

地盤振動の計測事例と振動低減法の検討

立命館大学工学部土木工学科 正会員 早川 清
日本コンクリート工業(株) ○漆畑 勇
日本コンクリート工業(株) 松原範幸
日本コンクリート工業(株) 正会員 可児幸彦

1. はじめに

地盤振動の伝播経路対策には、空溝、地中壁（コンクリート、発泡スチロール、ウレタン等）矢板およびコンクリートと発泡スチロールやウレタンとの合成壁などの適用が考えられている。本報告では、2件の計測事例を紹介するとともに、多数の研究事例から各対策工法による振動遮断効果の比較・検討を行い、最適な工法について考察した。

計測事例（その1）は、草津市内幹線道路の沿道家屋に居住する住民より、大型車両の走行時に発生する地盤振動への苦情問題が生じているものである。ここでは、該当個所の代表的な木造家屋内および沿道地盤における発生振動を調査した結果より、地盤から家屋内への振動伝播特性、特に家屋による振動の増幅特性について考察した。

計測事例（その2）は、第二東名高速道路豊田ジャンクションの工事に関連して、鋼管矢板の打ち込み時に発生する地盤振動を調査する機会を得たものである。この調査工事では、パイルドライバーの施工性と発生する地盤振動の関係を把握するために、打ち込み能力の異なる二つのバイプロパイルドライバーが使用された。計測結果より、バイプロパイルドライバーの打ち込み深さと発生振動値、ドライバーの種類による振動値の変化、および地盤振動の遠距離伝播特性などについて検討した。

2. 計測事例

2. 1 計測事例（その1）¹⁾

2. 1. 1 調査方法の概要

当該都市計画道路は、平成9年11月に大津湖南線とのL字型交差道路として供用開始されている。地盤振動の測定点は、道路端部、道路端部より2.3m、4.4m（家屋の入り口）、14.7mの地点および家屋内の1F、2Fの計6箇所である。振動レベル計（VM-62A：リオン製）の出力をデータ・レコーダに磁気録音し、レベル・レコーダ上に再生してVAL値（振動加速度レベル）を求めた。用地境界である道路端部では、別途の24時間連続測定結果より L_{10} （80%レンジの上端値）が求められている。これらの測定と同時に、8mmビデオカメラを用いて走行自動車の撮影を実施しており、走行車種と走行路線の確認を行っている。

2. 1. 2 測定結果および考察

(1) 振動レベル値 L_{10} の時刻変動

道路端部での L_{10} 値の時刻変動を図-1に示した。参考のために、この図中には L_{max} （最大値）、 L_{50} （中央値）、 L_{10} 、 L_{90} （80%レンジの上・下端値） L_{min} （最小値）も示している。測定時刻に係わらず L_{10} 値は30～34dBであり、人体への有感限界値をはるかに下回っている。最大の交通量は500台/時間（大型車混入率3%程度）であり、17:00～18:00帯に見られている。一方、最少の交通量は20台程度（大型車混入率10%程度）であり、3:00～4:00帯に見られている。早朝や深夜にも大型車（トレーラー等）の通行があるために、 L_{max}

値は50 dBを越えている。

(2) 各測定点での振動加速度レベル

73個の単独車輦走行時の振動加速度レベルのピーク値を求め、地表面上の3地点と家屋内の1F、2Fにおける変化を示したものが図-2である。Zは(鉛直方向成分)、Xは(水平道路平行方向成分)、Yは(水平道路直角方向成分)である。家屋による振動増幅は2FのY、Z成分に顕著であり、増幅量は9~12 dBである。

(3) 振動加速度スペクトル

FFTアナライザを用い、振動加速度記録の1/3オクターブバンドスペクトル分析を行った。図-3は、Z方向成分について、地表面上から家屋内への振動伝播経路におけるスペクトル変化を示したものである。これらから、家屋内では、最大レベルの振動数成分は2F、1Fに共通して63 Hz付近に見られる。これらの振動数成分は、地表面上では卓越していない。したがって家屋構造上の何らかの原因により生じたものと思われる。また、10 Hz付近のレベルのピークは、自動車のバネ下振動に起因して発生したものと考えられる。

