

現場振動実験による地中壁(SMW)の振動低減効果に関する調査

藤嶋 泰輔・吉田 隆治・森下 真行・小林 幹雄*¹・有泉 和美*¹

Experimental Investigation of Vibration Reduction using Soil Mixing Wall

Taisuke FUJISHIMA, Takaharu YOSHIDA, Tadayuki MORISHITA, Mikio KOBAYASHI, Kazumi ARIIZUMI



写真-1 ブルドーザー移動加振

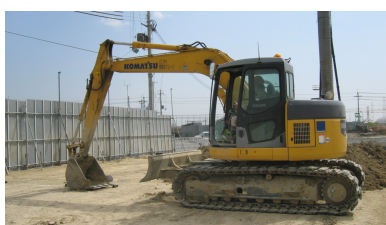
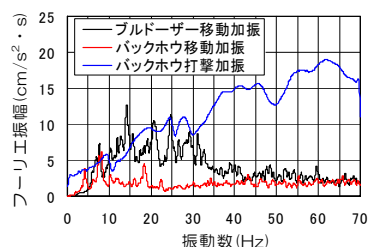
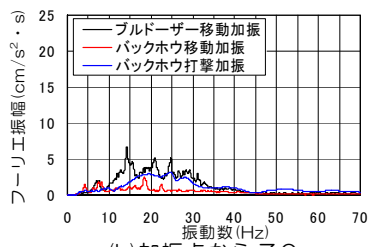


写真-2 バックホウ打撃加振

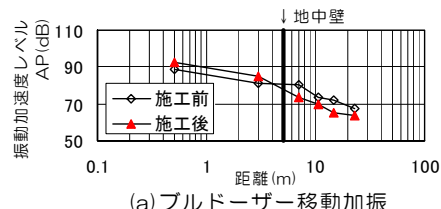


(a) 加振点から 0.5m

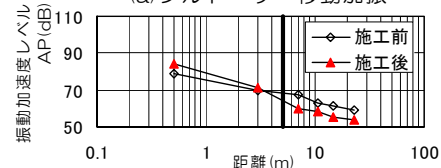


(b) 加振点から 7.0m

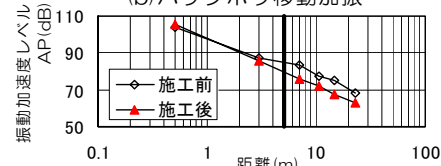
図-1 加速度のフーリエ振幅
スペクトル



(a) ブルドーザー移動加振



(b) バックホウ移動加振



(c) バックホウ打撃加振

図-2 振動加速度レベル AP

研究の目的

近年、環境問題に対する人々の意識が高まり、交通振動や工事振動により発生した地盤振動が周辺建物の居住性などに影響を与え、問題となる場合が多い。そのため、各所でその対策技術に関する研究が行われている。著者らも環境振動対策技術に関する研究を実施しており、環境振動の実測データの蓄積を行うとともに、現場実験等を通じて対策工法の振動低減効果の検証などを行ってきた。本文ではその一連の研究のうち、地中壁(SMW: Soil Mixing Wall)の振動低減効果を現場振動実験により確認した結果について報告する。

技術の説明

現場振動実験では「ブルドーザー移動加振」、「バックホウ移動加振」、「バックホウ打撃加振」の3つの加振源を用い、地中壁の振動低減効果を地中壁施工前後の振動を比較することにより評価した。具体的には、各加振源に対し地中壁施工位置を挟んで振動伝搬方向に計6点の応答加速度を測定し、距離減衰性状などの振動伝搬特性の違いを確認した。

主な結論

- 1) 連続的な振動である「ブルドーザー移動加振」(写真-1)、および「バックホウ移動加振」ではそれぞれ 5～33Hz、4～23Hz の振動が卓越する。衝撃的な振動である「バックホウ打撃加振」(写真-2)では加振点近傍(0.5m 地点)で 10Hz 以上、特に 35Hz 以上の高振動数成分が含まれているが、加振点から離れると(7.0m 地点)、30Hz 以上の高振動数成分は減衰する(図-1)。
- 2) 全振動数帯域での振動加速度レベル(オールパス: AP)を比較すると、地中壁(SMW)の施工により 5dB 程度の振動低減効果が確認できた(図-2)。
- 3) 振動数帯域での評価を行うことにより、いずれの加振源においても 16～31.5Hz で振動低減効果が大きいことが確認できた。地中壁は洪積層まで根入れされており、地中壁下方からの振動の回りこみの影響が小さかったと考えられる。

* 1 関西支店

現場振動実験による地中壁（SMW）の振動低減効果に関する調査

藤 嶋 泰 輔 吉 田 隆 治
 森 下 真 行 小 林 幹 雄*¹
 有 泉 和 美*¹

要 旨

近年，環境問題に対する人々の意識が高まり，交通振動や工事振動により発生した地盤振動が周辺建物の居住性などに影響を与え，問題となる場合が多い．そのため，各所でその対策技術に関する研究が行われている．著者らも環境振動対策技術に関する研究を実施しており，環境振動の実測データの蓄積を行うとともに，現場実験等を通じて対策工法の振動低減効果の検証を行ってきた．

