

# 工事騒音リアルタイム評価・対応システムの開発

## The development of the Construction Noise Real-time Evaluation System

小林 真人<sup>\*1</sup> 内田 季延<sup>\*1</sup>  
Masahito Kobayashi Hidenobu Uchida  
柳 森 豊<sup>\*2</sup>  
Yutaka Yanagimori

### 【要旨】

建設工事現場から発生する騒音の監視は、工事用地境界や住宅地等の騒音監視地点に騒音計を設置して行われるのが一般的であるが、騒音計は360°の方向から到来する音波を騒音レベルとして評価するために、騒音の測定値には工事騒音以外の暗騒音（自動車騒音、犬・鳥の鳴き声など）の影響が含まれることがある。また、建設工事現場内で複数の工事騒音源がある場合に、騒音計単体では騒音監視地点への各工事騒音源からの影響を解析し特定することが困難であった。そこで、騒音監視地点へ伝搬する工事騒音について、監視地点での騒音レベルが管理基準値を超えた場合に、工事騒音の影響と暗騒音の影響を自動的に判別し、工事騒音だけをリアルタイムに評価する「工事騒音リアルタイム評価・対応システム」を開発し山岳トンネル工事にて検証運用した。

本報では本システムの概要と工事への展開事例について報告する。

【キーワード】 工事騒音 暗騒音 常時監視 影響評価

### 1. はじめに

地域環境保全の意識が高まるなかで、総合評価落札方式の適用工事のように、建設工事においては周辺地域への影響を低減し保全することが求められている。そのような社会的背景のもと、平成19年度に竣工した国土交通省四国地方整備局石丸トンネル工事においては、仮設備基地から約115m離隔した民家での工事騒音を22時から翌6時までの8時間における等価騒音レベル<sup>注1)</sup>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、および民家に騒音計を設置した騒音の常時連続監視システム（以下、石丸方式）を新たに開発運用し工事騒音の管理を行った<sup>1)</sup>。

しかしながら、騒音計のマイクロホンは360°の方向から到来する音波に指向性を有するため様々な騒音を計測する。そのため、従来の騒音計とレベルレコーダの組合せによる騒音計測システム（以下、従来方式）や、石丸方式では騒音の計測値に工事騒音以外の暗騒音（自動車騒音、虫の鳴き声など）の影響が含まれることがあった。また、現場内で複数の音源から騒音が発生した場合、騒音監視地点への各音源からの影響を自動解析し特定することが困難であった。これらに対応するため、石丸方式では実音をパソコンのハードディスクに録音し、異常音

が発生した場合に、録音されたデータを聞き返し暗騒音の影響や工事騒音の影響を後解析した。これらの作業は多大な労力を要することと、異常音発生時に迅速な対応がとれないことが課題となっていた。

そこで、住宅等の騒音監視地点（以下、監視地点）へ伝搬する工事騒音について、監視地点での騒音レベルが管理基準値を超えた場合に、工事騒音の影響と暗騒音の影響を自動的に判別し、工事騒音だけをリアルタイムに評価する「工事騒音リアルタイム評価・対応システム」（以下、本システム）を開発した。本報では本システムの概要と工事への展開事例について示す。

#### 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。長時間の人体への騒音暴露に対する感覚反応に優れ、環境基準における評価量として採用されている。

### 2. システムの概要

#### 2.1 基本仕様

##### (1) 機器仕様

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・専用ソフトウェアにより構成される。ここで、騒音計は計量法で定められた普通騒音計（JIS C 1509-1 クラス 2）を工事現場内に最大で 7 地点、監視地点 1 点に設置可能である。A/D 変換器は 8ch 入力に対応したコンテック社製 A/D 製品（共通 API 使用品）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）との組合せにより波形の記録と解析を行う。ここで、騒音計のレベル出力は 100ms 間隔でサンプリング、音圧波形のサンプリング周波数は 44KHz としている。

なお、機材は全てリース品にて対応可能で、信号ケーブルやケーブル保護管等の消耗品、および設置撤去工は実費となる。現場条件や監視仕様により詳細が異なるため、実施にあたっては技術研究所まで問い合わせいただきたい。

