

二軸破壊試験におけるコンクリート供試体の応力解析 Stress Analysis of Concrete Specimens in Biaxial Fracture Tests

石黒 覚
Satoru ISHIGURO

1. はじめに

繊維補強コンクリートや高強度コンクリートなど種々の力学特性を有する新しいコンクリート材料が開発され、圧縮や引張などの強度特性に加えて破壊エネルギーや引張軟化曲線などの破壊特性の評価も重要になってきた。前報¹⁾では、くさび挿入法に基づく二軸破壊試験装置を作製し、この試験装置を用いて二軸応力(圧縮-引張)下におけるコンクリートの破壊エネルギーを求めた。本研究では、二軸破壊試験におけるコンクリート供試体の応力状態を把握するため、FEMによりひび割れ進展時の応力解析を実施した。

2. 二軸破壊試験の概要

2.1 試験装置

試験装置の概要を Fig.1(a)に示す。供試体は左右の剛性フレーム内にある上下部载荷版の間に設置し、圧縮荷重は手動式油圧ジャッキを用いて各剛性フレームの上部に取り付けた3個の油圧シリンダにより与えた。また、くさびへの荷重には電動式载荷試験機(容量10kN)を用いた。

左右の剛性フレームは、それぞれ载荷試験機の昇降フレームにバネを介して吊り下げ、試験時には、供試体を幅3mmの支点上に接するように載せた状態で所定の圧縮荷重を与える。その後、くさびを上部载荷版のボールベアリングに沿って鉛直上方から1mm/分の速度で挿入させた。

くさびへ荷重した荷重 F_m はロードセルにより測定し、水平方向荷重は $F_h = F_m / (2 \tan(\theta/2))$ として算定した。また、切欠き口の開口変位はクリップ型変位計を用いて計測した。

2.2 供試体の二軸荷重状態

コンクリート供試体の形状寸法は $150 \times 150 \times 130$ mm の直方体とし、試験直前にコンクリートカッターを用いて供試体上面の中央に幅2mm、深さ40mmの切欠きを設けた。供試体への二軸荷重(圧縮-引張)状態の模式図を Fig.1(b)に示す。まず、载荷版を介して鉛直方向に圧縮荷重 F_c を作用させ、その後に、切欠きを含む鉛直面に沿ってくさびを挿入させることにより、水平方向荷重 F_h を作用させた。

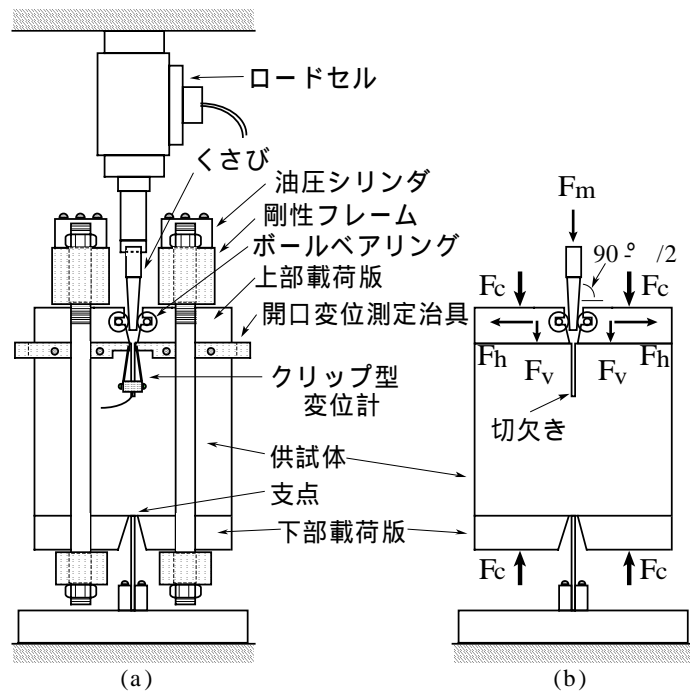


Fig.1 Biaxial load system and loading state

3. FEM 応力解析

3.1 解析モデル

Fig.2 に示すように、載荷版を含む供試体の半断面をメッシュ分割し、二次元平面応力モデルとして弾性解析を行った。変位の境界条件は、支点における節点を X,Y 方向とも固定、切欠き先端から支点までを仮想ひび割れ面として、この部分の節点を X 方向のみ固定とした。ただし、ひび割れの進展に伴ってこの部分の X 方向固定の条件を解除する。また、荷重条件としては、圧縮荷重 F_c および水平方向荷重 F_h 、さらに、図示していないが、仮想ひび割れ面における結合力を考慮した。つまり、ひび割れが発生しても応力は零ではなく、ひび割れ幅に対応した結合力が作用するものと考えた。材料特性としては、鋼材の弾性係数およびポアソン比を 210GPa および 0.3、コンクリートのそれらを 23~26GPa および 0.2 と仮定した。また、引張強度は 2.65~3.45MPa の値を用いた。

