

衝撃下のコンクリート部材の個別要素法による解析

金沢大学大学院 学 玉村 茂樹

金沢大学工学部 正 梶谷 浩

金沢大学工学部 正 梶川 康男

1. はじめに

衝撃荷重の作用を考慮しなければならない構造物として、ロックシェッドや原子炉等がある。近年、これらの構造物は数多く建設されており、またロックシェッドの落石による破壊事故などが後をたないのが現状であります。しかし衝撃問題は十分明らかにされているとは言えず、その解明が望まれている。そこで本研究では、衝撃破壊の解析法として有効な個別要素法を、連続体であるコンクリート部材の破壊解析に適用した。すなわち各種条件下での衝撃破壊の違いを、解析による変形図、エネルギーの推移などにより調べたものである。

2. 解析モデル

解析対象としたはり、図-1の様に長さ180cmで高さ20cm、奥行き15cmのコンクリート単純はりである。解析モデルは半径2.5cm、185個の粒状剛要素を正方形に配置した。また、重錘として半径2.5cmの円筒要素にモデル化したものをはりの中央に配置した。

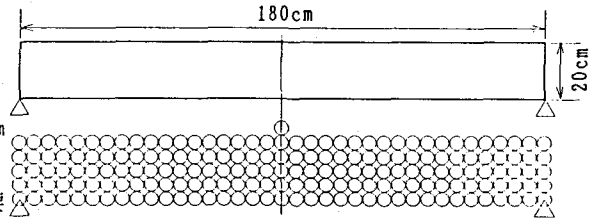


図-1 解析対象としたはりと解析モデル

3. 解析条件

解析は、重錘がはりに衝突した瞬間から開始し重錘要素に衝突速度を入力した。表-1に解析に用いた重錘重量と衝突速度を示す。コンクリートのばね定数は材料諸定数(表-2)より法線方向ばね定数 K_n は

$$K_n = \alpha E A / 2r$$

接線方向ばね定数 K_s は

$$K_s = K_n / 2(1 + \nu)$$

とした。ここで r は要素半径、 ν はポアソン比、 α は著者らが提案した要素分割に関する修正係数で、ここでは、0.61を用いている。

コンクリートの法線方向ばね力と変位関係については図-

2(a)に示す様な直線で近似された関係を用い、圧縮強度、引張強度の変位に達した後は、図-2の様にばね力が減少するものとした。接線方向ばね力については、図-2(b)に示す様にモール・クーロン(直線包絡線)の条件を採用した。

4. 解析結果

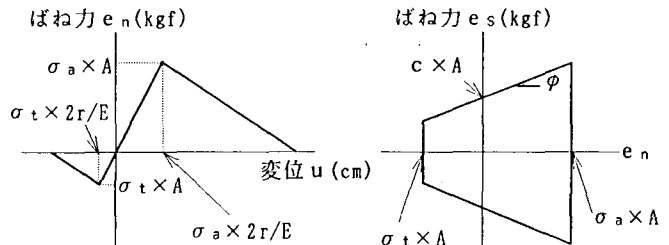
図-3にCASE1, CASE2について、衝突から1msと2ms後のひびわれ発生状況を示す。

表-1

	CASE1	CASE2
重錘重量 w (kgf)	196.1	196.1
衝突速度 v (cm/s)	253.0	80.0
エネルギー (kgf·cm)	6400	640

表-2 材料諸定数

圧縮強度 σ_a (kgf/cm ²)	325.0
引張強度 σ_t (kgf/cm ²)	25.0
弾性係数 E (kgf/cm ²)	2.7×10^5
ポアソン比	0.21
粘着力 C (kgf/cm ²)	81.0
内部摩擦角 ϕ	37°
減衰定数 h	0
投影面積 A (cm ²)	5×15

図-2 コンクリートの破壊基準
(a) 法線方向の破壊基準
(b) 接線方向の破壊基準

なお、変形図は主要なひびわれ位置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きせん断破壊が顕著に現れているのがわかる。また、CASE2においては、はり中央部に曲げひび割れが現れているのが確認できる。CASE1ではCASE2に対し10倍のエネルギーを重錘要素に与えているが、破壊モードに明らかな違いが生じる結果となった。

