

I-19 トンネル掘削に伴う地盤振動の移動体通信による遠隔モニタリング

Remote Monitoring of Ground Vibration During Tunnel Excavation by Mobil Communications

村里 静則¹ 岡林 隆敏² 棚橋 由彦² 木場 俊郎³ 奥松 俊博²
 Shizunori MURASATO Takatoshi OKABAYASHI Yukihiko TANABASHI Toshio KOBA Toshihiro OKUMATSU

【抄録】近年、都市交通の利便性のために、土被りの薄い都市型トンネルの施工が増加している。都市型トンネルを掘削する際に発生する環境振動が近傍の住民、住宅に影響を与える可能性がある。このため、トンネル上部に発生する環境振動の常時モニタリングを行い、その値が閾値を超えると管理事務所へとデータを転送し、データの保存、解析といった一連の動作を常時、自動的に行うことができる遠隔モニタリングシステムを構築した。本研究では、遠隔モニタリングシステムの概要および、本システムを施工中のトンネルに適用した事例を述べ、本システムの有効性について検証した。

【Abstract】 Excavating urban tunnel cause serious public nuisances such as environmental vibration and noise to the residents above the tunnel face. Therefore, it is important to monitor the discharged level of vibration or noise continuously. In this study, the Authors developed the remote monitoring system, which consists of mobile communication devices and sensor technologies for monitoring surface vibration over the excavating tunnel face. This paper describes outline of the remote monitoring system and its installation to the construction site.

【キーワード】 トンネル掘削、地盤振動、振動計測、遠隔モニタリング、移動体通信

【Keywords】 tunnel excavation, underground vibration, vibration measurement, remote monitoring, mobile communication

1. はじめに

都市機能の高密度化や都市域の拡大に伴って、都市交通の利便性のために都市型トンネルの需要が高まっている。土被りが浅く、また軟弱地盤である場合が多い都市型トンネルであるが、NATM工法やシールド工法による技術革新により、多くの施工事例を重ねてきた。しかし、土被りが浅い都市型トンネルの施工では、トンネル切羽における掘削機の振動が、地表面に伝達し、環境振動及び環境騒音を発生させる事例が多発している。都市型トンネルの設計・施工の合理化を実現するためには、トンネル施工の工学技術問題だけでなく、施工中や供用中の振動・騒音などの地盤環境問題

1),2),3),4)を解決することが必要になっている。

地盤環境振動対策^{5),6),7),8),9),10)}としては、①振動源の対策、②振動伝播経路の遮断、③振動被害構造物の対策が考えられる。トンネル施工では、切羽が移動するために、被害構造物を対象とした対策である、振動伝播対策や被害構造物の対策はできなく、振動源の対策が必要になる。そこで、住宅地近傍の施工に際して、振動・騒音レベルをある閾値内になるように、適応的に施工を制御する必要がある。しかし、従来の振動計測の目的は、定点観測を前提にした計測であったために、切羽の移動に伴い切羽直上部の地盤振動を施工に反映させる機動的な計測は、計測装置の経費や装置の

1: 長崎県三公社	〒850-0035	長崎市元船町 17-1	TEL (095) 823-3422
2: 長崎大学工学部社会開発工学科	〒852-8521	長崎市文教町 1-14	TEL (095) 819-2626
3: 復建調査設計(株)環境技術部	〒732-0052	広島市東区光町 2-10-11	TEL (082) 506-1838

移動の経費を考えると実現可能ではなかった。

トンネル施工では切羽が日々移動するために、①切羽上面の地上に設置した振動計を移動することが望ましい。②計測結果を瞬時に管理室で見る必要がある。さらに、③振動レベルが閾値を超えた場合、何らかの警告を出す必要がある。これらの点を解決する方法として、移動体通信（携帯電話・PHS）による遠隔モニタリングシステムを開発した。計測点には、振動計・パーソナルコンピュータ・PHS から構成される可搬型の計測器^{11), 12), 13)}を設置し、携帯電話機能による無線で管理事務所にてデータを転送し、管理事務所にて計測現場の計測操作を制御できるシステムを開発した。管理事務所では、計測現場の計測画面が表示可能で、仮想計測空間を管理事務所にて構成した。計測データは、決められた時間に発信し、設定時間に発生した最大ピークをもつデータを転送する。また、振動レベルが閾値を超えた場合、そのデータが転送される仕組みにしている。さらに、振動レベルが閾値を超えた場合、携帯電話で担当者の携帯電話にメールが送信される。この計測システムを平成13年12月から平成14年7月まで、長崎市オランダ坂トンネル現場に設置し、振動モニタリングを行い本システムの有効性を検証した。

本論文は、トンネル切羽上面の地盤振動をモニタリングするための遠隔モニタリングシステムと、施工現場へ本システムを適用しその実用性を検証した結果を示したものである。

2. モニタリング対象トンネルの概要

(1) オランダ坂トンネルの概要

長崎市は、半島に位置するという地形的な制約から、周囲の幹線道路は市中心部に集中する一点集中型になっている。そのため、慢性的な交通渋滞が発生し、大きな問題となっている。そこで、この交通渋滞を緩和し、地域の活性化および地域間交流の促進を図るために、平成4年度から一般国道324号線の出島バイパスの事業が開始されている。出島バイパスは、長崎市新地町から現在、計画中の九州横断自動車道長崎インターを経由し、田上一丁目までの全長約4.8kmの道路であり、オランダ坂トンネルはこのバイパス事業の中心的なものとなる。図-1にオランダ坂トンネルの位置を示す。



