

土 木 研 究 所 資 料

交通振動に関する試験調査報告書(Ⅱ-1976)

昭和52年 3 月

建設省土木研究所
構造橋梁部構造研究室

序

「交通振動に関する試験調査」は昭和48年度より開始しており、これまでに全国実態調査に基づく振動の大きさ・発生頻度と苦情に関する調査及び舗装維持修繕工事による振動緩和効果の調査、踏
板走行実験に基づく振動入力源調査、さらに公害用振動レベル計の動特性調査や各種実測資料を用い
ての交通振動レベル評価法に関する調査等を実施してきた。これらの調査は交通振動の実態の的確な
把握および評価法の確立を主目的としたものであった。

本年度は、「振動規制法」の成立および「振動レベル計」の標準化といった状況を考慮して、交通振
動レベル予測手法の確立を主目的とした、単一車走行時の発生振動レベル調査、車両動荷重と振動レ
ベルの関係調査、さらに全国規模で行なった実測調査結果に統計処理手法を用いた解析を実施した。

ここにその成果をとりまとめ報告するものである。

昭和52年 3 月

構造研究室	室 長	成 田 信 之
	研究員	横 山 功 一
	同	桂 樹 正 隆
	室 員	山 田 恒 雄
	同	野 村 一 夫
	同	江 本 勝
	同	湯 沢 聡
	同	神 峯 一 夫

目 次

序

1. はじめに	1
2. 踏板走行実験	3
2.1 実験目的	3
2.2 実験概要	3
2.3 結果および考察	4
2.4 結 論	5
3. 単一車走行時発生地盤振動調査	6
3.1 調査目的	6
3.2 調査概要	6
3.3 解析方法	7
3.4 結果および考察	7
3.5 今後の問題点	9
4. 回帰分析を用いた交通振動の予測 (I)	11
4.1 まえがき	11
4.2 予測法の基本	11
4.3 全国調査	12
4.3.1 調査の方法	12
4.3.2 調査の集計	12
4.4 振動源の大きさの推定	12
4.5 振動伝播の推定	13

参考資料

表	19
図	32
写真	49

1. は じ め に

高度経済成長に伴う物流の増大、モータリゼーションの進展により、近年我が国の自動車保有台数は急激に増大し、同時に大型化も顕著なものとなっている。更に、人口・経済の大都市圏への集中により、都市内・都市近郊を中心に自動車交通がもたらす騒音・大気汚染・振動等のいわゆる道路交通公害が大きな社会問題となってきた。

道路交通振動を含めた振動公害を規制するために、中央公害対策審議会の答申をもとに策定された「振動規制法」案は、昭和51年6月10日に法律第64号として、一部付帯決議を付して成立した。さらに施行上の細部を明らかにした政令、告示、施行規則が出され、同法は同年12月1日より施行された。いっぽう、道路交通振動測定の基本となる「振動レベル計」の標準化は、日本工業標準調査会振動計専門委員会において審議され、JIS C 1510 (1976)として昭和51年8月1日に制定された。従来、道路交通振動に関する住民の苦情、被害の訴えは、主として都道府県の条例によって対処されていたが、測定単位、測定方法、基準値などが相互に不統一のため多くの混乱を招来していた。今回の法律などの整備により、公害対策基本法において、公害としての振動に関して政府に求められていた規制などの措置を実施するための根拠が明確になったのである。

ところで、昭和48年以来実施している「交通振動に関する試験調査」は、従来、交通振動の実態把握、振動レベル評価法の確立を中心に、一部振動レベル予測のための調査として、交通振動に影響を与える因子の抽出およびその影響度に関する調査を含めて、各種の実測、実験、解析を実施してきた。これらの成果は既に報向してきたところであり、また一部のものは中公審の審議資料として重要な役割を果たしたところでもある。今年度は、上述した法律等の整備により交通振動問題を考える際の基礎となるものが確立された状況を考慮して、調査の中心を振動レベルの予測として調査を実施した。

さて、振動の予測法に関しては種々の方法が考えられる。例えば、既に多くの研究が行なわれている道路交通騒音について、次のような方法論の分類が行なわれている。¹⁾

1. 数学的モデルによる予測
2. 経験式による予測
3. 電子計算機を用いたシミュレーションによる予測
4. 模型実験による予測
5. 3と4のハイブリッドモデルによる予測

もちろん、これらの方法は長所短所を合せ持っており、種々の方法により検討してゆくことが大切であると考えられる。本調査に用いた手法は2と3であるが、これについて簡単に説明を加える。

まず、振動レベルの予測を考えるには、その影響因子を明らかにする必要がある。この影響因子については過去の調査から、以下のものを考えればよいとされている。即ち、道路構成（歩道構成）、道路構造（路床・路盤・舗装）、路面の凹凸、交通流（交通量・混入率・重量・速度）、周辺条件（切土・盛土）、周辺地盤条件である。これらの因子により振動レベルが決定されるのであり、したがってこれらの各因子が振動レベルの評価値（ VL_1 、5秒100回法、 L_{10} ）に与える影響度を明らかにするための要因分析を行えば、予測式としての回帰式を作成することが可能となる。これが経験式を用いた予測

手法である。このためには、種々の条件下で測定された多量の実測データが必要となるが、今年度は建設省技術研究会道路部門指定課題に「道路交通振動の対策に関する研究」が取り上げられ、その幹事を当研究室が担当することとなり、各地方建設局・北海道開発局・日本道路公団・首都高速道路公団・阪神高速道路公団の協力を得て、全国規模の実測調査を実施することができた。これらの資料をもとに、回帰分析を試みた結果は第4章に詳述されている。

もう一つの予測手法として、時系列的な考え方がある。この方法は、一台の車両が走行した時に発生する地盤振動を適確に把握しておいた上で、交通量の条件を加味する（計算機を用いたモンテカルロ法による交通流のシミュレーション）ことによって振動レベルの時系列変化を求めようとするものである。これが電子計算機を用いた予測手法である。また、単一車走行時発生振動レベルを考える際に、自動車の動的付加荷重というものを考える。即ち、自動車が道路を走行すると、路面の縦断方向凹凸のために、自動車は上下、左右、前後に動揺し、自動車の各部には常に変動する力が作用する。この現象を道路側より見れば、路面にはタイヤ面を介して常に変動する外力が作用することとなる。路面に加えられる衝撃性の強いこの力（これを動的付加荷重と呼ぶことにする）が、道路構造体を通じて地盤に伝えられ、沿道一帯に振動として伝播することとなるので、動的付加荷重という新しい中間パラメーターを設けることとする。このような考え方をとることにより、前出の交通振動の影響因子を、動的付加荷重の影響因子〔路面の凹凸、自動車の構造特性（重量、バネ定数、減衰定数）、速度〕と、この動的付加荷重により道路端で発生する振動の大きさの影響因子〔道路構成、道路構造〕、単一車による振動レベルを振動レベルの時系列変化に拡張する際の影響因子〔交通流（交通量・混入率・重量・速度）〕および距離減衰の影響因子〔周辺条件、周辺地盤条件〕の4つのグループに分離することが可能となる。したがって、交通振動の予測の過程が細分化されたことにより、目的をしぼった実験、実測が実施しやすくなる。今年度は、これらのすべてをカバーすることは出来なかったが、動的付加荷重と発生地盤振動の関係を明らかにするための実験（踏板走行実験）、また一般交通流下において、単一車走行時の発生地盤振動の大きさが、車速・重量によりどのように変化するかを明らかにするための実測調査（単一車走行時発生地盤振動調査）を実施したので、この結果をそれぞれ第2章、第3章に述べることにする。

以上で2つの予測手法を簡単に紹介したが、両者の違いを図-1.1にまとめた。

2. 踏 板 走 行 実 験

2.1 実 験 目 的

動的付加荷重という新しい中間パラメーターを設けることにより、交通振動影響因子を対象別に分離可能となりこれが、交通振動予測の時系列的手法の基礎となることは、前章で述べた。しかし、この動的付加荷重を実測した例は少なく、またこれにより誘起される地盤振動との関係も、今のところ不明である。したがって、自動車の構造特性、走行速度及び路面の凹凸が動的付加荷重に及ぼす影響を明らかにするとともに、その大きさと、発生地盤振動の大きさとの関係を明らかにするための踏板走行実験を実施した。

2.2 実 験 概 要

前述の目的を達成するために、自動車の構造特性、走行速度、および路面の凹凸の3つを実験条件として、試験車後車軸の動的付加荷重と地盤振動加速度を計測することとした。

ところで、自動車荷重は前後軸の連成を無視すると、図-2.1に示す2自由度系モデルとして考えられ、次のようにして求められる。

$$m_T \ddot{Z}_T + G(\dot{Z}_T - \dot{f}) + c(\dot{Z}_T - \dot{Z}) + k_T(Z_T - f) + k(Z - Z_T) = 0$$

$$m \ddot{Z} + C(\dot{Z} - \dot{Z}_T) + k(Z - Z_T) = 0$$

動的付加荷重 P は、路面に対し下向きを正とすれば、

$$P = C_T(\dot{Z}_T - \dot{f}) + R_T(Z_T - f)$$

$$= -m_T \ddot{Z}_T + C(\dot{Z}_T - \dot{Z}) + k(Z_T - Z)$$

となり、バネ下質量の慣性力およびバネ上質量が下質量へ伝達する力(f)を求めれば、両者の和として動的付加荷重 P を得ることができる。バネ下の加速度は、後軸バネ座近くに加速度計を設置して求めた。一方 f については、これにより車軸に曲げ歪が導入されることを利用して、その歪を測定した。以上のバネ下質量の加速度と車軸曲げ歪から動的付加荷重を求めるために、当研究室で開発した動的付加荷重演算器を用いた。

地盤振動の計測には、サーボ型加速度計を用いた。加速度計(写真-2.1)は踏板の置かれた位置から2.25 mの距離にコンクリート塊の混入した隙まじりの固い地盤の上へ固定した。加速度出力は、アンプを通してデータレコーダに記録した。加速度計の位置は、図-2.2に示した。すでに述べたように実験条件は、路面の凹凸、車速および自動車の動特性である。路面の凹凸は踏板をもって代用し、踏板なし、および高さ5, 10, 15, 20, 30 mmの踏板の合計6種とした。踏板の形状を図-2.3に示す。車速は試験車の速度計で、20, 30, 40, 50, 60 km/hの6種に設定したが、実際の車速は、踏板の前後10 mの位置に設置したロードスイッチを用い、車両通過の際に発生する信号から計測した。次に、自動車の動特性が、動的付加荷重と地盤振動加速度に与える影響を調査するために、試験車(A)(三菱ローザB 215後車軸重2.50 t)、(B)(日野KB320後車軸重9.96 t)の2種類を用いた。したがって実験ケースは、踏板6種、車速5種、自動車の構造特性2種から $6 \times 5 \times 2 = 60$ ケースである。

実験は、昭和52年1月7, 8, 11, 12, 13日の5日間にわたり土木研究所千葉支所の試験走路で行

なった。実験状況を写真-2.2に示す。

2.3 結果および考察

動的付加荷重の記録の1例を図-2.4に示す。これは試験車(A)が高さ15mmの踏板を車速約38km/hで走行した時の結果である。この記録から

軸重(250 ton) + 動的付加荷重(182 ton) = 後車軸自動車荷重(432 ton)

の荷重が路面に加えられたことが読みとれる。

ここで自動車荷重の動的係数*i*を、 $i = \text{〔動的付加荷重/軸重〕}$ とすると図-2.4の場合には、 $i = 0.73$ となる。

地盤振動の場合は、地盤振動加速度〔*G*, gal〕及び地盤振動レベル〔*VL_s*, dB〕で整理した。地盤振動加速度の記録の1例を図-2.5に、また地盤振動レベルの記録の1例を図-2.6に示す。

以上の方法で整理した結果が表-2.1である。

動的付加荷重〔*DIF*〕は当然のことであるが、試験車(A)及び試験車(B)によりその大きさが異なり、軸重の大きな試験車の方が、大きな値を示した。図-2.7に車速と*i*の関係を示したが、これより試験車(A)、試験車(B)共に踏板高さ、あるいは、車速の増加とともに、*i*は増加の傾向を示すことが理解される。しかし試験車(A)と試験車(B)とを比較すると、同じ車速、同じ踏板高さであっても常に試験車(A)の方が試験車(B)よりもかなり大きな値を示している。また、踏板なしと高さ5mmの踏板を比較すると、*i*の値にほとんど差はなく、試験車(B)においては、むしろ踏板なしの方が大きな値をとる場合もあった。踏板なしの場合、パネ上質量の振動により、動的付加荷重は緩やかで大きな変動を示すのに対し、高さ5mmの踏板の場合には、踏板通過時にひき起されるパネ下質量の衝撃的な振動が卓越する。しかし、踏板高さが低いため*i*としては余り大きくなく、むしろ踏板がない場合の緩やかな振動のもたらす荷重が衝撃係数に与える影響が大きいためであると考えられる。

動的付加荷重〔*DIF*〕と地盤振動加速度〔*G*〕との関係を試験車の違いを考慮せずにプロットしたものが図-2.8である。本図によると〔*DIF*〕と〔*G*〕との間に直線関係が成立し、しかも車両の構造特性の影響を受けていないことが判る。この関係を式で表現すると、

$$\begin{aligned} [VL] &= 9.8 \times [DIF] \\ (\text{単位: } [DIF] &= \text{ton}, [G] = \text{gal}) \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

