

瑞浪超深地層研究所立坑における騒音・振動対策

Study with the vibration and noise of blast for Mizunami Underground Research Laboratory

今津雅紀¹・佐藤稔紀¹・見掛信一郎¹・永崎靖志²・水野雅²

Masanori Imazu and Toshinori Sato, Shin-ichiro Mikake, Yasushi Nagasaki, Masashi Mizuno

¹ 正会員 工博 核燃料サイクル開発機構 瑞浪超深地層研究所 (〒509-6132 岐阜県瑞浪市明世町山野内1-64)

E-mail:imadu.masanori@jnc.go.jp

² 核燃料サイクル開発機構 瑞浪超深地層研究所 (〒509-6132 岐阜県瑞浪市明世町山野内1-64)

The Mizunami Underground Research Laboratory (MIU) project is part of the research and development of technology for geological disposal of high level radioactive waste, with the aim of preparing the base for engineering technology of deep underground application and developing the technology of investigations, analysis and technical evaluations of the deep underground environment.

This paper describes the study with the vibration and noise of blast for the MIU project. At first, we survey the regulation of the vibration and noise on the outskirts of this area. And selecting the type of the soundproof room, noise level is within 55 dB. When we design its room, the shape is thoughtful consideration.

Key Words : shaft, rock blast, underground research laboratory, noise, vibration

1. はじめに

深度1,000mの立坑2本と水平坑道から構成される瑞浪超深地層研究所は、高レベル放射性廃棄物地層処分研究開発における深地層の研究施設として、わが国で初めて建設されることとなった^{1),2)}。瑞浪超深地層研究所研究坑道掘削工事においては、現在、立坑坑口下部工（主立坑：地下（以下、GL）-9m～-51m、換気立坑：GL-10.5m～-45.5m）区間を掘削（発破）終了し、平成17年早々からの一般部における本格的掘削に備えている。

これまで、立坑やトンネルにおいて計画的に発破振動や騒音を測定した事例は少なく、立坑の深度の進捗に合わせて計測されたことも少ない。そこで、立坑坑口にあたる下部工区間における発破掘削時に、騒音・振動計測を行いその結果を分析することにより、今後、遂行する様々な研究計画の参考になると考えた。具体的には、発破による振動等を利用することにより、地盤構造の推定や地震時挙動を解明する研究計画を考えている。なお、施設の研究対象岩盤としては結晶質岩の花崗岩であるが、本敷地においては、GL-170mまで堆積岩が分布している。

本稿では、瑞浪超深地層研究所における騒音・発

破振動に関する考え方や発破方法について述べるとともにその設計上の対策を示した。また、造成工事の周辺における騒音・振動調査および立坑下部工掘削において行われた発破に対する騒音・振動測定を行い、その後の一般部における本格的掘削時の騒音・振動対策および研究計画に資することを目的としている。

2. 工事の概要

瑞浪超深地層研究所は、高レベル放射性廃棄物地層処分研究開発における深地層の地下研究施設として、わが国で初めて建設される施設である。長大トンネルの換気用立坑等の土木分野の立坑としては、恵那山トンネル（日本道路公団 中央高速道路：621m）がこれまでの最深である。地下研究施設において、本施設は世界最深の大深度立坑を構築するものである。鉱山分野（日本）においても、1,000mを超える立坑は3本あるのみである³⁾。

坑道の掘削は、当初、地上設備の基礎部分（坑口上部工：下部工の上部区間）を施工し、坑内でスカフォード等の掘削設備を組立てるための坑口下部工

掘削を行う。その後、主立坑および換気立坑の一般部掘削（約GL-50m以深）を行う。

下部工の掘削は、全断面発破と覆工コンクリート打設を繰り返すショートステップ工法にて行うこととした。ただし、研究坑道工事は、一般のトンネル工事と異なり、研究のために掘削されるものであり、掘削の1サイクル（下部工で1m）毎に研究者が2時間入坑することとし、詳細な地質観察等を行うこととしている。

