

(V-38) 高ひずみ速度・三軸応力下におけるコンクリートの動的破壊基準の定式化

防衛大学校 学生員 ○ 森 孝二 防衛大学校 学生員 上林 勝敏
防衛大学校 正 員 藤掛 一典 防衛大学校 正 員 大野 友則

1 はじめに

衝撃荷重を受けるコンクリート構造物が終局状態に至るまでの破壊挙動を解析的に検討するために、三軸応力下におけるコンクリートの動力学特性を試験によって把握し、その結果に基づき適切な構成モデルを開発することが望まれている。三軸応力下におけるコンクリートの動力学特性に関する研究は試験による場合、特殊な試験装置を必要とし、かつ試験自体が困難であることからあまり行われていないのが現状である。そこで本研究では、三軸応力下におけるコンクリートの力学特性に載荷速度が及ぼす影響を調べ、動的破壊基準の定式化を行った。

2 試験概要

本研究では、コンクリート供試体の圧縮強度、供試体の側面に作用させる側圧の大きさ、および載荷速度の3つをパラメータとした急速三軸圧縮載荷試験を行っている。試験には、圧縮強度(f'_c)が37.4, 46.2, 85.6 (N/mm²)である3種類のコンクリートを用いている。ここでは、これらのコンクリートを普通強度、中強度、高強度とそれぞれ呼ぶことにする。側圧は、各強度のコンクリートに対して0~100(N/mm²)までの6種類を設定している。載荷速度は、静的[$\dot{\epsilon}_s = 1.2 \times 10^{-5}$ (1/sec)], 低速[$\dot{\epsilon} = 3.0 \times 10^{-2}$ (1/sec)], 中速[$\dot{\epsilon} = 3.0 \times 10^{-1}$ (1/sec)], 高速[$\dot{\epsilon} = 2.0 \times 10^0$ (1/sec)]の4種類である。なお、[]内の値は載荷速度に対応するひずみ速度である。試験には直径50mm、高さ100mmの円柱供試体を用いた。試験は、図-1に示す新たに開発した三軸圧縮セルを既存の急速載荷装置に組み込んで急速三軸圧縮載荷を行っている。載荷は、まず所定の側圧まで静水圧載荷し、その後側圧を一定に保持した状態で速やかに急速載荷装置によって各設定ひずみ速度で軸方向載荷を行っている。供試体に作用する軸方向力および側圧は、図-1に示すロードセル・高圧用圧力変換器を用いて計測している。供試体のひずみは、供試体の表面に貼付したひずみゲージ(ゲージ長30mm)によって軸方向および円周方向のそれぞれ2ヶ所で測定している。

3 動的破壊基準の定式化

静的三軸圧縮試験で得られた最大圧縮応力点での応力状態(σ_1 :最大軸方向圧縮応力, $\sigma_2 = \sigma_3$:側圧)を静的一軸圧縮強度(f'_c)で割ってRendulic面で表示したものを、図-2に示す。この図から、圧縮強度が異なるコンクリートの場合でも一軸圧縮強度で割って無次元化することでほぼ一本の破壊曲線で評価することができる。本試験結果に対して次式で与えられるLeonモデル¹⁾を用いて破壊基準の定式化を行う。

$$f(\sigma_1, \sigma_3) = \left(\frac{\sigma_3 - \sigma_1}{f'_c} \right)^2 + \left(\frac{1-h^2}{h} \right) \left(\frac{\sigma_3}{f'_c} \right) - 1 = 0 \quad (1)$$

ここで、 h は静的一軸引張強度(f'_t)と静的一軸圧縮強度(f'_c)の比($h = f'_t / f'_c$)であり、 $h=0.08$ で本試験結果によく適合する。この関係を図-2に示す。

