

移動輪荷重下に置かれる RC 床版の疲労寿命に関する解析的検討

Analytical Study on Fatigue Life of RC Slabs under Traveling Wheel-Type Loads

北海道大学大学院工学院北方圏環境政策工学専攻 ○学生員 竹田京子 (Kyoko Takeda)
北海道大学大学院工学研究院北方圏環境政策工学部門 正 員 佐藤靖彦 (Yasuhiko Sato)

1. はじめに

近年、RC 床版の疲労寿命について輪荷重走行試験による実験的検討が行われる一方で、解析的検討が進められてきた。前川ら¹⁾は疲労損傷挙動を再現する三次元非線形有限要素解析手法を開発した。この解析手法は、高サイクル繰返し荷重を受ける構造物の損傷過程を良好に再現可能であり、これまでに、工学的に極めて有用な成果が得られている。しかし、移動輪荷重下に置かれる RC 床版の破壊機構には未だ不明瞭な部分が多く、合理的な設計と維持管理に向けその解明が急がれる。

本研究では、RC 床版の疲労寿命について三次元非線形有限要素解析を行い、実験により得られている傾向の再現度の確認を行うとともに、作用荷重の大きさと配力筋量が疲労耐久性に及ぼす影響について検討した。その結果をここに報告する。

2. 解析的検討の概要

2.1 解析プログラムと構成則¹⁾

本解析では東京大学で開発された鉄筋コンクリート構造物三次元非線形有限要素解析プログラム DuCOM-COM3 を用いた。高サイクル経路依存型構成モデル¹⁾により、繰返し荷重による疲労損傷挙動の再現を行うもので、鉄筋コンクリートの引張、圧縮およびひび割れ面でのせん断伝達を表す構成則からなる。時間に依存した塑性変形の増加と剛性低下により、繰返し荷重による疲労損傷を説明することができるとしている。

2.2 実験供試体と有限要素モデル

本研究では静的解析（単調載荷）と移動荷重による疲労解析を行った。解析にあたっては、平塚²⁾による RC 床版の移動輪荷重試験の実験供試体を参考にして有限要素モデルを作成した。平塚は RC 床版が受けた荷重履歴の有無や載荷時の湿潤状態、補強の有無をパラメータとした検討を行っている。本研究では湿潤状態や荷重履歴を考慮せず、実験床版の諸元を参考にして、作用荷重と配力筋のみをパラメータとして扱った。

解析に用いた有限要素モデルを図-1、諸条件を表-1～表-2に示す。拘束条件は四辺単純支持とし、衝撃による端部での破壊を防ぐ目的で、支持部に鋼板要素を設けた。また静的解析では載荷部にも鋼板要素を設けた。静的荷重は版中央 9 点に強制変位を与えた。移動荷重は図-1に示すように床版中央部の幅 500mm に速度 3km/h で移動させ、荷重を節点に直接作用させるものとした。

2.3 解析パラメータ

解析の検討ケースを表-3に示す。基本床版の作用荷重を 200kN、引張側配力筋の要素鉄筋比を 0.72%とした。

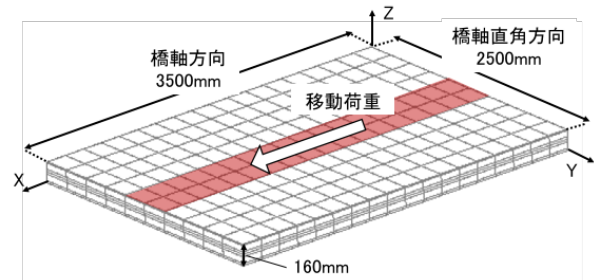


図-1 解析モデル

表-1 材料特性

材料強度	弾性係数(N/mm ²)	特性値(N/mm ²)
コンクリート	30000	圧縮強度 35.0 引張強度 2.46
鉄筋	210000	降伏点 345.0

