

金沢大学工学部 学生員 川合裕二
正会員 梶谷 浩
正会員 梶川康男
熊谷組（株） 正会員 玉村茂樹

1. まえがき ぜい性的な破壊特性を持つコンクリート構造物の衝撃破壊には多くの解明すべき問題がある。本研究は、最も基本的なものとしてコンクリートはりを取り上げ、その衝撃破壊問題の解析に、個別要素法（Distinct Element Method）を適用しようとするものである。具体的には、はりに重錘を衝突させるとき、重錘の衝突条件（重錘質量、衝突速度）が変化した場合に、2次元の個別要素を用いたパラメトリックな解析により、はりの衝撃特性および破壊特性がどのように変化するかについて検討を行っている。

2. コンクリートはりのモデル化と破壊規準 解析対象としたはりは、図-1に示すように長さ180cm、高さ20cm、奥行き15cmのコンクリートはりである。このはりを5段×37列の2次元円筒要素の集合体としている。なお、鉄筋を含むコンクリートの要素は黒色で示している。また、重錘をモデル化した要素に重錘質量、衝突速度を持たせて、はりの中央上部に配置した。なお、本研究で行うパラメトリックな解析の規準値として表-1に示すものを用いた。

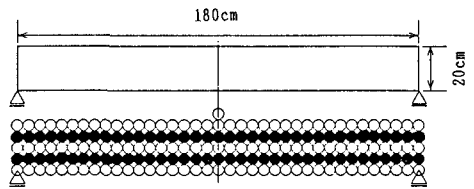


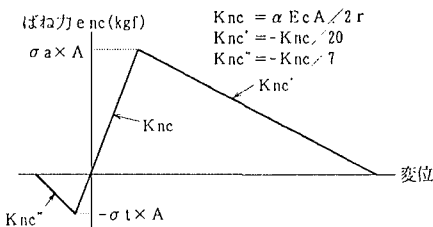
図-1 解析モデル

破壊基準については、コンクリートのみの要素間の法線方向ばね力は図-2(a)に示すようにし、破壊強度に達した後、図のようにばね力が減少するものとした。接線方向ばね力のせん断滑り開始条件にはモール・クーロンの条件を採用し、破壊基準に達した後、ばね力が減少していくものとした。一方、鉄筋を含むコンクリート要素間の破壊基準は図-2(b)に示すように、コンクリートのばね力と鉄筋のばね力を足し合わせた形とし、計算の簡単化のため、破線で示すような破壊基準とした。接線方向ばね力については鉄筋のみの破壊規準を用い、降伏後もばねは破断しないものとした。

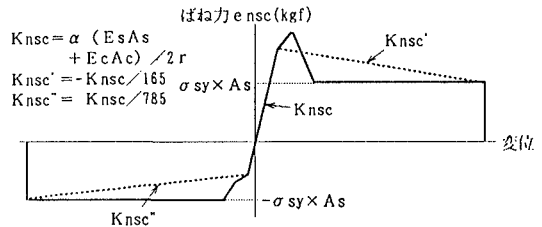
表-1 解析に用いた材料諸定数

コンクリート	
弾性係数 E_c (kgf/cm ²)	0.27×10^4
ポアソン比 ν_c	0.21
圧縮強度 σ_a (kgf/cm ²)	325.0
引張強度 σ_t (kgf/cm ²)	25.0
粘着力 c (kgf/cm ²)	81.0
内部摩擦角 ϕ	37°
減衰係数 h	0
投影面積 A (cm ²)	5×15
鉄筋	
弾性係数 E_s (kgf/cm ²)	2.1×10^4
ポアソン比 ν_s	0.3
降伏強度 σ_{sy} (kgf/cm ²)	4300
鉄筋の投影面積 A_s (cm ²)	$2 \times \pi \times 0.5^2$

3. 解析結果 表-2に示すような解析条件を用い、解析を行い、破壊形式への影響を検討してみた。図-3に各ケースの衝突後1ms、3msの衝撃応答図を示す。なお、変形がよく表されるようにCASE1では各要素の変位を縦方向、横方向に7倍、CASE2では30倍に拡大している。CASE1では、はりの中央部で押し抜け破壊が顕著に認められるが、



(a) コンクリート要素の法線方向



(b) 鉄筋を含むコンクリート要素の法線方向

図-2 ばねの破壊規準

表-2 解析に用いた衝突条件

	重錘重量 (kgf)	衝突速度 (cm/s)	初期エネルギー (kgf・cm)
CASE1	196.1	253.0	6400
CASE2	196.1	80.0	640

