

I-227

高速載荷に対する高強度コンクリートの動的応力～ひずみ関係

防衛大学校 学生員 山田俊二 正会員 高橋芳彦
 " 正会員 大野友則 正会員 内田 孝

1 はじめに : 本研究は、静的圧縮強度が約1000kgf/cm²の高強度コンクリートおよび比較のための普通強度コンクリート(圧縮強度: 約300kgf/cm²)に対して、高速一軸圧縮実験を行い、載荷速度(ひずみ速度)が圧縮強度等に及ぼす影響を調べたものである。また、本実験で得られた結果と普通強度コンクリートの動力学特性に関する既往の研究結果を比較検討し、普通強度から高強度に至る広範囲の強度分布にあるコンクリートの一軸圧縮特性についての定式化を試みている。

表-1 示 方 配 合

供試体の種類	W / C (%)	S / a (%)	単 位 量 (kgf/m ³)			
			水	セメント	細骨材	粗骨材
高強度	25.0	39.0	150	600	647	1012
普通強度	45.0	44.0	153	340	801	1041

2 実験概要 : 供試体の配合設計は、表-1に示す2種類とした。載荷速度は静的、低速(0.04m/sec) および高速(4m/sec) の3種類である。供試体の寸法は、載荷装置の荷重容量制限(50tf) から高強度コンクリートについてはφ50×100mm、普通強度コンクリートはφ100×200mmの円柱とした。計測は荷重、ひずみおよび加速度であり、それぞれロードセル、検長30mmのひずみゲージおよびアンプ内蔵式のピエゾ型加速度計により計測した。なお加速度の測定結果より、ロードセルで検出される荷重値は載荷治具の慣性力の影響をほとんど受けないことを確認した。

3 動的応力～ひずみ関係の数学的表示法 : 実験で得られた応力～縦ひずみ関係の一例を、図-1に示す。高速載荷時の最大応力(圧縮強度)、最大応力時のひずみおよび弾性係数は、コンクリート強度にかかわらず静的載荷時の値に比べて増大することがわかる。次に、本実験結果と代表的な2つの応力～ひずみ関係表示式を用いて算定した結果の比較を、図-2に示す。普通強度コンクリートの場合は、パラボラ式(式(1))による応力～ひずみ関係が静的および高速載荷のいずれに対しても実験結果を良好にシュミレートしていることが認められる。これに対し、Popovics式(式(2))は静的載荷に対して実験値と良く一致するが、高速載荷に対しては弾性係数を小さめに評価している。一方、高強度コンクリートの場合は、Popovics式が静的および高速載荷とも実験結果に比較的良く一致している。逆に、パラボラ式はいずれに対しても同一ひずみに対して応力を実験値より大きく評価する。以上より、載荷速度の大きい荷重を対象とする動的構造解析を行う場合に、高強度コンクリートを含む広範囲の強度域の応力～ひずみ関係の数学的表示法として、パラボラ式よりPopovics式の方が有用であると考えられる。

$$\sigma = f_c' \cdot \{2(\epsilon / \epsilon_{c0}) - (\epsilon / \epsilon_{c0})^2\} \cdots (1)$$

$$\sigma = f_c' \cdot (\epsilon / \epsilon_{c0}) \cdot n / \{(n-1) + (\epsilon / \epsilon_{c0})\}^n$$

$$\text{ただし、} n = (0.57 \times 10^{-2} \times f_c') + 1 \cdots (2)$$

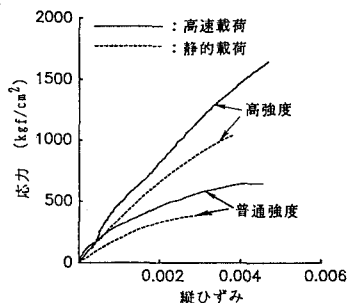
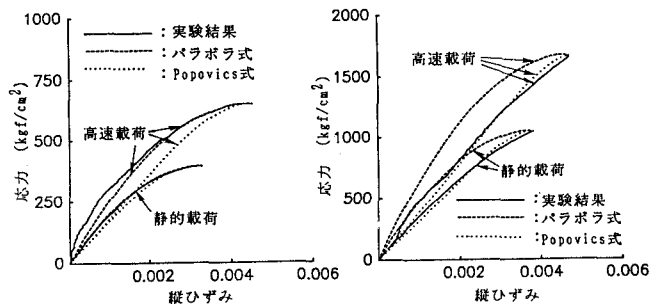


図-1 応力～ひずみ関係に及ぼすひずみ速度および圧縮強度の影響



(a) 普通強度コンクリート (b) 高強度コンクリート
 図-2 応力～ひずみ関係の数学的表示法の比較

4 圧縮強度に及ぼすひずみ速度効果の定式化 : 図-3に、コンクリートの圧縮強度～ひずみ速度関係に関する本実験結果と既往の研究結果の比較を示す。図から、ひずみ速度の増大にともなう普通強度コンクリートの圧縮強

