

地盤振動と対策について（その4）

——複合防振壁の振動しゃ断効果に関する検討——

齋藤二郎 小出忠男
木村 薫

Ground Vibrations and Countermeasures (Part 4)

——Vibration Interception Effects of Composite Vibration Damping Walls——

Jiro Saito Tadao Koide
Kaoru Kimura

Abstract

Ground vibrations due to factory machinery, vehicle traffic and construction works may be reduced by a method of interception or alleviation along the vibration propagation course. In the previous reports No. 8, No. 9 and No. 11, tests of vibration damping walls as permanent ground vibration reduction measures were described. This present report gives the results of a theoretical study and tests related to effects of depth, shape and thickness of vibration damping wall on interception frequency. It was found that against low frequencies a vibration damping wall would require great thickness, and that it would need to be installed to a depth close to the underlying hard bearing. The correspondence with theoretical calculations was ascertained, and it was made possible for predictive calculations to be made using a finite element method.

概 要

工場機械、交通車輛、建設工事などによる地盤の振動を軽減する対策として、振動伝ば経路での振動をしゃ断する方法がある。本所報 No. 8以後 No. 9, No. 11で恒久的な振動しゃ断対策についての実験例等を報告した。

本報告は振動しゃ断対策に複合防振壁が望ましいことを前報で報告したことにより、更に具体的に、その壁形状と壁厚さ、深さについて外乱振動数との関係で検討するために、実験と数値解析による理論的検討を行なったものである。

その結果、防振壁は低い振動数になると多大な壁厚さが必要であること、設置深さも下層硬質地盤近くまでにする必要があること、などが判明し、理論計算との対応が確かめられ、予測計算も可能になった。

1. はじめに

本研究は、地盤振動の対策の内、地盤の伝ば経路での振動しゃ断対策について、前報（その2）の結果にもとづいて、複合防振壁の形状、厚さ、設置深さに重点をおいて実施した実験結果と、その理論解析結果とを比較して、報告するものである。

解析には、2次元の有限要素法を用い、その境界処理に波動のいっさんを考慮する薄層要素を、また、防振壁の大きな剛性の為に梁要素を導入した。さらに、前報で行なった透過計算法の算定は、壁形状の防振効果の比較を行なう為に用いた。

2. 実験

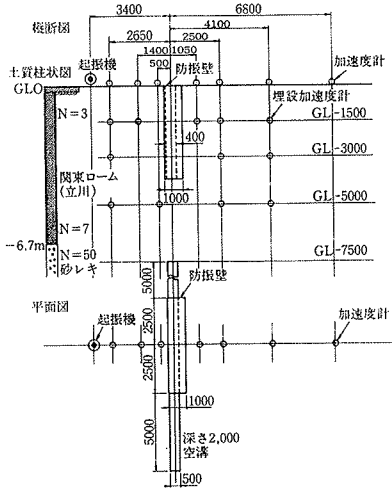
2.1. 概 要

実験地盤は G.L-6.7 m まで関東ロームで、それ以下は砂レキ層になっており、それぞれN値で4前後、40以上になっている。地盤の伝ば速度は関東ロームがS波で143 m/sec、P波で380 m/sec、となっており、卓越振動数は水平方向で5 Hz、15 Hz 前後にあり、上下方向で8 Hz、16 Hz 前後にある。

測点、測線は図-1のごとく、前報（その2）で報告したのと同じ地点であり、起振機や測定計器も同じ機器を用いた。

防振壁の設置位置は前報（その2）のピットを1.0 mに拡張し、G.L. -2 m~-3 m に壁材料設置の都合上硬質発泡ウレタンを設置し、その上側の2 mの深さで壁材料の比較実験を行なうようにした。

