軟化挙動を考慮した三軸圧縮応力下のコンクリートの動的特性

防衛大学校　学生会員　○上林勝敏　　防衛大学校　学生会員　森　孝二
防衛大学校　正 会 員　藤掛一典　　防衛大学校　正 会 員　大野友則

1.　はじめに

鉄筋コンクリート構造物中のコンクリートは，複雑な荷重の作用や鉄筋等の拘束によって多軸応力状態にあると考えられる．また，衝撃力のような載荷速度が大きい荷重の作用を受けると材料の強度･変形特性はひずみ速度の影響を受けることが知られている.したがって，衝撃荷重を受ける鉄筋コンクリート構造物の耐衝撃性・安全性を解析的手法を用いて検討するには，高ひずみ速度・三軸圧縮応力下におけるコンクリートの軟化挙動を把握することが重要である.本研究は,コンクリート円柱供試体の圧縮強度，作用側圧ならびに載荷速度をパラメータとする急速三軸圧縮載荷実験を行い，これらのパラメータがコンクリートの多軸応力下における動的軟化挙動におよぼす影響について検討する.

2.　実験概要

実験は, 図－1 に示すサーボ制御式急速載荷装置に三軸圧縮載荷装置を組み込んで急速三軸圧縮載荷を行っている.コンクリートの軟化挙動を計測するため, 軸方向ひずみの計測には図－2 に示す異形加工したアクリル棒にひずみゲージを貼付した治具(SMR: Strain Measuring Rod)を円柱供試体の中央に埋め込む方法を用いた.実験に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 30.4 N/mm²), 中強度シリーズ（W/C=55%, 平均一軸圧縮強度 47.5 N/mm²）の二種類とした．作用側圧は 0,4.9,9.8(N/mm²)の 3 種類を設定している. また, 載荷速度(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（10^{0} 1/sec）の４レベルとした.実験は同一ケースに対して 3 回ずつ行っている.

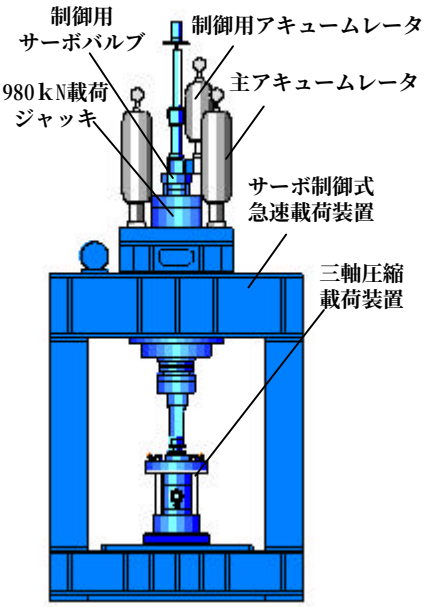


図-1 急速三軸圧縮載荷装置の概要

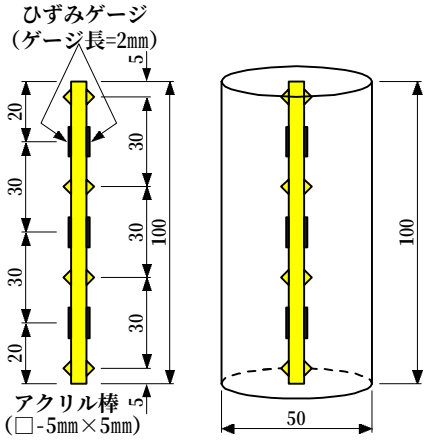


図-2 SMRの概要

3.　実験結果および考察

(1)静的三軸圧縮応力下におけるコンクリートの挙動

静的な三軸圧縮応力下でのコンクリートの応力－ひずみ関係は図－３に示すように，最大圧縮応力までの応力の上昇域，軟化挙動を示す応力の下降域そして，ひずみ軟化領域を経てある一定の値に収束する応力の収束域の３つに区分できる.ただし，応力の収束域については，この段階になると，鉄筋コンクリート部材中では帯鉄筋の破断や主鉄筋の座屈等の大きな損傷が生じているので，耐震設計では考慮すべき範囲ではないとの考えからほとんど検討されていない．またひずみ速度が応力の収束域に及ぼす影響はほとんど未解明である．ここでは，収束域の応力を残留強度と定義し各実験パラメータが残留強度に及ぼす影響を検討する.

