

土研資料第1354号

土 木 研 究 所 資 料

橋梁の設計動荷重に関する試験調査報告書〔I-1977〕

昭和53年3月

建設省土木研究所
構造橋梁部構造研究室

は　じ　め　に

昭和52年度に実施した「橋梁の設計動荷重に関する試験調査」（道路事業調査費）の成果をここに報告する。なお、本試験調査は昭和51年度まで実施されていた「橋の構造特性に関する試験調査」の課題名を変更したものである。

内容は大別して2章に分かれる。

第1章 単純桁橋の衝撃係数に関する調査

ここでは、路面凹凸の良否が橋梁の衝撃係数に与える影響を明らかにすること、および現行設計衝撃係数の再検討を主目的としている。本年度は、単純桁橋における単一車走行時の主桁たわみ衝撃係数の数値解析が終了したので、その結果をとりまとめて報告する。

第2章 路面凹凸および動的付加荷重実測調査

本調査の主目的は、パワースペクトルによる路面平坦性評価基準の確立、および路面凹凸に起因する車両の動的付加荷重の定量的把握である。前者については基準（案）がまとまったのでここに紹介するものである。後者については、本年度はシミュレーション計算による実測値の再現手法を検討した結果を報告する。

昭和53年3月

構造研究室	室　長	成　田　信　之
	研究員	桂　樹　正　隆

目 次

はじめに

1. 単純桁橋の衝撃係数に関する調査.....	1
1.1 まえがき.....	1
1.2 単一車走行時の応答計算.....	1
1.3 複数車走行時の応答計算.....	3
表.....	5
図.....	8
2. 路面凹凸および動的付加荷重実測調査.....	14
2.1 調査目的および概要.....	14
2.2 現地調査要領.....	15
2.3 実測調査結果.....	17
2.4 路面平坦性評価法の検討.....	17
2.5 車両の伝達関数の検討.....	19
2.6 動的付加荷重のシミュレーション計算.....	19
2.7 まとめ.....	21
表.....	22
図.....	25

1. 単純桁橋の衝撃係数に関する調査

1.1 まえがき

本調査は路面凹凸の良否が橋梁の衝撃係数に与える影響を明らかにすることを主目的として、昭和51年度から実施している。前年度の報告書^{*}では、調査目的、理論式の誘導、及び数値計算手法の妥当性の検討等について詳しく述べ、さらに計算結果としてスパン長 $\ell = 20, 30, 40, 50$ mの単純桁橋上を一台の車両が走行したときの主桁のたわみ衝撃係数を紹介した。今年度はこれと同様の計算を $\ell = 60, 80, 100$ mについて実施したので、まずこの結果を報告し、前年度の結果と合わせて単一車走行時の衝撃係数をとりまとめた。

次に、橋梁設計に用いるべき衝撃係数を再検討するために、複数車走行時の応答計算へと解析を進めたが、この計算は現在継続中であるので、今年度はその計算条件の紹介にとどめ、結果については次回報告することとした。

1.2 単一車走行時の応答計算

1.2.1 計算結果

前年度と同様の計算を $\ell = 60, 80, 100$ mの単純桁橋を対象に実施した。計算に用いた橋梁諸元を表-1.1に示した。車両諸元は前年度と同一である。

今年度の計算ケース数は、橋梁3種、路面凹凸3種、走行速度7種（但し、 $\ell = 100$ mについては2種のみ）の合計48ケースである。この結果を表-1.2にまとめた。これを支間長および路面凹凸別に図示したのが図-1.1である。

1.2.2 考察

(1) $\bar{i}$ と車速の関係

図-1.1より車速の増加とともに $\bar{i}$ がゆるやかに単調増加している傾向が読みとれる。また、その増加の割合は高車速領域程ゆるやかである。これらの傾向は前年度の結果と一致している。

(2) $\bar{i}$ と路面凹凸の関係

路面凹凸の良否が $\bar{i}$ に与える影響は非常に大きいことが図-1.1から理解される。表-1.3は路面凹凸がAのときの $\bar{i}$ と路面凹凸がBおよびCのときの $\bar{i}$ の比を求めた結果であり、これより $\bar{i}$ の比は $\ell = 100$ mの場合を除いて車速および支間長の影響をほとんど受けず、路面凹凸Bでは約2.1、路面凹凸Cでは約4.6である。一方路面凹凸高では、路面凹凸BはAの2倍、CはAの4倍であるので、 $\bar{i}$ はこの倍率より大きい比率を示している。これは、車両と橋梁の

*「橋の構造特性に関する試験調査報告書」、土木研究所資料第1233号、昭和52年3月

連成振動の影響があるためと考えられる。なぜなら、今回の計算に使用している車両モデルは線型モデルであるので、仮にこれが剛な道路上を走行した場合を考えると、路面凹凸高の比に等しい比率の動的付加荷重が発生するからである。

(3) $\bar{i}$ と ℓ の関係

$\bar{i}$ と ℓ の関係を、車速が 10, 20 m/s について路面凹凸別に図示したのが図-1.2 である。前年度の報告書では、 $\ell = 50$ m までの結果から、車両バネ上質量と橋梁の固有振動数が 1 近くになると考えられる $\ell = 50$ m においても $\bar{i}$ の増加は見られないと考察したが、今年度の計算結果も合わせた図-1.2 からは、やはりわずかではあるが、 $\ell = 40, 50$ m 付近で車両と橋梁の共振と考えられる $\bar{i}$ の増加が認められる。しかし一般的な傾向としては、従来から言われているとおり ℓ の増加とともに $\bar{i}$ は低減することが明らかとなった。

1.2.3 まとめ

前項の考察から、単一車走行による橋梁の衝撃係数を以下のようにまとめた。

走行速度については、1.2.2(1)の考察より 72 km/h の結果を用いれば十分安全であると考えられる。また、 i のサンプル値のばらつきを考慮して、衝撃係数を $\bar{i} + 2\sigma_i$ で表わすこととする。この結果を図-1.3 に示す。これより以下のことが明らかとなった。

- (1) 衝撃係数に与える路面凹凸の良否の影響は非常に大きい。
- (2) 衝撃係数は橋梁支間長とともに低減する傾向にある。

ところで、橋梁設計に用いるべき衝撃係数を再検討するためには、単一車走行時の応答計算だけでは不十分であり、複数車走行時の応答計算を実施し、載荷台数による衝撃係数の低減効果を明らかにする必要があるが、支間長の短い橋梁では単一車走行時の結果をそのまま用いてもよいと考えられる。そこで、これまでの計算結果を用いて支間長の短い橋梁の衝撃係数を再検討することとしたが、この時には前年度の報告書の 2.6(1)で述べた問題点、即ち、今回の数値計算に用いたところの仮想パワースペクトルを持つ路面凹凸が、従来の路面凹凸評価法（例えば σ 法）での評価とどのような対応にあるかを明確にする必要がある。このための調査として、路面凹凸および動的付加荷重実測調査（詳しい内容は第 2 章で述べる）を実施したので、その結果をここで引用する。それによると、今回用いた路面凹凸を σ 法で整理するとほぼ下表の範囲にあるものと推察される。

路面凹凸	路面凹凸標準偏差 (σ)
A	1.09 以下
B	1.09 ~ 1.67
C	1.67 ~ 2.90

一方、路面平坦性の検査基準および供用時の補修指針は以下のとおりである。

道 路 種 別	建 設 時 の 検 査 基 準		供 用 時 の 補 修 指 針	
	測 定 方 法	基 準 値	測 定 方 法	指 針 値
一般道路 (国道・主要地方道等)	3mプロフィルメーター による σ 値(mm)	2.4	3mプロフィルメーター による σ 値(mm)	4.0
その他 (街路・地方道等)	同 上	3.7	同 上	5.0

(路面性状の基準に関する調査特別委(道路協会)昭和49年3月より)

以上の2表を比較すると、今回の計算に用いた路面凹凸の中で最も劣悪な性質を有する路面凹凸Cと同程度の舗装路面が現存していることが確認される。また、現道路橋示方書で定められている主桁に対する設計衝撃係数は、例えば支間長10mの場合 $i=0.33$ であり、この値は図-1.3から判断しても小さすぎるものと考えられる。

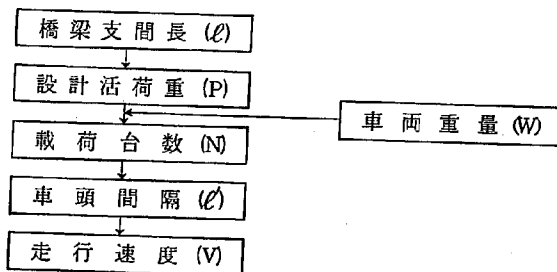
1.2.4 今後の方針

- (1) 今回は1台の車両が走行したときの衝撃係数を求めたものであり、この結果を設計に用いるべき基準として拡張するためには、載荷台数による衝撃係数の低減効果を明らかにする必要がある。この応答計算は現在継続中であるので、本報告書ではその計算方針だけを次節で述べる。
- (2) 今回の計算では、伸縮継手部に生じ易い段差を考慮に入れなかった。段差部を車両が通過したときに発生する自動車荷重は非常に大きく、これが主桁の衝撃係数に与える影響は小さいと考えられるものの、伸縮継手部付近の床版に対しては苛酷な荷重となる可能性がある。幸い今回用いた計算手法はシミュレーション法であり、この問題についての取扱いが比較的簡単であるので、来年度はこの点についても検討を加える予定である。

1.3 複数車走行時の応答計算

1.3.1 走行状態の設定

複数車走行時の応答計算を行なうには、まず車両の走行状態の設定が必要である。本調査では車両重量の総和がほぼ橋梁の設計活荷重に等しくなること、また、この時の車頭間隔と走行速度の関係が現実とかけはなれすぎないこと、の2点に留意して車両の走行状態を設定することとした。このフローを以下に示す。



(1) 橋梁支間長 (ℓ)

対象とする橋梁は $\ell = 20, 40, 60, 100 \text{ m}$ の 1 車線単純桁橋の一等橋とする。なお幅員は 3.5 m とする。

(2) 設計活荷重 (P)

現道路橋示方書に基づき L 荷重を算定する。例えば $\ell = 40 \text{ m}$ の場合、

$$P = 5 (\text{ton/m}) \times 3.5 (\text{m}) + 0.35 (\text{ton/m}^2) \times 40 (\text{m}) \times 3.5 (\text{m}) = 67 (\text{ton})$$

となる。

(3) 車両重量 (W)

車両重量は T-20 荷重を想定し、総重量 $W = 20 \text{ ton}$ とする。

(4) 載荷台数 (N)

載荷台数は P/W を四捨五入した値を基本台数とし、これに 1 台の増減を考慮して決定することとする。例えば $\ell = 40 \text{ m}$ の場合、

$$P/W = 67/20 = 3.35$$

$$N = 2, 3, 4 (\text{台})$$

となる。

(5) 車頭間隔 (ℓ')

支間長 (ℓ) と載荷台数 (N) から ℓ/N にて求める。

(6) 走行速度 (V)

車頭間隔と走行速度は密接な関係があるので、本調査では以下のような方法で ℓ' から V を定めた。まず安全車間距離 (ℓ^*) を、先行車が急制動をかけた時に後続車の運転者が 1 秒の反応時間においてブレーキ操作を行なっても追突しない距離として求めた。すなわち、

$$\ell^* = V (\text{m}) \quad [\text{但し } V \text{ は } \text{m/s}]$$

である。しかし、実際の交通流では安全車間距離が守られない可能性が強いので、ある車間距離に対する走行速度を上式の 20% 増減値の範囲にあると考え、さらに車両を 7 m と仮定して次式を求めた。

$$\ell'/1.2 < V + 7 < \ell'/0.8$$

そして、この関係を満足する V のうち、 2.5 m/s の整数倍に当るものを走行速度とすることとした。このようにして求められる走行速度は、図-1.4 に示した大型トラックの最小車頭間隔の経験値* から逆算される走行速度よりも大きな速度を与えるものであり、本計算が危険側で実施されることを意味するものである。

1.3.2 応答計算ケース数

以上の方針に沿って応答計算時の設定条件を求めたのが表-1.4 である。これに路面凹凸条件の 3 種類を掛けると総ケース数は 72 ケースとなる。

現在、この計算を継続中であるので、次の機会に結果を報告することにしたい。

* 高田弘、「交通容量」、技術書院、昭和 40 年 4 月

表-1.1 橋梁諸元

スパン長 $\ell =$	60 m	80	100
単位長当重量 $w =$	2753.3 kg/m	2795.0	2820.0
曲げ剛性 $EI =$	$65.78 \times 10^{12} \text{ kg} \cdot \text{cm}^2$	130.31×10^{12}	218.01×10^{12}
減衰定数 $h_i =$	0.02	0.02	0.02
固有振動数 (1次モード)	2.111	1.665	1.367
" (2次 ")	8.445	6.660	5.469
" (3次 ")	19.001	14.985	12.304

表-1.2(1) 衝撃係数計算結果一覧表 (支間長 $\ell = 60 \text{ m}$)

路面凹凸	諸 値	18.0 km/h (5.0 m/s)		28.8 km/h (8.0 m/s)		36.0 km/h (10.0 m/s)		43.2 km/h (12.0 m/s)		50.4 km/h (14.0 m/s)		57.6 km/h (16.0 m/s)		72.0 km/h (20.0 m/s)	
		¼点	½点	¼点	½点	¼点	½点	¼点	½点	¼点	½点	¼点	½点	¼点	½点
A	最小値	0.025		0.039		0.031		0.028		0.034		0.030		0.037	
	平均値	0.085		0.095		0.099		0.105		0.110		0.114		0.120	
	最大値	0.135		0.153		0.188		0.206		0.189		0.209		0.218	
	標準偏差	0.0223		0.0289		0.0398		0.0378		0.0391		0.0379		0.0420	
B	最小値	0.071		0.105		0.064		0.112		0.064		0.089		0.091	
	平均値	0.182		0.204		0.212		0.224		0.230		0.236		0.239	
	最大値	0.268		0.298		0.371		0.401		0.357		0.404		0.394	
	標準偏差	0.0384		0.0511		0.0788		0.0708		0.0753		0.0711		0.0692	
C	最小値	0.207		0.232		0.184		0.266		0.132		0.201		0.251	
	平均値	0.384		0.439		0.462		0.482		0.492		0.496		0.500	
	最大値	0.534		0.613		0.747		0.791		0.697		0.795		0.747	
	標準偏差	0.0635		0.0899		0.1552		0.1360		0.1467		0.1318		0.1185	

表 - 1.2(2) 衝擊係數計算結果一覽表 (支間長 $\ell = 80 \text{ m}$)

路面凹凸	諸 值	18.0 km/h (5.0 m/s)		28.8 km/h (8.0 m/s)		36.0 km/h (10.0 m/s)		43.2 km/h (12.0 m/s)		50.4 km/h (14.0 m/s)		57.6 km/h (16.0 m/s)		72.0 km/h (20.0 m/s)	
		¼ 点	½ 点	¼ 点	½ 点	¼ 点	½ 点	¼ 点	½ 点	¼ 点	½ 点	¼ 点	½ 点	¼ 点	½ 点
A	最 小 值	0.031		0.021		0.029		0.027		0.033		0.019		0.024	
	平 均 值	0.068		0.073		0.078		0.081		0.085		0.088		0.098	
	最 大 值	0.107		0.147		0.143		0.136		0.171		0.150		0.164	
	標準偏差	0.0154		0.0290		0.0247		0.0256		0.0284		0.0299		0.0331	
B	最 小 值	0.086		0.048		0.064		0.061		0.078		0.074		0.085	
	平 均 值	0.144		0.156		0.164		0.168		0.172		0.175		0.184	
	最 大 值	0.212		0.285		0.270		0.255		0.340		0.273		0.288	
	標準偏差	0.0272		0.0587		0.0446		0.0476		0.0556		0.0467		0.0479	
C	最 小 值	0.206		0.147		0.146		0.149		0.160		0.185		0.249	
	平 均 值	0.305		0.343		0.354		0.354		0.362		0.367		0.377	
	最 大 值	0.421		0.578		0.524		0.529		0.679		0.519		0.541	
	標準偏差	0.0479		0.1197		0.0815		0.0932		0.1145		0.0809		0.0800	

表 - 1.2(3) 衝擊係數計算結果一覽表 (支間長 $\ell = 100 \text{ m}$)

路面凹凸	諸 值	18.0 km/h (5.0 m/s)		28.8 km/h (8.0 m/s)		36.0 km/h (10.0 m/s)		43.2 km/h (12.0 m/s)		50.4 km/h (14.0 m/s)		57.6 km/h (16.0 m/s)		72.0 km/h (20.0 m/s)	
		¼ 点	½ 点	¼ 点	½ 点	¼ 点	½ 点	¼ 点	½ 点	¼ 点	½ 点	¼ 点	½ 点	¼ 点	½ 点
A	最 小 值					0.019								0.022	0.017
	平 均 值					0.060								0.081	0.065
	最 大 值					0.097								0.138	0.126
	標準偏差					0.0187								0.0281	0.0257
B	最 小 值					0.049								0.058	
	平 均 值					0.122								0.145	
	最 大 值					0.189								0.230	
	標準偏差					0.0340								0.0403	
C	最 小 值					0.133								0.135	0.134
	平 均 值					0.258								0.295	0.267
	最 大 值					0.379								0.447	0.442
	標準偏差					0.0663								0.0661	0.0662

表-1.3 $\bar{I}$ への路面凹凸の影響 ($1/4$ 点)
(路面凹凸Aのときの $\bar{I}$ を1とした比)

路面凹凸 支間長 (m)	車速 (km/h)	18.8	28.8	36.0	43.2	50.4	57.6	72.0
B	20	2.11	2.14	2.14	2.14	2.14	2.12	2.06
	30	2.13	2.17	2.13	2.14	2.16	2.13	2.13
	40	2.15	2.13	2.16	2.17	2.15	2.13	2.11
	50	2.14	2.14	2.21	2.14	2.15	2.11	2.04
	60	2.14	2.15	2.14	2.13	2.09	2.07	1.99
	80	2.12	2.14	2.10	2.07	2.02	1.99	1.88
	100			2.03				1.79
C	20	4.47	4.57	4.53	4.53	4.62	4.59	4.42
	30	4.57	4.72	4.64	4.63	4.69	4.63	4.61
	40	4.54	4.62	4.62	4.76	4.65	4.61	4.43
	50	4.53	4.60	4.90	4.61	4.62	4.49	4.21
	60	4.52	4.62	4.67	4.59	4.47	4.35	4.17
	80	4.49	4.70	4.54	4.37	4.26	4.17	3.85
	100			4.30				3.64

表-1.4 複数車走行時応答計算条件

支間長 (ℓ) m	設計活荷重(P) ton	車両重量(W) ton	載荷台数(N) 台	車頭間隔(ℓ) m	走行速度 (V) m/s
20	42	20	2	10	2.5, 5.0
			3	6.7	—
40	67	20	2	20	10.0, 12.5, 15.0, 17.5
			3	13.3	5.0, 7.5
			4	10	2.5, 5.0
60	91	20	4	15	7.5, 10.0
			5	12	5.0, 7.5
			6	10	2.5, 5.0
100	133	20	6	16.7	7.5, 10.0, 12.5
			7	14.3	5.0, 7.5, 10.0
			8	12.5	5.0, 7.5

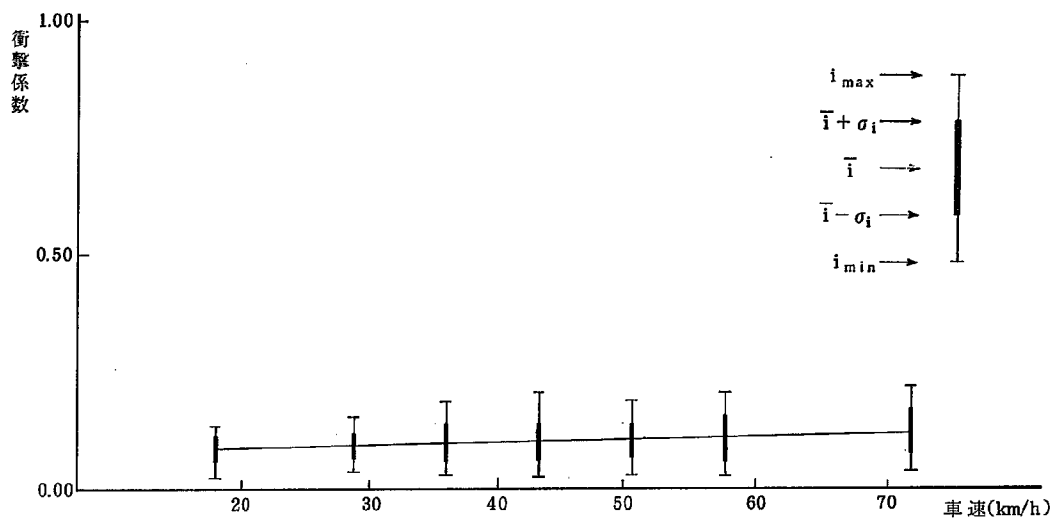


圖 - 1.1 (1) 衝擊係數 ($\ell = 60\text{ m}$, 路面凹凸 A, $\frac{1}{4}$ 点)

