

3次元非線形解析を用いた既設道路橋 RC 床版の余寿命予測に関する基礎的検討

(株) 福山コンサルタント	リスクマネジメント事業部	正会員	○鍋田 仁人
(株) 福山コンサルタント	リスクマネジメント事業部	正会員	宮村 正樹
(株) 福山コンサルタント	リスクマネジメント事業部	正会員	中野 聡
法政大学	デザイン工学部 都市環境デザイン工学科	正会員	藤山 知加子
東京大学	生産技術研究所 人間・社会系部門	正会員	田中 泰司

1. はじめに

道路橋 RC 床版の疲労損傷に対して劣化進行を定量的に把握する手法として、輪荷重走行試験機による押し抜きせん断疲労実験¹⁾から得た載荷荷重(S)と載荷回数(N)の関係式(以下、S-N 関係式)を用いる方法がある。しかし、供用中の既設道路橋を対象とする場合は RC 床版を切り出して実験することは現実的ではないため、3次元非線形解析を用いて床版モデルを作成して解析により把握する方法がある。そこで本検討では床版疲労解析に特化した3次元非線形解析ソフト FABriS²⁾を用いて実際の既設道路橋 RC 床版を対象とした S-N 関係式の把握を行い、余寿命予測に関する基礎的検討を行ったため、結果を報告する。

2. 3次元非線形解析による S-N 関係式の把握

既設道路橋 RC 床版の S-N 関係式を把握するための検討の流れを図-1 に示す。

(1) 解析モデルの作成

実際の高速道路上の橋梁を対象とし主桁と対傾構に囲まれた RC 床版の 1 格間(橋軸方向 6037.5mm, 橋軸直角方向 3525mm, 床版厚 180mm)で解析モデルを作成した(図-2)。なお、端部の支持条件は実橋の拘束条件との整合性を考慮し、橋軸方向のみ 2 辺支持(但し回転方向フリー)とした。また、床版のコンクリート圧縮基準強度及び弾性係数は設計時と同様に $f'_{ck}=35.0\text{N/mm}^2$, $E_c=29.5\text{kN/mm}^2$ とした。

(2) 載荷回数-たわみの関係把握

載荷回数-たわみの関係を把握するため、載荷荷重を 147kN, 196kN, 245kN の 3 段階に設定して床版疲労解析を実施した。

解析結果で得られた載荷回数-たわみ量の関係について 196kN 載荷時を例に図-3 に示す。載荷回数が少ない段階では 4.0mm 程度のたわみ状態がしばらく維持され、その後は繰返し載荷回数の増加に伴ってたわみ量が増加し、 1.0×10^{10} 回程度を過ぎた時点で急激な増加に転じることが確認された。なお、147kN 及び 245kN 載荷時も同様の傾向がみられ、載荷荷重の増加に伴い早期に活荷重たわみが急増する傾向を示した。

(3) 各損傷度における活荷重たわみの把握

載荷荷重や床版のひびわれ状態によって床版のたわみ量が異なるため、各損傷度³⁾に応じたひびわれ状態での 1 回走行を模擬した動的解析を実施し、各損傷度における活荷重たわみを把握した。なお、本検討で用いた

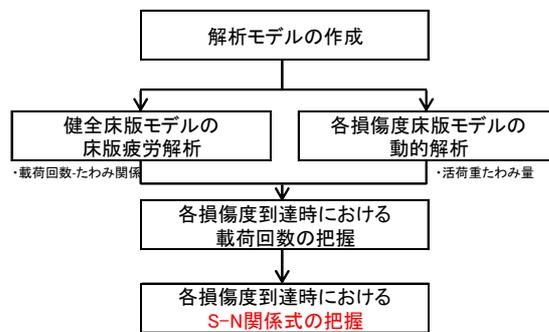


図-1 検討の流れ

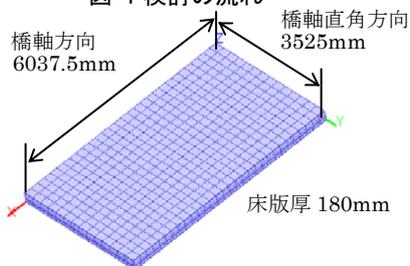


図-2 解析モデル図

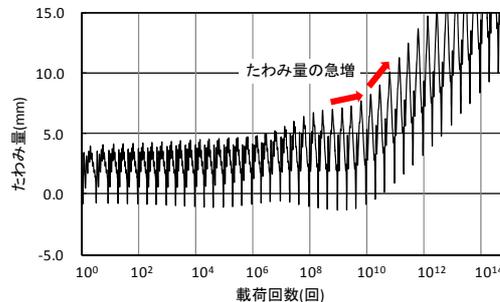


図-3 196kN 載荷時の載荷回数-たわみ量

損傷度区分を表-1 に示す。

載荷荷重 196kN, 損傷度 c の 1 回走行時の解析たわみ波形を図-4 に示すが, 載荷荷重の除荷後に残留たわみが生じることが確認された。なお, 各損傷度における活荷重たわみは, 最大たわみから残留たわみの差し引いた値と定義した。各損傷度における活荷重たわみを表-2 に示す。

(4) 各損傷度到達時における載荷回数

各損傷度に到達時の判定基準は, 2. (2) で得られた載荷回数-たわみ量(本検討では活荷重たわみを抽出)の関係を基に, 表-2 に示す各損傷度の活荷重たわみ量を超えた時点と定義して, 各損傷度到達時の載荷回数を把握した。