となる。

地盤振動加速度〔*G*〕と地盤振動レベル〔*VL_s*〕との関係を図-2.9に示す。両者の関係も自動車の構造特性の影響を受けていないと考えられる。また同図には、連続SIN波形における〔*G*〕と〔*VL_s*〕の関係も図示したが、プロットされた点がほぼこれに平行に分布していることも理解できる。したがって、両者の関係は次式で表現できる。

$$\begin{aligned} [VL_s] &= 20 \log [G] + 41 \\ (\text{単位: } [VL_s] &= \text{dB}) \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (2.2)$$

つぎに、動的付加荷重〔*DIF*〕と地盤振動レベル〔*VL_s*〕との関係を図-2.10に示す。

一方式(2.1)及び式(2.2)から導かれる

412

$$\{VL_s\} = 20 \log \{DW\} + 61 \quad \dots\dots\dots (2.3)$$

の関係を図-2.10の図中に示す。両者は良い一致を示している。

2.4 結 論

本実験で得られた結論を以下にまとめる。

$$\{VAL\} = 9.8 \times \{DW\} \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

$$\{VL_s\} = 20 \log \{VAL\} + 41 \quad \dots\dots\dots (2.2)$$

$$\{VL_s\} = 20 \log \{DW\} + 61 \quad \dots\dots\dots (2.3)$$

これら3式の最大の特徴は、自動車構造特性という因子を含んでいないところにある。すなわち、動的付加荷重というパラメーターを新しく設けることにより、地盤振動加速度および同レベルを簡単な形で表現できることが明らかとなった。したがって、今後は実路面上を走行する車両が路面に加える動的付加荷重の性質を明確にすることにより、単一車走行時の発生地盤振動を的確に把握できるものと考えられる。

3. 単一車走行時発生地盤振動調査

3.1 調査目的

前章では、試験車を用いた路板走行実験結果から、自動車が路面に与える動的付加荷重が、車種・車速・段差高さによりどのように変化するか、また動的付加荷重とそれにより誘起される地盤振動との関係はどのようなものかについて報告した。これによると、動的付加荷重と地盤振動加速度の間には単純な比例関係が成立すると結論された。この関係は交通振動の予測を考えるには非常に都合が良く、ある動的付加荷重に対する地盤振動加速度が少くとも1点求まれば、任意の動的付加荷重に対する地盤振動加速度を求めることができる。しかしながら、路板走行実験に用いた段差は人工的なものであるため、一般路面に見られる路面縦断凹凸とは異なった形状のものであるし、その上一般道路を走行する車両は、その構造特性（重量・バネ定数・振動の減衰性）が多種にわたっているため車速の増大にともなう動的付加荷重の増加が、路板走行実験結果と一致するかは疑問の残るところである。例えば、同じ総重量7 tonの車両であっても、大型トラックの空荷の場合もあれば、小型トラックの満載車とも考えられ、このどちらであるかによって車速が自動車荷重の動的係数 α に及ぼす影響が異なること、また同じ車速であっても α の値が異なることは路板走行実験結果からも容易に理解できる。

また、我々が動的付加荷重を測定できるのは試験車を用いた場合だけであり、一般車については軸重もしくは総重量しか測定できない。したがって、たとえ車両の総重量を測定したとしても、その車両が路面に加えた動的付加荷重は不明である。即ち、総重量・車速ともに同じ車両が通過した際に発生する地盤振動の大きさは、車両構造特性の違いが原因でばらつくことが予想されるが、その平均値を求めることは交通振動予測のための貴重な資料となり得る。なぜなら、振動レベルの評価値は5.0秒間のデータを統計処理して求める値であるので、一台の車両走行に伴って発生する地盤振動レベルを正確には再現できなくても、その平均的な値さえ表現できれば、評価値としての振動レベルはある程度正確に求めうると考えられるからである。

以上の考えから、一般路を走行中の1台の車両により誘起される地盤振動の平均的な値を求めるため、車両重量・車速・地盤振動の実測調査を実施した。

3.2 調査概要

調査は国道16号線袖ヶ浦地区で実施した。ここには建設省千葉国道工事事務所所有の埋設型車両重量計（坂田電機株式会社製）が設置されており、しかも反対車線が測定対象車線（1車線）と20 m近く離れているため、地盤振動記録に対向車両の影響が入りにくいところである。測定項目は車軸重量、車速、地盤振動加速度である。これらを測定するための機器配置を図-3.1に示す。ロードスイッチはタイヤ通過時に自動的に回路を閉じるためのテープ状のスイッチであり、これを2本設置することにより、車両が2本のスイッチ間を通過するに要した時間を求めることができる。車両重量計、ロードスイッチ、加速度計からの出力はすべてデータレコーダーに記録した。また交通流のモニターとしてビデオ装置も併用した。測定は昭和51年11月4日から5日にかけて、合計14時間記録を収録した。調査の様相を写真-3.1に示す。

3.3 解析方法

得られた記録波形の一部を図-3.2に示す。このような波形から、通過車両1台1台について、地盤振動加速度(最大振幅の1/2で評価)、車速、軸重を読みとった。また、図-3.2には示さなかったが地盤振動加速度は、振動レベル(VL_g)に変換し、1台の車両通過時の最大値を読みとった。ここで記号の約束をする。地盤振動加速度を $[G]$ 、地盤振動レベル $[VL_g]$ 、車速を $[V]$ 、軸重を $[W]$ 、最大軸重を $[MW]$ 、および総重量を $[TW]$ と表現する。したがって、1台の車両走行についてこれらすべての項目を読みとったが、その合計は1642台であった。この結果を表-3.1に一覧表としてまとめた。

つぎに、単一車走行時に発生する地盤振動の平均的な値を求めるために、表-3.2に示すような $[V]$ — $[MW]$ 平面、 $[V]$ — $[TW]$ 平面内をそれぞれ100個のブロックに分類し、各1ブロック内に入る通過車両台数、平均車速、平均最大軸重(もしくは平均総重量)、地盤振動加速度の平均値および変動係数、地盤振動レベルの平均値および変動係数を求めることとした。

3.4 結果および考察

解析結果を表-3.2(1)、(2)にまとめた。なお、1ブロック内の車両台数が4台以下の場合には、地盤振動の平均値を求めても無意味と考え、その台数のみを記した。これらの表から、 $[MW]$ と $[G]$ の関係を、また $[TW]$ と $[G]$ の関係を車速別に図示したのが、それぞれ図-3.3(1)、(2)である。これら2枚の図から、重量、車速の増加とともに地盤振動加速度が大きくなる傾向が読みとれるが、 $[MW] > 6$ および $[TW] > 12$ の領域で、特に通過車両台数が少ない場合に $[G]$ の平均値がばらつくことも理解できる。逆に、 $[V] = 40-50 \text{ KM/H}$ を表わす▲点は、各点とも台数が多く、したがって $[G]$ の平均値の上昇傾向が滑らかとなっている。図中に引いた5本の曲線は、これらの点を考慮して、通過車両台数による重み付けをすると同時に、▲点を結ぶ曲線と相似形に近くなるように引いたものであり、単一車走行時に発生する道路端での地盤振動加速度の平均的な値を表わすものである。

これら5本の曲線によると、 $[MW] < 4$ および $[TW] < 7$ の範囲では、 $[MW]$ 、 $[TW]$ の増加とともに $[G]$ がほぼ直線的に増加しているのに対し、この範囲を越えると $[G]$ の増加の傾向は急に弱まっている。特に $[V] = 20-30 \text{ KM/H}$ では、重量が増加しても $[G]$ はほとんど変化していない。前章の踏坂走行実験結果によると、動的付加荷重($[DW]$ と記す)と $[G]$ は比例関係にある。また、 $[DW] = [TW] \times i$ (自動車荷重の動的係数)であるので、袖ヶ浦での実測調査結果は、 $[MW]$ もしくは $[TW]$ の増加とともに i が減少していることを示している。この原因として自動車の、特に大型車の構造諸元(積載質量、パネ上・パネ下質量、懸架部・タイヤ部のパネ定数および粘性定数)の違いが考えられる。ここで、パネ上質量には積載質量が含まれていない点に注意されたい。これらの各諸元のうち i に最も大きな影響を与える諸元が何であるかを明らかにするために、ここで i をシミュレーションで求める方法を紹介する。

路面凹凸に起因する車両の動的付加荷重をシミュレーションによって求める場合、車両のモデル化が問題となるが、ここでは簡単のために図-3.4に示す2自由度系のモデルを考える。この系の運動方程式は、

$$\left. \begin{aligned} (m_u + m) \ddot{Z} + C(\dot{Z} - \dot{Z}_T) + k(Z - Z_T) &= 0 \\ m_T \ddot{Z}_T + C_T(\dot{Z} - \dot{W}) + C(\dot{Z}_T - \dot{Z}) + k_T(Z_T - W) + k(Z_T - Z) &= 0 \end{aligned} \right\} \dots\dots (3.1)$$

となり自動車の動的付加荷重 P は、路面に対し下向きを正とすれば

$$\left. \begin{aligned} P &= C_T (\ddot{Z}_T - \ddot{W}) + k_T (Z_T - W) \\ &= -m_T \ddot{Z}_T - (m_u + m) \ddot{Z} \\ i &= P / (m_u + m + m_T) g \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3.2)$$

となる。自動車の構造諸元を次のようにパラメータ化しておく。

$$\begin{aligned} \nu &= \sqrt{k/m} && \text{空車時バネ上振動数 (rad/sec)} \\ \nu' &= \sqrt{k/(m+m_u)} && \text{積載時バネ上振動数 (rad/sec)} \\ \nu_T &= \sqrt{k_T/m_T} && \text{バネ下振動数 (rad/sec)} \\ \beta &= C/(2m\nu) && \text{空車時懸架部の減衰定数} \\ \beta' &= C/2\nu'(m+m_u) && \text{積載時懸架部の減衰定数} \\ \beta_T &= C_T/(2m_T\nu_T) && \text{タイヤ部の減衰定数} \\ R_m &= m_T/m && \text{空車時バネ上バネ下質量比} \\ R'_m &= m_T/(m+m_u) && \text{積載時バネ上バネ下質量比} \end{aligned}$$

以上の値と路面凹凸を入力すれば、計算により P を求めることができる。今、 $m_u = 0$ (無積載) の場合を考えると、 $\nu \cdot \nu_T \cdot \beta \cdot \beta_T \cdot R_m$ のパラメーター値により P もしくは i が決定されることを式 (3.1)、(3.2) は示している。一方各種の大型車は、その大きさが異なってもこれら5つのパラメーター値は、常識的な値となるように設計されているのが普通であり、したがってこの5つのパラメーター値の違いが P もしくは i に及ぼす影響は小さいと考えられる。しかし、積載質量がある場合には ν' 、 β' 、 R'_m の値が大きく変化することとなる。例えば空車時の車体総重量と同重量の積載をすれば、バネ上振動数、懸架部の減衰定数はそれぞれ $1/\sqrt{2}$ に、バネ上バネ下質量比は $1/2$ に減少することになり、この影響を受けて P もしくは i の値が大きく変化すると予想される。そこで、この点を確認するために式 (3.1)、(3.2) を用いた数値計算を行ない、積載量により i がどの程度変化するかを求めた。

計算に用いた車両諸元は、空車時が表-3.3の最上欄であり、この車両が法定積載量(11 ton)の $1/4 \sim 2$ 倍を積載した場合を想定した。また路面凹凸は、sin波の重ね合わせで実路面凹凸をシミュレートした75 m区間のものを用い、この上を表-3.3にまとめた諸元をもつ車両が25, 35, 45, 55, 65 KM/Hの車速で走行した時の i および $[DIF]$ の最大値を求めた。計算結果は表-3.4、図-3.5に示す。これらの結果から、自動車荷重の動的係数 i は積載量の増加とともに大きく減少していることが理解できる。また動的付加荷重 $[DIF]$ は、25 KM/Hの場合はほぼ増減なし、そのほかの車速では積載量の増加とともに少しずつ増加する傾向を示しており、 $[DIF]$ と地盤振動加速度 $[G]$ が比例関係にあるという前章の結果と照らし合わせると、この傾向は図-3.3の傾向とよく一致している。また、大型トラックの空車時総重量が10 ton前後であることも考慮すると、図-3.3に示した $[G]$ の増加が頭打ちになる傾向の主原因は、積載量の増大につれて i の値が減少するためだと考えられる。

次に、図-3.3(2)の5本の曲線を式で表現することを試みた。図-3.6はこれらの曲線から各 $[TF]$ に対する $[G]$ を読みとり、車速が40-50 KM/Hの時の $[G]$ を1とした地盤振動加速度比を求めたものである。この図から、地盤振動加速度比は $[TF]$ の影響をあまり強くは受けていないと思われる。したがって、車速が40-50 KM/Hの時の曲線を式で表現し、車速の違いによる影響は補正値を用いるこ

とした。結果は次式のとおりである。

$$[G] = \begin{cases} 1537 \times \log([TW] + 1) \times \alpha_v & ([TW] \geq 6) \\ 259 \times [TW]^{0.9} \times \alpha_v & ([TW] < 6) \end{cases}$$

但し $\alpha_v = 0.33$ ($[V] = 20-30$)
 $= 0.73$ ($[V] = 30-40$) (3.3)
 $= 1.00$ ($[V] = 40-50$)
 $= 1.29$ ($[V] = 50-60$)
 $= 1.45$ ($[V] = 60-70$)

