

土 木 研 究 所 資 料

橋の衝撃荷重に関する試験調査報告書 (IV—1 9 9 0)

平成2年2月

建設省土木研究所
構造橋梁部構造研究室

Copyright ©(1990) by P. W. R. I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P. W. R. I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

橋の衝撃荷重に関する試験調査報告書 (IV-1990)

構造研究室 室長 横山 功一
研究員 井上 純三*
金子 学

要 旨

実交通下で走行時及び渋滞時の橋の動的応答を測定し、限界状態となる活荷重条件について検討した。主桁の動的係数は自動車の走行速度が大きくなると増加し、主桁のスパンが長くなると減少する傾向を示し、橋の動的応答シミュレーション結果を裏付けるデータとなった。

また、限界状態となる活荷重条件についてシミュレーションと対比して検討を加えた結果、シミュレーション結果をもとにし荷重の衝撃係数を取りまとめた良いことが明らかとなった。

キーワード：実交通，渋滞，走行，動的係数，限界状態

* 現在 建設省 土木研究所 企画部 橋梁計画官

ま え が き

車両が橋梁上を走行すると路面凹凸や橋のたわみにより車両—橋梁の連成振動が生じ、路面には変動する荷重が作用し、橋梁には動的な応答が発生する。この動的影響を伴った活荷重が繰り返し作用することにより、舗装、床版、伸縮装置の損傷や地盤振動、騒音の発生が問題となる事例が現れて来ている。

橋梁設計では設計活荷重による応力を衝撃係数で割増すことによりこの影響を考慮している。現在、道路橋示方書は従来の許容応力度設計法から限界状態設計法への移行へ向けての検討がなされており、衝撃係数についても実態に基づく検討を行う必要がある。

こうしたことから、土木研究所では昭和60年度より開始した調査でT荷重の衝撃係数に関しては鋼床版^{1),2)}、RC床版³⁾の車両走行試験により衝撃係数は路面に生じる段差量をパラメーターとしてとりまとめられることを明らかにした。一方、L荷重の衝撃係数に関しては、走行荷重列による橋の動的応答シミュレーション解析^{1),4)}により活荷重との組合せで限界状態となる荷重条件は短スパンでは衝撃を伴う走行状態、長スパンでは渋滞となることを明らかにした。そこで63年度は実交通下で走行及び渋滞時の橋の動的応答実測調査を行い渋滞、走行の何れが最も厳しい荷重条件となるかを調査し、シミュレーション結果を検証することとした。本報告書は、この実測調査結果をとりまとめ、報告するものである。

目 次

ま え が き

1. 実 験 方 法	1
1.1 対 象 橋 梁	1
1.2 計測器の取付け	1
1.3 計 測 方 法	1
2. 実 験 結 果	9
2.1 試験車走行試験結果	9
2.2 実交通試験結果	9
2.2.1 交通条件調査結果	9
2.2.2 動的応答調査結果	9
3. L荷重の衝撃係数に関する検討	49
3.1 実験とシミュレーションの比較	49
3.2 設計衝撃係数に関する検討	49
4. ま と め	51
謝 辞	52
参 考 文 献	52

1. 実 験 方 法

1.1 対 象 橋 梁

実験対象とした橋梁は首都高速道路に位置するスパン30m, 40m の単純鈑桁橋 2 スパン及び、橋長110m の 3 径間連続鈑桁橋の内のスパン30m, 50m の 2 スパンの計 4 スパンである。活荷重の限界状態に及ぼすスパンの影響について検討するため、上部工形式がほぼ同一でスパンが異なる橋梁を選定した。また、対象橋梁は、区間236m 内の近接した位置にあり、その間では、分合流もなく、交通条件はほぼ同一と見なすことができる。

対象橋梁の概要を表-1.1 に、一般図を図-1.1 に、また外観を写真-1.1 に示す。スパン30m, 40m の単純鈑桁橋をそれぞれ S 1, S 2, 3 径間連続鈑桁橋の内のスパン30m, 50m のスパンをそれぞれ S 3, S 4 と呼ぶことにする。

1.2 計測器の取付け

S 1 ~ S 4 各スパン中央位置の曲げモーメント応答に着目し、主桁下フランジ部にひずみゲージを取付けた。ひずみゲージ取付位置を図-1.2 に、また取付状況を写真-1.2 に示す。

1.3 計 測 方 法

1) 試験車走行試験

総重量が約20 t の 3 軸ダンプトラックを用いて、走行及び追越車線を各々 2 回ずつ計 4 回単独走行させてデータを収録した。試験車走行試験時の応答を実交通試験時の応答と比較することにより、実交通の車両重量の概略値を推定できる。

2) 実 交 通 試 験

実交通下でのデータを、1 回の測定を10分間とし、5 時から18時40分の間に30分毎に計28回収録した。

3) 交通条件調査

実交通試験と同時に下記の 3 項目について調査した。

① 交通量調査

対象橋梁に近接するビルの屋上より交通量（車種別）をカウントした。車種分類は目視により 4 t 車以上を大型、4 t 車未満を小型と分類した。調査状況を写真-1.3 に示す。

