

# 中空壁体の振動低減効果に関する模型および現場検証

立命館大学 理工学部 正会員 早川 清  
学生会員 橋本佳奈  
日本コンクリート工業（株） 正会員 可児幸彦  
篁 契太

## 1. はじめに

建設作業，工場機械および道路・鉄道等の交通機関を発生源とする地盤振動は，地盤内に波動となり拡散される。この地盤振動を波動の伝播経路で低減する対策として，剛性壁，発泡壁，空隙壁等を設置する方法が検討されてきている。これらの遮断材料を用いた地中壁による幾つかの現地振動調査結果および波動透過理論等の理論計算から，振動遮断の有効性についての比較を行い，中空部分を有するコンクリート剛性壁部材であるPC壁体の遮断効果の大きいことが判明してきた。<sup>1)~8)</sup>

本報告は，室内における模型中空壁実験により得られた成果を含めて，遮断材料の有効性についての比較，経緯を示すとともに，総合的に振動遮断効果のメカニズムを解明しようと試みたものである。

## 2. モデルPC壁体による振動低減効果の検証

### 2.1 砂地盤における検証

地盤振動対策の有効な手段として，中空部を有するコンクリート部材のPC壁体を利用する考えが，諸々の実測結果や波動透過理論により検証され，注目されている。ここでは，模型土槽中にモデルPC壁体を埋設した振動実験から，地盤振動の低減効果の検証を試みた。すなわち，波動

表-1 モデルPC壁体による加振実験の概要比較

	想定振動源	特性	実験での起振方法
衝撃加振	道路段差部での走行振動	・ 瞬時的単発振動 ・ 1波のパルス ・ 遮断効果が明確	156 gの重りを7 cm自由落下させる (75 dB)
定常加振	平面道路での走行振動	・ 連続的振動 ・ sin曲線的波動 ・ 波長の影響	電氣的加振装置 (≒ 40 GAL)

の伝播経路に中空部を有するコンクリート製の壁体を設置し，中空部の内径が振動遮断効果に与える影響について考察した。実験では，表-1に示すように単発の振動源を想定した衝撃加振実験と連続的な振動源を想定した定常加振実験とを行った。<sup>13)~17)</sup>

An Experimental Study on the Effectiveness of Vibration Reduction with the Model of Various Hollows

K.Hayakawa, K.Hashimoto - Ritsumeikan University

Y.Kani, K.Takamura - Nippon Concrete Industries Co., Ltd.

## 2. 1. 1 衝撃加振実験による検証

振動実験に用いた模型土槽は図-1に示すように、長さ100cm、幅60cm、深さ60cmの鋼鉄製で、これに伝播振動の反射の影響を防止するため、厚さ約5cmの玉石を底部に敷き、この上に19.1mmフルイ通過分の乾燥砂質土(含水比2.1%、密度 $2.72\text{ g/cm}^3$ )を約50cmの厚さに充填して模型地盤を形成した。

モデルPC壁体は一辺が12cm正方形で、長さが55cmのコンクリート製である。中空部の内径は、3cm、6cm、および9cmの3種類とした。

加振方法は、重さ156gの錘を高さ7cmで自由落下させた衝撃加振である。振動計測には、振動レベル計(リオン製、VM52A)を用い、地表面上での振動加速度レベル(VAL)を計測した。

