

一列孔を有する岩質材料の内圧破壊に関する数値解析

徳山高専 橋本堅一 工藤洋三
名古屋大学 新田宏基
山口大学 中川浩二

1. はじめに

市街地での基礎工事や宅地近傍でのトンネル工事など、爆薬類の使用が制限された岩盤掘削の必要性にともない、低公害の破壊工法として静的破砕剤や油圧による掘削方法が注目を集めている。しかしこれらの手法は脆破ほどの施行例がなく破砕設計を考える場合試行錯誤的に行うことが一般的である。これらの点を考えれば破砕設計に関する基礎的資料を得るといふ目的として数値解析により破壊の推定を行うということは重要な意味を持つてくると思われる。そこで今回、静的破砕剤によるモルタル供試体の破壊シミュレーションについて検討を加えたので報告する

2. 数値解析の方法

数値解析には二次の三角形アイソパラメトリック要素による有限要素法を用い平面ひずみ問題で考えた。解析モデルは一列の孔の破壊を想定し図-1に示す斜線と与えられた領域を扱った。要素分割は載荷点近くで応力集中が起こると考えられるところでは要素を細かくするという考え方をもと

に図-2に示す分割を行った。モルタルなど岩質材料の破壊条件には多くの考え方があるがここでは材料の応力-歪関係を与えておくことにより検討をすすめた。第一段階として材料を完全なゼリ性体として考え要素の最大主応力が材料固有の引張強度を越えれば最大主応力の方向の弾性定数を0とする直交異方性要素に変換する方法をとった。この方法はモルタル板を用いた脆破による動的破壊についてはよいシミュレーション結果を与えている。この方法(case 1)によって得られた応力-歪関係を示すと図-3

のようになる。第二段階としては静的破砕剤による圧力を固体圧として考え時間の経過とともに弾性定数を大きくする工夫を加えた。

(case 2) そして最終段階としてはクラックの形成された断面の剛性に比べて計算の対象となる材料の平均剛性は大きいという考え方(Scanlon et al 1972)をもとにクラック発生後もモルタルは隣接するクラック間で引張力に抵抗し得るとし、図-4の応力-歪関係を与えた。(case 3) 載荷方法はcase 1とcase 2ではまず 50 kgf/cm^2 (4.9 MPa) の膨張圧を初期値として与え以後クラックが生じない場合は全要素の最大主応力 ($\sigma_{\max}$) を計算し $\sigma_t / \sigma_{\max}$ (σ_t : 引張強度) の1%増分を集めて次のスラップの膨張圧を決めた。またcase 3では初期膨張圧は 50 kgf/cm^2 (4.9 MPa) とし以後 10 kgf/cm^2 (0.98 MPa) ずつ増加させている。材料定数は破壊膨張圧の検討のために行った実験供試体のものを用い、弾性定数 $E = 2.4 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$ (22 GPa)、引張強度 $\sigma_t = 32.8 \text{ kgf/cm}^2$ (3.22 MPa) ポアソン比 $\nu = 0.19$ とした。