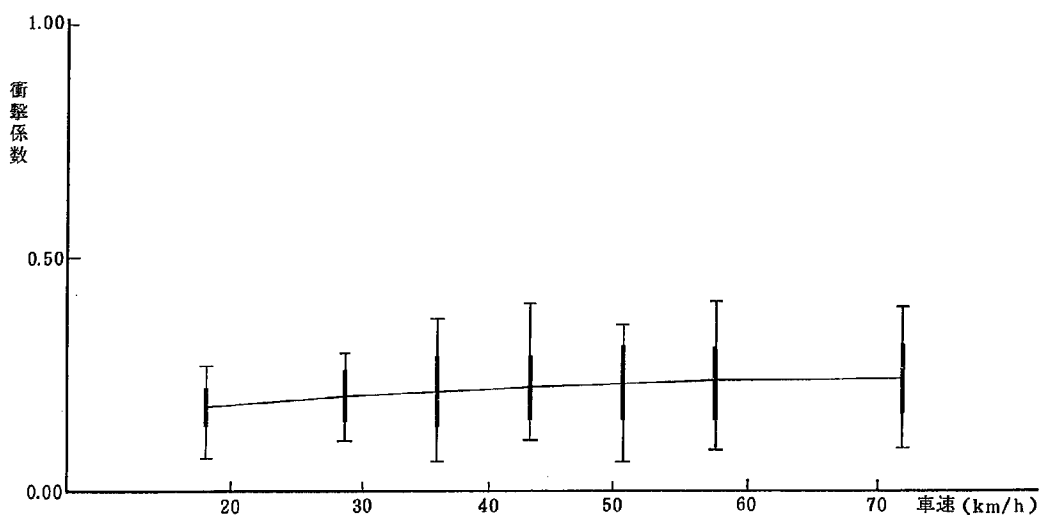


圖 - 1.1 (2) 衝擊係數 ($\ell = 60\text{ m}$, 路面凹凸 B, $\frac{1}{4}$ 点)

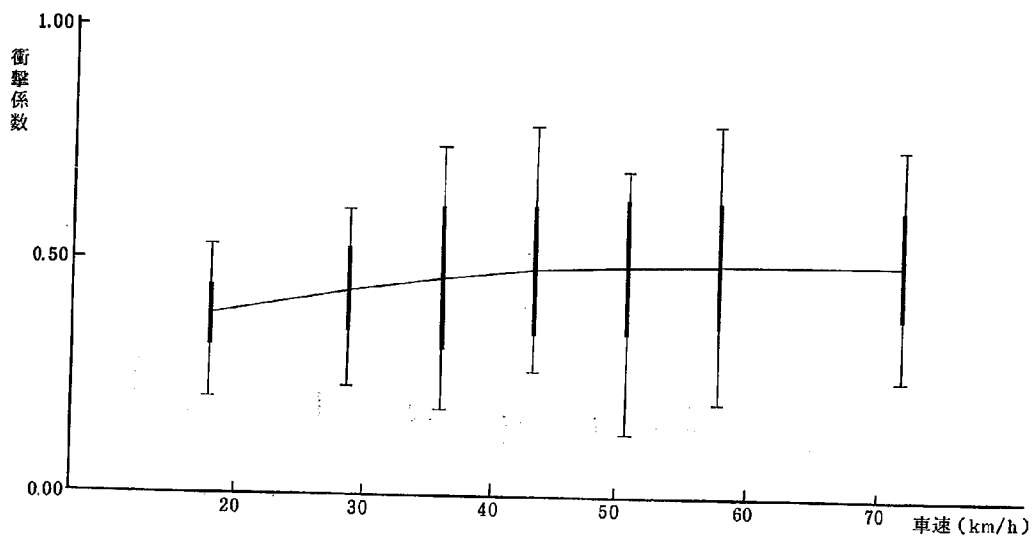


圖 - 1.1 (3) 衝擊係數 ($\ell = 60\text{ m}$, 路面凹凸 C, $\frac{1}{4}$ 点)

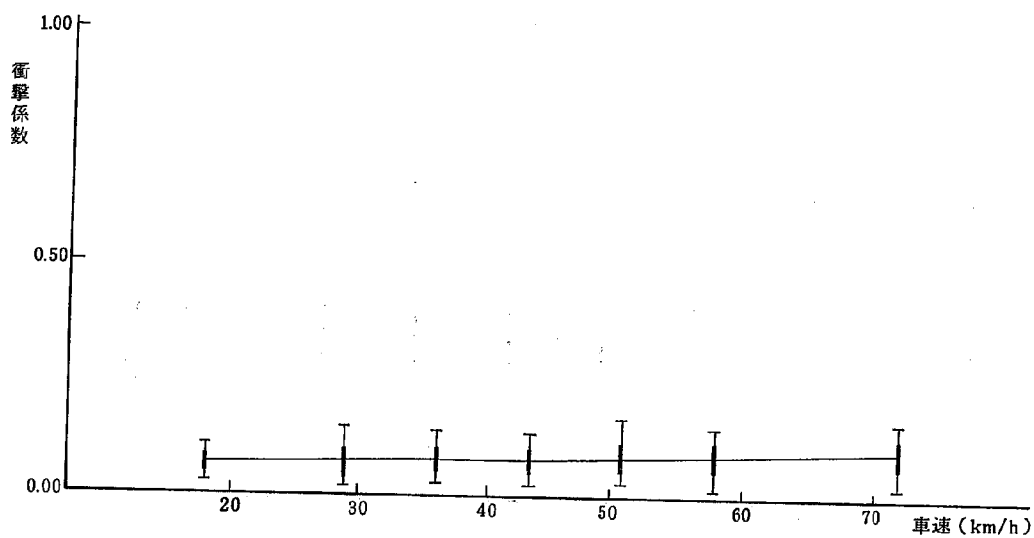


圖 - 1.1 (4) 衝擊係數 ($\ell = 80\text{ m}$, 路面凹凸 A, $\frac{1}{4}$ 点)

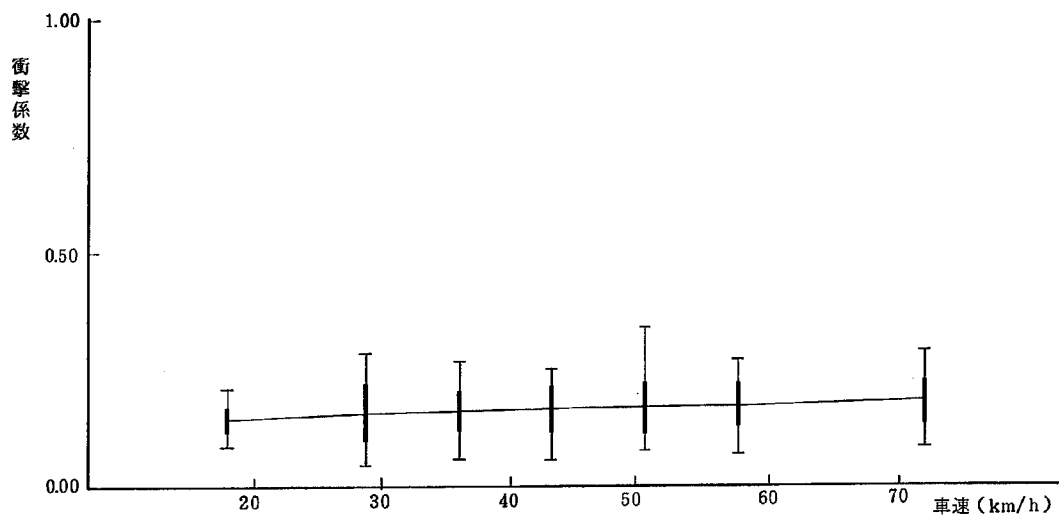


圖 - 1. 1 (5) 衝擊係數 ($\ell = 80 \text{ m}$, 路面凹凸 B, $\frac{1}{4}$ 点)

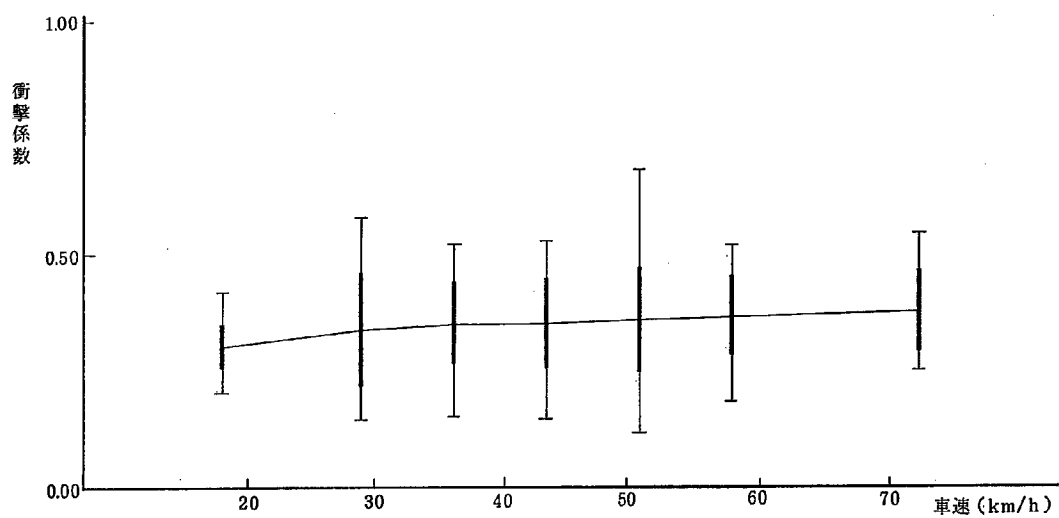


圖 - 1. 1 (6) 衝擊係數 ($\ell = 80 \text{ m}$, 路面凹凸 C, $\frac{1}{4}$ 点)

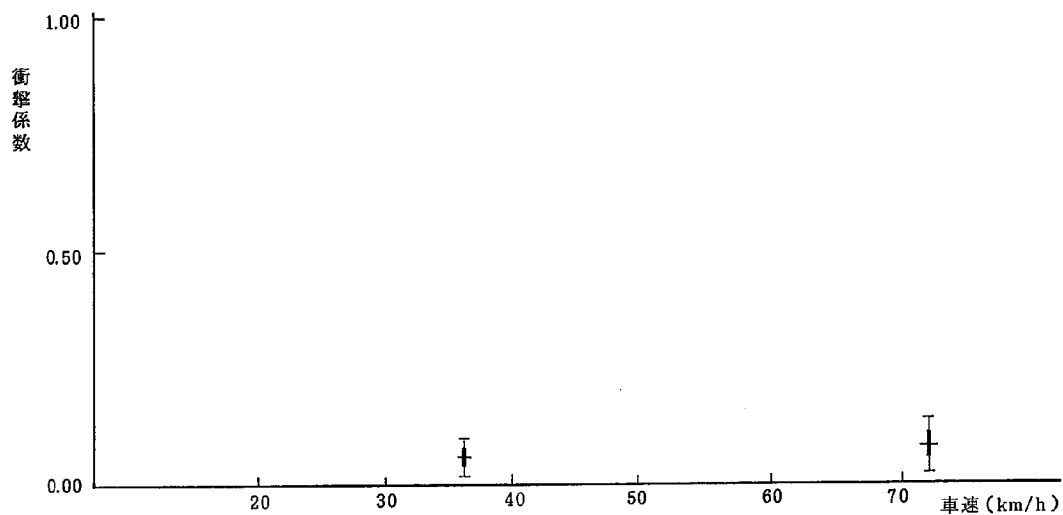


圖 - 1. 1 (7) 衝擊係數 ($\ell = 100\text{m}$, 路面凹凸 A, $\frac{1}{4}$ 點)

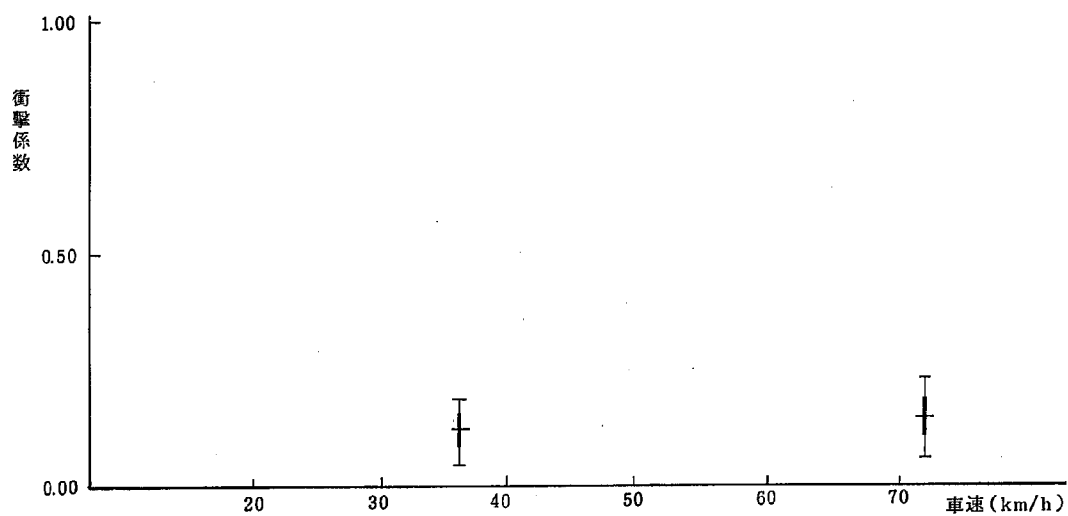


圖 - 1. 1 (8) 衝擊係數 ($\ell = 100\text{m}$, 路面凹凸 B, $\frac{1}{4}$ 點)

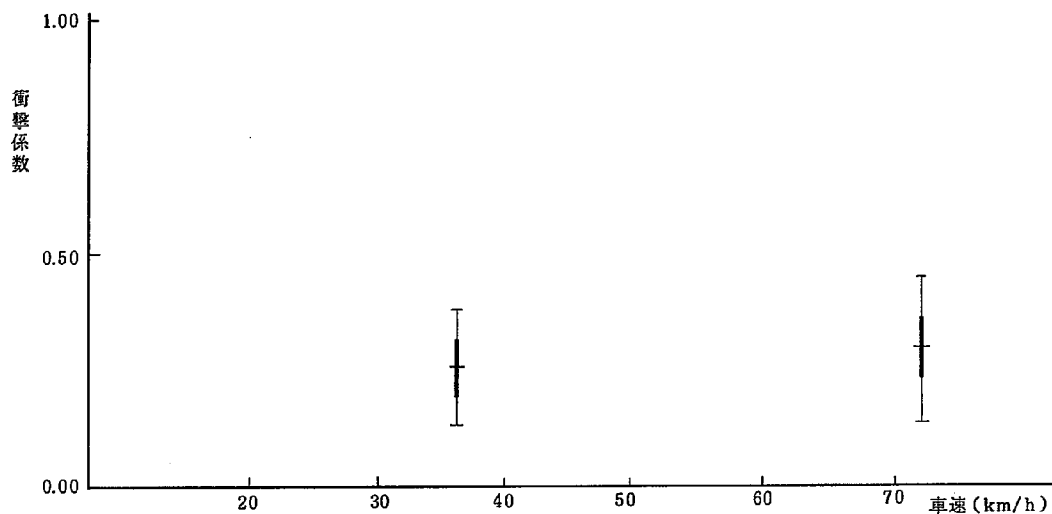


図 - 1.1(9) 衝撃係数 ($\ell = 100\text{m}$, 路面凹凸 C, $\frac{1}{4}$ 点)

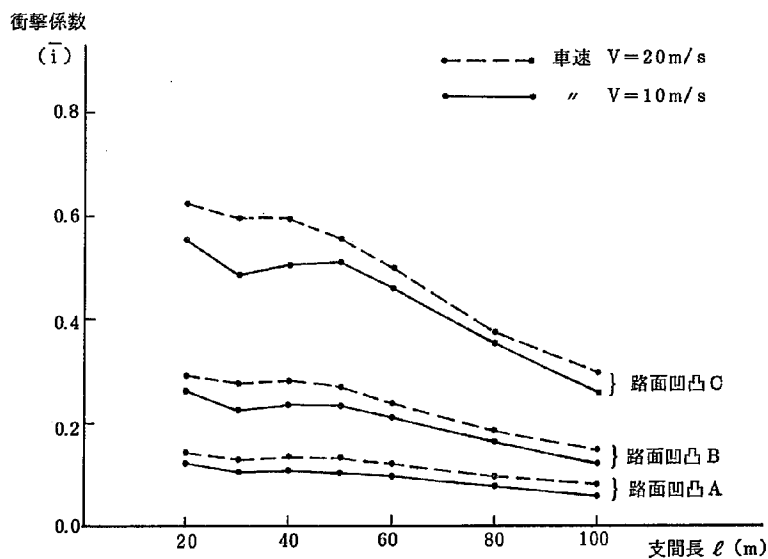


図 - 1.2 i と ℓ の関係

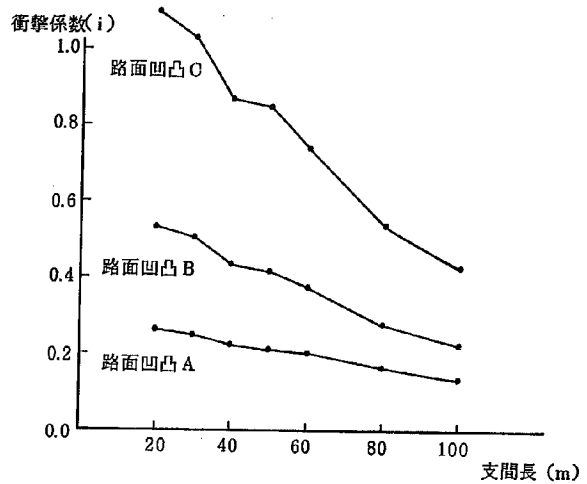


図 - 1.3 単一車走行時衝撃係数 ($i = \bar{i} + 2 \sigma_i$)

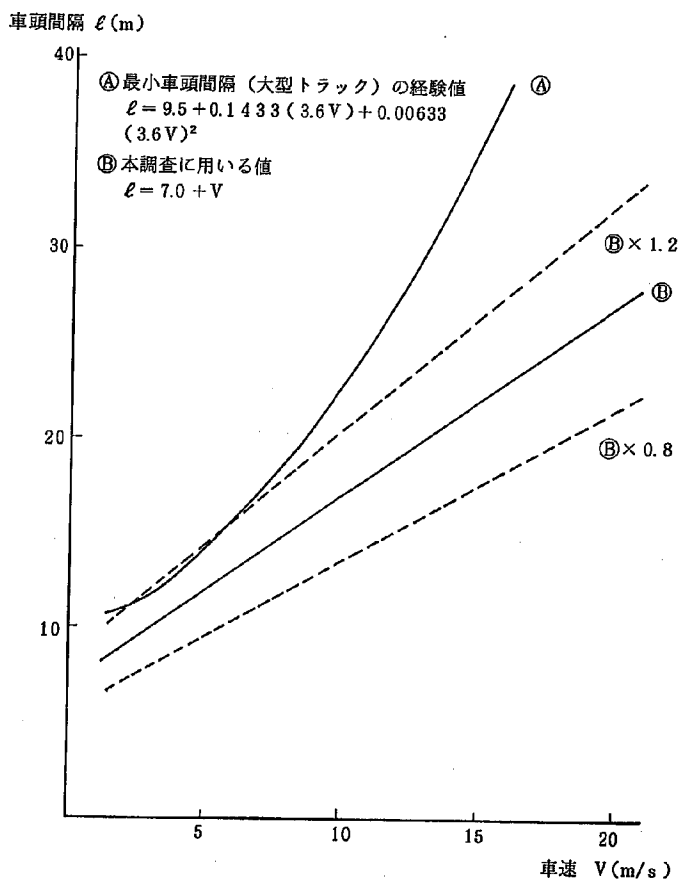


図 - 1.4 走行速度と車頭間隔の関係

2. 路面凹凸および動的付加荷重実測調査

2.1 調査目的および概要

本調査の目的およびその概要は既に前年度の報告書^{*}に述べたので、ここではそれらを簡単にまとめておく。

2.1.1 調査目的

- (1) パワースペクトルを用いた路面凹凸評価法の確立。
- (2) 路面凹凸に起因する車両の動的付加荷重の把握。
- (3) 次式で定義される車両の伝達関数の把握。

$$P_y(f) = |A(f)|^2 \cdot P_x(f) \dots\dots\dots(1)$$

$P_y(f)$: 車両の動的付加荷重パワースペクトル

$P_x(f)$: 路面凹凸パワースペクトル

$A(f)$: 伝達関数

f : 周波数 (c/s)