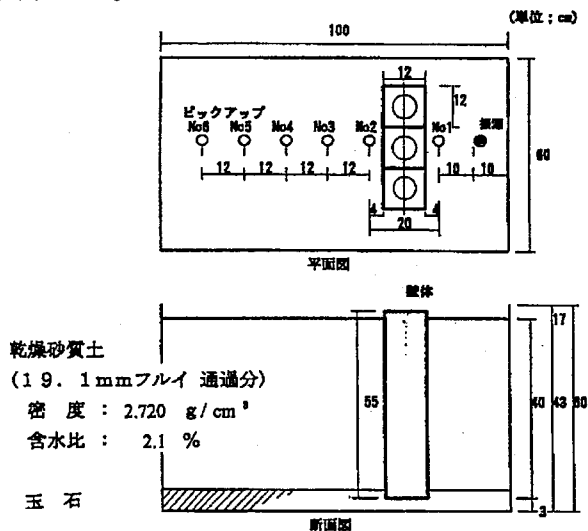


図-1 振動実験に用いた模型土槽

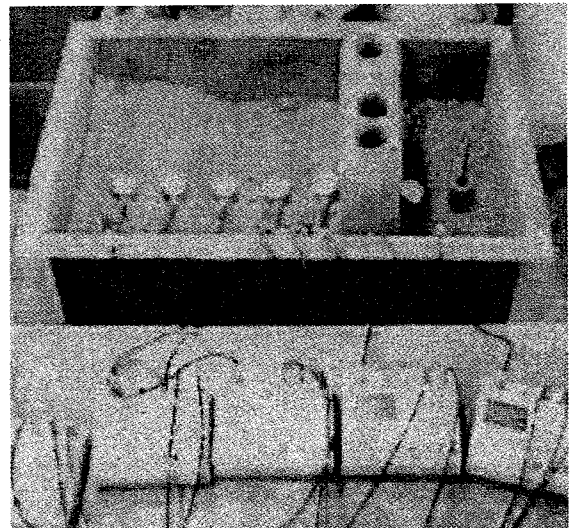


写真-1 衝撃加振実験の状況

各モデルPC壁体による6測点位置でのVALの距離減衰を図-2に示す。これより中空部の内径が大きいほど振動遮断効果が顕著であることがわかる。

また、振動遮断量と中空部の内径との関係では、図-3にみられるとおり3次曲線で近似されることから、内径の値を増すことにより振動遮断効果を急増させるものと考えられる。

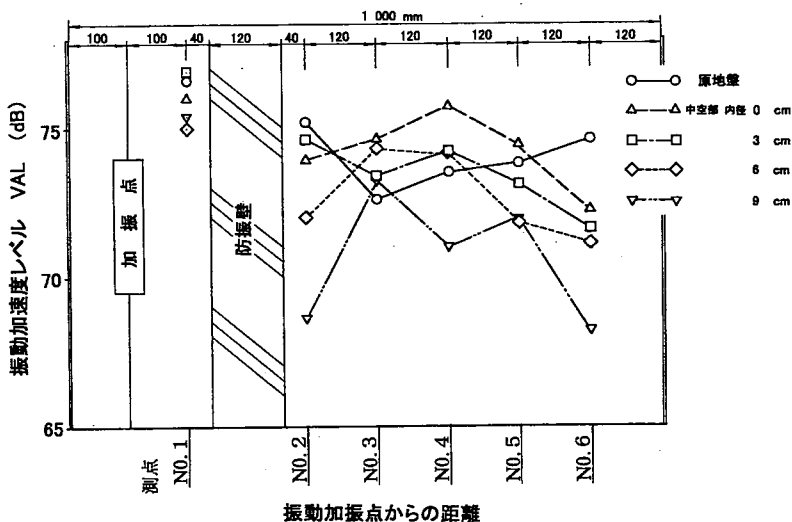


図-2 各測点位置での振動加速度レベルの距離減衰

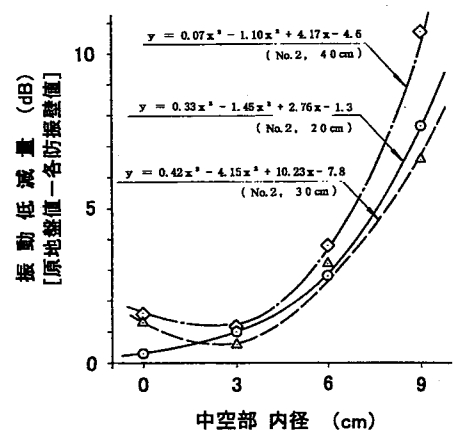


図-3 中空部の内径と振動遮断量との関係

## 2. 1. 2 定常加振実験による検証

実験に用いた模型土槽は衝撃加振実験と同じものであるが、伝播振動の反射の影響を防止するため、厚さ 8 cm のウレタンを底部および側面に張り付けた。そこに乾燥砂質土を約 40 cm の厚さに敷き詰めて模型地盤とした。

モデル P C 壁体の中空部の内径は、2 cm, 4 cm, 6 cm, 8 cm および 10 cm, の 5 種類とした。

加振方法は、電気式の加振装置 (IMV 社製, MODEL-PET-OA) により上下方向に連続的振動を発生させ、振動数を 50 Hz, 75 Hz, 100 Hz, 150 Hz, 200 Hz, 300 Hz の 6 段階とした。振動計測では、加速度計 (IMV 社製, 1 G タイプ) とアンプ (IMV 社製, VM - 5112) を用いて、サーモレコーダ (グラフテック社製) に波形を記録した。

