

軸方向衝撃をうける円柱の逐次破壊解析

徳山工業高等 正員 ○工藤 洋三
山口大学工学部 正員 中川 浩二

1. はじめに

応力波をうける岩盤材料の動的応答や破壊にいたる経過を明らかにすることは、近年ますます重要になりつつある。本研究は、軸方向端において、有限要素法を応力波伝播解析と破壊解析に適用する際の精度と実用性に関する基礎的資料を得ることを目的としている。このため円柱モデルの長軸方向に衝撃荷重を与え、材料に簡単な破壊条件を与えることにより、逐次破壊解析を行った。

2. 解析方法

本研究では、材料が破壊にいたる直前まで弾性的な性質を有していると仮定している。離散化された減衰のない系の運動方程式は次式による。と与えられる。

$$[M]\{\ddot{u}\} + [K]\{u\} = \{F\} \quad (1)$$

ここに $[M]$, $[K]$ はそれぞれ質量マトリックス、剛性マトリックスであり $\{\ddot{u}\}$, $\{u\}$, $\{F\}$ はそれぞれ加速度、変位、外力のベクトルである。式(1)の連立微分方程式を逐次積分することによって変位が求められ、これより応力が得られる。質量マトリックスは命令質量マトリックスを用い、逐次積分法では、Newmark の β 法において、 $\beta = 1/6$, $\gamma = 0.5$ として計算する。

応力波による破壊の過程を数値解析によつて解く場合、動的破壊条件が実験的・理論的に確立していないこと、破壊後のクラックの成長過程が複雑で慣性効果を考慮しなければならぬこと、および破壊後の新しい要素特性の決定が困難であることなどの問題が生じてくる。本研究では破壊条件については図1に示すように、軸対称三角形要素の重心点における引張主応力が一定値に達した段階でクラックが生じると考えた。また慣性効果については、上の基準に達した段階ですぐに要素の特性を変化させず、次の時間ステップで変化させることと近似できるとした。破壊後の要素の特性については、横置層状性要素の弾性定数マトリックスを考え、最大引張主応力方向に垂直な断面の剛性を零として、これを全体座標系における弾性定数マトリックスに変換し、剛性マトリックスを修正した。

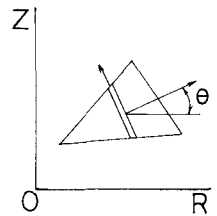


図1 クラックのモデル化

3. 解析例および解析条件

逐次破壊解析に用いた円柱モデルを図2に示す。要素は底面、高さともに1cmの直角三角形要素である。外力の時間的な形状は破壊の条件に直接影響をおよぼす重要な因子であるが、本研究では図3に示すようなパルス形荷重を $T = 10 \mu\text{sec}$ として用いた。臨界応力は最大入射荷重の5%として計算する。材料定数は、弾性係数を $3 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$ 、ポアソン比 0.2、密度 2.2 g/cm^3 とした。解析に用いた時間間隔はすべて $1 \mu\text{sec}$ である。

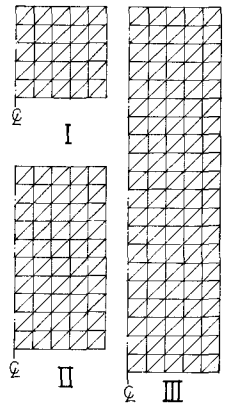


図2 モデル形状

4. 解析結果および検討

一元的な波動伝播が仮定できると考えられる構モデルを用いて有限軸対称要素の精度を検討した。結果を図4に示す。また破壊条件を与えずに解析したモデルIIの波動伝播状態を図5に示す。集中荷重があるため、荷重点付近に大きな応力が生

いてあり、また底面からの反射による、乙底面付近に引張応力が生じている。

次に破壊条件を考慮した場合のクラックの生成場所と方向を図6に示す。これより載荷点付近と載荷点から底面に向けての長軸方向、および底面付近における反射引張波によると考えられるクラックの生成が著しいことがわかる。