単位: $[G]$ —gal, $[TW]$ —ton, $[V]$ —KM/H

以上で単一車走行時に発生する地盤振動加速度を式で表現できたが、周知のとおり交通振動の大きさの評価は振動レベル $[VL_s]$ で行なうこととなっているので、(3.3)式を $[VL_s]$ で表わす必要がある。図-3.7(1), (2)は表-3.2から $[MW]$ もしくは $[TW]$ と $[V] \cdot [VL_s]$ の関係をプロットしたものである。この図では、点の位置にばらつきが多く車速毎の曲線を引くことができない。この原因としては、 $[VL_s]$ の指示メーターは0.6秒の時定数をもっているため、大型車通過時にメーターが立ち上がると、それが下り切るまでに6秒前後の時間を要するために、この間に通過した後続車両による振動レベルは先行車両の影響を受けるためだと考えられる。そこで、図-3.8に表-3.3(1)から得られる $[G]$ と $[VL_s]$ のそれぞれの平均値の関係をプロットしてみた。この図でも多少のばらつきが見られるが

$$[VL_s] = 34 + 2.0 \log [G] \quad \text{..... (3.4)}$$

という関係式を導いた。式(3.4)および図-3.2(2)から、 $[TW]$ — $[V]$ 平面で等振動レベル線を描いたのが図-3.9である。また図-3.10は式(3.3)および式(3.4)から等振動レベル線の予測値を求めたものであり、両者はよく一致している。

さて、本調査実施地点において単一車走行時に発生する地盤振動を、最終的に図-3.10の形で予測しようと考えられるが、この予測値はあくまでも、ある重量を持つ車両がある速度で走行したときに発生する地盤振動の平均的な値であることに注意されたい。何故なら、同じ総重量であってもその中でしめる積載量の割合によって発生する地盤振動が異なり、また車両走行位置によっても異なってくるからである。しかし、このことは図-3.10の意義を低減させるものではない。我々が最終的に予測したいのは、振動レベルの評価値 (L_{10}) であり、ここに発展させる段階で多少の誤差は相殺されると予想されるからである。

3.5 今後の問題点

本年度の調査では、調査地点を1ヶ所に限ったため、道路構成、道路構造および路面凹凸の3つの因子の影響をとり入れる事ができなかった。例えば、歩道の有無によって車両通過位置と道路端までの距離が異なり、地盤振動周波数の違いは振動レベルに影響をおよぼす。また、路面凹凸の良否は直ちに自動車の動的付加荷重に反映される。したがって、任意地点における単一車走行発生振動レベルを予測するためには、これらの因子を含めた予測式を作成する必要がある。しかし、これらの因子を考慮することによって、図-3.3に示した曲線の形そのものが変化するとは考えられず、むしろ式(3.3)および式(3.4)中に含まれる定数値が、これら3因子の関数になると予想される。

以上の考えから、今後は本調査と同様の調査を、地点を変えて実施し、上で述べた3因子の影響を明らかにさせる予定である。

4. 回帰分析を用いた交通振動の予測(1)

4.1 ま え が き

昭和49年度より各地方建設局、北海道開発局の協力により実施してきた道路交通振動の評価と維持修繕工事の効果に関する全国調査は、中央公害対策審議会振動専門委員会の審議のための貴重な資料を提供した。その後、昭和51年6月には「振動規制法」が成立し、12月1日より施行され、道路交通振動が一定の限度を越え、生活環境が著しく損われる場合には道路管理者に対しても必要な措置を講ずることが要請されることとなった。したがって、今後の道路の計画・管理において、振動の予測と対策は重要な課題となる。

このような事情から、昭和51年度より3ヶ年の予定で「道路交通振動の対策に関する研究」が建設省技術研究会道路部門の指定課題として取り上げられることとなり、各地方建設局、北海道開発局に新たに日本道路公団、首都高速道路公団、阪神高速道路公団を加えて、予測と対策に関して調査することとした。ここでは、予測の問題に関して述べることにする。

本章ではその手法として、道路交通振動に影響を及ぼす諸因子はその数がかかなり多いこと、現象が複雑であること、調査期間が短いことなどの諸条件から、実際の現場道路において振動を計測し、主として経験的法則に立脚し、道路交通振動に影響を及ぼす諸因子と計測値の関係を各種数理統計処理によって求める経験式による予測法について検討することとした。もちろん予測に関しては、振動の発生と伝播という物理的側面を見落してはならないわけであり、この経験式による予測法を採用する場合にも、他の調査結果を取り込んでモデルの充実を計る必要がある。

4.2 予測法の基本

振動の予測問題を振動源の大きさと振動伝播の二つに大別できるものと考えて、それぞれを分離して次式のように表わす。

1. 振動源の大きさ

$$PVL = g(Q, V, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4)$$

ここに、 PVL : 5 m地点の補正加速度レベル

Q : 交通量(各車線毎の大型、小型、乗用車台数)

V : 車速

α_1 : 地盤条件

α_2 : 道路構造条件

α_3 : 地形条件

α_4 : 路面条件

2. 振動伝播

$$VL = h(PVL, L, \alpha_1, \alpha_2)$$

ここに、 L : 最外側車線中心からの距離

VL : 距離 L における補正加速度レベル

4.3 全国調査

4.3.1 調査の方法

上記のような関係式を具体的に求めるために、昭和51年度の調査では下記のような調査を計画した。このような準備の都合でA-3～A-5の調査に関しては実施されたものは極く僅かであった。

A-1 一般交通による振動調査〔高架橋を除く〕

A-2 " " 〔高架橋〕

A-3 オーバレイの経年変化

A-4 人工段差による調査

A-5 車輛の重量・車速と振動の調査

なお、調査は参考資料-Aに示されている調査実施要領に基いて行なわれ、調査の分担はA-1に関しては各地方建設局と北海道開発局、A-2に関しては首都高速道路公団、阪神高速道路公団とした。

4.3.2 調査の集計

現在までにまとめられた件数は表-4.1に示すとおりである。道路交通振動の実態に関しては既に中間報告として発表しているので²⁾、ここでは省略する。

4.4 振動源の大きさの推定

振動源の大きさとしては、5m地点の補正加速度レベルを対象とすることにした。振動源の大きさには交通量（特に、大型車台数）と路面凹凸の影響が大きいのので、今回の解析には交通量と振動源の大きさについて検討を加えた。

(1) 交通量の時刻変化のパターン分け

1日の間にある地点における交通量はその地域特性により変動を示す。ここでは以下の4項目にパターンを分類した。

A：都市部（総交通量は多い）で、通過道路（夜間においても大型車が多い）。

B：地方部（ " は少ない）で、 " （ " ）。

C：都市部（ " は多い）で、生活道路（夜間においては交通量が少ない）。

D：地方部（ " は少ない）で、 " （ " ）。

(2) 大型車台数と振動源の大きさ(1)

振動源の大きさ PVL は、大型車台数 Q_s 、または総台数 Q によって決定されると仮定して、先ず、 PVL と Q_s 、 Q との相関を求めた。その結果、大型車台数、総台数としては全車線の合計を用いた方がよく、相関係数の平均は、次のように大型車台数との場合が最も大きくなる。

車線数	$PVL \sim Q_s$	$PVL \sim Q$
第1+第2	0.64	0.41
第1～第3	0.69	0.47
第1～第4	0.70	0.51

2) 建設省道路局、土木研究所；道路交通振動の対策に関する研究，第30回建設省技術研究会論文集，昭和51年11月

ただし、相関がかなり低いもの、またマイナスになるものもあり、その原因については更に詳細な検討が必要になる。これらの関係を図-4.1にとりまとめた。

次に(1)による分類毎に、 PVL と Q_1 との関係を調べることにする。表-4.2によるとC、Dグループは相対的に相関係数が高く、0.5以下のものはないが、A、Bではやや低く特に2車線道路では相関係数が0.5程度と極端に悪くなっている。すなわち、C、Dのように1日のうちに交通量の増減が大きい地域では、これに伴って振動レベルも大幅に変化するので振動レベルの推定には交通量との関係を調べればよい。しかし、A、B地域のように多小交通量の変動はあっても振動レベルとの相関がよくないという地域では、交通量以外の要因（例えば、路面状況が極端に悪いなど）が考えられる。これらの回帰直線を示したのが図-4.2である。

(3) 大型車台数と振動源の大きさ(2)

今までの検討結果では、回帰直線の係数にかなりのバラツキがあることから、1つのモデル化を行なってその適用性について検討した。

交通量と振動源の大きさを次のように表わす。

$$PVL = a \cdot L_{0.10} (Q_1 + b Q_2 + c Q_3) + d$$

ただし、 Q_1 ：乗用車台数、 Q_2 ：小型車台数、 Q_3 ：大型車台数

更に係数 a 、 b 、 c に範囲を設け、その範囲内で残差の標準偏差 σ が最小になる場合を求める。

$$8 \leq a \leq 12, 1 \leq b \leq 4, 8 \leq c \leq 14, 20 \leq d \leq 30$$

データは、2車線、平面道路とし、路面凹凸、走行速度については比較的均質とみなしうる14地点のデータとし、時間帯は12:00～20:00までの1時間毎としている。計算結果が表-4.3に示されているが、乗用車台数に対する小型車台数、大型車台数の重みづけの係数 b 、 c はおおよそ1、12～14の範囲にとっても σ が2dB程度であり、実用上はさしつかえないものと考えられる。この時 σ の値は10前後の値を取り、係数としてのある程度のまとまりを有していると考えられる。従って、取りまとめる際にはこのような考え方の採用も検討する価値がある。

4.5 振動伝播の推定

振動の伝播には、地盤条件、地質条件、振動レベル、ピットアップの置き方などが影響し、その特性は複雑である。図-4は時刻別の距離減衰を示したものであるが、振動レベルが変化してもその減衰特性にはあまり影響が見られないことが分る。そこで、ここでは振動の減衰は振動のレベルには無関係で、常に一定であるとして解析を進めた。

地盤振動の距離減衰は一般に次式で表わされる。²⁾

$$A = A_1 \left(\frac{r_1}{r} \right)^n \exp \{ -\alpha (r - r_1) \} \quad \dots\dots\dots (1)$$

ただし、 A ：振源から距離 r の地点における振動加速度 (g_{aL})

A_1 ： “ “ “ “ (g_{aL})

α, n ：定数

ここで、 $(r_1/r)^n$ は幾何減衰項であり、波動が四方八方へ拡がることによって生ずる減衰、表面波の

うち Rayleigh 波の場合は n は $\frac{1}{2}$ となる。一方、 $\exp\{-\alpha(r-r_1)\}$ は内部減衰項であり、土が完全弾性体でないために土中を伝播する間にエネルギーを失うことによる減衰である。

振動を加速度ではなく、補正加速度レベル [dB] で表わした場合には(1)式は下記のように変形される。

$$VL = VL_1 - n \log_{10}(r/r_1) - \alpha(r-r_1) \quad \dots\dots\dots(2)$$

ここでは(2)式を距離減衰の基本式として、 r_1 として 5 m 地点を基準とし最小二乗法により α と n を決定することとした。

振動規制法では、道路交通振動の大きさは 80 帯レンジの上端値 (L_{10}) で規定されるが、振動距離減衰としては振動レベルとしてどの値をとった方がよいかを検討したのが、図-4.3 である。ここでは振動レベルを L_5 , L_{10} , L_{50} と変えて距離減衰を調べたが、僅か 1 例ではあるが L_{10} が最もバラツキが少くなっており、 L_{10} を用いて距離減衰式を求めるのが適当であると考えられ、以下の作業では全て L_{10} を用いている。

図-4.4 は 5 m 地点を基準にして、相対振動レベルを距離の関係を示したグラフを数例示している。図中の丸印はデータの個数を表わしており、実験は最小二乗法により求められた式による計算値である。これによると、測定値はおおむね ± 2 dB の範囲内に入っており、 L_{10} を用いること、距離減衰の振動レベルに無関係と考えることの妥当性が確かめられた。これらの図を地盤条件別に重ねたのが図-4.5 である。10 m 地点にバラツキはあるがそれ以上の減衰傾向は良く一致しており、第 2 種地盤の方が第 3 地盤よりも勾配がきつことが明らかである。したがって、10 m 地点は予測のために特に重要な地点であるので、今後 10 m 地点におけるバラツキの原因について追及するという課題が残されている。

表-4.4 は(2)式の n と α の計算値をとりまとめたものである。(2)式の右辺は 2 項の和になっているが、 $\log(r/r_1)$ と $(r-r_1)$ とは独立ではないので、係数 n と α が独立に決まらないためにこのようなバラツキが生じるものと考えられる。したがって、今後のとりまとめの際には、例えば n と α に範囲を設けるなどの配慮が必要になるであろう。

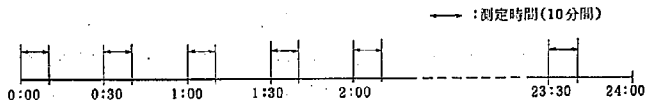
図-4.6 は試験車を用いた距離減衰の測定結果である。振動の周波数分析を行なって地盤の卓越振動数を求め、これにより 3 つのグループに分類している。卓越振動数の大きいもの(地盤が良いと考えられるもの)では、発生する振動レベルは大きいが減衰が大きくなっており、地盤の卓越振動数を用いることにより、地盤条件を代表させると共に、距離減衰の傾きを表わす指標にも使えるのではないかと考えられる。

