

埼玉大学大学院	学生員	○鶴田 和久
埼玉大学	正会員	陸好 宏史
埼玉大学	正会員	町田 篤彦

1. まえがき

地震のような動的外力がRC構造物に作用した場合、構成素材であるコンクリート及び鉄筋には、荷重速度に応じたひずみ速度が生じる。既往の研究によると、RC部材が一方荷重及び正弦波繰返し載荷される場合、主鉄筋にひずみ速度があると、これによって耐力が上昇することが明らかにされている。^{1),2),3)}本研究は地震時にもこのような現象が生ずるか否かを明らかにしようとしたもので、地震波入力による振動実験を行い、その結果を詳細に検討するとともに、検討結果に基づいて、ひずみ速度を考慮したRC部材の復元力モデルを設定し、応答解析によりこれの妥当性を確かめたものである。

2. 実験概要

振動実験に用いた供試体は、Fig. 1に示すように、断面10×15cm、主鉄筋比0.79~1.19%、帯鉄筋比0.09~1.00%、高さ40~60cm、せん断スパン比5.0~7.5の単一柱式RC橋脚を想定した計6体である。振動実験にあたっては、通常の橋脚の載荷条件に類似させるために、供試体頭部に833kgfの重りを取り付けた。この場合、重りの回転慣性による曲げモーメントが作用しないように、重りがその中心で自由に回転できるように治具を用いて緊結した。入力地震波には、El centro N-S成分及び Taft N-S成分を用いた。入力地震波の時間軸は、供試体の固有周期(0.10~0.14sec)と相似則から実際の1/4とし、最大加速度振幅は、重りの重さを考慮して2Gとした。振動実験における測定値は、すべてデータレコーダに収録し、その後A/D変換(時間刻み $\Delta t=0.0012\text{sec}$)を行って処理をした。

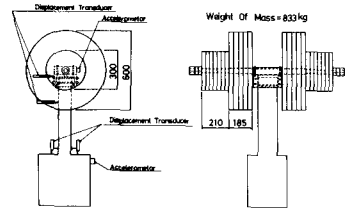


Fig. 1 供試体形状及び実験状況

3. 地震時に生ずる主鉄筋のひずみ速度

振動実験より得られた主鉄筋のひずみ、応答変位及び応答加速度の時刻歴ならびに、主鉄筋のひずみを中央差分して求めた主鉄筋のひずみ速度の時刻歴の一例をFig. 2に示す。図中の線分Aは、従来の静力学的計算でスケルトンカーブを決定した復元力モデルから求まる最大応答加速度に相当するがこれを、平均20%程度上回る応答加速度が、0.52sec. 0.73sec. 1.16sec. 1.88secの4ヶ所で生じていることが同図より認められる。また、ひずみ速度に着目すると、理論的には、応答加速度と主鉄筋のひずみ速度との位相は90°ずれるはずであるが、降伏ひずみを越えると、主鉄筋のひずみ速度が極大となる時刻と応答加速度が極大となる時刻との間に、0.02secのずれしかなく、変位極大付近でひずみ速度は40%/sec生ずることがあることも認められる。この現象は、線分Bで示す降伏ひずみを越える時点から極大ひずみに達する間(b-b間)と、線分Cで示す既往の最大ひずみを越える時点から新しい最大ひずみに達する間(c-c間)に生じており、応答加速度が線分Aを越える時刻と対応している。即ち、地震時にも主鉄筋のひずみ速度によって主鉄筋の応力が上昇し、これが、RC部材の耐力を上昇させる要因となって、応答加速度も線分Aを上回ることがあると言えるのである。

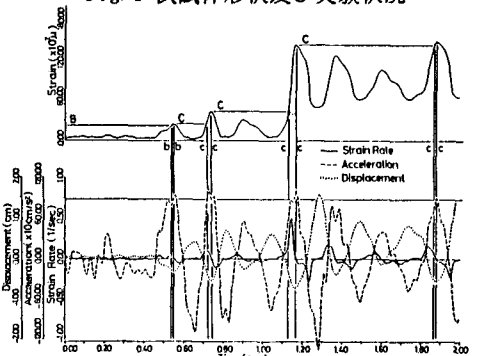


Fig. 2 主鉄筋のひずみ及びひずみ速度、
応答変位、応答加速度の時刻歴

4. ひずみ速度を考慮した復元力モデル

3.の結果をもとにして、以下に示す方法によってひずみ速度の影響を考慮した復元力モデルを設定した。ひずみ速度による主鉄筋の応力増分量から、ひずみ速度によるRC部材の耐力増分量を求め、最小二乗法により一般化した結果、次の関係式を得た。

$$\Delta P_u = \alpha \ln \dot{\epsilon} + \beta \quad (1)$$

ここに、 ΔP_u : 曲げ引張耐力増分、 $\dot{\epsilon}$: 主鉄筋ひずみ速度、 α, β : 定数である。次に、スケルトンカーブを、降伏点に(降伏変位(δy), 曲げ引張耐力(P_u))を有する完全弾塑性バイリニア型とし、圧縮側鉄筋を無視して、主鉄筋降伏時ひずみ速度($\dot{\epsilon}_{sy}$)と降伏時変位速度($\dot{\delta} y$)の関係を求めた結果、次の関係式を得た。

$$\dot{\delta} y = A_s \cdot E_s \cdot \dot{\epsilon}_{sy} \{d - 2 \cdot K_2 \cdot A_s (\xi \ln \dot{\epsilon}_{sy} + \eta) / (b \cdot K_1 \cdot K_3 \cdot \sigma_c)\} / (k \cdot h) \quad (2)$$

