

相対含水率が三軸圧縮応力下のコンクリートの動的破壊基準に及ぼす影響

防衛大学校 学生員 山口 貴之 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

衝撃荷重を受ける鉄筋コンクリート構造物の安全性を調べ、耐衝撃設計法を確立するためには、その構成材料であるコンクリートの動的力学特性を把握することが重要である。著者らは、既往の研究において、コンクリートの相対含水率および荷重速度をパラメータとする急速割裂荷重試験ならびに急速一軸圧縮荷重試験を行い、水分が動的引張および一軸圧縮強度に及ぼす影響について定量的な評価を行った。しかしながら、実構造物は、種々の荷重の作用や鉄筋等の拘束によって複雑な多軸応力状態にあると考えられることから、多軸応力下におけるコンクリートの動的力学特性に水分が及ぼす影響について調べる必要があると考える。

そこで本研究では、相対含水率、側圧および荷重速度をパラメータとする急速三軸圧縮荷重試験を行い、相対含水率の影響を考慮した動的破壊基準を定式化することを目的としている。

2. 急速三軸圧縮荷重試験の概要

コンクリート円柱供試体の水セメント比は65%、寸法は直径50mm、高さ100mmである。

試験パラメータを表-1に示す。相対含水率は0%、50%、100%の3種類とした。既往の研究¹⁾と同様に、相対含水率は水中養生

した供試体を 105 ± 3 の乾燥炉に入れ、完全乾燥させることにより失われる脱水重量を求め、任意の乾燥時間における相対的な水分量の割合を相対含水率として評価している。荷重速度は、静的、低速、中速、高速の4種類であり、各数値は各荷重速度に対応して得られた本試験におけるひずみ速度(1/sec)の平均値である。また設定側圧は、レベル0からレベル3の4種類であり、レベル0は、単純一軸圧縮荷重試験を意味する。試験は最大荷重力980kN、最大荷重速度4m/secの能力を有するサーボ制御式急速荷重装置に三軸圧縮荷重装置を組み込んで行った。ロードセルで軸方向荷重を、高圧用圧力変換器で側圧を、レーザー式非接触変位計で軸方向変形量をそれぞれ計測している。

表-1 試験パラメータ

相対含水率(%)	0		50		100	
荷重速度 (1/sec)	静的	低速	中速	高速		
	1.2×10^{-5}	3.7×10^{-2}	3.2×10^{-1}	1.2×10^0		
設定側圧 (N/mm ²)	レベル0	レベル1	レベル2	レベル3		
	0	5	25	45 or 60		

3. 試験結果および考察

(1) 相対含水率の影響を考慮した静的三軸圧縮応力下の破壊基準

静的試験で得られた最大圧縮応力点での応力状態を、相対含水率0%の静的一軸圧縮強度 $f'_{c0} = 34.2 \text{ N/mm}^2$ で割って無次元化した結果を図-1に示す。これより、側圧が大きくなるほど最大圧縮応力が大きくなること、同じレベルの側圧下においては相対含水率が大きくなるほど最大圧縮応力が低下することが分かる。

ここで、図-2に示すように水分を保有するコンクリートを、固体相(骨格部分)と液体相(水分や空気等の流体部分)からなる2相体に分割してモデル化する。また、全応力 s に対して固体相には有効応力 s' 、間隙相には間隙圧 s_w がそれぞれ作用すると考える。

さらに水分を有するコンクリートの破壊基準は、有効応力による骨格部分の破壊基準で決定されたと考え、また骨格部分の破壊基準は相対含水率0%の破壊基準で表されると仮定する。このように考えると、任意の

キーワード：相対含水率、有効応力、間隙圧、三軸圧縮応力、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(EXT 3521) FAX 0468-41-5913)