参考資料-A 調査76-A 調査要領

1. 実施要領

(f) 調査時間帯

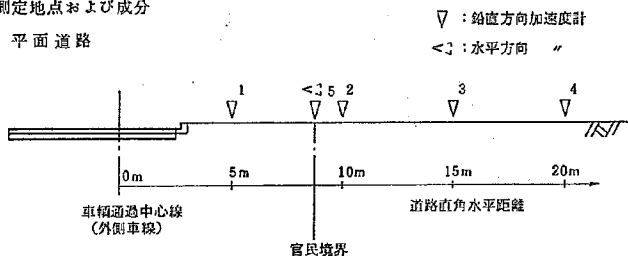
- 地盤振動測定および交通流測定は同時測定とする。
- 調査時間帯は、調査地点5ヶ所は24時間、他の地点は12時間(12:00~24:00)とする。



(g) 地盤振動測定

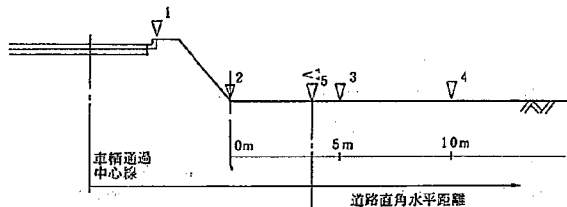
(a) 測定地点および成分

(i) 平面道路

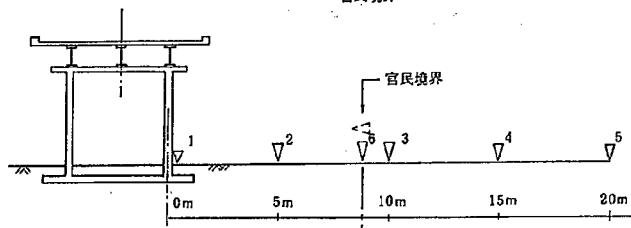


ただし、5m地点が車道内に入るときは、車道外へ移す。

(ii) 盛土道路



(iii) 高架道路



(iv) ただし、盛土道路、高架道路に側道がある場合には(i)平面道路の場合に準じて、測定地点を選ぶものとする。

(v) 官民境界においては水平方向振動（道路方向、道路直角方向）も測定するのが望ましい。

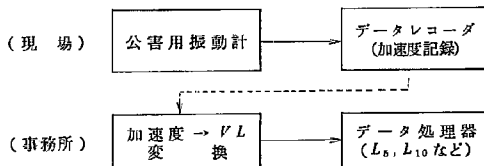
(b) 測点の条件

測点ではできるかぎり均質な土質、地表を条件に選ぶことが望ましいが、不可能なことが多いので、設置面の状況を明記することにする。また振動ピックアップの設置場所は緩衝物がなくかつ十分踏み固め等の行なわれている堅い場所とする。

(c) 測器・記録

(i) 振動測定には公害用振動レベル計またはこれと同等以上の性能を有する振動計を用い、原則として全て加速度でデータレコーダに記録する。

(ii) 基本的な計測ブロック図は次のとおりである。



磁気テープは、3年間保存すること。

(イ) 交通量測定

(a) 測定時間

振動測定と同時測定とする。（10分間）

(b) 測定対象車線

(i) 高架以外の場合 ○各車線

(ii) 高架の場合 ○高架の下側車線は(i)に準ずる。

○高架部は各車線

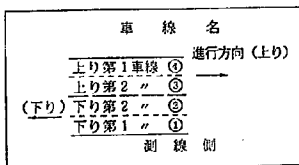
(c) 測定内容

○車種別車線別10分間交通量

○平均走行速度（各車線別）

（10分間に代表的な10台

を測定し、平均する）



(d) 車種分類

(i) 大型車 ナンバープレート 1, 2, 8の一部

(ii) 小型車 " 4, 8の一部

(iii) 乗用車 " 3, 5, 4 (ライトバン), 自二, 軽四

(㉔) 舗装の剛性測定

ベンゲルマンビームによるたわみ量試験を実施する。試験箇所は、最外側車線、測線上とする。

試験方法は、簡易舗装要綱に従うこと。

(㉕) 路面プロフィール

振動測定側各車線（片側1車線のみときは上・下両車線）の左車輪が通過すると思われる線上の縦断路面プロフィールを測線の前後40mにわたり測定する。高架部は全車線測定する。

(㉖) その他

次の資料を収集し、添付する。

(i) 現地位置図、土質柱状図、N値

(ii) 舗装構造図、

A₈ 舗装の場合、(a) CBR (b) TA (c) 合計厚

C₀ 舗装の場合、(a) CBR (b) 版厚 (c) 路盤厚

(iii) 高架橋構造図（基礎、支承を含む）

(iv) 現地状況写真（測定、交通、路面）

2. データの整理方法

(i) 地盤振動

○測定単位はVL slow とする。

○データ整理は5秒間隔で100個のデータを読みとり、平均値および累積度数曲線を求める。

○データ整理を機械化することが望ましい。例えば、次のような処理器が使用できる。

リオン：NA76, NA78, NA30, SV70（開発中）

ノード：1014, 1023（開発中）

(ii) 路面プロフィール

○ σ 、RIおよびPrIで表示する。

○生波形も併記すること。

表-2.1 踏板走行実験結果一覧表

車種	踏板高さ (mm)	車速 (km/h)	地盤振動 (G) (gal)	地盤振動 (PLs) (dB)	動的付加重 (DWP) (ton)	自動車荷重 の動的係数 i	車種	踏板高さ (mm)	車速 (km/h)	地盤振動 (G) (gal)	地盤振動 (PLs) (dB)	動的付加重 (DWP) (ton)	自動車荷重 の動的係数 i
試験車	0	16.4	0.82	45	0.28	0.11	試験車	20	27.6	24.42	68	2.37	0.95
		16.9	0.94	47	0.21	0.08			34.9	25.73	70	2.60	1.04
		17.7	0.82	46	0.25	0.10			35.5	24.05	65	2.38	0.95
		17.9	1.17	44	0.28	0.11			36.8	32.36	70	2.53	1.01
		25.1	2.72	52	0.30	0.12			43.6	46.09	66	2.79	1.12
		25.6	2.69	51	0.52	0.21			47.5	30.85	72	3.00	1.20
		36.0	3.28	56	0.56	0.22			56.3	30.95	72	3.84	1.54
		37.5	4.14	54	0.39	0.16			56.5	52.10	67	3.70	1.48
		45.3	3.94	54	0.58	0.23			16.9	12.62	66	1.70	0.68
		45.6	4.92	56	0.60	0.24			16.9	14.83	68	1.83	0.73
試験車	5	55.5	7.18	56	0.80	0.32	(A) 30	0	18.5	19.90	69	1.95	0.78
		55.7	5.11	56	0.76	0.30			26.6	17.82	70	2.50	1.00
		16.2	5.55	51	0.27	0.11			27.0	26.43	71	2.53	1.01
		16.6	5.73	49	0.37	0.15			35.3	36.38	73	2.95	1.18
		17.0	5.71	52	0.29	0.12			37.4	24.05	72	3.14	1.20
		18.2	3.82	50	0.34	0.14			47.1	39.80	75	4.21	1.68
		26.7	9.55	55	0.63	0.25			47.3	34.47	75	4.41	1.76
		36.0	8.25	55	0.48	0.19			56.5	43.09	67	5.10	2.04
		36.5	8.14	56	0.59	0.24			56.9	46.94	76	5.16	2.06
		45.6	8.02	54	0.76	0.30			23.1	2.54	55	1.05	0.11
試験車	10	45.9	12.46	57	0.72	0.29	試験車	5	30.4	4.69	57	0.89	0.09
		46.6	8.64	58	0.70	0.28			38.7	4.39	60	1.27	0.13
		55.2	13.63	56	0.86	0.34			46.2	4.53	61	1.26	0.13
		55.9	11.46	58	0.76	0.30			53.3	4.74	62	1.64	0.16
		56.5	8.64	58	0.77	0.31			22.6	7.05	61	1.00	0.10
		16.9	13.17	59	0.78	0.31			23.3	7.84	62	0.89	0.09
		17.3	7.44	59	0.98	0.39			30.1	11.43	64	0.49	0.05
		18.0	10.1	59	0.94	0.38			30.7	8.00	64	0.57	0.06
		19.6	9.21	59	1.22	0.49			39.0	12.55	64	1.01	0.10
		26.6	9.89	61	1.14	0.46			46.0	12.52	65	1.32	0.13
試験車	15	26.7	13.17	61	1.32	0.53	(B) 20	10	53.7	13.12	64	1.69	0.17
		27.3	11.66	59	1.13	0.45			23.6	13.30	67	2.11	0.21
		36.5	13.47	62	1.06	0.42			30.6	19.09	70	1.34	0.13
		36.8	25.73	64	1.23	0.49			39.1	20.48	70	2.78	0.28
		45.6	15.68	65	1.43	0.57			45.7	25.05	72	2.48	0.25
		46.8	14.87	63	1.29	0.52			53.8	31.41	71	5.16	0.52
		46.8	16.80	65	1.43	0.57			23.0	30.22	71	3.23	0.32
		56.6	23.76	68	2.09	0.84			23.6	31.31	72	3.57	0.36
		57.1	18.68	65	2.07	0.83			30.1	39.96	73	3.11	0.31
		17.6	14.47	62	1.21	0.48			39.9	50.50	75	4.16	0.42
試験車	20	17.7	13.55	63	1.41	0.56	(B) 30	15	45.4	50.06	76	5.52	0.55
		17.9	13.87	61	1.43	0.57			53.1	52.29	77	7.77	0.78
		18.4	11.26	61	1.56	0.62			23.2	37.57	73	4.48	0.45
		26.1	19.90	63	1.85	0.74			23.3	44.67	74	4.61	0.46
		26.9	17.49	64	1.70	0.68			23.5	36.80	71	4.59	0.46
		27.2	21.21	65	1.74	0.70			23.5	43.74	73	4.61	0.46
		27.3	17.98	64	1.77	0.71			29.4	68.61	77	4.83	0.48
		27.3	19.94	64	1.69	0.68			30.1	62.60	75	4.64	0.47
		37.4	27.54	67	1.71	0.68			37.1	63.18	80	6.76	0.68
		37.6	20.18	67	1.82	0.73			47.2	59.15	79	8.05	0.81
試験車	20	45.9	18.69	69	2.10	0.84			53.2	75.65	81	9.58	0.96
		46.6	32.96	69	2.19	0.88			23.2	39.56	77	5.66	0.57
		55.8	30.85	69	2.90	1.16			23.2	45.20	77	5.89	0.59
		56.1	21.51	70	3.13	1.25			29.8	63.82	81	6.55	0.66
		16.5	29.75	65	1.67	0.67			37.6	85.80	83	9.23	0.93
		17.4	29.75	64	1.89	0.76			45.0	107.75	84	10.00	1.00
		17.8	17.01	65	1.80	0.72			45.6	94.97	84	10.82	1.09
		17.8	20.10	61	1.95	0.78			52.9	96.18	83	12.73	1.28
		26.8	29.06	64	2.36	0.94			53.8	100.99	84	13.79	1.38
		27.1	22.91	67	2.27	0.91							

表-3.1 単一走行時発生地盤振動調査結果一覽表(国道16号線袖ヶ浦)

[illegible]

[illegible][illegible]

[illegible][illegible]

[illegible]

