

積雪寒冷地におけるRC床版の耐久性に関する研究

The Study to Durability of Reinforcement Concrete Decks in Snowy and Cold Region

北海道大学大学院工学研究科 正員 小野 貴之 (Takayuki Ono)
 土木研究所寒地土木研究所 正員 三田村 浩 (Hiroshi Mitamura)
 北海道大学大学院工学研究科 正員 林川 俊郎 (Toshiro Hayashikawa)
 大阪工業大学 正員 松井 繁之 (Shigeyuki Matsui)

1. はじめに

道路橋のRC床版の劣化要因は、大型車両の輪荷重の繰り返し作用による疲労劣化が主たる要因とされ、それに加え床版に生じたひびわれに雨水が浸入すると疲労耐久性が著しく損なわれるといわれている。さらに床版を取り巻く環境条件によっては床版の劣化が一層加速される。特に北海道においては、積雪寒冷な気象条件から起因する「凍害」や凍結防止剤散布による「塩害」等、材料劣化を受ける過酷な状況にあるといえ、積雪寒冷地におけるRC床版の劣化プロセスを踏まえた、損傷度と余寿命の関係を定量的に評価する必要がある。

本研究では道内の供用橋梁から積雪寒冷地特有の劣化作用を受けている床版を切り出し、輪荷重走行試験機による疲労試験を行い、寒冷地床版の疲労耐久性について検討した。

(独)土木研究所寒地土木研究所では、平成18年12月から我が国で初となるクランク式のゴムタイヤ輪荷重走行試験機を導入し、より実橋に近い荷重状況を再現することで実験の精度向上を目指しており、本研究においてもゴムタイヤによる輪荷重走行試験を行った。



写真-2 輪荷重走行試験機（ゴムタイヤ）

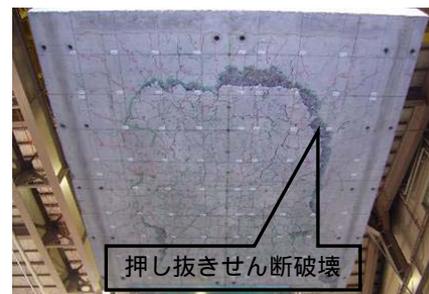


写真-3 床版下面の押し抜きせん断破壊

2. 実験概要

2.1 実験方法

(独)土木研究所寒地土木研究所が所有する輪荷重走行試験機は従来、写真-1のように鉄輪を装着して使用し、これまでに多くの実験を行い、データを蓄積してきた。しかしながら、実際の橋梁が受ける輪荷重は弾力のあるゴムタイヤであることから、新たにこの試験機に装着するゴムタイヤを制作し、より現実に近い状況での実験を目指し、今回の実験の一部では、このゴムタイヤを使用した。(写真-2)



写真-1 輪荷重走行試験機（鉄輪）

この試験機は、最大 300kN までの任意の鉛直荷重を載荷し往復運動するもので、写真-3 に示すように実橋RC床版の破壊形態である押し抜きせん断破壊を再現できるものである。ただし、ゴムタイヤを装着した場合は、150kN を超える荷重を載荷するとゴムタイヤの変形が大きくなり、2輪装着しているタイヤが互いに接触するため、実際には 150 kN までしか載荷できない。ゴムタイヤには、変形を抑制する工夫として、空気の代わりにウレタンを注入している。

輪荷重試験におけるRC床版の破壊の定義は、図-1に示す走行回数と変位量の関係グラフにおいて、勾配の急変箇所を破壊位置としている。

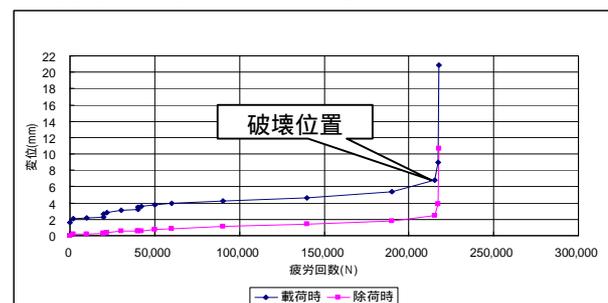


図-1 走行回数と変位量の関係

実験の走行荷重は国土交通省の輪荷重走行試験で用いられている階段状荷重漸増載荷プログラムを採用し、初期荷重は実橋床版の損傷度から早期の破壊が予想されたため、やや小さめの 130kN とした。鉄輪を使用する場合を図-2、ゴムタイヤを使用する場合を図-3 に示す。

