

累積損傷モデルを用いた RC はりの繰返し衝突解析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

構造物は、一般に供用期間中に変動作用に区分される衝撃荷重を複数回受けていると考えられる。したがって、性能照査型耐衝撃設計には、偶発的な作用を想定した単発衝突による衝撃挙動の評価だけでなく、繰返し衝突による衝撃挙動も適切に評価する必要がある。そこで、本研究では、損傷を有する既設構造物の耐衝撃性を評価するために、塑性変形履歴を有する構造材料の残存剛性を累積損傷モデルで表現し、繰返し衝突を受ける構造物の耐力評価法について考察した。

2. 繰返し衝突による累積損傷度の評価法

一般に、鋼材の除荷時の剛性は初期剛性と同じと仮定されることが多いが、コンクリートに関しては除荷剛性に初期剛性より小さい値を用い、この影響を損傷とみなして塑性と損傷を区分して取り扱われることも多い。しかし、この考え方に基くと、材料に生じた損傷度が除荷後の残留ひずみ量に大きく影響することになり、正確な弾塑性衝撃解析を行うには、塑性と損傷を明確に定義し、両者の相互作用の影響を逐次修正しながら衝撃解析を行うことが要求される。以上のことを考慮し、コンクリート材料については、応力場が降伏曲面上に存在する時には塑性時の損傷度 D_p ¹⁾ を仮定し、弾性変形時には過去の最大相当ひずみに応じた累積損傷度 D_a を考慮することにした。すなわち、コンクリート材料に対して2種類の損傷度 (D_p : 塑性変形時, D_a : 弾性変形時) が記憶されているものと仮定した。

累積損傷度を簡易な方法で定量的に評価するため、ここでは過去に材料中に生じた最大相当応力、最大相当ひずみをもとに弾性応答時の損傷度として図-1に示すようなイメージの下、以下の累積損傷変数 D_a を新たに定義した。

$$D_a = 1 - \frac{1}{E} \cdot \frac{\bar{\sigma}_{\max}}{\bar{\varepsilon}_{\max}} \quad (1)$$

ここに、 $\bar{\sigma}_{\max}$ および $\bar{\varepsilon}_{\max}$ はそれぞれ過去に経験した相当応力および相当ひずみの最大値を表す。

式(1)により計算された累積損傷変数を用いて、繰返し荷重時の弾性剛性を以下の式(2)により評価することにした。

$$\tilde{E} = (1 - D_a)E \quad (2)$$

ここに、 $\tilde{E}$ は累積損傷を考慮した有効弾性係数、 E は初期弾性係数を表す。

3. 数値計算例

3. 1 解析対象および解析モデル

本研究で比較対象とした実験は安藤らにより行われたRCはりの漸増載荷実験²⁾であり、純スパン2000mm、高さ220mm、幅200mmの矩形断面を有する複鉄筋矩形RC単純ばりを解析対象とした。解析条件として、弾性係数206GPa、ポアソン比0.3の材

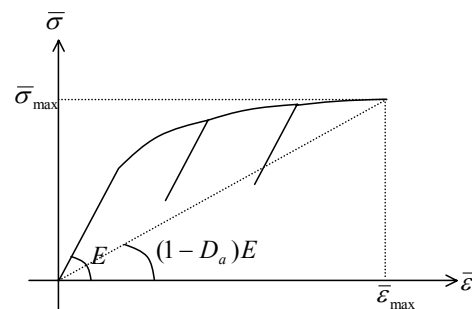


図-1 累積損傷変数のイメージ

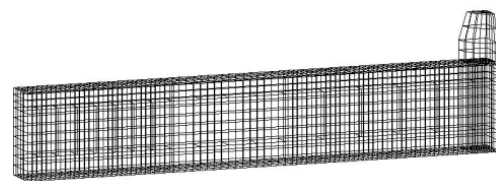


図-2 解析モデル

表-1 各種材料の材料定数

	鉄筋	コンクリート
弾性係数 (GPa)	206	19.1
ポアソン比	0.30	0.19
密度 (g/cm ³)	8.00	2.45
降伏強度 (MPa)	343	-
損傷パラメータ	κ_0	-
	κ_y	-
	D_c	-
		0.00011
		0.00017
		0.99

キーワード 繰返し衝突, 損傷力学, 累積損傷モデル, RC はり, 衝撃応答解析

連絡先 〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡 744 番地 TEL092-802-3370

質を有する質量200kgの鋼製重錘を処女載荷速度1m/secから増分速度1m/secで矩形断面RC単純ばりのスパン中央部に4回衝突させる場合を想定した。解析モデルを図-2に示すが、使用した有限要素は鉄筋に関しては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積分点を有するソリッド要素である。また、鉄筋およびコンクリートの材料定数を表-1に示す。

