

工事騒音リアルタイム評価対応システム・ 工事振動リアルタイム評価対応システムの開発

Development of Real-time Evaluation and Execution System for Construction Noise, and
Real-time Evaluation and Execution System for Construction Vibration

小林 真人^{*1} 坂崎 友美^{*1} 内田 季延^{*1}
Masahito Kobayashi Tomomi Sakazaki Hidenobu Uchida

【要旨】

工事騒音リアルタイム評価・対応システムと工事振動リアルタイム評価・対応システムは、建設工事における JIS 規格に基づく測定評価の課題解消を目的として開発したものである。騒音や振動の測定手法規格である「JIS Z 8731 環境騒音の表示・測定方法」、「JIS Z 8735 振動レベル測定方法」に準じた測定評価で利用されている、騒音計や振動計・レベルレコーダー・レベル処理機による従来の測定システムは、データ処理・結果の評価・結果に対する監理の面で技術的課題があり、昼夜連続で長期間に渡る工事には適用しにくい。

本報では、これらの課題を解消した、リアルタイム評価・対応システムの開発経過と工事への展開状況、システムの技術的概要とその用途、工事への具体的適用事例について報告する。

【キーワード】 工事騒音 工事振動 常時監視 影響評価

1. はじめに

当社は「恵み豊かな地球環境の重要性を認識し、企業活動のあらゆる面で地球環境に配慮して行動する」を環境理念として、土木構造物や建築物における設計、施工、技術研究および管理活動における環境保全活動を推進することを行動方針の一つに定めている。工事騒音リアルタイム評価対応システム（以下、「騒音モニタリングシステム」とする）や工事振動リアルタイム評価・対応システム（以下、「振動モニタリングシステム」とする）は、このような当社の環境保全に配慮した設計・技術開発への取り組みを背景として開発され、入札時総合評価方式など騒音振動に係る課題への解決手段として展開運用されている。

建設工事騒音や工事振動は、それぞれ騒音規制法¹⁾、振動規制法²⁾によって規制されている。これらの規制法では、工事用地からの騒音振動の排出量を抑える排出規制により、工事用地周辺への影響を低減しており、騒音振動の評価と管理の基本的考え方が示されている。また、規制法のなかで測手法についても規定され、騒音レベルについては、「JIS Z 8731 環境騒音の表示・測定方法」、振動レベルについては、「JIS Z 8735 振動レベル測定方法」によるものとされている。

近年では、騒音の環境基準など、地域あるいは生活環境での騒音振動の影響評価が一般的になってきており、騒音規制法や振動規制法による規制基準の遵守以上の対

応が必要となっている。

特にトンネル工事やダム工事は、施工期間が数年と長期に渡ることや、昼夜連続の作業があること、および比較的静穏な地域の民家等に近接した施工場所であることなどから、周辺環境への配慮が重要である。このような工事に対して、騒音や振動の測定手法は JIS に基づくことができるが、騒音計や振動計・レベルレコーダ・レベル処理機による従来の計測システムは、データ処理・結果の評価・結果に対する監理の面で以下の技術的課題があり、適用しにくい場合がある。

- ・異常な騒音振動の発生時に、発生源や影響レベルなどの情報をリアルタイムに工事管理者へフィードバックできない。
- ・騒音源や振動源が複数ある場合に、影響を与えた発生源の特定ができない。
- ・昼夜連続など長期の計測では、データが膨大になり処理に時間がかかる。

そこで、これらの技術的課題を解決した騒音モニタリングシステムと振動モニタリングシステムを開発した。ここでは、システムの開発経過と工事への展開状況、システムの技術的概要とその用途、工事への具体的適用事例について報告する。

2. システムの開発経過と工事への展開

表-1に騒音モニタリングシステムと振動モニタリン

1. 建設事業本部 技術研究所 第二研究室

グシステムの開発経過とタイプ別の特徴、および工事への展開状況を示す。

平成18年度に騒音モニタリングシステムタイプⅠの開発から着手した。当時、騒音を多点で常時連続監視するシステムが無いなか、四国地方整備局平成17-19年度石丸トンネル工事の施工に着手した。石丸トンネル工事では、仮設備基地から115m隔離した民家での工事騒音を22時から翌6時までの等価騒音レベル^{注1)}で40dB以下に規制した施工を行った。そのため、仮設備基地、工事用地境界、民家での騒音レベルを常時連続監視する騒音モニタリングシステムタイプⅠを新たに開発し工事騒音の管理を行った³⁾。

騒音モニタリングシステムタイプⅠの開発により騒音を多点で常時連続監視することが可能となったが、民家等の騒音評価点に対する工事騒音の影響を判別できないことが課題として残った。そこでこの課題を解決するために、平成19年度に騒音源影響の自動解析、暗騒音の自動削除機能を追加した騒音モニタリングシステムタイプⅡの開発を行った。このシステムはこれまで多くの工事で採用され展開されている。平成20年度にはタイプⅡでは解析精度が悪くなる、工事現場内を移動する複数の騒音源にも対応した移動騒音源対応型の騒音モニタリングシステムタイプⅢを開発した。

