(Ⅰ－23)　非線形弾性構造物の同定

東京電機大学　大 学 院　学生員○栗田哲史
東京電機大学　理工学部　正　員　松井邦人

1　はじめに

近年、既設構造物の耐震、耐風に関する健全度を評価するのため、構造物の応答を計測し、その特性を推定することが行われている。これ等は、ほとんど上部構造を対象としたものである。また、上部構造は理論的にもかなり精度良く評価できる。一方、構造物の基礎の質量、剛性、減衰等を理論的に評価することは難しい。しかし、基礎に関連するそれらのパラメータを精度良く推定しておく必要がある。

本研究は、著者らの提案するGauss-Newton法を用いる手法により、非線形弾性を示す基礎を含む構造物の動的挙動より基礎の振動特性及び、質量の同定を行うものである。

2　同定手法

対象とする構造物として図－1に示すようなモデルを想定する。ここで、質点1の復元力特性を次のように定義する。

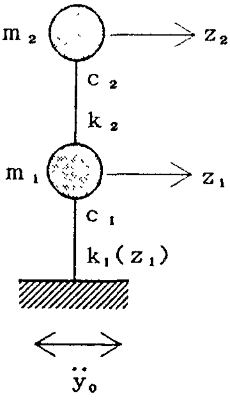
$$k_1(z_1)=a_1 z_1+a_2 z_1^3 \qquad (1)$$

上記の式を用いて運動方程式は

$$m_2(\ddot{z}_2+\ddot{y}_0)+c_2(\dot{z}_2-\dot{z}_1)+k_2(z_2-z_1)=0 \qquad (2)$$

$$m_1(\ddot{z}_1+\ddot{y}_0)+c_1\dot{z}_1+a_1 z_1+a_2 z_1^3-c_2(\dot{z}_2-\dot{z}_1)-k_2(z_2-z_1)=0 \qquad (3)$$

と表せる。ここで、m_1, m_2は質量、c_1, c_2は減衰係数、k_2は剛性、$\ddot{y}_0$は入力加速度である。今、観測波は質点2の加速度応答のみであり、質点2における測定値が$\ddot{u}_2$、測定誤差が$\varepsilon_2(t)$で表されるとすると、



図－1　解析モデル

$$\ddot{z}_2(t)=\ddot{u}_2(t)+\varepsilon_2(t) \qquad (4)$$

の関係が成立する。未知パラメータをx_ℓ (ℓ=1～M)とすると、

$$\mathbf{x}=\{c_1,\ a_1,\ a_2,\ m_1\} \qquad (5)$$

と表せる。Gauss-Newton法の考え方に基づき、評価関数Jを次のように定義する。

$$J(\mathbf{x})=\int_{t_0}^{t_1}\left(\ddot{z}_2+\sum_{K=1}^{M}\frac{\partial \ddot{z}_2}{\partial x_K}\delta x_K-\ddot{u}_2\right)^2 dt \qquad (6)$$

パラメータの決定は、$\mathbf{x}$を仮定して式(6)が最小となるように$\delta\mathbf{x}$を決定する。必要条件 $\frac{\partial J}{\partial \delta x_\ell}=0$より

$$\sum_{\ell=1}^{M}\int_{t_0}^{t_1}\left(\frac{\partial \ddot{z}_2}{\partial x_k}\frac{\partial \ddot{z}_2}{\partial x_\ell}\right)dt\cdot\delta x_\ell=-\int_{t_0}^{t_1}\left\{(\ddot{z}_2-\ddot{u}_2)\frac{\partial \ddot{z}_2}{\partial x_k}\right\}dt \quad (k=1\sim M) \qquad (7)$$

式(7)は$\delta\mathbf{x}$に関する連立方程式であり、容易に解くことができる。ここで、$\ddot{z}_2$の同定パラメータに関する偏微分係数は動的感度であり、運動方程式をx_kで偏微分し、数値積分により求められる。