② 走行速度調査

交通量調査と同一時間帯に、任意の10台程度の車両を対象にストップウォッチを用いて S 1, S 2 スパン（計70m）の通過時間を測定し、これより平均走行速度を求めた。

③ 交通状況調査

ビルの屋上にビデオカメラを設置し、交通状況を録画した。

4) 計測システム

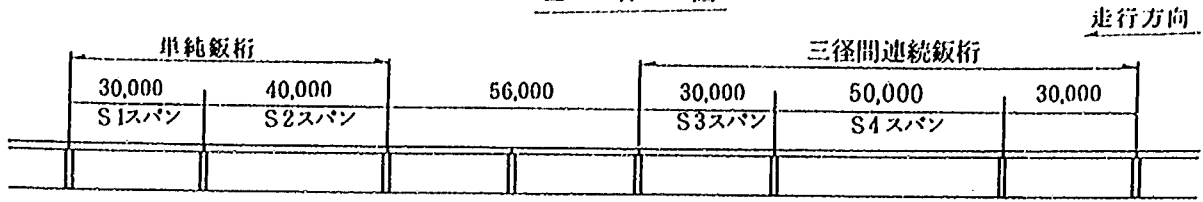
計測システムを図-1.3 に、また計測状況を写真-1.4 に示す。データレコーダのサンプリングタイ

△は50ms (20Hz) とした。

表-1.1 対象橋梁の概要

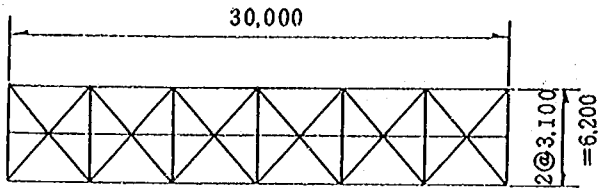
対象 スパン 番号	道 路 条 件			上 部 構 造 形 式	
	車 線 数	幅 員	支 間 長	形 式	主 桁 本 数
S 1	2	7.30 m	30.00 m	単純鈑桁	3
S 2	〃	〃	40.00 m	〃	3
S 3	〃	7.31 m	30.00 m	3 径間連続鈑桁	4
S 4	〃	7.32 m	50.00 m	〃	4

