

## 上下動を伴う RC 柱の FEM 解析

(株)大林組 正会員 田中 浩一  
 (財)鉄道総合技術研究所 正会員 田所 敏弥

### 1. はじめに

RC 柱を振動台で加振する実験が盛んに行われ始めてきた。RC 柱の寸法は、振動台の能力、すなわち試験体の重量で決定される場合があり、大きな寸法の柱を載荷するには、大型の振動台が必要となる。著者らは、おもりのロッキングを抑制する装置を用いて、比較的大断面（400×400mm）の RC 単柱を振動台で加振し、その動的挙動を確認した。一方、FEM 解析で動的な挙動を評価する解析技術が発達している。米澤らの研究<sup>1)</sup>では、本実験を 3 次元モデルで概ね評価できる事を確認した。著者らは、より簡便に動的挙動を再現する手法として、2 次元モデルでの再現性を確認するため、本実験に対して動的解析を行った。

### 2. 振動台実験の概要

振動実験の概要を写真-1 に示す。柱は 1 本の片持ち梁とし、その頂部に錘を設置した。錘のロッキングを抑制するため、錘の重心位置をピン構造にし、かつ、異形パンタグラフを設けている。錘と治具（パンタグラフは除く）の重量を合計すると 338.6kN である。これは、柱の軸応力で  $2.1\text{N/mm}^2$  に相当する。加振波は、図-1 に示すような 1Hz の正弦波とした。図-2 のような門形フレームを仮定したとき、柱が曲げ降伏すると、梁/柱の剛比(k)が 1 になるとすれば、柱に作用する押込み・引張力は、水平力の約 60%となる。したがって、上下動は、別途行った水平方向のみで加振した実験<sup>2)</sup>で計測された錘重心位置の応答加速度に、0.6 を乗じた加速度波形とした。

柱の配筋を図-3 に示す。帯鉄筋比は 0.21%と少ないが、フレア溶接により帯鉄筋は閉合している。鉄筋およびコンクリートの材料試験結果を、図-3 中に示す。

### 3. 動的解析の概要

解析モデルを図-4 に示す。コンクリートは四辺形要素に、主鉄筋はトラス要素を用いた。主鉄筋とコンクリートはスタブ(土台)までモデル化し、スタブ部のコンクリート構成節点は、振動台と同様に動くよう拘束した。主鉄筋とコンクリートとの接合は、付着応力-すべり関係を与えて定着させた。これにより、主鉄筋の拔出しを考慮するためである。帯鉄筋は、四辺形要素中に埋込み鉄筋として考慮した。コンクリートおよび鉄筋の応力-ひずみ関係を図-5 に示す。

解析に用いる加振波は、振動台で計測された水平方向、鉛直方向の加速度、および柱基部中心回りの回転加速度とした。減衰はレーリー減衰で与え、ひび割れが発生する前の固有振動数( $F=4.5\text{Hz}$ )における減衰定数が 1%となるように、 $\beta=0$  として  $\beta$  を求めた ( $\beta=0.00071$ )。



写真-1 試験体と加振装置

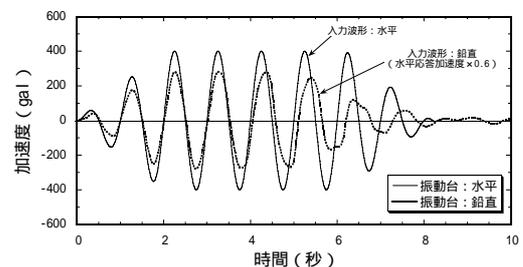


図-1 加振波

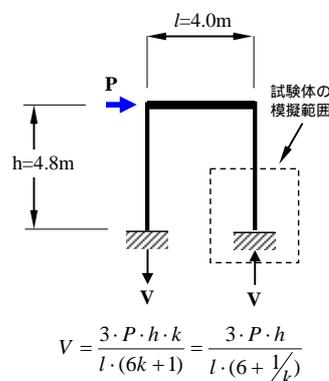


図-2 仮定したラーメン構造

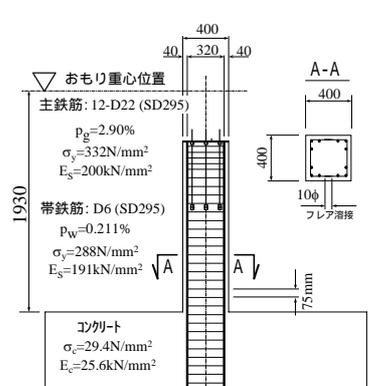


図-3 試験体の配筋図

キーワード 耐震, 振動台, 軸力変動, 動的解析, 鉄筋コンクリート

連絡先 〒204-8558 東京都清瀬市下清戸 4-640 (株)大林組技術研究所 TEL 0424-95-1111

#### 4. 振動台実験の結果

実験により計測された錘重心位置における加速度と変位の関係を図-6に示す。なお、変位はスタブ（土台）と錘の重心高さ位置との相対変位を示す。応答変位の最大値は、+89mm、

