

I-228

高速载荷を受ける鋼材の動的応力～ひずみ関係モデル

防衛大学校 学生員 首藤誠志 学生員 松本憲幸
正員 高橋芳彦 正員 大野友則

1. はじめに

RC部材などの耐衝撃性を定量的に評価するためには、これらの部材を構成する鉄筋などの鋼材やコンクリート材料の動力学特性を明らかにしなければならない。鋼材については、降伏点などの強度特性のほかに、ひずみ硬化域の特性や破断ひずみなどに関するひずみ速度($\dot{\epsilon}$)の影響を明らかにする必要がある。

そこで本研究は、鋼板(1種類)および鉄筋(3種類)を対象として、载荷速度を3種類に変化させた引張実験を行い、鋼材の動力学特性について調べたものである。とくに、降伏点などの大きさに及ぼすひずみ速度効果を定量的に評価し、それらの結果に基づいて最も簡単な鋼材の動的 $\sigma \sim \epsilon$ 関係モデルを提案した。

2. 実験概要

実験は、鋼板(SS41)および鋼種が異なる鉄筋(SR24, SD30, SD35)の合計4種類の鋼材を用いて行った。载荷は、高速载荷($\dot{\epsilon}$:約2/sec)、低速载荷($\dot{\epsilon}$:約0.05/sec)および静的载荷($\dot{\epsilon}$:約 10^{-5} /sec)の3種類の载荷速度とした。ひずみの計測は、鉄筋に貼付したワイヤストレインゲージと渦電流式非接触変位計を用いた。

3. 実験結果

(1) $\sigma \sim \epsilon$ 関係 図-1に、高速および静的载荷に対するひずみ量0.01までの $\sigma \sim \epsilon$ 関係の一例(SD30の場合)を示す。図から明らかなように、既往の研究結果と同様にヤング係数に対するひずみ速度の影響は極めて小さい。また、ひずみ速度が増大するにつれて降伏点の増大が顕著となる。図-2に、破断に至るまでの鋼材の $\sigma \sim \epsilon$ 関係を示す。図中に示したひずみは、非接触変位計で得られた試験片の伸び量から求めたものである。図から明らかなように、ひずみ硬化領域における形状は、いずれも静的载荷とほぼ等しいひずみ硬化特性を示している。つまり、静的载荷を受ける場合の上降伏点、下降伏点、引張強度および破断ひずみ

(または、引張強度時のひずみ)にひずみ速度の影響を単純に考慮することによって、载荷速度の変化にともなう鋼材の $\sigma \sim \epsilon$ 関係のモデルを構成することができる。

(2) 降伏点などに及ぼすひずみ速度効果の定量的評価

動的载荷に対するそれぞれの試験片の上降伏点、下降伏点、引張強度および破断ひずみを静的载荷に対する変化率として求め、ひずみ速度との関係で表せば、図-3(a)～(d)のようになる。なお、ひずみ速度は、降伏ひずみの値を载荷開始から降伏ひずみに達するまでの時間で除して求めたものである。図-3(a)および(b)から、ひずみ速度の増大にともなって上降伏点および下降伏点は増大する傾向が認められる。また、この増加傾向は、既往の研究結果¹⁾

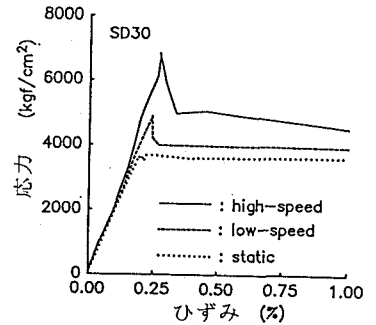
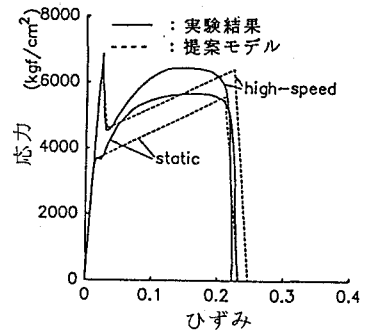
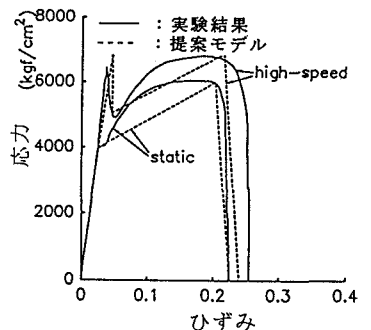