平成19年度には、振動監視に対する社内ニーズから振動モニタリングシステムタイプⅠを開発した。このシステムでは騒音モニタリングシステムタイプⅠと同様の振動を多点で常時連続監視する機能に併せて、工事用地境界等の振動測定点で得られた振動レベルから、民家等の評価点における振動レベルを推定する機能を持たせた。平成22年度には振動モニタリングシステムタイプⅠでは解析精度の悪くなる、工事現場内を移動する複数の振動

源に対応した移動振動源対応型の振動モニタリングシステムタイプⅡを開発した。

3. システム概要

3.1 騒音モニタリングシステム

(1) タイプⅠ・タイプⅡ

図-1にシステムの基本的な構成を示す。本システムは騒音計・A/D変換器・パーソナルコンピュータ・専用

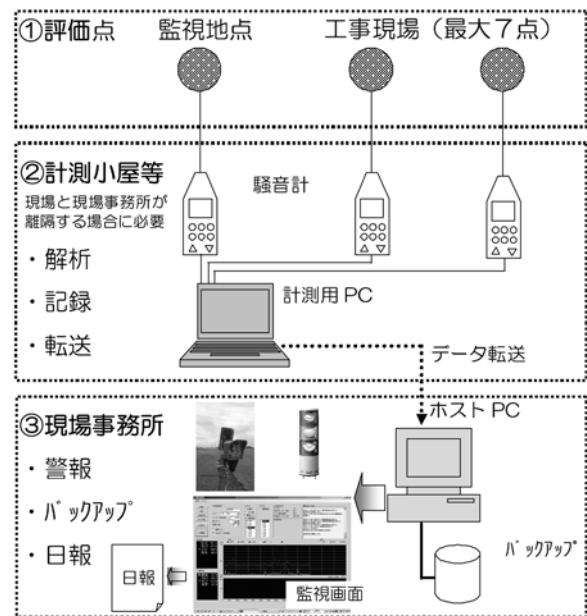


図-1 騒音モニタリングシステムタイプⅠ・タイプⅡの基本構成

注1) 等価騒音レベル

時間とともに変動する騒音を評価する量であり、計測時間中の騒音エネルギーの時間平均値である。長時間の騒音暴露に対する人体反応との対応に優れ環境基準における騒音の評価量として採用されている。

表-1 騒音モニタリングシステム・振動モニタリングシステムの開発経過と特長および展開先

	タイプ	開発完了年度	特長	展開先
騒音モニタリングシステム	Ⅰ	平成18年度	・最大8箇所での工事騒音自動計測機能 ・警報出力、日報処理機能	・石丸トンネル工事 ・氷見第六トンネル工事 ・鶴住居トンネル工事 ・辰巳ダム工事
	Ⅱ	平成19年度	・タイプⅠの機能 ・騒音源の影響レベルの自動解析機能 ・暗騒音の自動判別機能 ・暗騒音の計測データからの自動削除機能	・大笹生トンネル工事 ・今戸トンネル工事 ・小郡トンネル工事 ・差木野第二トンネル工事 ・大狭トンネル工事 ・小矢戸トンネル工事 ・大袋トンネル工事 ・新内海ダム工事
	Ⅲ	平成20年度	・タイプⅡの機能 ・複数の移動する騒音源の影響監視機能	・大万木トンネル (試験運用)
振動モニタリングシステム	Ⅰ	平成19年度	・最大8箇所での工事振動自動計測機能 ・民家等での振動レベルの自動推定機能 ・警報出力、日報処理機能	・北千葉排水処理槽増設工事 (試験運用) ・某倉庫耐震改修工事
	Ⅱ	平成22年度	・タイプⅠの機能 ・複数の移動する振動源の影響監視機能	・笠森トンネルその4工事 (試験運用)

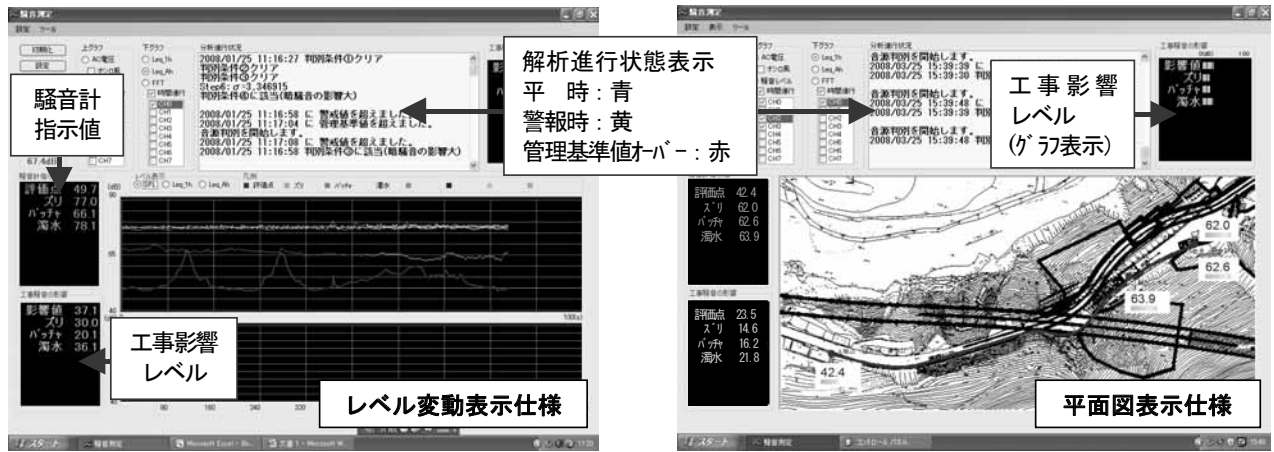


図-2 騒音監視状態の一例(タイプII)

