

神戸大学 学生会員 柴田祐輔

神戸大学 正会員 三木朋広

1. はじめに

コンクリート構造物の破壊は、一般にひび割れに起因する。既往研究によって、コンクリート構造物に生じるひび割れの周辺に破壊進展領域と呼ばれる領域が存在することが示唆されている¹⁾。この破壊進展領域は、肉眼では確認することができない微細なひび割れを有する領域であり、引張応力を一部伝達することができるため、部材の破壊挙動に影響を及ぼす。そこで、本研究では、画像解析を用いて、ひずみ分布から破壊進展領域の同定を行うことを試みた。また、載荷試験から求めた引張軟化曲線や破壊エネルギーなどの破壊力学特性と、ひずみ分布から予測される破壊進展領域の関係を破壊現象面から評価することを目的とした。

2. 実験概要

1つの切欠きを有する供試体を対象とした3点曲げ試験を行った。切欠き高さと供試体に用いた最大骨材寸法を実験パラメーターとした。実験に用いた切欠きは供試体の寸法は、100 mm×100 mm×400 mmであり、供試体のスパン長はすべて300 mmとした。モルタル供試体（最大骨材寸法 $G_{\max}$: 5 mm）を6体、コンクリート供試体（ $G_{\max}$: 20 mm）を6体作製し、それぞれの供試体で切欠き高さが30mm, 50mmのものを3体ずつ作製した。

載荷試験時にリガメント部に発生するひび割れ開口変位を計測するため、供試体の裏面に π 型変位計を設置した。また、供試体表面は画像相関法の対象面とし、画像解析用デジタル画像の撮影を行った。

3. 破壊進展領域に与える骨材寸法の影響

供試体への荷重の増加に伴ってひび割れの発生領域は次第に広がっていく。ただし、切欠き方向にそのひび割れが進展するに伴う、切欠きと直交方向の大きさはある限界を有する。これはコンクリートの非均質性が影響する、つまり、発生する破壊進展領

域の大きさは、骨材寸法に依存すると考えられる。

4. 画像解析

デジタル画像相関法²⁾は、測定対象物表面の模様のランダム性を基に、デジタルカメラなどで撮影した変形前後のデジタル画像を比較することにより、計測範囲全体にわたって変位等を容易に求めることができる手法である。

まず、変形前の画像において、画像内の任意点（本研究では領域内の左上の点）を代表点とした $N \times N$ 画素の任意領域（サブセット）を指定する。計測対象物に変位を与える変形後の画像を対象に、変形前のサブセットの輝度値分布と高い相関性を示すサブセットを変形後の画像から探索する。このサブセット内の任意の点の移動より変位方向、変位量を算出する。以上の方法により得た変形量を利用して、サブセットの代表点を接点とした、9接点アイソパラメトリック有限要素法を用いて、ひずみ分布を算出する。本研究では、サブセットの大きさを100×100 (pix)とした。

5. 結果と考察

5.1 破壊エネルギー

図2では、条件が異なる供試体の荷重-変位曲線を示す。また、図3に各供試体の破壊エネルギー G_F を示す。ここで、 G_F は、式(1)に従って求めた。

$$G_F = (W_0 + mg \times \delta_0) / A_{lig} \quad (1)$$

ここで、

W_0 : 荷重-変位曲線下の面積 (N・mm)

mg : 支点間の供試体重量 (N)

δ_0 : 破断時の変位 (mm)

A_{lig} : 切欠き位置でののはりの切断部分の射影面積 (リガメント面積) (mm²)

図1から、コンクリート供試体はモルタル供試体

よりも、ピーク時の荷重、破断時の変位ともに大きいことがわかる。つまり、コンクリート供試体はモルタル供試体よりも破壊エネルギーが大きくなっている。これは、ひび割れ進展に粗骨材の存在が影響を及ぼしているためであると考える。また、図2から切欠き高さの影響はモルタル供試体において、50mmの方が30mmの場合より破壊エネルギー G_F が小さいこともわかる。

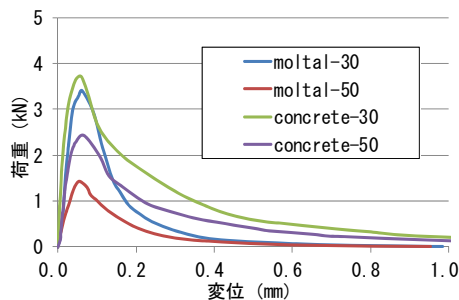


図1 各供試体の荷重－変位曲線

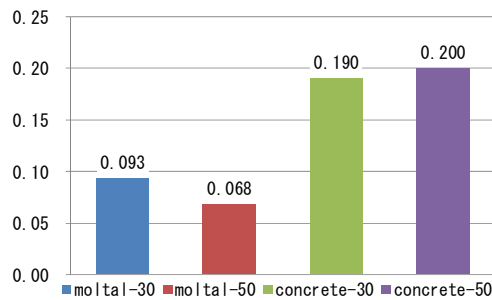


図2 破壊エネルギー

5.2 引張軟化曲線

図3に実験より得られた引張軟化曲線を示す。本実験では、モルタル、コンクリート供試体における軟化応力のピーク値は、それぞれ大きな違いは見られなかった。また、軟化応力が0となる仮想ひび割れ幅は、材料によって大きく異なることがわかった。