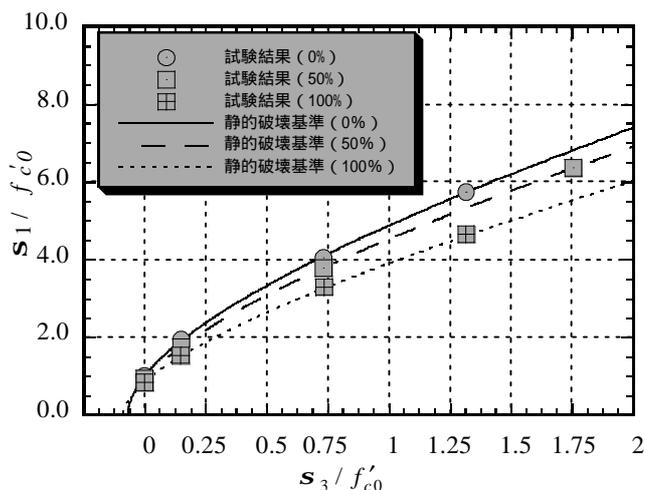


図-1 静的三軸試験結果と破壊基準

相対含水率における破壊基準は Leon モデルを有効応力表示することによって，次式で与えられる．

$$f(s_1, s_3, s_w) = \left(\frac{s_1 - s_3}{f'_{c0}} \right)^2 - m \left(\frac{s_3 - s_w}{f'_{c0}} \right) - 1 = 0 \quad (1)$$

(1)式中で， $m = (1 - h^2)/h$ ， $h = f_t / f'_c$ である．なお，間隙圧の影響を考慮しない相対含水率 0%は， $h = 0.071$ で試験結果と一致した．次に相対含水率 50%，100%の試験結果を(1)式に代入し，相対含水率 w をパラメータとして間隙圧と側圧の関係を求めたところ，次式を得た．

$$\frac{s_w}{f_{c0}} = (2.0 \times 10^{-5} w + 2.5 \times 10^{-3}) w \left(\frac{s_3}{f_{c0}} \right) + 2.0 \times 10^{-4} w \quad (2)$$

(1)，(2)式から求まる関係を図-1 中に相対含水率毎に示す．本提案式は，試験結果と良い一致を示している．

(2)含水率の影響を考慮した動的三軸圧縮応力下の破壊基準

相対含水率 0%および 100%の供試体に対する急速荷試験で得られた最大圧縮応力点での応力状態を， f'_{c0} で割って無次元化した関係を図-3，4 に示す．これより，相対含水率 0%では側圧および荷速度が大きくなるほど最大圧縮強度は大きくなる傾向が認められる．一方，相対含水率 100%では荷速度およびその時の応力状態に依存して，静的荷時における最大圧縮応力と比較して大小異なる状態が存在している．ここで，静的破壊基準と同様に 2 相体を考えた動的破壊基準について検討する．定式化は(1)式を準用して，骨格部分に相当する相対含水率 0%における動的圧縮強度点および動的引張強度点を必ず通る，間隙圧は，ひずみ速度の影響を受け動的間隙圧 s_{wd} が作用すると考えたところ，次式を得た．

$$F(s_1, s_3, s_{wd}, \dot{\epsilon}) = \left(\frac{s_1 - s_3}{f_{c0}} \right)^2 - \left[\frac{1 - h^2 \left(\frac{h_0}{x_0} \right)^2}{h \left(\frac{h_0}{x_0} \right)} \right] x_0 \left(\frac{s_3 - s_{wd}}{f_{c0}} \right) - x_0^2 = 0 \quad (3)$$

