

## 建設工事振動の地盤振動対策とその振動低減効果に関する検討

小谷 朋央貴      綿谷 重規 \*1  
漆戸 幸雄

### 概 要

道路交通振動、鉄道振動、建設工事振動、工場振動などのいわゆる環境振動の振動低減方法としては、振動源側、伝搬経路(地盤)、受振側の3側面での対策が考えられる。本報では伝搬経路(地盤)における対策として考えられる3種類の工法(鋼矢板壁、ソイルセメント壁、空溝)の地盤振動低減効果に関する振動伝搬実験を行った。

今回の実験結果から鋼矢板壁により鉛直方向振動レベルで5dB程度、ソイルセメント壁で5~10dB程度の地盤振動低減効果が見られた。また、深さ2m程度の空溝でも、卓越周波数が比較的高い特性の加振源の場合、振動レベルで5~10dB程度の振動低減効果が見られた。更に2m掘削後に埋め戻しても、深さ1mの空溝と同程度の2~5dB程度の振動低減効果があることが判った。

### Assessment of ground vibration due to construction works and examination of mitigation techniques .

#### Abstract

So-called 'environmental vibrations' are caused by road traffic, railways, construction works and factory operations. Three main approaches have been tried to mitigate these vibrations – methods that reduce the vibration at source, methods that limit propagation and methods that insulate the receiver. In this report, experiments were undertaken to evaluate the effectiveness of three different techniques (sheet pile wall, soil cement wall and trench) to reduce propagation of ground vibration.

The experiments confirmed that the sheet pile reduced ground vibration by around 5dB in the vertical vibration level. The soil cement retaining wall gave a reduction of 5-10dB. In the method using trench with a depth of 2 m, a reduction of 5-10dB was obtained for a vibration source with relatively high excitement frequency. In addition, in the case where the 2m-deep trench was backfilled with loosely compacted soil for safety reasons, a reduction of 2-5 dB was obtained, which is the same reduction level for an unfilled trench with a depth of 1m.

キーワード: 工事振動 地盤振動 振動低減  
山留め壁 空溝 埋め戻し

\*1 建設本部 技術部

§1. はじめに

道路交通振動、鉄道振動、建設工事振動、工場振動などのいわゆる環境振動の振動低減方法としては、振動源側、伝搬経路(地盤)、受振側の 3 側面での対策が考えられる。振動源側の対策では、低振動型の重機や機器が開発されている。建設工事振動などの伝搬経路(地盤)における対策としては、空溝や地中壁などが実施されており、数多くの研究や実験結果が報告されている<sup>1)</sup>。受振側の対策としては、建物内に振動制御装置(TMD:動吸振器やAMD:アクティブマスダンパ)を取り付ける方法などが実施されている。

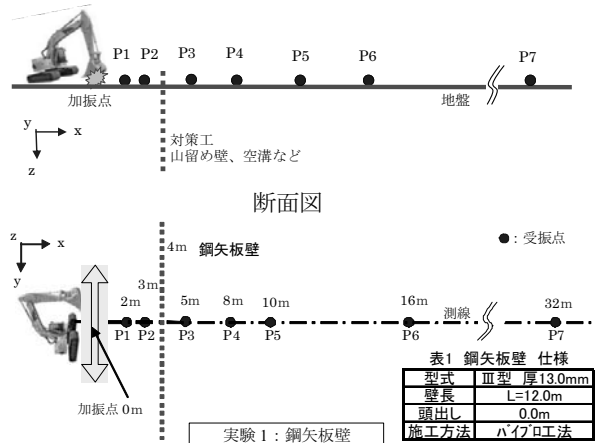
本報では伝搬経路(地盤)における対策として考えられる 3 種類の工法(実験 1:鋼矢板山留め壁、実験 2:ソイルセメント山留め壁、実験 3:空溝)の地盤振動低減効果に関する振動伝搬実験を行ったのでその結果について報告する。

