The Japanese Geotechnical Society

発泡スチロールによる地盤振動の低減効果に関する実験

On the Vibration Reduction Experiment by Expanded Poly-styrol Block

早川　清（はやかわ　きよし）
立命館大学助手　理工学部土木工学科

天野　勲（あまの　いさお）
立命館大学大学院理工学研究科　土木工学専攻

竹下貞雄（たけした　さだお）
立命館大学教授　理工学部土木工学科

1. はじめに

交通機関，建設工事および工場機械などによって発生される地盤振動が，近傍の住民に及ぼす影響の大きさから公害問題として取り上げられるようになってから久しい。しかしながら，依然として都市内の高速道路沿道においては，低レベルの地盤振動であっても木造家屋の共振現象などの影響もあり，未解決の問題として潜在しているようである。一方，最近は都市交通の円滑化を図るために，道路と鉄道の連続立体交差化工事の機会が増加している。この場合には，鉄道営業を継続しながらの工事となるために，やむを得ず仮線を民家側に近づけて敷設することもあり，仮線を走行する列車による地盤振動対策が重要な問題となっている。

一般的にこれらの地盤振動の対策方法としては，振動源自体に対策を施すことが最良であるが，間接的対策として振動源より適当な距離をとり，距離による減衰効果を利用する方法も有効である。しかしながら，このための緩衝地帯の設置が不可能なケースや，距離による減衰の効果のみでは不十分なケースでは，振動の伝播経路に空溝や地中壁などを設け，波動の干渉効果を利用する方法[1),2),3)]も試みられてきており，一部は実施工されて減衰効果が確認された事例[4),5)]も報告されている。

この場合の地中壁材料としては，波動透過理論より音響インピーダンスの小さい合成樹脂系の発泡材が，コンクリートなどより有効とされている。このうちの発泡スチロール（Expanded Poly Styrol，以下略して EPS と呼ぶ）は，断熱材，緩衝材として広く一般に利用されているが，最近はその軽量性，耐圧縮性，自立性などの特徴を生かして，軟弱地盤での土木構造物の構築材料としての適用事例[6)]も急増してきている。道路関係では，沼津バイパスの道路改良舗装工事，新潟県の県道新設工事などへの利用例があり，鉄道関係では軌道下に敷設された事例[7)]も見受けられている。

このように，EPS をサンドマットのように敷設した場合において，この道路上や軌道上を走行する車両によって発生される地盤振動の伝播性状や振動の低減効果の有無については未解明な問題であると考えられる。EPS の防振マットとしての有効性が確認されれば，狭小な工事現場での施工性が簡単であることから，利用度合も増すものと思われる。