(4) 家屋内での振動増幅量

単独車輦走行時の振動加速度レベル値について、地表面上と家屋内との振動レベル(Z方向)での振動増幅量の累積頻度分布を図-4に示した。中央値(累積度数50%)で述べると、地表面上と家屋内1Fとの振動増幅量は、7.5 dBである。この場合の振動増幅量は、一般的に知られている木造家屋の振動増幅量の範囲²⁾に属していると考えられる。

2.2 計測事例(その2)³⁾

2.2.1 測定概要および使用機器

地盤振動の測定位置を図-5に示した。鋼管矢板の打ち込み位置の左右の方向に、A測線(5ポイント)とB測線(1ポイント)の2測線を設定して、鉛直方向の振動レベルを同時計測した。使用した計器は、振動レベル計(VM-52A:リオン社製)6台とレベルレコーダ(LR-04:リオン社製)5台である。使用した鋼管は直径800 mmで、長さ9.5 mと12 mのものを溶接しているため、総延長は21.5 mである。パイロパイルドライバーには、電気式パイロ(VM2-25000A:150 kW)と油圧式パイロ(PTC100HDRK:451 kW)を用いている。

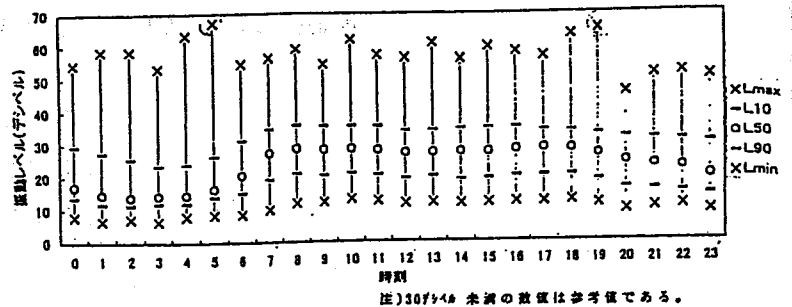


図-1 振動値の時刻変動

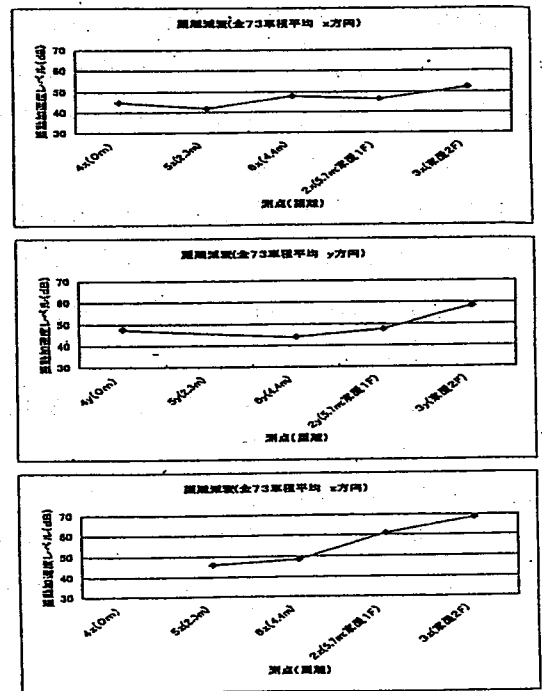


図-2 各測定点での振動加速度レベル

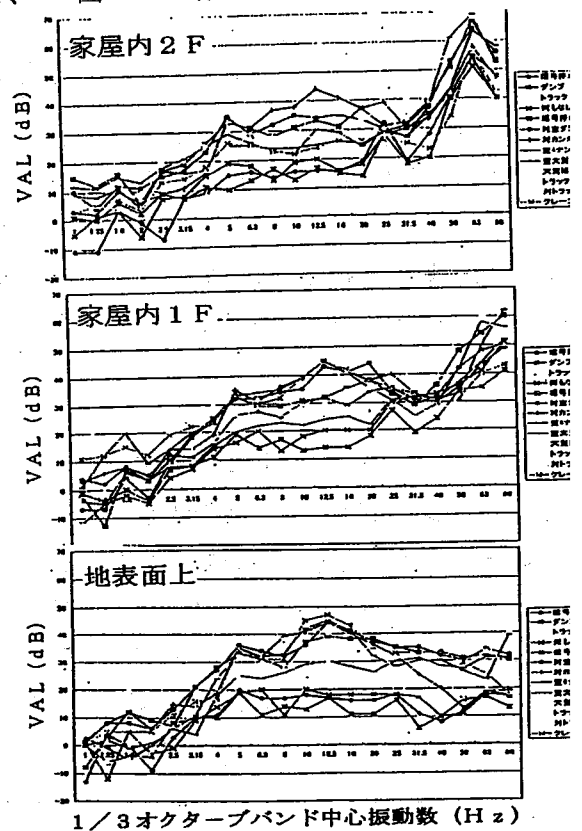


図-3 1/3オクターブバンドスペクトル

2. 2. 2 測定結果および考察

鋼管矢板の打ち込み位置のボーリング柱状図を図-6に示す。深さ3.5m~6mの砂礫層を挟んで、地表から深さ1.3mまではシルト層が中心である。深さ1.7m以下には、N値50以上の堅固な砂礫があり、鋼管矢板はこの位置で打ち込みを終了している。以下では、鋼管矢板の施工開始から終了までを連続して計測した結果より、打設深さ1m毎の振動レベル値をレベルレコーダの記録から読み取って考察した。

(1) 打設深さと振動レベル値の関係

図-6は、鋼管矢板の施工時における打設深さと振動レベルの関係を示したものである。その結果、電気式バイプロと油圧式バイプロの両方とも、土質やN値の違いに対応した振動値の変化は見られない。また、全工程において電気式バイプロより油圧式バイプロで施工した方が、発生源から120m以内で10dB、120m以遠で5dB程度振動レベル値が小さい傾向を示している。

