

(株)数理設計研究所 ○矢澤正人, 玉置晴朗
 群馬産業技術センター 宋 東烈
 群馬大学建設工学科 松本健作

1. はじめに

国民の安全を守るためには設計時の計画（構造計算）が大きな役割を持っている。しかし、本質的に構造物は必ず劣化し、自然は変化しつづけるのが本性だ。あらかじめ計画した安全性は重要で大事なものではあるが、しっかりした管理者が存在するダムなどを除けば、経時的な調査と管理はあまりされていない。

一般建築物、河川堤防、小規模な砂防堰堤などは測定の大困難さもあり、いずれも目立った傷を発見するまでは放置状態であり簡易な診断法も確立していない。我々は河川構造物の時系列振動解析による地盤や構造物の診断を試みているが道は遠い。本稿はこの研究途上に発案した計測震度を利用する診断法を提案する。

2. 既存の診断法

建築物や構造物の建築学的な診断法の本筋は、その応答特性＝伝達関数を求めるものである。伝達関数は地震や常時微動、人工的には起振機からの振動を信号源として計算する。

常時微動の観測は、診断しなければならない構造物にセンサを設置して時系列信号を取得する。さらに振動原因（本来的な常時微動、人が歩き、エレベータが動き、自動車が通り、工場の機械が稼動する）が混在する信号から人為振動を排除して計算する。

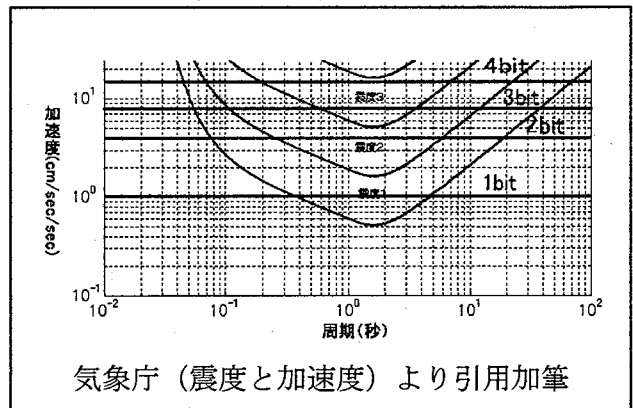
常時微動から計算した伝達関数には豊富な情報があり、構造物の内実を詳しく解析することもできる。しかし、微動観測から伝達関数を求めるには多大な人的労働と装置コストを要し、簡易診断するには対象物あたりの情報コストが大きなものになってしまう。人間の健康診断と同じように低コストスクリーニングの手法が必要だ。

3. 計測震度の利用による診断法

電子回路のように構造物をひとつの素子として観察してみよう。電子回路評価では素子の伝達関数測定を必要とすることもあるが、経時的な良否判定は入出力比で十分なことが多い。

ならば、構造物の入出力比を指標とすることもできるだろう。振動センサを構築物の基礎部と上部に設置して振動比は計測震度の差分である。

構造物診断に実用するには低価格センサが前提だ。センサの価格と性能はトレードであり、計測震度をえるだけの振動センサは小さな計測震度の常時微動では有効な分解能が得られない。



我々が試作した計測震度算出のための加速度センサは最低分解能が 1gal、計測震度 1.5@1Hz において有効ビット数が 1 ビットである。

診断に利用するためにはせめて 3 から 4 ビットの分解能が欲しい。10%精度の指標を知るならシステムが持つ最低の計測震度性能より 2.5 ほど大きな計測震度による地震が簡易診断に必要となる。最低計測震度が 1.0 であれば、計測震度 3.5 ぐらいの地震によって有意な判定ができる。

