

(様式14)

産学共同シーズイノベーション化事業 (顕在化ステージ)  
研究成果報告書

課題名：鉄鋼スラグや廃タイヤシュレットの再利用による環境振動対策工法 WIB の開発  
(平成19年度採択課題)

平成19年10月31日

所在地 岡山市津島中一丁目1番1号  
機関名 国立大学法人岡山大学  
機関代表者名 学長 千葉 喬 三

## 1. 産学共同シーズイノベーション化事業顕在化ステージ課題

- (1) 研究課題名：鉄鋼スラグや廃タイヤシュレッドの再利用による環境振動対策工法 WIB の開発
- (2) 実施期間：平成19年4月1日 ～ 平成19年10月31日
- (3) 実施場所：岡山大学大学院環境学研究科
- (4) 予算：1,710,000円

## 2. 実施概要

・当該年度の成果を記述すると、

- (1) プレキャスト WIB を軟弱地盤へ採用する際の施工性とその減振効果を検討した。
- (2) セル壁面内部にタイヤシュレッドを高減衰中詰め材として使用するが、タイヤシュレッドの集合を拘束するため、炭素素材ネット詰めとすることで、適度な剛性を付与すること、施工性を高めることができた。
- (3) 各種の WIB 形状の下で各加振源（ガイドハンマー鉛直加振、ガイドハンマー水平加振、ランマー加振、バックホー加振状態での地盤応答を無対策時と比較した。防振工としては、(1) トレンチ (2) スパンクリート版 (3) 波型単列パネル (4) 波型複列パネル (5) ハニカムセル (6) ハニカムセル+波型ハニカムセル WIB を対象とした。

## 3. 研究の実施内容

- (1) 有効な WIB 設計フローの確立と設計諸元の決定法
  - 1) 目的： 振動源特性の把握法と地盤内伝播波動の特定化法と防振工法の開発
  - 2) 方法： 対象系の力学モデルの構築により、理論的に振動発生メカニズムと伝播性状を把握することで、より正確な振動予測ができ、ターゲットとする振動遮断法の選択、その構造諸元を決定できる。WIB のセルのサイズ、中詰め高減衰材の物性値の最適化が必要で、このためにはコンピュータ・シミュレーションを実施した。
  - 3) 上記の各種防振工法の効果を評価するために、フィールド加振実験を実施し、地盤振動の比較を時刻歴応答からの最大値、rms 値からの距離減衰特性と、振動数領域のフーリエスペクトルを解析し、無体策時と比較しての減振効果の比較を行った。
  - 4) 成果：
    - a) 従来、振動低減のための遮断壁を曖昧に決定していたが、本研究開発では地盤条件に基づいて波動理論から決定し、それを設計の合理的かを図った。
    - b) タイヤシュレッド中詰めをネットパックにしたことにより、WIB セルの中詰め作業が合理化できた。各層の積み重ねでコンパクションをかけることが容易であった。

## 4. 外部発表等

(産学共同シーズイノベーション化事業の成果に限定)

- (1) 論文発表 (国内 1 件、海外 2 件)
  - 1) 竹宮宏和、プレキャストコンクリート WIB の減振効果のフィールド実験検証、土と基礎、地盤工学会 (発表予定)

- 2) Takemiya, H. Pre-cast Concrete WIB with tire shreds fill-in for a vibration mitigation measure, Scrap tire derived geomaterials, Ed. By H.Hazarika and K. Yasuhara, Taylor & Francis, 383-393.
- 3) Takemiya, H. and Fujitsuka, T., Pre-cast Concrete WIB with Tire shreds fill-in for a vibration mitigation measure, Environmental Vibrations, Taiwan, 2007.

(2) 口頭発表 (内容が重複しているものは除く. 国際学会発表を優先.)

① 招待、口頭講演 (国内 1 件、海外 1 件)

1) 竹宮宏和, Pre-C WIB with tire shreds fill-in for a vibration mitigation measure, Int. Symp. Environmental vibrations. Taiwan, 2007 .11.28-30.

② ポスター発表 (国内 0 件、海外 0 件)

③ プレス発表 なし

(3) 受賞等

“主な受賞や新聞報道、招待講演などについて、具体的に記入。”

① 受賞 なし

② 新聞報道：日本経済新聞

③ その他 なし

5. その他特記事項

6. 結び

平成 19 年度の研究内容は、平成 18 年度の研究開発を継続しており、軟弱地盤でも、より減振効果の上がる WIB の設計と工法の開発を目指したものであった。特に中詰めタイヤシュレッドの袋詰め法をとり、施工の効率化を目指した。

各加振源のガイドハンマー鉛直加振、ガイドハンマー水平加振、ランマー加振、バックホー加振状態での地盤応答を無対策時と比較した。防振工としては、(1) トレンチ (2) スパンクリート版 (3) 波型単列パネル (4) 波型複列パネル (5) ハニカムセル (6) ハニカムセル+波型ハニカムセル WIB を対象としたが、WIB 工の中で最も効果的な減振効果を発揮し、数 dB 以上の低減を示すことが証明された。

