建設工事における幅の狭い空溝の地盤振動低減効果に関する検討

Study on Ground-Vibration Reduction Effect of Narrow Trenches in Construction Work

小林　秀彰*1，赤尾　伸一*1
HIDEAKI KOBAYASHI, SHINICHI AKAO

建設工事作業に伴い発生する地盤振動と，その地盤振動に対して比較的に幅の狭い種々形状の空溝による低減効果を確認する実験を行った。その結果，以下が確認された。すなわち，(1) バックホウによる打撃および走行の振動特性は，鉛直方向の振動レベルが大きく，31.5 Hz 帯域付近の振動加速度レベルが大きい。その鉛直方向の振動は，(2) 地盤の距離減衰傾向は，周波数が高くなるにつれて減衰量が大きい。(3) 実験した形状の空溝により振動レベルは 2～8 dB 低減され，空溝の幅よりも深さの方が振動の低減効果が高い。(4) 空溝幅による低減効果は，バックホウ打撃時において 31.5～63 Hz 付近の帯域で約 5 dB の低減効果が見られた。

キーワード：建設工事，地盤振動，空溝，振動低減効果

Experimental studies were conducted on the ground vibration generated during construction work and on the reduction effect of relatively narrow trenches of various widths and depths. The following were confirmed:
(1) For both backhoe impact and travel, the vibration level was highest in the vertical direction, and the vibration acceleration level was dominant around the 31.5 Hz band. (2) The distance attenuation of ground vibration increased with frequency. (3) The trenches investigated reduced vibration levels by 2-8 dB, with depth having a greater effect than width. (4) The effect of trench width appeared as a reduction of approximately 5 dB in the 31.5-63 Hz band under backhoe impact.

Keywords: Construction work, Ground vibration, Trench, Vibration Reduction effect

1. はじめに

建設工事において，重機作業に伴って発生する振動が地盤面を伝わることで，建設地の周辺に影響を及ぼすことがある。工事を行う上では，作業振動による周辺への影響度合いを事前に把握し，適切な対処をしておく必要がある。そのためには，工事作業で発生する振動の特性，地盤による距離減衰の傾向，対策による振動低減効果に関するデータを収集・整備し，周辺へ及ぼす影響の予測精度を高めていくことが考えられる。これらに基づき建設地周辺への振動被害が懸念される条件かを判断し，その場合には事前に効果が見込める対策を講じておくことが望ましい。

振動の対策方法としては，振動源側，伝搬経路上，受振点側での対策が考えられる。受振点側での対策は近隣敷地内で行うことになることから，建設工事の際には，建設敷地内で対処が可能な振動源側の対策（低振動型重機等）と，伝搬経路上での対策を講じることが一般的である。伝搬経路上の対策としては，振動源と受振点の間の地盤面において，地盤を空堀する空溝や，地盤内に地中壁等を設置することが有効とされ，それらに関する研究や実験結果が報告されている[例えば 1),2),3)]。空溝による対策は古くから検討されており，模型実験，フィールド実験，数値解析を通じて，空溝の深さと振動低減効果の関係が示されている。一方，狭小な建設現場の場合等では，敷地の制約上，空溝を幅広く，そして深く施工できないことが考えられる。

そこで本報では，狭小な建設現場への適用を念頭に，比較的に幅の狭い種々の空溝形状を対象として，建設工事で想定されるバックホウの大きさや加振する動作条件の違いにより発生する地盤振動を，実規模のフィールド