また床版たわみの経時変化を調べるため、図中の菱形のマーカで示した走行回数において、輪荷重による静的載荷および無載荷時のたわみを計測した。

実験における供試体各辺の支持方式は、2 辺単純支持（走行方向）と実橋床版の 1 方向性を考慮した相対 2 辺弾性支持（支間方向）としている。

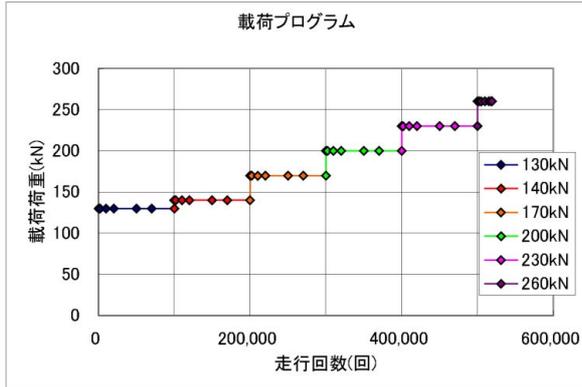


図-2 荷重載荷プログラム（鉄輪）

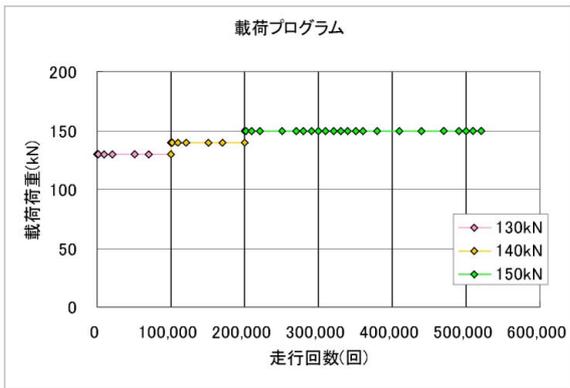


図-3 荷重載荷プログラム（ゴムタイヤ）

2.2 実験試験体

試験体は 2 つの橋梁から切り出した。一つは旭川市と網走市を結ぶ内陸部の主要幹線道路国道 39 号線に架橋されている 42 年間供用した神仙橋（開断面箱桁橋）から 1 体（神仙橋 D）、もう一つは札幌市と洞爺湖町を結ぶ内陸部の幹線道路、国道 230 号に架橋されている 37 年間供用した尻別橋（単純合成鋸桁橋）から 2 体（尻別橋 A5、A6）の試験体を切り出した。

床版を採取した架橋位置は、図-4 に示す凍害危険度の分布図¹⁾によると、それぞれ凍害の予想程度が「やや大きい」3 と「極めて大きい」5 にランクされる。

橋梁の諸元を表-1 試験体の諸元を表-2 に示す。また切り出した床版の劣化状況写真と床版下面のひび割れ状況のスケッチ図を写真-4 と図-5 に示す。床版上面は、広範囲にわたって凍害によるスケーリングが発生してい