資料

1. フィールド実験サイト

図1にフィールド実験サイトを示す。実験サイトは、岡山市の南部の干拓地で、地質的には軟弱地盤である。



図-1 実験サイト位置

標高 m	深さ m	層厚 m	土質記号	土質名	色調	観察記号	備考	深さ m	10cm毎の 貫入抵抗 N/25.4mm	N 値				
										10	20	30	40	50
1.57	1.70	1.70		黄土	灰褐色		0.5m以下は粘・砂混り粘土。0.15~1.0m間は改良土。改良土は粘・砂混り粘土。	1.15	13	1	7	4		
4.37	3.30	1.00		粘・砂混りシルト	暗灰		粘性は中位。改良土である。0.15m以下は粘・砂混りシルトが主体に混入。	1.15	4	1	1	1		
4.37	3.70	0.40		砂混り粘土	暗灰		粘性は中位~高い。改良土である。所々で粘砂を少量含む。所々で粘砂を少量含む。	4.00	0	モンクン	0			
4.77	3.00	0.70		シルト質粘土	暗灰		粘性は中位。改良土である。所々で粘砂を少量含む。下部に粘り砂の混入が見られる。所々で粘砂を少量含む。	4.00	0	モンクン	0			
11.50	11.50	0.00		粘土	黒灰		粘性は中位。改良土である。所々で粘砂を少量含む。改良土は粘・砂混りシルトが主体に混入。改良土は粘・砂混りシルトが主体に混入。	11.00	0	モンクン	0			
13.45	13.45	0.00		粘土	暗青灰		粘性は中位~低い。改良土である。改良土は粘・砂混りシルトが主体に混入。改良土は粘・砂混りシルトが主体に混入。	13.00	0	モンクン	0			
14.45	14.45	0.00		粘土	暗青灰		粘性は中位~低い。改良土である。改良土は粘・砂混りシルトが主体に混入。改良土は粘・砂混りシルトが主体に混入。	14.00	0	モンクン	0			
16.45	16.45	0.00		粘土	暗青灰		粘性は中位。改良土である。改良土は粘・砂混りシルトが主体に混入。改良土は粘・砂混りシルトが主体に混入。	16.00	0	モンクン	0			
17.45	17.45	0.00		粘土	暗青灰		粘性は中位。改良土である。改良土は粘・砂混りシルトが主体に混入。改良土は粘・砂混りシルトが主体に混入。	17.00	0	モンクン	0			
18.45	18.45	0.00		粘土	暗青灰		粘性は中位。改良土である。改良土は粘・砂混りシルトが主体に混入。改良土は粘・砂混りシルトが主体に混入。	18.00	0	モンクン	0			
19.45	19.45	0.00		粘土	暗青灰		粘性は中位。改良土である。改良土は粘・砂混りシルトが主体に混入。改良土は粘・砂混りシルトが主体に混入。	19.00	0	モンクン	0			
20.45	20.45	0.00		粘土	暗青灰		粘性は中位。改良土である。改良土は粘・砂混りシルトが主体に混入。改良土は粘・砂混りシルトが主体に混入。	20.00	0	モンクン	0			
21.45	21.45	0.00		粘土	暗青灰		粘性は中位。改良土である。改良土は粘・砂混りシルトが主体に混入。改良土は粘・砂混りシルトが主体に混入。	21.00	0	モンクン	0			
22.45	22.45	0.00		粘土	暗青灰		粘性は中位。改良土である。改良土は粘・砂混りシルトが主体に混入。改良土は粘・砂混りシルトが主体に混入。	22.00	0	モンクン	0			
23.45	23.45	0.00		粘土	暗青灰		粘性は中位。改良土である。改良土は粘・砂混りシルトが主体に混入。改良土は粘・砂混りシルトが主体に混入。	23.00	0	モンクン	0			
24.45	24.45	0.00		粘土	暗青灰		粘性は中位。改良土である。改良土は粘・砂混りシルトが主体に混入。改良土は粘・砂混りシルトが主体に混入。	24.00	0	モンクン	0			
25.45	25.45	0.00		粘土	暗青灰		粘性は中位。改良土である。改良土は粘・砂混りシルトが主体に混入。改良土は粘・砂混りシルトが主体に混入。	25.00	0	モンクン	0			
26.45	26.45	0.00		粘土	暗青灰		粘性は中位。改良土である。改良土は粘・砂混りシルトが主体に混入。改良土は粘・砂混りシルトが主体に混入。	26.00	0	モンクン	0			
27.45	27.45	0.00		粘土	暗青灰		粘性は中位。改良土である。改良土は粘・砂混りシルトが主体に混入。改良土は粘・砂混りシルトが主体に混入。	27.00	0	モンクン	0			
28.45	28.45	0.00		粘土	暗青灰		粘性は中位。改良土である。改良土は粘・砂混りシルトが主体に混入。改良土は粘・砂混りシルトが主体に混入。	28.00	0	モンクン	0			
29.45	29.45	0.00		粘土	暗青灰		粘性は中位。改良土である。改良土は粘・砂混りシルトが主体に混入。改良土は粘・砂混りシルトが主体に混入。	29.00	0	モンクン	0			
30.45	30.45	0.00		粘土	暗青灰		粘性は中位。改良土である。改良土は粘・砂混りシルトが主体に混入。改良土は粘・砂混りシルトが主体に混入。	30.00	0	モンクン	0			
31.45	31.45	0.00		粘土	暗青灰		粘性は中位。改良土である。改良土は粘・砂混りシルトが主体に混入。改良土は粘・砂混りシルトが主体に混入。	31.00	0	モンクン	0			
32.45	32.45	0.00		粘土	暗青灰		粘性は中位。改良土である。改良土は粘・砂混りシルトが主体に混入。改良土は粘・砂混りシルトが主体に混入。	32.00	0	モンクン	0			
33.45	33.45	0.00		粘土	暗青灰		粘性は中位。改良土である。改良土は粘・砂混りシルトが主体に混入。改良土は粘・砂混りシルトが主体に混入。	33.00	0	モンクン	0			

図2 原位置土中図

## 2. 振動計測アレー

振動計測アレーは、WIB を始め、振動対策工を挟んで、両サイドに図 に示すようにとった。計測には、加振源の載荷力を測るロードセル、地盤応答を速度、加速で計測するため、それぞれ(株)東京測振製の速度センサーVSE15-D と(株)小野測器製 NP7310 を配置した。加振位置から振動対策工のある側を有線の SPC51-D システムで、その反対側を(株)東京測振製の無線の WX-300 で計測した。

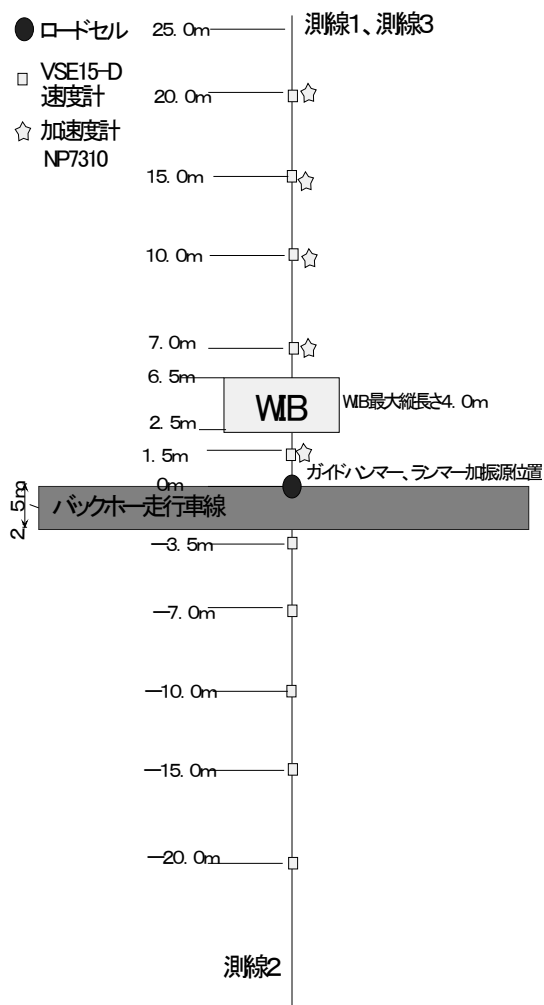
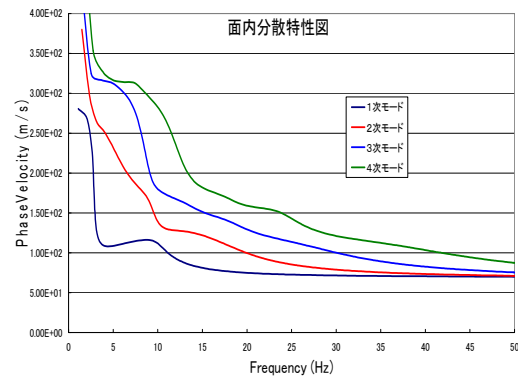


