

地盤振動と対策について (その2)

齋藤二郎 小出忠男
木村 薫

Ground Vibrations and Countermeasures (Part 2)

Jiro Saito Tadao Koide
Kaoru Kimura

Abstract

There are the following methods as countermeasures for reducing ground vibrations due to factory machinery, vehicle traffic and construction work: attenuation of vibration, and interception or alleviation of vibration along the vibration propagation course. In attenuation of vibration, it is possible to consider a fixed vibration source, but in case of compounded vibrations of various kinds of machinery and work carried out on the ground itself, difficulties will be encountered. In a previous report, a study of counter-measures consisting of vibration reduction along the vibration propagation course was discussed. This report is on an example of a vibration damping wall in the ground using a blister urethane material as a permanent vibration reduction measure. Through outdoor experiments in the compounds of the Research Institute, and along with the results of tests using open trenches and auger boring, it was found that continuous underground vibration damping walls and contiguous pillar vibration damping walls were excellent on a permanent basis, and a guide to thinking on vibration damping walls was obtained.

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、振動源の消去、振動伝ばん経路での振動しゃ断あるいは軽減方法がある。振動源の消去は固定された振動源に対して検討を加えるが、各種機械振動の合成、地盤自体に手を加える工事の場合には困難なことになる。本所報No. 8で振動伝ばん経路での振動軽減法による対策の検討をのべたが、本報告では恒久的な振動しゃ断対策として防振材料を埋設した地中防振壁の例を報告する。研究所内の野外での実験で、地中連結防振壁、柱列状防振壁の場合について、空溝やオーガ掘りの結果を合わせて検討した結果、地盤に対し恒久的に優れていることが判明した。また防振壁への指標が得られた。

1. まえがき

本報告は、現在までにコンクリート壁、仮設鋼矢板による野外実験例があるが有効な成果は得られていない。一方空溝についても、室内・外での実験がなされている。多くは室内模倣型実験で種々の振動での要因による効果、地盤の固有周期との関連など十分でない点が多く、定性的な結果にとどまっている。また理論的な検討については、壁材料を透過する場合の透過率の算定式や、空溝を設置した場合のしゃ断効果についてエネルギー保存の法則、波動方程式を基に導いた事例がある。そこで前報で振動対策としての振動伝ばん経路の振動しゃ断、あるいは軽減工法としての一方法で

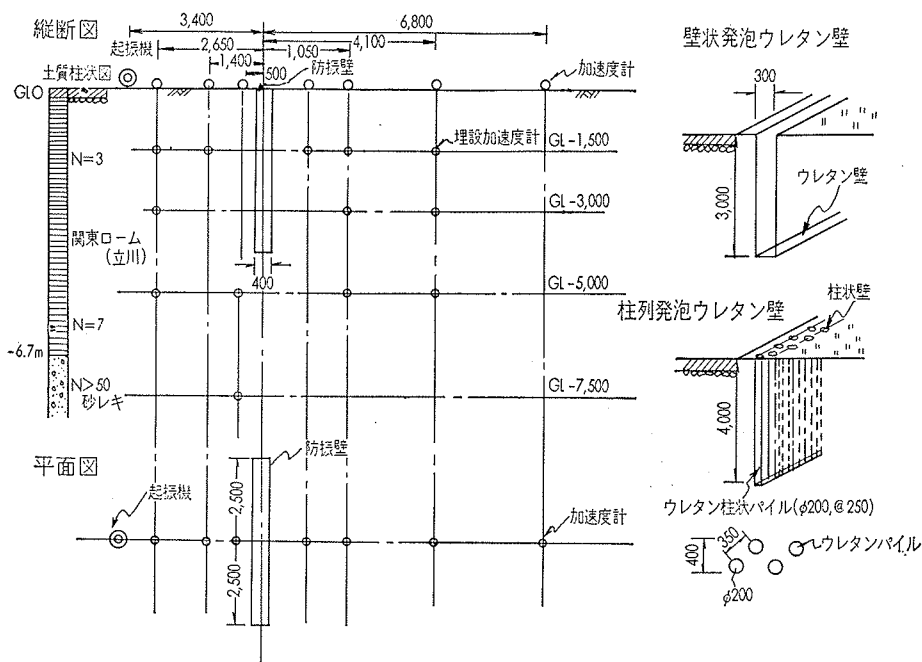
ある地中防振壁による対策をのべたが、この防振材料を用いて研究所野外での実験を実施し、硬質発泡体材料での効果とともに、地中防振壁工法の確立を得るべく若干の実験を行なった。