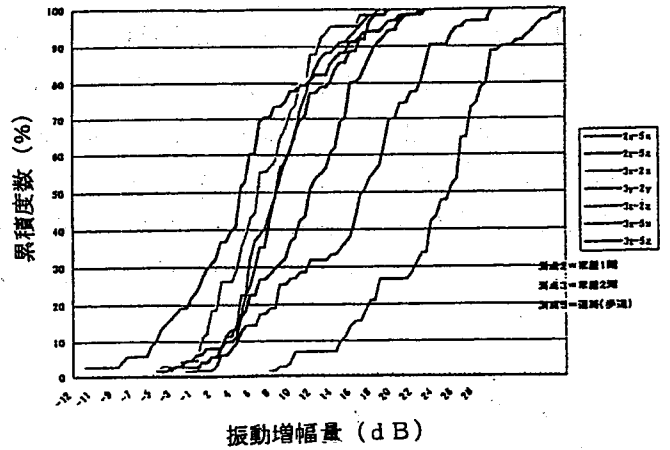


図-4 振動レベルの増幅量分布

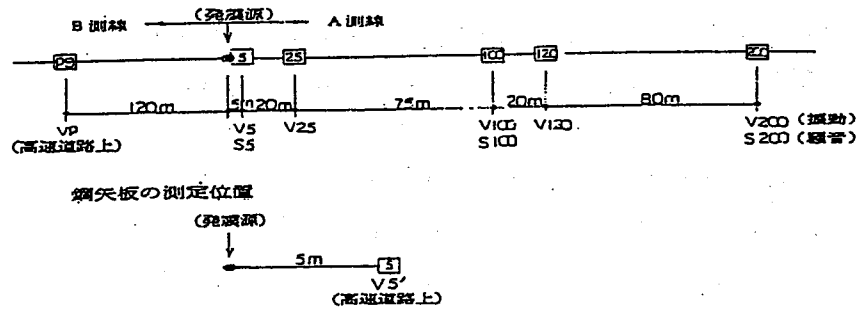


図-5 地盤振動の測定位置

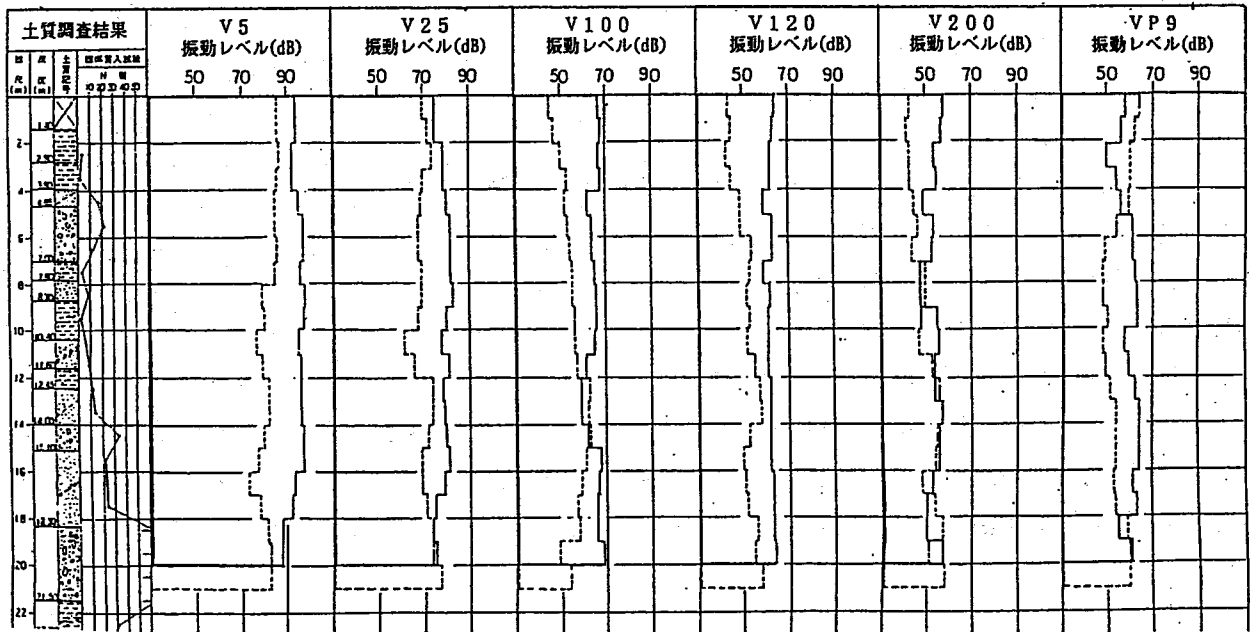


図-6 打設深さと振動レベルの関係

(2) 振動伝播特性

図-7に、鋼管矢板施工中における振動レベル値と発生源からの距離との関係を示す。この関係から、振動レベル値の平均値の距離減衰傾向を近似すると、式(1)、式(2)のようになる。

$$\text{電気式 } VL(\text{dB}) = 95 - 22.9 \cdot \text{Log}(L/5) \quad \text{-----} \quad \text{式(1)}$$

$$\text{油圧式 } VL(\text{dB}) = 82 - 21.0 \cdot \text{Log}(L/5) \quad \text{-----} \quad \text{式(2)}$$

L ; 振動源からの距離 (m)

減衰勾配は、電気式バイブロ、油圧式バイブロによる結果とも同一傾向を示しており、実体波の減衰特性(-6 dB/D.D.) に相当するものである。同図から見ても、電気式バイブロよりも油圧式バイブロの方が振動レベル値は小さい。最遠距離 200 m での振動値は、電気式バイブロでは 54 dB、油圧式バイブロでは 50 dB である。いずれも、同図中に示した平均の暗振動レベル値と比較すると 26~30 dB 大きく、かなり遠距離までの振動伝播現象が知られる。

3. 各対策工法の比較⁴⁾

3. 1 振動遮断効果の比較

3. 1. 1 波動透過理論による比較

図-8は、一般によく用いられている波動透過理論⁵⁾より、4種類の材質の地中壁についての振動遮断効果の計算値を图示したものである。材質としては、コンクリート、発泡スチロール (EPS)、鋼矢板をそれぞれ単体で用いる場合と、50 cm の EPS の両側を厚さ 25 cm のコンクリートではさんだ合成壁のものを用いる場合とを比較した。この計算においては、材質比較のために地中壁の厚さは 1.0 m とし、地中壁の深さおよび長さは無限長として