表-3.2 (1) 最大軸重・車速と地盤振動の関係

最大軸重 AWP (ton)		0 < MF ≤ 1			1 < MF ≤ 2			2 < MF ≤ 3			3 < MF ≤ 4			4 < MF ≤ 6			6 < MF ≤ 8			8 < MF ≤ 10			10 < MF ≤ 15			15 < MF ≤ 20			20 < MF		
		台数	平均車速 (km/h)	平均最大軸重 (ton)	台数	平均車速 (km/h)	平均最大軸重 (ton)	台数	平均車速 (km/h)	平均最大軸重 (ton)	台数	平均車速 (km/h)	平均最大軸重 (ton)	台数	平均車速 (km/h)	平均最大軸重 (ton)	台数	平均車速 (km/h)	平均最大軸重 (ton)	台数	平均車速 (km/h)	平均最大軸重 (ton)	台数	平均車速 (km/h)	平均最大軸重 (ton)	台数	平均車速 (km/h)	平均最大軸重 (ton)			
車速 V (km/h)	振動加速 平均値 (gal)	振動加速 最大値 (gal)	振動レベル (V _L)平均 値 (dB)	振動加速 平均値 (gal)	振動加速 最大値 (gal)	振動レベル (V _L)平均 値 (dB)	振動加速 平均値 (gal)	振動加速 最大値 (gal)	振動レベル (V _L)平均 値 (dB)	振動加速 平均値 (gal)	振動加速 最大値 (gal)	振動レベル (V _L)平均 値 (dB)	振動加速 平均値 (gal)	振動加速 最大値 (gal)	振動レベル (V _L)平均 値 (dB)	振動加速 平均値 (gal)	振動加速 最大値 (gal)	振動レベル (V _L)平均 値 (dB)	振動加速 平均値 (gal)	振動加速 最大値 (gal)	振動レベル (V _L)平均 値 (dB)	振動加速 平均値 (gal)	振動加速 最大値 (gal)	振動レベル (V _L)平均 値 (dB)	振動加速 平均値 (gal)	振動加速 最大値 (gal)	振動レベル (V _L)平均 値 (dB)	振動加速 平均値 (gal)	振動加速 最大値 (gal)	振動レベル (V _L)平均 値 (dB)	
	振動レベル (V _L)平均 値 (dB)	振動レベル (V _L)平均 値 (dB)	振動レベル (V _L)平均 値 (dB)	振動レベル (V _L)平均 値 (dB)	振動レベル (V _L)平均 値 (dB)	振動レベル (V _L)平均 値 (dB)	振動レベル (V _L)平均 値 (dB)	振動レベル (V _L)平均 値 (dB)	振動レベル (V _L)平均 値 (dB)	振動レベル (V _L)平均 値 (dB)	振動レベル (V _L)平均 値 (dB)	振動レベル (V _L)平均 値 (dB)	振動レベル (V _L)平均 値 (dB)	振動レベル (V _L)平均 値 (dB)	振動レベル (V _L)平均 値 (dB)	振動レベル (V _L)平均 値 (dB)	振動レベル (V _L)平均 値 (dB)	振動レベル (V _L)平均 値 (dB)	振動レベル (V _L)平均 値 (dB)	振動レベル (V _L)平均 値 (dB)	振動レベル (V _L)平均 値 (dB)	振動レベル (V _L)平均 値 (dB)	振動レベル (V _L)平均 値 (dB)	振動レベル (V _L)平均 値 (dB)	振動レベル (V _L)平均 値 (dB)	振動レベル (V _L)平均 値 (dB)	振動レベル (V _L)平均 値 (dB)	振動レベル (V _L)平均 値 (dB)			
0 < V ≤ 20	1			1			0			1			2			0			0			1			0			0			
20 < V ≤ 30	8	26.1	0.8	9	25.2	1.7	7	25.7	2.8	7	27.6	3.7	12	26.4	4.9	4			6	23.4	9.2	9	25.0	11.6	2			1			
	2.1	0.32		3.6	0.50		4.9	0.44		5.3	0.35		6.6	0.30				5.4	0.35		6.5	0.30									
	41.1	0.17		46.7	0.17		47.5	0.11		55.8	0.15		53.0	0.09				50.9	0.08		50.9	0.12									
30 < V ≤ 40	61	36.3	0.8	31	35.8	1.6	31	36.1	2.5	19	36.6	3.7	50	36.3	4.7	10	35.9	6.9	15	35.6	9.1	31	37.6	12.5	3			2			
	2.9	0.29	4.9	0.37	8.5	0.40			11.1	0.37	12.2	0.25	14.9	0.58				12.2	0.27		16.5	0.23									
	40.5	0.12	45.3	0.13	54.8	0.14			55.3	0.12	57.8	0.08	57.7	0.11				58.2	0.09		58.9	0.07									
40 < V ≤ 50	189	45.6	0.7	52	45.3	1.5	42	44.7	2.6	37	45.5	3.6	127	45.3	4.9	35	45.6	6.9	49	44.3	9.0	76	45.2	12.2	0	43.8	17.1	2			
	3.3	0.33	5.7	0.53	11.4	0.46			12.8	0.30	15.2	0.32	18.2	0.31				20.7	0.33		21.8	0.32		21.3	0.29						
	39.7	0.12	46.0	0.12	56.2	0.16			55.4	0.11	57.8	0.10	57.7	0.09				58.0	0.08		58.9	0.07		58.2	0.06						
50 < V ≤ 60	203	55.3	0.7	49	54.7	1.5	30	53.7	2.6	35	54.4	3.7	88	54.4	4.9	19	54.7	7.0	21	54.4	9.1	50	54.3	11.6	3			0			
	4.5	0.49	6.4	0.51	12.0	0.51			17.7	0.44	19.5	0.34	18.2	0.26				23.9	0.24		32.1	0.25									
	40.1	0.13	47.5	0.14	54.3	0.13			58.7	0.09	60.8	0.07	56.6	0.08				59.5	0.09		59.3	0.09									
60 < V ≤ 70	87	64.2	0.8	16	64.9	1.4	9	64.2	2.5	5	62.9	3.6	17	64.1	5.1	7	65.3	7.2	1			6	61.9	11.1	0			1			
	4.8	0.37	7.9	0.51	15.1	0.35			22.6	0.22	28.7	0.24	18.4	0.16							25.3	0.23									
	40.5	0.10	46.8	0.16	57.5	0.12			58.4	0.18	65.1	0.05	56.9	0.03							60.6	0.03									
70 < V ≤ 80	32	74.7	0.7	4			3			0			1			3			0			1			0			0			
	8.2	0.32																													
	42.9	0.11																													
80 < V ≤ 90	2			1			0			0			1			0			0			0			1			0			
90 < V ≤ 100	2			0			0			0			0			0			0			0			0			0			
100 < V	2			0			0			0			1			0			0			1			0			0			

表-3.2(2) 総重量・車速と地盤振動の関係

総重量 TW (ton)		0< T_F ≤2		2< T_F ≤4		4< T_F ≤6		6< T_F ≤8		8< T_F ≤12		12< T_F ≤15		15< T_F ≤20		20< T_F ≤30		30< T_F ≤40		40< T_F											
車速 V (km/h)		台数	平均車速 (km/h)	平均総重量 (ton)	台数	平均車速 (km/h)	平均総重量 (ton)	台数	平均車速 (km/h)	平均総重量 (ton)	台数	平均車速 (km/h)	平均総重量 (ton)	台数	平均車速 (km/h)	平均総重量 (ton)	台数	平均車速 (km/h)	平均総重量 (ton)	台数	平均車速 (km/h)	平均総重量 (ton)	台数	平均車速 (km/h)	平均総重量 (ton)						
		振動加速 平均値 (gal)	振動加速 の最大値 (gal)	振動加速 平均値 (gal)	振動加速 の最大値 (gal)	振動加速 平均値 (gal)	振動加速 の最大値 (gal)	振動加速 平均値 (gal)	振動加速 の最大値 (gal)	振動加速 平均値 (gal)	振動加速 の最大値 (gal)	振動加速 平均値 (gal)	振動加速 の最大値 (gal)	振動加速 平均値 (gal)	振動加速 の最大値 (gal)	振動加速 平均値 (gal)	振動加速 の最大値 (gal)	振動加速 平均値 (gal)	振動加速 の最大値 (gal)	振動加速 平均値 (gal)	振動加速 の最大値 (gal)	振動加速 平均値 (gal)	振動加速 の最大値 (gal)								
		振動レベル (V_L)平均 値 (dB)	振動レベル (V_L)平均 値 (dB)	振動レベル (V_L)平均 値 (dB)	振動レベル (V_L)平均 値 (dB)	振動レベル (V_L)平均 値 (dB)	振動レベル (V_L)平均 値 (dB)	振動レベル (V_L)平均 値 (dB)	振動レベル (V_L)平均 値 (dB)	振動レベル (V_L)平均 値 (dB)	振動レベル (V_L)平均 値 (dB)	振動レベル (V_L)平均 値 (dB)	振動レベル (V_L)平均 値 (dB)	振動レベル (V_L)平均 値 (dB)	振動レベル (V_L)平均 値 (dB)	振動レベル (V_L)平均 値 (dB)	振動レベル (V_L)平均 値 (dB)	振動レベル (V_L)平均 値 (dB)	振動レベル (V_L)平均 値 (dB)	振動レベル (V_L)平均 値 (dB)	振動レベル (V_L)平均 値 (dB)	振動レベル (V_L)平均 値 (dB)	振動レベル (V_L)平均 値 (dB)								
0< V ≤20		1			0			1			1			0			1			0			0								
		2.1																													
20< V ≤30		8	26.1	1.5	11	25.2	3.2	7	26.9	5.2	6	26.1	6.8	12	27.3	10.3	4			5	23.5	17.4	8	25.7	24.3	2			2		
		2.1	0.32	3.4	0.50	5.1	0.36	5.9	0.22	6.4	0.33								5.6	0.36	6.3	0.35									
30< V ≤40		41.1	0.17	45.9	0.16	52.3	0.15	51.7	0.12	52.6	0.13								50.3	0.10	52.6	0.11									
		63	36.4	1.5	36	35.5	3.1	29	36.6	5.1	13	35.2	6.8	53	36.5	10.3	15	36.8	13.6	7	35.7	17.5	31	37.0	24.3	5	38.5	34.1	1		
40< V ≤50		2.9	0.32	5.0	0.40	5.5	0.34	5.9	0.22	12.7	0.34	14.8	0.29	11.5	0.36	15.5	0.32	20.7	0.34												
		40.5	0.12	46.9	0.12	56.0	0.19	55.9	0.11	57.5	0.07	60.5	0.10	58.7	0.11	57.2	0.06	56.6	0.07												
50< V ≤60		192	45.7	1.4	61	45.1	3.0	51	45.1	5.3	41	45.5	7.1	106	45.2	10.4	44	44.9	13.4	29	44.6	18.2	79	45.2	24.6	7	44.8	35.2	7	44.0	49.3
		3.3	0.33	6.2	0.58	12.0	0.31	14.6	0.30	16.4	0.36	17.0	0.33	19.2	0.34	22.0	0.29	23.4	0.36	22.5	0.25										
60< V ≤70		39.7	0.12	47.2	0.11	56.7	0.14	55.6	0.10	58.0	0.10	58.5	0.08	61.3	0.07	58.7	0.06	60.9	0.05	61.2	0.07										
		207	55.3	1.4	53	54.4	2.9	36	54.1	5.0	30	55.3	7.0	77	54.1	10.3	28	55.3	13.5	16	53.0	18.3	44	54.2	25.0	6	56.4	35.2	1		
70< V ≤80		4.6	0.49	6.7	0.46	13.4	0.47	18.5	0.30	19.4	0.32	23.5	0.34	22.2	0.34	32.5	0.24	28.8	0.21												
		40.1	0.13	48.8	0.13	54.7	0.10	59.4	0.07	59.9	0.09	61.6	0.08	58.7	0.12	59.8	0.06	61.9	0.04												
80< V ≤90		67	64.2	1.5	18	64.7	2.7	8	64.1	4.7	3			17	64.0	10.5	8	64.6	13.5	2			5	61.9	23.7	0			1		
		4.8	0.37	8.3	0.50	17.0	0.36							24.4	0.31	25.0	0.28			26.6	0.24										
90< V ≤100		40.5	0.10	47.5	0.16	54.1	0.12							62.0	0.09	65.5	0.03			60.1	0.03										
		32	74.7	1.4	4			3			0			1			0			2			2			0			0		
100< V		8.2	0.32																												
		42.0	0.11																												
		2			1			0		0		0		1			0			1			0		1		0		0		
		2			0			0		0		1		1			0			0			0		0		0		0		

表-3.3 車 両 諸 元

諸元番号 (Case 番号)	$m_u \times g$ (kg)	$m \times g$ (kg)	$m_T \times g$ (kg)	k (kg/mm)	k_T (kg/mm)	C (kg·s/m)	C_T (kg·s/m)	Ra (-)	ν' (rad/s)	ν_T (rad/s)	β' (-)	β_T (-)
Case-1	0	5860	2750	422	970	1600	0	0.4692	26.5656	58.7939	0.0503	0
2	2750	5860	2750	422	970	1600	0	0.3193	21.9163	58.7939	0.0416	0
3	5500	5860	2750	422	970	1600	0	0.2420	19.0800	58.7939	0.0361	0
4	8250	5860	2750	422	970	1600	0	0.1948	17.1200	58.7939	0.0324	0
5	11000	5860	2750	422	970	1600	0	0.1631	15.6617	58.7939	0.0296	0
6	13950	5860	2750	422	970	1600	0	0.1402	14.5221	58.7939	0.0275	0
7	16500	5860	2750	422	970	1600	0	0.1229	13.5998	58.7939	0.0257	0
8	19250	5860	2750	422	970	1600	0	0.1095	12.8335	58.7939	0.0243	0
9	22000	5860	2750	422	970	1600	0	0.0987	12.1836	58.7939	0.0230	0

表-3.4 積載量による動的付加荷重の変化

		上段:荷重の動的係数: 下段:動的付加荷重(TON)								
Case 番号 車速 (KM/H)	総重量 (TON)	1	2	3	4	5	6	7	8	9
25		8.61	11.36	14.11	16.86	19.61	22.36	25.11	27.86	30.61
		0.8128 7.00	0.5975 6.79	0.4491 6.34	0.4062 6.85	0.4148 8.13	0.3866 8.65	0.3289 8.26	0.2065 5.75	0.2265 6.93
35		0.8030 6.91	0.7768 8.82	0.5516 7.78	0.4841 8.16	0.3357 6.58	0.3698 8.27	0.3530 8.86	0.3811 10.62	0.3207 9.82
45		1.0287 8.86	0.6745 7.66	0.5313 7.50	0.4622 7.79	0.5292 10.38	0.4557 10.19	0.5013 12.59	0.4209 11.73	0.3105 9.50
55		0.8705 7.50	0.7545 8.57	0.6846 9.66	0.6740 11.36	0.5858 11.49	0.3864 8.64	0.3384 8.50	0.3355 9.35	0.3208 9.82
65		0.9518 8.19	0.7604 8.64	0.8114 11.45	0.4320 7.28	0.3960 7.77	0.4400 9.84	0.4068 10.21	0.4282 11.93	0.3903 11.95
75		1.0259 8.83	1.1147 12.66	0.5805 8.19	0.6894 11.62	0.5099 10.00	0.5194 11.61	0.4467 11.22	0.4658 12.98	0.3759 11.51