2. 地中防振壁による振動しゃ断工法

2.1. 測定の概要

測定は西村氏の振幅制御法として、前報(1)式の適用性、材料形状の有効性、種々問題点の確認等検出のため野外実験を実施することにある。

a 地盤状況；前報にもしめしたが、地盤はG. L-6.7m まで関東ロームで、それ以下は砂レキ層になっている。地盤の伝ばん速度は表層でS波が143m/sec、



図一 大林組技術研究所内の実験概要

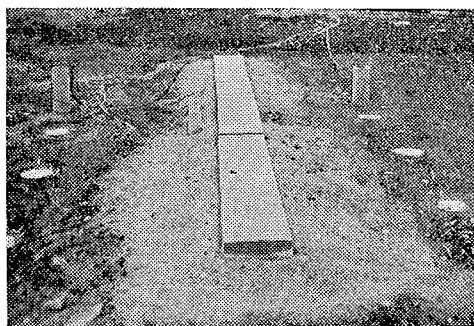
実験道路 (アスファルト舗装) の左右路側に位置する。この基礎に垂錘偏心型 (偏心荷重 5.32kg) の起振機を固定, 定常波を発生させ測定した。

c 防振壁の施工 ; 柱列状防振壁の掘削にはハンドオーガー (200φ mm) により G. L-4.0m の深さの穴を壁厚 40cm, 前後の穴中心間隔 35cm に長さ 5 m の範囲に 21本掘削し, この掘削状態での測定後, 硬質発泡ウレタンを写真一2の原液を表一2の手発泡法により, 穴に注入, 発泡固結させ柱列状防振壁とした。地中連続壁の施工にはバックホウでバケット幅40cmにより掘削幅50cm, 深さ3.0m, 長さ5.0mの空溝を掘削, 測定後表一2の機械発泡による硬質

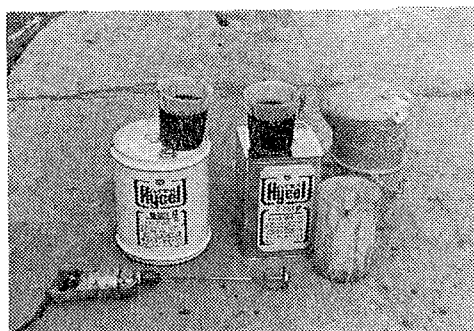
P波が380m/secであり, 共振振動数は上下方向で 15 Hz, 水平方向では 8, 17Hz 前後にある。仮に共振振動数を 1/4 波長 ($f = \frac{V}{4H}$) とすると, S波で, 5.3Hz, 3/4 波長では 16Hz になる。P波ではそれぞれが 14Hz, 43Hz になるが, 算定値に近く, 2次の共振振動数と思われる。

b 測定点の設置 ; 表土は 10cm 以下の薄い層があり, 地表での測定にさいしてはこの表土を取り外して直径 30cm の穴を掘り, その中に直径 22cm, 高さ 15 cm のコンクリートブロックの測定台 (写真一1中の円形物) を設置し, 表土の影響, 測定の繰返しを実施する場合の設置点条件の変化を極力防止した。測定点は図一1の断面図, 平面図のごとく地表 7点, 地中 15点とした。

測定計器は地表に動コイル型, 地中に埋設型動歪加速度計を表一1に示す仕様の計器を加速度波形で測定記録した。起振点は, 1 m角, 厚さ 30cm で地中 15 cm 埋込んだコンクリート基礎を地中防振壁より前方 3.4m, 7.8mの2カ所に設置した。この起振機基礎は



