

防振壁による地盤振動の遮断効果について (第1報)

佐々木 晴 美* 木 元 喬 之**
能 登 繁 幸*** 東海林 邦 夫****

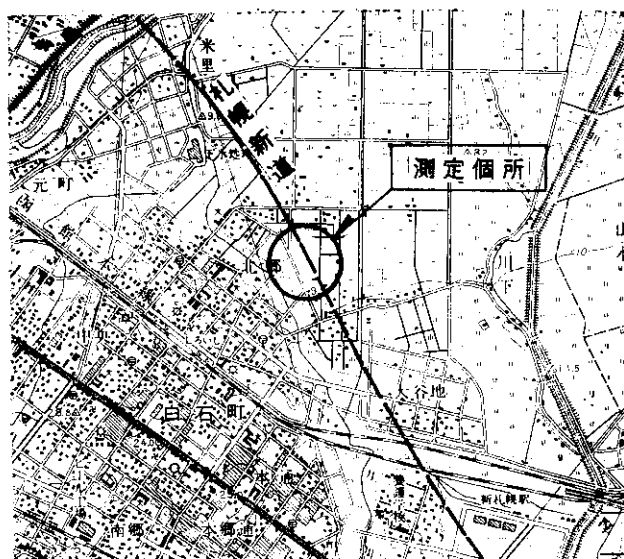
1. ま え が き

施工機械・走行車両などによる地盤振動の発生は古くから認められているが、近年、工事の大型化、交通量の増大および土地利用の高密度化などに伴い、地盤振動がときには道路周辺住民および家屋などに弊害を及ぼし、最近では公害のひとつとも考えられている。このような問題の解決を指向して、著者らは地盤振動の実態、予知方法、さらには軽減対策工について数年来、調査研究を積み重ねてきた。

ここでは、地盤振動軽減対策工のひとつとして考えられる地盤振動の伝播経路の遮断、すなわち、地盤に溝や壁を設けた場合の振動軽減効果に関する現地試験を行い、その実測結果に基づいて、溝および壁の振動軽減効果および壁体の種類による効果の変動について検討した結果を報告する。

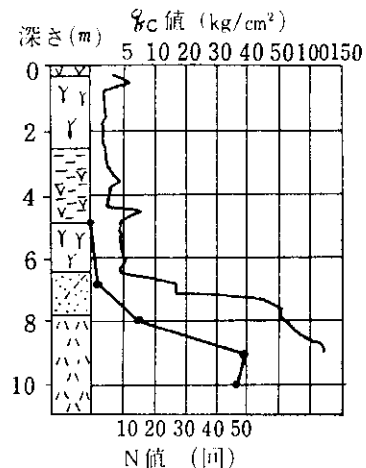
2. 試験個所の概要

試験個所は、図一1に示すとおり一般国道5号札幌市地内札幌新道の新設工事現場であり、測定個所の土層構成は、図一2に示すとおり泥炭層と腐植土混りシルト層が互層になっている。とくに上の泥炭層は $q_c = 2 \sim 3 \text{ kg/cm}^2$ の軟弱土層である。各層の土質常数は、表一1に示すとおりである。



図一1 測定個所図

*土質研究室長 **前同室室長 現留別開発建設部道路第2課長 ***同室室長 ****同室員



凡 例

腐植土 腐植土混りシルト
泥炭 シルト質砂

図一2 地盤の性状

表一1 地盤の性質

深 さ (m)	湿潤密度 $\gamma_t (\text{g/cm}^3)$	含 水 比 $\omega (\%)$	比 重 G_s	一軸圧縮 強 度 $q_u (\text{kg/cm}^2)$
1.1~2.0	0.962	960.50	1.542	0.188
3.1~3.6	1.336	105.38	2.270	0.500
5.1~6.0	0.985	763.35	1.632	0.250