ソフトウェアで構成される。騒音計はタイプIの場合は任意の監視地点に最大で8地点、タイプIIの場合は工事現場内に最大で7地点、住宅等の監視地点に1地点設置可能である。A/D変換器は8ch入力(共通API仕様)とし、マルチコアCPUを搭載したパーソナルコンピュータ(x86互換機, RAM 2G Byte, HDD 500G Byte以上)との組合せで音圧波形の記録と解析を行う。図-2に計測用パーソナルコンピュータのタイプIIでの監視状態(タイプIはレベル変動のみを表示)の一例を示す。監視画面は騒音レベルの時間変動を表示する仕様、もしくは仮設備等の平面図上に騒音レベルを表示する仕様を選択することができる。タイプIとタイプIIでシステムの基本構成は同様であるが、用途に応じてソフトウェアを入替えることで対応している。

図-3にタイプIIにおける解析フローを示す。フローに従い、等価騒音レベル(LAeq)を算出する。時間率騒音レベルが必要な場合は日報出力時に自動処理する。計測された等価騒音レベルと評価地点における騒音レベルの警戒値・管理基準値との対比(管理基準値:施工計画時に設定, 警戒値:管理基準値-5dBなど任意に設定可能)を行う。更に暗騒音影響の自動判別を行い、工事騒音源の影響レベル解析、警報出力、日報出力の処理を行う。ここで、暗騒音の影響であれば、当該データは騒音評価量の算出時点で自動的に削除される。また、タイプIでは解析フロー図の騒音源や暗騒音の影響判別に係る項目(4), (6), (8)が無くなる。

(2) タイプIII

図-4にシステムの基本的構成を示す。おおまかな機器構成はタイプI, タイプIIと同様であるが、複数の移動する騒音源を監視可能とするために、写真-1に示すような、1m間隔で配置した6個のマイクロホンからなるマイクロホンアレーを評価地点に設置することが特徴である。タイプIIIによる騒音レベル監視の考え方を以下に示す。

