

報告

寒冷地の床版が受ける力学および環境作用に関する調査

丸藤 大樹*, 角間 恒*, 蟹子 恒好*, 仁平 陽一郎**, 嶋山 乃*

* (国研) 土木研究所寒地土木研究所 (〒062-8602 北海道札幌市豊平区平岸1条3丁目1-34)

**国土交通省北海道開発局 (〒060-0851 北海道札幌市北区北8条西2丁目)

寒冷地のコンクリート床版のかぶり部分が受ける作用特性を評価するため、実橋における応力頻度調査および道内のいくつかの地域を対象とした床版模型による冬季の温度履歴調査を行った。それらの結果を基に、力学作用の特徴および地域毎の環境作用の特徴を整理したので報告する。

キーワード: RC床版, 寒冷地, 力学作用, 環境作用

1. はじめに

道路橋コンクリート床版では、上面に発生する土砂化が維持管理上の着目になることが多い。土砂化の発生要因は多岐にわたるが、寒冷地においては、輪荷重走行による活荷重作用（力学作用）および冬季の凍結融解作用（環境作用）の複合作用が、土砂化の発生・進行に大きく影響を及ぼしている¹⁾。

土砂化に着目して床版の耐久性評価を行うには、上面に作用する力学及び環境作用を的確に評価する必要がある。ただし、力学作用に関しては、舗装を撤去する必要がある等の理由から、上面が受ける作用を直接調査することは難しい。また、環境作用に関して、維持管理の実務では、気温や日照時間等の気象データから算出された「凍害危険度²⁾」により凍害リスクや程度を判定することが多いが、角間ほか³⁾は、除雪等の状況によって床版内部の温度履歴が異なると指摘している。すなわち、床版コンクリートの凍結融解特性を把握するには、凍害危険度とは別の地域特性の検討が必要であると考えられる。

そこで本稿では、寒冷地の床版が受ける力学作用と環境作用を把握するために実施したいいくつかの調査結果を報告する。具体的には、力学作用に関する調査として、2014年に道北地方の一般国道237号の橋梁で行われた、主桁上下フランジでのひずみ測定データを基に、床版上面が受ける応力頻度の推定を行った。また、環境作用に関する調査として、凍害危険度が異なる北海道内のいくつかの地域を対象に、床版模型を用いた冬季の暴露試験を行い、床版上部のかぶりコンクリートの温度履歴の調査および各地域での凍結融解の回数や凍結最低温度の違いを整理した。なお、本来であれば、同一地点において力学および環境作用を複合的に評価する必要があるが、本稿では、作用特性の評価に向けた基礎的検討として、両作用を個別に評価している。

表-1 橋梁諸元等

架設年次	昭和41年
適用示方書	昭和39年
橋長	163.5 m
設計活荷重	TL-20
上部工形式	鋼単純合成鋼桁
自動車類交通量	約7400台（24時間、上下合計）
大型車混入率	12.7%

2. 寒冷地床版が受ける力学作用

2. 1 対象とした橋梁と応力計算の流れ

(1) 対象とした橋梁の概要

本稿では、道北地方の一般国道237号の橋梁のコンクリート床版を計算対象とした。橋梁の詳細を表-1に示す。自動車類交通量と大型車混入率は、令和3年度全国道路・街路交通情勢調査⁴⁾の結果を記している。

(2) ひずみ測定、応力計算の流れ

2014年10月に本稿で対象とした橋梁の上下フランジで、車通行時のひずみ測定が24時間行われた。図-1はひずみ測定位置であり、5径間目単純桁部の支間1/4および1/2の位置の主桁3本が測定対象となっている。

床版上面の応力計算は、下フランジで測定されたひずみを入力値とした合成断面の計算により行い、G1～G3すべての桁を計算対象とした。表-2は計算に使用した合成桁の概要であり、上下フランジ、腹板からなる鋼桁（ヤング係数 $2.00 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ ）とコンクリート製のハンチ、床版（ヤング係数 $2.70 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$ ）で構成された合成桁と、その上にアスファルト舗装（ヤング係数 $2.65 \times 10^3 \text{ N/mm}^2$ ）を設定した。アスファルトのヤング係数は、温度に依存していると考えられ、北海道の一般国道で使用