例として載荷荷重 196kN における載荷回数-活荷重たわみの関係を図-5 に示し, 各損傷度到達時の載荷回数を表-3 に示す。なお, 本検討で用いた載荷荷重(147kN~245kN)の範囲内では, 載荷回数 1 回時から損傷度 b での活荷重たわみ量を超えたため(初期から損傷発生), 本検討では除外することとした。

3. 各損傷度到達時における S-N 関係式

2. (4) で得られた各損傷度到達時の載荷回数に基づいて, 各損傷度における S-N 関係式を求めた結果を図-6 に示す。載荷荷重を把握することで各損傷度に至る載荷回数を推定することが可能になると考えられる。また, 格子状ひびわれが発生する損傷度 d までの劣化進行は速い傾向であるが, 連続的な角落ちに至る損傷度 e までにはある程度の時間を要することが明らかとなり, 疲労限界の閾値設定の参考となることが示唆された。

4. まとめ

本検討では 3 次元非線形解析を用いて各損傷度到達時の S-N 関係式の把握を行った。今後は得られた S-N 関係式を基に, 対象橋梁の累積大型車交通量(N)から載荷荷重の代表値(S)を設定し, 疲労破壊に至るまでの期間を推定する余寿命予測を行う予定である。また, 複数の構造条件でのパラメトリック解析や, 凍結防止剤の散布に伴う塩害や凍害と疲労損傷との複合劣化を想定した解析を行い, より実用的な余寿命予測手法を提案する予定である。

【参考文献】

- 1)宮村正樹: 振動特性に着目した RC 床版の疲労損傷度評価手法に関する研究, 構造工学論文集, Vol.57A, pp.1251-1262, 2011.3
- 2)国土交通省: 建設技術研究開発費補助金総合研究報告書, 課題番号 第 9 号, 2012.
- 3)土木学会: 道路橋床版の維持管理マニュアル, 2012.

【謝辞】

本研究は, 総合科学技術・イノベーション会議の SIP (戦略的イノベーション創造プログラム)「インフラ維持管理・更新・マネジメント技術」(管理法人: JST, 研究責任者: 前川宏一) の支援を受けて行った。

表-1 床版ひびわれの損傷度区分³⁾

損傷度	ひびわれ幅	ひびわれ方向, 間隔	劣化過程
a	0.05mm以下	1方向のみ 最小間隔が1.0m以上	潜伏期
b	0.1mm以下が主	1方向が主 間隔が0.5m~1.0m	潜伏期
c	0.2mm以下が主	格子状直前 間隔が0.5m程度	進展期
d	0.2mm以上が目立つ	格子状 間隔が0.2m~0.5m	加速期
e	0.2mm以上	格子状 間隔が0.2m以下	劣化期

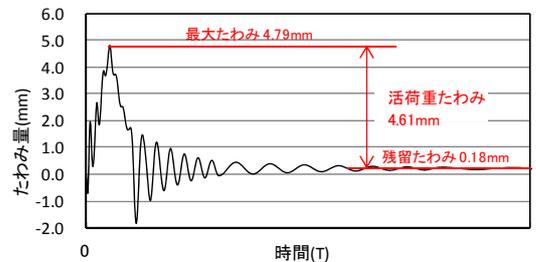


図-4 1 回走行時の解析たわみ波形 (載荷荷重 196kN, 損傷度 c)

表-2 各損傷度における活荷重たわみ

載荷荷重 (kN)	活荷重たわみ(mm)			
	b	c	d	e
147	2.03	3.24	3.65	5.50
196	3.25	4.61	5.01	8.12
245	4.74	6.08	6.49	11.68

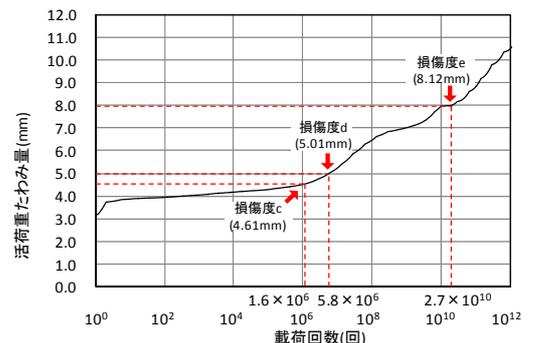


図-5 損傷度到達時の載荷回数

表-3 各損傷度到達時の載荷回数

載荷荷重 (kN)	載荷回数(回)			
	b	c	d	e
147	—	9.7×10^6	1.0×10^8	3.9×10^{13}
196	—	1.6×10^6	5.8×10^6	2.7×10^{10}
245	—	2.6×10^4	1.5×10^5	2.6×10^9

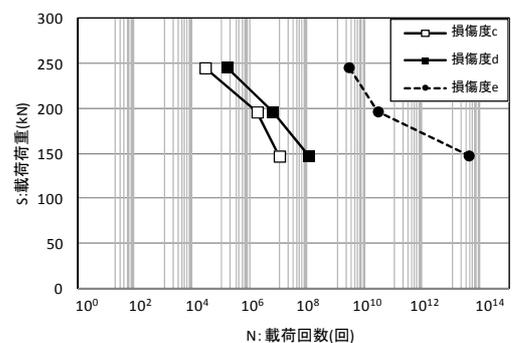


図-6 各損傷度の S-N 関係式