ワイヤレス型構造同定システムの開発とその利用

京都大学　正会員　○佐藤　忠信
京都大学　学生会員　鄭　明辰
京都大学　学生会員　荻山　和樹

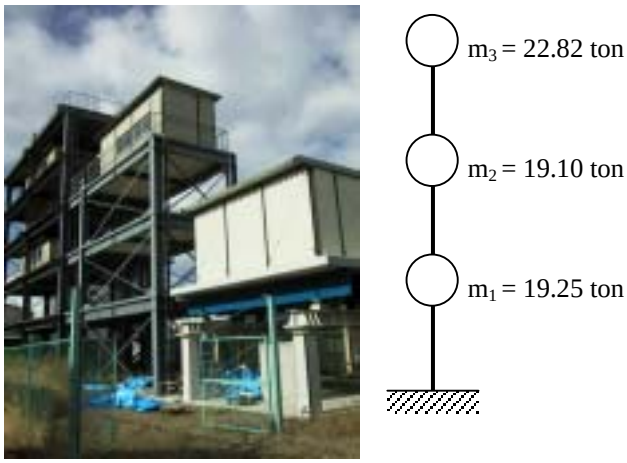
１．はじめに

土木構造物は疲労荷重あるいは地震によって，損傷を受ける．特に，地震による構造物の被災状況を迅速かつ定量的に把握する事は二次災害の防止や適切な補修の為に大変重要であり，損傷診断又は評価に関する技術の確立が重要な課題となっている．これまでに，構造物の健全性を推測し，損傷を評価するために様々な手法が開発されているが，本研究ではワイヤレス計測データ送信装置を用いて、構造同定を行うシステムを開発し、そのシステムの有用性を実構造物において検証する。

図－1 全体図

２．ワイヤレス計測データ送信装置

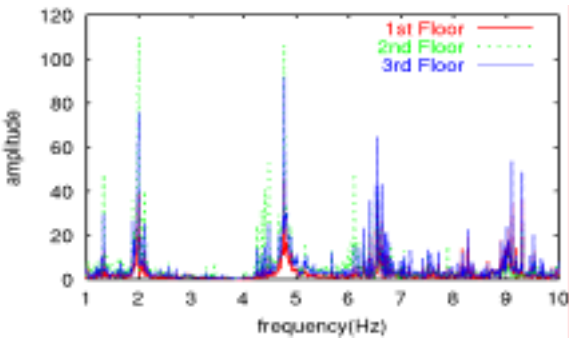
ワイヤレス計測データ送信装置は、構造物の各種計測信号をワイヤレスで容易に転送するための装置である。これを用いることで、センサーからのアナログ値をデジタル信号に変換し、無線通信を使って離れた親局に送信することが可能である。また、親局に接続されたホストパソコンで構造物の同定を行うことができるシステムである。図－1 にその全体図を示す。無線通信には、LAN 規格（IEEE802.11b）を用いる。また、最大子局数は 4 台、32 チャンネルのデータ送信が可能である。計測ユニットは 100Hz でサンプリングを行い、分解能は 16 ビットである。通信プロトコルは UDP 及び TCP を用いている。この 2 つのプロトコルによりコマンド部とデータ部を使い分ける。サンプリングの同期精度については、1ms 以内を 10 分間維持することが可能であり、サンプリングの同期方法は UDP によるブロードキャストを用いる。また、計測ユニットへの最大センサー接続数は 8 チャンネルである。



図－2　3 層フレーム

３．実構造物における検証

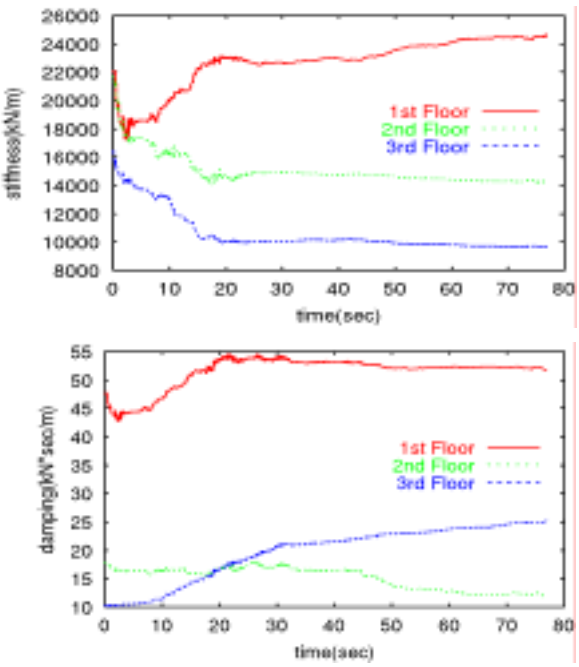
ワイヤレス計測データ送信装置及びカルマンフィルタ [1), 2)] を用いた構造同定システムを、図－2 に示す京都大学宇治キャンパスにある実構造物で検証する [3)]。実構造物は 3 層フレーム