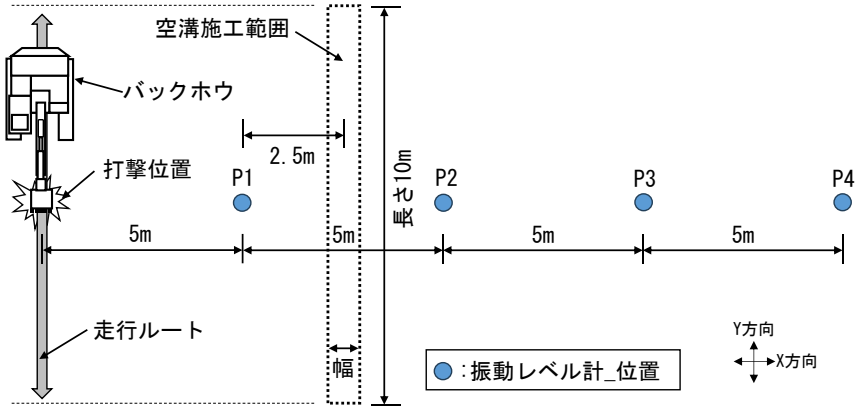
*1 技術研究所技術開発推進部

実験で組み合わせて測定した。得られた結果から，空溝の幅と深さに分けて振動低減効果を比較し，建設工事における振動対策への適用性を検討した内容を報告する。

2. 実験条件

図-1 に測定点位置図を示す。建設作業で用いられるバックホウを加振源として，空溝の有無の条件で地盤上をバケットで打撃した場合と走行した場合における空溝の地盤上の振動加速度レベルを測定した。地盤上の測定点は，バックホウの打撃位置および走行ルートから水平方向に 5 m 離れた P1，10 m 離れた P2，15 m 離れた P3，20 m 離れた P4 とした。各測定点の地盤表面は，足で踏むことで締め固め，そこに振動レベル計（RION VM-53A）を設置した。振動レベル計の設置方向は，走行ルートと直交方向を X 方向，平行方向を Y 方向，鉛直方向を Z 方向とした。振動加速度レベルの分析の時定数は 630 msec とし，打撃加振時は最大値（Lmax）の 3 回の算出平均値，走行加振時は走行ルートを 1 往復した際のエネルギー平均値（Leq）の 5 回の算出平均値とした。空溝は，バックホウの走行ルートと平行方向で P1 と P2 間の中心を通る位置に長さ 10 m で掘削し，バックホウの走行範囲はその長さの範囲内とした。

図-2 に実験ケース一覧および空溝の施工状況を示す。実験 1～3 はすべて同一敷地内の近接する場所で実施した。各実験における空溝の条件は，空溝が無い場合を「空溝 0」として，幅と深さを変えた「空溝 1～5」とした。全実験ケースにおいて，空溝 0 を実験した後に，対象とする空溝を施工した条件で実験を行った。**表-1** に実験で





（実験風景）

図-1　測定点位置

実験	空溝 番号	空溝 形状 (m) 幅	深さ	長さ	測定点 P1 5m点	P2 10m点	P3 15m点	P4 20m点	加振源 (バックホウ)	加振方法
1	0	空溝無し			○	○	—	—	A	①打撃 (バケット) ②走行
	1	0.8	1.2	10	○	○	○	○		
2	0	空溝無し			○	○	○	○	B	
	2	0.25	1.2	10	○	○	○	○		
	3	0.6	1.2	10	○	○	○	○		
3	0	空溝無し			○	○	○	○		
	4	0.28	1.2	10	○	○	○	○		
	5	0.28	1.9	10	○	○	○	○		

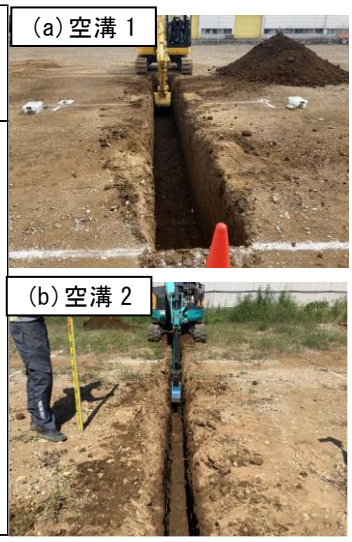


図-2　実験ケース一覧および空溝の施工状況

使用したバックホウの諸元を示すが，バックホウの機種は，実験 1 と実験 2・3 では異なり，実験 1 のバックホウ A の方がバックホウ B に比べ、機械質量ならびにバケット容量やバケット幅が大きい。**図-3** に，実験 1～3 を行った敷地内 2 箇所の土質柱状図を示す。実験場所の地盤の硬さ・締まり具合を表す N 値や，土質共に大きな違いはない。

表-1　実験で使用したバックホウの諸元

項目		単位	バックホウ	
			A ※実験1で使用	B ※実験2・3で使用
国土交通省 低騒音型建設機械			超低騒音型	超低騒音型
仕様	出力形式	-	エンジン出力 (4サイクル、水冷直列形、直接噴霧式)	エンジン出力 (ターボ、空冷アフタクーラ、直接噴霧式)
	定格出力	kW/min^{-1} [PS/rpm]	18.2/2200 [24.7/2200] ※1 17.4/2200 [24.7/2200] ※2	50.7/1900 [68.9/1900] ※1 50.6/1850 [68.8/1850] ※2
	標準バケット容量	m^3	0.09	0.28
	標準バケット幅 <サイドカッタ含む>	mm	430 <500>	650 <750>
寸法	機械質量	kg	2950	7710
	全長(輸送時)	mm	4560	5770
	全幅	mm	1550	2330
	全高(輸送時)	mm	2520	2710
性能	走行速度 Hi/Lo	km/h	4.6/2.6	5.0/2.7
	旋回速度	min^{-1}[rpm]	9.0 [9.0]	10 [10]
	接地圧	kPa	26.4	34.1