そこで本研究では，EPS の振動伝播特性と防振マットとしての有効性を判断するための第1段階として，室内模型による振動実験を行った。

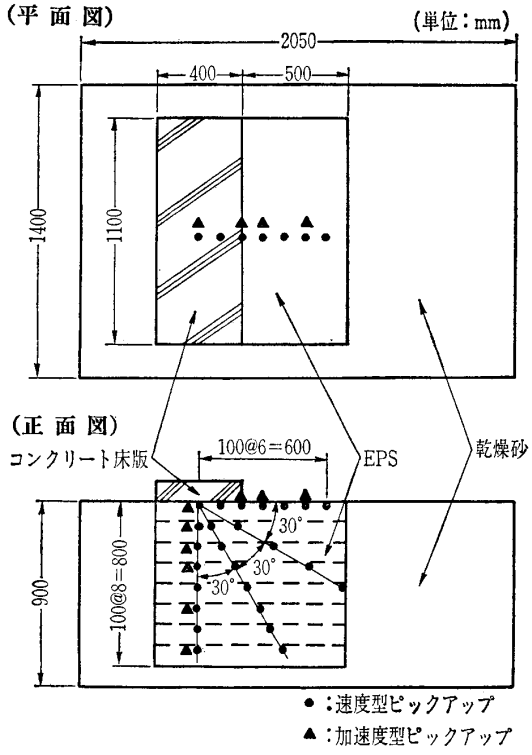
2. 実験方法

2.1 実験用の土槽と EPS 材料

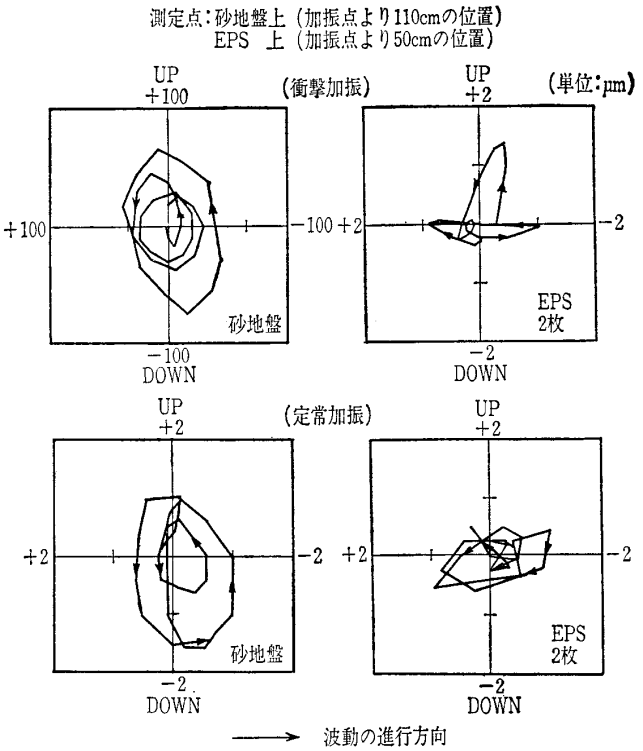
実験に用いた土槽は，図—1に示すような 205×140×90 cm のコンクリートブロック製である。この中に EPS ブロックを入れ，EPS の周囲には密度 1.4 t/m³，比重 2.68，含水比 0.64％の乾燥砂を充填した。この砂は，土槽の側面および底面からの反射波の影響を軽減するために用いたものである。EPS はいずれも型内発泡法によって製造されたもので，実験 1[8)] では ρ=0.015 t/m³，寸法 110×95×40 cm のブロックを1枚および2枚重ねて使用した。実験 2[9)] では，EPS の深さ方向の振動伝播特性を詳細に知ることを目的として，ニクロム線で 110×90×10 cm のサイズにカットした EPS ブロックを緊結金具

NII-Electronic Library Service

The Japanese Geotechnical Society



図—1　測定概要図（実験2）



図—2　砂地盤上および EPS 上の質点の運動軌跡（実験1）

で固定し，8枚重ねて使用した。いずれの実験でも，EPS 上には厚さ 10 cm のコンクリート床版を置いて，この中心上を加振点とした。なお，このような模型実験では，相似性の問題とこれに加えて振動低減効果には防振材の密度と厚さの影響が大きいという問題が考えられる。したがって，本実験では実際の道路材料として使用されている密度の EPS ブロックを使用し，寸法を可能な限り実物大に近づけることとした。

2.2　加振方法と振動の計測方法

（実験1）　衝撃加振方法には，重さ 2.5 kgf の重錘を高さ 5，10，15 cm から自由落下させる方法を用い，定常加振方法では不平衡マス型加振機を用いて，鉛直方向に 16，18，20 Hz で加振することとした。この場合，衝撃加振方法は道路上の車両が不陸部を走行する状態，定常加振方法は平坦路面を走行する状態を想定したものである。