図-1 オランダ坂トンネルの位置

表-1 オランダ坂トンネル事業概要

路線名	一般国道324号
区間	長崎市新地町～早坂町～田上一丁目
道路規格	第1種 第4級
設計速度	60km/h
事業期間	平成4年度～平成15年度予定
延長	4,770m(内トンネル2,940m)

オランダ坂トンネルは長崎市新地町から九州横断自動車道の起点となる早坂町（長崎 I.C）を結ぶ自動車専用の道路トンネルで、上り線（全長 2918.0m）、下り線（全長 2961.5m）の長さを有しており、完成すると長崎市で最長の道路トンネルとなる。また、長崎市中心部から郊外へ抜けるため、住宅密集地の下を薄い土被りで掘削する典型的な都市型トンネルである。

(2) オランダ坂施工概要

施工は、吹付けコンクリートとロックボルトを主要な支保部材とする NATM で行われている。出島バイパスにおける大きな課題は、県内で最も長い3.0kmのトンネルを住宅密集地の下を通過させることである。トンネルの掘削は、住宅密集地の下を薄い土被りで掘削するため、発破を用いずに、機械掘削とし、そのなかでも最も低振動・低騒音である電気モータにより掘削を行う。掘削は日本最大級のロードヘッダ S-300 を使用して行う。上り線、下り線は同時に施工を行い、上り線ずり出しは、騒音等の周辺地域への影響を考慮し、キルナコンビ（コンテナ式）、下り線ずり出しは安全性、坑内環境を考え、ベルトコンベアにより行う。表-1にオランダ坂トンネル施工概要を、図-2にトンネル断面図を示す。

本トンネルは、高速道路が早坂町の標高100mの高さに出るため、新地町まで2.7%の一定勾配で下らざるを得ない。このため、新地町の出口500m程度の土

4. 移動体通信による遠隔モニタリング

(1) システムの概要

本システムは、現場（上り線・下り線）上面の地盤に設置する計測システムをサーバ、管理事務所に設置するシステムをクライアントとし、合計3台のパソコンで構成されている。データ通信を行うために、これら3台のパソコンにPHSを装着した。自動的にデータ送信を行うために、クライアントではRAS (Remote Access Service) の設定を行い、サーバからの着信を可能にした。また、ダイヤルアップ接続時にクライアントがシステムに割り当てるIPアドレスをあらかじめ指定した。サーバでは、クライアントのPHSにダイヤルアップ接続、切断を行うバッチファイルを作成し、これを実行することで、自動的にデータ転送を行っている。本研究において開発した遠隔モニタリングシステムの構成を図-5に示す。計測側の振動計検出器とデータ転送のためのサーバシステムを図-6に示す。地盤振動遠隔モニタリングシステム構成のための機器を表-2に示す。

(2) 環境振動レベルと設定レベル

人間の振動感覚は加速度の対数に比例して変化するため、振動に対して人間の反応を考慮する必要がある。このため、環境振動計測をするにあたり、人間の振動感覚に対応している振動レベルVL (dB) を用いて、振動の大きさを表示した。振動計の外部出力は加速度であるので、計測された加速度データをデシベル変換し表示する。

$$dB = 20 \log(A / A_0) \quad (1)$$

Aは測定点での加速度 (m/s²) で、A₀は振動加速度の基準値 (A₀=10⁻⁵ (m/s²)) である。

振動レベルのピークが基準値を超過した場合、管理事務所にデータを転送するように設定すると、ピークが発生するたびにデータが転送されることになる。そこで、ある決められた時間T内に、設定レベルLを設定時間ΔT時間超えるとデータを転送するように設定した。すなわち、データ転送するレベルをL_xを基準とし運用した。現場に適用した場合には、決められた時間T=60秒のデータを、時間刻みΔt=0.01秒で取り込み、計測データを昇順に並び替え、その上からデータ数の5%の値が閾値を超えた場合にデータの転送を行うこととした。この操作を後述するLabVIEW

