

### 動的解析において質量と剛性に着目した構造モデルの提案(その1)

(株)エーバイシー	正会員	○本多 顕治郎
(株)エーバイシー		折見 和彦
(株)エーバイシー	正会員	青山 祐士

#### 1. はじめに

2011年の東北地方太平洋沖地震は、想像を絶する規模で各地に甚大な被害を与えた。この地震により我が国全体で防災や減災の意識が更に高まり、健全な社会資本を継続的に将来に繋いでいくために、耐震診断や補強設計の技術を含めた耐震設計が益々重要となってきている。

従来の耐震設計は、静的震度法が一般的であった。しかしながら、近年の耐震設計には、地下構造物にも動的解析が取り入れられ、地盤と構造物の動的相互作用を評価することも少なくない。解析には、地盤の非線形性は勿論のこと液状化現象の評価に特化した専用の解析コードが用いられることもある。しかし、地盤のモデル化の議論に比して、構造物のモデル化等の議論が不十分で、動的解析で重視されるべき質量や剛性が正しく評価されていないなどの問題点も多い。本論では、これら問題点の解決策として、加速度や発生応力等の応答値に対する解析精度向上のための構造モデルについて提案を行う。

#### 2. 動的解析による耐震設計の現状と課題

現在、耐震設計における動的解析では、地盤と構造物を2次元でモデル化することが一般的である。この時、地盤は平面歪み要素で、構造物は純ラーメン部分を取り出した輪切り状態として梁要素でモデル化することが多い。しかし、この方法では、耐震壁を有し剛床仮定<sup>1)</sup>が成立するような構造物の場合には、構造系を適切にモデル化したとはいえない。すなわち、耐震壁付ラーメン架構の構造物では、地震時水平力の大部分を耐震壁が負担するので、ラーメン部分のみモデル化した解析では、質量も剛性も正しく評価されておらず、発生応力等の応答値の再現性も悪い。言い換えれば、耐震壁を無視した2次元解析は、純ラーメン部分の応力を過大評価しており、構造物を3次元的に捉えていないということである。しかし、現状で地盤と構造物の3次元動的解析は、計算時間や費用の点で現実的でない。したがって、2次元解析で3次元効果が得られる解析手法を立案する必要がある。

#### 3. 質量と剛性に着目した構造モデルの提案

構造物の動的解析で最も重要な要素は、たとえ低層の建物であっても剛性である。剛性が正しく評価されない動的解析は、その結果の持つ意味について十分検討する必要がある。剛性を正しく評価する解析手法は、なんと言っても3次元解析が望ましい。しかしながら、前述したように、実務レベルでの地盤と構造物の3次元動的解析は現実的ではない。そこで、剛床仮定が成立する構造物に対しては、構造物を構成する純ラーメン部と耐震壁部を節点同一変位で結合し、すべてのフレームについて積み重ね、3次元モデルに近い質量と剛性を有する構造モデルを提案する。この時、節点同一変位は水平成分のみで、他の回転変位等は同一変位を定義していないので、土圧による外壁の面外の曲げ変形等を拘束しないモデルが作成できる。

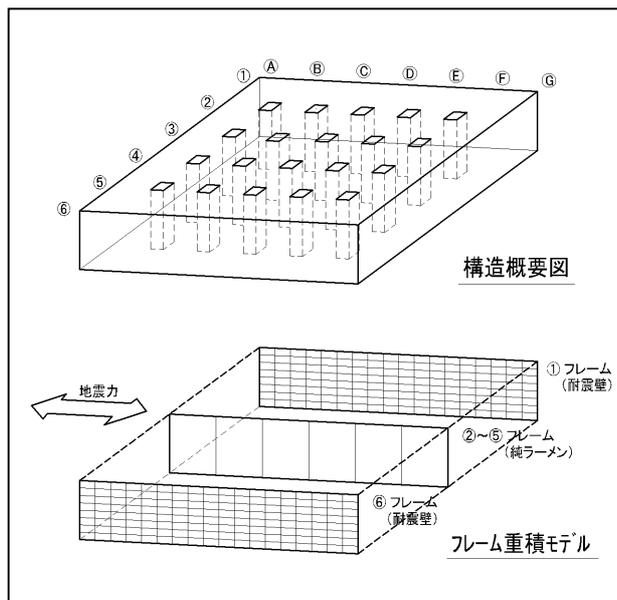


図-1 フレーム重積モデルの概要図

キーワード 耐震設計, 動的解析, 地盤と構造物の動的相互作用, フレーム重積モデル, 3次元効果  
 連絡先 〒530-0043 大阪市北区天満 1-19-4 センチュリーパーク東天満ビル 6F (株)エーバイシー設計部 TEL06-6352-5663

この構造モデルの概要を図-1 に示すが、ここでは、これをトンネル掘削解析で用いられる要素重積法に倣い、“フレーム重積モデル”<sup>2)</sup>と呼ぶことにする。

