

I-442 基礎の浮き上り応答特性に関する模型振動実験(その2)

(財) 電力中央研究所 正員 ○大友敬三
 (株) 奥村組 正員 有井孝典
 (株) 関 配 黒田克巳

1. まえがき

基本的な基礎の浮き上り応答性状を把握することを目的として行った模型振動実験の結果から、浮き上りに伴う高振動数成分の成長や応答倍率の低下を明らかにした。本報は、浮き上り現象を適切に評価するため、非線形ロッキングばねによる数値シミュレーションを試みたものである。

2. 解析概要

地盤・基礎・建屋連成模型を図1に示すようなスウェイ、ロッキングばねを有する質点系モデルにモデル化した。非線形ロッキングばねの復元力特性は静的FEM解析により定めた。まず、地盤模型を要素分割し、基礎と地盤間を鉛直方向ばね要素で結合した。その後、模型自重を載荷した状態で基礎部両端に相当する節点に一对の偶力を作用させ、鉛直ばねが次々と切断された時の転倒モーメント M と回転角 θ の関係を求めた。転倒モーメント M と回転角 θ の関係、すなわち $M-\theta$ 曲線は図2に示すとおりとなった。同図中には M と θ の関係の実験値もプロットされているが、解析値と良い対応をみせている。なお、本解析では、スウェイばねは線形として扱い、これも静的FEMにより解析的に求めた。この結果、線形範囲内のスウェイばね定数 K_s 、ロッキングばね定数 K_R として、以下の値を得た。

$$K_s = 9.67 \times 10^4 \quad (\text{kgf/cm})$$

$$K_R = 3.56 \times 10^7 \quad (\text{kgf} \cdot \text{cm/rad})$$

図1のモデルに線形範囲内のばね定数を適用し、固有値解析により、1次固有振動数 $f_0 = 10.25\text{Hz}$ を得、浮き上り前の模型の固有振動数($f_0 = 10.6\text{Hz}$)と概略、一致することを確認した後、図2の $M-\theta$ 曲線をモデルに組み込み、モード減衰と等価な全体減衰行列を作成し、それを不変のまま、時刻歴非線形応答解析を行った。

3. 解析結果

図3は入力加速度400galの正弦波加振の場合の基礎部(測点A4V, A4H)の上下・水平方向応答加速度波形の実験値と解析値を比較したものである。解析波形にも高振動数成分が混入した乱れが生じることがわかる。