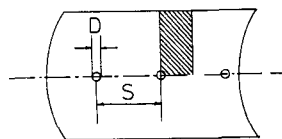


図-1 解析領域

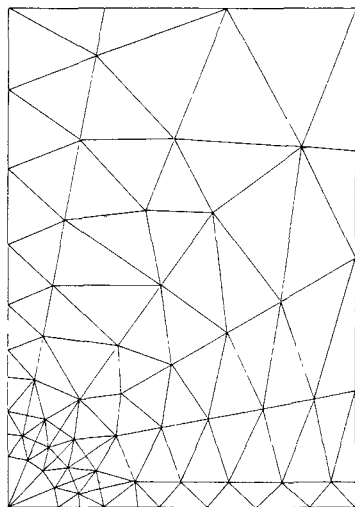


図-2 モデルの要素分割

3. 計算結果と検討

計算結果を検討するため予めモルタル供試体を用いて実験を行った。供試体は図-5に示す大きさで孔間隔 S 、孔径 D をそれぞれ15.4cm, 22mmとしている。材料定数は前に記した通りである。実験は各々7枚の埋め込みゲージと表面ゲージによるひずみとモニター鋼管による膨張圧の測定によって行い、ひずみゲージの破断あるいは最大ひずみ到達時によって破断時膨張圧を決定した。その結果得られた膨張圧は 171 kgf/cm^2 (16.8MPa)であった。これに対して計算結果はcase 1の場合は 74.6 kgf/cm^2 (7.32MPa)とかなり低い値を示した。このときのクラック進展状況を図-6に示す。ここで太い実線が膨張圧の増加とともに徐々に伸びるクラックで破断線が破断膨張圧に至っての急速に伸びるクラックである。静的破砕剤を固体圧として考えたcase 2では 106 kgf/cm^2 (10.4MPa)とcase 1より大きい破断膨張圧が得られたが実験結果に比べれば小さな値である。最終段階として材料の非線型挙動を考慮に加えたcase 3の計算を行った。その結果破断膨張圧は 180 kgf/cm^2 (17.7MPa)と実験結果に比べ少し大きくはあるがかなり近い値を得た。しかし導入した材料の応力-歪関係に若干の修正を加えればさらに近い値になると考えられ、case 3の手法は静的破砕剤による破壊に対して有用な解析手段になるものと考えられる。

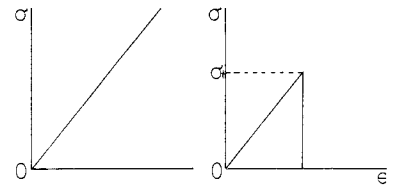
4. おわりに

以上のように静的破砕剤によるモルタル供試体の破壊を静的破砕剤による圧力を固体圧として考えることと材料の非線型挙動を考慮することの二つの考え方を導入して数値解析を検討してきた。その結果ほぼ満足のゆく結果が得られたが静的破砕剤の弾性定数を計算スリップ毎に 1500 kgf/cm^2 (147MPa)を増加させたことと与えた応力と歪の関係は適当な仮定にすぎないのでこれらの仮定に対する実験的検証が必要となろう。また静的破砕剤と同様低公害工法として注目されている油圧による破壊などは膨張圧を固体圧として考えることの考慮を除けばその破壊膨張圧を説明できるものと考えられ適用が可能であると思われる。

参考文献

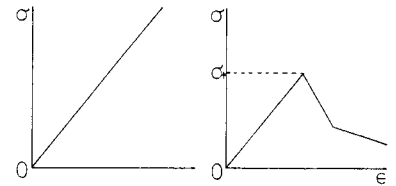
中川浩二, 坂本 伝, 山本 顕一郎: 面内方面に爆破衝撃を受ける岩質材料板の挙動と数値シミュレーション, 材料, 29巻, 322号, pp. 736~741 (1980)

Ake Vebo and Amin Ghali, M, ASCE: Moment-curvature Relation of Reinforced Concrete Slabs, Journal of the Structural Division ASCE, ST.12, March 1977.



(a) 圧縮領域 (b) 引張領域

図-3 CASE 1の応力-歪関係



(a) 圧縮領域 (b) 引張領域

図-4 CASE 3の応力-歪関係

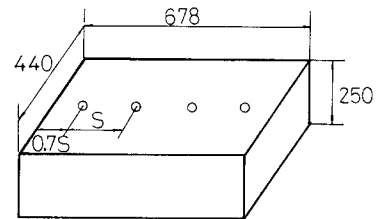


図-5 実験供試体

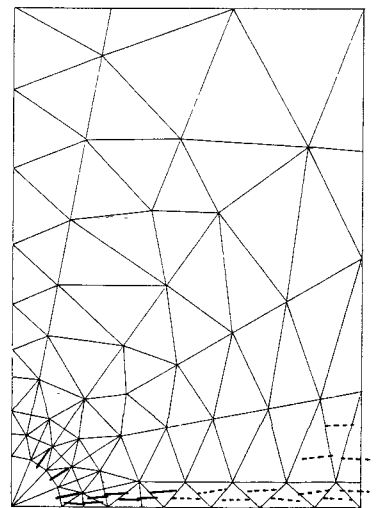


図-6 CASE 1の計算により得られたクラック