図8は、Kolskyらが円筒断片体の上面中央に火薬による衝撃を施して得た実験結果を模式的に示したものである。Kolskyらはこれを、1)載荷点付近における圧縮衝撃による破壊域(斜線部)、2)側壁からの反射による破壊域(S,T) 3)側壁からの反射引張波の重なり合いによる破壊域(PC)、4)底面と側壁からの反射波の重なり合いによる破壊域(L,M)、5)底面からの反射引張波による破壊域(KH) に分類して説明している。本研究における解析結果は、これらの実験結果の3)および5)をうまく説明しており、外力の形状や破壊条件のよりよい近似によつて、他の部分についても解析可能であると考える。

〈参考文献〉

- 1) O. C. Zienkiewicz (著・山田監訳): マトリックス有限要素法, 培風館 (1975)
- 2) H. Kolsky and D. Rader, Stress Waves and Fracture, in "Fracture II", H. Liebowitz (Ed.), Academic Press, (1968), pp.533~549.

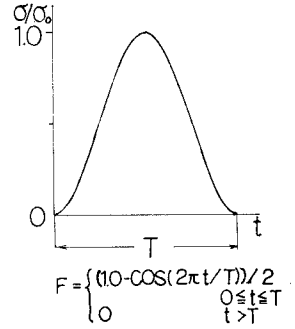


図3 外力の形状

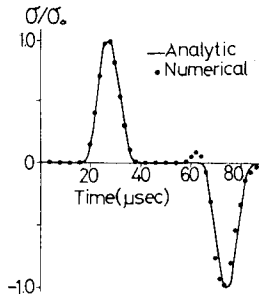


図4 棒モデル解析例

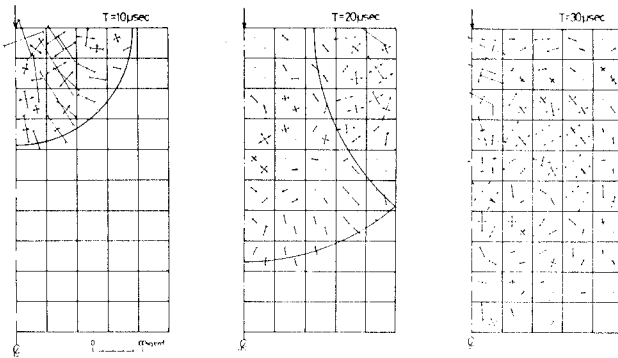


図5 応力波伝播状況 (Model II)

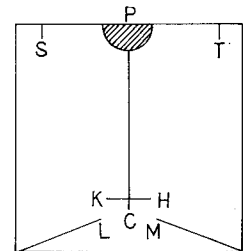


図7 実験結果 (Kolsky)

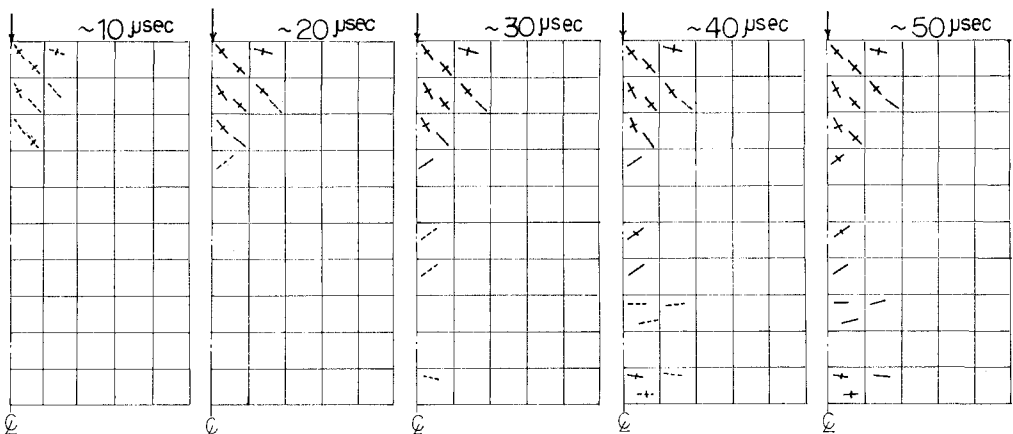


図6 逐次破壊解析例 (Model II)