

ISSN 0386-5878

土研資料第1466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〔II-1978〕

昭和54年2月

建設省土木研究所
構造橋梁部構造研究室

目 次

は じ め に

1. 路面凹凸および動的付加荷重実測調査.....	1
1.1 調査目的および概要.....	1
1.2 現地実測調査.....	2
1.3 調査結果.....	4
1.4 今後の方針.....	5
表, 図	6
2. 単純桁橋の衝撃係数に関する数値計算.....	45
2.1 まえがき.....	45
2.2 路面凹凸の変更.....	45
2.3 複数車走行時の応答計算.....	46
表, 図	47
3. 内山大橋走行実験.....	59
3.1 実験の目的および概要.....	59
3.2 内山大橋の概要.....	59
3.3 調査項目および調査方法.....	59
3.4 解析結果(中間報告).....	60
3.5 今後の方針.....	61
表, 図, 写真	62

は　じ　め　に

昭和53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)の成果をとりまとめて報告する。内容は3章に別れる。

第1章 路面凹凸および動的付加荷重実測調査

昭和51年度から今年度にかけて3回実施した「路面凹凸および動的付加荷重実測調査」で得られた成果を報告する。しかし、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は、次年度に実施する最終調査の終了をまって最終的にとりまとめることとした。

第2章 単純桁橋の衝撃係数に関する数値計算

前年度に引き続き、複数車走行時の単純桁橋の応答計算を実施した。全ケースの計算は終了していないが、今年度得られた成果について報告する。

第3章 内山大橋走行実験

単純桁橋の車両走行時の動的応答問題について、実橋実験を実施したので、その内容および1次解析結果について報告する。

昭和54年2月

構造研究室	室　長	成　田　信　之
	研究員	桂　樹　正　隆
	室　員	江　本　勝
	同	藤　城　隆

1 路面凹凸および動的付加荷重実測調査

1.1 調査目的および概要

1.1.1 調査目的

本調査の目的は以下のとおりである。

- (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。

$$P_y(f) = |A(f)|^2 \cdot P_x(f) \dots\dots\dots (1.1)$$

$P_y(f)$: 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

1.1.2 調査概要

上記目的を達成するために、路面凹凸および動的付加荷重実測調査を実施した。本調査は昭和51～53年度にかけて3回実施された。昭和51年度の調査を調査A、52年度を調査B、53年度を調査Cとそれぞれ呼ぶと、各調査における調査内容は基本的には同じであるが、調査に用いた試験車の種類、その静軸重、路面凹凸の測定線の位置、および調査地点数等が若干異なっているので、以下ではこれらの相異点を中心に調査概要を紹介する。(表-1.1参照)

(1) 現地実測

a. 調査地点の選定

1ヶ所当り100mの調査区間を選定する。調査地点数は表-1.1に示すとおり、調査A・Bはそれぞれ30ヶ所、調査Cは12ヶ所である。

b. 路面凹凸の測定

それぞれの調査区間内の路面凹凸を、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を用いて実測した。このとき、路面凹凸の測定線の位置は表-1.1に示すとうり調査年度により異なっている。

c. 動的付加荷重の測定

各調査区間内において試験車を走行させ、このとき後車軸に発生する動的付加荷重を

測定した。用いた試験車は表－1.1に示すように2種類であり、また大型トラックについては、積載重量を調整することにより、静軸重を3種類に変化させた。

(2) 記録の整理および解析

a. 3 mプロフィールメーター記録の整理

σ , PrI , TCR 等の値を算出する。

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、合理的な評価方法を検討する。

d. 動的付加荷重記録の整理およびその検討

動的付加荷重のパワースペクトル、標準偏差、および最大値を求め、路面平坦性との関係を検討する。

e. 車両の伝達関数の検討

bおよびdの結果より車両の伝達関数を算出し、車種および積載量の影響を検討する。

f. 動的付加荷重の実測値と計算値との比較

車両構造諸元を設定し、これに高速プロフィールメーターにより得られた路面凹凸を入力し、数値計算によって動的付加荷重を求め、実測値を比較する。両者の一致が見られる最適な車両構造諸元を決定する。

1.2 現地実測調査

1.2.1 調査地点の選定

調査対象ヶ所を次の条件のもとで選定した。

- (1) なるべく縦断勾配が小さく100m区間において高速プロフィールメーター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であること。
(現地調査の安全対策のため)
- (3) 目視による路面凹凸が良から悪まで均質に入るように調査地点を選定すること。

調査地点の一覧表を表－1.2に示す。

1.2.2 目視調査

各調査対象ヶ所において、目視による周辺状況および路面の状態等の調査した。調査項目は周辺の状況、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

いても記入した。さらに、調査地点1ヶ所当り数枚ないしは10数枚の写真を撮影してその路面変状の状態を明確にした。

また、目視による路面平坦性の評価を、極良・良・普・悪・極悪の5段階で行なった。このときの評価方法は、舗装の完成直後に見られるような鏡のような路面を極良、各所に段差やひびわれや陥没の見られる舗装道路としては最悪のものを極悪、また舗装道路としてごく一般的なるものを普と評価し、これらの中間に位置するものをそれぞれ良、悪と評価した。

これらの目的は、他の数量的な路面平坦性評価法によるものとの相関性を検討するためである。

1.2.3 3mプロファイルメーターによる路面凹凸の測定

3mプロファイルメーターを用いて、一般車の右車輪もしくは左車輪通過位置線上の路面凹凸を測定した。測定方法は、各対象区間での測定区間100mの手前より測定を開始して、100m区間を直線的に移動させ、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、その後移動を続け、測定輪が測定区間の終線上を通過するまでこの手順をくり返した。測定は1ヶ所につき2回実施した。

1.2.4 高速プロファイルメーターによる路面凹凸の測定

高速プロファイルメーターは当研究室が開発した車載型のプロファイルメーターであり、その測定原理を図-1.1に示す。即ち、路面と車体間の相対変位を差動トランス型の変位計で測定し、一方車体自身の変位量を車体振動加速度の2回積分により求め、両者の和算により路面の絶対凹凸量を測定するものである。本測定器は従来の3mもしくは8m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測定が可能であり、これにより得られる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可能である。

測定は3mプロファイルメーターのときと同様に、一般車の右車輪もしくは左車輪通過位置線上を、測定車を低速および定速走行させて、各地点で2度実施した。

1.2.5 動的付加荷重の測定

動的付加荷重の測定方法は、マイクロバスと大型トラックとで異なる方法を用いた。

マイクロバスの場合には、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するための2枚のストレインゲージ、およびバネ下質量の振動加速度を測定するための2個の加速度計を用いた。(図-1.2(1)参照)

大型トラックの場合には、バネ上およびバネ下質量の振動加速度を測定するための合計3個の加速度計を用いた。(図-1.2(2)参照)

測定は土木研究所構内の試験走路においては20、30、40、50、60 km/h 走行について各2回、またその他の地点では20、30、40 km/h 走行で各2回実施した。測定区間は路面凹凸調査区間と同じ100mとした。

1.3 調査結果

本節で各調査で得られた記録の解析結果を述べる。調査Aについては既に前年度の報告書*で紹介したが、その後地点番号4, 6, 8, 18, 19, 22, 26, 28, 30の計9地点の高速プロファイルメーターによる路面凹凸量が解析上のミスから $5/3$ 倍に表現されていることが明らかとなった。そこでこれらの訂正を行ない以下に改めて解析結果を報告する。また調査Cについては、現在解析途中であるので、得られている成果について述べる。

1.3.1 目視調査結果

各調査地点の目視による路面平坦性結果は表-1.2に示したとおりである。

1.3.2 3mプロファイルメーター記録の解析結果

3mプロファイルメーターにより得られた路面凹凸記録から、従来の路面平坦性評価指標である標準偏差値(σ , mm)とプロファイルインデックス(PrI , cm/km)を読みとり、表-1.2に示した。

1.3.3 高速プロファイルメーター記録の解析結果

高速プロファイルメーターにより得られた記録を電子計算機を用いてプロッター処理した結果の一部を図-1.3に示す。また、これらの記録から路面凹凸パワースペクトル密度を求めたが、その結果の一例を図-1.4に示す。表-1.2にはこれらのパワースペクトルから求めた空間周波数 $0.1\text{ }c/m$ でのスペクトル密度値($S(0.1)$)をまとめた。

1.3.4 動的付加荷重記録の解析結果

動的付加荷重の記録を電子計算機を用いてプロッター処理した結果の一部は、既に図-1.3に示した。同図の調査Cにおいて、L-LOADは空荷状態での荷重を、M-LOADは半載状態での荷重を示すものである。また、これらの記録から動的付加荷重のパワースペクトル密度を求めた結果の一部を図-1.5に示す。さらに、図-1.4と図-1.5から式(1.1)に基づいて伝達関数を求めた結果の一部を図-1.6に示す。

ところで、路面平坦性と動的付加荷重の関係を検討する場所、両者とも何らかの指標値で表現する必要がある。路面平坦性については、前項で示したとおり標準偏差値、プロファイルインデックス、および空間周波数 $0.1\text{ }c/m$ でのパワースペクトル密度値で表現したが、動的付加荷重については100mの調査区間内での標準偏差および最大値を一応の指標値と考え、これらの値を算出した。その結果を表-1.3に示す。但し、調査Cについては今後計算を行なう予定であるので、表からは省いた。また、図-1.7~1.10はこれらの値を用いて、

*「橋梁の設計動荷重に関する試験調査報告書〔I-1977〕」, 土木研究所資料第1354号, 昭和53年3月

路面平坦性と動的付加荷重の関係を図化したものである。

1.4 今後の方針

今年度は過去3回の実測調査で得られた結果のみを紹介し、これに対する考察を行なわなかった。来年度は一連の調査の最終段階として、大型トラックを用いて積載重量を調査Cの時以上に多様に変化させて実験を実施する予定である。これにより得られる結果と、本報告書に述べた調査A, B, Cの結果とを合わせて、パワースペクトルによる路面平坦性評価法の確立、および路面平坦性と自動車荷重の関係の把握を最終的に行なうこととしたい。

表－1.1 調査内容の相異点

調査名	調査 年度	調査 地点数	路面凹凸測定		動的付加荷重測定		
			使用測器	測定線 位置*	試験車	対称車軸	静軸重
調査A	51	30	3mプロフィールメーター	右	マイクロバス (三菱ローザ B215)	後車軸	2.50 ton
			高速プロフィールメーター	右			
調査B	52	30	3mプロフィールメーター	左	大型トラック (日野KB320)	同上	9.96 ton (満載)
			高速プロフィールメーター	右			
調査C	53	12	3mプロフィールメーター	左	同上	同上	7.77 ton (半載) 4.02 ton (空荷)
			高速プロフィールメーター	左			

* 右(左)はそれぞれ一般車両の右(左)車輪通過位置線上を表わす。

表 1.2 (1) 調査地点および路面平坦性 (調査A)

地点 番号	調査対象場所	舗装 種別	目視による 路面状況	標準偏差 σ (mm)	Pr I (cm/km)	S (0.1) *	備 考
1	土木研究所試走路	Co	普	2.63	57.7	3.36×10	
2	袖ヶ浦	As	良	1.08	3.8	1.36×10	
3	◇	◇	◇	1.80	32.3	3.77×10	
4	◇	◇	◇	1.12	9.2	2.25×10	
5	◇	◇	◇	2.14	47.2	5.98×10	
6	◇	◇	◇	3.11	102.3	1.80×10^2	
7	大曾根	◇	極 良	1.26	4.7	3.69×10	
8	長生村	◇	普	3.91	119.6	1.86×10^2	
9	◇	◇	良	1.87	18.4	4.82×10	
10	◇	◇	普	2.46	96.6	1.00×10^2	
11	豊 村	◇	◇	3.31	127.8	3.89×10	
12	◇	◇	良	2.68	65.1	8.25×10	
13	◇	◇	普	3.74	72.7	1.24×10^2	
14	東 金	◇	◇	4.71	159.4	1.10×10^2	
15	光 町	◇	良	1.47	54.1	3.14×10	
16	成田三里塚	◇	◇	1.22	21.9	3.69×10	
17	富里村	◇	◇	0.90	20.2	3.31×10	
18	◇	◇	普	2.16	103.2	8.06×10	
19	◇	◇	◇	1.19	5.7	4.21×10	
20	野毛平工業団地	◇	極 良	1.09	10.4	1.41×10	
21	佐原駅前	◇	良	2.61	76.0	7.82×10	
22	潮来町	◇	悪	2.27	51.9	4.90×10	
23	◇	◇	良	1.06	2.3	2.71×10	
24	東 村	◇	◇	1.50	22.0	1.98×10	
25	鹿 島	◇	悪	5.30	232.1	1.40×10^2	
26	鹿島神	◇	◇	4.87	291.2	1.33×10^2	
27	東村水神	◇	◇	4.04	154.3	3.16×10^2	
28	新利根村	◇	普	1.60	18.0	6.66×10	
29	江戸崎町	◇	良	1.33	15.8	3.16×10	
30	習志野	◇	◇	0.79	2.5	1.28×10	

* 0.1 c/m での路面凹凸パワースペクトル密度 ($\text{mm}^2/\text{c}/\text{m}$)

表一 1.2 (2) 調査地点および路面平坦性 (調査 B)

地点 番号	調査対象場所	舗装 種別	目視による 路面状況	標準偏差 σ (mm)	Pr I (cm/km)	S (0.1) *	備 考
1	土木研究所試走路	Co	普	3.17	118.3	1.26×10	
2	袖ヶ浦工業団地	As	◇	1.61	52.0	2.00×10	
3	袖ヶ浦	◇	悪	2.90	57.9	3.36×10	
4	◇	◇	良	1.03	9.1	2.33×10	
5	◇	◇	悪	3.00	56.4	4.82×10	
6	市原阜頭近辺	◇	良	1.32	19.7	4.30×10	
7	市原五井海岸	◇	普	2.08	56.2	1.26×10	
8	姉ヶ崎	◇	良	1.67	32.2	1.41×10	
9	君津分譲地	◇	普	2.82	97.8	2.71×10	
10	君津工業分譲地	◇	極 良	1.74	29.6	1.82×10	
11	君 津	◇	良	1.74	53.8	3.29×10	
12	◇	◇	◇	1.22	22.6	1.29×10	
13	葦波団地	◇	普	3.54	136.2	2.84×10	
14	葦波台	◇	良	1.47	27.6	5.84	
15	馬 立	◇	悪	4.79	231.0	6.76×10	
16	奈良輪	◇	良	1.86	34.1	1.78×10	
17	◇ 住宅地	◇	極 良	2.48	76.8	2.44×10	
18	鹿島国末	◇	良	1.82	41.4	2.71×10	
19	鹿島工業団地	◇	普	1.34	34.8	1.36×10	
20	鹿島町	◇	◇	1.89	113.1	1.78×10	
21	鹿島港ヶ丘団地	◇	◇	2.20	73.7	2.69×10	
22	東部工業団地	◇	良	1.38	27.8	1.31×10	
23	知 手	◇	極 良	2.14	60.6	2.07×10	
24	神橋町日川	◇	悪	1.75	67.7	2.51×10	
25	中 町	◇	普	1.16	10.1	5.21	
26	中町中央	◇	◇	1.18	8.1	1.37×10	
27	波崎工業団地	◇	◇	1.31	17.7	1.09×10	
28	大 州	◇	悪	1.06	9.1	1.00×10	
29	拾 番	◇	◇	0.95	3.5	9.26	
30	下ノ洲	◇	極 良	1.49	29.7	1.58×10	

* 0.1 c/m での路面凹凸パワースペクトル密度 (mm²/c/m)

表-1.2(3) 調査地点および路面平坦性(調査C)

地点 番号	調査対象場所	舗装 種別	目視による 路面状況	標準偏差 σ (mm)	PrI (cm/km)	S(0.1)*	備 考
1	土木研究所試走路	Co	良	2.54	59.2	2.42×10	
2	君津郡袖ヶ浦町	As	極良	1.08	5.6	1.04×10	
3	袖ヶ浦町長浦	◇	悪	2.08	21.3	1.47×10	
4	◇	◇	普	1.42	7.7	1.58×10	
5	◇	◇	良	1.48	3.9	1.26×10	
6	◇	◇	極良	1.91	22.0	1.95×10	
7	◇	◇	普	2.23	35.3	2.61×10	
8	◇	◇	極良	0.96	1.5	6.81	
9	◇	◇	普	2.90	80.4	5.21×10	
10	八千代市村上	◇	◇	1.07	0.5	4.82	
11	◇ 島田	◇	悪	2.49	38.2	2.00×10	
12	◇ 島田台	◇	悪	2.75	35.5	2.82×10	

* 0.1 c/m での路面凹凸パワースペクトル密度 ($\text{mm}^2/\text{c}/\text{m}$)

表-1.3(1) 路面平坦性と動的付加荷重の指標値(調査A)

地点 番号	車速 (km/h)	最大動荷重 (ton)	動荷重 標準偏差 (ton)	S(0.1) (m/c/m)	標準偏差 (m)	TCR (cm/km)	PrI (cm/km)	地点 番号	車速 (km/h)	最大動荷重 (ton)	動荷重 標準偏差 (ton)	S(0.1) (m/c/m)	標準偏差 (m)	TCR (cm/km)	PrI (cm/km)
1	16.6	0.55	0.162	3.36×10		2.63		16	16.6	0.55	0.118	3.69×10		1.22	
	25.7	0.50	0.209	*	✓	1822.2			26.8	0.85	0.168	*		242.4	
	36.0	0.80	0.295	*	✓	57.7			38.1	1.10	0.168	*		21.9	
	47.2	0.85	0.280	*					17.6	0.90	0.135	3.31×10		0.90	
	55.5	0.95	0.306	*					27.3	1.05	0.180	*		242.4	
2	16.7	0.20	0.062	1.36×10		1.08		17	38.4	1.65	0.184	*		20.2	
	26.7	0.30	0.103	*		262.6			16.4	0.55	0.158	8.06×10		21.6	
	36.9	0.40	0.113	*		3.8			26.4	1.00	0.435	*	✓	464.6	
3	16.7	0.30	0.085	3.77×10		1.80		18	35.4	0.75	0.243	*		103.2	
	27.2	0.40	0.122	*		323.2			17.4	0.45	0.117	4.21×10		1.19	
	37.9	0.80	0.167	*		3.23			27.4	0.35	0.113	*		282.8	
4	17.5	0.35	0.081	2.25×10		1.12		19	38.2	0.70	0.162	*		5.7	
	26.4	0.35	0.100	*		202.0			16.6	0.35	0.098	1.41×10		1.09	
	36.9	0.55	0.130	*		9.2			26.7	0.40	0.135	*		222.2	
5	17.0	0.45	0.118	5.98×10		2.14		20	37.9	0.40	0.132	*		10.4	
	26.4	0.85	0.141	*		767.7			16.6	0.95	0.155	7.82×10		2.61	
	36.9	1.05	0.206	*		47.2			26.2	1.20	0.202	*		444.4	
6	16.6	0.60	0.114	1.80×10 ²		3.11		21	37.4	1.10	0.302	*		7.60	
	27.0	0.95	0.175	*		565.7			17.5	0.65	0.143	4.90×10		2.27	
	36.1	1.40	0.276	*		102.3			27.4	0.95	0.190	*		422.2	
7	17.5	0.50	0.125	3.69×10		1.26		22	38.0	1.60	0.241	*		51.9	
	28.0	0.45	0.155	*		262.6			17.6	0.25	0.081	2.71×10		1.06	
	37.6	0.55	0.167	*		4.7			26.4	0.40	0.107	*		161.6	
8	16.6	1.30	0.219	1.86×10 ²		3.91		23	37.9	0.55	0.145	*		2.3	
	27.4	1.70	0.289	*		644.4			17.0	0.50	0.150	1.98×10		1.50	
	37.4	0.70	0.124	*	✓	119.6			26.7	0.70	0.181	*		333.3	
9	16.5	0.35	0.109	4.82×10		1.87		24	37.4	0.75	0.218	*		2.20	
	26.7	0.40	0.138	*		262.6			16.8	0.75	0.219	1.40×10 ²		5.30	
	37.7	0.60	0.174	*		18.4			26.7	0.90	0.269	*		1272.7	
10	15.9	0.40	0.126	1.00×10 ²		2.46		25	38.6	1.30	0.361	*		232.1	
	26.7	0.50	0.158	*		464.6			17.1	0.80	0.205	1.33×10 ²		4.87	
	38.1	0.75	0.212	*		96.6			28.4	1.15	0.282	*		2909.1	
11	17.5	0.90	0.240	3.89×10	✓	3.31		26	37.9	1.40	0.328	*		291.2	
	26.7	0.95	0.236	*	✓	1030.3			16.5	0.60	0.211	3.16×10 ²		4.04	
	36.9	1.35	0.302	*		127.8			27.7	0.80	0.265	*		626.3	
12	16.6	0.55	0.186	8.25×10		2.68		27	37.4	1.40	0.345	*		154.3	
	26.5	0.60	0.186	*		565.7			16.7	0.40	0.107	6.66×10		1.60	
	37.2	0.80	0.255	*		65.1			27.0	0.60	0.131	*		242.4	
13	17.0	0.55	0.156	1.24×10 ²		3.74		28	37.2	0.60	0.159	*		1.80	
	27.4	0.60	0.205	*		565.7			16.5	0.70	0.112	3.16×10		1.33	
	37.4	0.90	0.291	*		7.7			28.0	0.95	0.173	*		343.4	
14	17.4	0.65	0.207	1.10×10 ²		4.71		29	37.4	0.95	0.197	*		15.8	
	26.8	0.90	0.272	*		909.1			16.8	0.30	0.069	1.28×10		0.79	
	37.1	1.30	0.402	*		159.4			27.7	0.35	0.131	*		141.4	
15	17.1	0.30	0.097	3.14×10		1.47		30	37.7	0.65	0.120	*		2.5	
	26.2	0.50	0.134	*		181.8									
	38.4	0.55	0.147	*		54.1									

✓は動的付加荷重記録の一部に欠陥のあるもの

表-1.3(2) 路面平坦性と動的付加荷重の指標値 (調査B)

地点 番号	車 速 (km/h)	最大動荷重 (ton)	動 荷 重 標準偏差 (ton)	S (0.1) (mm/c/m)	標準偏差 (mm) TCR (cm/km) PrI (cm/km)	地点 番号	車 速 (km/h)	最大動荷重 (ton)	動 荷 重 標準偏差 (ton)	S (0.1) (mm/c/m)	標準偏差 (mm) TCR (cm/km) PrI (cm/km)
1	23.3	2.00	0.713	126×10	3.17	16	23.6	1.30	0.442	178×10	1.86
	27.0	2.50	0.771	◇			30.5	1.60	0.584	◇	
	31.7	2.80	0.910	◇	118.3		38.5	3.20	0.931	◇	34.1
	43.6	3.40	1.081	◇			22.9	1.90	0.548	244×10	2.48
2						17	31.0	0.70	0.173	◇	
	21.7	1.70	0.545	200×10	1.61		37.8	3.10	0.669	◇	76.8
	28.5	2.00	0.696	◇			22.2	1.40	0.352	271×10	1.82
	36.3	2.50	0.581	◇	52.0		30.3	1.80	0.534	◇	
3	23.9	1.20	0.384	336×10	2.90	18	38.5	1.90	0.506	◇	41.4
	29.0	1.00	0.391	◇			23.3	1.00	0.328	136×10	1.34
	36.5	2.30	0.569	◇	57.9		30.0	1.20	0.349	◇	
	22.3	1.20	0.376	233×10	1.03		37.5	2.20	0.575	◇	34.8
4	29.3	1.20	0.458	◇	9.1	19	23.4	1.70	0.589	178×10	1.89
	36.8	2.10	0.456	◇			29.4	1.20	0.422	◇	
	22.7	1.00	0.372	82×10	3.00		37.5	2.20	0.551	◇	113.1
	30.8	1.80	0.652	◇			23.4	1.50	0.470	269×10	2.20
5	37.9	1.90	0.650	◇	56.4	20	30.5	1.80	0.508	◇	
	23.2	1.50	0.396	430×10	1.32		38.0	2.50	0.650	◇	73.7
	30.7	1.50	0.418	◇			22.5	1.40	0.453	131×10	1.38
	38.8	2.00	0.655	◇	19.7		29.4	1.20	0.407	◇	
6	22.0	1.40	0.443	126×10	2.08	21	37.7	2.60	0.705	◇	27.8
	30.0	1.40	0.481	◇			23.0	1.50	0.524	207×10	2.14
	36.8	1.60	0.597	◇	56.2		30.6	1.50	0.484	◇	
	22.5	0.90	0.368	141×10	1.67		37.5	2.80	0.704	◇	60.6
7	29.1	1.40	0.487	◇	32.1	22	22.9	1.20	0.495	251×10	1.75
	37.2	2.00	0.645	◇			30.8	1.40	0.482	◇	
	22.4	2.00	0.553	271×10	2.82		38.8	2.00	0.588	◇	67.7
	30.5	2.20	0.606	◇			24.7	1.20	0.467	521	1.16
8	38.3	2.10	0.566	◇	97.8	23	31.2	1.40	0.447	◇	
	22.5	1.50	0.399	182×10	1.74		38.2	2.70	0.709	◇	10.1
	31.6	1.60	0.549	◇	29.6		23.0	1.30	0.383	137×10	1.18
	35.8	2.20	0.431	◇			30.7	1.50	0.546	◇	
9	22.9	1.50	0.455	329×10	1.74	24	37.2	1.90	0.600	◇	8.1
	28.9	1.90	0.626	◇			23.8	1.10	0.430	109×10	1.31
	38.4	2.30	0.682	◇	53.8		30.9	0.90	0.366	◇	
	23.0	1.40	0.394	129×10	1.22		38.4	1.70	0.564	◇	17.7
10	29.0	1.30	0.520	◇		25	22.1	1.10	0.280	100×10	1.06
	36.6	2.00	0.484	◇	22.6		29.3	1.00	0.310	◇	
	20.1	1.90	0.523	284×10	3.54		36.4	1.70	0.503	◇	9.1
	28.8	2.40	0.696	◇			23.0	0.80	0.287	926	0.95
11	37.3	2.50	0.778	◇	136.2	26	30.1	1.10	0.429	◇	
	23.0	1.70	0.413	584	1.47		36.5	1.30	0.505	◇	3.5
	27.7	1.80	0.517	◇			24.0	1.10	0.464	158×10	1.49
	37.2	3.30	0.987	◇	27.6		29.8	1.50	0.494	◇	
12	22.1	2.10	0.721	676×10	4.79	27	37.3	2.90	0.627	◇	29.7
	30.3	2.50	0.778	◇							
	38.4	3.60	0.994	◇	231.0						