- ・マイクロホンアレーを工事用地境界等に設置する。

- ・マイクロホンアレーのマイクBによる騒音レベルが管理基準値を超えた場合に、Bに入射した音波を基準として、AからFのB以外のマイクロホンに入射し

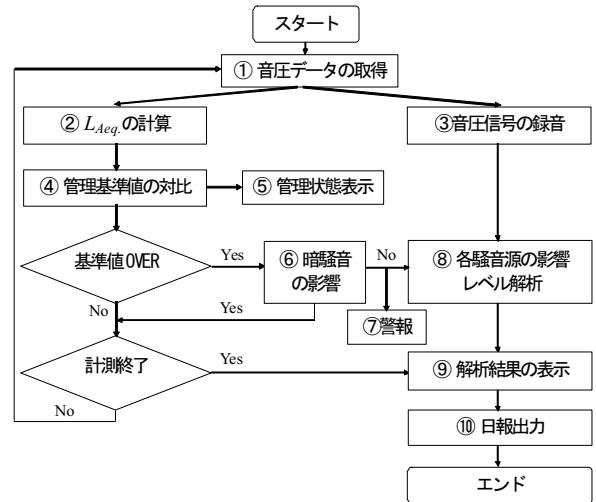


図-3 騒音モニタリングシステムタイプIIの解析フロー

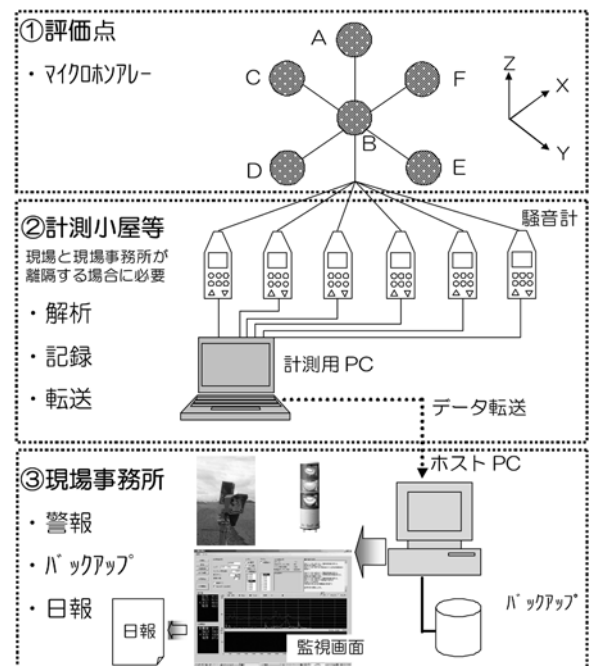


図-4 騒音モニタリングシステムタイプIIIの基本構成

た音波との時間差求め、影響した騒音源の位置を解析する。

- ・解析された騒音源位置が現場内であれば、警報を発信する。現場外である場合は暗騒音と判断する。

図-5に大万木トンネル仮設備ヤードにおいて実施した騒音源位置の解析例を示す。解析画面には水平面(X-Y)、鉛直面(Z-X)が表示されている。マイクロホンアレーの中心(マイクB)は各面の原点位置にある。図中の○印はマイクBが管理基準値(試験では70dBに設定)を超えた時の騒音源の位置を示す。例示した主たる騒音源はズリ積みみとセメント納入車両である。水平面で見ると、ズリ積みみ場所方向からの騒音と吹付けプラント脇へセメント搬入車両が移動することによる騒音の状態が確認できる。鉛直面の表示では監視地点から見た騒音の高さ方向の到達状態が確認できる。騒音源からの直接音以外に仮設構造物等からの反射音も表示されているが、±5mほどの精度で騒音源の位置を特定していることが判る。この様にタイプIIIでは任意の騒音評価地点で、現場内の複数で移動する騒音源の影響を監視することができる。

3.2 振動モニタリングシステム

(1) タイプI

図-6にシステムの基本構成を示す。機器の構成は騒



写真-1 騒音モニタリングシステムタイプIII
マイクロホンアレー設置状況(大万木トンネル試験)



図-5 騒音監視状態の一例(タイプIII)

音モニタリングシステムタイプI・タイプIIと同様であるが、地盤上の振動を計測するため振動レベル計を接続する。基本的機能は騒音モニタリングシステムタイプIと同じで最大で8箇所の振動を常時連続監視することができる。これに加えて、あらかじめ工事用地境界上の加速度ピックアップ設置点と住宅等の振動評価点間の距離減衰を求め、これを減衰パラメータとして与えておくことで、工事用地境界上での振動レベルから住宅等の振動評価点での振動レベルを推定して管理する機能が追加されている。

図-7に4.9tonクローラーレッカーの走行を振動源とした検証実験の振動監視状態の一例を示す。監視画面には工事用地境界上での振動レベルと住宅等の振動評価点での振動レベル推定値の瞬時値、および時間変動が表示され、振動レベル推定値が管理基準値を超えた場合には画面中央部の表示で警告が発信されている。また、この警告はパトライトとも連動し、振動の発生状態を現場職員や作業員に告知することができる。

図-8に評価点で実測した振動レベルと、工事用地境界上の振動レベル実測値から推定した評価点での振動レ

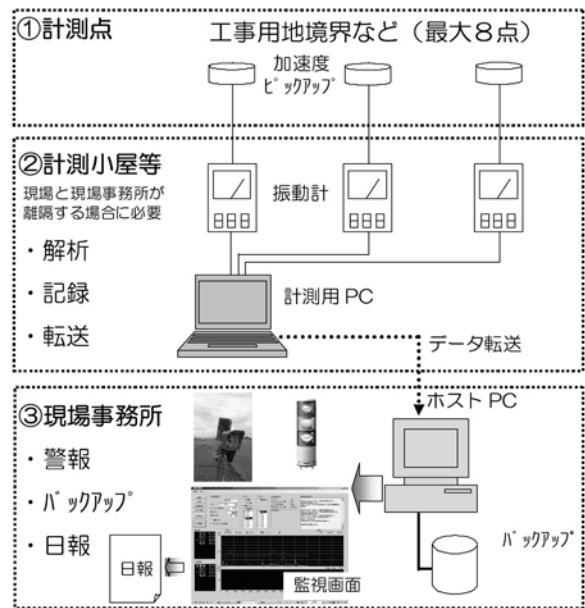


図-6 振動モニタリングシステムタイプIの基本構成

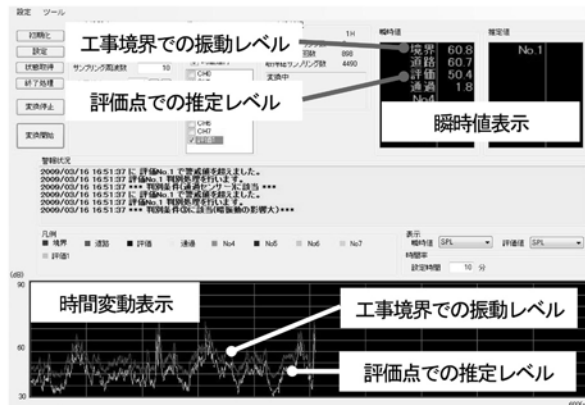


図-7 振動監視状態の一例(タイプI)

ベルとの比較を示す。振動レベル実測値と推定値は良く対応しており、本システムを用いることで工事用地境界の振動レベルから評価点での振動を管理することが可能である。ただし前述のとおり、工事用地境界上の加速度ピックアップ設置点と住宅等の振動評価点間の距離減衰を用いて推定しているため、地盤等が大きく変更された場合には改めて距離減衰を計測する必要がある。

