

凍結融解によるコンクリート水平ひび割れ発生の再現実験

Freeze-thaw experiment for reproducing horizontal cracks in concrete

北海道大学工学部

北海道大学工学院工学研究院

北海道大学大学院工学研究院

○学生員

正 員

正 員

赤坂 健太 (Kenta Akasaka)

鄧 朋儒 (Pengru Deng)

松本 高志 (Takashi Matsumoto)

1. はじめに

橋梁 RC 床版の内部に層状の水平ひび割れが発生することで、耐久性が低下することが知られている¹⁾。水平ひび割れは凍害が原因と推測されている。積雪寒冷地では、RC 床版が内部に侵入した水の凍結融解作用の繰り返しによって損傷を起こしている。このとき内部に層状のひび割れが形成されることが分かっており、凍結融解試験によって再現、評価が行われている^{2), 3)}。通常の凍結融解試験は、冷凍庫内で空気による冷却と水没させることで加温を行う。この手法では、大きな供試体でも対応可能である反面、供試体全体の凍結融解に長時間を要する。

そこで、本研究では小規模の円柱コンクリート供試体に対して、ペルチェ素子を用いて冷却および加熱を行い、凍結融解作用による水平ひび割れの発生の再現について検討することを目的とする。ペルチェ素子を用いる本手法は温度境界条件を細かく調整できることと、急速に冷却加熱が繰り返せることを利点とし、小規模供試体でもあるため従来手法に比べて短時間で供試体内部に凍結融解条件を与えることができる。

2. 再現実験

2.1 実験概要

林田は水平ひび割れの生成に関して以下のことを報告しており、本研究も参考にしている²⁾。

- 1) RC 床版は外気の影響を受け、床版の上面が先に凍結し、床版内部に未凍結層が生じていた。
- 2) 床版内部の未凍結層が遅れて凍結する際にアイスレンズが形成され、アイスレンズが表層を押し上げてひび割れを発生させている。

本研究ではコンクリート表層が先に凍結し、内部が遅れて凍結することで形成されたアイスレンズによって水平ひび割れが発生するとの仮説により、再現実験を行う。

供試体のひび割れは供試体側面4方向からの撮影と打音試験で評価する。

2.2 供試体

再現実験に使用した円柱供試体の寸法を、図-1 に示す。直径 36mm、高さ 50mm とし、実験中に供試体の内部の温度を測定および制御するために、供試体の上部、中央部、下部の中心部に熱電対を埋め込み、コンクリートを打設した。養生は少なくとも 14 日間の水中養生とした。まずは予備的検討として短期間でひび割れを再現するため、水セメント比は 0.8 とした。ブリーディングの影響を考慮して打設面を上とした供試体“0.8-A”

と打設面を下とした供試体“0.8-B”を用意した。供試体の表面は湿潤な状態とした。なお供試体の水の散逸を防ぐために供試体側面はラップフィルムで封緘した。

2.3 実験方法

図-2 に実験装置を示す。供試体の上面と下面にペルチェ素子を設置し、供試体側面は断熱材で被覆して側面からの熱の移動を遮断した。ペルチェ素子は電流を流すと一方の面が冷却され、反対の面が加熱される特徴を有している。そのため供試体冷却時にはペルチェ素子の供試体と触れていない面を循環水を利用した水枕により冷却した。供試体加熱時には循環水を停止させた。

凍結融解実験では供試体の上面および下面から同時に冷却および加熱を行い、図-3 のように供試体の中央部が凍結過程で -3°C 以下に、融解過程で 3°C 以上になるように温度を制御した。供試体中部が -3°C または 3°C になると同時にペルチェ素子の電流の向きを変え、冷却から加熱または加熱から冷却へと切り替えた。

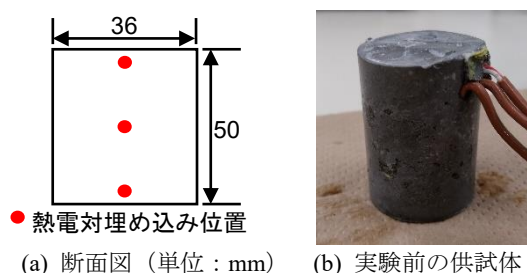


図-1 供試体

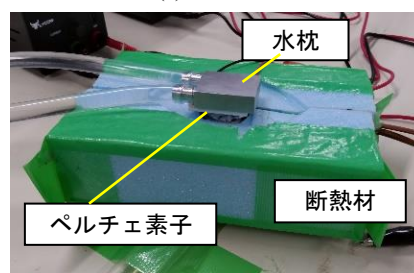
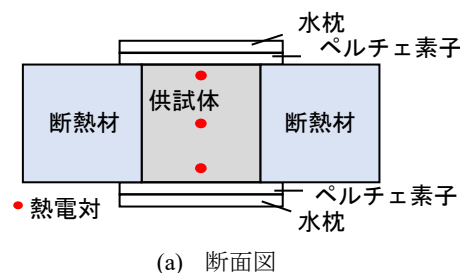
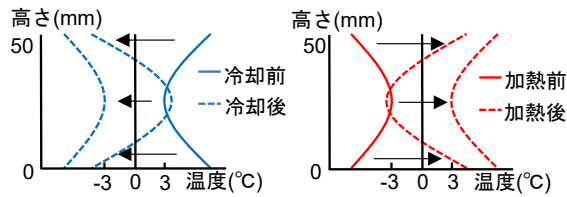