図-3 振動計測アレー

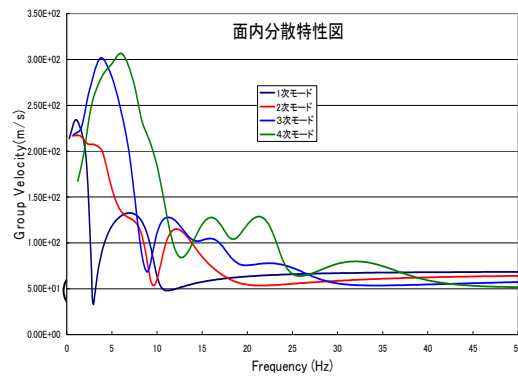


図4 直交3成分振動計測用センサー

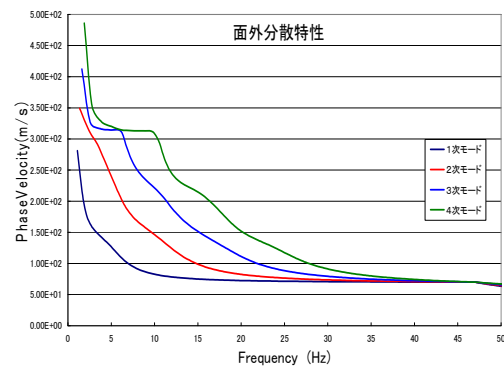
自然地盤の状況での振動伝播性状を調べるため、薄層要素法を適用して波動分散特性図を求めた。図3にその結果を示す。ここでは、面内応答として測線方向の水平成分と鉛直成分を含み、面外応答として測線直角方向の水平成分を意味する。位相速度 vs. 振動数の関係から対象サイトでは、分散性の大きな波動が10Hz以下の低振動数域で伝播することが推測できる。一方、群速度 vs. 振動数の関係からは、波動エネルギーとして支配的な波動が面内では3Hzにおいて、面外では数Hzにおいて伝播することが推測できる。



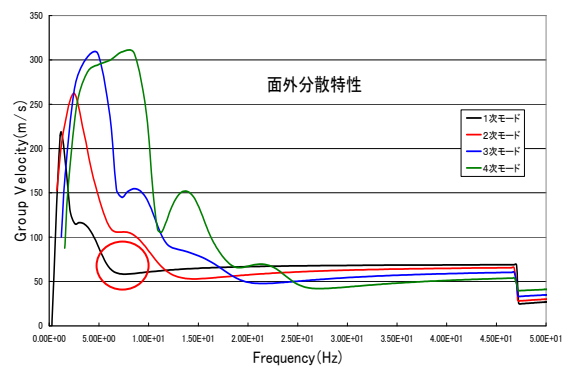
(a) 面内波動の位相速度 vs. 振動数



(d) 面内波動の群速度 vs. 振動数



(a) 面外波動の位相速度 vs. 振動数



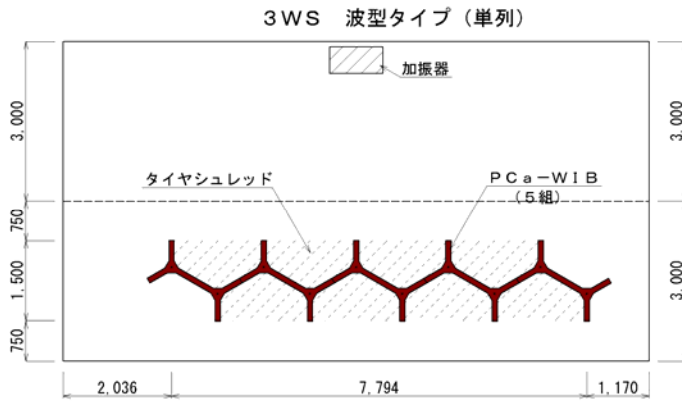
(d) 面外波動の群速度 vs. 振動数

図5 岡山市藤田地の波動分散特性

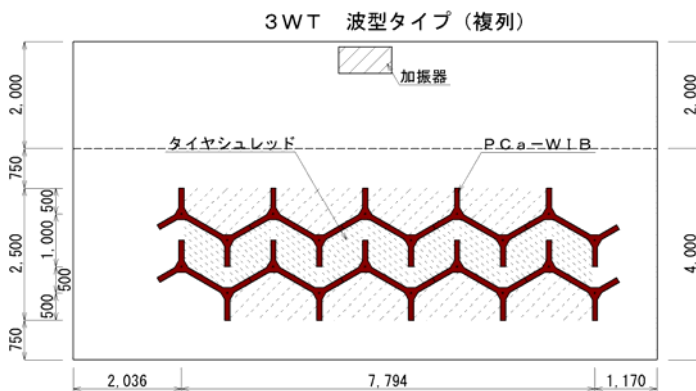
### 3. フィールド実証実験を産学協力して実施

対策工として、以下の形状の WIB を構築した.

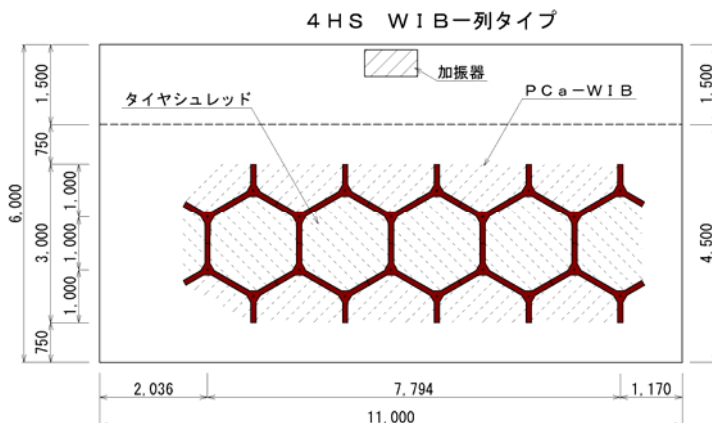
【単列波型タイプ】



【複列波型タイプ】



【WIB 1列タイプ】



【WIB 1列+単列波型タイプ】

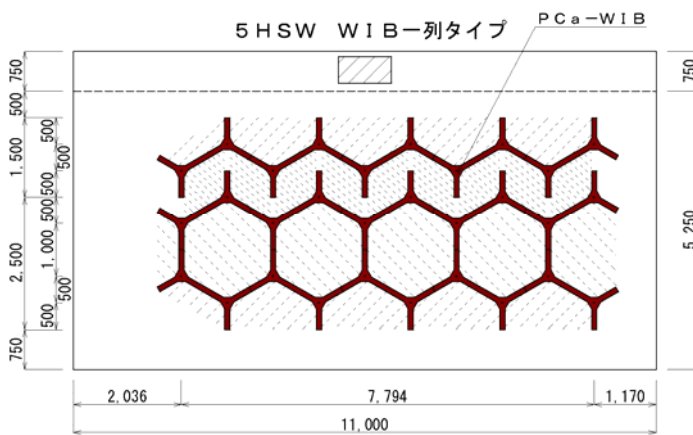


図6 採用した対策工



現実の振動対策工法には、WIB 工法の土被りを必要とするので、WIB 躯体の上にコンクリート版を敷き、その上に 30 cm の土被りを設けた。

4. 加振源

加振源に図-5 に示したガイドハンマー、ランマー、バックホーを用い、衝撃加振、周期的加振を与えた。アレー観測点からの速度、加速度波形からの地盤内の波動伝播、WIB による散乱現象からの距離減衰特性を算出し、WIB のサイズと減振率の関係を評価した。



(a) ガイドハンマーによる水平加振

(b) ガイドハンマーによる鉛直加振とロードセル



(c) バックホーの走行載荷



(d) ランマーの稼動

図7 各種の使用した加振源

## 5. 各種の振動対策工法の実験

下記の振動対策工をとったときの各加振源のガイドハンマー鉛直加振，ガイドハンマー水平加振，ランマー加振，バックホー加振状態での地盤応答を無対策時と比較した．減振効果を振動dBで評価した．

- (1) トレンチ
  - (2) スパンクリート版
  - (3) 波型単列パネル
  - (4) 波型複列パネル
  - (5) ハニカムセル
  - (6) ハニカムセル+波型
- (1) トレンチ工法



