

繰返し衝突が作用する RC はりの残存性能評価に関する研究

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

本研究では、鉄筋の累積損傷度に着目して RC 部材の累積残留変位等の残存性能を簡易に評価する方法を提案し、RC はりの繰返し漸増载荷実験のシミュレーションを行うことで、その有用性に関して考察を行った。また、衝突速度をパラメータとした一定速度繰返し衝突解析を実施することで、主鉄筋の累積損傷度と衝突回数の関係や衝突速度と破壊繰返し衝突回数の関係を明らかにした。

2. 累積損傷モデルの概要

本研究では、鉄筋およびコンクリートにそれぞれ累積損傷モデルを提案し、それにより得られた鉄筋の累積損傷度に着目して、RC はりの残存性能を評価した。鉄筋に関しては、延性材料の低サイクル疲労破壊の分野で広く知られている 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 はり内の鉄筋に蓄積される累積損傷度を評価可能なモデルを提案した。また、コンクリートの累積損傷度に関しては、Lemaitre が提案した損傷力学理論に基づく損傷モデルを援用することとした。提案した累積損傷モデルの詳細は既報の文献(1)に預けることとする。

3. RC 部材を対象とした繰返し衝突シミュレーション

3.1 解析概要

解析対象 RC はりは図-1 に示す純スパン 2000mm、はり高さ 220mm、はり幅 200mm の矩形断面を有する複鉄筋矩形 RC 単純はりである。これは、安藤らが行った繰返し漸増载荷実験²⁾に使用された RC はりである。解析モデルは図-2 に示す対称性を考慮した 1/4 モデルであり、鉄筋にはトラス要素、コンクリートおよび重錘には固体要素を用いた。また、鉄筋およびコンクリートの材料定数を表-1 に示す。

解析ケースは表-2 に示す全 8 ケースである。ケース 1 は、安藤らが実施した弾性係数 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 で矩形断面 RC 単純はりのスパン中央部に 4 回衝突させる実験のシミュレーションであり、鉄筋の累積損傷度に着目した残存性能評価法の有用性を検証する目的で実施した。ケース 2～ケース 7 は、衝突速度をパラメータとした一定速度繰返し衝突解析であり、主鉄筋の累積損傷度と衝突回数の関係や入力エネルギーと破壊繰返し衝突回数の関係を明らかにするために実施した。また、本解析においては、2 回衝突までの解析を実施し、その結果から破壊繰返し衝突回数を予測することとした。この際の対象 RC はりと鋼製重錘はケース 1 と同様のものである。ケース 8 は、衝突速度約 1.4m/s で質量 400kg の鋼製重錘を一定繰返し衝突させるものであり、運動エネルギーを入力エネルギーと考えた場合、ケース 4 の入力エネルギーと等しいものである。

3.2 ケース 1 の解析結果 ～有用性の検証～

まず、ケース 1 の解析結果として図-3 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安藤らが実

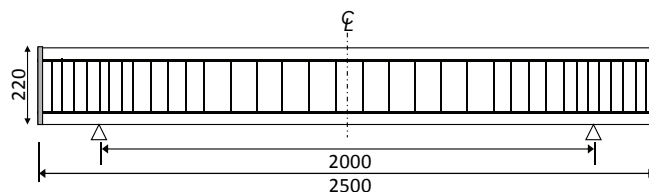


図-1 解析対象の RC はり (単位: mm)

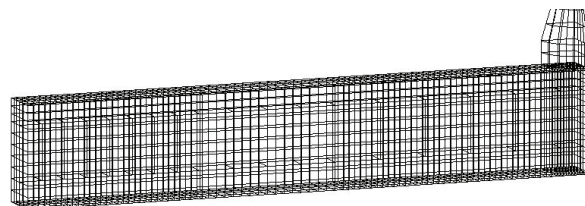


図-2 解析モデル (解析対象の 1/4 をモデル化)

表-1 材料定数および損傷パラメータ

	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	0.0001
	p_D	0.0008
	D_{Cr}	0.6
	α	—
	C	—

