

発泡ウレタンの可聴域周波数における振動防止効果

真藤利孝 吉田克雄

Isolation Effect of Vibration in Audio Frequency Using Foamed Urethane

Toshitaka Shindo Katsuo Yoshida

Abstract

In the main path of sound propagation between underground structures like a case of an underground railway and nearby buildings, there are structure borne sounds radiated in the buildings by the propagation of ground vibration. As a method of reducing structure borne sound isolation of vibration by control of ground vibration in the path of propagation was considered. This report describes the isolation effect of vibration in audio frequency by foamed urethane to isolate ground vibration. It was found that although the isolation effect by foamed urethane differed somewhat depending on the area of application of foamed urethane, more than 5~8 db could be expected, indicating it is slightly more effective to provide the foamed urethane at the receiving side rather than the vibration source side.

概 要

地下構造物間の騒音の伝搬の主な経路として、地下鉄と周辺ビルの場合などのように、振動が地盤を伝搬し、ビル内に固体伝搬音として2次放射されるものがある。この騒音を防止する一方法として、伝搬媒体である地盤に対策を行ない、振動の伝搬を遮断することが考えられる。

この報告は、地盤を伝搬してくる振動を遮断するために、発泡ウレタンを用いた場合の可聴域周波数における防振効果について調べたものである。調査の結果、発泡ウレタンによる防振効果は施工範囲により多少異なるが、5~8 dB 以上期待でき、施工位置は振動源側よりも受振側に施工した方がやや効果が大きいことが分かった。

1. まえがき

地下鉄と周辺ビルなどのような地下構造物間の騒音を防止する方法としては、1. 音源または振動源そのものを対策し、レベルを下げる。2. 伝搬媒体（地盤）に対策し、振動の伝搬を遮断する。3. 受音側または受振側構造物内部に対策を行ないレベルを下げる。などが考えられる。今回は、その一方法として、地盤を伝搬してくる振動の遮断について調査を行なった。

地盤において振動を遮断する場合、振動源と受振側構造物との間に溝を設ければ効果のあることが知られているが、壁面の崩壊、雨水のたまりによる効果の低下など、保守性が悪いために、土圧に耐え、防水性、現場施工性に優れ、かつ遮断効果のある発泡ウレタンを、空溝内に防振壁として用いることが多い。

この報告では、発泡ウレタンを用いた地盤中の防振壁



写真一 地下構造物供試体の状況

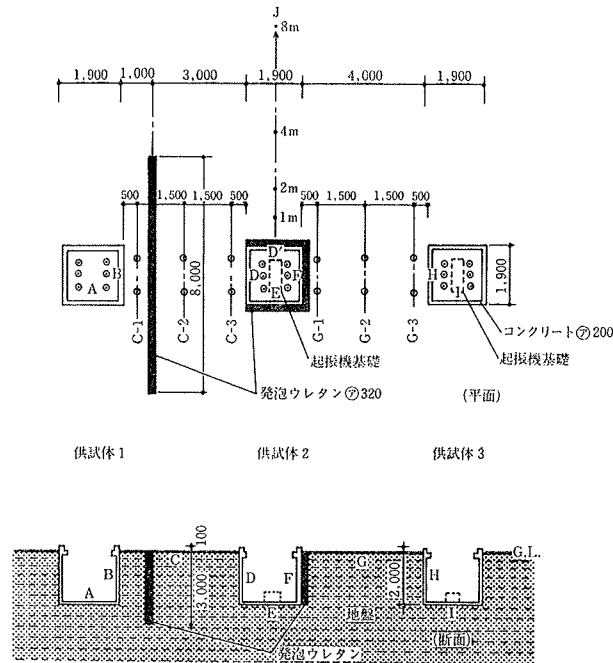
の施工位置を、振動源側、受振側、振動源・受振間の各ケースとして、それぞれの場合の防振効果を可聴域周波数について調べた。

2. 実験概要

2.1. 実験装置

実験装置は、地下構造物として、写真-1及び図-1に示すように、当研究所内の地盤中に、振動源及び受振構造物を想定した3個の鉄筋コンクリート製の供試体を4mの間隔をおいて施工した。

