

同一累積運動エネルギー条件下の繰返し衝突が作用する RC はりの累積損傷に関する一考察

福岡大学 学生会員 吉留直樹

福岡大学 正会員 玉井宏樹

1. 緒言

現在、単発衝突を対象とした構造部材の性能評価に関して、実験や解析的研究が行われてきているが、繰返し衝突によってRC製防護構造物の損傷・破壊を招く被災事例が実際に挙がっており、繰返し衝突に関する性能照査も的確に行っていくべきであるといえる。著者らは、現在までに、鉄筋とコンクリートに損傷力学ベースの累積損傷モデルを導入することで、繰返し衝撃載荷時のRCはりの累積残留変位を適切に再現できることを確認した。よって本論文は上記の提案手法を用いて、同一累積運動エネルギーに基づく複数の繰返し衝突解析を実施することで、累積運動エネルギーと部材の累積損傷度の関係性に関して検討を行い、さらには繰返し衝突による部材の累積損傷と単発衝突による部材の累積損傷の関係性について考察を行ったものである。

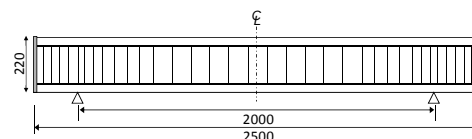


図-1 解析対象 RC はり (単位:mm)

2. 累積運動エネルギーと部材の累積損傷の関係

2.1 解析概要

繰返し衝突を受けるRCはりの累積残留変位や主鉄筋の累積損傷が累積運動エネルギーと如何なる関係にあるか、また、同一運動エネルギーの単発衝突による損傷状態と如何なる関係にあるかを調べる目的で、衝突速度と衝突回数を一定、また、衝突物質量と衝突回数を一定とした同一累積運動エネルギーの複数の解析を実施した。その際、用いた解析手法は過去に著者らが提案し、有用性を検証したものである。紙面の関係上、詳細な説明は割愛させて頂く。ここで、衝突物質量を一定とした場合の累積運動エネルギーは式(1)で定義されるものである。

$$\text{累積運動エネルギー} = \sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{2} m v_i^2 \right) \quad (1)$$

ここに、 n は衝突回数、 m は衝突物質量、 v は衝突速度を表す。解析対象となるRCはりを図-1に、材料定数を表-1に示す。尚、解析対象としたRCはりは安藤らが実施した衝撃実験³⁾で用いたものをモデル化した。

2.2 解析ケース

解析ケースをA、Bに分け、表-2と表-3に示す。解析ケースAでは同一累積運動エネルギー条件下において、衝突物質量を200(kg)一定とし、衝突速度を変化させたもので、解析ケースは漸増繰返し衝突、ランダム衝突、漸減繰返し衝突、一定繰返し衝突、単発衝突の計8ケースに大別される。3回繰返し衝突する衝突体の持つ、累積運動エネルギーは約1400(kJ)である。また、解析ケースBでは衝突速度2.2(m/s)一定とし、衝突物質量を変化させたもので、ケースBにおいても、解析ケースは漸増繰返し衝突、ランダム衝突、漸減繰返し衝突、一定繰返し衝突、単発衝突の計8ケースに大別される。3回繰返し衝突する衝突体の持つ、累積運動エネルギーは約1400(kJ)である。

表-1 材料定数及び損傷パラメータ

	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	—
	p_D	—
	D_G	0.6
	α	0.6
	C	0.013

表-2 解析ケース A (衝突物質量一定)

解析ケース	衝突速度(m/s)			備考
	1回目	2回目	3回目	
ケース1	1	2	3	漸増繰返し
ケース2	1	3	2	ランダム繰返し
ケース3	2	1	3	
ケース4	2	3	1	
ケース5	3	1	2	漸減繰返し
ケース6	3	2	1	
ケース7	約2.2	約2.2	約2.2	
ケース8	約3.7	—	—	単発

表-3 解析ケース B (衝突速度一定)

解析ケース	衝突物質量(kg)			備考
	1回目	2回目	3回目	
ケース1	100	200	300	漸増繰返し
ケース2	100	300	200	ランダム繰返し
ケース3	200	100	300	
ケース4	200	300	100	
ケース5	300	100	200	漸減繰返し
ケース6	300	200	100	
ケース7	200	200	200	
ケース8	600	—	—	単発

キーワード RC 部材, 性能照査, 繰返し衝突, 累積損傷

連絡先 〒814-0180 福岡県福岡市城南区七隈 8-19-1

2.3 解析結果～ケース A～

ケース A の解析結果を図-2, 3 に示す. ケース 1~8 の 3 回衝突後の最終的な累積残留変位を確認すると, 全ケースほぼ同じ値であった. つまり, 衝突物質量と衝突回数を一定とした場合, 衝突順番や衝突速度に関係なく, 累積運動エネルギーが同一であれば, 累積残留変位はほぼ同じ値を示すことが確認できた. また, 図-2 に主鉄筋の累積損傷度と衝突回数の関係を確認すると, 部材の累積残留変位と同様に衝突物質量と衝突回数を一定とした場合, 衝突順番や衝突速度に関係なく, 累積運動エネルギーが同一であれば, 主鉄筋の累積損傷度はほぼ同じ値を示すことが確認できた. そして, 繰返し衝突による RC 部材の累積損傷状態は, 繰返し衝突による累積運動エネルギーを有する単発衝突による RC 部材の損傷状態とほぼ等価であることが確認できた.

