

(I - 86) 三軸圧縮载荷を受けるコンクリートの動的軟化特性に関する実験的研究

防衛大学校 学生会員 ○上林 勝敏
防衛大学校 正会員 藤掛 一典

防衛大学校 学生会員 津田 和彦
防衛大学校 正会員 大野 友則

1. はじめに

近年、鉄筋コンクリート構造物の終局状態に至る挙動を解析的に明らかにする試みが多数なされている。この際、コンクリートの最大強度以降の軟化領域に対して応力低下が生じない様な挙動を仮定するモデル化手法を解析コードにそのまま適用した場合、解の不安定性の問題や有限要素法に適用した場合の要素サイズの影響等の問題が生じることが明らかになっている。このため、コンクリート材料の軟化挙動も含む非線形挙動を考慮した実用的な構成モデルの開発が強く求められている。しかしながら、多軸応力下のコンクリートの動的軟化挙動に関する研究は実験装置や計測方法の制約からこれまでにほとんどなされていない。そこで本研究では、三軸圧縮応力下におけるコンクリートの動的軟化挙動を把握することを目的とし、コンクリート円柱供試体の圧縮強度、作用側圧ならびに载荷速度をパラメータとする急速三軸圧縮载荷試験を行い、三軸応力下におけるコンクリートの軟化性状に载荷速度が及ぼす影響について定性的・定量的な検討を行っている。さらに、試験で得られた破壊領域内の軸応力-平均軸ひずみ関係に基づきその定式化を行っている。

2. 試験の概要

試験に用いた供試体の寸法は、载荷装置の負荷容量の制約(最大980kN)のため直径で50mm、高さ100mmのコンクリート円柱供試体である。载荷試験では、図-1に示す三軸圧縮装置を使用した。また、急速三軸载荷においては最大強度以降の軟化領域においてコンクリートの破壊が急激に進展する現象が生じる。このため、ポストピーク領域におけるコンクリートの応力-ひずみ関係を計測するためには供試体の表面に貼付されたひずみゲージや変位計以外の方法による必要がある。本研究では、図-2に示すような異形加工を施したアクリル棒にひずみゲージを貼付した(SMR:strain measurement rod)ものを供試体の中央部に配置してひずみの計測を行っている。供試体は耐油性のゴムスリーブで全体を被覆し、内部に側圧用オイルが浸入するのを防止した。用いた供試体のコンクリート強度は、普通強度シリーズ(W/C=70%, 平均一軸圧縮強度30.35 N/mm²)、高強度シリーズ(W/C=55%, 平均一軸圧縮強度47.51 N/mm²)の2種類である。载荷速度(ひずみ速度)は、静的(10⁻⁵ 1/sec)、低速(10⁻² 1/sec)、中速(10⁻¹ 1/sec)、高速(10⁰ 1/sec)の4レベルとした。側圧は0、5N/mm²、10N/mm²の3段階とした。実験は同一ケースに対して3回づつ行った。荷重の载荷はまず所定の側圧まで静水圧载荷を行い、その後側圧を一定に保持したまま軸方向に所定のひずみ速度で加圧している。

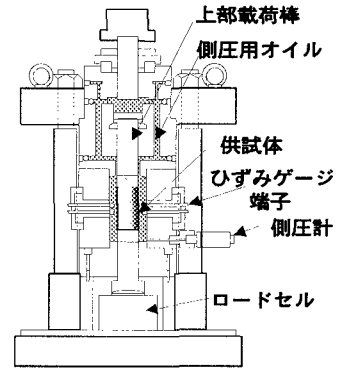


図-1 三軸圧縮装置の概要と供試体設置状況図

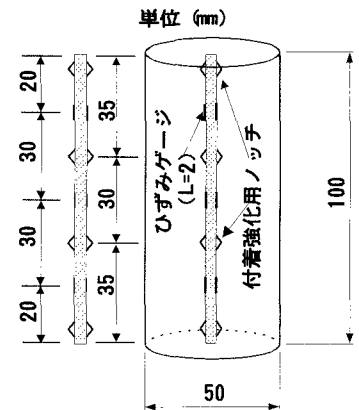


図-2 SMRの概要

キーワード：三軸応力，ひずみ速度，ひずみの局所化，破壊基準

連絡先(神奈川県横須賀市走火1-10-20 TEL 0468-41-3810 (EXT3521) FAX 0468 41 5913)