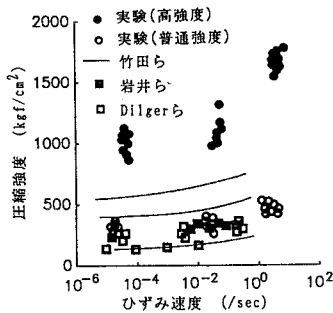


図-3 圧縮強度～ひずみ速度関係

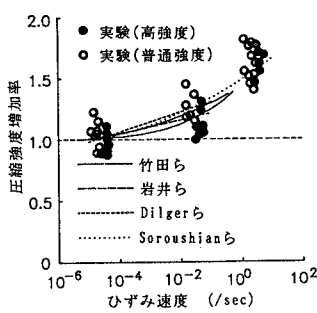


図-4 圧縮強度増加率～ひずみ速度関係

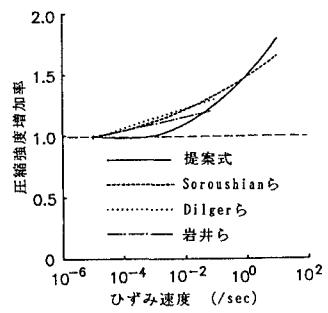


図-5 圧縮強度増加率～ひずみ速度関係の実験式の比較

度の増加傾向はいずれの実験結果も類似している。一方、高強度コンクリートについては比較のためのデータがないが、普通強度コンクリートと同様の傾向を示すことが認められる。また高速域における強度の増加割合は普通強度コンクリートに対する値よりも大きい。図-4は図-3に示した結果に基づいて求めた静的圧縮強度に対する圧縮強度増加率とひずみ速度の関係を示している。本実験で得られた結果をみると圧縮強度増加率に対するコンクリート強度の影響は認められず、竹田らやSoroushianらの結果と類似した傾向を示した。そこで、実験結果のすべてに対してSorou-shianらと同様に、ひずみ速度の対数値を変数とする2次式を仮定して最小2乗法を用いて定式化すると、式(3)が得られる。
$$\frac{d f_c}{d \log \epsilon} / f_c = 1.49 + 0.268 \cdot (\log \epsilon) + 0.035 \cdot (\log \epsilon)^2 \cdots (3)$$
図-5に、これらの実験式による結果の比較を示す。図より、式(3)で表される提案式はひずみ速度が小さい範囲($10^{-3}/\text{sec}$ 以下)において、他の提案式よりひずみ速度効果による圧縮強度の増加率を小さく評価するが、ひずみ速度が大きくなると他式の傾向とよく一致している。したがって、式(3)は高強度コンクリートを包含する広範囲の強度分布にあるコンクリートの圧縮強度増加率～ひずみ速度関係の実験式として有用であると考えられる。

5 最大応力時のひずみに及ぼすひずみ速度効果の定式化： 最大応力時のひずみ～ひずみ速度関係を、図

-6に示す。本研究において高強度コンクリートの最大応力時のひずみは、いずれの荷重速度に対しても普通強度コンクリートより大きな値を示している。また、コンクリート強度の大小にかかわらず、ひずみ速度の増大にともない最大応力時のひずみはほぼ線形的に増加している。図-6に示した結果に基づいて最大応力時のひずみ変化率とひずみ速度の関係を求めると図-7のようになる。本実験結果ではコンクリート強度による顕著な相違はなく最大応力時のひずみはひずみ速度の増大にともないほぼ線形的に増加することが認められた。また、この結果は既往の研究結果に類似するものである。そこで、この関係を最小2乗法を用いて定式化すると式(4)が得られる。
$$\frac{d \epsilon_{c0}}{d \log \epsilon} / \epsilon_{c0} = 1.24 + 0.0053 \cdot (\log \epsilon) \cdots (4)$$
本実験結果および既往の実験データの比較から、高強度コンクリートを含めて動的荷重に対する最大応力時のひずみを推定する際、式(4)は有用であると考ええる。

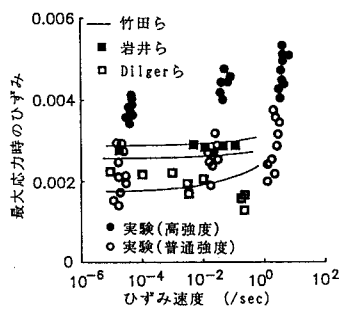


図-6 最大応力時のひずみ～ひずみ速度関係

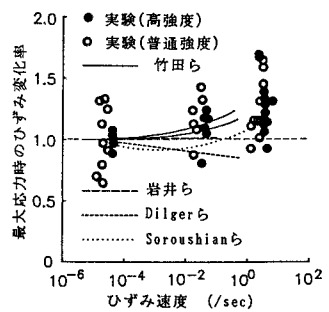


図-7 最大応力時のひずみ変化率～ひずみ速度関係

1)Hognesad,E.: A Study of Combined Bending and Axial Load in reinforced Concrete Members ,Bulletin.No.399,Univ.of Illinois,Engineering Experiment Station,Urbana,p.128,Nov.1951 2)Popovics,S.:Factors affecting the Elastic Deformations of Concrete,Proc.of the International Conference on Mechanical Behavior of Materials,Vol.IV,Kyoto,pp.172-183,Aug.1971 3)竹田仁一、立川博之：高速圧縮荷重をうけるコンクリートの力学的諸性質とその基本的関係式(構造物および構造材料の高速荷重に対する力学的性質の研究 その4),日本建築学会論文報告集、第78号、pp.1-6,昭和37年10月 岩井哲、吉田望、中村武、若林實：構造部材の挙動に及ぼす荷重速度の影響に関する実験的研究(その1)コンクリートの鋼材の応力-歪関係に及ぼす歪速度の影響),日本建築学会論文報告集、第314号、pp.102-111,昭和57年4月 5)Dilger,W.H,Koch,R.and Kowalczyk,R.:Ductility of Plain and Confined Concrete Under Different Strain Rates,ACI Journal.,Vol.81,No.1,pp.73-81,Jan-Feb.1984 6)Soroushian,P,Choi,K.and Alhamad,A.:Dynamic Constitutive Behavior of Concrete,ACI Journal,Vol.83,pp251-259,March-April ,1986