

|       |     |          |
|-------|-----|----------|
| 柳沢 賢  | 正会員 | 東京電力株式会社 |
| 嶋田 昌義 | 正会員 | 東電設計株式会社 |
| 小室 和之 | 非会員 | 東電設計株式会社 |
| 中原 和彦 | 非会員 | 東京電力株式会社 |

## 1. はじめに

重要構造物基礎地盤の地震時の安定解析では、一般に地盤-建屋の動的 FEM による連成解析が行われている。地盤が支持する重要構造物（以下、建屋と呼ぶ）のモデル化では、建屋振動解析に用いる S-R モデル（グロスモデル）から、基礎地盤安定解析に用いる平面ひずみモデル（FEM モデル）へ変換したものが用いられる（図-1）。しかしながら、従来からこの変換では、着目すべき動的地震動が水平動に限定していたことから、水平方向の振動特性のみを考慮して FEM 建屋モデル（以下、水平 FEM モデルと呼ぶ）を構築するのが通例であり、鉛直方向の振動特性は考慮されていない。近年、入力地震動として動的な水平動ならびに鉛直動を同時に入力する検討を行う場合が増加してきている。本検討は、このような地震動の同時入力に対応した、FEM 建屋モデル（以下、水平鉛直 FEM モデルと呼ぶ）の構築手法確立を目的として行った。

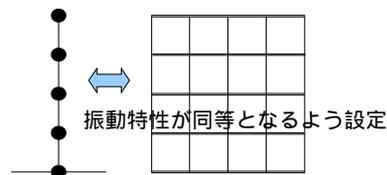


図-1 S-R モデルと FEM モデル

## 2. 簡易モデルによる静的検討

水平 FEM モデルでは、建屋の水平剛性をソリッド要素に、建屋の地震時慣性力をトラス要素に分担させている。本検討では、ソリッド要素とトラス要素を組み合わせた建屋モデル全体の物性調整によって、水平鉛直 FEM モデルを構築する方針とした。具体的には、水平 FEM モデルはグロスモデルに比して、鉛直固有周期が長いモデルとなっていることから、水平剛性を保ちつつ鉛直剛性を高める手法を検討した。

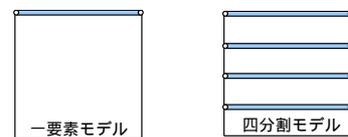


図-2 検討用簡易モデル

はじめに、簡易なモデルとして、建物全体を一要素で表現したモデル（図-2）を用いて、静的な検討を行った。その結果、要素頂部に剛な水平トラスを組み込むことにより、鉛直荷重に伴う水平方向の膨らみが拘束されて鉛直剛性が高まること、この際、水平剛性には変化が生じないことを確認した。

## 3. 簡易モデルによる動的検討

建物の特性が強調されるように、2章の一要素モデルを四層に分割したモデル（図-2）を用いて、動的な検討を行った。ここでも剛な水平トラスを組み込むことにより鉛直剛性が高まること、水平剛性には変化がないことを確認した。次に、この状態でポアソン比に対するパラメータスタディを行った。この結果、ポアソン比が大きくなるほど鉛直固有周期は短くなること、すなわち、剛性は固有周期の二乗の逆数に比例することから、ポアソン比が大きくなるほど鉛直剛性が高まることを確認した（図-3）。このとき、水平剛性はソリッド要素のせん断剛性で調整可能であることも確認した。

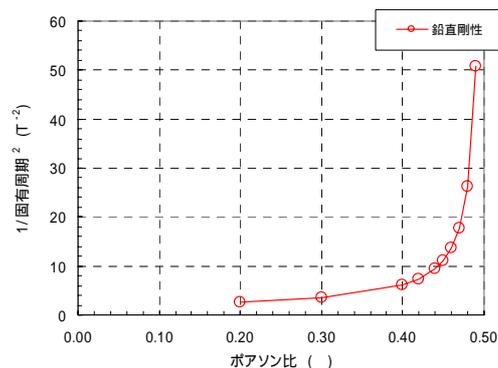


図-3 ポアソン比と剛性の関係  
(四分割モデル)

以上のことから、水平 FEM モデルに剛な水平トラス（以下、拘束トラスと呼ぶ）を組み込み、ソリッド要素のポアソン比およびせん断剛性を調整することによって、水平鉛直

同時加振に対応した水平鉛直 FEM モデルを構築できる見通しを得た。

#### 4. 仮想建屋モデルによる動的検討

本検討では、建屋モデルの構築手法確立が目的であることから、比較的単純な形状の建屋を想定し、手法の適用性を検討した。

検討用の建屋部 FEM モデルを図-4 に示す。3 章までの検討結果を踏まえ、水平方向の全階層に拘束トラスを組み込んでいる。また、建屋の振動特性については、水平・鉛直ともにグロスモデルの検討により既に把握されているものとし、水平 FEM モデル・水平鉛直 FEM モデルともに、目標とする振動特性は想定グロスモデルの解析結果とした。