全 体 図

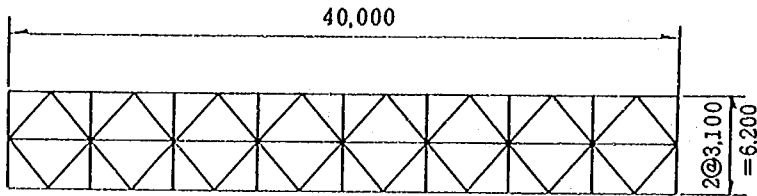


床 組 図

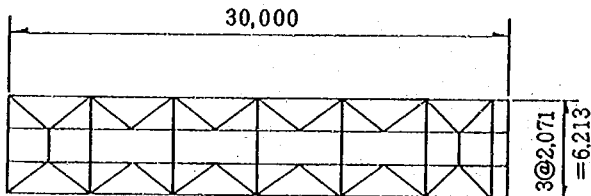
S1スパン



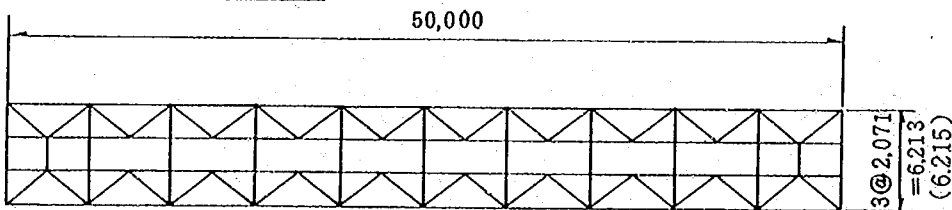
S2スパン



S3スパン

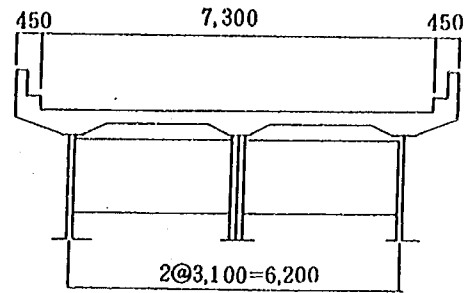


S4スパン



断 面 図

S1, S2 スパン



S3, S4 スパン

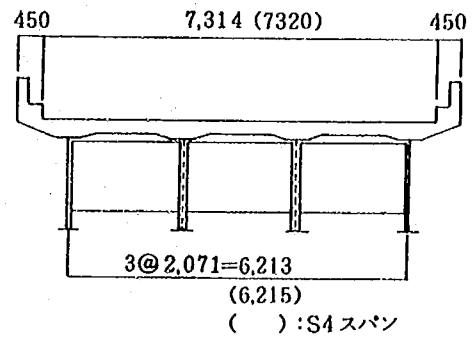
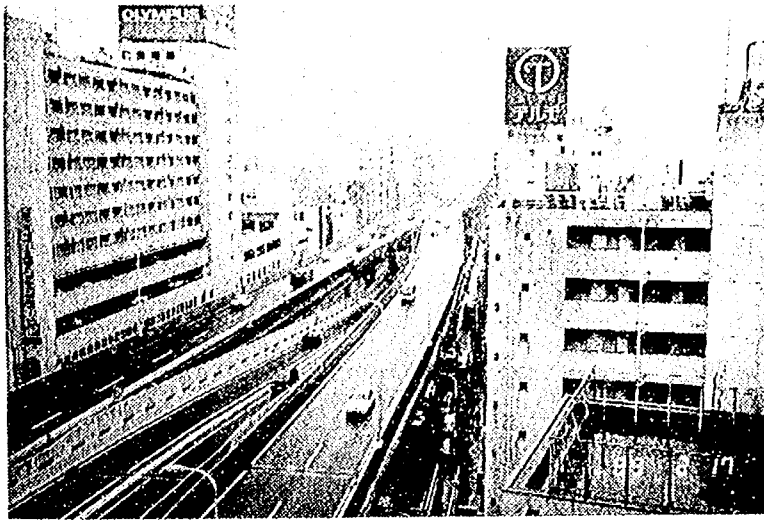
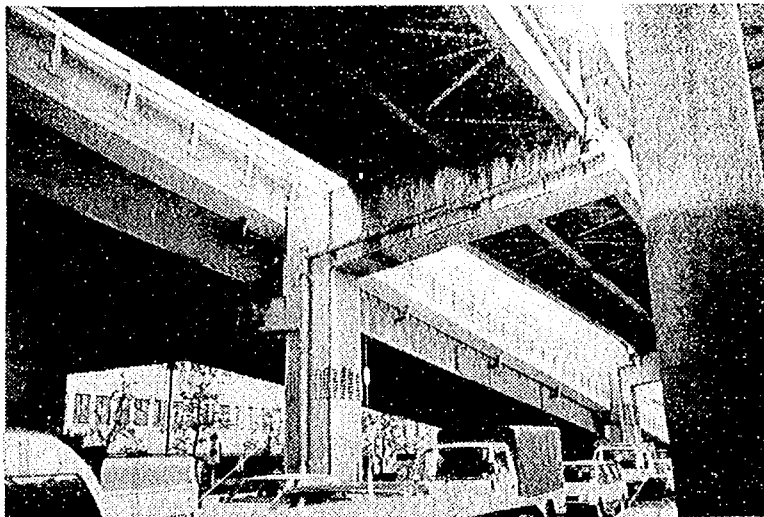


