

0°C点付近に滞留した水の層間凍結によって生じる床版の水平ひび割れ

(国研) 土木研究所 寒地土木研究所 正会員 ○林田 宏

1. 研究の背景と目的

寒冷地の道路橋床版では深さ方向に多数の水平ひび割れが発生している(写真-1左)。その発生メカニズムを解明することを目的として再現実験を試みた結果、水平ひび割れの再現に成功した(写真-1右)。しかし、再現できた水平ひび割れの本数は「一本」であり、実橋のように「複数本」ではない。そこで、凍結融解試験期間の途中で融解深さを変更することで、複数本の水平ひび割れを再現することを試みた。

2. 実験概要

2.1 スラブ供試体

供試体の形状寸法を図-1に示す。使用したコンクリートの水セメント比は65%で、AE剤は使用していない。

2.2 凍結融解試験

図-1のように、凍結融解試験の前期と後期で融解深さ(0°C点)を変更した。前期は0°C点を深さ40mm、後期は深さ80mmとし、0°C点の温度が-18~0°Cとなるように温度を制御した。冷却・加熱は上面からのみ行い、0°C点より下側は凍結を継続させた。このような条件の下、気中凍結水中融解の条件で、前期は345回、後期は477回の凍結融解作用を与えた。

3. 実験結果

凍結融解試験終了後、供試体からコアを採取し、蛍光エポキシ樹脂注入法によってひび割れ状況の確認を行った結果、写真-2左に示すように、2カ所の0°C点付近で水平ひび割れが発生していた。なお、このコアは凍結させた状態の供試体から乾式で採取したものである。写真-2右は、表面が融解した後のコアの状況である。写真に示すように、水平ひび割れが発生している位置に「水濡れ」が発生している。これは、図-2のように水平ひび割れの中に存在する氷(アイスレンズ)が融解して、コア表面に水濡れとして現れたものである。

4. 0°C点付近で水平ひび割れが発生したメカニズム

2カ所の0°C点付近で水平ひび割れが発生した理由は、上面からの水が0°C点付近に溜まり、その水が層間凍結する過程でアイスレンズが形成され、このアイスレンズが水平ひび割



写真-1 実橋床版(左)と実験供試体(右)の水平ひび割れ

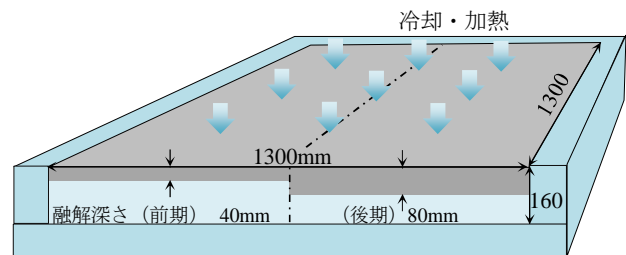


図-1 上面から冷却・加熱、融解深さは前期40mm、後期80mm

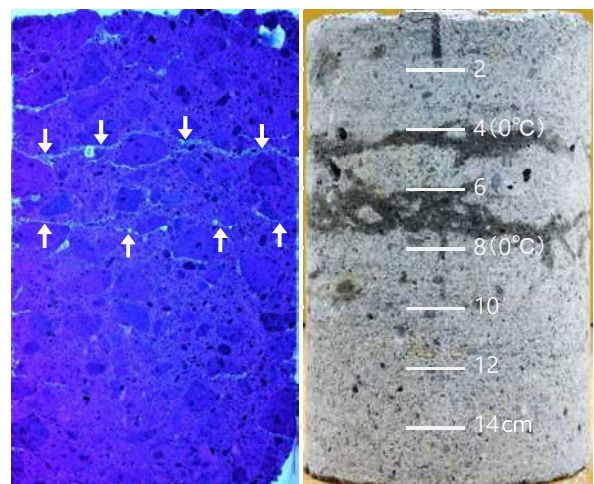


写真-2 0°C点付近で発生した水平ひび割れと水濡れ

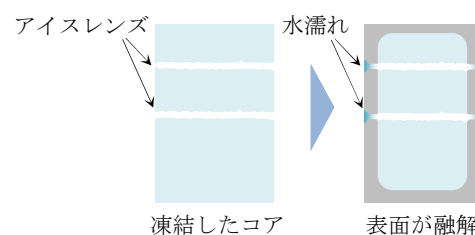


図-2 アイスレンズが溶けてコア表面に水濡れが発生

れの幅を押し広げるからである。次ページに示す図-3は、この過程の概念図である。図-3(a)のように融解行程では上面から水が供給される。その後、図-3(b)のように上面が凍結し始めると、供給された水は下方方向に移動する。これは、図-4に示すように、凍結に伴って細孔内の水は膨張するが、細孔内の容量を超えた分は微細ひび割れを通じて下に移動するため

