学内 LAN の利用による環境振動モニタリングシステム

ON-LINE MONITORING SYSTEM FOR ENVIRONMENTAL VIBRATION USING LOCAL AREA NETWORK

福和伸夫 ———*1
飛田 潤 ———*2
西阪理永 ———*3

Nobuo FUKUWA
Jun TOBITA
Riei NISHIZAKA

On-line real-time vibration monitoring system was developed in the Higashiyama campus of Nagoya University for environmental vibration caused by construction activities and traffics. 40 sensors are installed on the buildings with vibration-sensible facilities such as high voltage electron microscope and micro-circuit manufacturing device. Vibration data observed by the sensors are quickly transferred to EWS through LAN and stocked by the relational database management system. Wave figures are immediately sent to constructors' offices by a facsimile modem. The system is also effective as the highdensity earthquake observation system for relatively concentrated area with different soil conditions.

キーワード:

環境振動, 工事振動, 精密機器, オンラインモニタリング, 高密度アレイ観測, LAN, データベース

Keywords:

Environmental vibration, Construction vibration, Vibration-sensible devices, On-line monitoring, Dense array observation, Local Area Network, Database

1. はじめに

都市内での交通振動および建設工事に伴う振動は現状では避けがたくなっており, 不快感といった人体への影響だけでなく, 各種機器の機能障害も重要な問題となっている。半導体などに代表される精密技術の発達により精密機器を使用する研究・製造施設は急増しているが, その精度からみて人間が感知しうるレベル以下の振動でも障害が発生する可能性があり, 人体への影響以上に敏感な問題となり得る。本質的解決として暗振動の静寂な立地を求めることが望ましいが, それはますます困難になりつつあり, また当初は振動障害のない立地だったものが, 周辺の都市開発に伴って障害の原因となる施設が後から整備されることも少なくない。鉄道などの公共交通機関や道路は, 当該地域が都市部である場合のみならず, 都市間交通などで郊外の地域に整備されることもあり, 閑静な立地にも影響を与える可能性は高い。工事の公共性からみて振動障害の恐れを理由として計画の見直しができない場合も多く, 一方で, どのような条件下でどの程度の障害が発生しうるかに関する資料も十分とは言えず, 事前の予測検討は困難な状況にある。今後の振動予測および対策を行うにあたっての基礎資料の充実が望まれるところである¹⁾。

名古屋大学東山キャンパスでは, 名古屋地下鉄4号線名古屋大学駅・トンネル工事および名古屋高速道路1号線東山トンネル工事が進行中であり, 今後数年間にわたる建設工事の振動, その後は供用時の交通に伴う振動の発生が予想される。学内の施設整備に伴う建設工事

も次々に予定されており, さらに周辺道路の交通量も増加傾向にある。一方で先端的研究を行うための超精密機器は多数設置されており, 振動問題の発生は大いに懸念されている。

本論では, この問題に対応してキャンパス内の環境振動モニタリングシステムの整備を行ったので報告する。このシステムはキャンパス内の9地点26箇所にセンサを配置して工事・交通等による振動の影響を監視し, 学内LANの利用によりデータの即時的・集中的管理を図るものである。これにより障害の可能性のある振動を生じた場合はただちに検知・対応が可能になり, また各種工事による振動発生・伝播状況を高密度アレイで観測することにより, 将来の工事振動的確な予測と対策のためのデータの蓄積を図ることができる。供用後の交通振動に関してもまったく同様であり, かつ現状の地表交通に関しても十分なデータを得られるようセンサ配置に配慮している。

このようなキャンパス内の振動問題対策を支援するために, 筆者らは既に地盤と建物に関する情報を一元的に扱うシステムをGIS(地理情報システム)の概念を用いて構築しており²⁾, 計測された振動波形情報と他の情報を有機的に結びつける準備は整っている。また地震動を目的としたオンライン強震観測システム³⁾の整備も終えており, 今回の環境振動モニタリングシステムはこれらの技術の応用と言える。以上の観測システムを全て用いれば, 個々の地点の振動モニタリングのみならず, キャンパス内をくまなく覆う高密度強震観測システムとしても活用でき, 限られた地域内の地盤震動特性の相違といった面か

*1 名古屋大学先端技術共同研究センター 教授・工博
(〒464-01 名古屋市千種区不老町)

*2 名古屋大学工学部 助教授・工博

*3 名古屋大学大学院工学研究科 助手・博士(工学)

*1 Prof., CCRAS, Nagoya University, Dr. Eng.