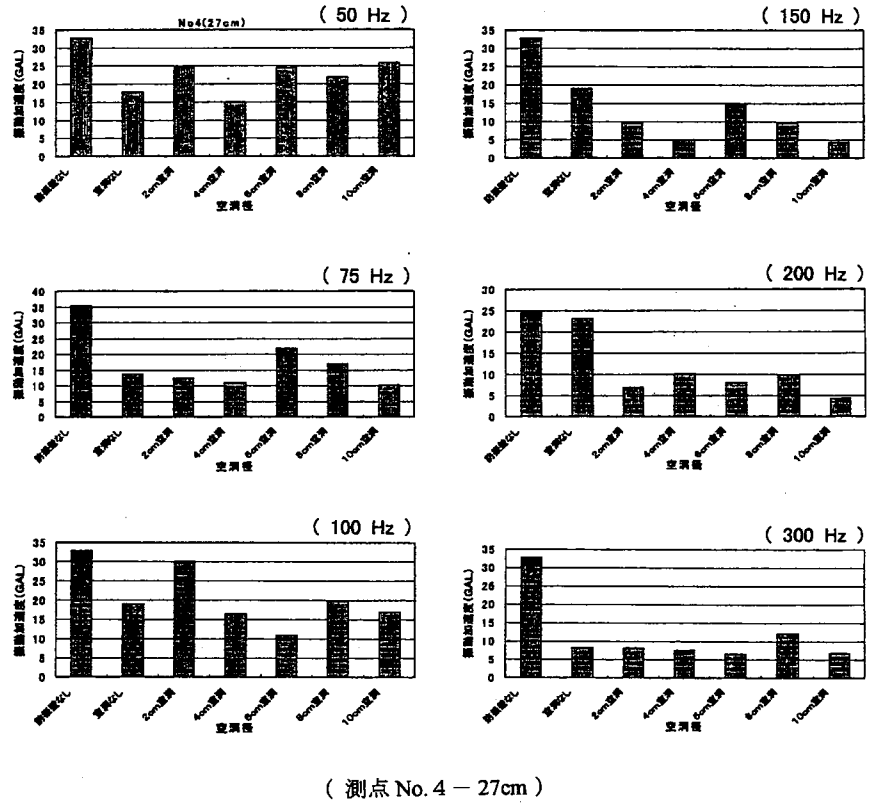


図 - 4 中空部内径の相違による振動数毎の振動加速度

図 - 4 に各振動数毎のモデル P C 壁体の振動加速度レベル値を示した。これより、壁体の背面直近部における振動低減効果をみれば、衝撃振動の実験と同様に中空部の内径が大きいほど顕著にその傾向が表れている。

また、各測点でのモデル P C 壁体毎の振動数と振動加速度低減量との関係を示す図 - 11 から、振動数により減衰特性に差があることが分かり、150 Hz の振動数については特に低減効果が大きいことが判明した。