(2) タイプII

図-9にシステムの基本構成を示す。基本的な構成はタイプIと同様であるが、複数の移動する振動源を監視可能とするため4個の加速度ピックアップからなる振動アレーを評価点に設置することが特徴である。本システムによる振動監視の考え方は騒音モニタリングシステムタイプIIIと同様で、振動アレーの中央部にある加速度ピックアップBの振動レベルが管理基準値を超えた場合に、加速度ピックアップBとそれ以外の加速度ピックアップに入射する振動の時間差から振動源位置を解析し、工事による影響か否かを自動判別するものである。

タイプIIの振動源位置解析精度の検証実験を笠森トンネル終点側仮設備ヤードで行った。図-10に振動アレー

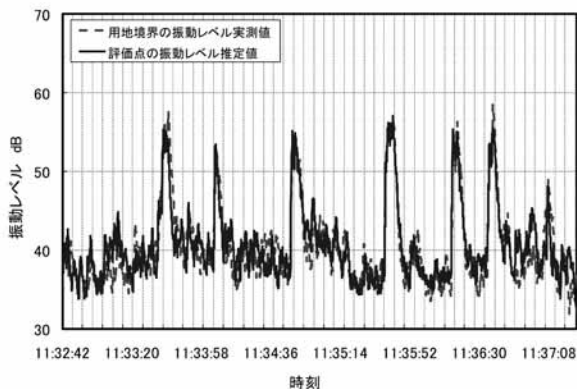


図-8 振動レベル実測値と推定値の比較

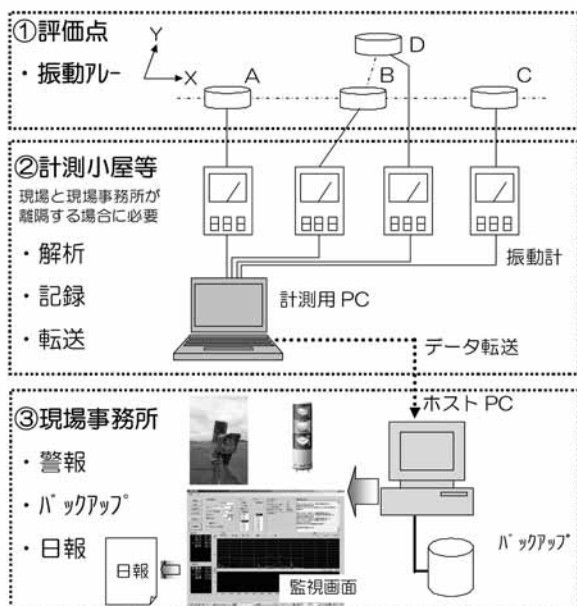


図-9 振動モニタリングシステムタイプIIの基本構成

一の設置状況を示す。加速度ピックアップの設置間隔は5mである。図-11にバックホウの走行による振動を監視対象とした振動源位置の解析結果を示す。振動モニタリングシステムでは地盤表面での振動レベルを対象とした管理を行っているので、解析画面の表示は水平面表示としている。図中の○印は加速度ピックアップBが管理基準値を超えたときの振動源位置を示す。ここで、試験時の管理基準値はバックホウが遠方にいる場合でも解析ができるよう30dBに設定した。試験走行を行ったバックホウは坑口前ヤードから工事用道路を経てズリ積み場までを往復したが、±1mほどの精度で振動源位置を特定していることが判る。この様にタイプIIでは現場内を移動する振動源の影響を監視することができる。

4. 適用事例

これまでの展開実績のなかから、騒音モニタリングシステムタイプIIの宮崎10号差木野第二トンネル工事、および宮崎10号大峽トンネル工事への適用事例を紹介する。他の適用事例については、既報3)4)5)で報告しているので参照いただきたい。

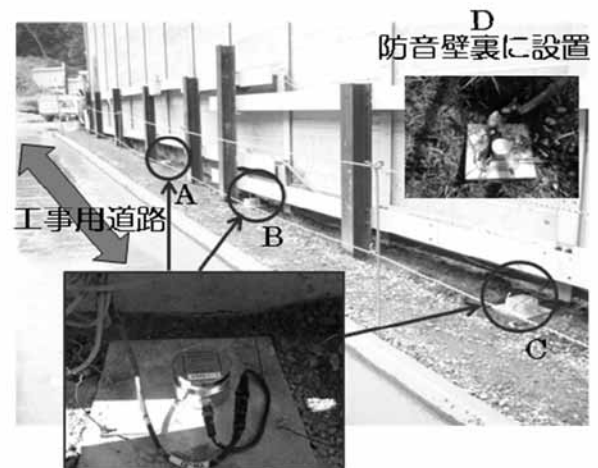


図-10 振動モニタリングシステムタイプII
振動アレー設置状況 (笠森トンネル試験)



図-11 振動監視状態の一例 (タイプII)

4.1 工事概要

差木野第二トンネル工事、および大峡トンネル工事では工事用地に近接した民家があることから、特に騒音に配慮した施工が求められた。しかしながら、騒音の評価対象家屋の脇には市道があったため、特に自動車交通量の多い朝夕の通勤時間帯では、工事騒音の影響に比べ自動車騒音の影響が顕著になることが予測された。このような条件では、工事と自動車の影響が重なりあった騒音が観測されるため、従来の騒音測定方法では工事による影響の管理が困難であった。そこで、騒音モニタリングシステムタイプIIを導入し、自動車騒音の影響を自動判別しながら工事騒音の管理を行った。