た。各試験体のひびわれや遊離石灰の状況は次の通りである。

尻別橋 A5 の下面のひびわれ密度は、 $6.1 \text{ m} / \text{m}^2$ であり、遊離石灰はほとんどみられなかった。

尻別橋 A6 の下面のひびわれ密度は、 $8.8 \text{ m} / \text{m}^2$ であり、遊離石灰が少しみられた。

神仙橋 D の下面のひびわれ密度は $6.6 \text{ m} / \text{m}^2$ であり、多数の遊離石灰がみられた。

表-1 に示すコンクリートの圧縮強度は、コア採取による圧縮試験結果であるが、上面かぶりコンクリートを含まない比較的健全部分の強度である。

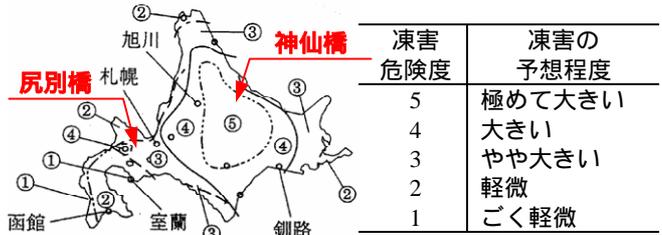


図-4 凍害危険度の分布図

表-1 橋梁諸元

橋名	神仙橋	尻別橋
架橋位置	上川町 (一般国道 39 号)	喜茂別町 (一般国道 230 号)
橋種	単純開断面箱桁	単純合成鋸桁 (2 連)
橋長	L=56.4m	L=60.4m
架設年次	1963 年 (供用 42 年間)	1968 年 (供用 37 年間)
適用示方書	昭和 31 年 鋼道路橋設計示方書	昭和 39 年 鋼道路橋設計示方書
架け替え理由	床版劣化	線形改良
試験体記号	D	A5、A6

表-2 供試体諸元

橋名	神仙橋	尻別橋
試験体寸法 (cm)	230×300×18	230×300×18
鉄筋の材質	SR235	SD295
主鉄筋 (mm)	上側	φ 16@200
	下側	φ 16@100
配力筋 (mm)	上側	φ 13@200
	下側	φ 13@200
コンクリート圧縮強度 (N/mm ²)	41 以上	37 以上



(a) 床版上面



(b) 床版下面

写真-4 試験体の劣化状況

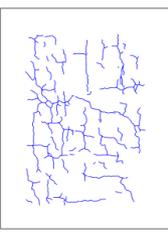
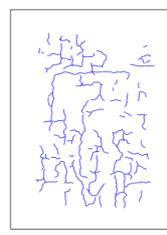
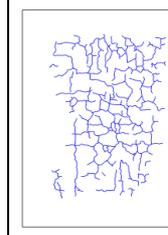
神仙橋 D	尻別橋 A5	尻別橋 A6
		
ひびわれ密度 6.6m ²	ひびわれ密度 6.1m ²	ひびわれ密度 8.8m ²

図-5 走行前の床版下面ひびわれ状況

2.3 試験体の材料試験

試験体近傍からコアを採取し、中性化・アルカリ骨材反応・塩分量の材料試験を行った。その結果、2橋ともに床版の耐久性を大きく低下させるような要因は確認されなかった。試験結果から、塩害による劣化は潜伏期の状態であり、床版の寿命低下に至るまでの大きな影響は受けていないと考えられる。しかし、舗装及び床版のひびわれ等により塩分浸透の度合いは異なるため、試験値より塩分量が多い箇所が存在している可能性もある。

試験結果等から試験体とした床版は、水の浸入と凍害により床版上面のコンクリートが劣化した状態と推定され、撤去時点におけるその他の環境作用の影響は小さいものと考えられる。

3. 実験結果

3.1 破壊までの走行回数

試験体3体のうち、ゴムタイヤを使用して輪荷重載荷試験を行ったのは、神仙橋 D の供試体であり、尻別橋 A5 と A6 については鉄輪による実験を行った。床版中央におけるたわみ量と輪荷重走行回数との関係（載荷時の総たわみ分布と残留たわみ分布）を図-6 に示す。破壊時のたわみは、総たわみで 5 mm ~ 12 mm、残留たわみで 3 mm ~ 7 mm である。

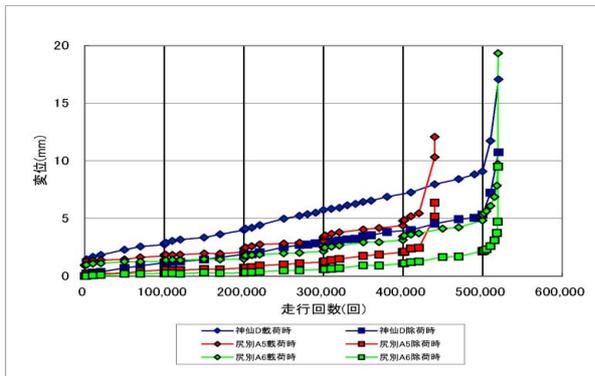


図-6 走行回数（換算前）とたわみ量の関係

輪荷重走行試験に関する著者の研究成果から、横軸に破壊までの走行回数、縦軸に載荷荷重 (P) と供試体のせん断耐力 (P_{sx}) の比をとった S-N 図及び S-N 式 (松井式)²⁾ が示されている。この考え方に基づき、階段荷重載荷の破壊までの走行回数を 150 kN の一定荷重

