

地盤振動と対策について (その3)

—地中防振壁によるしゃ断……一般道路での野外実験例—

齋藤 二郎 小出 忠男
木村 薫

Ground Vibrations and Countermeasures (Part 3) —Interception Methods Based on Vibration Damping Wall in the Ground . . . Outdoor Experiments on Ordinary Street—

Jiro Saito Tadao Koide
Kaoru Kimura

Abstract

There are many problems to be studied regarding the method of intercepting vibration through installation of a vibration damping wall beginning with selection of effective vibration damping wall materials and including configurations of damping walls (shape of wall face, width, depth of embedment, etc.), method of construction, and economics. From experiments of vibration damping walls taking into consideration constructability on ordinary streets and with given conditions of Kanto loam ground, vibration generating methods and depth of wall embedment, this report describes comparison studies of the effects of difference in wall layer form selecting concrete and rigid foamed polyurethane as the damping wall materials which are particularly of concern.

概要

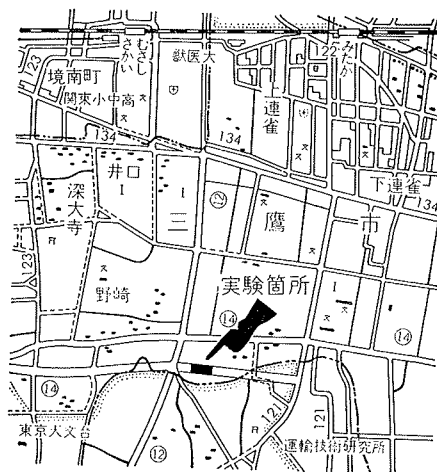
防振壁の設置による振動しゃ断の方法には振動をしゃ断する有効な防振壁材料の選定をはじめとして、しゃ断壁の形状(壁面の形状、巾および設置深さなど)防振壁設置の施工方法ならびに経済性など検討すべき多くの問題がある。

この報告は、一般街路における施工性を考慮した防振壁を対象とし、関東ローム地盤、振動発生方法および壁設置深さなど特定の条件で実施した場合の防振効果に関する実験結果の内、特に問題となる防振壁材料についてコンクリートならびに硬質発泡ウレタンの2種類を選定し、壁の層形状の相違についての効果の比較検討をのべる。

1. 概要

1.1. はじめに

振動公害の防止には振動発生源の処理つまり車両により発生する振動を直接路面に伝ばさせないことが解決の基本であるが、すでに発生している振動伝ばについては防振壁を設けて振動をしゃ断する方法が必要である。振動しゃ断には振動しゃ断に有効な材料、設置深さなどの壁形状のほか土圧による変形に耐え、地下水や、バクテリアによって変質しないものが要求される。本報告は、土圧に耐えうる材料としてコンクリートと硬質発泡ウレタンの2種類を選定し、防振壁の材料の組合せによる防振壁の振動しゃ断効果について比較実験を行なったものである。



図一 実験場所

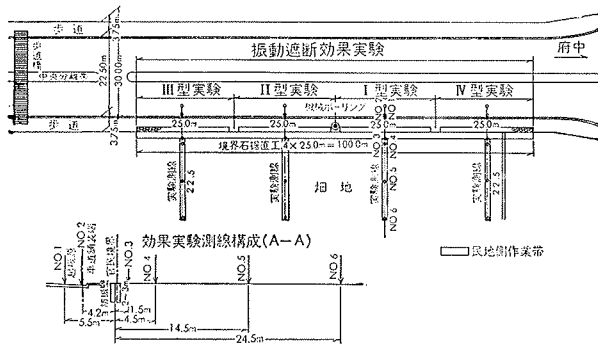
1.2 実験方法

1.2.1 実験場所 主要地方道第14号線

新宿—府中線 三鷹附近 (図—1 参照)