いる。また、著者等が天理で行った現地振動実計算との対応を検討するため、地盤の S 波伝播速度はかなり堅い地盤に相当するものとして 300 m/s としている。図中のプロットは、この天理での実験結果であり、空溝 1.7 m、空溝 3.3 m、合成壁 (厚さ 50 cm の EPS の両側を、厚さ 25 cm のコンクリートではさんだもの) の場合のものである。波動透過理論を用いた振動遮断効果の計算結果によると、合成壁は低振動数でも効果の大きい結果が知られる。単体での振動遮断効果は、ESP、鋼矢板、コンクリートの順であり、波動インピーダンス (密度 x S 波速度) 比の小さいものが、他の材料に比較して広範囲の振動数で効果的である。また、鋼矢板の振動遮断効果は約 5 dB であるが、このような厚さ (厚さ 1.0 m) の鋼矢板は、実施工上では考えられないものであろう。

3. 1. 2 既存文献による比較

図-9は、既存文献のデータを整理し、縦軸に振動遮断量、横軸に壁からの距離を取り、空溝および各種材質の地中壁の振動遮断効果を比較したものである。ここでの振動遮断量は、対策前後の振動レベルの差である。地中壁に用いた材質は、EPS、コンクリート、PC壁体、鋼矢板である。図中の細い実線は、各実験ケースの実測値を直線回帰したものであり、太い実線は、実験ケース全ての実測値を直線回帰したものである。図-10には、これらの太い実線だけをまとめて示している。この図から、地中壁の有効距離 (地中壁による振動遮断効果が、ほぼ無くなる距離) は、鋼矢板では約 45 m、コンクリートでは約 90 m、空