§2. 実験概要

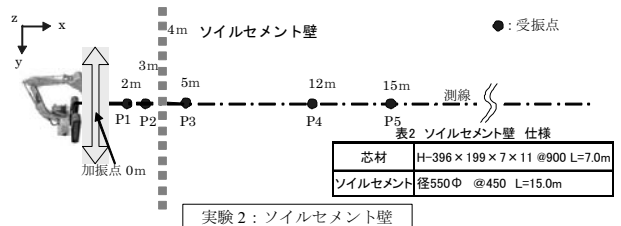
振動伝搬実験は、各対策工法の施工前・後の 2 回、同一の場所で行った。加振源はバックホウを使用し、地上高さ 0.3mからのバケット打撃加振と、バックホウを約 5km/hで往復走行させた走行加振の 2 種類とした<sup>2)</sup>。実験で使用したバックホウの運転質量は、実験 1, 3 では 13.4ton、実験 2では 12.0tonのものを使用し、バケット容量はいずれも 0.5m<sup>3</sup>である。測定点は、実験 1, 2 は山留め壁中心から 4m 点、実験 3 については空溝中心から 4.5m 点を加振点とし、対策工法と垂直に交わる測線上に受振点を設定した。測定は、各受振点の地表面にペグ状の金物(径 8φ、長さ 200mm)で固定したアルミ円盤(厚さ 15mm、直径 200mm)上に振動レベル計(RION VM-53A)のピックアップを設置し(写真 1,2)、全受振点の振動加速度(3 方向:鉛直z・水平x,y)を同時に多チャンネルデータレコーダー(SONY PC-216AX)に収録した。分析は実時間周波数分析器(小野測器 DS-2000)により 1/3 オクターブバンドごとの振動加速度レベルとした。分析の時定数は 630msec とし、打撃加振時は 10 秒間の最大値(Lmax)、走行加振時は 30 秒間のエネルギー平均値(Leq)とした。

2.1 鋼矢板山留め壁の振動実験(実験 1)

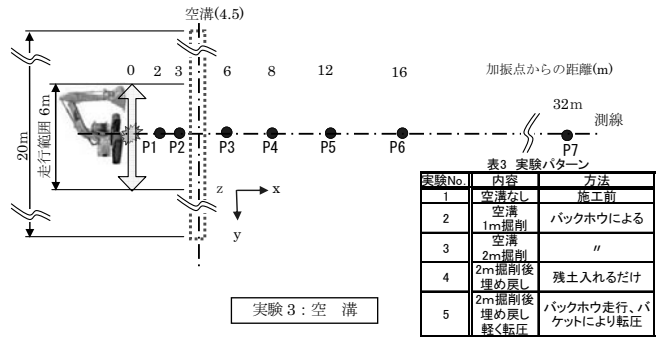
実験1の山留め壁の仕様は厚さ 13.0mm、壁長 12mの鋼矢板でパイロ工法にて施工している(表 1)。地盤振動実験の測定点を図 1 a)に、実験場所の土質柱状図を図 2 a)に示す。鋼矢板壁先端は N 値が小さい地層に留まっている。



a) 測定平面図(鋼矢板壁)



b) 測定平面図(ソイルセメント壁)



c) 測定平面図(空溝)

図 1 対策工位置及び測定点

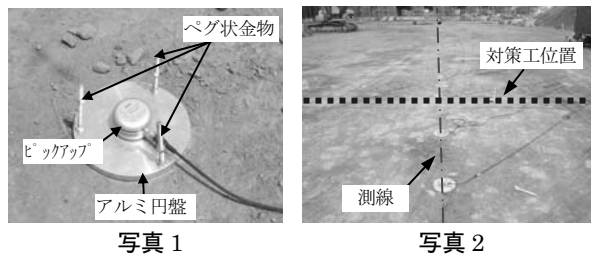
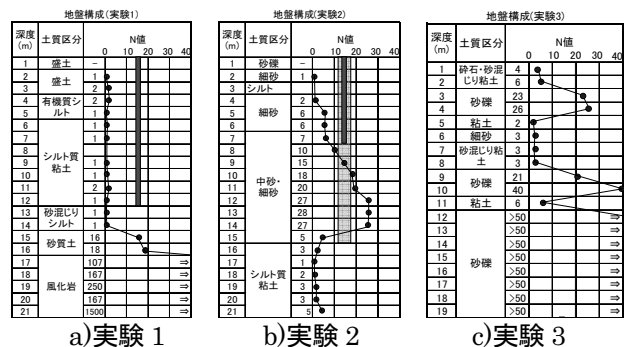


