

圧縮荷重下のセメントモルタルの破壊機構

徳山高専 正会員 工藤洋三
コーウン産業(株) 河村淳一

徳山高専 学生会員 ○内田博之
コーウン産業(株) 西村好夫

1. はじめに

コンクリートの破壊挙動にはさまざまな要因が影響を及ぼすが、コンクリートの組織よりも、クラックや空隙など先在する欠陥や荷重にともなう生じるクラックが大きな影響を及ぼすことが明らかにされている。本研究では、破壊機構を議論するに足る実験精度を確立し、特にダイラタンシー開始点について議論する。

2. 供試体

供試体の肥大化を避けるためにセメントモルタル供試体を用いることにした。本研究に用いたセメントモルタル材料は、普通ポルトランドセメント（比重3.16）を使用し、細骨材には粒径5mm以下の砕砂（吸水率1.75%，粗粒率2.76）および海砂（吸水率1.70%，粗粒率2.40）を使用した。

コンクリート・セメントモルタルの圧縮強度試験で結果の精度に大きな影響を与えるものに端面の平滑度がある。キャッピングの精度はコンクリートの強度に大きな影響を及ぼす。そこで本研究では、このキャッピングという過程を経ずに端面の整形を実現することにした。このため曲げ供試体用型枠でセメントモルタルを打設し、コアボーリングと研磨による端面整形を行うことにした。

供試体は3体で、断面150mm平方、長さ530mmの曲げ供試体枠を用い、中にセメントモルタルを入れ成型する。供試体は脱型後、ただちに $20 \pm 3^\circ\text{C}$ の水中に浸し材齢28日まで養生を行い、その後実験室内にて気中養生した。3体の曲げ供試体の内1体を選び14本の円柱供試体コア（直径50.25mm、高さ130.00mm、両端面の平行度 $\pm 1/100\text{mm}$ 以内）を作成した。供試体の番号付けは、外見上空隙の少ないものから順番に付けた。端面整形はレンズ加工業者に外注し、試験時の材齢をおよそ3ヵ月とした。

3. 実験結果

(1) 供試体重量と無載荷状態での弾性波速度

図-1は、供試体の重量に対する弾性波速度の関係である。図から明らかなように、重量と弾性波速度は正の相関がある。重量が小さいものは内部にクラックや空隙が存在しているために弾性波速度も遅くなる。本研究ではこのことを考慮し、重量が大きく、弾性波伝播速度も速いものからA、B、Cの3グループに分け、各グループの中から3体を抽出した。その結果を図-1に示す。

(2) 一軸圧縮強度の変化

図-2は圧縮強度と弾性波の関係を示している。図中の直線は最小自乗法によって単純に近似したものである。弾性波が速いものほど圧縮強度が大きくなっており、全体として正の相関がある。同様に、図-3に示した重量と圧縮強度の関係で、重量が大きいものほど圧縮強度が大きくなっていることが認められる。

(3) 体積ひずみ

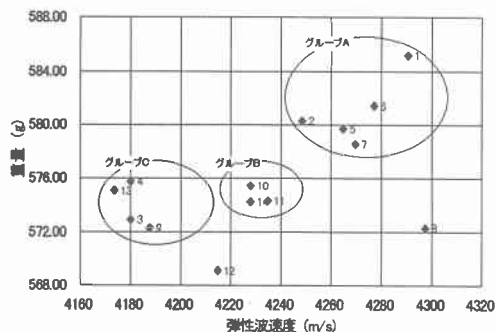


図-1 供試体の重量に対する弾性波速度

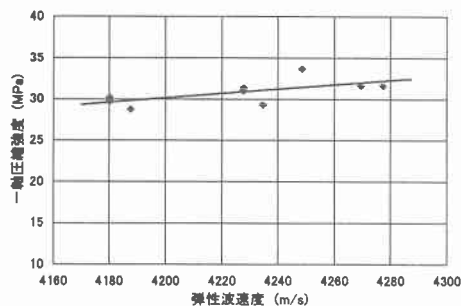


図-2 弾性波速度と一軸圧縮強度

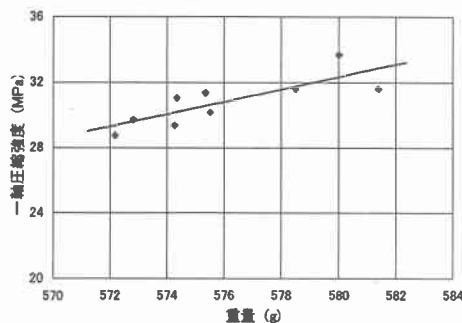


図-3 重量と一軸圧縮強度

体積ひずみの挙動は、ダイラタンシー開始点を見つけるのに有効な手段の一つである。载荷の初期には空隙などの減少に伴って体積ひずみは減少傾向を示すが新しいクラックの発生などに伴って増加に転じることが知られている。体積ひずみの変化を見るため1回微分することによってダイラタンシー開始点を見出すことにした。その結果を図-4に示した。図中の直線は近似曲線であり、破壊に至る5割までのデータを用いて描いた。この近似曲線から離れた値を、ダイラタンシー開始点とした。