図-1.1 対象橋梁一般図

(1) 対象道路全景



(2) S 1, S 2 橋梁



(3) S 3, S 4 橋梁

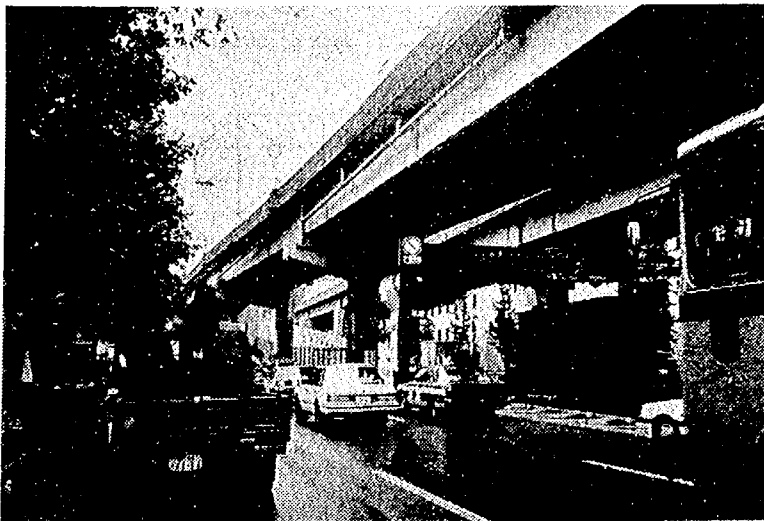


写真-1.1 対象橋梁外観図

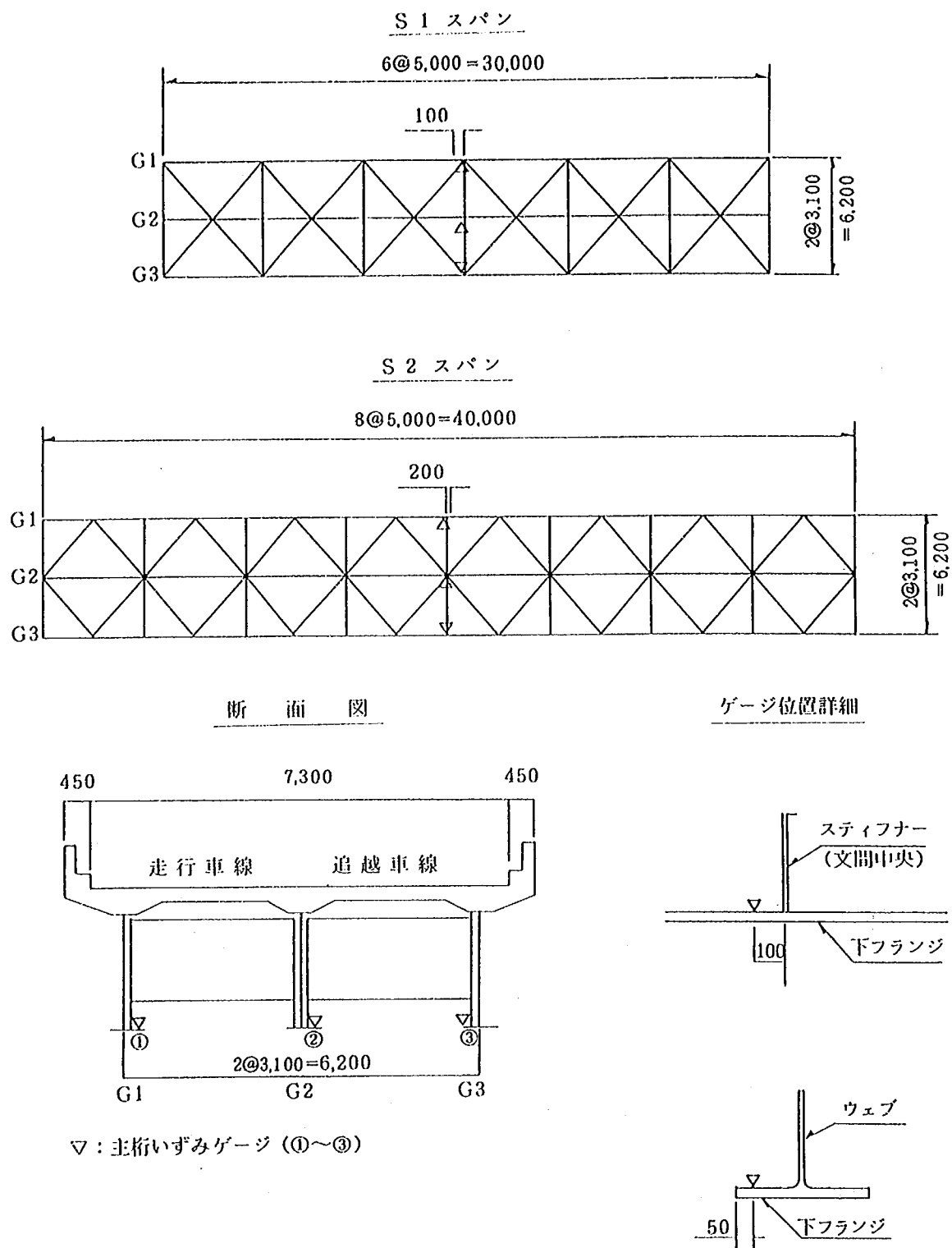
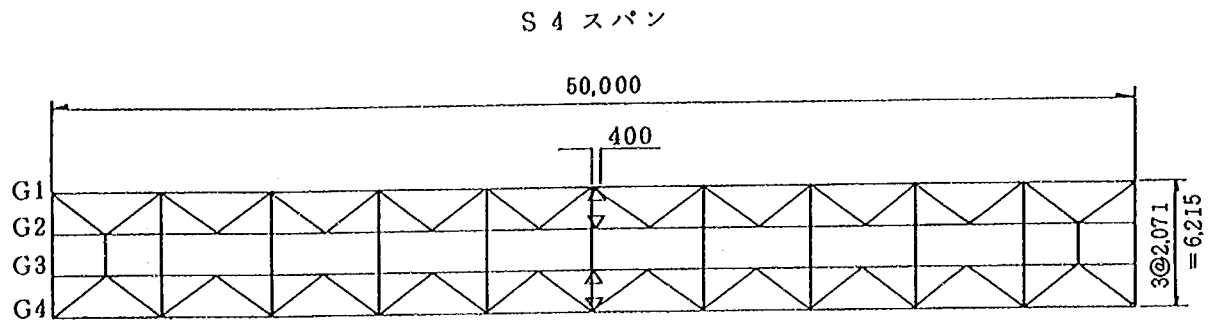
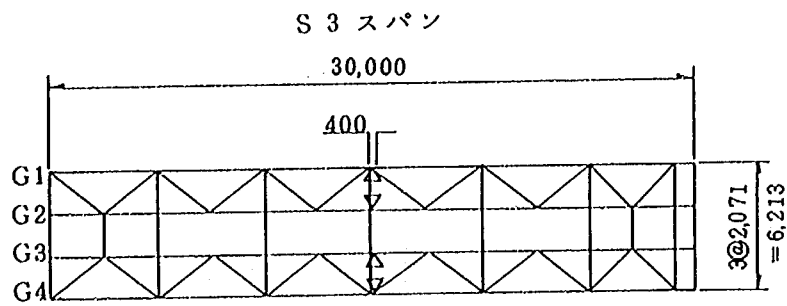
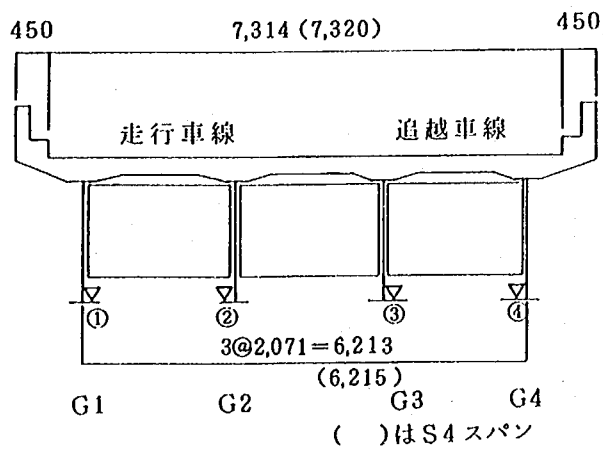