また、ピットの両側方には左右からの回折波を少なくし、材料効果を検討し易いように5 mの空溝を深さ2 mで掘削してある。



図一1 防振壁位置と計器設置位置

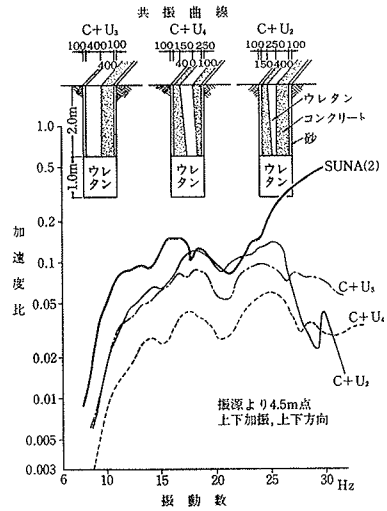
壁材料は硬質発泡体とコンクリートの組合せとした。

壁形状は柱列状防振壁と板状複合壁であり、図一2、図一3に示す。これらは多くの壁形状や材料で実験では行なったが、その内防振効果があり、比較検討例として代表的な壁形状について示したものである。

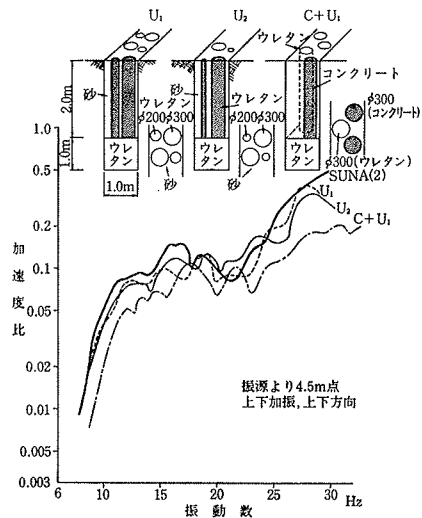
2.2. 実験結果と考察

偏心質量回転型起振機で各振動数ごとに上下加振させ、防振壁中央直角方向の測線での測定結果の1例を図一2、図一3に示す。横軸に振動数、縦軸に加速度比を取った共振曲線図である。測点は起振点より4.5 m、防振壁後方70 cmである。加速度比とは起振点の加速度に対する各測点の加速度の比である。

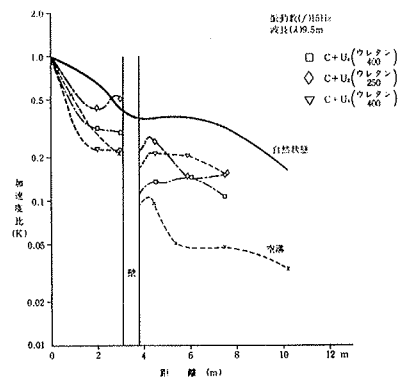
空溝に砂を水締めした場合を自然状態として防振効果の比較を行なうと、図一2の板状と図一3の柱列状との比較では明らかに板状防振壁が良い。柱列状防振壁は極限が板状になることとなるが、板状の硬質発泡体（ウレタン）が薄い、C+U₂とほぼ防振効果が同程度であり、有効な防振効果を得るには不足している。しかし、両者の壁形状でコンクリートと硬質発泡体との複合体は防振効果が良く、その中で上述したように板状防振壁C+U₄の形状が、同じ壁材料厚さを持つC+U₃の複合形式の異なる形状より良いことが分かった。以上の結果、防振効果の良いのは複合壁で、サンドイッチ型（両外側より硬質発泡体をコンクリートではさんだ型式）の壁形状



図一2 板状防振壁の共振曲線



図一3 柱列状防振壁の共振曲線



図一4 距離減衰

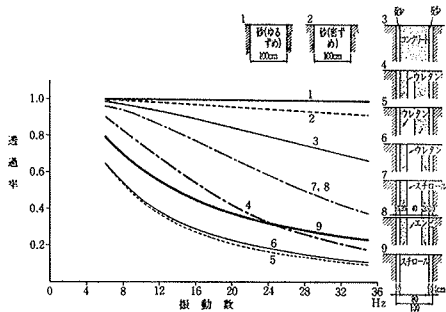
で、硬質発泡体が厚いものである。

共振曲線の振動数15 Hzの各測点の加速度比を縦軸に横軸を距離に取った距離減衰図の例を図一4に示す。

防振壁後方で効果が変わるかを確認したもので、減衰曲線は変動するが共振曲線と同様な防振効果の傾向を示している。

3. 数値解析による検討

数値解析は有限要素法によって検討した。この検討の前に重複反射理論による透過計算法で防振壁形状の遮断効果を比較検討した。この透過計算法は性質を異にする n 層弾性体に境界面に直角な平面波が通過する場合、各境界において透過、反射を行ないつつ波が進行する状態を扱う重複反射理論を用いたものである。解析結果例を図一5に示す。解析は横波の平面波の場合であり、透過率とは壁前方より直角に入射した波の振幅に対し、壁を透過した波の振幅の比を表わす。各材料の諸定数は室内試験結果の値とし、表一1の通りである。