(4) AE

図-5にAEの測定結果の一例を示す。空隙が圧縮される際に発生するAEが初期の段階で検出される。弾性変化をしているときにはAEの検出量が比較的少ないがダイラタンシーの発生に伴いAEの検出量が徐々に増大する。その点を両軸対数表示のグラフに表し、ダイラタンシー開始点を求めた。

(5) 弾性波伝播速度

弾性波伝播速度はP波 (V_{xx} , V_{yy}) とS波 (縦方向のクラックに敏感な V_{xy} , 横方向のクラックに敏感な V_{yz}) を圧電素子によって測定した。弾性波速度もひずみやAEと同様に初期においては速度が遅く、弾性変化中で速くなり、ダイラタンシーの発生により速度が遅くなる。このP波の弾性波波形を図-6に示す。図中の直線は弾性波到達時間を示しており、荷重の増加と共に、右にシフトしている。このシフトし始めた点がダイラタンシー開始点であるとした。

6. 考察

コンクリートやセメントモルタルなど内部に空隙を多く含む材料では、载荷による空隙の破壊や現象に伴う体積減少と、クラックの発生に伴う体積増加が同時に進行する。このため単純な体積ひずみの分析からは正確なダイラタンシー開始点が求められない可能性がある。本研究では、体積ひずみの計算に加えて、载荷に伴うAEの発生や増加、弾性波速度の変化を同時に計測し、これらを比較検討することによって正確なダイラタンシー開始点を見出すことを考えた。

供試体No. 6でのダイラタンシー開始点を観察する。まずAEによる判定であるが、図-5に示すAEの波形から、ダイラタンシー開始後はAEが指数関数的に増加すると考えて、破壊荷重の54.8%がダイラタンシー開始点と判断された。

グループAに属する図-6の弾性波 (P波) の初動の弾性波波形を参照して到達時間を計算した。その結果、弾性波によるダイラタンシー開始点は破壊荷重の64.8%と判断された。

最後に、図-4の体積ひずみの傾きから判断されるダイラタンシー開始点は、53.8%となった。ここで、AEと体積ひずみはほぼ同値だが、弾性波についてはやや高い値になっている。

今後、セメントモルタル中を伝搬するクラックの観察などを行い、破壊機構に関する詳細な考察を行う予定である。

参考文献

- 1) Brace, W. F. Volume changes during fracture and frictional sliding: A review, PAGEOPH, Vol. 116, pp.603-614, 1978.
- 2) 佐野修・工藤洋三・古川浩平・中川浩二, 岩石の一軸圧縮強度実験結果のばらつきに関する研究, 土木学会論文集, 第388号, pp.141-150, 1987.

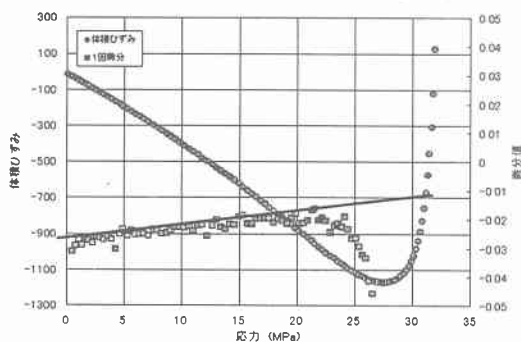


図-4 体積ひずみ-応力関係 (供試体 No. 6)

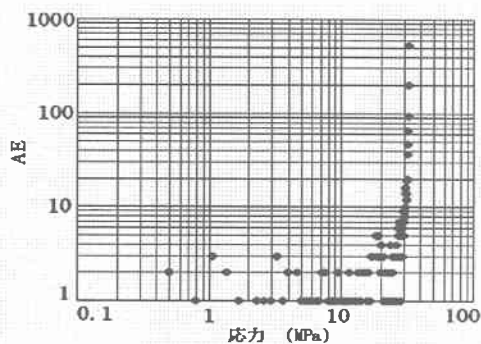


図-5 AE分布図 (供試体 No. 6)

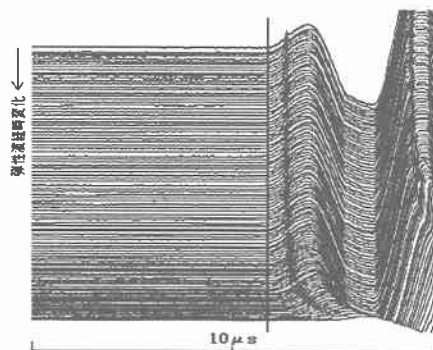


図-6 弾性波波形 (供試体 No. 6)