キーワード 床版、凍害、水平ひび割れ、アイスレンズ、0°C点、水

連絡先 〒062-8602 札幌市豊平区平岸1条3丁目1番34号 耐寒材料チーム TEL011-841-1719

である。その後、図-3(c)のように、さらなる凍結作用によって、水はさらに下に移動し、最終的には 0°C 点付近に溜まる。なぜなら、 0°C 点より下側は凍結が持続しているため、移動してきた水は、それ以上、下方向に進めないからである。このようにして 0°C 点付近に溜まった水も温度の低下とともに凍結するが、上側と下側はすでに凍結しているため、層間凍結が起こる(図-3(d))。この層間凍結によって生じる氷(アイスレンズ)が水平ひび割れの幅を押し広げる。図-5に、より詳細なメカニズムを示す。図-5(a)のように、水平ひび割れの中の水は、凍結時には氷になっている。その後、図-5(b)のように、融解が進むと、氷が水に変化する際の体積収縮に伴って、水平ひび割れの中に空隙が生じる。しかし、その後、上面からの冷却が進むと、図-5(c)のように、上面から移動してきた水が、上記の空隙部分に流入する。その後、さらに冷却が進むと、図-5(d)のように、水平ひび割れの中の水が氷に変化する際の体積膨張に伴って、水平ひび割れが押し広げられる。このようなメカニズムによって、 0°C 点付近に水平ひび割れが形成されたと考えられる。なお、水平ひび割れの始まりは、凍結膨張圧によって細孔周辺で発生する微細ひび割れである。詳細を以下に述べる。図-6(a)のように、細孔内の水が凍結する際の膨張に関して、水平方向の膨張は鉄筋により拘束されるが、鉛直方向の膨張は鉄筋がないため拘束されない。そのため、凍結膨張圧が鉛直方向に卓越し、微細ひび割れが水平方向に発生しやすくなる。また、この凍結膨張圧は、凍結融解作用が繰り返されるたびに発生するため、凍結融解回数の増加とともに、微細ひび割れが水平方向に進展していく。その結果、一定の凍結融解回数に達すると、図-6(b)のように、微細ひび割れが水平方向につながる。さらに、凍結融解が進むと、図-6(c)のように、水平ひび割れが形成される。ただし、この段階では、水平ひび割れの幅はまだ極めて狭い(図-7左)。

しかし、今回の実験では、 0°C 点は一定であるため、その後も、凍結融解によって、図-5の過程が同じ場所で繰り返される。このため、図-7のように、水平ひび割れの幅が徐々に広がっていく。その結果、写真-2のように、 0°C 点付近で水平ひび割れが目視で確認できるような幅まで成長したと考えられる。

参考文献

- 1) 澤松ほか:46年間供用した寒冷地における道路橋RC床版の劣化損傷状況,土木学会第68回年次学術講演会講演概要集, I-414, pp.827-828, 2013.
- 2) 林田宏:凍結融解作用によりRC床版内部に生じる水平ひび割れの再現実験,土木学会第74回年次学術講演概要集(V部門), V-251, 2019.

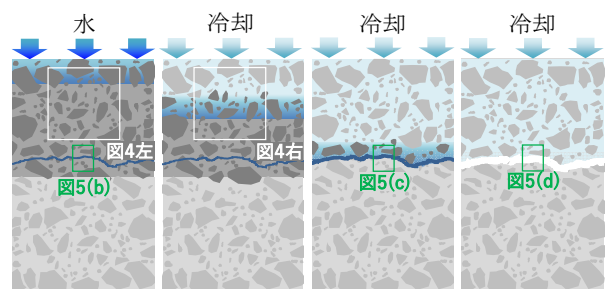


図-3 凍結に伴う水の移動・滞留と 0°C 点での層間凍結

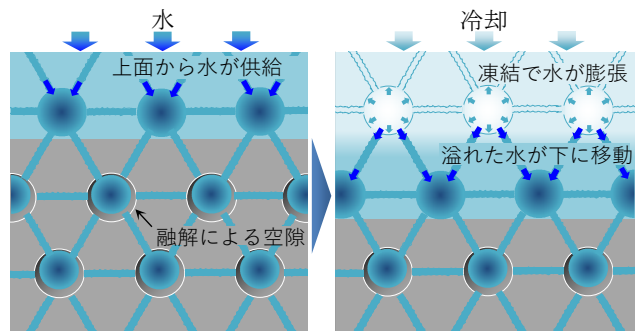


図-4 凍結で膨張した水が微細ひび割れを通じて下に移動

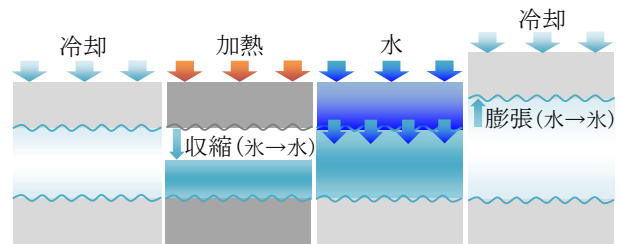


図-5 融解で生じた空隙に流入した水が凍結膨張して幅が拡大

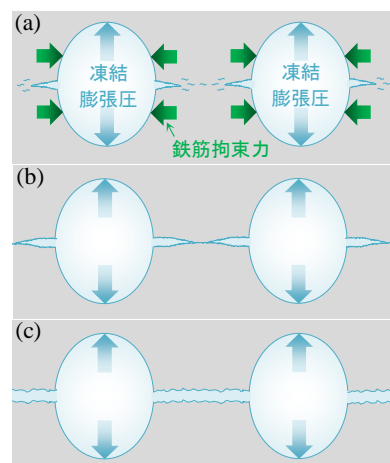


図-6 水平方向の微細ひび割れが水平ひび割れに成長

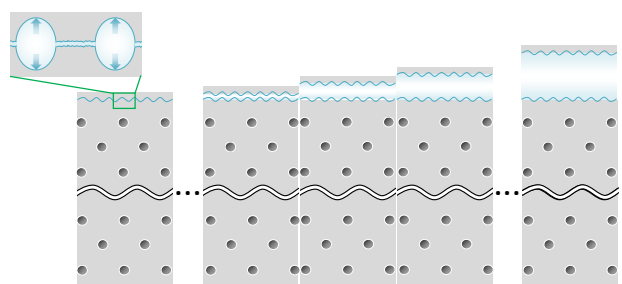


図-7 凍結融解のたびに幅が広がる 0°C 点の水平ひび割れ