

三次元有限要素解析による鉄筋コンクリート床版の疲労耐久性評価法に関する検討

九州工業大学大学院 学生員 ○田村雄一 正会員 山口栄輝

1. はじめに

経年に伴う道路橋の損傷に床版の疲労がある。この現象に関しては、輪荷重走行試験によりかなり解明がされてきたものの、疲労耐久性を定量的に評価し、設計に十分反映できる状況にはまだ至っていない。特に、解析的な評価法については未解明な点が多い。こうした点に鑑み、国総研らによる共同研究が実施され、文献1)が発行された。本研究では、文献1)で提案された解析法の改善を目指して取り組んだ検討結果を報告する。すべての解析において、有限要素解析ソフト DIANA を用いる。

2. 解析概要

2.1 解析法¹⁾ 鉄筋コンクリート (RC) 床版内は多軸応力状態にあり、車両走行に伴い、各応力成分が変動する。そのため、文献1)では、次式のような、ひずみエネルギー範囲を用いた疲労寿命式 (S-N線) を提案し、実験結果を再現している。

$$N = 10^{8(1 - \frac{\Delta U}{U})} \quad (1)$$

ここに、 N は疲労寿命 (疲労損傷の生じる走行回数)、 ΔU はひずみエネルギー範囲、 U は一軸応力下で引張破壊に至るまでのひずみエネルギーである。本研究では、輪荷重が作用した RC 床版の三次元有限要素解析 (8 節点ソリッド要素使用) を行うことで各要素の ΔU を求め、式(1)により疲労寿命を算定する。その際、線形累積被害則を適用する。疲労寿命に達した要素では、弾性係数を低減させることで損傷をモデル化する。この損傷解析を継続して遂行していくと、輪荷重走行試験と同様に、鉄筋応力の変化が安定しなくなるなどの状態に達し、RC 床版が疲労破壊したと判定される。この破壊状態に至るまでの移動荷重の載荷回数を、以下では単に破壊回数と呼ぶ。

2.2 解析モデル 文献2)のRC39床版を解析対象とする。これは輪荷重走行試験に供された実験供試体であり、その概要を図-1、表-1にまとめている。解析に際しては、実験に合わせて床版支間を2.5mとし、床版下面で鉛直方向と橋軸方向の変位を拘束する。実験では、幅500mmの車輪が、床版上の3m区間を繰り返し走行する。解析では、簡易的に、床版上面の5箇所に荷重を順次載荷させる (図-2)。載荷荷重、コンクリートの材料定数は実験値を用い、鉄筋の材料定数は弾性係数 $E = 2.0 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ とする。

表-1 実験結果²⁾

供試体名	載荷荷重 (kN)	コンクリートの材料試験結果			破壊回数 (回)
		弾性係数 ($\times 10^4 \text{ N/mm}^2$)	ポアソン比	引張強度 (N/mm^2)	
RC39-1	157	2.05	0.178	1.94	27,392
RC39-3	105	1.62	0.191	1.44	1,423,112
RC39-4	196	2.39	0.172	2.69	881
RC39-5	167	2.34	0.170	2.49	45,034
RC39-6	147	2.18	0.161	2.21	130,828
RC39-7	152	2.39	0.123	2.15	272,329
RC39-8	118	2.32	0.173	2.42	2,750,073
RC39-9	157	2.68	0.168	2.34	224,764

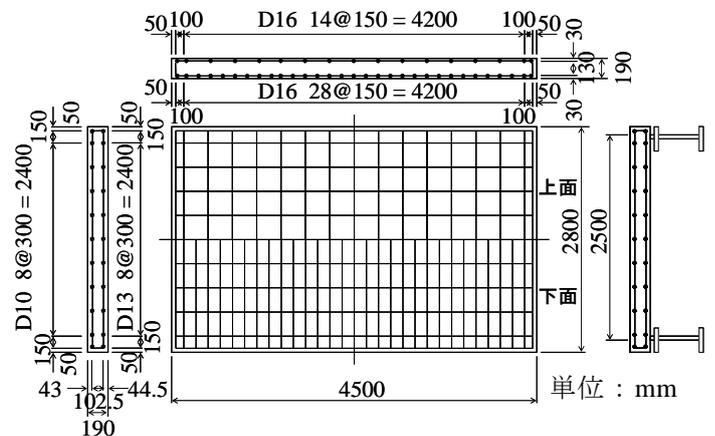


図-1 RC39床版

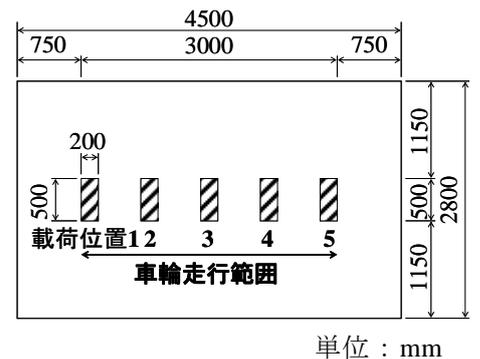


図-2 載荷法

キーワード RC床版, 疲労損傷, 輪荷重走行試験, 有限要素解析

連絡先 〒804-8550 福岡県北九州市戸畑区仙水町1-1 九州工業大学工学部 TEL093-884-3110 FAX093-884-3100

疲労寿命に達した要素では、弾性係数を $1/a$ に低減する。 a を低減係数と呼び、その大きさが解析結果に及ぼす影響を検討する。さらに、要素分割の影響を検討するため、3種類の有限要素モデルを作成し、要素分割が粗い順に Model A, Model B, Model C と名づける。