ここに、 A_s : 主鉄筋断面積、 E_s : 鉄筋ヤング率、 σ_c : コンクリート強度、 b : 断面の幅、 d : 有効高さ、 h : 供試体の高さ、 k : 供試体の剛性、 K_1, K_2, K_3 : コンクリートの応力-ひずみ関係によって決まる定数、 ξ, η : 鉄筋の応力増分-ひずみ速度関係によって決まる定数である。(1), (2)式が、部材の塑性域でも成り立つと仮定すれば、応答変位速度から P_u が求まる。振動実験の結果より、この関係は、 P_u に達してから反曲点まで考慮するのが適当であると判断される。このようにして得た復元力モデルの履歴をFig. 3に示す。なお、 P_u 以下の履歴法則は、従来の剛性劣化型バイリニアモデルと同一とした。

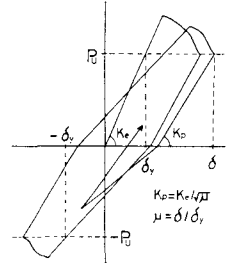


Fig. 3 新しく設定した復元力モデルの履歴

5. 応答解析によるひずみ速度を考慮した復元力モデルの妥当性の検証

従来の剛性劣化型バイリニアモデル(Model A)及びひずみ速度を考慮した復元力モデル(Model C)を用いて、振動実験の供試体について、粘性減衰を δy 以後に考慮しない場合($h=0.00$)と全過程で考慮した場合($h=0.02$)の計4種の応答解析を行った。

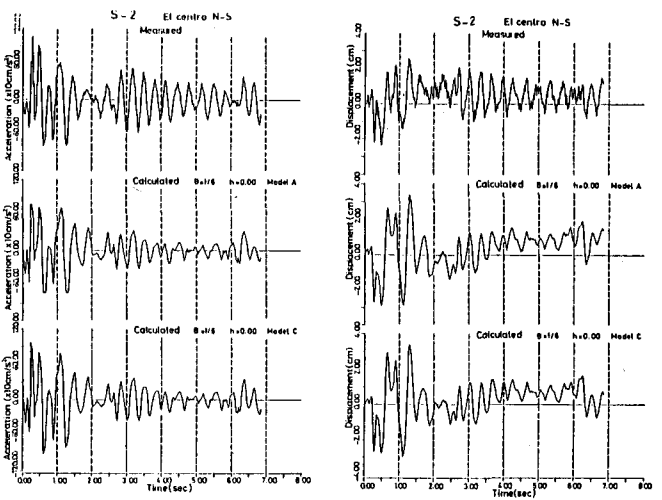


Fig. 4 応答波形

El centro 波形入力した応答波形の一例

Fig. 4に示す。この図より、Model Aの応答加速度は、波形が頭打ちとなることがあり、実験から得られる同時刻の応答加速度とは、大きさも形状も一致しないのに対し、Model Cでは良く一致していることが認められる。また、応答変位波形は、どちらのモデルを用いても大差がないことも認められる。Fig. 5は、El centro 波形を入力して求まる最大応答値を実験値と比較したものである。この結果、Model Cを用いることによって、最大応答加速度は実験値に近づくこと、Model Cを用い $h=0.00$ の最大応答変位は、Model Aを用い $h=0.02$ の応答値と同程度となること等、解析結果が顕著に改良されることが認められた。Taft波形入力した場合にも同様の結論が得られた。以上、Model Cの妥当性が確かめられたと言える。

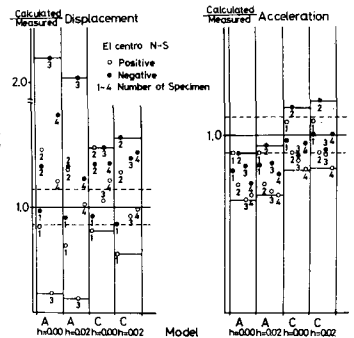


Fig. 5 最大応答値の実験値との比較

- (参考文献): 1) 岩井他, 『構造部材の挙動に及ぼす載荷速度の影響に関する実験的研究』建築学会論文報告集 S 57
 2) 最上他, 『高速荷重を受けるRC梁の耐力と変形に関する実験的研究』日本建築学会大会学術講演梗概集 S 53
 3) 佐原他, 『RC部材の力学的特性に及ぼす載荷速度の影響』土木学会学術講演会講演梗概集 S 58