（実験2）　加振方法は基本的に実験1と同様であるが，衝撃加振に用いた重錘の重さ（5.9 kgf）と落下高さ（0.9，1.8，3.6 cm）が相違している。実験2でのピックアップの配置は図—1に示すように，速度型を水平軸より 30° 間隔に，加速度型を水平方向および鉛直方向の 10 cm 間隔の位置にセットした。実験1では，主に EPS 表面上の振動伝播特性を知る目的で実験を行った。実験2では上述の結果をふまえて，実験1での検討項目に EPS の深さ方向における振動伝播特性を解明するための実験項目を追加した。したがって，実験1と2で共通する EPS 表面上の振動伝播特性については，実験2の結果を用いて考察した。ただし，表面上の波動の運動軌跡（図—2に示す）は，実験1で得られたものである。

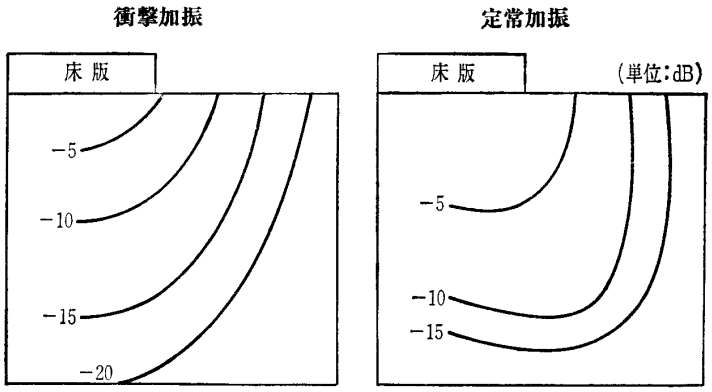
3.　実験結果および考察

3.1　表面上の質点の運動軌跡

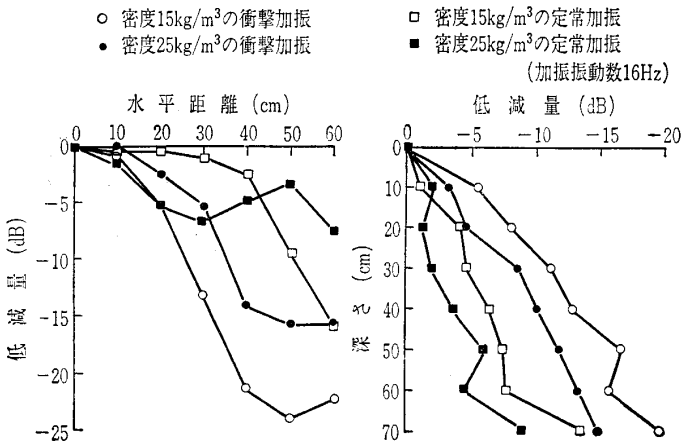
図—2は，EPS と砂地盤の表面上にセットした速度型のピックアップによる鉛直および水平2方向，計3方向成分の同時測定記録から 1×10^{-3}(s)間隔で振幅を読み取って，質点の運動軌跡を描いたものであり，左側が砂地盤上の加振点より 110 cm の位置の，右側が EPS 上の加振点より 50 cm の位置での結果である。砂地盤上の運動軌跡は，衝撃加振，定常加振共に楕円形の形状を呈し，波動の進行方向に対して逆回転する特徴を示していることから，レイリー型の表面波が卓越しているものと考えられる。一方，EPS 上の運動軌跡は，定常加振の鉛直方向の振幅が EPS の吸振効果のためか小さくなる傾向にあるが，砂地盤と同様にレイリー波的と考えられ

NII-Electronic Library Service

The Japanese Geotechnical Society



図—3　EPS 内の等振幅分布状況（実験２）



図—4.1　EPS 表面上の振動減衰（実験２）

図—4.2　EPS 深さ方向の振動減衰（実験２）

る。衝撃加振では振動の減衰が著しく，この傾向が明りょうでなくなる様相にある。

3.2　EPS 内の振動減衰

図—3は，5 dB注1)ピッチでの振幅のコンターを描いたものである。これは，加振点に最も近い床版直下の測定点を基準点として，各測定点の速度振幅をこの基準点の速度振幅で割って対数表示したものである。この図から，EPS は加振方法の相違によらず，ほぼ同心円状に振動を拡散することが見受けられるが，減衰割合は EPS の表面方向が深さ方向に比較してやや大きくなる特徴が分かる。