◇は動的付加荷重記録の一部に欠陥のあるもの

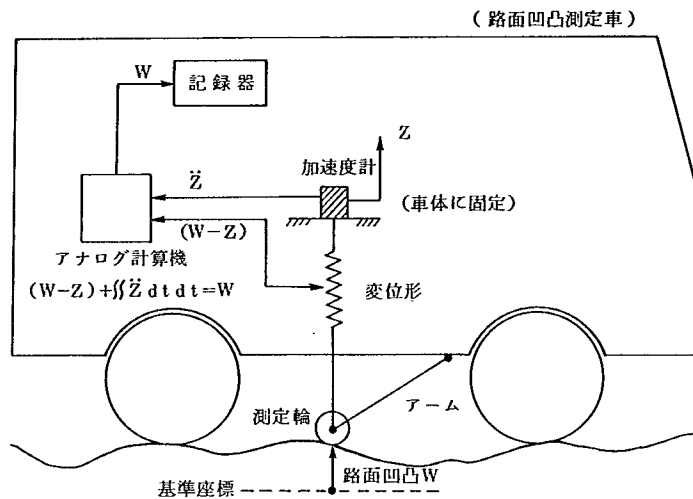
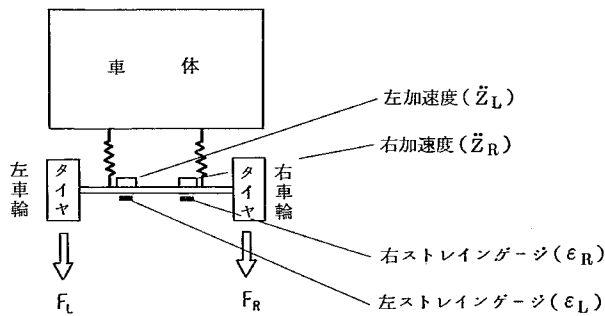


図-1.1 高速プロファイルメーター計測原理



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

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

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

$$F = F_L + F_R$$

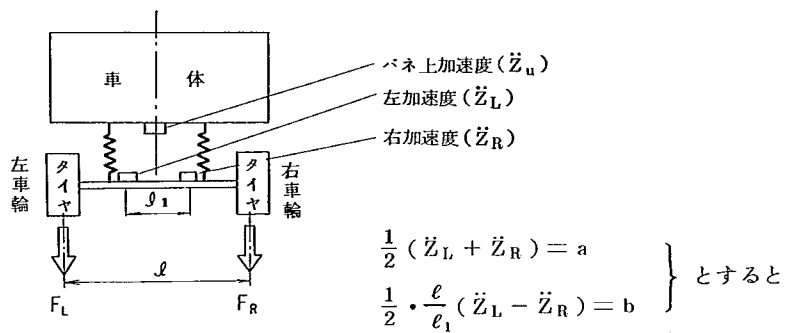
m : バネ下質量

k_ℓ : } 較正係数

k_R : }

ℓ, ℓ_1 : タイヤ間及び加速度計間距離

図-1.2(1) 動的付加荷重の計測原理 (マイクロバス)



$$F_L = \frac{m_l}{2}(a + b) + \frac{1}{2}(m_u \cdot \ddot{z}_u)$$

m_u : リヤーバネ上質量

$$F_R = \frac{m_l}{2}(a - b) + \frac{1}{2}(m_u \cdot \ddot{z}_u)$$

m_l : 下

$$F = F_L + F_R$$

l, l_1 : タイヤ間および加速度計間距離

図－1.2(2) 動的付加荷重の計測原理 (大型トラック)

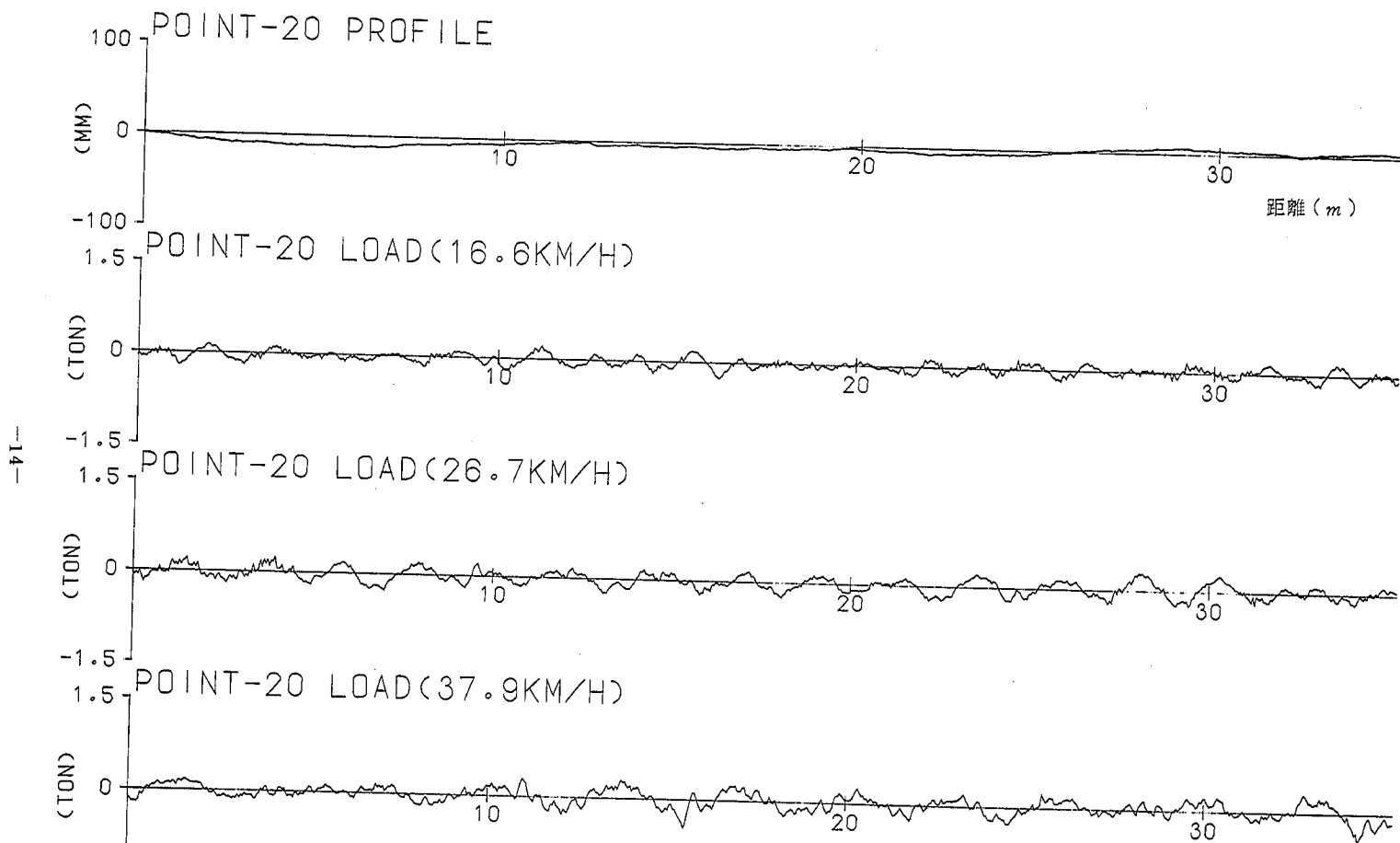


図-1.3 (1) 路面凹凸および動的付加荷重の記録例 (調査A, Point-20)

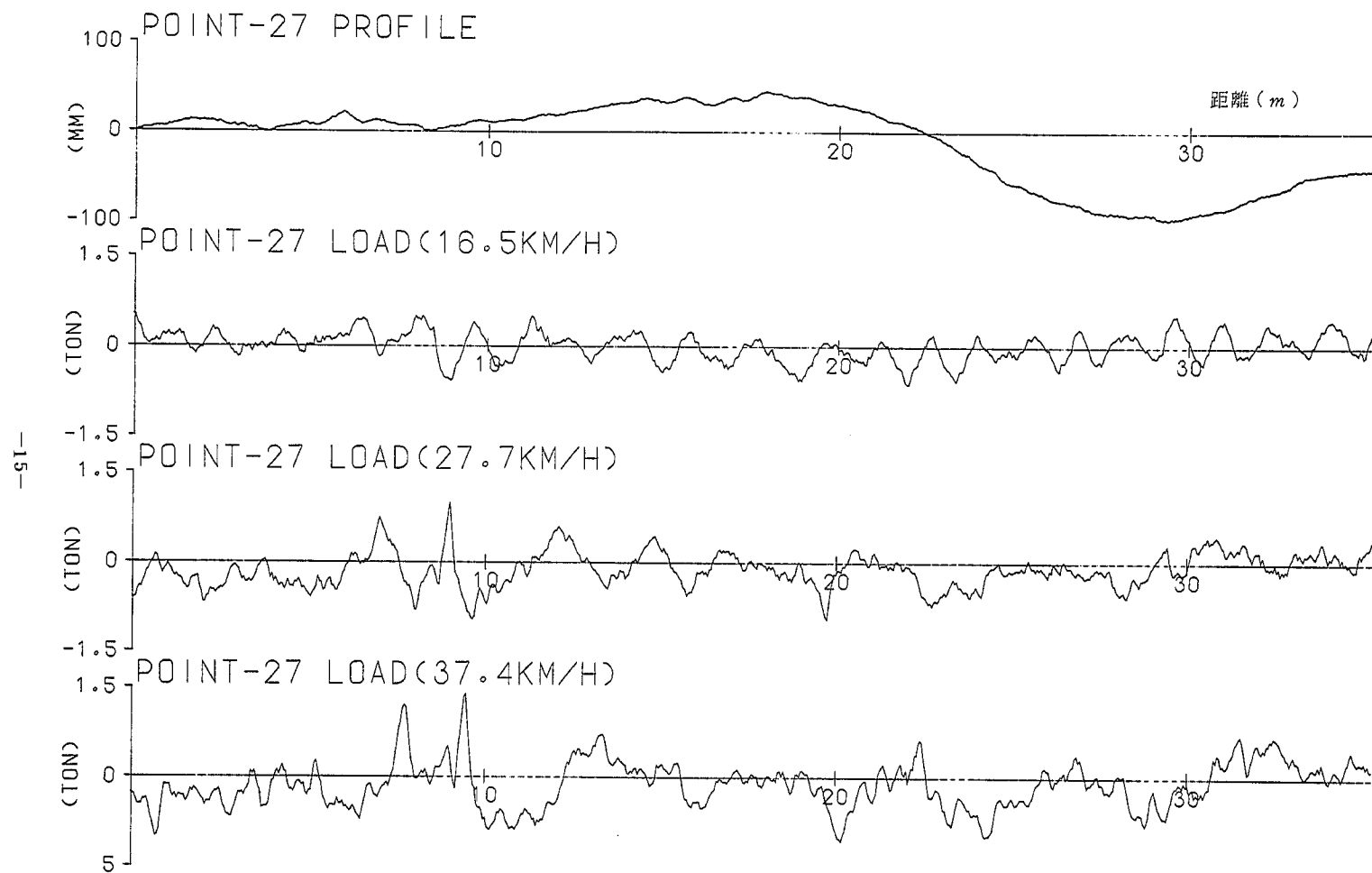


図-1.3(2) 路面凹凸および動的付加重の記録例(調査A, Point-27)

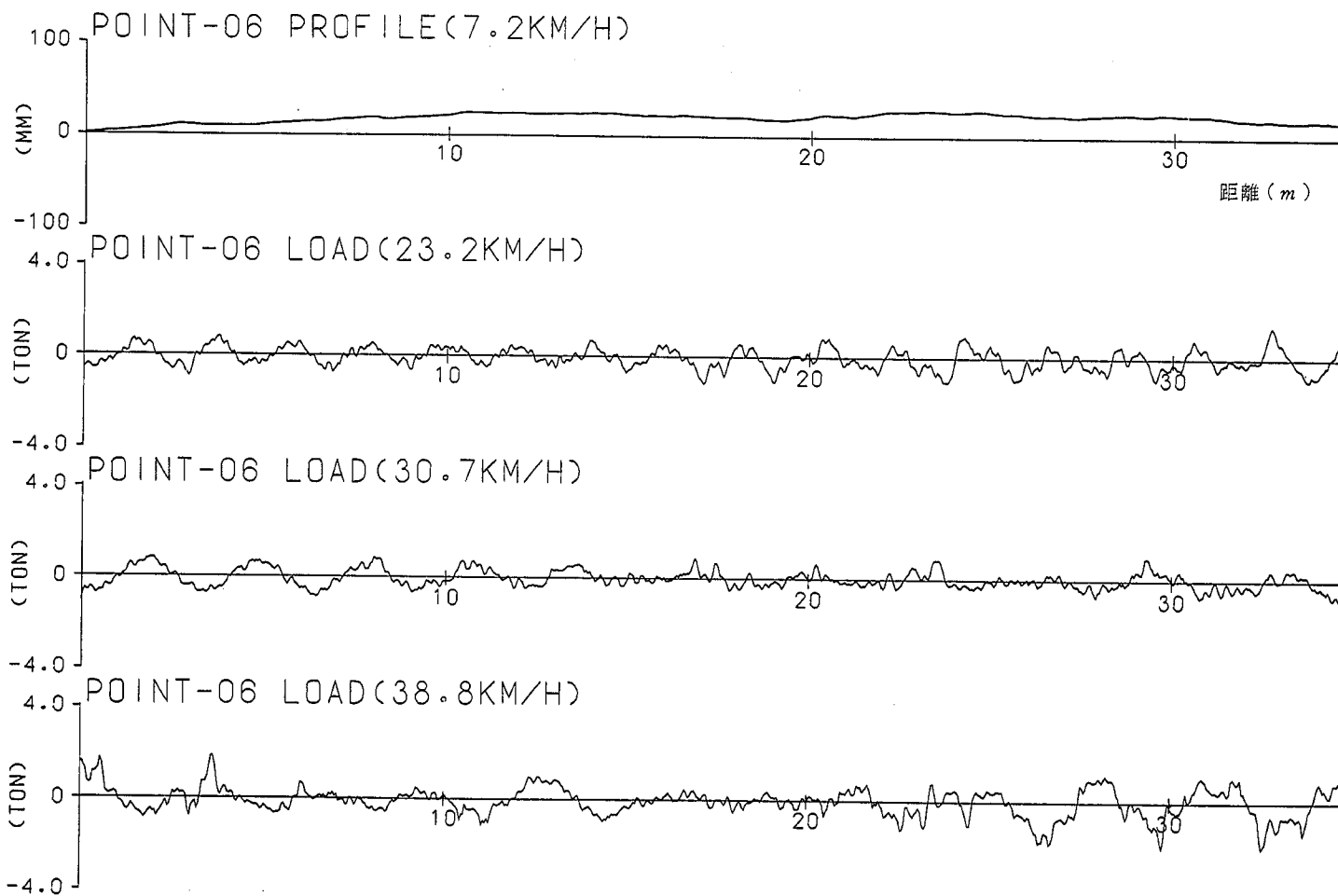


図-1.3(3) 路面凹凸および動的付加荷重の記録例(調査B, Point-6)

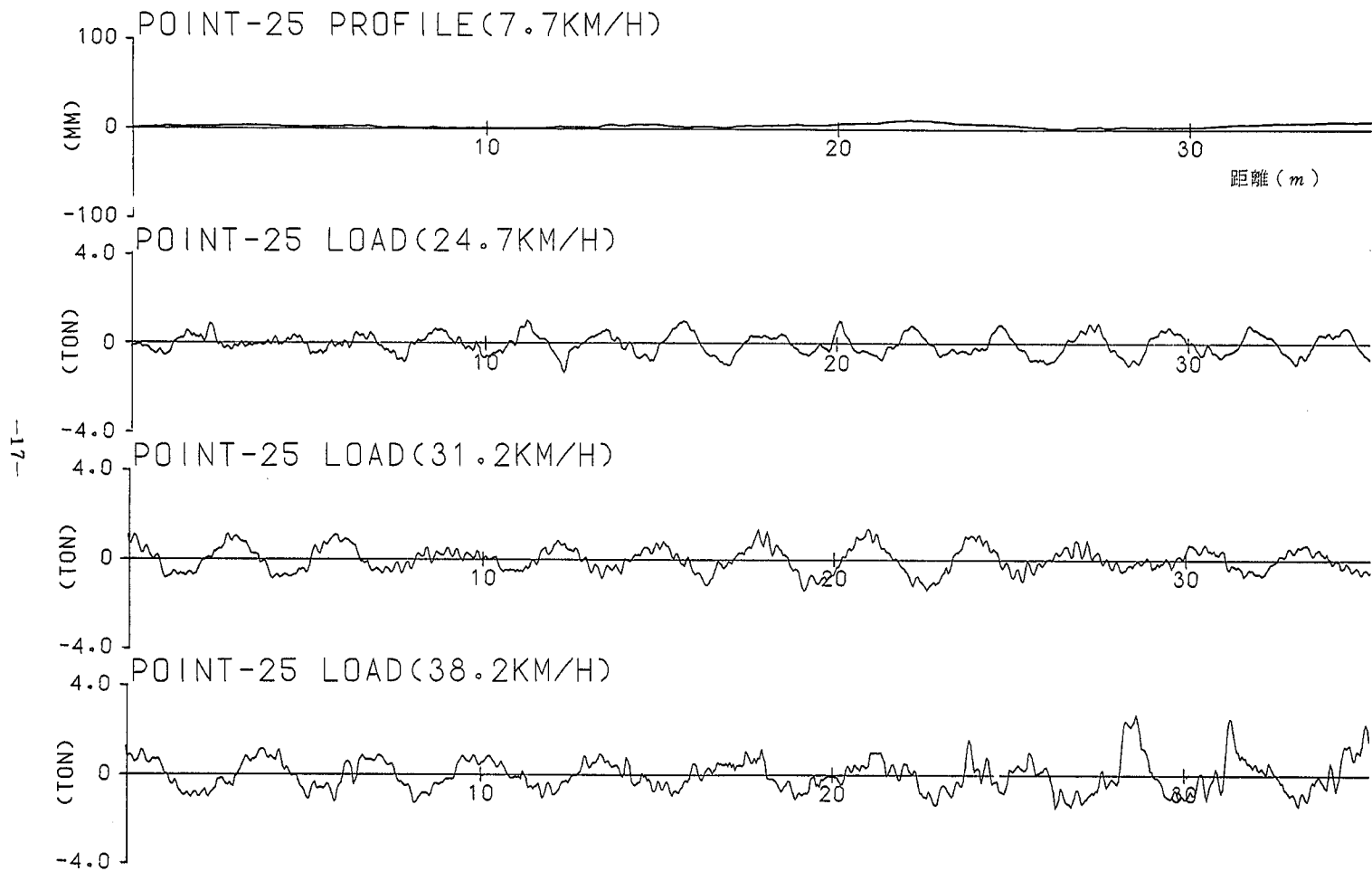


図-1.3(4) 路面凹凸および動的付加荷重の記録例(調査B, Point-25)

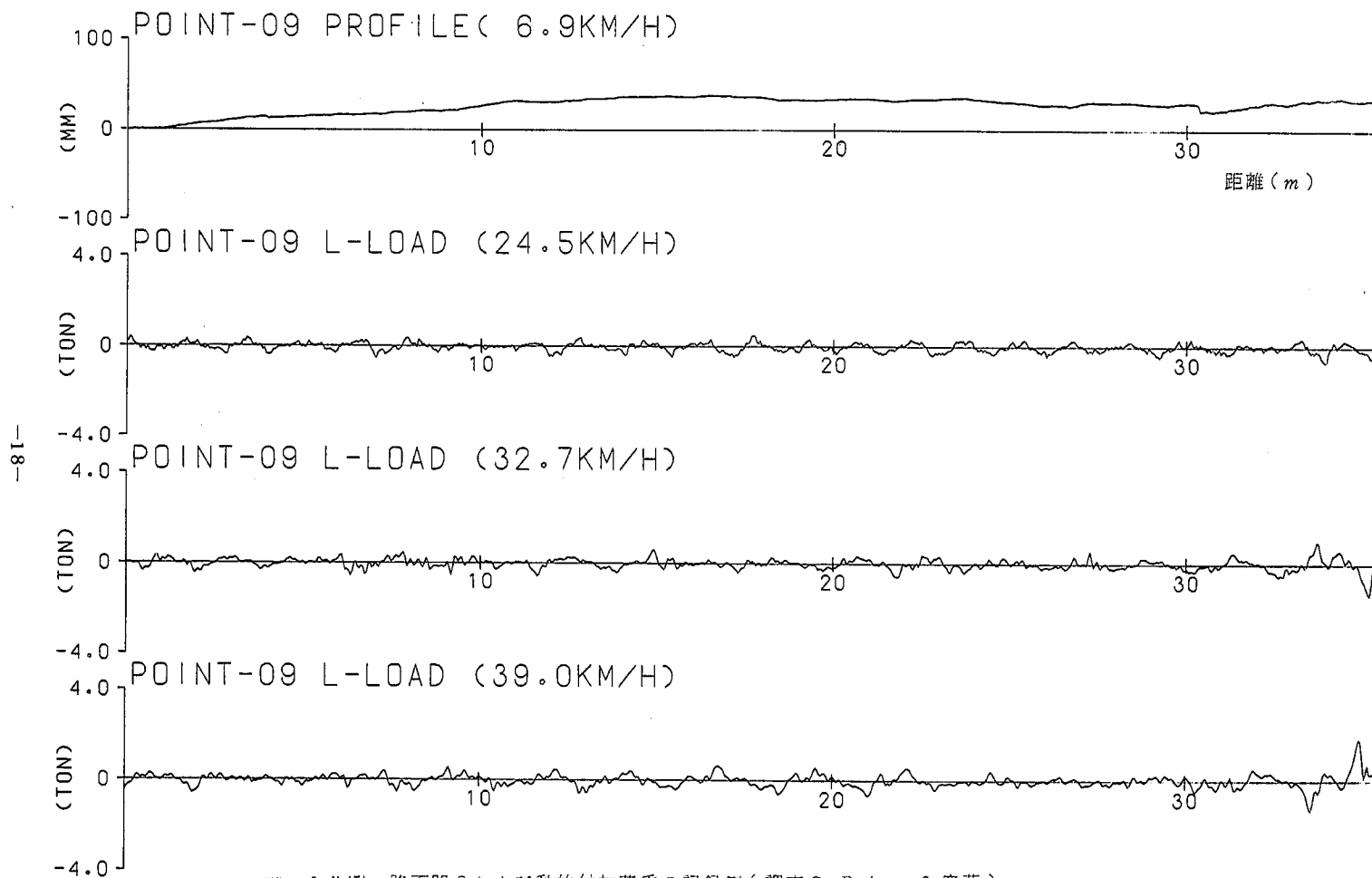


図-1.3(5) 路面凹凸および動的付加荷重の記録例(調査C, Point-9, 空荷)

