

I-427

RCはりの衝撃応答解析における復元力特性

防衛大学校 学生員 ○辻本雅洋 学生員 山田伊智郎
 " 学生員 高橋芳彦 正 員 大野友則

1 まえがき

高速変形時の材料の応力～ひずみ関係は、ひずみ速度の増大とともに通常の静的試験で得られるものとは異なった結果を与えることが知られている。すなわち、衝撃力に対する部材の高速変形挙動を調べるためにはひずみ速度効果を考慮した動的解析法によらなければならない。一般に、RC部材の復元力特性の履歴モデルとしては、静的加力実験から得られた荷重反転後の剛性が劣化する、いわゆる剛性劣化型モデルがよく用いられている。本研究は、衝撃荷重に対するRCはりの応答を一種の振動とみなし、従来の動的解析に用いられているRCはりの復元力特性に載荷速度の増大にともなう材料のひずみ速度効果を取り入れた履歴復元力モデルを提案し考察したものである。

2 鉄筋、コンクリートの動的特性

(1) 鉄筋のひずみ速度効果

鉄筋の動的特性についてはすでに多くの実験結果が報告されている。¹⁾ これらの結果に基づいて、高速載荷時の上降伏点の上昇率をひずみ速度との関係で近似的に表せば次式のようなになる。

$$\sigma_{sy,u} / \sigma_{sy,u} = 10^{a_1 \log \dot{\epsilon} + b_1} + c_1 \quad \dots (1)$$

また、下降伏点の上昇率についても同様にひずみ速度との関係によって表せば次式が得られる。

$$\sigma_{sy,l} / \sigma_{sy,l} = a_2 \log \dot{\epsilon} + b_2 \quad \dots (2) \quad \text{最小二乗法により得られた式(1),(2)の各係数の値は}$$

$$a_1 = 0.1524, \quad b_1 = -1.3394, \quad c_1 = 0.9350, \quad a_2 = 0.0403, \quad b_2 = 0.9597 \text{である。}$$

(2) コンクリートに対するひずみ速度効果

竹田らは、高速載荷を受けるコンクリートの力学的性質に関する一連の研究結果を報告している。^{2) - 4)} 本研究では、コンクリートの圧縮強度と平均荷重速度の関係式および平均荷重速度と平均ひずみ速度の関係に基づいて、さらにコンクリートの圧縮強度上昇率とひずみ速度の関係式を次のように定式化した。

$$\sigma_c / \sigma_c = [\alpha + \beta \log(a \dot{\epsilon}) + \gamma (\log(a \dot{\epsilon}))^m] / [\alpha + \beta \log(a \dot{\epsilon}_s) + \gamma (\log(a \dot{\epsilon}_s))^m] \quad \dots (3)$$

ここに α , β , γ , a はコンクリートの種類によって定まる係数、 m はポアソン数、 σ_c は静的圧縮強度、 $\dot{\epsilon}_s$ は静的載荷時のひずみ速度($\dot{\epsilon}_s = 10^{-5}$ /sec)である。また、ひずみ速度効果を考慮した応力～ひずみ関係は、動的載荷時のコンクリート圧縮強度 σ_c を梅村の e 関係式に導入することにより次のように表される。

$$\sigma = \sigma_c K [e^{-\alpha(\epsilon/\epsilon_1)} + e^{-\beta(\epsilon/\epsilon_1)}] \quad \dots (4) \quad \text{ただし} \quad \epsilon_1 = \alpha_1 + \beta_1 \log \dot{\epsilon} + \gamma_1 (\log \dot{\epsilon})^{m_1}$$

ここに、 K , α , β , α_1 , β_1 , γ_1 , m_1 はコンクリートの種類によって定まる係数であり、ひずみ速度の影響は受けないものと仮定する。 ϵ_1 は動的載荷時の最大応力に対応するひずみである。

3 ひずみ速度効果を考慮したRCはり断面の曲げモーメント～曲率関係の履歴モデル

図-1は、RCはりの任意断面の曲げモーメント～曲率($M \sim \phi$)関係の一例で、ひずみ速度効果を考慮した応力とひずみの関係式より計算によって求めたものである。曲率速度(ひずみ速度から求められる)の増大にともなう上および下降伏点が上昇し、かつその差も大きくなる傾向が認められる。図-1に示した曲げモーメントと曲率速度との関係から上降伏曲げモーメント($M_{y,u}$)および下降伏曲げモーメント($M_{y,l}$)と曲率速度の関係を最小二乗法によって求めれば次式を得る。

$$M_{y,u} = a + s M_y + b (\log \phi) + c (\log \phi)^2 + d (\log \phi)^3 \quad M_{y,l} = a + s M_y + b (\log \phi) \quad \dots (5)$$

