

1. はしがき

土木構造物における構造部材が動的な荷重を受けて崩壊する場合、その復元力特性は非線形な履歴挙動を示す。本研究は、この履歴復元力特性を1自由度系の動的応答量を与えられた場合、その系の構造特性を非パラメトリック的に調べようとしたものである。履歴復元力特性は、鋼材モデルの双線形型、鉄筋コンクリート材モデルの耐力劣化型等5ケースを取り挙げ、これらの特性を表す非パラメトリック曲面は、慣性力で表したものと2次元ウェブレット変換関数を用いたものとで視覚的に表示し、考察した。

2. 基礎式の誘導 地震動を受けることにより耐力劣化型モデルのような復元力特性は、系の特性を時々刻々変化させることになる。いま、地動変位を受ける1自由度非線形非パラメトリック処理は、Masri-Caughey¹⁾に従う。すなわち、応答の変位を x 、速度を y と表すと運動方程式より、

$$f(x, y) = -(\ddot{x} + \ddot{z}) = 2\beta\omega_0 y + \phi(x) \quad (1)$$

ここに、 $\phi(x)$ ：復元力特性、 ω_0 ：構造系の初期剛性による固有円振動数、 β ：減衰定数、 $\ddot{z}$ ：地動加速度と与えられる。いま、系に作用する慣性力 $f(x, y)$ は、速度と変位とによって与えられ、 y に対しては線形（一般的には非線形も可）と仮定し、復元力特性に対しては x によってモデル化されるとする。このような部材構造系において慣性力、変位、速度に対する時刻歴データが何かの方法で観測されている場合、この系の構造特性を同定する。変位と速度によって特性づけられた慣性力を表す曲面が定義づけられればよい。本研究では、この曲面の特性を与える関数として2次元ウェブレット変換関数を用いた。すなわち、

$$f(x, y) = \sum_j \sum_n \sum_m D_j f \Psi(x - 2^{-j}n, y - 2^{-j}m) \quad (2)$$

ここに、 $D_j f = \langle f(u, v), \Psi(u - 2^{-j}n, v - 2^{-j}m) \rangle$ (3) と表せる。ウェブレット変換関数は、分解係数 j の次数によって求めようとする曲面における急激な変化を与える位置を鮮明に抽出する特徴をもっている。上式の関数 Ψ は2次元ウェブレット関数を示すが、2次元ウェブレット関数は形式的に4種類作成することができる。本研究では、図1に示す1次元ウェブレット関数の2次元に拡張したものを用いた。

3. 計算アルゴリズム まず、変位・速度の時刻歴データは、全データの継続時間中最大および最小値を用いて、つぎのように基準化した量に変換する。

$$\dot{x}_i = \frac{x_i - (x_{\max} + x_{\min})/2}{(x_{\max} - x_{\min})/2}, \quad \dot{y}_i = \frac{y_i - (y_{\max} + y_{\min})/2}{(y_{\max} - y_{\min})/2} \quad (4)$$

このように基準化すると値は $[-1, 1]$ の範囲で表される。つぎに、慣性力を変位、速度による曲面で表示させるためには、等間隔の網目状の節点に対する値に変換

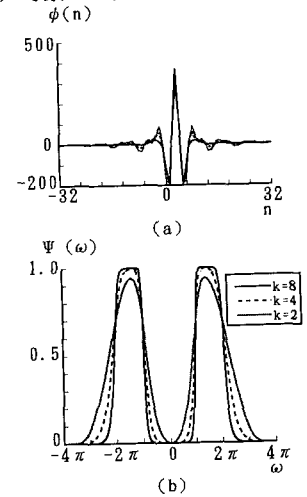


図1 ウェブレット関数

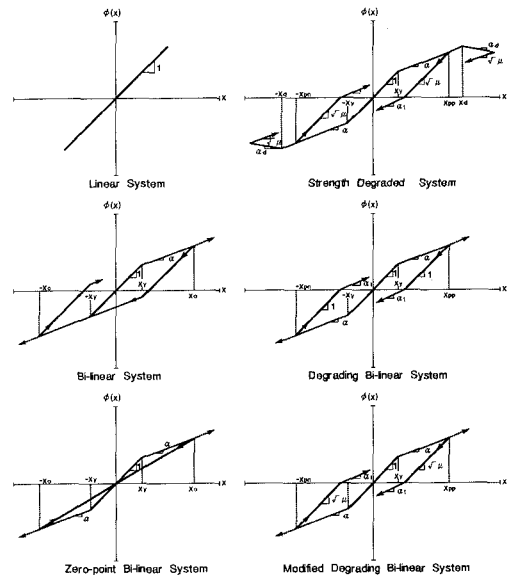


図2 設定履歴復元力特性

する．ここでは，網目の4節点で構成される部分の曲面 最小自乗法で平面として値を決定する．また，系の応答は平均値近傍から曲面の形状を螺旋状に決めるアルゴリズムを作成する．さらに，初期値は，系の平均軸からのシフトした状態で応答していることも考慮して処理する．つぎに2次元ウェブレット変換関数は式（2）における $D_{j,f}$ の係数を直接計算する方法は用いず，式（2）の2次元フーリエ変換された量に対して演算する方法を用いて求める．したがって，網目によって構成される要素数は各成分が2の冪乗個に分割する．