定常加振の場合はコンクリート床版直下での減衰割合と床版端部から斜めの深さ方向の減衰割合が相違している。この一因は加振エネルギーが大きすぎたために，EPS 上で床版ががたつきを生じ，特に床版端部が新たな加振源になったことによると考えられる。

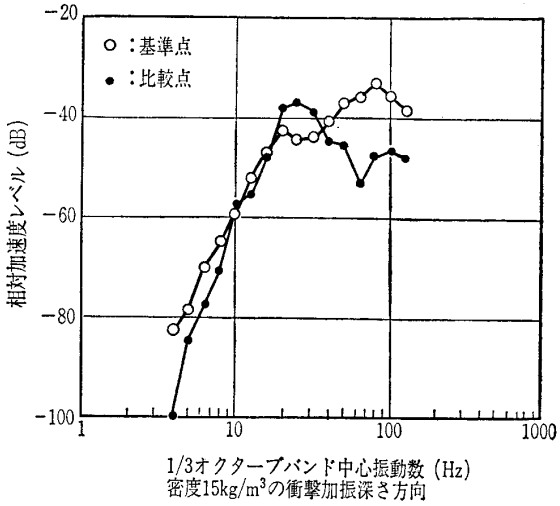
3.3　EPS 表面上および深さ方向の振動減衰

図—4.1は，EPS 表面上の振動減衰を示したものである。距離と振動減衰の対応は，定常加振の $\rho=0.025\ t/m^3$ の結果が著しく相違しているのでこれを除外すると，全体的な傾向として距離が10 cm 増加すれば，定常加振の $\rho=0.015\ t/m^3$ で約 3 dB，衝撃加振の $\rho=0.015\ t/m^3$ で約 5 dB，$\rho=0.025\ t/m^3$ で約 4 dB 低下するものと見積もられる。

一方，図—4.2は深さ方向の振動減衰を示したものである。深さ方向の振動減衰量と深さとの関係は良好な相関性を示し，深さが 10 cm 増加するごとに，衝撃加振 $\rho=0.015\ t/m^3$ で 2.3 dB，$\rho=0.025\ t/m^3$ で 2.0 dB，定常加振 $\rho=0.015\ t/m^3$ で 1.8 dB，$\rho=0.025\ t/m^3$ で 1.2 dB 低下するものとなる。ちなみに，深さと振動減衰量との相関係数は，いずれも 0.9 以上となっている。表面上の結果も含めて，EPS の密度が小さいほど，振動減衰量が大きくなる傾向にある。

3.4　衝撃加振時の振動スペクトル

測定した加速度の磁気録音記録を FFT アナライザーで分析し，1/3オクターブバンドスペクトル注2)を求めた。その中から，衝撃加振の $\rho=0.015\ t/m^3$ における基準点とこれより 70 cm 離れた比較点での結果を示したものが図—5である。4～32 Hz の振動数範囲では，両者の相対加速度レベルはほとんど同



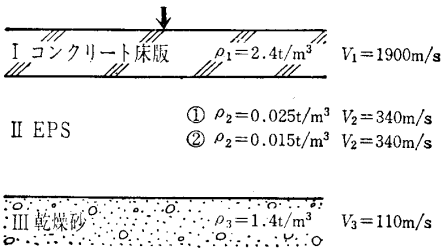
図—5　衝撃加振時のスペクトル（実験２）

注 1)　ここでの dB は次式で定義するものである。$10\log_{10} A_1/A_2$，A_1：基準点より各距離の測定点の速度振幅，A_2：基準の測定点の速度振幅

注 2)　中心振動数 f_0 が，その上下限の振動数 f_1，f_2 と $f_0=2^{1/6}$，$f_1=f_2/2^{1/6}$ で示される振動バンドに分けて分析したスペクトル