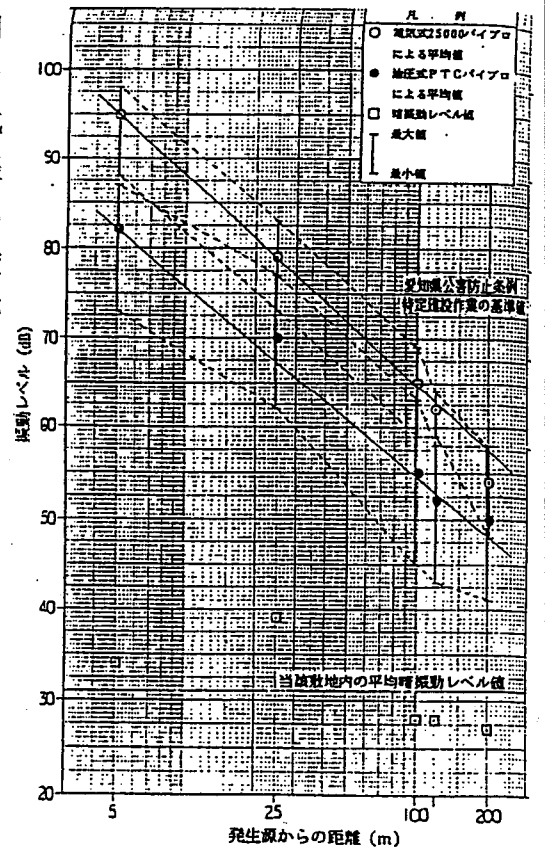


図-7 振動レベルの距離減衰

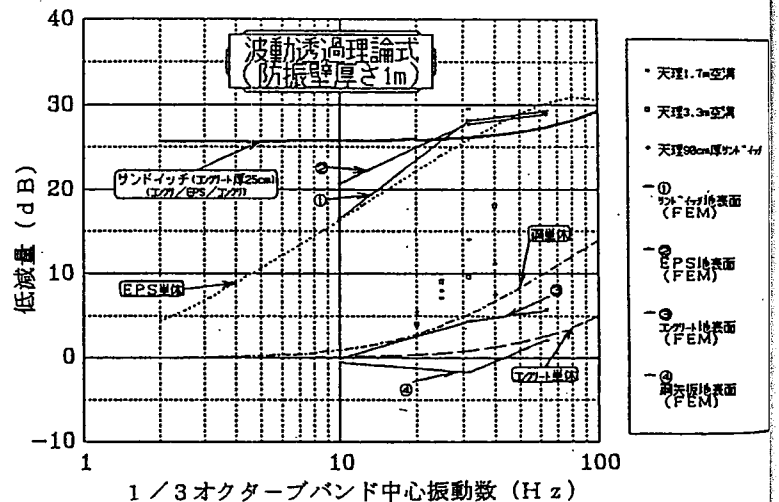


図-8 波動透過理論による振動遮断効果量

溝およびEPSでは100m以上と判断できる。地中壁の直後においては、PC壁体、コンクリート、鋼矢板、空溝、EPSの順に振動遮断効果が大きい。距離が離れるにしたがって、空溝、EPS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コンクリート、鋼矢板では、高振動数の振動は良く遮断するが、低振動数の振動は余り遮断しないためだと思われる。一般的に、空溝が最も効果的であるはずであるが、ここでコンクリートや鋼矢板が空溝よりも効果的であるのは、地中壁の深さと地盤の成層構造との関係の影響が大きいものと考えられる。