

上面に凍害劣化を受けた RC 床版疲労の有限要素解析

FEM analysis on the fatigue of RC bridge deck slabs with freeze-thaw damage

北海道大学工学部環境社会工学科 ○学生員 鈴木 利哉 (Toshiya Suzuki)
北海道大学大学院工学院 学生員 加保 勇介 (Yusuke Kaho)
北海道大学大学院工学研究院 正会員 松本 高志 (Takashi Matsumoto)
北海道大学大学院工学研究院 F 会員 林川 俊郎 (Toshiro Hayashikawa)
北海道大学大学院工学研究院 正会員 何 興文 (Xingwen He)

1. まえがき

道路橋の RC 床版は、輪荷重の繰り返し走行によってひび割れ損傷を生じ、劣化が進むと押し抜きせん断破壊に至る。また、ひび割れ損傷部分に床版上面から内部に水分が浸透すると、劣化が著しく加速することが明らかになっている。

RC 床版の上面が劣化すると、曲げやせん断の有効断面積が小さくなり、疲労耐久性が大きく低下することが予想されるが、これまでは RC 床版の補修の有無の判断は主に床版下面のコンクリートのひび割れに着目してきた¹⁾。しかし、主に北海道のような積雪が激しい地域の橋梁の維持管理においては、凍害劣化によって損傷を受け、補修が必要となる橋梁が今後急増することが考えられることから、橋梁上面の凍害劣化に着目した RC 床版の疲労特性の解明は重要な課題であると言える²⁰⁾。

そこで本研究では、凍害作用を受けた床版の破壊過程や疲労寿命の影響について有限要素解析による詳細な検証を行うことを目的とする。

2. 凍害劣化を模擬した RC 床版の輪荷重走行試験

本研究の解析対象となるのは凍害劣化を床版厚の切削によって模擬した RC 床版の輪荷重走行試験である。ここではその内容について簡潔に述べる。

試験体のモデルは、北海道のほぼ中央に位置する、上川郡上川町層雲峡の石狩川を渡可する道路橋である。供試体一覧を表-1に示す。床版厚、供試体寸法、配筋量を実橋の設計図面と同じとした基準試験体 A-S と、上面劣化を再現するために上面圧縮側のかぶり部分を 1cm 薄くした試験体 A-SD を製作した。供試体寸法は橋軸直角方向2300mm×橋軸方向3000mm×厚さ180mmとしている。供試体支持条件は橋軸方向の2辺を単純支持、橋軸直角方向は H 鋼(150×150)による2辺弾性支持である。

実験にはクランク式輪荷重走行試験機を用いており、幅300mmの載荷板上を橋軸方向に2000mmの範囲で鉄輪を往復させ、実際の車両による輪荷重載荷を再現している。また、図-1に示すように、階段荷重載荷プログラムに従っており、鉛直荷重130kNより開始して10万回走行毎に荷重を漸増させ、破壊に至るまで載荷を繰り返している。

3. 有限要素解析

3.1 有限要素モデルと解析条件

本研究では、輪荷重走行によって床版が破壊に至るまでの床版たわみについて解析を行い実験と比較検討する。汎用非線形有限要素解析プログラムである MSC.Marc を用いて解析を実施した。実験供試体と同様の寸法とし、橋軸方向に対称面とした3次元1/2モデルとする。床版部分はコンクリートと鉄筋の構成側を重ね合わせた RC 要素を適用するため、8 節点ソリッド要素によってモデル化している。弾性支持辺の H 鋼部分は4 節点シェル要素を用いた。床版は厚さ方向に5分割し RC 部分を無筋コンクリート要素でサンドイッチにした形の配置にした。

3.2 材料モデル

コンクリートと鉄筋の材料特性を表-3に示す。分散鉄筋モデルとし、要素内に平均的に鉄筋が配置されていると仮定して、鉄筋比によって要素内に入力している。

鉄筋の応力-ひずみ関係は修正 Menegotto-Pinto モデル⁴⁾を用いている。このモデルでは履歴曲線の曲率を経験最大塑性ひずみの大きさに応じて決定でき、鋼材のパウシンガー効果を精度よく近似出来る特徴がある。

表-1 供試体一覧

供試体名称	床版厚	床版形状	載荷方法
A-S	180 mm	橋軸直角方向 2300 mm	輪荷重 130~230kN
A-SD	170 mm	橋軸方向 3000 mm	階段載荷

表-2 配筋

橋軸直角方向	上面 φ16 ctc 200mm 下面 φ16 ctc 100mm
橋軸方向	上下面 φ13 ctc 200mm

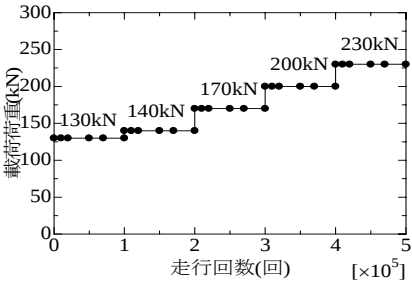


図-1 階段荷重載荷プログラム

3. 2. 1. コンクリートの構成則

コンクリートの構成則は、岡村・前川モデル⁵⁾を採用している。このモデルではコンクリートの平均応力-平均ひずみ関係をモデル化している。鉄筋とコンクリートの付着によって鉄筋から伝達される応力は、除荷経路と再載荷経路で異なる事が実験より明らかにされており、除荷時とは2次曲線、再載荷時とは直線でモデル化している。圧縮応力下ではひび割れ後のコンクリートの圧縮剛性の低下をひび割れ直角方向引張りひずみの関数により低減している。ひび割れ面におけるせん断応力の伝達機構については、ひび割れが分散して存在する要素の平均的なせん断剛性を、平均ひずみで表現している。これはひび割れ面での相対変位をひび割れ間隔で除したもので、ひび割れを含む要素のせん断応力はひび割れ間隔に関わらず、平均せん断ひずみと平均引張りひずみで評価できる事が特徴である。

