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

㈱近代設計	正員	藤川	守 (Mamoru Fujikawa)	土木研究所寒地土木研究所	正員	安達	優 (Yutaka Adachi)
大日本コンサルタント(株)	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 (Hirosi Mitamura)
				大阪工業大学	710-	松井	繁之 (Sigeyuki Matui)

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、環境 条件により床版の劣化が加速される。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」の材料劣化を受ける過酷な状 況にあるといえ、寒冷地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。

そこで、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 ついて検討した。

2.実験概要

2.1 実験方法

輪荷重試験機(写真-1)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-2 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。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。



写真-1 輪荷重走行試験機



写真-2 床版下面の押し抜きせん断破壊



図-1 走行回数と変位量の関係

実験の走行荷重は図-2 に示す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。また 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。また床版たわみの経時変化を調べる ため、図-2 に示す菱形の走行回数において、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。



図-2 荷重載荷プログラム

2.2 実験試験体

試験体は、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 年間供用した開断面 箱桁橋から、図-3 に示す試験体 ABC の3 体を切り出し た。またこれと対比するため、試験体を再現した基準供 試体を1体製作し、計4体で疲労試験を行った。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⁾によると最も高い5 にランクされる。





図-4 凍害危険度の分布図

設計は昭和 31 年鋼道路橋設計示方書によるものであ り、試験体の諸元を表-1 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-3 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おり、切断面の上 面かぶりコンクリートには層状の剥離箇所があり、最大 で鉄筋位置が露出している箇所も確認した。床版下面の ひび割れ幅は 0.1mm 程度であり、ひび割れから多数の 遊離石灰が発生していた。各試験体の目視による劣化状 況は次の通りである。

試験体 A の上面は、全面にスケーリングが発生し剥 離により、かぶりコンクリートは 25mm 程度欠損し ていた。下面のひびわれ密度は、1.9 m / m²であり、 一部角落ちもみられた。

試験体 B は、試験体 A と隣接していたこともあり、 ほぼ同様な劣化であった。 試験体 C のスケーリングの割合は約 2 割程度であり、 剥離によりかぶりコンクリートは 20mm 程度欠損し ていた。下面のひびわれ密度は 6.0 m / m² であった。 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。またシュミット ハンマーにより上面の強度確認を試みたが、3 試験体と も測定不能となり、シュミットハンマーの性能から上面 部の強度は 10 N/mm²以下と推定された。

衣-1 供訊件							
試験体	寸法(cm)	230×300×18					
鉄筋	の材質	SR235					
主鉄筋	上側	16@200					
(mm)	下側	16@100					
配力筋	上側	13@200					
(mm)	下側	13@200					
コンクリート	圧縮強度	A45.5、B41.0					
(N/:	mm²)	C49.8、基準 40.9					

表-1 供試体諸元



(a)床版上面



(b)床版断面



(c)床版下面

写真-3 試験体の劣化状況



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

実橋からのコア採取による材料試験の結果では、アル カリ骨材の反応は確認されなかった。中性化試験による 床版下面の浸透は 2cm 以下、また塩分量試験での床版 上面(鉄筋位置)の塩化物イオン濃度は、腐食発生限界 濃度1.2 kg/m³に対し0.1kg/m³であった。中性化・塩分 の浸透は確認されたが床版の耐久性低下につながるよう な影響は受けていなかった。このことから、凍害以外の 環境劣化作用の影響は微少であり、床版の劣化は水によ る影響に積雪寒冷地特有の凍結融解作用が加速させたも のであると推測した。

3.実験結果

3.1 破壊までの走行回数

試験体3体および供試体1体の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5mm~10mm、残留たわみで3mm~5mm である。階段荷重載荷の破壊までの走行回数を150KN 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。積雪寒 冷地の凍害作用を受けている床版の破壊回数は、疲労や 環境劣化の影響を受けていない基準供試体の167倍~ 366倍の速さで破壊した。この結果から、床版防水層の 重要性が確認された。

またほぼ同様な劣化状況であった試験体 A と B は、 試験体 A が 2 倍程度早期に破壊した。これは、図-3 の 断面図に示すように試験体 B は車両走行位置からやや 外れており、試験体 A の方が輪荷重による疲労が床版 内部に蓄積していたものと推測される。



図-6 走行回数(換算前)とたわみ量の関係

試験体 NO	換算載荷荷重 (kN)	換算破壊回数
試験体 A	150	21 万回
試験体 B	150	46 万回
試験体 C	150	22 万回
基準供試体	150	7676 万回

