

健全性評価のための地震センサの試作と試験観測

東洋大学 正会員 ○鈴木 崇伸
 東京大学地震研究所 正会員 堀 宗朗
 (株)山武 古川 洋之

1. はじめに

地震動の計測は、構造物に加わる地震力を知るために始められ、稀に発生する強い揺れの計測に主眼が置かれていた。こうした強い揺れの観測データは大きな地震に備える耐震設計の基礎データとして活用され、日本のインフラ設備の耐震性能の向上に寄与してきた。公的機関の地震観測は観測点数が年々増加しているのに対し、個々の構造物の観測は不十分な状態といえ、日本建築学会強震観測小委員会では、全国的な建物の観測ネットワークの強化を提言する一方で、問題点として建物健全性の評価、いわゆるヘルスマonitoringに地震観測データが活用されていない点を上げている。

今回の研究は、健全性評価に特化した地震計の要求条件を明確にするために、24bit・2kHz サンプリングという高性能な地震計を試作して現地観測を行い、高品質の観測データにもとづいて健全性評価指標の検討を行っている。仙台市内において2005年4月から始めた試験観測で、同年8月16日の宮城県沖の地震によるビルの揺れを計測できたほか、中小地震の観測データの蓄積も進みつつある。一定の要件を備えた観測システムであれば、中小地震であっても健全性評価に必要な特性値を得ることは可能であると考えられ、より多くの構造物で健全性評価のための観測が行われるようなシステム開発が急務であると考えられる。

2. 健全性評価用地震計の必要性

本研究は、普及型の廉価な地震計を開発し、構造物に配備することにより応急復旧を高度化することを目標としている。被災度や残余耐震性能を定量的に判定するためには、複数の地震計を構造物に展開し、加速度・速度・変位の応答の時刻暦を計測し、震動台実験と同様の計測ができることが望ましい。この条件が開発する地震計の性能を規定する。残余耐震性能の判定には、固有周期の変化の計測に留まらず、構造工学的により重要なモード変化等も計測できることも念頭に置くことも望ましい。震動台実験と同様の計測環境を実際の構造物の中で作るとは決して容易な課題ではない。計測機は勿論、データの伝送・保存・分析に労力がかかるからである。しかし、現在の情報通信技術を使えば、廉価なセンサを開発し、しかも、ネットワーク化することは実現可能である。逆にこのような計測を前提とすれば、経験的な判定を下さざるを得ない応急被災度判定を高度化することが可能となる。すなわち、計測可能な指標を使って被災度や残余耐震性能を客観的に判定するのである。

構造物の運動計測において加速度計測が重要であることはいままでもない。しかしながら前述のような健全性評価を行うためには、加速度データだけでは十分とはいえず、同期がとれた複数台の情報と、正確な変位データがそろえることが望ましい。特に構造物の健全性評価に有力と考えられるヒステリシスの分析には、一定の要求条件を満足する観測データが必要となることが認識された。この要求条件にみあったシステムが、現状の技術の組み合わせで構成できるか、また克服すべき技術課題は何かを明確にし、健全性評価のための多様な出力が得られるハイブリッド地震計を最終的な到達目標と考えている。

3. 試験観測システムの構成

精度よく変位を計測でき、複数の加速度計測が可能なシステムを現状の技術で構築して、その商品化にあたっての問題点を明確にする必要がある。計測対象は平均的な鉄筋コンクリート造の建築物として、計測システムを検討した。この試験システムを運用することにより、問題点の技術的解決を図り、より安価に適切な出力が得られるセンサが、前述のハイブリッド地震計となる。

図7に今回、計測対象とした仙台市内の11階建てRC建築物の試験観測システムの構成図を示す。システムの構成は、①加速度計測装置（今回は3台）、②ローカル収集装置、③遠隔監視装置の3つの構成要素により建物の多点同期加速度計測システムを実現している。構内配線に関する手間は現用の施設での観測において最も問題になる点であり、同期データを簡易に取得する技術は健全性評価のための基本的な要求条件といえる。試作した試験観測システムでは、時刻ずれの影響を明確にするために、0.6msの同期性能を達成し、また変位算定機能の要求条件を明確にするために2kHzの測定を行っている。

表1に試験観測システムの仕様を示す。健全性評価のために必要な要求条件を明確にするために、過大なシステム構成として、観測データを分析し、どこまでデチューンできるかを検討する予定である。試験観測システムの特長について説明する。