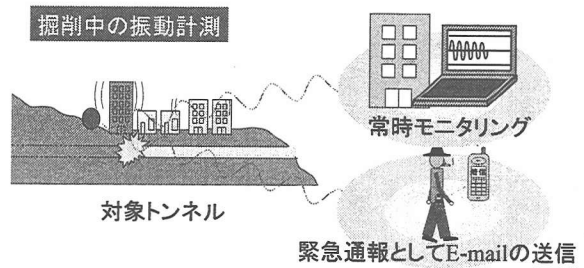


図-4 遠隔モニタリングの概要

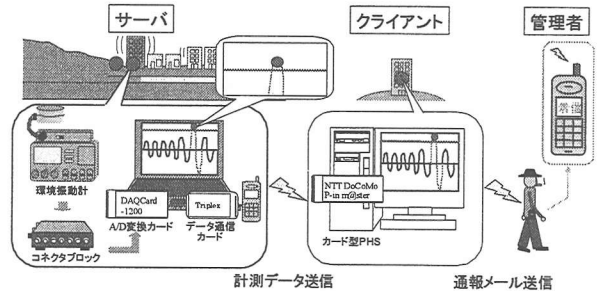


図-5 開発した遠隔モニタリングシステム概要

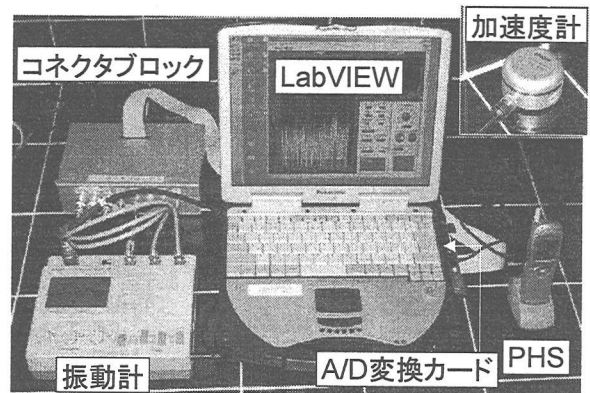


図-6 サーバシステム

表-2 地盤振動遠隔モニタリングシステム機器

設置場所	製品名	
上り線現場	環境振動計: VM-52	(RION社製)
	AD/DAコンバータ: DAQ Card-1200	(National Instruments社製)
	ノート型パソコン: CF-28	(Panasonic社製)
	データ通信カード: Mobile Card Triplex	(NTT DoCoMo社製)
	PHS: パルディオ641Sf(S)	(NTT DoCoMo社製)
	ソフトウェア: LabVIEW	(National Instruments社製)
下り線現場	上り線のシステムと同様	
管理事務所	自作パソコン	
	カード型PHS: Mobile Card P-in m@ster	(NTT DoCoMo社製)
	ソフトウェア: LabVIEW	(National Instruments社製)

でプログラミングしたものが図-7である。

(3) 移動体通信によるデータ通信

従来、計測システムでは、計測データをフロッピーディスクや磁気テープなどの媒体に保存し、現場に行

って定期的に回収する、オフライン処理を行っていた。この方法では、データの回収のために特定の人員を確保することが必要になる。また、従来の方法では、イベントが発生する、すなわち振動レベルが閾値を超える前後の状況を把握できない。本研究では、移動体通信を利用して計測データが閾値を超えると、遠隔地にある管理事務所へと計測データを転送し、管理事務所では計測現場にいるように感じさせるモニター画面（仮想計測空間）を構成する。このようにして、計測現場のデータが常に管理事務所でもモニタリングできる、オンラインデータ処理の計測システムの構築を行った。

5. 地盤環境振動遠隔モニタリングシステムのハードウェアの構成

(1) パーソナルコンピュータ

遠隔モニタリングを行うためには、検出器からの計測信号の集録、計測現場から管理事務所へのデータ転送が必要になる。近年、パーソナルコンピュータの性能の向上、ソフトウェア技術の進歩によって、これらの機能をパーソナルコンピュータに実効させることが可能になった。また、トンネル切羽の移動に伴って、計測システムを移動させる必要があるため、計測システムの小型化・省電力化を図る必要がある。このため、計測現場のシステムにはノートパソコンを使用する。

(2) 環境振動計

本研究では、振動検出器として、x, y, z 方向の振動レベルを検出することができる環境振動計 (VM-52 : RION 社製) を使用した。この仕様を表-3 に示した。環境振動計は本体と振動ピックアップに分かれており、振動加速度レベル、振動レベル、時間率レベル、パワー平均などの計測を行うことができる。しかし、外部出力は加速度データであるために、ここでは振動計の外部出力データのみを使用した。表-4 に振動検出器の仕様を示した。

(3) A/D コンバータ

検出器（センサ）からの計測信号をパーソナルコンピュータに集録するためには、A/D コンバータを使用して、アナログ信号をデジタル信号に変換する必要がある。本研究では、A/D コンバータとして、小型で、ノートパソコンの標準的なインターフェースである PCMICA Type II の PC カード型の DAQ カード（表-2 参照）を使用した。

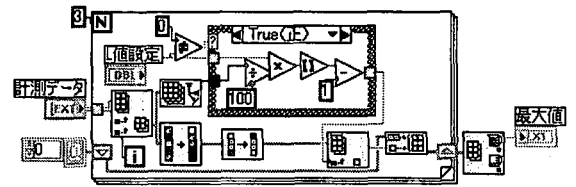


図-7 環境振動レベルを決定するプログラム

表-3 環境振動計の仕様

寸 法	200×66×175 (mm)
測定機能	Lv, Lva, Lx, Leq, Lmax
測定レベル	30~120dB(0dB=10 ⁻⁵ m/s ²)
周波数範囲	1~80Hz

表-4 振動検出器の仕様

型 式	PV-83B
構 造	せん断形圧電式加速度ピックアップ
検出方向	3方向 (x, y水平, z鉛直)
前置増幅器	内蔵
寸 法	φ67×40.7mm
重 量	約350g