本文ではその一連の研究の中の，地中壁（SMW：Soil Mixing Wall）の振動低減効果を現場振動実験により確認した結果について報告する．現場振動実験は3種類の加振源（「ブルドーザー移動加振」，「バックホウ移動加振」，「バックホウ打撃加振」）を用いて行い，地中壁施工前後の計測結果から，比較的硬い層まで施工された地中壁の振動低減効果を確認した．

キーワード 地盤振動／振動低減／地中壁

目 次

- | | |
|---------|---------|
| 1. はじめに | 4. まとめ |
| 2. 実験方法 | 5. おわりに |
| 3. 実験結果 | |

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF VIBRATION REDUCTION USING SOIL MIXING WALL

Taisuke FUJISHIMA Takaharu YOSHIDA
 Tadayuki MORISHITA Mikio KOBAYASHI
 Kazumi ARIIZUMI

Synopsis:

In late years, there are many problems as the influence of ground vibration to be caused by traffic vibration and construction vibration from a surge of inhabitant consciousness for an environmental problem. Therefore some studies about the countermeasures technology is done in everywhere. We also carried out some studies on environmental vibration countermeasures technology, and accumulation of environmental vibration data and inspection of a vibration reduction effect of countermeasures were carried out.

We report a vibration reduction effect of under ground wall(Soil Mixing Wall). We use three kinds of spot vibration experiments (bulldozer mobile source, backhoe mobile source, backhoe driving source). We confirm a vibration reduction effect of underground wall embedded to the comparatively firm stratum by comparing a measurement result before and after execution of underground wall.

* 1 関西支店

1. はじめに

近年、環境問題に対する人々の意識が高まり、交通振動や工事振動により発生した地盤振動が周辺建物の居住性などに影響を与え、問題となる場合が多い。これを受け、振動低減対策技術に関する様々な研究が各所¹⁾で行われており、筆者ら^{2)~11)}も実施してきた。

通常、環境振動問題が生じた場合、対象地点の地盤条件や加振源特性などの諸条件をもとに、最適な振動低減対策工を設計することが必要となる。その際、振動の3次元的な伝搬状況を知ることが重要となり、3次元数値解析手法はそれを知る有効な手段となる。しかし、振動評価に必要な地盤条件、加振源特性などの内、加振源特性についてはデータが少なく、適切な動的荷重を設定し難いのが実情である。

これらのことを踏まえ、著者らは環境振動の実測データの蓄積、現場振動実験による対策効果の確認、3次元地盤振動評価システムの構築を進めてきた。本文では、地盤の変形抑止を目的に計画された地中壁（SMW：Soil Mixing Wall）を利用し、加振源となる建設重機からの振動データの収集、地中壁の振動低減効果の確認、3次元地盤振動評価システムの検証データの収集を目的に行った現場振動実験の結果について述べる。

2. 実験方法

振動実験は建設重機を加振源として地中壁の施工前および施工後の2回行い、建設重機からの振動の特性を把握するとともに、施工前後の地盤振動伝搬特性の違いから環境振動対策工としての効果を検討する。

加振源には、道路交通振動のような連続的な振動と、杭打ち工事のような衝撃的な振動の2つがある。本研究では2つの加振源特性を把握できるように、連続的な振動は重機の前進後進による移動加振とし、衝撃的な振動は重機による打撃加振とした。すなわち、質量ならびに走行特性の異なる2種類の施工重機（ブルドーザー（機械質量 7.61ton）ならびにバックホウ（機械質量 12.95ton））を用い、一定速度での前進後進の繰り返し走行により連続的な振動となる加振を行い（「ブルドーザー移動加振」、「バックホウ移動加振」）、バックホウのバケットにより地盤面を打撃（落下高さ約 70cm）することにより衝撃的な振動となる加振を行った（「バックホウ打撃加振」）。写真-1 にブルドーザー移動加振状況を、写真-2 にバックホウ打撃加振状況を示す。

実験地盤は表層が軟弱沖積層であり、GL-16.1m 以深から洪積層が出現する。地中壁は、圧密促進工法による地盤改良に伴う地盤変形を抑止する目的に計画された SMW（壁長 19m、延長 75.5m、ソイル径 ϕ 550mm、芯材 H-350 $\times$ 175 $\times$ 7 $\times$ 11@900mm）で、洪積層に根入れされている。表-1 に実験地盤状況を示す。

振動計測点は、加振源の振動特性、振動の距離減衰特

性ならびに地中壁による振動低減効果が把握できる様、地中壁加振側に2点（加振点から 0.5m、3.0m）、地中壁背面側に4点（加振点から 7.0m、10.6m、14.6m、22.6 m）とした。測定は上下方向の応答速度を対象とした。図-1 に加振位置および計測点位置を示す。