写真 1

写真 2



a) 実験 1

b) 実験 2

c) 実験 3

図 2 土質柱状図

### 2.2 ソイルセメント山留め壁の振動実験(実験2)

実験2の山留め壁の仕様は心材 H396×199×7×11、ピッチ 900mm、長さ 7mで、ソイルセメントは径 550φ、ピッチ 450mm、長さ 15mのソイルセメント壁である(表2)。地盤振動実験の測定点を図1b)に、実験場所の土質柱状図を図2b)に示す。ソイルセメント壁は、深度 10m~14mのN値が比較的大きい地層に根入れされている。

### 2.3 空溝の振動実験(実験3)

空溝の振動伝搬実験は、表3に示す実験パターンを行った。空溝は幅約 1m、長さ 20mで深さ 1m(以下空溝 1m)と、更に 1m掘削した 2m(以下空溝 2m)の2種類を施工した。埋め戻しは、深さ 2mの空溝に地表面まで残土を入れただけの状態(以下埋め戻し①)、更に埋め戻し部をバックホウ走行やバケットにより 1時間程度転圧した状態(以下埋め戻し②)を施工した。測定点を図1c)に、実験場所の土質柱状図を図2c)に示す。深度 3m~4mにN値が比較的大きい地層が見られる。

## §3. 実験結果

### 3.1 加振源の振動特性

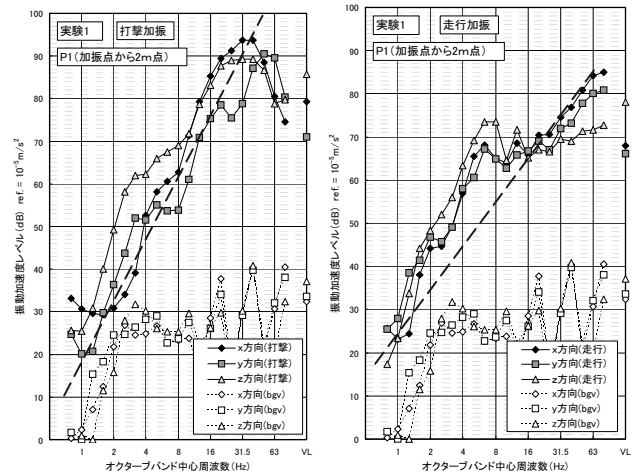
各実験の対策工施工前における加振源から 2m の受振点 P1 の振動加速度レベル周波数特性を図3に示す。

実験1、2における打撃加振に関しては、両実験共に同様の周波数特性を示しており、水平 x と鉛直 z 方向の振動は 16Hz~63Hz 帯域で卓越し、水平 y 方向の振動は 31.5Hz~63Hz 帯域が卓越している(図3 a),b)左図)。実験3の場合、水平 x、y 方向の振動は 63Hz 帯域で卓越しており、鉛直 z 方向の振動は 31.5Hz~63Hz 帯域が卓越している(図3 c)左図)。また、いずれの場合も卓越周波数よりも低周波数帯域では約 15dB/Oct.の勾配で減衰している。

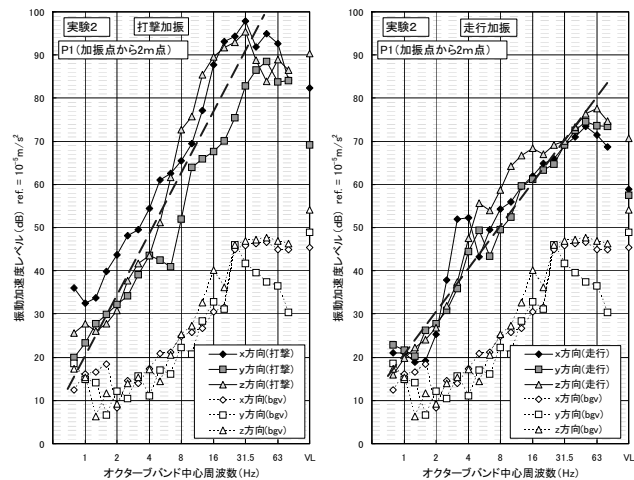
走行加振の場合、卓越周波数は打撃加振と同様であり、卓越周波数よりも低周波数帯域では打撃加振より緩い勾配で減衰している傾向が見られるものの、実験1では 6.3Hz 付近、実験2では 4Hz 付近、実験3では 6Hz~10Hz 付近において振動特性に異なる傾向が見られる。これは加振源に用いた機械の特性と地盤性状が影響していると思われる。なお振動源毎の3方向の振動レベル VL を比較すると、実験3の打撃加振の場合を除いて、全ての場合で鉛直 z 方向が最大となっている。

