

地中熱を利用したRPC・コンクリート複合パネルの融雪実験

太平洋セメント(株)中央研究所 正会員 ○小幡浩之 正会員 田中敏嗣

福井大学工学部 竹内正紀 福井県雪対策・建設技術研究所 正会員 宮本重信

1. はじめに

近年、環境負荷低減の観点から自然エネルギーである地中熱を利用した融雪システムの開発¹⁾が進められている。一方、200N/mm²クラスの圧縮強度を発現する Reactive Powder Concrete（以下、RPC）が開発²⁾され、実構造物等への適用が期待されている。本研究では、比較的到低温熱である地中熱を利用して高熱出力可能な融雪パネルの開発を目的として、RPC を用いた PCa 融雪パネルの融雪実験を行い、その適用性について検討を行った。

2. 融雪実験の概要

(1) RPC・コンクリート複合パネル： 試作した融雪パネルは、融雪面をRPC、基層部をコンクリートとした複合コンクリートパネル（以下、複合パネル）とした（図-1（a））。RPC の高強度・高耐久かつ高伝熱性の特徴（表-1）を活かし、従来の融雪パネルよりも放熱管を浅い位置に埋設することによって高熱出力化を図った。放熱管は10A水道用亜鉛メッキ鋼管を使用し、融雪面の外側の放熱管入口から中心に向かって150mm ピッチ、中心に達した後で再び外側に向かい融雪面出口より地中熱杭に戻されるように渦状に配した（図-1（c））。また、融雪運転中のパネル内部の挙動を把握するために、熱電対、測温抵抗体およびヒートセンサを図-1（a）（b）に示す位置に設置した。

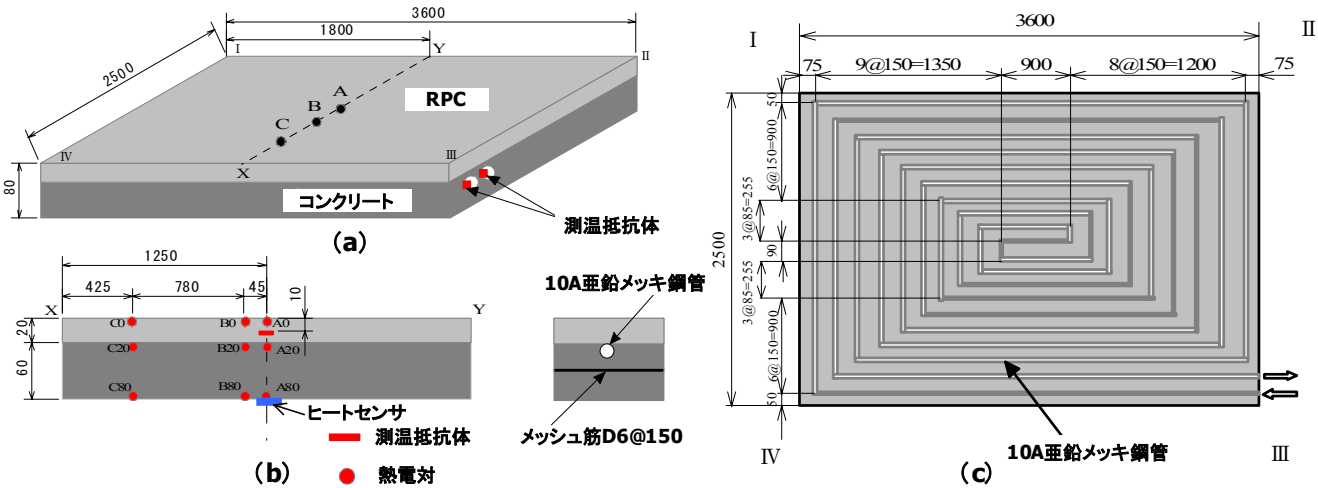


図-1 複合コンクリートパネル形状寸法、放熱管設置位置およびセンサ設置位置

(2) 融雪運転： 融雪実験は、福井市内で実施した。複合パネルの6箇所に台座を設けて地表より43cmの位置に据付け、地中熱杭と連結させた。使用した地中熱杭は、コンクリート製の外径450mm、内径310mm、全長11mを連結した全長22mとした。

