

自然エネルギーを利用した構造物振動の自動観測システム

鉄道総合技術研究所 正会員 ○上半 文昭
 東京大学生産技術研究所 正会員 目黒 公郎

1. はじめに

鉄道における、地震の検知・警報や構造物の健全性監視を目的とした振動モニタリングシステムにおいて、専用電源、専用回路および設置用地などの確保・維持の必要を廃し、より簡単かつ柔軟なシステム運用を実現することを目的として、自然エネルギーで駆動するコンパクトな構造物振動の自動モニタリングシステムを開発した。開発したシステムは、太陽光や風をエネルギー源として、構造物の振動状態を高精度かつ多チャンネルで常時監視し、データを無線伝送する機能を有している。トリガ起動により地震動などの異常振動を検知・測定できるので地震の検知・警報への応用が可能であり、構造物の平時の極微小な振動である常時微動をタイマー起動で測定できるので構造物の健全性の監視にも使用できる。また、天候に恵まれず充電量が不足した場合には、自ら活動を停止し、エネルギーが十分に蓄えられた時点で再起動する機能を有した自立型システムである。本報告では、装置の概要およびプロトタイプシステムの活動状況を紹介する。

2. システム構成

図1および表1に、開発したプロトタイプシステムの概要を示す。システムは、構造物に取り付けて振動状態を監視する自動振動モニタリング装置と、無線伝送されたデータを遠隔管理するためのセンターシステムで構成される。自動振動モニタリング装置は、太陽電池と小型風力発電機から供給される電力をバッテリーに蓄えて電源とする。電源コントローラはバッテリーの充電レベルを電圧で監視しており、装置の活動停止、および再起動を制御する。センサには、常時微動から 2000gal 級の地震動までを一貫して測定できる高精度な加速度計を使用した。本体は、防水加工された小型の筐体内に、メモリ、A/D 変換ボード、PC、および通信用PHSなどが装備されている。PCはメモリのデータを保存・転送する際だけに起動する。A/D 変換ボードは常時起動して構造物の振動状態を監視しているので、遅延メモリにトリガ起動前の振動（小地震のP波情報など）も蓄えられる。タイマー起動機能を用いれば、毎日定時に構造物の常時微動測定を実施できる。GPSも備えており、設置位置情報をセンターシステムに送信できる。センターシステムは、モデムを有するPCである。モニタリング装置の位置情報や伝送された波形情報を保存・表示するとともに、トリガレベルやタイマーの設定値をモニタリング装置に送信できる。地震などの異常振動が発生した場合には、すぐにその検出場所と揺れの情報が表示される。