図-1に示す瑞浪超深地層研究所周辺図のように、周辺には住居は存在せず、公共施設が多い。

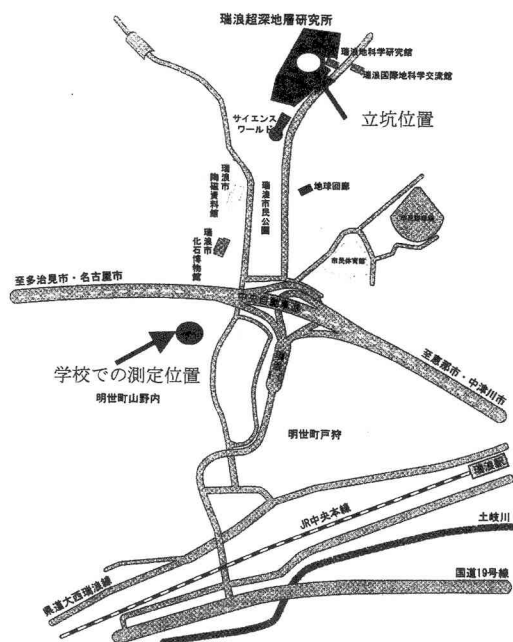


図-1 瑞浪超深地層研究所周辺図

3. 立坑における発破等の騒音・振動源

(1) 使用する爆薬・雷管

a) 爆薬の種類

使用する爆薬は、トンネルで一般的に使われるスラリー爆薬いわゆる含水爆薬とした。含水爆薬の特徴としては、①耐水性に優れている、②取り扱い上、安全性が高い、③縦孔に装填しやすい、④密充填が可能である、⑤比重が水より重く、爆速も比較的高い等があげられる。

b) 使用する雷管

今回用いる雷管は、非電気式雷管とした。本方式は、段発電気雷管と導爆線システムの長所を取り入

れ、組み合わせた形式で、きわめて微細な導爆線を電気発破の母線および脚線の代わりに用いる方法である⁵⁾。点火エネルギーの伝達法として特殊なチューブを用い、専用のコネクタにて必要個所に分岐し、さらに非電気式雷管によって起爆するシステムである。通常は、ANFO爆薬との組合せで用いられることが多いが、ここでは耐水性に優れることから、非電気式雷管+含水爆薬という組合せとした。

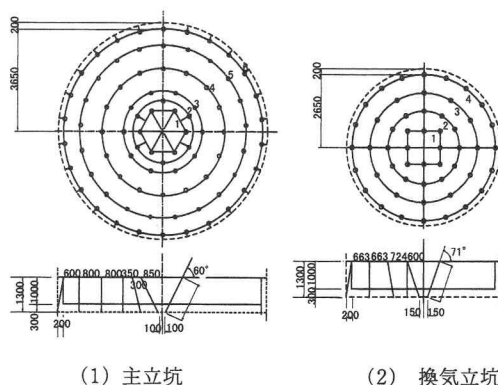
本システムの特徴としては、以下の点があげられる⁴⁾。①～⑥は長所であり、⑦、⑧は短所である。

- ① 非電気式であり、迷走電流・静電気・雷・電波などに対して安全である。
- ② 雷管内部に延時装置をもち、良好な秒時精度で段発発破ができる。
- ③ 無限の段数が得られる。
- ④ チューブの長さを変えることにより、短秒時の段差が得られるので、発破振動を抑制できる。
- ⑤ NONELチューブの爆発音は、きわめて小さく、また接している物に影響を与えない。
- ⑥ 結線が単純、容易で、作業能率が良い。
- ⑦ 瞬発電気雷管と同精度の完全斉発はできない。
- ⑧ 結線もれを目視に頼らざるを得ない。

ただし、下部工における発破において、主立坑においては本方式で行ったが、換気立坑においては、湧水が少なかったことより、通常の電気式雷管+含水爆薬の組み合わせで行った。GL約-50m以深の一般部においては、どちらも本方式で行う予定である。

(2) 発破パターン

下部工区間の立坑掘削は、シンカを用いて人力掘削しており、主立坑および換気立坑の発破パターンを図-2に示す。



(1) 主立坑

(2) 換気立坑

図-2 発破パターン（下部工）

4. 騒音・振動に対する方針

(1) 振動および騒音規則

一般的に、トンネルなどの24時間稼働の建設工事のうち、コンクリートプラントを除いて、特定施設および特定建設作業に該当しない。しかしながら、昼夜間作業を行うことにより自主的に「工場（特定工場）」と見なして「工場（特定工場）」に係わる規制値をベースに検討を行うこととした。瑞浪市周辺における各種振動・騒音に対する規制基準値⁵⁾を表-1、2に示すとともに、日常的な騒音および振動の事例を表-3、4に示しておく。なお、本地域は第二種区域（住居地域）に相当する。

表-1 各種騒音に対する規制基準値⁵⁾ (特定工場等)

