

コンクリートの砂利化モデルと RC 床版の疲労寿命

ショーボンド建設(株) 正会員 ○平塚 慶達
 東京大学大学院 フェロー 前川 宏一

1. はじめに

移動荷重を受ける RC 床版は、上面を冠水状態とした場合、水の影響がない場合と比較して 2-3 桁程、疲労寿命が低下することが知られている¹⁾。これはひび割れ間の水圧上昇に連動するコンクリートの疲労損傷の促進と共に、結合材としてのセメント硬化体の脱落(砂利化)による床版上面の損傷が関与していると考えられている。本稿ではひび割れ発生から進展、疲労強度の低下を経て疲労崩壊に至る経路を追跡可能な 3 次元 Multi-scale 型有限要素解析に、砂利化現象を取り込むことを試みた。さらに、RC 床版や鋼板接着補強工法で補強された床版に砂利化を考慮した解析を適用し、疲労耐久性について検討した。

2. Poro-Mechanics モデル²⁾

本研究において、滞水環境下で生じる砂利化の機構と凍結融解作用によるコンクリートの劣化に同質性を仮定している。凍結融解による膨張圧の繰り返しによりコンクリート複合体に損傷が蓄積される。同様に、ひび割れの開閉に励起される間隙水圧の繰り返しは骨材とセメント硬化体との境界に形成される比較的大きな空隙内にも伝わり、コンクリート複合体が同様に疲労損傷を受けることを考慮した。ここで、砂利化に伴う剛性低下率(凍結融解では動弾性係数低減率) K を、コンクリートの引張疲労モデルと同じ定式化で表現することを試みる。ここで間隙水圧の経路履歴を、間隙水圧 p の微分形式を用いて Z (初期値=0) で以下のように代表させることとした。

$$Z = \int_{path} dZ \tag{1}$$

$$dZ = -10^n \cdot (1 + f_n) \cdot p_{ampl}^{f_n} \cdot dp$$

$$K = \exp(-Z)$$

ここに、 f_n , n は S-N 曲線の傾きと切片に関する係数であり、 p_{ampl} は間隙水圧の振幅である。砂利化に伴って鉄筋とコンクリートとの一体性(付着)も同時に失われていく。砂利化が完全に進行した状況は $K=0$ に相当する。このとき、鉄筋は容易に面外にはらみだすことが可能となることを考慮して、鉄筋の負担能力も砂利化に伴って低下すると仮定している。

$$\sigma_i = K \cdot \sigma_{ci} + \sqrt{K} \cdot \sigma_{si} \tag{2}$$

砂利化に伴ってコンクリート要素の透水係数(保水能力)は加速的に増加(劣化)する。本研究では便宜

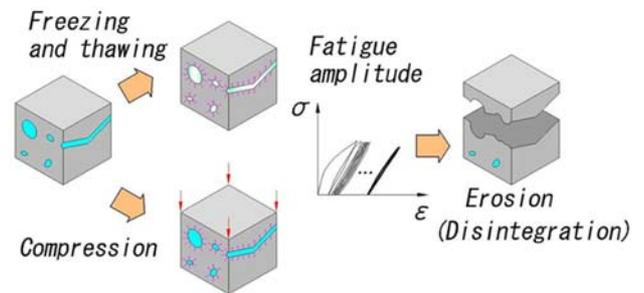


図-1 砂利化をうけるコンクリートのモデル化

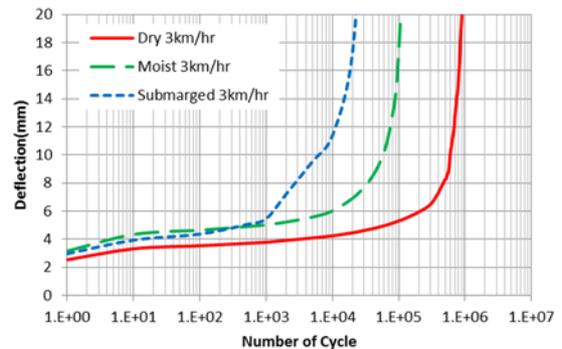


図-2 環境条件の違いによる RC 床版のたわみの挙動

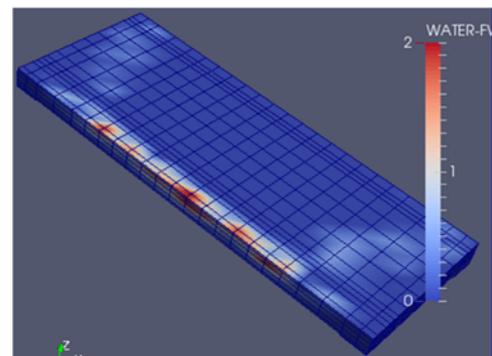


図-3 RC 床版の砂利化範囲 ($\log(1+Z)$ で図化)