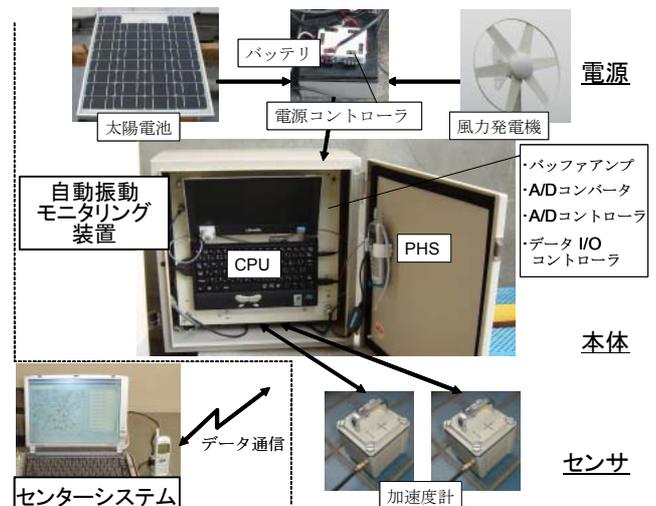


図1 システムの概要

表1 自動振動モニタリング装置の仕様

| | |
|-----------|---|
| 寸法 | 本体: 0.4×0.4×0.2m, ソーラパネル: 0.5m ² , 風力発電機: φ0.5m |
| 計測対象 | 常時微動および強震動 |
| A/Dコンバータ | 6ch (24bit) |
| A/Dコントローラ | トリガ制御およびタイマー制御 |
| 通信機能 | PHS使用 |
| メモリ | データメモリ: 40kWord, 遅延メモリ: 8kWord |
| CPU | Libretto L1/060TNMM, (CPU: Crusoe TM5600 600MHz, Hard Disk 10 GB) |
| 電力供給 | DC12V, ソーラパネル(48W), 風力発電機(25W), バッテリー(80W) |
| 電源コントローラ | 2 way 平行, 自動供給停止電圧: 11.5V, 自動再起動電圧: 12.6V |
| センサ | 加速度計 (JAE-2G: 3ch×2) |

キーワード 振動モニタリング, 無人観測, 常時微動, 地震動, 自然エネルギー

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 鉄道総合技術研究所構造力学研究室 E-mail: uehan@rti.or.jp

3. プロトタイプシステムの活動記録

(1) 設置場所と活動状況

本システムは鉄道の高架橋や橋梁への設置を目的としているが、プロトタイプシステムは動作状況の確認、改良・メンテナンスなどの便を考慮して、自動振動モニタリング装置を鉄道総研の建物屋上(3階建てRC構造、高さ約11m)に、センターシステムを同建物内の居室に設置した。同建物の伝達特性は、構造物検査用の微動計(速度計)を用いた屋上および地盤での常時微動測定結果のスペクトル比から図2のように推定されている。観測を2003年2月末に開始し、電源部分等を徐々に改良した結果、表1に示した小規模な発電装置だけで、ほぼ連続運転可能になり、2004年1月末から現時点の約70日間、活動を停止することなく観測を続けている。観測地点の気象特性に合わせて、発電機の種類および出力、バッテリー容量を検討する必要があるが、すでに実用に十分耐えるレベルに達している。

(2) 常時微動の長期モニタリング

図3にシステムが観測した建物屋上の常時微動の波形例を、図4に1年間の常時微動のスペクトル変化を示す。図4から、測定時期にかかわらず、常時微動測定結果を用いて建物の固有振動数をほぼ安定して推定できることがわかる。

(3) 地震動（建物屋上の応答）モニタリング

約1年間にシステムが検知した地震動は19波であった。規模の大きかった(東京都国分寺市震度3)3波形を図5に示す。図5(a)は、2003年5月26日の宮城県沖の地震の波形であり、遠方の大地震のため継続時間が長く全波形を収録できなかったが、千葉を震源とする(b), (c)については、初期微動および主要動の大半を収録できた。19の地震波の卓越振動数の平均は4.8Hzであった。

4. まとめ

モニタリング装置のプロトタイプは、1年以上屋外に設置しても無故障で、自然エネルギーのみでの稼働率も高まっており、実用レベルに達している。自然エネルギー以外の電源や広い設置スペースを必要としないので、システムの設置・移動、設置後の管理などが容易になり、運用の自由度も高まるものと期待する。本システムは、本報告に例示したように構造物の地震応答特性の調査に使う他、構造物の損傷に伴う固有振動数低下を利用した鉄道システムの地震被害の即時把握¹⁾(図6)、余震観測、構造物の健全度モニタリング、地震後復旧施工時の異常監視など、鉄道の地震防災にかかわる様々な分野に応用していきたい。