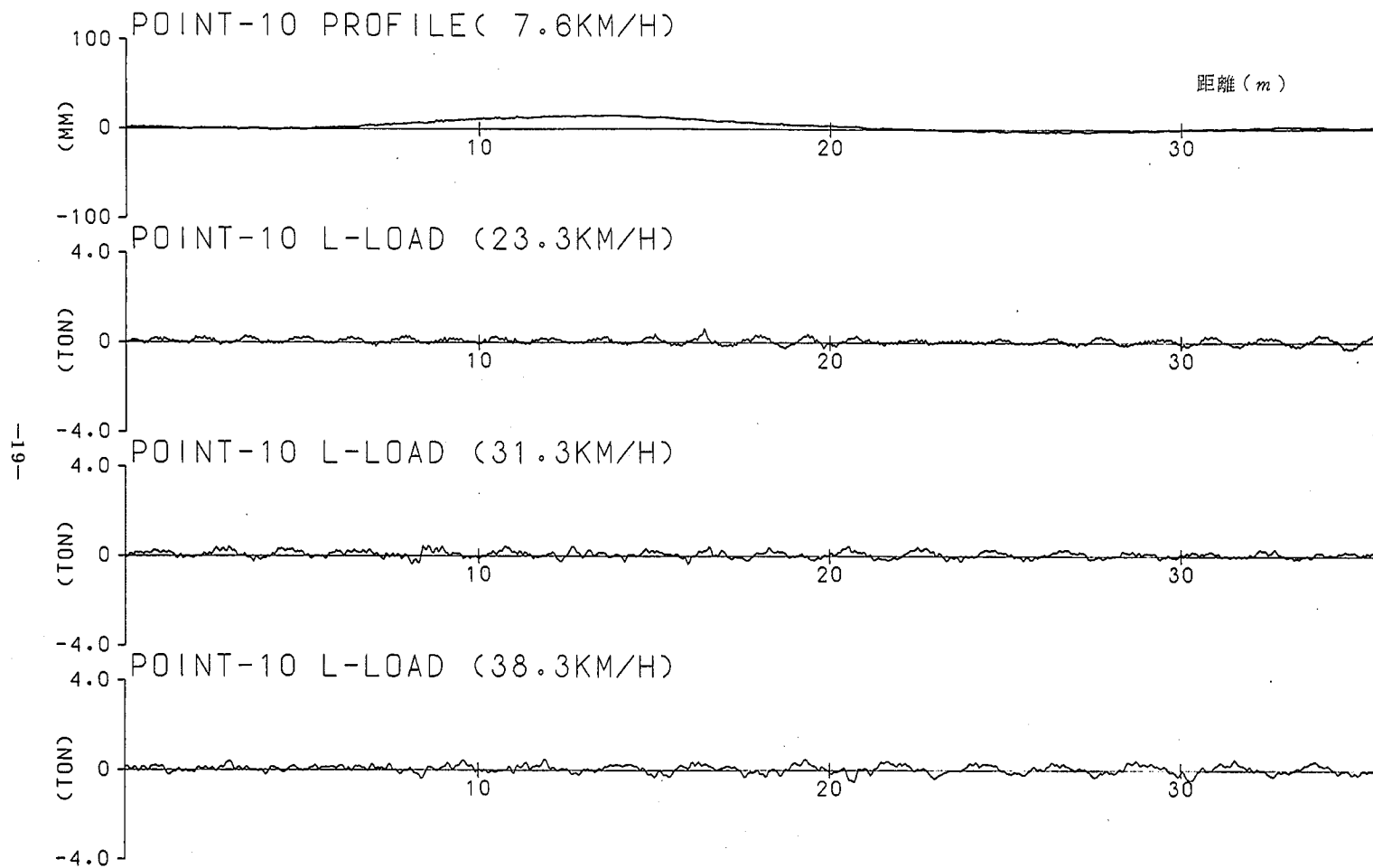


図-1.3(6) 路面凹凸および動的付加荷重の記録例 (調査C, Point-10, 空荷)

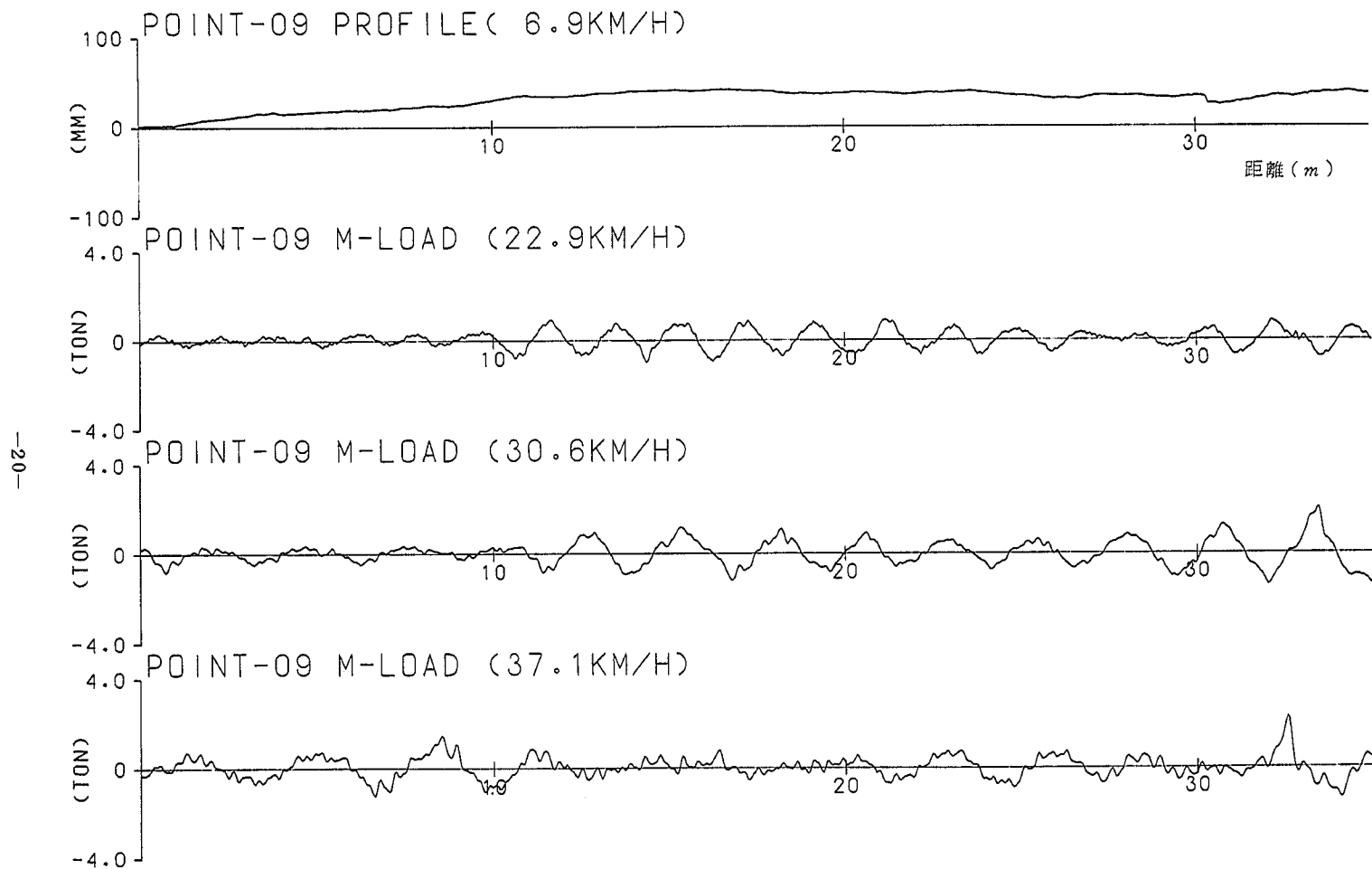


図-1.3(7) 路面凹凸および動的付加荷重の記録例(調査C, Point-9, 半載)

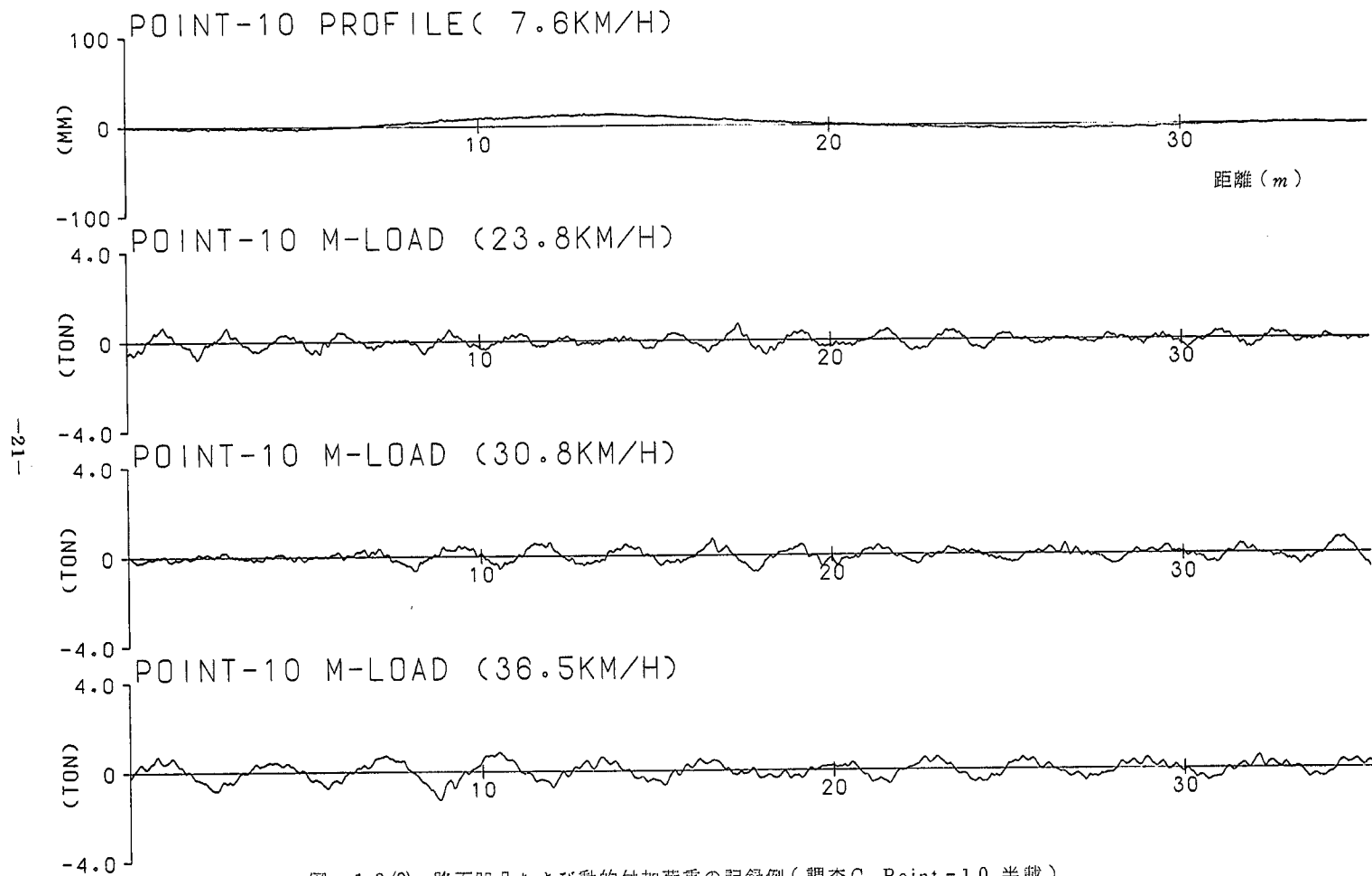


図-1.3(8) 路面凹凸および動的付加荷重の記録例 (調査C, Point-10, 半載)

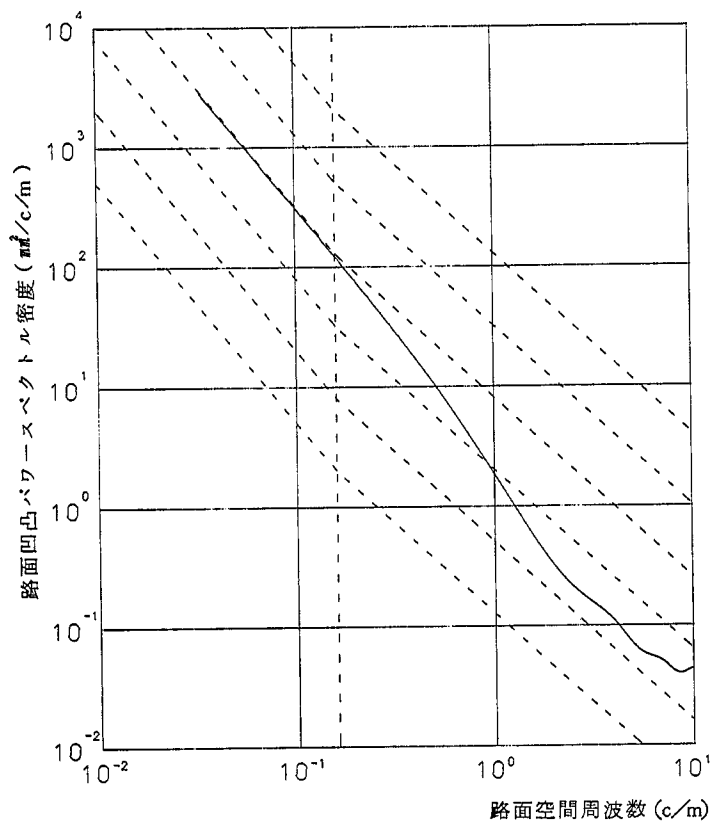


図-1.4 (2) 路面凹凸パワースペクトル密度
(調査A, Point-27)

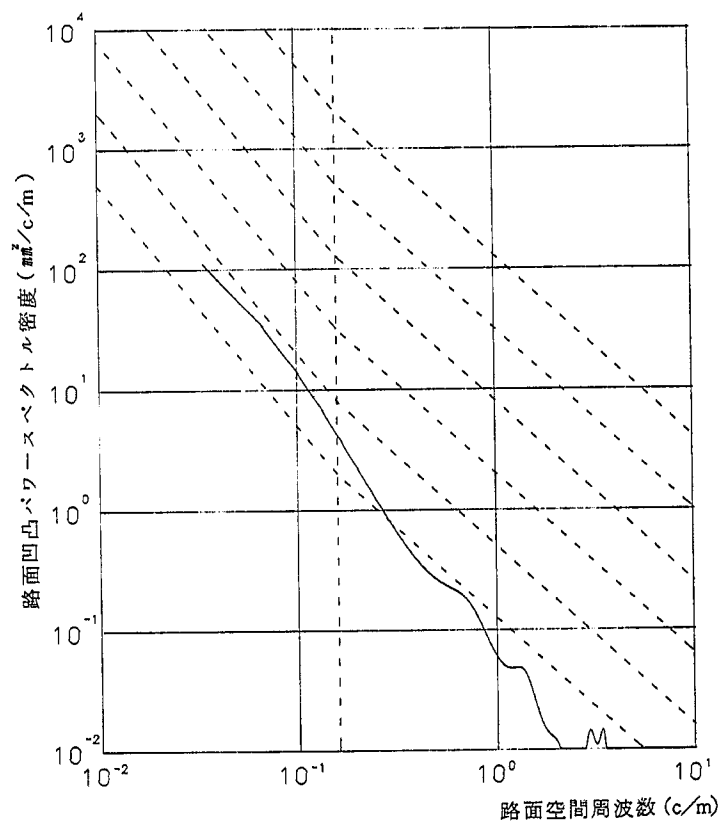
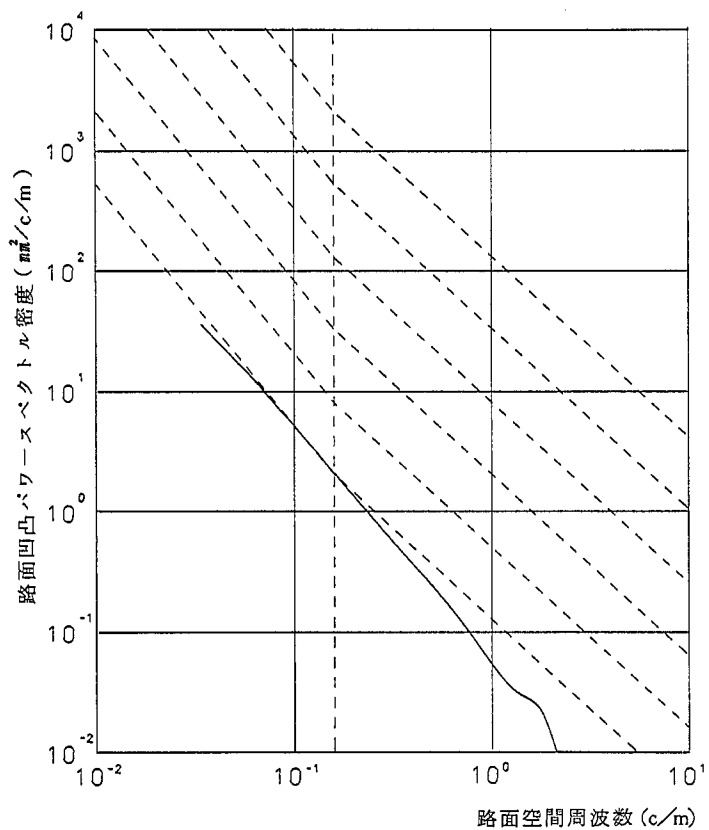
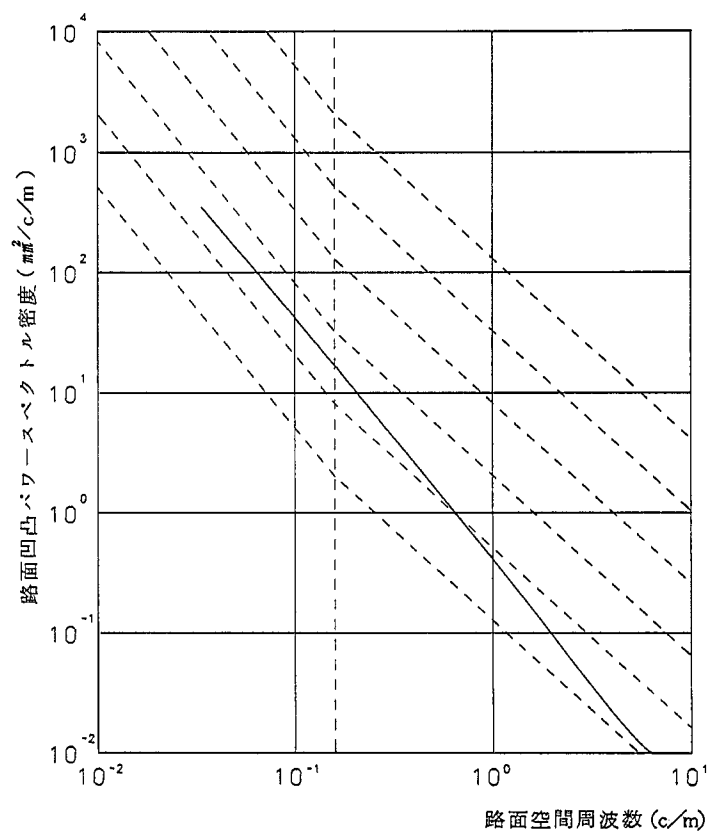


図-1.4 (1) 路面凹凸パワースペクトル密度
(調査A, Point-20)



図一 1.4 (4) 路面凹凸パワースペクトル密度
(調査B, Point-25)



図一 1.4 (8) 路面凹凸パワースペクトル密度
(調査B, Point-6)

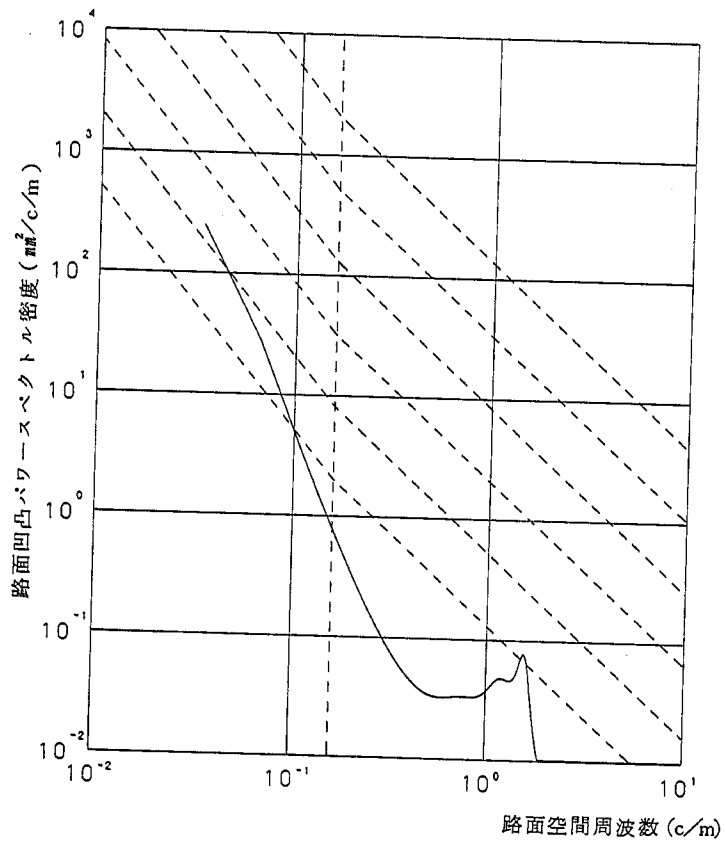


図-1.4 (6) 路面凹凸パワースペクトル密度
(調査C, Point-10)

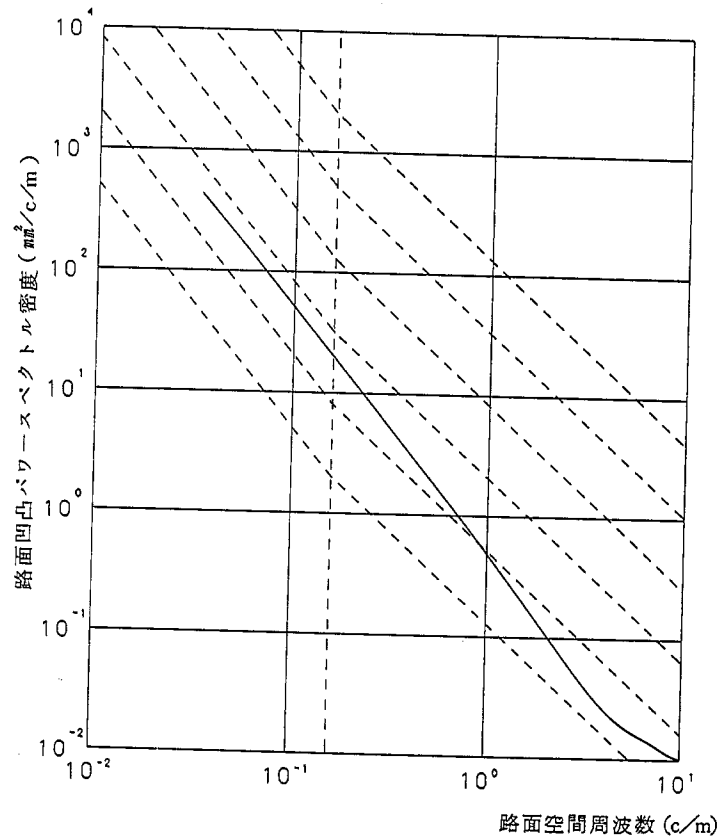


図-1.4 (5) 路面凹凸パワースペクトル密度
(調査C, Point-9)