### 3.2 地盤振動伝搬特性

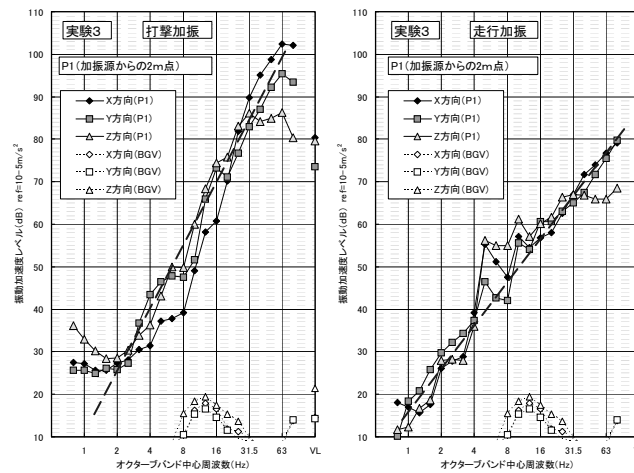
対策工施工前の鉛直 z 方向の同一周波数帯域の打撃加振と走行加振の振動伝搬特性を比較して図4に示す。



a) 実測結果(実験1:加振源から2m点)



b) 実測結果(実験2:加振源から2m点)



c) 実測結果(実験3:加振源から2m点)

図3 振動加速度レベル周波数特性

$$L = L_0 - 20n \log \frac{r}{r_0} - 8.7\lambda(r - r_0) \dots (1) \text{式}$$

- |                    |   |  |
|--------------------|---|--|
| $n$ : 幾何減衰係数       | 0.5: 表面波<br>0.75: 表面波+実体波<br>1.0: 実体波<br>2.0: 地表面の実体波 | $L$ : 加振源から $r$ (m) の振動レベル<br>$L_0$ : 加振源から $r_0$ (m) の振動レベル |
| $\lambda$ : 内部減衰係数 | 0.01~0.02: 粘土<br>0.02~0.03: シルト<br>0.01: 関東ローム        |  |

図中点線、破線は、受振点 P1 の実測値を基準にした場合の(1)式(Bornitz<sup>3)</sup>の経験式)による計算値である。

(1)式の幾何減衰係数  $n$  は、いずれの実験においても打撃加振の場合、1.0~1.2 程度、走行加振の場合は 0.4~0.6 程度で実測値(図4中●■)と良い対応を示している。このように今回の実験においては、周波数帯域が同じであっても振動源により振動伝搬特性に違いが見られた。

この理由としては、(1)式の幾何減衰係数  $n$  と実測値との対応関係から加振源の違いによる表面波と実体波の寄与率の違いや加振源の加振面積による振動減衰傾向の違いなどが考えられる。

そこで実験 1 の条件に合わせて、加振源の加振面積を変えた場合の(1)式を用いたシミュレーションを実施した。

シミュレーションの設定条件として、打撃加振の場合は点加振源をバケット幅に設定し、走行加振の場合は走行範囲のキャタピラ部分に点加振源を多点設定した(図5)。シミュレーションに使用した加振源データは、実験1における P1 の実測値を用い、幾何減衰係数  $n=1.2$  (打撃加振、走行加振共)、内部減衰係数  $\lambda=0.03$  とした。

多点入力を仮定した場合のシミュレーション結果を図6に示す。走行による加振を面加振源(点加振源を多点設定)と仮定してシミュレーションした結果の振動伝搬特性(図6中■)は、実測結果(図4)と同様に(1)式の幾何減衰係数  $n$  が打撃加振より小さい値で対応する傾向が見られ、加振面積の影響を受けていることが判る。

