

建設省土木研究所 正会員 平沢 高史
建設省土木研究所 正会員 田村 敬一
建設省土木研究所 正会員 中尾 吉宏

1. はじめに

構造物の弾塑性域における応答特性と地震動特性の関係については、未だ未解明の点が多く残されている。本研究では、入力地震動と弾塑性応答のフーリエスペクトルを比較することにより、入力地震動の特性が構造物の弾塑性挙動に及ぼす影響について検討した。

2. 検討条件

弾塑性応答解析には、1 質点系弾塑性型せん断バネモデルを用い、非線形履歴特性としては完全バイリニアモデルを用いた。また、内部減衰は 5%とした。解析対象とした入力地震動は、兵庫県南部地震における神戸海洋気象台記録(NS 成分)を道路橋示方書¹⁾の標準加速度応答スペクトルに適合するように振幅調整した加速度波形(以降、標準波形と呼ぶ)、および、周期が 1.024 秒、振幅が 10.0 の正弦波である。

3. 入力地震動と弾塑性応答のフーリエスペクトルの比較

図-1 には、入力地震動として用いた標準波形と初期固有周期 T の 1 質点系の弾塑性応答について、周期を t とした場合の、それぞれのフーリエ振幅 $Amp1$ 、 $Amp2$ の比 $Amp2/Amp1$ (以下振幅比と呼ぶ)を算出した結果を示す。図では、1 質点系の初期固有周期 T を入力地震動及び弾塑性応答の振幅比を算出する周期 t で正規化しており、図中の実線、破線、点線は、それぞれ、 $t=0.256, 1.024, 4.096$ 秒としたものである。また、図-1 には、正弦波(周期=1.024 秒)を入力地震動として用いた場合の、 $t=1.024$ 秒における振幅比もあわせて示した。図から、入力地震動、1 質点系の固有周期、振幅比を算出する周期に関わらず、標準波形と 1 質点系の弾塑性応答の振幅比 $Amp2/Amp1$ が概ね類似していることが分かる。このことから、正弦波を入力した場合の振幅比を周波数応答関数²⁾として用いることにより、入力地震動のフーリエ振幅スペクトルから弾塑性応答のフーリエ振幅スペクトルを近似的に推定できると考えられる。

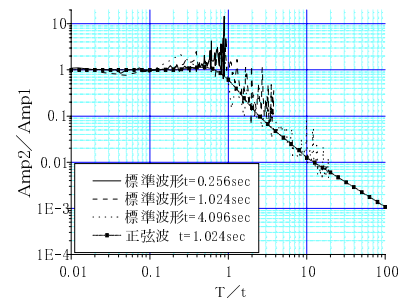
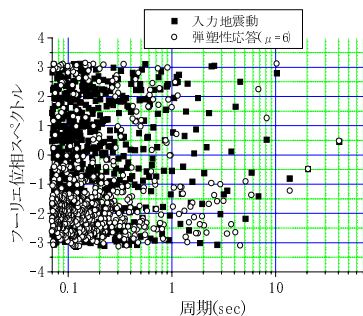
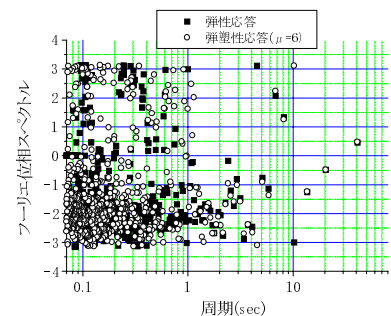


図-1 入力地震動と弾塑性応答の振幅比 ($Amp2/Amp1$) (靱性率 $\mu=6$)

図-2 は、標準波形を初期固有周期 $T=1.024$ 秒の 1 質点系に入力した場合の弾性応答・弾塑性応答のフーリエ位相スペクトル及び入力地震動のフーリエ位相スペクトルを相互に比較したものである。①では入力地震動と弾塑性応答を、②では弾性応答と弾塑性応答を比較している。図から、入力地震動と弾塑性応答の位相スペクトルに比べて、弾性応答と



①入力地震動と弾塑性応答 ($\mu=6$)



②弾性応答と弾塑性応答 ($\mu=6$)