「差木野第二トンネル」

工事名称：宮崎10号差木野第二トンネル工事

発注者：国土交通省 九州地方整備局

工期：2008年 2月 5日～2010年 2月26日

掘削延長：704m (掘削断面積：73.8～90.5m²)

工事場所：宮崎県延岡市差木野町～大峡町地先

「大峡トンネル」

工事名称：宮崎10号大峡トンネル工事

発注者：国土交通省 九州地方整備局

工期：2008年 2月20日～2010年10月29日

掘削延長：1,141m, (掘削断面積75.0～99.5m²)

工事場所：宮崎県延岡市大峡町地内～桜ヶ丘町地内

4.2 システムの適用と管理方法

図-12に両トンネルの位置、仮設備、防音設備および騒音の評価対象家屋の配置を示す。差木野第二トンネル工事、および大峡トンネル工事は同時期に受注したため、仮設備を両トンネルで共用した施工を行った。

工事騒音の評価対象家屋における管理目標値は、地域の生活特性や関連する法令等を考慮し、等価騒音レベルで昼間(6時～22時)55dB、夜間(22時～翌6時)45dBとした。

図-13に示した工事騒音の管理フローにより、掘削開始から掘削完了までの期間を対象とした施工管理を行った。まず、管理計画を作成し、システム設置後に現場にて試験作業を行い管理目標値を満足することを確認し