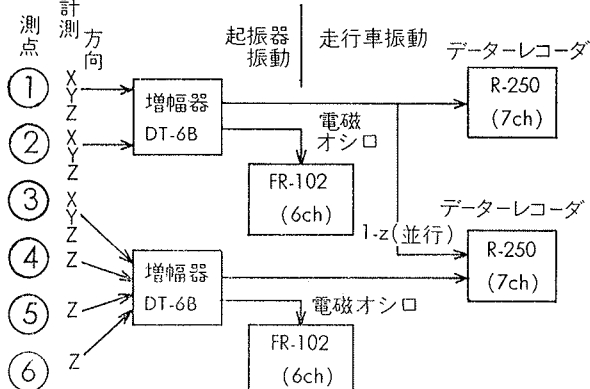
1.2.2 測定および試験 地中防振壁の配置及び構造を図—2 に示す。4カ所の実験配置には、それぞれ図—3 に示した構造の防振壁を設置した。壁の設置に当たっては実験場所の広さ、壁造成工事の施工性、走行車両の速度からそれぞれ25mの壁巾とした。

1.2.3 測定点の配置 起振点からの測定点の距離を図—4 に示す。振動測定は加速度計とし、加速度計は上下、水平の3成分を起振点 0m点①、2m点②、6.5m点③ならびに走行試験時における試験車の外輪



図—2 壁設置平面図

計器名称	仕様	製品名	台数	
振動源	起振機	周期式 BCS-A-200型 (建研A型) 可変サイクル0.2~20Hz(実15Hz)最大起振力(3t)寸法1,640×2,050×1,350高 自重2t 三相200V 20Amp 偏心マス粗径 16mm 偏心マス:計4kg	伊藤精機 (K.K.)	1
	試験車	自重8.40t エニーク中, 前輪2, 後輪4(一軸) 荷重積載6t		1
振動測定	加減速度変換器	歪みゲージ変換器 120A-2J 容量2g 測定周波数範囲0~22Hz	共和産業 (K.K.)	12
	ひずみ増幅器	動歪み測定器(DT-6B)感度0.5mA/0.24V 応答周波数0~1000Hz電源DC12V(AC100V)	東京測器 (K.K.)	2
常時微動測定	記録器	FR-102電磁オンログラフ 時間信号1/100sec 記録速度100cm/s 拡大データ12成分	三栄測器 (K.K.)	2
	データレコーダ	R-250 FM方式 周波数DC~1250Hz トラック;7成分+1ボイス, 入力レベル±1V~20V	TEAC (K.K.)	2
直流増幅器	速度変換器	固有振動数1sec(水平), 2sec(上下), 速度型 周波数範囲1~30Hz 2~30Hz 動コイル型	国際振動	上下:1 水平:3
		SW-4212型, 3成分増幅器 加速度, 変位変換可 周波数範囲0.1~1KHz	同上	1

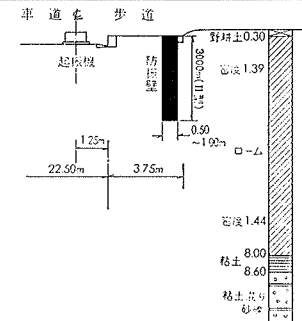
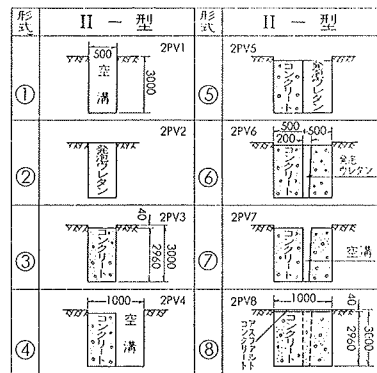


表—1 使用計器の諸元

から歩道側へ1.5m点④に設置し、上下成分のみを10m点⑤, 20m点⑥ならびに30m点⑦に設置した。また起振点から6.5m点以遠は畑地になり加速度計基礎を設けた。測定に用いた諸元を表—1に示す。