表-4.1 調査地点集計結果

〔調査A-1〕

実施機関	件数	道路構成 (車線数・歩道)				舗装			路面の 平坦性		周辺条件		地盤条件			
		2	4	6	その他	As	A/C	C	1.5 未満	1.5 以上	平面	盛土	1,2	3	4	
北海道	15	8	7	0	(8車線) (10車線) 1	13	2	0	6	9	9	6	7	5	3	
東北	17	12	5	0		10	3	4	9	5	11	6	9	6	2	
関東	18	4	6	0		8	1	9	9	9	8	10	6	5	1	
北陸	7	6	1	0		7	0	0			2	5	0	1	6	
中部	12	8	3	0		10	0	2	3	9	5	7	6	1	5	
近畿	10	3	3	3		6	0	4	7	2	10	0	4	4	0	
中国	16	13	2	1		9	6	1	4	12	14	2	11	0	5	
四国	13	11	2	0		10	0	3	8	5	12	1	1	6	6	
九州	10	10	0	0		7	1	2			8	2	7	0	3	
合計	118	79	29	4	2	80	13	25	46	51	79	39	51	28	31	

〔調査A-2〕

実施機関	件 数	高 架 橋					高架橋下部の状況					周辺条件 平 面	地 盤 条 件		
		直 線 数		橋 脚 型 式			道路車線数			空地 その他	2		3	4	
		2	4	6以上	T型	門式	壁式	2	4						6以上
首都公団	20	0	20	0	8			6	1	8	5	1	12	7	
阪神公団	14	0	14	0	5	9	0	4	3	0	7	14	0	0	
合 計	34	0	34	0	13			10	4	8	12	1	26	7	

表-4.2 回帰係数 (PVL=AQ₃+B)

分数	車線数	全データ		相関0.5以上		回帰直線の係数	
		件数	相関係数	件数	相関係数	A	B
A	2	36	0.58	27	0.72	0.17	45.5
	3	7	0.63	4	0.77	0.12	49.1
	4	12	0.65	11	0.69	0.08	48.5
B	2	19	0.52	13	0.71	0.21	34.4
	3	1	0.74			0.12	37.2
	4	8	0.67	6	0.79	0.13	33.3
C	2	10	0.78			0.35	44.6
	3	2	0.89			0.09	43.0
	4	3	0.77			0.27	44.2
D	2	16	0.81			0.47	32.1
	3	2	0.89			0.18	34.6
	4	3	0.82			0.41	32.9

表-4.3 回帰係数 ($PVL=a \log(Q_1+bQ_2+cQ_3)+d$)

底	係 数				σ	底	係 数				σ
	a	b	c	d			a	b	c	d	
106	12	1	13	17	1.20	711	8	1	14	18	3.03
110	11	1	7	20	2.22	713	10	1	12	16	1.75
114	12	1	14	10	1.94	714	10	3	14	5	2.11
404	12	1	14	19	3.37	716	10	1	14	17	2.78
611	11	2	14	11	1.33	731	11	1	13	16	1.72
706	10	1	12	7	1.86	803	12	1	14	18	1.65
710	9	1	13	23	1.09	804	11	3	14	16	2.33

表-4.4 距離減衰式の係数

$$VL(r)-VL(r_1)=A_2 \log(r/r_1)+A_1(r-r_1)$$

地盤	底	係 数		σ	r	
		A ₁	A ₂			
第 2 種	601	-0.994	5.662			
	602	-0.037	-4.601			
	603	-0.263	0.433			
	608	-0.961	0.987			
	614	-0.057	-3.371			
	616	-0.506	2.527			
第 3 種	607	-0.331	-5.094			
	611	-0.160	-3.875			
	612	-0.182	-6.626			
	613	-0.074	1.224			

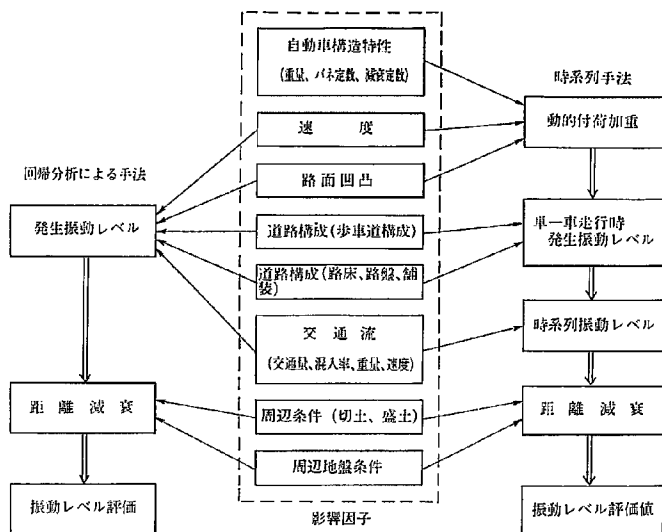


図-1.1 道路交通振動予測手法と影響因子

m, m_0 : ばね上、下質量
 k, k_0 : 懸架部、タイヤ部ばね定数
 c, c_0 : 懸架部、タイヤ部粘性減衰定数
 P : 自動車荷重

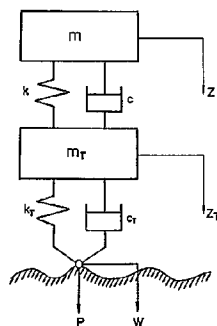


図-2.1 自動車モデル

439

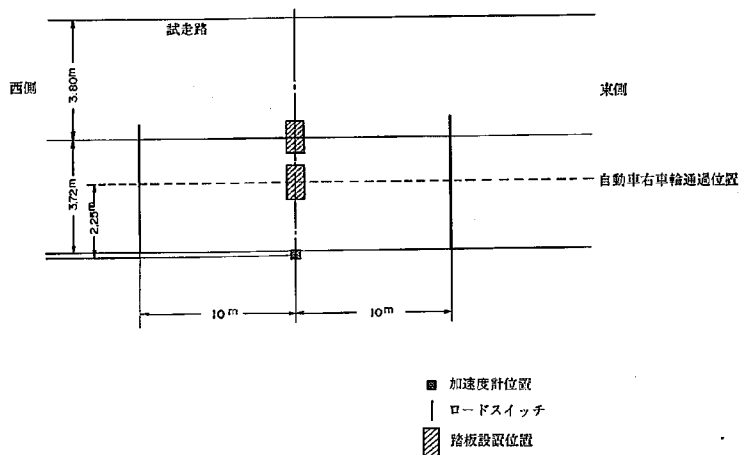


図-2.2 実験配置図

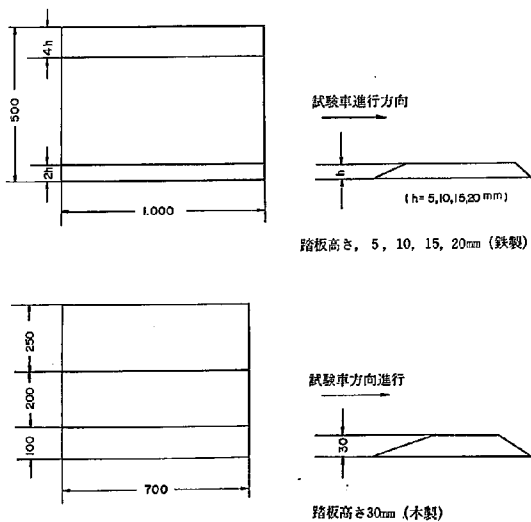


図-2.3 踏板の形状

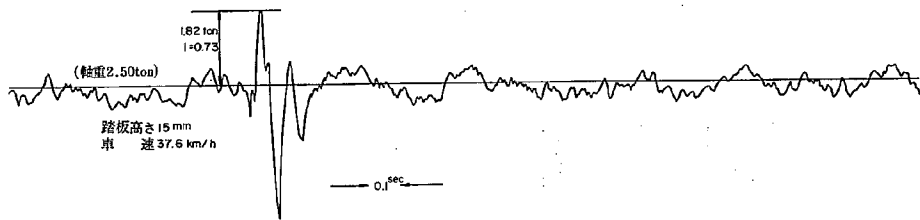


図-2.4 動的付加荷重〔DW〕試験車(A)

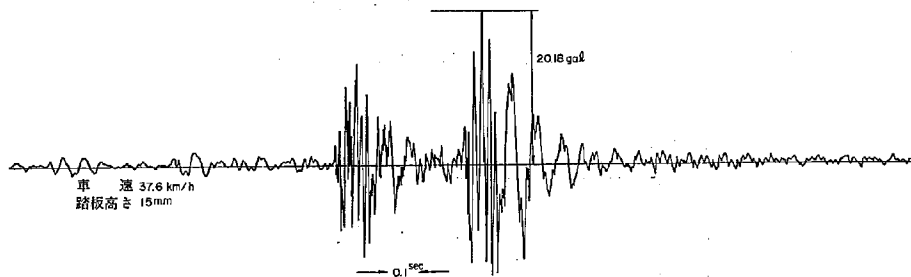


図-2.5 地盤振動加速度〔VAL〕試験車(A)

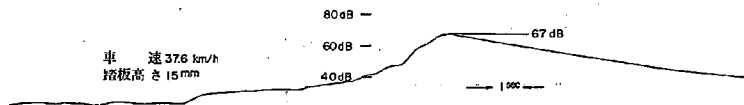


図-2.6 地盤振動レベル〔VL_s〕試験車(A)

自動車荷重の動的係数： δ

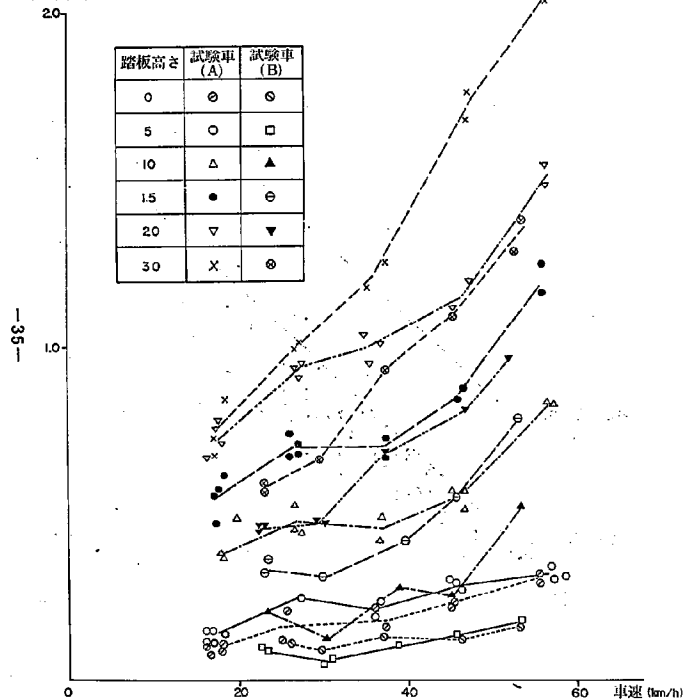


図-2.7 踏板高さ、车速と δ の関係

地盤振動加速度 (VAL)