3. 2. 2. 応力劣化関数

本研究では走行回数の増加に伴うコンクリートの引張強度の劣化を、走行回数1回目時点の引張強度と、走行回数n回目時点の引張強度の比で表した応力劣化関数によって求めている。図-2に引張側コンクリートの応力ひずみ関係を示す。

$$\frac{f_t^n}{f_t^0} = 1 - (0.008 + 4.0 \times \varepsilon_{t_{\max}} \times l) \log(n) \quad (3)$$

ここで、 $\varepsilon_{t_{\max}}$: コンクリートがそれまでに経験した最大塑性ひずみ、 l : 要素サイズ、 n : 輪荷重走行回数である。

3. 3. 解析方法

載荷方法は、要素上面に等分布荷重として載荷し、荷重位置を1要素ずつ移動させることで、輪荷重載荷範囲を往復させた。1往復を1サイクルとして、実験の輪荷重を再現した。

4. 解析結果と考察

図-3に走行回数と床版中央下点のたわみの関係を示す。実験ではA-S、A-SD共に終局時には急激な鉛直変位の増加に至っており、この時点で供試体の走行範囲周辺が下方へ落ち込み、押し抜きせん断破壊に至ったと考えられる。

解析では走行回数1回時から共に0.3mm程の誤差があるものの、載荷荷重と走行回数の増加に伴う鉛直変位の増加は再現出来ている事が分かる。一方、A-Sでは20万回、A-SDでは40万回以降に発生している急激な鉛直変位の増加の再現には至っていない。これは引張応力劣化だけでは終局時の急激な鉛直変位の増加による押し抜きせん断破壊について考慮出来ない事が原因と考えられる。また、A-SとA-SDを比較すると、床版厚が10mm減少する事によって、床版破壊は2倍程早まる事が分かった。

5. あとがき

本報告では凍害劣化を床版厚の減少に模擬した道路橋床版の輪荷重載荷試験の有限要素解析を行い、走行回数とたわみの関係について実験と解析を比較検討した。

今後は破壊までの繰り返し走行回数と試験体のせん断耐力比関係で表される松井式との比較を行う。また、劣化床版の余寿命

表-3 材料特性

鉄筋	
橋軸方向	φ13
橋軸直角方向	φ16
弾性係数	200 kN/mm ²
降伏応力	235 N/mm ²

コンクリート		
供試体名称	弾性係数	圧縮強度
A-S	25 kN/mm ²	40.1 N/mm ²
A-SD	23.4 kN/mm ²	35.9 N/mm ²

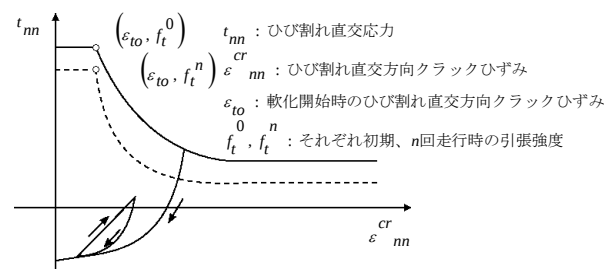


図-2 引張側コンクリートの応力ひずみ関係

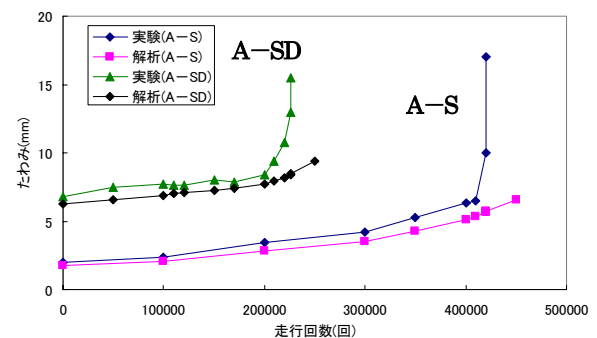


図-3 走行回数と床版中央点のたわみ関係

の算定へ向けモデルの更なる改善を行っていく予定である。

参考文献

- 1) 三田村浩, 石川博之, 赤代恵司, 松井繁之: 積雪寒冷地における既設RC床版の延命手法について, 土木学会北海道支部論文報告集, Vol. 65, A-26, 2009.
- 2) 小野貴之, 三田村浩, 林川俊郎, 松井繁之: 積雪寒冷地におけるRC床版の疲労耐久性に関する研究, 第6回道路橋床版シンポジウム論文報告集, pp.75-80, 2008.
- 3) 佐藤京, 三田村浩, 本田幸一, 松井繁之: 道路橋RC床版上面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.
- 4) Ciampi, V. et al: Analytical Model for Concrete Anchorages of Reinforcing Bars under Generalized Excitation, Report No.UCB/EERC-82/23, University of California, Berkley, 1982.
- 5) 岡村甫, 前川宏一: 鉄筋コンクリートの非線形解析と構成則, 技報堂出版, 1991.