(2) 急速三軸圧縮応力下における残留強度基準

普通強度ならびに高強度コンクリートシリーズに対して急速三軸圧縮載荷実験で得られた残留強度(σ_R)とその時の側圧(σ_L)を，静的な一軸圧縮強度(f_c')で除した無次元化応力(σ_R / f_c', σ_L / f_c')を用いて表

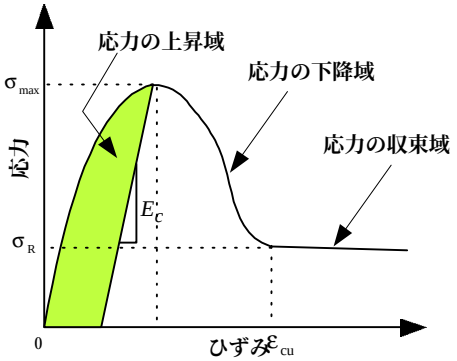


図-3 三軸圧縮応力下のコンクリートの応力-ひずみ関係の区分

キーワード：三軸圧縮応力，残留強度基準，ひずみ速度，動的軟化特性
連絡先　〒239-8686 横須賀市走水 1-10-20 防衛大学校 システム工学群　建設環境工学科 TEL 0468(41)3811/FAX 0468(44)5913

したところ，コンクリート強度および載荷速度の相違が残留強度とその時の側圧の関係に及ぼす顕著な影響は認められず，残留強度は側圧の増加に比例して直線的に増加することが認められた.そこで，本実験結果で得られた無次元化残留強度と無次元化側圧の関係に対して回帰式(1)を求めた.

$$\frac{\sigma_R}{f_c'} = 5.2\frac{\sigma_L}{f_c'} \qquad (1)$$

（3）ポストピークの軸方向圧縮応力-ひずみ関係にひずみ速度が及ぼす影響

三軸圧縮応力下のコンクリートのポストピークの軸方向圧縮応力-ひずみ関係にひずみ速度が及ぼす影響を限られた実験結果からだけで把握することは困難である.著者らは残留強度基準を用いて表－１に示す軸方向圧縮応力－ひずみモデルを提案した[1]. 図－4 に高強度コンクリートシリーズの高速載荷に対する実験値と提案モデルとの対応性を示す．図より提案モデルは実験値に良く一致しているといえる．そこで，提案モデルを用いて側圧一定条件下における各載荷速度に対する軸方向圧縮応力-ひずみ関係を，高強度コンクリートシリーズに対して計算した.計算結果を図－5 に示す.この図から，最大圧縮応力はひずみ速度の増加とともに増大するが，最大圧縮応力時のひずみは減少することがわかる.また，急速一軸圧縮載荷[2]と同様に急速三軸圧縮載荷においてもポストピークの軟化勾配はひずみ速度が大きくなるほど急になる傾向がある.

4　結論

本研究では，三軸応力下におけるコンクリート動的軟化挙動を明らかにすることを試みた.その結果，本実験の範囲内で次の事項が明らかになった.

(1)載荷速度の相違が，残留強度とその時の側圧の関係に及ぼす顕著な影響は認められない.実験結果から残留強度は側圧の増加に比例して直線的に増加することが明らかとなり残留強度基準を定式化した.

(2)本実験結果に基づいて定式化した提案モデルを用いて，三軸圧縮応力下のコンクリートのポストピークの軸方向圧縮応力－ひずみ関係はひずみ速度が大きくなるほどポストピークの挙動は脆性化する傾向にあると言える.