写真-1 ブルドーザー移動加振状況

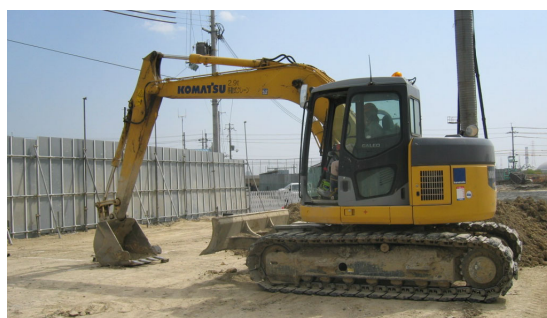


写真-2 バックホウ打撃加振状況

表-1 地盤状況

地層区分	地層名	深度 (m)	代表 N 値
沖積層	埋土	0~2.3	8
	粘性土	2.3~3.5	2
	砂質土	3.5~5.2	10
	粘性土	5.2~16.1	0
洪積層	砂~礫質土	16.1~19.8	20
	粘性土	19.8~31.0	6
	砂~礫質土	31.0~	57

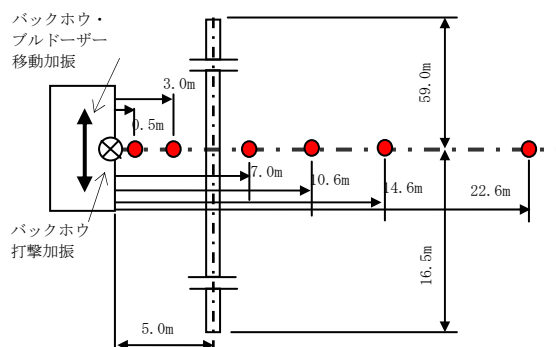


図-1 加振状況および計測点位置

3. 実験結果

全測定データのうち、「ブルドーザー移動加振」および「バックホウ移動加振」はそれぞれ3往復分、「バックホウ打撃加振」は3打撃分のデータを抜き出し、加速度波形に変換の後、地中壁施工前および施工後の振動特性について検討を加えた。

3.1 加速度波形

図-2 に加振源から 0.5m, 3.0m, 7.0m の位置における加速度波形を施工前および施工後と比較して「ブルドーザー移動加振」, 「バックホウ移動加振」, 「バックホウ打撃加振」のそれぞれについて示す。連続的な振動である「ブルドーザー移動加振」では地中壁施工前の加速度