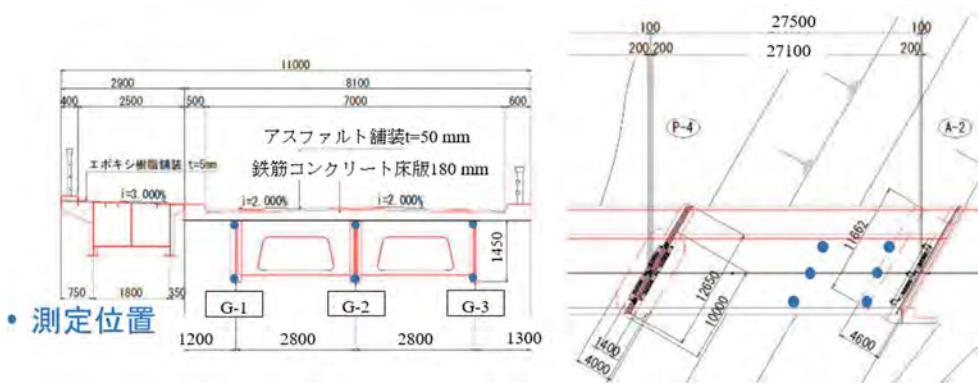


図-1 本稿で対象とした橋梁の断面図（左）と平面図（右）

されているものについては、安倍ほか⁵⁾で導出式が提案されている。25 °Cを式に代入することで、舗装のヤング係数を仮定した。計算では、まず材料のヤング係数と断面形状から中立軸の位置を決定し、下フランジ上面のひずみデータと中立軸の位置から、床版上面のひずみ ε_s を以下の式（1）により推定した。

$$\varepsilon_s = \frac{y_e}{y_e - y_L} \varepsilon_L \quad (1)$$

ここで、 y_L 、 y_e はそれぞれ床版上面を基準にしたときの下フランジ上面、中立軸の鉛直方向の位置であり、 ε_L は下フランジ上面のひずみである。

図-2に、測定結果および計算結果とで合成桁高さ方向のひずみ分布を比較した結果を示す。上下フランジのひずみに着目したとき、測定結果と計算結果との差は 10^{-6} オーダーと小さく、合成桁の断面計算によりひずみ分布を適切に評価できていることを確認した。なお、床版上面の応力は、断面計算により得られた床版上面のひずみにコンクリートのヤング係数を乗ずることで計算した。

2. 2 応力頻度の計算結果

推定した24時間の床版上面での応力頻度分布と、計算に使用した下フランジ上面での応力頻度を図-3に示す。なお、図の縦軸は応力レベルで、引張方向を正としている。いずれの桁においても、下フランジ上面よりも床版上面の方が応力頻度の分布は狭くなり、応力レベル「-1～0 N/mm²」の階級と、「0～1 N/mm²」の階級が卓越していることが分かった。また、圧縮応力度は最大で1.4 N/mm²であった。

3. 寒冷地の床版が受ける環境作用

3. 1 試験条件

暴露試験は、北海道札幌市（2023/12/18～2024/5/16）、旭川市（2023/12/13～2024/5/2）、苫小牧市（2023/12/6～2024/5/2）、帯広市（2023/12/7～2024/5/9）で行った。試験

表-2 本稿で用いた合成桁の概要

部材名	断面寸法 G1, G3桁[mm]	断面寸法 G2桁[mm]
舗装 (アスファルト)	幅2600、厚さ50	幅2800、厚さ50
床版 (コンクリート)	幅2600、厚さ180	幅2800、厚さ180
ハンチ (コンクリート)	上幅400、下幅250、厚さ25	上幅690、下幅270、厚さ70
上フランジ (鋼)	幅250、厚さ14	幅270、厚さ14
腹板 (鋼)	幅9、高さ1450	幅9、高さ1450
下フランジ (鋼)	幅480、厚さ25	幅470、厚さ25

