

耐震集合柱の振動台実験に基づいた数値解析モデルの研究

法政大学大学院 学生会員 栗原 柊介, 正会員 酒井 久和
 京都大学防災研究所 正会員 澤田 純男, 五十嵐 晃
 京都大学大学院 正会員 高橋 良和

1. はじめに

柱部材を鉛直方向に分割して変形性能を向上させ、その分割した柱部材間に拘束力を加えて変形時に柱間の摩擦を発生させることにより、強震時には振動エネルギーを摩擦エネルギーによって吸収することで減衰効果が生じ、比較的小地震に対しては分割前の剛性を維持したまま柱の変形を弾性範囲内に収めることが期待できる。この特性を取り入れた構造体として澤田ら¹⁾は、摩擦機構を有する「耐震構造集合柱」を開発した。耐震構造集合柱の基本概念略図²⁾を図1に示す。

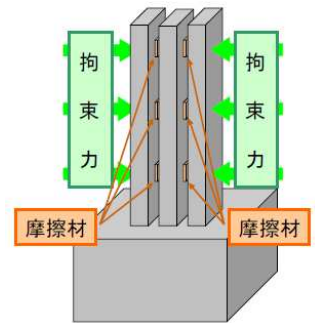


図1 耐震構造集合柱の基本概念図

本研究では、この新耐震構造に対して実験結果の挙動を高精度に再現するモデルの作成、解析手法の確立を目的とし、この耐震構造集合柱に対して行われた振動台実験に対して数値シミュレーションを行った。

2. 数値シミュレーション

解析にはUC-Win/FRAME(3D)を使用する。このFEM解析ソフトウェアは静的・動的荷重による非線形解析が可能であり、幾何学的非線形性も扱うことができる。

2.1 解析モデル

解析モデルは、図2、3に示すように、上部構造と下部構造は剛体とし、摩擦機構をばね要素とした。柱部材には軸力変動を伴う弾塑性挙動を考慮できるファイバー要素を採用した。

2.2 解析条件

計算時間間隔 5×10^{-3} 秒で20秒間の解析を行う。2014年に京都大学で行われた杭頭が固定条件のRC集合柱の振動台実験では、拘束力を与えないケース(CASE1)と異なる拘束力ケース(CASE2, 3, 4)の計4ケースにおいて載荷試験が行われた。CASE1~4の柱基部から300mmごとの拘束力を図4に示す。本稿では、最も大きい入力である最大加速度120galの加震ケースについて、解析の一例を中心に示す。

2.3 解析結果

はじめに、減衰定数3%、摩擦係数0.45の条件で、周波数3.6Hz・最大加速度30galの正弦波を与え、実験と解析の荷重-変位関係、時刻歴変位の比較を行った。図に示した変位は、上部工の水平変位と柱基部の水平変位の相対変位であり、荷重は、上部工の加速度と質量の積で算定した。CASE1では変位の時刻歴、荷重-変位関係の解析結果の精度は良好であったが、CASE2, 3, 4では実験の挙動の再現性が不十分であった。そのため、解析モデルの修正を行った。

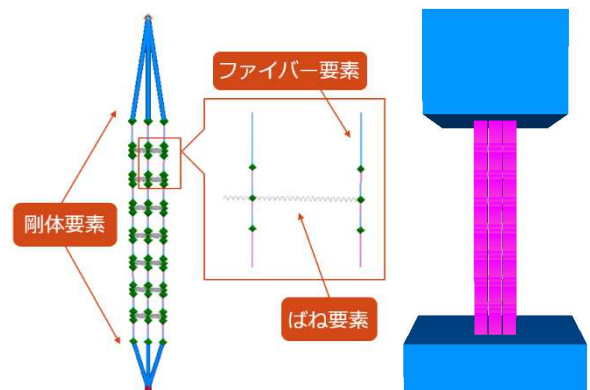


図2 解析モデル

図3 解析モデルのソリッド表示

キーワード 耐震構造集合柱, 拘束力, 損傷

連絡先 〒162-0843 東京都新宿区市谷田町 2-33 法政大学デザイン工学研究科 TEL03-5228-1347

3. 解析モデルの修正

解析精度が不十分であった原因として、主鉄筋の抜け出しによる剛性の低下を考慮していなかったことが考えられた。そこで、鉄筋の抜け出しを考慮して、RC の剛性を低下させ、減衰定数 2%、摩擦係数 0.3 の条件で、周波数 3.6Hz-最大加速度 120gal の正弦波による解析を行ったところ、全てのケースにおいて精度の高い結果を得ることができた。

一例として、CASE1, 2 の実験と解析の上部工の時刻歴変位と、荷重－変位関係を図 5, 6 に示す。図 5, 6 に示すように実験結果と解析結果の最大変位を示す時刻に差異が見られた。実験では 1 つの供試体を用いて載荷試験が行われ、実験が進むにつれて供試体にひび割れなどの損傷が生じたと考えられるため、損傷を考慮した解析を行う必要がある。そこで、加振前の損傷を考慮するために柱部のコンクリートの骨格曲線を再設定し、解析