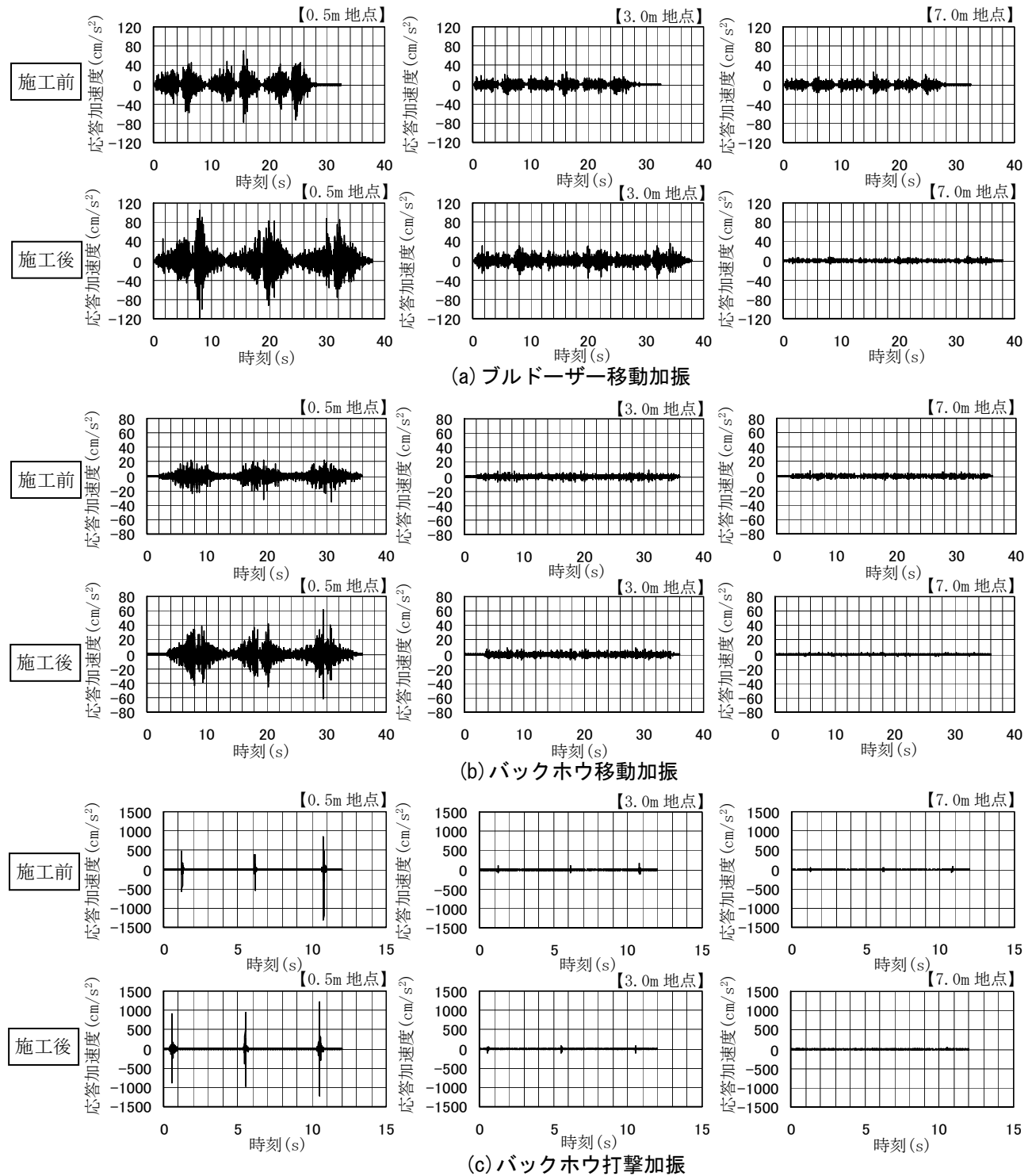


図-2 加速度波形

波形はどの測定点も類似の包絡形状を示しており、加振源から離れるほど加速度値が小さくなっている。一方地中壁施工後は地中壁施工前と同様に加速度波形はどの測定点も類似の包絡形状を示すが、地中壁前面の測定点では地中壁施工前に比較して加速度が大きく、地中壁背面の測定点では加速度が小さくなっていることが分かる。すなわち、地中壁によってブルドーザーからの振動がはね返され、地中壁前面で加速度が大きくなり、地中壁背面では逆に振動がはね返された分加速度が小さくなったと考えられる。

同じ連続的な振動である「バックホウ移動加振」は全体的に振動加速度が小さく、0.5m 地点で見られる加速度波形の包絡形状のくびれが 3.0m、7.0m 地点で明確ではないが、加速度の距離減衰特性、地中壁の振動低減効果については同じことが言える。

衝撃的な振動である「バックホウ打撃加振」も「ブルドーザー移動加振」の場合と同じことが言えるが、地中壁施工後の地中壁前面側で加速度が大きくなる傾向が見られない。しかし、地中壁施工後の地中壁前面の波形をよく見ると、施工前の加速度波形に比べ、衝撃的なピーク後に続く部分の振幅が大きくなっている。すなわち、地中壁で反射してきた波の重なりはあるが、衝撃的な波形であるが故にピークの重なりがなく、連続的な振動である「ブルドーザー移動加振」、「バックホウ移動加振」の様な地中壁前面での加速度の増幅が見られなかったと解釈できる。

3.2 加速度のフーリエ振幅スペクトル

図-3 に各測点（0.5m、3.0m、7.0m）での地中壁施工前後での応答加速度のフーリエ振幅スペクトルを示す。

連続的な振動である「ブルドーザー移動加振」では地中壁施工前のフーリエ振幅スペクトルは 5～33Hz の振動数成分が卓越しており、振動源から離れるにつれて全体的にスペクトル値が小さくなる。この卓越成分は連続的な加振であることから振動源の特性、すなわち、ブルドーザーの走行に伴う振動の特性と考えられる。

地中壁施工後のフーリエ振幅スペクトルは地中壁前面では施工前に比べ全体的に大きく、0.5m 地点では 35Hz 以上の高振動数成分の増加が顕著であり、3.0m 地点では 5～33Hz の振動数成分の増加が見られる。地中壁背面では 5～45Hz の振動数成分が低下している。すなわち、ブルドーザーの走行に伴う振動の卓越成分が低下している。

同じ連続的な振動である「バックホウ移動加振」では地中壁施工前のフーリエ振幅スペクトルは 4～23Hz の振動数成分が卓越し、振動源から離れるにつれて全体的にスペクトル値が小さくなる。地中壁施工後のフーリエ振幅スペクトルは地中壁前面では施工前に比べ全体的に大きく、0.5m 地点では 45Hz 以上の高振動数成分の増加が顕著であり、3.0m 地点では 7～25Hz の振動数成分の増加が見られる。地中壁背面では 4～45Hz の振動数成分が低下している。すなわち、バックホウの走行に伴う振動の卓越成分が低下している。