振動源は、写真-2に示すように、供試体の床面にコンクリートの機械基礎を設けて、起振機を堅固に設置し



注 平面 ⊙印は測定点
A~Iの各面を測定
J方向は距離減衰測定
A・E・I；床面各6点測定
B・D・F・H；壁面各6点測定
C・G；地盤各6点測定

図-1 供試体および測定点配置図

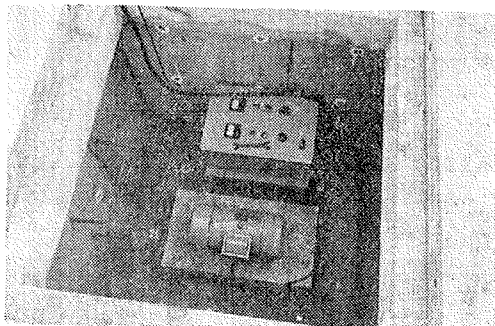


写真-2 起振機設置状況

	地盤(ローム層)	発泡ウレタン
密度 (g/cm ³)	1.2	0.03
伝搬速度 (m/sec)	S波 143	S波 36.2
	P波 380	P波 111.3

表-1 地盤および発泡ウレタンの性状

て一定の入力で起振し、水平方向および上下方向の振動を発生させた。

発泡ウレタンの施工は、地盤掘削後、養生用のポリエチレンフィルムを敷いて現場発泡させた。地盤および発泡ウレタンの密度、伝搬速度は表-1の通りである¹⁾²⁾。

2.2. 測定概要

測定位置は、図-1に示すように、供試体の床、壁と地盤面のA~Kに各6点を設け、Jの地盤の距離減衰には4点設けて、振動加速度レベルの測定を行なった。なお測定の方法は、固体振動と放射音との相関性がある、面に垂直な方向とした。

測定は各点について2~3回行ない、繰返し性をチェックして、平均値を求めた。また、起振機基礎には、基準点を設け、起振機のレベル変動を監視した。測定に使用した機器のブロックダイアグラムを図-2に示す。

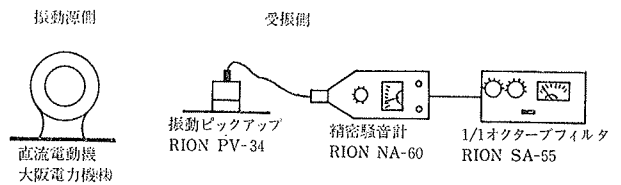


図-2 測定ブロックダイアグラム

2.3. 実験ケース

実験は、発泡ウレタンの施工位置による防振効果を調べるために、先ず、起振機を設置した供試体(以下、振源室と呼ぶ)の振動性状と地盤の距離減衰とを調べた上で、表-2に示すように、発泡ウレタンの施工位置を、振源室回り、受振室(振動を受ける側の供試体)回り、振源室・受振室間とした場合のそれぞれのケースについて、施工前後の測定を行ない、発泡ウレタンによる防振効果を求めた。