*2 Assoc. Prof., School of Engineering, Nagoya University, Dr. Eng.

*3 Research Assoc., Graduate School of Engineering, Nagoya University, Dr. Eng.

らも有用なデータの蓄積が得られるものと思われる。なお、東山キャンパスは丘陵地を造成しているため地盤条件は変化に富んでおり、記録された地震動特性にもかなりの差があることが確認されている⁴⁾。

2. システム概要

2.1 名古屋大学東山キャンパスの概要と環境振動モニタリング地点

東山キャンパスの概要と地下鉄・高速道路工事の位置を図1に示す。中央を南北に縦断して地下鉄4号線が計画され、中央部の名古屋大学駅は現時点(平成9年6月)で連続地中壁の施工が進んでいる。また北側に沿って名古屋高速道路1号線東山トンネルおよび換気所の工事も進行中である。これらはいずれも既設の道路に概ね沿った形で計画されており、工事現場とはほぼ同様の位置から発生する地上交通振動も無視できない。図1の黒色の建物は、振動を嫌う何らかの精密機器があることを示している。地下鉄から200m以内には18台の電子顕微鏡を含む約50台の超精密機器があり、高速道路トンネルから20m強の位置には国内有数の超高压走査型電子顕微鏡や集積回路製作のための電子ビーム描画装置などが設置されている。

環境振動モニタリングの対象地点を同じく図1に、また各地点での計測箇所を表1に示す。①～⑥地点は主に工事予定に沿った位置で特に振動を嫌う超精密機器を対象としたものであり、最も高密度の配置となっている③および⑤地点においては各々地表×2・地中×2・建物内床および精密機器防振台上の6箇所18成分が測定されている。一方、キャンパス内の比較的静穏な⑦～⑨地点の地盤でも測定を行って

おり、さらに移動観測点用センサも準備した(現在は⑩の集中管理室にEWSとともに仮設置)。以上9+1地点で計26箇所78成分となる。

2.2 システム構成

本システムのハードウェア構成を図2に示す。上述の10観測地点にはそれぞれ独立した振動収録機が設置され、名古屋大学の学内LANに接続されている。集中管理室にはEWS他が設置されており、学内LANを経由して上記観測点を含むシステム全体をコントロールしている。

センサおよび収録機にはサーボ型加速度計(アカシ製SMAC-MDおよびSMAC-MDII)を用いている。精密機器周辺の計測箇所ではフルスケール500gal(加速度振幅の最小量子化レベル約0.004gal)、トリガレベル0.25galで運用しており、静穏な建物内の暗振動(最大値で0.04gal程度)、昼間の地盤暗振動(静かな地点で0.1～0.2gal程度)、交通振動の影響(地盤で0.5～数gal、建物内で0.1～0.5gal程度)などのレベルを考慮すれば妥当な設定と考えられる。その他の室内および地表・地中の各計測箇所は1000galに設定している。収録機の内蔵時計は各地点で個別にGPSを用いて校正されており、データのヘッダに正確なトリガ時刻が記録されるようになっている。

トリガは各地点で個別に設定されており、基本的に精密機器の直近のセンサを対象チャンネルとしている。また後述するようにEWSからオンラインでマニュアル起動を行うことも可能である。起動トリガから停止トリガまでの記録を終えると、データは強震計のRS232CポートからLANインターフェイス(EPSON製ノート型パソコンVS466R)のディスクに自動転送される。このローカルディスクは学内LANを経由

図1 名古屋大学東山キャンパス

図2 システム構成

表1 振動モニタリング地点名称と計測箇所
(●は地盤, ○は建物内, ◎は建物内でトリガ対象の計測箇所を示す。地表は全てGL-1m)

①	ベンチャービジネスラボラトリー ●地表
②	先端技術共同研究センター ●地表 ●地中 (GL-25m) ○電子ビーム描画装置床
③	100万V超高压電子顕微鏡研究室 ●道路側地表 ●道路側地中 (GL-29m) ●建物側地表 ●建物側地中 (GL-11m) ○実験室床 ○電子顕微鏡防振台上
④	農学部 ●地表1 ●地表2 ○実験室床 ○核磁気共鳴装置(NMR)隣室床
⑤	理学部超低温実験室 ●道路側地表 ●道路側地中 (GL-25m) ●建物側地表 ●建物側地中 (GL-12m) ○実験室床 ○超低温実験機器防振台上
⑥	年代測定資料研究センター ●地表 ○電子顕微鏡設置床
⑦	付属図書館 ●地表
⑧	環境医学研究所 ●地表
⑨	核融合科学研究所 ●地表
⑩	振動集中管理室 ○RC4階建の1階床 (移動可)