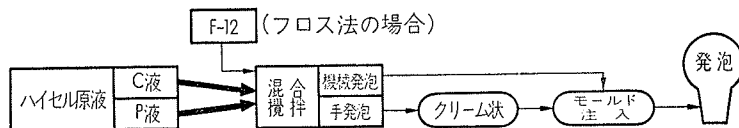
写真一1 地中連続ウレタン壁



写真一2 硬質ウレタン材料

品名	型式	仕様	備考
起振器	V-15	周波数帯域0~30Hz 最大起振力740kg	早坂機械
地表型加速度計	MFB型	周波数特性0.3~30Hz	東京測振
増巾器	"	最大測定加速度 300gal	"
埋設型加速度計	歪タイプ	加速度2G, 周波数特性0~33Hz	共和電業
増巾器	D.P.M-6E	応答周波数 0~1000Hz	"
記録器	F-102型	電磁オシログラフ ガルバー固有周波数 300Hz	三栄測器

表一1 測定計器



表一2 硬質発泡ウレタンの発泡法

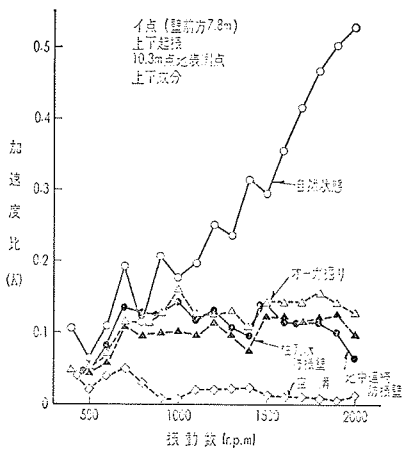


図-2 上下振動の共振曲線

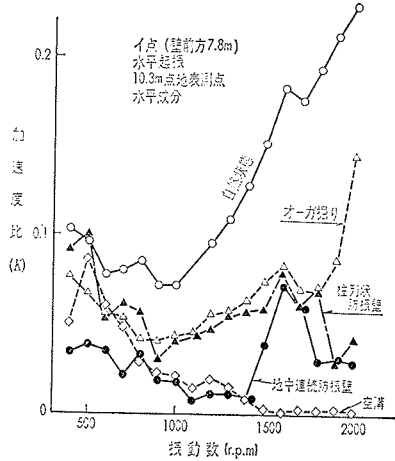


図-3 水平振動の共振曲線

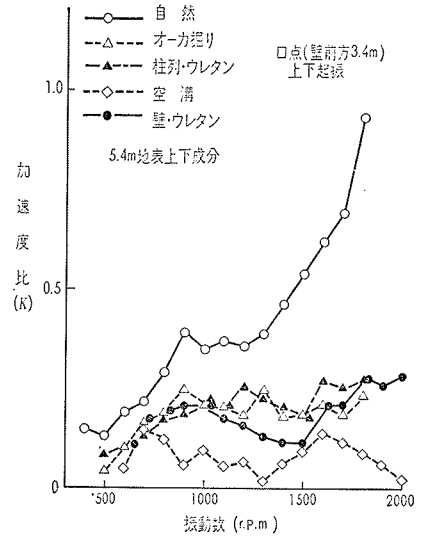


図-4 起振点が異なる上下振動の共振曲線

発泡ウレタン板のブロック（幅40cm×長さ1.80m×横90cm）を積み重ね、板周囲の空ゲキを湿潤な細粒川砂により埋めもどし地中連続壁（写真-1）とした。防振壁材料は前報の材料表にしめした材料1（密度0.03g/cm³）を柱列状防振壁に、材料2（密度0.07g/cm³）を地中連続防振壁に使用した。壁断面は図-1の右側にしめす。

2.2. 測定結果と検討

a 振動方向； 防振壁に入射される波動の方向により、壁のしゃ断効果が異なることがコンクリート壁などで指摘されている。図-2に起振機上下振動させた場合の地盤の上下方向の振動を、図-3に起振機水平振動させた場合の地盤の水平方向の振動を起振機基礎に対する起振点より10.3m（壁後方2.5m）測定点の加速度比（K）を縦軸に、振動数（r.p.m）を横軸に共振曲線をしめした。自然状態では振動数が高くなるほど（起振機の起振力も大きくなっている。）加速度比が大きくなるのに対し、空溝、防振壁は変化が上下方向、水平方向とも少なく、加速度比は空溝が著しく小さいが、オーガ掘りと柱列状、地中連続防振壁については同等の低下をしめしている。

b 起振点位置； 起振点と防振壁の距離があるほど、伝はんする主要な波動は表面波になる。図-4は距離の変化による波動、効果の変化を検討すべく図-2に対比した共振曲線である。起振点は壁前方3.4mの場合の測定点と同じ壁後方2.5m点である。起振点と防振壁の距離が大きくなると加速変化は全体に小さくなるが相対的な変化は見られなかった。ただ、低い振動数で自然状態の加速度比にやや近い値になっている。

c 起振方向と直角成分； 起振点よりある距離隔った位置では起振方向の直角成分も大きな振動になることが地表で特に見受けられる。図-5の（b）は上下起振させた場合の水平成分を図-2～4と同じ測定点で

