

論文

コンクリート系床版の凍害の影響に関する実験的研究

酒井武志*, 久保圭吾**, 白戸義孝***, 角間恒****, 松本高志*****

*修 (工), (一社) 日本橋梁建設協会 (〒105-0003 東京都港区西新橋 1 丁目)

**博 (工), (一社) 日本橋梁建設協会 (〒105-0003 東京都港区西新橋 1 丁目)

*** (国研) 土木研究所 寒地土木研究所 (〒062-8602 札幌市豊平区平岸 1 条 3 丁目)

****博 (工), (国研) 土木研究所 寒地土木研究所 (〒062-8602 札幌市豊平区平岸 1 条 3 丁目)

***** Ph.D., (大) 北海道大学教授, 工学研究院北方圏環境政策工学部門 (〒060-8628 札幌市北区北 13 条西 8 丁目)

凍結融解環境下にある道路橋のコンクリート系床版において, 内部鋼材が凍害に及ぼす影響を把握するため, 鋼材の種類と配置を変えた供試体を用いて凍結融解試験を実施した. また, 同様の環境下の床版が滞水した状況において, 凍結融解作用に加えて輪荷重を繰り返し載荷した場合の床版劣化へ及ぼす影響を把握するため, 凍結融解と定点疲労載荷をサイクルとした試験を実施した. 本論文では, これらの結果について報告する.

キーワード: コンクリート系床版, 凍結融解, 内部鋼材, 輪荷重

1. はじめに

これまで筆者らは, 鋼コンクリート合成床版の耐凍害性を調査することを目的として, 鋼コンクリート合成床版を模擬した供試体による凍結融解試験や拘束条件が異なる凍結融解試験を実施した¹⁾. その結果, 凍結融解によりコンクリート表面から進展したひび割れは, 鉄筋もしくは補強リブに到達すると水平にひび割れが進展する可能性があることがわかった. そこで, コンクリート内部の鋼材が凍結融解によるひび割れ進展に与える影響を把握することを目的として, 鋼材の種類と配置を変えた供試体を用いて凍結融解試験を実施した.

また, 道路橋の床版は, 輪荷重による疲労損傷が生じるが, 床版上面に水が滞水すると浸入した水によるひび割れのすり磨き等により急速に損傷が進行し, これに凍結融解が作用すると床版劣化が加速されることが懸念される. そこで, 凍結融解作用を受ける滞水環境下で, 輪荷重が床版劣化に及ぼす影響を凍結融解—疲労複合

サイクル試験により検討した.

2. コンクリート内部の鋼材の影響

2.1 凍結融解試験の概要

凍結融解試験の供試体は 100mm×100mm×400mm の角柱として, 配合が 24-8-20N (W/C:54.5%) のコンクリートで製作した. 試験ケースとその模式図を, それぞれ

表-1 試験ケース

試験ケース	内部鋼材		水の 影響
	鋼材	かぶり	
Case1	—	—	有
Case2	鋼板	有	無(気中)
Case3	鋼板	有	有
Case4	鋼板	無(端部露出)	有
Case5	鉄筋	有	無(気中)
Case6	鉄筋	有	有
Case7	鉄筋	無(端部露出)	有