ガイドハンマーによる鉛直加振状況



水平加振状況（面外方向）



水平加振状況（面内方向）



ランマー加振状況



バックホー走行加振状況

図8 トレンチ工法に対する加振実験

(2) 波型単列パネル



ガイドハンマーによる鉛直加振状況



水平加振状況 (面外方向)



水平加振状況 (面内方向)



ランマー加振状況



バックホー走行加振状況

図9 波型パネルに対する加振実験

(3) スパンクリート版と廃タイヤシュレッドによるサンドウィッチ構造防振工



ガイドハンマーによる鉛直加振状況      ガイドハンマーによる水平加振状況（面外方向）



水平加振状況（面外方向）



ランマー加振状況



バックホー走行加振状況

図10 スパンクリート版とタイヤシュレッド中詰めに対する加振実験

(4) 波型複列パネル



ガイドハンマーによる鉛直加振状況



水平加振状況（面内方向）



水平加振状況（面外方向）



ランマー加振状況



バックホー走行加振状況

図 1 1 複列波型波型パネルに対するに対する加振実験

(5) ハニカムセル



ガイドハンマーによる水平加振状況（面内方向）

水平加振状況（面外方向）



ランマー加振状況

バックホー走行加振状況

(6) ハニカムセル+波型



ガイドハンマーによる鉛直加振状況

水平加振状況（面外方向）

図 1 2 ハニカム WIB 一列に対する加振実験



水平加振状況（面外方向）



ランマー加振状況



バックホー走行加振状況

図 1 3 ハニカムセルと波型パネルの複合 WIB に対する加振実験

(7) ハニカムセル+波型+土被り

振動対策工のハニカムセル+波型を構築し、その上にコンクリート版を敷き詰め、さらにその上に土被りを 30 cm 程度設けた。



図 1 4 ハニカムとパネル WIB 上へ土被り

## 6. 実験結果

### 6.1 自然地盤内の波動伝播特性

ガイドハンマーによる衝撃加振時の地盤応答をとって、その1/3オクターブ・スペクトル解析を行ったものを、以下に示す。水平面内加振、水平面外加振とは、それぞれ振動測線にそっての水平加振を、またそれに直交する加振状況を指す。

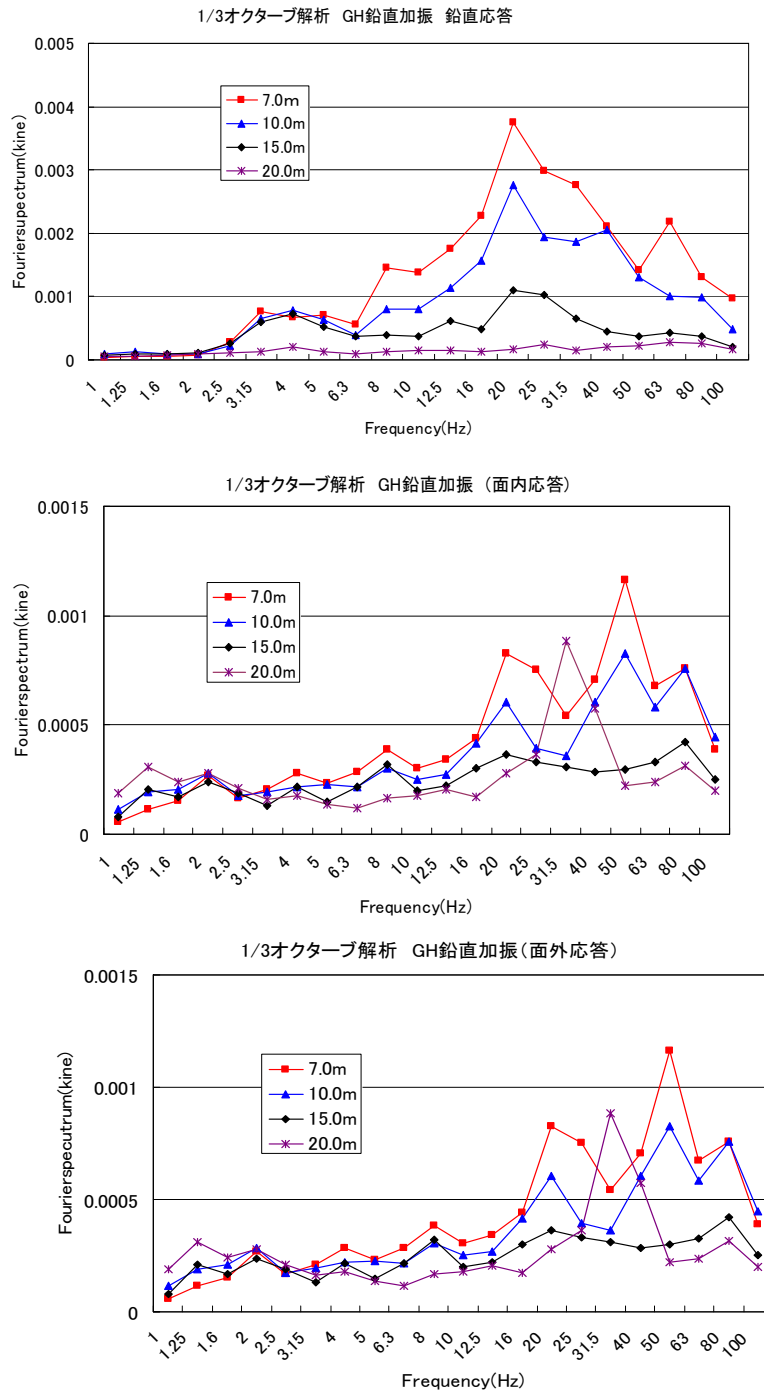


図 15.1 1/3-オクターブ・スペクトル図

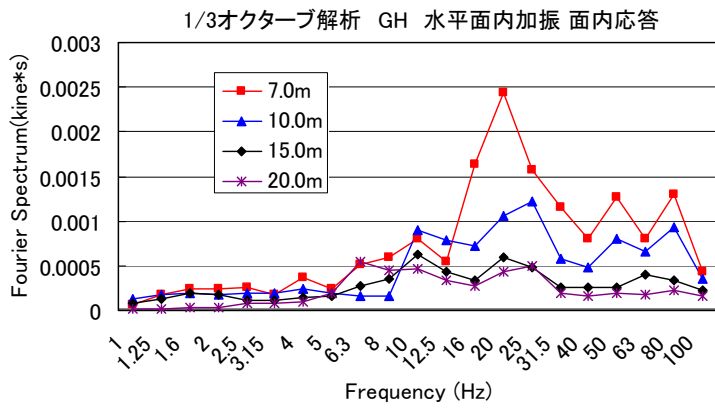
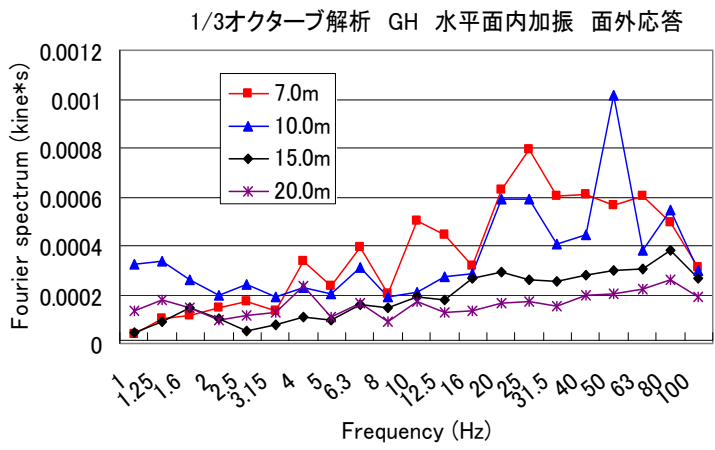
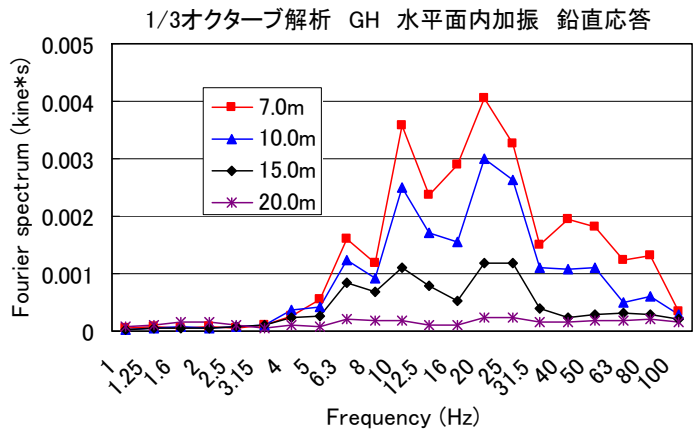