図-4にCASE1, CASE2について各エネルギーの推移を示す。CASE1では重錘の初期エネルギーの約3割のエネルギーが、CASE2では約5割がはりに伝達されているのがわかる。CASE1について0.5ms以降は、はりのひずみエネルギーは他のエネルギーに比べ0に近く、はりの運動エネルギーはほぼ一定であることよ

り、はりの運動エネルギーのほとんどが押し抜きせん断された部分にあると言える。CASE2でははりのひずみエネルギーは1ms付近で大きく開放されているが、これははり中央での引張破壊による法線方向ばねのエネ

ルギー開放であることが確認されている。合計のエネルギーは、開放されたエネルギーだけ減少しているが、そのほとんどは引張破壊による法線方向ばねと接線方向ばねのエネルギー開放によるものであることが確認されている。

図-5にCASE1, CASE2について荷重波形を示す。CASE1はCASE2に比べ衝突速度、与えられたエネルギーが大きいことより、最高荷重が大きく、作用時間が短くなっている様子がわかる。

5. 結論

本報告では、構造物の基本的な構成要素であるコンクリートはりを対象に個別要素法を用いて衝撃破壊現象をとらえることを目的として、衝突速度を変え、破壊モードやエネルギーの推移、荷重波形を調べた。その結果、衝突速度が速くなると破壊モードが、曲げによるものからせん断型の破壊になる様子がわかった。また、エネルギーの推移や荷重波形を調べることで、衝突速度の違いによる破壊現象の進み方の違いを数値的に明らかにすることができた。今後は、鉄筋を考慮し、より実際の構造物の構成要素に近づけたり、衝撃実験との比較により個別要素法解析の衝撃破壊に対する適用性の高さを検討したいと考えている。

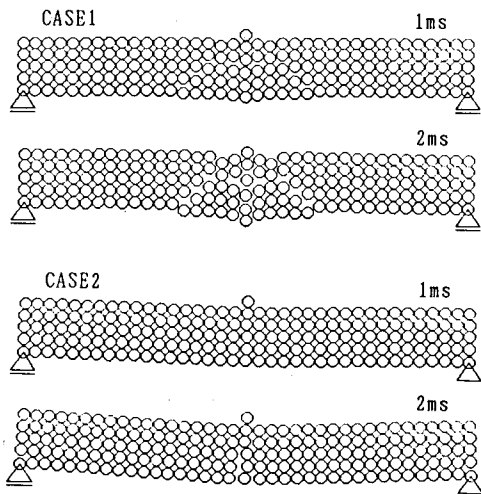


図-3 ひび割れ発生状況図

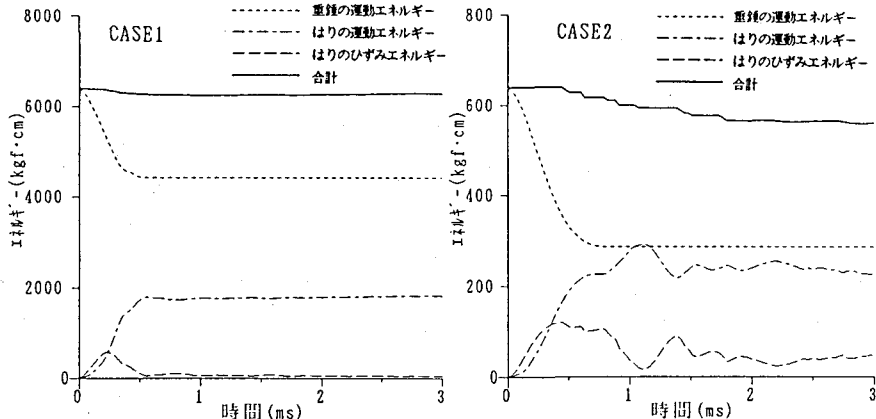


図-4 重錘とはりのエネルギーの時間的变化

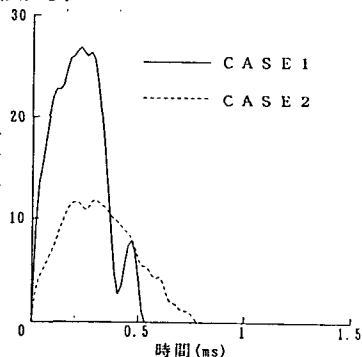


図-5 荷重波形