時間区分 区域区分	昼間	朝夕	夜間
第1種区域（住居専用地域）	50	45	40
第2種区域（住居地域）	60	50	45
第3種区域（商業・準工業地域）	65	60	50
第4種区域（工業地域）	70	65	60

<単位：dB>

表-2 振動規制法による基準⁵⁾ (特定工場等)

時間区分 区域区分	昼間	夜間	備考
第1種区域	60	55	騒音規制法の第1種区域および第2種区域
第2種区域	65	60	騒音規制法の第3種区域および第4種区域

<単位：dB>

(2) 平常時の騒音・振動調査

研究坑道掘削にあたって、平常時の振動および騒音調査を立坑から120m離れた地点（図-6における測定位置付近）にて年4回（平成15年度）実施した。また、時期は異なるが、昼夜ボーリング作業時と中央高速道路近くの学校においても同様の測定をした。これにより、各地点の毎時10分間の振動レベルと騒音レベルを測定した。年4回の調査時において、研究坑道敷地の造成工事や仮設工事が行われていた。

騒音調査の結果を、図-3に示す。4回の調査とも90%レンジの上端値で50dB～60dB程度であり、昼夜のボーリング作業時および中央高速道路近くの学校（図-1に測定位置を示す）等においては、平均値で54.5dBおよび55.9dBとなっており、昼夜で大きな差はなかった。また、振動調査の結果は、4回の昼間測定において、1箇所まで2回程度、周辺を重機が動いた際に34.7dBを記録した以外、すべての時間帯

（24時間）において測定限界値以下の30dB未満であった。この数値は、特定建設作業の規制に関する基準である75dBを大きく下回っている。

表-3 日常的な騒音の事例⁶⁾

騒音レベル	騒音の事例
120dB	飛行機のエンジンの近く
110dB	自動車の警笛
100dB	電車が通るときのガード下
90dB	大声による独唱、騒々しい工場の中
80dB	地下鉄の車内
70dB	電話のベル
65dB	デパートの中、聞きよいラジオ
60dB	少し騒がしい事務室
50dB	普通の事務室
40～50dB	静かな公園
40dB	図書館の中
30dB	柱時計の振り子の音、ささやきの声
20dB	木の葉のふれあう音

表-4 日常的な振動の事例⁷⁾

振動レベル	生理的影響	住民の反応
90dB	人為に有為な生理的影響が開始する。	
80dB	産業職場における快感減退境界（8時間曝露）	よく感じるという訴えが50%になる。
70dB		物的被害に対する被害感が多くなる。よく感じるという訴え率が40%になる。
60dB付近		よく感じるという訴え率が30%になる。やや感じるという訴え率が50%になる。
55dB	振動の閾値	住居内振動の認知限界
50～40dB	常時微動	

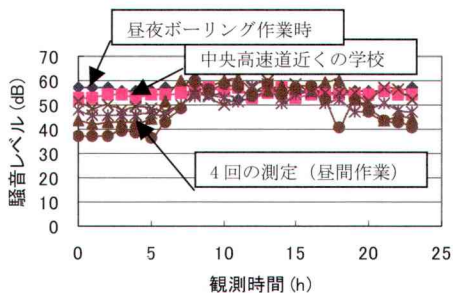


図-3 時間ごとの各所による騒音レベル

(3) 騒音・振動の対策目標値

当該地域は近くに中央高速道路が通っていることから、前述の通り、近くの学校では暗騒音（環境騒音レベル）時の夜間において最大57dBを示し、平均に

においても55dB前後であることが確認された。さらに4回の年間を通じた示す暗騒音測定実績は、昼間において約50dB～60dB、夜間において約40dB～50dBであった。一般に、工事現場周辺の受音点付近の暗騒音が騒音規制基準値を下回っている場合には、発生騒音を暗騒音まで低減することが望ましい。また、騒音対策目標値は、本来、自主的目標である「特定工場等において発生する騒音の規制に関する基準」の夜間規制基準値45dBとするのが望ましい。しかしながら、中央高速道が付近に存在することおよび近くの建物において昼夜を通じて暗騒音が55dB前後であることから、騒音対策に要するコストも加味して、昼夜作業を行う場合の対策目標値を55dBとするのが妥当と考えた。振動については、特定建設作業の規制に関する基準である75dB以下とする。