はり全体の変形が生じる挙動を示しているのがわかる。CASE2では、はりのスパン中央および衝突点よりスパン長の1/4離れた点において曲げひび割れが生じているのがわかる。

図-4は各エネルギーの時間的変化を示したものである。CASE1では重錘の運動エネルギーが、0.5ms後までに約40%が減少している。ひずみエネルギーは0.5msで最大値に達した後、小さくなっている。全体エネルギーは3ms後までに約7%減少している。CASE2では重錘

の運動エネルギーは1.3ms後までに約62%が減少している。はりの運動エネルギーとひずみエネルギーは1.3ms後まで増加し、その後振動をしている。全体エネルギーは3ms後までに約8%減少している。

ここで、全体エネルギーの最終的な減

少量を初期エネルギーで割ったものをエネルギー解放率と定義し、2種類の重錘質量でそれぞれ衝突速度を変えて場合のエネルギー解放率を図-5に示す。エネルギー解放率は破壊に消費されたエネルギーの割合のことでもある。どちらの重錘質量でも、衝突速度を小さくしていくと、エネルギー解放率は徐々に大きくなり、ある衝突速度を境にエネルギー解放率は最大となった後、0となる。破壊形式はエネルギー解放率が0の時は破壊はしておらず、最大となる付近で曲げ破壊、衝突速度が大きいときには押し抜け破壊を生じることがわかっている。

3. まとめ 本研究では、2次元の個別要素法を用いて重錘のはりへの衝突現象の数値シミュレーションが比較的容易に行えることを示した。衝撃特性、破壊特性は衝突条件によって違う特性が得られることがわかった。今後、実験結果との比較等によりさらに検討を加え、本方法をより洗練されたものにしたいと考えている。

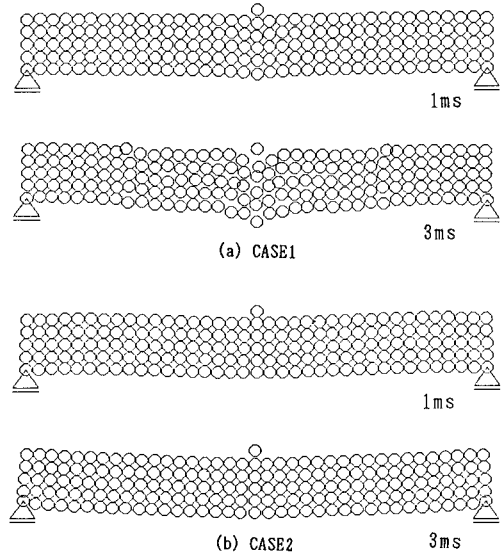


図-3 衝撃応答図

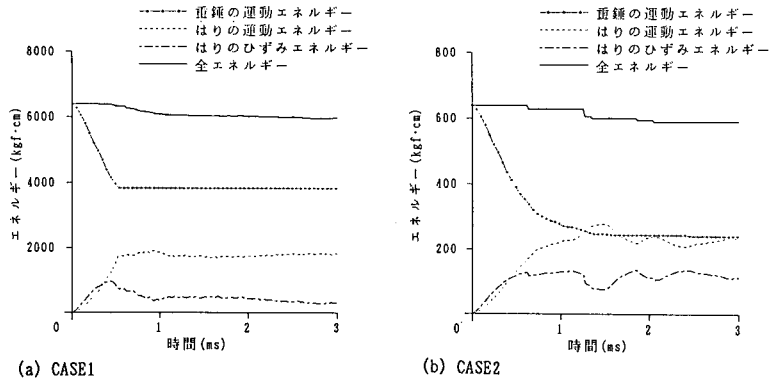


図-4 各エネルギーの時間的変化

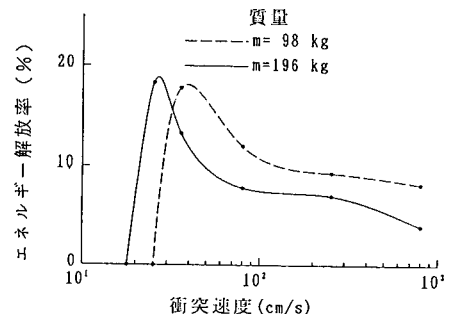


図-5 エネルギー解放率