3. 解析結果

本解析によって得られた低減係数 a -破壊回数 N 関係を図-3に示す。 a が大きくなるほど、破壊回数が小さくなっている。また、要素分割も解析結果に大きな影響を及ぼし、要素分割が細くなるほど破壊回数が小さくなる傾向が見られる。

図-3の実線(曲線)は、各有限要素モデルによる解析結果を近似したものである。この曲線が実験値と一致するときの低減係数の値 a^* が、低減係数の最適値と考えられる。各供試体、各有限要素モデルについて求めた a^* を図-4に示している(Model Cによる解析は、まだ終了していない供試体がある)。横軸の要素長は、最も細かな要素分割である Model Cの要素代表長を1とした場合の相対値である。これより、要素分割が細かいほど最適値 a^* は小さくなる傾向や、供試体ごとに最適値 a^* は異なることが理解される。

本研究の解析モデルはすべて同じ形状寸法であり、コンクリートの材料定数のみが異なる。そこで、コンクリートの弾性係数、引張強度に着目し、Model Aにおける、低減係数最適値 a^* の算定式を最小二乗法により求めた。得られた結果は次式である。

$$a^* = 902\bar{E}^2 - 632\bar{E} + 387\bar{\sigma}_t^2 + 601\bar{\sigma}_t - 1281\bar{E}\bar{\sigma}_t + 60 \quad (2)$$

ここに、 \bar{E} 、 $\bar{\sigma}_t$ は、弾性係数、引張強度をそれぞれ $2.5 \times 10^4 \text{N/mm}^2$ 、 2.5N/mm^2 で無次元化したものである。図-4に示す解析結果とともに、式(2)による低減係数最適値 a^* の値を図-5に示している(横軸の供試体番号とは、供試体名の最後の数字である)。両者はよく一致しており、式(2)の有効性が確認される。

4. まとめ

RC床版の疲労破壊までの寿命(破壊回数)を文献1)の解析手法で求める際には、疲労損傷を表す弾性係数の低減係数の値および要素分割に注意が必要である。低減係数が大きいほど、また要素分割が細かいほど破壊回数は小さくなる傾向が見られる。ここでは、特定の有限要素モデル(Model A)について、コンクリートの材料特性から、低減係数最適値を算定する式を求めた。今後、有限要素モデル(要素分割)の影響も考慮できる低減係数最適値算定式に拡張する予定である。

謝辞

本研究は、文献1)の共同研究をもとに実施したものである。関係各位に深謝する次第である。

参考文献

- 1) 国土技術政策総合研究所他：道路橋床版の疲労耐久性評価に関する研究，国土技術政策総合研究所資料，第472号，2008。
- 2) 中谷他：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，第28号，2002。

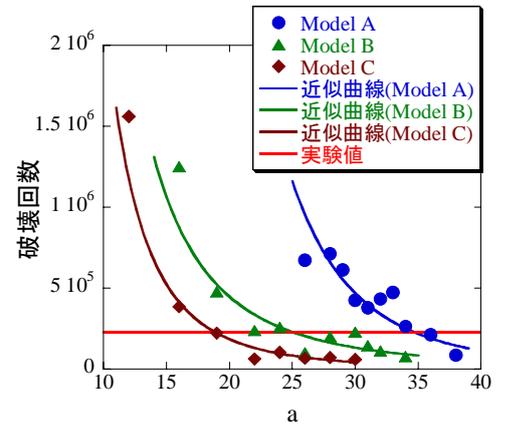


図-3 低減係数 a -破壊回数 N (RC39-9)

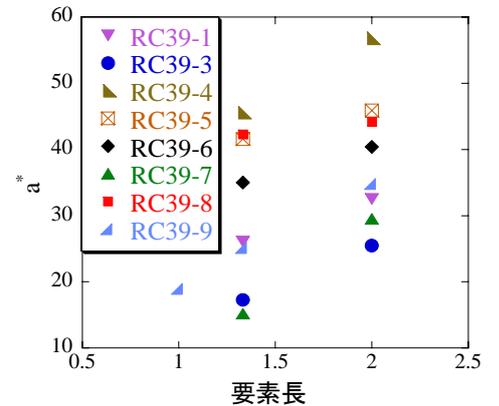


図-4 要素長-最適低減係数 a^*

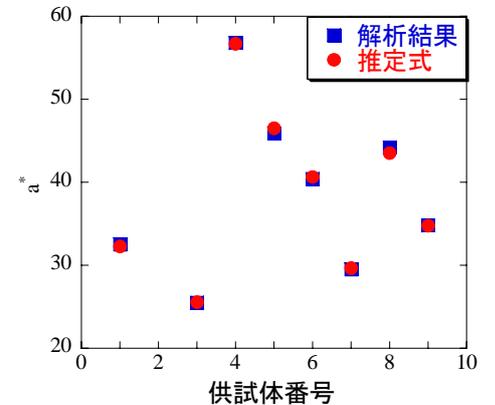


図-5 推定式の妥当性の検討