- (4) 動的付加荷重の実測値と計算値の比較

2.1.2 調査概要

本調査の調査フローを図-2.1に示した。調査は現地実測と室内作業に分けられる。

(1) 現地実測

- a. 試験車（マイクロバス、三菱ローザB215）の特性試験

後軸の懸架バネおよびタイヤバネ定数の測定。

- b. 路面凹凸および動的付加荷重実測調査

1ヶ所当り100mの調査区間を30ヶ所選定し、それぞれの調査区間で、3mプロフィールメーターおよび高速プロフィールメーターによる路面凹凸の実測を行ない、さらに試験車後軸（軸重2.5 ton）の動的付加荷重の実測を行なう。

(2) 室内作業

- a. 3mプロフィールメーター記録の整理

σ , $P_r I$ を算出する。

- b. 高速プロフィールメーター記録の整理

路面凹凸パワースペクトルを算出する。

- c. パワースペクトルを用いた路面凹凸評価法の検討

aおよびbの結果を比較し検討する。

* 「橋の構造特性に関する試験調査報告書〔Ⅱ-1976〕」, 土木研究所資料第1233号, 昭和52年3月

d. 動的付加荷重記録の整理

動的付加荷重のパワースペクトルを算出する。

e. 車両の伝達関数の検討

b および d の結果より伝達関数を算出する。

f. 動的付加荷重の実測値と計算値の比較

(1) a の結果を参考に車両構造諸元の初期値を設定し、これに高速プロファイルメータにより得られた路面凹凸を入力し、動的付加荷重の計算値を求め実測値と比較する。両者の一致を見るまで車両構造諸元を変更し、最適な車両構造諸元を決定する。

2.2 現地調査要領

2.2.1 調査地点の選定

調査対象ヶ所を次のような条件のもとで選定した。

- ① なるべく縦断勾配が小さく 100 m 区間において高速プロファイルメータによる凹凸測定が可能であること。
- ② 2 車線以上で交通量・流入道・民家が少なく、かつ見通しの良い道路とする。（現地作業上の安全対策のため）
- ③ 目視による路面凹凸が良～悪まで均質に入るよう計 30ヶ所を選定する。

2.2.2 目視調査

各調査対象ヶ所において目視による周辺状況、路面の現状等を調査した。調査項目は調査ヶ所周辺の状況、舗装の種類、路面の状況すなわち不陸、目地、ひびわれ、うねり、マンホール等である。要領は予め作成しておいた野帳に上記の事柄を記載し、その位置、規模等についても記載した。また 1 対象ヶ所に付き数枚から 10 数枚の写真を撮影してその路面変状の位置を明確にした。

これらの目的は外観調査による路面の評価を行うデータとすると共に 3 m プロファイルメータの実測結果との対比、ないしは高速プロファイルメータによる実測波形のパワースペクトルによる評価等を合わせ路面平坦性を総合評価することにある。

2.2.3 3 m プロファイルメータによる路面凹凸の調査

3 m プロファイルメータを用いて試験車の右側車輪通過位置付近の路面の凹凸を調査した。測定要領は各対象区間での測定区間 100 m の手前より測定を開始して 100 区間を直線的に移動させる。途中段差・オーバーレイ・目地・ひびわれ等の特異ヶ所があれば移動を止めて記録紙上にその旨記載してその後また移動を続け、測定輪が測定区間 100 m 終線上をすぎたら測定を終了した。測定は 1 対象ヶ所につき 2 回行った。

2.2.4 高速プロファイルメータによる路面凹凸の調査

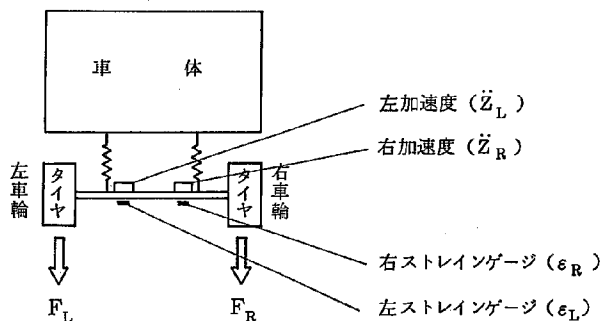
高速プロファイルメータは当研究室が開発した車載型のプロファイルメータであり、その測定

原理を図－2.2に示す。即ち、路面と車体間の相対変位と車体自身の変位の和算から路面凹凸を求めようとするものであり、従来の3 mもしくは8 mプロファイルメーターに比して長周期の路面凹凸波形の記録が可能である。したがって、この記録から低周波領域までの路面凹凸パワースペクトルを求めることができる。

測定は3 mプロファイルメーターの時と同一の測定線上を、測定車を定速（約20 km/h）で走行させながら、各地点で2回行なった。

2.2.5 動的付加荷重の測定

試験車（マイクロバス、三菱ローザB215）の後軸（軸重2.5 ton）の動的付加荷重を実測した。測定には、後車軸に取付けた2枚のストレインゲージ（バネ上質量がバネ下質量に伝達する力による車軸の曲げ歪を測定）と2個の加速度計（バネ下質量の加速度を計測）、およびそれらの出力信号から動的付加荷重をアナログ的に求めるための演算器を用いた。



$$\left. \begin{aligned} \frac{1}{2} (\ddot{Z}_L + \ddot{Z}_R) &= a \\ \frac{1}{2} \frac{\ell}{\ell_1} (\ddot{Z}_L + \ddot{Z}_R) &= b \end{aligned} \right\} \text{とすると}$$

$$F_L = \frac{m}{2} (a + b) + \epsilon_L \cdot k_\ell$$

$$F_R = \frac{m}{2} (a - b) + \epsilon_R \cdot k_R$$

$$F = F_L + F_R$$

m : バネ下質量
 k_ℓ :
 k_R : } 校正係数
 ℓ, ℓ_1 : タイヤ間及び加速度計間距離

測定は土木研究所構内の試走路においては20, 30, 40, 50, 60 km/h 走行について各2回、またその外29ヶ所においては20, 30, 40 km/h 走行で各2回実施した。測定区間はプロファイル調査区間と同じ100 m区間とした。

2.3 実測調査結果

2.3.1 試験車の特性試験結果

静的載荷試験により試験車後軸部の懸架部（板ばね）及びタイヤ部（タイヤ空気ばね）のバネ定数を求めた結果を図-2.3に示した。これら結果より各特性は、懸架部約53.2～56.8 t/m、タイヤ部約36.8 t/mと算出される。

2.3.2 目視調査結果

今回調査された測定ヶ所の目視観察結果を表-2.1にまとめた。また各測定区間内の路面状況の1例を図-2.4に示した。観測結果によれば、今回調査区間内は比較的良好な路面が多かったようである。

2.3.3 3 mプロフィルメーター記録の整理結果

図-2.5は3 mプロフィルメーター記録の1例である。これらの記録より、従来からの路面平坦性評価指標である σ および $P; I$ の各値を読みとった。その結果を表-2.2にまとめる。

2.3.4 高速プロフィルメーターおよび動的付加荷重記録の整理結果

実測調査により得られた高速プロフィルメーターおよび動的付加荷重記録を電子計算機を用いてプロッター処理した記録の一部を図-2.6に示す。これより路面凹凸と動的付加荷重の間に強い相関性があるのが理解される。

2.4 路面平坦性評価法の検討

2.4.1 パワースペクトルによる評価

(1) ISO規格

路面凹凸パワースペクトルによる路面平坦性評価規格案がISOにより定められている。この規格案によると、図-2.7の点線に示したように路面凹凸パワースペクトルは2本の折線で近似され、極良から極悪まで5段階の評価が与えられている。これを式で表現すると以下のとおりである。

$$S(n) = S(n_0) (n/n_0)^{-w} \dots\dots\dots (2)$$

$S(n)$: 路面凹凸パワースペクトル密度 ($\text{mm}^2/\text{c}/\text{m}$)

n : 路面空間周波数 (c/m)

n_0 : $1/2\pi$ (≈ 0.16) c/m

w : $n \leq n_0$ のとき 2

$n > n_0$ のとき 1.5

$$S(n_0) = \begin{cases} 2 \sim 8 \text{ のとき} & \text{極良} \\ 8 \sim 32 \text{ のとき} & \text{良} \\ 32 \sim 128 \text{ のとき} & \text{普通} \\ 128 \sim 512 \text{ のとき} & \text{悪} \\ 512 \sim 2048 \text{ のとき} & \text{極悪} \end{cases}$$

(2) 本調査結果による検討

上述の ISO 規格案の妥当性を検証するために、本調査により得られた高速プロファイルメーター記録から路面凹凸パワースペクトルを求めた。その結果の一部を図-2.7に示す。同図には ISO 規格案も破線で示した。図-2.7からだけでははっきりとした傾向は読みとれないが、30 地点分のすべての路面凹凸パワースペクトルを用いて総合的に検討した結果、ISO 規格案の 2 本の折線では路面凹凸パワースペクトルを近似することはできず、むしろ $n_0 = 1/10$ (c/m) を折点として、 $n > n_0$ の範囲では $W = 2.5$ とした次式がよく一致することが明らかとなった。

$$S(n) = S(n_0) (n/n_0)^{-W} \dots\dots\dots (3)$$

$S(n)$: 路面凹凸パワースペクトル密度 (mm²/c/m)

n : 路面空間周波数 (c/m)

n_0 : 0.1 c/m

w : $n \leq n_0$ のとき 2

$n > n_0$ のとき 2.5

次に、(3)式で路面凹凸パワースペクトルを近似した時の評価基準を明らかにするためには、他の路面平坦性評価基準 (σ , $P_r I$, TCR等によるもの) との整合性を考慮しなければならない。そこで、ここでは $n \leq 0.1$ c/m の領域のみに注目し、ISO 規格による評価を準用したものを仮の評価基準にしておく。即ち、(3)式において

$$S(n_0) = \begin{cases} 5.066 \sim 20.26 & \text{のとき 極良} \\ 20.26 \sim 81.06 & \text{のとき 良} \\ 81.06 \sim 324.2 & \text{のとき 普通} \dots\dots\dots (4) \\ 324.2 \sim 1297 & \text{のとき 悪} \\ 1297 \sim 5188 & \text{のとき 極悪} \end{cases}$$

である。図-2.8はこの評価基準により 30 地点のパワースペクトルを分類したものである。

2.4.2 σ , $P_r I$ による評価

σ , $P_r I$ の整理結果は既に表-2.2に示した。これから両者の相関を図示したのが図-2.9である。これより両者の相関は非常に強く (相関係数 $r = 0.92$)、ほぼ次式が成立していることが明らかとなった。

$$\sigma = 0.0167 \times P_r I + 1.193 \dots\dots\dots (5)$$

一方、これらの指標値による評価基準も確立されたものはないが、 $P_r I$ については高速道路調査会が作成した基準 (下表参照)、および σ については道路協会が作成した基準 (1.2.3 参照) がある。

$P_r I$ 値	評 価
0 ~ 16 cm/km	優
16 ~ 90	良
90 以上	可

(但し 土工部分)

これらの値と図-2.9に示した両者の相関関係を参考にして、ここでも仮に $P_r I$ 値による路面平坦性評価基準を次のように定めた。

$$P_r I = \begin{cases} 0 \sim 15 & \text{のとき} & \text{極良} \\ 15 \sim 70 & \text{のとき} & \text{良} \\ 70 \sim 150 & \text{のとき} & \text{普通} \\ 150 \sim & \text{のとき} & \text{悪} \end{cases} \dots\dots\dots (6)$$

2.4.3 路面平坦性の総合評価

表-2.2には(6)式による路面平坦性評価、(3)・(4)式による評価および見視による評価をまとめて記した。これより3者間に良い一致が見られる。したがって、2.4.1で仮に提案した路面凹凸パワースペクトルによる平坦性評価法と2.4.2で提案した $P_r I$ 値による評価法は、両者間の整合性もよく、路面平坦性評価基準として合理的なものと考えられる。

次に、パワースペクトルによる平坦性評価法を中心に考えたとき、その評価に対応する σ , $P_r I$ 値をさらに明確にするため、パワースペクトルによる評価別に σ , $P_r I$ 値の平均を求めた。その結果を表-2.3に示す。以上の結果より、路面平坦性評価基準(案)として表-2.4を提案する。

2.5 車両の伝達関数の検討

2.5.1 動的付加荷重パワースペクトルの算出

各地点および各走行速度毎に得られた動的付加荷重記録から、そのパワースペクトルを求めた。結果の一部を図-2.10に示す。これよりパワースペクトルがピークとなる空間周波数の値が車速の増加とともに低くなること、またそのピーク値自身は車速の増加とともに大きくなっているのが理解される。

2.5.2 車両の伝達関数の算出

路面凹凸および動的付加荷重パワースペクトルから(1)式の定義にしたがって車両の伝達関数を算出した。結果の一部を図-2.11に示す。これらより、伝達関数は調査地点および車速の影響をほとんど受けていないことが分る。図-2.12はすべての伝達関数が存在する範囲を示したものであり、低周波領域に比べて高周波領域での範囲が広いといえよう。また、バネ上質量の振動数は約3.3 Hzであることが読みとれるが、バネ下質量の振動数については明確なピークが無く、その値は不明である。

2.6 動的付加荷重のシミュレーション計算

2.6.1 車両のモデル化および計算手法

試験車の後軸を図-2.13のように線型モデル化した。シミュレーションモデルの運動方程式は次式で表わされるので、

$$m\ddot{z} + c(\dot{z} - \dot{z}_T) + k(z - z_T) = 0 \quad \dots\dots\dots(7)$$

$$m_T\ddot{z}_T + c_T(\dot{z}_T - \dot{w}) + c(\dot{z}_T - \dot{z}) + k_T(z_T - w) + k(z_T - z) = 0$$

動的付加荷重Pは、路面に対して下向きを正とすれば、

$$P = -m\ddot{z} - m_T\ddot{z}_T \quad \dots\dots\dots(8)$$

となる。これを解析的に解くのは困難であるので、ルンゲ・クッター法による数値解析を行なうこととした。

2.6.2 路面凹凸入力データの選定

数値計算において用いる路面凹凸データとしては、表-2.2に示した総合評価が良および普通であるものとして、Point-4, 13, 22, 29での高速プロフィルメーターの記録を選定した。

2.6.3 車両諸元の検討

車両諸元を表わすパラメーターとして、次式を定義しておく。

$$\text{バネ上振動数 } \nu = \sqrt{k/m} \cdot 1/2\pi \quad (\text{Hz})$$

$$\text{バネ下振動数 } \nu_T = \sqrt{k_T/m_T} \cdot 1/2\pi \quad (\text{Hz})$$

$$\text{バネ上減衰定数 } \beta = c/(2m\nu)$$

$$\text{バネ下減衰定数 } \beta_T = c_T/(2m_T\nu_T)$$

$$\text{質量比 } R_m = m_T/m$$

(1) バネ定数(k, k_T)の検討

i) 特性試験から求めたバネ定数

図-2.3に示した結果から、 $k = 110 \text{ t/m}$ および $k_T = 73.6 \text{ t/m}$ が得られる。試験車の質量は既知であり、 m, m_T はそれぞれ $211/9.8, 0.39/9.8 \text{ (ton} \cdot \text{sec}^2/\text{m})$ であるので、これらから計算される ν, ν_T はそれぞれ $3.6, 6.8 \text{ Hz}$ である。

ii) 伝達関数から求めたバネ定数

2.5.2で述べたように ν は 3.3 Hz であるが、 ν_T は不明である。そこで、ここでは経験的判断から $\nu_T = 13.3 \text{ Hz}$ と考えることにした。これらの値から k, k_T を逆算すると、それぞれ $90, 280 \text{ t/m}$ となる。

iii) シミュレーションモデルバネ定数の決定

i) ii) から明らかのように、特性試験および伝達関数から求めた k の値はよく一致しているが、 $\nu_T = 13.3 \text{ Hz}$ と仮定した k_T 値と特性試験で得た値とは4倍近い開きがある。

そこで、それぞれのバネ定数がシミュレーション結果に与える影響を見るために、 k, k_T は変化させ、他の諸元を同一にした条件の下で動的付加荷重をシミュレートし、実測値と対比させた。 k を変化させた時の結果を図-2.14に示す。これより k がシミュレーション結果に与える影響が大きいこと、また $k = 90$ の場合が実測値により一致を示すことが明らかとなった。一方 k_T を変化させた時の結果からは、 k_T が動的付加荷重に与える影響は小さく、

$k_T = 280 \text{ t/m}$ を用いて良いことが確認された。

(2) 減衰係数 (C , C_T) の検討

C , C_T の検討においても、前項と同様にこれ以外の諸元は同一にした条件の下でシミュレーション計算を行なった。その結果、動的付加荷重に与える影響度はやはり C の方がはるかに大きく、 C_T の影響はほとんどないことが明らかとなった。また種々の計算結果から、 C , C_T はそれぞれ 4.4, 2.0 ($\text{t} \cdot \text{sec/m}$) の時の計算結果が実測値とよく一致することも確認できた。

(3) 車両諸元

以上の検討から、車両諸元を以下のように決定した。

バネ上質量	2.11/9.8 ($\text{t} \cdot \text{sec}^2/\text{m}$)	バネ上振動数	3.3 (Hz)
バネ下質量	0.39/9.8 ($\text{t} \cdot \text{sec}^2/\text{m}$)	バネ下振動数	13.3 (Hz)
懸架バネ定数	90.0 (t/m)	バネ上減衰定数	0.5
タイヤバネ定数	280.0 (t/m)	バネ下減衰定数	0.3
懸架部粘性係数	4.4 ($\text{t} \cdot \text{sec/m}$)	質量比	0.186
タイヤ部粘性係数	2.0 ($\text{t} \cdot \text{sec/m}$)		

2.6.4 シミュレーション結果

前項で定めた車両諸元および Point-4, 13, 22, 29 の路面凹凸データを用いたシミュレーション計算を、各車速について実施した。結果の一部を図-2.15 に示す。これからシミュレーション結果と実測値とを比較してみると、全体的な傾向としてはよく一致しているものの、路面凹凸が段差に近い形状を示している地点では、シミュレーション結果の方が必ずといってよいほど大きな値を示していることが分る。この原因としては、本計算に用いた車両モデルが線型モデルであることがあげられよう。

図-2.16 はシミュレーション結果から求めた動的付加荷重パワースペクトルおよび車両の伝達関数の一部である。これによると、シミュレーション結果と実測結果との間に良い一致がみられる。

2.7 ま と め

本調査により明らかになった点を以下にまとめておく。

- (1) パワースペクトルを用いた路面平坦性評価基準(案)を提案することができた(表-2.4)。本案は従来からの指標である σ , $P_r I$ 値による平坦性評価とも良い整合性をもっている。
- (2) 動的付加荷重の実測値とシミュレーション値は、全体的には良く一致するものの、段差等の地点ではシミュレーション値の方が大きくなる。
- (3) この点を改良するためには、車両の非線型モデル化を検討する必要がある。
- (4) しかし、動的付加荷重のパワースペクトルおよび伝達関数の面では両者の間に良い一致がみられた。

表 - 2.1 目視調査結果一覧表

番号	調査対象場所 (千葉県茨城県)	舗装種別	路面状況	周囲状況
1	土木研究所 土試走路	コンクリート	普通	土研構内
2	補ヶ浦	アスファルト	良好	空地
3	"	"	"	工業団地内
4	"	"	"	"
5	"	"	"	"
6	"	"	"	"
7	大曾根	"	極良好	畑
8	長生村	"	普通	田畑
9	"	"	良好	"
10	"	"	普通	"
11	豊村	"	"	"
12	"	"	良好	"
13	"	"	普通	畑と宅地
14	東金	"	"	宅地
15	光町	"	良好	田
16	成田三里塚	"	"	"
17	富里村	"	"	畑
18	"	"	普通	"
19	"	"	"	"
20	野毛平工業団地	"	極良好	工業団地内
21	佐原駅前	"	良好	宅地
22	潮来町	"	悪し	田畑
23	"	"	良好	"
24	東村	"	"	田
25	鹿島	"	悪し	"
26	鹿島神栖	"	"	"
27	東村水神	"	"	田畑
28	新利根村	"	普通	畑
29	江戸崎町	"	良好	田
30	習志野	"	"	山林・宅地