参考文献：1) 上半・目黒：応用要素法による鉄道構造物の損傷度評価と地震時被害把握システムへの応用，鉄道力学論文集，Vol.5，pp.25-30，2001。

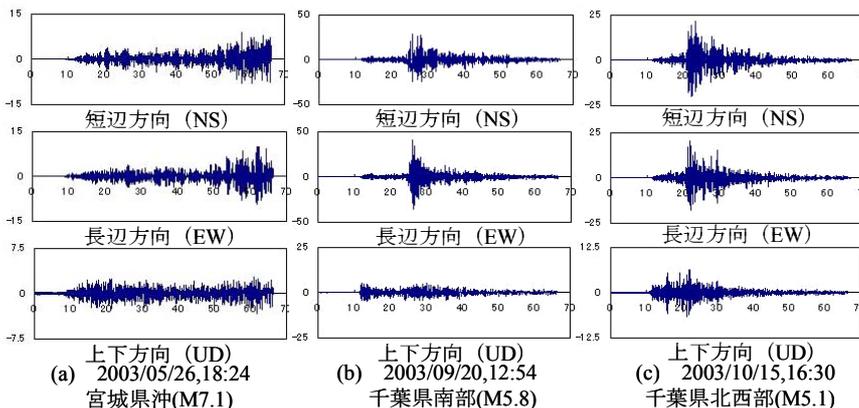


図5 地震記録(横軸:時間(sec), 縦軸:加速度(gal))

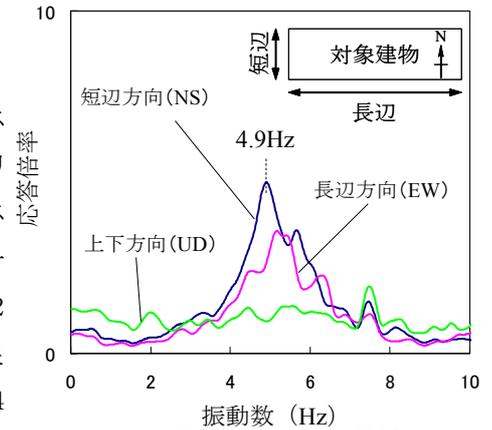


図2 対象建物の伝達特性

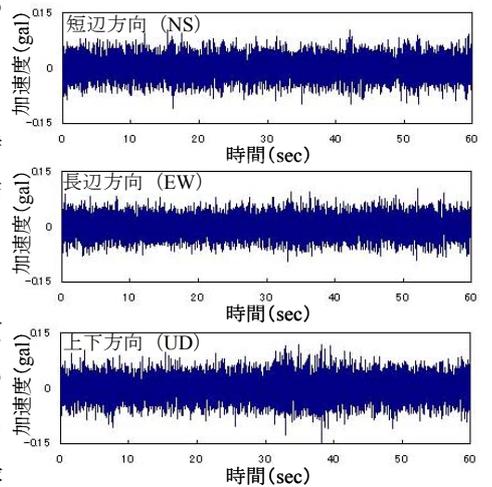


図3 常時微動の観測波形例

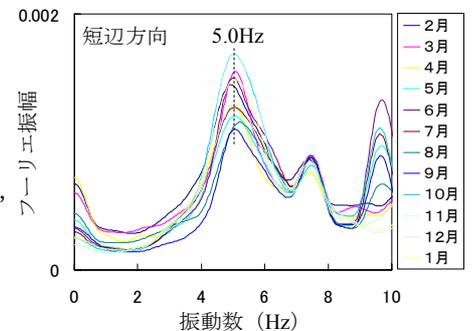


図4 常時微動のスペクトル

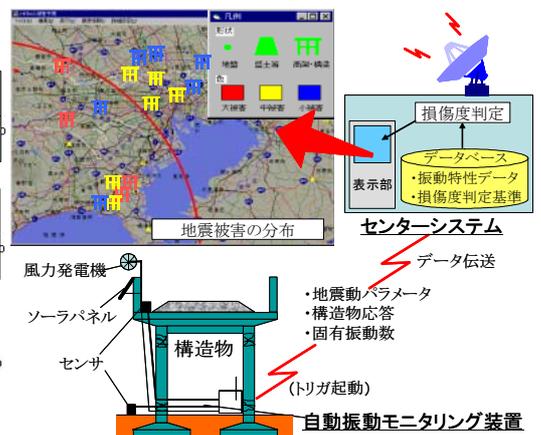


図6 地震防災システムへの適用例