

コンクリートの二軸破壊試験に関する研究

三重大学生物資源学部 正会員 石黒 覚

1. はじめに

コンクリートの力学特性は圧縮強度、引張強度および静弾性係数など、強度や変形特性に関するものが一般的である。近年、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、強度特性に加えて破壊特性の評価も重要になってきた。コンクリートの破壊特性としては種々のものが提案されており[1]、破壊エネルギーや引張軟化曲線などの破壊パラメータがコンクリートの破壊力学において有望視されている。これらコンクリートの破壊パラメータは、曲げあるいは一軸応力状態下において求められているのが一般的であり、二軸あるいは多軸応力状態下における破壊パラメータの研究は少ない状況である。本研究では二軸応力（圧縮－引張）下におけるコンクリートの破壊試験装置を作製し、この試験装置により砕石および川砂利コンクリートの破壊パラメータ（破壊エネルギー）を求めた。

2. 実験方法

2.1 供試体の形状寸法および荷重方法

コンクリート供試体の形状寸法を図-1に示す。コンクリート供試体は寸法 150×150×130mm 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中央部に幅 2mm の切欠きを設けた。切欠き深さは 40mm（リガメント長さ 90mm）とし、試験時にひび割れがこの切欠き先端から発生するようにした。

コンクリート供試体への二軸荷重（圧縮－引張）状態の模式図を図-2に示す。供試体には荷重版を介して鉛直方向に圧縮荷重 F_c を作用させ、また、同時に切欠きを含む鉛直面に沿って鋼製のくさびを挿入させることにより、水平方向の引張荷重 F_h を作用させるものとした。

2.2 試験装置の概要

二軸応力下の破壊試験装置は、Tschegg ら[2]により開発されたくさび挿入二軸破壊試験法に基づいて作製した。作製した試験装置の概要を図-3に示す。コンクリート供試体への圧縮荷重は容量 400kN の油圧ジャッキを用いて、左右それぞれ 3 個の油圧シリンダを介して与えた。また、くさびへの荷重には電動式荷重試験機（容量 10kN）を用い、その荷重速度は 1mm/分とした。

二軸荷重試験時には、コンクリート供試体を幅 3mm の支点上に載せた状態で上下の荷重版を介して所定の圧縮荷重を与え、その後、鋼製くさびをローラ付き荷重版のローラベアリングに接するようにして鉛直上方から挿入させた。一方、一軸荷重試験では、試験直前に供試体上部の荷重面に厚さ 6mm の鋼板を接着剤で貼り付け、この鋼板にローラ付き荷重版（荷重点の位置が二軸の場合と同じになるように、荷重版の厚さを薄くしたもの）を固定し、圧縮荷重の有無以外は二軸試験の場合と同じになるようにした。

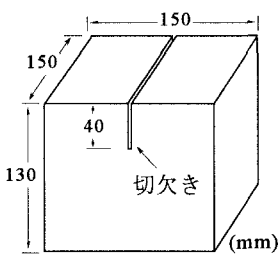


図-1 供試体の形状寸法

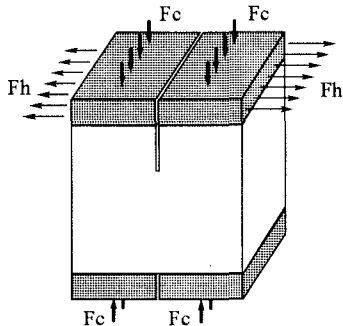


図-2 供試体への二軸荷重状態

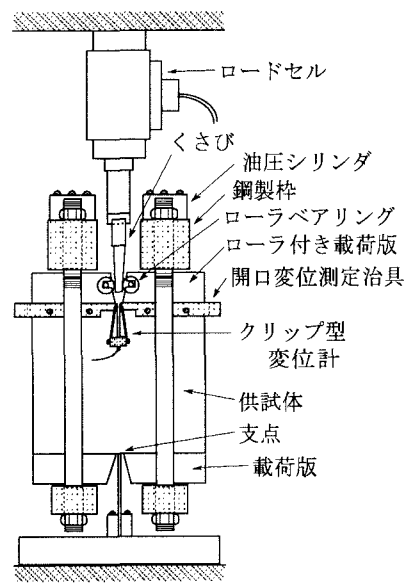


図-3 二軸破壊試験装置の概要

2.3 計測システム

ロードセル（容量 10kN）およびクリップ型変位計（容量 5mm）により測定した荷重および開口変位のデータは、データロガー（TDS-303）、計測ソフトウェアおよびパーソナルコンピュータ（NEC PC9821）を組み合わせた計測システムを利用して 1 秒間隔で計測した。また、同時に荷重 - 開口変位曲線のモニタリングおよびグラフィック表示などの処理ができるようにした。