図3 モニタリングシステムの各モジュールのウィンドウ画面例

してEWSのハードディスクにマウントされているため、パソコンへのシリアル転送を終えた時点ではほぼ同時にEWSへの転送も完了する。

EWS (SUN SS20) ではGUI環境に基づいたソフトウェアシステムにより集中モニタリングおよびデータ整理等を行っており、以下に述べる5つの機能モジュールからなっている。「モニタリング」モジュールは即時性を実現する最も重要な部分であり、常時起動されている。トリガがかかって波形が収録された地点からデータがEWSに転送されると、画面に速報として波形を表示し(図3(a))、同時にその画面イメージをファックスモデムを通じて所定の連絡先(複数指定可)に送信する。トリガのかかった地点では同様のイメージをLANインターフェイスに接続されたプリンタにより印刷表示する。EWSに転

送された振動波データはただちにデータベースに登録され、「振動波DB操作」モジュールにより検索・波形表示等を行うことができる(図3(b))。詳細な波形分析のためには「振動波解析」モジュールが用意されており、波形とスペクトルに関する各種解析を容易に行うことができる(図3(c))。残り2つのモジュールは通常の観測機器メンテナンスのために用いられる。「振動収録機制御」モジュールでは、各振動収録装置について状態表示や各種設定などのメンテナンスおよび起動・データ集録等の操作をオンラインで行うことができる(図3(d))。このモジュールにより設定された機器の状態はデータベースとリンクしており、「観測点DB操作」モジュールにより観測点固有の各種情報(設置位置、設置状況、作業日時等)と同時に管理・検索す

(d) 振動収録機制御モジュール (←)

中程の対象観測点と下側の制御種類を選択して実行する。上側の観測点名称を選択すると実行結果のログが表示される。

(e) 観測点DB操作モジュール (↑)

各観測点の情報をまとめている。観測成分詳細はチャンネル情報のボタンで表示される。
収録機制御モジュールで収録機の設定を変更すると、このデータベースは連動して更新される。

図3 モニタリングシステムの各モジュールのウィンドウ画面例 (続)

ることができる (図3(e))。

これらのソフトウェアは主にC言語により開発されており、RDBMS (リレーショナルデータベースマネジメントシステム) にはOracle7が用いられている。また振動波解析モジュールについては波形解析ソフトウェアのPV-WAVEを用い、独自の言語で構成されている。EWSの環境はOSがSunOS4.1.4、ウィンドウシステムはX-Window、GUIはMotifであり、パソコンディスクのマウントのためsambaサーバを立ち上げている。ファックスモデム制御ソフトウェアはreplexである。LANインターフェイスはOSがMS-DOS6.2、Cで開発した振動収録機制御ソフトウェアを持ち、ネットワーク接続にMS LAN Managerを使用している。

2.3 観測データ例

現状では、建物近傍での建設工事に伴って精密機器直近センサでトリガがかかった例は多くなく、主な検討対象は交通振動となる。図4は③地点の地盤および建物内で得られた記録の一部であり、計測箇所による最大加速度分布を図5に示す。道路→地盤→建物→精密機器と振動が減衰しながら伝播していることから、原因は前面道路の交通振動と考えられる。この地点では方向により特性が異なり、道路平行方向成分の最大値は防振台でカットされにくいことなど詳細な特性も読みとれる。図6は、収録機を毎正時から1分間オンラインでマニュアル起動し、この時間区間における地表の加速度波形のRMS値を求め、日変化を示したものである。これより、交通量の多い周辺道路から離れた地点 (⑦、⑧など) では時刻による振動レベルの差がさほどない

のに対し、交通量の多い一般道路に近接する地点 (②、⑤など) では昼夜の差が激しく、また⑤地点では道路に近い側の地盤がより大きくなっており、③地点と同様に道路交通振動による影響が明確に捉えられている。今後、対象建物近傍のトンネル掘削が本格化する過程で工事振動の検討が重要になることが予想される。

3. 本システムの利点と現状での問題点、今後の発展

近年は多数の強震計をネットワークで結んで一括管理する例が増えているが、それらは電話回線によるデータ収集を基本としており、インターネットはデータ公開媒体としての位置づけが多い⁵⁾。それに対して本システムでは、学内LAN上でtcp/ipを利用してオンラインの機器監視・操作・データ集約を行うことにより、管理の容易性、安定性、高速・即時性、通信コストの低減、さらにはインターネット上の情報との相互利用性や他所での利用への拡張性といった特徴を備えているものと考えられる。