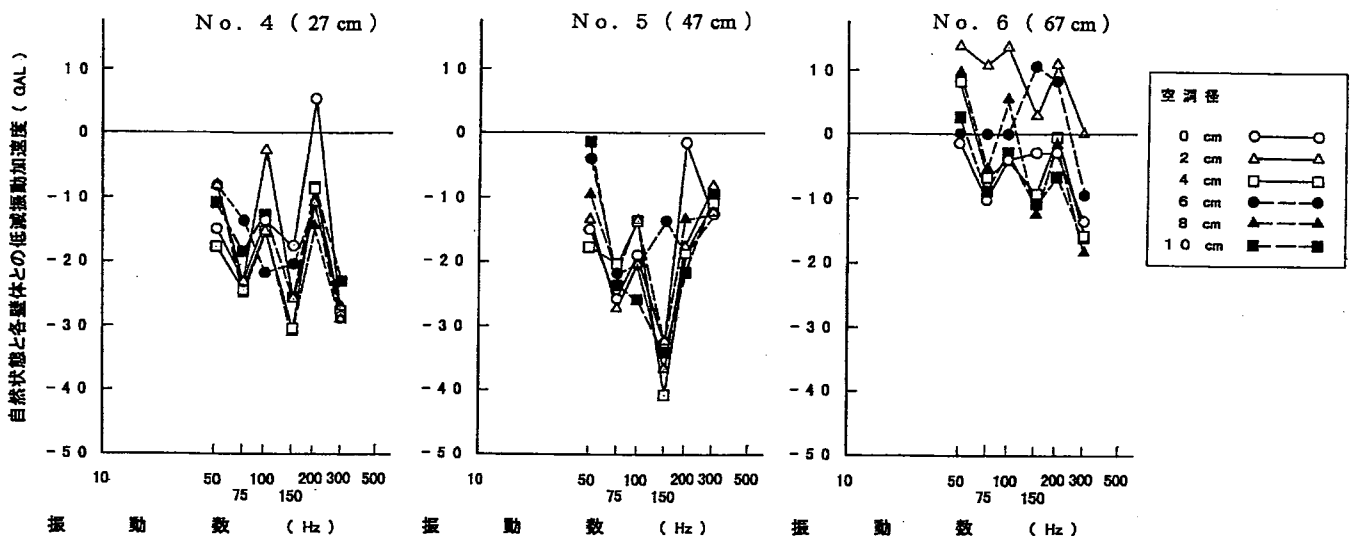


図 - 5 各測点での振動数と振動加速度低減量との関係

### 2. 1. 3 中空部の内径と伝播波動の波長との相関性の検討

模型土槽でのPC壁体モデルによる振動実験から、中空部の内径と振動低減効果には相関性がみられることが判明してきた。しかしながら、スケールダウンさせた模型土槽での実験結果と現地における振動試験の結果を同一の基準下で評価するためには、PC壁体の内径(D)と伝播波動の波長( $\lambda$ )との比で表し、無次元化して比較することが有効であると考えられる。

そこで、振幅軽減係数 ARF (Amplitude Reduction Factor) を下式で求め、(D) / ( $\lambda$ ) の関係を振動実験に用いた模型地盤の定常波動の伝播速度 6.7 m/sec をもとに、PC壁体モデルによる実験結果について検討し、図-6 に整理した。

$$ARF = \frac{\text{壁体有りの状態での振動加速度値}}{\text{壁体無しの状態での振動加速度値}} \quad (1)$$

(D) / ( $\lambda$ )  $\leq 0.1$  でのデータのばらつきが大きいですが、全体としての傾向を曲線の範囲としてとらえると、(D) / ( $\lambda$ ) の増大とともに振幅軽減係数 ARF が小さくなり、PC壁体の中空部内径が振動遮断効果に及ぼす影響が大きいことがわかる。なお、(D) / ( $\lambda$ ) = 0.2 程度を設定すれば、振幅を半減できることが読みとれる。

つぎに、PC壁体の設置間隔(S)と内径(D)との差を波長( $\lambda$ )で除して無次元化し、(D) / ( $\lambda$ ) をパラメータとして振幅軽減効果(1 - ARF)との関係を表したものが図-7である。

これからわかることは、PC壁体の中空部内径だけが振動遮断効果に影響するだけでなく、設置間隔も影響パラメータとなることが推定される。<sup>15) 17)</sup>