図 1 5 . 2 1 / 3-オクターブ・スペクトル

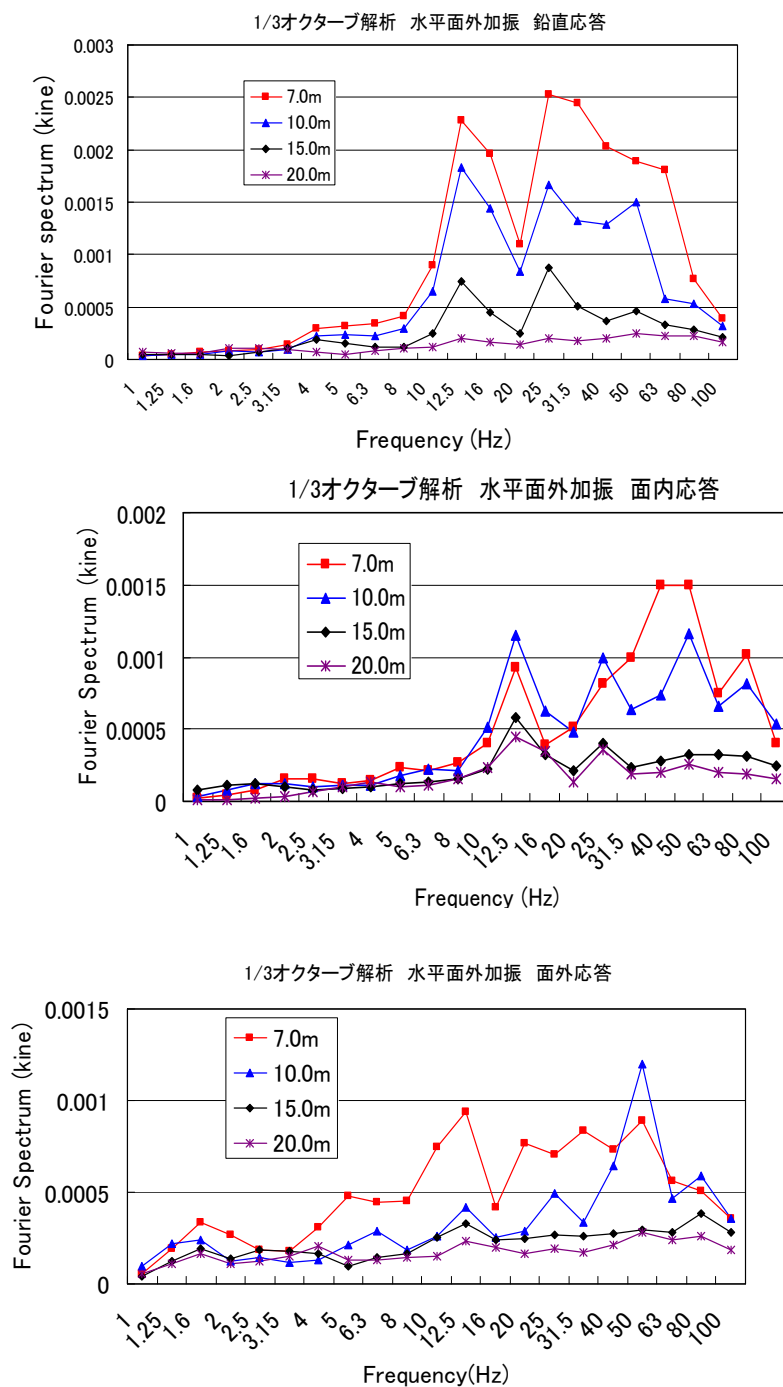


図 1 5 . 3 1/3-オクターブ・スペクトル図 (続き)

考察として

- (1) 1/3 オクターブ・スペクトル図からは、鉛直加振による面内振動としての鉛直応答は 3Hz-4Hz 程度から振動が伝播しており、水平応答では共に 10Hz 程度から振動が伝播していることがわかる。
- (2) 水平面内加振では、水平面内応答が 4 Hz 程度から伝わり始め、鉛直応答では 6 Hz 程度からとなる。
- (3) 水平面外加振では、鉛直応答と水平応答が 10Hz 程度から伝わり始め、面外応答では 4 - 5Hz となる。