の共振曲線である。上下成分と同等の加速度比をしめしている。この加速度比は起振点上下振動加速度に対する測定点の水平振動加速度の比である。この成分にも空溝、防振壁のしゃ断効果は同様にあった。

d 地中断面； 地中断面の加速度比（K）の分布は主要な波動が表面波であり、空溝の場合波長の1/2倍から1倍の深さが少なくとも必要とされている。

そこで防振壁によるしゃ断が地中でどのような分布と効果、自然状態に対しての変化があるのか検討を加える。図-5（a）は図-4と同じ起振点と防振壁の距離3.4m、測定点は壁後方2.5mの地中1.5mの上下起振による上下方向の共振曲線である。図のごとく、地表

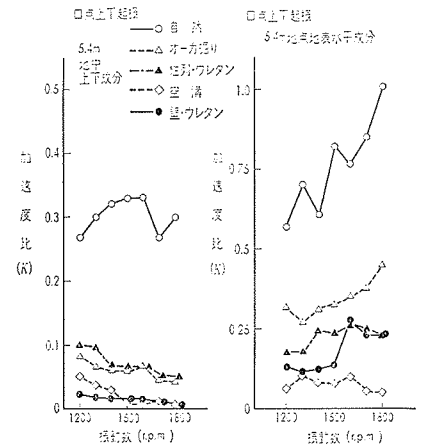


図-5 上下起振させた場合の地中1.5mの上下振動(a)と地表の水平振動(b)

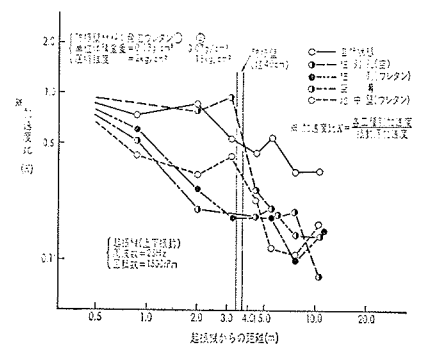


図-6 振動数25Hz、上下振動の距離減衰

に比べて著しく低く、しゃ断効果も地表より良い結果をしめしている。またオーガー掘りと柱列状防振壁の差は低い振動数になるほどあるが同等の加速度比をしめし、空溝と地中連続防振壁も同じである。図-7は同じ地点での深さ方向の加速度比分布を3つの振動数についてしめた。縦軸は深さHと波長に対する深さの比(H/λ)をとり、横軸に加速度比をとった。

地中1.5m附近でより大きなしゃ断効果があり、振動数の低いほど溝や防振壁の深さより下側では効果が見られる。こ

のように低い振動数ほど効果の変化が大きい。

● 距離減衰 ; 壁の前後での振動レベルをもってしゃ断効果を判定するのは、壁による波動の変化、定常振動に見られる脈動、基盤層からの反射などさまざまな要因から容易ではない。図-7に1例として25Hzの起振点と壁の距離3.4mの所で起振した場合の上下振動の距離減衰である。壁前方では空溝は溝側壁の波動エネルギーの開放や反射により大きく揺れているの

に対し、地中連続防振壁ではやや低い加速度比であるが似た現象を持つが自然状態より低く、目立たない。オーガー掘り、柱列状防振壁で壁前面においても加速度比は自然状態より低く、両