1.2.4 振動源 振動源は試験車による走行時の車両による振動と起振機による強制振動の2種類とした。

イ) 試験車走行による振動 路面上に段差を図—5のごとく設けて試験車の通過時に生じる振動を測定するものとした。試験車は後輪一軸4輪, 自重8tonに積載荷重を6tonとした。また試験時の走行速度は50km/hの一定条件とした。ロ) 起振機による振動 表—1の諸元に示す起振機を用いて、起振機257.6kg(振動数10Hz時)で偏心マス重量(4kg)一定で起振させた。起振機の基礎はφ2000×h850mm, 重量7.5tonの鉄筋コンクリート製の円筒形台であり、設置面がアスファルト路面上であり、路面上を平坦にモルタルでした後5台を石膏で固定した。ハ) 防振壁設置 掘削はバックホウで行ない、壁材料の掘削撤去の後同一のみぞに次の材料の設置を繰返し実施した。防振壁材料の物性として硬質発泡ウレタンはサンプル採集した供試体(高さ10cm, 直径5cm)を用いて実施したのを表—2に示す。弾性波試験はパルス音波法により求めた。硬質発泡ウレタンの発泡は現場発泡とした。ただ、形式⑥の場合は型枠により作成した壁を設置してコンクリートを打設した。ジョイント部や既設のコンクリートのすき間にはモルタルを填充した。



図—3 地中防振壁構造図

と周波数分布を壁の背後の測定点③について示す。

試験車の走行時の各防振壁試験の結果を図-10に加速度—距離の関係で示す。

2.1.2. 空溝の防振効果の要因 起振機による振動よりも試験車の走行時の振動での防振効果が図-10から大きいことが知られる。これは、起振機による振動が起振機と舗装体の一体化された振動であり、舗装路面下約1m付近での振動が主として地盤に伝達される。試験車の走行時の振動は主としてアスファルト路面の波動現象であり、空溝の深さが起振機の振動の場合と見掛上異なる結果となり有効に作用する。また定常振動に比べて走行車の振動数が多く、減衰も大きくなることによる。また空溝単体形式1に比べ形式4の空溝+コンクリートの方がより防振効果が認められる。これは溝側壁の自由振動の制ぎよと、コンクリートの

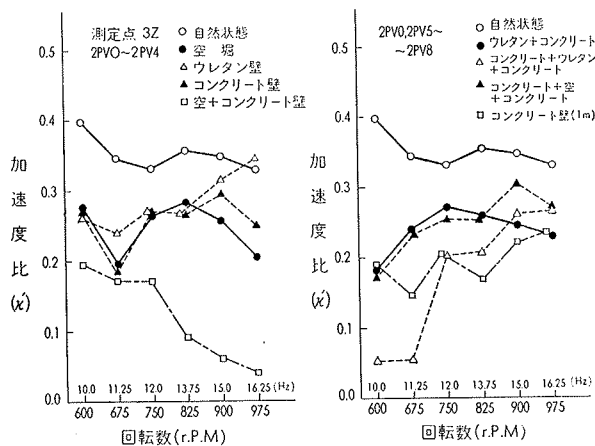


図-9 加速度—周波数分布の関係

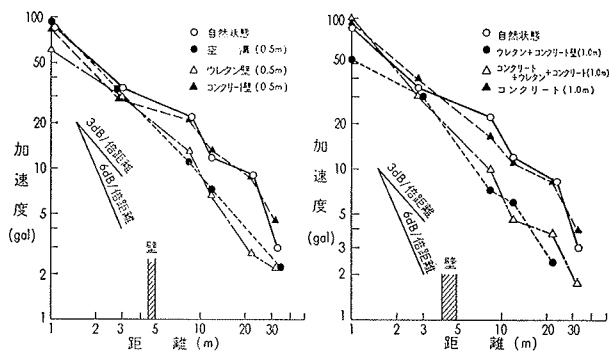


図-10 加速度—距離の関係

自重による振動制ぎよの両方が考えられる。空溝の深さと波長との関係は H/λ (H :溝深さ λ :波長) の低い範囲で溝深さのわずかな変化に対し回折率は著しく変化すのが知られる。このように防振壁背面の地盤に伝達される振動は防振壁を通過した振動と、空溝の場合の壁底面および側面からの回折する振動との相互