的に透水係数の変化として表現することとした。

$$\kappa_{zi} = \kappa_i / Z^2 \quad (3)$$

3. 砂利化の影響を考慮した床版の疲労寿命

(1) 解析モデル

対象とした床版は、昭和39年鋼道路橋設計示方書に従って設計した床版スパン2500mm、厚さ160mmのRC床版である。既報の解析モデルを準用することとした³⁾。

(2) RC床版の挙動

本研究ではまずRC床版について、乾燥環境下と湿潤環境下、冠水環境下について、ひび割れ中にある凝縮水の運動や砂利化の影響を考慮した Poro-mechanics に立脚する非線形疲労解析でたわみの挙動の推移を確認した。載荷速度はゴムタイヤ式の輪荷重走行試験における移動速度3km/hrとし、荷重は160kNとした。乾燥収縮は標準的な収縮量328 μ を載荷前に与えた。図-2に結果を示す。不飽和状態での湿潤環境下では、乾燥環境下よりも1桁程度疲労寿命が短くなる。これは主としてせん断伝達機構の低下による。細孔が飽和状態となる冠水環境下では砂利化の影響を受けて、さらに1桁程度疲労寿命が低下する。結果、既往の知見¹⁾のとおり、乾燥環境下と比較して2桁程度疲労寿命が低下する結果となった。

(3) 鋼板接着補強床版の挙動

補強された床版では、同じ荷重が作用しても、補強前後で各部位の応力状態は異なる。ひび割れ開閉量も異なるため、無補強のRC床版と異なる疲労挙動を示すと考えられる。図-4に環境条件の違いによる補強床版のたわみの挙動を示す。乾燥状態と比較して、湿潤環境の影響のみではRC床版に比べて疲労寿命の低下は相対的には顕著ではなく、砂利化の影響が顕著であった。湿潤環境下では、鋼板接着補強により床版の静的耐力が大幅に向上し、各所での応力振幅が小さくなったこと、中立軸の移動に伴い圧縮側コンクリートのひび割れ開閉量が少なくなる事などが主因と考えられる。

(4) 湿潤環境がS-N曲線に与える影響

補強鋼板の環境条件の違いが床版の疲労寿命に与える影響を確認する目的で、S-N曲線を用いて検討を行う。図-5は乾燥、冠水環境下でのRC床版と補強床版のS-N曲線の比較である。冠水環境下は乾燥環境下と比較して2桁以上の疲労寿命の低下が認められる。ただしその内容は異なり、RC床版は水そのものによる物性の低下の影響が大きく、補強床版では砂利化の影響が大きい。RC床版の乾燥環境下と補強床版の冠水環境下で比較することで、S-N曲線の傾きが砂利化の影響を受けて、異なることが示された。

4. まとめ

圧力変動によりコンクリート要素を逸散させることで砂利化に対する検討を行い、移動荷重をうけるRC床版の疲労寿命に与える影響が大きいことを数値計算において推定できた。砂利化のモデルを導入することにより補強床版でも疲労寿命が著しく低下し、既設床版の損傷事例を説明できる可能性が示された。

参考文献

- 1) 松井繁之：移動荷重を受ける道路橋RC床版の疲労強度と水の影響について，コンクリート工学年次論文報告集9-2, pp.627-632, 1987.
- 2) 前川宏一，藤山知加子，石田哲也：ひび割れ間に捕捉される水分の動的挙動とコンクリート構造の累積損傷，耐久性力学に基づく収縮影響評価に関する報告会（基調講演），2012.10.
- 3) 平塚慶達，前川宏一：鋼板接着補強工法における鋼板の浮き位置が床版の疲労寿命に与える影響，土木学会第69回年次学術講演会，I-014, pp.27-28, 2014.9.

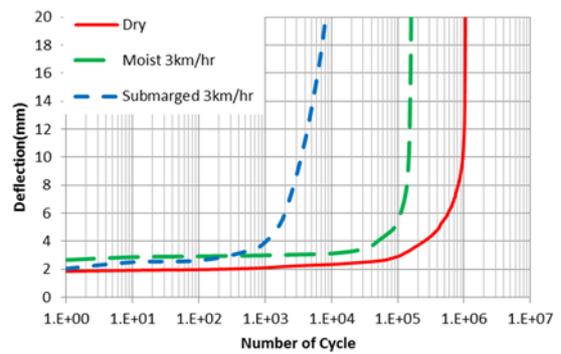


図-4 環境条件の違いによる補強床版のたわみの挙動

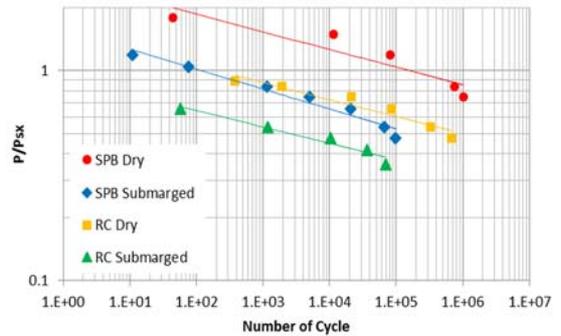


図-5 環境条件を変えたRC/補強床版のS-N曲線