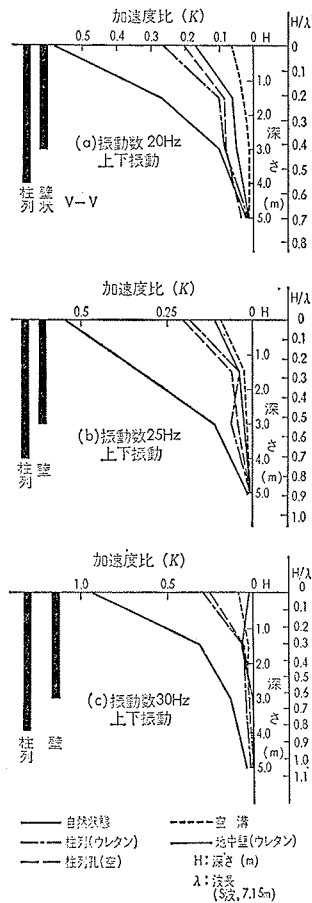


図-7 壁後方2.5mでの地中断面加速度比分布

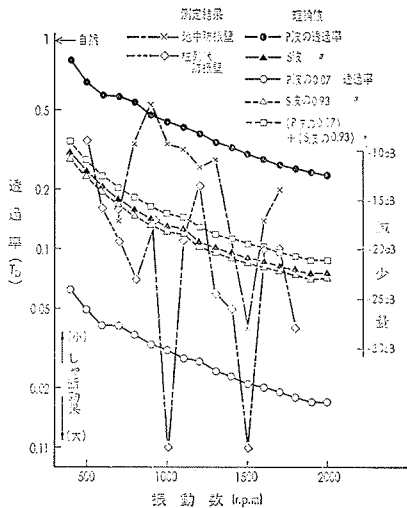


図-8 理論透過率

者の差は壁後方も大差がない。これは壁の反射率の大きい(逆に透過率の小さい)順になることが共振曲線からもうかがえる。

3. 考察

前報にしめた透過理論式(1)をもとに透過率を算定した結果を図-8にしめす。算定に用いた数値は地中連続防振壁の材料2より密度(ρ)=0.07g/cm³, 伝ばん速度(縦波 V_p)182.5m/sec(横波 V_s)=58m/sec 壁厚さ(H')=0.4mとし、地盤の密度(ρ)=1.2g/cm³ 伝ばん速度(縦波 V_p)=380m/sec(横波 V_s)=143m/secとした。また、測定結果から得られたそれぞれの加速度比をもとに透過に起因する加速度比を柱列状防振壁(K^2-K_1) 地中連続防振壁(K_4-K_3)について算出、この値を自然状態の加速度比 K_0 で割った値を図中にプロットした。この材料ではS波ではしゃ断効果が20Hz以上で20dB以上の値であるが、測定結果は柱列状地中防振壁ではS波のしゃ断効果と同等の低下量がある。しかし地中連続防振壁ではP波の効果に近い低下量にとどまっている。次に波長と、孔、壁状の深さ(λ_s/H)と相対加速度比(K_i/K_0)の関係を図-9にしめすが、オーガー掘り、柱列状防振壁では $K_i/K_0=A \cdot (\lambda_s/H)$ の式で表わすとそれぞれ $A=0.24, 0.25$ である。空溝では $A=0.065$, 地中連続防振壁では $A=0.17$ となった。以上のことから、壁のしゃ断効果は空溝での回折と透過率の加算だけでなく壁自体の形状、全体的剛性が重要である。また柱列状の場合空掘り時の効果が空溝のように無いため、その掘削間隔、深さを空溝と同等の効果を得るための関係を知る必要がある。

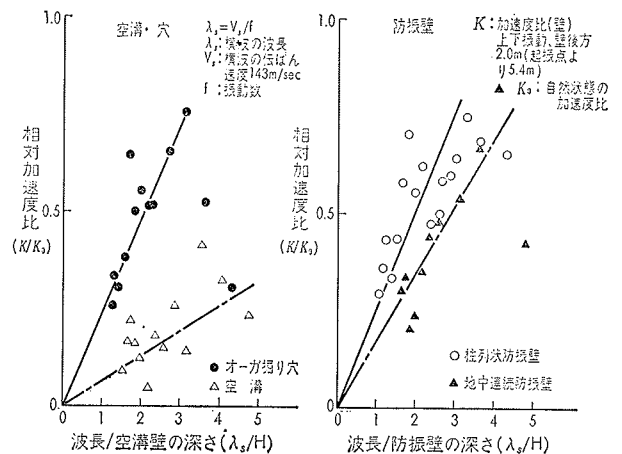


図-9 相対加速度(K_i/K_0)と波長深さ(λ_s/H)の関係