

防振壁による地盤振動の遮断効果について (第2報)

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

1. ま え が き

近年、建設工事の大型化、自動車交通量の増大および土地利用の高密度化などに伴い、建設機械や自動車交通による地盤振動が問題となりつつある。著者らは数年来、地盤振動の実態予知方法、さらには軽減対策工について調査研究を続けてきているが、ここでは第1報に引続き、防振壁の厚さ、深さ、および材質による振動軽減効果の変動について試験した結果を報告する。

2. 試験個所の概要

試験個所は図-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-2に示すとおり深さ4 m付近までは主に泥炭

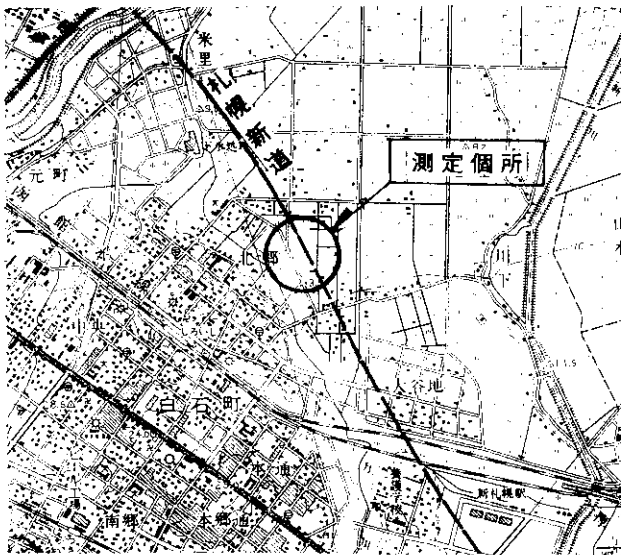


図-1 測定個所図

表-1 地盤の性質

深さ (m)	湿潤密度 γ_t (g/cm ³)	含水比 W (%)	比重 G_s
1 ~ 2	1.011	551.4	1.552
3 ~ 4	0.981	604.0	1.590

*土質研究室長 **前同副室長 現留萌開発建設部道路第2課長 ***同副室長 ****同室員

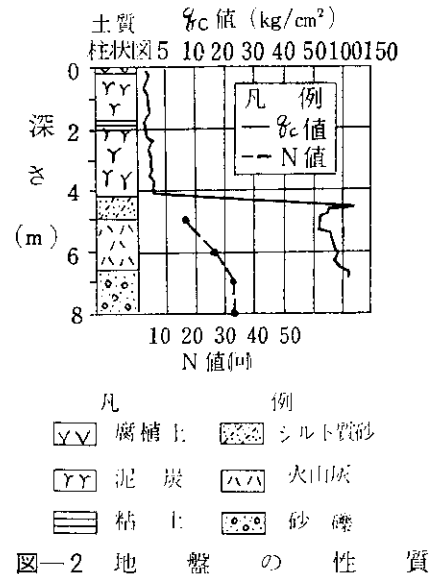


図-2 地盤の性質

層であり、 $q_c = 2 \sim 3 \text{ kg/cm}^2$ の軟弱土層である。また、土質常数は表-1に示すとおりである。

3. 試験要領

第1報では、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および発泡ポリエステルで作られた等厚の防振壁の地盤振動軽減効果について比較検討したが、今回はより大きな密度をもったGRCフォーム、コンクリート中空板などを防振壁とした場合の振動軽減効果ならびに発泡スチロールの防振壁の振動軽減効果に及ぼす壁材の厚さおよび埋設深さの影響について検討するため、表-2に示すような6種類の試験工区を設けた。すなわち、厚さによる振動軽減効果の変動については、No. 1, No. 2, No. 3 工区で防振壁の厚さを10 cm, 25 cm, 50 cmとした場合の振動、深さによる効果の変動については、No. 2とNo. 4工区で深さを2 m, 3 mとした場合の振動、材質による効果の変動については、No. 2, No. 5, No. 6 工区で発泡スチロールとGRCフォームおよびコンクリート中空板を埋設したときの振動をそれぞれ測定比較することとした。