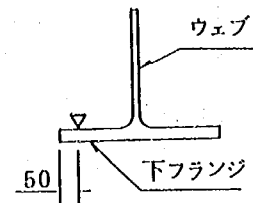
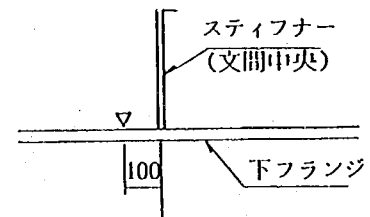
図-1.2 (1) ひずみゲージ取付位置 (S 1, S 2)



断面図



ゲージ位置詳細



▽：主桁ひずみゲージ (①～④)

図-1.2 (2) ひずみゲージ取付位置 (S 3, S 4)

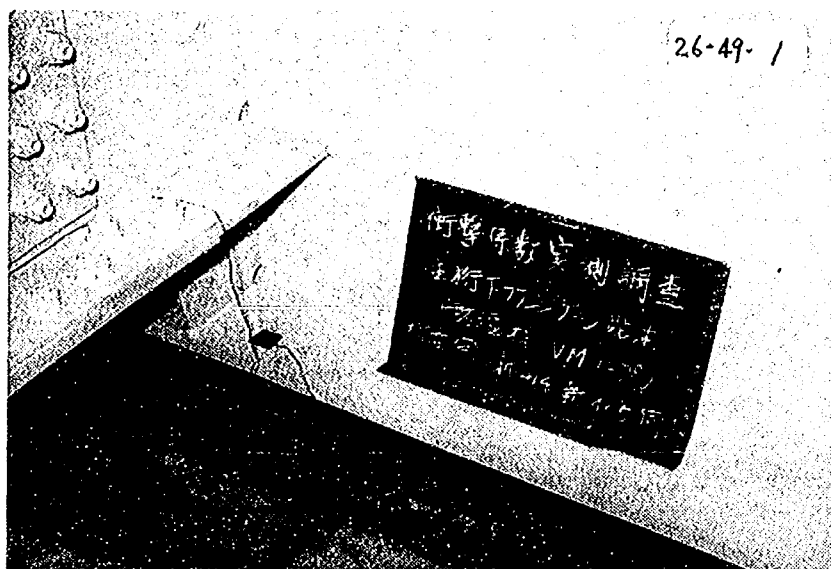


写真-1.2 ひずみゲージ取付状況



写真-1.3 交通状況調査

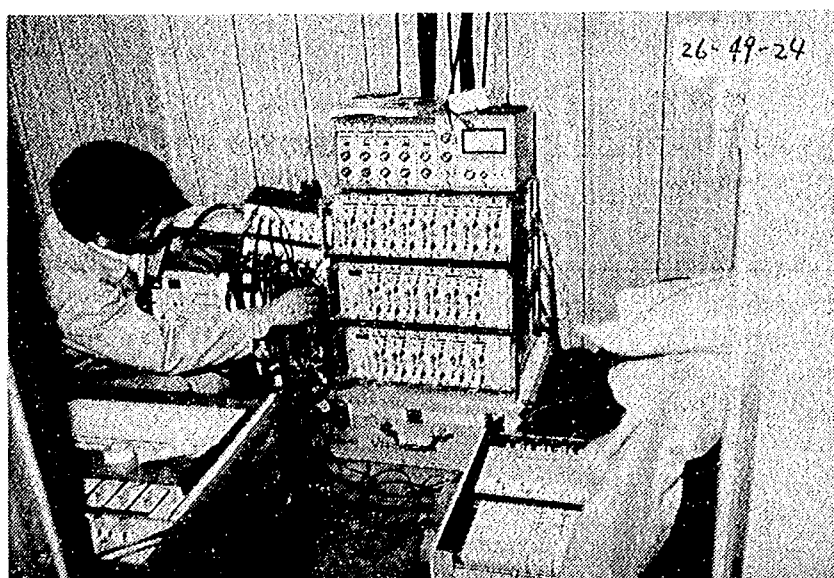
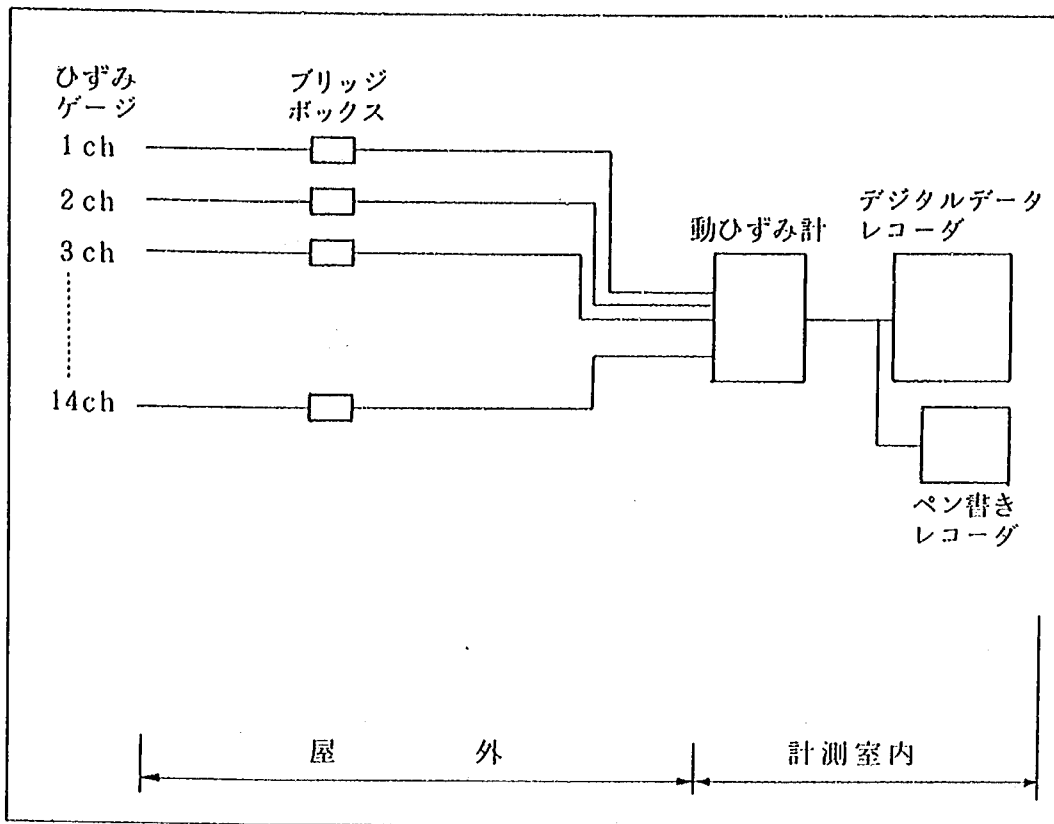