図-2 初期固有周期 1.024 秒の弾塑性系のフーリエ位相スペクトル

弾塑性応答の位相スペクトルは同程度の値をとることが分かる。

4. 入力地震動を用いた弾塑性応答の推定

3. で検討した、入力地震動が弾塑性応答に及ぼす影響に基づき、次のような手順で、入力地震動から弾塑性応答の推定を試みた。①入力地震動のフーリエ振幅スペクトルから周波数応答関数を用いて弾塑性応答のフーリエ振幅スペクトルを算出する。②入力地震動から算出した弾性応答のフーリエ位相スペクトルを弾塑性応答のフーリエ位相スペクトルとする。③フーリエ逆変換により弾塑性応答を算出する。④算出した弾塑性応答の最大値を弾塑性降伏耐力(単位質量あたりの弾塑性応答最大加速度)とする。

上記の方法に基づき、弾塑性降伏耐力の推定を行った。推定に用いた入力地震動は過去の地震で観測された 197 記録 394 成分の強震記録³⁾、及び兵庫県南部地震で観測された 20 記録 40 成分の強震記録である。弾塑性降伏耐力の推定値と弾塑性応答解析により算出した解析値との比較を、図-3 に示す。図には解析値と推定値の関係を一次直線で回帰した関係をあわせて示した。また、図-4 に推定値と解析値の相関関係を、対数回帰計算で求めた相関係数として初期固有周期ごとに示す。図-4 から、靱性率や固有周期に関わらず、相関係数は 0.9 以上を示しており、推定値と解析値の相関が高いことが分かる。また、図-3 から、推定値は解析値とよく一致しているが、推定値は解析値に対してばらつきを有するとともに、弾塑性応答値が小さい範囲では一部推定値が過大評価されていることが認められる。この原因を次のように考察した。まず、図-1 から、 $T/t < 3$ 程度における振幅比は、 $T/t > 3$ 程度における振幅比と比べて値が大きく、相対的にこの範囲の振幅比及び位相特性が推定値に大きな影響を与えていると考えられる。次に、図-2②から初期固有周期 $T(=1.024$ 秒)との関係が $T/t < 3$ 程度となる周期 $t > 0.3$ 秒程度において弾性応答と弾塑性応答の位相の差異は小さく、位相特性が推定値に与える影響は小さいと考えられる。これらより、推定値に大きな影響を与えるのは、 $T/t < 3$ 程度における振幅比であると推察される。これから、本研究では正弦波の振幅比を基に周波数応答関数を設定したが、 $T/t < 3$ 程度における振幅比をよりの確に評価して周波数応答関数の設定を行えば、入力地震動から弾塑性応答値を概ね推定できると考えられる。

5. まとめ

本研究では入力地震動と弾塑性応答のスペクトルを比較することにより、入力地震動の特性が 1 質点系の弾塑性挙動に与える影響について検討した。

図-3 推定値と解析値の比較($\mu=6$) 図-4 推定値と解析値の相関関係

本研究から得られた主な結論は次のとおりである。①正弦波を入力地震動として算出した振幅比($Amp2/Amp1$)を周波数応答関数として用いることによって、弾塑性応答の振幅特性を概ね推定することができる。②同一の入力地震動に対する 1 質点系の弾性応答と弾塑性応答は、ほぼ類似した位相特性をもつ。③これらの関係を考慮して提案した推定法による弾塑性応答の推定値と弾塑性応答解析によって求めた解析値を比較すると、両者はよく一致する。④ただし、推定値が解析値に対してばらつきを有するとともに、弾塑性応答値が小さい範囲では一部推定値が過大評価されていることが認められるが、 $T/t < 3$ 程度における振幅比を的確に評価して周波数応答関数を設定することにより、入力地震動から弾塑性応答値を概ね推定できると考えられる。

参考文献

- 1) 日本道路協会: 道路橋示方書 V 耐震設計編, 平成 8 年
- 2) 大崎: 新・地震動のスペクトル解析入門, 平成 6 年
- 3) 川島・相沢・高橋: 最大地震動及び地震応答スペクトルの距離減衰式, 土木研究所報告第 166 号, 昭和 60 年