表 - 2.2 路面平坦性指標値およびその評価

測定値	標準偏差 σ (mm)	$P_r I$ (cm/km)	$P_r I$ による 評 価	パワースペクトル による評価	目視による 評 価	総合評価
P-1	2.63	57.7	良	良	普	良
P-2	1.08	3.8	極 良	極 良	良	極 良
P-3	1.80	32.3	良	良	良	良
P-4	1.12	9.2	極 良	良	良	良
P-5	2.14	47.2	良	良	良	良
P-6	3.11	102.3	普	悪	良	普
P-7	1.26	4.7	極 良	良	極 良	極 良
P-8	3.91	119.6	普	悪	普	普
P-9	1.87	18.4	良	良	良	良
P-10	2.46	96.6	普	普	普	普
P-11	3.31	127.8	普	良	普	普
P-12	2.68	65.1	良	普	良	良
P-13	3.74	72.7	普	普	普	普
P-14	4.71	159.4	悪	普	普	普
P-15	1.47	54.1	良	良	良	良
P-16	1.22	21.9	良	良	良	良
P-17	0.90	20.2	良	良	良	良
P-18	2.16	103.2	普	普	普	普
P-19	1.19	5.7	極 良	普	普	良
P-20	1.09	10.4	極 良	極 良	極 良	極 良
P-21	2.61	76.0	普	良	良	良
P-22	2.27	51.9	良	普	悪	普
P-23	1.06	2.3	極 良	良	良	良
P-24	1.50	22.0	良	良	良	良
P-25	5.30	232.1	悪	普	悪	悪
P-26	4.87	291.2	悪	悪	悪	悪
P-27	4.04	154.3	悪	悪	悪	悪
P-28	1.60	18.0	良	普	普	普
P-29	1.33	15.8	極 良	良	良	良
P-30	0.79	2.5	極 良	良	良	良

表-2.3 パワースペクトルによる路面平坦性評価と σ , $P_r I$ の関係

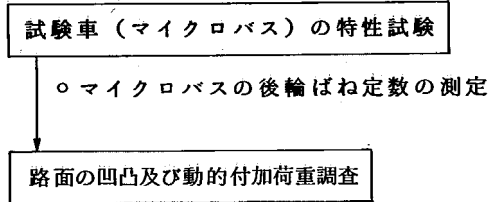
パワースペクトルによる評価	資 料 数	σ の 平 均 値	$P_r I$ の 平 均 値
極 良	2	1.09	7.1
良	15	1.67	34.1
普 通	9	2.90	89.4
悪	4	3.98	166.9

表-2.4 路面平坦性評価基準 (案)

評 価	パワースペクトル $S (n_o)$	σ	$P_r I$
極 良	5 ~ 20	0 ~ 1.3	0 ~ 20
良	20 ~ 80	1.3 ~ 2.3	20 ~ 60
普 通	80 ~ 320	2.3 ~ 3.4	60 ~ 130
悪	320 以 上	3.4 以 上	130 以 上

但し $\left\{ \begin{array}{l} S(n_o) : n_o = 0.1 \text{ c/m でのパワースペクトル密度 (mm}^2/\text{c/m)} \\ \sigma : \text{mm} \\ P_r I : \text{cm/km} \end{array} \right.$

〔現地実測〕



対象道路

千葉県茨城県の道路29ヶ所と土木研究所構内1ヶ所
合計30ヶ所（対象区間全て100m）

調査項目

- イ) 調査区間100mの路面現況目視調査
写真、スケッチ等
- ロ) 平坦性の調査
3mプロフィールメータ、高速プロフィールメータ（公称20km/h）を用いてそれぞれ2回の計測。
- ハ) 動的付加荷重の調査
マイクロバスを用いて車速（公称）20、30、40km/hの動的付加荷重をそれぞれ2回計測。
土木研究所の構内についてのみ車速（公称）50、60km/hの追加

対象道路の条件

目視により路面の平坦性が良～悪までにはほぼ均等に入るように選定する。

計測区間として100m程度直線距離がとれる所

a

〔室内作業〕

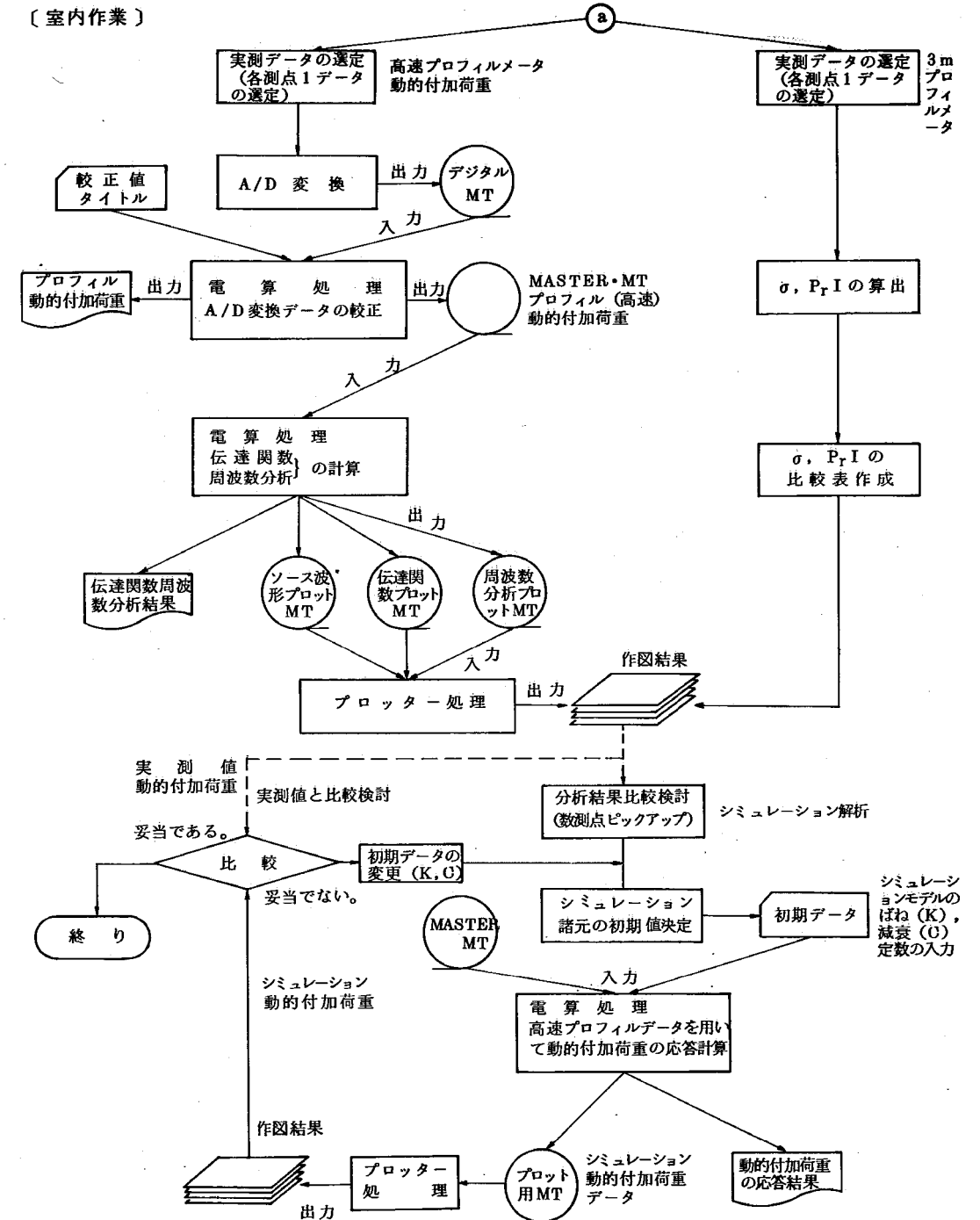


図-2.1 路面凹凸および動的付加荷重実測調査フロー

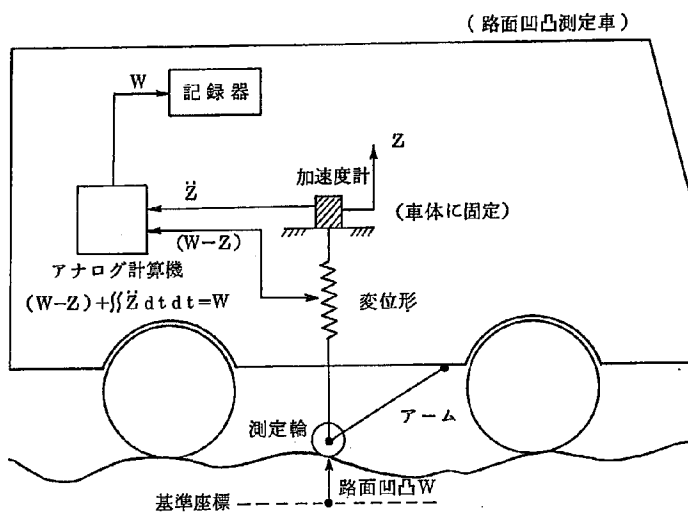


図 - 2.2 高速プロファイルメーターの計測原理

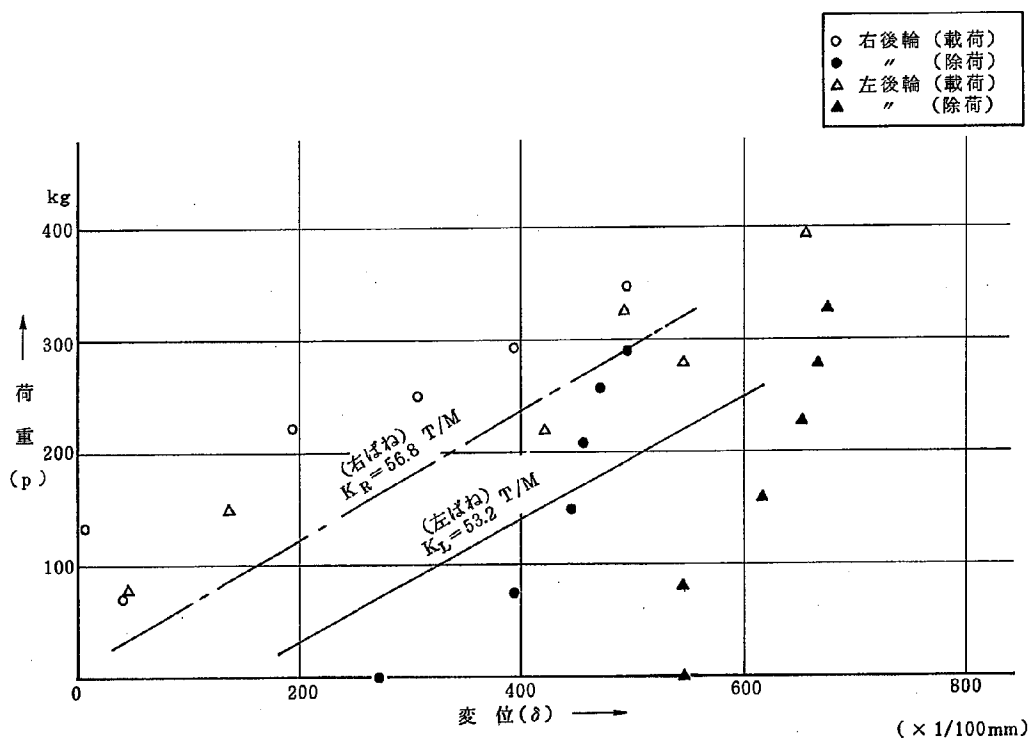


図 - 2.3(1) 試験車板バネの載荷試験結果

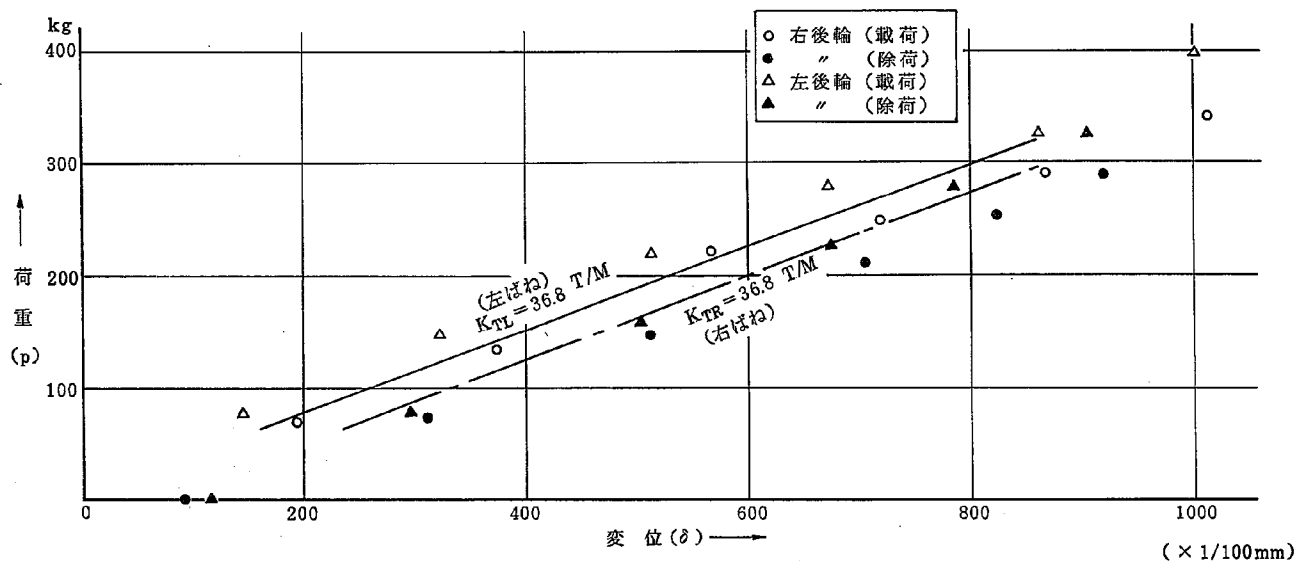


図-2.3(2) 試験車タイヤバネの載荷試験結果

Point-6 補ケ浦 (アスファルト舗装) 周囲は畑

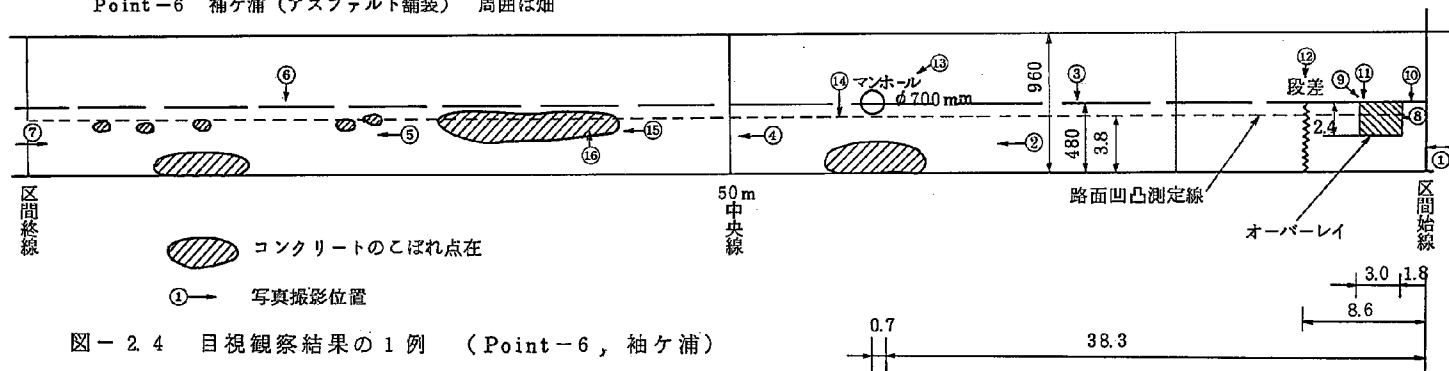
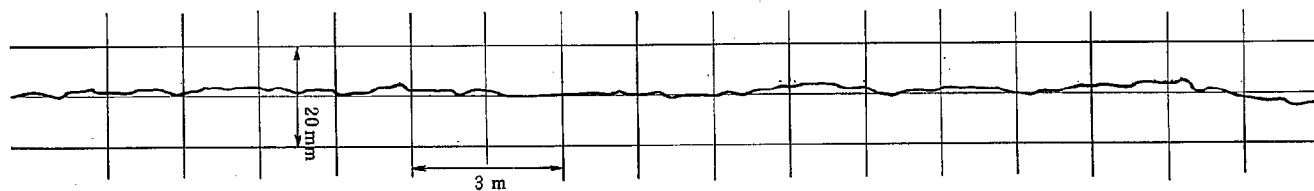
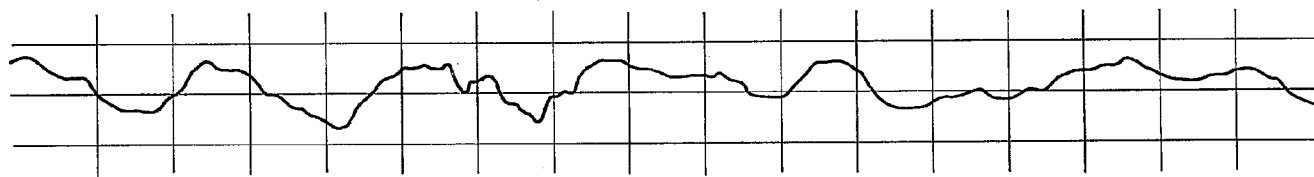


図-2.4 目視観察結果の1例 (Point-6, 補ケ浦)

Point-4 (袖ヶ浦)



Point-13 (豊村)



Point-22 (潮来町)

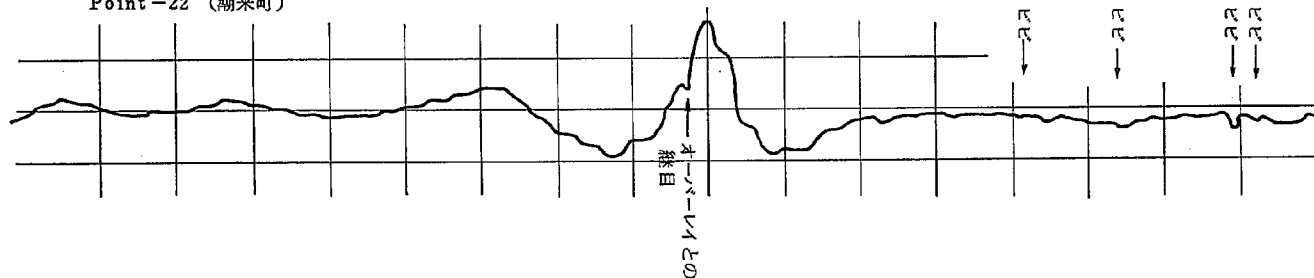


図-2.5 3 mプロフィールメーターによる記録波形の1例

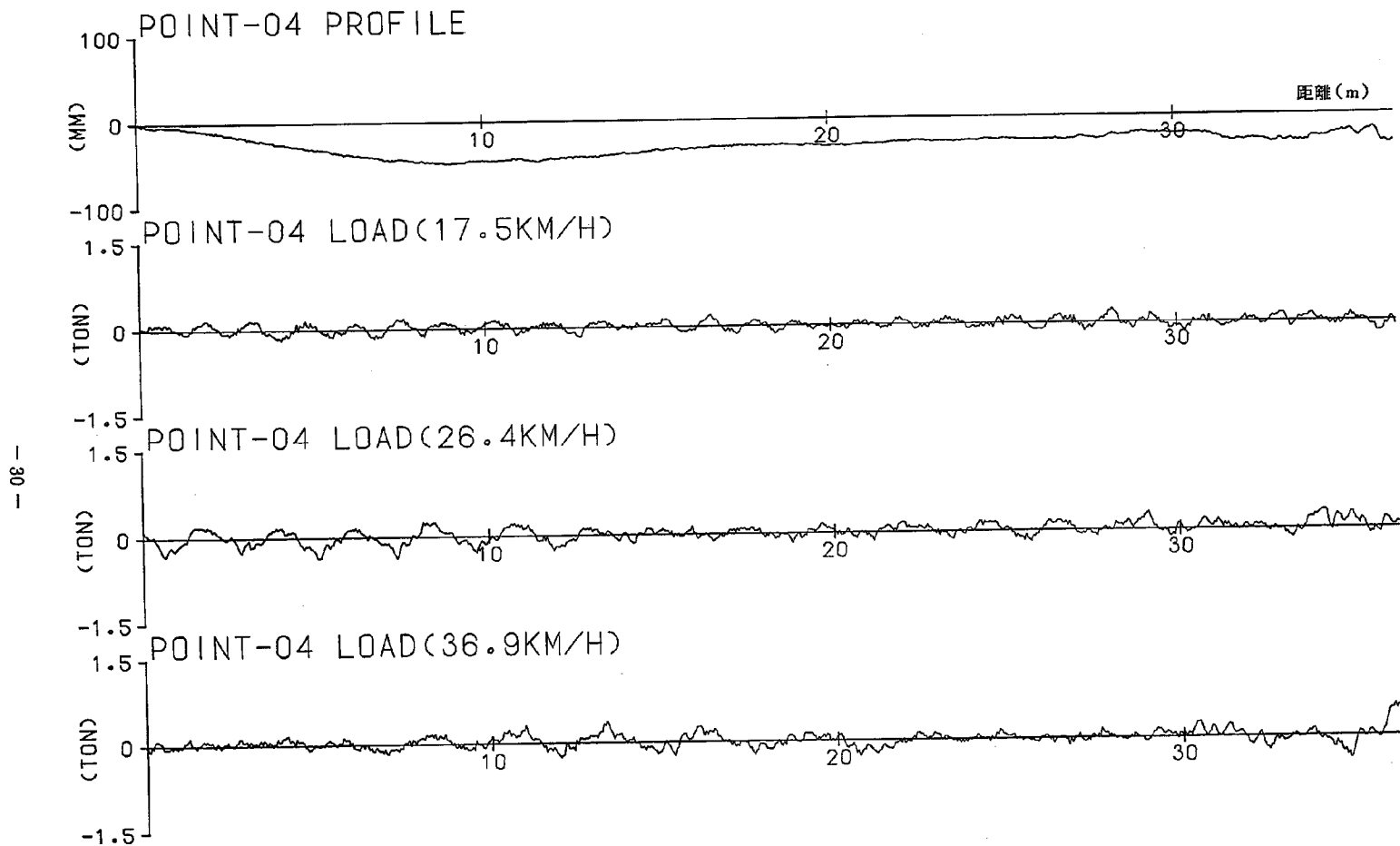


図 - 2.6 (1) 路面凹凸および動的付加荷重の記録例 (Point-4, 袖ヶ浦)