作用による。したがって回折波の影響は防振壁の形状、材料等の防振効果を比較する場合除いて検討する必要がある。回折波は自然状態と空溝設置後の振動伝ばの状況を比較することにより検討できる。よって空溝による防振効果の要因について検討する。回折波に関する要因としては次のことがあげられる。

イ) 溝の深さについて溝が深いほど防振効果があることは一般に知られている。しかし今また定性的、定量的にも不明の点が多くある。例えばH. J. Dollingは「トレンチによる振動シャ断」で溝後方への振動の伝ばをエネルギー保存則に従うとし、平均振動強さは波動の通過の際に単位面積当たり放射される出力の時間的平均と定義して表面波の波動方程式を導いている。また模型による振動実験の例では、鈴木、石垣が「衝撃波の最大振幅が色々な溝によって減少する度合について」で波長 $\lambda = 20\text{mm}$ (模型地盤の伝ば速度 3.3km

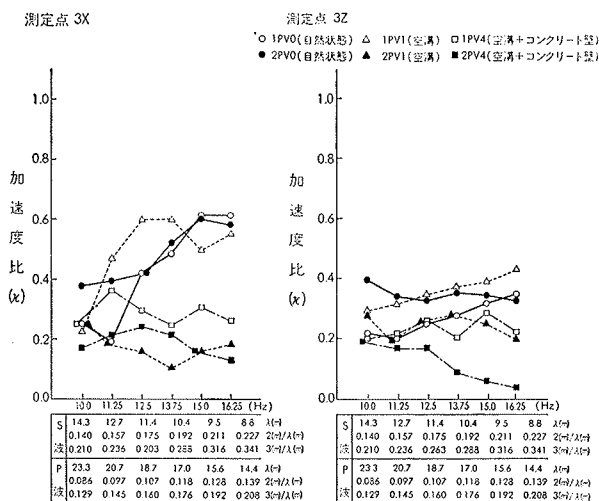


図-11 空溝の深さと波長との関係

/sec) を基準として空溝深さと防振効果について報告している。よって本実験の結果を波長との関係として図-11に示す。図-12に鈴木、石垣

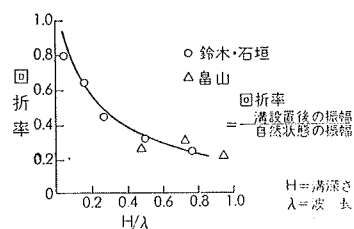


図-12 H/λ と回折率の関係

の実験例を示す。また畠山は「地中防振壁による地盤振動の軽減に関する実験」で波長 (λ) = 0.83mの模型地盤での重錘落下振動実験を行なっているが、この結果についても図中にプロットした。図から H/λ が小さいと、回折率が著しく変化する様子がうかがえる。本実験結果もまた変化の著しい H/λ の値の所で実施し

た結果、試験車の走行時の振動の場合ほぼ曲線上に一致した。起振機による振動は回折率がやや高く、前述した振動発生条件によるものと考えられる。

ロ) 溝の長さ
溝深さと同様、波
動の回折が問題に
なる。Richard・
Woods は「土の表
面波のしゃ断」で
空溝による振動の
自然状態に対する
振巾比で平面分布
測定例を示してい
る。図-13はその
一例である。図中
のH: 深さ, L:
巾, W: 厚さ,
L_R: Rayleigh 波
の波長を示す。図
に示すごとく溝中
央の背面で少し大