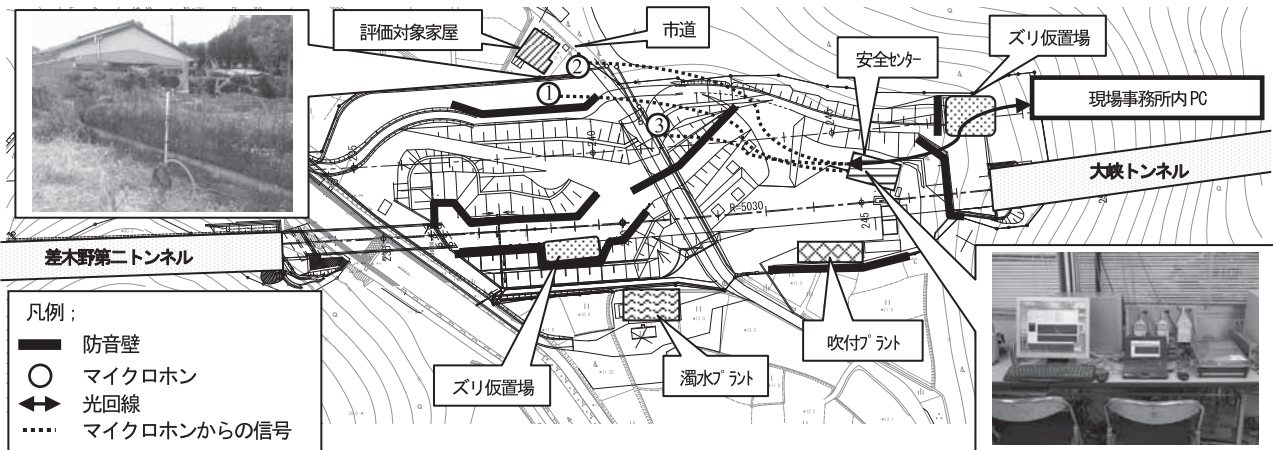


図-12 両トンネルの位置、仮設備、防音設備および騒音の評価対象家屋の配置

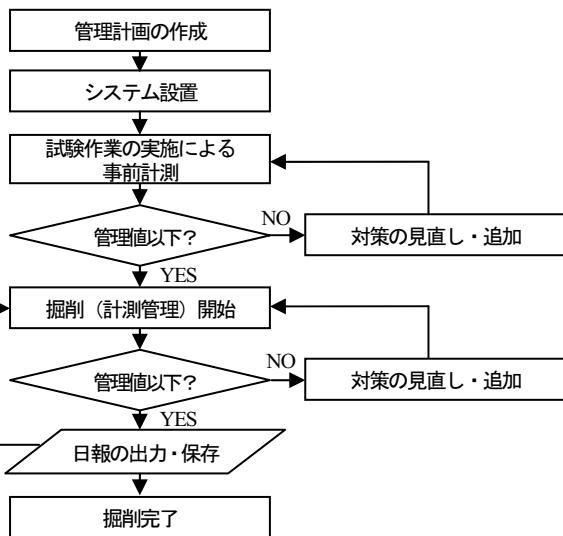


図-13 工事騒音の管理フロー

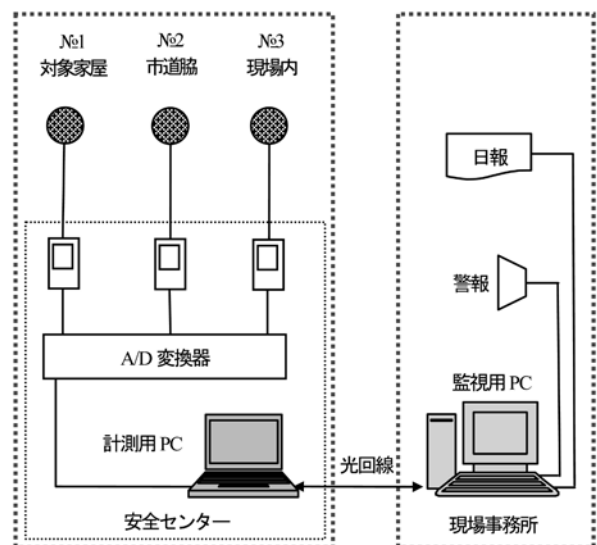


図-14 計測システムの概要

て本作業に着手した。本作業着手後においては安全センターのPCと現場事務所のPCを光回線で接続し、現場で発生している騒音の状況を現場事務所でリアルタイムに監視した。異常騒音が発生した場合には、重機オペレーターへの改善指示や防音設備を追加するなどの迅速な騒音低減対策を実施した。

4.3 自動車騒音の自動判別方法

図-14に計測システムの概要を示す。自動車騒音の影響を判別するために市道側に自動車騒音判別用のマイクロホン (No.2) を設置し、システムの暗騒音自動判別機能により自動車騒音の影響を自動除外した。除外後のデータを用い、評価対象時間ごとの等価騒音レベルを自動算出することで工事騒音の評価を行った。図-15に自動車騒音の判別方法の概念を示す。ここで、No.2マイクロホンの出力を L_y 、No.1マイクロホンの出力を L_x とする。 L_x が管理目標値を超えた場合において、市道を自動車が通過した時の L_y の変動幅を ΔL_y 、同じく L_x についても ΔL_x とすれば、それぞれのマイクロホンの自動車に対する位置関係から、自動車通過時の騒音レベル最大値は $L_y > L_x$ となるため、変動幅についても $\Delta L_y > \Delta L_x$ となる。この条件に合致した場合は自動車騒音の影響と判別し、工事騒音の評価に用いる計測データから、自動車騒音の影響があるデータを自動で除外している。

4.4 実施結果

図-16に計測期間中における自動車騒音判別の一例を示す。図の経過時間40秒から市道を自動車が通過し、これに伴い評価対象家屋においても騒音レベルが上昇していることが判る。この時、図-15の条件に合致するため自動車騒音の影響と判別し、自動車が通過するまでの応答を自動で除外している。ここで、除外するデータの時間幅は、対象家屋に対して1台の自動車が与える影響時間をあらかじめ測定した結果から10秒に設定した。図-17はこの時の等価騒音レベルの変動を示したものである。自動車通過時に等価騒音レベルが大きくなるが、自動車騒音の影響を除外した工事騒音のみによる等価騒音レベルは自動車騒音の除外前に比べて小さくなることが判る。

図-18は自動車騒音の影響を除外した掘削期間中における等価騒音レベルの計測結果である。大峽トンネルは2008年8月から機械掘削による昼間施工を開始し、同年10月から昼夜施工体制となった。

昼間施工のみの2008年8月から9月にかけて、夜間の騒音レベルが管理基準値を超えているが、これは虫の鳴き声による影響である。その点を踏まえ、2009年8月には虫の鳴き声による影響を除外するためにNo.3マイクロホンを設置し、現場からの騒音影響と評価点民家に与える

虫の鳴き声による影響を判別した。どちらのマイクロホンにも同様な虫の鳴き声が影響しているため、2008年秋に比べて影響は少なくなったものの完全には除外できなかった。この点は同様な現場状況でシステムを適用する場合に改善すべき課題である。

