C の誤差があり、現時点では適用性が十分とは言えない。また、Fig.3 に PCM の深さ 10mm、深さ 50mm の実測温度と解析温度の関係を示す。深さ 10mm では、1 次関数の傾きは 1 に近く実測値と解析値の相関は高い。深さ 50mm では、1 次関数の傾きが 1 より大きく、推定式の適応性は深さ 10mm よりも低いことが分かった。

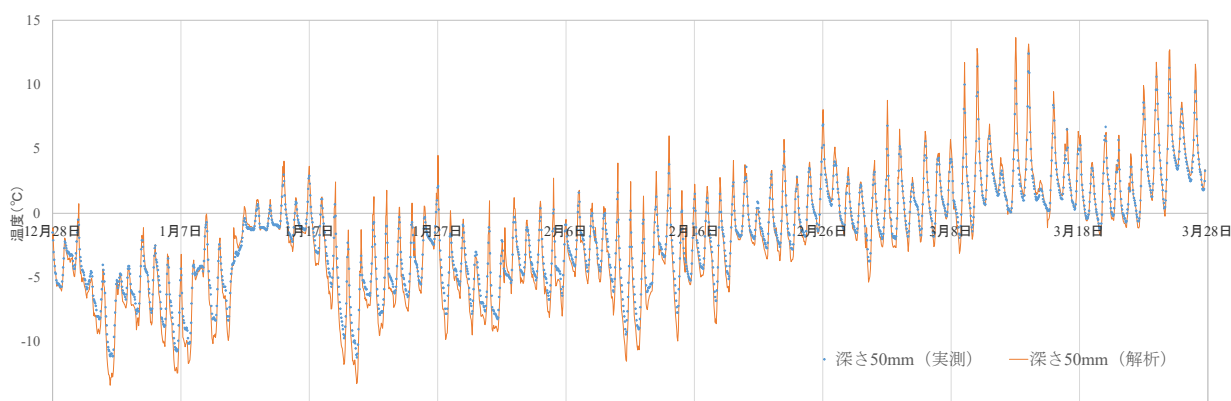


Fig.2 実測温度と解析温度の経時変化
Changes in measured temperature and analysis temperature over time

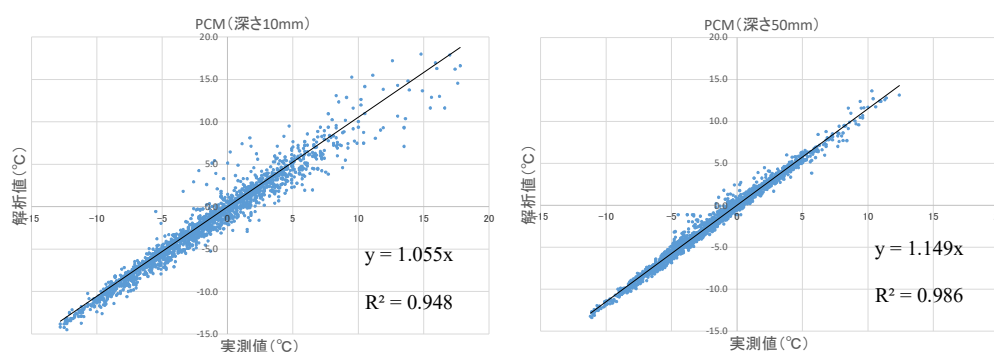


Fig.3 実測温度と解析温度の関係
Relationship between measured temperature and analysis temperature

5. 今後の課題

熱拡散率と関係のあるコンクリートの熱伝導率は一定では無く、コンクリートの温度などにより変動すること³⁾が知られており、無機系表面被覆材についても材料の温度変化により熱伝導率が増加することが考えられる。このため、室内試験により非凍結、凍結および凍結融解の各状態での無機系表面被覆材の温度変化を測定して、状態に応じた推定式の補正を行う。また、冬期間以外での推定式の適応性についても検証を行う。

参考文献

- 1) 伊東章：Excel で気軽に移動現象論，丸善出版，2014.9
- 2) 土木学会：コンクリート標準示方書 [設計編]，pp.44，丸善出版，2017 年制定
- 3) コンクリート工学ハンドブック，朝倉書店，pp.484-485，2009.10