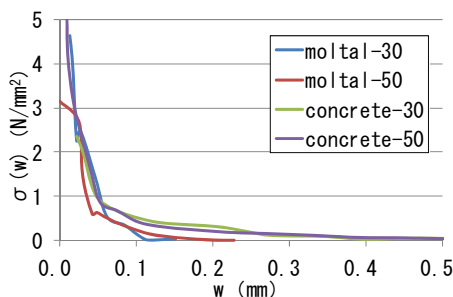


図3 各供試体の引張軟化曲線

5.3 破壊進展領域の幅の比較

ここでは、デジタル画像相関法を用いて、供試体の切欠き先端からの高さごとに任意断面のひずみ値を求めた。このとき、ひずみ値が2000 μ 以上となる領域の幅を破壊進展領域の幅 W_{FPZ} と仮定した。図4

に示すモルタル供試体では、 W_{FPZ} の最大値が7mm程度となった。一方、図5に示すコンクリート供試体では、 W_{FPZ} の最大値は10mm程度となった。コンクリート供試体は、モルタル供試体より W_{FPZ} が大きくなった。また、切欠き先端からの高さごとの W_{FPZ} は、モルタル供試体ではばらつきが小さいが、コンクリート供試体では大きいことがわかった。

6. まとめ

モルタル、コンクリート供試体における破壊進展領域を画像解析によって計測することを試みた。骨材寸法によって、破壊進展領域、特に領域の幅が異なることがわかった。

参考文献

- 1) コンクリートのひび割れと破壊の力学：現象のモデル化と制御，技報堂出版，2010
- 2) 三木朋広，林 大輔：画像相関法による局所的圧縮力を受けるコンクリートの非接触ひずみ計測，建設工学研究所論文報告集，第52号，pp.53-60，2010.11

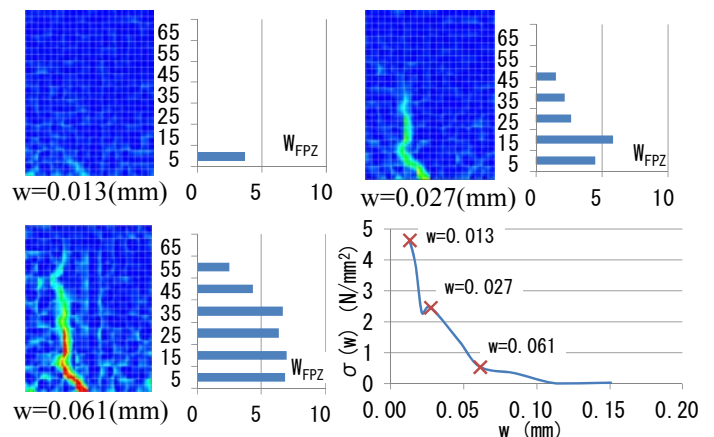


図4 切欠き高さ30mmのモルタル供試体

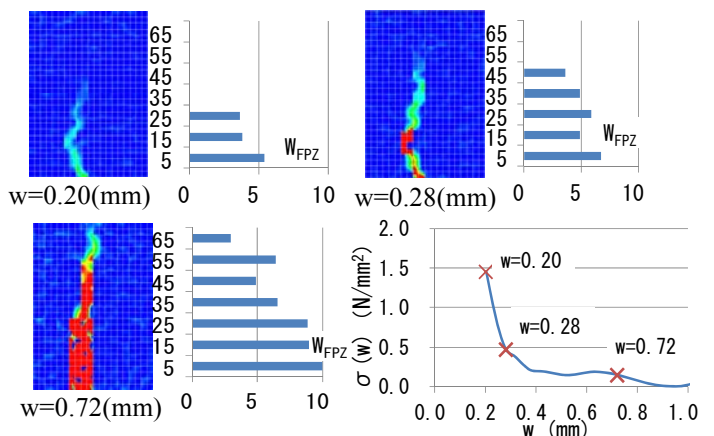


図5 切欠き高さ30mmのコンクリート供試体