※1：グロス値　※2：ネット値（JIS D 0006-1）

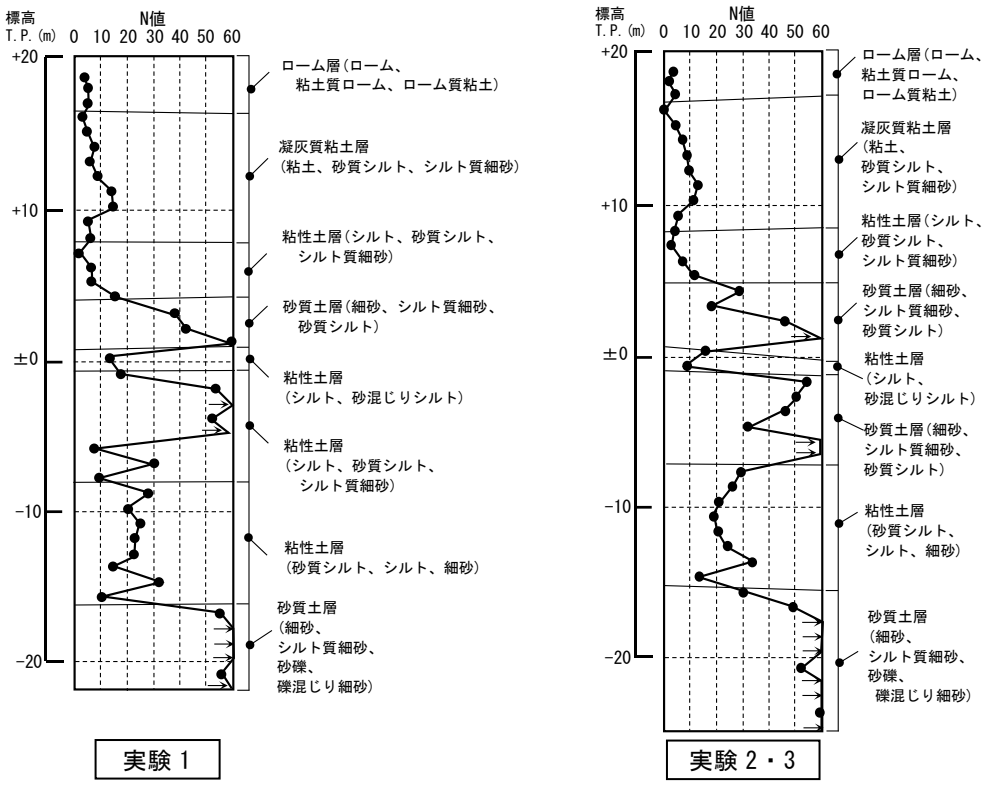


図-3　土質柱状図

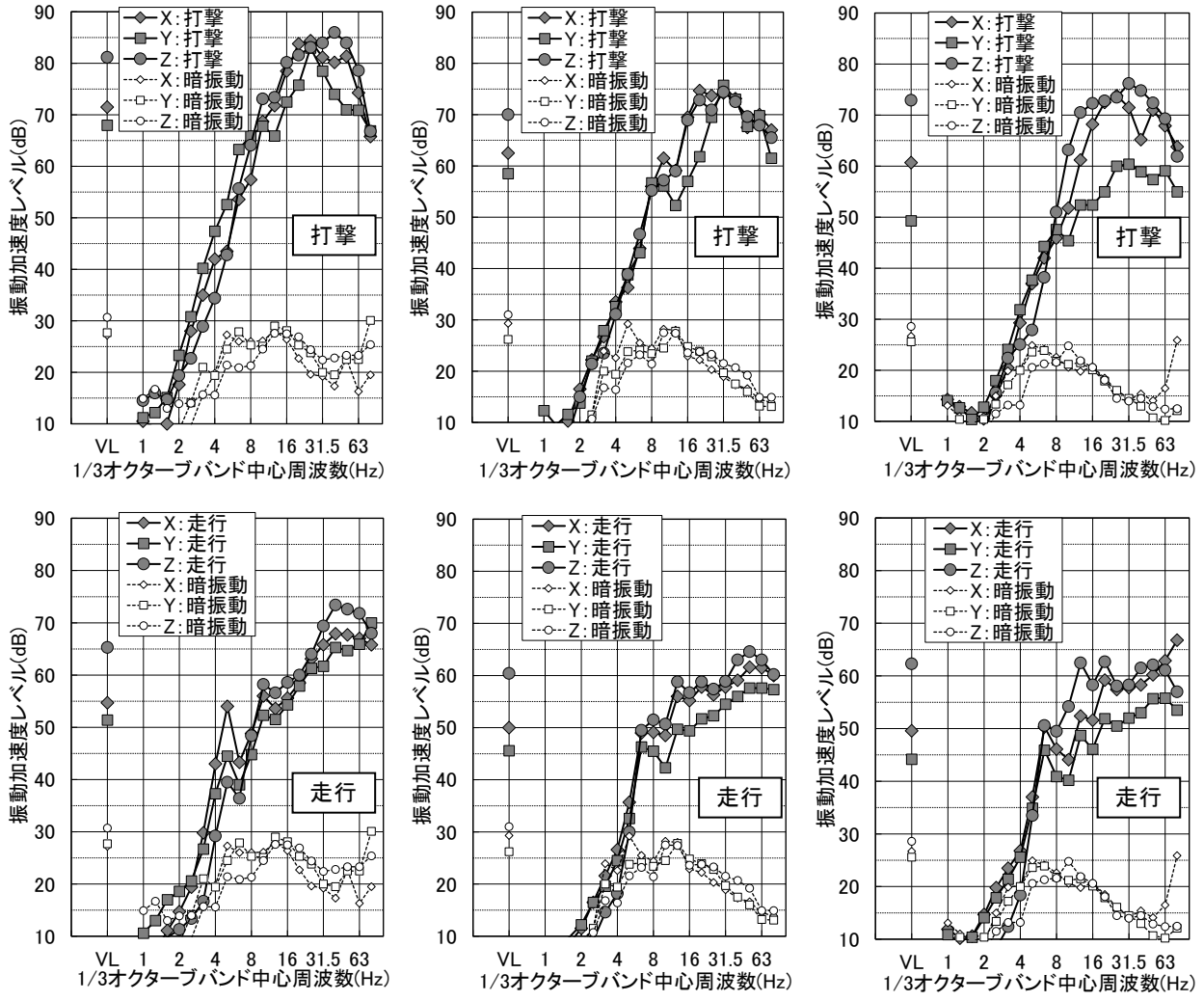
3. 実験結果

(1) 加振源の振動特性

図-4 にバックホウによる打撃および走行時の P1（5 m 地点）における地盤面の振動レベル（VL）と振動加速度レベルの 1/3 オクターブバンド分析結果を示す。測定結果は空溝を施工していない状況（空溝 0）である。まず，方向別の振動レベル VL の傾向をみると，打撃および走行どちらも Z 方向が最も大きくなる傾向にあった。次に周波数特性についてだが，打撃時は 31.5 Hz 帯域を中心に振動加速度レベルが卓越した。一方，走行時の周波数特性は，8 Hz 帯域以上での振動加速度レベルが打撃時より小さくなった。また，バックホウの機種による違いは，バックホウサイズが大きい実験 1 が実験 2・3 と比較すると，打撃および走行共に，4 Hz 帯域以上において振動加速度レベルが約 10 dB 大きい結果であった。

(2) 地盤振動の距離減衰特性

図-5 に空溝を施工していない条件（空溝 0）における 16 Hz～63 Hz 帯域の地盤振動の距離減衰特性（Z 方向）を示す。加振点から 5 m 地点を基準点として，それ以降の距離の測定点における振動加速度レベルとの差分を算出して示した。また，図中には距離減衰計算式(1)[4]による計算値を併記している。内部減衰 α の算出にあたっては，周波数 f や地盤の損失係数 h の影響を考慮した式 [4]を用いた。計算は各周波数帯域において，地盤の損失係数 h を 0，0.025，0.05 の 3 条件で設定した。