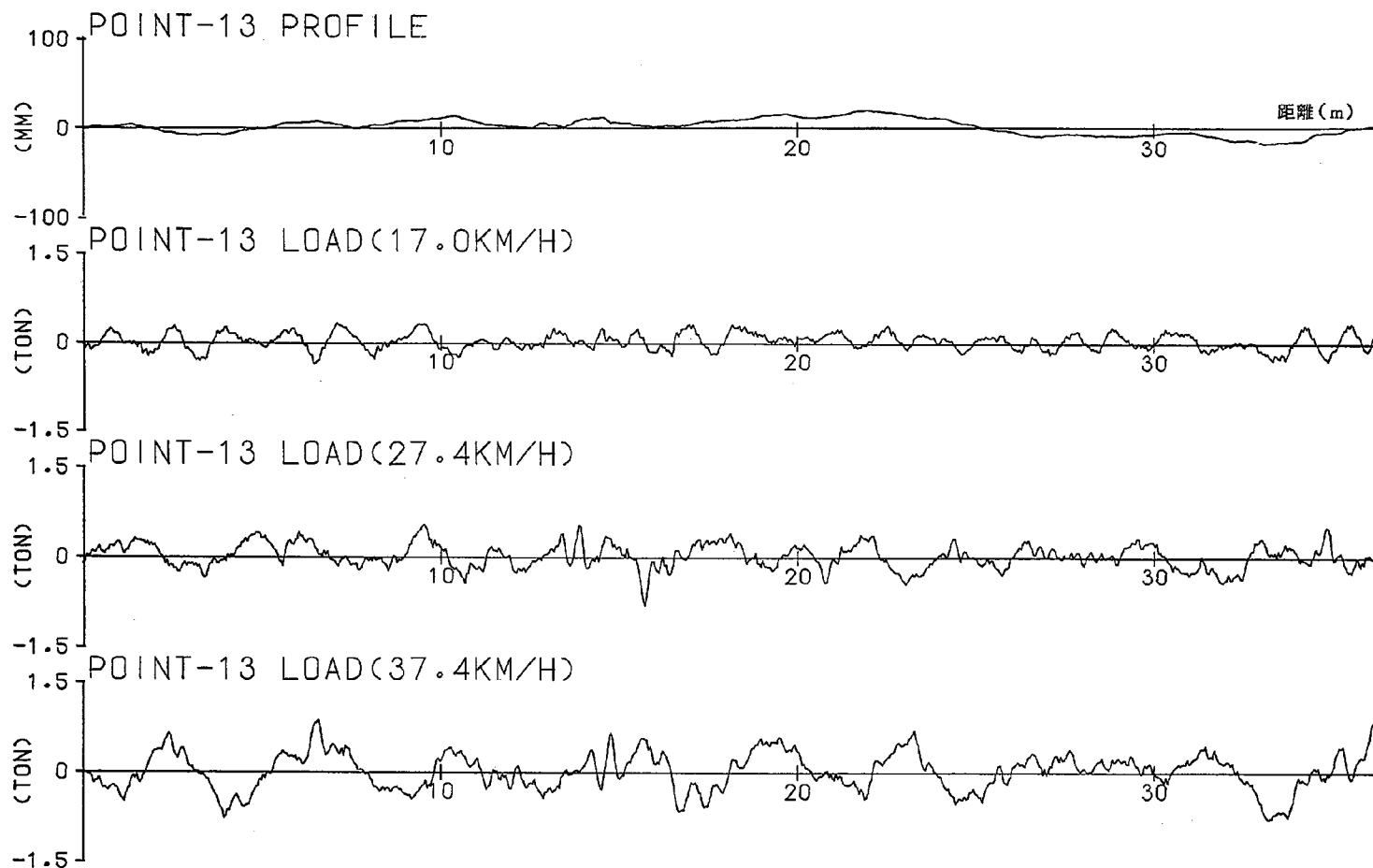


図-26(2) 路面凹凸および動的付加荷重の記録例 (Point-13, 豊村)

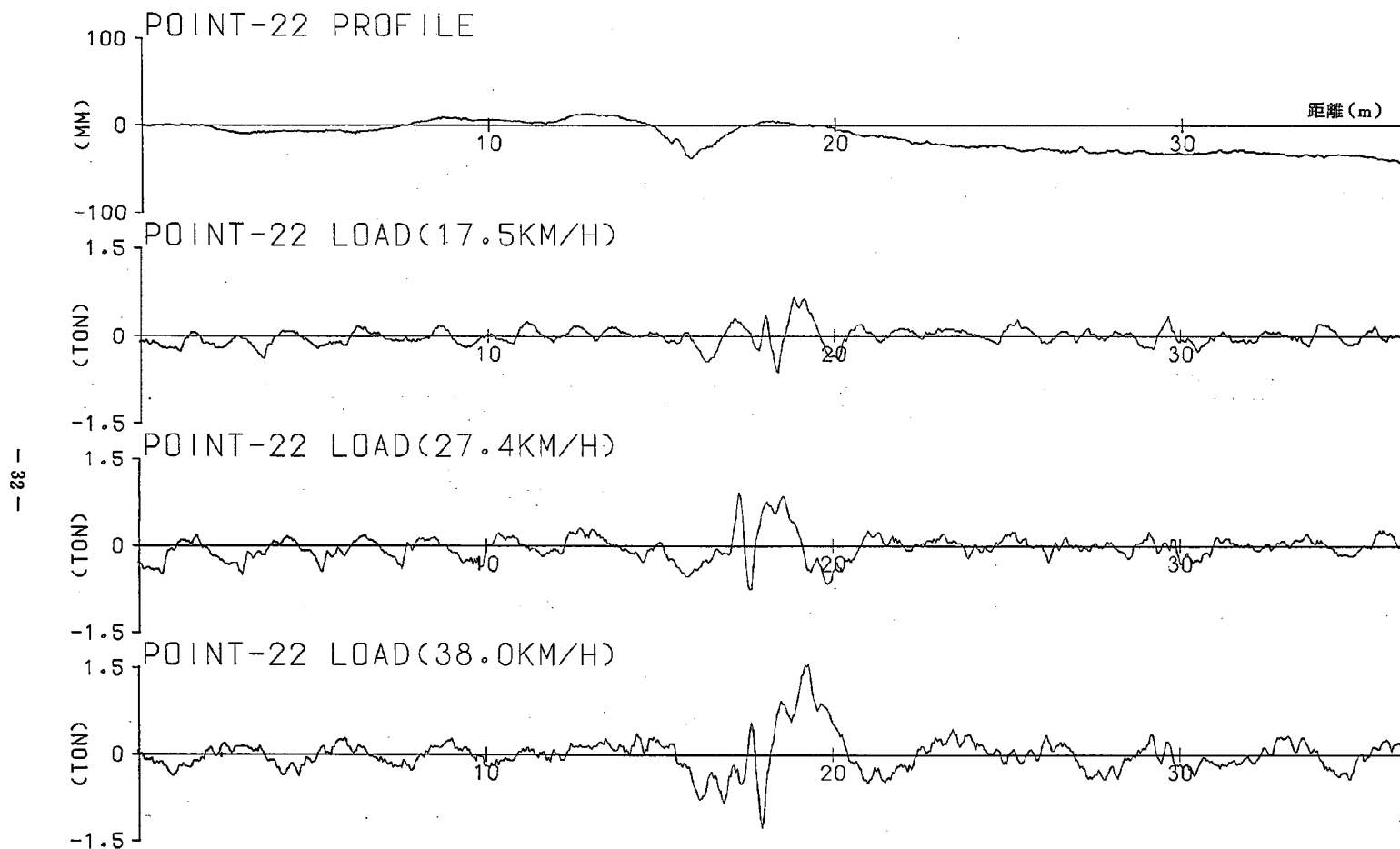


図-2.6(3) 路面凹凸および動的付加荷重の記録例 (Point-22, 潮来町)

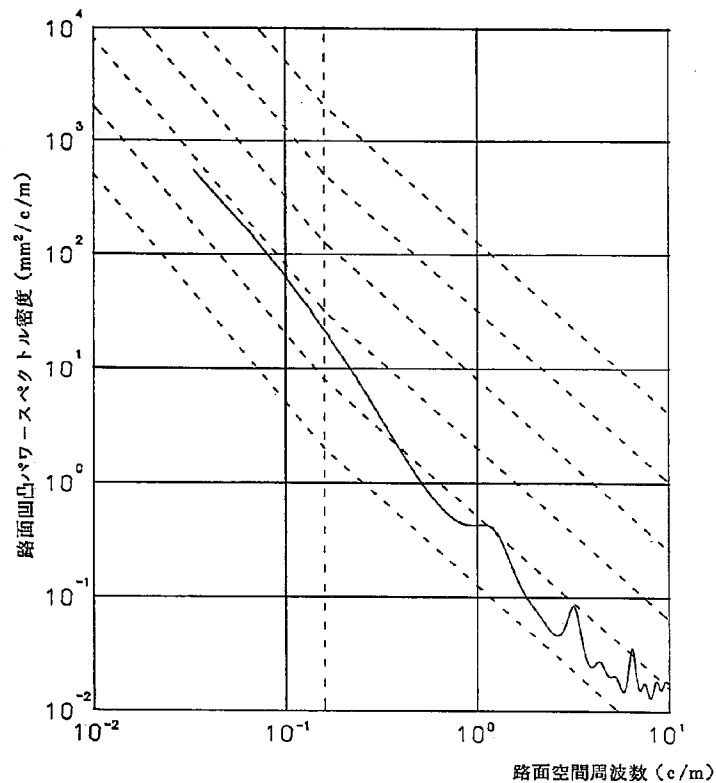


図-2.7(1) 路面凹凸パワースペクトル (Point-4, 袖ヶ浦)

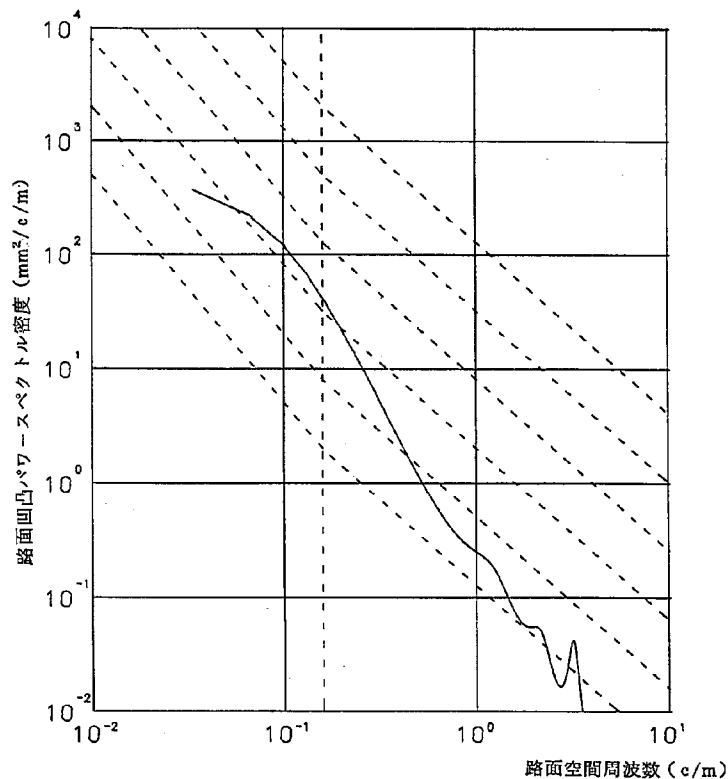


図-2.7(2) 路面凹凸パワースペクトル (Point-13, 豊村)

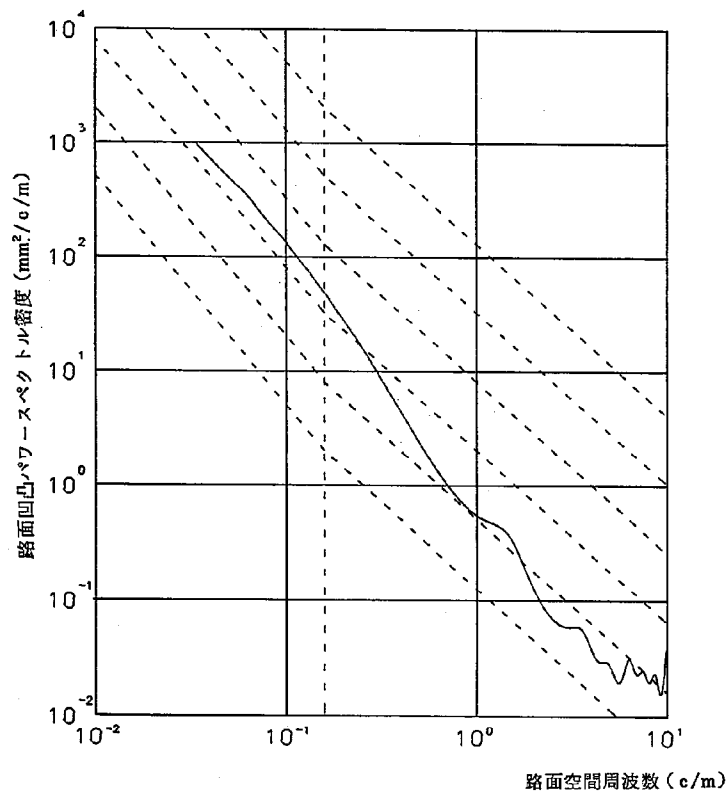


図 - 2.7(3) 路面凹凸パワースペクトル (Point-22, 潮来町)

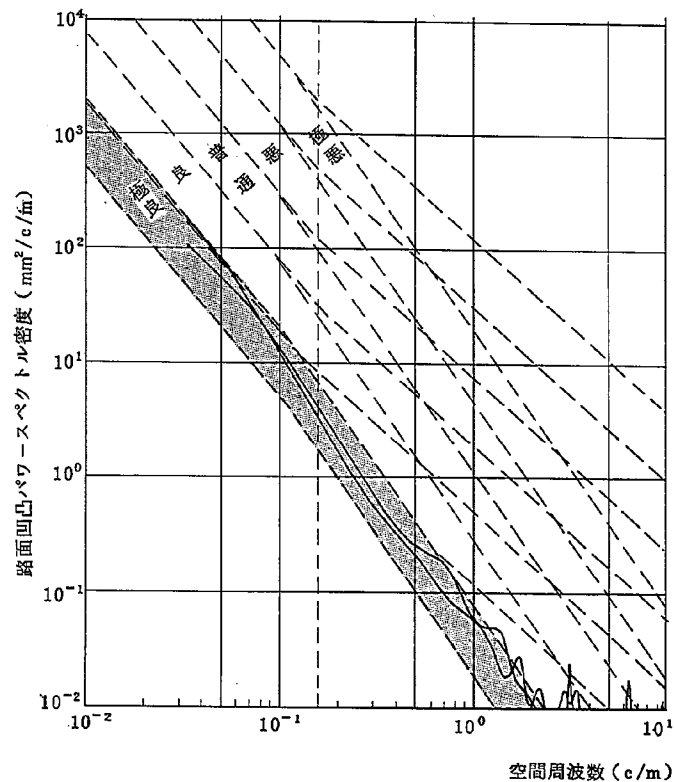


図 - 2.8(1) パワースペクトルによる路面平坦性評価 (極良)

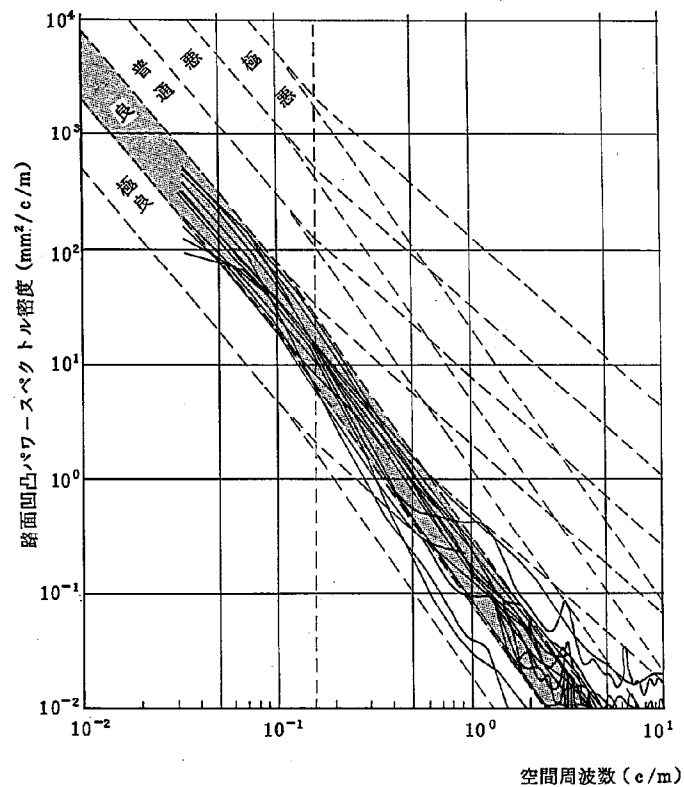


図 - 2.8(2) パワースペクトルによる路面平坦性評価 (良)

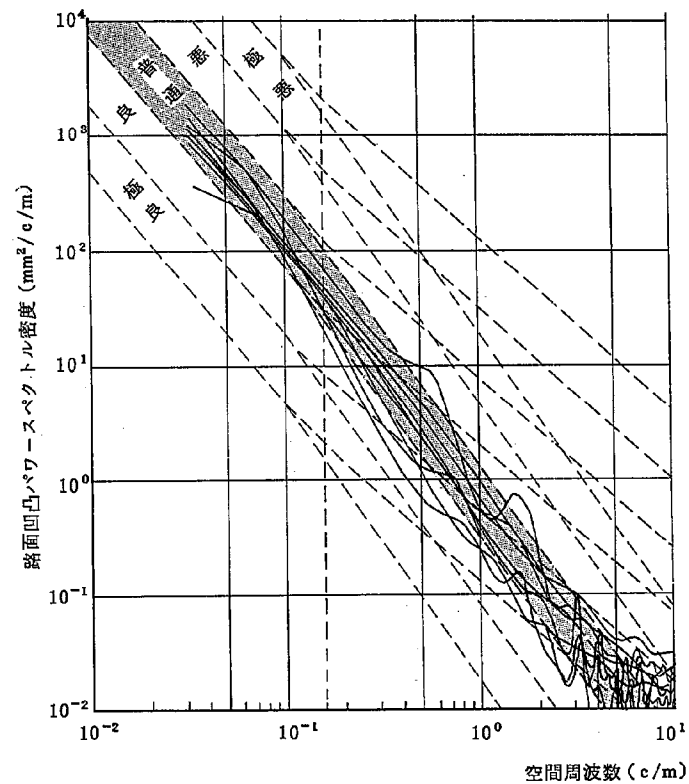


図 - 2.8(3) パワースペクトルによる路面平坦性評価 (普通)

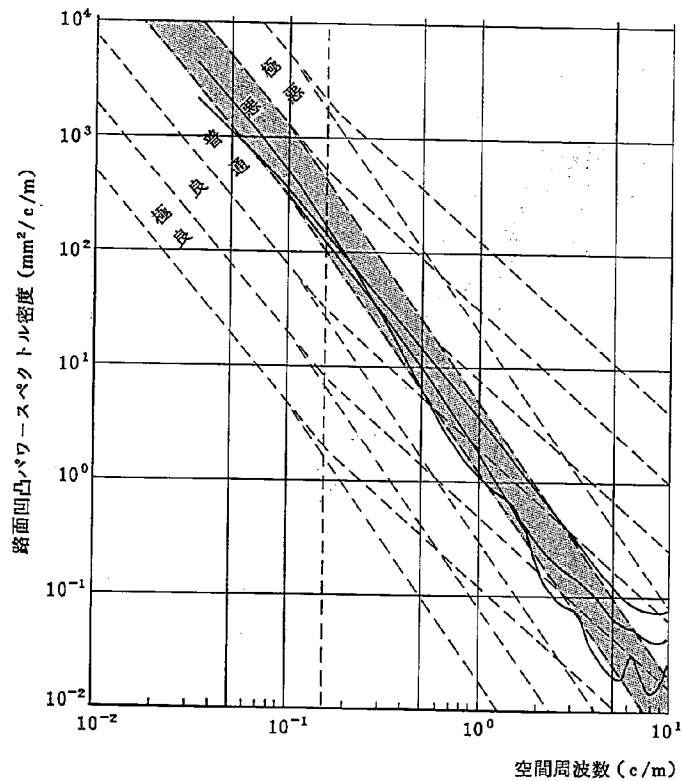


図-2.8(4) パワースペクトルによる路面平坦性評価 (悪)