### 3.3 各対策工法による地盤振動低減効果

実験1、2 における山留め壁施工前後の振動伝搬特性

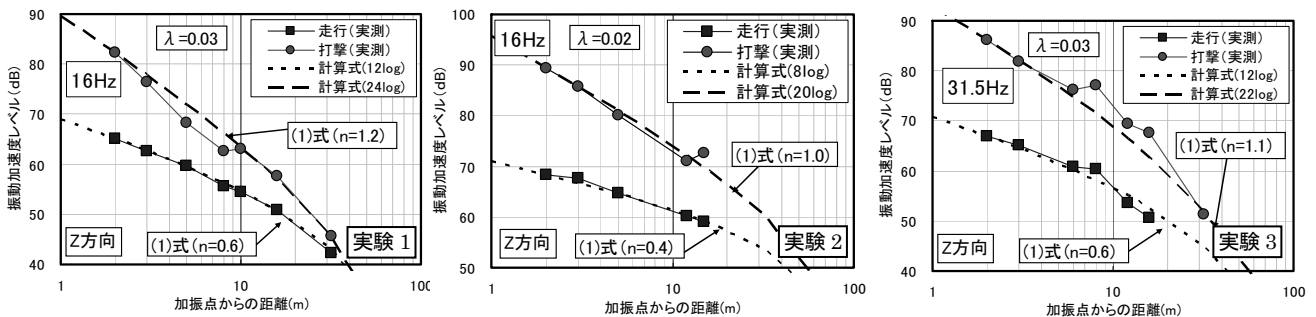


図4 振動伝搬特性(対策工施工前)

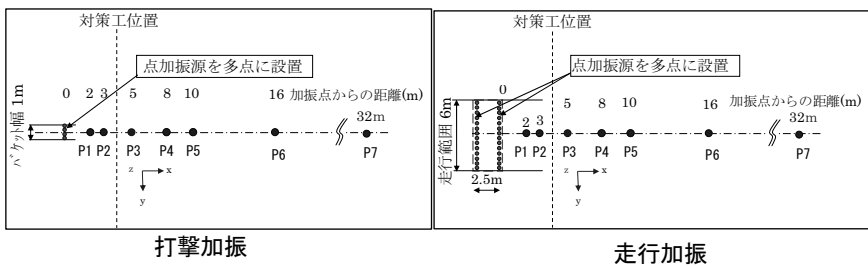


図5 加振源設定

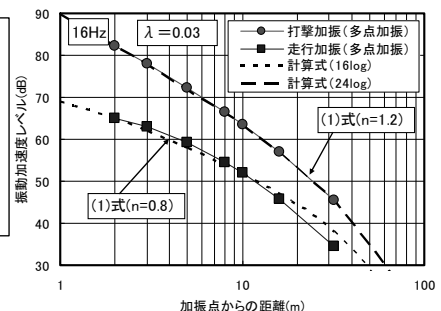


図6 シミュレーションによる振動伝搬比較

と振動低減効果を図7~図9に示す。施工前の受振点 P1 (加振点から 2m点)の振動加速度レベルを基準とした相対レベルで比較した。

実験 1 の打撃加振の場合、3 方向(xyz)共に振動は山留め壁前後で減衰が見られない。一方、走行加振の場合、y 方向では振動レベルで 2~4dB、z 方向で 5dB 程度の振動低減効果が得られているものの、x 方向の振動は山留め壁前後で減衰が見られない。走行加振鉛直(z)方向の振動低減効果を周波数別(図7右側図)に見ると、高周波数になるに従って、振動低減効果が大きくなっており、最大で 10dB 程度の振動低減量が見られる。

実験 2 の打撃加振の場合、x 方向では振動減衰が見られず、y 方向では振動レベル最大 9dB、z 方向で最大 7dB 程度の振動低減効果がみられる。

走行加振の場合、x方向では打撃加振同様に振動減衰は小さく、y方向では振動レベル最大 10dB程度、z方向では最大 13dB 程度の振動低減効果が見られる。鉛直(z)方向の振動低減効果を周波数別(図8,9右側図)に見ると、いずれの加振源においても 8Hzと 16Hz 帯域で 10dB 以上の大きな振動減衰が得られている。但し、加振源から 10m 以上では振動低減効果が小さくなっている。この理由としては、地盤構成と山留め壁設置の関係が考えられる。