成は、図一2に示すとおり泥炭層と腐植土混りシルト層が互層になっている。とくに上の泥炭層は $q_c = 2 \sim 3 \text{ kg/cm}^2$ の軟弱土層である。各層の土質常数は、表一1に示すとおりである。

3. 試験要領

防振工としての溝および壁の設置に際してはその深さや幅が問題となるが、本調査の場合、溝については排水管理設のための掘削溝も利用したため、深さ1.2m、幅1.0mの寸法となっている。また、壁については図一3

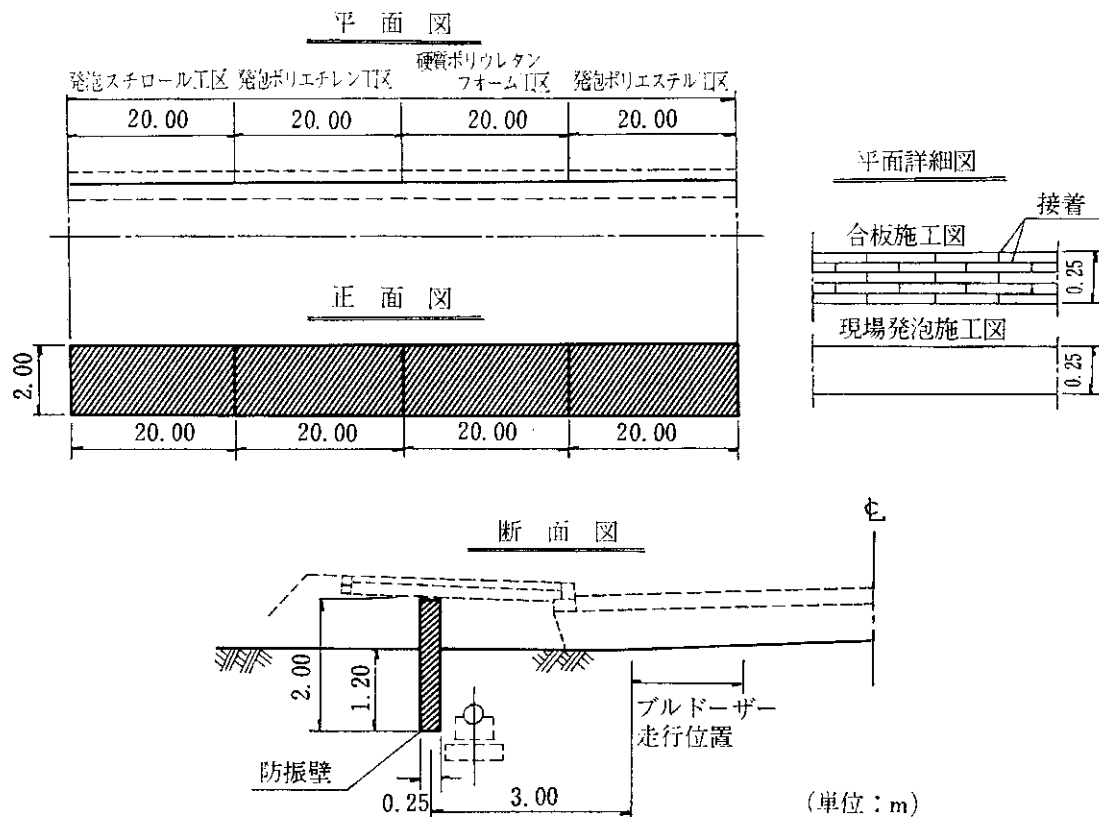


図-3 防 振 壁 設 置 図

表-2 各種防振壁材の特性

壁 材	密 度 g/cm ³	引張強度 kg/cm ²	圧縮強度 kg/cm ²	弾 性 波 伝播速度 (S波) m/sec
発 泡 ス チ ロ ー ル	0.029	5.0	3.0	60.0
発泡ポリエチレン	0.035	2.0~3.0	0.5	—
硬質ポリウレタン フォーム	0.044	25~80.0	1.5~6.0	36.2
発泡ポリエステル	—	—	—	—