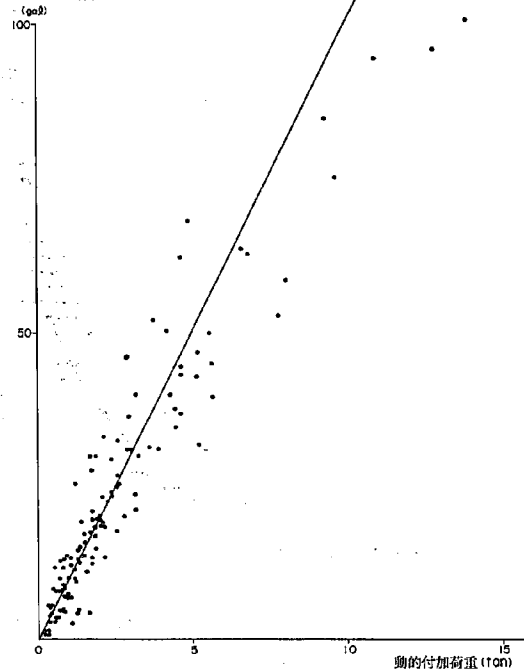


図-2.8 動的付加荷重と地盤振動加速度の関係

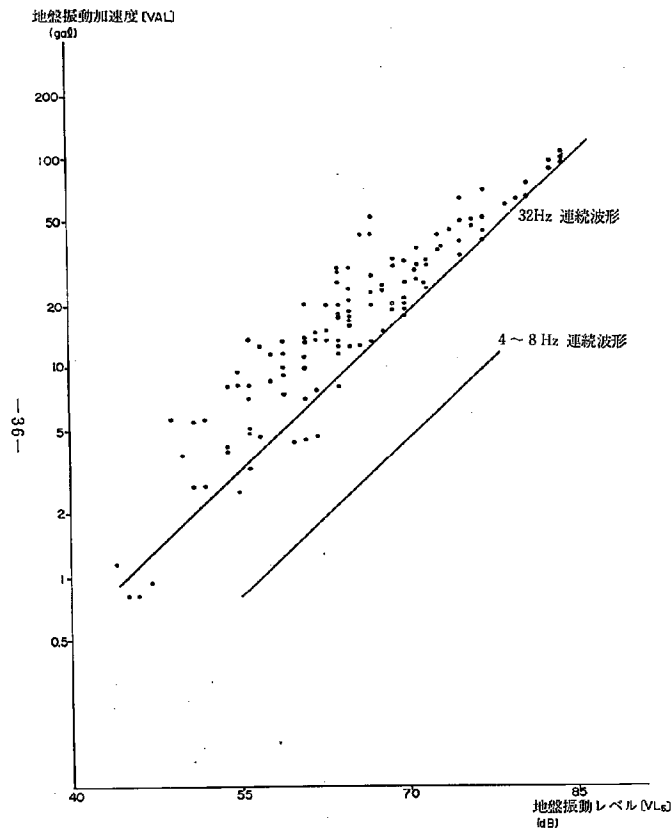


図-2.9 振動レベルと振動加速度の関係

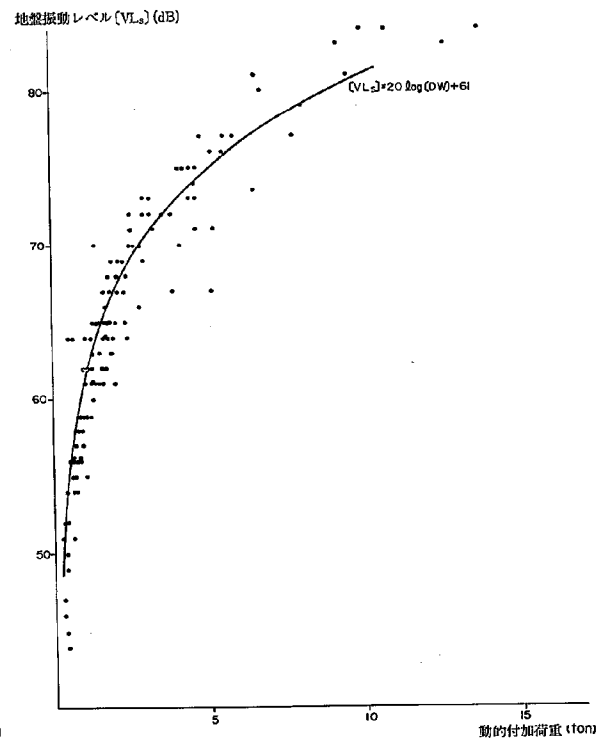


図-2.10 動的付加荷重と地盤振動レベルの関係

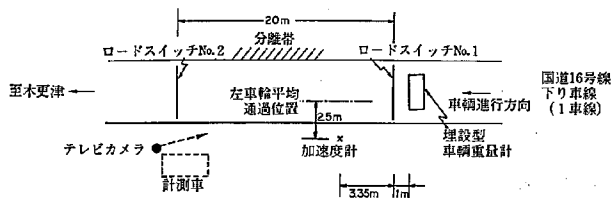


図-3.1 機器配置図(袖ヶ浦)

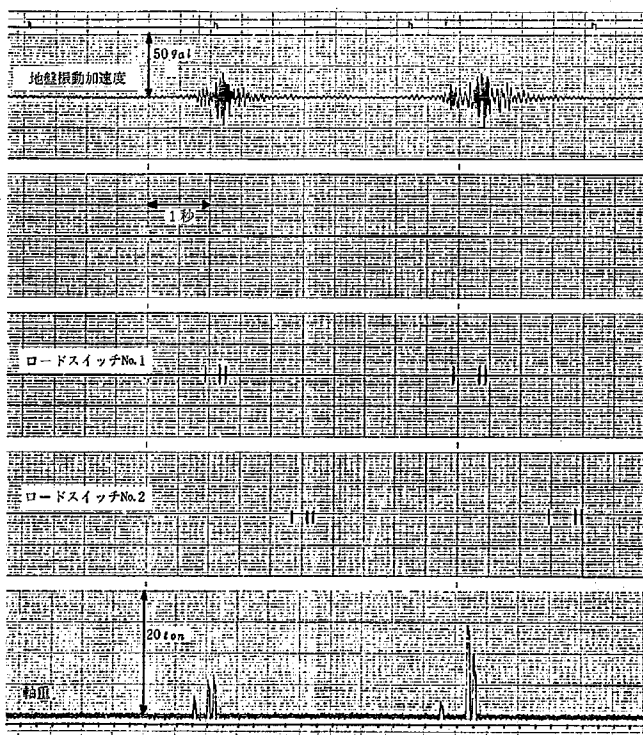


図-3.2 記録波形の1例

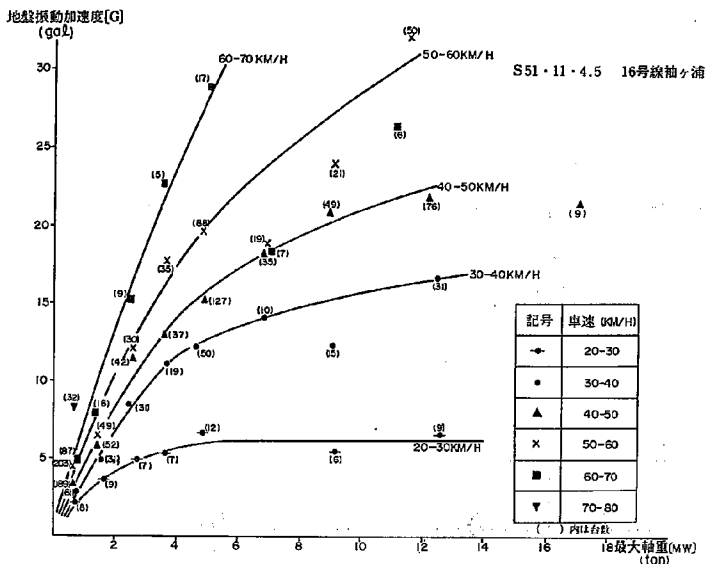


図-3.3(1) 最大軸重・車速と地盤振動加速度の関係

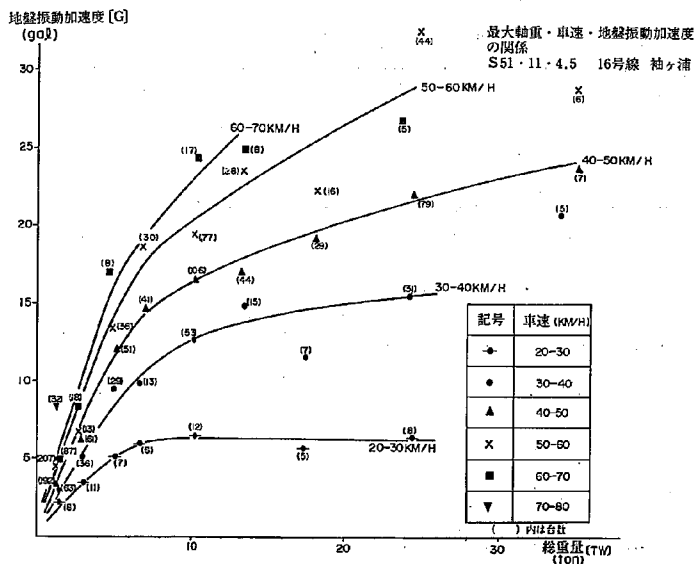


図-3.3(2) 総重量・車速と地盤振動加速度の関係

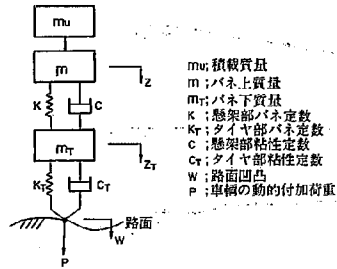


図-3.4 自動車モデル

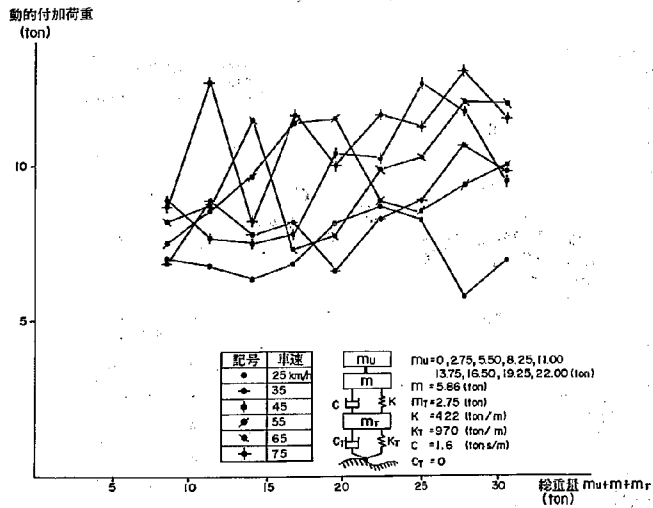


図-3.5 積載量による動的付加荷重の変化

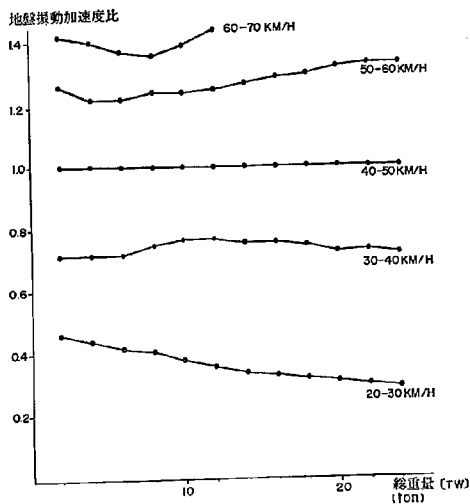


図-3.6 地盤振動加速度比

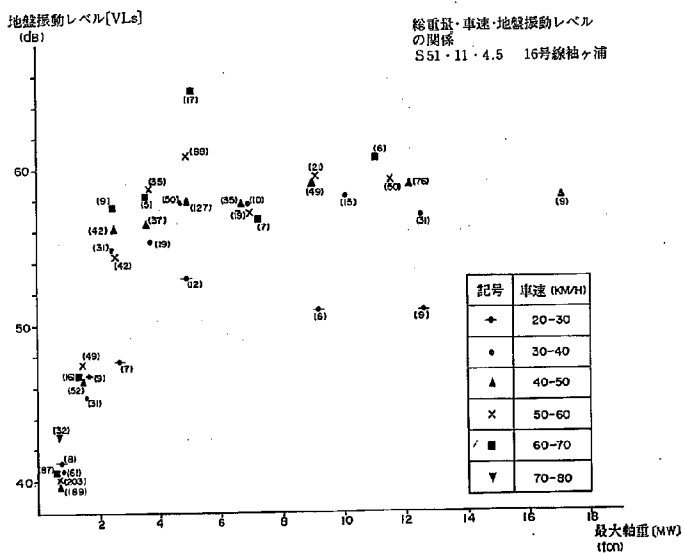


図-3.7 (I) 最大軸重・車速と地盤振動レベルの関係

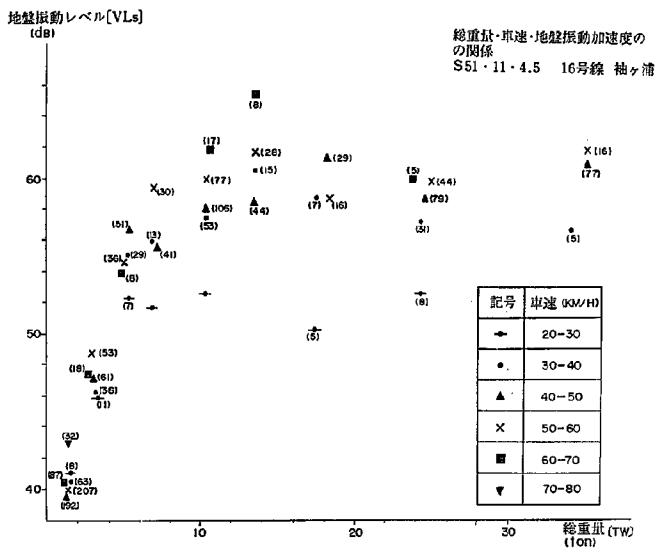


図-3.7(2) 総重量・車速と地盤振動レベルの関係

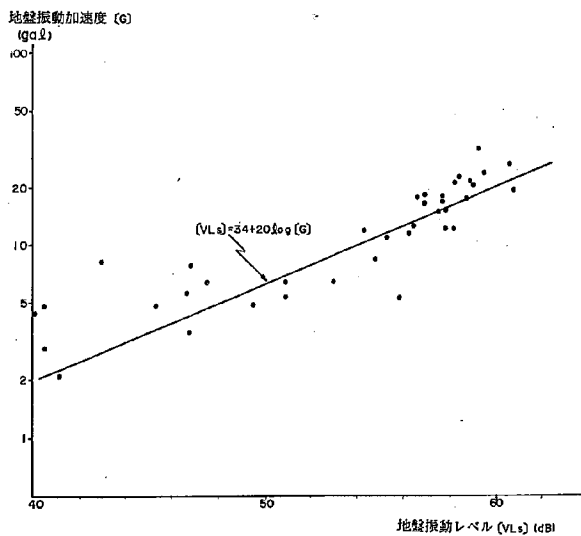


図-3.8 地盤振動加速度と地盤振動レベルの関係

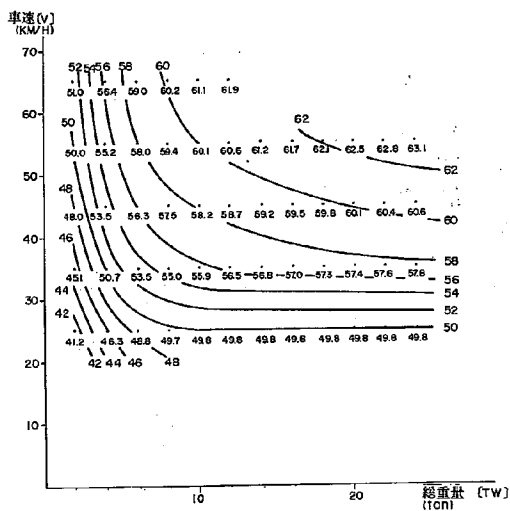


図-3.9 等振動レベル線

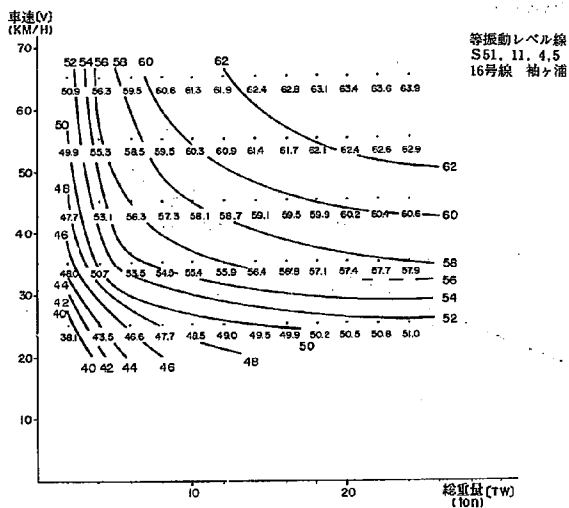


図-3.10 等振動レベル線(予測値)