(4) 移動体通信

本研究ではデータ通信を行うために、PHS あるいは携帯電話によるダイヤルアップ接続を利用した。これらの電話機は軽量で、持ち運びが容易であり、さらに、今後のデータ通信速度の高速化が期待でき、遠隔モニタリングにおける有効な通信手段の一つであると考えられる。計測時点において、PHS 同士の通信では、32kbps または 64kbps, 128kbps の通信速度が実現されており、携帯電話では 9.6kbps または 14.4kbps であり、さらに、次世代携帯電話の普及により、更なる通信速度の高速化が見込まれている。また、パケット通信方式による高速なデータ通信サービスも提供されているが、着信側の設備に特別な設定が必要になるため、本システムでは、PHS 同士の回線交換方式を使用した。

6. 地盤環境振動遠隔モニタリングシステムのソフトウェア

(1) パーソナルコンピュータと携帯電話の接続

a) Windows2000

本システムではノートパソコンを使用し、データ集録のために A/D 変換カードを使用すること、また、データ通信のために PHS を接続することから、これらの接続がサポートされなければならない。本システムで

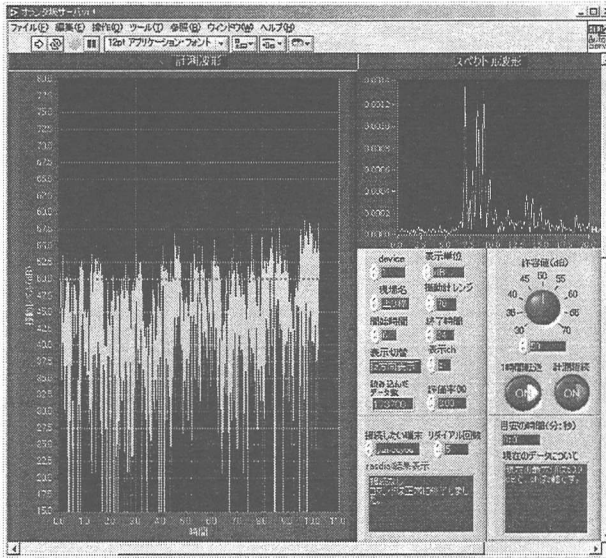


図-8 計測現場の計測画面

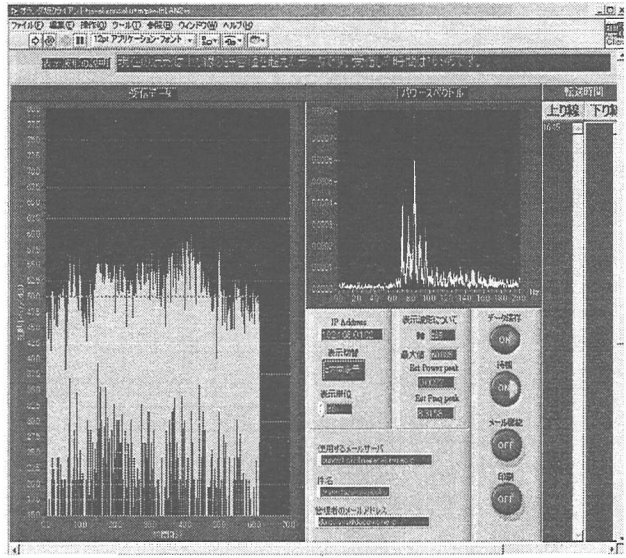


図-9 管理事務所の計測画面

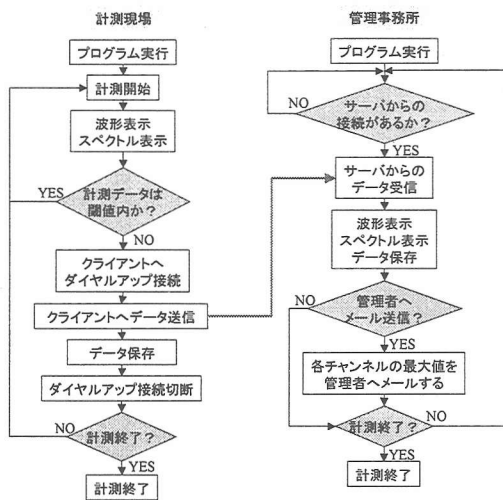


図-10 プログラムの流れ

は、後述するダイヤルアップ接続の機能とコマンドプロンプトの機能、OS の安定性を総合的に判断し Windows2000 Professional¹⁵⁾ (Microsoft 社製) を使用した。

b) ダイヤルアップ接続

携帯電話回線を経由して遠隔地のコンピュータとデータ通信を行うには、計測現場のシステムからのダイヤルアップ接続の要求に対して、管理事務所のシステムは自動的に着信して接続を確立する機能が必要である。Windows2000 では、リモートアクセスサービス (RAS) が標準で装備され、ダイヤルアップ接続要求に対して、自動的に着信することができる。また、

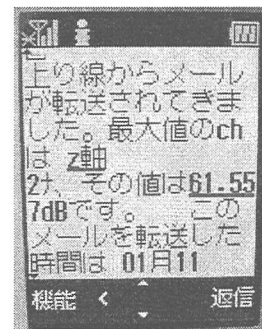


図-11 携帯電話のメールの事例画面

通信プロトコルは信頼性の高いデータ転送を行うことが可能な TCP/IP¹⁶⁾ を使用した。TCP/IP 接続された機器は、IP アドレスによって識別される。本システムはインターネットに接続しない 1 対 1 の通信を行うことからプライベートアドレスを使用し、モニタリングの自動化を図るために IP アドレスをあらかじめ指定した。

c) コマンドプロンプト

本システムは、計測値が閾値を超えた場合、サーバからクライアントへと自動的にダイヤルアップ接続を行い、データ転送を行うことを目的の 1 つとしている。このことを可能とするために、Windows2000 のコマンドプロンプトのコマンドである rasdial コマンドを利用した。これは、接続したいダイヤルエントリ名を指定し、コマンドを入力することで、ダイヤルアップ接続、切断を行うことができるものである。