を行った。一例として CASE1, 2 の実験と解析の上部工の時刻歴変位と、荷重－変位関係を図 7, 8 に示す。図 7, 8 に示すように、損傷を考慮したことで、2.5 秒付近で実験結果と解析結果の最大変位が概ね一致し、解析精度が向上した。CASE2 では図 8 より、解析が実験結果を非常に良く再現していることが分かる。しかし拘束圧のない CASE1 では図 7 より、6 秒後以降で実験ほどの振幅の減少が見られないことがわかる。これは、拘束力がないために解析では摩擦による減衰が発生していないのに対して、実験では摩擦材が接触していることによる減衰が発生しているためと想定される。また、上記のように、損傷を考慮することで解析結果が実験と整合したことから、各ケースの 120gal 加振前に既に実験供試体の柱下部が損傷していたと考えられる。ちなみに、損傷未考慮の場合の全 4 ケースにおいて解析結果の振幅は最大変位発生後に減少せず、損傷を考慮した場合には最大変位発生後の振幅の減少を再現しているものの、実験よりも大きくなっている。この振幅の減少幅の大きな理由として、最大振幅作用時の損傷が解析では過大評価された可能性が考えられる。

参考文献

- 1) 澤田純男, 西郡一雅: 摩擦減衰機構をもつ耐震弾性柱の提案, 日本地震工学会, 梗概集, pp378-pp379, 2005.
- 2) 中村英之, 高橋良和, 澤田純男: 複合応力作用下における摩擦減衰機構を有する集合 RC 柱の弾塑性変形性能, 第 31 回土木学会地震工学研究発表会講演論文集, p577-583, 2012.

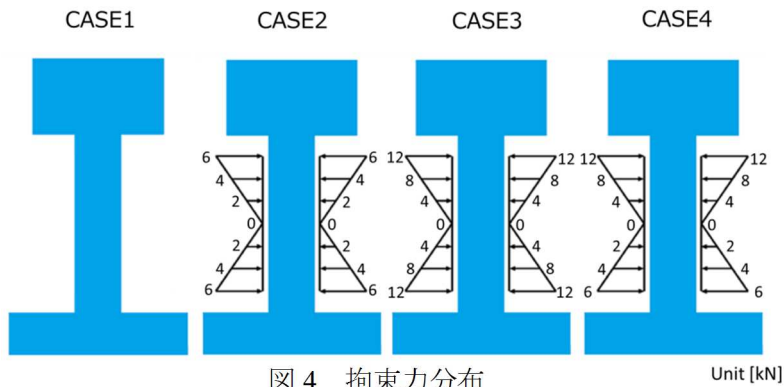


図 4 拘束力分布

Unit [kN]

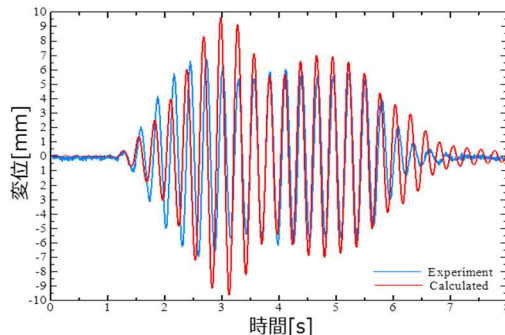


図 5 CASE1 - 120gal 時刻歴変位(損傷未考慮)

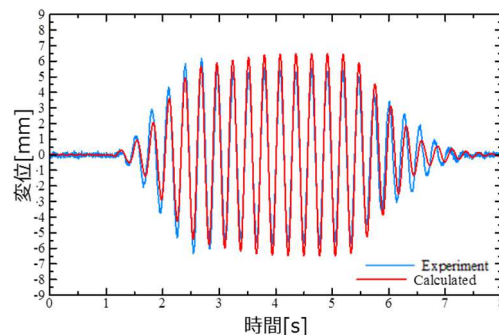


図 6 CASE2 - 120gal 時刻歴変位(損傷未考慮)

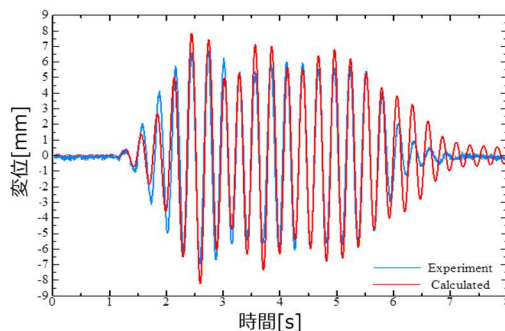


図 7 CASE1 - 120gal 時刻歴変位(損傷考慮)

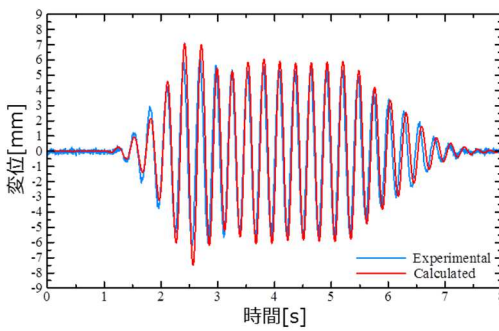


図 8 CASE2 - 120gal 時刻歴変位(損傷考慮)