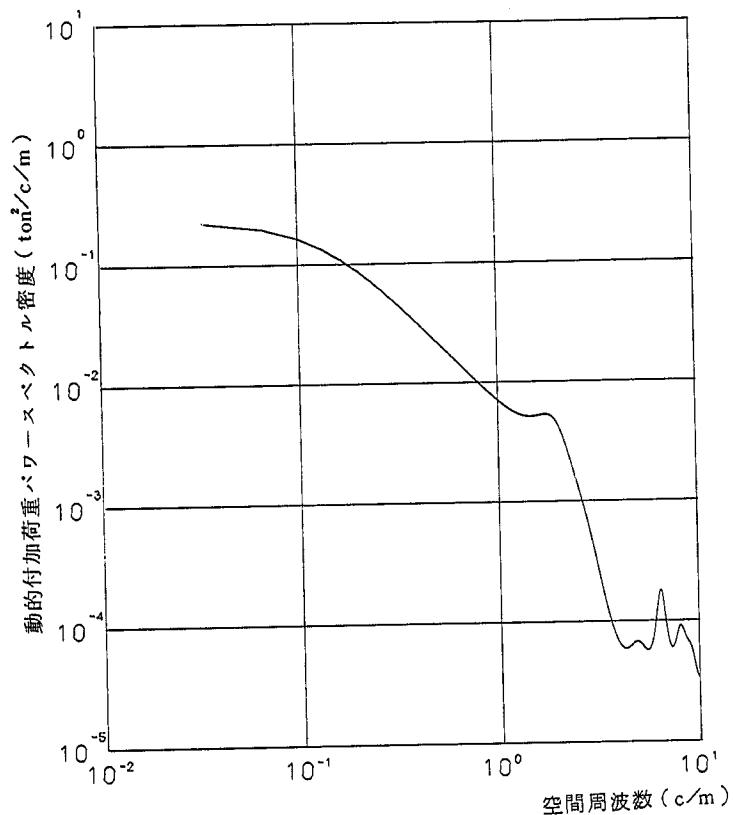


図-1.5 (2) 動的付加重パワースペクトル密度
(調査A, Point-27, 37.4 km/h)

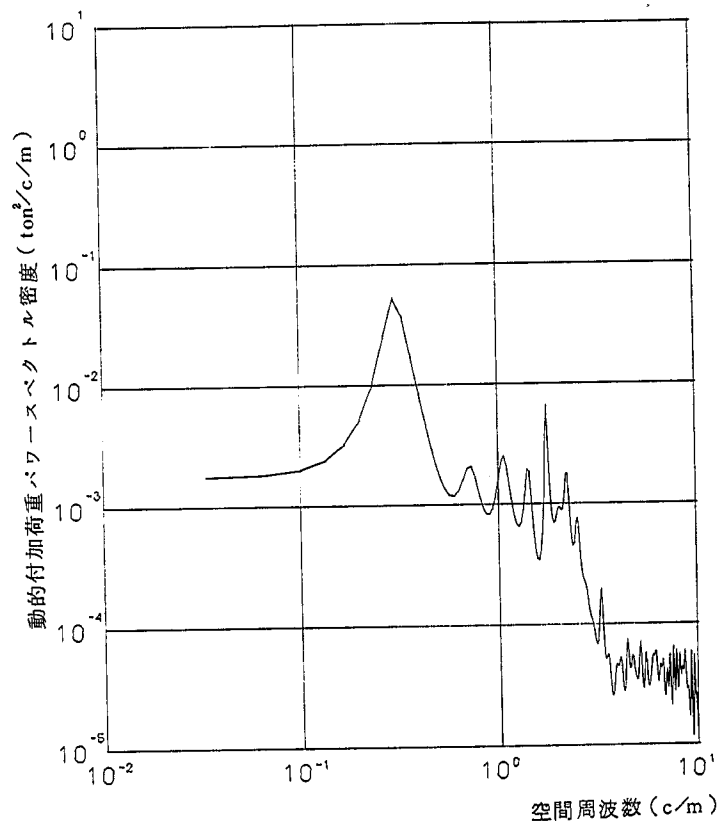


図-1.5 (1) 動的付加重パワースペクトル密度
(調査A, Point-20, 37.9 km/h)

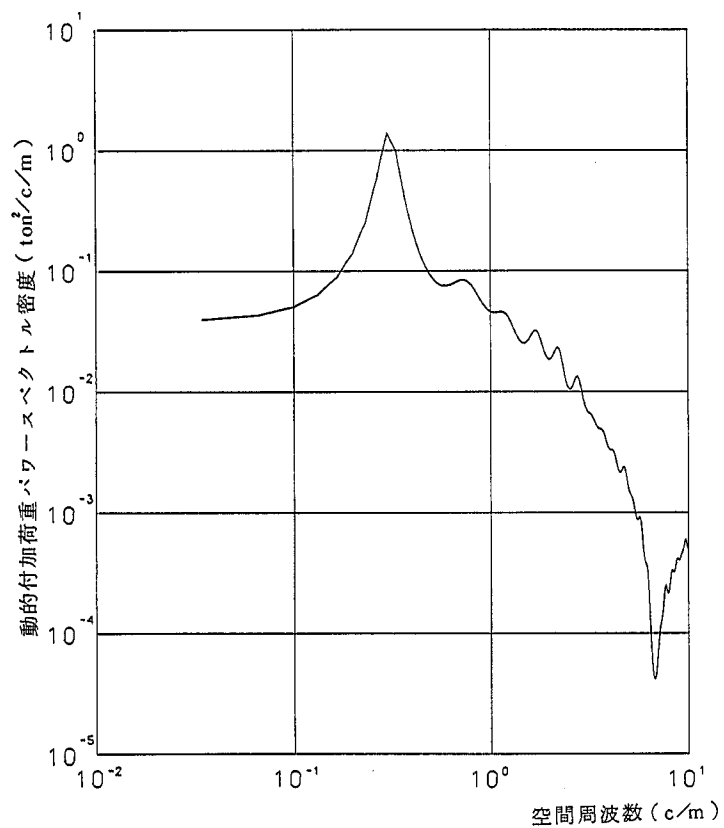


図-1.5 (4) 動的付加荷重パワースペクトル密度
(調査B, Point-25, 38.2 km/h)

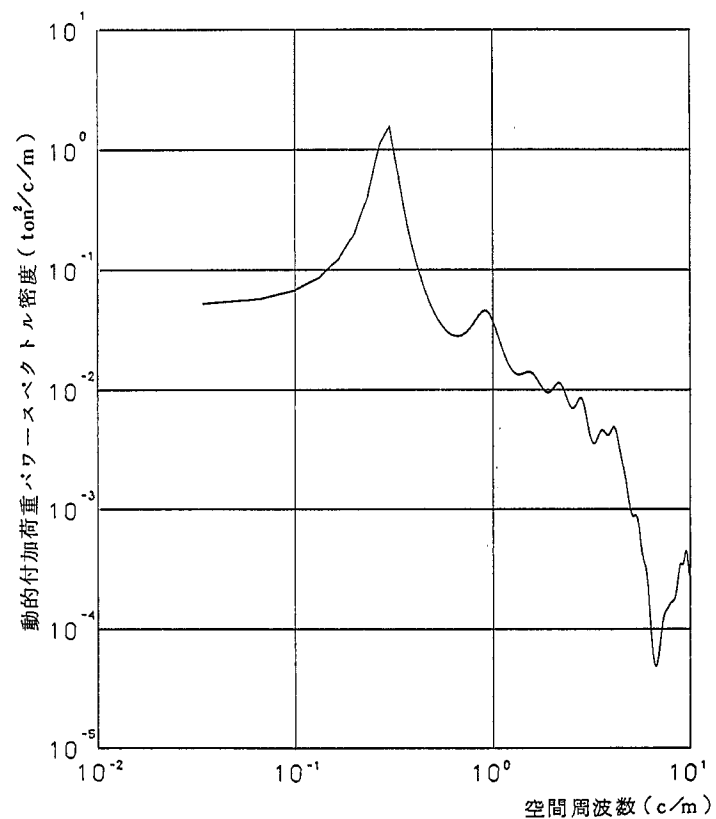


図-1.5 (3) 動的付加荷重パワースペクトル密度
(調査B, Point-6, 38.8 km/h)

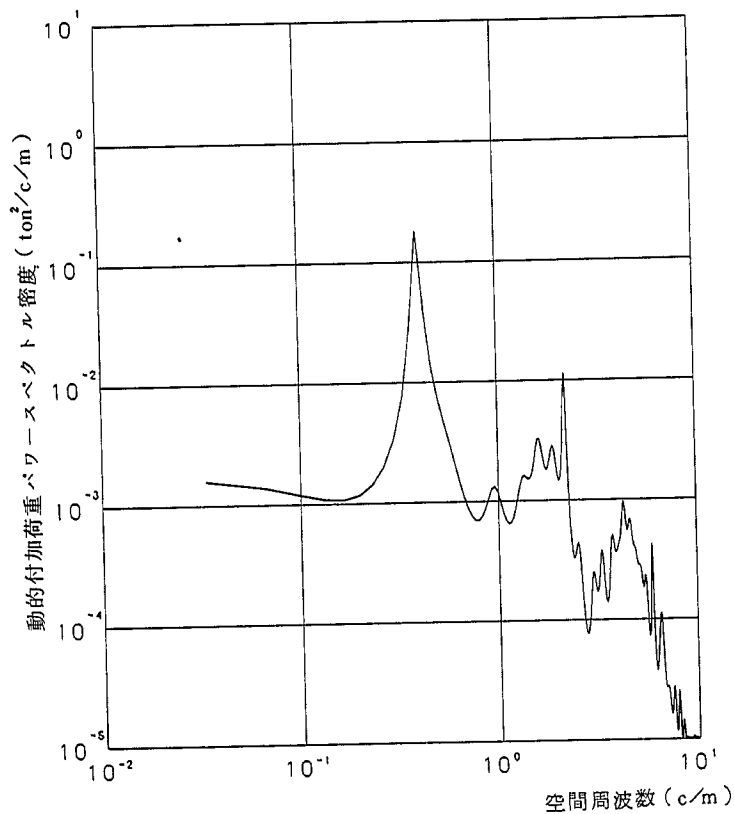


図-1.5 (6) 動的付加荷重パワースペクトル密度
(調査C, Point-10, 空荷, 38.3 km/h)

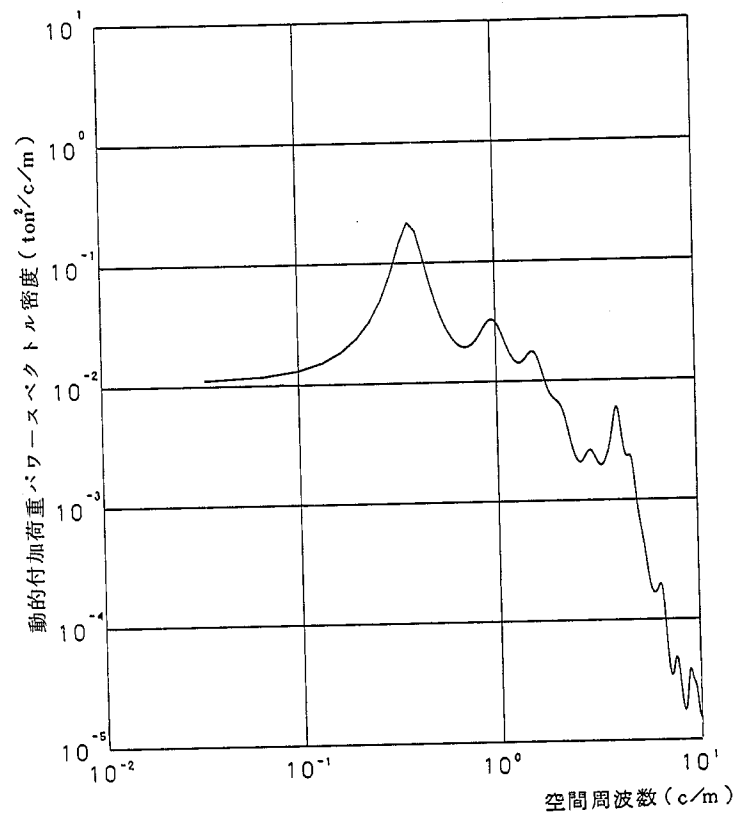


図-1.5 (5) 動的付加荷重パワースペクトル密度
(調査C, Point-9, 空荷, 39.0 km/h)

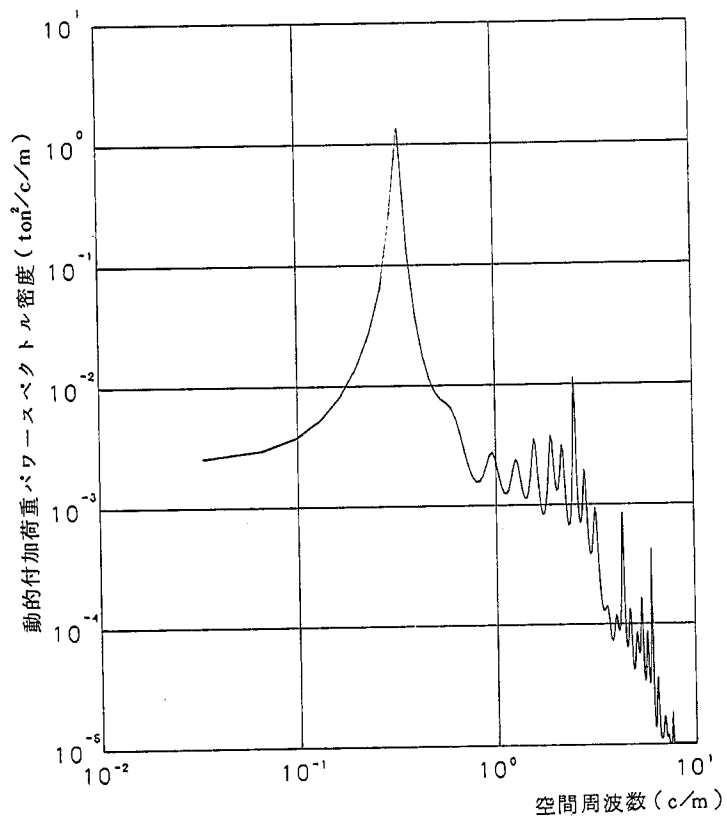


図-1.5 (8) 動的付加荷重パワースペクトル密度
(調査C, Point-10, 半載, 36.5 km/h)

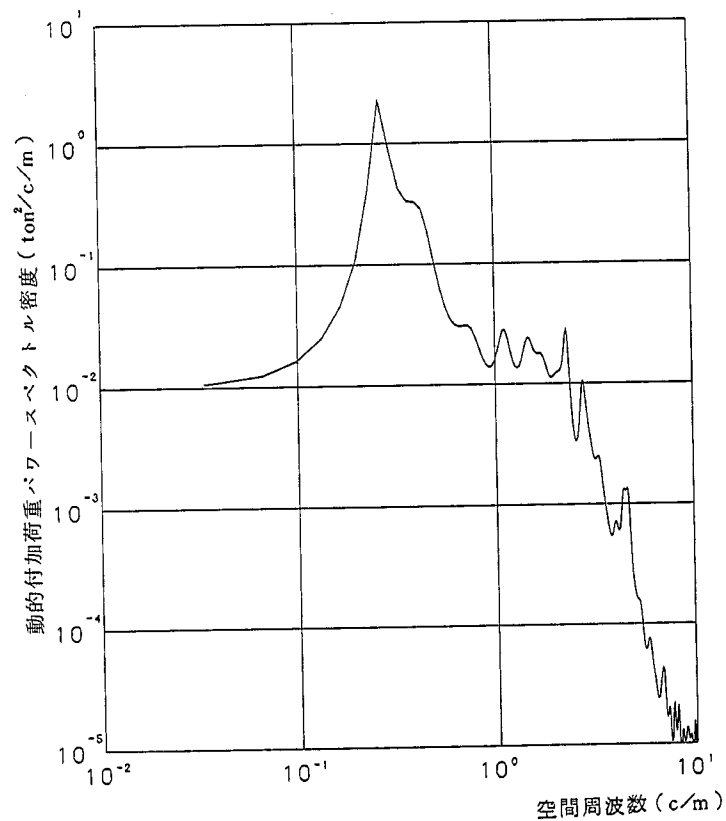


図-1.5 (7) 動的付加荷重パワースペクトル密度
(調査C, Point-9, 半載, 37.1 km/h)

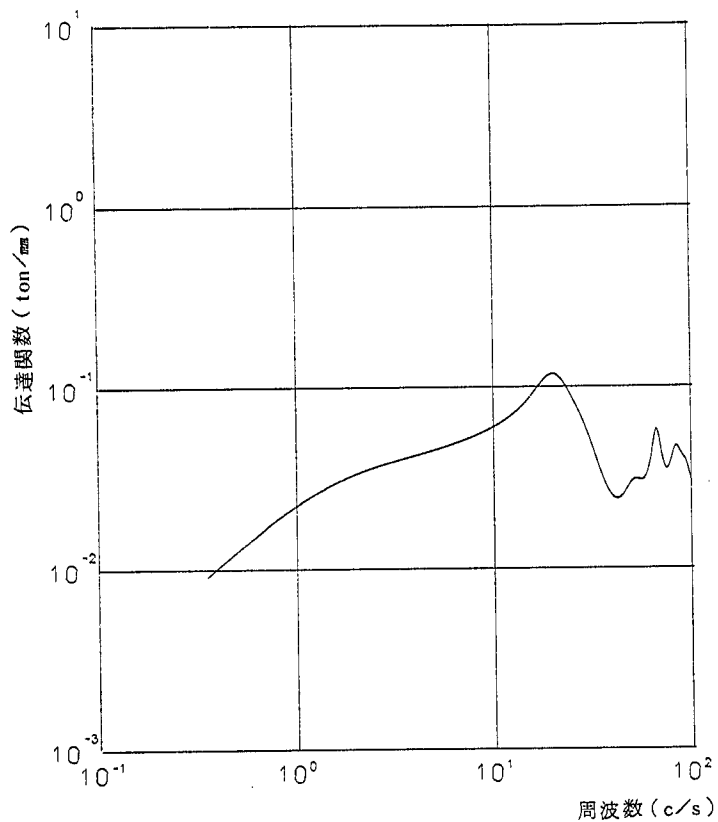


図-1.6 (2) 伝達関数 (調査A, Point-27, 37.4 km/h)

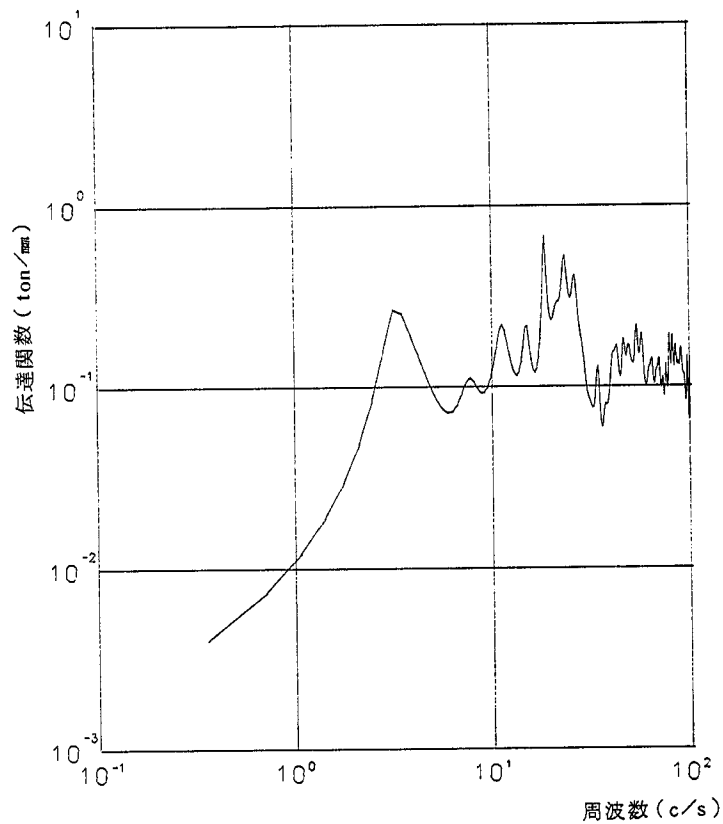


図-1.6 (1) 伝達関数 (調査A, Point-20, 37.9 km/h)

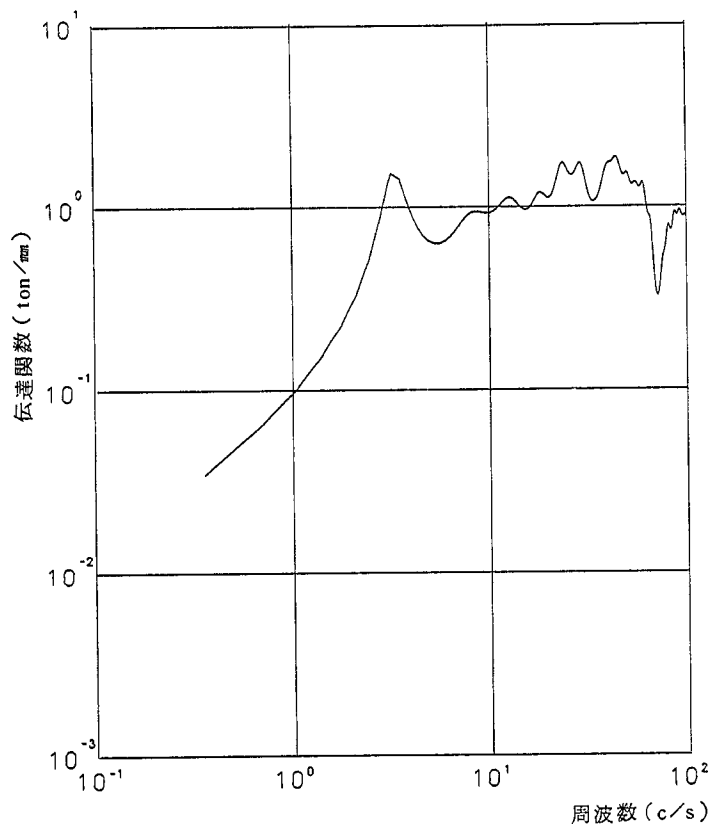


図-1.6 (4) 伝達関数 (調査B, Point-25, 38.2 km/h)

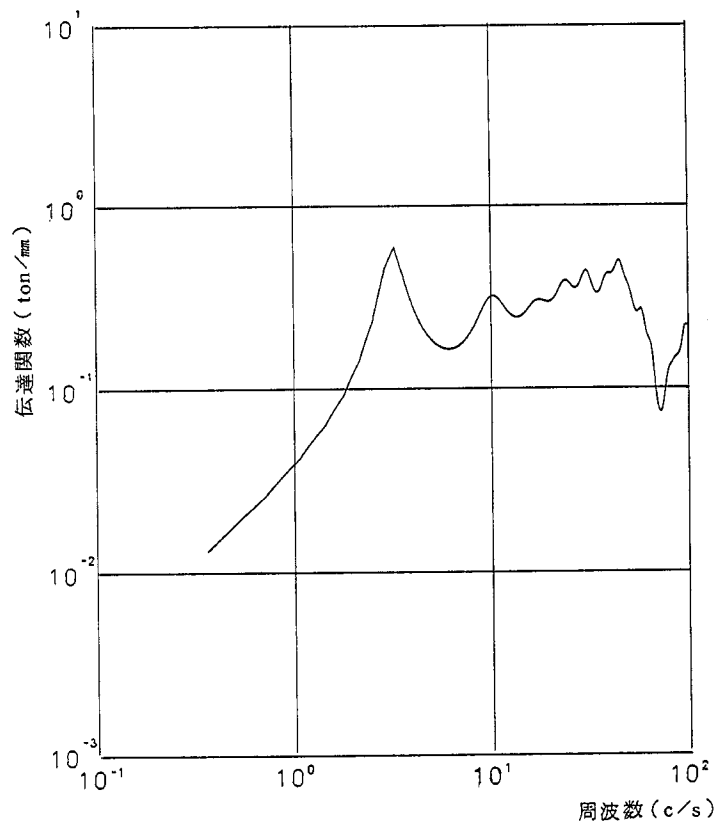


図-1.6 (8) 伝達関数 (調査B, Point-6, 38.8 km/h)