に示すとおり、高さ2.0mのものを掘削溝に立て埋め戻すこととし、厚さについては後述の(4-3-1)式を用い、概略計算により25cmとした。

防振壁の材質としては、理論上、コンクリートのように密度の大きいものか、発泡材のように密度のきわめて小さいものがよいが、比較的施工性のよい後者を対象とし、現在一般的に土木工事で使用されている発泡スチロール、発泡ポリエチレン、硬質ポリウレタンフォーム、発泡ポリエステルの樹脂系4種類を用いた。これらの性質は表-2に示すとおりである。

振動源としては、キャタピラー三菱D4Dブルドーザー(9.55t)を3速の速度で路面走行させた振動を利用した。また、測定位置は図-4に示すとおり、振動源端より2m、5m、10m、15m、20mおよび30mの6点と

し、溝および壁は振動源端より3mの位置とした。

測定解析は公害用振動計で測定し、記録計、ローパスフィルター、オシログラフをとおり、読みとり演算を行って解析した。

振動の測定単位としては、変位振幅、速度および加速度などがあるが、Dieckmann, Meisterの報告、ドイツのVDI₁、わが国の地方自治体の条例などを考慮して速度とした。なお、測定方向は上下動が水平動より一般的に大きいことから上下動とし、また、ピーク値を用いて解析した。

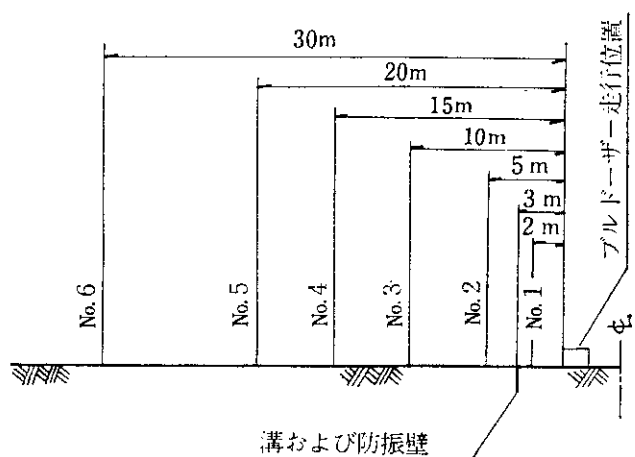


図-4 測 定 位 置 図

次に測定は、第1回目は溝を切っていない原地盤で行い、第2回目は溝を切った空溝の状態で行い、また、第3回目は溝に上記の壁材を埋設した状態で行った。

以上の試験要領で、原地盤、空溝および防振壁相互間の振動を比較検討するものである。

4. 試験結果および考察

地盤振動を遮断する場合、伝播経路となる土を取除くのが効果的であり、また、そのときの軽減効果も各方面で確かめられつつあるが、こうした空溝の状態では、道路の維持・安全性の上で問題があり、溝に壁材を埋設して防振壁とするのが望ましい。

したがって、ここでは防振壁の振動軽減効果を溝を切る後の状態での振動を比較対照の基準として検討するとともに、防振壁を埋設するために予め掘削した溝の振動軽減効果と比較し、その効果の程度を明らかにすることを試みる。

ここで、原地盤、溝切り後、防振壁埋設後のそれぞれの測定結果を表一3にまとめて示す。

4-1. 原地盤の振動

原地盤の距離減衰をレイレイ波として次式をあてはめ、¹⁾各々の工区について実線で図一5に示した。

$$y = \frac{C}{\sqrt{x}} e^{-\alpha x} \dots \dots \dots (4-1-1)$$

C: 振動源の振幅や振動数・地盤の密度に関する常数

α : 地盤の減衰常数

なお、振動源から20mの範囲では、(4-1-1)式は比較的良好に合致するが、これより以遠の30mの点では合致しない。これは30m程度離れると、暗振動および常時微動による影響や、とくに測定箇所が工事現場であることから他の雑振動も多く、純粹振に動源による振動を伝えていないためであると考えられる。したがって、図一5では20mの範囲で表わしたものである。