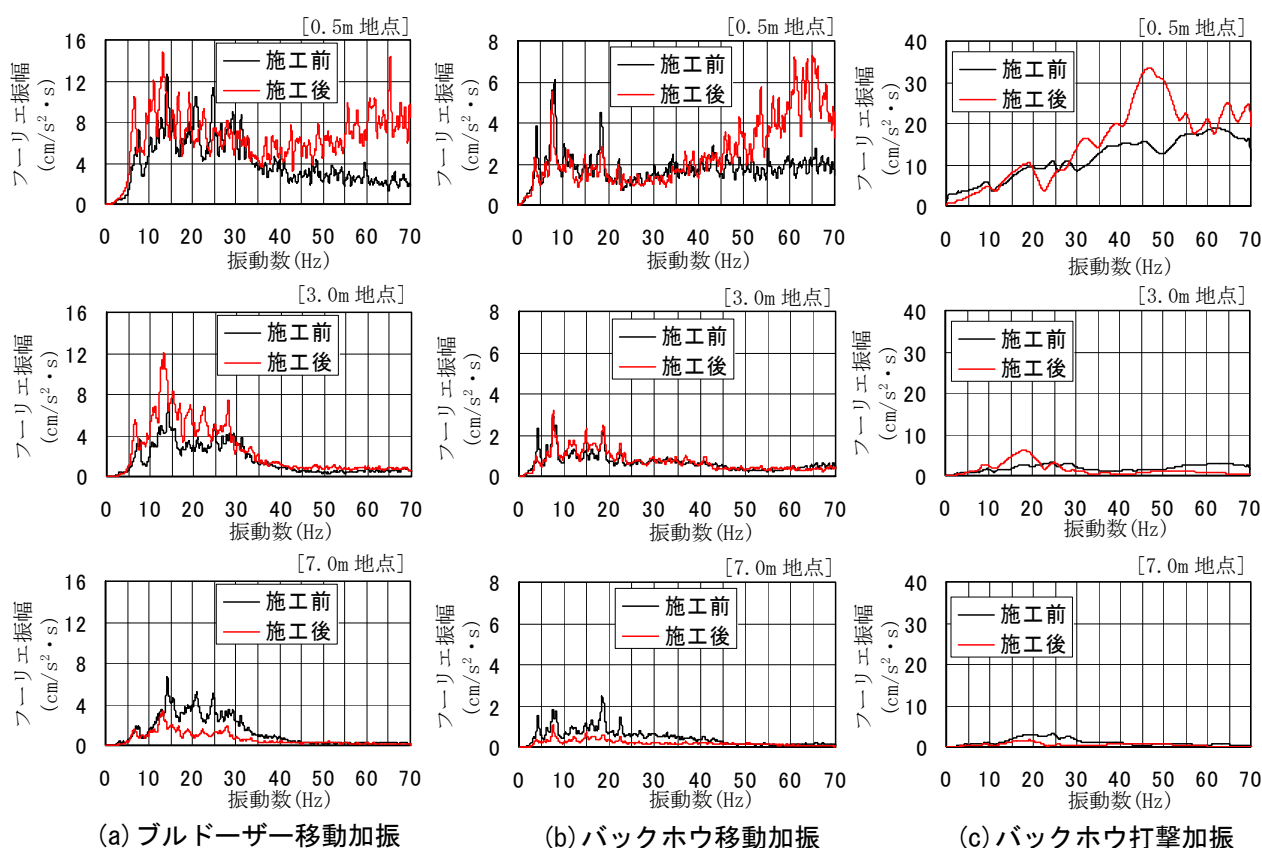


図-3 加速度のフーリエ振幅スペクトル

衝撃的な振動である「バックホウ打撃加振」では、地中壁施工前のフーリエ振幅スペクトルは振動源から 0.5m 地点で 30Hz 以上の高振動数成分が卓越しており、振動源から離れると 30Hz 以上の高振動数成分が急激に減少する。地中壁施工後のフーリエ振幅スペクトルは地中壁前面では施工前に比べ全体的に大きく、0.5m 地点では 35Hz 以上の高振動数成分の増加が顕著であり、3.0m 地点では 10～22Hz の振動数成分の増加が見られる。地中壁背面では 15～40Hz の振動数成分で低下している。

加振源の振動特性は異なるが、基本的な傾向は全て同じと言え、加振源から発せられる振動が地中壁によって低減できたことが確認された。

地中壁施工後の 0.5m 地点の 40Hz 以上の高振動数成分が卓越する現象等については今後数値解析によって確認する必要がある。

3.3 最大加速度

図-4 に各加振源における地中壁施工前後での最大加速度と加振源からの距離の関係を示す。

「ブルドーザー移動加振」では、地中壁施工後の最大加速度は地中壁前面で地中壁施工前に比べ 1.5 倍程度大きくなっているのに対し、地中壁背面では地中壁施工前に比べ最大加速度は低減され、その大きさは 1/2 程度となっ

