

○ 千葉市役所 正 員 新村 達也
千葉工業大学 正 員 吉田 秀典

1. はじめに

コンクリート構造物を設計する際、その強度・耐久性を的確に評価するにはコンクリートの損傷の程度、とりわけクラックの挙動を正確に捉えることが要求される。クラックの挙動を正確に捉えるにはコンクリートの損傷・破壊のメカニズムを捉えておく必要がある。現行のコンクリート標準示方書においても、微視クラックの挙動については設計の際に考慮に入れるべき重要な問題として指摘されているが、未だ具体的な対策は講じられていないのが現状である。そこで本研究では、コンクリート材料の微視的な破壊特性を把握するためにモルタル供試体の4点曲げ試験を行い、微視クラックの挙動を巨視的および微視的な面から同時に捉え、比較・検討することを目的とした。

2. 実験概要

本研究では、骨材などの影響を極力低減するために、水セメント比 35%，寸法 10 cm×10 cm×40 cm のモルタル供試体を 8 体作成し、4 点曲げ試験を行った。実験においては、図 1 に示すように AE センサー、ひずみゲージを取り付けて計測を行った。さらに供試体下部中央に画像解析を行うための領域 (1 cm×0.8 cm) を設け、载荷中にデジタルビデオカメラによる撮影を行った。撮影画像を領域 640×480 [dot] の画像データに変換し、計算機に取り込んで変位場解析を行った。事前の精度の検証では変位の精度は 16 $\mu\text{m}/\text{dot}$ であった。

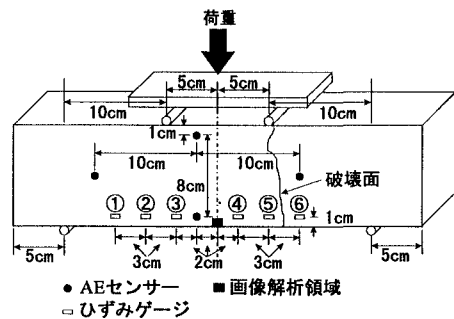


図 1 実験供試体概要

3. 結果・考察

まず、代表的な実験において载荷点で計測された変位より、はりの理論を用いて、図 1 に示された 1 番のひずみゲージの位置における応力を計算し、それとそのゲージから計測されたひずみとの関係を図 2 にプロットした。図には併せて累積 AE カウント数も示した。図より、巨視的なモルタル材料の巨視的弾性係数は約 25,000 kgf/cm² と求まる。本実験に先行して行った圧縮試験から求まる弾性係数は約 300,000 kgf/cm² であることから、曲げ引張側の巨視的弾性係数がかなり小さいことが分かる。

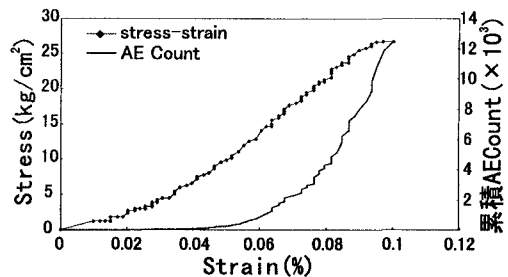


図 2 巨視的応力-ひずみ関係と AE の累積イベント

これは不十分な練り混ぜに起因する初期間隙や、養生中の乾燥収縮に起因するマイクロクラックの発生によって、初期段階から多くの間隙、不連続面が存在していた可能性が考えられる。

ひずみで 0.04%，応力で 5 kgf/cm² あたりで AE がカウントされ始め、ここで曲げ引張を受けてマイクロクラックが発生したと思われる。この点から応力-ひずみ曲線の勾配はやや大きくなっている。これは供試体下縁でクラックが発生し、供試体の変形はクラックの開口など、供試体軸方向に大きくなり、载荷点直下の鉛直下向きの変位はそれほど大きくなっていないことが原因と思われる。それ以後、累積カウントは増大しているが、その増大率は比例的ではなく、破壊直前に急激に増加していることが分かる。破壊に至るまでにこれだけのクラックが発生しているにもかかわらず、破壊に至るまで巨視的な応力-ひずみ曲線はほぼ直線的な挙動を示している。クラックが増加し続けるにも関わら

キーワード：変形の局所化、ひび割れ、画像解析

〒 275 千葉県習志野市津田沼 2-17-1 TEL:0474-78-0440 FAX:0474-78-0474

ず材料が巨視的には線形的な挙動を示す理由として、変形の局所化現象¹⁾が考えられる。つまり、材料中に発生したクラックの内、一部だけが成長・進展し、それ以外のクラックが成長せずに閉合したりするために、クラックの総数は増加せず、その結果、クラックの体積密度が全体としてあまり変動しないものと思われる。