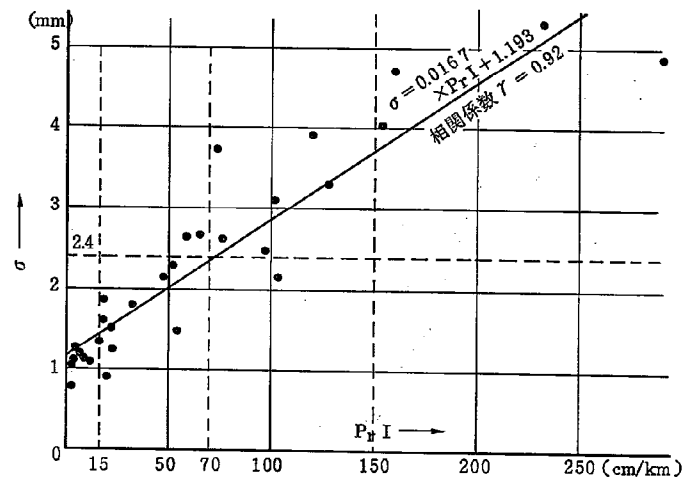


図-2.9 σ値と $P_r I$ 値の相関

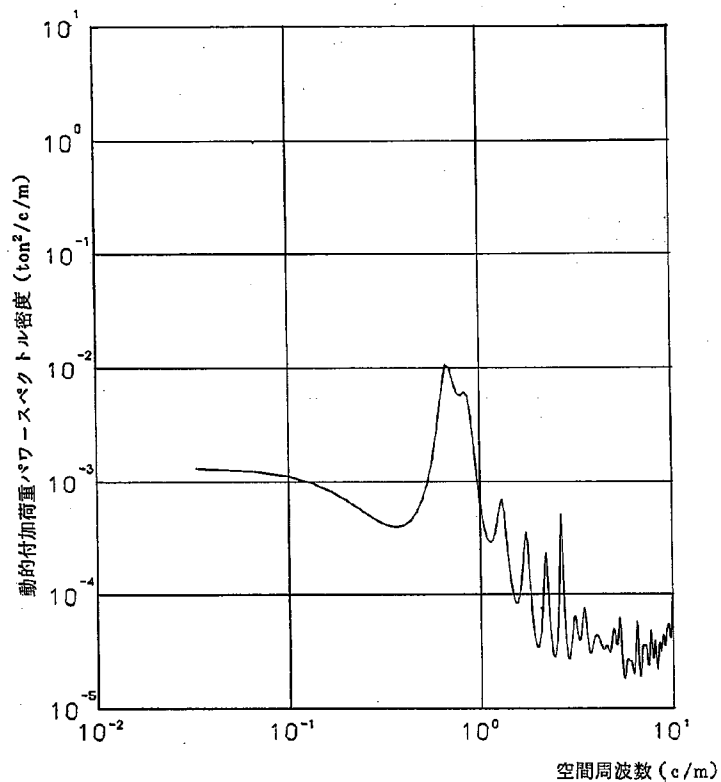


図 - 2.10 (1) 動的付加荷重パワースペクトル
(Point-4, 袖ヶ浦, 17.5km/h)

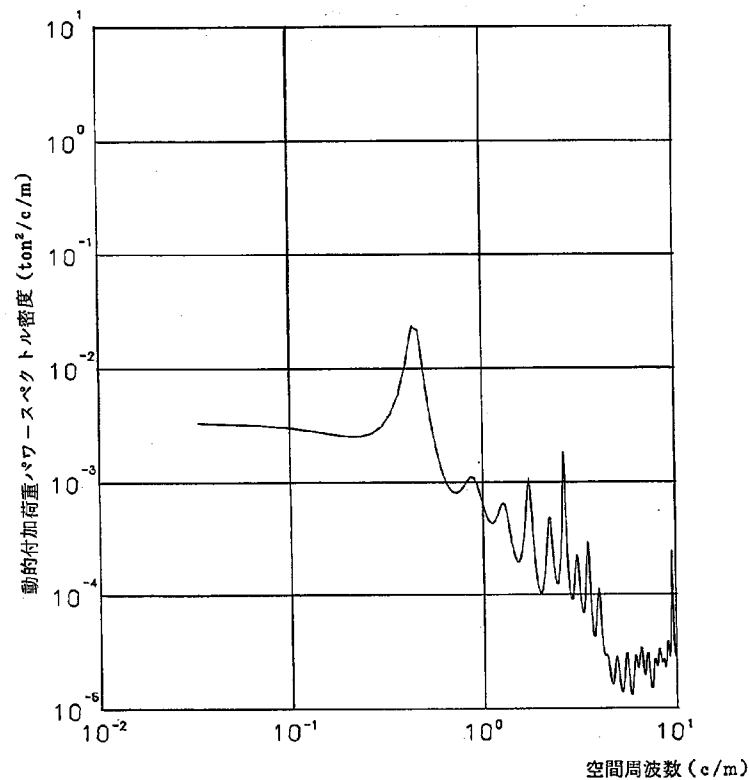


図 - 2.10 (2) 動的付加荷重パワースペクトル
(Point-4, 袖ヶ浦, 26.4km/h)

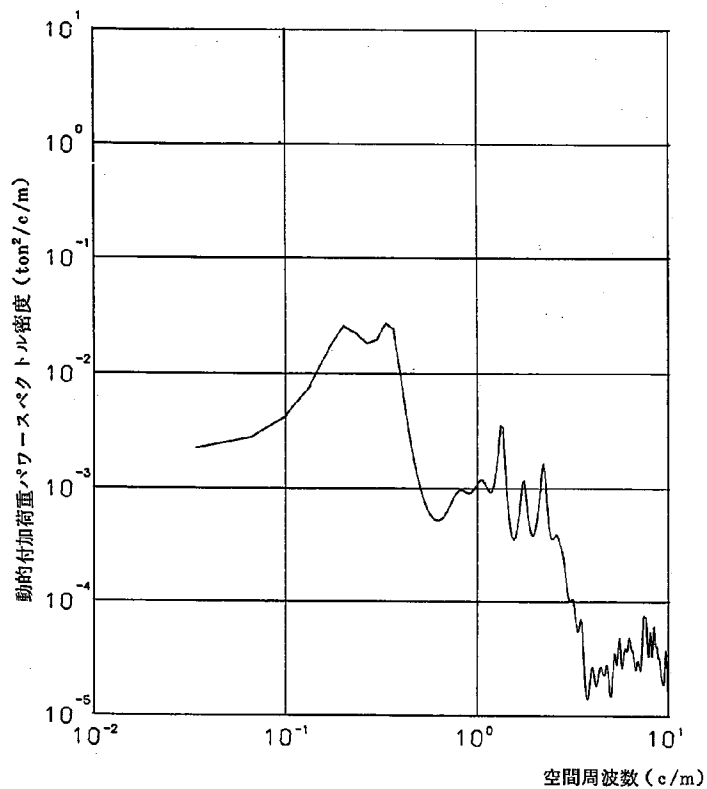


図 - 2.10 (3) 動的付加重パワースペクトル
(Point-4, 袖ヶ浦, 36.9 km/h)

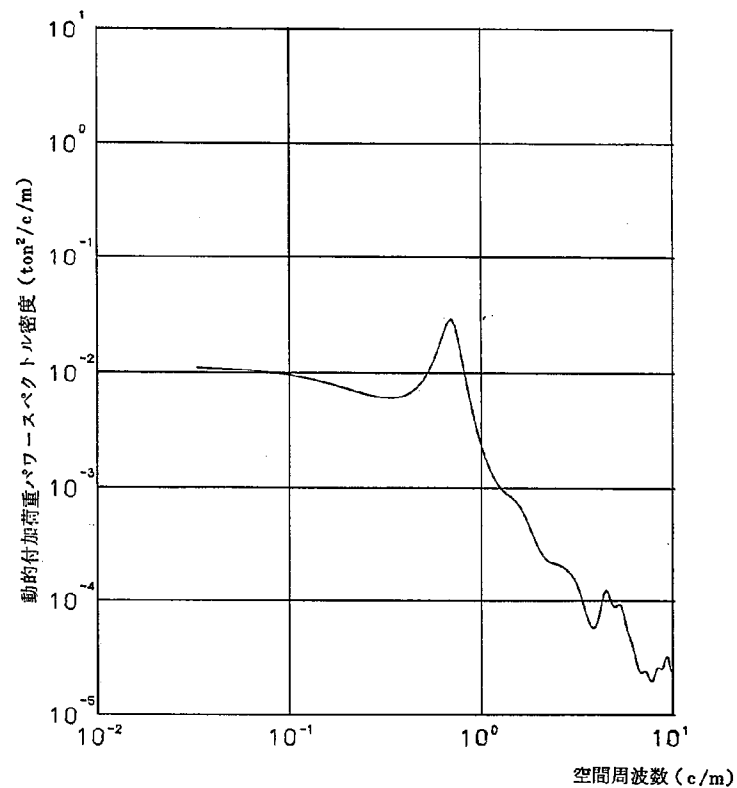


図 - 2.10 (4) 動的付加重パワースペクトル
(Point-13, 豊村, 17.0 km/h)

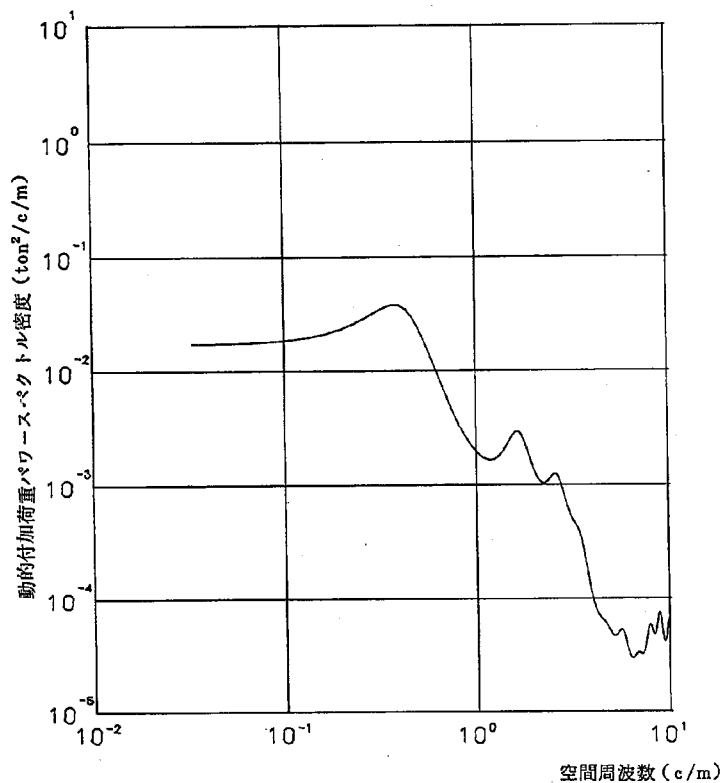


図 - 2.10(5) 動的付加重パワースペクトル
(Point-13, 豊村, 27.4 km/h)

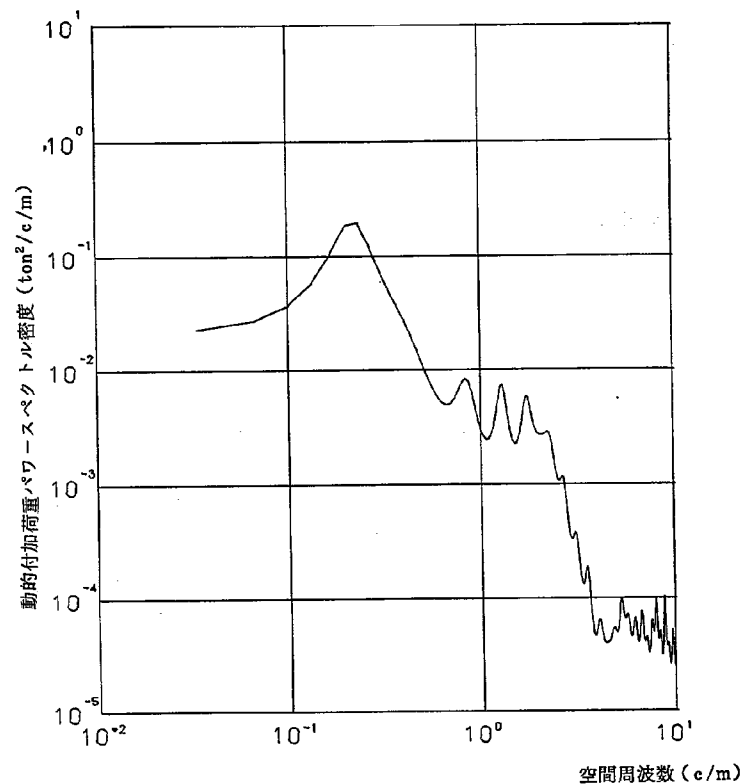


図 - 2.10(6) 動的付加重パワースペクトル
(Point-13, 豊村, 37.4 km/h)

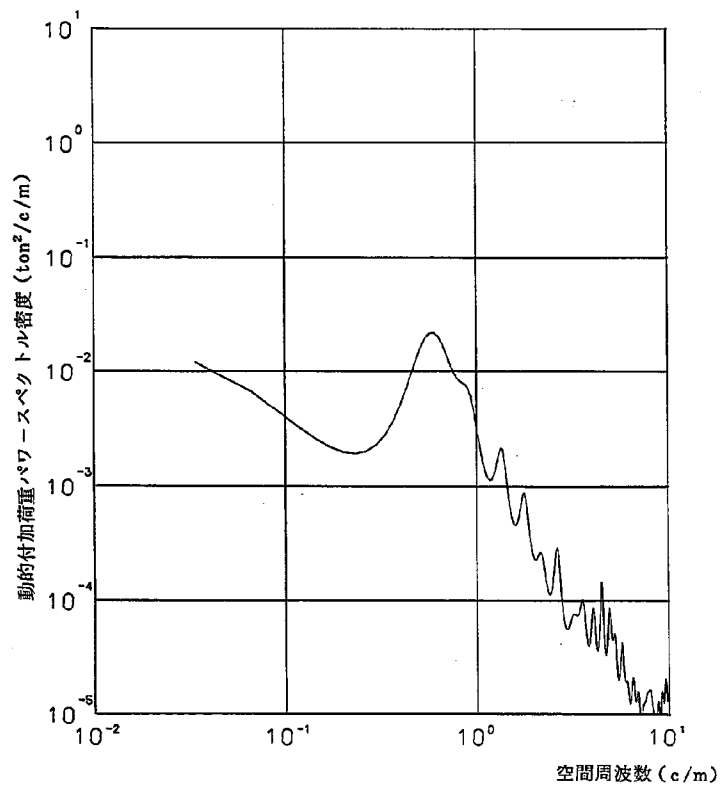


図 - 2.10 (7) 動的付加荷重パワースペクトル
(Point-22, 潮来町, 17.5 km/h)

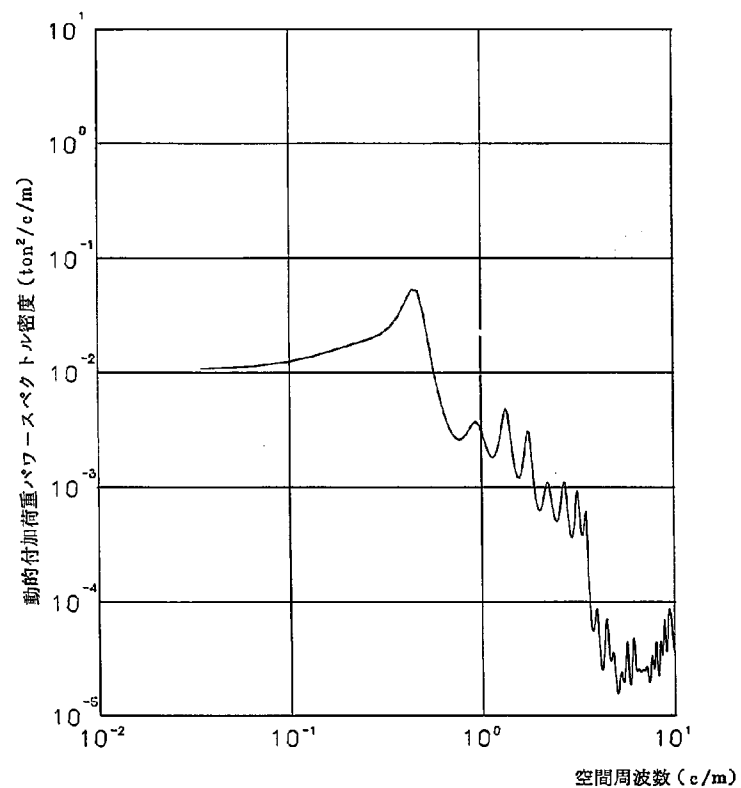


図 - 2.10 (8) 動的付加荷重パワースペクトル
(Point-22, 潮来町, 27.4 km/h)

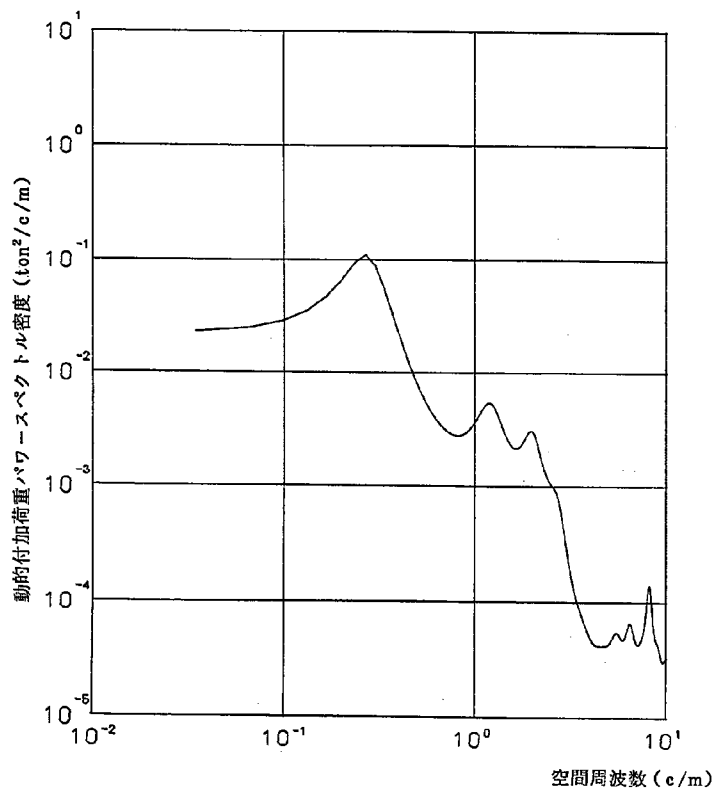


図 - 2.10 (9) 動的付加荷重パワースペクトル
(Point-22, 潮来町, 38.0 km/h)

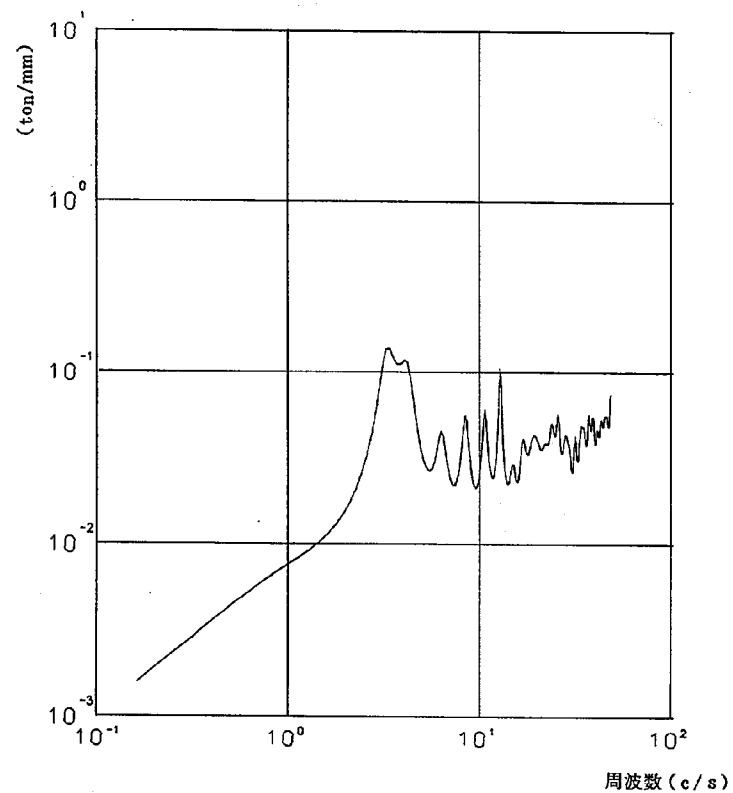


図 - 2.11 (1) 伝達関数 (Point-4, 袖ヶ浦, 17.5 km/h)