表一2 防振壁試験工区内容

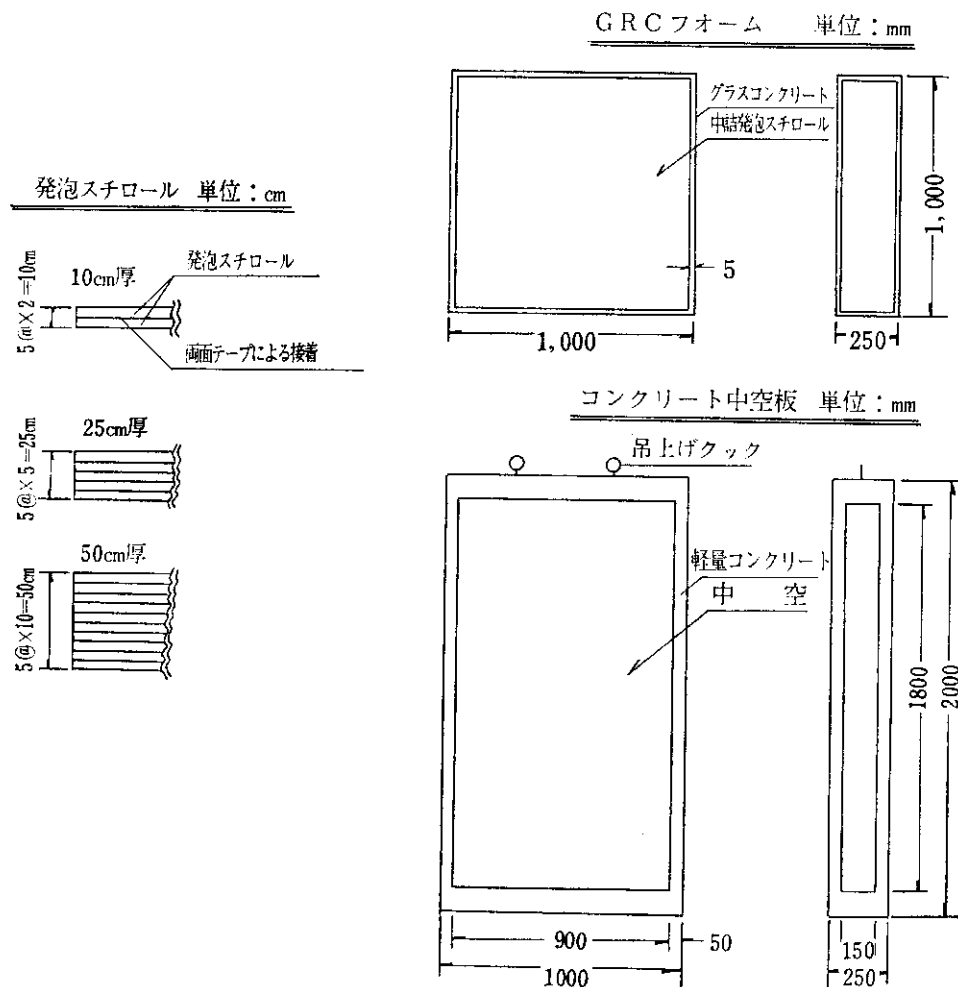
工区番号	防振壁材	深さ H(m)	厚さ D(cm)	延長 L(m)
No. 1	発泡スチロール	2	10	30
No. 2	発泡スチロール	2	25	30
No. 3	発泡スチロール	2	50	30
No. 4	発泡スチロール	3	25	30
No. 5	G R C フォーム	2	25	30
No. 6	コンクリート中空板	2	25	30

これらの防振壁の詳細については、表一3および図一3に示すように、発泡スチロールは第1報で用いたものと同じ材質であり、GRCフォームは発泡スチロールとグラスコンクリートの合材であり、コンクリート中空板は軽量コンクリート材の内部に空隙を設けて軽量化している。また、防振壁を設置する場合には、縦断排水管理用の溝に壁材を立て込み土を埋め戻したもので、図一4に示すような断面となっており、全6工区の設置位置は図一5に示すとおりである。

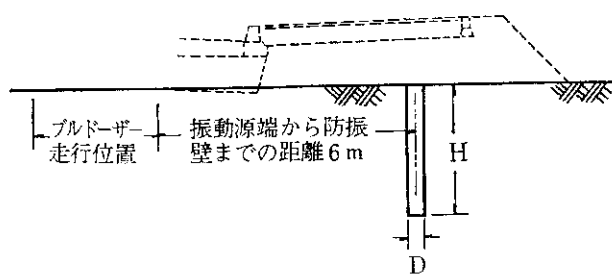
測定位置は図一6に示すように、振動源端から2m、

表一3 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	備考
発泡スチロール	0.029	5.0	3.0	60.0	
G R C フォーム	0.132	—	—	—	密度=重量/ 見かけの体積
コンクリート中空板	0.980	—	—	—	