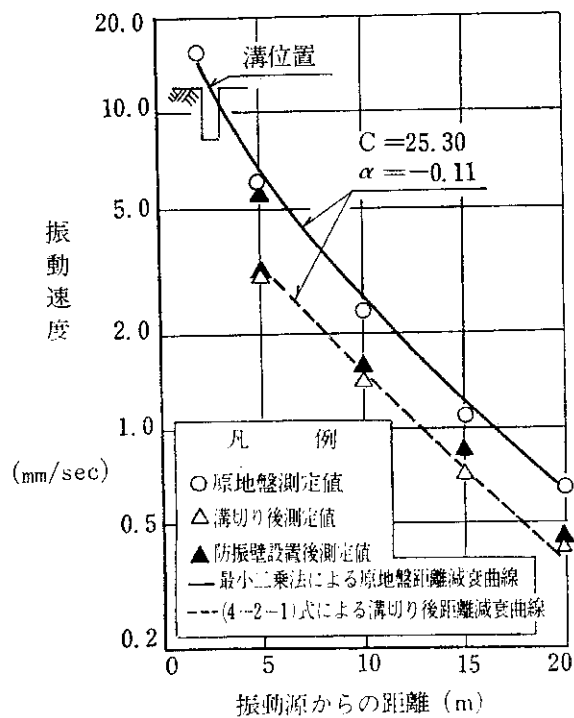
4-2. 空溝の振動軽減効果

原地盤の距離減衰に対して、著者らは溝切り後の距離減衰を同様にレイレイ波として次式を提案しており、¹⁾各工区ごとに、次式を適用して求めたときの振動減衰曲線を図一5に点線で示した。