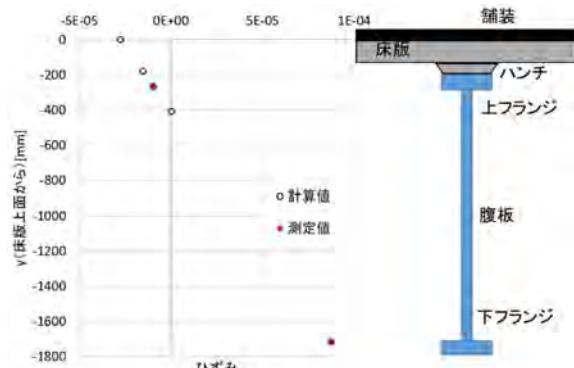


図-2 ひずみ分布の比較結果

場所により暴露条件に違いがあり、旭川市、苫小牧市、帯広市では、日射が良く当たるような場所に試験体を設置した。一方札幌市では、西に面した屋外施設の軒下に設置しており、日射量が他の地域よりも少なることが予想される。

試験体の概要を図-4に示す。試験には平面寸法350 mm×350 mmまたは310 mm×310 mmの試験体を使用した。コンクリートにはレディミクストコンクリート（配合：普通24-12-20N）を使用し、厚さ160 mmとした。舗装の厚さは40 mm×2層=80 mmとし、防水層は設置していない。また、熱収支の方向をコントロールするため、試験体の周りには厚さ50 mmの断熱材を貼り付けた。温度計測は、試験体中央の床版上面から20 mm程度の深さに設置した熱電対によって行った。