図－3　各層の伝達関数

キーワード：ワイヤレス計測データ送信装置，構造同定，カルマンフィルタ，常時微動
連絡先：（住所）611－0011　京都府宇治市五ヶ庄　京都大学防災研究所（電話）0774－38－4071

構造である。最上階にあるプレハブ小屋で、構造物を加振することが可能である。同定システムを検証するための実験では、常時微動に対する構造物の応答計測を行った。常時微動計測結果を用いて構造物の動特性の同定を行うために、帯域通過フィルタ(BPF)を用いて、1~10Hz 範囲でフィルタリングを行った。得られた各層の相対加速度を積分することで速度、変位を得た。解析モデルとしてはせん断型3自由度系モデルを用いる。各層の質量が既知であり、各層の相対加速度と速度が観測値として与えられている条件の下、各層の粘性減衰係数と剛性をこれまで開発済みカルマンフィルタで同定した。常時微動計測結果を用いて、求めた各層の伝達関数を図－3 に示す。2Hz、4.9Hz、6.5Hz に卓越な振動数が見られる。図－4 に粘性減衰係数と剛性の同定時刻歴を示す。各層の剛性はほぼ一定値に収束しているが、粘性減衰係数の収束は剛性に比べて悪いことが分かる。各層の60秒以後の粘性減衰係数と剛性の値の平均値を同定値と考え、以外の値を求めた。

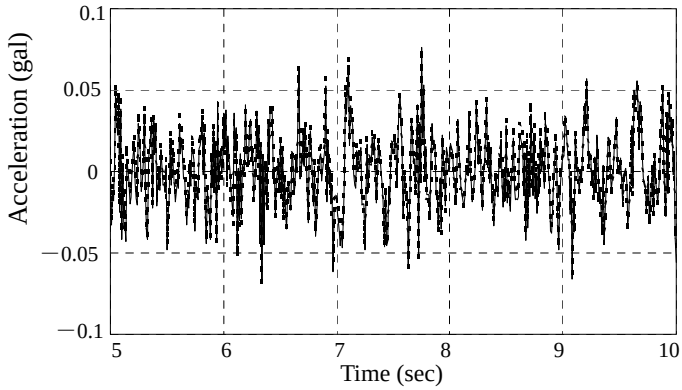


図－4　粘性減衰係数と剛性の同定時刻歴

$k_1 = 23000\text{kN/m}$,　$k_2 = 16000\text{kN/m}$,　$k_3 = 8000\text{kN/m}$

$c_1 = 53\text{kN}\cdot\text{sec/m}$,　$c_2 = 13\text{kN}\cdot\text{sec/m}$,　$c_3 = 25\text{kN}\cdot\text{sec/m}$

同定された粘性減衰係数と剛性からなるモデルを同定モデルと呼ぶ。同定モデルに観測した 1 層床面での加速度時刻歴を入力とするときの最上階床面の加速度応答と観測値の比較を図－4 に示す。再現値と観測値はほぼ一致しており十分な再現が行われている。



図－5　再現応答と観測値の比較

―― 再現値　　---- 観測値

4．まとめ

本研究では、ワイヤレス計測データ送信装置を開発し、その有用性を実証した。さらに、常時微動計測結果に基づき、カルマンフィルタで実大構造物の動特性の同定を行った。そして、同定モデルを用いて応答の再現を行うことができた。今後は、モンテカルロフィルタ用いて、3 層フレーム実構造物の同定を行って、カルマンフィルタでの結果する予定である。さらに、他の実構造物の計測を行って開発したシステムの有用性を検証する。

参考文献

1）Sato, T. and Oi, K.： Adaptive H_∞ filter : its application to structural identification, *Journal of Engineering Mechanics Division*, ASCE, 124(11), 1233-1240, 1998.

2）佐藤忠信, 竹井賢二：適応型カルマンフィルタの開発とその応用, 土木学会論文集, No. 584/I-42, pp162-173, 1998.

3）佐藤忠信，梶啓介：モンテカルロフィルタを用いた構造同定，土木学会論文集，No. 675/I-55，pp161-170，2001.