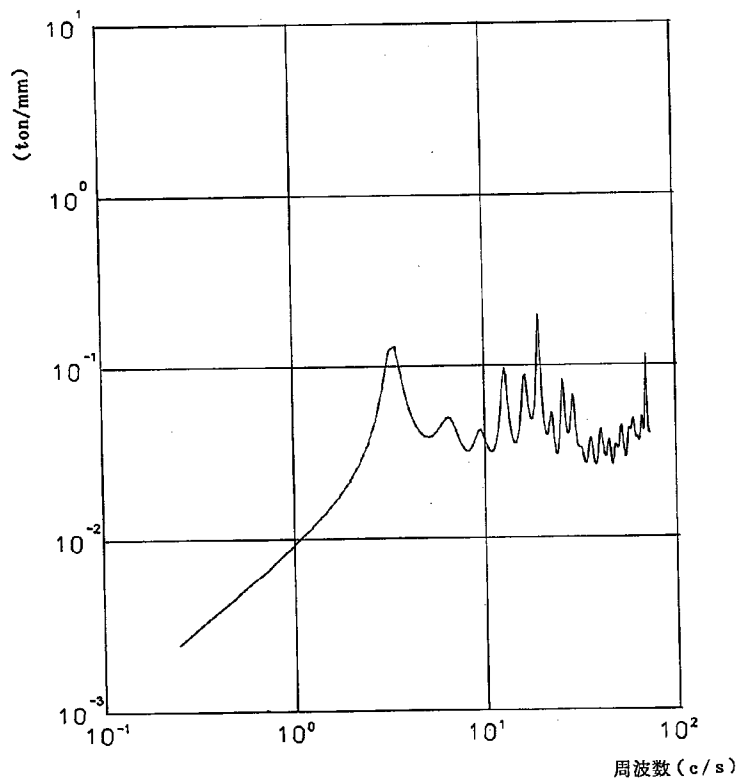


図-2.11(2) 伝達関数 (Point-4, 袖ヶ浦, 26.4km/h)

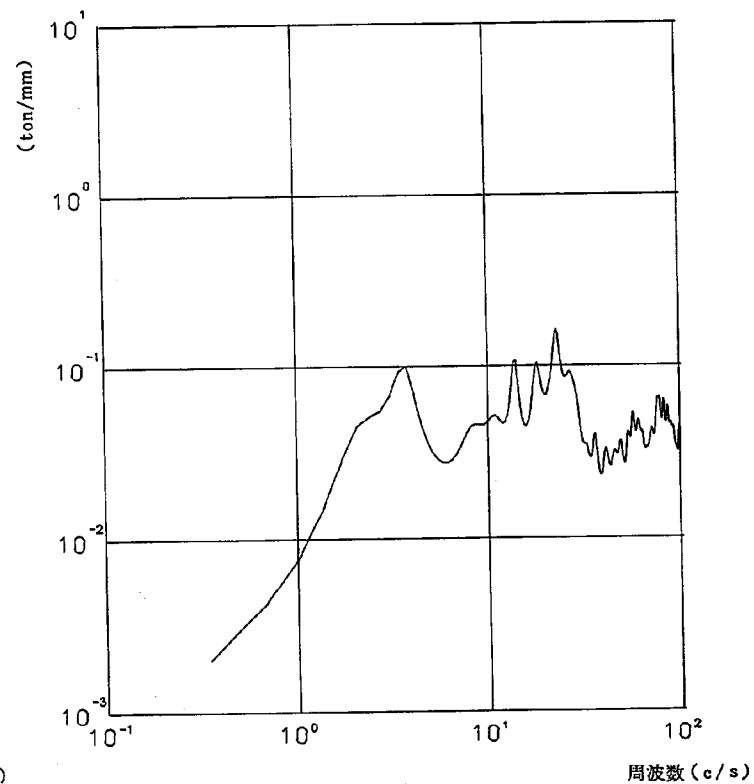


図-2.11(3) 伝達関数 (Point-4, 袖ヶ浦, 36.9km/h)

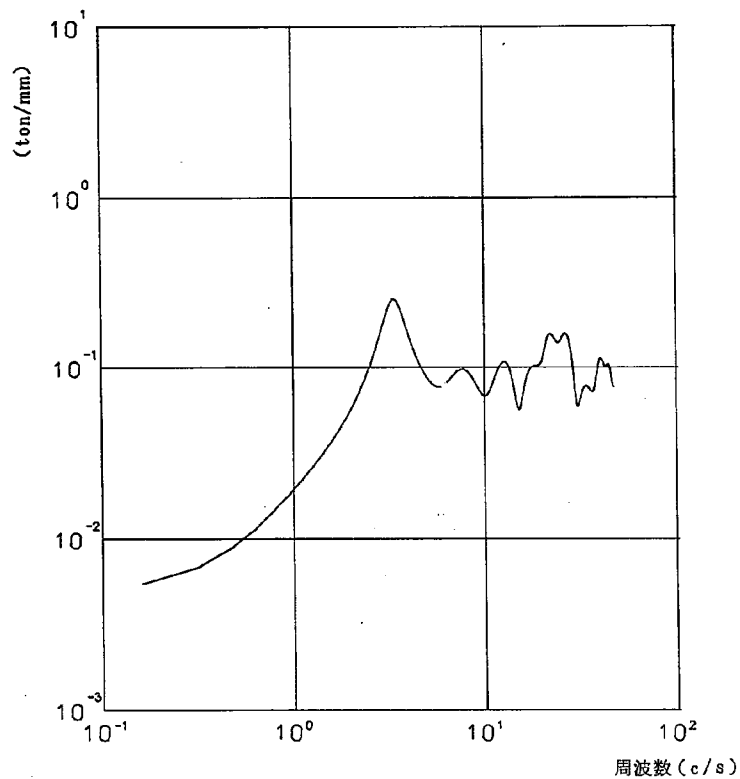


図-2.11(4) 伝達関数 (Point-13, 豊村, 17.0 km/h)

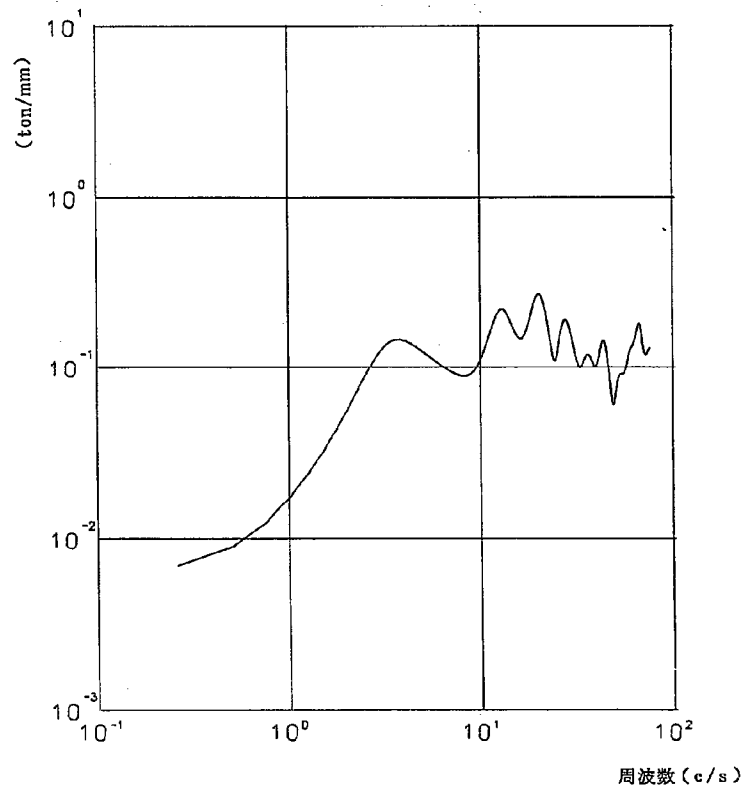


図-2.11(5) 伝達関数 (Point-13, 豊村, 27.4 km/h)

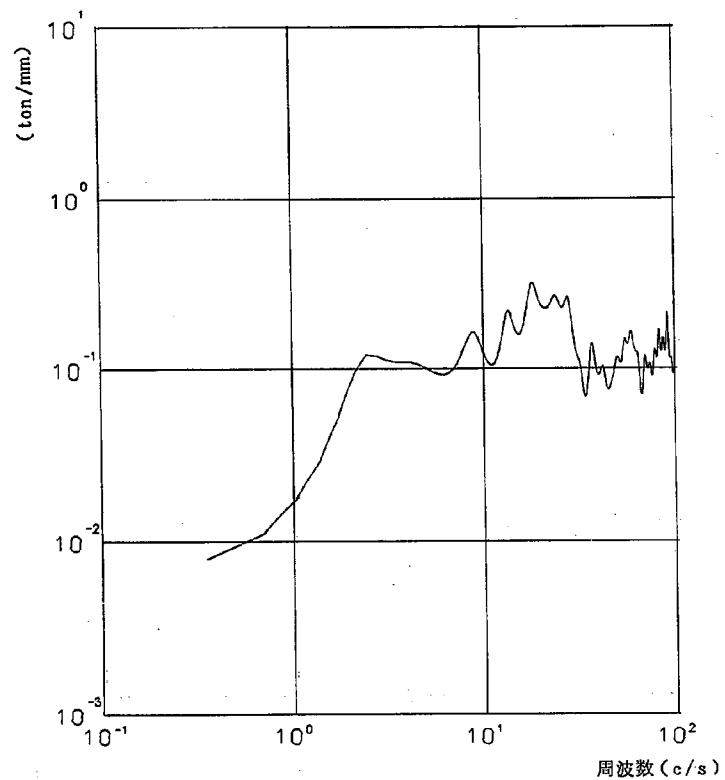


図-2.11(6) 伝達関数 (Point-13, 豊村, 37.4 km/h)

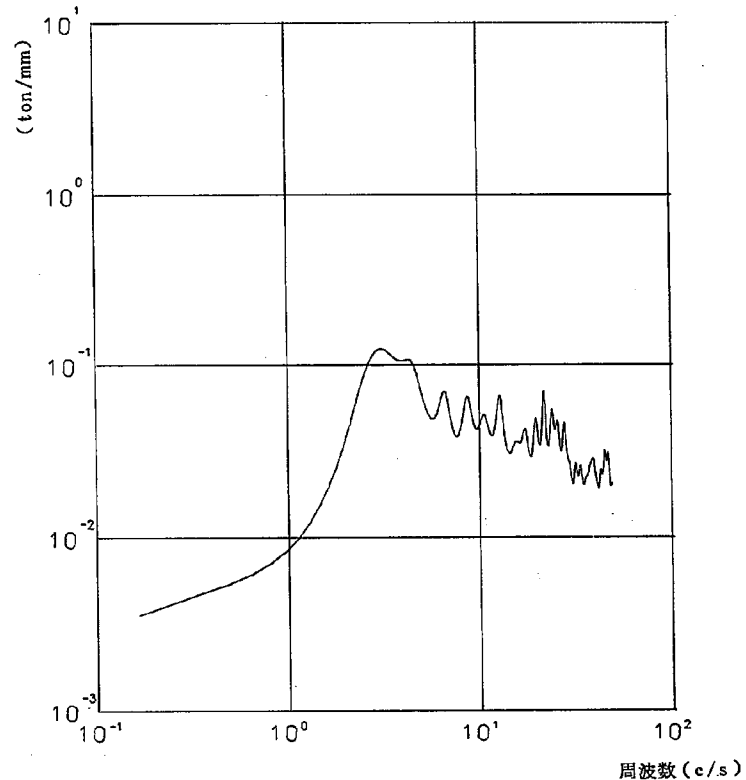


図-2.11(7) 伝達関数 (Point-22, 潮来町, 17.5 km/h)

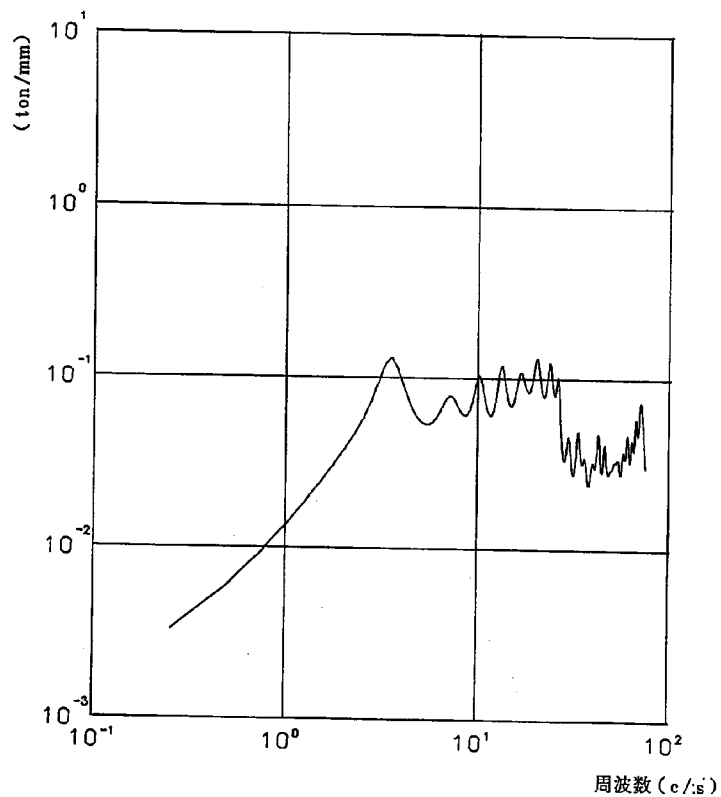


図-2.11(8) 伝達関数 (Point-22, 潮来町, 27.4km/h)

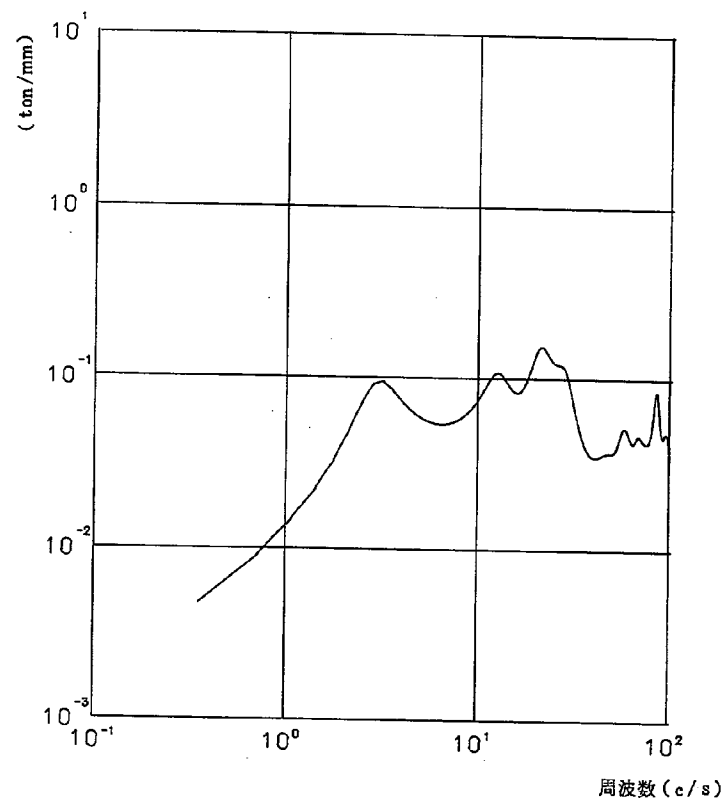


図-2.11(9) 伝達関数 (Point-22, 潮来町, 38.0km/h)