このコマンドを後述する仮想計測器ソフトウェア LabVIEW のプログラムに組み込むことによって自動的にダイヤルアップ接続と切断を行うことができる。

(2) 遠隔振動計測のためのソフトウェア

a) 地盤環境振動計測

本研究では、遠隔モニタリングのプログラムを作成する言語として仮想計測器ソフトウェア LabVIEW (National Instruments 社製) 17),18)を使用した。LabVIEW は優れた GUI(Graphical User Interface) を有しており、データ集録や TCP/IP 関連のデータ通信、データ解析に必要なツールも豊富に用意されている。このソフトウェアを用いることにより、計測システムの計測機能と通信機能を一台のパーソナルコンピュータに集約することができるため、極めて軽量で低価格なシステム構築が可能になる。

b) 遠隔モニタリングプログラム

LabVIEW を用いてサーバ・クライアント型計測のプログラムを作成した。計測現場 (サーバ) と管理事務所 (クライアント) の計測画面をそれぞれ図-8、図-9 に示す。計測現場の計測画面に表示されている波形は、左側が振動波形、右側上部が振動波形のパワースペクトル密度を表す。ここに、振動波形はデシベル変換して表示している。画面右側下部は、データ取得情報を入力する部分であり、閾値の設定や画面表示、またデータ転送のための接続設定を予め入力しておく必要がある。閾値を 50dB に設定すると同時に、振動波形グラフにも閾値を示す制限線が表示される。

管理事務所の計測画面の画面構成は、計測現場側と同様、左側に振動波形、右側上部にパワースペクトル密度を表示させた。画面右側下部は、波形情報表示 (振動波形最大値、卓越周波数) や管理者への転送メールの設定を行う部分である。また管理事務所の計測画面には、上り線・下り線から送られた計測データが1台のコンピュータに表示されるようにした。

作成したプログラムの流れを図-10 に示した。プログラムの概要は、次のようになっている。

- ①計測現場でプログラムを実行すると振動計測を開始し、管理事務所プログラムを実行するとサーバからのダイヤルアップ接続の確認を行う。
- ②計測現場で計測した振動が閾値を超えると、管理事務所へとデータを転送し、管理事務所ではデータの表示、保存、スペクトル解析を行う。データは日付で分

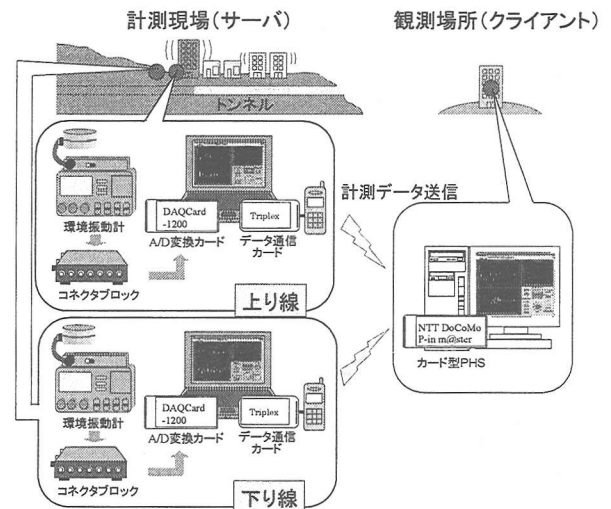


図-12 遠隔モニタリングシステム設置状況

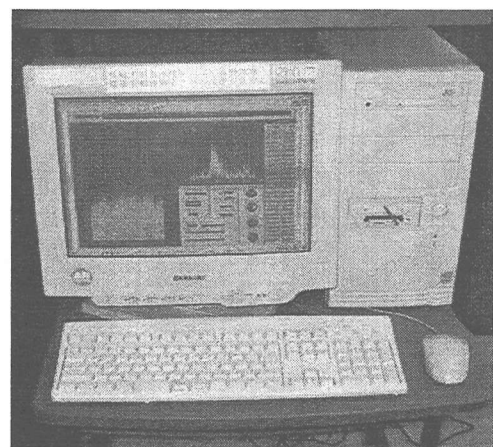


図-13 モニタリングシステム設置状況

類され、テキスト形式で保存される。

- ③管理事務所管理者へメールを送るように設定すると、最大値のチャンネルとその値を示したメールを転送することができる。
- ④データ転送の動作が終了するとダイヤルアップ接続は切断され、計測現場と管理事務所のシステムは①の状態に戻る。

本プログラムでは、このような動作を常時、自動的に行うことが可能である。計測データはデスクトップ上のフォルダに日付ごとに分類し、保存される。本システムは、計測現場にシステムを設置し、計測現場と管理事務所のプログラムを実行しておく、すべての動作を自動的に行うことができる。管理者に送られる携帯電話のメールの事例画面を、図-11 に示した。