ている。

「バックホウ移動加振」でも、「ブルドーザー移動加振」の場合とほぼ同様、地中壁の振動低減効果が確認できる。

衝撃的な振動である「バックホウ打撃加振」でも、同様の地中壁の振動低減効果が確認できるが、前項で示したとおり、地中壁前面での傾向が連続的な振動とは異なっている。

3.4 全振動数帯域での振動加速度レベル

図-5 に全振動数帯域 (0.2～70Hz) を含んだ振動加速度レベル (オールパス：AP) と加振源からの距離の関係を示す。

連続的な振動である「ブルドーザー移動加振」では振動加速度レベル (AP) と加振源からの距離との関係は前項の最大加速度の場合と同じ傾向を示し、振動加速度レベル (AP) による地中壁背面の振動低減効果量は約 5dB となる。

連続的な振動である「バックホウ移動加振」および衝撃的な振動である「バックホウ打撃加振」も同じことが言え、いずれの場合も地中壁背面の振動低減効果量は約 5dB となる。

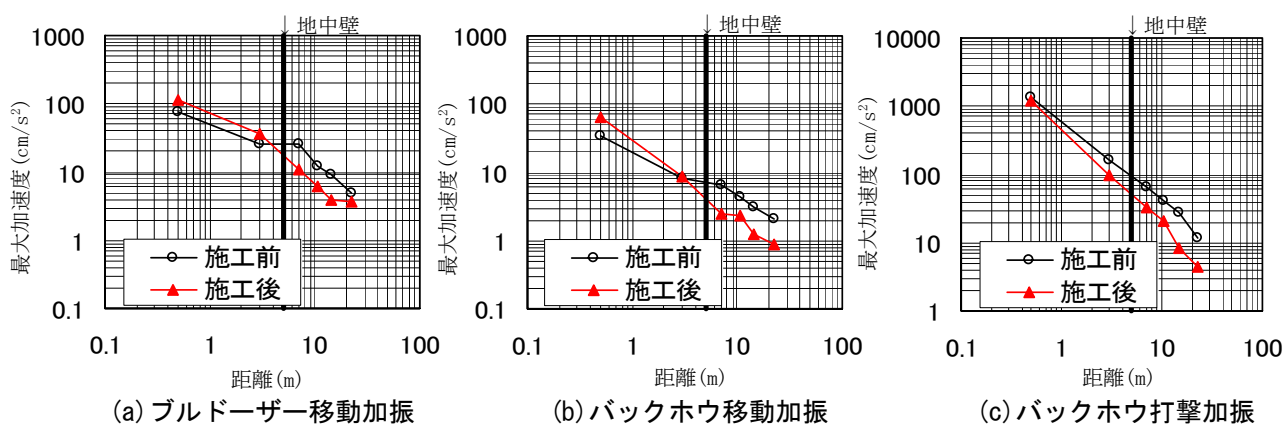


図-4 最大加速度

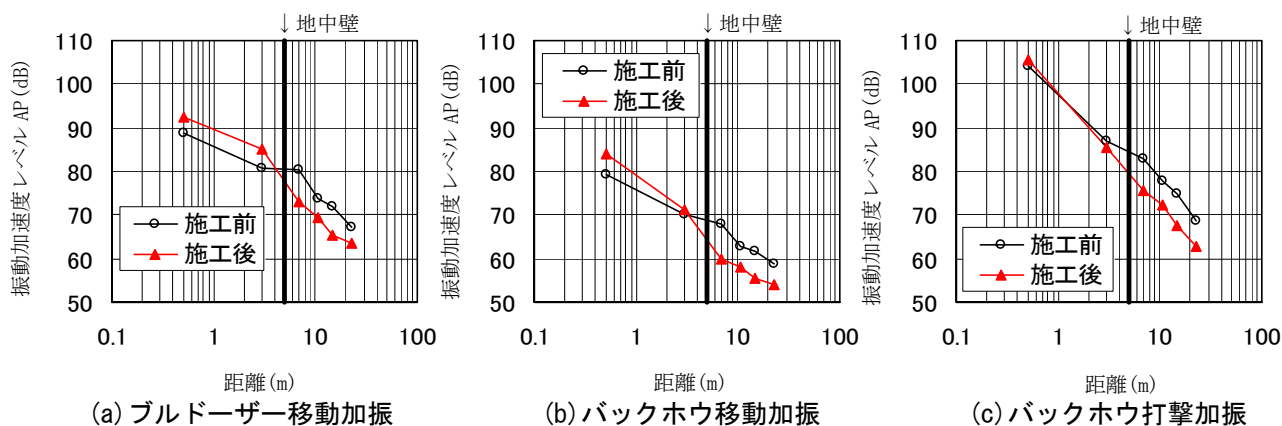
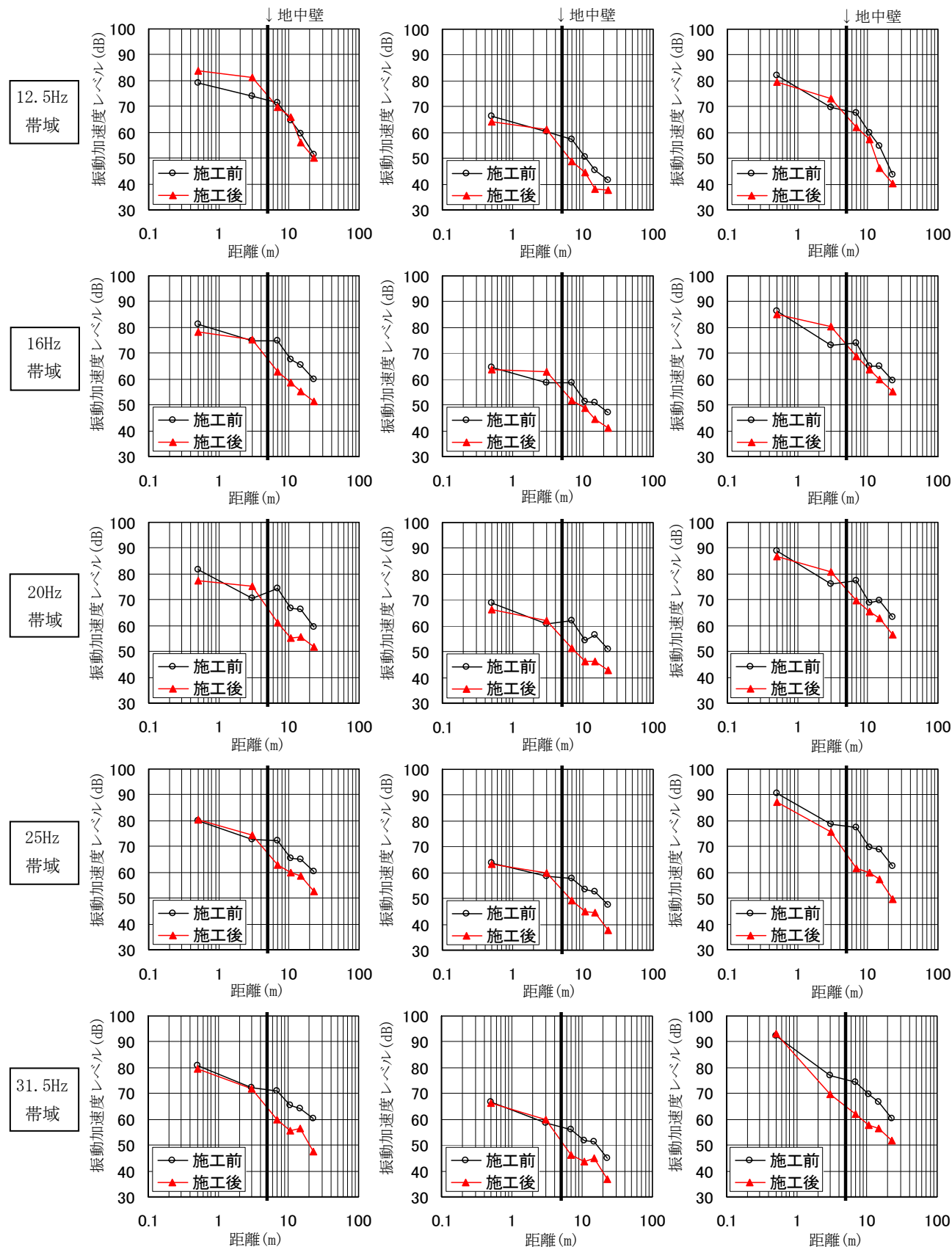


図-5 振動加速度レベルAP

3.5 振動数帯域ごとの振動加速度レベル