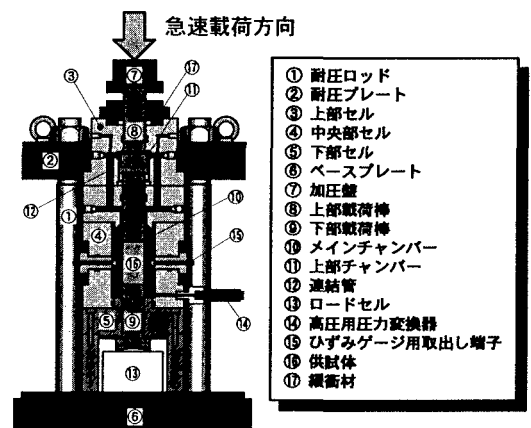


図-1 三軸圧縮セルの概要

キーワード：急速三軸圧縮載荷、ひずみ速度効果、動的破壊基準

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

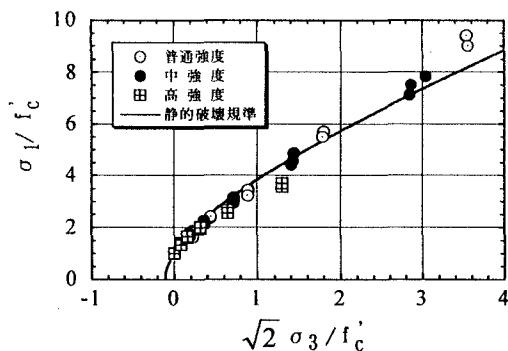


図-2 静的载荷に対する試験結果と破壊基準

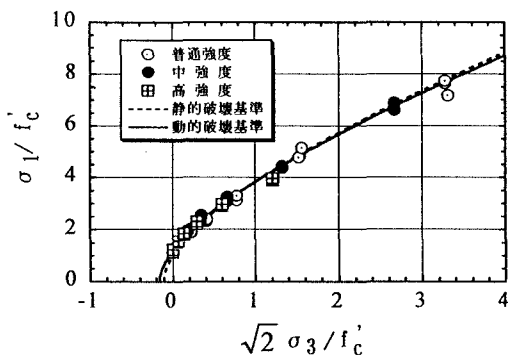


図-3 低速载荷に対する試験結果と破壊基準

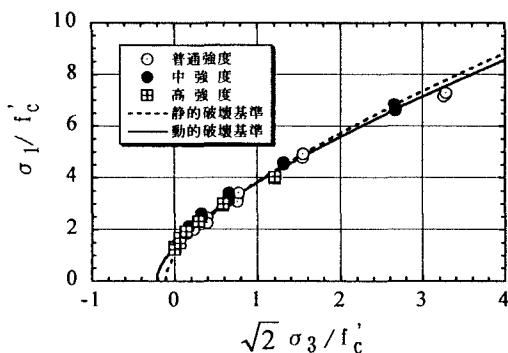


図-4 中速载荷に対する試験結果と破壊基準

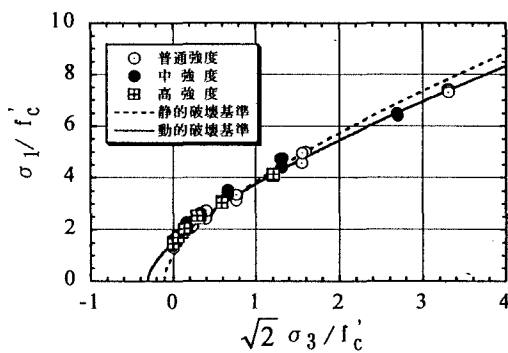


図-5 高速载荷に対する試験結果と破壊基準

急速三軸圧縮载荷試験において、各载荷速度で得られた最大圧縮応力点での応力状態を静的一軸圧縮強度で割った無次元化主応力空間内の Rendulic 面上にプロットしたものを、図-3～図-5 に示す。それぞれの図中には、式(1)で与えられる静的载荷における破壊基準を破線で表示している。これらの図から、多軸応力下で急速载荷を行った場合、最大圧縮応力は载荷速度およびそのときの応力状態に依存し、静的载荷時の最大圧縮応力と比較して大小異なる状態が存在することが分かる。本試験結果に対して、静的破壊基準の一つである Leon モデルを準用し、これに任意のひずみ速度に対応する動的一軸圧縮強度および動的一軸引張強度を必ず通るという条件を加えて動的破壊基準に拡張する。

$$F(\sigma_1, \sigma_3, \dot{\epsilon}) = \left(\frac{\sigma_3 - \sigma_1}{f'_c} \right)^2 + \left[\left\{ 1 - h^2 \left(\frac{\eta}{\xi} \right)^2 \right\} / \left\{ h \left(\frac{\eta}{\xi} \right) \right\} \right] \xi \left(\frac{\sigma_3}{f'_c} \right) - \xi^2 = 0 \quad (2)$$

ここで、 ξ 、 η はひずみ速度と一軸圧縮強度の増加率²⁾ および一軸引張強度の増加率³⁾ との関係を表す。式(2)で与えられる動的破壊基準による結果を、図-3～図-5 中に太い実践で示す。式(2)で与えられる破壊規準は、いずれの载荷速度に対しても試験結果とよく適合している。

4 結 論

Leon モデルを準用し、任意のひずみ速度に対応する動的一軸圧縮強度および動的一軸引張強度を必ず通るという条件を加えることで、三軸応力下におけるコンクリートの動的破壊基準を定式化した。

〈参考文献〉

- 1) Pramono, et al.: J. of Eng. Mech., Vol.115, No.6, pp.1183-1204, June, 1989.
- 2) 藤掛一典, 篠崎敬一, 大野友則, 水野淳, 鈴木篤: 急速一軸圧縮载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, 37-54, 1999.8.
- 3) Ross, et al.: ACI Mat. J., V.86, No.5, pp.475-481, Sept.-Oct., 1989.