実験 3 における空溝施工前後の地盤振動伝搬特性を図10、図11に示す。実験1,2同様に施工前の受振点 P1 の振動を基準とした相対レベルで比較した。

打撃加振の場合(図10)、3方向全てにおいて空溝 2m の振動低減効果が最も大きい。x、y方向は空溝 1mと埋め

戻し①、②の振動低減効果がほとんど見られない。z 方向は空溝 1m と埋め戻し①は同程度の振動低減効果が見られ、埋め戻し②は更に 1~2dB 程度低減効果が小さくなっている。

走行加振の場合(図 11)、打撃加振と同様に 3 方向全てにおいて空溝 2m の振動低減効果が大きく、空溝 1m と埋め戻し①、②は同様の振動レベルであり、空溝 2m の半分程度の振動低減効果にとどまっている。

空溝施工前後の P3(空溝端から 1m)と P5(空溝端から 7m)における z 方向の振動加速度レベル差(振動低減効果量)の周波数特性を図 12 に示す。

空溝 2m では 10Hz~20Hz 帯域で 5~10dB、25Hz~63Hz 帯域で 10~20dB 程度の大きな振動低減効果が見られる。一方、空溝 1m と埋め戻し①は同様な傾向で 31.5Hz~63Hz 帯域の周波数帯域において、5~10dB 程度の振動低減効果が見られるものの、20Hz 以下の低周波数帯域では振動低減効果は小さい。振動レベルでは空溝 2m で 5~10dB 程度、空溝 1m 及び埋め戻し①で 2

~5dB 程度の振動低減効果が見られる。

#### §4. まとめ

今回の実験結果から以下の知見が得られた。

- (1)加振源により地盤振動伝搬特性は異なり、その理由としては、表面波と実体波の寄与率の違い、加振面積による振動減衰傾向の違いが考えられる。
- (2)同じ対策工法であっても加振源により振動低減効果が異なる傾向が見られた。
- (3)鋼矢板壁による鉛直(z)方向振動低減効果は振動レベルで 5dB 程度である。
- (4)ソイルセメント壁による鉛直(z)方向の振動低減効果は 5~10dB 程度である。
- (5)深さ 2m 程度の空溝でも、卓越周波数が比較的高い特性の加振源の場合、振動レベルで 5~10dB 程度の振動低減効果が見られた。

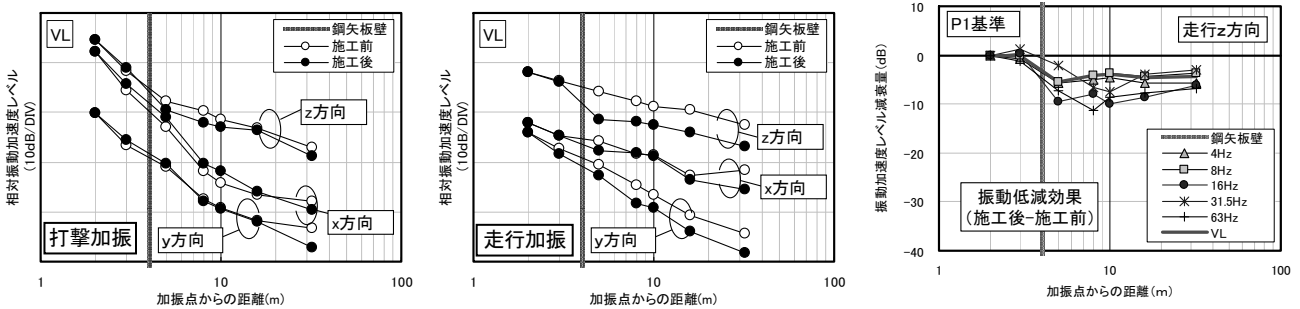


図 7 山留め壁施工前後の地盤振動伝搬特性及び振動低減効果(実験 1: 鋼矢板壁)