3.2 結果および考察

Fig.3 は、破壊試験における最大荷重(F_{hmax})時の主応力分布の解析例を示す。同図(a)および(b)は、圧縮荷重比 $F_c/F_{ck}=0.0$ および 0.3 の結果を表す。 F_{ck} は圧縮強度に相当する荷重である。解析結果によると、最大荷重の 40%前後でひび割れが発生し、仮想ひび割れが 40~45mm 進展したときに最大荷重に達し、その後、ひび割れの進展に伴って荷重が低下した。圧縮荷重比 0.0 の場合、ひび割れ先端を取り囲む広い領域で引張-引張の二軸応力状態となっている。一方、圧縮荷重比 0.3 の場合、圧縮荷重によって鉛直方向の引張応力が打消され、ひび割れ先端を取り囲む領域では圧縮-引張の二軸応力状態となる。両者は、それぞれの二軸応力状態下で破壊が進行すると考えられる。また、圧縮荷重比 0.3 の場合、圧縮荷重によって水平方向へのひび割れ進展が抑制されるため、実際の試験結果においても圧縮荷重比 0.0 に比べてフラットなひび割れ面の形成が認められた。

4. おわりに

ひび割れ先端近傍の応力状態は、圧縮荷重の有無によってそれぞれ圧縮-引張および引張-引張の二軸応力状態となり、また、ひび割れの進展によっても変化した。本研究で作製した二軸破壊試験装置は、圧縮荷重方向のひび割れ進展を模擬したものであり、供試体の応力状態を把握しておくことは破壊特性の評価において重要と考えられる。

1)石黒覚：コンクリートの二軸破壊試験装置の作製，支部研究発表会講演要旨集 pp.10~11,2001

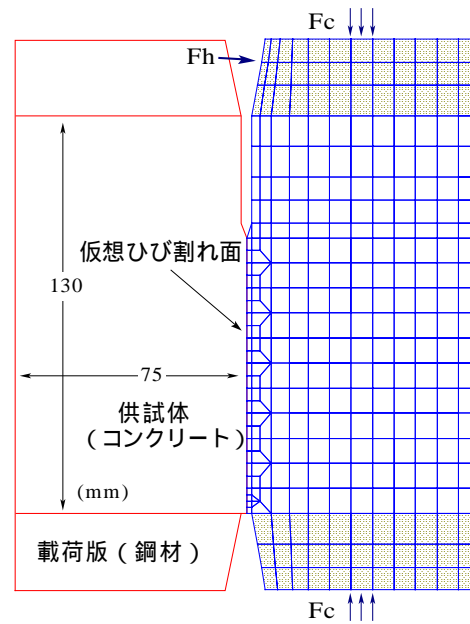
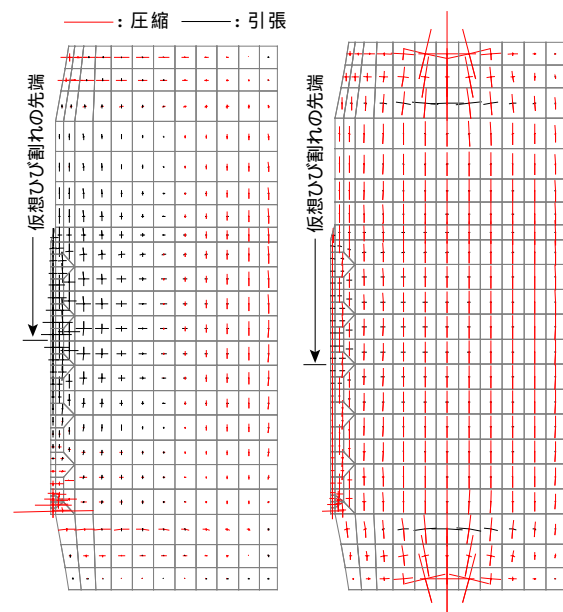


Fig.2 FE mesh of the specimen



(a) $F_c/F_{ck} = 0.0$ (b) $F_c/F_{ck} = 0.3$

Fig.3 Principal stress distributions at maximum load (F_{hmax})