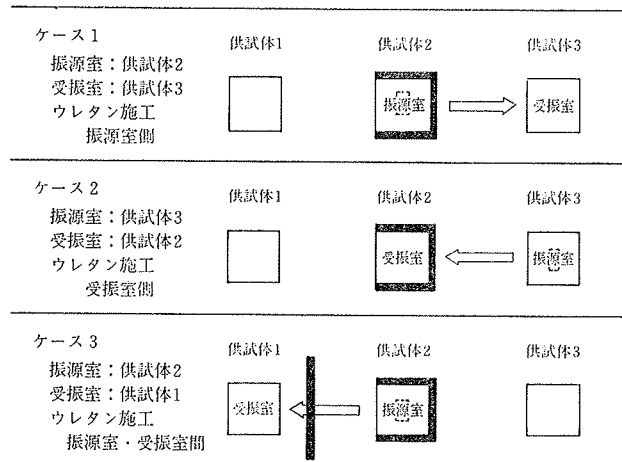


表-2 発泡ウレタン施工位置と実験ケース

3. 実験結果と考察

3.1. 発泡ウレタン施工前の振動伝搬性状

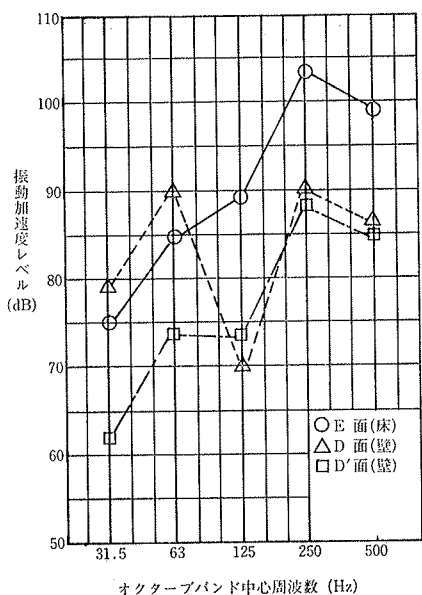


図-3 振源室(供試体2)の振動特性

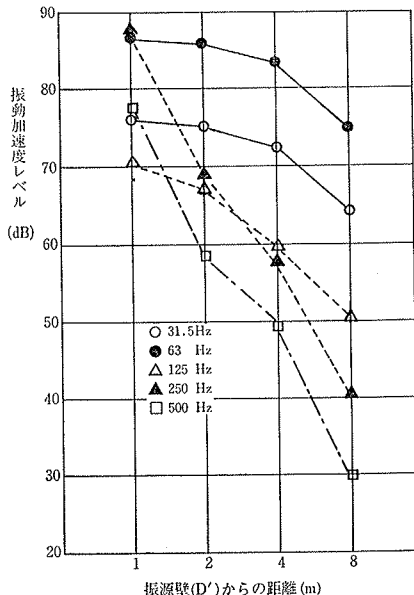


図-4 地盤の距離減衰性状

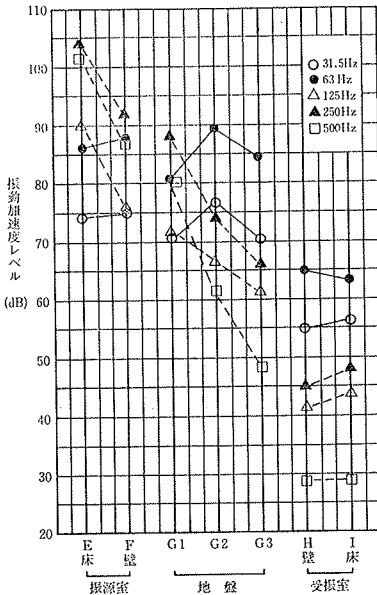
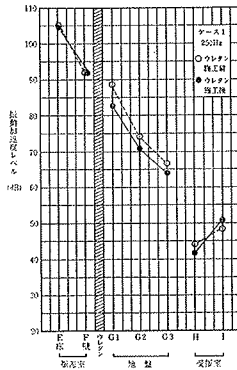
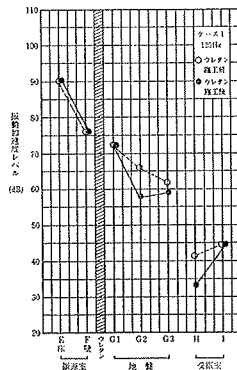
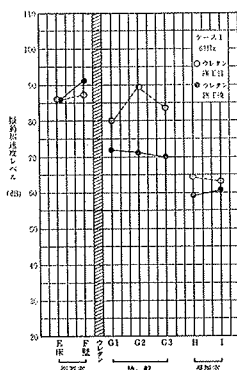
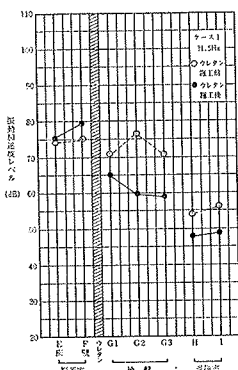