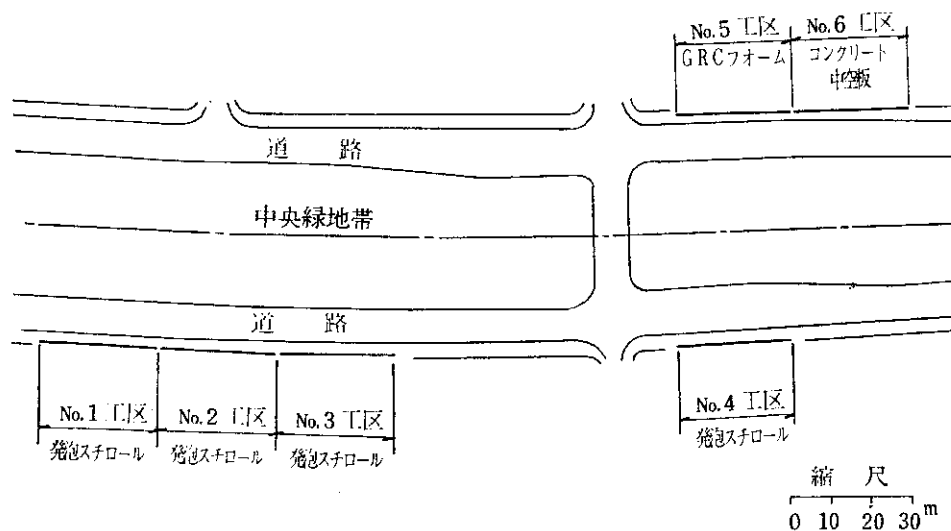
図一3 防振壁材断面詳細図



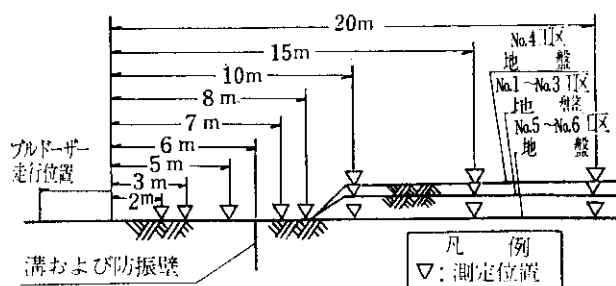
図—4 防振壁設置断面図

3 m, 5 m, 7 m, 8 m, 10 m, 15 m, 20 mとした。ただし、構と測定予定点との位置関係および測定予定地点における測定器設置の難易により、全点測定は行わず工区ごとに同図の中から選定した。

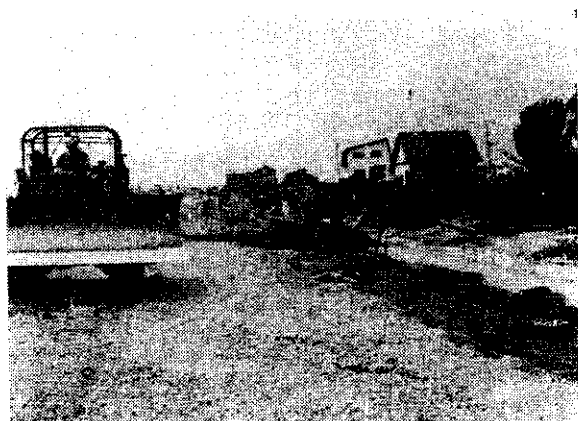
測定解析は公害用振動計で測定し、記録計、ローパスフィルタ、オシログラフを通し、読みとり演算を行った。また、測定単位は Diekmann, Meister の報告、ドイツの V D I などを参考にし、さらに、第 1 報との関連



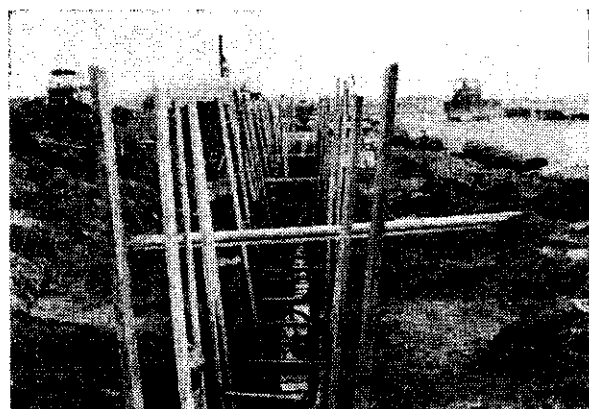
図—5 防振壁設置平面図



図—6 測定位置標準図



写真—2 No. 5, No. 6 工区における防振壁設置後の振動測定状況



写真—1 No. 4 工区における溝切り後の振動測定状況

上、振動速度(mm/sec)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(z方向)を抽出し、振動速度のピーク値で解析した。

