

繰返し衝突を受ける RC はりの累積損傷度評価に関する基礎的研究

九州大学大学院 学生会員 玉井宏樹
九州大学大学院 正会員 園田佳巨

1. 緒言

実際の RC 製防護構造物の寿命は、比較的小規模な衝突が繰返し作用することにより終えるケースが大半であると考えられる。つまり、RC 製防護構造物の余寿命評価には、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、繰返し衝突による破壊シミュレーションを行った。

2. 累積損傷モデルの提案

2.1 鉄筋の累積損傷モデル

延性材料の低サイクル疲労による破損を表現する関係式として、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 関係と呼ばれるものがある。本研究では、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 はりの鉄筋に蓄積される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。つまり、Manson-Coffin 関係を過渡応答用に改良したこととなる。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

繰返し衝突を受けるコンクリート材料の累積損傷度を評価するためには、鉄筋と同様に低サイクル疲労の概念を適用することが得策であると考えられるが、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。

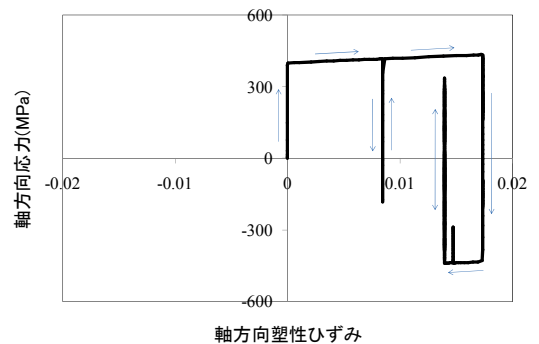


図-1 衝突荷重を受ける RC はり内の鉄筋の軸方向応力-塑性ひずみ関係

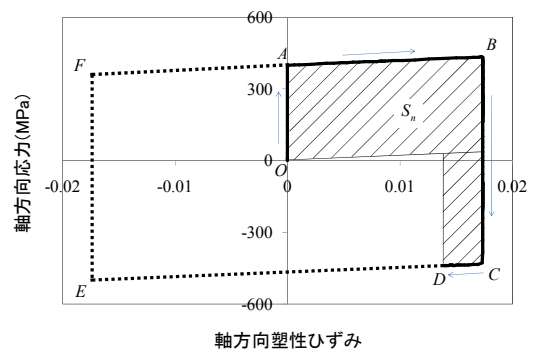


図-2 Manson-Coffin 関係へ読み替えるための仮想ループ

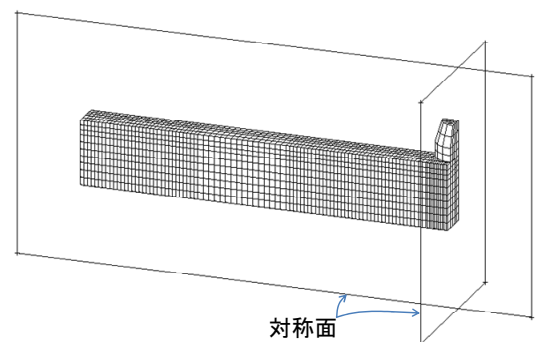


図-3 解析モデル

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 はりの繰返し漸増载荷実験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が、はり軸方向と断面方向の対称性を考慮した節点数 6629、要素数 5233 の 1/4 モデルでモデル化した。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、弾性係数 206GPa、ポアソン比 0.3 の材質を有する質量 200kg の鋼製重錘を処女载荷速度 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ていることが確認できた。つまり、本研究で提案した累積損傷モデルの妥当性が示された。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、1 回目衝突後の残留変位において実験値が約 1.7mm であったのに対して本解析結果では約 2.0mm となっており、この微小な誤差が衝突回数を重ねる毎に累積されたためであると考えられる。図-5 には、4 回目衝突後の鉄筋要素の累積損傷度分布を記す。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 はり内の鉄筋が破断したということは確認できていないが、RC はりが角折れした状態で破壊したことが報告されており、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。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の予測も容易に可能であることが確認できた。

4. 結論

本手法を用いることで累積損傷度分布状況を可視化できたこと、ならびに累積損傷度を用いることで残存耐力を評価可能になり、破断繰返し衝突回数を予測可能になったことは、補修等を検討する際の有効な判断材料になり得ると考えられる。

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	—
	D_C	0.0001
	α	0.002
	C	0.6
	0.6	—
	0.013	—

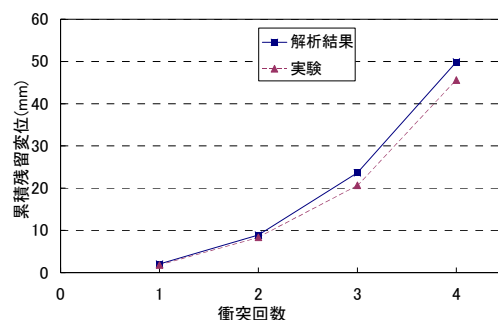
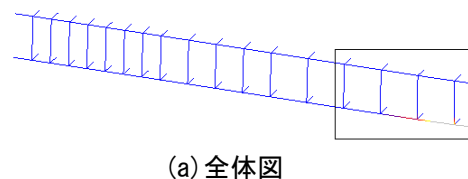
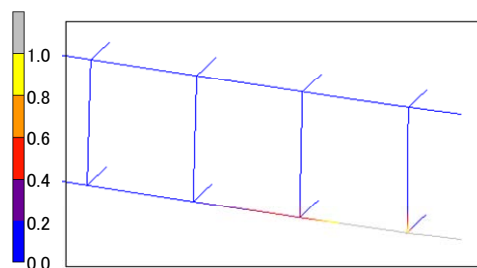


図-4 累積残留変位と衝突回数の関係



(a) 全体図



(b) 衝突部近傍拡大図

図-5 4 回目衝突後の累積損傷度分布図

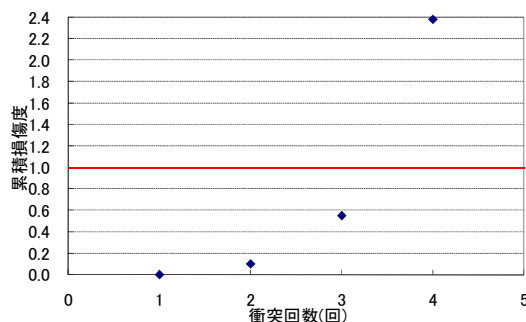


図-6 主要鉄筋における衝突回数と累積損傷度の関係