図-2 実験装置



(a) 凍結過程 (b) 融解過程
図-3 供試体の鉛直方向温度勾配の時間変化



(a) 実験前 (b) 100 サイクル後 (c) 125 サイクル後
図-5 供試体 0.8-A の側面の劣化状況

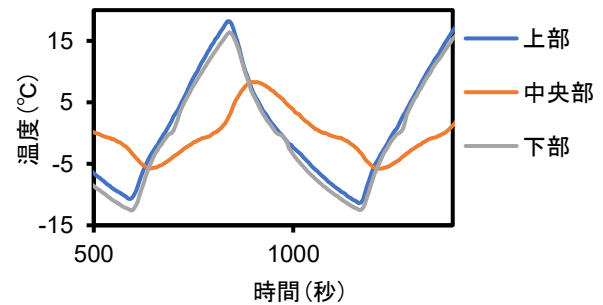


図-4 供試体内部温度の時間変化



(a) 実験前 (b) 125 サイクル後
図-6 供試体 0.8-B の側面の劣化状況

3. 実験結果

3.1 供試体内部の温度変化

図-4 は供試体 0.8-A の各熱電対の 1 サイクルの温度の時間変化を示している。図より、供試体の表層から凍結し遅れて内部が凍結する温度分布を再現することができた。また、凍結融解 1 サイクルの時間はおよそ 600 秒であった。従来の手法であれば、凍結融解 1 サイクルに数時間を要する。したがって、本実験では短時間で凍結融解条件を与えられることが確認された。

3.2 供試体 0.8-A

図-5 に実験前、凍結融解 100 サイクル後及び 125 サイクル後の供試体の側面の劣化状況を示す。100 サイクル後の供試体側面にはスケーリングが見られ、供試体の上部にはひび割れが見られた。125 サイクル後の供試体の中央部にひび割れが見られた。これらのひび割れは供試体内部が遅れて凍結する温度勾配であったことに起因すると考えられる。125 サイクル後の供試体の上部が欠損しているのは凍結融解により脆くなった供試体上部が実験装置から取り外す際に剥がれたためである。

打音試験を実験前と 50 サイクルごとに供試体上面及び側面について行った。実験前及び 50 サイクル後で確認された打音と比較して、100 サイクル後では低く鈍い音が供試体上面及び側面で確認された。打音試験の結果より 100 サイクル後の供試体内部は劣化していると言える。

3.3 供試体 0.8-B

図-6 に実験前及び凍結融解 125 サイクル後の供試体の側面の劣化状況を示す。125 サイクル後の供試体側面にはスケーリングが見られ、供試体上部にはひび割れが見られた。打設面に関係なく実験時の上部にひび割れが見られたことになる。供試体 0.8-A と比較すると供試体 0.8-B では上部の損傷が少ないことが分かる。これは供

試体 0.8-A はブリージングの影響を受けたが供試体 0.8-B はブリージングの影響がないためと考えられる。

打音試験を実験前と 50 サイクルごとに供試体上面及び側面について行った。実験前及び 50 サイクル後で確認された打音と比較して 100 サイクル後では低く鈍い音が供試体上面及び側面で確認された。打音試験の結果より 100 サイクル後の供試体内部は劣化していると言える。

4. まとめ

本研究では、小規模の円柱コンクリート供試体に対して、ペルチェ素子を用いて凍結融解による水平ひび割れ発生の再現について検討した。ペルチェ素子を用いることで従来の手法よりも短時間で凍結融解を再現することができた。凍結融解後の供試体には打設面と関係なく実験時の上部にひび割れが確認された。今後の課題としては、内部ひび割れの確認、温度条件と配合を変えた供試体による再現について検討することが挙げられる。

謝辞

本研究は鹿島学術振興財団の助成によりなされた。ここに謝意を示す。

参考文献

- 1) 林田宏・上田多門：凍害を受けた RC スラブの押し抜きせん断耐力に関する実験的および解析的検討，寒地土木研究所，月報，No.789，2019。
- 2) 林田宏：水平ひび割れの位置や凍害劣化深さの違いが床版の耐力低下に与える影響，寒地土木研究所，月報，No.804，2020。
- 3) 林田宏：疲労と凍害との複合劣化を受ける RC 床版の土砂化メカニズムに関する一考察，土木学会年次学術講演会講演概要集，V-327，pp. 653-654，2018。