

## III-589

静的破碎剤による等方性材料の  
破断面方向制御に関する基礎的研究

（株）ズコーシャ 正会員 小林 利文（研究当時北見工業大学大学院）  
北見工業大学 正会員 森 訓保 北見工業大学 平松雅宏

## 1. はじめに

静的破碎工法は、火薬類などに比べ破碎力が極端に弱いので、経費が割高になり、経済性が悪いという短所を持ち合わせている。従って、破碎剤により形成される亀裂や破断面の方向を制御する事ができれば、破碎剤使用量が削減され経済性の悪さという問題点の解決につながる。そのためには、被破碎体にかかる外荷重によって生じる応力や歪の分布状態および亀裂の進展状況の予測を数値計算によって行うことが不可欠である。そこで本研究では、有限要素法による数値解析プログラムの開発をおこない、破断面方向の予測を可能なものとし、計画的に破碎を行なう方法を開発することを目的とした。

## 2. 数値解析プログラムの特徴

静的破碎剤の膨張圧によって生じる被破碎体の応力・歪の分布状態、及び亀裂の進展状況を解析するために、有限要素法による数値解析プログラムの開発を試みた。以下にこのプログラムの特徴を述べる。

- 1) アイソパラメトリック2次要素使用（20節点・15節点）
- 2) 弾塑性解析（降伏条件には、Drucker-Pragerの条件式を使用）
- 3) 増分解析（要素を最低1個ずつ降伏させていくrmin法を使用）
- 4) 亀裂の進展解析（ $\sigma_1$ が引張強度以上の値になった要素の中で、1番大きな値を示している要素をゴースト要素として消去）

## 3. モルタル供試体破碎実験結果

開発した解析プログラムの有用性・問題点を検証するため、モルタル供試体破碎実験を行った。実験に用いた供試体は、直径40cm・高さ50cmの円柱供試体に、上面中心より直径4.4cm・深さ45cmの充填孔を設け、さらにダイヤモンドカッター（直径35cm）で4パターンの切口を入れた。（図-1）

## &lt;実験結果&gt;

以下のパターンa～dの4パターンの場合の実験結果を図-2に示す。

- a) 切口深さ6cm・切口幅2mm：この切口深さの切口による影響は有効でないと考えられる。
- b) 切口深さ8cm・切口幅2mm：切口方向以外の亀裂の発生。意図する破断面の形成は難しい。
- c) 切口深さ10cm・切口幅2mm：この切口深さでの切口による影響は有効であると思われる。
- d) 切口深さ6cm・切口幅15mm：亀裂は切口の方向に発生し、意図する破断面が形成された。

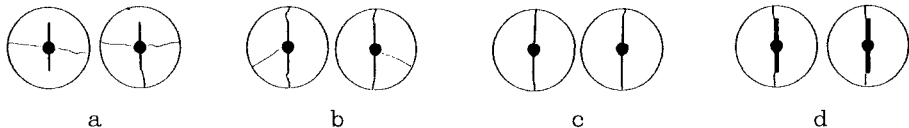


図-1 供試体

図-2 破碎実験結果

## 《実験の考察》

モルタルのような等方性の物体で、円柱供試体のような充填孔から自由面までの距離が等しい場合は切口が細溝（切口内部に破碎剤が入り込まない・本研究では切口幅2mmのこと）の場合では切口の深さをある程度とれば、破断面方向制御は可能であるが、切口深さがそれに達しない場合は逆に悪い影響を及ぼし破断面方向制御は困難である。しかし破断面方向制御が不可能な切口深さでも、切口幅を太くし、破碎剤を切口内部に入り込ませることによって、切口方向に強い引張応力を働かせることができ、破断面方向制御が可能となるのが解った。