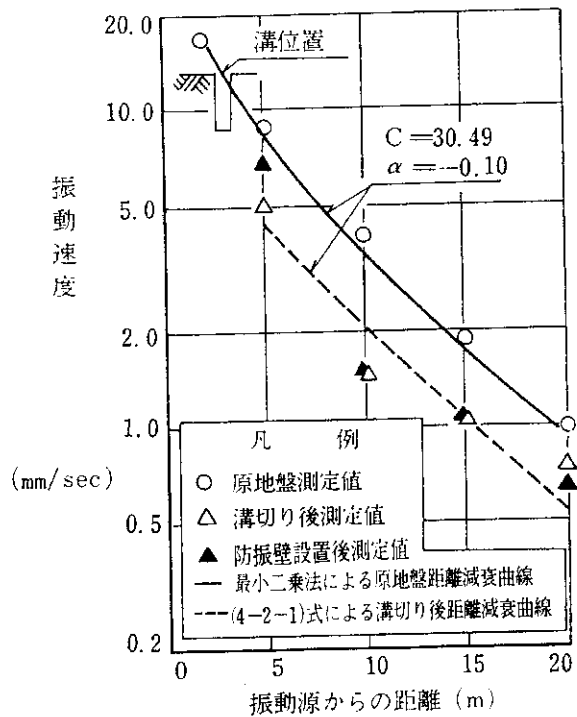
表一3 測定値および効果一覧表

測定項目 振動源からの距離(m)		原地盤 ①	溝切り後 ②	②/ ①	防振壁埋設後 ③	③/ ①	③/ ②
防振壁材							
発泡スチロール	2	15.60	—	—	—	—	—
	5	6.25	3.12	0.50	5.60	0.90	1.79
	10	2.39	1.44	0.60	1.63	0.68	1.13
	15	1.10	0.72	0.65	0.88	0.80	1.22
	20	0.65	0.44	0.68	0.46	0.71	1.05
	30	—	—	—	0.35	—	—
	平均	—	—	0.61	—	0.77	1.30
発泡ポリエチレン	2	16.80	—	—	—	—	—
	5	8.75	5.00	0.57	6.80	0.78	1.36
	10	3.91	1.50	0.38	1.50	0.38	1.00
	15	1.87	1.04	0.56	1.06	0.57	1.02
	20	0.98	0.75	0.77	0.65	0.66	0.87
	30	0.50	0.37	0.74	0.42	0.84	1.14
	平均	—	—	0.60	—	0.65	1.08
硬質ポリウレタンフォーム	2	18.00	—	—	—	—	—
	5	7.92	3.96	0.50	5.00	0.63	1.26
	10	2.17	1.23	0.58	1.25	0.58	1.00
	15	0.96	—	—	0.50	0.52	—
	20	0.72	0.38	0.53	0.39	0.54	1.03
	30	0.48	0.35	0.73	0.35	0.73	1.00
	平均	—	—	0.59	—	0.60	1.07
発泡ポリエステル	2	17.40	—	—	—	—	—
	5	8.12	6.25	0.77	7.60	0.94	1.22
	10	3.04	1.63	0.54	1.63	0.54	1.00
	15	1.33	0.63	0.49	0.81	0.61	1.25
	20	0.93	0.63	0.68	0.71	0.76	1.13
	30	0.75	0.46	0.61	0.50	0.67	1.09
	平均	—	—	0.62	—	0.70	1.14

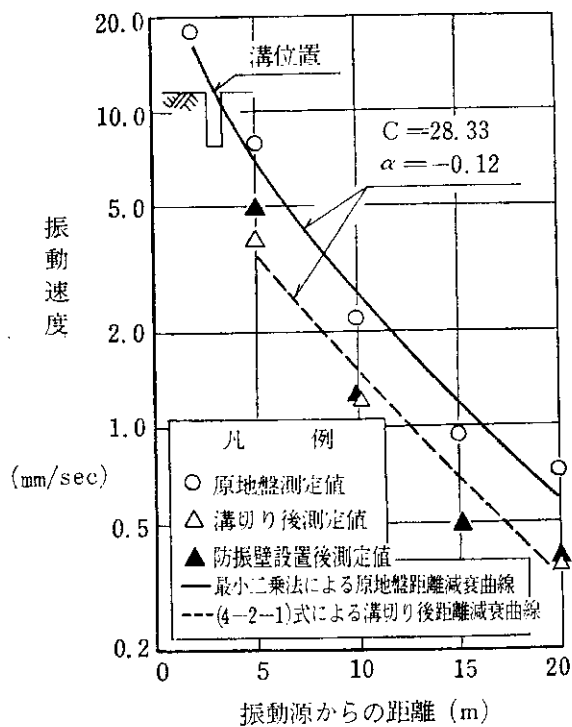
(注) 振動源: フルドーザー(キャタビラー型D4D 9.55t) 3区
単位: 速度(mm/sec)