-95mm である。主鉄筋の拔出しを考慮して算出した降伏変位が 9.3mm であるので、応答塑性率は約 10 であった。

加振が終了した後、柱基部では主鉄筋の座屈開始、ならびにかぶりの剥落が認められた。また、加振の前後でホワイトノイズにより固有振動数を計測した結果、加振前が 3.5Hz、加振後が 1.25Hz であった。このことから、主鉄筋の座屈に伴うかぶり剥落によって、柱の剛性は加振前の約 13% まで低下したことになる。

#### 5. 動的解析の結果

図-6 中に動的解析で得られた応答加速度 - 変位関係を示してある。最大変位の解析値は、+57mm、-67mm と実験値よりも小さい。図-7 には応答変位ならびに応答加速度の時刻歴を示す。応答加速度の解析値は、概ね良好に実験値を評価している。一方、応答変位は、実験では主鉄筋座屈に伴い剛性が低下して長周期化したのに対し、解析ではこの長周期化が認められない。

したがって、主鉄筋座屈後の剛性は、解析では実験値よりも硬めに評価していたことになる。このことから、主鉄筋座屈に伴うかぶりコンクリートの剥落、ならびに主鉄筋の曲げ変形に伴う軸応力負担の低下を再現できるモデルを用いた検証が必要である。

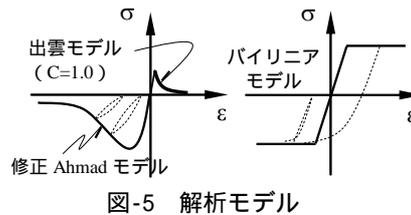


図-5 解析モデル

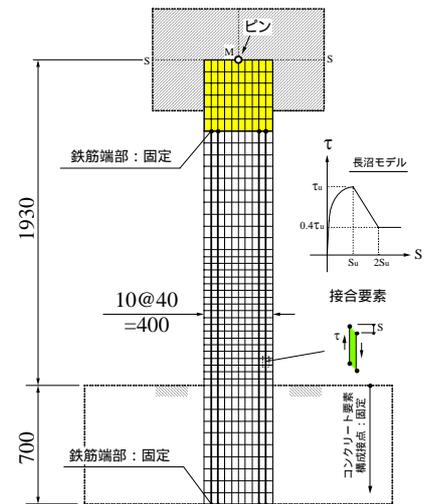


図-4 解析モデル

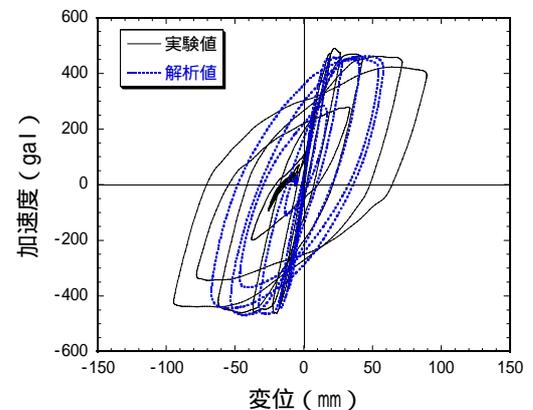


図-6 加速度 - 変位関係

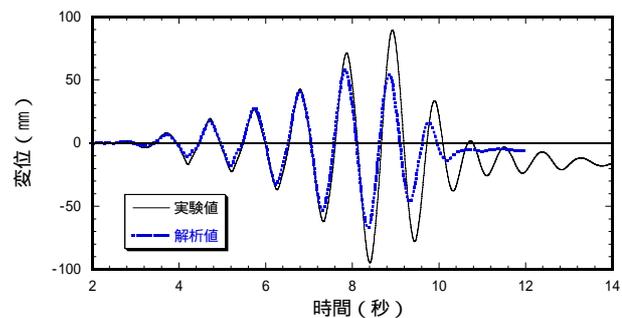
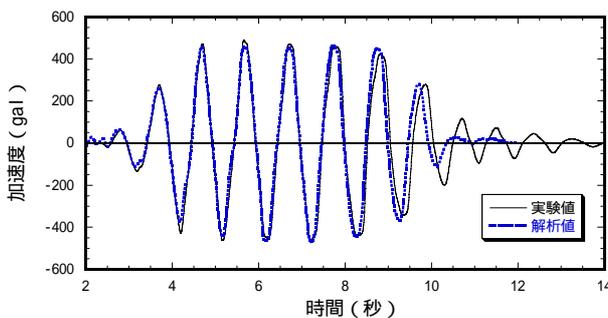


図-7 時刻歴波形（左：応答加速度，右：応答変位）

#### 6. まとめ

2次元でモデル化した FEM 解析でも、主鉄筋の座屈開始までは 3次元モデルと同等に評価できる。しかしながら、3次元モデルの場合と同様に座屈後の挙動評価は難しい。今後、座屈を考慮した解析評価手法を整理して、その検証を進める必要がある。

#### 参考文献

- 1) 米澤健次, 田中浩一, 長沼一洋: RC 柱の 3次元動的 FEM 解析精度の検証, 日本建築学会大会学術講演概要集(近畿), pp.335-336, 2005年9月
- 2) 服部尚道, 谷村幸裕, 田所敏弥, 田中浩一: RC ラーメン高架橋柱の復元力特性に及ぼす荷重速度の影響, コンクリート工学年次論文集, pp.949-954, 2005年6月