NII-Electronic Library Service

The Japanese Geotechnical Society



図—6 波動の透過計算モデル（実験2）

様の傾向にあるが，32 Hz 以上では平均で約 6 dB の振動低減量が生じている。

3.5 振動低減効果の検討

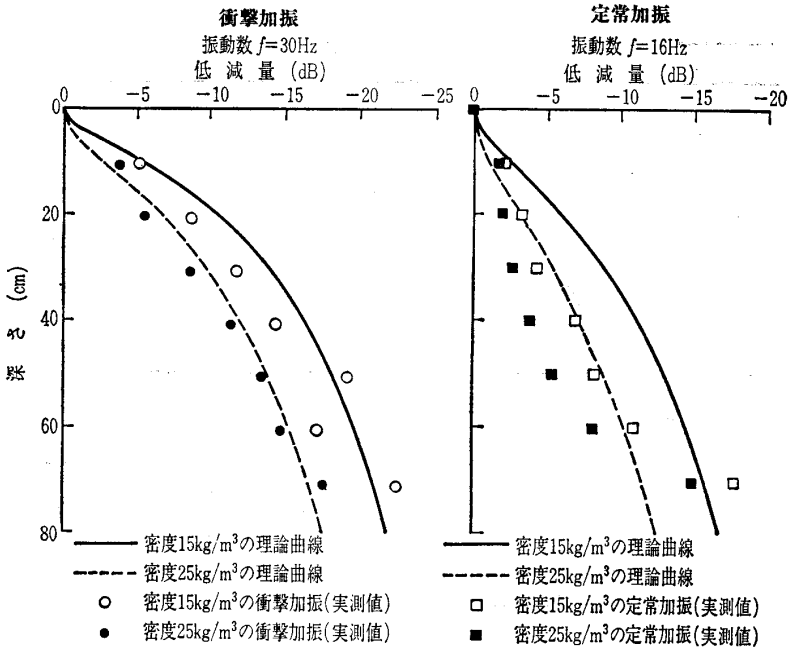
EPS の深さ方向の振動低減効果について，波動透過理論による計算値と実測値との対応を検討した。計算に用いたモデルは**図—6** に示すように，コンクリート床版—EPS—砂地盤の3層モデルである。計算に必要な各媒質の密度とS波速度は，土槽実験による実測値と既往の数値例を参考にして，図中に示すような値とした。このようなモデルでの振動伝達率[10]は，良く知られているように次式で求められる。

$$\tau=\frac{4}{\left\{(1+\alpha_{12})^2(1+\alpha_{23})^2+(1-\alpha_{12})^2(1-\alpha_{23})^2+2(1-\alpha_{12}^2)(1-\alpha_{23}^2)\times\cos\frac{2H\omega}{100\times V_s}\right\}^{1/2}}$$

ここに，τ：振動伝達率，α_{12}：第1層と第2層のインピーダンス比，$\alpha_{12}=\rho_2V_2/\rho_1V_1$，$\alpha_{23}$：第2層と第3層のインピーダンス比，$\alpha_{23}=\rho_3V_3/\rho_2V_2$，$\rho_i$：第 i 層の密度(t/m³)，V_i：第 i 層のS波速度(m/s)，H：中間層の厚さ（cm），V_s：中間層のS波速度(m/s)，ω：角振動数（rad/s）

衝撃加振時の卓越振動数を 30 Hz，定常加振時の振動数を 16 Hz として，上式により振動伝達率を求めて対数表示した計算値が，**図—7** 中の曲線である。衝撃加振での $\rho=0.015$ t/m³ の実測値は，計算値より 2.5～3 dB 小さくなる傾向にあるが，両者の形状は類似している。$\rho=0.025$ t/m³ の結果は，理論曲線と非常に良く一致している。一方，定常加振ではEPS の密度にかかわらず，平均で 3～4 dB 実測値が理論値より小さくなっている。この理由としては，コンクリート床版が二次的な加振源として挙動したことの影響が大きいものと推量している。