融雪運転は、パネル上に積雪が行われるとセンサが感知してシーケンス制御でポンプが作動し、杭内に蓄えられた温かい水が放熱管へ送られ、融雪が行われるシステムである。シーケンス制御は、降雪センサが積雪を感知した後、RPC 中心に設置した測温抵抗体（以下、RPC 中心温度）が1.5℃以下になったらポンプを運転させ、その後、RPC 中心温度が2.0℃以上になったら積雪はないと判断してポンプ運転を停止させた。このポンプ運転停止条件は、放熱管からの熱で融雪面の温度が上がり始めるのが2.0℃程度であることから決定した。

表-1 物性値の比較²⁾

	RPC	普通コンクリート
圧縮強度(MPa)	~210	~36
曲げ強度(MPa)	~45	~5
熱伝導率(W/mK)	2.31	1.2~1.8
乾燥収縮(μ)	50	600~800
凍結融解抵抗性(%) ^{*1)}	100	95
耐摩耗性(mm) ^{*2)}	1	8

*1: JIS A 6204付属書2「コンクリートの凍結融解試験方法」に準拠

*2: ASTM-C-779に準拠

キーワード：融雪、地中熱、融雪パネル、RPC、数値解析

〒285-8655 千葉県佐倉市大作 2-4-2 TEL 043-498-3852 FAX 043-498-3849

3. 融雪実験の結果

融雪実験は、2004 年 1～2 月末までの約 2 ヶ月間で実施した。ここでは、1 月 23～1 月 25 日を例に挙げ、複合パネルの挙動について述べる（図-2）。この期間の天候は、21 日から断続的に雪が降り続け、24 日の 11 時には福井市での積雪の深さが 50cm に達するほどまとまった降雪があった期間である。

図-2 (a) に融雪の面温度の変化を示す。融雪面の温度が 0℃付近で横ばいになっている図中①～④は、複合パネル上に残雪があり断続的に融雪運転が行われた区間である。本研究の融雪

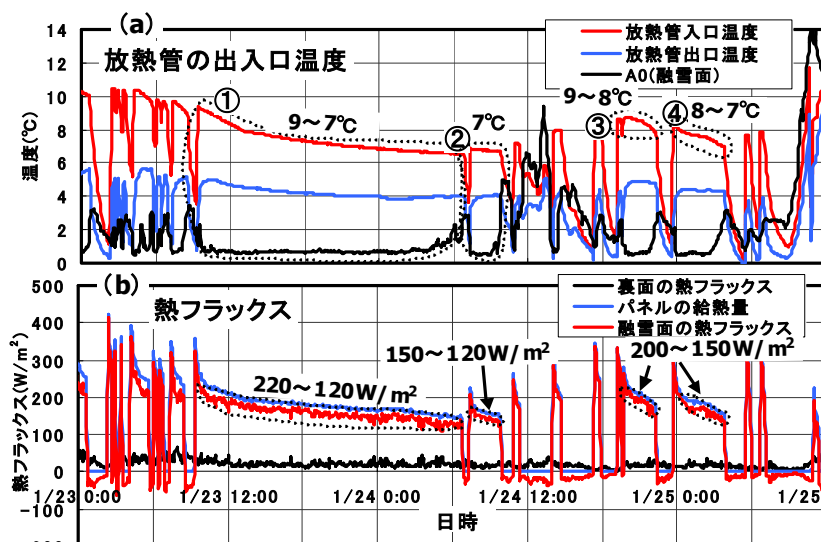


図-2 パネル温度と熱フラックスの経時変化

運転では、気温、地中からの水の温度が経時変化するために完全な定常状態とはならないが、図示した①～④では温度変化が小さいので定常状態として取扱えると仮定し、融雪面の熱フラックスの算出を行った。融雪面の熱フラックスは、パネル出入口の温度差、流量、比熱および密度からパネルに伝熱した給熱量を求め、パネル裏面に設置したヒートセンサによって計測した裏面の熱フラックスを差引くことによって算出した。その結果、7～9℃の投入温度で 120～220W/m²の熱フラックスの出力となった（図-2 (b)）。