写真-1.4 計測状況

計測ステーション1 (計測ハウス)



計測ステーション2 (ビル屋上)

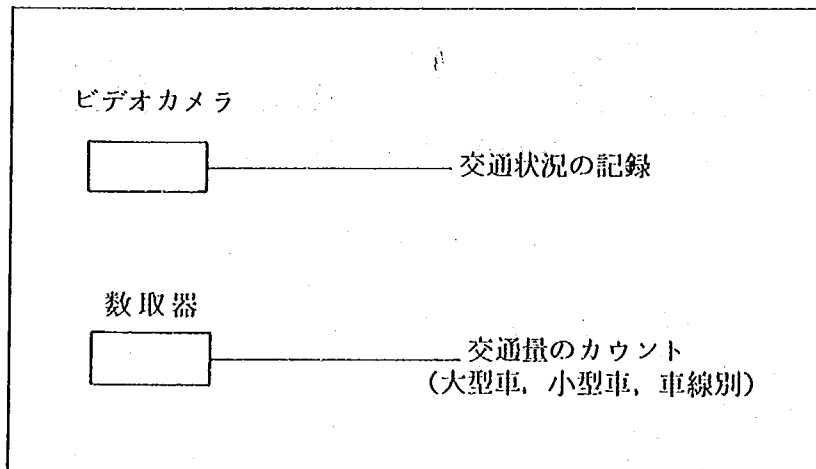


図-1.3 計測システム図

2. 実 験 結 果

2.1 試験車走行試験結果

試験車走行時の時刻歴図の1例を図-2.1に示す。

時刻歴図より読み取ったひずみ応答のピーク値と、このデータをもとに2.2.2で説明する方法で求めた動的係数を取りまとめた結果を表-2.1に示す。20 t 車1台が走行車線を走行した時のG1桁のひずみはS1で107 μ 、S2で83 μ 、S3で74 μ 、S4で65 μ となった。この結果をもとに実交通の車両重量の概略値を推定することができる。