図3の解析波形に含まれている高振動数成分について調べるために波形のフーリエ解析を行ったものを実験値

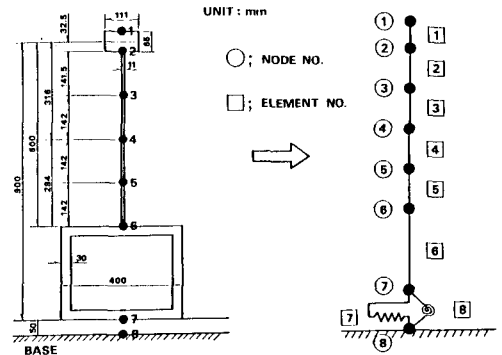


図1 建屋・基礎・地盤系模型のモデル化

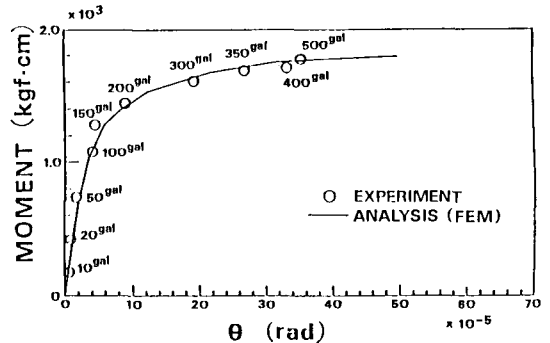


図2 非線形ロッキングばねの復元力特性

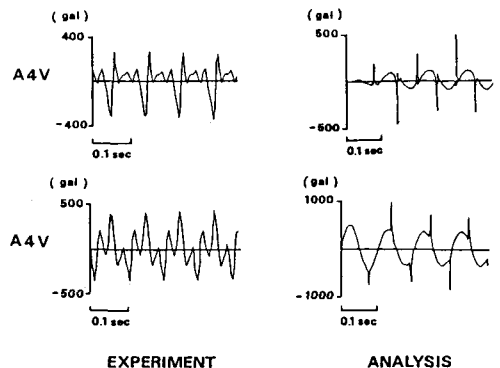


図3 応答加速度波形

とともに図4に示す。解析値のフーリエ・スペクトルには加振振動数成分の3倍調の位置にピークの成長が認められる。この3倍調成分は解析上、図2に示したM-θ曲線の折点の部分で発生したものと思われる。ところが、実験値の方で得られている、2倍調、4倍調といった偶数倍調成分のピークの出現が本解析では全く現われていない。偶数倍調成分の成長は、基礎と地盤が衝突することにより生じたものであると考えられているが、本解析で基礎の浮き上りを表現する非線形ロッキングばねはいわば、‘非線形弾性’的なものであるため、このような実験現象を説明し得なかったものと考えられる。

次に、入力加速度の増加に伴う建屋部水平方向（測点A1H）の応答倍率の変化を解析的に調べたものを図5に示す。すなわち、図5は入力加速度を20gal, 50gal, 100gal, 150galと変化させた場合の応答倍率の共振曲線の重ね描きである。この図より、応答倍率、共振振動数が入力加速度が大きくなるにしたがって低下していく様子が解析的にも良好に表現されている。この原因について考察すると、まず、本解析では全体減衰行列[C]をモード減衰定数が要素剛性行列[Ke]に比例する形で次式のように定めている。

$$[C] = h_0 \cdot [Ke] / \pi f_0 \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 h_0 ：モード減衰定数、 f_0 ：共振振動数
そして、応答解析においては、全体減衰行列を不変として取り扱っているため、入力加速度の増加に伴う非線形ロッキングばねの剛性低下により、要素剛性行列に比例したモード減衰がみかけ上、増加した結果であると考えられる。

図5で示した各入力加速度における応答倍率と共振振動数を実験値と比較したものが図6である。共振振動数については実験値と解析値は良く一致し、応答倍率の低下の度合いは実験値の方が大きいものの概略の傾向はとらえている。したがって、基礎の浮き上りを非線形ロッキングばねで表現した本解析手法によっても浮き上りに伴う建屋部水平方向応答の応答倍率の低下を評価し得る見通しが得られたものと考えられる。

4. あとがき

模型振動実験で得られた基礎の浮き上り応答の特異性を数値解析の面から検討したが、浮き上り現象は非線形ロッキングばねで近似的に説明できることが明らかとなった。

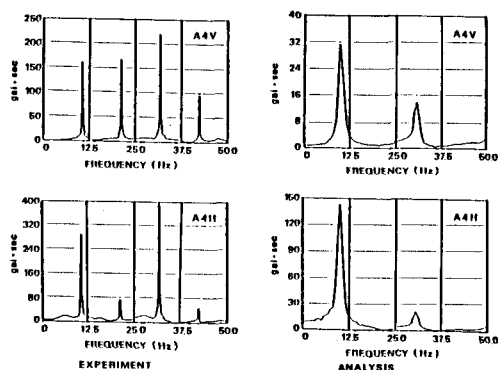


図4 応答加速度波形のフーリエ・スペクトル

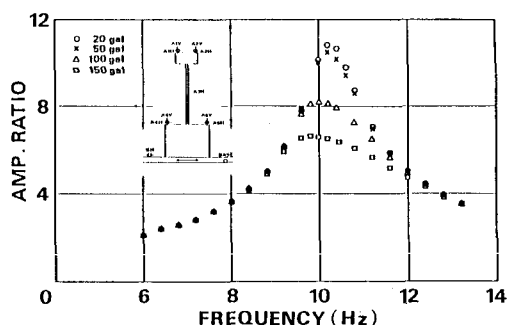


図5 建屋部水平応答の変化

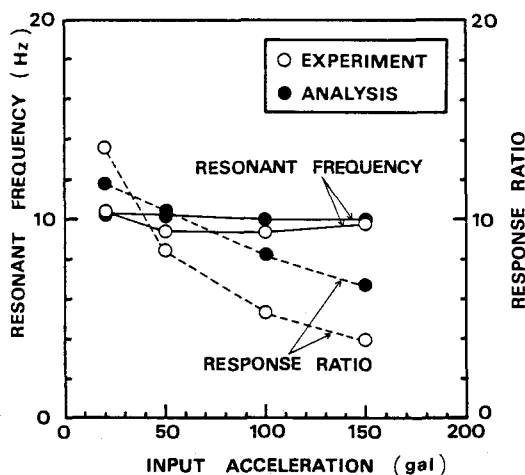


図6 応答倍率と共振振動数の変化