グロスモデルの固有値解析結果から、鉛直方向の剛性は水平方向の剛性の 1.30 倍となった。よって目標とする水平鉛直 FEM モデルは、水平 FEM モデルの 1.30 倍の鉛直剛性に相当する鉛直固有周期を持ち、かつ、水平固有周期は水平 FEM モデルと変わらないものに設定した。

図-5 に示すように  $G$  と  $E$  を交互にイタレーションした結果、例示モデルの場合には、水平 FEM モデルのポアソン比を 0.318 に高め、せん断剛性を 0.876 倍に低減させることによって、目標とする水平鉛直 FEM モデルを構築することができた。

#### 5. 検証

4 章で作成した水平鉛直 FEM モデルがグロスモデルをどの程度再現できているかを検証するため、鉛直地盤バネ反力で建屋全体の応答を比較検討した。地盤バネは仮想建屋モデル相当のものを仮定した。

目標とするグロスモデルを分母とした水平 FEM モデル、水平鉛直 FEM モデルのフーリエスペクトル比を図-6 に示す。鉛直振動特性を考慮した水平鉛直 FEM モデルは、これを考慮していない水平 FEM モデルより、グロスモデルを良く再現できていることが判った。

#### 6. まとめ

以上のことから、拘束トラスの組み込み、ポアソン比の調整およびせん断剛性の調整を行うことにより、水平 FEM モデルと同等の水平振動特性を持ち、かつ鉛直振動特性をより良く再現した、水平鉛直 FEM モデル（水平鉛直同時加振に対応した FEM 建屋モデル）が構築可能であることを確認した。

今回の検討により方法論が整備されたことから、今後はより複雑な実際の建屋モデルに適用して地盤-建屋の動的 FEM による連成解析を行い、水平鉛直 FEM モデルと水平 FEM モデルの違いが地盤の地震時すべり安全率等の解析結果へ与える具体的な影響の有無について検討したいと考えている。

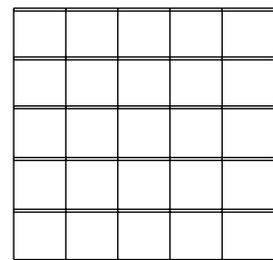


図-4 建屋部 FEM モデル  
(横方向の二重線が拘束トラス要素)

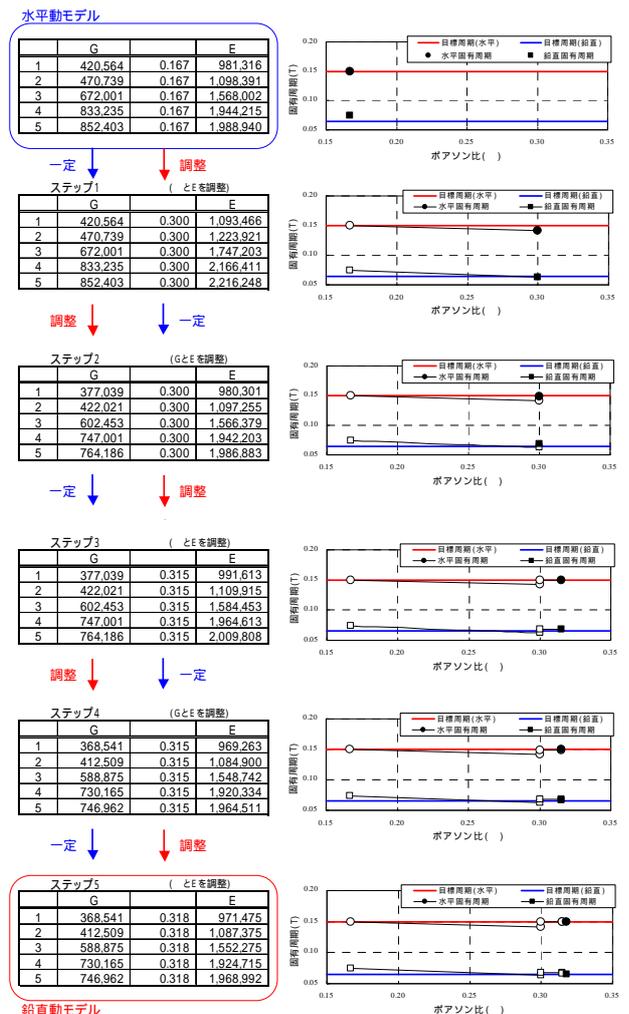


図-5 イタレーションの結果

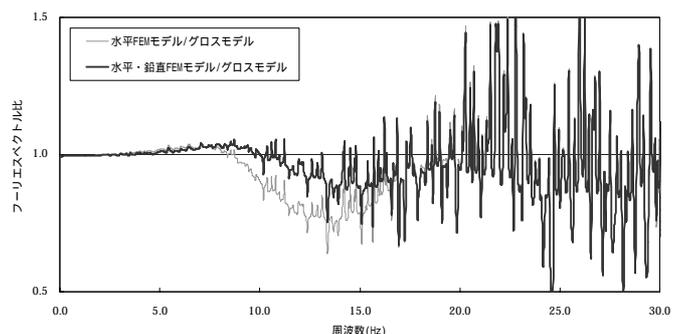


図-6 鉛直バネ反力のフーリエスペクトル比