

道路橋コンクリート系床版の疲労耐久性評価法に関する一考察

国土技術政策総合研究所 正会員 ○土田 隆司

国土技術政策総合研究所 正会員 玉越 隆史

1. はじめに

道路橋コンクリート床版（以下床版）の疲労損傷については、輪荷重走行試験などによって移動荷重の繰返し载荷によるコンクリートの損傷（ひび割れの発生、進展）が主たる要因と認識されている¹⁾。一方現状においては、疲労耐久性を定量的に評価できていない。

本研究は、床版の疲労耐久性評価法確立のために、移動荷重の影響によるコンクリートの疲労を考慮することで床版損傷の進展を把握する手法について解析的検討を行ったものである。

2. 損傷状態を把握する指標

コンクリートについても繰返し荷重によって、内部に発生したひび割れが漸次成長伝播する疲労を生じると認識されており²⁾、床版の移動荷重の繰返しによる損傷もひび割れ密度が増加することや床版残留たわみが増加すること³⁾から、コンクリートの微小要素の疲労破壊の連続と捉えることができ、かつ、これが床版の疲労耐久性の支配的な要因であると考えられる。

よって、コンクリート微小要素の破壊の連続を指標として、床版の損傷状態の過程や構造の最終破壊を再現でき得るかに関して解析的に検討した。今回は基礎的な検討として、巨視的に床版損傷過程を再現することを目指した。

3. 解析的検討

(1) コンクリートの破壊の構成則

移動荷重を繰返し受ける床版内部コンクリートの応力性状は、微小要素に着目した場合、荷重が変動することによりその要素の主応力の大きさと向きが常に変動することが特徴である。一般的に提案されるコンクリートの繰返し応力による破壊の構成則⁴⁾は、応力の方向が一定であり、床版の内部の応力変動条件にはそのまま適用できないと考えられる。よって、床版内部の微小要素の破壊の構成則を、微小要素が受ける主応力値やひずみによるエネルギーの振幅量に対してそれぞれ疲労破壊の構成則をいくつか仮定し（表-1）移動荷重を考慮した FEM 解析にて検討した。

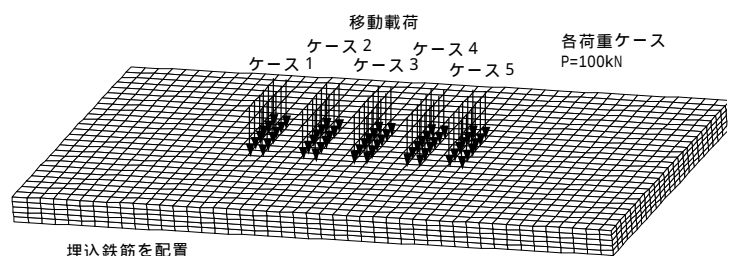
(2) FEM 解析による検討

今回は、過去の土木研究所で実施された輪荷重走行試験の結果²⁾の再現を試みた。解析モデル図の一例を図-2 に、解析モデルの概要を表-2 に示す。移動

载荷は荷重を 5 箇所順次载荷することで擬似的に再現した。解析は以下の作業を繰返すことで、床版の損傷

表-1 設定した破壊構成則

case	破壊の構成則	回数との関係
	要素の引張主応力振幅の累積と破壊の回数を設定	$\log N = 17(1 - S_{\max}) / (1 - S_{\min})$ S: 静的強度と振幅応力の比 $\sigma_{ct} = 2.5 \text{ N/mm}^2$, $\sigma_c = 0.0 \text{ N/mm}^2$
	要素の応力 3 成分 ($\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$) それぞれの直応力振幅と破壊の回数を設定	$\log N = 9.46$ $-7.71(\sigma_{\max} / \sigma_{ct}) - 3.37(\sigma_{\min} / \sigma_c)$ $\sigma_{ct} = 2.5 \text{ N/mm}^2$, $\sigma_c = 30.0 \text{ N/mm}^2$
	要素の直応力ひずみ 3 成分 ($\epsilon_x, \epsilon_y, \epsilon_z$) によるひずみエネルギー振幅量と破壊の回数を設定	$\log N = 8(1 - S_{\max})$ S: 振幅エネルギーの比 $U_0 = 0.01125 \text{ N/mm}^2$ $U = \frac{1}{2}(\sigma_{\delta x} \epsilon_{\delta x} + \sigma_{\delta y} \epsilon_{\delta y} + \sigma_{\delta z} \epsilon_{\delta z})$
	要素のひずみ 3 成分 ($\epsilon_x, \epsilon_y, \epsilon_z$) と、せん断ひずみ 3 成分 ($\gamma_x, \gamma_y, \gamma_z$) によるひずみエネルギー振幅量と破壊の回数を設定（ただし、引張応力領域の振幅のみを考慮）	$\log N = 8(1 - S_{\max})$ S: 振幅エネルギーの比 $U_0 = 0.0001125 \text{ N/mm}^2$ $U = \frac{1}{2E}(\sigma_{\delta x}^2 + \sigma_{\delta y}^2 + \sigma_{\delta z}^2)$ $-\frac{\nu}{E}(\sigma_{\delta y} \sigma_{\delta z} + \sigma_{\delta z} \sigma_{\delta x} + \sigma_{\delta x} \sigma_{\delta y})$ $+\frac{1}{2G}(\tau_{\delta yz}^2 + \tau_{\delta zx}^2 + \tau_{\delta xy}^2)$