一方で、昼夜施工期間では掘削作業に伴う騒音レベルは昼夜を問わず管理目標値を下回る結果となった。市道

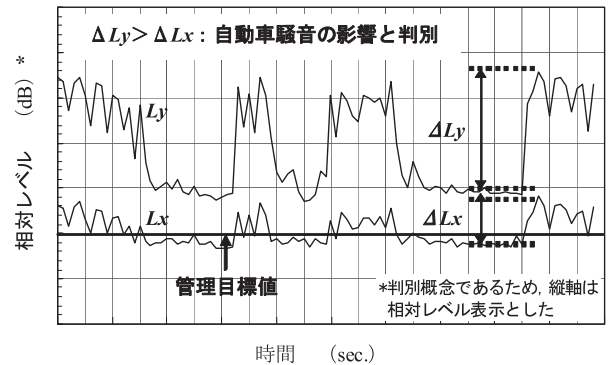


図-15 自動車騒音判別の概念

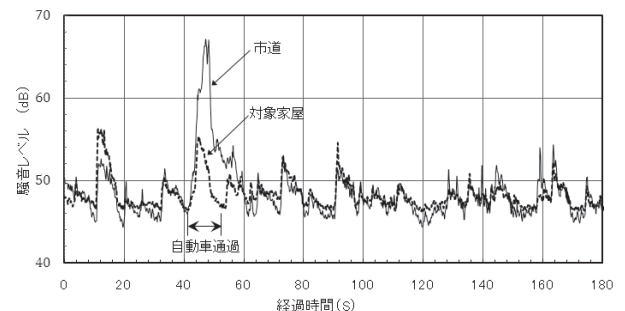


図-16 自動車騒音として判別した騒音レベル時間変動の一例

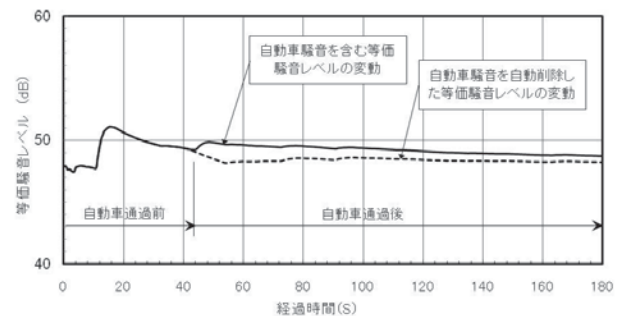


図-17 自動車騒音除外前後の等価騒音レベル計算結果

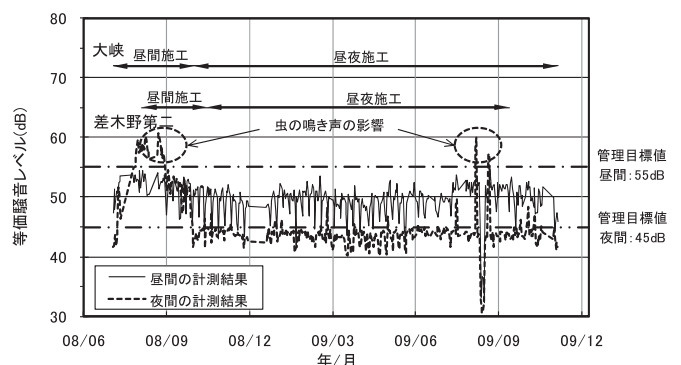


図-18 掘削期間中の等価騒音レベル計測結果

からの自動車騒音の判別が有効であったことで、工事による影響の把握を確実に行うことができた。防音壁等による騒音の伝搬経路対策と併せ、工事による影響を把握することで、異常騒音の発生時に迅速に作業員への注意喚起を行い、騒音低減対策を講じた効果が表れたものである。

5. おわりに

本報では騒音モニタリングシステムと振動モニタリングシステムの開発経過、その技術的概要、および現場への適用事例を報告した。工事における騒音振動に係る配慮が求められるなか、総合評価方式への提案技術としてシステム開発を実施したものであり、当初あった技術的課題は解決したと考えている。しかしながら、工事へ適用する際には、仮設備の配置、評価対象の場所、周辺の騒音や振動の発生状況など、現場によって異なる様々な条件の全てに対応するため、現場ごとに解決すべき課題が多々あると考えている。

今後は騒音モニタリングシステムと振動モニタリングシステムをより良いシステムとするため、適用実績を重ね更なる改良を行う予定である。

謝辞：システム開発にあたり、大万木トンネル作業所、北千葉作業所、笠森トンネル作業所にて試験フィールドを提供していただきました。また、作業所の皆様には多大なるご協力とご指導を賜りました。ここに記して感謝の意を表します。

【参考文献】

- 1) 騒音規制法：昭和43年6月10日 法律第98号，最終改正 平成17年4月27日
- 2) 振動規制法：昭和51年6月10日 法律第64号，最終改正 平成16年6月9日
- 3) 清水正二，渡邊 博，柳森 豊，小林真人：騒音・振動・低周波音をモニタリングし周辺環境への影響を抑制，トンネルと地下第39巻5号，pp.341-349，土木工学社，2008。
- 4) 小林真人，内田季延，柳森 豊：工事騒音リアルタイム評価・対応システムの開発，とびしま技報 No.57，pp.86-91，2008。
- 5) 坂崎友美，小林真人，内田季延：工事騒音リアルタイム評価・対応システムによる工事騒音の管理，平成21年度日本騒音制御工学会研究発表会講演論文集，pp.69-72，2009。
- 6) 塩満剛治，宮村憲正，請関 誠，小林真人：トンネル工事における騒音と低周波音の管理事例，土木学会西部支部研究発表会講演論文集，pp.45-46，2010。
- 7) 塩満剛治，宮村憲正，江口稔，請関 誠，小林真人：トンネル工事における騒音の管理事例，土木学会第65回年次学術講演会論文集，pp.261-262，2010。
- 8) 小林真人：工事騒音リアルタイム評価・対応システム，騒音制御 Vol.35 No. 3，pp.267-270，日本騒音制御工学会，2011。

Summary Real-time evaluation and execution system for construction noise and real-time evaluation and execution system for construction vibration were developed to solve the problem of measuring method based on JIS standard. Here, Measuring method based on JIS standard is "JIS Z 8731 Acoustics - Description and measurement of environmental noise" and "JIS Z 8735 Methods of measurement for vibration level". On the other hand, A measurement system based on JIS standard that sound level meter or vibration level meter, level recorder, and Level processing machine combined is not applied easily to the construction of continuousness and a long term day and night because they has a technical subjects that data analysis, evaluation of result, and management. Situation of development This paper shows development process of systems that to solve the technical problems, situation of development for construction site, technical outline of system and the feature, and concrete application experience.

Key Words : Construction Noise, Construction Vibration, Real-time supervision, Assesmen