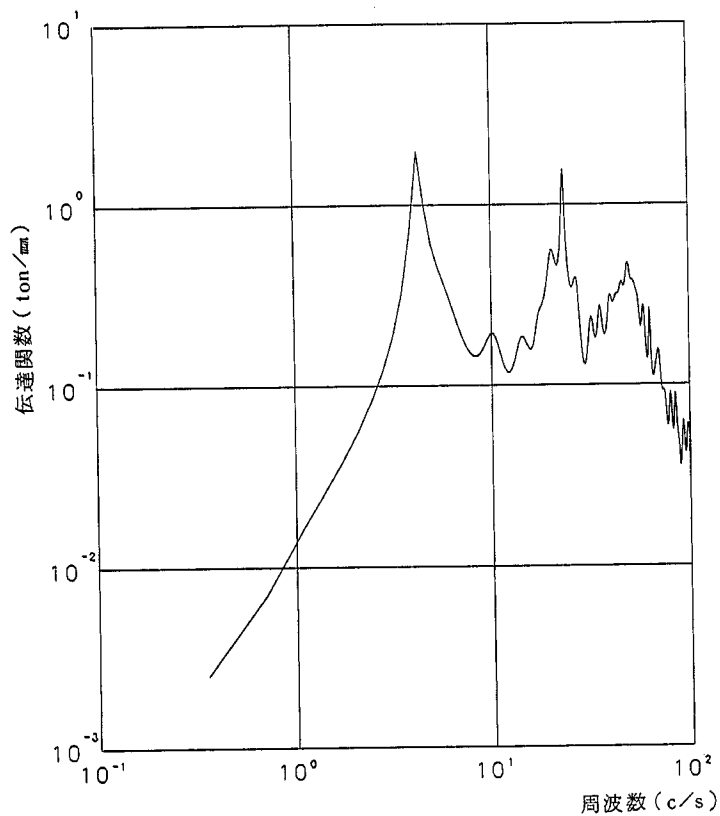


図-1.6(6) 伝達関数 (調査C, Point-10, 空荷, 38.3 km/h)

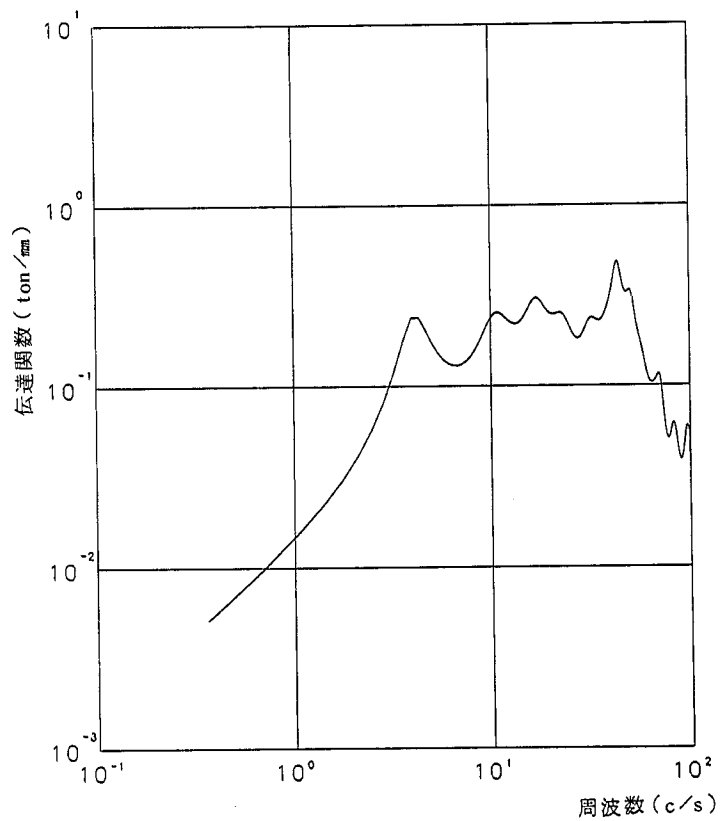
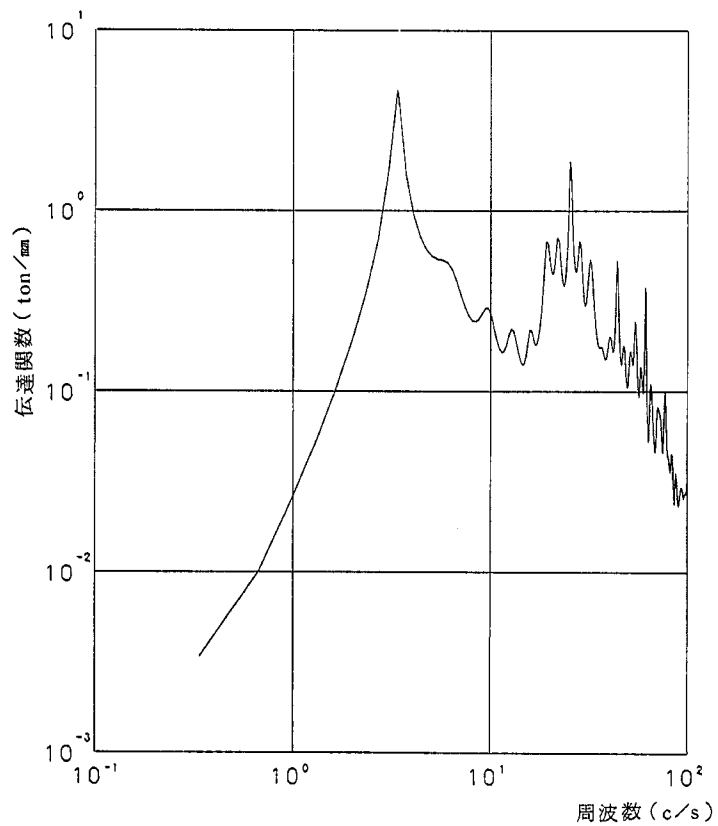
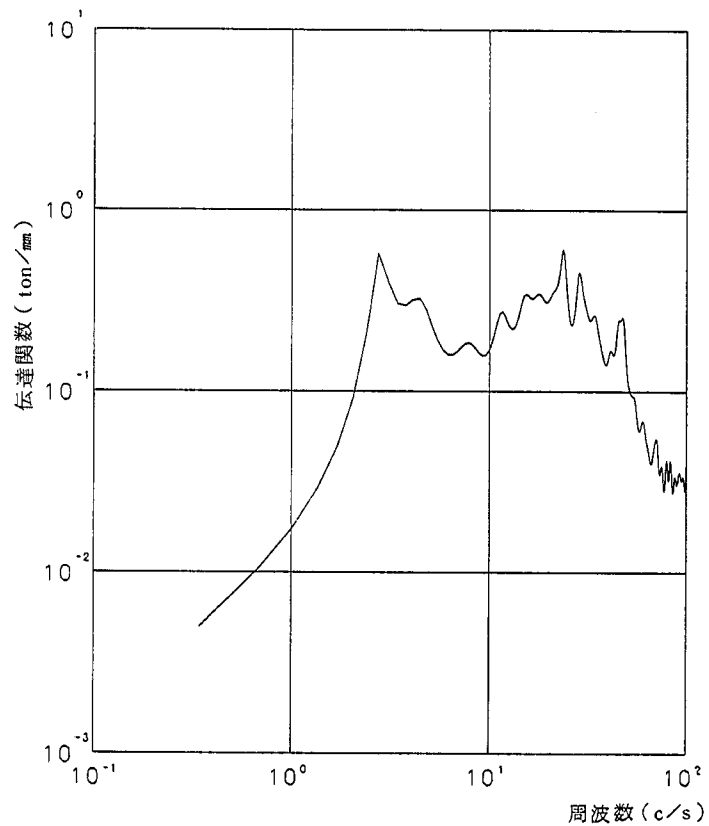


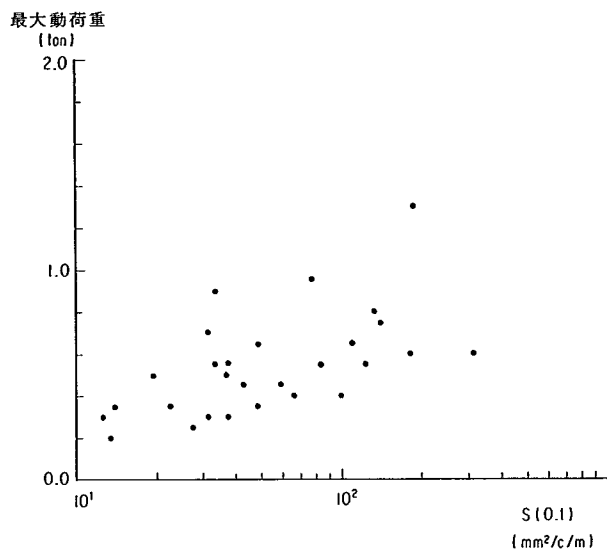
図-1.6(5) 伝達関数 (調査C, Point-9, 空荷, 39.0 km/h)



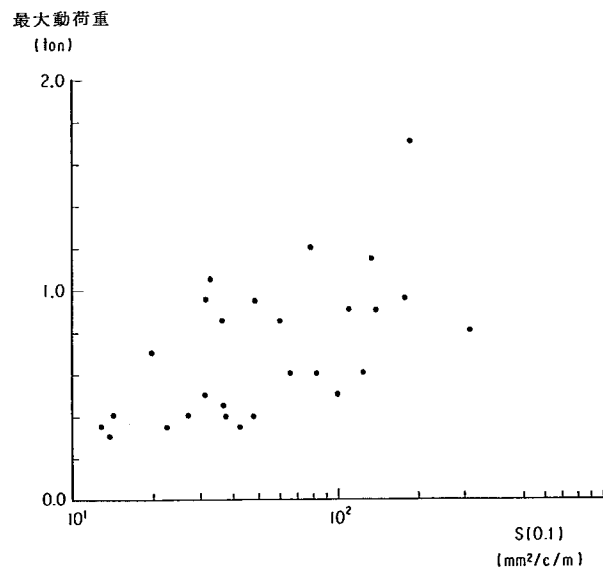
図一 1.6 (8) 伝達関数 (調査 C, Point -10, 半載, 36.5 km/h)



図一 1.6 (7) 伝達関数 (調査 C, Point -9, 半載, 37.1 km/h)



図一 1.7 (1) S (0.1) と最大動的付加荷重の関係
(調査 A, 1 5.9 ~ 1 7.6 km/h)



図一 1.7 (2) S (0.1) と最大動的付加荷重の関係
(調査 A, 2 6.2 ~ 2 8.4 km/h)

最大動荷重
(ton)

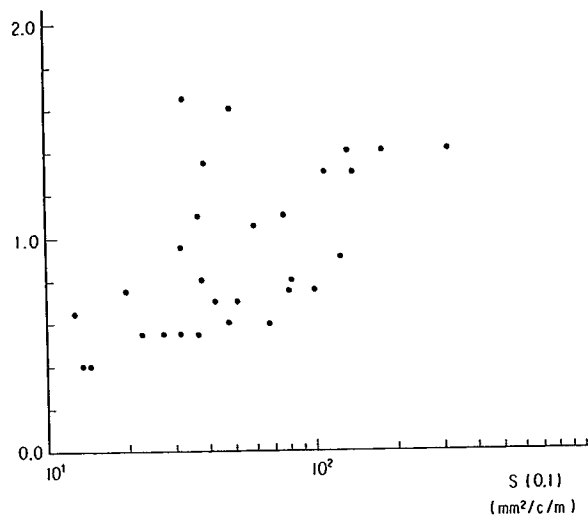


図-1.7(3) S(0.1)と最大動的付加荷重の関係
(調査A, 36.1 ~ 38.6 km/h)

最大動荷重
(ton)

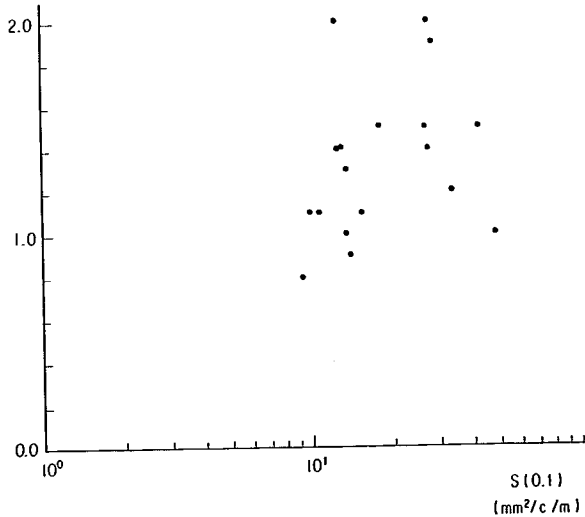


図-1.7(4) S(0.1)と最大動的付加荷重の関係
(調査B, 20.1 ~ 24.0 km/h)

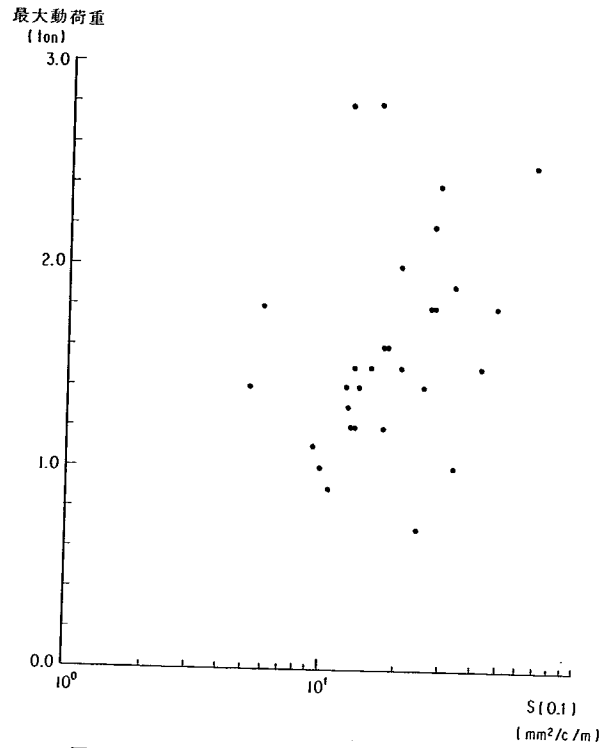


図-1.7(5) $S(0.1)$ と最大動的付加荷重の関係
(調査B, 2.7.7 ~ 3.1.7 km/h)

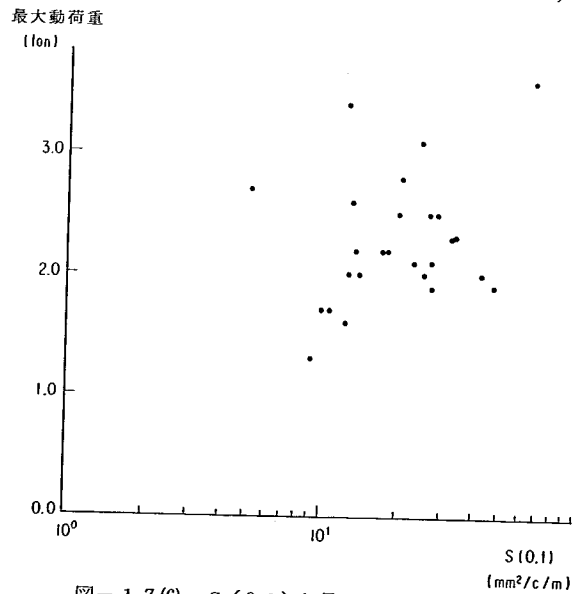


図-1.7(6) $S(0.1)$ と最大動的付加荷重の関係
(調査B, 3.5.8 ~ 4.3.6 km/h)

動荷重の標準偏差

(ton)

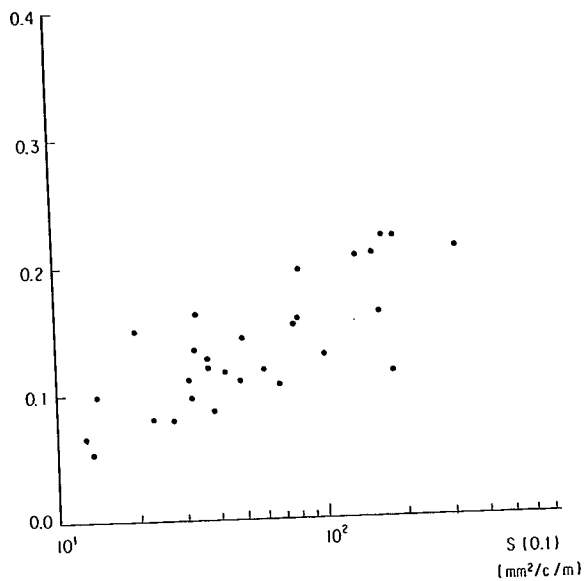


図-1.8(1) $S(0.1)$ と動的付加重標準偏差の関係
(調査A, 15.9 ~ 17.6 km/h)

動荷重の標準偏差

(ton)

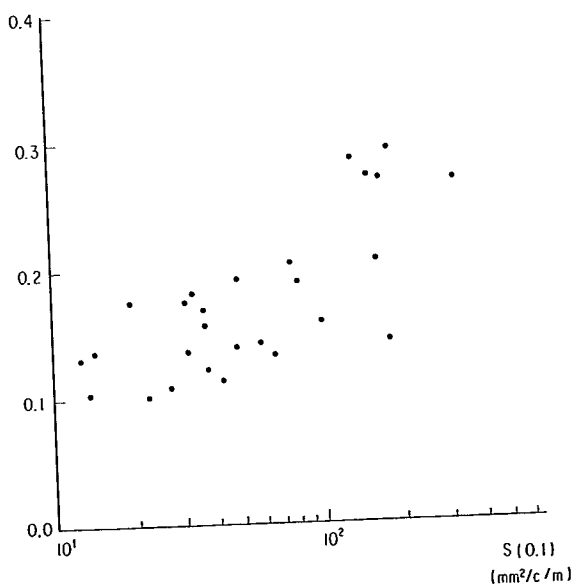


図-1.8(2) $S(0.1)$ と動的付加重標準偏差の関係
(調査A, 26.2 ~ 28.4 km/h)

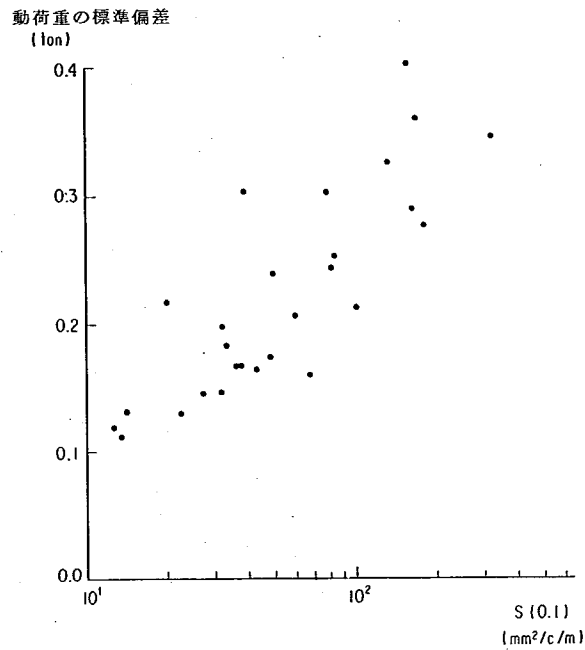


図- 1.8 (3) $S(0.1)$ と動的付加重標準偏差の関係
(調査 A, 3 6. 1 ~ 3 8. 6 km/h)

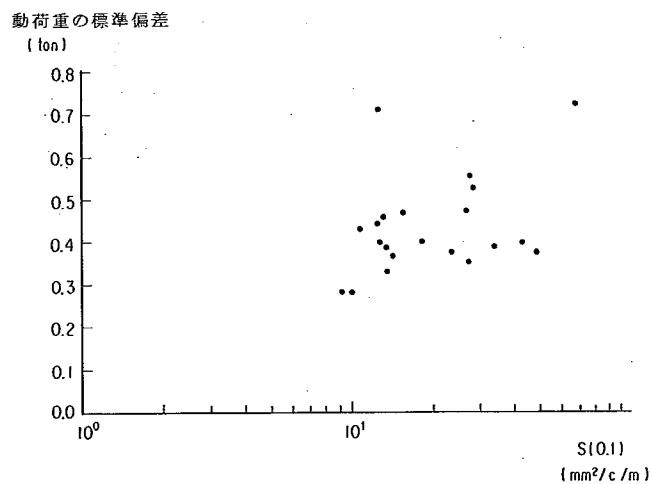


図- 1.8 (4) $S(0.1)$ と動的付加重標準偏差の関係
(調査 B, 2 0. 1 ~ 2 4. 0 km/h)

動荷重の標準偏差

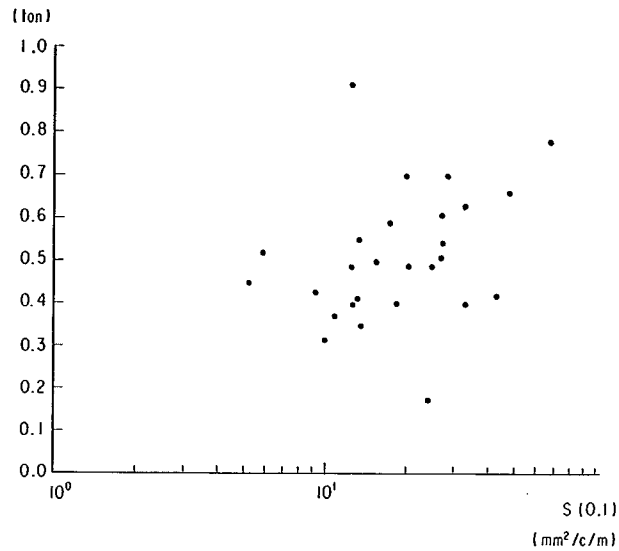


図-1.8(5) $S(0.1)$ と動的付加荷重標準偏差の関係
(調査B, 27.7 ~ 31.7 km/h)

動荷重の標準偏差

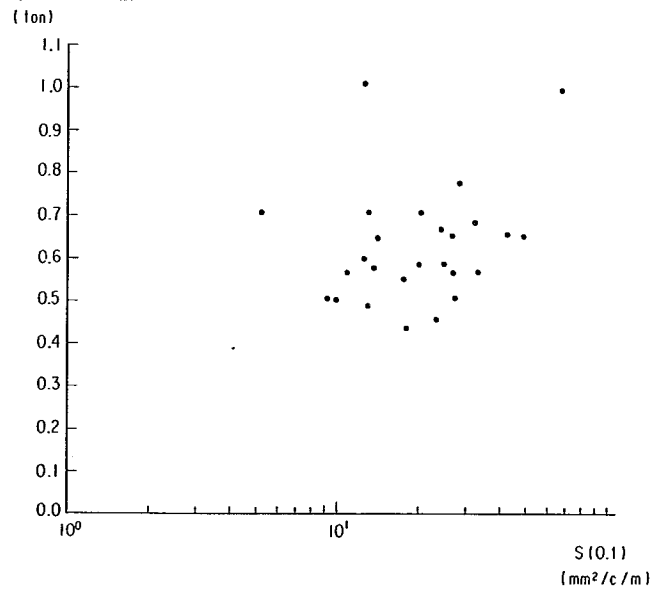
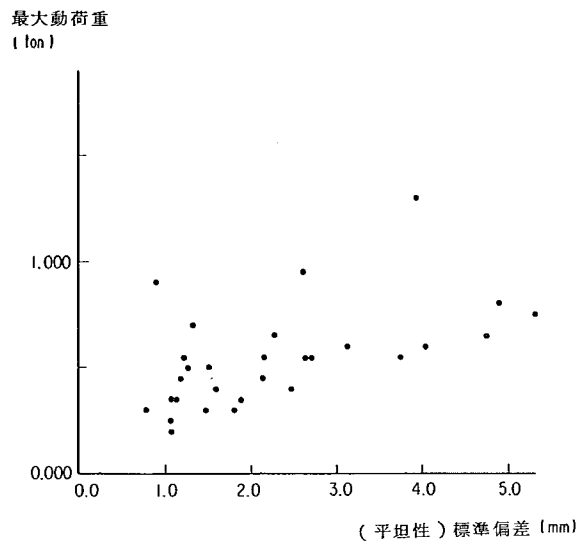
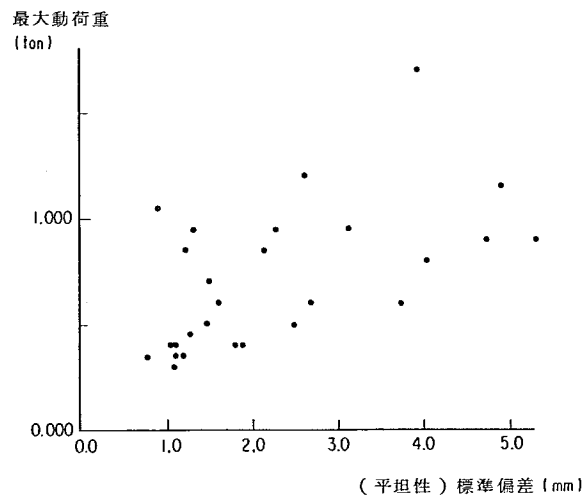