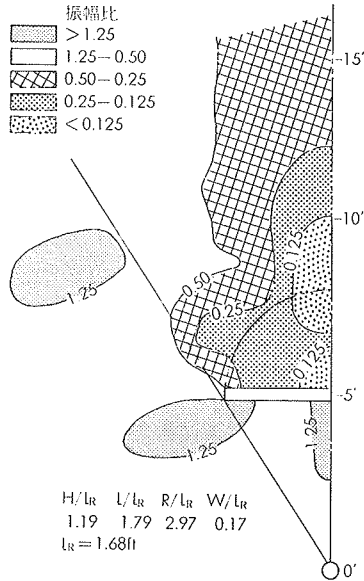


図-13 振巾比分布 (Richard・D・Woods) による

きな振巾比を示す場所がある。溝側方および溝背面より遠のくほど振巾比が大きくなる。

ハ) 溝の振動源からの距離 振動源からの距離が大きくなれば自然状態の波動の伝ばと溝設置後の回折波の伝ばに相対的な距離の差がなくなり、溝の効果が減少する。芹沢

・中野は「建設機械の騒音と地盤振動の実態と2・3の対策」で溝深さとともに振動源からの距離につき図-14に一例を示している。

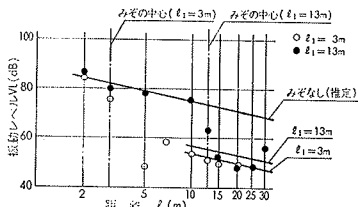


図-14 振動しゃ断用の溝の効果 (l₁=3, 13m)

また前述の Richard・D・Woods は振動源までの距離が異なる場合振巾比分布が波長に対する溝深さが異なる例ではあるが、振動源までの距離が大きくなるにつれて防振効果の減少がみられる。

ニ) 波長との関係 地盤の伝ば速度 (V) と波長 (λ) および振動数 (f) との間には $f=V/\lambda$ の関係がある。また地盤の固有振動数 $f_0=V/4H$ 等の関係にある。(H: 地盤の層深さ) このように溝の回折波は波長、溝長さ、基盤層からの深さなどに関連するとともに地盤の固有振動と密接な関係にある。

ホ) 溝の構造 振動の反射、二次振動などは溝の

壁面と振動の入射角や剛性により異なる。一般に柱列状に比べて壁状のものが効果が良い。

2.2. 防振材料の効果について

前述した回折とともに防振壁の透過に関する要因は壁に用いる材料の振動しゃ断効果に基づくことになる。本実験で得られた結果より、防振材料の効果の比較を理論的に推定する方法としてインピーダンス比がある。

2.2.1. インピーダンス比からみた効果 地盤と防振材料とのインピーダンス比(α)ならびに壁厚さあるいは、波長との関係から理論的に推定する図-15のごとく、いま地盤(I)に起された振動で波動の伝ばを生じ変位波動がX方向に伝ばしてHなる厚みの防振壁(II)を通り再び地盤(III)をX方向に伝ばする透過波の透過率(τ)あるいは変位波動伝達率、U₁' と U₁ との波動の振巾比が防振壁の効果として示されるこのインピーダンス比(α)

と透過率(τ)の関係は、一般にαを極端に小さくするか、あるいは大きくするかによって防振効果が得られる。αがこの様な防振材料は技術的あるいは経済的にみて入手困難である。

本実験は $\alpha \leq 1$ として硬質発泡ウレタン、 $\alpha \geq 1$ としてコンクリートを選んだ。

これら防振材料と地盤とのインピーダンス比(α)は表-4のごとくである。

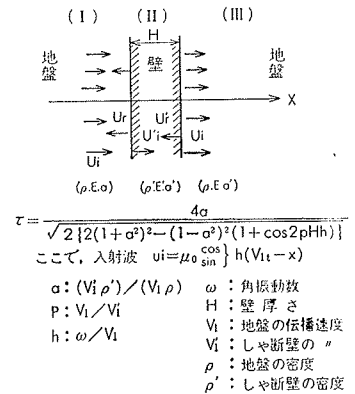


図-15 透過率算定

形式	地盤		防振壁		インピーダンス比 (α)
	密度 ρ ₁ (g/cm ³)	伝播速度 V ₁ (m/sec)	密度 ρ _i (g/cm ³)	伝播速度 V _i (m/sec)	
② ウレタン	1.40	600	0.03	600	0.021
③ コンクリート	1.40	600	2.40	2,500	7.14
⑤ ウレタン + コンクリート	1.40	600	0.03 / 0.40	600 / 2,500	※1 0.021
⑥ コンクリート + ウレタン + コンクリート	1.40	600	2.40 / 0.03 / 2.40	2,500 / 600 / 2,500	※2 0.075
⑧ コンクリート	1.40	600	2.40	2,500	7.1