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 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、試験体 A と B の最終破壊時では 10 m / m²近傍を推移している。これは、RC 床版のひびわ れ密度に着目した著者らの研究²⁾での使用限界値とほぼ 一致している。また走行前のひびわれ密度が 6.0 m / m² と高かった試験体 C と疲労以外の劣化作用を受けてい ない基準供試体は、14 m / m²~15 m / m² とやや高めの 値を示している。これは、静弾性係数試験により得られ た試験体 A・B の弾性係数(E)は、約 2.6 x10⁴ N/mm² であるのに対し、試験体 C 及び基準供試体の E は、約 3.1 x10⁴ N/mm²と高く、この違いが関係しているものと 推測される。



図-7 破壊時の床版下面ひびわれ状況 カッコ内の値は、ひびわれ密度(m/m²)を示す。 着色は、図-2 の荷重載荷プログラムと対応している。



図-8 走行回数(換算前)とひびわれ密度の関係

4.寒冷地床版の疲労耐久性

実橋試験体 3 体と基準供試体 1 体の 150KN 換算の破 壊までの走行回数、載荷荷重(P)と試験体のせん断耐 力(Psx)の比を縦軸とした図-9 の S - N 図に示す。ま た昨年度水の影響による疲労耐久性の低下を明確にする ために実施した、水張り供試体とその基準供試体の結果 も併せてプロットした。なお、この供試体は床版厚さ 17cm、圧縮強度は約 28 N/mm²であり、今回実施した試 験体のせん断耐力より小さいものである。今回実施した 基準供試体と水張り基準供試体とを結ぶラインが新設床 版の S-N 曲線であり、ここまでの走行回数が疲労によ る床版の生涯寿命である。

さらに、架橋位置の大型車交通量(平成 11 年度道路 交通センサス)と軸重頻度分布の測定データ³⁾から、供 用期間の輪荷重による疲労影響を 64 万回と推定した。 軸重頻度分布は他路線のデータであるため、疲労影響は やや異なることが想定されるが、参考として供用期間の 疲労影響の低下を S - N 曲線と平行にプロットした。



実橋試験体3体の破壊回数は、水の影響+供用期間の 疲労影響ラインより大きく下回っており、疲労影響ライ ンと実橋試験体の破壊位置との差が凍害による寿命低下 と考えられる。水張り供試体とその基準供試体の破壊回 数の関係は約11倍であり、積雪寒冷地の凍害の影響を 受けた床版は、さらに15~33倍で寿命が低下される結 果となった。

実験後、実橋試験体を切断し床版の破壊状況を確認した。床版支間方向の切断面を写真-4 に輪荷重走行直下の切断面を写真-5 に示す。写真-4 に示すように凍害の



写真-4 実橋床版切断(床版支間方向)



写真-5 実橋床版切断(輪荷重走行部)

影響を受けている床版の破壊形態も押し抜きせん断であった。また写真-5 を観察すると床版上面から上側鉄筋までは完全に砂利化しており、この部分のコンクリートは、せん断抵抗が低下していたものと推測される。

これより、厚さ4cmのかぶりコンクリートを無視した場合のせん断耐力(Psx)を算定し、このラインを赤の破線で図-9にプロットした。この断面欠損を考慮した床版寿命と実橋試験体の破壊回数はほぼ一致していることから、凍害の影響を受けている積雪寒冷地床版の余寿命予測の参考になるものと考える。

5.まとめ

- 本研究のまとめを以下に示す。
- ・実橋から切出した凍害の影響を受けている試験体は、 疲労や環境劣化の影響を受けていない基準供試体の 167倍~366倍の速さで破壊した。
- ・凍害の影響を受けた床版は、水の影響による寿命低 下よりさらに 15~33 倍で寿命が低下する結果とな った。
- ・積雪寒冷地床版の耐久性の低下は、床版上面の砂利 化現象に伴う、せん断耐力の低下と推察でき、床版 上面のかぶりコンクリートを無視した床版寿命と実 橋試験体の破壊回数はほぼ一致する結果となった。

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(写 真-6)を導入し、より実橋に近い載荷状況を再現し、実 験の精度向上を目指している。



写真-6 ゴムタイヤ式輪荷重走行試験機

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)松井繁之、前田幸雄:道路橋 RC 床版の劣化判定法 の一提案、土木学会論文報告集、第 374 号、pp419-426,1986.
- 3) 三田村浩、安達優、石川博之:橋梁床版を用いた車 両軸重測定と測定データから推定した床版の残存寿命、 寒地土木研究所月報 No637、pp2-16,2006.