表-2 解析ケース

解析ケース	衝突速度 (m/s)	重錘質量 (kg)	備考
ケース 1	1.0～4.0	200	漸増载荷 (増分速度 1m/s で 4 回衝突)
ケース 2	1.0		一定速度繰返し衝突 (2 回衝突)
ケース 3	1.5		
ケース 4	2.0		
ケース 5	2.5		
ケース 6	3.0		
ケース 7	4.0		
ケース 8	約 1.4	400	

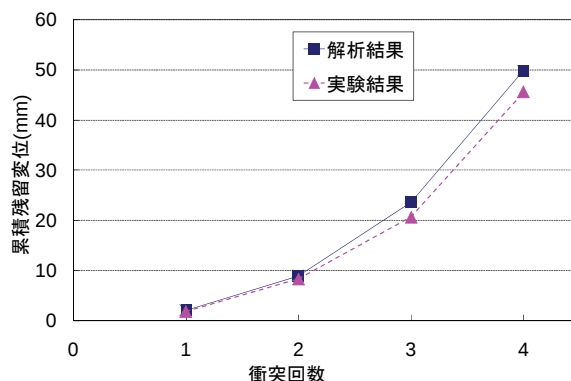


図-3 累積残留変位と衝突回数の関係

施した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。

3.3 ケース2～ケース8の解析結果

(1) 主鉄筋における累積損傷度と衝突回数関係

ケース2～ケース8の解析結果として、衝突近傍主鉄筋要素の累積損傷度と衝突回数の関係を図-4に示す。まず、同一重錘質量を用いたケース2～ケース7の結果を考察する。図中には、ケース2とケース7の結果を表示していないが、これは、衝突速度1.0m/sを設定したケース2においては、2回衝突させても主鉄筋は無損傷状態であったからであり、衝突速度4.0m/sを設定したケース7においては、1回衝突時で累積損傷度が1.0に達したからである。衝突速度1.5m/sのケース3においては、衝突近傍主鉄筋要素の累積損傷度は1回目衝突時で0.022、2回目衝突時で0.063となり、同様に衝突速度2.0m/sのケース4においては、1回目衝突時で0.101、2回目衝突時で0.232、衝突速度2.5m/sのケース5においては、1回目衝突時で0.314、2回目衝突時で0.494、衝突速度3.0m/sのケース6においては、1回目衝突時で0.483、2回目衝突時で0.905となった。これらの結果から、ケース3～ケース6では、2回衝突では累積損傷度が1.0を超えることはなかった。また、各ケースでややばらつきはあるが、累積損傷度と衝突回数にはほぼ線形関係が成り立つことが確認できた。つまり、線形近似することで実際に解析を実施した衝突回数2回以降の衝突回数における累積損傷度を線形近似により予測でき、さらには、累積損傷度が1.0を超え、RCはりとして終局に至る破壊繰返し衝突回数の予測を行うことが可能である。

他ケースと異なる重錘質量を用いたケース8においても、1回目衝突時で0.221、2回目衝突時で0.394となり、他ケースと同様に主鉄筋の累積損傷度と衝突回数の関係もほぼ線形関係を示した。

(2) 衝突速度と破壊繰返し衝突回数関係

ケース2～ケース7の解析結果として、衝突速度と破壊繰返し衝突回数の関係を図-5に示す。累積損傷度と衝突回数に線形関係が成り立ち、各ケースにより線形近似を行うことで累積損傷度が1.0を超え、RCはりとして終局に至る破壊繰返し衝突回数を算出した。