(a) 実験 1　　(b) 実験 2　　(c) 実験 3

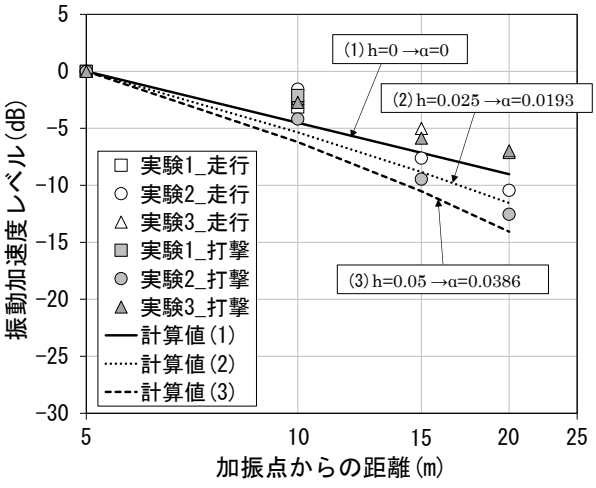
図-4　P1 における振動加速度レベル（空溝無し）

周波数による傾向だが，周波数が高くなるにつれて距離減衰量は大きくなっている。これは，加振方法が異なる打撃と走行共に同様の傾向であった。測定結果と計算値とを比較すると，16Hz 帯域では h=0（α=0），31.5 Hz 帯域では h=0.025～0.05（α=0.038～0.0761），63 Hz 帯域では h=0.025～0.05（α=0.0761～0.1522）の計算値に比較的近い傾向を示した。本実験の範囲では，周波数が高くなるにつれて距離減衰量が大きくなる傾向が確認された。このことから，地盤の内部減衰係数は周波数の影響が考慮される計算式を用いることが望ましいといえる。

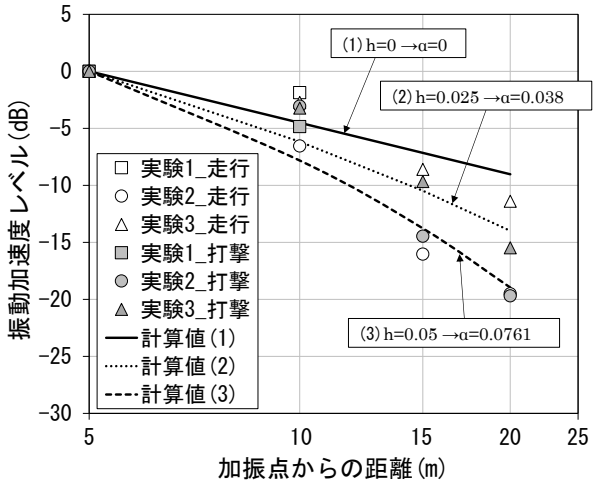
(3) 空溝による振動低減効果

a) 振動レベルによる比較

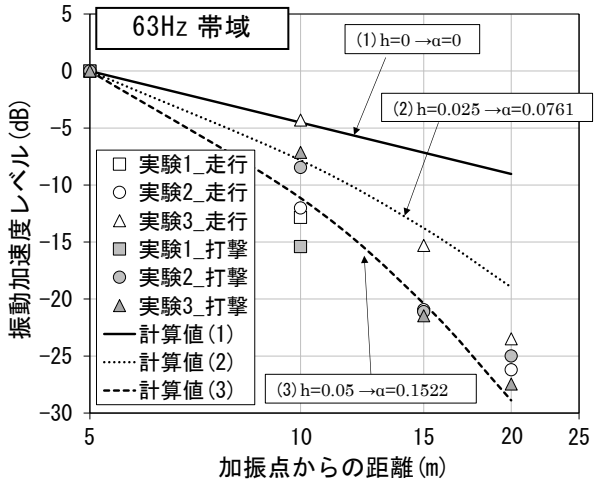
図-6 に空溝施工前後における地盤面の振動伝搬特性（Z 方向：振動レベル）を示す。すべての実験条件において，空溝を施工した位置である加振点からの距離 7.5 m 以降の測定点で空溝により振動レベルが低減していた。本実験で対象とした空溝形状の振動レベル低減量は，加振点から 10～20 m 離れた範囲において，2～8 dB であった。空溝形状による傾向だが，空溝の幅 2 種類を比較した実験 2 において，打撃時は幅の違いにより振動レベルに 2 dB 程度の差が見られるものの，5 m 点の測定結果から加振力のばらつきによる差と考えられ，走行時の結果からも空溝幅による差は明確にみられなかった。次に，空溝の深さ 2 種類を比較した実験 3 において，深さの違いによって 3～4 dB 程度の差が確認できた。走行よりも打撃の方が約 2～3 dB 効果が大きかったが，走行は空溝長さ端部までを走行ルートとしたことから，空溝横からの振動の回り込みの影響が走行時は打撃時よりも，より



(a) 16Hz 帯域



(b) 31.5Hz 帯域



(c) 63Hz 帯域

【距離減衰計算】

$L(r-r_0) = -8.7\,\alpha\,(r - r_0) - 20n\mathrm{Log}_{10}(r/r_0)$ … 式(1)

$\alpha = (2\,\pi f h)/V$

$L(r-r_0)$：加振源から r_0(m)と r(m)の振動減衰量(dB)

※r_0(m)を 5m 点として計算した

n：幾何減衰定数　ここでは 0.75 とした

α：地盤の内部減衰係数

f：周波数(Hz)

h：地盤の損失係数

V：振動伝搬速度(m/s)