5. 騒音・振動対策

(1) 基本方針

特定建設作業に相当する作業の内、当該工事において対象となるものは、コンクリートプラントのみである。その他の騒音の発生音源については、法的な規制はないが、夜間作業の場合に特に安眠を妨げないように、発注者が自主的に防音対策を講じるのが一般的である。すなわち、発生音源から最も近傍にある対策対象物の位置で、規制基準値を満足させているのが通例であり、本工事近傍には、岐阜県の体験型科学施設のサイエンスワールド（主立坑から180mの離間）やサイクル機構の宿泊施設である瑞浪国際交流館（主立坑から100mの離間）の位置が夜間に住民が存在する地点となり、この位置を主体に防音対策を考慮することとした。

(2) 音源の組合せ

立坑掘削時には、①主立坑発破騒音、②換気立坑発破騒音、③主立坑門型クレーン騒音、④主立坑ずり転覆放出騒音、⑤換気立坑門型クレーン騒音、⑥換気立坑ずり転覆放出騒音、⑦コントラファン、⑧電動コンプレッサー、⑨主立坑巻上機、⑩換気立坑巻上機、⑪コンクリートプラント、⑫非常用発電機が主な音源と考えられる。大きな騒音の発生源としては、主立坑および換気立坑の発破音、立坑槽内でのずり転覆音および非常用発電機の運転騒音があり、これらの騒音を組み合わせて検討する必要がある。これら騒音の具体的な組合せとして、①主立坑（換気立坑）発破を主音源とした場合、②主立坑（換気

立坑）ずり転覆音と非常用発電機を主音源とした場合に、各々考えられる設備が稼動した場合を想定した測定位置での合成値で評価した。

(3) 騒音・振動対策

施設で設置する防音ハウスに対して防音パネルの性能別コストをもとに、各設備の防音パネルを使用した場合の工事費を試算した。つぎに、対策目標値45dB, 50dB, 55dB, 60dBとした場合の最適な性能の組み合わせを表-5のように求め、工事費のトータルを試算した。A（落とし込み用防音パネル）、B（ユニット式防音パネル）、C（高性能防音パネル）は、パネルの性能を表すもので、中心周波数ごとに透過損失(dB)および吸音率が異なり、 $A < B < C$ の順で高性能となる。また、各防音パネルの性能と経済性の関係は、表-5下部に示すように、55dBを1.00とした場合、45dBで1.51、50dBで1.30と5dBの違いで20%～30%におよぶ費用の差が発生することがわかった。また、振動対策としては、振動を発生しない施工方法を採用することとした。

表-5 対策目標値と防音パネルの性能・経済性比較

対策目標値 防音ハウス	45dB	50dB	55dB	60dB
非常用発電機用	C	B	A	—
コンプレッサー・コントラファン用	A	A	A	—
コンクリートプラント用	B	B	B	—
換気立坑用	C	B	A	—
主立坑用	C	B	A	—
換気立坑巻上機室用	A	A	A	—
主立坑巻上機室用	A	A	A	—
周囲防音壁 L=510m, H=11m	—	—	—	A
60dBの場合、周囲の防音壁のみ。				
経 済 性	1.51	1.30	1.00	0.44

(4) 選定した防音ハウス

主立坑および換気立坑の防音ハウスに使用する防音パネル等について、対象とする周辺施設において対策目標値55dBに設定した。本工事の周辺環境、各設備の騒音レベル、通風量および使用期間を考慮し、仕様を決定した。各測点において騒音レベルを55dB以内に抑えるためには、コンクリートプラント用防音ハウスのみBタイプの防音ハウスとし、主立坑・換気立坑各槽用および巻上機室用、非常用発電設備用、コンプレッサー室用各防音ハウスを防音性能Aタイプのものにすることとした。表-6にAタイプおよびBタイプの防音ハウス仕様を示す。

表-6 防音パネルの仕様

防音パネル仕様		Aタイプ	Bタイプ	採光パネル
性能		参考図		
断面				
遮音材板厚		ss1.6t	ss2.3t	アクリル 5t
吸音材		50mm	50mm	ナシ
空気層		50mm	50mm	ナシ
透過損失実行値(dB)	125Hz	13	17	7
	250Hz	17	23	11
	500Hz	27	33	16
	1000Hz	35	39	19
	2000Hz	40	42	22
	4000Hz	45	38	27