表-1 破壊試験に用いたコンクリートの特性

種類	骨材の種類	水セメント比 (%)	単位水量 (kg/m ³)	単位セメント量 (kg/m ³)	静弾性係数 (GPa)	引張強度 (MPa)	圧縮強度 (MPa)
NG	川砂利	60	168	280	24.9	2.30	24.7
CG	碎石	60	168	280	30.7	2.59	27.7

2.4 コンクリートの破壊試験

破壊試験に用いたコンクリートの配合および主な力学特性を表-1 に示す。コンクリートは川砂利（最大寸法 20mm、密度 2.66）と川砂を使用したもの、および、碎石（最大寸法 20mm、密度 2.84）と川砂を使用したものの 2 種類である。それぞれ NG および CG と記す。スランブは 7~10cm、空気量 4~6%の配合とした。供試体数は 4 個とし、試験材令 28 日まで水中養生した。二軸破壊試験における圧縮荷重の大きさは、コンクリートの圧縮強度に対する比率(%)で 0、15、30、45 および 60% になるような 5 ケースの圧縮応力比とした。各試験結果は、種類を表す NG および CG の英字の後ろに圧縮応力比の数値を付けて記述した。

3. 実験結果および考察

図-4 は、NG における荷重(Fh)ー開口変位(CMOD)の計測結果の一例を示したものである。その他の供試体においてもひび割れの進展に伴う急激な荷重低下や破壊現象は認められず、最大荷重以降の軟化領域においても安定して荷重ー開口変位曲線を計測できることがわかった。

コンクリートの破壊エネルギー(Gf)と圧縮応力比の関係を図-5 に示す。破壊エネルギーは、RILEM から提案されたモード I 破壊の破壊エネルギーの定義をくさび挿入試験結果に適用することにより算定した。これらの結果によると、NG および CG とともに一軸応力下における破壊エネルギーは、圧縮応力比が 0.15~0.45 の場合に比べて大きくなった。さらに CG の破壊エネルギーは、圧縮応力比が 0.45 以上になったあたりから、また NG のそれは圧縮応力比が 0.15 以上になったあたりから増加している。このような破壊エネルギーと圧縮応力比の関係は、Tschegg らの試験結果においても認められており、これは破壊進行領域の広がりや圧縮応力比の大きさによって異なるためと考えられている[2]。

4. おわりに

Tschegg らの開発したくさび挿入二軸破壊試験法では、一軸および二軸試験時においてそれぞれ供試体の形状寸法および試験装置が異なっている。本研究では一軸および二軸試験ともに同じ条件で破壊試験を実施できるように工夫した点が特徴である。

<参考文献> [1] Y.Kitsutaka and H.Mihashi : Quantitative Evaluation Methods for Toughness and Softening Properties of Concrete, Proceedings FRAMCOS-3 Pre-Conference Workshop(Gifu Workshop), 1998
 [2] E.K.Tschegg,M.Elser and S.E.Stanzl-Tschegg : Biaxial Fracture Tests on Concrete - Development and Experience, Cement and Concrete Composites, 17, pp.57-75, 1995

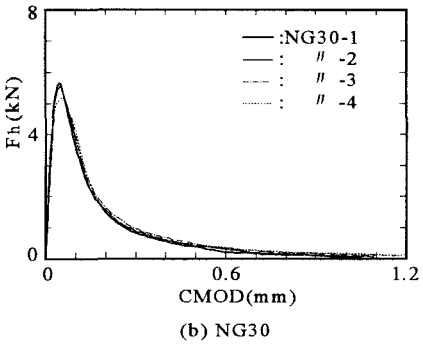
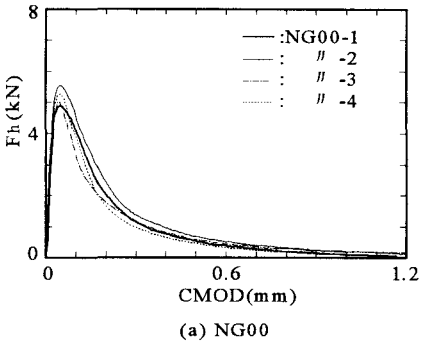


図-4 荷重(Fh)ー開口変位(CMOD)の計測結果の一例

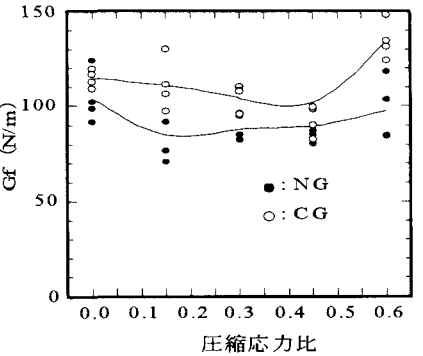


図-5 破壊エネルギー(Gf)と圧縮応力比の関係