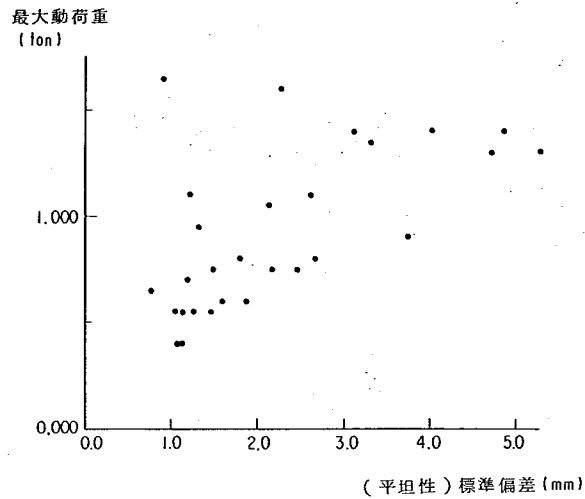
図-1.8(6) $S(0.1)$ と動的付加荷重標準偏差の関係
(調査B, 35.8 ~ 43.6 km/h)



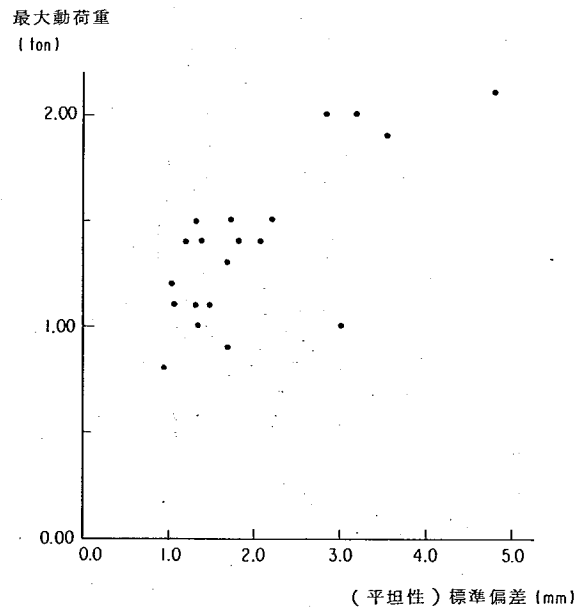
図一 1.9 (1) (平坦性) 標準偏差と最大動的付加荷重の関係
(調査 A, 1 5.9 ~ 1 7.6 km/h)



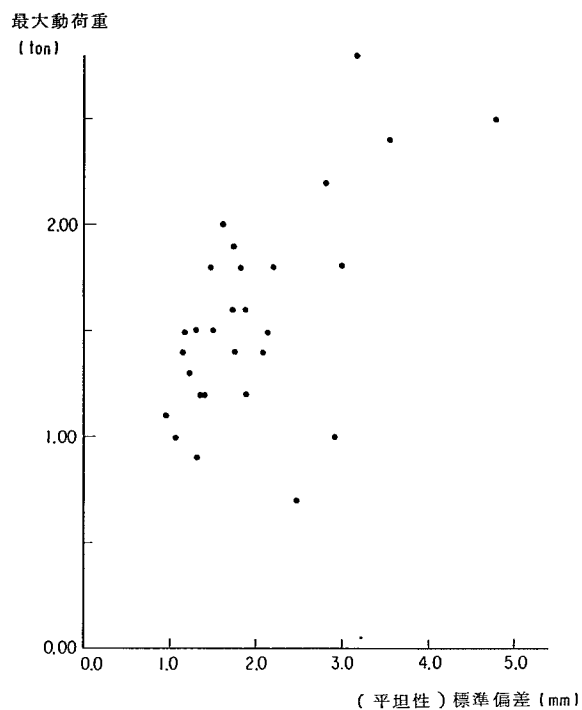
図一 1.9 (2) (平坦性) 標準偏差と最大動的付加荷重の関係
(調査 A, 2 6.2 ~ 2 8.4 km/h)



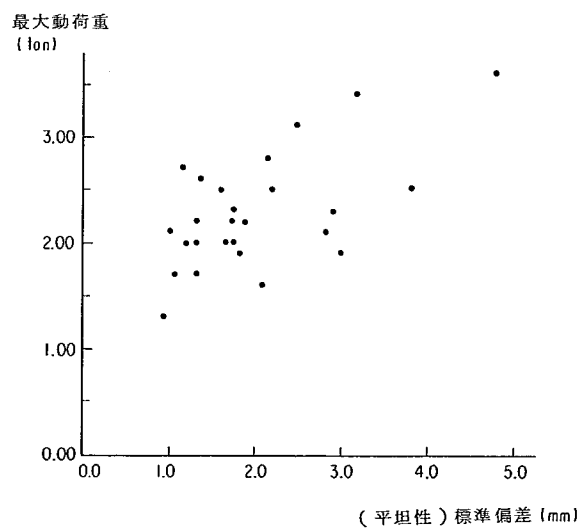
図一 1.9 (3) (平坦性) 標準偏差と最大動的付加荷重の関係
(調査 A, 3.6.1 ~ 3.8.6 km/h)



図一 1.9 (4) (平坦性) 標準偏差と最大動的付加荷重の関係
(調査 B, 2.0.1 ~ 2.4.0 km/h)



図一 1.9 (5) (平坦性)標準偏差と最大動的付加荷重の関係
(調査B, 2 7.7 ~ 3 1.7 km/h)



図一 1.9 (6) (平坦性)標準偏差と最大動的付加荷重の関係
(調査B, 3 5.8 ~ 4 3.6 km/h)

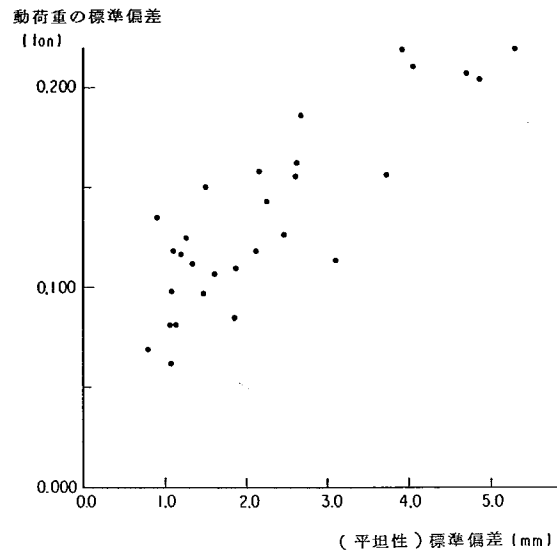


図-1.10(1) (平坦性) 標準偏差と動的付加荷重の標準偏差の関係
(調査A, 1 5.9 ~ 1 7.6 km/h)

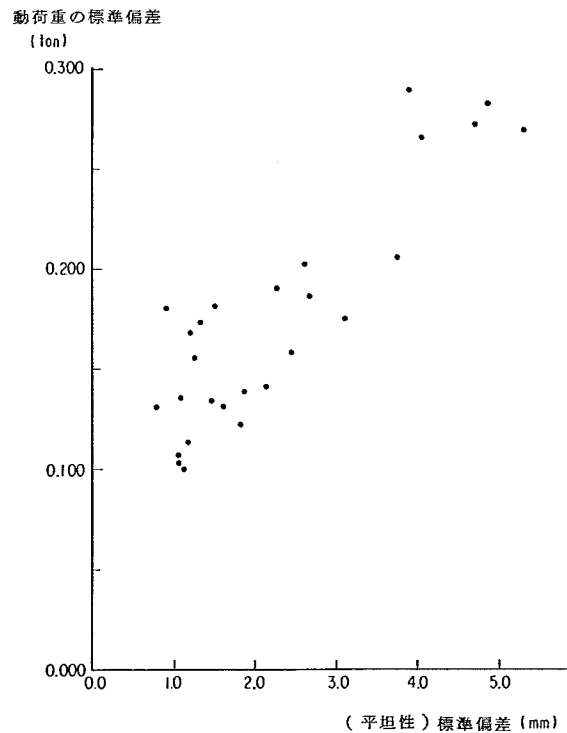
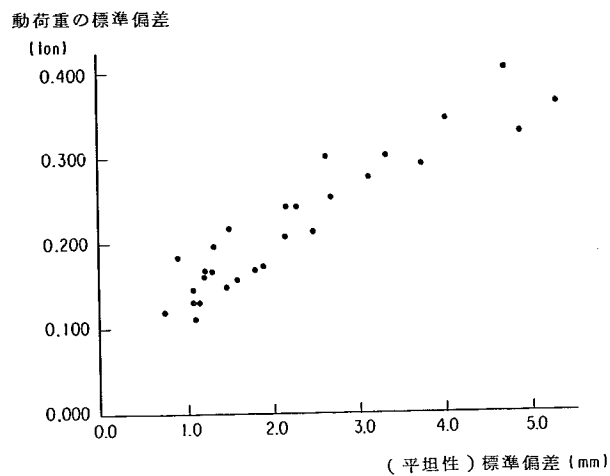
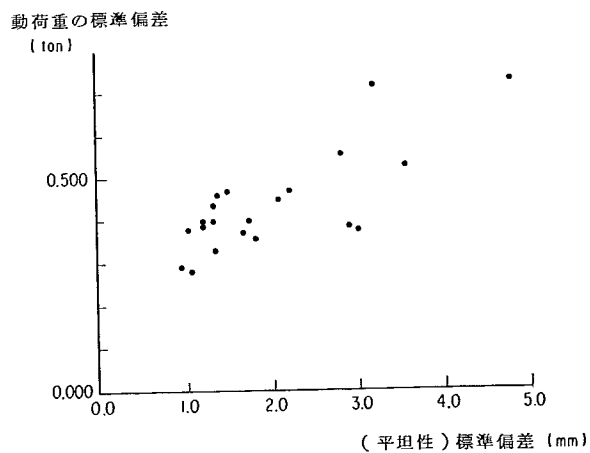


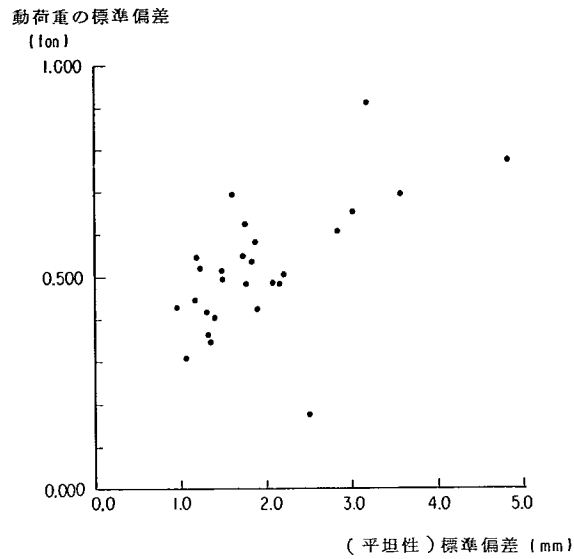
図-1.10(2) (平坦性) 標準偏差と動的付加荷重の標準偏差の関係
(調査A, 2 6.2 ~ 2 8.4 km/h)



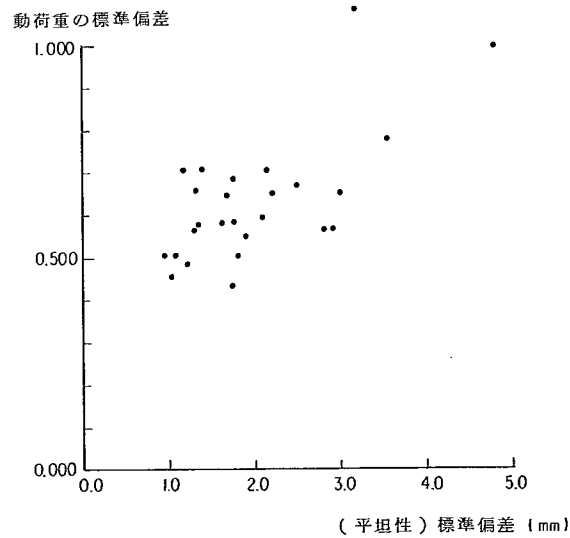
図一 1.1 0 (3) (平坦性)標準偏差と動的付加重の標準偏差の関係
(調査 A, 3 6.1 ~ 3 8.6 km/h)



図一 1.1 0 (4) (平坦性)標準偏差と動的付加重の標準偏差の関係
(調査 B, 2 0.1 ~ 2 4.0 km/h)



図一 1.1 0 (5) (平坦性)標準偏差と動的付加荷重の標準偏差の関係
(調査 B, 27.7 ~ 31.7 km/h)



図一 1.1 0 (6) (平坦性)標準偏差と動的付加荷重の標準偏差の関係
(調査 B, 35.8 ~ 43.6 km/h)

2. 単純桁橋の衝撃係数に関する数値計算

2.1 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。前年度の調査では、単一車走行時の数値計算結果を紹介し、それらを用いて単一車走行時の衝撃係数のとりまとめを行ない、さらに複数車走行時の応答計算の計算条件を紹介した。今年度は、これを受けて複数車走行時の応答計算を実施したが、すべての計算を終えるまでには至らなかったため、これまでに得られた結果を報告する。また、前年度の報告書*の第2章で紹介したとおり、実測により得られた路面凹凸パワースペクトルは、これまで本計算に用いてきたパワースペクトルの形状と少し異なることが明らかになったので、本年度の計算では途中から新たに路面凹凸としてA'、B'、C'を設定することとした。

2.2 路面凹凸の変更

前年度の単一車走行時の応答計算には、図-2.1にそのパワースペクトル形状を示す路面凹凸A、B、Cを用いていた。しかし前年度の報告書*に紹介した「路面凹凸および動的付加重重実測調査」より、路面のパワースペクトルは、 $0.1 (\text{cm})$ を折点としてそれ以上の空間周波数の範囲では、傾きを-2.5とした方がよい(前年度の報告書*, P18, (2))ことが明らかとなったので、今年度の計算の途中から、新たに図-2.1に示した路面凹凸A'、B'、C'を設定し、これを数値計算の入力として用いることとした。

ところで、新たに設定した路面凹凸は、以前のものに比して高周波領域でのパワーが小さいために、衝撃係数は小さく算出されることとなるが、この影響を明らかにするために、単一車走行時について路面凹凸としてA'、C'を用いた時の数値計算を改めて実施した。その結果は表-2.1、図-2.2に示す。これより路面凹凸を変更したことが衝撃係数の計算結果に与える影響は、車速が 20 m/s の時は支間長の増大とともに徐々に小さくなること、また車速が 5 m/s のときには 20 m/s のときよりも大きな影響を与える可能性のあること等が明らかとなった。したがって前年度とりまとめた単一車走行時の衝撃係数は、この結果を用いて補正する必要があるが、これについては次節で述べる複数車走行時の応答計算とも関連するので、複数車走行時の応答計算が終了した時点で最終的なとりまとめを実施するときにゆずることとした。

*「橋梁の設計動荷重に関する試験調査報告書〔I-1977〕」, 土木研究所資料第1354号,

昭和53年3月

2.3 複数車走行時の応答計算

複数車走行時の応答計算は、橋梁設計に用いるべき衝撃係数を再検討するために実施しているものであるが、このためには車両の走行状態の設定が必要である。この点については前年度の報告書で、走行状態の設定方法を紹介し、さらにそれより得られた計算条件、およびケース数を報告した。今年度はこの方針に基づいて計算を開始した。なお、計算に用いた橋梁諸元は単一車走行時の応答計算に用いたものと同じであるが、車両諸元については、複数車の場合総重量 20 ton の車両を用いることとしたので、単一車走行時の応答計算に用いたものと比して、パラメーター（振動数、減衰定数、質量比）は同じで、総重量だけが 2 倍になるものを用いた。しかし、本計算法がシミュレーション法を用いているため、計算時間が膨大となり、当初の予定である数値計算の終了までには至らなかった。そこで、以下ではこれまでに得られた結果だけを表 2.2 に報告する。なお、支間長 60 m の橋梁については路面凹凸として A', B', C' をそれぞれ用いているので注意が必要である。また、図 2.3 は応答計算結果から、橋梁着目点の動たわみ、曲げモーメント、せん断力、及び最初に橋梁に進入する車両の動的付加荷重の時系列的な変化の様子を図化したものである。

表-2.1 路面凹凸変更の影響(単一車走行)

凹凸 種類	諸値	ℓ (m)	20				40		60		100			
		v (m/s)	5	10	20		10	20	10	20	5	10	20	
		着目点	1/4	1/4	1/4	1/2	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/4	1/2
A'	$\bar{i}$	0.049 (0.511)		0.108 (0.766)	0.101 (0.765)		0.118 (0.880)		0.114 (0.950)			0.078 (0.963)		
	σ	0.0153 (0.571)		0.0524 (0.842)	0.0528 (0.828)		0.0444 (0.985)		0.0421 (0.998)			0.0279 (0.993)		
	$\bar{i} + 2\sigma$	0.080 (0.548) 0.146*		0.213 (0.804) 0.265*	0.207 (0.796) 0.260*		0.207 (0.924) 0.224*		0.198 (0.971) 0.204*			0.134 (0.978) 0.137*		
C'	$\bar{i}$	0.217 (0.528)		0.470 (0.754)	0.463 (0.767)		0.525 (0.885)		0.472 (0.944)	0.165		0.280 (0.950)		
	σ	0.0563 (0.560)		0.1916 (0.812)	0.1966 (0.812)		0.1326 (0.971)		0.1202 (1.014)	0.0353		0.0653 (0.988)		
	$\bar{i} + 2\sigma$	0.330 (0.539) 0.612*		0.853 (0.779) 1.095*	0.856 (0.787) 1.087*		0.790 (0.912) 0.866*		0.712 (0.966) 0.737*	0.236		0.411 (0.963) 0.427*		

(但し、カッコ内の数値は路面凹凸 A, C の場合の値に対する比を, * は路面凹凸がそれぞれ A もしくは C の場合の値を表わす)

表-2.2(1) 衝撃係数数値計算結果 (路面凹凸 A, B)

計算条件 ℓ : 支間長 (m) V : 車速 (m/s) ℓ' : 車間距離 (m) N : 車両台数	諸 値	路 面 凹 凸 : A			路 面 凹 凸 : B		
		た わ み	曲げモーメント	せん断力	た わ み	曲げモーメント	せん断力
$\Delta 1$ $\ell = 20$ $V = 2.5$ $\ell' = 10$ $N = 2$	i_{min}	0.018	-0.079	-0.391	0.047	-0.054	-0.376
	$\bar{i}$	0.037	-0.061	-0.378	0.081	-0.017	-0.352
	i_{max}	0.073	-0.027	-0.356	0.154	0.055	-0.307
	σ	0.011	0.011	0.007	0.022	0.021	0.014
	δ	0.297			0.272		
$\Delta 2$ $\ell = 20$ $V = 5.0$ $\ell' = 10$ $N = 3$	i_{min}	0.024	-0.066	-0.389	0.060	-0.032	-0.366
	$\bar{i}$	0.050	-0.039	-0.368	0.110	0.028	-0.329
	i_{max}	0.085	-0.008	-0.354	0.172	0.088	-0.284
	σ	0.016	0.015	0.011	0.030	0.030	0.021
	δ	0.320			0.273		
$\Delta 3$ $\ell = 40$ $V = 10.0$ $\ell' = 20$ $N = 2$	i_{min}	0.022	-0.056	-0.383	0.048	-0.011	-0.368
	$\bar{i}$	0.057	-0.023	-0.349	0.125	0.061	-0.285
	i_{max}	0.113	0.039	-0.299	0.226	0.176	-0.179
	σ	0.023	0.021	0.022	0.044	0.039	0.044
	δ	0.404			0.352		
$\Delta 4$ $\ell = 40$ $V = 12.5$ $\ell' = 20$ $N = 2$	i_{min}	0.027	-0.063	-0.373	0.068	-0.006	-0.341
	$\bar{i}$	0.064	-0.009	-0.341	0.138	0.087	-0.268
	i_{max}	0.132	0.067	-0.295	0.257	0.226	-0.180
	σ	0.021	0.026	0.019	0.037	0.051	0.038
	δ	0.328			0.268		
$\Delta 5$ $\ell = 40$ $V = 15.0$ $\ell' = 20$ $N = 2$	i_{min}	0.018	-0.058	-0.376	0.057	-0.005	-0.316
	$\bar{i}$	0.069	-0.007	-0.336	0.150	0.095	-0.252
	i_{max}	0.144	0.083	-0.273	0.287	0.263	-0.153
	σ	0.024	0.029	0.023	0.046	0.056	0.036
	δ	0.348			0.307		
$\Delta 6$ $\ell = 40$ $V = 17.5$ $\ell' = 20$ $N = 2$	i_{min}	0.017	-0.063	-0.383	0.042	-0.021	-0.351
	$\bar{i}$	0.066	-0.008	-0.337	0.146	0.099	-0.257
	i_{max}	0.128	0.070	-0.273	0.260	0.244	-0.136
	σ	0.026	0.033	0.022	0.052	0.063	0.042
	δ	0.394			0.356		
$\Delta 7$ $\ell = 40$ $V = 5.0$ $\ell' = 13.3$ $N = 3$	i_{min}	0.015	-0.001	-0.352	0.036	0.040	-0.320
	$\bar{i}$	0.035	0.020	-0.338	0.074	0.078	-0.287
	i_{max}	0.056	0.058	-0.316	0.109	0.147	-0.241
	σ	0.010	0.012	0.009	0.018	0.022	0.019
	δ	0.286			0.243		
$\Delta 8$ $\ell = 40$ $V = 7.5$ $\ell' = 13.3$ $N = 3$	i_{min}	0.020	0.004	-0.349	0.046	0.042	-0.310
	$\bar{i}$	0.041	0.030	-0.392	0.083	0.097	-0.268
	i_{max}	0.073	0.074	-0.303	0.140	0.180	-0.219
	σ	0.012	0.015	0.010	0.021	0.029	0.021
	δ	0.293			0.253		
$\Delta 9$ $\ell = 40$ $V = 2.5$ $\ell' = 10$ $N = 4$	i_{min}	0.010	0.060	-0.301	0.024	0.084	-0.282
	$\bar{i}$	0.022	0.074	-0.293	0.046	0.109	-0.266
	i_{max}	0.036	0.089	-0.281	0.074	0.146	-0.246
	σ	0.006	0.007	0.004	0.012	0.016	0.008
	δ	0.273			0.261		
$\Delta 10$ $\ell = 40$ $V = 5.0$ $\ell' = 10$ $N = 4$	i_{min}	0.013	0.066	-0.294	0.029	0.091	-0.268
	$\bar{i}$	0.027	0.087	-0.276	0.055	0.134	-0.233
	i_{max}	0.044	0.111	-0.245	0.086	0.178	-0.168
	σ	0.007	0.009	0.010	0.014	0.019	0.020
	δ	0.259			0.255		

C)

路面凹凸：C		
たわみ	曲げモーメント	せん断力
0.101	-0.006	-0.344
0.174	0.075	-0.294
0.317	0.219	-0.208
0.042	0.040	0.028
0.241		
0.135	0.034	-0.318
0.237	0.167	-0.246
0.380	0.295	-0.159
0.058	0.058	0.039
0.245		
0.113	0.095	
0.277	0.241	
0.453	0.451	
0.084	0.074	
0.303		
0.137	0.093	-0.216
0.294	0.285	-0.107
0.506	0.543	0.054
0.070	0.101	0.067
0.238		
0.146	0.092	-0.189
0.323	0.314	-0.068
0.574	0.622	0.087
0.084	0.106	0.062
0.260		
0.102	0.090	-0.287
0.314	0.321	-0.084
0.526	0.593	0.137
0.099	0.121	0.082
0.315		
0.092	-0.866	-0.247
0.158	-0.802	-0.182
0.216	-0.675	-0.091
0.032	0.041	0.040
0.203		
0.103	0.123	-0.225
0.173	0.238	-0.145
0.275	0.391	-0.044
0.041	0.055	0.042
0.237		
0.061	0.128	-0.246
0.098	0.184	-0.213
0.151	0.262	-0.176
0.022	0.031	0.015
0.224		
0.070	0.170	-0.216
0.117	0.234	-0.145
0.177	0.312	-0.012
0.026	0.035	0.040
0.222		

表 - 2.2 (2) 衝撃係数数值計算結果 (路面凹凸 A', B', C')