図-5 振源室→受振室の伝搬性状

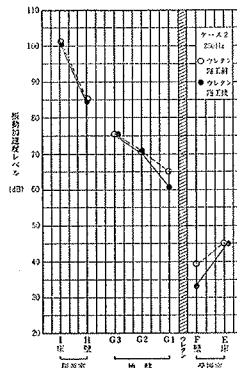
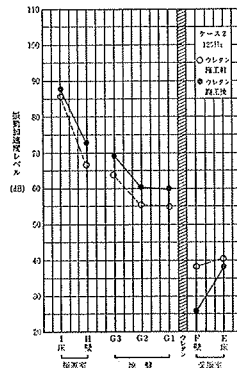
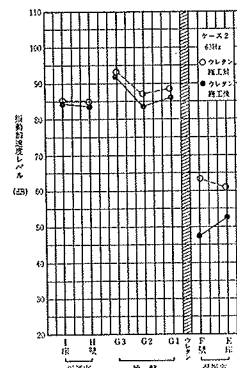
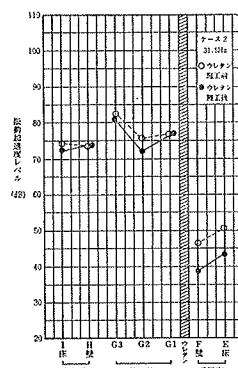
ケース 1

振源室：供試体2
受振室：供試体3
発泡ウレタン
振源室側施工



ケース 2

振源室：供試体3
受振室：供試体2
発泡ウレタン
受振室側施工



ケース 3

振源室：供試体2
受振室：供試体1
発泡ウレタン
振源室・受振室
間施工

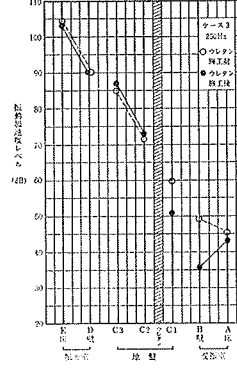
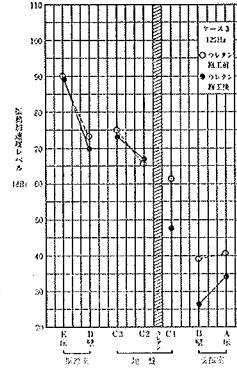
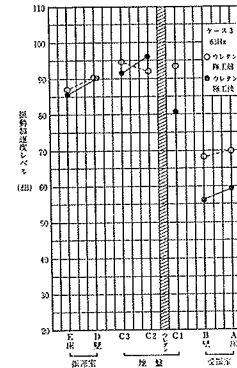
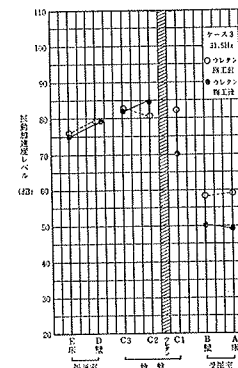


図-6 発泡ウレタン施工前後の測定結果

起振機を供試体2に設置した場合の振源室の振動，Jの地盤の距離減衰，受振室（供試体3）への振動伝搬の測定結果を図一3～5に示す。

振源室の振動性状は，オクターブバンド中心周波数の31.5 Hz，63Hzでは，壁面（D）の方が床面よりもレベルがやや大きい，125 Hz以上では床面の方が大きくなっている。

従って，供試体が並んでいる方向では，63 Hz以下では壁面の振動，125 Hz以上では床面の振動による伝搬の影響が大きいものと予想された。壁面D'の63 Hz以下が小さいのは，起振機の回転軸と平行方向であるための指向性によるものと思われる。

図一4の地盤の距離減衰（J方向）は，31.5 Hzと63 Hzでは面振動源の距離減衰の特徴をよく示しているといえるが，125 Hz以上では，地盤による内部減衰が大きくなるため，周波数が高くなるにつれて距離減衰が大きくなっている。

発泡ウレタン施工前の振源室（供試体2）から受振室（供試体3）への振動の伝搬性状は，図一5に示すように振源室のコンクリート壁面から地盤への伝搬はあまり減衰がみられないのに対し，地盤から受振室のコンクリート壁面への伝搬は，各周波数とも20 dB程度の減衰がみられる。

振源室・受振室間の地盤（G）の伝搬は図一5に示すように，125 Hz以上では距離による減衰も大きく，図一4に示したものと同様の傾向であるが，63Hz以下では，振源室から離れてレベルが上昇している点もあり，これは，振源室と受振室とのコンクリート壁面による反射，干渉などによる定在波の現象と考えられる。