まず、ケース2～ケース7の結果を考察する。衝突速度1.5m/sであるケース3においては、破壊繰返し衝突回数は34回であり、同様に衝突速度2.0m/sのケース4においては、破壊繰返し衝突回数は9回、衝突速度2.5m/sのケース5においては、破壊繰返し衝突回数は4回、衝突速度3.0m/sのケース6においては、破壊繰返し衝突回数は3回であり、衝突速度4.0m/sのケース7においては、1回衝突時に主鉄筋の累積損傷度が1.0を超えており、破壊繰返し衝突回数は1回であった。もちろんではあるが、衝突速度が大きくなるに従い、破壊繰返し衝突回数は小さくなる傾向が確認できた。また、図より、衝突速度と破壊繰返し衝突回数の関係は累乗近似曲線に従うことが確認できた。この累乗近似曲線に従うと、2回衝突後に主鉄筋が無損傷状態であり、鉄筋の累積損傷度から破壊繰返し衝突回数を予測できなかった衝突速度1.0m/sのケース1においても、破壊繰返し衝突回数は120回に及ぶことが予測できる。

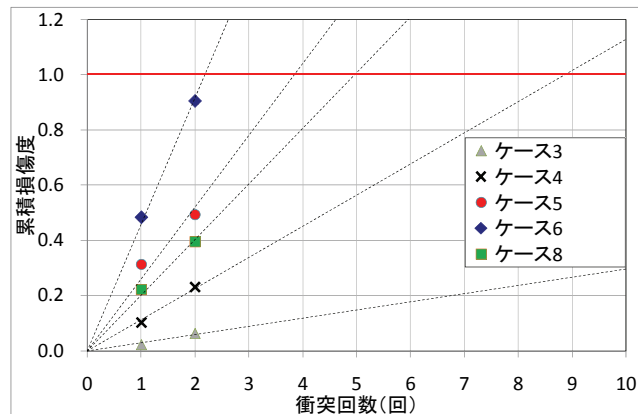


図-4 主鉄筋における累積損傷度と衝突回数の関係

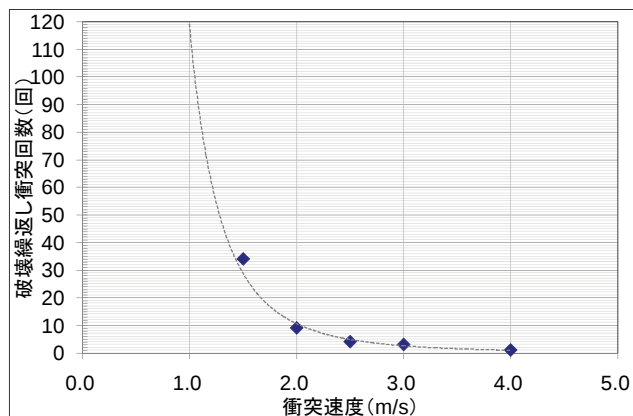


図-5 衝突速度とRCはりの破壊繰返し衝突回数の関係

また、同一入力エネルギーであるケース4とケース8の解析結果を考察する。図-4より、ケース8において主鉄筋の累積損傷度が1.0に達するのは、衝突回数が5回の時であり、この回数が破壊繰返し衝突回数である。一方、図-5よりケース4における破壊繰返し衝突回数は9回であった。つまり、同一入力エネルギーにも関わらず、重錘質量の大きいケース8のほうが破壊繰返し衝突回数は小さくなる結果となった。

4. 結論

本研究の成果を要約すると以下になる。

- (1) 鉄筋の累積損傷度に着目したRCはりの残存性能評価法を用いることで、RCはりの累積残留変位を精度良く評価可能であり、本手法の有用性が確認できた。
- (2) 本手法を用いて衝突速度をパラメータとした一定速度繰返し衝突解析を実施したところ、全ケースにおいて主鉄筋の累積損傷度と衝突回数には線形関係があることが確認できた。また、累積損傷度と衝突回数の関係を線形近似することでRCはりの破壊繰返し衝突回数を算出した場合、衝突速度と破壊繰返し衝突回数には累乗関係があることが確認できた。

参考文献

- 1) 玉井 宏樹, 園田 佳巨; “繰返し衝突荷重を受けるRC部材の残存性能評価に関する解析的研究”, 土木学会論文集A, Vol. 64, No. 4, pp.915-925 (2008).
- 2) 安藤啓啓: 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.