すなわち、ここで検討したEPSと空溝の深さは1.5m~2.0mと、浅く地中壁底部からの回折波の影響と地盤の成層境界からの反射波の影響を受けているものと思われる。一方、コンクリートと鋼矢板は5~10mと深く施工されているので、上述の影響は少ないものと判断される。

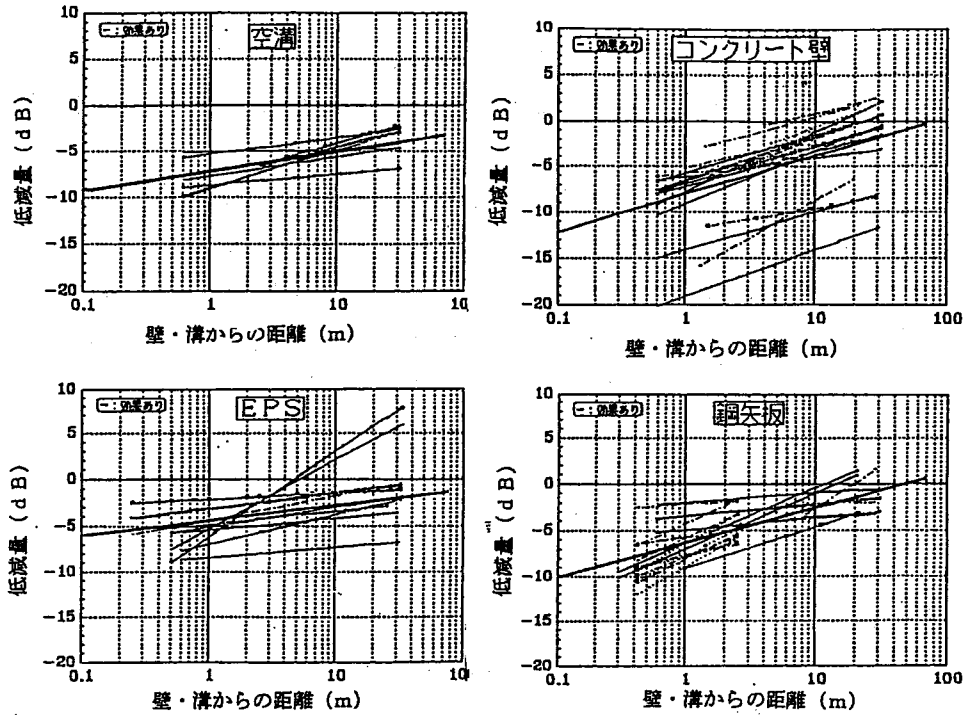


図-9 実測結果による各種材質の振動遮断量

図-9の4つのグラフは、それぞれ「効果あり」と「効果なし」の2つのケースを示している。空溝とEPSは、距離が増えるにつれて遮断効果が顕著に大きくなる傾向がある。一方、コンクリートと鋼矢板は、距離が増えるにつれて効果が小さくなる傾向がある。これは、コンクリートと鋼矢板が地中壁の直後に設置されているため、地盤からの振動の影響を受けやすいからである。