(3)式中の $h_0(\dot{\epsilon})$ ， $x_0(\dot{\epsilon})$ は，相対含水率 0%の動的引張および一軸圧縮強度の増加率とひずみ速度の関係を表したものであり，既往の研究¹⁾で定式化した式をそれぞれ用いている．さらに，試験結果を(3)式に代入し，相対含水率およびひずみ速度をパラメータとして動的間隙圧と側圧の関係を求めたところ，次式を得た．

$$\frac{s_{wd}}{f_{c0}} = \left((2.0 \times 10^{-5} w + 2.5 \times 10^{-3}) w \left(\frac{\dot{\epsilon}_d}{\dot{\epsilon}_s} \right)^{2.0 \times 10^{-2} - 1.46 \times 10^{-4} w} \log \left(\frac{\dot{\epsilon}_d}{\dot{\epsilon}_s} \right) \right) \left(\frac{s_3}{f_{c0}} \right) + (2.0 \times 10^{-4} - 4.0^{-4} \dot{\epsilon}) w \quad (4)$$

(3)，(4)式から求まる関係を図-3，4 中に荷速度毎に示す．動的間隙圧を考慮することで良い対応を示した．

5. 結論

三軸応力下におけるコンクリート中の水分は，最大圧縮応力に大きな影響を及ぼすものであり，水分の影響を考慮した静的・動的破壊基準は骨格部分に作用する有効応力に基づく破壊基準で表すことができる．

[参考文献]1) 森孝二，上林勝敏，藤掛一典，大野友則，佐藤紘志：高ひずみ速度下におけるコンクリートの圧縮および引張強度特性に及ぼす含水率の影響，構造工学論文集，Vol.47A, pp 1673-1682.2001.3.

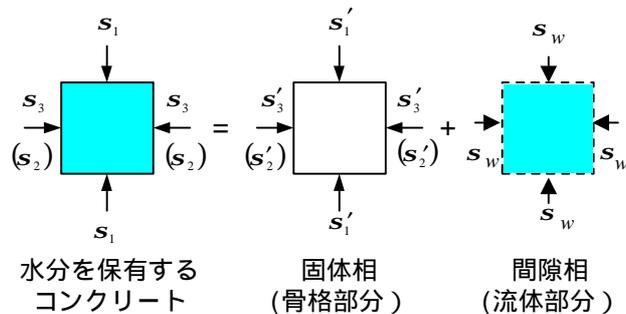


図-2 固体相と間隙相に分割した模式図

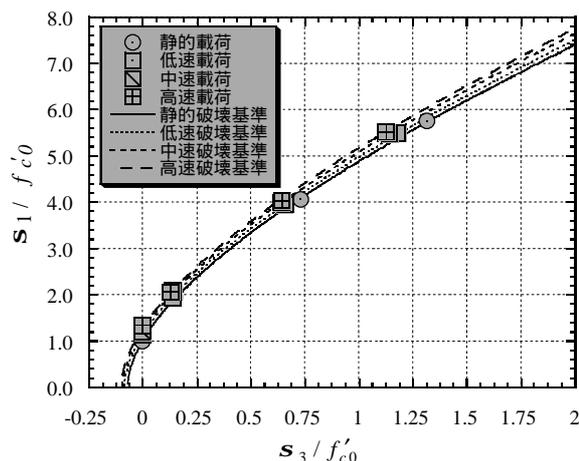


図-3 相対含水率0%の試験結果と破壊基準

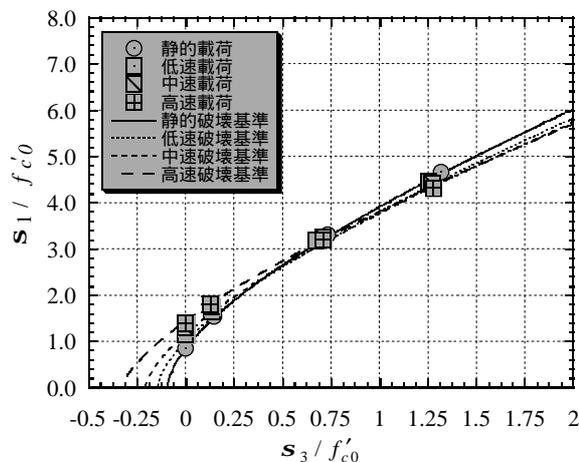


図-4 相対含水率100%の試験結果と破壊基準