

名古屋大学工学部	正員	成岡昌夫
名古屋大学工学部	正員	川本勝男
名古屋大学大学院	学生員	梶田達夫
名古屋大学工学部	正員	秋本昌胤

1. 緒言

円柱状の脆性材料の一軸圧縮試験において荷重面を拘束することは、圧縮強度や破壊形状にかほりの影響を及ぼすことが考えられる。この問題に対してベッセル函数を用いた弾性解析結果があり¹⁾、円柱供試体の応力、変形状態が示されているが、破壊強度や破壊形状を検討するまでに至っていない。また、この問題を解析的に解くことはかなり面倒であるため、主として実験的研究がおこなわれてきた。しかし、最近発表された有限要素法を用いることにより、この問題において変位や荷重で境界条件を与えた場合や、非線形性状を考慮した場合に対しても比較的容易に取り扱うことができるようになった。ここでは円柱状モデル供試体と軸対称供試体と、軸対称問題に対する有限要素法を用いて、4つの場合の境界条件について解き、それぞれの変位、応力のほかにせん断ひずみエネルギーの分布を求め比較した。つぎに同じ境界条件で供試体の破壊荷重や破壊形状を知るため、弾塑性解析をおこなった。以上の計算より得られた結果を検討するために、実際にモデル供試体を作り、計算に用いられた境界条件に近い状態を一軸圧縮試験をおこなった。

2. 弾性領域における応力、変形およびエネルギー分布の状態

有限要素法により軸対称問題については、種々の文献に示されているのでここでは触れはなすが、詳細は文献(2)を参照された。解析においては円柱の軸対称断面の各の部分を考えて、これを三角形要素に分割する。計算には要素数227、節点数141のように分割されたものを用い、つぎのような4つの場合の荷重条件、境界条件について考えた。(1)荷重面の水平方向変位を固定し、鉛直方向に単位変位を与える。(2)荷重面の水平方向変位を自由にし、鉛直方向に単位変位を与える。(3)荷重面の水平方向変位を固定し、鉛直方向に単位荷重を作用させる。(4)荷重面の水平方向変位を自由にし、鉛直方向に単位荷重を作用させる。実際の圧縮試験における境界条件は、荷重面がその面に作用する摩擦によって水平方向にある程度拘束され、鉛直方向に等変位するように与えられているから、通常おこなわれている実験方法では、(1)の条件に近いだろう。しかし、真の一軸圧縮強度は(2)、(4)のような条件で求められるものである。通常の圧縮試験での圧縮強度の計算では、荷重面に等分布荷重が作用しているとおこなわれているので、(3)、(4)のような条件についても計算をおこなった。計算結果によると、(2)、(4)の条件ではポアソン比が一定に水平方向にふくれ出し、各要素の応力はすべて等しくなる。また、(1)、(3)の条件での応力値、これは荷重面周辺で集中するが、(3)の条件では荷重面が鉛直方向変位の拘束を受けないため、あまり集中しない。図-1, 2にせん断ひずみエネルギーの分布を示す。(1)、(3)どちらの条件でも荷重面周辺と、内部の中心線上に最大値が生じ、荷重面周辺と、内部の中心線と結ぶ線によって大きな値とはつてくる。せん断ひずみエネルギー線により破壊が生じるとすると、

この場合の破壊形状はフサビ状となることが予想される。(2)、(4)のような条件では、応力が一様であるから、せん断ひずみエネルギーの分布も供試体内で一様となる。これは破壊が全断面同時に生じること、すなわち、任意の軸対称断面、あるいはこれに平行な鉛直断面での分離破壊を生じることの意味している。

4. 弾塑性解析

弾性解析でもある程度の破壊形状が予想されるが、さらに破壊の性状、破壊強度を求めるための弾塑性解析をおこなう。有限要素法による非線形解析には漸増法と反復法があるが、ここでは変位、または荷重漸増法による解析を考える。降伏条件としては、グリフィス理論にもどづくセールの包絡線を用いる。解析過程をネオヘックのようなように、1. 各要素のうちどれだけが降伏条件をみたすような荷重 $\{P\}$ 、変位 $\{R\}$ を求める。これは単位荷重、単位変位 $\{I\}$ によって得られた応力に任意の定数 C をかけ、一要素だけが降伏条件をみたすように C の値を反復計算により求め、 $\{P\}=C\{I\}$ 、 $\{R\}=C\{I\}$ として求められる。2. 降伏条件をみたした要素は、弾性係数を弾性の場合の $\frac{1}{2}$ におとし、ポアソン比を 0.45 とする。そして、またつぎの荷重、あるいは変位増分に対して1の過程をくり返す。この計算過程をくり返すことにより、順次各荷重、あるいは変位段階において塑性状態となる要素を求めていく。実際には、各荷重、あるいは変位の増分に対して一要素だけに降伏させておいては計算時間が多くになるので、ここでは任意の数の要素が降伏条件をみたすような荷重 $\{R\}$ 、あるいは変位 $\{R\}$ の増分を考えて計算を進める。3. 2の過程をくり返して、塑性の領域が供試体を横切って広がり、最終状態になるまで計算をおこなう。破壊荷重、あるいは変位は $\{P\}+\Sigma\{R\}$ 、 $\{R\}+\Sigma\{R\}$ として求められる。

5. 実験

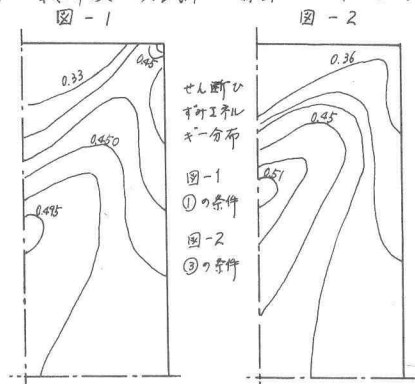
直径 10cm 、縦 20cm のモルタル供試体を用いてつぎのような実験をおこなった。(1)供試体の上、下面に 2.5cm 厚の鋼製円板を接着し、圧縮試験をおこなう。(2)載荷板と供試体の端面との間にシリコングリースを塗布しゴムスリーブをはさみ、圧縮試験をおこなう。(3)通常の圧縮試験をおこなう。それぞれの場合の一軸圧縮強度の平均は、(1)345.5 (2)276.0 (3)321.7 (単位 kg/cm^2)であり、破壊形状の代表的なものを写真に示す。

6. あとがき

実験によって見られる破壊形状は、せん断ひずみエネルギー分布の形状より予想されるものとよく一致する。これによって、荷重面の拘束状態による破壊形状や破壊荷重の相異について説明することができるとは、破壊荷重については、弾塑性解析の結果から、材料の破壊条件との関係において求められると思われる。これについては当日発表する予定である。なお、計算には東大大型計算センターのHITAC 5020Fを用いた。

参考文献 1) 村=郎: 耐圧試験の際に生じる円筒形物体内の応力分布及びその破壊状態について土木学会誌 17巻8号

2) O.C. Zienkiewicz: The Finite Element Method in Structure and Continuum Mechanics.



実験 (1)



実験 (2)