計算条件 ℓ: 支間長 (m) V: 車速 (m/s) ℓ': 車間距離 (m) N: 車両台数	諸 値	路 面 凹 凸 : A'			路 面 凹 凸 : B'			路 面 凹 凸 : C'		
		た わ み	曲げモーメント	せん断力	た わ み	曲げモーメント	せん断力	た わ み	曲げモーメント	せん断力
No. 11 ℓ = 6.0 V = 7.5 ℓ' = 1.5 N = 4	i min	0.006	0.061	-0.297	0.019	0.019	-0.274	0.041	0.126	-0.235
	$\bar{i}$	0.026	0.078	-0.284	0.050	0.050	-0.250	0.101	0.186	-0.182
	i max	0.050	0.107	-0.264	0.101	0.101	-0.214	0.203	0.290	-0.113
	σ	0.010	0.010	0.007	0.019	0.019	0.014	0.038	0.038	0.028
	δ	0.385			0.380			0.376		
No. 12 ℓ = 6.0 V = 10.0 ℓ' = 1.5 N = 4	i min	0.008	0.059	-0.295	0.018	0.086	-0.275	0.042	0.132	-0.229
	$\bar{i}$	0.023	0.076	-0.281	0.046	0.112	-0.245	0.095	0.187	-0.173
	i max	0.040	0.096	-0.267	0.080	0.148	-0.221	0.161	0.252	-0.123
	σ	0.006	0.008	0.007	0.013	0.014	0.012	0.024	0.028	0.023
	δ	0.261			0.283			0.253		
No. 13 ℓ = 6.0 V = 5.0 ℓ' = 1.2 N = 5	i min	0.004	-0.001	-0.257	0.012	0.009	-0.244	0.023	0.034	-0.216
	$\bar{i}$	0.013	0.009	-0.250	0.027	0.028	-0.229	0.059	0.069	-0.186
	i max	0.028	0.020	-0.242	0.053	0.047	-0.214	0.105	0.105	-0.159
	σ	0.006	0.006	0.004	0.011	0.011	0.007	0.020	0.021	0.014
	δ	0.462			0.407			0.339		
No. 14 ℓ = 6.0 V = 7.5 ℓ' = 1.2 N = 5	i min	0.006	0.001	-0.252	0.014	0.015	-0.235	0.028	0.045	-0.201
	$\bar{i}$	0.015	0.013	-0.244	0.032	0.038	-0.219	0.067	0.088	-0.169
	i max	0.029	0.028	-0.231	0.058	0.064	-0.194	0.115	0.138	-0.116
	σ	0.005	0.007	0.005	0.010	0.013	0.009	0.020	0.025	0.018
	δ	0.333			0.313			0.299		

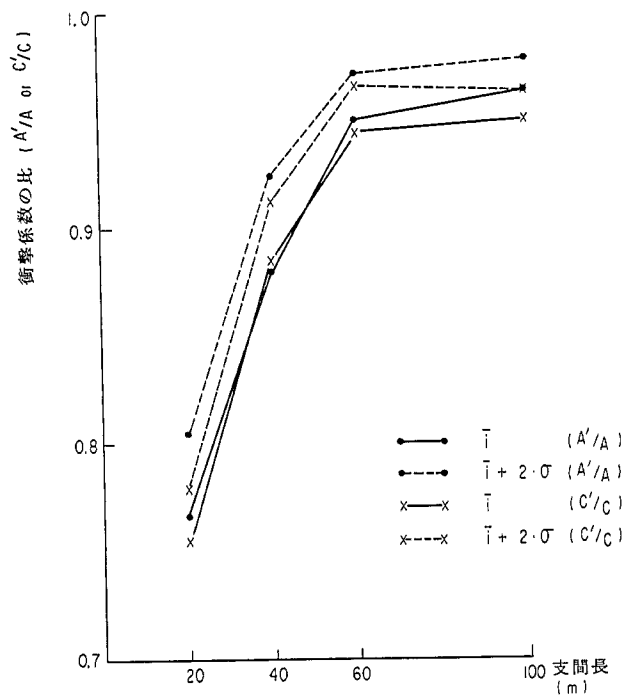


図-2.2 路面凹凸変更の影響
(単一車走行, $V = 20 \text{ m/s}$, 着目点 $\lambda \cdot \ell$)

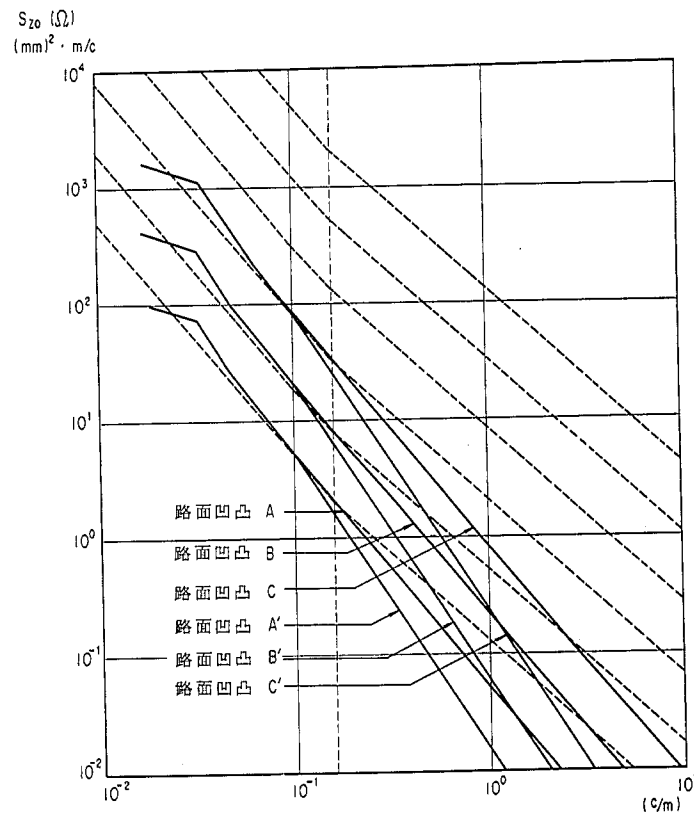


図-2.1 路面凹凸パワースペクトル (A, B, C, A', B', C')



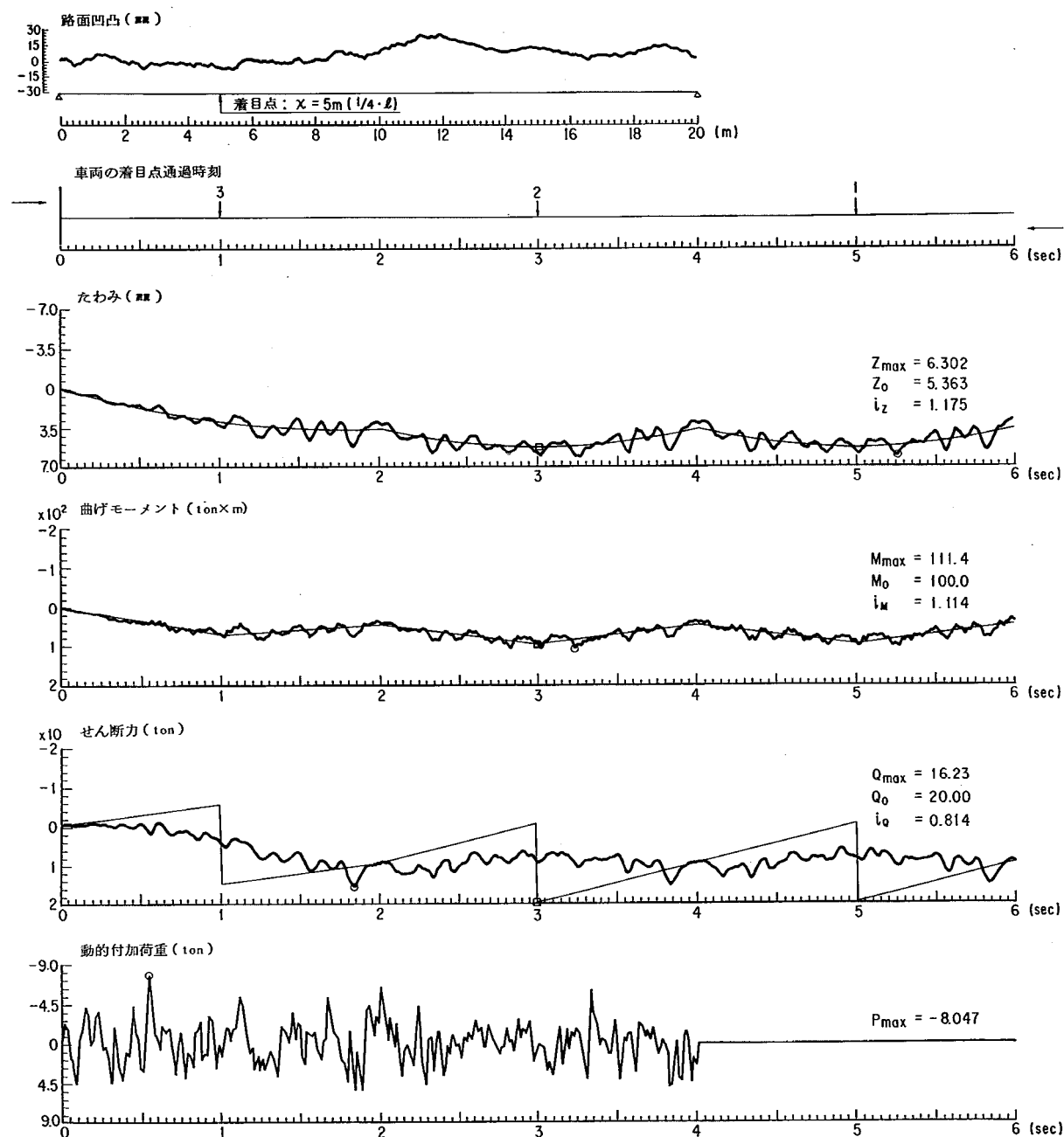


図-2.3(1) 複数車走行時の応答計算の一例
 (支間長 20 m, 走行速度 5 m/s, 車間距離 10 m)
 車両台数 3 台, 路面凹凸 C

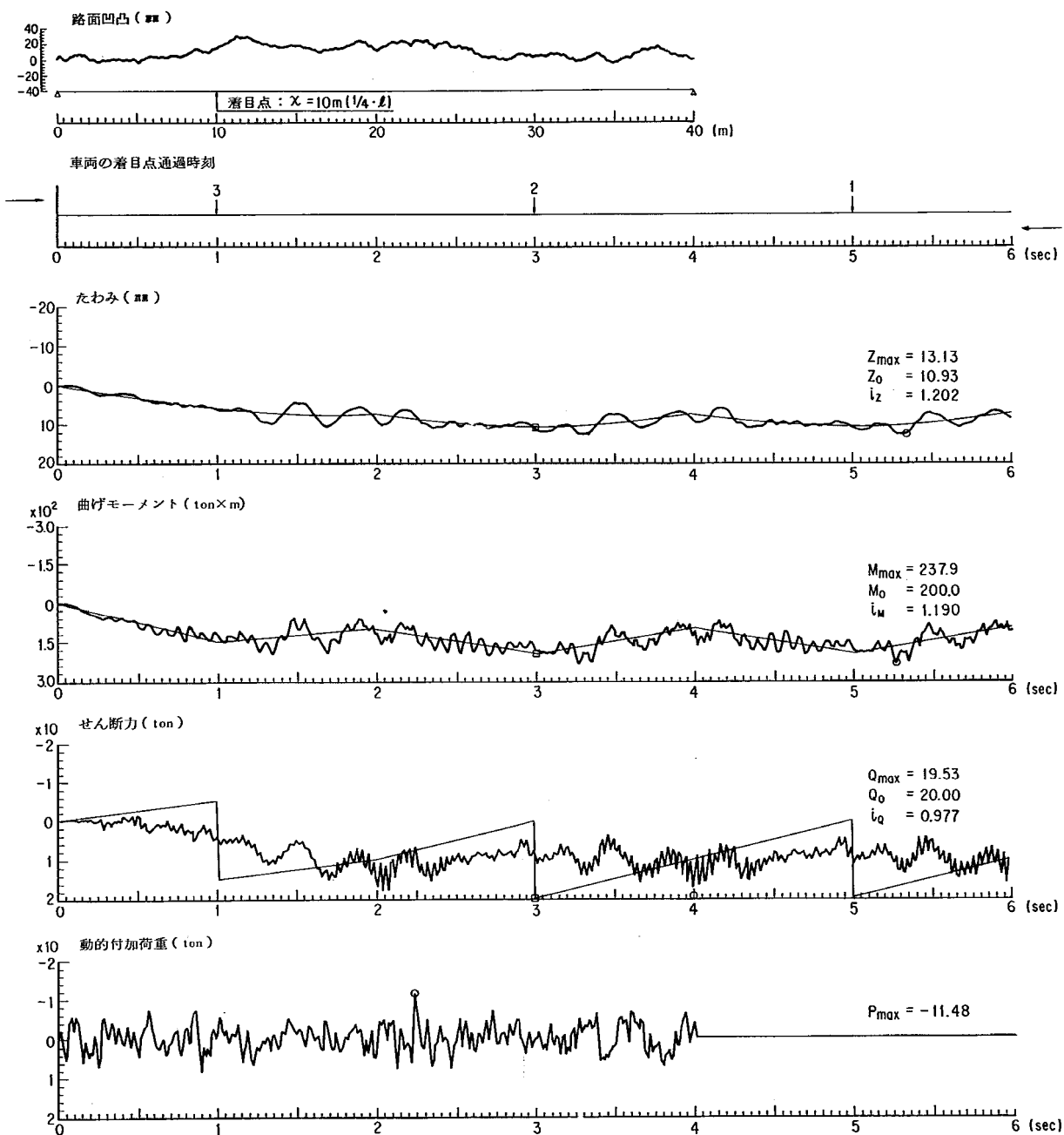


図-2.3(2) 複数車走行時の応答計算の一例
 (支間長 40 m, 走行速度 10 m/s, 車間距離 30 m)
 車両台数 3 台, 路面凹凸 C

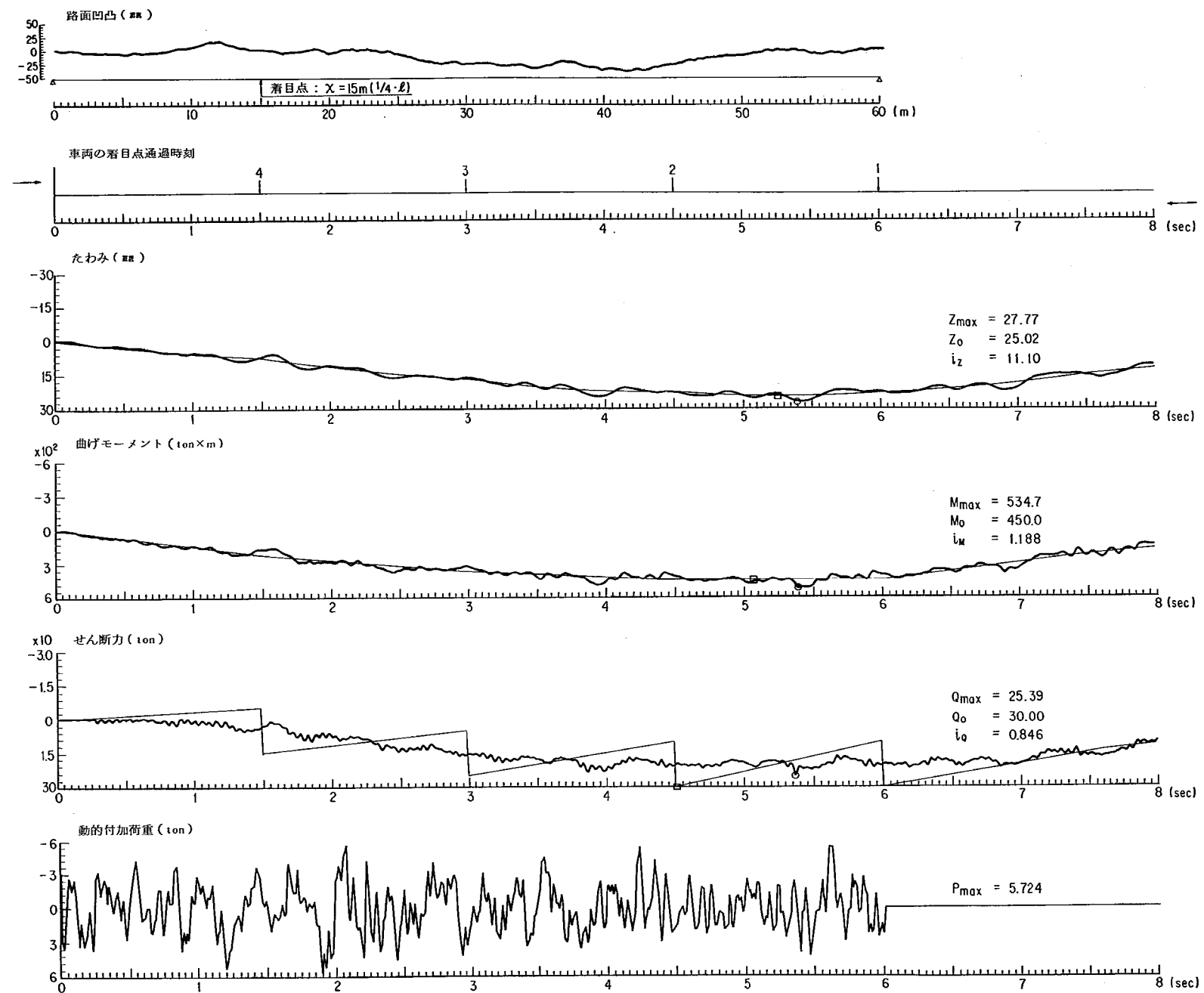


図-2.3(3) 複数車走行時の応答計算の一例
 (支間長 60 m, 走行速度 10 m/s, 車頭間隔 15 m)
 車両台数 4 台, 路面凹凸 C'

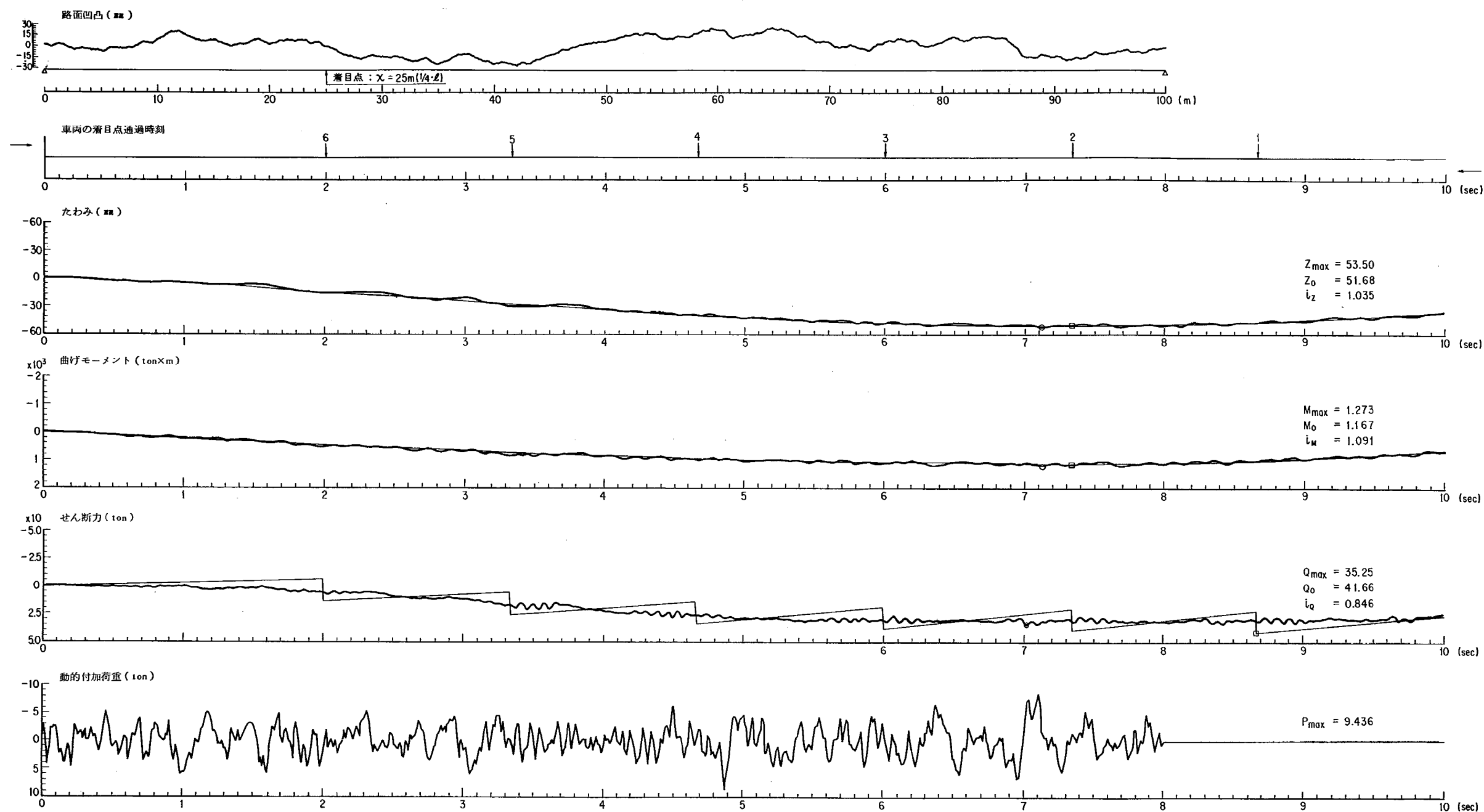


図-2.3(4) 複数車走行時の応答計算の一例
 (支間長 100 m, 走行速度 12.5 m/s, 車頭間隔 16.7 m)
 (車両台数 6 台, 路面凹凸 C)

3. 内山大橋走行実験

3.1 実験の目的および概要

単純桁橋の衝撃係数に関する調査は前章で紹介したとおり、数値解析を用いて実施してきたが、この結果の妥当性を裏付ける資料を得るために、実橋での走行実験を実施した。対象とした橋梁は国道254号線で供用中の内山大橋であり、ここで、路面凹凸調査、静的載荷実験、荷重車走行実験を実施した。なお、本実験は土木研究所交通環境研究室が実施した「試験車走行による低周波空気振動調査」と同時に実施したことを付記しておく。

3.2 内山大橋の概要

調査対象橋梁の内山大橋は、一般国道254号線の群馬県甘楽郡下仁田町を起点にした内山道路が長野県佐久市に入った位置（長野県佐久市大字内山字神房）にあり、昭和53年度に供用開始された、橋長256m（三径間連続鋼板桁二連と鋼単純トラス一連から成る）の橋梁である。本橋梁の全景を写真-1に示す。なお、調査はトラス部を対象として実施した。このトラス部の上部工諸元は以下のとおりである。

形 式	鋼単純トラス橋
支 間 長	70.2 m
有効幅員	7 m
床 版 厚	21.0 cm 鉄筋コンクリート床版 + 8.0 cm アスファルト舗装
鋼材重量	191 ton
伸縮継手	鋼製くし形

3.3 調査項目および調査方法

3.3.1 路面凹凸調査

橋梁上の縦断方向路面凹凸量を、当研究室所属の高速プロファイルメーターを用いて測定した。測定位置は、3.3.3で述べる荷重車走行実験において荷重車の右および左車輪が通過する線上とした。

3.3.2 静的載荷実験

本橋梁の曲げ剛性を測定するために静的載荷実験を実施した。荷重として用いたのは、走行実験に用いた荷重車（3軸大型ダンブトラック、総重量25.2 ton）と作業用の橋梁点検

車（関東技術事務所々属，2軸大型トラック，総重量11.48 ton）であり，これらを図－3.1に示すように2ケースに別けて橋梁中央に停車させ，この時の支間中央での舗道側主構上の位置における静たわみをレベルを用いて測定した。2台同時に載荷した場合をケースA，大型ダンプトラックのみの場合をケースBと呼ぶこととする。また，各車両の軸重は図－3.2に示すとおりであるが，静的載荷実験時の大型ダンプトラックは総重量25.2 tonであった。

3.3.3 荷重車走行実験

車両走行時の橋梁の動的応答（たわみ）を測定するために，荷重車走行実験を実施した。荷重車としては，大型ダンプトラック（日野，ZM705，エンジンEF300，写真－2参照）を用い，総重量を25.2，21.17，15.11，11.83 ton（図－3.2(i)参照）と変化させ，さらに走行速度を40，50，60，70 km/hと変化させてそれぞれのケースについて3回以上走行させた。この時，走行位置は両主構のほぼ中央線上になるように注意した。