※実験地盤の PS 検層の結果 130m/s とした

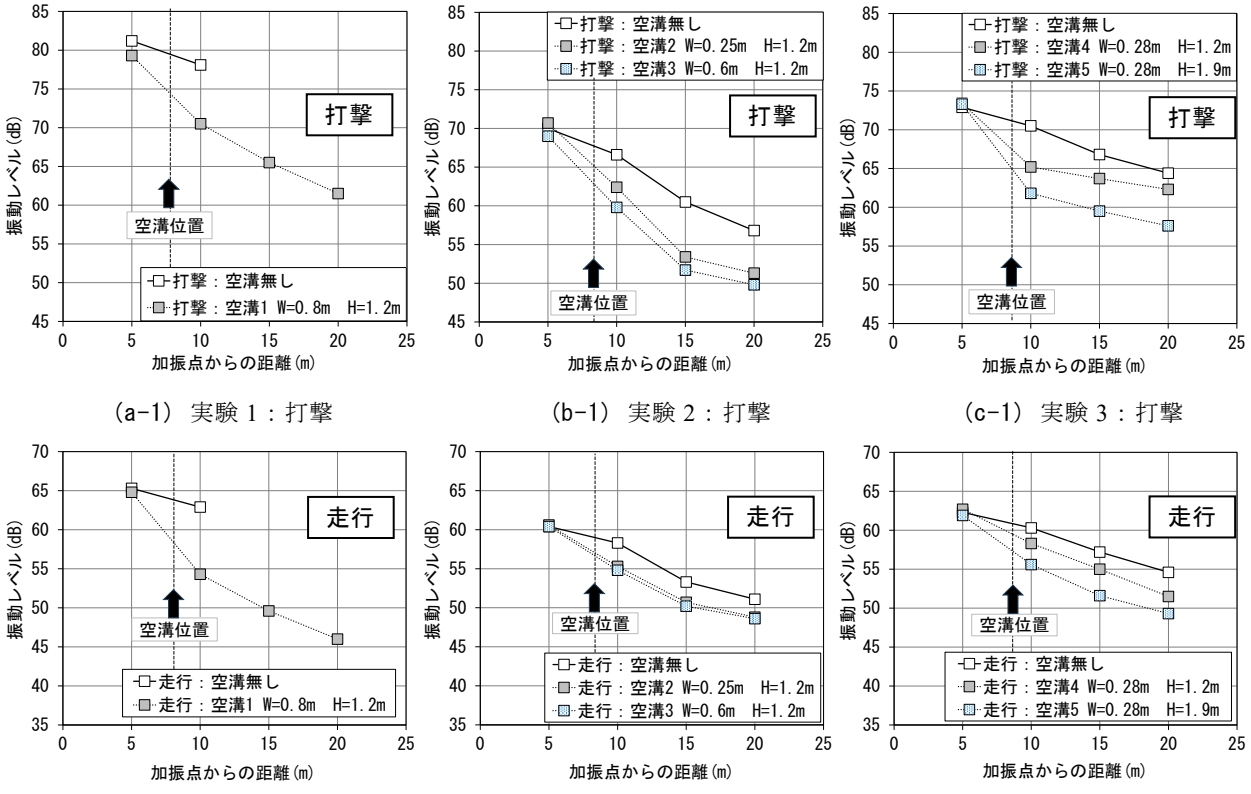
図-5　地盤振動の距離減衰特性（空溝無し）

多く含まれていたことが要因の一つとして考えられる。また，バックホウサイズが異なる実験 1 と実験 2・3 を比較すると，空溝の低減効果はバックホウサイズが大きい実験 1 の方が大きい。空溝の幅条件が若干異なるものの実験 2 の結果から幅による影響がみられなかったことから，空溝の低減効果には加振源の加振力や加振面積も関係してくると推察される。

b) 周波数特性による比較

図-7 に各種空溝形状における振動低減効果量（Z 方向）を示す。ここで、振動低減効果量は，空溝の施工位置に近接している加振点からの距離 10 m 地点（P2）における空溝施工前後の振動加速度レベル差とした。そのレベル差を算出するにあたり，実験時の加振力のばらつきを除去するため，空溝施工前後における加振点から 5 m 点の振動加速度レベル差で補正している。空溝幅が異なる空溝 2・3 を比較すると，両空溝は 10 Hz 帯域以上から振動低減効果を示しており，20～50 Hz 帯域付近の効果が大きく，さらに高い周波数になるにつれ，効果が少なくなる傾向であった。空溝幅による効果量の違いは，打撃時は 31.5～63 Hz 帯域において，幅が広い空溝 3 が空溝 2 よりも約 5 dB 程度効果は大きい結果であったが，振動レベル換算時に寄与が大きくはない帯域であった。この空溝幅を広げたことによる効果は，空溝底下から回り込む振動が低減したものと推察される。しかし走行時においてはその効果は見られず，先に述べた空溝横からの振動の回り込みの影響があると考えられる。次に，空溝の深さが異なる空溝 4・5 だが，両空溝は同じく 10 Hz 帯域以上から低減効果が表れ，空溝 5 は空溝 4 よりも低減効果が約 3～5 dB 大きくなっていた。深さによる効果は打撃・走行時ともにあらわれていたが，走行時の方が効果は小さかった。