## 6.2 距離減衰特性図

各種防振工法に対して、各測点の速度応答の最大値をとって、距離減衰特性図を以下に描いた。

### (1) ガイドハンマー加振

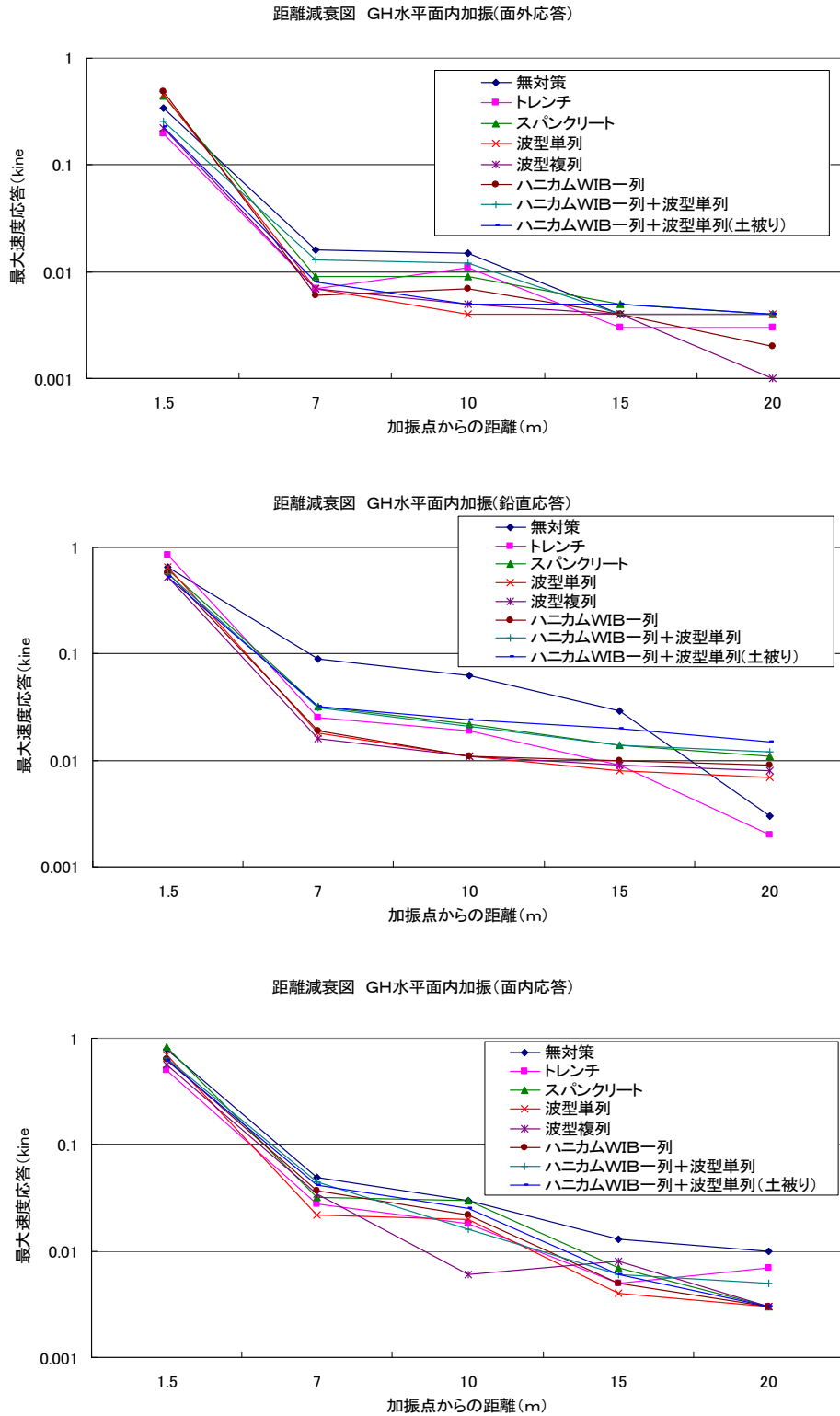
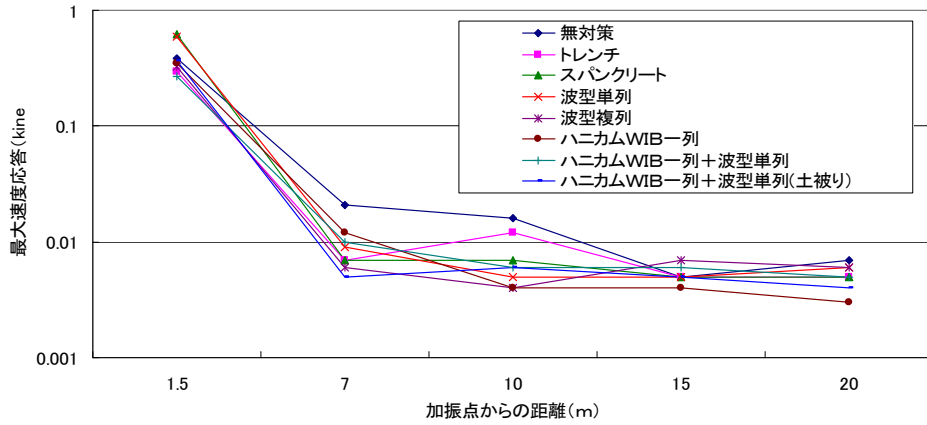
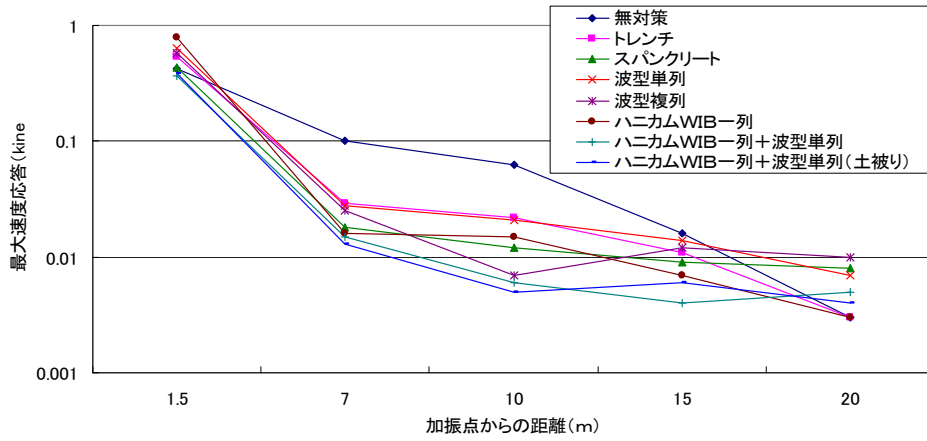


図16.1 距離減衰特性

距離減衰図 GH水平面外加振(面外応答)



距離減衰図 GH水平面外加振(鉛直応答)



距離減衰図 GH水平面外加振(面内応答)