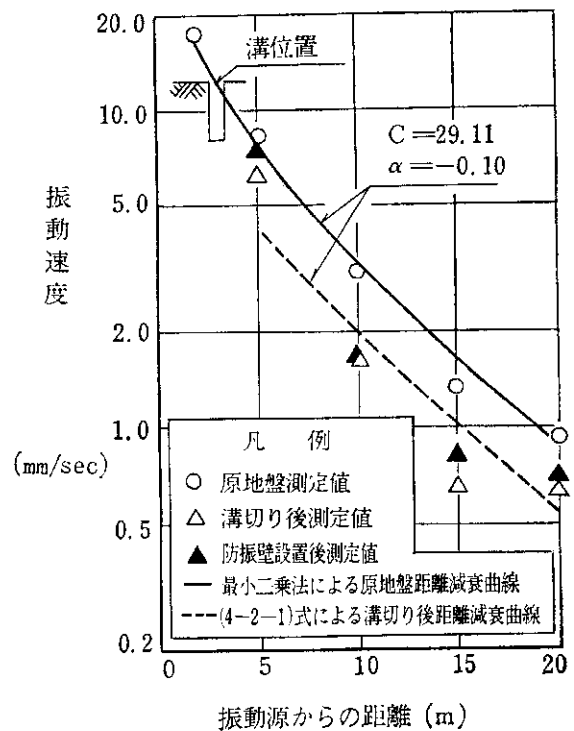
(a)発泡スチロール工区



(b)発泡ポリエチレン工区



(c)硬質ポリウレタンフォーム工区



(d)発泡ポリエステル工区

図-5 各防振壁工区における測定値および距離減衰曲線図

$$y = \frac{C}{D\sqrt{n}\sqrt{x+2D}} e^{-\alpha(x+2D)} \dots\dots\dots (4-2-1)$$

C : 振動源の振幅や振動数・地盤の密度に関する
 常数

α : 地盤の減衰常数
 D : 溝の深さ(m)
 n : 溝の本数

同図に示した結果からも、(4-2-1) 式が、おおむね妥当であることがわかる。

空溝と原地盤との振動速度比を見ると、表-3 に示しているように0.59~0.62となり、また図-5の実線と点線の比からも0.6前後となることがわかる。

空溝による減衰効果は、鈴木らが実験的に求めており、図-6に示すように、波長に関係があると報告されている。これによると本試験の場合、波長が約6m、溝の深さが1.2m、従って $H/L=1/5$ であり、同図から振

幅比が0.6となり、本試験の振動速度比はこれとほぼ同じ値を示している。

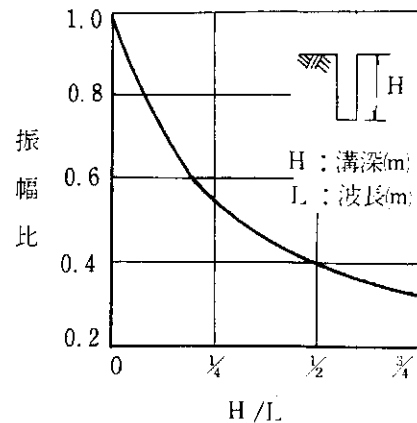


図-6 防振壁の効果

4-3. 防振壁の効果

防振壁による波動の遮断効果については、次のような理論式による波動伝達率³⁾によって推定する方法が考えられる。

$$T_w = \frac{4 \cdot \alpha}{\sqrt{2 \{ 2(1 + \alpha^2)^2 - (1 - \alpha^2)^2 (1 + \cos \cdot 2 \cdot \beta \cdot h \cdot H) \}}} \dots\dots\dots (4-3-1)$$

$$\text{インピーダンス比} \quad \alpha = \frac{V' \rho'}{V \rho}$$

$$\text{弾性波伝播速度比} \quad \beta = \frac{V}{V'}$$

$$h = \frac{n}{V}$$

T_w : 波動伝達率

V' : 防振壁材の弾性波伝播速度(cm/sec)

V : 地盤の弾性波伝播速度(cm/sec)

ρ' : 防振壁材の密度(g/cm³)

ρ : 地盤の密度(g/cm³)

n : 円振動数(rad/sec)

H : 防振壁厚(cm)

上式を用いて、本試験に用いた防振壁材のうち、発泡スチロール、硬質ポリウレタンフォームについて、S波の伝達率を算出してみると次のようになる。なお、この場合の壁材に関する計算条件は、表-2から発泡スチロールについては密度0.029g/cm³、伝播速度6000cm/sec、硬質ポリウレタンフォームについては密度0.044g/cm³、伝播速度3620cm/secとした。また、地盤については、密度は表-1から0.962g/cm³、伝播速度は測定結果から4000~6000cm/secの平均値5000cm/secとした。周波数は測定結果から8Hzとした。