4. 数値解析による融雪能力の評価： 複合パネルの融雪能力を評価するために、数値シミュレーション³⁾を行った。本解析手法は、地上気象観測原簿データを基に解析を行うことを特徴とし、地中熱杭と融雪パネルを同時に取扱えることに加え、融雪面の残雪の状況もシミュレーション可能な数値解析モデルである。

福井市の気象アメダスデータを用いた解析結果を行った結果、PRC 中心温度の計測結果と解析結果は概ね一致することから（図-3 (a)）、本複合パネルにおいても、その適用性が確認された。図-3 (b)、(c) は、最大残雪深さ、平均残雪深さの経時変化であり、両図の差が小さいほど均質に融雪が行われていることを意味する。本研究での複合パネルの仕様（かぶり 20mm ピッチ 150mm）では比較的大きな残雪深さの差が生じる結果であり、実際の融雪状況において同様の傾向が認められた。そこで、放熱管のピッチを 90mm として解析を行った結果、残雪深さの差は小さく、均質に融雪できることが認められた。また、ピッチを 90mm の場合は、かぶりを 50mm とした従来型の RC パネルよりも融雪時間が約 24 時間短縮され、融雪能力に優れることが示唆されたが（図-3 (b)）、今後、かぶりとピッチの最適化について検討する必要がある。

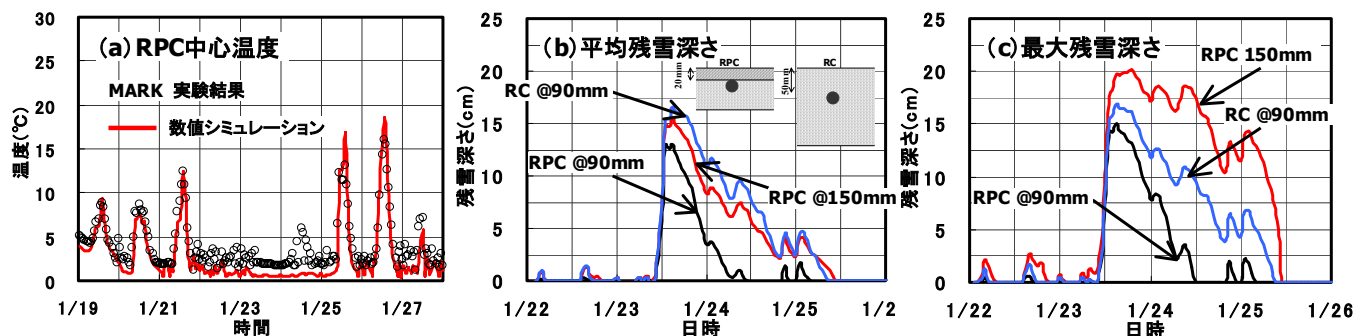


図-3 気象アメダスデータを用いた数値シミュレーション

参考文献

- 例えば、宮本重信、長谷川義則：橋梁での基礎杭利用地中熱融雪の設計と施工，研究所年報，地域技術第 14 号，2001.7
- 下山善秀，鶴澤正美：ダクトル(Ductal®)の特性と応用分野，太平洋セメント研究報告，第 142 号，pp55-62，2002
- 竹内正紀，他 3 名：基礎くい利用地熱融雪法の開発と数値シミュレーション，空気調和・衛生工学会論文集，52 巻，pp59-69，1993