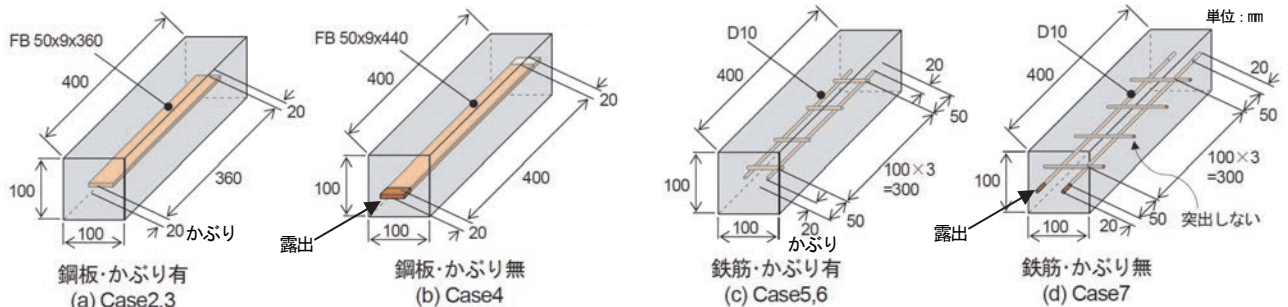


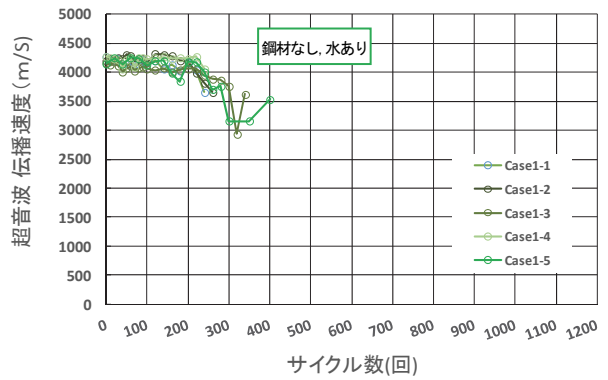
図-1 供試体の模式図

表-1, 図-1 に示す. Case1 はコンクリート内部に鋼材が無い供試体である. コンクリート表面から進展したひび割れが鋼材位置まで貫通した場合と貫通していない場合を模擬して, それぞれ鋼材を供試体先端で露出させたケース (Case4,7) と鋼材端部にかぶり(20mm)を確保したケースの供試体 (Case2,3,5,6) を用意した. コンクリート内部に埋め込んだ鋼材は, 合成床版の補強リブを模擬した板厚 9mm の鋼板と D10 の鉄筋を用いた. また, 水の影響が無い状態の温度変化でコンクリート内部の鋼材がコンクリートに与える影響を確認するため, Case2,5 は気中で凍結融解試験を実施した. 供試体数は各試験ケース 5 本とした. 供試体容器は凍結融解による劣化を促進させるため, 外部拘束力が大きい鋼製容器 (角柱, 120mm×120mm×500mm, t=2mm) を用いた. 供試体容器の内側は, 供試体周囲の水膜の厚さを一定に確保するための突起を取り付けた. 試験方法は JIS A 1148 (A 法) により, 試験途中で供試体が破壊したものを除き 1130 サイクルまで実施した. 超音波伝播速度は 10~50 サイクルごとに計測した.

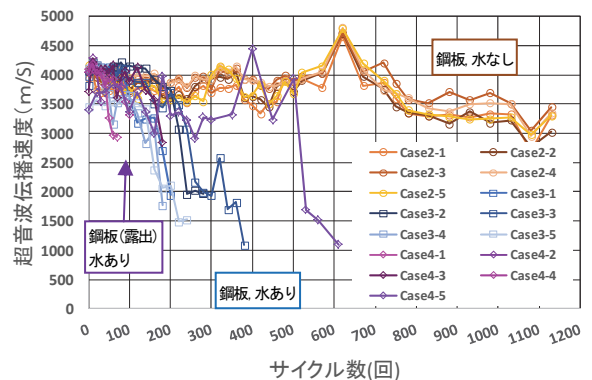
2.2 試験結果及び考察

試験機の容量に制限があり, 各試験ケースを 2 回(枝番 1~3 と 4,5)に分けて凍結融解試験を行った. 図-2 に超音波伝播速度の計測結果を, 写真-1 に各供試体の経時変化および破壊状況を示す. なお, ここではコンクリートの分離や破断を目視で確認した場合を破壊とした.

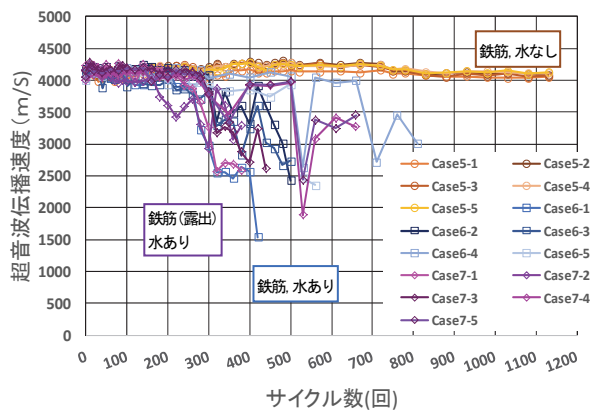
コンクリート内部に鋼材が無い Case1 は, 260~450 サイクルで供試体の中央付近から割裂するように破壊した. 鋼板がコンクリート内部にある場合(Case3,4)は, 鋼板に沿ってひび割れが発生し, それぞれ 200~400, 40~660 サイクルで破壊した. 鋼板を露出した Case4 は, 今回の試験ケースで最も早く破壊 (Case4-5 を除くと 200 サイクルまでに破壊) しており, コンクリートと鋼板の境界部やひび割れから水が浸入することで, 凍害劣化が早まったと考えられる. 一方, 鉄筋がコンクリート内部にある場合(Case6,7)は, 供試体中央付近からスケリングが始まり, それぞれ 440~810, 400~710 サイクルで破壊した. Case1 と比べ破壊に至るまでのサイクル数が