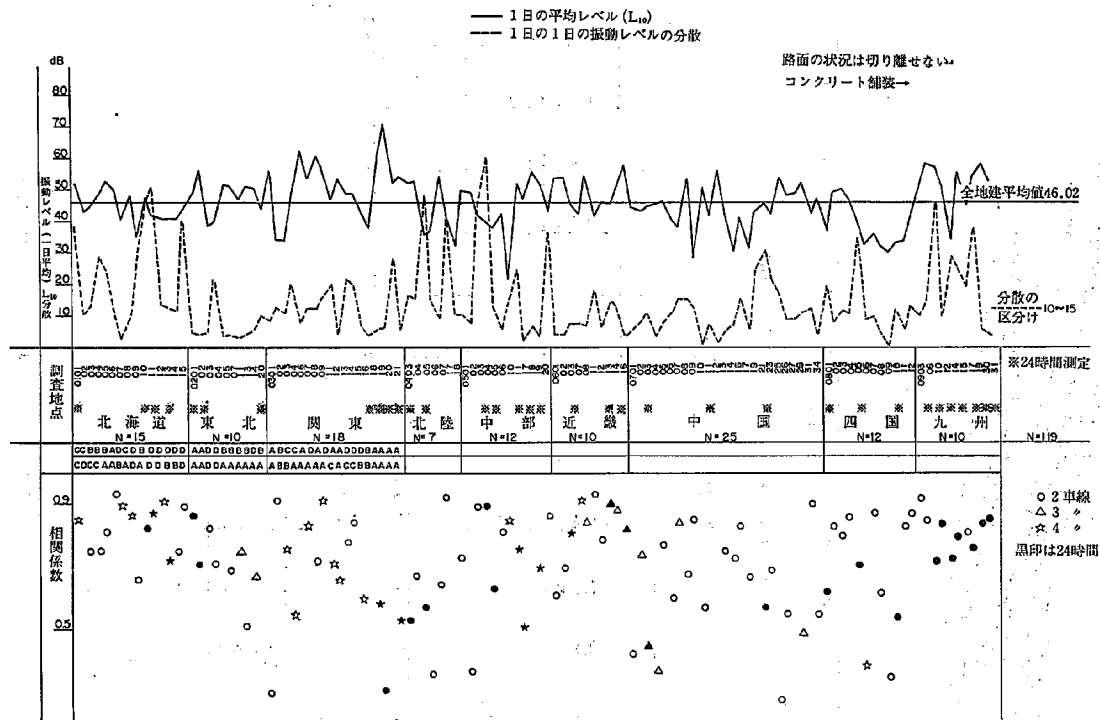


図-4.1 振動レベル (1日の平均 L_{10}) 一覧表

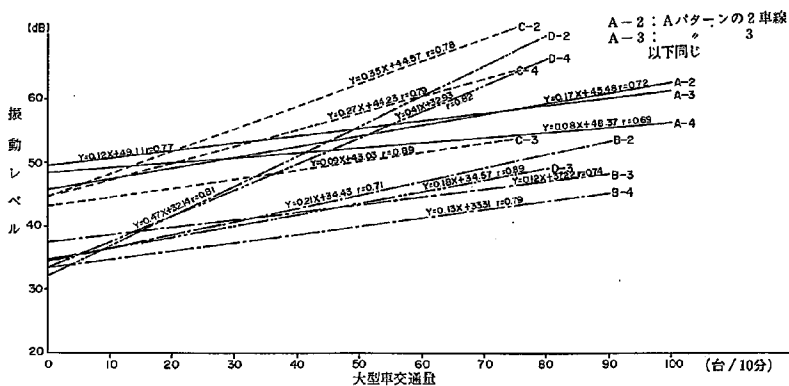


図-4.2 振動レベルと大型車台数の相関

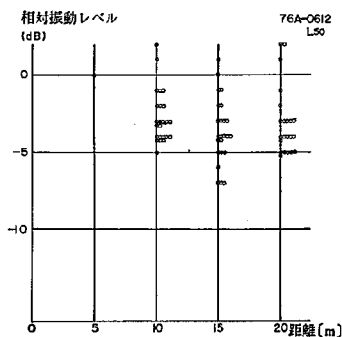
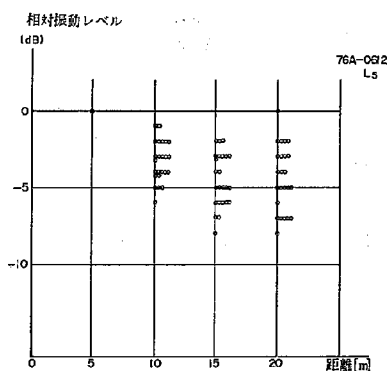
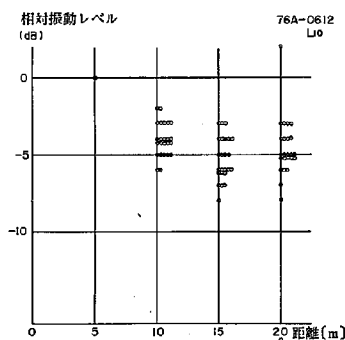


図-4.3 振動の距離減衰

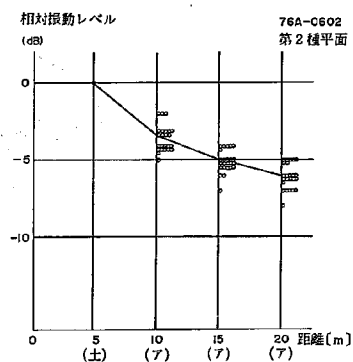
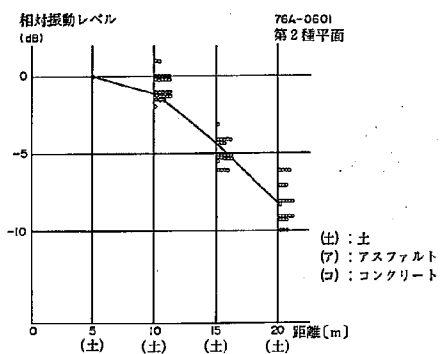


図-4.4.1 振動の距離減衰

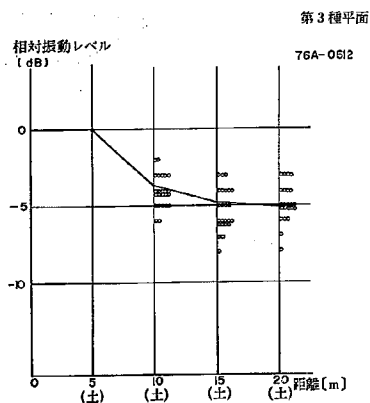
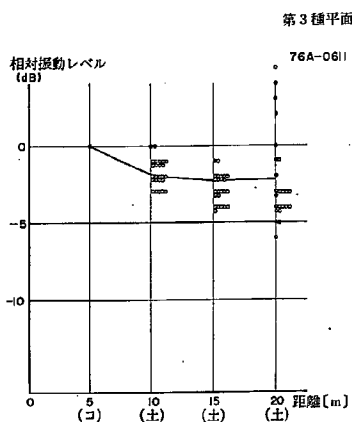


図-4.4.2 振動の距離減衰

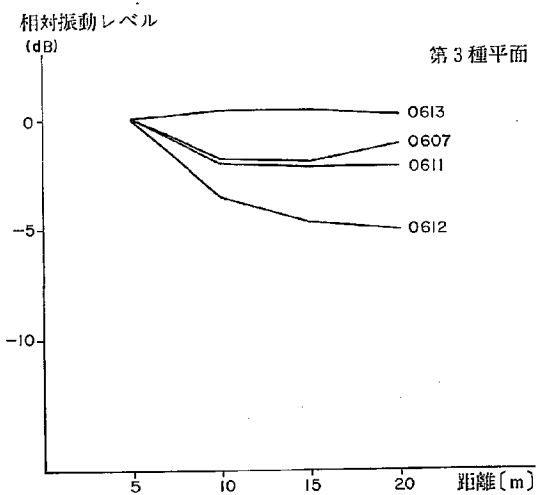
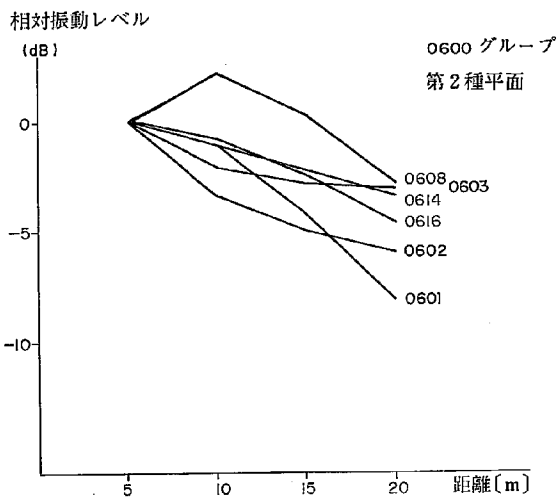


図-4.5 地盤別振動距離減衰

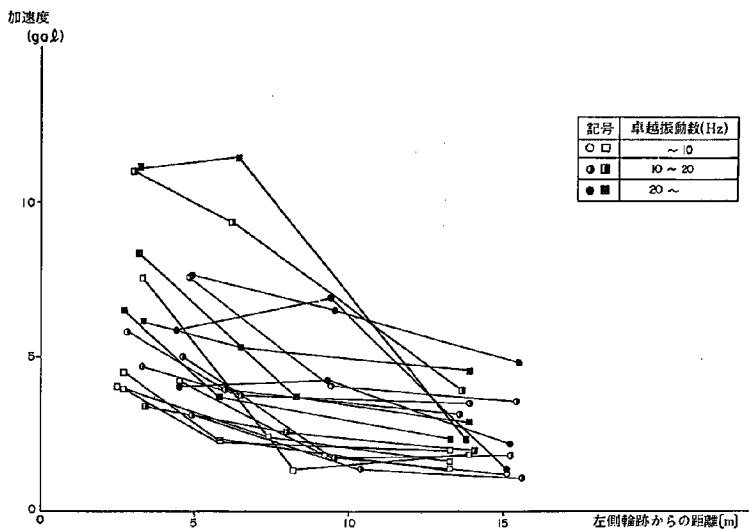


図-4.6.1 道路交通振動距離減衰

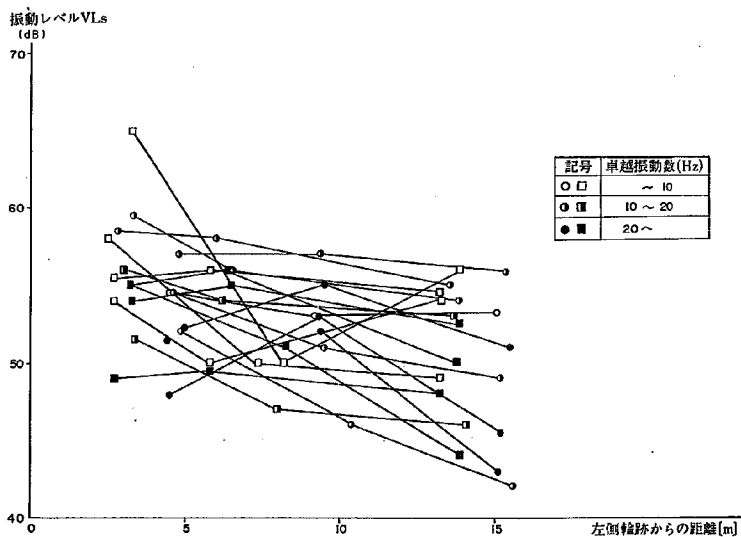


図-4.6.2 振動距離減衰

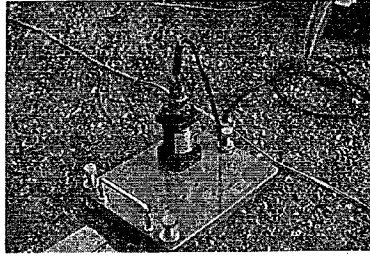


写真-2.1 加 速 度 計



写真-2.2 実験状況 (試験車 (B))

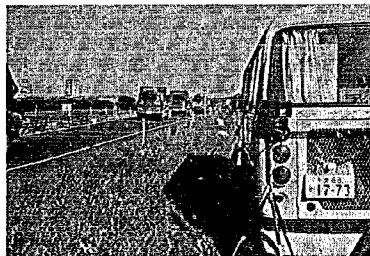


写真-3.1 実測状況 (袖ヶ浦)