(5) 防音ハウスのデザイン

主立坑および換気立坑における櫓用防音ハウスについては、周辺への圧迫感の軽減をはかりつつ、シンボリックな形状となるよう計画するため、コスト的なものも鑑みて設定した。当初、図-4に示す全体的に立方体の建屋根を基本にしたが、経済的なメリットはあるものの、圧迫感がありシンボル性がないことから、建屋ボリュームを小さくし、ピラミッド型屋根を設けることで灯台的効果を持つシンボリックな形とすることとした。しかしながら、完全なピラミッド（円錐状）型にした場合、コストアップ要因になるため、図-5に示す形状のピラミッド型と直方体の折衷案的な形状を最終案とした。

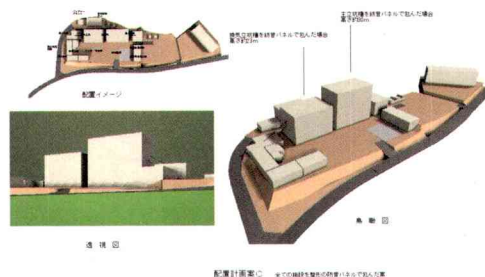


図-4 当初の防音ハウスデザイン案



図-5 最終的な防音ハウスの形状

6. 発破時の騒音・振動測定

(1) 騒音・振動測定

主立坑および換気立坑における下部工区間（GL約-10m～GL約-50m）においては、1mピッチで発破が行われた。そこで、立坑深度進展による地表への影響を調べるために、立坑が数m進むごとに、図-6に示す主立坑から118m、換気立坑から85m離れた測定位置において振動および騒音測定を行った。測定の対象としている下部工区間の地質は、新第三紀における砂泥互層（明世累層）である⁸⁾。

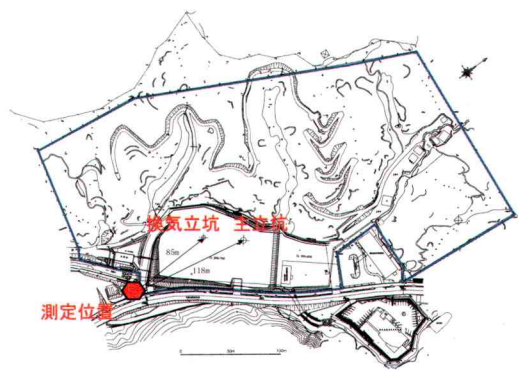


図-6 発破騒音および振動測定位置

(2) 発破時の騒音・振動測定結果

環境測定の観点から、下部工（昼間のみの作業）掘削時における発破時の騒音および振動を測定した。騒音については図-7に示すように、振動については図-8に示すように記録した後、発破における騒音値・振動値を判明させた。主立坑および換気立坑における深度と騒音および振動との関係を図示したものを図-9および図-10に示す。主立坑および換気立坑における測定時の発破薬量および騒音値・振動値の平均値を表-7に示す。今後、防音パネルを施すことから、自主規制値を十分クリアできると考えている。図-11に薬量と騒音および図-12に薬量と振動の関係を示す。薬量と騒音・振動には大きな相関は見られなかった。また、深度と騒音および振動については、大きな深度依存性は今回の測定では見られず、換気立坑における騒音についてのみ、深度依存性が若干見られ、深くなると低減傾向が認められたが、それ以外については深度依存性は見られなかった。