(a) Case1



(b) Case2,3,4



(c) Case5,6,7

図-2 超音波伝播速度

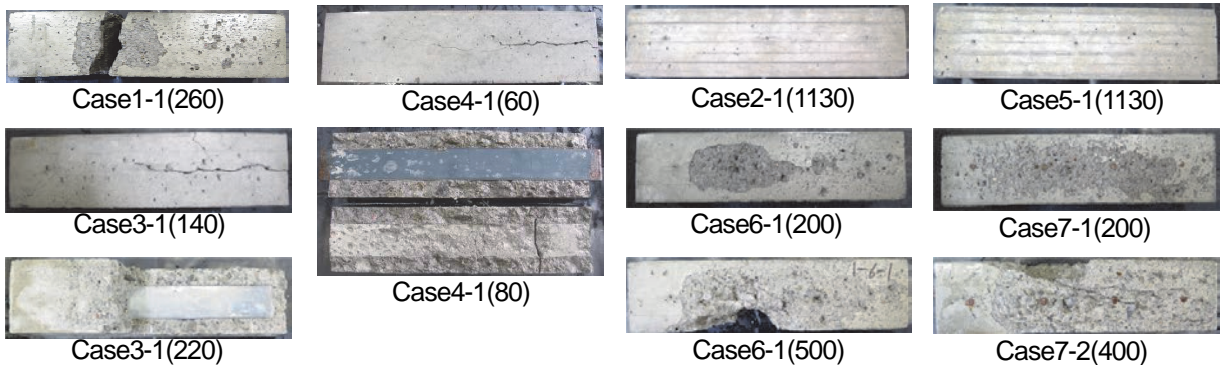


写真-1 供試体の経時変化および破壊状況

※()内はサイクル数

増加したのは、鉄筋の拘束効果によるものと考えられる。なお、鋼板のものと同様に、若干ではあるが鋼材を露出した Case7 の凍害劣化が早くなった。

水の影響が無い場合(Case2,5)では、鋼板及び鉄筋がコンクリート内部に存在しても 1130 サイクルまで超音波伝播速度の大きな低下はなく、供試体にスケーリングやひび割れ等の凍害劣化はみられなかった。気中では供試体に外部拘束力が作用しないうえ、コンクリート内部の水分では凍害劣化が生じないことによるものと考えられる。また、熱伝導率の高い鋼材がコンクリート中にある場合でも、温度変化により鋼材がコンクリートに与える影響はほとんどないと考えられる。

3. 寒冷地の床版上面滞水の影響

3.1 凍結融解—疲労複合サイクル試験の概要

供試体は図-3 に示すとおり、幅 250mm×長さ 250mm×床版厚 150mm で、床版上面にひび割れを模擬した深さ 40mm(上側鉄筋かぶりと同じ)、幅 1mm のスリットを設けた。また、上面から 45mm の位置にはスリット直交方向に、55mm の位置にはスリット平行方向にそれぞれ鉄筋 (D10) を 2 本配置(100mm 間隔)し、前述の試験と同様に配合が 24-8-20N (W/C:54.5%) のコンクリートで製作した。荷重は、100mm×100mm の荷重板を介して定点疲労荷重を行うが、水の影響を確認するために、床版上面に水を張った状態で試験を実施した。このとき、荷重車が走り抜けることを模擬するため、試験機にバネを設置し、除荷時に荷重板が供試体から離れ、水が供給されるようにした。供試体の模式図を図-4 に、試験装置を写真-2 に示す。

荷重荷重は過積載車による接地圧 $1.6\text{N}/\text{mm}^2$ を想定した 16kN と、試験機最大荷重の 90kN の 2 通りで行った。Case3,4 では、凍結融解の影響を確認するために、凍結融解+疲労(凍結融解試験 30 サイクル+定点疲労荷重試験 5 万回)を 2 ステップ実施後、疲労試験のみを継続することとした。試験ケースを表-2 に、凍結融解試験と定点疲労荷重試験の条件を表-3、表-4 に示す。なお、水の影響を確認するため、水を張らないケース (Case2') を追加している。

