

I - 36 実時間ハイブリッドシミュレーションを用いた 構造物の保有性能評価に関する基礎研究

香川大学工学部 正会員

白木 渡

香川大学工学部 正会員

井面 仁志

○香川大学大学院工学研究科

久保田大祐

1. はじめに

世界的な傾向として、構造物の設計法として性能設計手法が導入され始めている。性能設計では、構造物に要求される性能を明示し、その要求性能を規定された信頼度のもとに満足するように設計すると共に、最終的には設計された構造物が目標とする性能を確保していることの確認が求められている。

そこで、本研究では、実時間ハイブリッド実験システムを用いて、評価対象構造物に対しての共振現象を検証するとともに、信頼性設計された構造物に対して要求されている信頼度を確保しているかどうか確認する手法を提案し、その手法の有効性を検証する。

2. 実時間ハイブリッド実験システム

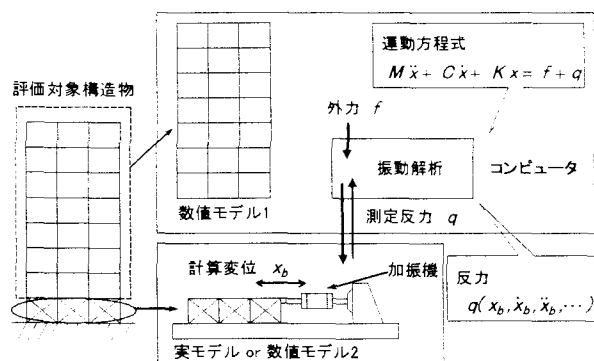


図1: 実時間ハイブリッド実験システムの概念図

図1に示す実時間ハイブリッド実験システムとは、評価対象構造物の一部を実モデルとして振動実験を行い、その他は数値モデルとしてコンピュータ(DSPI)へ入力し振動解析を行う手法である。本手法では、実時間化するために、この加振機応答遅れ時間分だけ先の振動応答を予測し、加振機への加振信号とする加振機遅れ補償手法がある。これにより、実現すべき変位が実現すべき時刻に得られる¹⁾。

なお、加振部を実モデルとして扱う実時間ハイブリッド実験と、加振部を別のコンピュータ(DSP2)により数値モデルとして扱う実時間ハイブリッドシミュレーションがある。

3. 実時間ハイブリッド実験システムを用いた 構造物のシミュレーション

実時間ハイブリッド実験システムを用いたシミュレーションにより、最近問題となっている長周期構造物に対する共振現象を検証する。ここでは、長周期構造物の固有振動数を0.94Hzとする。また、構造物に対して作用させる加振波形は、振動評価を行う場合に簡便な正弦波を用いる。その波形の成分は、周波数3Hz、振幅10galの短周期の加速度振動、ならびに周波数1Hz、振幅10galの長周期の加速度振動を考える。そして、構造解析ソフトSAP2000の結果と比較し検証する。

長周期構造物に対して、上述の短周期振動と長周期振動を作用させた結果を図2、図3に示す。

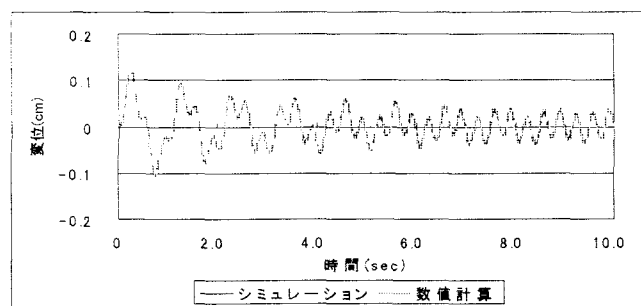


図2: 短周期振動に対する構造物の応答変位

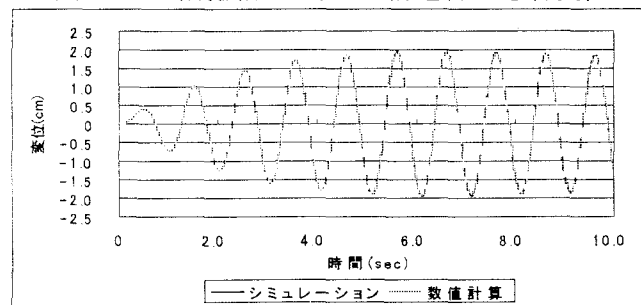


図3: 長周期振動に対する構造物の応答変位

図3から明らかなように、加振波形が構造物の固有周期に近い長周期成分を含んでいるため共振現象が起こり、徐々に変位は大きくなっていることが分かる。また、数値計算(SAP2000)においてもシミュレーションと同様な結果であり、長周期構造物の共振現象を正しく把握できていることが分かる。