3. 2 解析結果及び考察

a) 累積残留変位の比較

図-3に累積残留変位と衝突回数の関係および図-4に累積残留変位/1回目の残留変位と衝突回数の関係を示す。1回目衝突後の残留変位は、実験値が約1.7mmであったのに対して本解析結果では約1.3mmとなった。2回目までの累積残留変位の解析値は約4.8mmとなり、実験値より小さい値となった。3, 4回目衝突後の累積残留変位に関しても、解析結果は実験値に対して同様な傾向を示した。つまり、繰返し衝突による構造物の残留変位を精度良く評価するには至らないが、図-4に示すように1回目衝突後の残留変位と各回衝突後の累積残留変位の比は、実験値とほぼ等しい結果が得られている。したがって、今後、式(1)で表される累積損傷変数の評価方法を改良すれば、定量的な精度を向上させることが期待でき、繰返し衝突を受ける構造物の衝撃挙動と残存耐力を予測可能であると考えられる。

b) 累積損傷分布

図-5に本解析により得られた累積損傷分布を示す。累積損傷分布は、式(1)により定義された損傷変数の値によって色分けしている。1回目衝突では、衝突位置直下のはり下端部で著しい損傷が蓄積しており、2回目衝突では下端部に加え、上端部での損傷の蓄積が見られ、3, 4回目では、それらの領域が拡大し、4回目衝突においては、はり全体の2/3の領域が $D_a \geq 0.90$ となり、支点部にも損傷が蓄積していることが確認できた。このことから、本解析手法を用いて、変動作用として想定される繰返し衝突荷重による構造物の累積損傷度を視覚的に捉えることが可能で、補修等を検討する際の判断材料を提供できるものと考えられる。

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た。本手法を用いてRCはりの繰返し衝突解析を行ったところ、衝突回数が増加するに伴い、累積残留変位が増加する傾向や、はり全体に広がる損傷領域の可視化ができた。今後、定量的な精度を向上させるためには、累積損傷モデルの改良を行っていく必要があると考えられる。

参考文献

- 1) 園田佳巨, 玉井宏樹: 損傷力学の概念を適用した衝撃応答解析に関する基礎的研究, 構造工学論文集 Vol.51A, p1687-1694, 2005
- 2) 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.

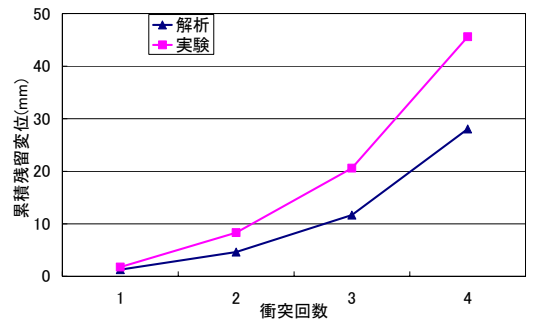


図-3 累積残留変位と衝突回数の関係

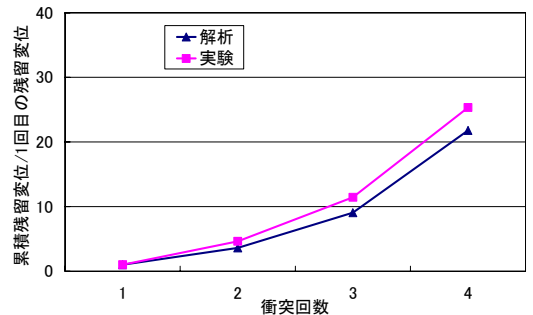
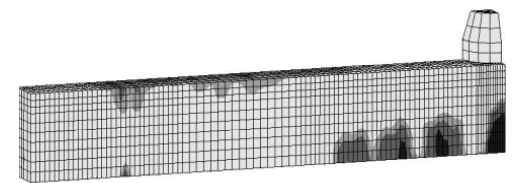
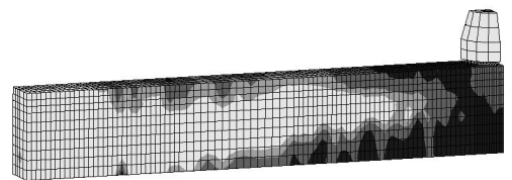


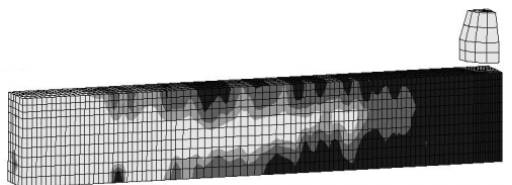
図-4 累積残留変位/1回目の残留変位と衝突回数の関係



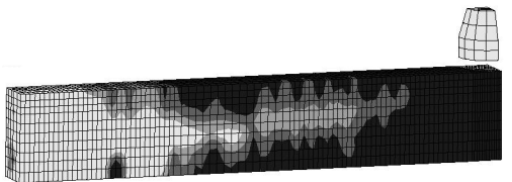
(a) 1回目



(b) 2回目



(c) 3回目



(d) 4回目

図-5 繰返し衝突による累積損傷度