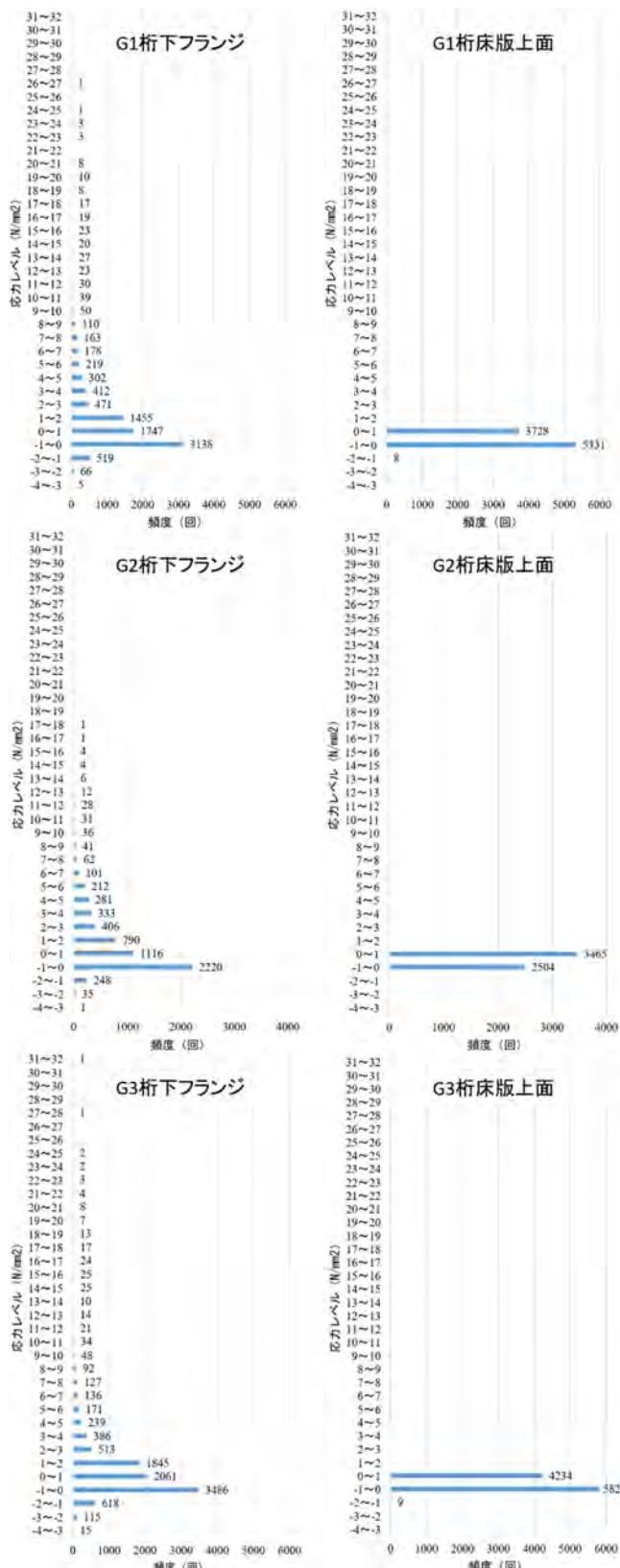


図-3 各桁の下フランジ（左）のデータから推定した床版上面の応力頻度（右）

写真-1に試験体設置状況の例を示す。試験体は、架台からの熱伝導を排除するのと同時に風の通り道を作るため、架台との間に50~60 mm程度のすき間を設けて設置した。また、札幌市以外の3地点では、雪が試験体

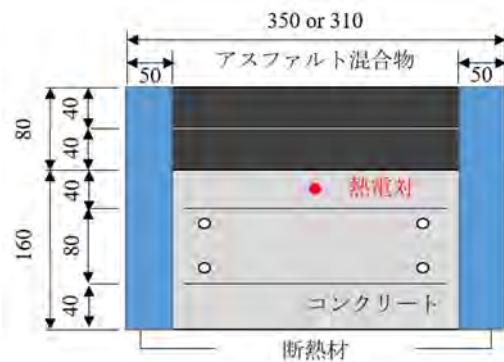


図-4 暴露試験体概要



写真-1 旭川市の試験体設置状況

表-3 地域別の凍害危険度、測定期間、凍結融解回数

地域名	凍害危険度	測定期間	凍結融解の回数（回）
札幌	3	2023/12/18~2024/5/16	39
旭川	4	2023/12/13~2024/5/2	57
苫小牧	3	2023/12/6~2024/5/2	93
帯広	5	2023/12/7~2024/5/9	90

を覆わないようにするのと同時に屋根が日射を遮らないようにするため、写真-1のように試験体上にアクリル板の屋根を設置した。

3.2 試験結果

得られた温度データから、各地域での凍結融解の回数を集計した。角間ほか³⁾と同様に、温度がマイナスからプラスに転じた回数により集計した。各地域における測定期間中の凍結融解の回数を表-3に、凍結最低温度の頻度分布を図-5に示す。なお、札幌市の試験結果について、試験体の寸法が異なること、アクリル板が付いていないことから、本稿では参考として紹介する。

凍結最低温度について、凍害危険度⁶⁾が高い地域ほど、最低温度の分布は低くなる傾向となった。一方、凍結融解の回数の多さは凍害危険度の高さと完全には一致しなかった。表-3の測定期間の範囲では、苫小牧市、帯広市、旭川市、札幌市の順に凍結融解の回数は多かった。