地震が多ければ多いほど計測震度による評価が有効になる。震度 4 以上の地震は気象庁の 2005 年度統計情報では群馬県は 2 回、東京都は 4 回しかなかった。

4. 雑音の様相

センサを高性能にすれば感度面は解決するが生活雑音を抑制することはできない。そこで、電子技術的に有効分解能を向上させることを試みた。

気象庁の計測震度計算式では加速度をフィルタ処理した後に振幅の頻度表を作り加速度の総継続時間が0.3秒以上を超える加速度(k)から

$$\text{計測震度} = 2.0 * \log_{10}(k) + 0.94;$$

として算出する。kは加速度値であり振幅が2倍になれば計測震度は0.6026増える。

センサから得られる信号には複数の雑音が重なっている。これらを要因ごとに挙げれば

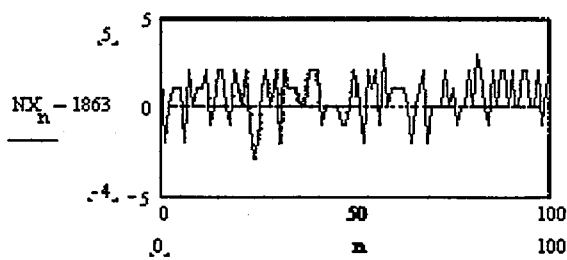
1. 周囲環境による生活振動
2. センサそのものの雑音
3. デジタル化する時の雑音
4. 信号処理に付随する計算雑音

であり、生活振動は1日や週単位で変化する。

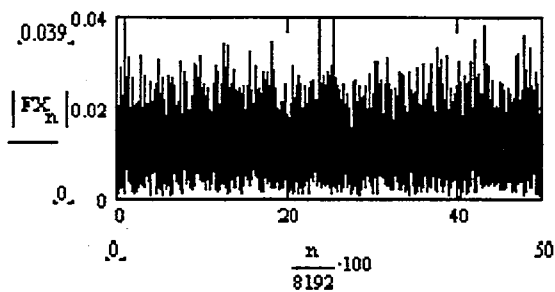
それぞれの特徴から処理することも可能ではと思えるが、この雑音を単純に電気信号とみなし振幅の自乗を環境による雑音電力と見なして補正してみた。大雑把なものではあるが多様に変化する環境適応型になる可能性を持っている。

5. 計測震度のエネルギー補正

当研究室に設置したセンサの定常ノイズ



±5LSBで1秒間観察、縦軸1gal=1LSB



スペクトル 横軸=Hz、縦軸=任意

スペクトルからは広帯域雑音なのでADCによる変換ノイズが優勢だ。この観測値から計測震度を算出すると最低計測震度が1.3から1.4になる。

通常はこのノイズ特徴を把握して対処するのだが、周囲環境によっては交通や建設機械の振動などが重なってきて一筋縄ではいかない。

そこで、これらの振動を地震動よりも長い時間、かつ日常生活による振動時間より短い5分ぐらいの時定数を持つLPFを通過させ、背景雑音エネルギーとして観測信号から差し引いた。その結果、気象庁発表の計測震度と良好な対比をえられた。

この処理により計測震度の雑音レベルは0.5ほど改善し最低計測震度にして1.3-4から0.8-9にすることができた。現在は電子回路的な対策をして最低計測震度を0.2-0.3にすることができた。

前頁の評価より、分解能10%を目標とすればセンサシステムの計測震度性能より2.5高い計測震度が構造診断の判定に必要となる。この最低計測震度0.2-0.3の装置にて計測震度2.7-8の地震を観測すれば、構造物上部の計測震度(U)-基盤部の計測震度(D)の差分値をその構造物の簡易指標とすることができる。

2005年度に発生した震度3以上の地震統計によれば、群馬県では年間11回、東京都では16回となり、1ヶ月ごとに判定できるようになる。

一例として、構造物上部の計測震度を3.1、構造物基盤部の計測震度を2.8とすれば差分は0.3であり、この構造物の計測震度による簡易指標は0.3であり電子回路風に言えば3dBの増幅率となる。簡易診断の指標としてシステムの簡易性や統一性もありリーズナブルな指標と言えるだろう。

6. 参考および引用文献

- ・気象庁 震度と加速度 表の引用
- ・気象庁 震度の算出方法
www.kishou.go.jp/know/shindo/keisoku.html
- ・(株)数理設計研究所 加速度センサと地震計
www.madlabo.com/mad/edat/axel/index.htm
- ・東京大学地震研究所 IT強震計研究会
www.eic.eri.u-tokyo.ac.jp/ITKyoshin/