

耐震設計に用いる模擬地震動と非線形応答のばらつきに関する一考察

フクヨシエンジニアリング 正会員 ○藤原 豪紀

広島工業大学工学部 正会員 中山 隆弘

1. はじめに 地震動に対する非線形動的応答を評価して構造物の耐震設計を行う場合、その応答値は入力地震動の予測に伴う不確実性、材料や形状、地盤条件等の構造物に関する不確実性、モデル化に関する不確実性および構造物の塑性化による非線形性等の影響を受けるものと考えられる。四番目の非線形応答に関する問題においては、履歴特性のように構造に関わる問題もあるが、どのような特性をもつ地震動に対する応答であるかという入力地震動との組み合わせも重要である。そこで本研究では、観測地震動の非定常スペクトルと時間に依存する位相を用いて作成した模擬地震動¹⁾を用いて、ほぼ同一の非定常性を有する一群の入力地震動に対する非線形応答のばらつきについて若干の検討を行っている。

2. 入力地震動と非線形応答のばらつき 一群の入力地震動に対する非線形応答のばらつきについて、道路橋示方書（道示）の方法を例として簡単に説明する。道示では、地震動の非定常性が応答に与える影響を考慮して、耐震設計に用いる入力地震動を3波程度選定し、それらの波形に対する応答値の平均値を用いて設計を行うこととしている。しかし、入力地震動の選定数と非線形応答のばらつきの関係については、まだ明確になっていないようである²⁾。表-1には、道示と本研究における設計用入力地震動の比較を示している。表中、 p 継続時間は Trifunac と Brady の定義による継続時間である。道示では異なる地点で観測された異なる地震の地震動を応答スペクトルで振幅調整して入力地震動としている。それに対し、本研究では特定の非定常スペクトルと時間に依存する位相を用いて作成した模擬地震動を入力地震動としている。したがって、入力地震動に対する非線形応答のばらつきと言っても、前者は非定常性の異なる一群の地震動に対するものであり、一方、後者はほぼ一致した非定常性を有する一群の地震動に対するものであるという質的な違いがある。なお表中、本研究の特性の基準をフーリエ振幅・位相としているのは、観測記録の非定常スペクトルと時間に依存する位相を用いて作成した模擬地震動のフーリエ振幅と位相は、ばらつきがあるもののそれらの平均値が観測波のものとほぼ完全に一致すること（図-1と2）、およびフーリエ振幅と位相で規定する方が設計者にとってわかりやすいからである。

3. 非線形応答解析結果と考察 神戸海洋気象台で観測されたEW成分（兵庫県南部地震）と八戸のNS成分（十勝沖地震）を原波形として、それぞれ50波の模擬地震動を作成した。表-2には神戸EWと八戸NS（括弧で示す）の模擬地震動の特性を示している。表中、加速度応答スペクトルの変動係数は、各固有周期に対する応答値の50波の変動係数を求め、さらに周期0.1から8秒の変動係数の平均値を求めたものである。図-1と2の結果も含め、模擬地震動はかなり明確な特性を有しており、それらのばらつきは比較的小さいことがわかる。特に地震動の非定常性を簡便に評価することのできる指標である p 継続時間のばらつきは小さく、各模擬地震動がほぼ同一の非定常性を有していることがわかる。図-3には模擬地震動50波に対する1質点系の非線形応答解析の結果を示している。復元力特性は完全弾塑性とし、減衰定数5%としている。構造の非線形化による影響は変位応答値の変動係数（COV）の増加によって判断できる。降伏震度を小さくすると変動係数が増加し、非線形化が進んでいることがわかる。ちなみに神戸の降伏震度0.3と八戸の同0.1における周期約0.8～1.2秒の応答値の変動係数はそれぞれ20%と29%になる。また周期1秒の応答の最小値に対する最大値の比は、それぞれ2.3と4.6になる。この程度のばらつきになると構造物の設計において無視できないと思われるが、使用した地震動の特性が明確であることから、構造物の耐震信頼性設計に取り入れることは容易である。

4. おわりに 一群の入力地震動に対する非線形応答のばらつきについて、道路橋示方書に示された方法とほぼ同一の非定常性を有する模擬地震動を用いた方法との違いを示し、また模擬地震動に対する非線形応答の

ばらつきの程度を入力地震動の特性のばらつきと併せて示した。ほぼ同一の非定常性をもつ模擬地震動に対する非線形応答のばらつきが地震動のどのような特性に関わるものなのか、今後の課題である。

参考文献 1) 藤原, 中山: 位相の非定常性を考慮した地震動シミュレーション法の開発, 土木学会論文集, 第 661 号/I-53, 2000. 2) 星隈, 運上: 動的解析に基づく耐震設計に用いる入力地震動の数と非線形応答のばらつき, 土木学会第 57 回年次学術講演会, 2002.