## (2) システムフロー

基本的なシステム構成を図-1 に示す。システム構成は大きく 3 つのブロックに分けることができる。



図-1 本システムの機器構成

①計測点；監視地点や工事現場内に三脚や支柱を利用して、全天候型防風スクリーンを装着したマイクロホンを設置する。マイクロホンからの電圧信号は保護管で養生された専用ケーブル（最大延長 300m まで）で計測小屋等に配置した騒音計に取り込む。

②計測小屋等；現場と現場事務所が 300m 以上離れる場合に必要で、騒音計と計測用 PC を設置する。計測用 PC では、波形解析と記録を行い、これらの結果を現場事務所ホスト PC へ NTT 回線を利用してデータ転送する。計測用 PC には図-2 に示す監視状態が表示されている。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。

③現場事務所；ホスト PC にも上記の計測用 PC と同じ監視状態を表示し、スピーカや警告灯による警報出力、データバックアップ、日報出力処理を行う。計測小屋等が必要ない条件ではホスト PC が計測用 PC を兼ねる。

## (3) 解析フロー

本システムは図-3 に示したフローにより、等価騒音レベル ( $L_{Aeq}$ )・時間率騒音レベル ( $L_x$ ) などの騒音評価量を算出、監視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：入札時提案値に設定、警戒値：管理基準値-5dB など任意に設定可能）、暗騒音影響の判別（暗騒音の影響であれば、当該データは騒音評価量算出時に自動で削除）、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、従来方式では図-3 の①②の処理をするのみであったが、石丸方式では騒音を多点で常時監視し、従来方式に対して③④⑤⑩の機能を追加した。更に本システムでは石丸方式の機能を拡張し、監視地点における騒音レベルが警戒値を超えた場合において、⑥暗騒音影響の判別、⑦警報出力、⑧工事騒音源の影響レベル解析の機能を追加することで、異常音発生時に工事騒音の影響をリアルタイムに自動解析、警報発信することができる。

本システムを用いることで長期間に渡る無人の騒音計



図-2 騒音の監視状態（PC画面）

測と管理が可能となり、従来方式に比べて計測管理業務の大幅な省力化が図れ、異常発生時に迅速な対策を実施することができる。

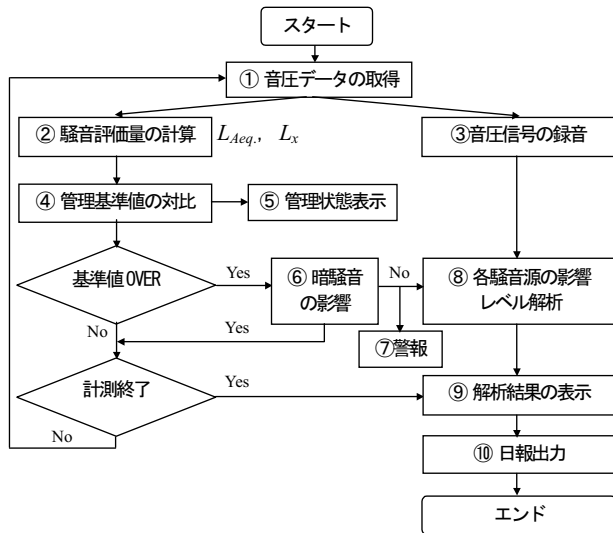


図-3 本システムの解析フロー

## 2.2 解析方法

本節では暗騒音影響の判別、および工事騒音源の影響レベル解析方法の概要を示す。計算方法等の詳細は、今後、別報で発表予定であるため本報では割愛する。

### (1) 複数騒音源と監視地点騒音レベルの関係

複数騒音源による伝達系と監視地点での騒音レベルの関係について考え方を整理する。

単一騒音源  $X_i$  による監視地点における騒音レベル  $Y_i$  は、騒音源と監視地点間の伝達関数を  $H_i$  とすれば、 $Y_i$  は  $H_i$  への  $X_i$  の畳み込みにより求めることができるので、この関係は式(1)のように表すことができる。一方で、複数音源による監視地点での影響  $Y$  は、式(1)の重ね合わせとなり、監視地点側に影響する暗騒音を  $N$  とすれば式(2)の関係で表すことができる<sup>2)</sup>。このときのモデルを図-4に示す。本システムでは個々の工事騒音源による影響を求めるため、暗騒音影響を判別し、かつ騒音源相互の影響を排除することがポイントとなる。そこで、解析においては、まず監視地点と工事騒音源における騒音レベル変動パターン等を識別し暗騒音の影響を判別する。暗