3　解析結果と考察

数値シミュレーションで用いたモデルの諸元は、

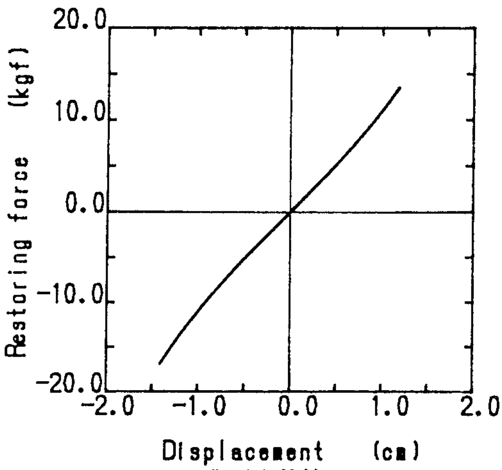
質量	$m_1=m_2=0.1\mathrm{kgf\cdot sec^2/cm}$
減衰係数	$c_1=c_2=0.1\mathrm{kgf\cdot sec/cm}$
剛性	$k_2=8.0\mathrm{kgf/cm}$
復元力特性の係数	$a_1=10.0\mathrm{kgf/cm}$、$a_2=1.0\mathrm{kgf/cm^3}$

とした。これらの値により応答計算をした結果を観測波としてt_0=0秒からt_1=20秒まで用いた。応答計算及び応答の感度計算にはRunge-Kutta法を用い、時間刻みは$\Delta t=0.02$秒とした。入力加速度はEl-Centro波のNS成分を最大加速度50galに調節して用いた。観測波の復元力特性を図－2に示す。

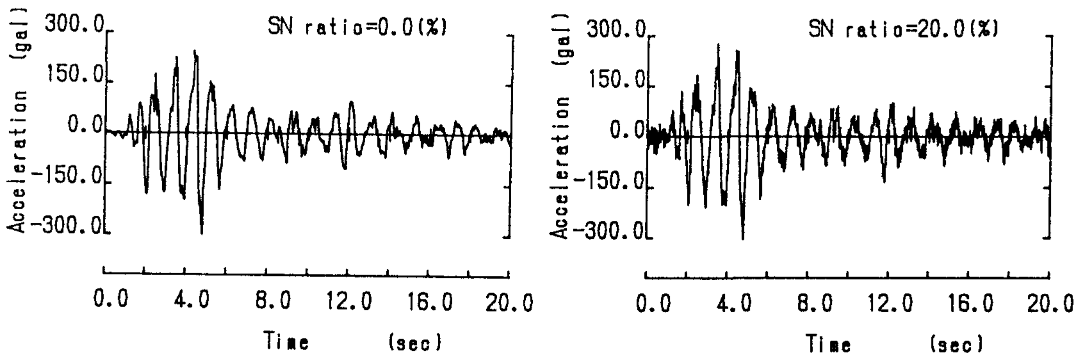
振動特性と共に質点１の質量も未知であるため、観測波は質点２の応答値のみ用いる。また、測定誤差の影響を調べるため0.1Hz～25Hzまでのバンドリミテッドホワイトノイズ$\varepsilon(t)$を作成し、ＳＮ比を

$$\text{ＳＮ比}=\frac{\max|\varepsilon(t)|}{\max|\ddot{z}(t)|}$$

と定義してＳＮ比 5%、10%、20%それぞれのノイズを応答加速度に加え解析を行った。ＳＮ比 0%、20%の場合の質点２における時刻歴応答波形は図－３に示す通りである。ノイズを含んだデータを用いて同定を行った結果を表－１にしめす。表よりわかるように、ＳＮ比が大きくなるに従い推定値の真値に対する誤差が大きくなるが、ＳＮ比20%とかなり大きなノイズレベルでも精度良く同定できることが解る。



図－２　復元力特性



図－３　応答波形

表－１　同定結果

ＳＮ比	５％	１０％	２０％
c_1 (kgf·sec/cm)	0.099410	0.099812	0.10057
a_1 (kgf/cm)	10.033	9.8779	10.172
a_2 (kgf/cm^3)	1.0306	0.98962	1.0483
m_1 (kgf·sec^2/cm)	0.10130	0.096703	0.10521

４　まとめ

基礎が非線形弾性の２質点系モデルについて、入力波と上部構造の加速度応答波を用いて同定を行った。結果より、非線形弾性を示す振動においても同定が可能であることが解る。測定誤差に関しては、ＳＮ比がかなり大きくても各パラメータの推定が可能であることが解る。また、基礎の振動の場合、土の付加質量を考慮する必要があるが、本手法は付加質量を含む基礎の質量も未知パラメータとして扱うことにより質量も推定した。