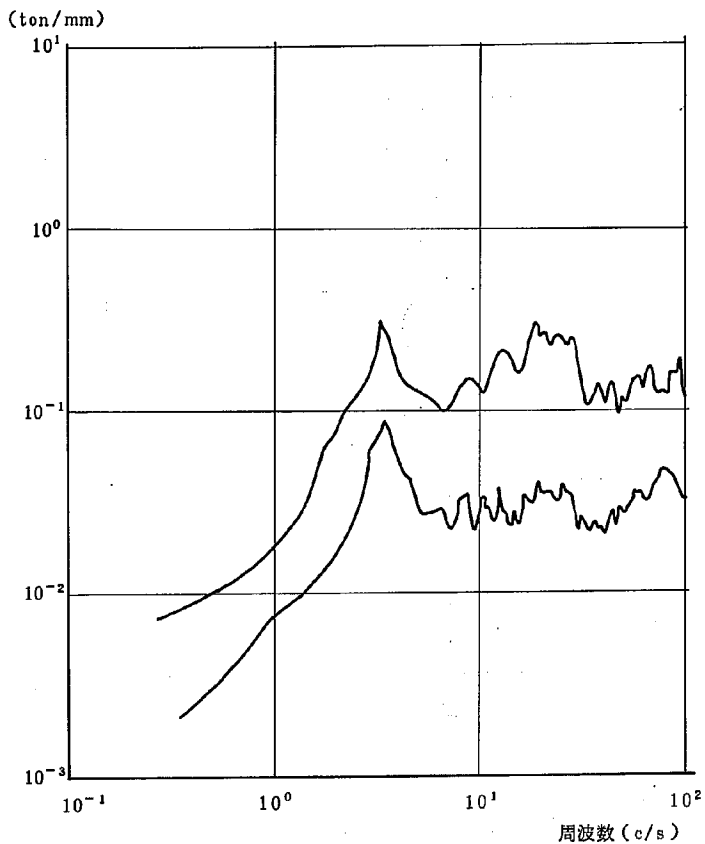


図 - 2.12 伝達関数の存在範囲

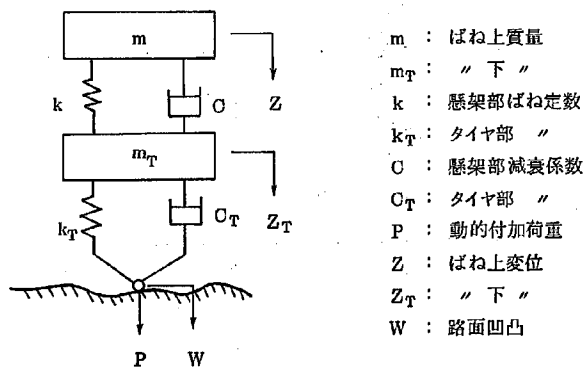


図 - 2.13 試験車後軸のモデル

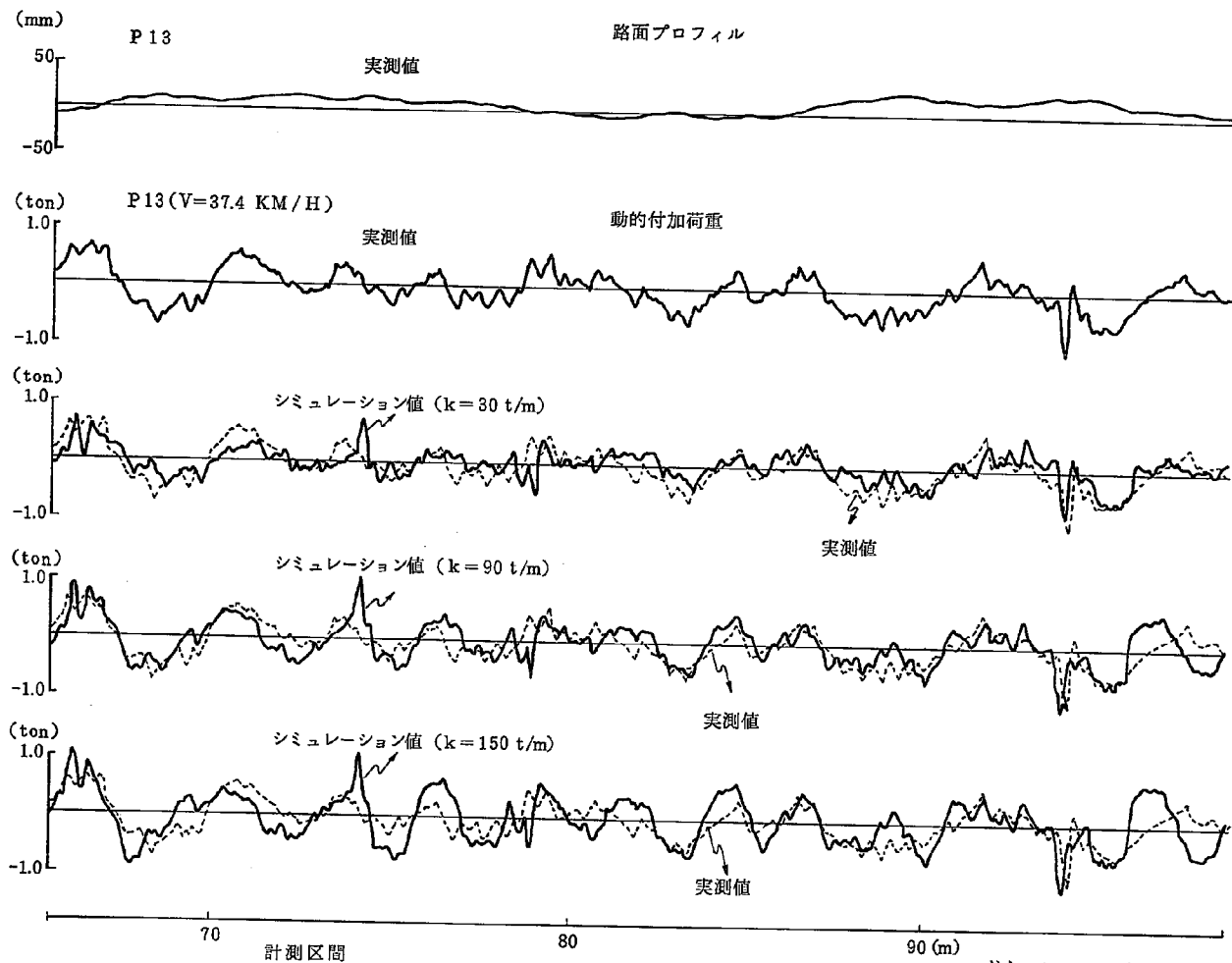


図 - 2.14 懸架バネ定数(k)を変化させたときのシミュレーション結果

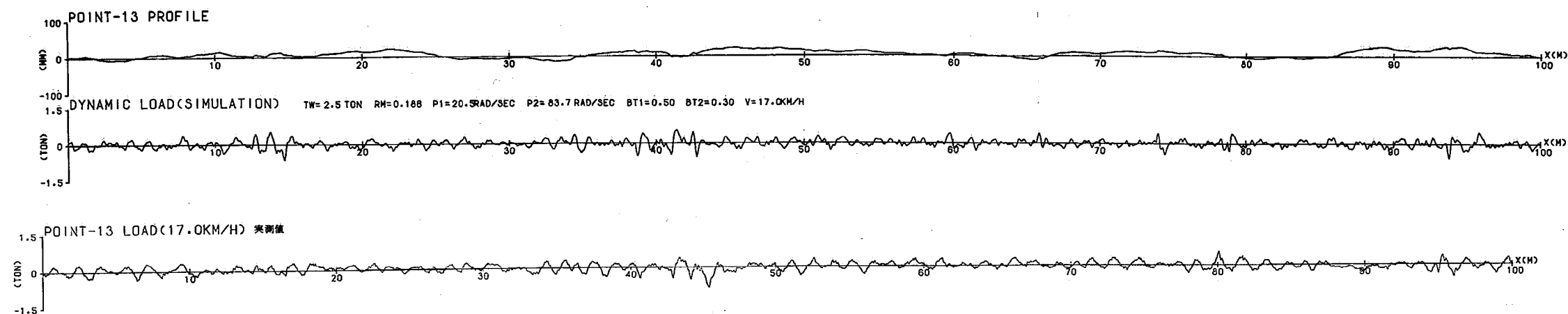


図 - 2.15 (1) シミュレーション値と実測値の比較 (Point-13, 17.0 km/h)

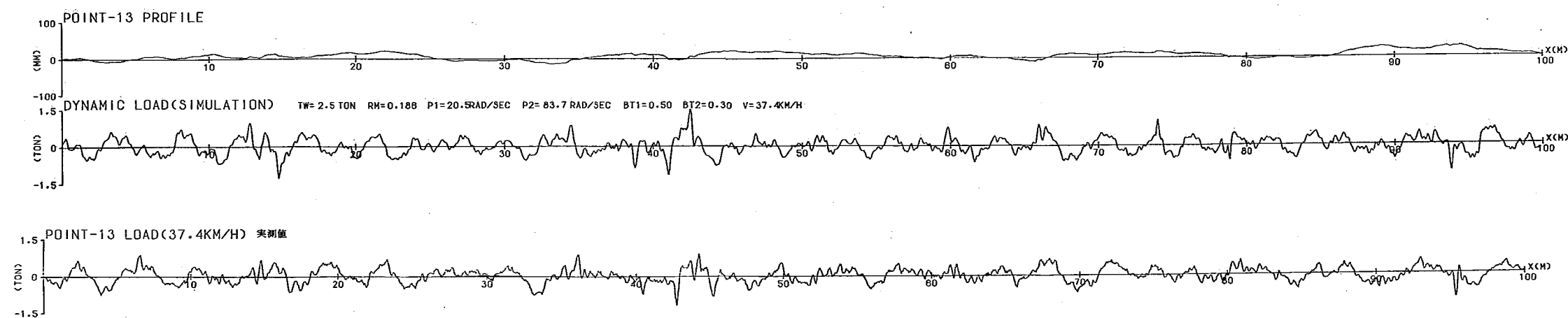


図 - 2.15 (2) シミュレーション値と実測値の比較 (Point-13, 37.4 km/h)

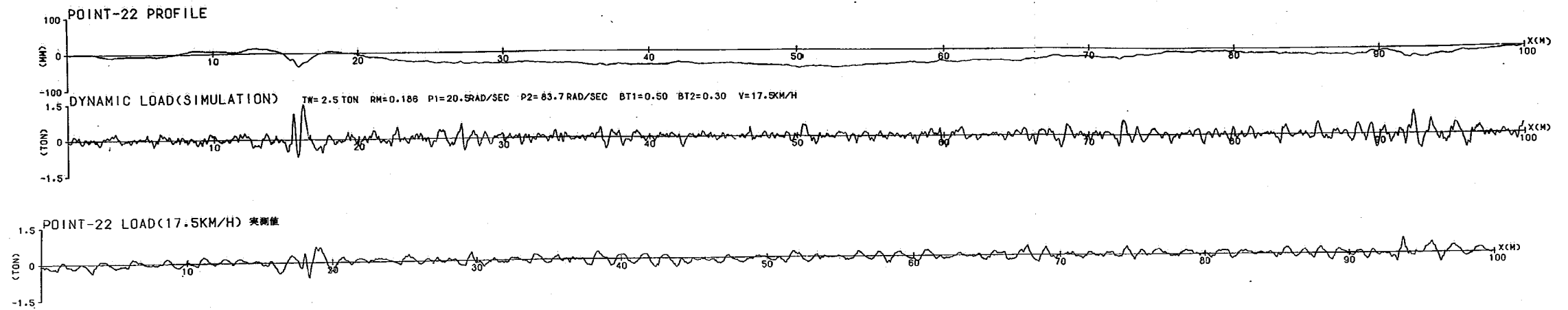


図-2 15 (3) シミュレーション値と実測値の比較 (Point-22, 17.5km/h)

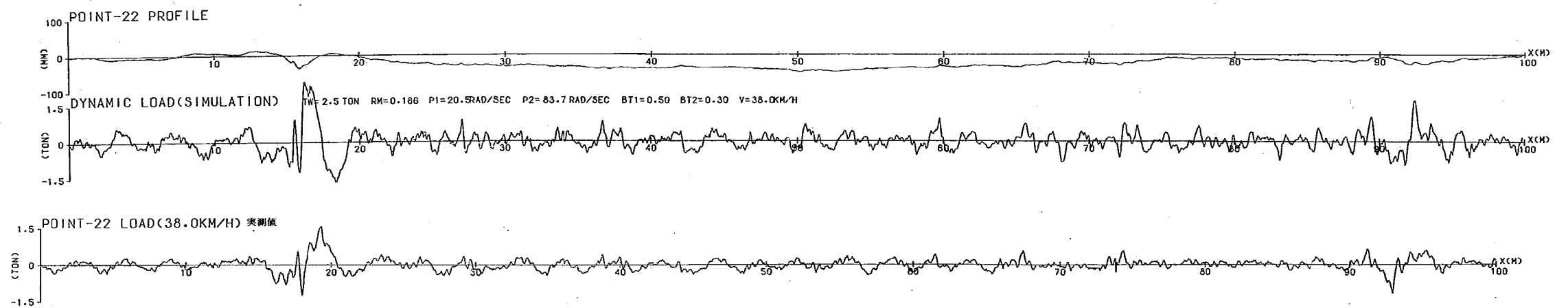


図-2 15 (4) シミュレーション値と実測値の比較 (Point-22, 38.0km/h)

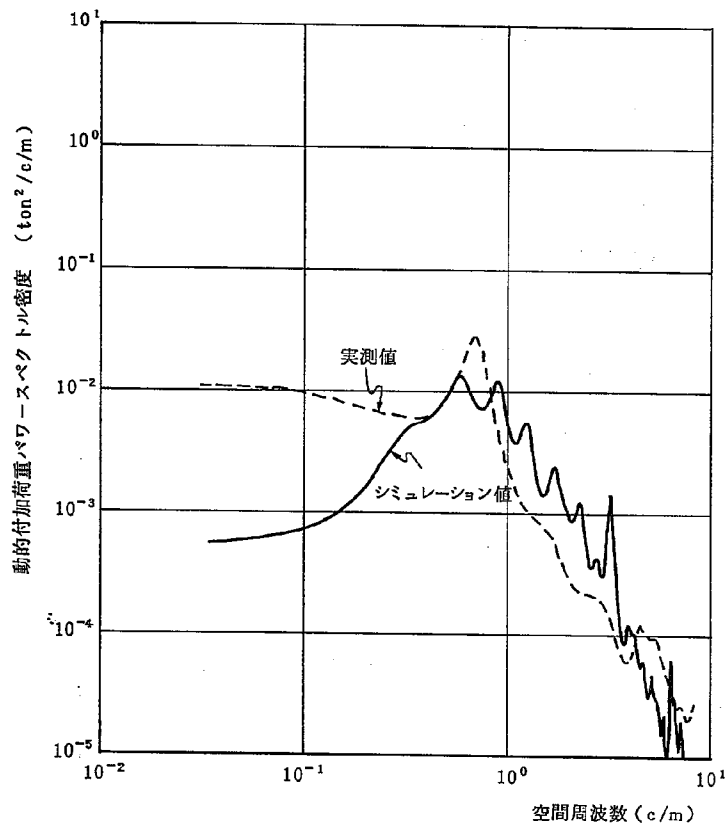


図 - 2 16 (1) シミュレーションによる動的付加荷重
パワースペクトル (Point-13, 17.0 km/h)

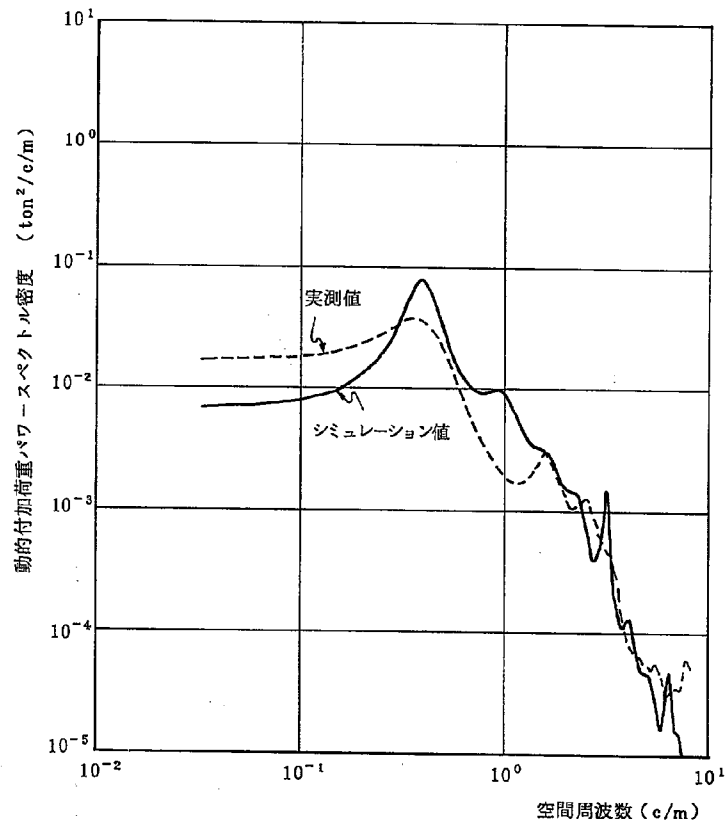


図 - 2 16 (2) シミュレーションによる動的付加荷重
パワースペクトル (Point-13, 27.4 km/h)

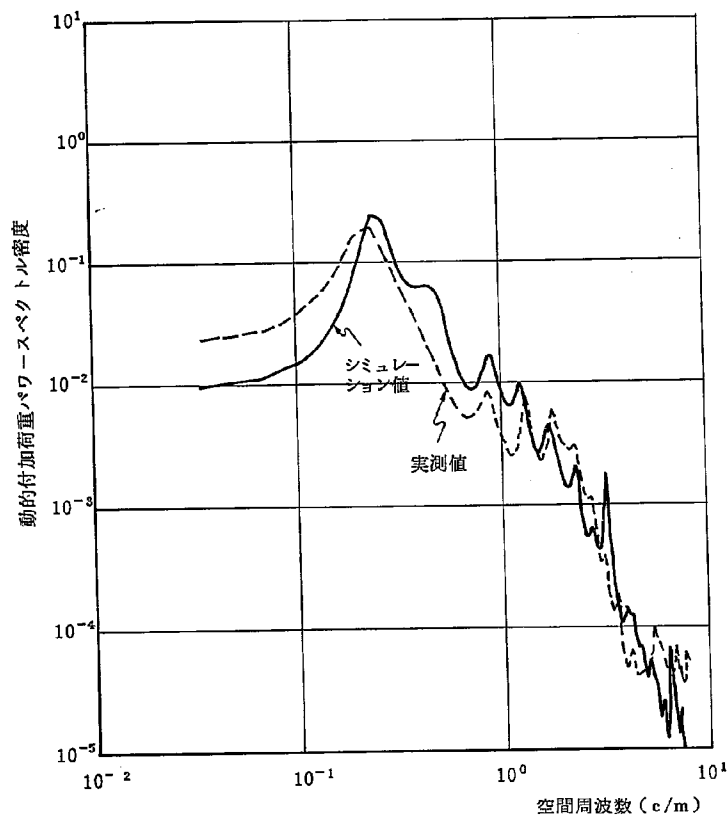


図 - 2.16 (3) シミュレーションによる動的付加重
パワースペクトル (Point-13, 37.4 km/h)

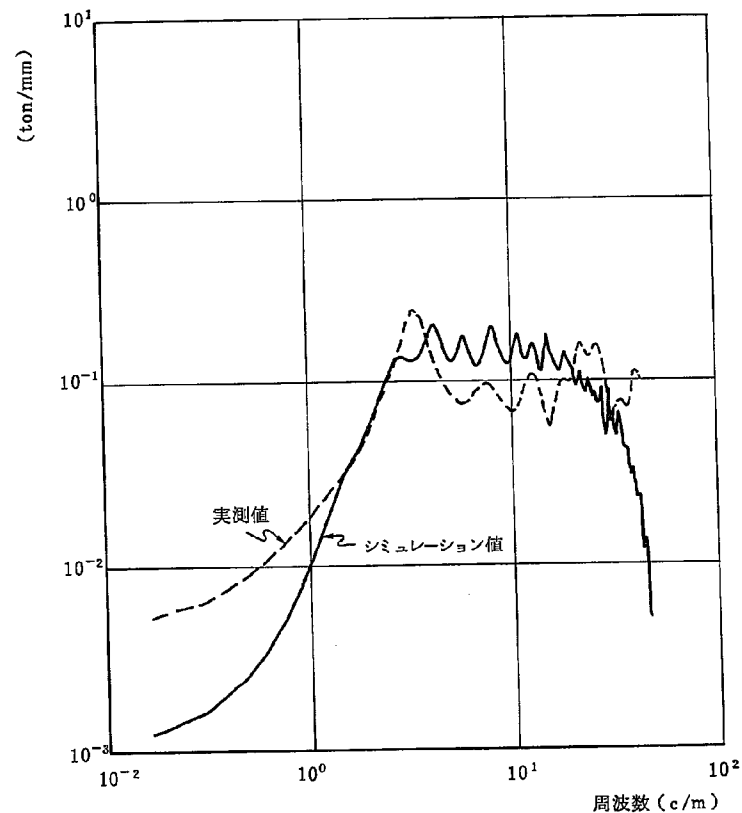


図 - 2.16 (4) シミュレーションによる伝達関数
(Point-13, 17.0 km/h)

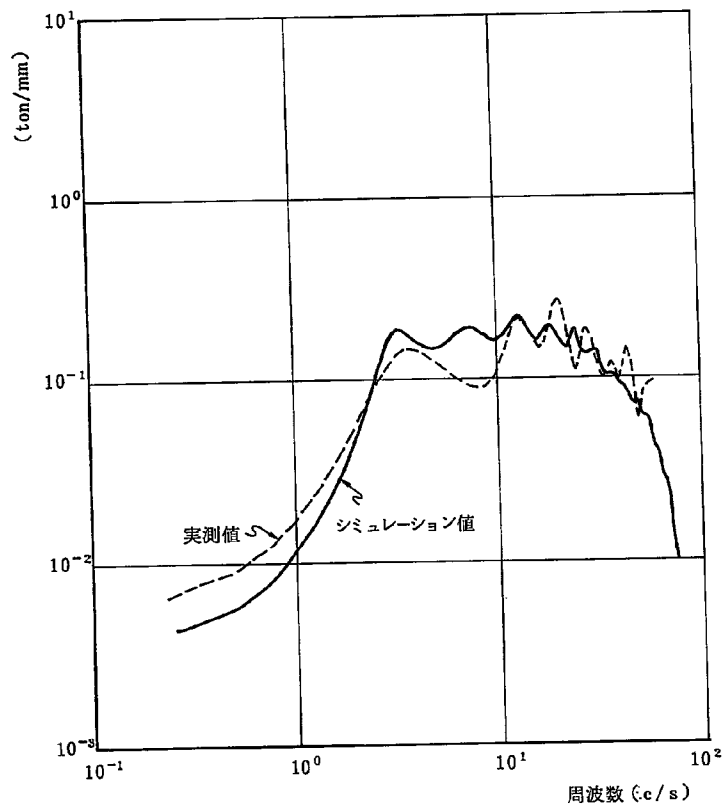


図 - 2.16 (5) シミュレーションによる伝達関数
(Point-13, 27.4 km/h)

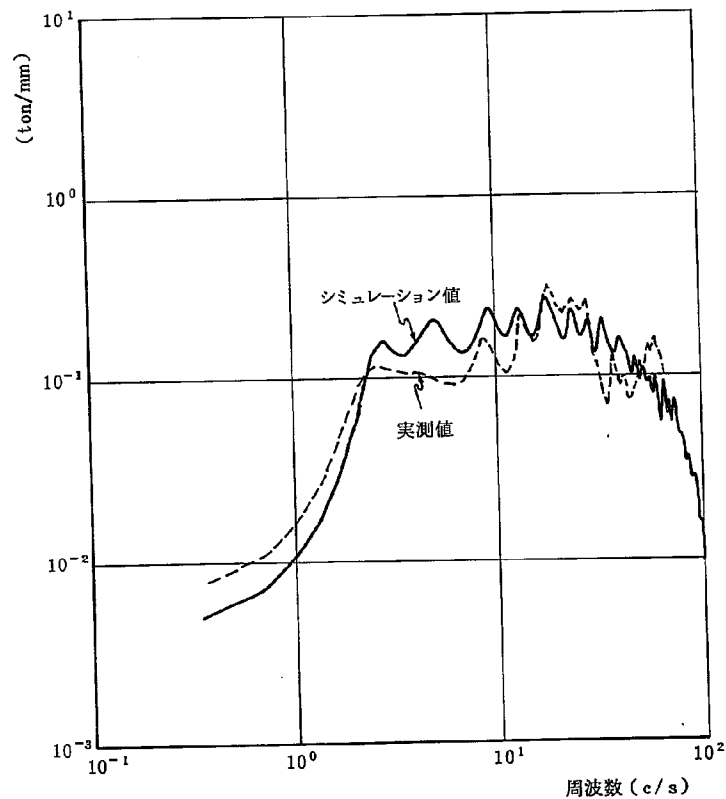


図 - 2.16 (6) シミュレーションによる伝達関数
(Point-13, 37.4 km/h)