図一5 透過計算法による透過率

実験と同様、サンドイッチ状の複合壁が遮断効果が良いことが得られており、振動数によりその効果の変化は大きく、低い振動数では他の壁形状と変わらなくなる。

一方、振動公害の多く発生する振動数は 5 Hz~20 Hz 域にある。また、上述の算定法は防振壁が無限に広がっている場合であり、壁の下方や側方からの回折波の影響が不明である。さらに、実験では、防振壁も大がかりになり困難である。よって、振動公害の予測に利用し易い数値解析法を用いて、防振壁の効果の主要因と考えられる、上述の壁形状と、回折波の遮断を行なう壁設置深さについて比較検討することとした。数値解析法として有限要素法を用いたが、この、有限要素法の解析法は、Lysmer 等により開発されたプログラムを基礎とし、安井らによって下方境界から基盤内に逸散する波動の影響を考慮するための Viscovs・Boundary とコンクリート等のモデル化を容易にするための梁要素とを加えた 2次元のプログラムである。

| 材 料 | 伝ば速度 V : m/sec | 密 度 ρ : g/cm ³ |
|-----------|-------------------|-----------------------------------|
| 地盤(関東ローム) | 143 | 1.4 |
| 砂 (ゆるづめ) | 150 | 1.6 |
| 砂 (密づめ) | 180 | 1.8 |
| コンクリート | 2,250 | 2.4 |
| 硬質発泡ウレタン | 200 | 0.03 |
| 塩化ビニール | 220 | 0.08 |
| スチロール | 360 | 0.03 |

表一1 各種材料の定数

このプログラムは不規則領域を有限要素で分割してモデル化する領域を持ち、その両横方向の層領域に薄層要

素の領域としたもので、この結果、不規則領域から伝ばしてくる波動を遠方へ伝えることができるようになるものである。

3.1. 解析モデル

モデルとして技術研究所構内での地盤は、表層を 1 m 毎に、下層を 2 m 毎に、深さ 13 m まで要素分割し、この下層境界条件を固定とした。

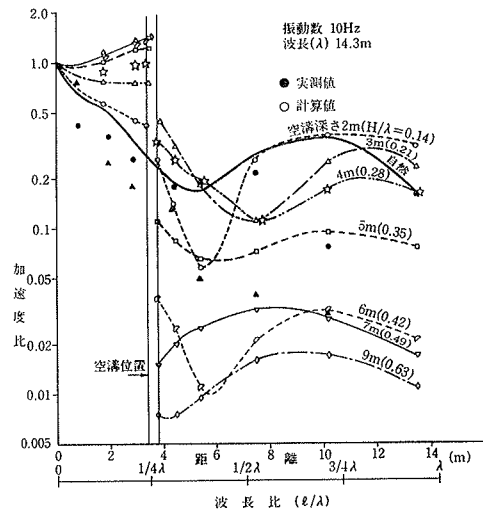
要素の諸定数は実測値を用いたが、実験結果の距離による加速度比の減衰曲線に近づける為、減衰定数を通常 の 2 倍程度にした。これは、解析プログラムが 2次元による要因にもよっている為である。

加振入力に関しては、正弦波動荷重が 1 ton で、その振動数が実験値との対応上、防振効果の悪い地盤の卓越振動数付近の 8 Hz から、10 Hz、15 Hz、20 Hz、25 Hz までであり、解析時間中、地表面の起振機位置に加えた。