図-6 に 1/3 オクターブバンド中心振動数ごとの振動加速度レベルと加振源からの距離の関係を示す。振動数帯

域は、1/3 オクターブバンド中心振動数のうち、比較的応答の大きかった5帯域（12.5Hz、16Hz、20Hz、25Hz、31.5Hz）とした。



(a) ブルドーザー移動加振

(b) バックホウ移動加振

(c) バックホウ打撃加振

図-6 各振動数帯域における振動加速度レベルの距離減衰

「ブルドーザー移動加振」では、地中壁背面での振動加速度レベルの距離減衰性状は、いずれの振動数帯域においても地中壁施工前と地中壁施工後でほぼ等しい。12.5Hz 帯域では、地中壁施工前後における地中壁背面の振動加速度レベルはほぼ同等であり、振動低減効果があり見られない。これに対し 16Hz～31.5Hz の振動数帯域では、地中壁の施工前後で 5～10dB 程度の振動低減効果が得られた。12.5Hz 帯域で地中壁の振動低減効果が得られなかったのは、地盤振動の波長に対して深度方向の地中壁長さが十分ではなかった可能性が考えられる。今後数値解析等で確認する必要がある。

「バックホウ移動加振」でも、全体的な傾向は「ブルドーザー移動加振」と同様で、地中壁背面の振動加速度レベルの距離減衰性状は、地中壁の施工前後でほぼ等しい。地中壁の背面側では地中壁施工後は地中壁施工前に比べ、おおむね 5～10dB の振動加速度レベルの低減が確認できるが、低振動数帯域では振動低減効果量は小さかった。