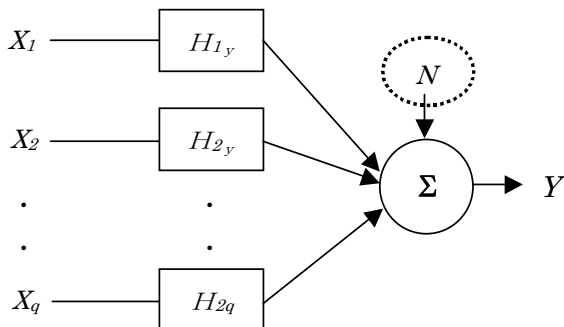


図-4 複数騒音源の影響による監視地点騒音のモデル

騒音の影響でない場合は、工事騒音源の影響レベルを求める。

$$Y_i = H_i * X_i \quad (1)$$

$$Y = \sum_{i=1}^q H_i * X_i + N \quad (2)$$

### (2) 暗騒音判別の考え方

暗騒音の判別は、工事騒音源近傍に設置した騒音計による出力レベルを  $Lx_i$  ( $i=1,2,3 \dots n$ )dB, 監視地点における騒音計の出力レベルを  $Ly$  dB として下記4種類の方法により行う。

①判別条件1;  $Lx_i$  と  $Ly$  の応答時間差から、何れかの  $Lx$  の応答が  $Ly$  より早ければ工事騒音,  $Ly$  の応答が早ければ暗騒音と判断する。この判別条件は杭などの打撃, バケットのあおり, 犬, 鳥などの間欠的な衝撃騒音に対応する。

②判別条件2; 図-5に示すような警戒値を超えた場合に、監視地点の騒音レベル変動幅 ( $\Delta Ly$ ) (最大値と最小値の差) が、工事による騒音レベル変動幅 ( $\Delta Lx_i$ ) より大きい場合は、その原因は監視地点における暗騒音と判断する。この判別条件は自動車などの騒音変動パターンに対応する。

③判別条件3; 図-6に示すように  $Lx_i$  のエネルギー合成値  $\Sigma Lx_i$  と  $Ly$  のレベル差  $\phi L$  を求め、 $\phi L$  の標本分散  $\sigma^2$  により音源の影響を判断する。この判別条件は現場側で複

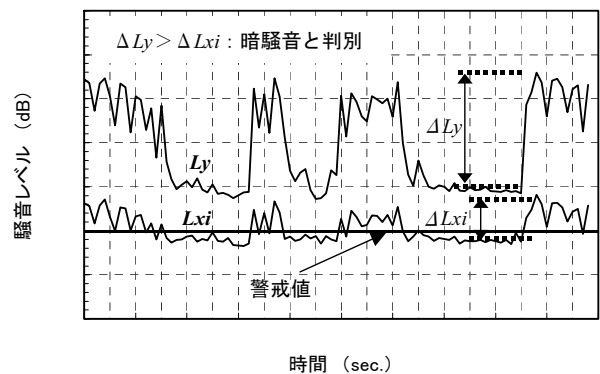


図-5 判別条件2の考え方

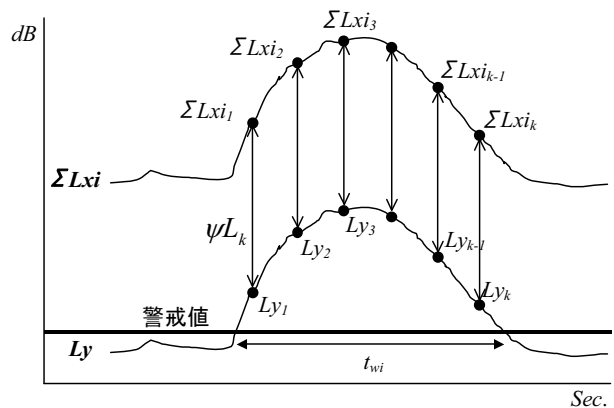


図-6 判別条件3の考え方

数の騒音が同時発生している場合に対応する。

④判別条件 4 ;  $Lx_i$  と  $L_y$  の周波数成分に着目し、周波数領域での相関を計算し評価する。監視地点に騒音レベル変動の少ない蟬や虫などの暗騒音がある場合に対応し、 $L_y$  から  $Lx_i$  を見たときに暗騒音に固有な周波数の相関がなければ暗騒音の影響と判断する。

