

ロッキング振動の存在下における上部構造物の同定に関する一考察

徳島大学大学院○学生員 周 演 兵庫 県 正 員 八木俊樹
徳島大学工学部 正 員 沢田 勉 徳島大学工学部 正 員 平尾 潔

1. はじめに 上部構造物の各質点の地震記録には、水平動のみならず、ロッキング振動が含まれる。したがって、基礎固定としてモデル化した上部構造物の同定において、ロッキング振動がどの程度の影響を及ぼすかを明らかにすることは重要である。また、ロッキング振動の振幅は、水平動のそれに比べてかなり小さいので、ロッキング振動に含まれるノイズの割合は、大きいと考えられる。このような観点より、上部構造物の各質点の水平動および基礎上面の水平動とロッキング振動の観測記録が得られたという前提のもとに、ロッキング振動を考慮した場合の上部構造物の同定が可能か否かを検討する。また、ロッキング振動に含まれるノイズの割合が上部構造物の同定精度に及ぼす影響を検討する。

2. 手法の概要 図-1のような構造物-基礎系において、各質点の観測記録 $z_i(t)$ 、基礎のロッキング振動 $\theta(t)$ と基礎上面での水平動 $z_0(t)$ の記録が得られているとする。なお、加速度応答記録にホワイトノイズを付加して観測記録とした。このうち、基礎上面での水平動 $z_0(t)$ は、次式より求めた。

$$z_0(t) = z_H(t) + h_R \theta(t) \quad \dots (1)$$

ここで、 h_R は基礎上面からロッキング中心までの距離、 $z_H(t)$ はスウェイ振動である。

このとき、上部多自由度系モデルの運動方程式を絶対加速度、速度および変位を用いて表すと次のようになる。

$$[M]\{\ddot{z}(t)\} + [C]\{\dot{z}(t)\} + [K]\{z(t)\} = \{f(t)\} \quad \dots (2)$$

ここで、 $\{z(t)\} = \{z_1(t), \dots, z_n(t)\}$ は上部多自由度系に含まれる各質点の絶対変位、 $[M]$ =質量行列、 $[C]$ =減衰行列、 $[K]$ =剛性行列である。また、右辺の $\{f(t)\}$ は次のようになる。

$$\{f(t)\} = \begin{Bmatrix} c_1 h_1 \ddot{\theta}(t) + k_1 h_1 \theta(t) \\ \vdots \\ (c_1 h_1 - c_{n-1} h_{n-1}) \ddot{\theta}(t) + (k_1 h_1 - k_{n-1} h_{n-1}) \theta(t) \\ \vdots \\ (c_n h_n - c_{n-1} h_{n-1}) \ddot{\theta}(t) + (k_n h_n - k_{n-1} h_{n-1}) \theta(t) \\ + c_n \dot{z}_0(t) + k_n z_0(t) \end{Bmatrix} \quad \dots (3)$$

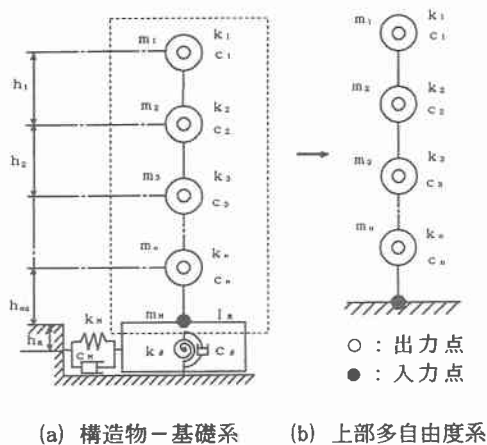


図-1 多自由度系モデル

上部多自由度系の同定では、次に示す離散型非線形状態方程式と離散型非線形観測方程式を線形化した拡張カルマンフィルターを用いて同定計算を行う。

$$X(k+1) = g(X(k)) \quad \dots (4), \quad Y(k) = h(X(k)) + v(k) \quad \dots (5)$$

ここで、 X =状態ベクトル、 Y =観測記録、 v =ホワイトノイズであり、 k 、 $k+1$ は時刻を表す。式(4)の状態方程式は、式(2)の運動方程式の数値積分(Newmark β 法)を基本とし、これに各質点のパラメータ(加速度、速度、変位、ばね定数、減衰係数)を並列に組み込んだものである。以上のような拡張カルマンフィルターによる一括同定法を用いて、各時刻の状態推定量を逐次同定する。

3. 数値計算および考察 基礎上面でロッキング振動と水平動の観測記録が得られたという条件下で、拡張カルマンフィルターを用いて、線形5自由度系の各質点のばね定数および減衰係数を同定する。本研究では、実際の観測記録は用いず入力加速度としてエルセントロ地震波を用いて応答計算したものにノイズを付加しこれを観測波形として用いた。ただし、観測記録は絶対加速度時刻歴とする。また、時間刻みは