参考文献：1)上林勝敏，津田和彦，藤掛一典，大野友則：三軸圧縮載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，第 27 回関東支部技術研究発表会　講演概要集，pp.168－169，2000.3.

2)藤掛一典，篠崎敬一，大野友則，水野　淳，鈴木　篤：急速一軸圧縮載荷を受けるコンクリートのポストピーク挙動に関する実験的研究，土木学会論文集，No.627/V-44,pp.37-54,1998.8.

表-1 軸方向圧縮応力-ひずみモデル

$$\sigma = \frac{AX+(D-1)X^2}{1+(A-2)X+DX^2}\sigma_p,\quad A = \frac{E_{od}}{\sigma_p}\varepsilon_p$$

σ_p：最大圧縮応力，ε_p：σ_p 時のひずみ

E_{od}:動的な初期弾性係数

上昇域	下降域
$D = \dfrac{(A-1)^2}{1-0.45f_{cd}'/\sigma_P}$	$D = \dfrac{\sigma_P}{\sigma_P - \sigma_R}$
$X = \dfrac{\varepsilon}{\varepsilon_P}$	$X = \left(\dfrac{\varepsilon}{\varepsilon_P}\right)^m$
	$m = 1.04 + 2.0\left(\dfrac{f_{cd}'}{100}\right)^2$

f_{cd}':動的一軸圧縮強度

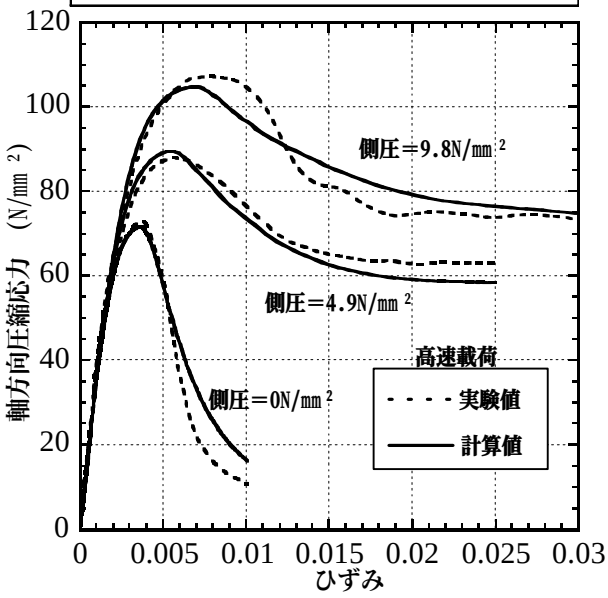
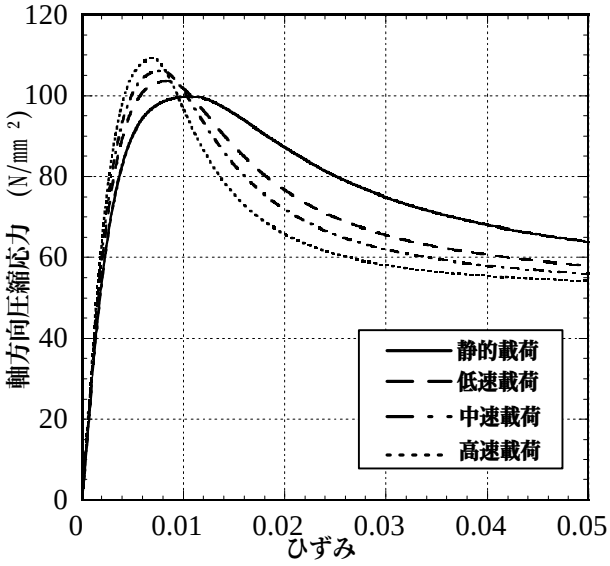


図-4 実験値と提案モデルの比較
(高強度コンクリート)



側 圧=9.8(N/mm²)

図-5 側圧一定条件下における提案モデルによる応力－ひずみ関係（高強度コンクリート）