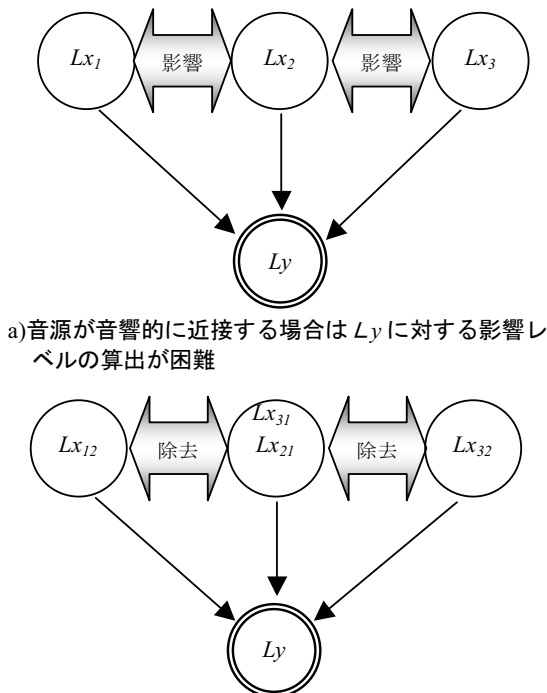
以上の判別条件 1 から判別条件 4 までの流れで解析を行い、何れかの判別条件に適合した段階で暗騒音、もしくは工事騒音の影響と判断する。

### (3) 工事騒音源の影響計算の考え方

図-4 に示した個々の工事騒音源による騒音が監視地点に与える影響の考え方について示す。ただし、工事騒音源側に配置したマイクロホンは、その配置条件により、計測対象とした工事騒音源以外の工事騒音源の影響を含む騒音を計測することがある。そこで、本システムでは図-7 に示すように、個々のマイクロホンが音響的に近接（互いの発生騒音が 10dB 以内で近接）している場合の影響計算方法、音響的に近接しない場合の影響計算方法を用意している。

①音源が音響的に近接する場合；この条件では、互いに共通な成分を排除した信号  $Lx_{n-q}$  を計算し、これを音源と考えた影響レベルの計算を行う。ただし、音源間での共通成分を排除することで、 $L_{y_i-q}$  のエネルギー合成は  $L_y$  と等価にならないため、音源個々による影響の大きさを比較することになる。

②音源が近接しない場合；この条件では、図-7 a) に示



a)音源が音響的に近接する場合は  $L_y$  に対する影響レベルの算出が困難

b)音源間の相関成分を除去した入力を作成し、評価点への影響を求める。

図-7 工事騒音源が音響的に近接した状態での影響レベル計算の概念

すモデルで音源間に相互影響がないため、 $Lx_i$  から  $L_y$  に対する影響レベルを計算する。

どちらの場合においても、「個々の工事音源の影響レベル=音源近傍レベル ( $Lx_{n-q}$  or  $Lx_i$ ) - 距離・遮蔽物による減衰量  $\Delta L$ 」として影響レベルを計算する。ここで、 $\Delta L$  については、システム設置時に個々の工事騒音源と監視地点間の騒音伝搬性状を M 系列変調相関法<sup>3)</sup>により計測し設定する。現場周辺環境により試験音を発生できない場合には、入札時 VE 提案等で検討した騒音解析結果から減衰量を設定する。

## 2.3 適用上の注意事項

本システムを適用するための注意事項を下記に示す。ただし、本システムの動作は山岳トンネル (NATM) でのみ検証している。今後、システムの改良により適用範囲を拡大する。