袴田ほか⁷⁾では、凍結最低温度と凍結融解の回数の相互を考慮する要素として、凍結融解が成立したときの「凍結最低温度の累積値」が挙げられている。各地域で

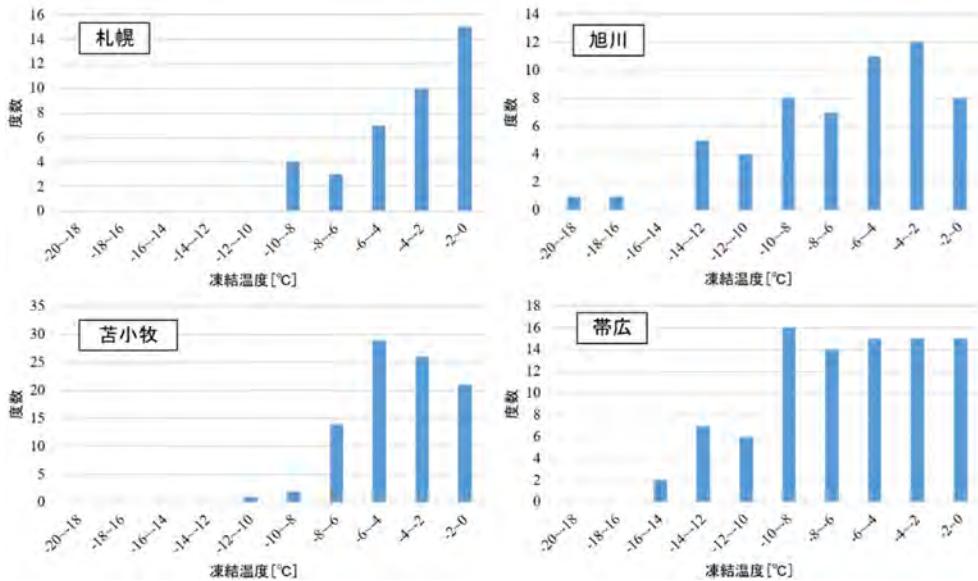


図-5 地域別の凍結最低温度の頻度

の凍結最低温度の累積値をまとめると、札幌市では-152.8 °C、旭川市では-360.4 °C、苫小牧市では-357.9 °C、帯広市では-572.2 °Cとなった。この指標を基に考えると、本稿の範囲では、帯広市、旭川市、苫小牧市、札幌市の順に凍害劣化が進行する可能性がある。凍害危険度が1段階異なる旭川市と苫小牧市では近い累積値を示したが、凍害危険度が等しい札幌と苫小牧では大きく異なる累積値を示した。

4.まとめ

寒冷地の床版が受ける力学作用に関する調査のため、道北地方に架かる橋梁を対象に行われた上下フランジでのひずみデータを利用して、直接測定することが難しい、床版上面における応力頻度計算を実施した。また、環境作用に関する調査のため、北海道のいくつかの地域で、コンクリート床版を模した試験体を用いた暴露試験を実施した。

応力頻度計算の結果、下フランジ下面での測定時間(24時間)に床版上面に及ぶ力学作用(主軸作用)を推定できた。今後、輪荷重走行試験等の試験データと組み合わせることにより、本稿で対象とした橋梁も含め、道路橋床版の劣化損傷の進行に関する理解が深まると考えられる。

暴露試験で得られた温度履歴を基に、凍結融解回数と凍結最低温度に注目しながら、道内のいくつかの地域での床版上部のかぶりコンクリートの凍害劣化について調査した。その結果、「凍結融解の回数」と「凍結最低温度の累積値」に関しては、凍害危険度の順とは異なる傾向が確認された。本稿で対象としたのは1シーズン分のデータであるが、今後もデータを蓄積することで、凍害劣化の地域特性に関する理解が深まると考えられる。

謝辞

本稿で報告した床版上面の応力頻度を計算するにあたって、国土交通省北海道開発局にひずみ測定データを提供していただきました。ここに謝意を表します。

参考文献

- 1) 三田村浩、佐藤京、本田幸一、松井繁之：道路橋RC床版の凍害劣化と疲労寿命への影響、構造工学論文集, Vol.55A, pp.1420-1431, 2009.
- 2) 長谷川寿夫：コンクリートの凍害危険度算出と水セメント比限界値の提案、セメント技術年報, XXIX, pp.248-253, 1975.
- 3) 角間恒、仁平陽一郎、畠山乃：積雪寒冷地での冬季暴露試験による床版内部の温度履歴調査、令和5年度土木学会全国大会第78回年次学術講演会, CS19-01, 2023.
- 4) 国土交通省：令和3年度 全国道路・街路交通情勢調査 一般交通量調査 集計表. 閲覧：2024年7月10日 <https://www.mlit.go.jp/road/census/r3/index.html>
- 5) 安倍隆二、丸山記美雄、熊谷政行：積雪寒冷地におけるアスファルト舗装の理想的設計方法に用いる材料特性および環境条件に関する検討、寒地土木研究所月報, No.708, pp.2-12, 2012.
- 6) 長谷川拓哉、千歩修、長谷川寿夫：地域の凍害危険性評価指標の比較、日本建築学会技術報告集, 第13巻第25号, pp.23-27, 2007.
- 7) 複田豊、山内茂樹、宇美方章裕、藤原忠司：岩手県及び北海道南部におけるコンクリート構造物の凍害の現状とその原因、セメント・コンクリート論文集, No.53, pp.409-416, 1999.

(2024年7月12日受付)