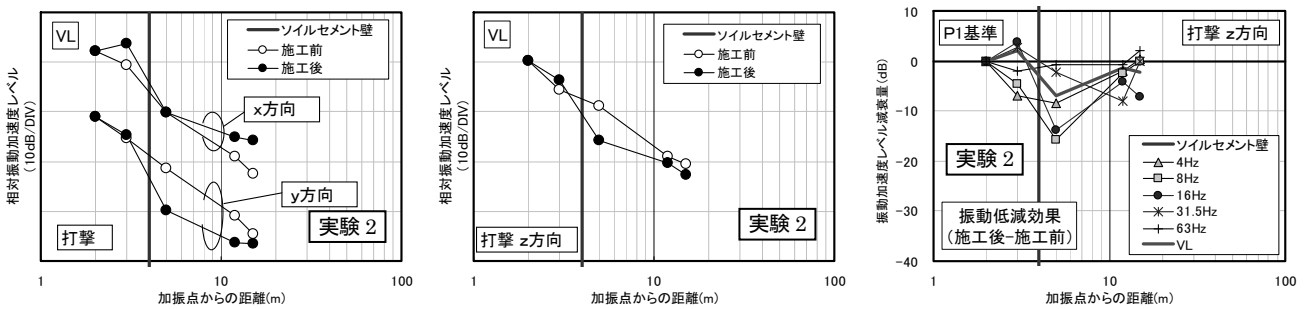


図 8 山留め壁施工前後の地盤振動伝搬特性及び振動低減効果(実験 2: ソイルセメント壁 バケット打撃)

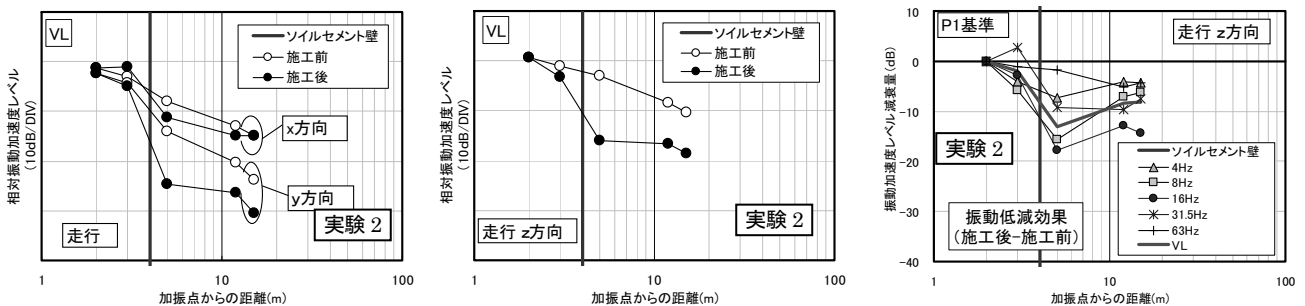


図 9 山留め壁施工前後の地盤振動伝搬特性及び振動低減効果(実験 2: ソイルセメント壁 バックホウ走行)

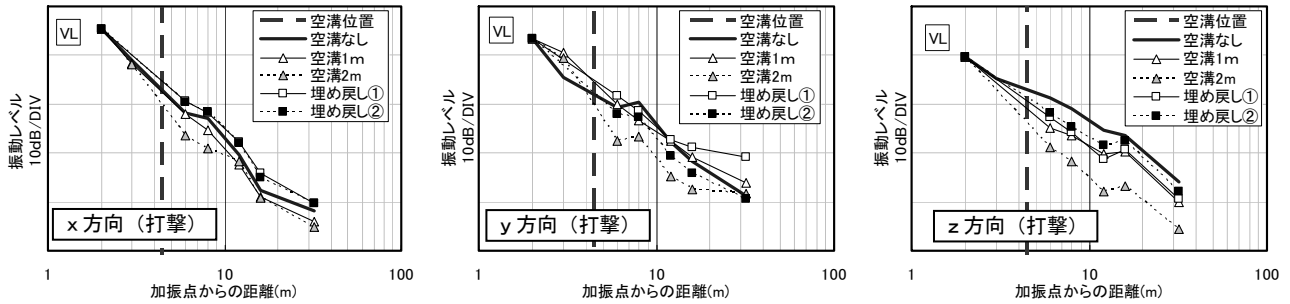


図10 地盤振動伝搬特性 (バケット打撃加振時振動レベル)