このような利点の中で、データ転送の高速性の観点からは、収録機とLANインターフェイスの間のRS232Cがボトルネックになっていることは否めない。停止トリガからファクシミリ送信を完了するまでの時間は、データ長や収録装置に接続されるセンサのチャンネル数により3~15分程度であり、そのほとんどがシリアル転送に要する時間である。これは本システムの目的には十分な応答時間ではあるが、リアルタイムモニタリングというためにはやや長い。データ転送時間は現状

図4 交通振動の例

のリモートで用いる振動収録機に共通する弱点であり、ハードウェアの改良が不可欠であるが、次善の対応としては、波形収録と並行して最大値などの指標値のみを先に転送するなど、システムの構成を見直すことも必要であろう。

得られた情報の速やかな発信という観点では、本システムでは施工現場事務所への連絡を主としているためにまずファクシミリによる自動連絡システムの整備を行った。これは現状では概ね期待したとおりに機能しており、送られた振動波形を現場事務所判断し、ただちに作業内容を見直して振動の影響を減じることができた例がすでに数件ある。一方で将来的には、LANを介してインターネットに接続されている利点を活かし、データベースをhttpサーバとリンクさせることによりWWWで情報公開することを検討している。

本システムは設定トリガレベルを超える振動を捉え、画面やファクシミリにより連絡するものであるが、その振動の原因推定、影響程度に関する判断とその後の処置はすべて人間が行わねばならない。現状では慣れたオペレータが表示を確認すれば原因の推定が可能であるが、施工現場などで常時適切な判断を期待することは困難な場合も多い。これに対応して、波形の特徴などによる振動原因・障害発生可能性の判断エキスパートシステムといった発展も考えられるであろう。

4. まとめ

環境振動障害を防ぎ、かつ予測してゆくために、振動の常時監視・異常レベル時の即時連絡・データの収集整理を一括して行う環境振動モニタリングシステムの構築を行った。このような常時稼働するシステムの存在は、振動源となる施工側及び影響を受ける機器使用側の双方に有用であり、影響の度合いを客観的に評価して前向きな方策を定めて行くのに有効である。

名古屋大学では、このような固定観測点による環境振動のモニタリングに加えて、さらに高密度な臨時観測を工事の進捗に応じて随時行い、詳細なデータ収集と振動影響の予測を目指すとともに、精密機器側の振動影響の度合いを客観的に評価する試験なども計画して、環境振動障害に関する総合的対応を目指している。

図5 交通振動の最大加速度の例 (類似の10記録の平均)

図6 地表加速度RMS値の日変化

謝辞

名古屋高速道路公社および名古屋市交通局には工事に関する詳細な資料の提供等をいただきました。応用地質株式会社、株式会社アカシ、株式会社三菱総合研究所、株式会社エムケイシステムの各位には、システムの構築にあたってご協力をいただきました。名古屋大学土木工学専攻の田辺忠顕教授、澤田義博教授、南雲英樹助手、愛知工業大学の鈴木森晶講師および名古屋大学管財課の各位にはシステムの構築から運営にわたりご協力をいただきました。また日本技術開発株式会社の石田栄介博士、応用地質株式会社の小出栄治氏、名古屋大学大学院の西山拓一氏には、システム全般についてのご協力をいただきました。本システムの実現に際して多大のご協力をいただきました以上各位に厚く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 西阪理永：実大実験に基づく道路交通振動の振源機構と建築物への振動伝播機構に関する研究，名古屋大学博士学位論文，1997.3
- 2) 福和伸夫，石田栄介，荒川政知，山田耕司：GISを用いた広域施設群の総合振動分析システム—名古屋大学東山キャンパスへの適用事例，日本建築学会技術報告集，第2号，pp.195-200，1996.3
- 3) 福和伸夫，山田耕司，石田栄介，森保宏，辻本誠，松井徹哉：オンライン強震観測・地震被害想定・振動実験システムの構築，日本建築学会技術報告集，第3号，pp.41-47，1996.12
- 4) 小出栄治，西山拓一，飛田潤，福和伸夫：名古屋大学高密度振動観測システムによる小地震時観測記録の考察（その1）地盤震動性状について，日本建築学会東海支部研究報告集，第35号，pp.149-152，1997.2
- 5) 科学技術庁防災科学研究所：K-NET，<http://www.k-net.bosai.go.jp/>

[1997年6月20日原稿受理 1997年9月1日採用決定]