試験車走行時のひずみ応答は、着目点（スパン1/2点）の影響線を表していると考えられる。影響線は直線的に変化していることから、例えばスパン1/4点に載荷された車両の影響は、スパン1/2点に載荷された車両の5割程度の影響があるものと推定され、主桁の応答には車両の連行載荷の影響を考慮する必要があることが分る。また、追越車線走行時のG1桁のひずみをS1で調べると、43 μ となっており走行車線走行時の4割程度であるため、走行車線側の桁についても追越車線の車両の影響を考慮する必要があることが分る。動的係数は走行車線、追越車線を走行したときで、大きな違いは見られない。

2.2 実交通試験結果

2.2.1 交通条件調査結果

時間帯別の交通条件を整理した結果を表-2.2及び図-2.2に示す。また、これらのデータをもとに作成したQ-V図を図-2.3に示す。表-2.2、図-2.2より渋滞は8:00~9:00に発生したが大型車混入率は小さく、10%以下であり、乗用車が主体となっている。また、この時のスピードは20km/h程度であった。渋滞の前後、6:30~7:30及び9:30~10:30にほぼ最大交通量となり、その時の速度はおおよそ40km/hであった。その他の時間帯は交通量が少なく概ね自由走行であり、速度は70km/h程度、大型車混入率は10~30%程度であり、渋滞時より大きくなっている。このように時間帯によって大型車混入率が異なるので、全交通量と大型車台数の関係は一定した関係にない。図-2.3(1)は全交通を対象としたQ-V図であるが、40km/h付近の速度で最大交通量（550台程度）となっている。今回の測定で得られたデータの範囲では走行速度は概ね20km/h以上であり、それ未満の速度についての交通容量は明らかではない。また図-2.3(2)は大型車を対象としたQ-V図である。最大交通量を示す速度については(1)とほぼ同様の傾向を示すものの、低速時には交通量が少なく、高速時に多くなる傾向となった。これは、大型車が渋滞する時間帯を避けて、比較的交通量の少ない時間帯に多く走行したためである。

2.2.2 動的応答調査結果

1) 動的応答波形

(1) 時刻歴図

図-2.4に走行時、渋滞時の代表的な時刻歴波形図を対比して示す。走行時のひずみ波形には渋滞時よりも動的な変動成分が多く含まれていることが分る。

(2) スペクトル図

ひずみ波形の周波数分析を行い、得られたスペクトル図を図-2.5に示す。主桁の固有振動数はS1～S4ともに2～4Hzの範囲にある。

(3) データ処理法

実測されたひずみ波形(a)をもとに図-2.6に示す2種類の波形(b)(c)を電子計算機で求め、動的係数、ひずみを求めた。データ処理の手順を以下①～③に示す。

① デジタルローパスフィルターにより、主桁の固有振動成分を除いた静的成分波形(b)を取り出す。ローパスフィルターの値は、主桁の実測応答波形(a)の周波数分析結果をもとに、1.5Hzに設定した。

② 車両の通過に伴う応答のピーク値を取り出すため、0.1Hzデジタルローパスフィルターを用いて主桁応答の平滑波形(c)を求めた。

さらに1t以下の車両に相当する微小なピーク値を取り除くため、ひずみ応答の下限值(10×10^{-6})を設定し、平滑波形又は下限値を下回る応答波形は解析対象から除外し、この範囲で実測応答波形(a)のピーク値を求めた。

③ 主桁の実測応答波形(a)のピーク値(図中○印)を応答ひずみとし、それに対応する静的成分波形(b)のピーク値(図中●印)を求め、この値の比から1を差し引いて動的係数とした。

2) ひずみ、動的係数のデータ整理結果

ひずみのデータ整理に先立ち、車両重量について調べるため、ひずみの静的成分に着目し、S1スパン、G1桁の応答ひずみの静的成分の度数分布図を作成した(図-2.7)。各時間帯に生じた20 μ 以上のピークの度数は大型車台数とほぼ対応したものとなっている。このことから、小型車による応答は20 μ 以下と考えられる。20t試験車走行時の応答ひずみの静的成分96 μ と比較すると、小型車の影響度は20t試験車の2割以下であり、設計においてその影響は小さいと考えて良い。