衝撃的な振動である「バックホウ打撃加振」でも、連続的な振動である「ブルドーザー移動加振」および「バックホウ移動加振」と全体的な傾向はほぼ同様であった。地中壁背面の振動加速度レベルの距離減衰性状は、地中壁施工前後でほぼ同程度であり、地中壁の施工により地中壁背面側で 5～10dB 程度の振動加速度レベルの低減が確認できた。低振動数帯域では振動低減効果量が小さいことも同様である。

なお、本実験では地中壁は洪積層まで根入れされており、地中壁下方からの振動の回りこみの影響が小さかったと考えられる。

4. まとめ

地中壁を用いた現場振動実験から、以下の知見が得られた。

連続的な振動である「ブルドーザー移動加振」では、5～33Hz 程度の振動数成分が卓越し、「バックホウ移動加振」では、4～23Hz 程度の振動数成分が卓越することがわかった。衝撃的な振動である「バックホウ打撃加振」では、振動源近傍では 30Hz 以上の高振動数成分が卓越するものの、振動源から離れると 30Hz 以上の高振動数成分が急激に減少する。

本実験地盤では、全振動数帯域での振動加速度レベル（AP）で見ると、いずれの加振の場合でも地中壁の施工により 5dB 程度の振動低減効果が得られた。これを振動数帯域別に見ると、16Hz から 31.5Hz 帯域では 5～10dB 程度の振動低減効果が確認できる。地中壁は洪積層まで根入れされており、地中壁下方からの振動の回りこみの影響が小さかったと考えられる。

5. おわりに

本報告により、実験地盤での地中壁（SMW）の振動低減効果を確認することができた。今後は、地中壁の幅、施工深度などと振動低減効果の関係を数値解析により解明していく必要がある。

最後に、本研究は（株）銭高組との共同研究の中で実施したものである。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 例えば 池亀，羽矢，高瀬，藤井，伊藤：新しい振動低減材の低減効果確認実験その 1)2)，第 35 回地盤工学研究発表会，pp.163-166，2000 年 6 月。
- 2) 森下真行，斉藤芳人，水取和幸，布引英夫：柱列の地盤振動低減効果に関する研究 その 1 振動実験，第 40 回地盤工学研究発表会平成 17 年度発表講演集，pp.2081-2082，2005 年 7 月。
- 3) 島袋ホルヘ，庄司正弘，布引英夫，黒沢俊也，吉田隆治，藤嶋泰輔：柱列の地盤振動低減効果に関する研究 その 2 解析との比較，第 40 回地盤工学研究発表会平成 17 年度発表講演集，pp.2083-2084，2005 年 7 月。
- 4) 黒沢俊也，布引英夫，藤嶋泰輔，吉田隆治：振動低減対策工法に関するパラメータスタディ，第 40 回地盤工学研究発表会平成 17 年度発表講演集，pp.2701-2702，2005 年 7 月。
- 5) 藤嶋泰輔，森下真行，水取和幸，黒沢俊也：土のうの工事振動低減効果に関する基礎的研究，第 40 回地盤工学研究発表会平成 17 年度発表講演集，pp.2703-2704，2005 年 7 月。
- 6) 森下真行，吉田隆治，山下俊英，藤嶋泰輔，斉藤芳人：柱列工法による地盤振動の低減に関する研究，前田建設技術研究所報，Vol.46，pp.4-1-4-6，2005 年。
- 7) 藤嶋泰輔，吉田隆治，斉藤芳人，森下真行，布引英夫，黒沢俊也：土のうによる工事振動低減効果に関する基礎実験，日本建築学会学術講演梗概集，pp.247-248，2005 年 9 月。
- 8) 森下真行，吉田隆治，斉藤芳人，藤嶋泰輔，布引英夫，黒沢俊也，庄司正弘，島袋ホルヘ：柱列の地盤振動低減効果に関する研究 その 1 振動実験，日本建築学会学術講演梗概集，pp.249-250，2005 年 9 月。
- 9) 森下真行，吉田隆治，藤嶋泰輔，水取和幸，黒沢俊也，布引英夫：SMW による地盤振動低減効果に関する研究ー現場振動実験ー，第 41 回地盤工学研究発表会平成 18 年度発表講演集，2006 年 7 月（投稿中）。
- 10) 吉田隆治，小林幹雄，有泉和美，布引英夫，黒沢俊也：地中壁（SMW）の振動低減効果に関する現場振動実験，土木学会第 61 回年次学術講演会講演集，第

Ⅶ部門，2006 年 9 月（投稿中）。

- 11) 藤嶋泰輔，吉田隆治，森下真行，布引英夫，黒沢俊也：現場振動実験による地中防振壁の振動低減効果，

日本建築学会学術講演梗概集，2006 年 9 月（投稿中）。