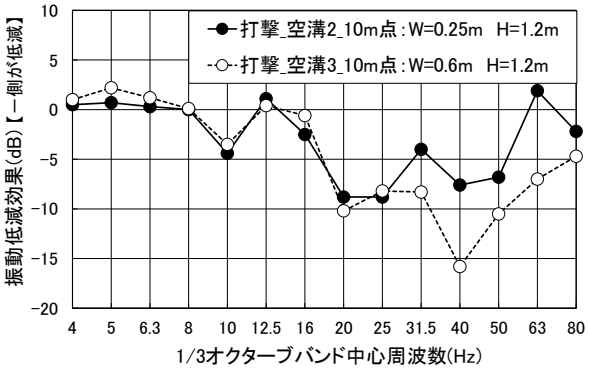
図-8 に，空溝深さと振幅比（Z 方向）を示す。図中には，実験条件の空溝深さ H と **図-7** の振動低減効果を 1/1 オクターブバンドで振幅比換算した結果をプロットしている。また空溝の低減効果の計算式(2)[5]によって算出した計算値も併せて示している。ここで，算出に用いる V：振動伝搬速度（m/s）は実験地盤における PS 検層の結果である。16～31.5 Hz 帯域においては，8 Hz および 63 Hz 帯域よりも振幅比が小さくなっていた。また，同帯域についての実験値は計算値よりも振幅比が小さくなっているが，8 Hz および 63 Hz 帯域まで含めて評価すればおおむね計算式による傾向と同様であった。



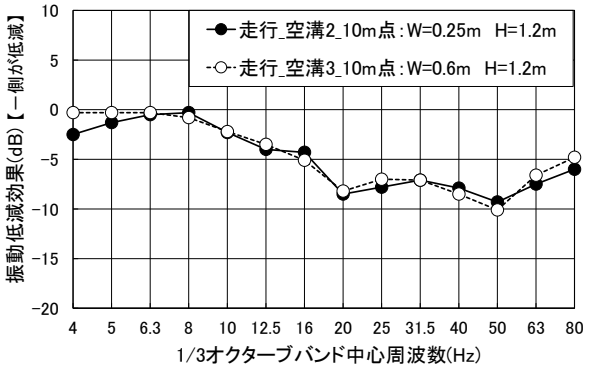
(a-1) 実験 1：打撃　(b-1) 実験 2：打撃　(c-1) 実験 3：打撃

(a-2) 実験 1：走行　(b-2) 実験 2：走行　(c-2) 実験 3：走行

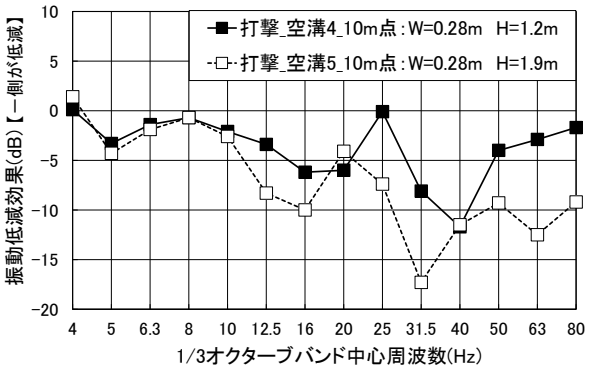
図-6 空溝施工前後における地盤面の振動伝搬特性(Z 方向：振動レベル)