3.2. 空溝深さとその効果

防振壁の重要な要素に設置深さと壁厚さがある。前者は壁下方からの回折を防ぐものである。この回折の影響を知る為、透過の無い空溝で検討した。

図一6は、実験と同じ起振点からの位置に空溝を設けた場合の加速度比の距離減衰曲線を示す。実線は自然状態で、前報(その2)の結果に対応する。ほぼ実測結果に近い曲線が得られており、上述した減衰定数を 8%として続行した。空溝深さ H と波長 λ の比を図中に示してあるが、しゃ断効果が深さ $H=5\text{m}$ の $H/\lambda=0.35$ になると確実に出る。また、この深さ以上と以下では空溝後方の曲線が異なって表れる。図一7の地中分布では、下層近くに振幅が大きくなる変化を示しており、その結果、上述の曲線の相違となって表れたものと考えられる。また、実測結果を図中に示したが解析結果よりしゃ断効果が大きく表れている。図一8は、解析結果より得られた相対加速度比と空溝深さ H/λ の関係を示す。相対加速



図一6 空溝のしゃ断効果 (距離減衰)

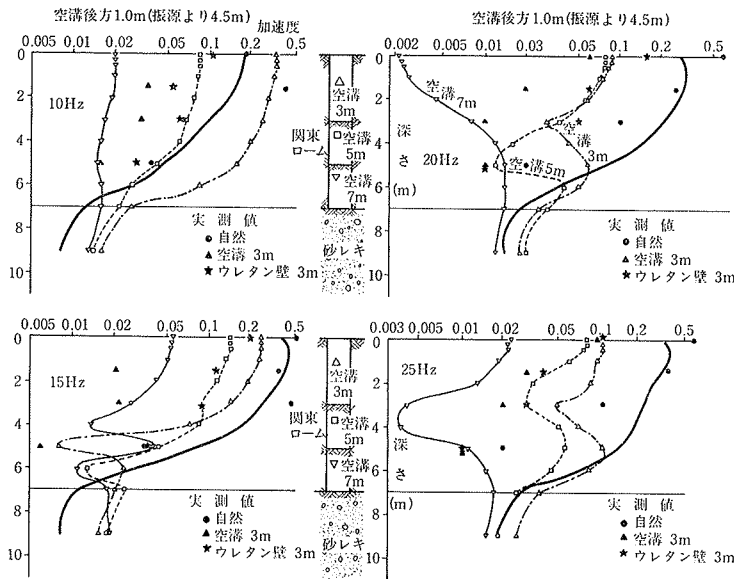


図-7 空溝の地中分布

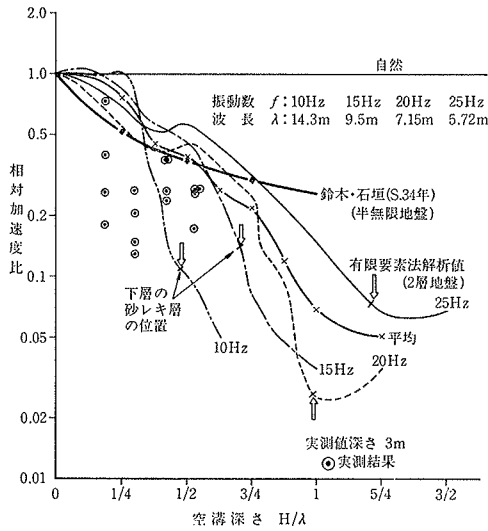


図-8 空溝のしゃ断効果 (空溝深さ: $\frac{H}{\lambda}$)