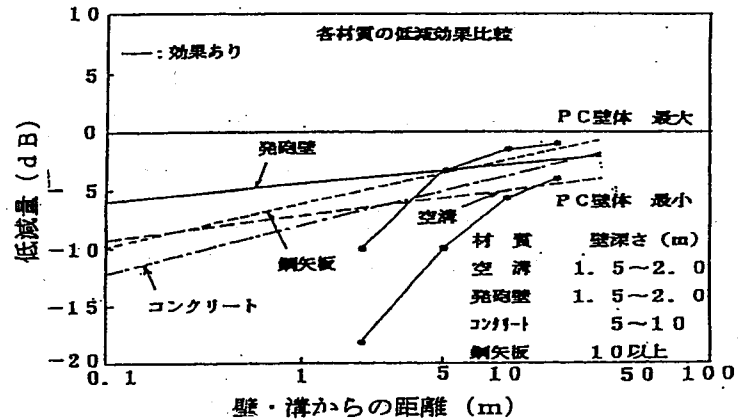


図-10 各種材質による振動遮断量のまとめ

4. まとめ

木造家屋内および沿道地盤において、自動車走行時の発生振動を調査した結果より、知られたことは以下のようである。

- (1) 道路端部での L_{10} 値が30~34dBと人体への有感限界値をはるかに下回っているが、苦情が生じている。
- (2) 家屋による振動増幅は2Fで顕著であり、地表面上と家屋内2Fとの振動増幅量は、7.5dBである。
- (3) 地表面上と家屋内1Fとの振動増幅量は、2dBである。
- (4) 鉛直方向の振動増幅量は、一般的に知られている木造家屋の振動増幅量の範囲にある。

パイルドライバーの施工性と発生する地盤振動の関係から、以下のことが知られる。

- 1) 打設深さと振動レベル値の関係では、電気式バイプロと油圧式バイプロの両方も、土質やN値に対応した振動値の変化は見られない。
- 2) 電気式バイプロより油圧式バイプロで施工した方が、発生源から120m以内で10dB、120m以遠で5dB程度振動レベル値が小さい傾向を示す。
- 3) 振動レベル値の距離減衰傾向を近似すると、電気式バイプロも油圧式バイプロによる結果とも、実体波の減衰特性(-6dB/D. D.)に相当するものとなる。

4) 最遠距離200mでの平均振動レベル値は、電気式バイプロでは54dB、油圧式バイプロでは50dBであり、平均の暗振動レベル値と比較すると26～30dB大きく、かなり遠距離までの振動伝播現象が知られる。

地盤振動の伝播経路対策に使用されている各種の地中壁材料について、波動透過理論および実測結果から各対策工法による振動遮断効果の比較・検討を行った。これらは、以下のようにまとめられる。

- 1) 波動透過理論によると、合成壁は低振動数でも効果の大きい結果が知られる。単体での振動遮断効果は、EPS、鋼矢板、コンクリートの順であり、波動インピーダンス比の小さいものが、効果的である。
- 2) 地中壁の有効距離は、鋼矢板で約4.5m、コンクリートでは約9.0m、空溝およびEPSでは10.0m以上と判断できる。
- 3) 地中壁直後においては、PC壁体、コンクリート、鋼矢板、空溝、EPSの順に振動遮断効果が大きい。距離が離れるにしたがって、空溝、EPSの効果が卓越してくる。

(参考文献)

- 1) 早川 清、室住篤子：自動車走行時の家屋振動に関する一計測事例、平成11年度土木工学会関西支部（発表予定）
- 2) 環境庁大気保全局特殊公害課：公害振動の新評価法に関する研究報告書、平成2年3月。
- 3) 早川 清、藪田耕平、可児幸彦：バイプロパイルドライバーによる地盤振動の遠距離伝播、平成11年度土木工学会関西支部（発表予定）
- 4) 早川 清、可児幸彦、松原範幸、漆畑 勇：地盤振動の伝播経路対策における効果の比較、平成11年度土木工学会関西支部（発表予定）
- 5) 早川 清、杉谷和弘、薄葉信一、可児幸彦：PC壁体による地盤振動の遮断効果の評価について、土質工学会第52回年次学術講演会（第Ⅲ部門）、pp.677 - 680、1997。