① 発泡スチロール

$$\alpha = 0.036, \beta = 0.833, h = 0.010, H = 25(\text{cm})$$

$$T_w = \frac{4 \cdot 0.036}{\sqrt{2 \{ 2(1 + 0.036^2)^2 - (1 - 0.036^2)^2 (1 + \cos \cdot 2 \cdot 0.833 \cdot 0.010 \cdot 25) \}}} = 0.328$$

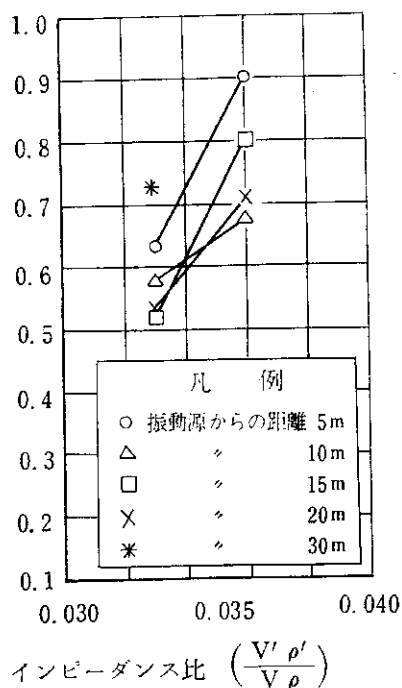
② 硬質ポリウレタンフォーム

$$\alpha = 0.033, \beta = 1.381, h = 0.010, H = 25(\text{cm})$$

$$T_w = \frac{4 \cdot 0.033}{\sqrt{2 \{ 2(1 + 0.033^2)^2 - (1 - 0.033^2)^2 (1 + \cos \cdot 2 \cdot 1.381 \cdot 0.010 \cdot 25) \}}} = 0.191$$

上記の計算から伝達率0.328、0.191が得られた。これに対し、表-3より防振壁設置後と原地盤との振動速度比は、振動源からの距離5~30m間つまり防振壁の背後の最初の測定位置と防振壁から27m離れた位置の間の平均で0.60~0.77となるが、発泡スチロールと硬質ポリウレタンフォームについて、防振壁の背後の最初の測定位置で振動

原地盤と防振壁設置後の振動速度比

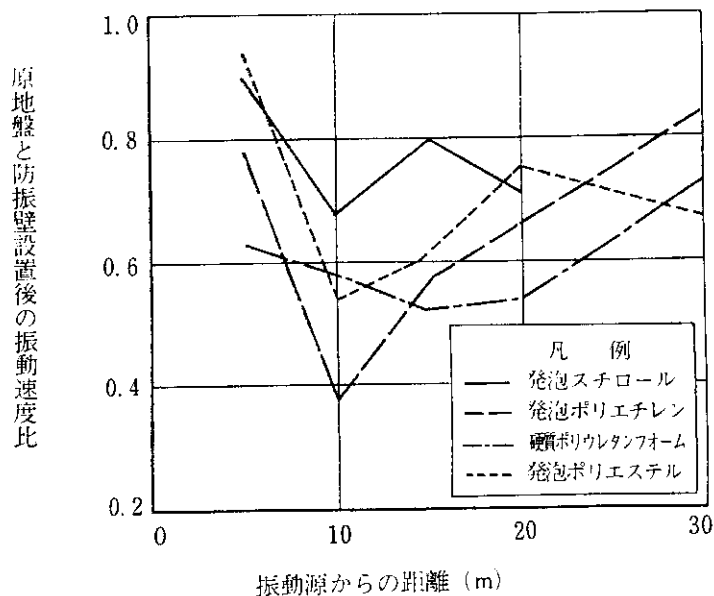


図一七 原地盤と防振壁設置後の振動速度比とインピーダンス比の関係

速度比を示すと、表一3からそれぞれ0.90、0.63となり、測定値が上記の計算による伝達率よりは大きな値を示している。これは(4-3-1)式を用いた伝達率が透過波についてのみ算出されるものであり、実際には防振壁の下端をとる回折波の影響も加わっているためと推定される。したがって、深さ方向に有限な防振壁の遮断効果を求める際に、(4-3-1)式をそのまま適用するのは問題がある。