$t=0.02$ (sec), 継続時間は40.96 (sec)とした。表-1には応答計算および同定計算に用いた線形5自由度系の諸元(質量,ばね定数,減衰係数)を示す。

表-1 5自由度系の諸元

質点番号 No.	質量 m [kg]	ばね定数 $k \times 10^4$ [kg/s ²]		減衰係数 c [kg/s]		層間の 高低差 h [cm]
		真 値	初期値	真 値	初期値	
1	3	0.4	0.6	8	12	300
2	4	0.6	0.9	12	18	300
3	5	0.8	1.2	16	24	300
4	6	1.0	1.5	20	30	300
5	7	1.2	1.8	24	36	300
スウェイ	50	8.0		160		
ロッキング	2500	50.0		1000		200

(1) ロッキング振動を考慮した場合の同定結果

ここでは、基礎上面で水平動およびロッキング振動の観測記録が得られた場合の上部構造物の同定が可能

か否かを検討する。図-1は観測記録ノイズが1%の場合の同定結果である。図において、横軸は時間、縦軸は各時刻における推定値/真値の比である。この図より、ロッキング振動を考慮した場合でも、すべての質点で収束性が良く、同定することが可能であることが分かる。

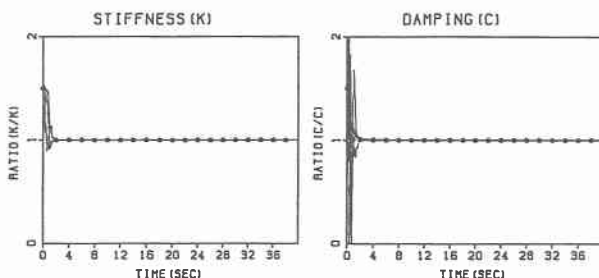
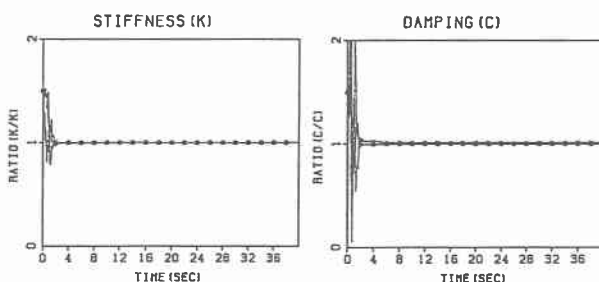
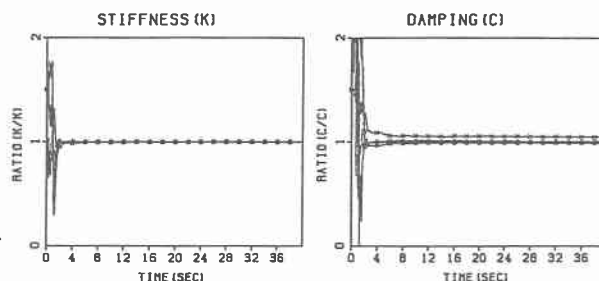
(2) ロッキング振動に含まれるノイズが同定精度に及ぼす影響

一般に、ロッキング振動の振幅は水平動のそれに比べてかなり小さいので、ロッキング振動の観測記録はSN比が小さく、ノイズが含まれる割合が高いと考えられる。そこで、水平動の観測記録に含まれるノイズに対するロッキング振動のノイズの割合($R/I/S/I$)を4倍とし、入力点(基礎上面)での水平動の観測記録と出力点の観測記録に、2%および6%のノイズが含まれる場合について同定した場合の同定精度および収束性を検討する。図-2、図-3は観測記録ノイズを2%および6%付加した場合の同定結果である。これらの図より、観測記録に含まれるノイズの割合が数%程度であれば、解の収束性は良く真値に近い同定結果が得られることがわかる。

4. おわりに 本研究では、基礎上面の水平動およびロッキング振動の観測記録を入力として上部構造物のパラメータを同定した。その結果、同定することは可能であることが分かった。

また、ロッキング振動の観測記録に含まれるノイズの割合が数%程度であれば精度良い結果が得られることが分かった。

5. 参考文献 (1)有本 卓;カルマンフィルター,産業図書,1979. (2)W.C.Oreta;Localized Identification Of Structures By Kalman Filter, JSCE, Vol.9, pp19-27, 1993. (3)C.G.Koh; Estimation Of Structural Parameters In Time Domain A Substructure Approach, EESD, Vol.20, pp787-801, 1991

図-1 同定結果 (観測記録ノイズ 1%, $R/I/S/I=2$ 倍)図-2 同定結果 (観測記録ノイズ 2%, $R/I/S/I=4$ 倍)図-3 同定結果 (観測記録ノイズ 6%, $R/I/S/I=4$ 倍)