7. 地盤振動遠隔モニタリングの運用手順

(1) 遠隔モニタリング運用手順

計測現場では、①検出器の設定、②コンピュータにA/D変換カードを接続、③管理事務所へのダイヤルアップ接続の設定、④プログラムの初期設定（閾値などを決める）を行い、プログラムを実行し、計測を開始する。このような手順で、計測現場での操作が完了する。管理事務所では計測現場からのダイヤルアップ接続に備えて、リモートアクセスの設定を行い、プログラムを実行する。プログラム移動後は、計測現場において振動が閾値を超えると管理事務所へと自動的にダイヤルアップ接続を行い、データ転送、表示、保存、スペクトル解析といった一連の動作を自動的に行う。

このように、本システムでは計測現場、管理事務所での作業はシステムの設置、プログラムの初期設定だけでよく、プログラム実行後は環境振動計測を常時、無人で行うことができる。

(2) 遠隔モニタリングの方法

このようにして構成された遠隔モニタリングシステム設置状況を図-12に示した。上り線および下り線に設置した計測装置は同様であり、それぞれの計測結果は管理事務所へと転送される。切羽の移動に伴い、図-6に示した計測現場のサーバシステム計測システムを移動させる必要があるために、計測装置一式をプラスチック容器の中に収容し、可搬型にコンパクトにまとめた。

管理事務所側すなわち、クライアント側のモニタリングシステムの設置状況を図-13に示す。クライアント側のコンピュータは、PHSカードのスロットが前面にある低価格のパーソナルコンピュータである。

これらのサーバ・クライアントシステムで構成される本システムは、 $x \cdot y \cdot z$ 方向の振動を検出することができる。 x 方向をトンネル軸方向、 y 軸をトンネル軸直角方向、 z 軸を鉛直方向とし、サンプリング周波数は100Hzとした。閾値を振動レベルで人間が感じ始めるとされる50dBと設定し、計測現場ではこれを超えたデータだけを管理事務所へと転送し、データ表示、解析、保存といった処理を行う。管理事務所のシステムは、インターネットに接続できなかったために、管理者へのメール送信は、長崎大学外部接続電話による試験運用のみとした。



図-14 計測現場と管理事務所の位置関係



図-15 トンネル切羽直上部付近の状況

8. 地盤振動計測事例

(1) 地盤環境振動計測概要

長崎市に施工中のオランダ坂トンネルの土被りは7m～35mと非常に薄くなっている。そのため、トンネル切羽上部にトンネル掘削における環境振動が発生する可能性があり、切羽上部付近の住民への心理的影響や家屋への影響が考えられる。そこで、本研究で開発した遠隔モニタリングシステムを用いて、トンネル（上り線・下り線）上部において発生している環境振動を遠隔モニタリングした。サーバシステムは長崎市十人町のオランダ坂上り線・下り線の切羽上部の民家に設置し、クライアントシステムは計測現場から約1km離れた長崎市元船町の管理事務所（長崎県出島バイパス建設事務所）に設置した。計測現場と管理事務所の位置関係を示した図が、図-14である。計測器・サーバシステムは住民への配慮と屋外へ設置される可能性があったため、ケースに収納して設置することとした。遠隔モニタリングシステムに必要な電源は民家から供給した。トンネル切羽直上部付近の状況を示したものが図-15である。