振動源については、三菱BD—11 tブルドーザーを路盤の未完成な状態の路面で2速(約5 km/h)の速度で走行させたものを用いた。

写真—1, 2は現場における調査の状況を示す。

4. 試験結果と考察

4-1. 原地盤の振動状況

空溝および防振壁による振動軽減効果の検討に際しては、原地盤の振動が比較対照の基準となる。各工区ごとに測定した原地盤の振動は表一4に示すとおりであるが、以後の軽減効果の比較検討を容易にするため、これらの測定値をレイレイ波の距離減衰式に代入し、最終的には地盤条件などが類似した区間ごとに、平均的な距離減衰を算定した。すなわち、まず各工区ごとにレイレイ波とした場合の減衰常数 α を求めた。その結果は表一5に示すとおりである。次に α は地盤の土性などにより変

化する常数であるので、現場の状況ならびに同表に示した α の値を勘案して、当該個所地盤を(No. 1～No. 3)、(No. 4)、(No. 5～No. 6)の3種に大別することとし、それぞれの区間の α の平均値を用いて、振動源端から2mの地点における振動測定値を基準(=100)とした振動距離減衰を求めた。これを表一6に示す。同表の値を基本にして、以下の考察を進めることにする。

4-2. 溝による振動軽減効果

ここでは、防振壁埋設前の縦断排水管理設用の溝を利用して、空溝による振動軽減効果について検討する。各

表一4 原地盤の振動測定値 (単位: mm/sec)

振動源端からの距離 (m)	2	3	5	7	10	15	20
工区 No.							
1	13.21	2.11	1.89		0.77	0.61	0.50
	15.00	3.11	2.00	—	0.85	0.71	0.48
	18.75	3.67	1.56		0.85	0.79	0.54
	11.79	2.59	1.56		0.73	0.64	0.45
2	—	2.22	2.78		0.50	0.39	0.25
	—	3.56	3.11	—	0.77	0.57	0.39
	11.79	3.11	2.33		1.15	0.54	0.39
	9.64	3.78	3.00		1.08	0.61	0.43
3	9.64	4.11	2.89		0.73	0.71	0.50
	8.57	4.11	2.89	—	0.88	0.89	0.57
	8.93	3.83	3.22		0.92	0.86	0.54
4	6.43		1.50	1.24	0.89	0.71	
	6.43	—	1.33	1.14	0.89	0.79	—
	6.79		1.44	0.93	0.86	0.75	
5	9.64		5.00	2.90	1.68	1.68	
	10.71	—	4.81	3.79	2.68	1.71	—
	10.71		5.56	3.45	2.25	2.14	
	10.71		5.19	3.10	2.36	1.93	
6	9.64		4.07	3.10	2.25	2.04	
	8.57	—	4.63	3.45	3.21	2.04	—
	8.57		4.44	3.79	3.00	2.14	

表一5 原地盤の減衰常数

工区	減衰常数 α	工区ごと の平均減 衰常数	地盤の種 別平均 減衰常数
1	0.079	0.084	0.087
	0.086		
	0.090		
	0.081		
2	0.091	0.094	0.087
	0.084		
	0.103		
	0.097		
3	0.090	0.082	0.072
	0.075		
	0.083		
4	0.077	0.072	0.072
	0.065		
	0.073		
5	0.065	0.058	0.046
	0.060		
	0.051		
	0.055		
6	0.039	0.031	0.031
	0.028		
	0.026		

表一6 振動源端からの距離が2mの点を基準とした原地盤の距離減衰

振動源端からの 距離(m)	2	3	5	7	8	10	15	20
工区 No.								
1 ~ 3	100.00	74.85	48.72	34.60	29.67	22.30	11.78	6.61
4	100.00	75.98	50.96	37.29	32.46	25.14	14.32	8.65
5 ~ 6	100.00	77.98	55.09	42.47	37.94	30.95	20.08	13.82

工区ごと3～4回の測定値を整理し、原地盤と同一条件である振動源端から2mの地点の振動を基準にして、各測定点の振動の距離減衰比を求めると図一7のとおりとなる。同図に示すように、溝によって振動はかなり軽減されており、原地盤の振動に対して溝背後の振動は、溝の深さ2mのNo. 1～No. 3工区では約38%、溝の深さ3mのNo. 4工区では約33%であり、No. 5～No. 6工区では溝の深さが2mで約55%の振動となっている。

著者らは、過去に溝切り後の振動減衰に関する現場実験を行い、溝2本1m深と1本2m深ならびに2本2m深の場合には(1)式が当てはまることを確かめ、種々の溝の深さと本数の場合に対して(2)式を提案した。なお、2mの深さ1本の溝のときは(1)と(2)式が同一となる。