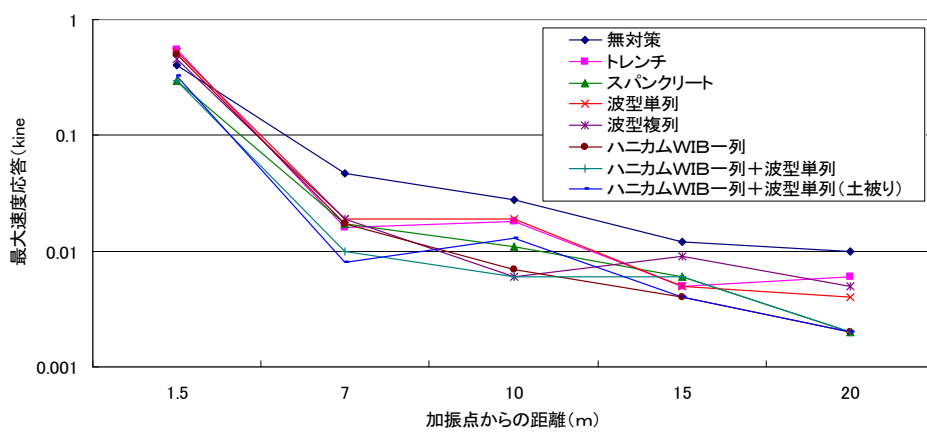


図16.2 距離減衰特性

(2) ランマー加振

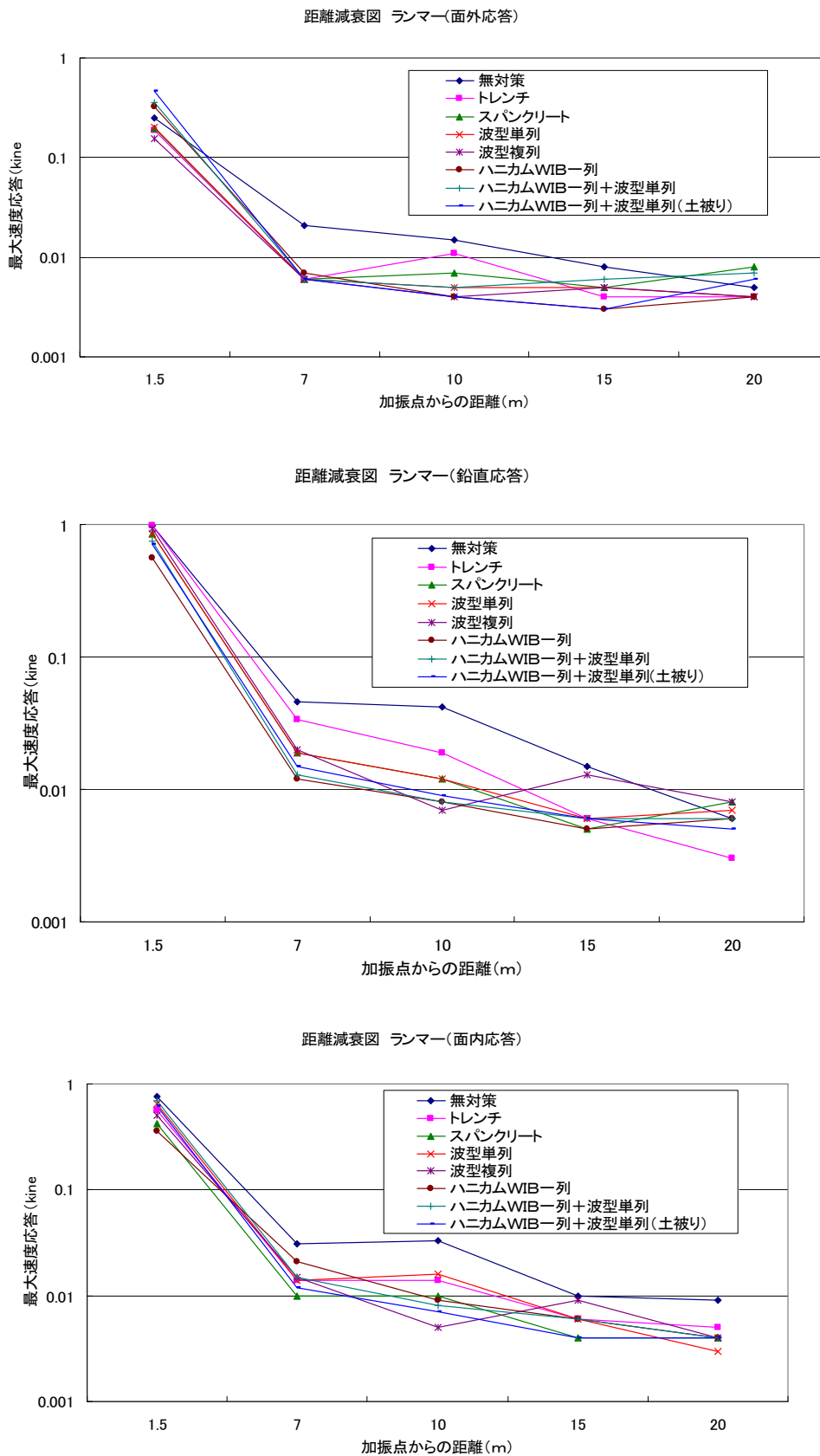


図 16.3 距離減衰特性

### (3) バックホー走向時

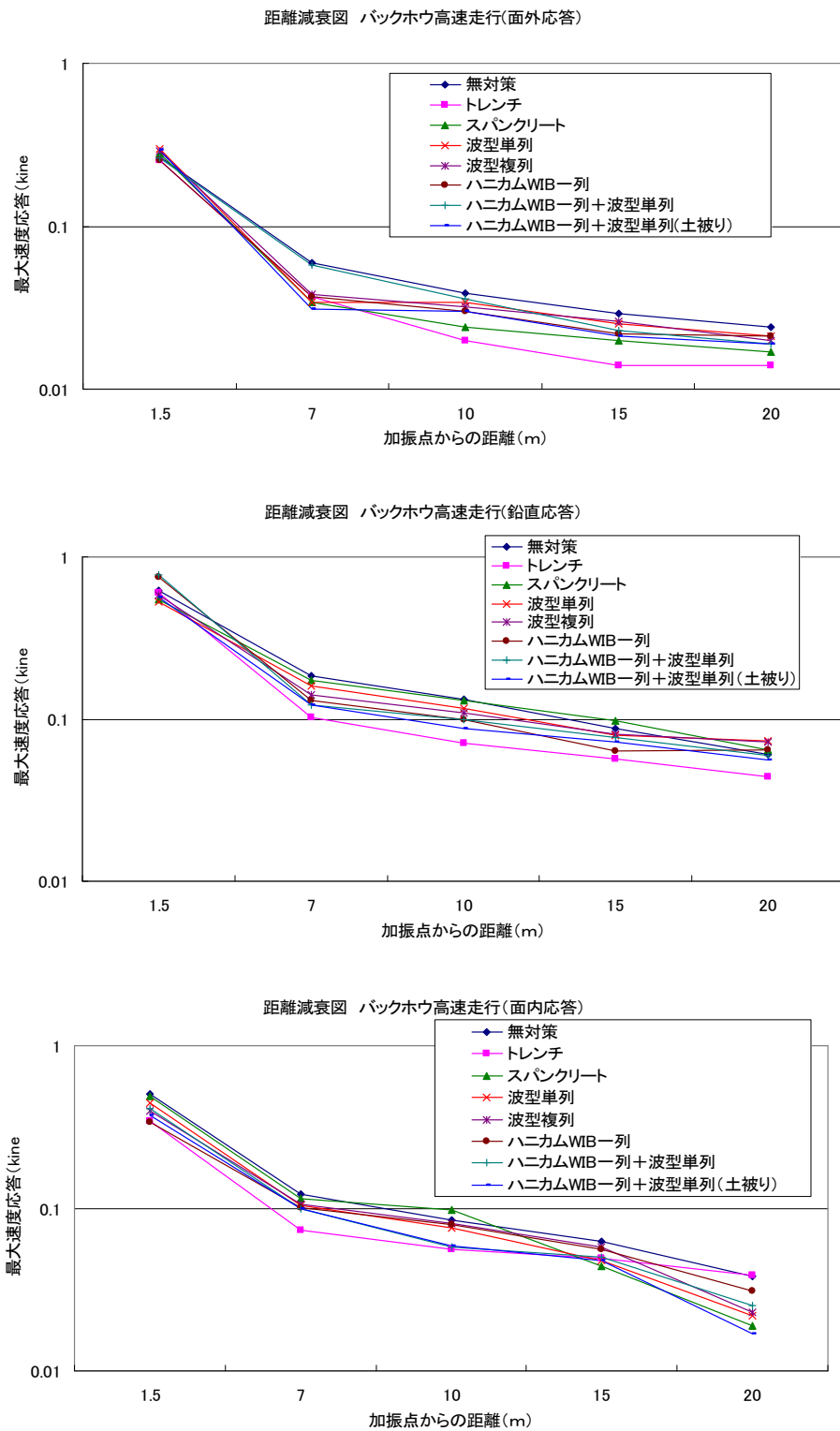


図16.4 距離減衰特性

### 6.3 各種防振工法の減振効果

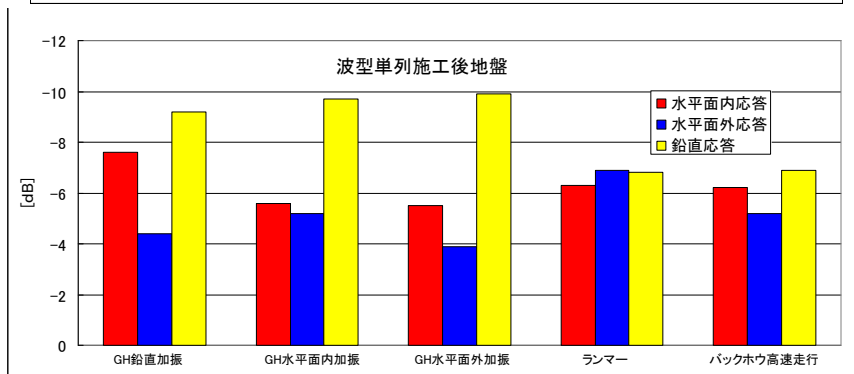
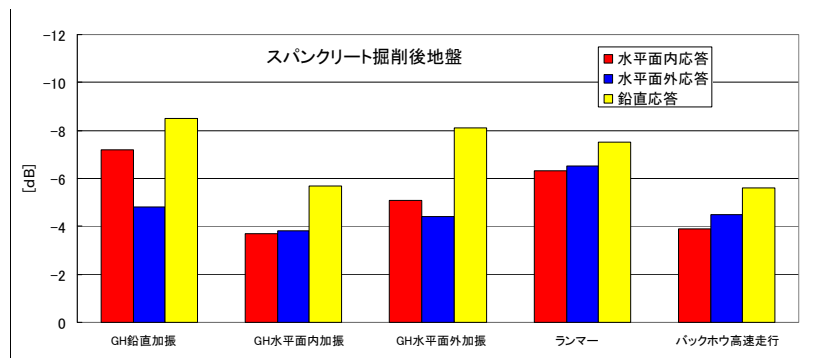
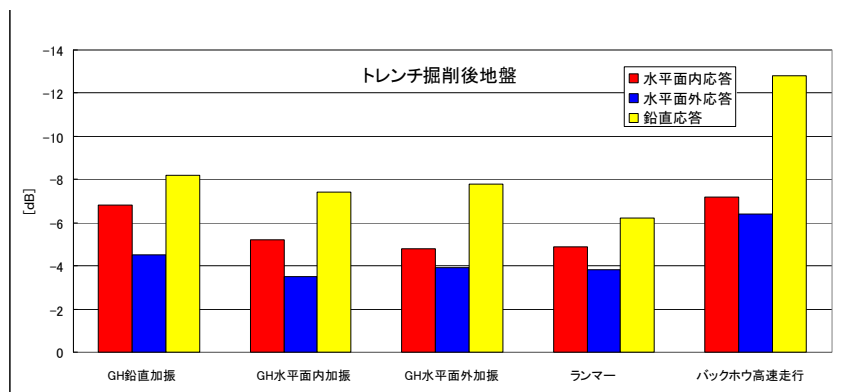
各種の防振工と (1) トレンチ (2) スパンクリート版 (3) 波型単列パネル (4) 波型複列パネル (5) ハニカムセル (6) ハニカムセル+波型ハニカムセル WIB を対象として、各加振源 (ガイドハンマー鉛直加振, ガイドハンマー水平加振, ランマー加振, バックホウ加振状態での地盤応答を無対策時と比較した。