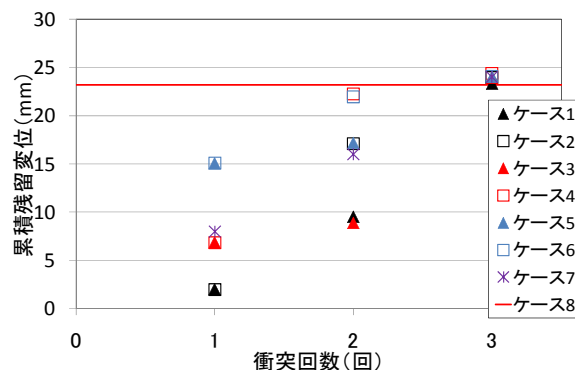


図-2 累積損傷変位と衝突回数の関係
(同一累積運動エネルギー, 衝突体質量一定)

2.4 解析結果～ケース B～

ケース B の解析結果を図-4, 5 に示す. 衝突速度を一定とした同一累積運動エネルギーの条件下であれば, ケース A 同様に, 繰返し衝突方法によらず, 累積残留変位と主鉄筋の累積損傷度は大体同じ値を示すことが出来た. しかし, ケース B においては等価な運動エネルギーを有する単発衝突との関係性は見出せなかった.

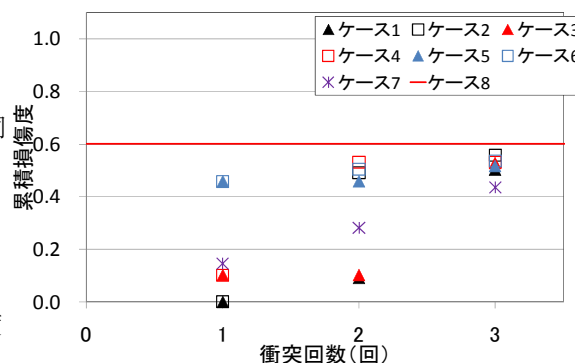


図-3 主鉄筋の累積損傷度と衝突回数の関係
(同一累積運動エネルギー, 衝突体質量一定)

3. 結論

- 1) 衝突物質量と衝突回数を一定とした場合, 衝突順番や衝突速度に関係なく, 累積運動エネルギーが同一であれば, 累積残留変位, 主鉄筋の累積損傷度はほぼ同じ値を示した. また, 繰返し衝突による RC 部材の累積損傷状態は, その運動エネルギーと等価な単発衝突の損傷状態とほぼ同じであり, 繰返し衝突問題を簡易に単発衝突問題として置換して考えることの可能性を示していると考えられる.
- 2) 衝突速度と衝突回数を一定とした場合, 累積運動エネルギーが同一であれば, 累積残留変位, 累積損傷度はほぼ同じ値を示すことが確認できたが, 繰返し衝突による RC 部材の累積損傷状態は, その運動エネルギーと等価な単発衝突による RC 部材の損傷状態と明確な関係性は見出せなかった.
- 3) 本研究では, 衝突前の衝突体が有する同一累積運動エネルギーに着目し, 部材の累積損傷状態との関係性について研究を行い, 上記の結果を得て, 考察を述べたが, 衝突時, 又は, 衝突直後に発生するエネルギーと損傷状態との関係性についても今後検討すべきであると考ええる.

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) 玉井宏樹, 園田佳巨: 繰返し衝撃荷重を受ける RC 部材の残存性能評価法の実現象への適用, 構造工学論文集, Vol. 55A, pp. 136 6-1375, 2009.
- 3) 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.

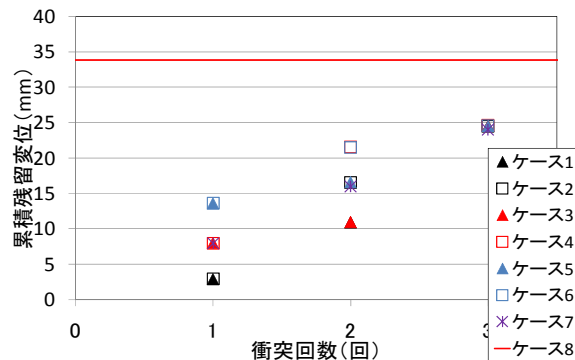


図-4 累積損傷変位と衝突回数の関係
(同一累積運動エネルギー, 衝突速度一定)

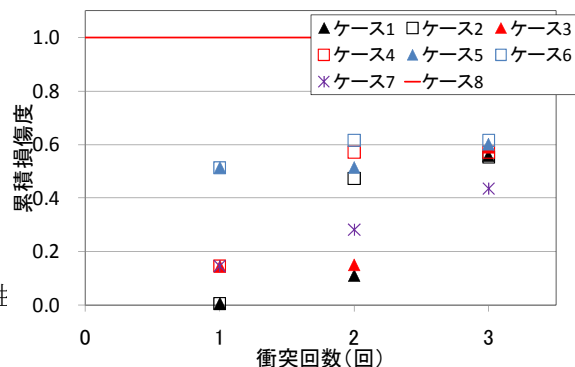


図-5 主鉄筋の累積損傷度と衝突回数の関係
(同一累積運動エネルギー, 衝突速度一定)