

Ⅲ - A364

岩盤の静的破碎時のき裂進展に対する三次元境界要素法解析

株式会社フジタ 正会員 野間達也

東北大学 正会員 松木浩二

1. はじめに

筆者らは、岩盤の静的破碎工法の設計法を構築するために、割岩機により発生するき裂進展について注目し、二次元境界要素法を用いてき裂先端の応力拡大係数を解析し、線形破壊力学に基づいて岩盤の破碎に必要な力と最小抵抗線・割岩孔間隔についての関係を求めた¹⁾。しかし、この方法は二次元解析であるために、無限長さの割岩孔壁に荷重するのと同じ結果であり、現実とは異なる。このため、現実的である三次元解析を行い、二次元解析結果と比較し、その有効性を確認する必要がある。

以上の観点より、本報では三次元境界要素法を用いた岩盤の静的破碎時のき裂進展についての解析を行い、二次元解析との比較を行った。

2. 解析モデル

用いたモデルを、Fig.1 に示す。図中における D は割岩孔径であり、 D で無次元化している。今回のモデルでは実際の施工状況を反映させ、最小抵抗線距離 W を $10D$ 、孔間隔 $2H$ を $10D$ としたが、割岩孔中心および孔間隔中心で対称となるため、図のようなモデルとなる。ここで、Table1 に、今回の最小抵抗線距離を $10D$ とした場合でき裂を含む面を対称としたモデルと、自由面の反対側の面を割岩孔の中心から $50D$ にとって固定した場合の二次元解析の比較を示す。自由面と反対側の面はなるべく荷重面より遠方とした方が解析精度は高くなるものの、この表に示されるように、二次元解析結果では十分に最小抵抗線距離があるならば、この方向もき裂を含む面を中心とした対称にしても結果はほとんど変わらない。これより、今回の解析は図に示したようにき裂を含む面を対称としたモデルである。

境界条件としては、孔壁に与える表面力は二次元解析と同様としたが、今回の対象とした割岩機はゴムチューブを膨張させるタイプであり、割岩孔の深度方向の荷重面は図に示したように実際のゴムが膨張する部分とした。また自由面以外の面は、き裂面以外は面の法線方向に対して変位を固定した。

発生するき裂は、図に示したような長方形とし、き裂長さ a を変化させ、各き裂長さに対する応力拡大係数を求めた。この際、二次元解析と同様に、解析全般を2次要素で行うとともに、き裂最前縁の要素には変位型の特異要素を用いた。

本解析では、き裂が孔間で連結することに注目し、き裂開口型であるモード I の応力拡大係数 K_I を求めたが、 K_I は二次元解析と同様に変位外挿法により求め、また無次元応力拡大係数により結果を評価した。なお、解析に用いた物性値はヤング率 $E=39.2\text{GPa}$ 、ポアソン比 $\nu=0.2$ とした。

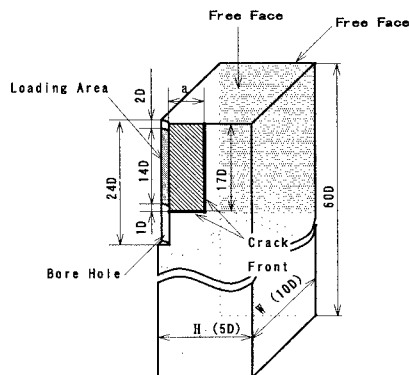


Fig.1 The model for analysis.

Table 1 The relationship between symmetrical and asymmetrical model.

a/H	50D	symmetry	sym/50D
0.2	0.209145	0.209595	1.0021516
0.3	0.19485	0.19496	1.0005645
0.4	0.191705	0.191795	1.0004695
0.5	0.198135	0.198565	1.0021702
0.6	0.21615	0.21598	0.9992135

キーワード 静的破碎工法 破碎設計法 三次元境界要素法

〒224-0027 横浜市都筑区大綱町 74 Tel 045-591-3911 Fax 045-592-8657

3. 解析結果

今回の解析では、 $a/H=0.2$ 、 0.3 、 0.4 、 0.5 、 0.6 のき裂長さの場合の無次元応力拡大係数を求めた。Fig.2 に、割岩孔深度に対する無次元応力拡大係数を a/H で分類したものを示す。本解析では、き裂の形状を長方形と仮定しているが、この図は、無次元応力拡大係数の分布からき裂の形状を定性的に表現しているものと考えられる。従って、実際の破碎時には、き裂の中央部分が先頭となって進展し、き裂が表面に現れるのはかなりき裂が進展した後であることが分かる。なお、き裂が短い場合には、表面の応力拡大係数は負となっているが、これは現実的ではなく、き裂は成長していないことを示す。