4. フレーム重積モデルによる解析例

1) 解析条件等

図-1 の配水池について解析を行う。

ここで、図-2 に示すように、地盤は2次元の平面歪み要素でモデル化している。構造物は①⑥フレームの耐震壁(平面応力要素)と②~⑤フレームの純ラーメン部分(梁要素)をフレーム重積モデルとして結合し、剛性を評価した上で地盤モデルに組み込んでいる。

レベル2 地震時の検討に用いる入力波形は、「水道施設耐震工法指針・解説 2009 年版」(以下“水道指針”と略す)で紹介されている、1995 年兵庫県南部地震における J R 鷹取駅構内で測定された N S 記録波を採用する。図-3 にレベル2 地震動の記録波形を示す。

2) 解析結果

解析は以下のケースについて行い、結果を比較した。

- ・ フレーム重積モデル(2次元, 本論にて提案)
- ・ 純ラーメンモデル(2次元, 従来の輪切り状態)
- ・ 3次元モデル(フレーム重積モデルの応答値を用いた3次元プッシュオーバー解析モデル)

なお、2次元の時刻歴応答解析は、汎用動的解析プログラム TDAPIII を使用した。また、3次元解析は、床・壁をシェル要素、柱を梁要素でモデル化し、汎用線形・非線形構造解析プログラム DIANA を使用した。

図-4 は3次元モデルとフレーム重積モデルにおける側壁の縦方向の応力分布を示している。ただし、フレーム重積モデルの結果は時刻歴解析であるため、各点の最大値は同時刻ではない。これを見ると、発生応力の分布形状は概ね等しく、フレーム重積モデルの発生応力の絶対値は、全ての点において3次元モデルのそれをわずかに上回っている。これより、2次元解析でありながら、安全側に3次元効果を評価できるモデルと判断できる。一方、併せて記した従来の輪切り状態の純ラーメンモデルは、発生応力の分布形状を全く再現しておらず、壁脚部の曲げモーメントは3次元モデルの2倍以上の値を呈する。このことから、地震時水平力を過度に負担し、応力の再現性が悪いモデルと考えられる。

5. おわりに

水道指針では、3次元効果が評価できるモデルを適用することを要求している。フレーム重積モデル(2次元解析)による地震時応力の解析結果は、3次元解析と比較してその差は小さく、応力の再現性の点で、本モデルの有用性は確認できたと考えている。今後は、より規模の大きい構造物の解析に適用したい。

参考文献

- 1) 日本建築学会：鉄筋コンクリート構造 計算規準・同解説 2010, pp.94-95, 2010
- 2) 本多顕治郎：災害に強い社会を作るための耐震設計法の提案, 第39回技術士全国大会報告書, pp.167-172,

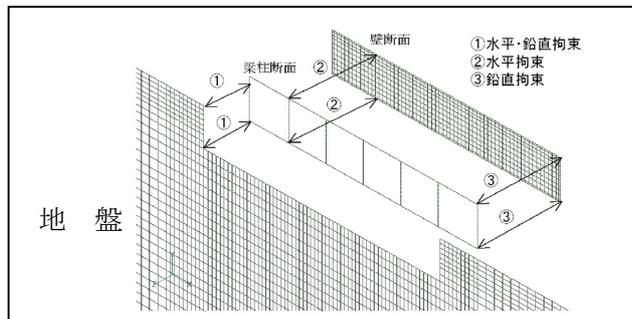


図-2 地盤と構造物の解析モデル

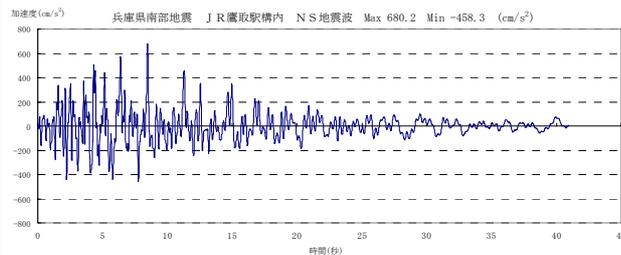


図-3 レベル2 地震動記録波

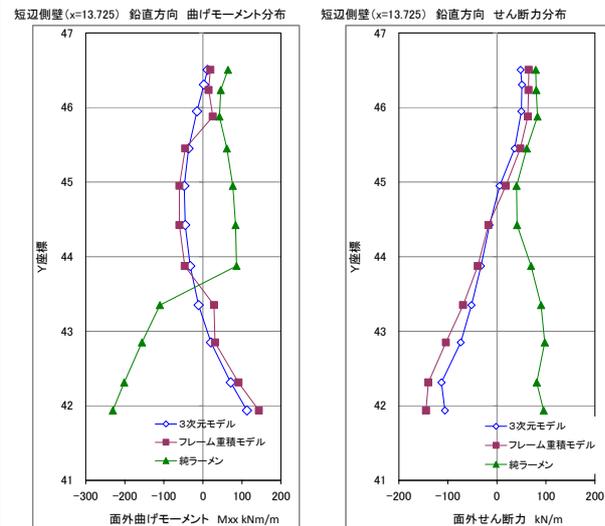


図-4 側壁の縦方向の応力分布