

繰返し衝突を受ける RC はりの残存耐力評価に関する基礎的研究

福岡大学 正会員 ○玉井 宏樹
 九州大学大学院 正会員 園田 佳巨
 福岡大学 正会員 坂田 力

1. 緒言

RC 製防護構造物の設計には、単発衝突に対する照査はもちろんであるが、繰返し衝突に対する評価も的確に行っていく必要がある。しかし、繰返し衝突を受ける RC 部材の耐衝撃性評価や残存耐力評価に関する解析的研究は、ほとんど存在しないのが現状である。そこで、本研究では、繰返し衝突を受ける RC はりの累積損傷度を評価するために、鉄筋およびコンクリート材料それぞれに対して累積損傷モデルの提案を行い、繰返し衝突解析を実施し、RC はりの残存耐力評価に関する基礎的考察を行った。

2. 累積損傷モデルの概要

2.1 鉄筋の累積損傷モデル

本研究では、延性材料の低サイクル疲労破壊に広く用いられている塑性ひずみ幅と破損までの繰返し数の関係を表した Manson-Coffin 関係を Miner 則に適用することによって、繰返し衝突を受ける RC はりの鉄筋の累積損傷度を評価可能な新たなモデルを提案した。一般的には、衝突荷重を受ける RC はり内の鉄筋の軸方向応力-塑性ひずみ関係は図-1のように示される。これを図-2のように閉じたループの一部と考えることで、Manson-Coffin 関係をそのまま用いることとした。提案モデルの概要について簡潔に述べると、Manson-Coffin 関係を用いることによって、 n 回の衝突によって生じる塑性ひずみ幅からその時点での破壊を生じさせる繰返し衝突回数の算定を行い、それを Miner 則に代入することにより、 n 回目衝突により蓄積された累積損傷度を式(1)により評価し、その損傷度を $n+1$ 回目衝突時の弾性係数低減率として扱うといったモデルになる。

$$D_n = \sum_{k=1}^n \Delta D_k = \sum_{k=1}^n \left(m_k \cdot \frac{1}{N_{f0k}} \right) = \sum_{k=1}^n \left\{ m_k \cdot \left(\frac{C}{\Delta \varepsilon_{pk}} \right)^{\frac{1}{\alpha}} \right\} \quad (1)$$

ここに、 α と C は材料定数である。

2.2 コンクリートの累積損傷モデル

コンクリートの繰返し衝突現象に関する研究はほとんど存在せず、どのようなモデルを用いるべきか知見不足な点が否めない。そこで、本研究では Lemaitre の損傷モデルに基づいた損傷連成の弾塑性構成式を用いることで、コンクリートの累積損傷度を評価することとした。

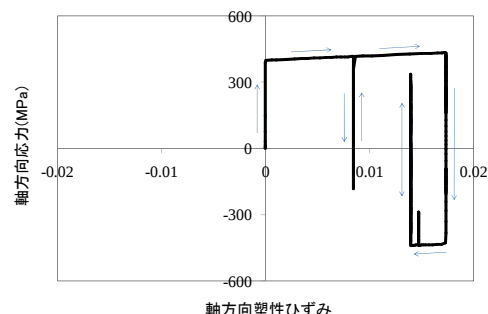


図-1 衝突荷重を受ける RC はり内の鉄筋の軸方向応力-塑性ひずみ関係

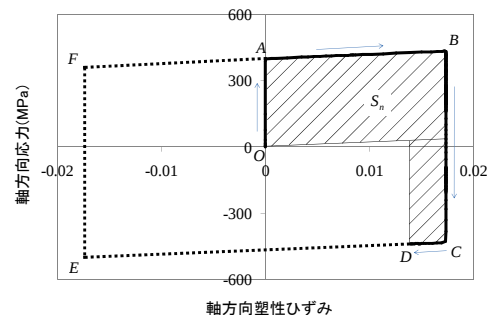


図-2 Manson-Coffin 関係へ読み替えるための仮想ループ

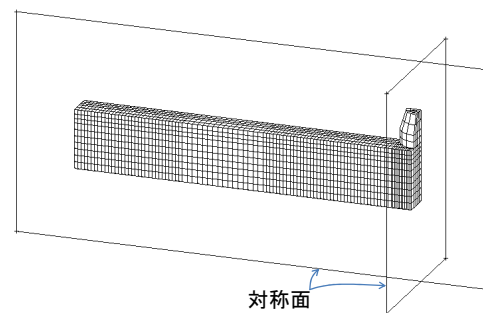


図-3 解析モデル

キーワード 繰返し衝突, RC はり, 累積損傷度, 残存耐力

連絡先 〒814-0180 福岡県福岡市城南区七隈 8-19-1 TEL092-871-6631(内線 6493)