#### 4. 数値解析結果

本研究で作成した数値解析プログラムを使用して、前述の破碎実験に用いた供試体の数値解析を試みた。解析に使用した部分は対称性を考慮していずれの供試体も1/4モデルで解析した。切口付近では細かく切口から離れた部分では多少粗いメッシュ分割を行った。境界条件としてはx、y、zそれぞれが0の面の変位を0に拘束した。また、破碎剤が充填されている部分の節点には、等分布荷重を掛けた場合にほぼ見合うと思われる変位の比を与えた。

弾性塑性解析と亀裂進展解析を行い、弾塑性解析では3ステージまで、亀裂進展解析ではゴースト要素が3つになるまで計算を行った。

なお計算には、北見工大情報処理センターのACOSシステム910を使用した。

##### <解析結果>

紙面の都合上、以下に解析結果の2つの例についてのみ述べる。

##### 1) 切口深さ6cm・切口幅2mm

- ・弾塑性解析：切口方向の充填孔に接している部分の要素から塑性に入り、第2・第3ステージでは切口方向と切口に垂直方向の両方に塑性域が広がった。
- ・亀裂進展解析：まず切口方向の充填孔に接している要素がゴースト要素になった。次に切口と垂直方向の上面部分の要素がゴースト要素になり、続いてその下の要素がゴースト要素となった。つまり切口方向からの亀裂の発生を予測しているが切口と垂直方向からも亀裂の発生を予測している。（図-3）

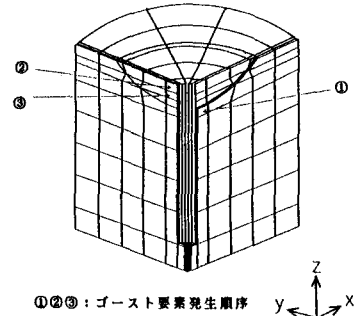


図-3 亀裂進展解析結果

##### 2) 切口深さ6cm・切口幅1.5mm

- ・弾塑性解析：切口方向のみ塑性域に入り進展した。
- ・亀裂進展解析：まず切口と充填孔に接している要素がゴースト要素となり、進展していった。切口方向からのみ亀裂の発生・進展を予測している。

#### 5. 実験結果と解析結果の考察

①切口深さ6cm・切口幅2mm：破碎実験の結果では意図する破断面を形成する事ができず、3分割及び切口と垂直方向に2分割という結果がでている。それに対し数値解析の結果では最初に切口方向からの亀裂の発生を予測している。しかしやがて切口と垂直方向にも亀裂が発生する可能性があることを予測している。

実際の破碎実験と数値解析の結果とでは、若干異なっているが、実験に使用した供試体が、厳密な等方性であったならば、また違った実験結果が出ていたかもしれない。

②切口深さ8cm・切口幅2mm：破碎実験の結果では亀裂は切口方向に発生したが、別の方向に第3の亀裂が発生したとなっている。また数値解析の結果では、まず切口方向から亀裂が発生することを予測し、やがて切口と垂直方向にも亀裂が発生する可能性があることを予測している。これら2つの結果はほぼ等しいとしてよいと思われる。

③切口深さ10cm・切口幅2mm：破碎実験の結果では亀裂は切口方向に発生し、意図する破断面が形成された。それに対し数値解析の結果では、切口方向から亀裂が発生したが、やがて切口と垂直方向にも亀裂が入る可能性があることを予測している。しかし、切口より下の部分では、要素分割が大きいため、このような結果が出たとも考えられる。

④切口深さ6cm・切口幅1.5mm：破碎実験結果は切口方向への意図する破断面を形成した。また切口内部からも変位を与えているため数値解析でも同じような結果が出た。

#### 6. 終わりに

本研究で作成した解析プログラムは、モルタルの様な等方性の物体の破断面方向の予測にはある程度は有効であると思われる。しかしメッシュ分割が粗いことや、荷重を与えなくてはならない部分を変位で与えているため、今後はこの部分の問題点を解決し、より厳密な数値解析を行う必要がある。また破壊力学や異方性を考慮し、実際の現場に適用できるような計算プログラムの作成を目指したいと思う。