ここに係数 a, b, c, d, s, b は、はりの断面寸法、鉄筋、コンクリートの材料定数、鉄筋量等によって異なる。

図-2は、RCはりの $M \sim \phi$ 履歴モデルで、RC部材の代表的な復元力特性として用いられている剛性劣化型モデルにひずみ速度効果を導入したものである。ひずみ速度効果を考慮したRCはり断面の $M \sim \phi$ 関係を求めるためには静的載荷に対して得られる $M \sim \phi$ 関係に、定式化した鉄筋およびコンクリートの応力～

ひずみ関係の式(1),(2),(4),(5)を導入すればよい。なお、図-2(b)は単鉄筋コンクリートはりの解析に用いるためのモデルで、負側の曲げモーメントはひび割れモーメントとしている。

4 解析結果と実験値との比較

本研究で提示した復元力モデルを用いて行った解析結果を、先に著者らが行った実験結果と比較した。図-3は、はり中央点の変位の時刻歴応答を示している。破線は実験値を表し、太い実線はひずみ速度効果を考慮した復元力モデルを用いて行った解析結果で、細い実線は考慮しない場合である。図より、ひずみ速度効果を導入した履歴復元力モデルを用いて解析することによって実験結果をうまくシミュレートできることが認められる。 $M(\dot{\phi})$

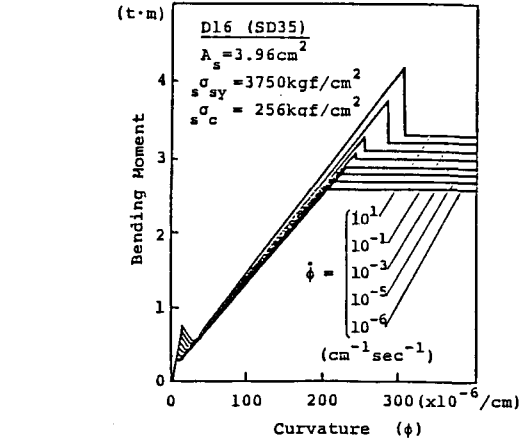


図-1 曲げモーメント～曲率関係におよぼす

ひずみ速度効果の影響

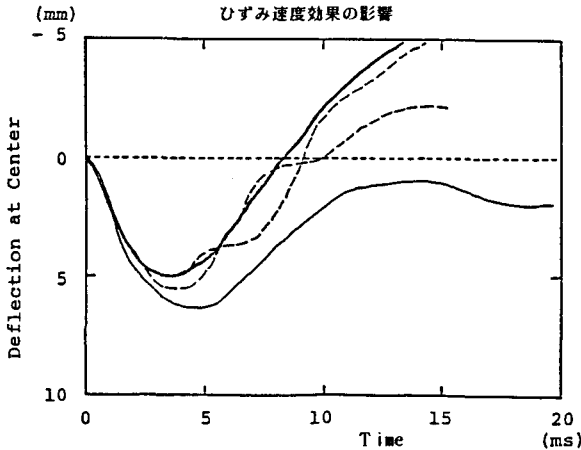
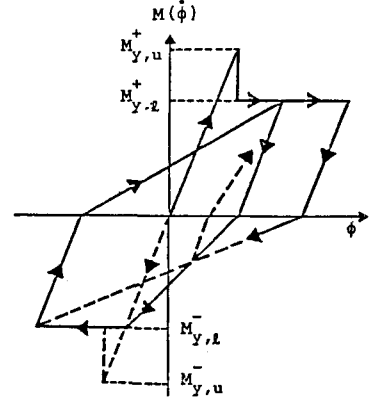
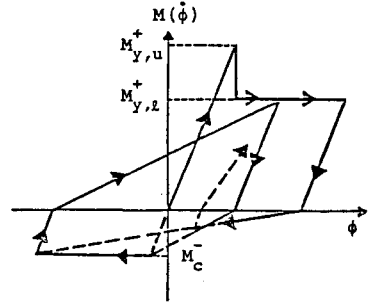


図-3 はり中央点変位の時刻歴応答



(a) 複鉄筋コンクリート



(b) 単鉄筋コンクリート

図-2 ひずみ速度効果を考慮した

R C断面の曲げモーメント～曲率関係

- 1) ACI Committee 439 : Effect of Steel Strength and of Reinforcement Ratio on the Mode of Failure and Strain Energy Capacity of Reinforced Concrete Beams, ACI Journal, pp.165-172, 1969.
- 2) 竹田、立川：高速圧縮および引張りを受けるコンクリートの力学的諸性質について，建築学会論報第66号，昭.35.10.
- 3) 竹田、立川：高速圧縮、引張および曲げをうける各種コンクリートの力学的性質，建築学会論報第77号，昭.37.9.
- 4) 竹田、立川：高速圧縮荷重を受けるコンクリートの力学的性質とその基本的関係式，建築学会論報第78号，昭.37.10.