3.2. 発泡ウレタンの防振効果

発泡ウレタン施工前の自然状態における，振源室，地盤，受振室での振動性状を以上のように調べた上で，表一2に示す各ケースについて，発泡ウレタンの施工前後の測定を行なった。測定の結果は図一6に示すとおりである。なる，測定周波数は，500 Hzについては地盤内での減衰が大きいため，受振室内においてS/Nが十分とれないことと，音として放射されるレベルも一般的に小さく問題とならないことから省略し，31.5 Hz～250 Hzとした。

周波数 Hz		31.5	63	125	250
ケース1	壁面	6	5	8	3
	床面	7	3	0	0
ケース2	壁面	7	14	12	6
	床面	6	7	2	0
ケース3	壁面	8	10	12	14
	床面	10	11	7	2

表一3 発泡ウレタンによる防振効果 (dB)

発泡ウレタンによる防振効果は，図一6から受振室の床面，壁面における施工前後のレベル差として求めた。

各ケースごとの防振効果を表一3に示す。

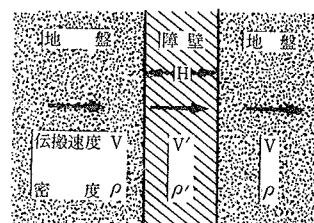
ケース1：振源室壁回り施工の場合，発泡ウレタンの施工深さからして，振源室の床面の振動放射に対しては防振効果は期待できない。振源室の振動性状は，図一3に示すように125 Hz以上では，床面の振動が大きく支配的であるので，このような場合では有効な防振対策とはなり得ず，受振室における防振効果も概ねその傾向を示している。従って当ケースの場合は，振源室の壁面の振動の方が床面より大きい場合に有効であり，その場合に，受振室で5 dB程度の防振効果は得られる。

ケース2：受振室壁回り施工の場合，ケース1の振源室と受振室とを逆にしたものであり，受振室床の125Hz以上で効果がないのはケース1と似ているが，他は全般的に防振効果が大きくなっている。ケース1と比べると平均で2 dB程度上回っており，受振室壁回りの施工の方が振源室壁回りより，防振効果上から有利であることが分かる。

ケース3：振源室・受振室間施工の場合，全般的に効果量がケース2よりもやや大きめであるが，これは発泡ウレタンの施工深さを3 mとしたことによるといえる。一般に当ケースのような中間施工の場合，発泡ウレタンの深さを床面より下げないと防振効果はあまり期待できず，床面と同じ深さならケース1，2の施工位置の方が防振効果は大きいといえる。ケース3の場合，受振側での振動は，地盤振動が発泡ウレタンを透過してくるものと発泡ウレタン障壁の下側より回折してくるものとが考えられる。すなわち防振効果としては，透過減衰量と回折減衰量によって決ることになる。次に，受振点を当ケースの壁中心位置として，それぞれの減衰量を計算して，実測値の壁の防振効果量とを比較してみる。

3.3. 発泡ウレタンの透過減衰量と回折減衰量

地盤中に発泡ウレタンがある場合の振動の伝達率は，振幅比によって表わされ，図一7に示す地盤の密度，伝搬速度，障壁の厚さなどによって(1)式で与えられる³⁾。



図一7 障壁の振動伝搬

従って透過による減衰量は加速度レベルで表わすと(2)式となる。

$$T_w = \frac{4\alpha}{\sqrt{2\{(1+\alpha^2)^2 - (1-\alpha^2)^2(1 + \cos 2\beta \cdot \frac{2\pi}{\lambda} \cdot H)\}}} \dots\dots\dots(1)$$

ここで， $\alpha = v'\rho'/v\rho$ ， $\beta = v/v'$ ， $\lambda = V/f$

H: 障壁の厚さ, f: 周波数 Hz

$$ATT_t = 20 \log \left(\frac{1}{T_w} \right) \text{dB} \quad \dots\dots(2)$$

一方、回折減衰量については、Kirchhoff の回折近似理論によるものとして、図-8に示す発泡ウレタン障壁の有無による伝搬経路差 δ をもとに、図-9に示す前川の実験曲線から求めることとする⁴⁾。