図-1 降伏点における
応力～ひずみ関係



(a) SD30



(b) SD35

図-2 応力～ひずみ関係

とほぼ同様である。一方、引張強度および破断ひずみについても下降伏点と類似の傾向が認められる。すなわち、上降伏点変化率($d f_{y,u} / s f_{y,u}$)については、既往の研究で提示した式(1)で表わすことができる。式(1)中の係数は、本実験結果に対して最小自乗法により求めている。また、下降伏点の変化率(d/s)も既往の研究結果と同様であり、式(2)で表わすことができるものとみなす。

引張強度および破断ひずみの変化率(d/s)をひずみ速度の対数値との関係で表わせば、これらの間にはほぼ線形関係があり、下降伏点に対する関係式とまったく同様に式(2)で表わすことができる。なお、本実験で得られた下降伏点などに対して最小自乗法により式(2)の係数 a および b を求めると、表-1のとおりである。

表-1 式(1)の係数

	a	b
下降伏点	1.202	0.040
引張強度	1.172	0.037
破断ひずみ	1.044	0.013

$$d f_{y,u} / s f_{y,u} = 10^{0.3796 \cdot \log \epsilon - 0.2579 + 0.993} \quad (1)$$

$$d/s = a + b \cdot \log \epsilon \quad (2)$$

4. 動的 $\sigma \sim \epsilon$ 関係モデル

動的载荷に対する $\sigma \sim \epsilon$ 関係の形状特性およびひずみ速度効果を考慮した降伏点などの算定式(式(1)、(2))に基づいて、破断に至るまでの鋼材の $\sigma \sim \epsilon$ 関係のモデル化を行った。このモデルを最も単純な直線近似として表示すると、図-4のようになる。モデル化にあたっては、①ヤング係数は、ひずみ速度の大小にかかわらず一定である。②ひずみ速度が上、下降伏点、引張強度および破断ひずみの大きさに及ぼす影響は、式(1)および式(2)で与えられる。③下降伏点からひずみ硬化開始に至る領域、いわゆる降伏棚については考慮しないものとする。④引張強度時のひずみは、本実験の結果からは明確に得られなかったので、破断ひずみの90%の大きさに相当するものと仮定する。このモデルを用いて算定した $\sigma \sim \epsilon$ 関係を、図-2中に破線で示す。図から、ひずみ硬化領域において上に凸の曲線を直線近似しているために実験結果との対応が不十分であることがわかる。しかしながら、 $\sigma \sim \epsilon$ 関係を特徴づける上、下降伏点および引張強度の値についてはほぼ良好に算定することができるので、衝撃荷重などの载荷速度の大きな動的外力を対象とした動的解析のための簡便な動的 $\sigma \sim \epsilon$ モデルとして用いることができるものと考ええる。なお、ひずみ硬化領域の形状を適当な曲線で近似すれば、実際の特性をさらに良好にシミュレートできるものと考ええる。

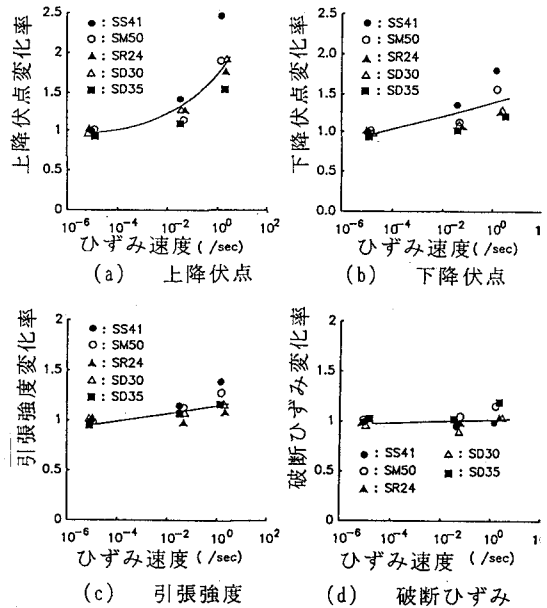


図-3 降伏点などに及ぼすひずみ速度の影響

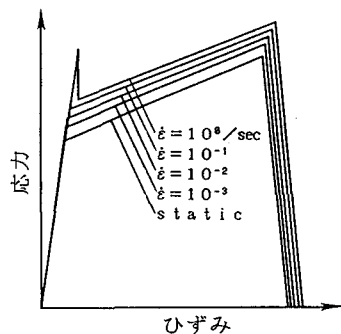


図-4 動的応力～ひずみ関係モデル