*伝ば速度: パルス音波法による。

$$*1. \alpha = \frac{7.14 \times 0.021}{0.021 + 7.14} = 0.021$$

$$*2. \alpha = \frac{0.021 \times 7.14 \times 7.14}{0.021 \times 7.14 + 7.14} = 0.075$$

表-4 各種防振材料インピーダンス比(α)

表からインピーダンス比(α)の低い順番に列記すれば以下の如くである。

壁厚さ 0.5m について、

- (1) 形式2 (2) 形式3

壁厚さ 1.0m について

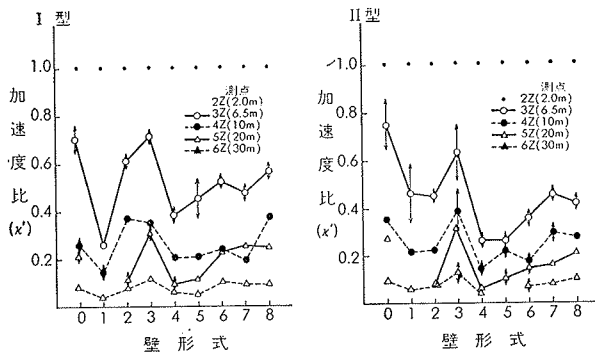
- (1) 形式5 (2) 形式6 (3) 形式8

インピーダンス比と壁厚さとかS透過率算定式による各形式の透過率の低い順番は

- (1) 形式5 (2) 形式2 (3) 形式6
(4) 形式8 (5) 形式3 となる。

2.2.2. 実験結果による比較 自然状態、空溝ならびに各種防振壁材料の防振壁設置した場合の測点②～⑥における試験車の走行時における加速度分布を図一16に示す。壁材料としては、インピーダンス比の小さいウレタ壁が効果が大きいと考えられるが定常振動の場合、コンクリート壁に比べて前述の振動源の地盤への伝ばの相違より効果の差が余りなかった。しかし、走行試験の場合はこの差が明確に認められた。

定常振動および試験車の走行振動の結果から、総合的に判断し、壁材料として効果順を示せば、(1)形式5、(2)形式6、(3)形式8、(4)形式2、(5)形式3 となる。このようにウレタンあるいはコンクリート単体の使用の場合よりも、これら材料の組合せによる方がより防振効果があることが分る。これは、防振壁の多層構造における反射の効果によると考えられる。



図一16 壁形式と加速度比の関係 (試験車の走行時)

3. まとめ

3.1. 防振壁設置深さ

定常振動の場合、深さ3mではじめて効果が認められる。一方、試験車による振動は深さ2mでも効果が認められる。

3.2. 防振壁材料

形式5のウレタンコンクリート材料が最も効果が良い。この様に他種材料との組合せによる多層構造の方が単体の壁材料に比べて、振動のしゃ断効果にすぐれている。

3.3. 防振壁厚さ

コンクリート壁で比較できるが本実験では壁設置深さ3mのものについてしゃ断効果が認められた。しかし厚さに対する防振効果は厚さの増加に比して効果の差が少ない。

追記 本実験は、東京都建設局より委託された防振壁の効果に関する実験結果より、壁材料の効果について報告するものである。東京都の和田副主幹、飯島係長、研究所の中川次長、渡辺室長、後藤研究員に御指導を受け、ここに記して、深甚なる識意を表します。

参考文献

- 1) 斎藤二郎・木村薫・小出忠男「地盤振動とその防止に関する研究」大林組技術研究所々報 No. 8, pp. 158~163. No. 9 pp. 78~81.
- 2) 芹沢・中野「建設機械の騒音と地盤振動の実態と2, 3の対策」土木研究所資料 第867号
- 3) R. D. Woods「Screening of surface waves in soils」ASCE-July 1968