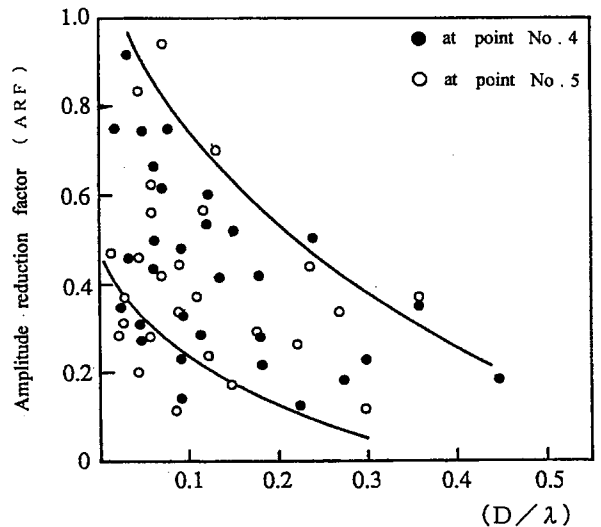


図-6 振幅軽減係数 ARF と D/λ の関係

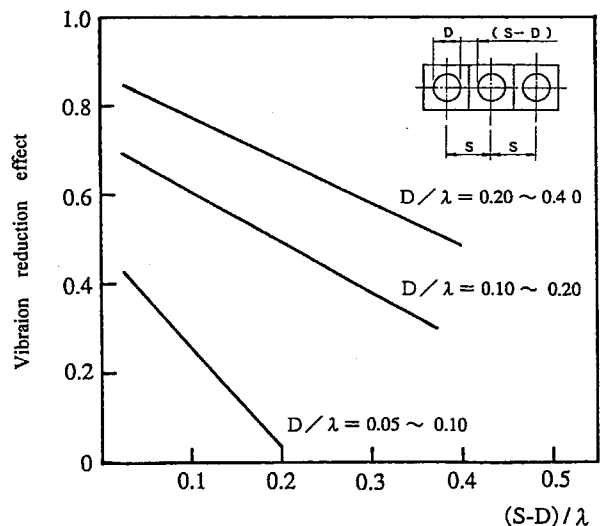


図-7 振幅軽減効果と (S-D) / λ の関係

### 2. 2 EPSブロック地盤における検証

使用した模型地盤は、縦 100cm、横 60cm、高さ 50cm の EPS ブロックである。その結果、①中空部の大きい壁体が、振動遮断効果において有意であることが確認できた。②本実験で得られた値と既往の実験式、および理論式との比較・評価を行った結果、既往の式が示す傾向と良く一致した。また、③模型と現場との相似性を関連付けることは非常に困難であるが、現場の状況や振動源に合わせて実験式の適用限界を設ければ、対応できるものと推察された。

### 3. 現場検証（各種遮断材の振動低減効果）

#### 3.1 現地振動調査による各種地中壁の比較

既往文献のデータを回帰的に整理し、地中壁設置前後の振動レベルの差を振動低減量として縦軸にとり、横軸に地中壁からの距離をとって振動低減効果を比較したのが図-8である。

この図より、地中壁による振動遮断効果がほぼ無くなる有効距離は、鋼矢板では約45m、コンクリートでは約90m、EPSでは100m以上となることがわかる。また、設置位置から2mの地点での低減効果では、PC壁体、コンクリート、空溝、鋼矢板、発泡（EPS）壁の順に大きいが、遠距離になるにしたがい、空溝、発泡（EPS）壁の効果が卓越してくる。これは地盤よりも波動インピーダンスの大きい材料であるコンクリートや鋼は、高い振動数の振動には遮断性がよいが、低振動数のものに対しては効果がいいためと思われる。<sup>9)~12)</sup>

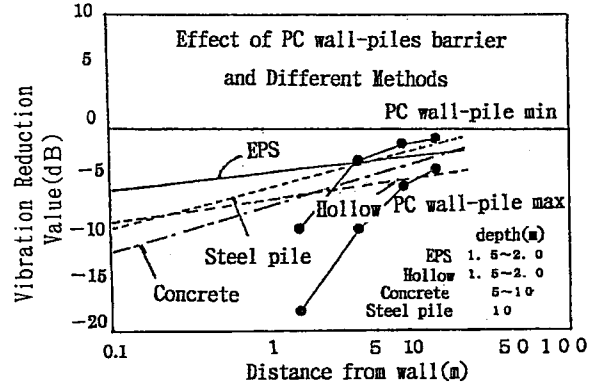


図-8 地中壁の材質による振動低減効果

#### 3.2 波動透過理論による各種地中壁の比較

地中壁の材料としては、EPS、コンクリート、鋼矢板を選定し、それぞれ単体で1mの壁厚とした場合と、厚さ50cmのEPSを厚さ25cmのコンクリートで挟んだ合成壁とを設定した。なお、地中壁の深さ、および長さは無限長とし、地盤のS波伝播速度は堅い地盤に相当する300m/sを条件に、以下の波動透過理論式により振動軽減効果を比較した。

図-9に示すように、地盤（密度 $\rho_1$ 、速度 $V_1$ ）中に地中壁（密度 $\rho_2$ 、速度 $V_2$ 、厚さ $W$ ）が介在するものとする、変位振幅 $'1'$ 、振動数 $f$  (Hz)の定常実体波が入射したとき、地中壁を透過して放射される振動の変位振幅 $'u_2'$ は下式で表せる。

$$u_2 = \frac{2\alpha}{\sqrt{(\alpha^2 - 1)^2 \sin^2 \frac{2\pi}{\lambda_2} w + 4\alpha^2}} \quad (2)$$