### (1) 音源の判別精度と適用限界

下記の条件では音源判別精度が低下するため、音源判別機能のない石丸方式で対応する。

- ①都市部のように様々な暗騒音の影響を受ける現場。
- ②ブルドーザ等の広範囲を不特定の経路で移動する音源がある場合。移動音源でも二次運搬等の運行経路が定まっているものは可能。

### (2) システム設置

- ①1 監視地点に対して 1 システムとなる。
- ②システム本体からマイクロホンまでの最大距離は 300m とする。
- ③マイクロホンケーブルを現場内からシステム本体まで、および監視地点からシステム本体まで敷設できること。
- ④例えば、バルコンのように高調波ノイズを発生する仮設備がある場合、これの影響を受けることがある。マイクロホンケーブルの配置に注意するとともに、仮設備電源にフィルタを設置する。
- ⑤図-1 に示した計測小屋等の中継点を設ける場合、計測小屋に AC100V と NTT 回線が必要である。中継点はできるだけ安全センター等に設置する。
- ⑥停電復旧後に自動でシステムは再起動するが、停電中のデータが欠落するので無停電装置を設置することを推奨している。
- ⑦システム設置撤去、メンテナンス作業は既に契約している専門者に委託する。

## 3. 展開事例

本システムの開発は平成 19 年 4 月に着手し、同年 9 月までに実験室レベルでの検討を完了した。その後、現場での実証実験を行いながら、トンネル工事を中心に総合評価方式へ技術提案を行ってきた。

表-1 に平成 20 年 6 月末現在での展開事例を示す。た

だし、先述のとおり適用限界があることから、石丸方式と本システムを使い分けている。本システムの適用工事は表中の自動判別に○で示している。

### 3.1 大笹生トンネル工事への展開

#### (1) 工事概要

大笹生作業所では仮設備基地周辺に果樹園が広がる静穏な環境の基で、「トンネル工事がどれだけ環境に優しくなれるか！」をテーマに地域環境・自然環境に配慮した工事を進めている。入札時VE提案においても粉塵・濁水・騒音・低周波音など周辺環境への配慮に係る提案を行っている。騒音については、周辺環境の事前調査結果や、関連する規制基準を参考に、工事用地境界、および坑口からの離隔 200m の民家を対象とした自主的な規制値を設定している。

工事名称：東北中央自動車道 大笹生トンネル工事  
 工期：平成 19 年 3 月 20 日～平成 22 年 2 月 26 日  
 工事場所：福島県福島市大笹生地内

表-1 本システムの展開事例

	工事名称	実施期間	自動判別	監視対象	他監視項目
竣工	石丸トンネル	H18.10 ~		近接1民家	振動・低周波音
	大笹生トンネル	H19.10 ~	○	近接1民家	低周波音
施工中	氷見第六トンネル	H19.10 ~		近接2民家	
	今戸トンネル	H20.1 ~	○	近接1民家	
	小郡トンネル	H20.4 ~	○	近接1民家	振動・低周波音
	鶴住居トンネル	H20.6 ~		近接3民家 側現場境界	
	辰巳ダム	H20.6 ~		近接1民家	
	差木野トンネル	H.20.7 予定	○	近接2民家	振動・低周波音
	大峽トンネル	H.20.7 予定	○	近接2民家	低周波音
提案中	八鹿トンネル		○	近接2民家	振動
	秦梨トンネル		○	近接2民家	
	祝子トンネル		○	近接2民家	

発注者：国土交通省 東北地方整備局

#### (2) システム設置状況

図-8にシステムの設置状況を示す。大笹生トンネル工事においては、防音扉を坑口部と、坑口から 30m地点の2箇所に設置していることから、掘削作業に伴う騒音影響は少ないことが予測された。そこで、工事騒音源側として、坑口前のヤード、ベルコンずり放出地点、監視対象民家に最近接する用地境界の3点にマイクロホンを設置した。監視地点は入札時 VE 提案で評価対象とした民家とした。

#### (3) 管理状態

本システムで計測された結果に基づき、図-9に示したフローにより騒音の管理を行っている。平成 20 年 6 月末現在で切羽進行が約 600m の状態であるが、監視地点において昼夜共に入札時 VE 提案値を遵守した施工を行っている。また、監視地点では犬・鳥・自動車が暗騒音として発生しているが、これらに対する判別も良好である。