Fig.3 に、各割岩孔深度におけるき裂進展に伴う無次元応力拡大係数の変化を、二次元解析の結果とともに示す。

この図からも、上述と同様なことが示されているとともに、載荷部より下ではき裂が進展しにくいことが分かる。ただし、ここでは割愛するが、載荷によりき裂が深度方向に進展していることが示されている。

二次元の解析結果は、三次元の結果よりおおむね小さな値となっている。従って、モデル作成および計算時間が短時間となる二次元解析により破壊設計を行っても、安全側の評価となり、工学上は十分なものが得られる。

4. おわりに

静的破碎工法の破碎設計法を確立するために、三次元境界要素法を用い、き裂進展解析を行ったところ、き裂の進展が定性的に明らかとなり、また工学上二次元解析で破碎設計は対応可能であることが分かった。

（参考文献） 1)野間、松木：岩盤の静的破碎工法における設計法の開発，第 10 回岩の力学国内シンポジウム講演論文集，pp299～304，1998

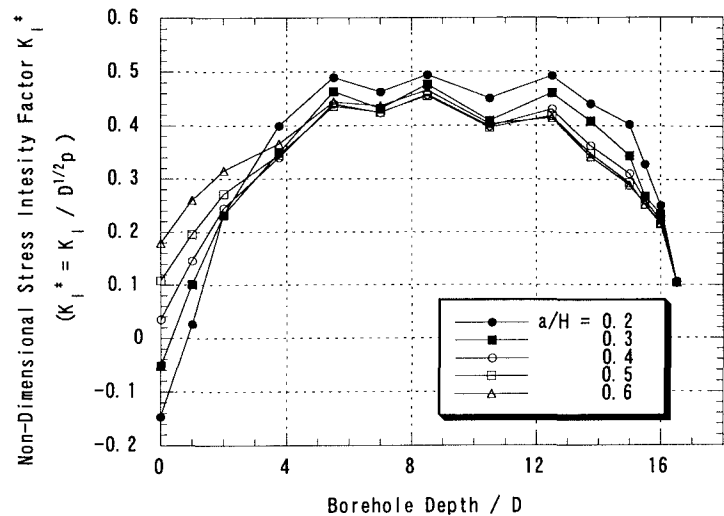


Fig.2 The relationship between non-dimensional K_I and borehole depth for each crack length.

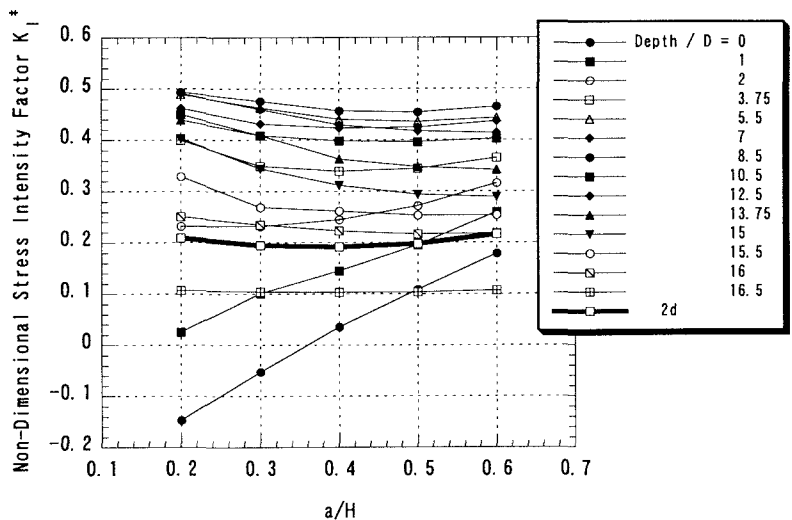


Fig.3 The relationship between non-dimensional K_I and a/H for each borehole depth / D .