に補正し、さらに輪荷重試験機の輪幅を自動車の設置幅に換算した破壊回数を表-2 に示す。

表-2 破壊までの走行回数

試験体	換算載荷荷重 (k N)	換算破壊回数
神仙橋 D	150	38 万回
尻別橋 A5	150	15700 万回
尻別橋 A6	150	56200 万回
基準供試体 (神仙橋新設時再現) (H18 年度実施)	150	7676 万回

神仙橋と尻別橋の床版は、同年代に施工され床版厚さも同じであったが、尻別橋床版の疲労寿命低下の影響が少ないのに対し、床版下面に遊離石灰、上面にスケリングが発生していた神仙橋床版は耐久性が大きく低下していたことがわかる。

神仙橋床版の新設時を再現して製作した環境劣化の影響を受けていない基準供試体の実験結果 (H18 年度実施) と比較した場合、神仙橋 D の床版は約 200 倍の速さで破壊したことになる。このような結果から、床版防水層の重要性が確認された。

3.2 破壊時のひびわれ密度

破壊時の床版下面のひび割れ状況を図-7 に走行回数（換算前）とひびわれ密度の関係を図-8 に示す。ひびわれ密度は、たわみと同様に破壊までの走行回数に比例して増加傾向にあり、最終破壊時では 13 ~ 16 m² / m² 近傍を推移している。

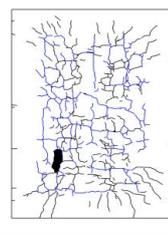
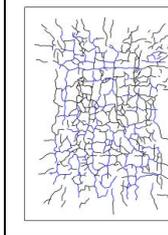
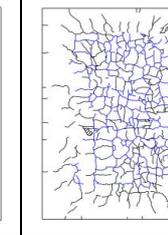
神仙橋 D	尻別橋 A5	尻別橋 A6
		