本実験結果の検討に当たって，加振点直下の深さ方向における振動低減効果を波動透過理論と照合しているので，検討内容を一次元モデルとして取り扱った。この場合には反射波の影響の有無が重要であるが，実験結果より反射波の影響はこの検討ラインより水平方向に 50 cm 以遠で発生しているので，ここでの検討結果への影響は少ないものと考えた。



図—7 波動透過理論による振動低減量と実測値との比較（実験2）

最後に，本実験で用いたような多孔質媒体中での振動伝播の解釈に関して，一般に地盤振動の減衰の考察に適用されている波動のエネルギー変換による内部減衰と同等に評価し得るのかどうかについては，本実験結果のみでは未解明であった。本研究の第2ステップとして，EPS を実施工した現場実験を行っているので，本論で得られた成果もふまえて，EPS による振動低減のメカニズムをさらに明確にしたいと考えている。

4. まとめ

EPSブロックの振動低減効果の判定を目的とした室内実験結果より，以下の事項が理解された。

(1) 振動のコンター形状より，EPS の表面方向の振動減衰は，深さ方向のものよりやや大きくなることが見られた。

(2) 質点の運動軌跡から検討した結果，衝撃加振，

NII-Electronic Library Service

The Japanese Geotechnical Society

定常加振共に，砂地盤ではレイリー型の表面波が卓越することが知られた。EPS内ではやや信頼性に欠けるが，同様の波動の伝播されることが確かめられた。

(3) EPSによる振動減衰量は，表面上では加振点よりの距離が10 cm増加するごとに，定常加振では3 dB，衝撃加振では約4～5 dBである。同様に深さ方向では，深さが10 cm増加するごとに，定常加振では約1～2 dB，衝撃加振では2 dB程度となって，EPSの密度が小さいほど，減衰量は大きくなる。

(4) 深さ方向のEPSの振動低減量を，波動透過理論による計算値と照合した結果，衝撃加振では両者の傾向は良い一致を示したが，定常加振では実測値が計算値より3 dB程度小さくなった。この原因は，実験時の加振方法の影響によるものと考えている。

参考文献

1) 畠山直隆・早川　清：地中防振壁による地盤振動の軽減に関する実験，土木学会第26回年次学術講演会講演概要集，Ⅲ-37，pp. 115～116，1971.

2) 早川　清・北村弘和・畠山直隆：空溝による振動伝播の遮断効果について—質点モデル法による数値計算結果—，立命館大学理工学研究所紀要，第41号，pp. 93～104，1982.

3) 早川　清：波動の伝播特性と遮蔽物による回折効果に関する模型実験，第7回日本地震工学シンポジウム論文集，pp. 1129～1134，1986.

4) 吉岡　修・石崎昭義：空溝・地中壁による地盤振動低減効果に関する研究—東海道新幹線大草高架橋区間—，鉄道技術研究報告，No. 1147，1980.

5) 建設省土木研究所：道路交通振動の軽減対策に関する研究，土研資料，第1736号，1981.

6) 嶋津晃臣：軽量盛土工法の進展，土と基礎，Vol. 37，No. 2，pp. 7～11，1989.

7) Allan Ekström. Roland Tränk: Plastic foam in road embankments—two case histories from Sweden, Plastic foam in road embankments, Oslo, Norway, 25, June, 1985.

8) 早川　清：発泡スチロールによる地盤振動の低減対策について，第23回土質工学研究発表会講演集，753，pp. 1979～1982，1988.

9) 天野　勲・早川　清・竹下貞雄：模型実験による発泡スチロールの振動低減効果について，平成元年度土木学会関西支部年次学術講演会講演概要集，Ⅲ-16，pp. 1～2，1989.

10) 山原　浩：環境保全のための防振設計，彰国社，pp. 359～369，1974.

（原稿受理　1989. 7. 31）

NII-Electronic Library Service