次に、図1における4番のひずみゲージから得られたひずみと荷重比との関係を図3に示す。図から求まる弾性係数は約 $150,000 \text{ kg/cm}^2$ であり、この実験における破壊面は、図1における5番と6番のひずみゲージの間に現れた。このゲージでは、荷重比70%辺りまではほぼ弾性的挙動を示している。特に70%を越えてからは力学的エネルギーの散逸がごく少数のクラックに集中し、このゲージが貼られた箇所付近では、実際は弾性除荷を生じているものと考えられる。また、ほぼ同位置で破壊が生じた供試体においては、同じ箇所に設置したひずみゲージが同様の挙動を示した。

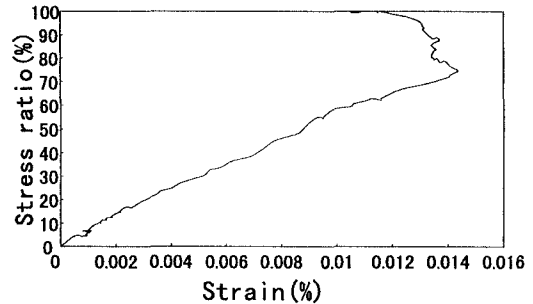


図3 荷重比-ひずみ関係

さらに、各荷重段階におけるクラックの挙動を把握するために、実験中にデジタルビデオで供試体中央下部領域を撮影した。この画像を計算機に取り込んで、パターンマッチングの一つであるマッチング法²⁾を用いて変位場を求め、さらに変位場からの計算よりひずみ場を求めた。図4にそのひずみ場を示す。図中の p/p_f は荷重比を表している。荷重比35%において図中央にひずみ3%を越える大きな引張り領域が確認された。この位置に恐らく引張りクラックが存在していたものと思われる。荷重比35%で引張りを受けて開口していたと思われるクラックは、載荷に伴って徐々に引張りひずみが減少するが、破壊直前において再び強い引張力を受け、引張りひずみが増大している。これより、クラックは開口・閉合および再開口といった複雑な挙動をしているものと思われる。先に述べた通り、発生したクラックの中には成長・進展をせずに閉合するものが存在する可能性があり、図4はその現象を捉えているものと思われる。また、この時のクラックの引張りひずみは最大で約5%であるのに対し、巨視的な応力-ひずみ曲線およびひずみゲージより得られるひずみが最大で約0.1%であることを考えると、材料の巨視的変形は微視クラックの変形に大きく依存するものと思われる。よって、現行のコンクリート標準示方書においても指摘されているひび割れによる変形・剛性低下を考慮に入れた設計を行うには、微視的クラックの挙動を的確に把握する必要があるものと考えられる。

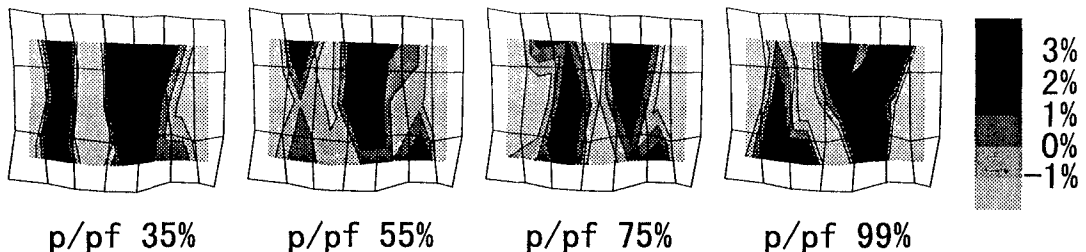


図4 ひずみ分布

4. おわりに

本研究では、曲げ荷重を受けるモルタルの破壊・損傷のメカニズムの把握を試みた。本研究より、材料中に発生したクラックは開口または閉合を繰り返し、最終的に一本のクラックに集中して破壊に至るという、変形の局所化現象が確認出来た。今回はデジタルカメラを一基のみ設置しての実験であったが、複数設置することでより的確に変形の局所化現象を捉えることが出来るものと思われる。曲げ荷重を受けるコンクリートは、微視クラックの挙動は巨視的挙動に多大な影響を及ぼすものと思われ、ひび割れの成長・進展を考慮に入れた新しい設計法が必要であろう。

参考文献

- 1) 井上, 堀井: コンクリート様材料における変形の局所化問題, 第51回土木学会講演会講演概要集, V, 1996.
- 2) 後藤寛英: リーデル線のねじりせん断試験と高精度画像解析による変位場計測, 東京大学工学系研究科修士論文, 1997.