それぞれの計算結果を表-4に示す。なお、計算に用いた伝搬速度は表-1のP波の値を、伝搬経路差は、振源室床、壁からの平均として $\delta \approx 1.4 \text{ m}$ とした。

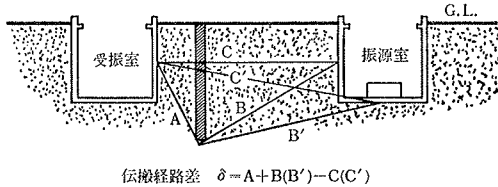


図-8 発泡ウレタン障壁の有無による伝搬経路差

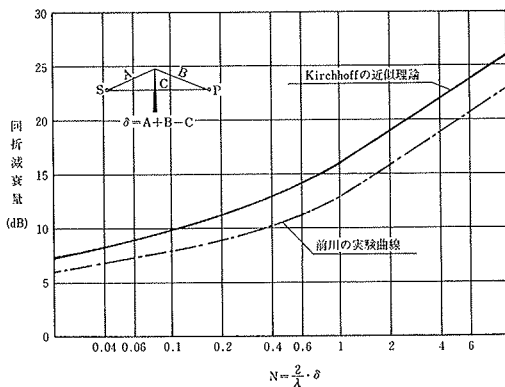


図-9 障壁による回折減衰量

周波数 Hz	31.5	63	125	250
透過減衰量	30	35	23	23
回折減衰量	9	11	13	16
実測値(ケース3壁)	8	10	12	14

表-4 減衰量計算値と防振効果実測値 (dB)

計算値と実測値とを比較すると明らかなように、回折減衰量と実測値がよく対応しており、これにより、回折による振動の影響の方が秀過によるものより大きいことが分かる。

従って発泡ウレタンによる防振効果を大きくするには発泡ウレタンの深さを深くすることが重要といえるが、発泡ウレタンの厚さと周波数によっては、(1)式で明らかのように、透過しやすい場合もあるので、深さだけでな

く発泡ウレタンの厚さについても検討する必要がある。

4. 結び

地下構造物間の可聴域周波数における防振対策として発泡ウレタンを用いる場合、実験結果からおおむね次のようなことが分かった。

(1) 振源室の壁面の振動レベルが床面のレベルよりも大きい場合には、発泡ウレタンの施工深さが床面程度であれば受振室での防振効果は、ケース1で約5 dB、ケース2で約7 dB程度は期待でき、施工位置としては、深さが同じであれば、振源側よりも受振室側とする方が防振効果の上でやや有利である。

(2) 振源室の床面の振動レベルが壁面の振動レベルよりも大きい場合には、発泡ウレタンの施工深さが床面程度では、施工位置に関係なく、受振室の床面での防振効果はほとんど得られず、深さを床面より下げないと防振効果は期待できない。

(3) 発泡ウレタンの深さは、深くする程回折減衰量が大きくなるので、防振効果も大きくなるが、発泡ウレタン自身の透過減衰量は、発泡ウレタンの厚さと周波数によっては、回折減衰量よりも小さくなる場合もあり得るので注意を要する。

(4) 発泡ウレタンを防振対策に用いる場合は、事前に振動源の特性、地盤の伝搬性状、受振室側の特性などについて十分な調査を行なって、発泡ウレタンの施工位置、施工深さ、厚さなどを検討する必要がある。

5. 謝辞

おわりに、本研究にあたり、発泡ウレタンを提供され、施工して頂いたブリジストン東京エバーライト化成(株)、岩野物産(株)の方々、実験に御協力頂いた日東紡音響エンジニアリング(株)の高田雅保氏、および宝来貞潔職員(現、本社工務部)に謝意を表します。

参考文献

- 1) W. F. 研究グループ: 地盤振動の遮断効果に関する実験, 大林組技術研究所報, No. 8, (1974), pp. 52~56
- 2) 斎藤, 木村, 小出: 地盤振動と対策について(第1報), 大林組技術研究所報, No. 8, (1974), pp. 158~163
- 3) 西村源六郎: 振動工学, 第11章 防振, (1969)
- 4) 騒音・振動対策ハンドブック: 日本音響材料協会, 第2編 騒音防止対策, (1982)