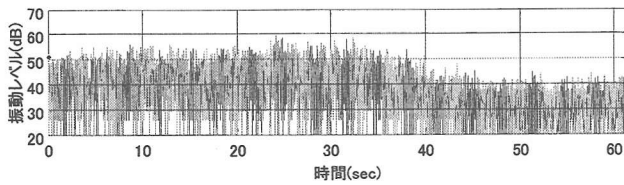


図-16 振動レベル

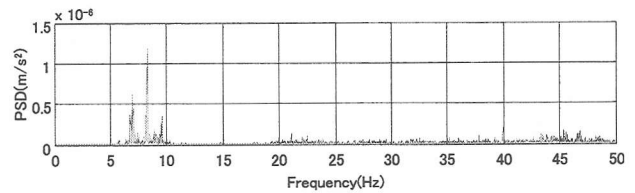


図-17 振動スペクトル

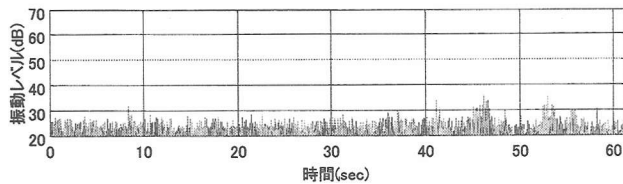


図-18 非掘削時の振動レベル

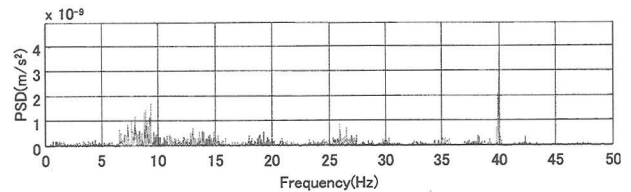


図-19 非掘削時の振動スペクトル

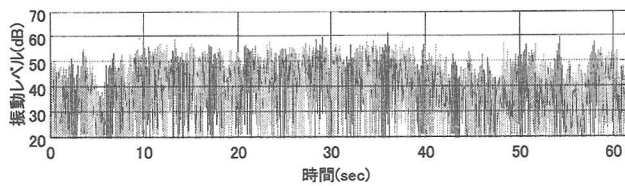


図-20 掘削時の振動レベル

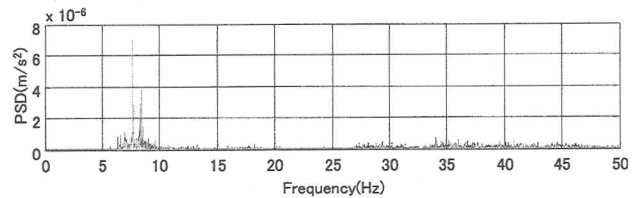


図-21 掘削時のスペクトル

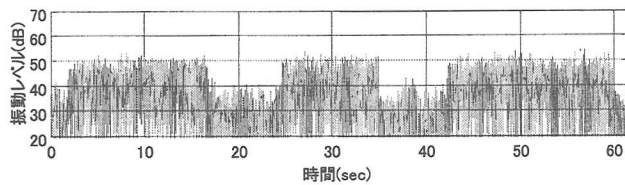


図-22 削孔時の振動レベル

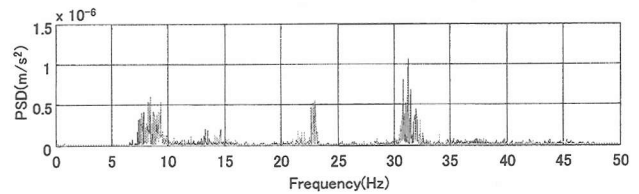


図-23 削孔時の振動スペクトル

(2) 地盤環境振動計測事例

本システムを施工現場に適用して、遠隔モニタリングを実施した。計測事例を図-16 に示した。図は環境振動の鉛直方向の加速度応答波形を示したものである。横軸は時間軸で縦軸は加速度(dB)である。図-17 に鉛直方向のスペクトル解析結果を示す。横軸は振動数(Hz)で、縦軸は加速度のスペクトル(m^2/s^3)である。加速度応答波形を見ると人間がよく感じるとされる50dB を超えているのがわかる。さらにスペクトル解析結果からピークが6~8Hzの振動が検出されている。トンネル掘削時に発生している環境振動は近隣の住民や家屋に影響が出る可能性がある。設定時間T=60秒として、振動レベルが50dBを5%超過した振動レベルを、振動管理レベルとした。このレベルを設定値として、環境振動を管理することにした。

(3) 施工種別による地盤環境振動への影響

トンネル施工において管理すべき地盤振動が、どの

ような工種において発生しているかを把握することは、環境振動を管理する上で重要なことである。そこで、環境振動がどの工種において発生しているか、さらに、工種と振動性状の関係を明確にするため、トンネル非掘削時と掘削時、また削孔時の環境振動を計測した。この計測において、データ通信は行わず、計測データは計測システムのハードディスクに随時保存した。

計測現場の暗振動(バックグラウンド振動)レベルを把握するために、非掘削時の振動レベルを計測した。非掘削時の振動レベルを示したものが図-18である。図は、環境振動の鉛直方向の加速度を示したものである。図-19は鉛直方向の振動のパワースペクトル密度解析の結果である。

1週間計測を行ったが、工程表と比較した結果、施工時と削孔時の2つの工程において振動レベルが高いことが分かった。掘削時の振動レベルを示したものが図-20である。対応する振動スペクトルが図-21である。

また、削孔時の振動レベルを図-22 に示した。対応する振動スペクトルを図-23 に示す。これらの振動が50dBを超えている。

図-16 と図-20 がほぼ同様な形状、および、スペクトルが検出されていることから、図-16 は掘削時の振動レベルと推測でき、掘削時の振動データが確実に管理事務所へと転送できていることを確認できた。掘削時の振動は7.5Hzをピークとする振動が検出され、連続的に振動が50dBを超えていることが確認できた。削孔時は、スペクトルは8Hz, 23Hz, 32Hzをピークとする振動が検出され、断続的に振動が50dBを超えることを確認できた。

(4) 実測による本システムの検証

長崎市中心部に施工中である典型的な都市型トンネルの振動モニタリングのために、移動体通信による遠隔モニタリングシステムを適用した。本システムの有用性に関して検証を行う。

a) データ転送について

従来、計測データを受け渡す際、①記憶媒体によるオフライン処理方法、また②専用回線、有線一般電話回線を用いたオンライン処理方法が一般に用いられてきた。移動体通信機器を用いることで、従来必要であった設備投資を削減することができ、また今回の計測においては、トンネル切羽面の移動とともに計測ポイントも移動させる必要があったため、無線である移動体通信を使用することのメリットは大きい。

b) 移動体通信方法の選択

今回の計測は都市部で行われたため、電波中継箇所が都市部に多く、携帯電話と比較するとデータ転送速度の速いPHSを使用した。計測箇所が山間部など、都市部から離れる場合は、中継箇所が国内に点在する携帯電話を用いることが望ましい。また一般電話回線や無線LANを組み合わせることでデータ転送の信頼性を上げる必要があると考える。