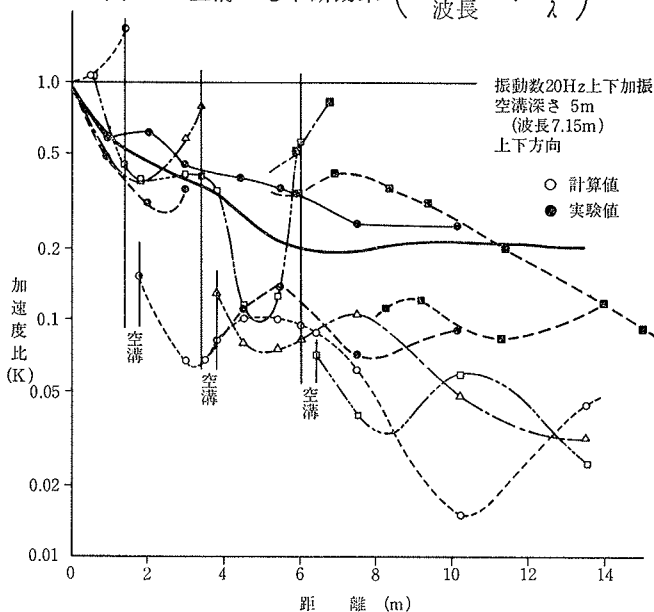


図-9 空溝位置としゃ断効果

度比とは自然状態の加速度比に対する各種状態の加速度比である。鈴木・石垣らの半無限地盤での室内試験結果の曲線と今回解析した曲線では空溝の非常に浅い場合や、下層地盤に近い場合のしゃ断効果に違いが見られる。また、実験結果は解析結果より効果があることが知られる。これは上述した下層境界近くに振動が集中するのをしゃ断するかしないかによるものと考えられ、その結果、実験の方が地中分布の相違からも振

動の集中の少ない為にしゃ断効果が良かったものと考えられる。このように、複層地盤になると、下層地盤まで空溝を設けるとしゃ断効果は大であることが判明した。

3.3. 空溝の設置位置と効果について

実験では、設置位置にかかわらず同程度のしゃ断効果があることが得られている。数値解析でこの効果を検討したのが図-9である。空溝後方の減衰曲線の変動が設置位置にかかわらず似ており、しゃ断効果が変わらない結果や、実験結果からも、防振効果には設置位置は重要でない。

3.4. 防振壁の形状と効果

実験と同じ防振壁の深さ 3m について形状変化による効果を図-10、で検討する。2章で述べたように、防振壁の形状で硬質発泡体の厚い、サンドイッチ状複合壁は効果があったが、数値解析では、No. 14 の 2 枚板の複合壁も同程度の効果が期待出来るようである。また、振動数が低いほど効果が悪いことが実験の結果より顕著になっている。

相違するのは、前述の空溝での原因と同様、地中の振動分布で集中度の相違により、回折波が作用したためと考えられる。空溝の効果に No. 11 の形状が近く、この振動数範囲では高い振動数ほど効果がある。しかし、計算の結果 10 Hz 以下では効果がなかった。これは図-7 の空溝からも予想される。よって、より深く防振壁を設置して低い振動数の効果は検討する必要がある。

そこで、3.2. 節の空溝によるしゃ断効果の結果より、下層まで深くすると著しい効果が得られている。このことより、防振壁を深くまで設置し、低い振動数まで効果が得られる現実に施工性のある防振壁の検討を行なった例