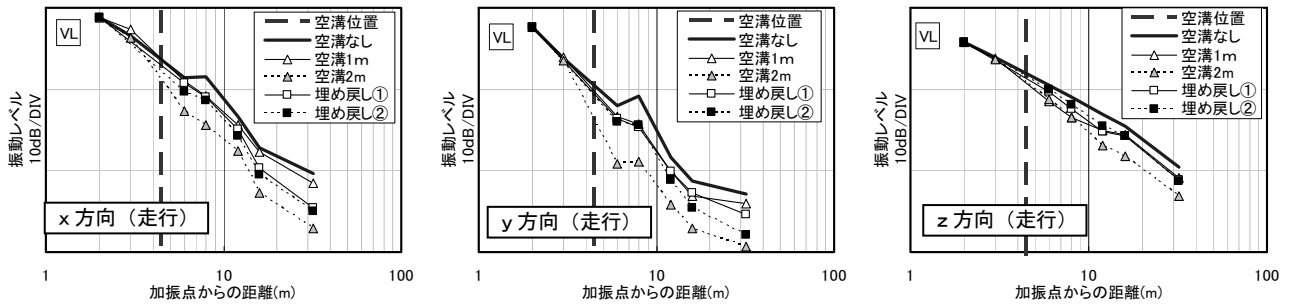


図11 地盤振動伝搬特性 (バックホウ走行加振時振動レベル)

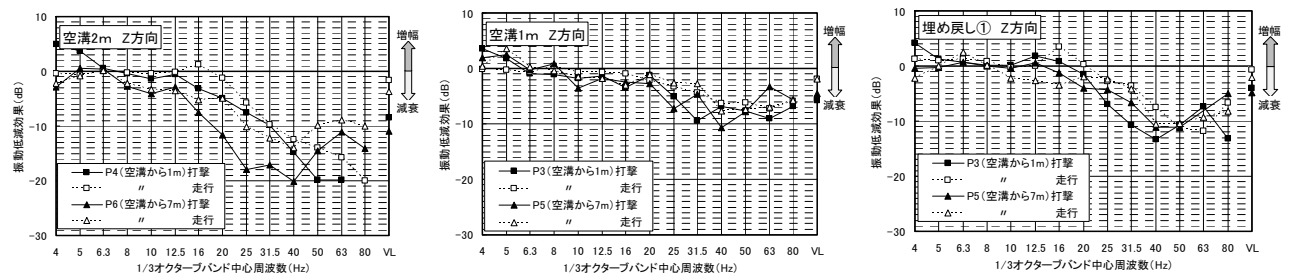


図12 振動低減効果量 (周波数特性)

(6)2m掘削後に埋め戻しても、深さ 1mの空溝と同程度の 2~5dBの振動低減効果があることが判り、埋め戻すことにより現場での開口部養生などは不要になると思われるが、時間経過等で締め固めが強くなると、振動低減効果は小さくなると考えられる。

今後、地盤構成の違うケースなど実験データを蓄積すると共に数値解析での検討を行っていく予定である。

参考文献

- 1) 例えば 長瀧、橋詰他: 地中壁による振動低減対策- その1、その2 第28回土質工学研究発表会概要集 1993
- 2) 藤嶋、森下、布引他: 現場振動実験による地中防振壁の振動低減効果 日本建築学会大会学術講演梗概集 2006.9
- 3) Bornitz, G.: Über die Ausbreitung dervon Grosskolbenmaschinen erzeugten Bodenschwingungen in die Tiefe, J. Springer (Berlin) 1931

- 4) 小谷、綿谷、漆戸: 山留め壁の地盤振動低減効果に関する振動伝搬実験 日本建築学会大会学術講演梗概集 2009.8
- 5) 早川 清: 地盤振動の伝搬過程における防止対策の背景と動向 日本音響学会誌 55 巻 6 号(1999)
- 6) 小谷、綿谷、漆戸: 空溝の地盤振動低減効果に関する振動伝搬実験 日本建築学会大会学術講演梗概集 2010.9

ひとこと



小谷 朋央貴

建設工事振動は、振動源側での対策に限界があり、振動伝搬経路において適切な対策が必要になる。今回、振動伝搬経路における一般的な対策工法による振動低減効果を現場実験により定量的に把握した。今後は更に検討を進めて画期的な振動低減工法を開発していきたい。