3.2 試験結果

(1) 疲労荷重試験

各ケースの試験結果を表-2 に示す。荷重荷重が 16kN の Case1 では 200 万回荷重後もひび割れは生じなかった。荷重荷重が 90kN の場合、Case2 では疲労荷重 165 回で側面にひび割れが発生した後、1668 回で水漏れが生じた。Case4 では凍結融解を 30 サイクル実施後、疲労荷重 920 回でひび割れと水漏れが生じた。水を張らずに疲労荷重試験を行った Case2' は 130 万回でひび割れが発生したが、150 万回まで荷重を継続した。なお、静的に破壊し

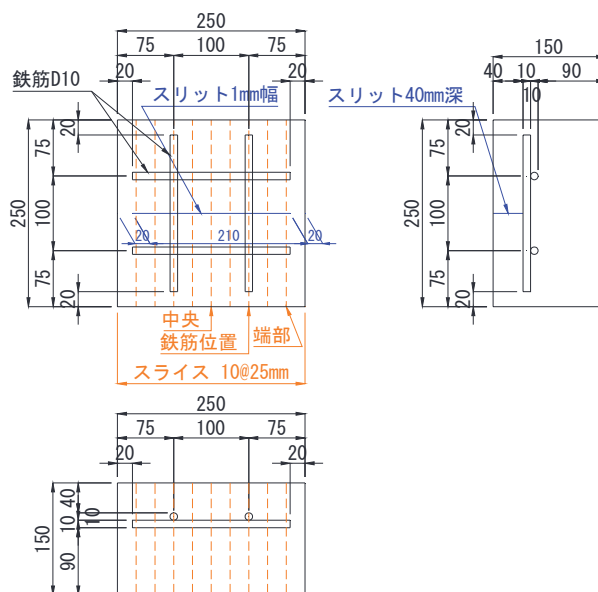


図-3 供試体の形状

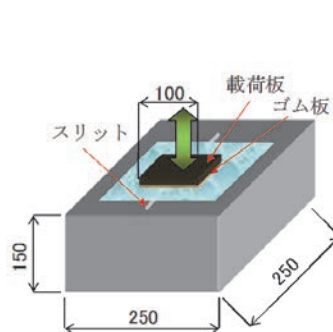


図-4 供試体の模式図



写真-2 試験装置

表-2 試験ケースと試験結果

試験ケース	試験条件	荷重荷重 (kN)	試験結果
Case1	疲労+水張り	16	200 万回：ひび割れなし
Case2	疲労+水張り	90	165 回：ひび割れ発生 1668 回：水漏れ発生
Case2'	疲労のみ	90	130 万回：ひび割れ発生 150 万回まで荷重
Case3	凍結融解+疲労+水張り	16	10 万回：ひび割れなし 疲労試験継続中
Case4	凍結融解+疲労+水張り	90	920 回：ひび割れ、水漏れ発生