ここに、 $\alpha = \frac{\rho_1 V_1}{\rho_2 V_2}$ 、 $\lambda_2 = \frac{V_2}{f}$ 、 $\lambda$ : 波長

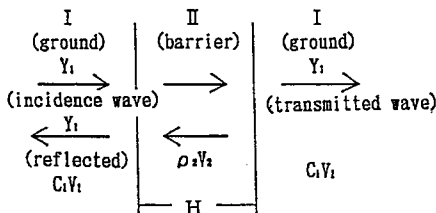


図-9 波動透過の模式図

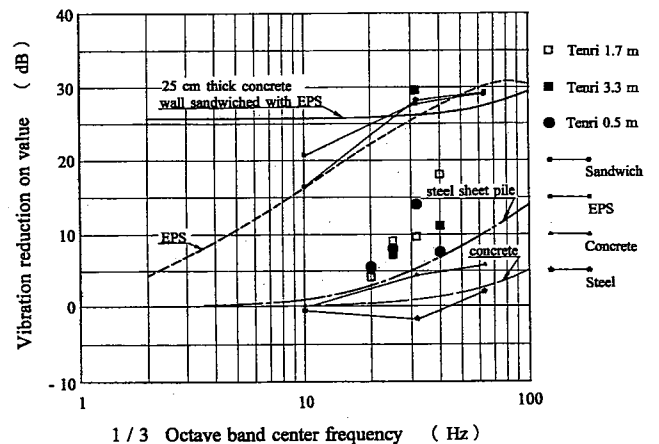


図-10 波動透過理論式による振動低減効果の比較

計算結果を示す図-10から、合成壁は低い振動数においても遮断効果が大きく、単体の比較ではコンクリート、鋼矢板、EPSの順に優位性がみられる。また、波動インピーダンスの比が小さいものは、広範囲の振動数で効果がある。<sup>9) 10) 12)</sup>

### 3.3 中空孔部材PC壁体の低減効果

前項の検証より、コンクリート系材料が振動遮断に有効であることが確認されたことから、コンクリート柱列壁の有孔構造

部材であるPC壁体について、現地調査結果から振動低減効果を検討した。<sup>5) 6)</sup>

図-11に、現地振動調査の一例を示す。

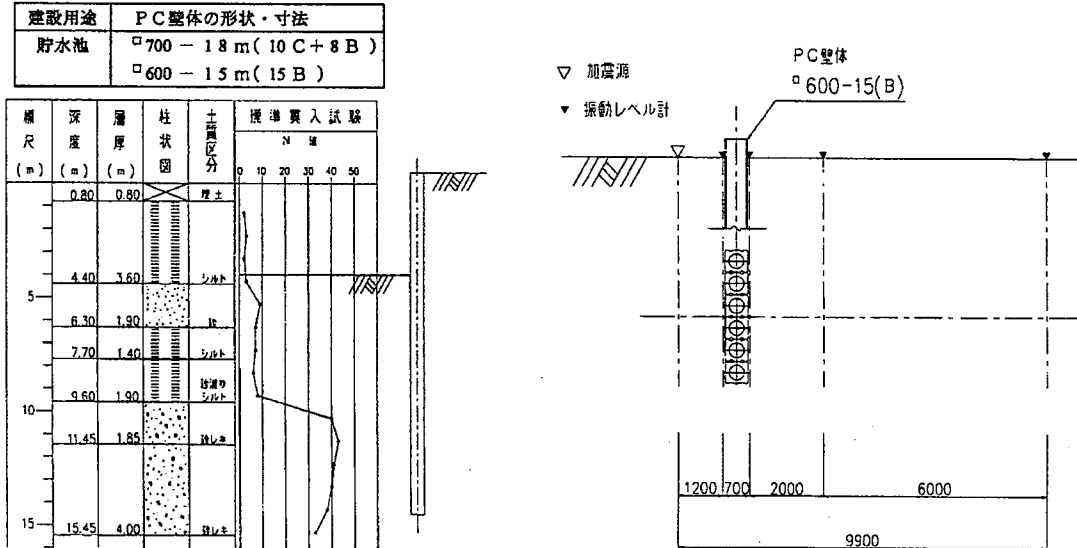


図-11 現地振動調査の一例

ここでは図-12に示すように、中空孔の状態に着目し、中空部と接合部の充填の有無を比較条件としたものである。

各ケースの振動加速度レベルの最大値について距離減衰をみると、PC壁体の有無による変化では2m地点で14~18dB, 4~8m地点では5~10dB低減されている。充填条件の相違では、全く充填を行わないケースについて最大の振動遮断効果を示し、4m地点で4dB程度である。