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

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

ここに、 c 、 α は原地盤の振動常数であり、 D は溝の深

さ、 n は溝の本数である。

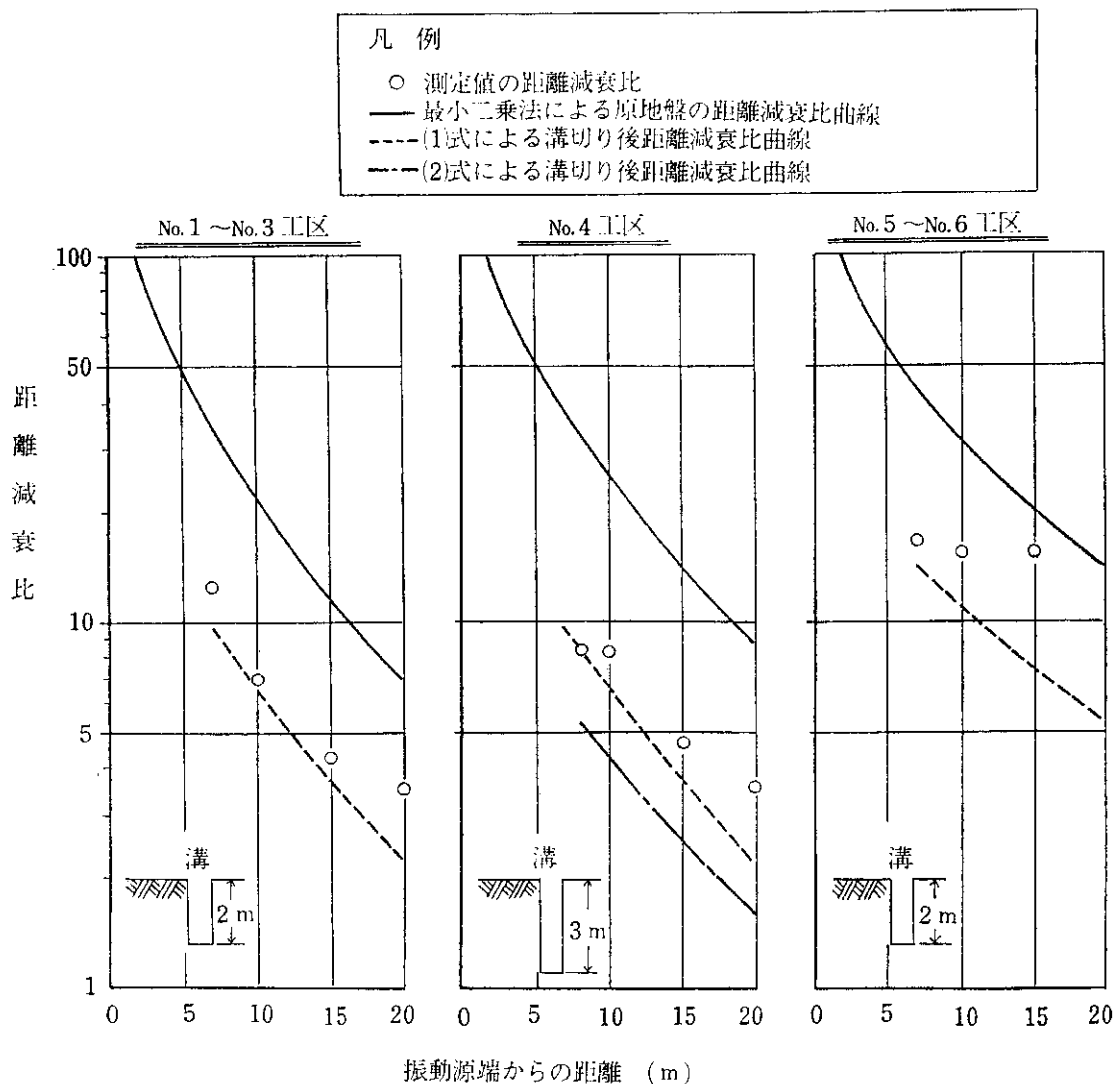
図一7に(1)式および(2)式による振動減衰曲線を示したが、No. 1～No. 3工区とNo. 4工区では、実測値はおよそ(1)式に近似している。一方、No. 5～No. 6工区では溝のすぐ背後で近似した結果になっているが、約10m離れた地点では相当の差が生じており、地盤条件の違いなどの影響かとも考えられる。

ここで、振動軽減の程度と（溝の深さ／振動の波長）との間に一定の関係を見いだした鈴木らの実験成果図に今回の測定結果をプロットすると、図一8のとおりとなって両者は近似している。