橋梁の動的応答の測定にはサーボ型加速度計（写真－3参照）を用い，振動加速度で測定した。したがって，変位に変換するためには何らかの手法による二重積分の作業が必要となる。加速度計は図－3.3に示すように，支間長の $1/8$ の間隔をおいて，なるべく舗道側の主構上の位置に一致するように配置した。また，路面上には車両位置の検出および正確な走行速度の測定のために3本のロードスイッチを設置した。加速度記録およびロードスイッチ信号はすべてデータレコーダーに収録した。

3.4 解析結果（中間報告）

3.4.1 静的載荷実験結果

現地でのレベルの読みとり結果から，ケースAで4mm，ケースBで2mmたわんだことが明らかとなった。しかし $1/10$ mmの単位までは読みとれなかったため，これより正確な橋梁の剛性を求めることはできない。

3.4.2 動的載荷実験結果

現地で得られた磁気テープ記録は研究室に持ち帰り，まず記録紙上に内容を再生した。その一例を図－3.4に示す。これより，橋梁の応答は試験車が橋梁入口のジョイント部を通過した時の周波数の高い応答，支間中走行時の低周波数の応答，および橋梁出口のジョイント通過時の応答と3段階に分けて考えられることが明らかとなった。そこで，この3段階それぞれについて最大振動加速度を読みとり表－3.1にまとめた。

3.5 今後の方針

本実験の解析はまだ1次解析が終了したのみであり、大半の作業は次年度に行なうこととした。これらの作業は以下のとおりである。

- (1) 橋梁振動の加速度記録を二重積分し、荷重車の重量、走行速度別にたわみの衝撃係数を求める。
- (2) 高速プロフィルメーターにより得られた記録から、路面平坦性を評価するとともに、(3)のためのインプットデータを作成する。
- (3) 本実験を、前章の数値計算に用いているプログラムにより数値解析で再現し、実測値と計算値の比較を行なう。

表-3.1 最大応答加速度

実験番号 重量-速度-回数	走行速度 (km/h)	最大加速								
		1 ch (1/8)			2 ch (1/4)			3 ch (3/8)		
		EJ	C	OJ	EJ	C	OJ	EJ	C	OJ
10-40-1	40.0	47.5	15.3	11.8	28.8	13.8	10.0	17.5	10.6	11.0
10-40-2	40.5	44.8	12.8	19.8	25.0	13.8	14.4	17.5	12.5	11.5
10-40-3	39.2	51.3	10.3	13.5	27.8	13.8	9.1	18.5	11.2	11.1
10-50-1	51.4	60.0	17.5	19.0	33.1	15.0	15.0	32.5	13.3	17.5
10-50-2	50.5	60.0	18.0	20.3	35.6	12.8	15.0	33.8	17.5	20.0
10-50-3	50.5	53.8	12.5	17.5	27.5	12.5	14.9	23.8	16.0	15.0
10-50-4	54.0	67.5	29.8	27.5	42.5	25.3	21.1	33.8	21.3	15.0
10-50-5	51.4	56.3	15.0	17.5	30.0	13.9	13.9	27.3	12.1	14.4
10-60-1	58.5	62.3	18.0	23.8	44.0	13.8	17.5	31.4	14.6	20.6
10-60-2	61.9	68.3	22.8	30.5	39.6	28.8	13.4	42.6	23.8	21.3
10-60-3	59.6	70.0	16.3	24.8	41.9	15.0	18.8	35.0	13.8	23.1
10-60-4	59.6	65.0	22.5	25.8	38.4	25.1	13.9	30.0	21.3	21.1
10-70-1	65.2	68.0	30.3	18.8	43.8	23.9	12.5	42.5	22.5	25.0
10-70-2	69.4	78.3	30.3	17.8	51.6	24.9	18.8	50.1	26.3	16.1
10-70-3	68.7	70.3	25.0	22.5	42.8	23.8	17.5	45.3	22.8	25.0
15-40-1	38.0	50.0	13.3	17.5	30.0	14.4	14.0	24.6	12.9	11.3
15-40-2	39.2	61.0	17.5	13.3	35.6	15.8	15.0	25.3	12.5	15.1
15-40-3	40.8	52.5	11.0	16.3	31.0	11.4	13.1	25.0	13.6	13.9
15-40-4	41.0	57.5	12.5	17.5	33.1	10.0	12.8	21.4	8.8	17.5
15-50-1	47.5	59.8	13.0	20.0	34.3	10.0	15.0	31.3	16.5	16.3
15-50-2	51.0	71.5	15.0	23.5	47.0	17.5	12.8	46.3	15.0	20.0
15-50-3	48.6	65.5	13.5	22.0	32.8	13.5	15.0	31.3	11.9	19.6
15-60-1	57.4	75.0	27.5	29.8	53.8	26.3	15.3	38.5	20.0	27.5
15-60-2	58.0	76.3	15.0	32.3	49.8	12.0	12.5	36.0	14.0	23.1
15-60-3	58.0	75.0	20.3	20.0	48.9	20.6	17.9	37.4	18.9	22.8
15-70-1	66.5	81.5	22.0	30.5	53.0	12.3	14.8	58.5	22.0	22.5
15-70-2	70.2	92.5	28.3	32.5	57.5	22.8	18.5	62.8	27.5	25.3
15-70-3	68.7	89.0	26.8	25.0	60.0	22.8	25.0	62.3	22.5	27.5
20-40-1	39.5	61.8	21.0	15.0	37.6	23.8	12.0	33.9	35.0	16.4
20-40-2	39.7	55.0	18.8	15.0	39.0	25.0	12.5	35.9	27.6	15.0
20-40-3	38.8	65.5	15.0	22.5	38.5	12.4	14.1	39.1	11.3	17.4
20-40-4	40.2	70.0	15.0	20.0	41.3	26.3	15.8	33.8	25.1	12.3
20-40-5	39.7	70.5	15.8	15.5	43.6	23.9	8.8	35.0	26.4	12.4
20-50-1	51.4	87.3	20.5	28.3	50.5	12.5	16.3	44.3	18.1	19.4
20-50-2	48.6	78.8	15.0	20.0	41.3	12.5	15.5	46.3	10.0	21.4
20-50-3	49.0	77.5	17.8	20.8	40.0	10.8	15.0	44.5	13.8	22.5
20-50-4	48.2	67.8	12.3	20.0	39.3	15.0	13.3	41.8	13.8	22.8
20-60-1	58.5	95.0	22.5	37.5	58.0	12.5	26.0	52.0	14.3	30.0
20-60-2	58.0	88.5	21.8	31.0	62.5	17.5	22.0	48.0	20.0	27.5
20-60-3	58.5	97.5	18.0	32.3	57.5	12.5	25.3	49.8	15.3	30.0
20-70-1	67.9	97.5	20.0	28.0	67.5	25.0	21.3	65.3	27.0	33.8
20-70-2	67.9	98.0	25.0	27.0	60.5	23.0	20.3	68.3	27.8	37.5
20-70-3	69.4	100.0	25.0	34.0	63.3	22.8	24.5	69.5	22.5	35.3
25-40-1	37.2	50.0	15.0	16.3	36.0	17.5	14.0	36.0	19.4	12.5
25-40-2	42.1	70.0	15.0	24.5	45.8	15.5	12.5	33.8	18.3	15.1
25-40-3	40.9	61.3	17.5	30.0	40.3	22.6	14.9	30.1	26.9	16.3
25-50-1	51.8	82.5	19.3	39.5	57.5	16.5	28.8	46.4	15.0	30.0
25-50-2	52.2	81.3	20.3	28.0	60.0	16.0	25.0	47.5	16.3	30.0
25-50-3	51.0	89.5	15.0	31.5	52.8	12.5	25.0	40.8	19.9	28.6
25-60-1	60.8	89.5	15.3	37.3	58.0	27.3	18.8	51.3	28.3	35.0
25-60-2	58.5	91.8	20.5	40.8	63.0	20.3	20.3	50.0	27.3	37.0
25-60-3	60.8	89.3	15.0	34.0	57.5	27.5	13.8	50.3	28.3	30.0
25-70-1	70.2	102.0	22.5	48.0	87.5	40.3	24.5	81.8	42.3	40.3
25-70-2	70.2	115.0	20.5	50.0	85.5	43.3	20.5	80.0	40.3	37.5
25-70-3	70.2	111.0	21.0	35.0	87.8	30.0	19.5	85.0	37.5	33.8

一覧表

底 (gal)								
4 ch (1/2)			5 ch (5/8)			6 ch (3/4)		
EJ	C	OJ	EJ	C	OJ	EJ	C	OJ
10.8	12.5	12.5	8.5	7.5	18.9	6.8	12.5	20.1
9.5	14.2	18.5	8.5	11.0	18.7	7.4	14.4	22.0
10.8	9.3	15.5	10.0	8.5	19.4	9.5	12.7	17.0
19.8	16.0	14.4	16.3	17.5	25.9	12.5	12.5	27.0
18.1	13.8	22.5	16.3	17.5	31.6	11.3	10.6	36.3
15.0	12.8	16.9	15.1	12.6	28.8	12.9	14.8	33.1
18.6	30.0	27.8	16.4	18.8	23.8	10.0	21.3	28.9
15.0	16.4	19.4	16.3	15.3	28.8	15.0	11.3	27.8
22.5	15.4	20.0	21.3	13.6	29.8	15.1	16.5	36.9
22.5	18.5	16.4	21.3	21.5	32.6	18.8	26.3	32.0
22.5	17.3	26.3	20.0	13.9	27.6	13.8	15.0	33.9
18.9	24.0	18.6	18.6	15.3	37.5	13.8	26.3	37.0
22.5	27.5	23.8	20.5	16.4	36.8	21.3	19.0	39.9
23.5	22.4	20.	22.0	23.6	31.3	24.9	25.0	32.1
23.3	28.8	17.1	23.8	20.0	29.3	22.4	22.5	26.8
12.5	16.0	15.6	12.4	12.1	18.9	11.3	12.4	22.3
15.0	15.6	15.0	13.8	10.4	23.8	9.4	14.3	30.0
13.8	13.5	16.3	13.8	11.3	27.5	12.6	15.0	31.3
13.8	13.1	18.8	11.3	7.9	23.8	11.1	11.6	31.3
18.1	13.8	22.6	19.4	12.3	35.0	12.6	10.5	32.6
22.4	13.8	15.8	21.1	13.8	30.8	12.8	18.8	30.1
18.8	11.4	20.5	20.0	11.4	31.0	14.3	11.3	39.4
23.6	27.6	28.8	21.3	16.4	32.5	15.1	22.5	42.5
22.6	15.0	21.3	25.0	12.8	31.3	18.8	12.9	32.3
26.3	23.6	21.0	23.8	17.8	33.4	18.8	22.5	31.5
29.4	22.3	23.0	29.0	17.5	43.8	26.3	20.0	40.0
30.0	33.0	27.5	23.9	26.3	45.1	24.9	22.3	45.0
26.3	21.4	18.6	25.0	21.6	36.8	28.8	20.0	45.6
16.3	29.9	20.0	13.8	31.3	22.5	13.8	25.1	24.6
16.3	30.1	22.5	12.4	30.4	30.1	14.6	25.0	30.0
17.8	14.9	22.5	13.2	12.5	28.8	16.4	11.3	32.9
18.8	28.8	22.5	15.0	28.1	32.9	12.5	23.8	28.8
19.3	30.0	18.6	15.0	26.3	28.8	12.5	25.1	28.8
27.4	12.5	20.0	23.1	12.5	41.8	17.9	13.8	35.4
23.9	12.5	22.1	23.8	12.5	39.9	22.4	11.4	46.3
22.5	13.8	20.8	25.0	13.8	33.6	23.8	9.0	38.5
22.6	13.8	20.6	22.4	12.5	37.5	20.1	12.5	43.8
28.8	20.0	26.3	30.0	13.6	36.3	18.8	13.4	46.0
32.6	22.4	31.3	26.3	18.1	42.4	19.3	17.5	46.8
31.3	17.8	27.8	30.3	17.0	40.4	22.5	10.0	45.0
31.1	22.0	31.3	32.8	26.3	50.0	30.0	27.5	50.5
30.0	25.0	35.0	30.0	26.5	54.3	30.3	25.0	60.5
29.5	27.5	32.8	30.0	24.8	54.8	30.3	27.0	62.5
15.0	21.3	19.3	15.0	20.0	28.1	15.0	16.4	28.3
18.0	15.0	20.0	15.1	18.6	22.0	17.5	14.7	22.0
19.8	32.8	23.8	14.0	27.9	35.0	14.1	21.3	28.0
23.9	18.6	31.3	24.9	16.3	42.4	17.5	15.4	47.5
22.4	21.3	22.6	22.6	20.0	40.0	16.0	15.5	43.9
22.5	16.9	24.8	20.4	18.4	38.6	13.8	12.8	45.4
26.0	31.5	25.0	25.8	30.3	37.8	22.5	20.6	48.0
26.3	31.5	27.5	27.5	25.1	37.6	18.9	19.9	43.1
27.5	26.6	28.8	26.3	25.0	45.9	20.0	27.1	48.8
36.8	41.0	45.3	35.3	37.5	72.8	33.8	32.5	56.1
35.1	37.1	40.6				35.0	25.5	64.5
36.8	35.	31.5	37.5	37.5	55.0	35.0	27.0	47.5

(注) EJ, C, OJはそれぞれ橋梁進入時, 支間中走行時, 橋梁退出時を表す。

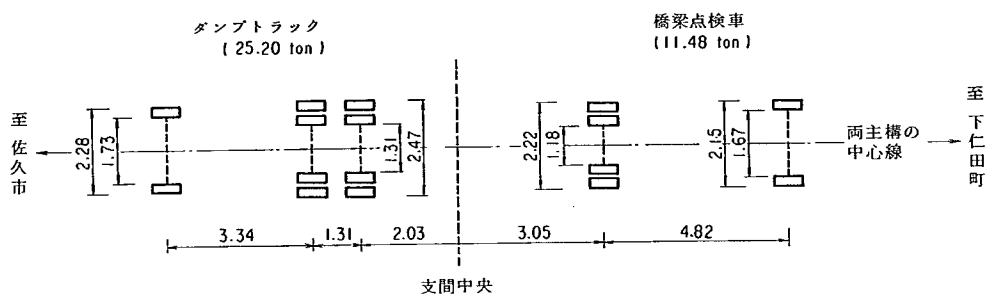


図-3.1 (1) 静的載荷試験配置図 (ケース A)
(内山大橋)

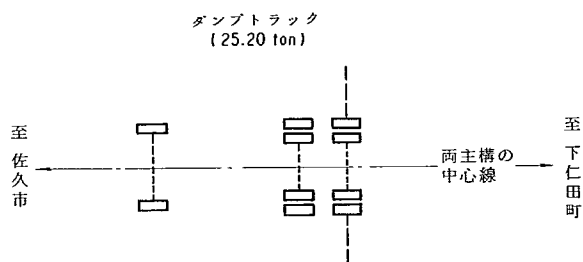
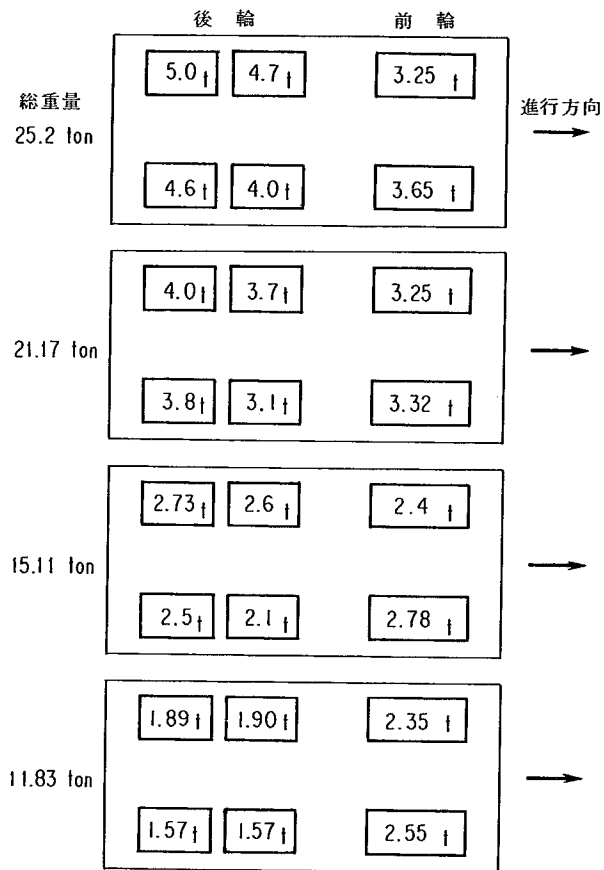
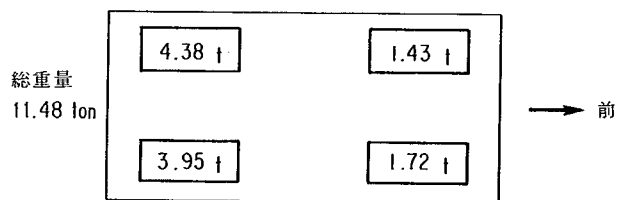


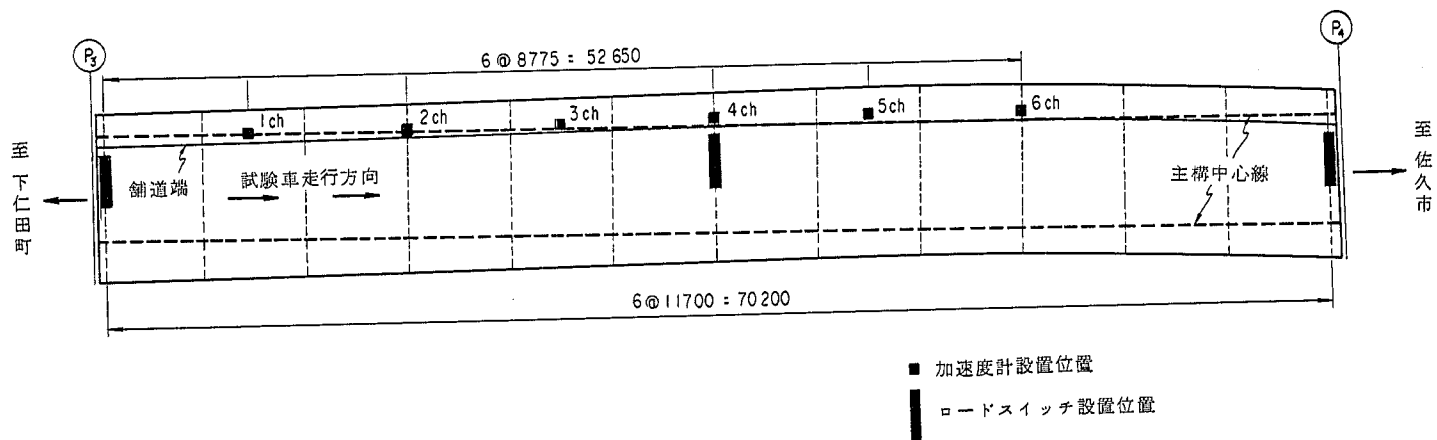
図-3.1 (2) 静的載荷試験配置図 (ケース B)
(内山大橋)



図－ 3. 2 (1) 荷重車総重量と軸重



図－ 3. 2 (2) 橋梁点検車総重量と軸重



図－3.3 内山大橋走行実験測線配置図

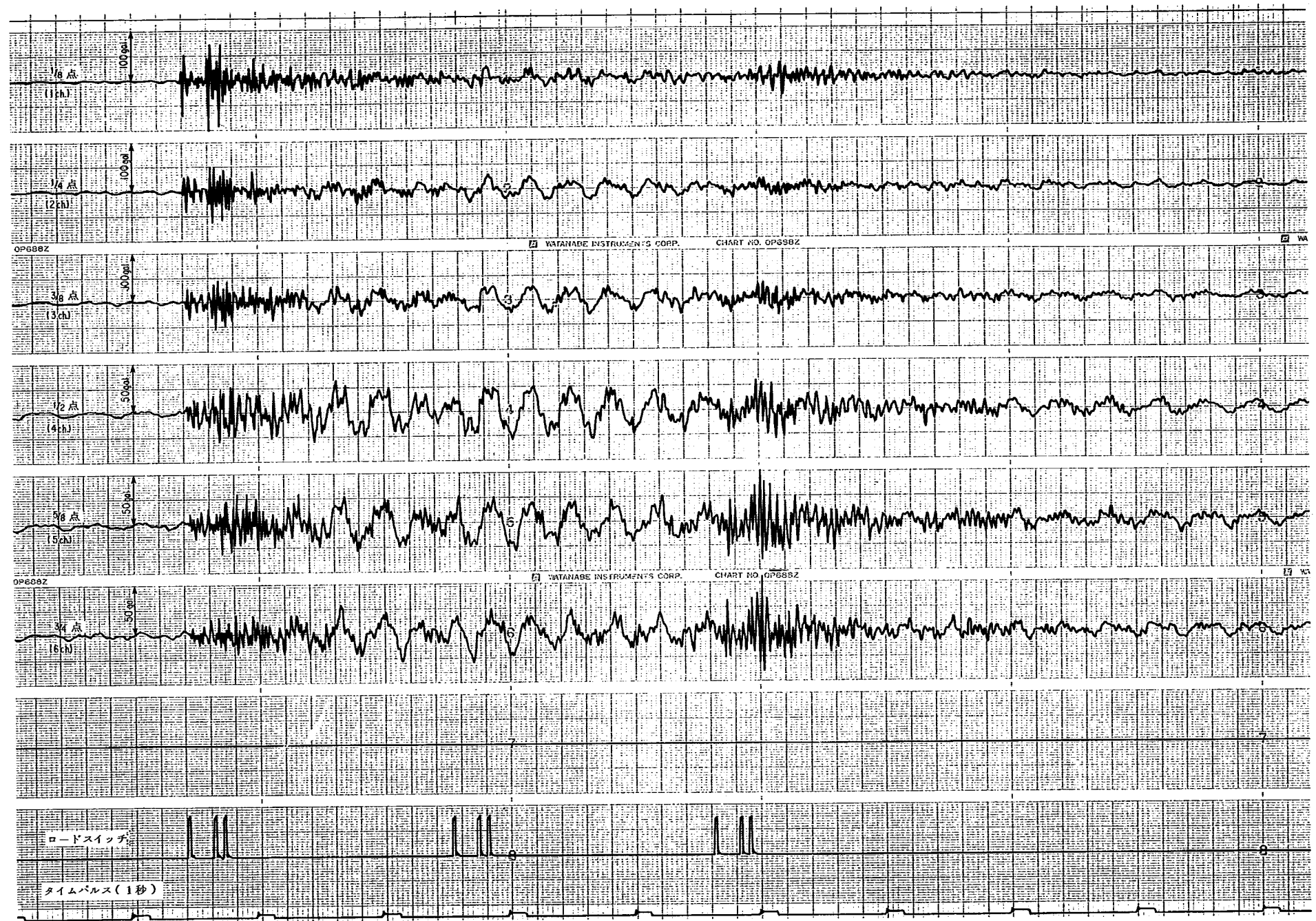


図-3.4 収録記録の一例 (25.2 ton, 60 km/h, 3回目)

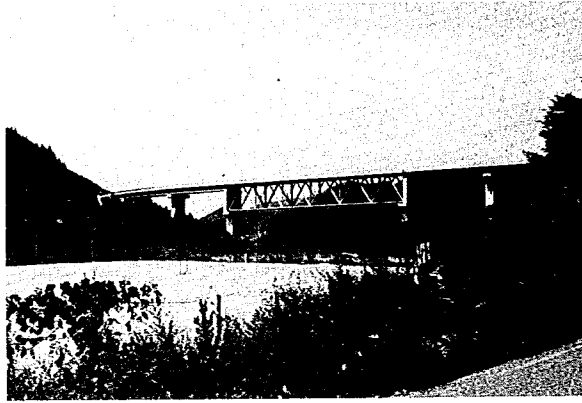


写真-1 内山大橋全景



写真-2 荷重車

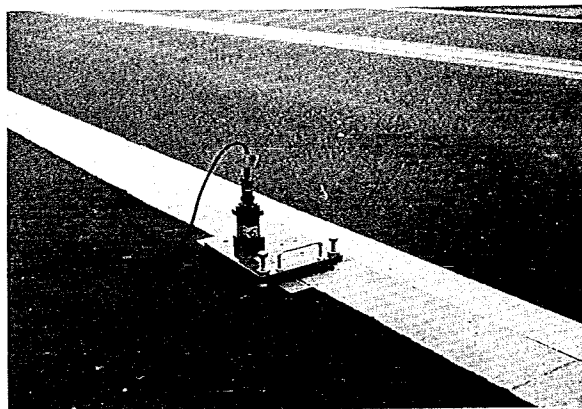


写真-3 サーボ型加速度計