表-2 床版配筋

配筋	主鉄筋	配力筋
上面	D16 ctc300 相当	D10 ctc300 相当
下面	D16 ctc150 相当	D13 ctc300 相当

表-3 解析パラメータ

パラメータ*	検討ケース
作用荷重	200kN、250kN、300kN
引張側の配力筋**	0.0036、0.0072、0.0143

(*)基本床版を 200kN、0.0073 とする

(**)要素鉄筋比を示す

作用荷重の影響に関する検討では、200kN を基本ケースとしてそれより荷重を大きくした 2 ケースについて解析を行った。配力筋の影響に関する検討では、引張側配力筋 0.72%を基本ケースとし、増加または減少させたケースについて解析を行った。解析では、作用荷重と配力筋のいずれかを变化させた合計 5 ケース実施した。なお、配力筋を減少させたケースでは、鉄筋の降伏に起因する破壊を防ぐ目的で、鉄筋の降伏強度を大きく設定した。

3. 解析結果と考察

3.1 床版の静的耐力

床版中央 9 点に強制変位を与えた際の荷重-変位図を図-2に示す。基本床版ではピーク時の荷重が 738.4kN で、このとき床版中央の変位が 22.8mm であった。配力筋を増やしたケースではピーク時荷重が増加、配力筋を減らしたケースではピーク時荷重は減少した。しかし、いずれのケースでもその差は極めて小さい。

3.2 作用荷重の疲労寿命への影響

移動荷重による疲労解析について、作用荷重が 200kN、250kN、300kN の場合の繰返し回数と床版中央の鉛直たわみの関係を図-3 に示す。本検討では、鉛直たわみが 20mm に達した時点を経済破壊と判定することとする。200kN では約 1965 万回の繰返し載荷を要したのに対し、300kN では約 11 万回で破壊に至った。作用荷重が疲労寿命に与える影響が非常に大きいことが再現できている。

3.3 配力筋量の疲労寿命への影響

引張側配力筋を増加または減少させた場合の繰返し回数と床版中央の鉛直たわみの関係を図-4 に示す。配力筋量に関わらず、100 万回程度までは同程度の鉛直たわみを生じた。その後徐々に違いが現れ、配力筋を減少させたケースが最も早く約 414 万回で破壊に至った。配力筋を増加させたケースでは、基本床版よりもゆっくりと鉛直たわみが増加した。配力筋が疲労耐久性に及ぼす影響は極めて大きいことが解析的に示された。

3.4 疲労寿命に関する検討

横軸に破壊に至った繰返し回数 N を、縦軸に作用荷重 S をとった関係を図-5 に示す。一例として、奥村らが行った輪荷重走行試験結果³⁾と比較すると、切片は異なるものの、得られる傾きは概ね等しい。実験により得られた傾向を疲労解析で概ね再現できていると言える。なお、切片の違いは、床版の諸元の違いに起因する。

縦軸を 3.1 で得た静的耐力で割り無次元化した $S-N$ 図を図-6 に示す。また野村らにより提案された $S-N$ 曲線とせん断耐力算定式（以降、松井式と呼ぶ）⁴⁾を用いて無次元化した値も示す。配力筋を変化させたケースが無次元化したことにより $S-N$ 線にやや近づいた。なお、解析値による $S-N$ 線の切片が約 0.7 と 1.0 より小さい。これは、輪荷重走行試験において RC 床版がはり状に破壊するにも関わらず、この比較では、版としての押抜きせん断耐力により正規化していることによる。

4. まとめ

三次元非線形有限要素解析により疲労寿命について検討を行った結果、作用荷重の影響は大きく、荷重が大きいほど疲労寿命は短いこと、また、静的解析結果（耐力と変形）に及ぼす配力筋の影響は小さいが、疲労解析では大きな影響を及ぼすことが明らかとなった。