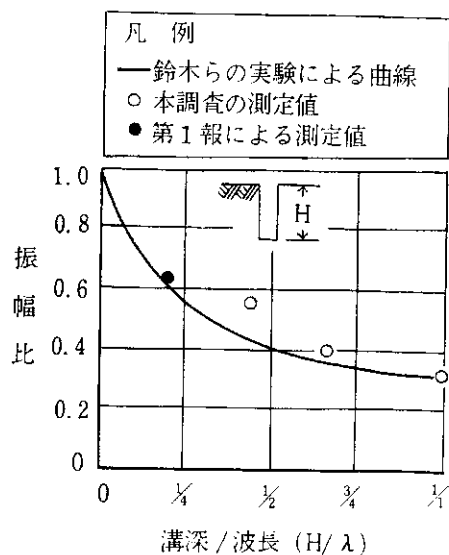
このような結果から、溝切り後の振動軽減効果を推定する場合、著者らの提案した(1)式または鈴木らの実験結果を用いて、概略的な軽減効果を推定することができるものと思われる。

4-3. 防振壁による振動軽減効果

各種防振壁埋設後に各工区ごと3～4回づつ行った振



図一7 振動源端から2mの点を基準とした距離減衰比と振動源端からの距離の関係



図—8 溝の振動遮断効果

動測定の結果を整理し、原地盤の場合と同様に、振動源端から2mの地点の測定値を基準として、防振壁背後の振動の距離減衰比を求め、さらに、原地盤の振動距離減衰比で除して、振動速度比としてまとめると表—7に示すとおりとなる。これらの値を用いて以下の検討を行う。

4-3-1. 防振壁の厚さによる振動軽減果の変動について

防振壁による波動の遮断効果については、次のような理論式が提唱されている。

$$T_w = \frac{4\tau}{\sqrt{2\{2(1+\tau^2)^2 - (1-\tau^2)^2(1+\cos 2\beta hH)\}}}$$

.....(3)

ここに、 $\tau = \frac{V'\rho'}{V\rho}$, $\beta = \frac{V}{V'}$, $h = \frac{n}{V}$

表—7 原地盤に対する防振壁背後の振動速度比

防振壁からの距離(m)		1	2	4	9	14
T区 No.						
1	速度比	79.05	—	65.74	69.95	—
		90.29		85.70	85.06	
		97.69		85.70	112.82	
平均値	89.01	—	79.05	89.28	—	
2	速度比	44.54	—	94.22	68.93	—
		47.77		94.22	92.70	
		35.29		85.56	107.98	
平均値	42.53	—	91.33	89.87	—	
3	速度比	50.14	—	83.68	101.36	—
		44.28		79.06	104.92	
		44.77		77.80	101.36	
平均値	46.40	—	80.18	102.55	—	
4	速度比	—	49.41	60.41	56.01	62.54
			36.91	36.91	28.01	37.57
			49.97	49.97	37.50	48.55
平均値	—	49.48	46.64	42.06	53.73	
5	速度比	—	86.45	106.40	114.89	—
			95.07	132.67	109.51	
			92.15	79.00	91.33	
平均値	—	91.22	106.02	105.24	—	
6	速度比	—	110.54	117.03	168.68	—
			87.85	86.17	107.57	
			110.54	126.49	143.13	
平均値	—	102.98	109.90	139.79	—	

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/cm^3)

ρ : 地盤の密度 (g/cm^3)

n : 円振動数 (rad/sec)

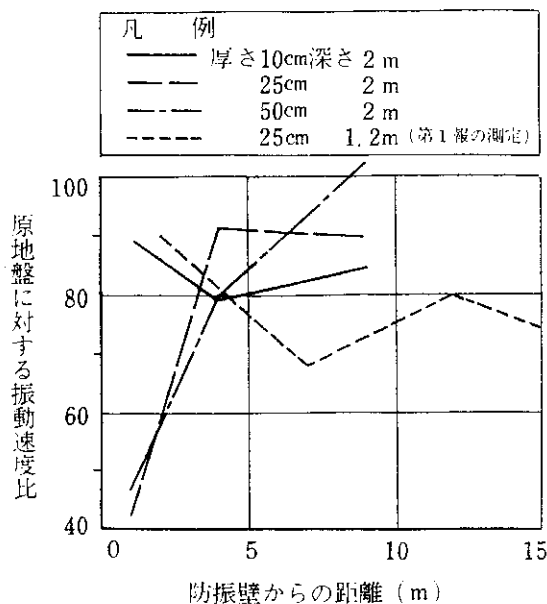
H : 防振壁厚 (cm)

上式を用いて、発泡スチロール材の防振壁厚が10cm, 25cm, 50cmの場合の波動伝達率を算出すると、表一8のとおりの値となる。これに対して、今回の調査結果は図一9に示すとおりの値であり、理論計算値ほど大きな軽減効果を示していない。これは、上式が無限に深い壁の場合を想定して、透過波の伝達率について算出しているのに対して、実際には壁が有限深さであって、防振壁の下端を通る回折波の影響が生じているためと推定される。したがって第1報にも述べたように、深さ方向に有限な防振壁の軽減効果を求める際に、上式の理論式を適用するのは問題があると思われる。