環境振動規制法では、加速度振動レベル値が次式で定義される。

$$VAL = 20 \log (A / A_0) [dB] \quad \text{ここに} \quad A_0 = 10^{-5} [m / s^2] \text{は基準値である。}$$

上式を基に、振動低減度を速度応答から評価することができる。

$$E_{VAL} = 20 \log (V_{rms,after} / V_{rms,before}) [dB]$$



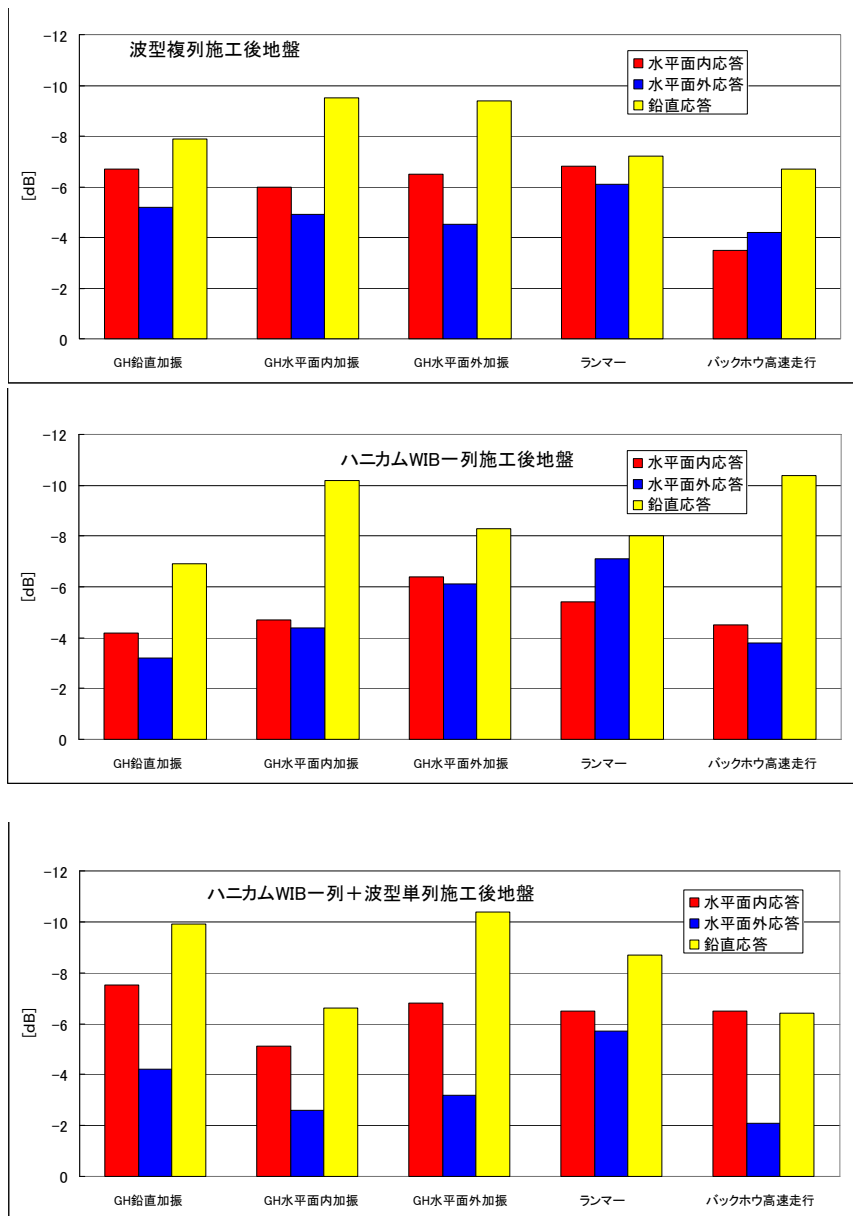


図 1 7 各対策工による振動低減度, dB 表示

各防振工は、加振源の特徴を受けるが、平均的にみて防振工の効果が評価できる。提案工法の WIB は数 dB と大きな効果を発揮し既存技術より優位性を示していることがフィールド実験から実証できた。