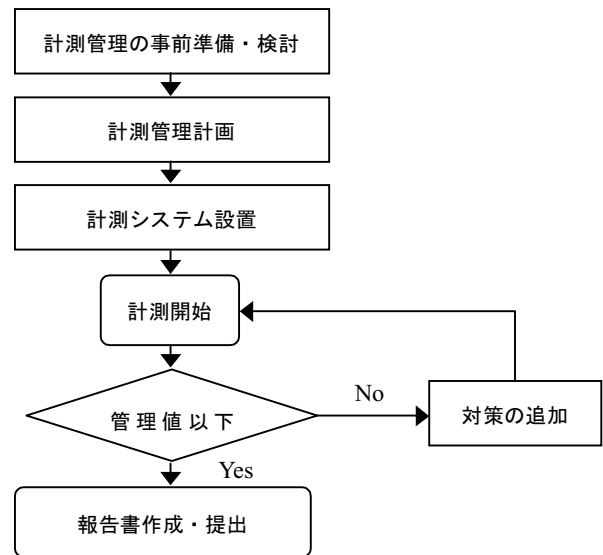


図-9 騒音の計測管理フロー

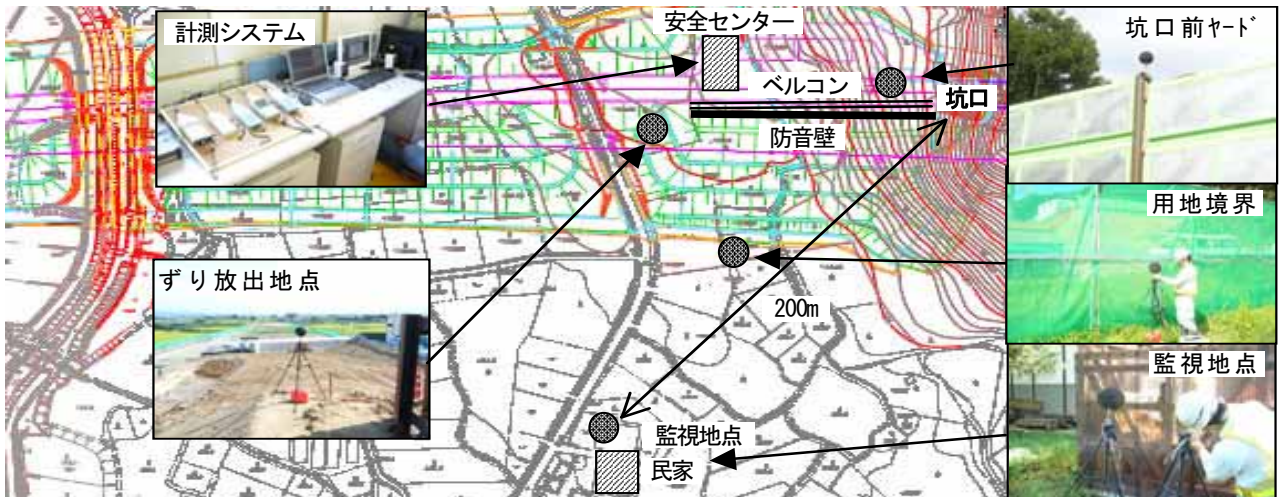


図-8 大笹生トンネル工事におけるシステム設置状況

### 3.2 今戸トンネル工事への展開

#### (1) 工事概要

今戸トンネル工事の仮設備基地は奈良県十津川村の山間部にあり、周辺には集落が点在する静穏な環境である。しかしながら、仮設備基地から集落脇を国道168号が抜けており、沿道地域における騒音の事前調査では等価騒音レベルが68dB（昼間）となっていた。そのため、入札時VE提案においては、工事により現況を著しく悪化させないこと、および奈良県生活環境条例を参考にして、坑口からの離隔120mの民家を対象に騒音の自主的な規制値を設定した。

工事名称：十津川道路 今戸トンネル工事

工期：平成19年3月24日～平成21年2月28日

工事場所：奈良県吉野郡十津川村今戸地先

発注者：国土交通省 近畿地方整備局

#### (2) システム設置状況と監視状況

図-10にシステムの設置状況を示す。今戸トンネル工事においては、国道168号の自動車騒音を暗騒音として排除する必要があるため、工事騒音源側として、現場ゲート（ざり仮置き場前）、吹付けプラント、濁水プラントの3点にマイクロホンを設置した。監視地点は入札時VE提案で評価対象とした民家とした。