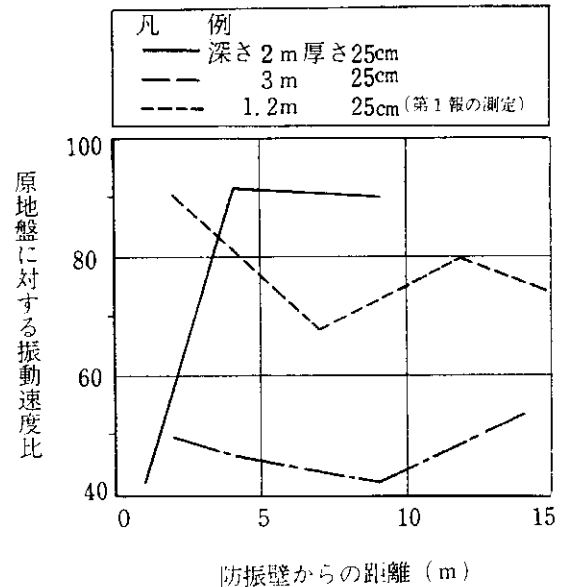
壁厚による実際の振動軽減効果の変動は図一9に示したように、壁のすぐ背後において10cm厚の速度比が約90

表一8 伝達率一覧表

壁厚 D (cm)	波動伝達率 T_w
10	0.362
25	0.158
50	0.088



図一9 発泡スチロールによる防振壁の厚さごとの振動速度比と防振壁からの距離の関係



図一10 発泡スチロールによる防振壁の深さごとの振動速度比と防振壁からの距離の関係

%であるのに対し、25cmおよび50cm厚の場合には、両者ほぼ同じで45%前後となっており厚さの差による効果の差が見られる。しかしながら、壁から4m以上離れたと、振動速度比は10cm厚の場合には、ほぼ80~85%と大きな変化は見られないが、25cm厚と50cm厚の場合には急激に軽減効果が減少し、とくに50cm厚の場合には、壁から9mも離れるとほとんどこの効果が認められないという結果になっている。

なお、図中の点線は昨年度の調査結果を参考に示したものである。

以上述べたように、壁厚による振動軽減効果の変動については、定量的な結論を導きがたく、今後の検討を要するものと考えられる。

4-3-2. 防振壁の深さによる振動軽減効果の変動について

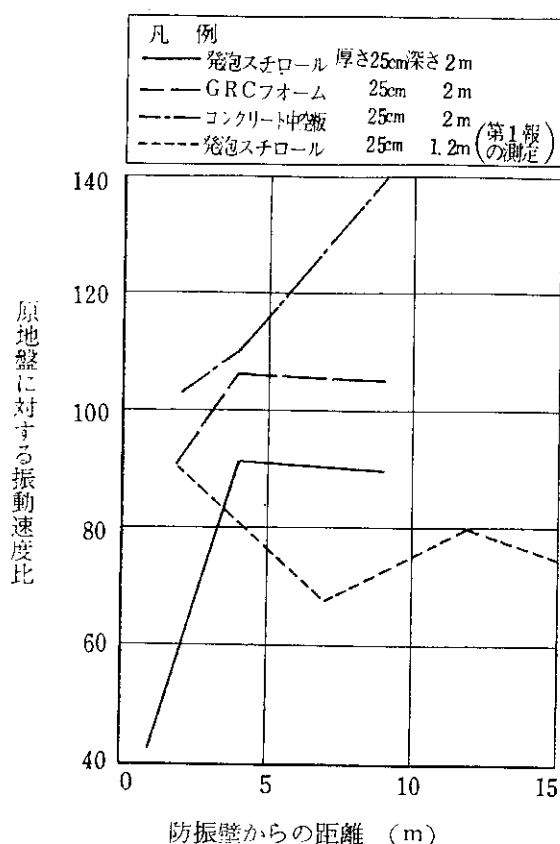
溝を深くすると振動軽減効果も大きくなるが、同様に防振壁の深さを深くすることによって、振動軽減効果がより大きくすることができるものと思われる。

図一10に本調査で測定した2m深さと3m深さの場合の振動軽減効果ならびに昨年度調査した1.2m深さの場合のそれを示す。同図によれば、深さ3mの防振壁を埋設したときは、壁背後の振動は原地盤の振動に対して距離による変動が小さくほぼ50%程度になっており、顕著な振動軽減効果がみられるが深さ2mの場合は、壁の直後で約43%に減少してはいるものの壁から4mほど離れたと90%程度に達し、顕著な振動軽減効果が認められなくなっており、昨年度の1.2m深さの防振壁の場合よりも効果が小さい結果になっている。いま2m深さの場合のデータをその距離減衰の形と大きさからなんらかの