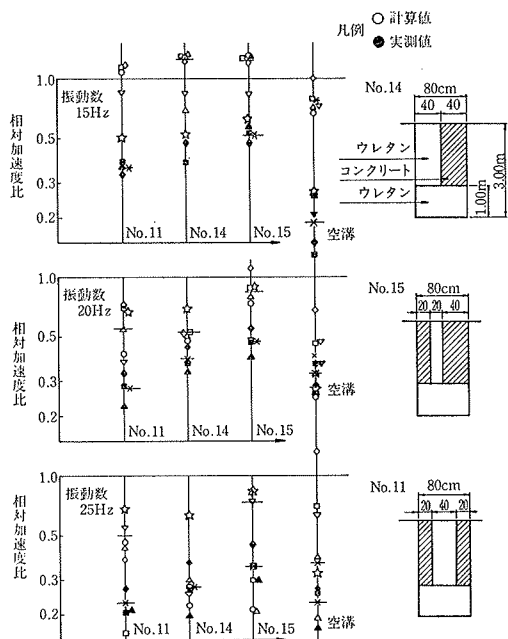


図-10 防振壁の形状と防振効果

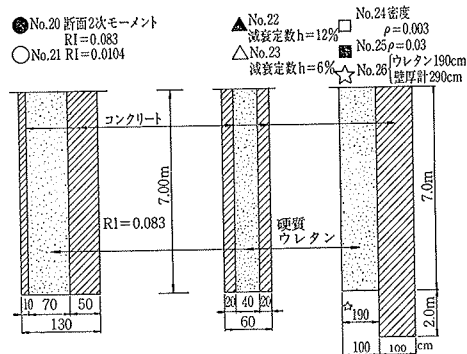


図-11 防振壁の形状

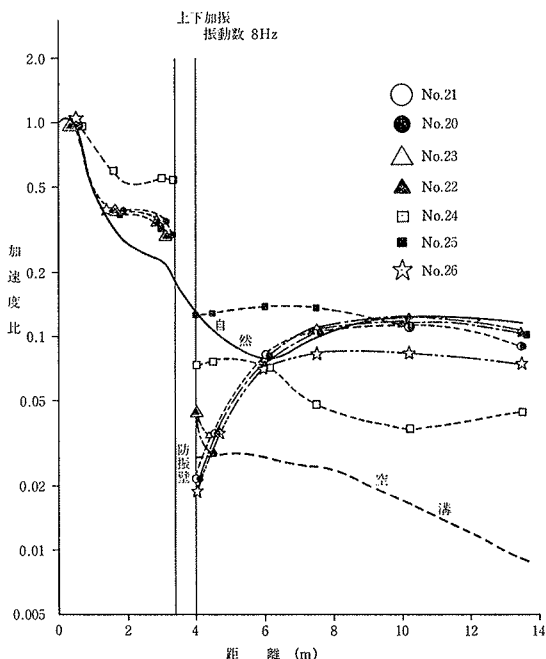


図-12 防振効果の比較（距離減衰）

を述べる。防振壁の形状は図-11であり、解析結果の例が図-12である。このように、ほぼ上下方向の卓越振動数に近づくと、防振壁の深さが深くなっても、防振効果が悪く、現状で得られていない硬質発泡体の密度 0.003 の場合や、施工性が困難と予想される防振壁の厚さが、硬質発泡体約 2 m、総厚さ約 3 m になるとわずかであるが効果を得ることが出来るようになる。

しかし、振動数 10 Hz では硬質発泡体 70 cm、総厚さ 130 cm の No. 20 の形状も効果が得られるが空溝のしゃ No. 20 の形状も効果が得られるが空溝のしゃ断効果から比べると、その 0.8 程度にしか低減しない。また、コンクリートの断面 2 次モーメントや減衰定数の変化によっても効果の差が無く、硬質発泡体の厚さに効果は起因する。振動数 8 Hz で図-5 の No. 6 と図-11 の No. 23 が同じ形状であるが、透過率 0.54 に対し、壁背面近くでは同等が少し離れることにより効果がほとんど無くなる。これは、地中内部からの反射などにより地表で振動が大きくなる為、壁後方の位置により自然状態と異なった減衰傾向を示し効果として変動するものと考えられる。

4. まとめ

実地盤と数値解析により防振壁の効果について幾つかの結果を得た。特に防振壁は透過計算法による図-5 を用いて選定した複合壁を用い、設置深さを図-8 を用いて決定することにより概略の設計が出来ることが判明した。しかし、壁より離れた位置では地中の振動伝ば性状より効果が低い振動数ほど悪くなることもあり、このような低い振動数では壁厚さをより厚く、壁深さをより深くする必要がある。図-12 で示されるように、8 Hz の振動に効果を得るには硬質発泡体の厚さ約 2 m、総厚さ約 3 m 程度になる。

最後に、この研究に使用した数値解析プログラムは安井謙、吉岡尚也職員等によって作成されたものであり、協力いただいたことを記して、深く感謝致します。

参考文献

- 1) 齋藤, 小出, 木村: 地盤振動と対策について, (その 2), 大林組技術研究所報, No. 9, (1974)
- 2) 齋藤, 菊地, 後藤: 防振壁材料の物理, 力学試験について, 大林組技術研究所報告書, (昭和51)
- 3) 白砂, 後藤, 小出: 某銀行本店地下ホール地下鉄振動防振対策, 大林組技術研究所報告書, (昭和51)
- 4) 鈴木, 石垣: 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, 地震, (1959. 6)
- 5) 中川, 渡辺, 角田, 安井, 若松, 蔭山: 弾性表層上の円形基礎の上下振動に関する動的ばねについて, 大林組技術研究所報, No. 17, (1978)