測定 ケース	振動遮断材 (PC壁体)	PC壁体の充填条件	
		接合部(グラウト)	中空部(モルタル)
ケース 1	○	○	○
ケース 2	○	×	○
ケース 3	○	○	×
ケース 4	○	×	×
ケース 5	×		

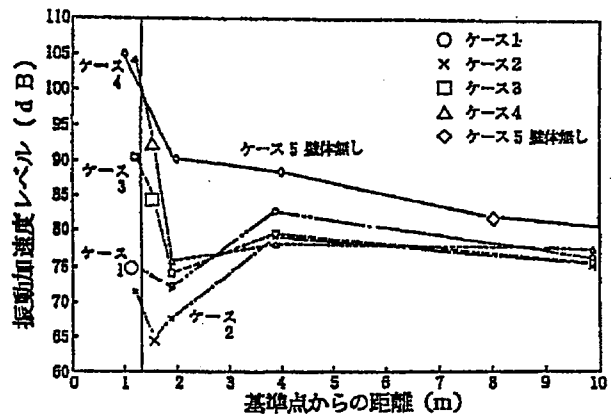
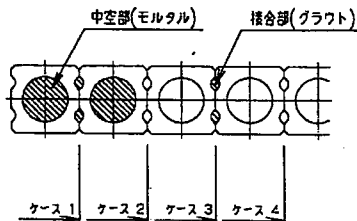


図-12 中空部充填の違いによる振動低減の比較

また、波動透過理論式によりPC壁体の中空部と接合部の充填条件の相違を考慮したケースの計算結果を図-13に示す。ここでは地盤のS波速度100m/secと300m/secの2ケースについて計算し、FFTアナライザによる1/3オクターブバンド振動数分析実測値との比較を

試みた。P C 壁体の中空部と接合部を充填しないケースについては中空部を空溝と仮定し、算出値を空溝の振動低減効果に関する実験式で補正して求めた。これより、いずれも 31.5 Hz の特異点を除外すれば、1 ~ 80 Hz の振動数域において良く一致しており、P C 壁体による振動遮断効果の評価が波動透過理論の適用により可能と考えられる。

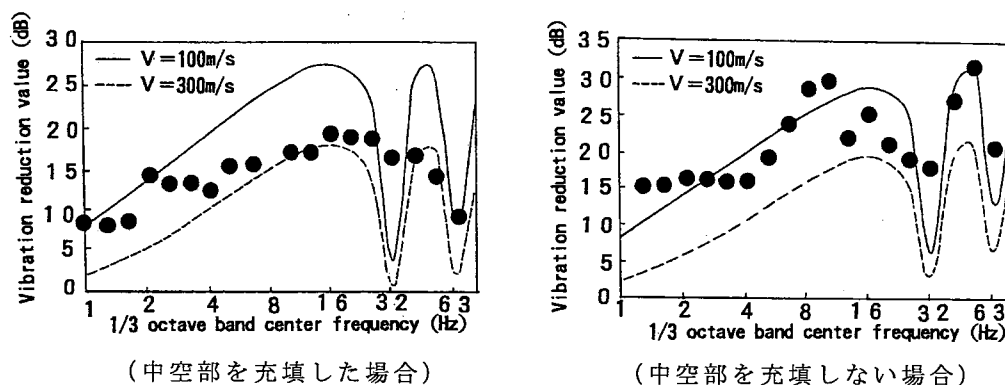


図-1.3 P C 壁体の充填条件の相違を考慮した波動透過理論式による計算比較

#### 4. まとめ

中空部分を有するコンクリート製の擁壁部材である P C 壁体の振動遮断効果に関して、中空部の及ぼす効果についてモデル P C 壁体による検証および現場振動実験により検討した。その結果、① 衝撃加振動、定常加振動のいずれの実験においても、中空部の内径の増大に伴い振動遮断効果が顕著になることが判明した。② 中空部径と伝播波動の波長との比とを無次元化にして振動遮断効果の関係を検討したが、内径の及ぼす影響が大きいこと、P C 壁体の設置間隔も大きな影響パラメータになることが判明した。また、③ 既往文献データの回帰的処理や波動透過理論によるシュミレーション解析および現地調査結果から、中空部を有する波動インピーダンスの大きいコンクリート材料である P C 壁体が振動遮断に有効であることが判明した。