9. まとめ

土被りの薄い都市型トンネル施工において、切羽上面の環境振動をモニタリングしながら適応的に施工する必要に迫られている。施工により影響を受ける環境を実時間で制御しながら施工を進めるためには、環境の変化を実時間でフィードバックする遠隔モニタリングシステムが必要になる。本論文は、近年低価格化し

たパーソナルコンピュータと移動体通信(PHS)を使った、低価格で軽量な地盤環境遠隔モニタリングシステムの提案を行い、実際の現場に適応して、その有効性を検証したものである。本論文で、得られた成果を要約すると次のようになる。

(1) パーソナルコンピュータと移動体通信(携帯電話・PHS)の機能を組み合わせることにより、遠隔振動モニタリングシステムを構成することができた。

(2) 固定点で計測する従来の方法に対して、計測点を自由に移動させることができるために、切羽の移動に対して計測点を自由に変更できる。環境振動計測における技術革新を行った。

(3) パーソナルコンピュータの多機能化と携帯電話の低価格化により、パーソナルコンピュータの機能を生かせば、低価格で高機能な計測システムを構成することが可能であることを示した。

(4) パーソナルコンピュータの操作により、決められた時間、設定した振動レベルを超えた場合、データの保存等、各種設定により自動計測が可能である。

(5) 担当者は管理事務所を離れて業務を行っていることがあるために、振動レベルが設定値を超過した場合、担当者に文字データをメールで転送する機能を実現した。

(6) 本システムをトンネル施工中の地盤環境遠隔モニタリングに適用した。現地のデータが管理事務所を確認でき、本システムの有効性を確認した。

(7) 本システムの導入により、現場データの回収業務をなくすることができ、現場振動のモニタリングの省力化とデータ管理に緊張感を取り除くことができた。

トンネル施工現場で有効に運用できた遠隔振動モニタリングシステムであるが、幾つかの今後の課題となる要望があった。切羽上面の地盤では、振動と固体音が共存して人間に影響を与えている。そこで、現在、現地の音を同じレベルの音質で、管理事務所を確認できるシステムの構築を行っている。計測業務は、従来の短い期間の試験型計測から、長時間の管理型計測に移行しつつある。低価格で、軽量な計測システムを構成しなければ、業務の遂行が実現できない局面にきている。本論文で、提案した遠隔振動モニタリングシステムの基本的な考え方は、今後の管理型計測業務に活用できるものと考えている。

参考文献

- 1) 岩崎敏男, 嶋津晃臣訳: 土と基礎の振動地盤振動の基本的知識, 鹿島出版会, 1975.9
- 2) 江島淳: 地盤振動と対策, 集文社, 1979.6
- 3) 橋梁振動研究会編: 橋梁振動の計測と解析, 技報堂出版, 1993.10
- 4) 土木学会構造工学委員会, 橋梁振動モニタリング研究小委員会: 橋梁振動モニタリングのガイドライン, 土木学会, 2000.10
- 5) 北川原徹, 原誠, 樋野親俊: 杭打ち機械の振動対策, 土と基礎, Vol.27, No.8, Ser.No.258, pp.33-40, 1979.8
- 6) 吉田隆: 現場実務者と設計者のための 実用 騒音・振動制御ハンドブック, エヌ・ティー・エス, 2000.5
- 7) 竹宮宏和: 環境振動における地盤内の波動伝播と振動対策, 基礎工 Vol.30, No1, pp.8-11, 2002.1
- 8) 長瀧慶明, 田口典生: 交通振動による建造物の防振対策, 基礎工 Vol.30, No1, pp.28-32, 2002.1
- 9) 吉田正: 建設工事による地盤振動の予測手法, 基礎工 Vol.30, No1, pp.33-36, 2002.1
- 10) 田口典生, 長瀧慶明: 高速道路に隣接した建物の振動予測と防振対策, 基礎工 Vol.30, No1, pp.71-73, 2002.1
- 11) 岡林隆敏, 山森和博, 田丸康広, 吉村徹: 可搬型振動計測システムによる建造物の振動特性推定, 土木学会論文集, No.591/I-43, pp.327-337, 1998.4
- 12) 河村進一, 岡林隆敏, 高木真一郎: 移動体通信による橋梁振動の遠隔計測システムの開発, 構造工学論文集, Vol.46.A, pp.539-546, 2000.3
- 13) 岡林隆敏, 細川雅史, 村里静則, 蔣宇静: 環境振動制御トンネル掘削施工のための環境振動の遠隔モニタリング, 橋梁振動コロキウム'01 論文集, pp.213-218, 2001.10
- 14) 村里静則, 村嶋光明, 伊東博司, 蔣宇静, 棚橋由彦: オランダ坂トンネル工事による地表部の振動騒音に関する住民アンケートの調査と解析, 長崎大学工学部研究報告集, 第31巻, 56号 pp.81-86, 2000.1
- 15) Mark Minasi, Todd Phillips: Windows 2000 Professional エキスパートガイド, 翔泳社, 2000.9
- 16) 若林宏: TCP/IP ハンドブック, 株式会社秀和システム, 1999.1
- 17) National Instruments Corporation: LabVIEW データ集録ベーシックマニュアル, 1998.7
- 18) 井上泰典: LabVIEW グラフィカルプログラミング, 森北出版, 1998.8