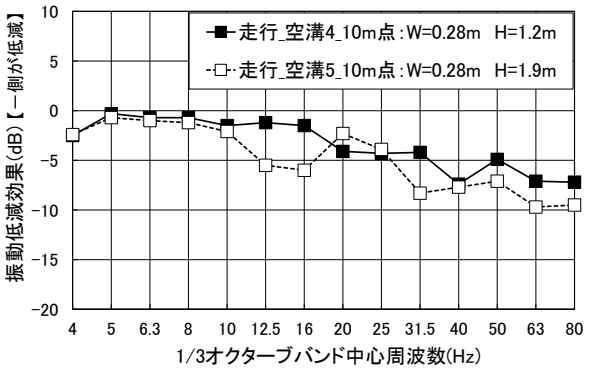
(a) 空溝 2・3：打撃



(b) 空溝 2・3：走行



(c) 空溝 4・5：打撃



(d) 空溝 4・5：走行

図-7 各種空溝形状における振動低減量

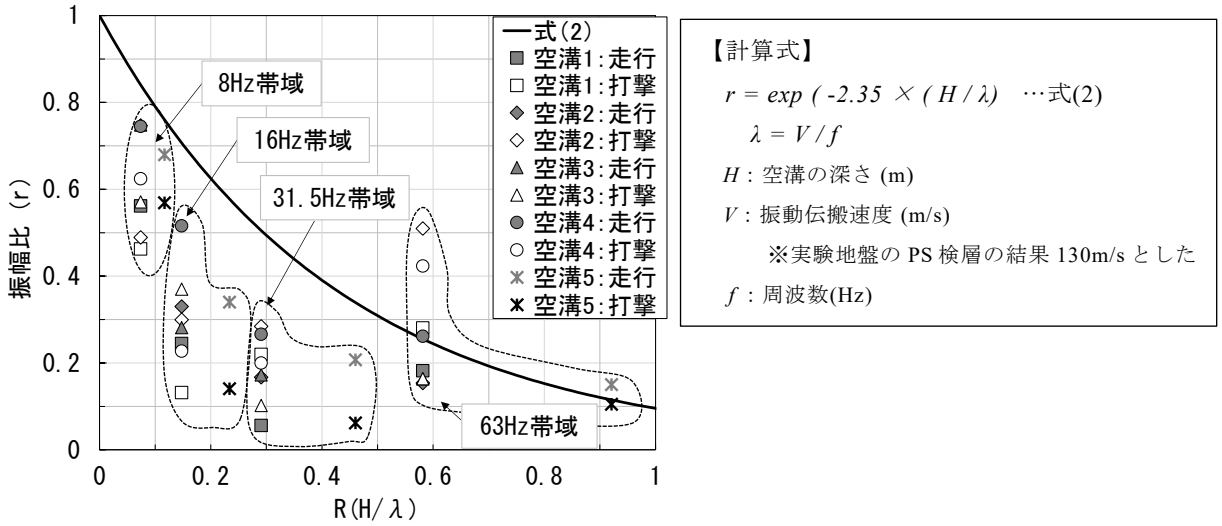


図-8 空溝深さと振幅比（Z 方向）

4. おわりに

建設工事において発生が想定される作業振動を対象に，地盤の振動特性とその距離減衰傾向を把握するとともに，比較的に幅が狭い種々の空溝形状による振動の低減効果を実験した。その結果，以下の傾向を確認した。

① バックホウによる打撃と走行により生じる地盤振動は，鉛直方向が大きい傾向を示した。周波数特性は，打撃と走行共に 31.5 Hz 帯域付近で卓越するが，走行は打撃に対して 8 Hz 以上で振動加速度レベルが小さかった。

② 地盤の距離減衰量は，周波数が高くなるにつれて大きくなる傾向であった。

③ 本実験で対象とした空溝形状の場合，空溝の施工により振動レベルがおおむね 2～8 dB 低減した。

④ 空溝の形状については，振動レベル換算では幅よりも深さの方が効果に及ぼす影響が大きかった。一方，打撃時の 31.5～63 Hz 帯域においては，空溝幅の違いにより約 5 dB の低減効果の差が確認された。

幅の狭い空溝であっても建設工事で発生する振動に対する伝搬経路対策として，一定の有効性を有することが確認できた。また，既往の計算式を用いることで効果の推定がおおむね可能であることがわかった。

今後，地盤や加振源，空溝形状の条件の違い等による地盤の振動伝搬性状のデータをさらに蓄積し，建設現場における振動影響予測や振動対策につなげていきたい。

参考文献

1) 小谷朋央貴：空溝の地盤振動低減効果，音響技術，No.155，Vol.40，No.3，pp.56-60，2011.9
2) 早川清：環境振動の伝搬経路対策，騒音制御，Vol.24，No.6，pp.408-414，2000.12
3) 吉岡修 : 2 次元数値解析を用いた空溝の防振効果に関する一考察，土木学会年次学術講演会梗概集，第 60 回，pp.351-352，2005.9
4) 日本騒音制御工学会編：地域の環境振動（第 2 版），2023.2
5) 日本建築学会編：環境振動性能設計ハンドブック，2010.10