壁体による遮断効果に及ぼす要素は、前述の伝達率の算出式にも見られるように、壁体の密度、地盤の密度、壁体の弾性波伝播速度、地盤の弾性波伝播速度、壁厚であり、これらはいわゆるインピーダンス比と壁厚である。

表一3、図一5に示してあるように、防振壁設置後の測定値において、原地盤や溝切り後の距離減衰と比較すると、距離減衰効果が異なり、とくに防振壁の背後の最初の測定位置と防振壁からの距離が7m付近の間で顕著な違いが現われている。防振壁の背後の距離減衰は、レイレイ波による減衰式に、インピーダンス比と壁厚の要素を加えることによって求められると推定するものである。



図一八 原地盤と防振壁設置後の振動速度比と振動源からの距離の関係

ここで、インピーダンス比が、振動の減衰効果に与える影響を、振動速度比とインピーダンス比の関係から示したものが図一7である。材質の不明な壁材もあり、ここでは発泡スチロールと硬質ポリウレタンフォームの2種のインピーダンス比しか得られなかったが、同図から、インピーダンス比が小さくなれば、原地盤との振動速度比は小さくなり、振動軽減効果が大きくなることが推定される。

また、図一8には試験に用いた4種類の壁材について振動速度比と距離の関係を示してあるが、これらは、同一地盤、壁材の厚さ・高さが同一という条件下にあるため、4種間の効果の違いは、インピーダンス比、とくに壁材の密度・弾性波伝播速度によるものと思われる。

5. む す び

前記の試験個所の概要および試験要領に述べた条件下

での本報告をまとめると次のようになる。

- ① 1.2 mの空溝により、原地盤に対して振動速度で60%になり、推定式(4-2-1)式はほぼ合致する。
- ② 厚さ25cm、高さ1.2 mの防振壁を設けることによって、振動源から30mの範囲では原地盤に対して、60～77%になる。なお、各種壁材については、発泡スチロール77%、発泡ポリエチレン65%、硬質ポリウレタンフォーム60%、発泡ポリエステル70%となる。
- ③ 防振壁設置後と空溝との振動速度比は1.07～1.30となる。
- ④ 防振壁の効果については、インピーダンス比、とくに壁材の密度・弾性波伝播速度が小さいほど効果があると推定される。

以上、空溝と防振壁設置による地盤振動の軽減効果について述べたが、これらは工事現場という制約上、詳細な測定はむずかしく、データ数の不足、周波数解析の必要性など多くの検討の余地が残されている。

地盤振動の遮断・軽減対策工のひとつとして、防振壁

が使用されつつあり、より十分な検討が急がれているが、今後、防振壁の材質、必要深さ、経済性などについて検討を重ね、よりよい設計指針を作成するよう努力するつもりである。

最後に本報告作成にあたり、現場測定その他多くの御協力をいただいた札幌開発建設部札幌新道建設事務所ならびに関係各位に対し謝意を表する。

参 考 文 献

- 1) 小林, 佐々木, 能登; 「軟弱地盤上の道路における施工機械走行車輛による地盤振動の軽減対策について」昭和48年度土質工学会第13号技術資料
- 2) 鈴木, 石垣; 「衝撃波の最大振幅が色々の溝によって減少する割合について」地震, Vol. 12, No. 3, 1960
- 3) 畠山, 渡辺; 「振動の伝播の遮断について」土木学会関西支部昭和50年度講習会テキスト

*

*

*