3. 試験結果と考察

図-3 に、高強度シリーズ（側圧：5N/mm²）における高速載荷時の軸方向応力－軸方向ひずみ関係を示す。ほとんどの試験ケースにおいても、最大圧縮応力までは図-3 に示す挙動と同様であった。しかしながら、最大圧縮応力以降の軟化領域においては、ひずみが増加する領域とひずみが減少する領域が存在することが認められた。このことから、ひずみの局所化はコンクリート強度、側圧および載荷速度によらず最大圧縮応力付近で起こることがわかる。ここで、最大圧縮応力以降ひずみが増加する領域を破壊領域と定義する。

図-4 に、高強度シリーズに対して得られた破壊領域長と側圧の関係を各載荷速度毎に示す。破壊領域の長さは、大部分のデータでほぼ約65mmと一定であった。普通強度シリーズにおいても同様な傾向を示しており、破壊領域長に側圧及び載荷速度が及ぼす影響は無いとみなせる。

三軸応力下のコンクリートの応力－ひずみ関係を定式化する場合、全体変形から計測されたひずみを平均ひずみとして使用することが多い。しかしながら、最大強度以降で除荷の挙動を示す領域のひずみも含んでしまうことになり適切ではない。よって本研究では、最大圧縮応力以降のひずみの局所化によって生じる破壊領域だけに着目して応力－ひずみ関係の定式化を行っている。なお破壊領域長は、約65mmで一定とした。定式化には形式が簡便で取り扱いが容易な Sargin²⁾により提案された式(1)を基本式として使用している。ここで、係数A、Dはそれぞれ上昇域、下降域の応力－ひずみ曲線の形状を表す係数であり、試験結果に基づいて決定している。

$$\sigma = \frac{\left[AX + (D-1)X^2\right] \sigma_p}{1 + (A-2)X + DX^2} \tag{1}$$

図-5 に、高強度シリーズにおける静的載荷および高速載荷に対する応力－ひずみ関係について実験値と式(1)による計算値との比較を示す。図-5 より、側圧および載荷速度によらずに計算値は試験値と良好に一致していることが認められる。

4. 結論

本研究では、急速三軸圧縮試験を行い、三軸圧縮応力・高ひずみ速度下におけるコンクリートの軟化挙動について検討した。試験結果に基づいて、ひずみ速度効果を考慮しかつ軟化領域を含む応力－ひずみ関係の定式化を行った。提案した動的軟化特性の構成式を用いることにより、終局に至るまでのコンクリートの挙動を良好に表現することが可能である。

<参考文献>

1) 藤掛一典：高ひずみ速度下におけるコンクリートの引張・圧縮特性に関する研究，筑波大学博士論文，1999。
2) Sargin,M.:Stress-Strain Relationship for Concrete and the Analysis of Structural Concrete Sections, Solid Mechanics Division, University of Waterloo, Waterloo,Canada,1971.

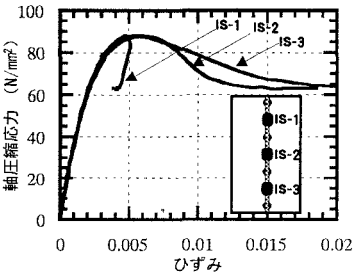


図-3 軸方向応力－ひずみ関係
(高強度：側圧N/mm²)

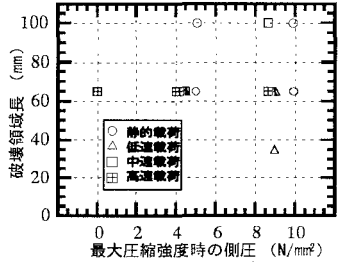


図-4 破壊領域長と側圧の関係
(高強度)

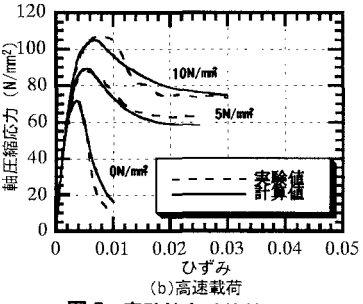
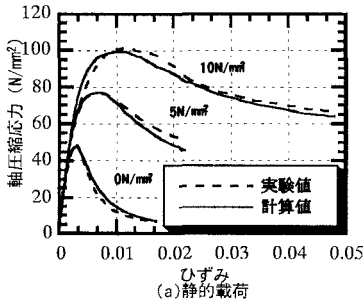


図-5 実験値と計算値との比較
(高強度)