4. 実時間ハイブリッドシミュレーション用いた
構造物の保有性能評価

次に、設計された構造物に対して本当に要求された信頼性を確保しているかどうかを評価する手法を提案する。

まず、様々な周波数特性を持つホワイトノイズから表 1 に示す短周期及び長周期成分を有する 2 つの加振波形を作成するためのパラメータを示す。その波形に、包絡曲線を掛け合わせ模擬地震波形を作成する。そして、作成波形の最大加速度を抽出し、最大値分布を作成する。その分布のパラメータを表 2 に示す。

表 1：ホワイトノイズのパラメータ

	短周期加速度振動	長周期加速度振動
パワースペクトル強度 $S_w(\text{cm}^2/\text{sec}^2)$	250	700
円振動数の上限値 $\omega_u(\text{rad}/\text{sec})$	18.84	6.28
円振動数の下限値 $\omega_l(\text{rad}/\text{sec})$	0	0

表 2：最大加速度の分布のパラメータ

	分布 1	分布 2
分布の平均値 (gal)	266	213
分布の標準偏差 (gal)	40.8	43.2

分布 1 は、振動数が比較的高い短周期加速度振動の最大値分布である。分布 2 は、分布 1 に比べ振動数が低い長周期加速度振動の最大値分布を有するものとする。

この地震動を受ける構造物を、目標信頼性指標 $\beta_T=2.0$ を確保するように信頼性設計する。構造物として、単柱の曲げ部材を想定する。その結果、構造モデルの寸法は、幅 80cm、板厚 80cm、長さ 2100cm を得た。このモデルの固有振動数は 0.71Hz である。このモデルを対象として、表 2 の加振波形を用いて実時間ハイブリッドシミュレーションを 500 回および 1000 回実施し、信頼性指標 β を算出した。また確率過程の超過理論(以下超過理論と呼ぶ)に基づいて信頼性指標 β_a も算出した。その結果を表 3 に示す。

表 3：構造物の信頼性指標

	短周期加速度振動	長周期加速度振動
目標信頼性指標 β_T	2	2
実時間ハイブリッドシミュレーションによる信頼性指標 β	2.47	0.66
超過理論による信頼性指標 β_a		4.33

信頼性設計を行った構造物に対して、短周期加速度振動を作用させた場合、表 3 より実時間ハイブリッドシミュレーションによる β がほぼ 2.5 となり、目標信頼性指標 $\beta_T=2.0$ を上回っている。また、超過理論による評価は、破壊確率が 0 に近く、信頼性指標が大きくなったため記載はしていない。すなわち、超過理論による信頼性指標 β_a は、短周期加速度振動

のパワースペクトル密度が小さく、外力波形の影響も考慮されないため、目標信頼性指標 β_T を十分過ぎるほど満足していることになる。

長周期加速度振動に対しては、パワースペクトル密度が大きい値となっており、共振現象も評価されていないため、超過理論による信頼性指標 β_a はほぼ 4.3 で過大な値ではなく、目標信頼性指標 $\beta_T=2.0$ を上回っている。しかし、実時間ハイブリッドシミュレーションによる信頼性指標 β が 1.0 以下となり目標信頼性指標 $\beta_T=2.0$ を下回った。実時間ハイブリッドシミュレーションにおいては共振現象により、許容応力に対する変位を超えてしまい予想より破損確率が大きくなってしまったと考えられる。そのため、実際は目標である安全と信頼性が確保できておらず構造物の設計をやり直すが必要になる。

5. おわりに

本研究では、実時間ハイブリッド実験システムを用いて、評価対象構造物に対しての共振現象を検証するとともに、信頼性設計された構造物に対して要求されている信頼度を確保しているかどうか確認する手法を提案した。その結果、長周期構造物に対して共振現象が発生すると、徐々に変位は大きくなることを示した。長周期構造物の設計を行う場合、共振現象を考慮しないと大きな被害になる恐れがある。また、信頼性設計された構造物に対して、共振現象が発生した場合、目標である安全性と信頼性が確保できていないため、十分注意が必要であることを示した。

今後の課題としては、より精度の高い結果を得るためにはシミュレーション回数を増やさなければならないが、シミュレーションを行うには膨大な時間が掛かる。そのために、シミュレーションの効率化を行う必要がある。また、実時間ハイブリッド実験を実施し、より現実に近い形で保有性能評価を行う必要がある。そして、本研究では線形領域のみの検証であったが、今後は非線形領域による振動解析を行う予定である。

参考文献

1) 堀内敏彦・中川正紀、加振機の応答遅れを補償した実時間ハイブリッド実験システムの開発 (第 5 報 加振機遅れ補償手法の改良), 日本機械学会論文集(C 編), 67 巻 655 号, 667-674, 2001.