問題を含むものと考え、これを除外して1.2 m深さと3 m深さの場合を比較すると、壁の深さが2.5 倍の3 m深さの場合に軽減効果もほぼ2.5 倍になっているところから、防振壁の振動軽減効果は、壁の深さにおおむね比例するという推定は可能かもしれない。

4-3-3. 防振壁の材質による振動軽減効果の変動について

図一11に3種類の防振壁材料を用いた場合の振動軽減効果を示す。同図によれば発泡スチロールの場合、壁の直後で約43%の振動速度比を有していて、壁から4 mも離れるとほとんど効果がなくなるようであるが、GRCフォームおよびコンクリート中空板は、壁の直後であってもほとんど軽減効果がなく、壁から離れるとむしろ原地盤よりも大きな振動が発生して、軽減効果がまったくない結果になっている。それぞれの材料の密度は表一3に示したとおりであり、地盤の密度に対する比率はおおよそ発泡スチロールで3%，GRCフォームで13%，コンクリート中空板で98%となっている。(3)式の τ はインピーダンス比と呼ばれるものであるが、同式による τ が1.0の場合遮断効果がまったくなく、1.0より小さくなるかもしれないもしくは大きくなる場合に次第に効果が大きくなる。第1報の試験結果によるインピーダンス比と振動速度比



図一11 壁材の材質による振動速度比と防振壁からの距離の関係

の関係においても、インピーダンス比が1.0に比べて小さくなるにしたがって効果が大きくなるという結果が得られている。インピーダンス比の変数である地盤および壁材の密度と振動軽減効果との関係を調べることも意味があるとの判断から、このような観点にたって考察すると、地盤密度との差異が大きい密度をもった壁材ほど、大きな振動軽減効果を有すると考えてよいのではないかとと思われる。さらに、地盤振動が問題となる軟弱地盤は、せん断強さが小さく圧縮性が大きいことから、土よりかなり小さい密度を有する発泡材の防振を用いるのが適当と考えられる。

5. 結 論

以上の結果と考察をまとめると次のとおりである。

- ① 防振壁の厚さが軽減効果に及ぼす影響については、壁の直後では10cm厚の振動速度比が約90%，25cm厚と50cm厚が45%前後となって、厚さの効果が見受けられるが、壁から4 mも離れるとこれらの傾向が不定となって十分説明できない。今後の研究を待つ必要がある。
- ② 防振壁の深さが軽減効果に及ぼす影響については、本調査の場合のデータが異常であるため結論を導きだせないが、第1報のデータと比べると深さと軽減効果は比例関係にあり、壁の深さによる効果を確認できる。
- ③ 防振壁の材質が軽減効果に及ぼす影響については、地盤密度に近い密度の材質を用いると軽減効果がほとんどないことから、軽減効果が密度と密接な関係があるものと思われ、地盤密度よりかなり小さい密度を有する発泡材を防振壁として用いるのが適当と考えられる。

6. あとがき

本調査の測定データからは十分満足できる説明ができないため、期待していた結論も不十分であるが、今後、増大するであろう地盤振動問題を早期に解決するため、今までのデータを含めこの種の調査研究を進めて、よりよい防振壁対策を確立したいと考えている。

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) 佐々木、木元、能登、東海林：「防振壁による地盤振動の遮断効果について」昭和50年度土質工学会北海道支部第15号技術報告資料

- 2) 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
- 3) 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

- 4) 畠山, 渡辺; 「振動の伝播の遮断について」土質工学会関西支部, 昭和50年度講習会テキスト

土試ニュース

役 職 員 の 異 動

昭和52年 8 月 1 日付

新 役 職	旧 役 職	氏 名
第 1 研究部長	石狩川開発建設部札幌河川事務所長	久 米 洋 三
留萌開発建設部留萌開発事務所長	企画課長	小 川 董
企画課長	札幌開発建設部企画課長	三 原 貞 雄
港湾部港湾建設課審査第 2 係長	第 1 研究部港湾研究室主任研究員	宮 本 義 憲
退 職	第 1 研究部長	小 川 芳 昭

昭和52年 8 月31日発行

編集兼
発行人 久 米 洋 三

発行所

北海道開発局土木試験所

0 6 2 札幌市豊平区平岸 1 条 3 丁目

電話 (841) 1 1 1 1 (代表)

印刷所

株式会社 日 栄 舎

札幌市白石区菊水 1 条 2 丁目

電 話 (811) 6 1 6 1 (代表)