表-7 薬量および騒音・振動の平均値

	薬量(kg)	騒音(dB)	振動(dB)
主立坑	8.7	60.3	59.6
換気立坑	9.0	64.0	59.6

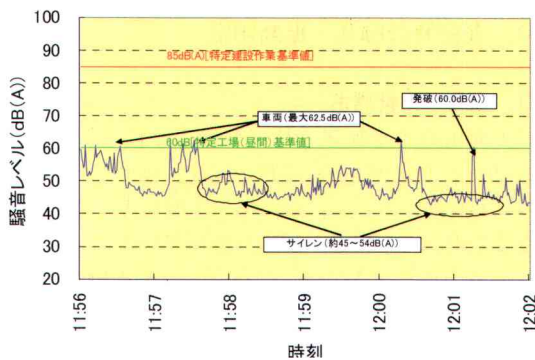


図-7 騒音測定例（主立坑 45m 時発破の場合）

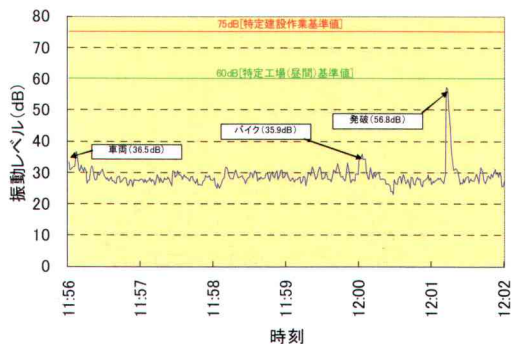


図-8 振動測定例（主立坑 45m 時発破の場合）

7. まとめ

本稿においては、騒音および振動の規制基準値と暗騒音から当該地域における自主規制値を定め、その基準値を満足するための防音ハウスの選定過程について記述した。また、その過程においては、経済性およびデザイン性についても考慮し、その内容についてもふれた。GL-50m くらいまでの発破時の測定においては、深度ごとおよび薬量と騒音・発破の関係は明確に示すことができなかったものの、今後、掘削するGL-50m 以深の一般部における騒音・振動に関する基礎データを取得できたこととなる。その際、各仮設設備は防音ハウスに覆われている。

参考文献

- 1) 佐藤稔紀, 見掛信一郎, 玉井猛, 今津雅紀, 坂巻昌工: 地下1,000m に向けて・瑞浪超深地層研究所の建設計画, サイクル機構技報, No. 20, pp. 31-43, 2003. 9
- 2) 今津雅紀, 佐藤稔紀, 坂巻昌工: 地下1,000m の立坑工事に着手 瑞浪超深地層研究所研究坑道工事, トンネルと地下, vol. 34, No. 6, pp. 37-48, 2004. 6
- 3) 坂巻昌工, 佐藤稔紀, 見掛信一郎, 今津雅紀: 国内における立坑・斜坑のデータベース化と瑞浪超深地層研究所の立坑内径, 土木学会第58回年次学術講演会, VI-046, pp. 91-92, 2003. 9
- 4) 石井康夫, 西田佑, 中野雅司, 坂野良一: 最新発破技術, 森北出版, 1984. 5
- 5) 瑞浪市役所: 瑞浪市の環境, 2000. 12
- 6) 友野理平: 公害用語辞典, 1976
- 7) 日本建設機械化協会: 建設工事に伴う騒音振動対策技術指針
- 8) 早野明, 佐藤稔紀, 今津雅紀: 超深地層研究所計画における施設設計・施工の現状—瑞浪層群の地盤特性と解析用物性値の設定について—, 土木学会第59回年次学術講演会, CS1-008, pp. 15-16, 2004. 9

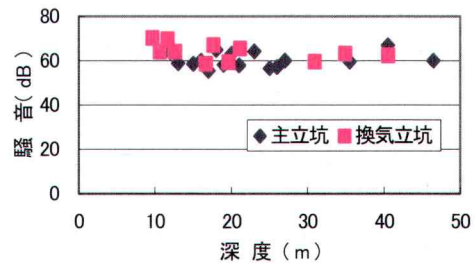


図-9 深度と発破騒音との関係

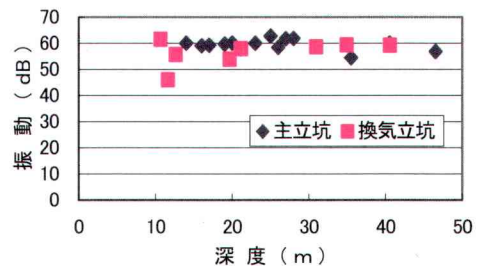


図-10 深度と発破振動との関係

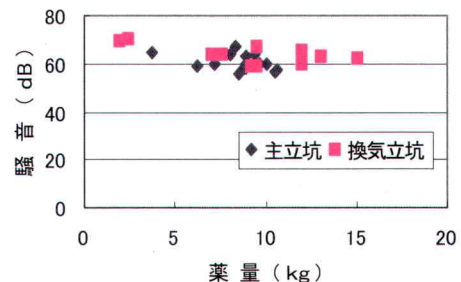


図-11 薬量と騒音との関係

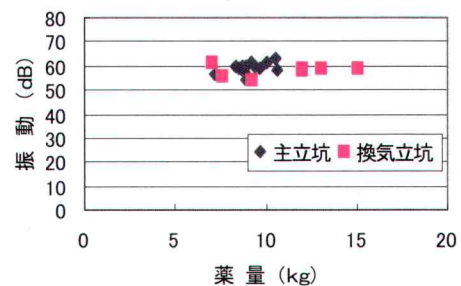


図-12 薬量と振動との関係