4. 数値シミュレーション 設定した履歴復元力特性（線形型を含む）は，図2に示すような特性のものをを用い，応答シミュレーション結果の一部を示す．図3は，入力波形を原記録の2倍にしたときの10秒間隔の耐力劣化型に対する履歴特性と時刻歴応答特性を示している．この例は，入力が30～40秒の区間に入ると非線形履歴を描いている．図4は，この時間における慣性力－変位－速度の種々の復元力特性に対して3次的に図示したものである．図からわかるように，線形系での応答では平面を形成しているが，降伏応力を越した履歴応答の状態では平均軸を中心に波面の拡がりのような曲面を形成している． $y = 0$ で

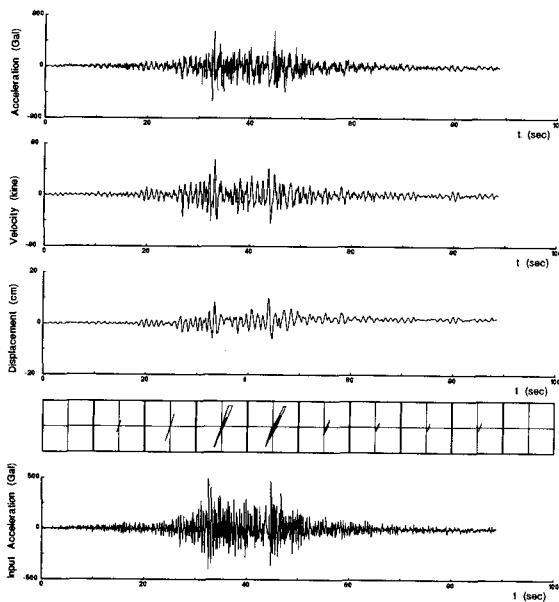


図3 耐力劣化型モデルの履歴特性

x の平面の傾きが剛性 ω^2 を， $x = 0$ で y の平面の傾きが減衰定数 β に換算して求められる．図5は時刻30～40秒区間での線形型と耐力劣化型の分解係数 $j = -1, -2$ についての $D_{j,f}$ を示している．図からわかるように線形型，劣化型共に曲面の $x = 0$ 上の $y = \pm 1/2$ に相当する部分に大きな値が示されている．

なお，他の復元力特性の結果等については，発表時に示す．

5. あとがき 本研究は，部材構造系の動的応答特性を時刻経過，履歴復元力の種類，入力レベル等について3次的に表示した．また，特性の抽出には2次元ウェブレット変換関数を用いても行った．

参考文献：1) S. F. Masri, T. K. Caughey: A Nonparametric Identification Technique for Nonlinear Dynamic Problems, ASME, Vol. 46, 1979, pp. 433-447.

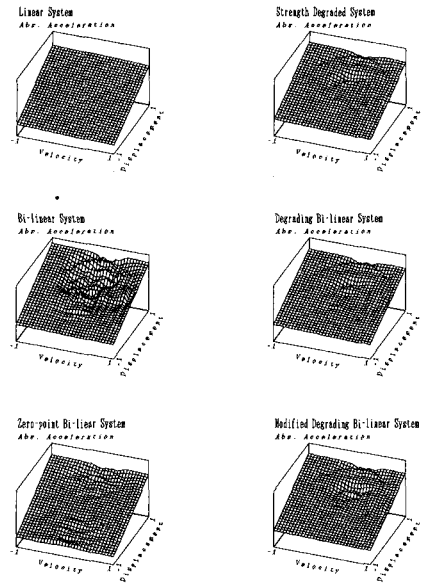


図4 慣性力－変位－速度の非パラメトリック表示

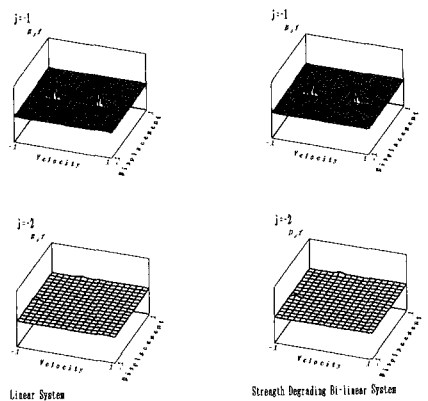


図5 2次元ウェブレット表示