ひびわれ密度 13.0m ²	ひびわれ密度 16.5m ²	ひびわれ密度 15.6m ²

図-7 破壊時の床版下面ひびわれ状況

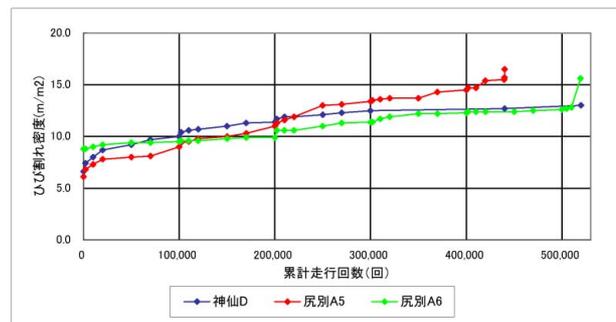


図-8 走行回数（換算前）とひびわれ密度の関係

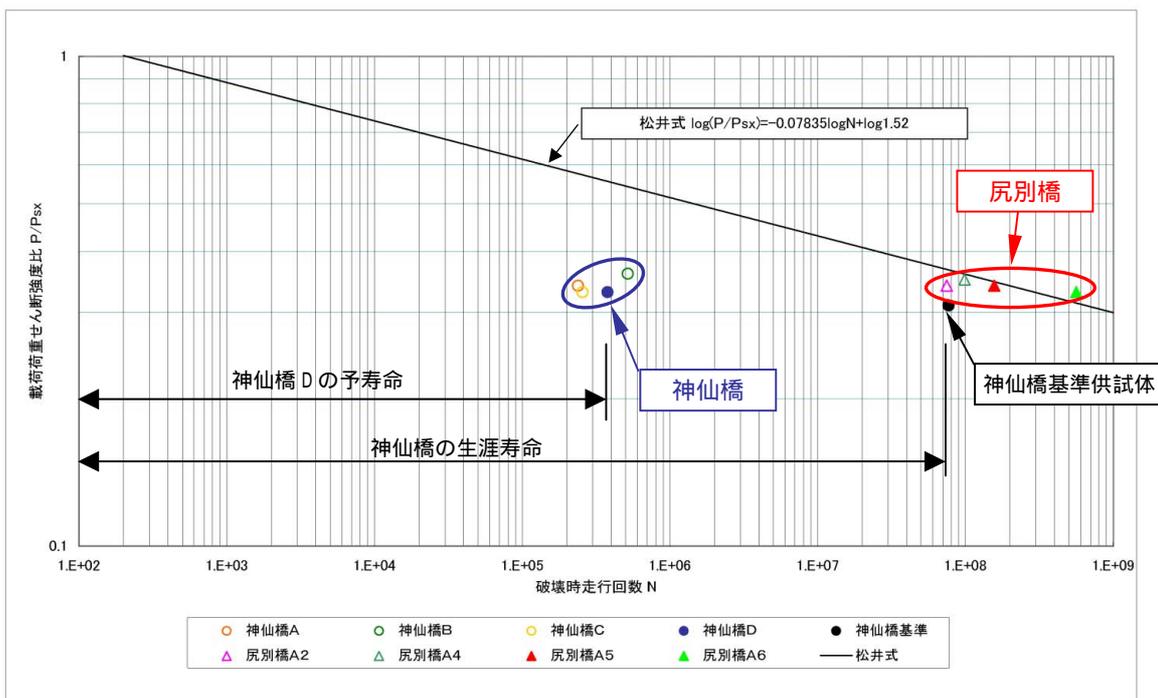


図-9 S-N 図

4. 考察

今回実験を行った試験体 3 体（神仙橋 D・尻別橋 A5・尻別橋 A6）のほかに、昨年度に実験を行った神仙橋床版 2 体（神仙橋 A・神仙橋 B）、尻別橋床版 2 体（尻別橋 A2・尻別橋 A4）、及び神仙橋の基準供試体 1 体について 150 kN 換算の破壊までの走行回数を求め、載荷荷重（P）と試験体のせん断耐力（ P_{sx} ）の比を縦軸とした図-9 の S-N 図に示す。

今回は神仙橋 D の試験体のみにおいてウレタンを注入したゴムタイヤで輪荷重走行試験を行ったが、得られたデータがまだこの試験体 1 件しかないので、従来の鉄輪による試験との精度の違いや相関関係についてはまだ明らかではない。

しかしながら、神仙橋については過年度の実験結果を合わせてみても、尻別橋と比べ、予寿命の違いが大きい。このことは、神仙橋が凍結危険度ランク 5 に位置し、床版下面に遊離石灰、上面にスケールリングが発生していたのに対し、尻別橋は凍結危険度ランク 3 に位置し、床版下面の遊離石灰、上面のスケールリングがあまりみられなかったこと原因であると推察される。

ひびわれ密度と予寿命の関係については、実験前のひびわれ密度は尻別橋の方が大きかったにも係わらず、破壊に至る回数が多かったのは、単なるひびわれ密度ではなく、上面のスケールリングや遊離石灰と関係していると考えられる。

5. 今後の課題

これまで多くの実験データが蓄積されている鉄輪による試験とゴムタイヤを用いた場合の精度の違いや相関関係を求めるためには、さらに多くの実験を行う必要がある。現在、実験は継続中であり、今後は神仙橋の基準供試体や人工的に劣化・損傷させた床版を補修・補強した試験体もゴムタイヤで実験する予定である。

ゴムタイヤによる実験は、鉄輪の場合に比べると、最大載荷荷重が小さいので、実験に時間がかかるという欠点があるが、橋梁が実際に自動車から受ける荷重の状態を再現するものであるから、これらのデータを蓄積し、解析することによって床版の予寿命予測の精度が上がるものと考えている。また同時に劣化・損傷した床版の効果的な補修・補強方法の検証にも寄与できる。

最後に本研究の実施にあたり協力いただいた北海道開発局旭川開発建設部及び室蘭開発建設部の関係者の皆様に対し、心から感謝を表します。

参考文献

- 1) 長谷川寿夫ほか：「コンクリート構造物の耐久性シリーズ 凍害」技報堂出版，1988.
- 2) 前田、松井：輪荷重移動装置による道路橋床版の疲労に関する研究、第 6 回コンクリート工学年次講演会論文集、pp221-224,1984.