表-3 凍結融解試験の条件

試験方法	気中凍結水中融解
試験温度	-20℃から+20℃
サイクル数	30サイクル/ステップ

表-4 定点疲労荷重試験の条件

制御方法	荷重制御 ばね変位の制御による
疲労荷重	16kNまたは90kN
荷重周波数	1.0Hz (正弦波形)
測定項目	供試体状況の観察

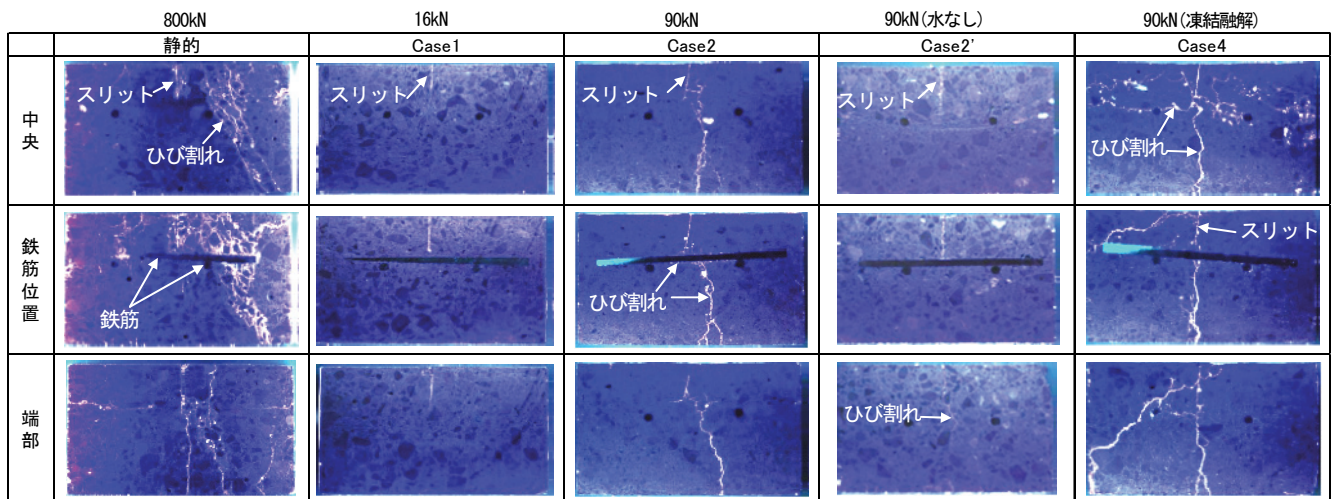


図-5 切断面の観察

た供試体の破壊荷重が約 800kN である²⁾ことから、水環境下で疲労荷重が作用すると、大幅に耐久性、耐荷性とも低下することが確認できた。また、凍結融解を与えていない Case2 では 1668 回で水漏れが生じるのに対し、凍結融解を与えた Case4 は 920 回で水漏れが発生していることから、凍結融解がひび割れの進展を加速している可能性がある。

(2) 切断面の観察

試験終了後の供試体をスリットに直交する方向に 25mm ピッチで切断 (図-3 参照) したときの、中央、鉄筋位置、端部における切断面を図-5 に示す。200 万回疲労载荷後もひび割れが生じなかった Case1 は、供試体内部にもひび割れは確認できなかった。Case2, Case4 はスリットから下方に鉄筋に直交してひび割れが発生しており、一部で鉄筋に沿った水平ひび割れが確認された。

別途行った静的载荷試験²⁾の結果 (図-5 「静的」) では、供試体中央でのスリット下方への進展が見られないことから、滞水状態での疲労の影響によりひび割れが進展することが確認できた。水張りを行っていない Case2' はスリットから下方に鉄筋に直交してひび割れが発生しているものの、鉄筋に沿った水平ひび割れの進展は見られなかった。これは、荷重の繰り返し载荷によりひび割れに水圧が作用し、この水圧により鉄筋に沿った方向にひび割れを進展させた可能性があり、水張りを行っていない Case2' には水平ひび割れは生じなかったのではないかと考える。また、この水平方向のひび割れは、凍結融解作用を与えた Case4 の方が、進展が大きいことから、凍結融解作用が水平ひび割れの進展を助長する可能性があるかと推察される。

4. まとめ

- (1) 凍結融解試験の結果から、コンクリート内部に鋼板がある場合、コンクリートと鋼板の境界部やひび割

れからコンクリート内部に水が浸入すると鋼板に沿ってひび割れが発生し、急激に凍害劣化が促進されることがわかった。また、水の影響が無い場合、コンクリート内部の鋼材が耐凍害性に与える影響はないことがわかった。

- (2) 凍結融解—疲労複合サイクル試験を行った結果、凍結融解を与えていない Case2 では 1668 回で水漏れが生じるのに対し、凍結融解を与えた Case4 は 920 回で水漏れが発生していることから、水張り状態における荷重の繰り返し载荷によるひび割れの進展を凍結融解が加速している可能性があることが分かった。
- (3) 切断面を観察した結果、起点となるスリットから生じたひび割れは、鉄筋位置まで進展すると、ひび割れに浸入した水の水圧により、鉄筋に沿う形で水平ひび割れが生じ、これに凍結融解作用が加わると水平ひび割れの進展を助長する可能性があることが分かった。

謝辞

本研究は、北海道大学、寒地土木研究所、日本橋梁建設協会による共同研究の成果に基づく。共同研究の関係各位に謝意を表す。

参考文献

- 1) 皆田龍一, 酒井武志, 久保圭吾, 表真也, 岡田慎哉, 林川俊郎, 松本高志: 鋼コンクリート合成床版の凍害に関する実験的研究, 第八回道路橋床版シンポジウム論文報告集, pp.183-188, 2014.10
- 2) 宮田朋和, 久保圭吾, 佐藤孝司, 角間恒, 松本高志: 凍結融解環境下において輪荷重が床版の劣化損傷に及ぼす影響, 第 72 回年次学術講演会講演概要集, I-153, 2017.9

(2018 年 7 月 20 日受付)