参考文献

- 1) Maekawa, K., Gebreyouhannes, E., Mishima, T. and An, X.: Three-Dimensional Fatigue Simulation of RC Slabs under Traveling Wheel-Type Loads, Journal of Advanced Concrete Technology, 4(3), 2006, pp.445-457
- 2) 平塚慶達：道路橋 RC 床版の補強効果と疲労寿命の推定、東京大学学位論文、2015
- 3) 奥村武司、松井繁之、前田幸雄、池田龍也：輪荷重走行装置による道路橋 RC 床版の疲労実験、土木学会年次学術講演会公演概要集、1984
- 4) 野村朋宏、松井繁之、福本嘯士：道路橋 RC 床版の疲労寿命照査と疲労設計、土木学会第 43 回年次学術講演会、1988

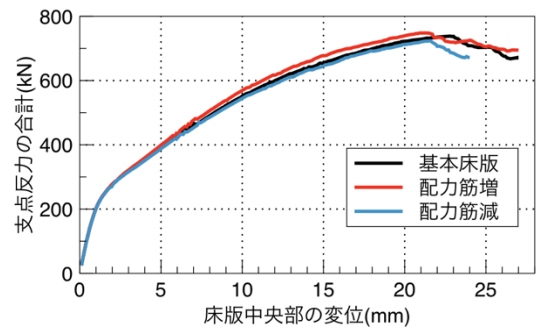


図-2 静的解析の荷重-変位図

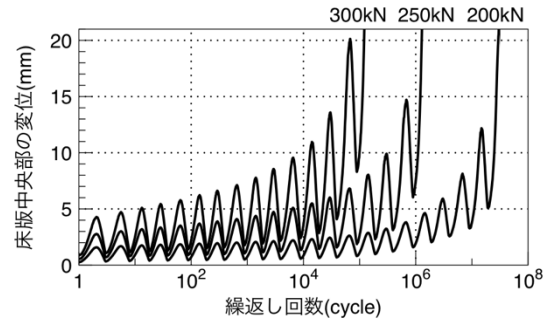


図-3 たわみ図（作用荷重の影響）

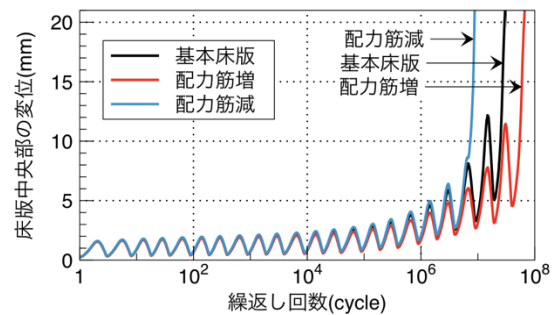


図-4 たわみ図（配力筋の影響）

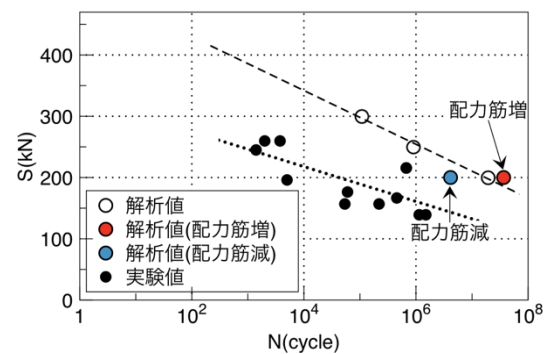


図-5 S-N 図

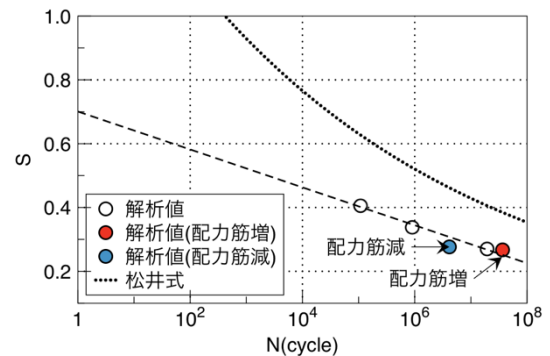


図-6 正規化した S-N 図