#### 参考文献

- 1) 杉谷和弘・早川 清・可児幸彦：P C 壁体の振動遮断特性に関する計測事例，土木学会第 51 回年次学術講演会（第 IV 部門），PP. 608 ~ 609，1996.
- 2) 平岩直樹；深谷高架橋における振動対策について（P C 壁体の施工），平成 8 年度建設省中部地方建設局管内事業研究発表会論文集，PP. 125 ~ 130，1996.
- 3) 可児幸彦・薄葉信一・早川 清・杉谷和弘：P C 壁体の振動遮断特性に関する計測事例（その 2）土木学会中部支部年次学術講演会（第 III 部門），PP. 787 ~ 788，1997.
- 4) 早川 清・松原範幸・可児幸彦・室住篤子：P C 壁体の背面盛土の有無による防振特性，第 33 回地盤工学研究発表会，PP. 1169 ~ 1170，1998. 7.
- 5) 松原範幸・可児幸彦・早川 清：P C 壁体を用いた地盤振動の遮断効果に関する計測事例，基礎工，PP. 120 ~ 123，1997. 8.

- 6) 杉谷和弘・早川 清・可児幸彦：P C 壁体の振動遮断特性に関する計測事例(その5)，土木学会第52回年次学術講演会(第Ⅲ部門)，PP. 312～313，1997. 9.
- 7) 早川 清・杉谷和弘・薄葉信一・可児幸彦：P C 壁体による地盤振動の遮断効果の評価について，土木学会第52回年次学術講演会(第Ⅲ部門)，PP. 312～313，1997. 9.
- 8) 可児幸彦・村松竹司・室住篤子：盛土道路部におけるP C 壁体の地盤振動遮断効果に関する実験，土木学会関西支部年次学術講演会(第Ⅳ部門)，PP. 63-1～2，1998. 5.
- 9) Hayakawa,K., Kani,Y., Usuba,S., Matsubara,N.and Woods, R.D. : Isolation Effect of PC Wall - piles on Wave Propagation through the Ground, JSCE 24th Earthquake Engineering Simposium , PP. 677～680 , 1997.
- 10) Hayakawa,K., Kani,Y., Matsubara,N., Matsui,T. and Woods, R.D. : Ground Vibration Isolation by PC Wall - piles , Proceeding, Fourth International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering, St. Louis, Missouri , PP. 672～677 , 1998. 3.
- 11) 早川 清・松原範幸・可児幸彦・漆畑 勇：P C 壁体の設計・施工・および振動遮断効果の検討，立命館大学理工学研究所紀要 第58号，PP. 123～130，1999.
- 12) 早川 清・可児幸彦・松原範幸：P C 壁体による地盤振動の軽減効果とその評価，土木学会構造工学論文集，Vol. 45 A , pp . 713-718，1999.
- 13) 早川 清・前川幸裕・可児幸彦・松原範幸・漆畑 勇；地盤振動の遮断法に関する模型実験，平成11年度土木学会関西支部年次学術講演会，Ⅲ-58-1～2，1999.
- 14) 早川 清・漆畑 勇・可児幸彦・松原範幸：壁体モデルを用いた振動遮断効果に関する実験，第35回地盤工学研究発表会，PP. 151～152，2000. 6.
- 15) 早川 清・前川幸裕・漆畑 勇・可児幸彦：模型P C 壁体を用いた振動遮断効果に関する実験，平成12年度土木学会関西支部年次学術講演会，Ⅲ-34-1～2，2000. 5.
- 16) 早川 清・前川幸裕・可児幸彦・漆畑 勇：模型実験によるP C 壁体の振動遮断効果，土木学会第55回年次学術講演会，Ⅲ-A-130，2000. 9.
- 17) Kani,Y.,Hayakawa,K.,Maekawa,Y. : An Experimental Study on Ground Vibration Isolation using a model (Second Report)，Proceedings of Inter. Noise 2000，PP. 2020～2023，2000. 8.