(1)同期記録機能：建物の相対変位を計測するためには複数の計測ポイントでの加速度計測データの同期を取る必要がある。

今回、有線自動同期記録機能の開発を行い、デジタル信号による記録トリガの遅延は、総延長300mの以内の配線で100μs

キーワード 健全性評価、ハイブリッド地震計、試験観測、時刻同期、高速サンプリング

連絡先：350-8585 川越市鯨井2100 東洋大学工学部環境建設学科

- 以内となることを確認している。
- (2)高速サンプリング：積分計算の精度を向上させるためにサンプリング周波数をできるだけ高速化する。「CPU+AD コンバータ」の一般的な回路構成では、CPU の他の演算処理、記録、通信等の制御負荷により AD コンバータの 1kHz 以上の高速制御が実現できない問題が生じる。図 2 の回路ブロック図に示す様に、AD コンバータの高速制御用に専用インターフェイス IC の開発を行い、2kHz の高速サンプリング計測を可能とした。高速サンプリングと有線同期記録機能によって、トータルで 1 サンプリング周期+有線同期信号の伝達遅延による±0.6ms 以内の高精度の多点同期記録を実現している。
- (3)加速度分解能：ソフトウェア信号処理の研究を目的として、ノイズ除去用の高次アナログフィルタの採用と高精度 AD コンバータの採用の検討を行い、ソフトウェアフィルタ処理を行っていない状態での加速度の計測精度を向上させる。計測加速度 3 軸に対して独立した 6 次のアナログローパスフィルタと 24bit デルタシグマ型 AD コンバータを採用することにより、ソフトウェアフィルタ処理を行っていない状態で±1Gal 以内の加速度分解能を実現している。
- (4)大容量データ通信：今回設置した試験観測システムでは 1 加速度計測データ当たり 24bit, 2kHz サンプリング, 120 秒間のデータとなり、1 セット (3 台) 8.64Mbyte の大容量波形データとなる。加速度計測装置内の高速メモリでは、連続して波形保存ができないため、ローカル収集装置のメモリカード 512MByte をバッファとして使用することにより、最大 50 セットの記録を保存することを可能とした。ローカル収集装置に保存された波形データは、ASDL 回線を使用して 1 セット 45 秒で遠隔地より読み出すことができる。

4. 試験観測システムの運用状況

2005 年 4 月に設置完了し、2008 年現在も観測を続けている。仙台市で震度 2 以上となった地震について地震観測データが得られている。最大の揺れは 2005 年 8 月の宮城県沖地震時の記録であり、1 階が震度 4.5, 11 階が震度 5.5 であった。多くの地震は宮城県沖または福島県沖が震源であるが、2007 年の能登半島沖、新潟県中越沖の揺れも観測している。構造物の健全性評価方法の研究結果を順次発表予定である。

参考文献

- ・古川洋之, 大浦肇, 田久保光, 構造物の健全性評価のための多点同期地震加速度計測システムの研究, 自動制御学会 (SICE) 論文集, 2006.
- ・L. Huang, T. Peilius, M. Hori, H. Furukawa, T. Suzuki and A. Yamauchi, On Advantage of High frequency Sampling of Accelerometer for Time Integration and Time Synchronization, 土木学会地震工学論文集, 2007.

表 1 試作計測システムの主な仕様

項目	仕様
加速度センサー	サーボ型加速度センサー
周波数特性	DC～50Hz(‐3dB)
最大加速度	2200Gal
分解能	1Gal以下(デジタルフィルター未処理)
成分	3成分
AD分解能	24bit
サンプリングレート	2000Hz
トリガー	5Gal
連動機能	マスターの信号で起動可能
同期精度	0.6ms以下
時刻	内部クロック(GPSにより補正)
記録時間	120s
波形保存	6波(加速度計内) 150波(boxコンピュータ内)

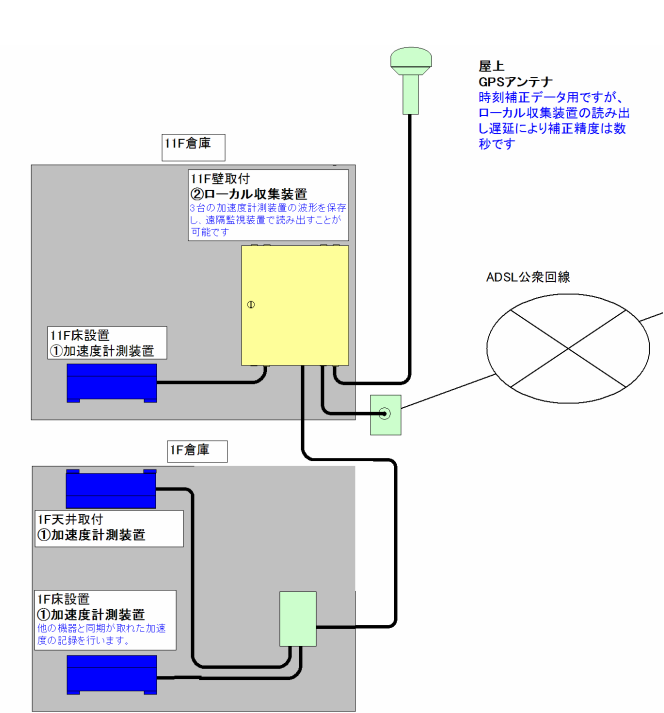


図 1 試験観測システムの概要 (仙台市内)

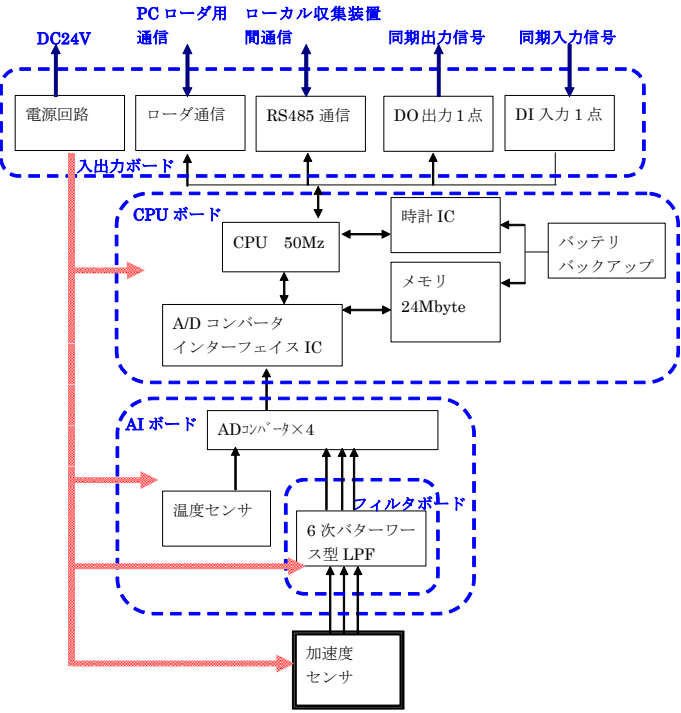


図 2 回路ブロック図