表-1 耐震設計用入力地震動の比較

項目	道路橋示方書	本研究
適用範囲	日本全国	特定の地点
使用地震動	既往の強震記録 (3 波程度)	複数の模擬地震動
地震動の非定常性 (p 継続時間)	広い範囲 (タイプ I, II)	限定的 (特定の地震動)
特性の基準	目標応答スペクトル	フーリエ振幅, 位相

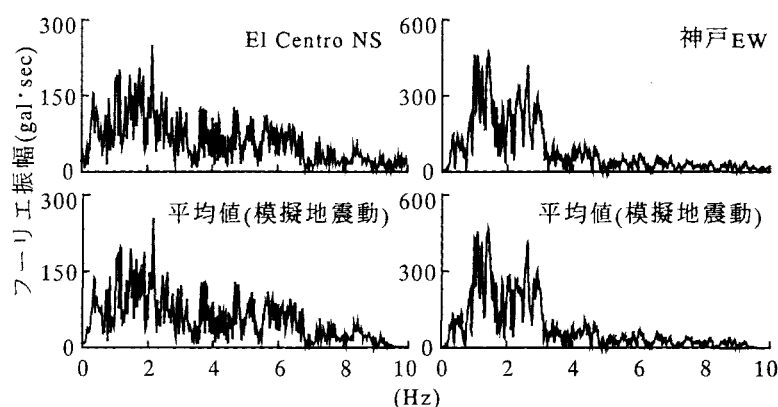


図-1 模擬地震動各50波のフーリエスペクトルの平均値

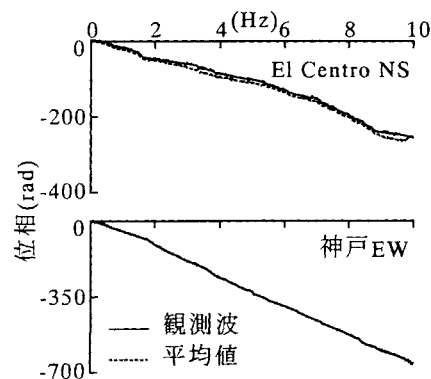


図-2 模擬地震動各50波の位相の平均値

表-2 模擬地震動のばらつき特性

項目	最大加速度	最大速度	P 継続時間	加速度応答スペクトル
変動係数(%)	10.6 (18.3)	13.6 (13.7)	5.5 (1.1)	11.9 (9.6)

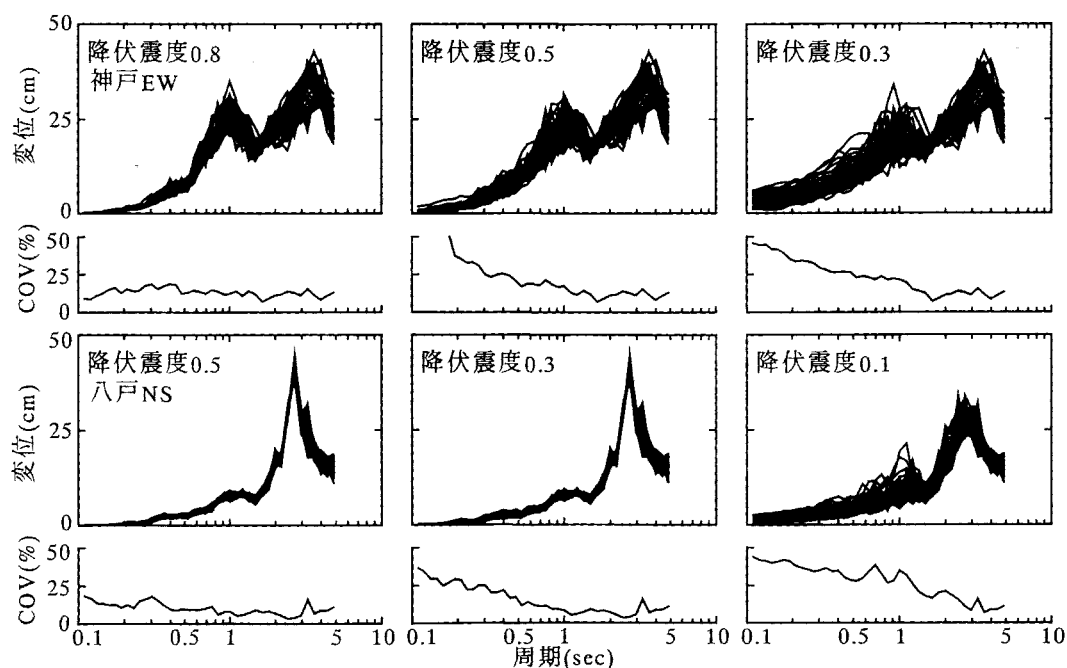


図-3 模擬地震動各50波の非線形応答とその変動係数