平成20年6月末現在で切羽進行が670mの状態であるが、監視地点において昼夜共に入札時VE提案値を遵守した施工を行っている。また、監視地点で懸念された自

動車騒音の判別も良好である。

#### 4. おわりに

本システムは多点での固定マイクロホンによる方式を採用しているため、想定外の広範囲に移動する音源に対して解析精度が悪く適用可能工事を限定していること、システムが大がかりになるため、ダウンサイジングの余地があるなどの課題がある。平成20年度はこれらを解決するための開発を実施中であり、今後はトンネル以外の工事への適用を可能とする予定である。

謝辞：本システムの開発にあたり、石丸トンネル作業所、大笹生作業所、今戸トンネル作業所に多大なる御協力をいただいた。ここに深謝します。

#### 【参考文献】

- 1) 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.
- 2) J.S.Bendat: Engineering Application of Correlation and Spectral Analysis, New York, Wiley, 1980.
- 3) 鈴木千輝, 矢野博夫, 橘 秀樹: 現場測定におけるM系列変調相関法の簡略化, 日本音響学会春季講演論文集, p.p59-60, 1980.

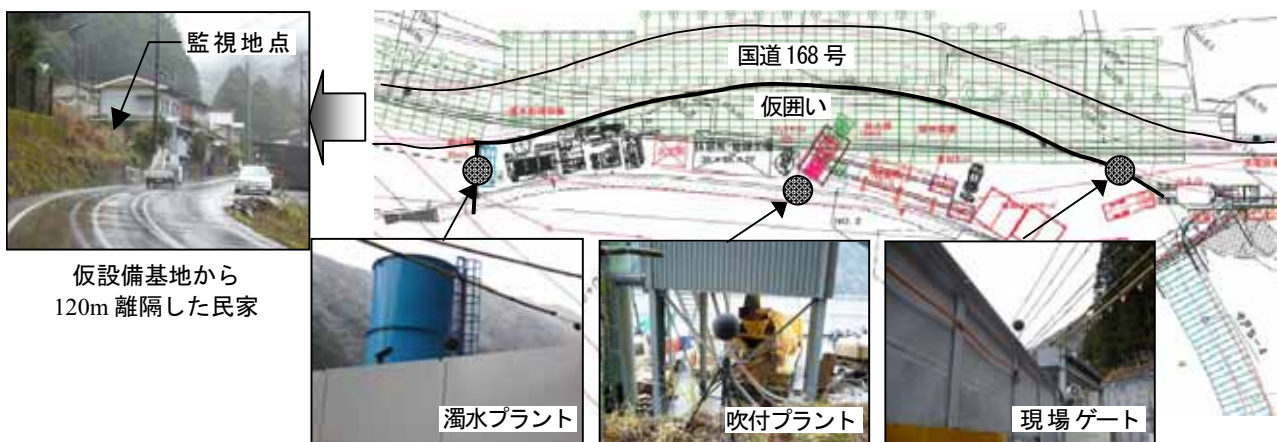


図-10 今戸トンネル工事におけるシステム設置状況

**Summary** The noise produced at construction sites is generally monitored using noise level meters installed at the points where noise monitoring is required at the boundary of the lot or in the housing area. Noise level meters evaluate the sound waves coming from 360-degree directions. The measurements therefore may reflect the effects of background noises other than the construction noise such as the sounds of vehicles, barks of dogs and cries of birds. If there are multiple sound sources at the construction site, it is difficult to analyze and identify the effects of respective construction sound sources at sound monitoring points solely by noise level meters. Then, a "construction noise evaluation and control system" has been developed and verified at a tunneling site. The system is designed to automatically distinguish the effects of construction noise from those of background noises and evaluate only the construction noises real-time where the level of construction noises propagated to the noise monitoring point exceeds the control standard value. This paper outlines the system and presents examples of system application to construction.

**Key Words:** Construction Noise, Back-ground Noise, Real-time supervision, Assessment