

非線形履歴則を有する構造物の非定常入力におけるエネルギー応答の統計的評価法に関する基礎的研究

Statistical Method for Evaluating the Energy Response of Structures Exhibiting Nonlinear Hysteresis Subjected to Nonstationary Input Motion

小山慶樹*
Yoshiki Koyama

研究の目的

エネルギーの釣合いに基づく耐震計算法において、地震時に構造物が吸収するエネルギー応答量が耐震性能の評価指標として重要となる。また、将来起こる地震動を完全に予測することが困難であることから、構造物の耐震性能を把握するためには、地震動を確率的に扱い構造物の応答を統計的に評価することが必要となる。ここでは、構造物を確定的、地震動を確率的に扱い、非線形履歴則を有する構造物のエネルギー応答の評価法を提案し、その応答傾向を把握する。

研究の概要

図-1に非定常入力における非線形履歴則を有する構造物のエネルギー応答の評価フローを示す。図中赤字部分が提案箇所を示す。本報で用いたランダム応答解析法は微分方程式で表現可能な履歴則しか扱えない。そこで、非線形履歴則をRamberg-Osgood (以下、R-O) モデルとして、図-1に示すように荷重 Q -変形 δ 関係が概ね等しくなるように微分方程式で表現可能な Bouc-Wen (以下、B-W) モデルへ近似した。入力地震動は図-2に示すパワースペクトル、図-3に示す振幅包絡線形状を有する地震動を用いた。ランダム応答解析より、総エネルギー入力 $E[V_E]$ 、累積塑性ひずみエネルギー $E[V_D]$ の速度換算値の期待値が得られる。

次に、設定した振幅包絡線形状の全パワーが等しくなるように Bogdanoff の振幅包絡線関数に置換する。また、RMS 変位応答が最大のときの瞬間固有円振動数、瞬間減衰定数と弾性時の固有円振動数、減衰定数を用いて等価線形化を行い、線形履歴則に対して提案されている大井の理論式に代入して、総エネルギー入力 $E[V_E]$ の速度換算値の変動係数 $c.o.v.[V_E]$ を算定した。累積塑性ひずみエネルギー $E[V_D]$ の速度換算値の変動係数 $c.o.v.[V_D]$ は、確率密度関数の変数変換を利用することで算定可能とした。1質点弾塑性系を解析モデルとし、弾性固有周期 T_0 、減衰定数 h_0 、履歴モデルの非線形性 γ 、地盤特性、振幅包絡線形状、入力強度をパラメータに、モンテカルロシミュレーション (以下、MCS) を 10,000 回行い、その結果と提案手法を比較した。図-4に比較例を示す。横軸は最大地動加速度の標準偏差とし、図中プロットが MCS、実線および点線が提案手法を示す。図より、MCS と提案手法は概ね一致しており、提案手法の妥当性が確認できた。

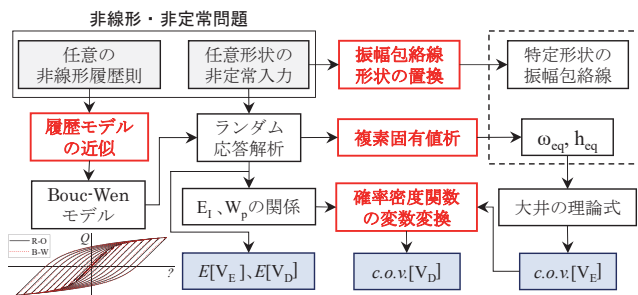


図-1 エネルギー応答の評価フロー

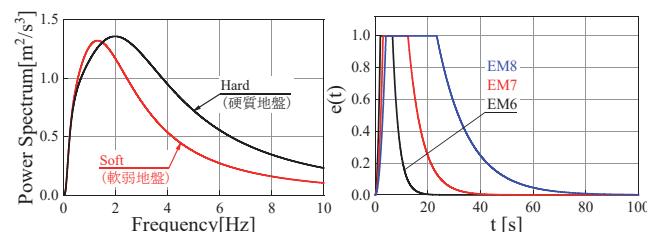
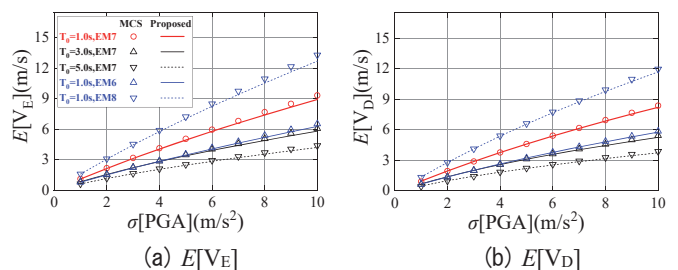


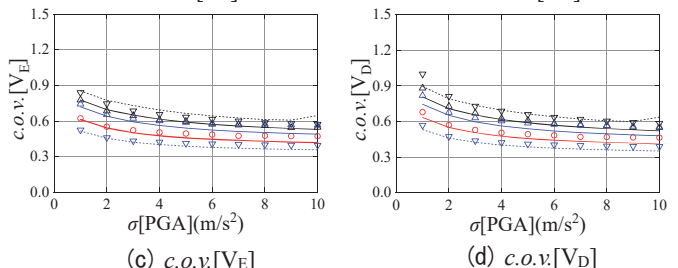
図-2 パワースペクトル

図-3 振幅包絡線形状



(a) $E[V_E]$

(b) $E[V_D]$



(c) $c.o.v.[V_E]$

(d) $c.o.v.[V_D]$

図-4 提案手法とMCSの比較例 (Soft, $\gamma=5, h_0=0.02$)

研究の成果

提案手法により、非線形履歴則を有する構造物の非定常入力におけるエネルギー応答の統計値が評価可能であることを確認した。エネルギー応答は固有周期や振幅包絡線形状による影響が大きい。また、最大地動加速度の標準偏差が小さい領域では、応答の非定常性によりエネルギー応答の変動係数が大きくなる傾向があることが分かった。

*技術研究所建築研究グループ