図-2 解析モデル概要図（供試体 RC39²⁾）

キーワード RC 床版、移動荷重、疲労、FEM 解析

連絡先 〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地1 TEL 029-864-4919

状態を把握した。まず、1回の移動荷重により各要素の着目する応答値の振幅量を算出する。着目する振幅量が最大の要素から破壊するため、仮定する振幅量とその頻度からマイナー則に準じた累積損傷度を定義してその換算回数を算出するとともに、他の要素のダメージ量を算出。その後、振幅量最大要素を破壊（剛性低下）させ、次の移動荷重を実施し、各要素の着目する振幅量を算出。破壊の構成則に従い、次の破壊要素を決定し破壊させる。以下同様の作業を繰り返す。

（3）解析結果

直応力振幅しか考慮していない case、破壊エネルギー量の限界値を圧縮応力度で設定した case は損傷の順序やたわみ性状などが明らかに異常な結果であったため省略する。図-3に case の床版下面の損傷要素の増加傾向を簡単に示す。

中心から徐々に広がる傾向は case とともに実験結果と同様である。ただし、case

においては、case よりも早期に上面側（圧縮領域側）のコンクリート要素が破壊する結果となった。

また、図-4に case の床版たわみ性状、図-5に case の床版たわみ性状、図-3 case に解析条件となった供試体 RC39-3²⁾の床版たわみ性状を示す。現状の解析レベルでは入力条件の数値（表-2の剛性低下など）を厳密に検討していないため、解析結果との数値的な整合は取れない。しかし case、に関して床版たわみの増加傾向及び鉄筋ひずみの増加傾向は実験床版と同じ傾向と判断できる。

また、過去の土木研究所での輪荷重走行試験は異なる荷重値や、適用基準の違いに応じた実験、構造の違いによる条件で実施しており、今回もケースに関して荷重を増加させた場合（157kN）や、床版厚を増加させた場合（H8道示対応）PC床版の場合の解析を行い、その結果の傾向に関して先に検討した解析結果と比較した。結果を表-3に整理するが、実験結果の傾向と同様の傾向が得られた。

4．まとめと今後の課題

1)繰り返される移動荷重下のコンクリートの状態は引張主応力振幅量や弾性ひずみエネルギー振幅量と回数の関係を指標とした場合に解析的に損傷状態を把握できる可能性がある。

2)しかしながら、破壊の構成則の妥当性に関しては、要素実験などで具体的な数値を確認する必要がある。

3)また、解析的に床版の損傷評価を行うためには、実験値との整合が必要であり、解析のモデル化において桁の支持条件や剛性低下後の力の伝達方法等に関して検討する必要がある。

参考文献

- 1) 松井繁之：道路橋コンクリート系床版の疲労と設計法に関する研究，大阪大学学位論文，昭和59年
- 2) 岸谷孝一，西澤紀明：コンクリート構造物の耐久性シリーズ 疲労，技報堂出版
- 3) 道路橋床版の疲労耐久性に関する試験，国土技術政策総合研究所資料28
- 4) コンクリート標準示方書「構造性能照査編」，土木学会2002

表-2 解析モデルの概要

解析方法		線形 FEM 解析
モデル概要	1要素の大きさ	38×100×100(mm)
	鉄筋入力モデル	埋込み鉄筋
	コンクリート弾性係数	E=25000N/mm ²
	鉄筋弾性係数	E=200000N/mm ²
	要素破壊後の剛性低下	コンクリート弾性係数を1/10
支持条件		桁部線支持（ピン）

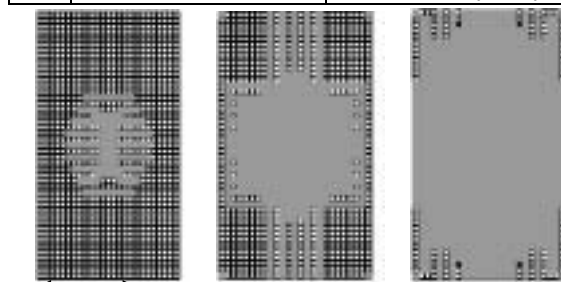


図-3 床版下面の損傷要素増加傾向

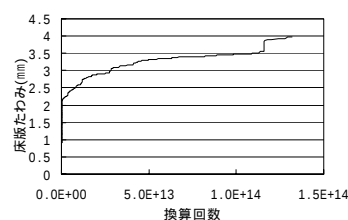


図-4 主版たわみ性状 (case)

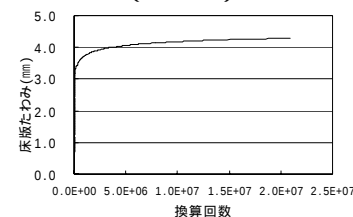


図-5 床版たわみ性状 (case)

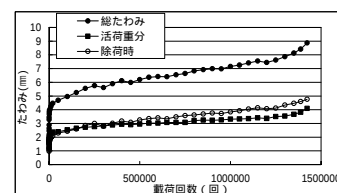


図-6 床版たわみ性状²⁾

表-3 実験結果の傾向（初期解析に比して）

条件	荷重を増加 (100→157)	版厚増加 (H8道示)	PC導入
結果	減少	増加	最増加
破壊 換算回数	(破壊が早い)	(破壊が遅い)	(破壊が最も遅い)
床版たわみ	増加	減少	減少
鉄筋応力	増加	減少	-