3. 繰返し衝突実験のシミュレーション

3.1 解析概要

提案した累積損傷モデルの適用性を検証する目的で、安藤らが実施したRCはりの繰返し漸増載荷実験¹⁾を対象とした繰返し衝突解析を行った。解析対象は純スパン2000mmで、高さ220mm、幅200mmの矩形断面を有する複鉄筋矩形RC単純はりであり、また、主鉄筋にはSD295Aの径D10、せん断補強筋には、径D6が配されている。図-3に解析モデルを示す。なお、使用した有限要素は主鉄筋およびせん断補強筋に関しては1積分点を有するトラス要素、コンクリートに関しては8積分点を有するアイソパラメトリックソリッド要素である。解析条件として、質量200kgの鋼製重錘を処女載荷速度1m/sから増分速度1m/sではりスパン中央部に4回衝突させる場合を想定した。また、表-1に材料定数を示す。

3.2 解析結果および考察

図-4に繰返し衝突解析により得られた累積残留変位と衝突回数との関係を実験結果と比較した形で示す。この図から、本解析において十分な精度で繰返し衝突実験をシミュレートでき、本研究で提案した累積損傷モデルの妥当性を確認した。しかし、衝突回数を重ねるにあたり、解析の累積残留変位が若干ではあるが大きい値を示した。これは、衝突回数を重ねる毎に微小な誤差が累積されたためであると考えられる。図-5には、4回目衝突後の衝突位置近傍鉄筋要素の累積損傷度分布を示す。衝突位置直下であるスパン中央部の下側主鉄筋の累積損傷度が1.0に達しており、初期状態で有していた剛性を全て失い、ほぼ破断した状態を示した。実験においては、4回目衝突後にはRCはりの破壊が報告されており、本解析により得られた累積損傷度分布で、同様の状態を表現できていると考えられる。また、本手法を用いることにより、図-6に示すような衝突回数と累積損傷度の関係を算出できることから、鉄筋破断までの繰返し衝突回数や許容限界の衝突条件の予測も容易に可能であることが確認できた。今回の漸増載荷の場合、3回衝突が許容限界であると考えられる。ちなみに、衝突速度2.0m/s一定で繰返し衝突解析を行った場合、図-7より許容限界衝突回数は8回衝突であることが確認できた。

4. 結論

繰返し衝突による損傷の蓄積を再現するために、新たに累積損傷度の評価法を提案し、RCはりの繰返し衝突解析を行ったところ、累積残留変位を精度良くシミュレートでき、また、はり内鉄筋に蓄積される損傷状態を確認できた。今後、定量的な精度を向上させることで繰返し衝突が作用するRCはりの残存耐力の定量的評価が可能になると考えられる。

参考文献

- 1) 安藤智啓：曲げ破壊型RC梁の耐衝撃設計手法の開発に関する研究，室蘭工業大学博士（工学）論文，2001。

表-1 材料定数

	鉄筋	コンクリート
弾性係数(GPa)	206	19.1
ポアソン比	0.3	0.19
密度(g/cm ³)	7.85	2.45
損傷 パラメータ	S	—
	p_D	0.002
	D_C	0.6
	α	0.6
	C	0.013

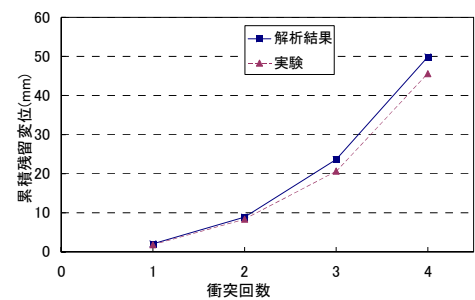


図-4 累積残留変位と衝突回数の関係

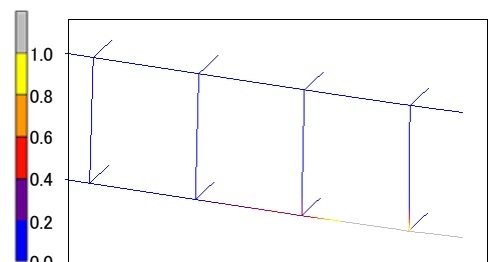


図-5 4回目衝突後の累積損傷度分布図

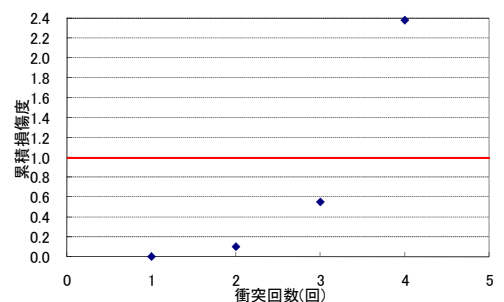


図-6 主要鉄筋における衝突回数と累積損傷度の関係（漸増繰返し衝突）

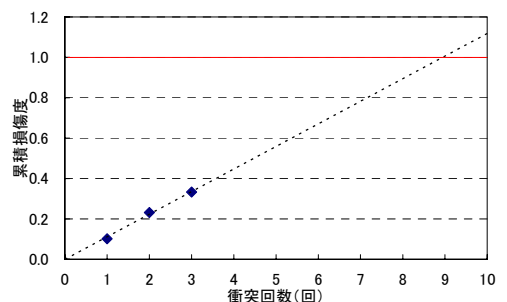


図-7 主要鉄筋における衝突回数と累積損傷度の関係（2.0m/s 繰返し衝突）