また、時間帯によっては試験車走行時の応答ひずみの2倍程度のひずみが生じている。ビデオ記録によるとこれは、荷台の高さをかさ上げし積載したダンプトラックが走行した場合に生じていることが明らかとなった。今回データ収録した範囲では、これらの車両が連行して走行したケースは無く、前後の小型車による影響を無視して考えると、単独で20t車の1.5～2.5倍程度の応答を生じたことから、30～50t程度の重量の車両であったと推定される。

このように測定されたひずみが幅広く分布したことから、以下では、10分間に得られたデータの平均値と最大値の2通りの値について整理し、検討を行うこととした。また、動的係数についても、10分間に得られたデータの平均値とひずみの最大値に対応するものの、2通りの値を整理した。

各調査時間帯ごとに求めたひずみ、動的係数の平均値及びひずみの最大値及びこれに対応した動的係数を表-2.3に示す。

3) 動的係数調査結果の検討

(1) 動的係数と走行速度の関係

① 平均動的係数と走行速度の関係

平均動的係数と走行速度の関係を図-2.8(1)~(6)の(a)に示す。動的係数は、走行速度の増加に伴い、ほぼ直線的に増加する。このような傾向は、スパンや幅員方向の位置に関係なく現れている。ただし、走行速度に対する動的係数の増加の割合は、単純桁(S1, S2)で大きく、連続桁(S3, S4)では小さくなっている。また、動的係数の最大値はS1で0.2, S2, S3, S4で0.15程度であった。

② ひずみの最大値に対応した動的係数と走行速度の関係

ひずみの最大値に対応した動的係数と走行速度の関係を図-2.8(1)~(6)の(b)に示す。動的係数は、走行速度の増大に伴い増加する傾向にあるが、動的係数の増加の割合はS1スパンでは大きく、それ以外のS2, S3, S4スパンでは小さく、3スパンとも同程度の値となった。また、動的係数の最大値はS1, S2スパンでは0.2程度, S3, S4スパンでは0.1程度であった。

(2) 動的係数とスパンおよび構造形式の関係

① 平均動的係数とスパンおよび構造形式の関係

平均動的係数とスパンおよび構造形式の関係を図-2.9(1)~(3)の(a)に示す。単純桁では、動的係数はスパンの増加に伴い減少する傾向を示した。これは動的応答シミュレーション結果を裏付けるものである。また、同一スパン(=30m)の単純桁(S1)と連続桁(S3)を比較すると、連続桁の動的係数は単純桁の動的係数よりもやや小さくなる傾向を示している。

② ひずみの最大値に対応した動的係数とスパンおよび構造形式の関係

ひずみの最大値に対応した動的係数とスパンおよび構造形式の関係を図-2.9(1)~(3)の(b)に示す。単純桁では、動的係数はスパンの増加に伴い減少する傾向を示した。一方、連続桁ではスパンの影響ははっきりしない。また、同一スパンの単純桁と連続桁の比較では連続桁の動的係数は単純桁よりも小さくなる傾向となった。

これらの傾向は、平均動的係数の場合とほぼ同じである。平均動的係数の場合には、比較的小さな応答によるものが多く含まれるが、動的係数と走行速度、動的係数とスパン及び構造形式の関係の、応答の大きさによる違いは、ほとんど見られない。

4) ひずみの調査結果の検討

(1) ひずみと走行速度の関係

① 平均ひずみと走行速度の関係

平均ひずみと走行速度の関係を図-2.10(1)~(6)の(a)に示す。ひずみは走行速度30~50km/h付近で大きな値を生じるがこれは、2.2.2 2) ひずみ、動的係数のデータ整理結果に詳細は述べたが極端に重いダンプトラックの走行により、特異なデータを生じたためである。10:00及び10:30には超大型車による応答の出現度数が10%以上と特に多くなっており、これにより大きな平均ひずみを示したことが考えられるため、10:00及び10:30のひずみ応答のデータには注意を喚起するため※印を付記した。単純桁のS1, S2はこのような超大型車によって応答が支配される度合いが大きく、特にスパンの短いS1でその傾向が著しい。一方、連続桁ではこのような傾向が緩和されている。

また、ひずみと走行速度の間にははっきりした傾向が見られないが、特異なデータを除くと、S 1では走行時のひずみが、S 2, S 3, S 4では渋滞時のひずみがやや大きくなる傾向を示しているように見受けられる。

② 最大ひずみと走行速度の関係

最大ひずみと走行速度の関係を図-2.10(1)~(6)の(b)に示す。ひずみの特に大きい部分は①です。すでに述べた通り極端に重いダンプトラックによるものである。なお最大ひずみは概ね単独の車両により生じた値と考えられるので、ここではその車両の速度を用いている。最大ひずみは時間帯により交通特性が変動するため、50~269 μ (S 1 スパン), 41~212 μ (S 2 スパン), 58~191 μ (S 3 スパン), 61~185 μ (S 4 スパン) と変化した。大型車の連行する状況がほとんど見られなかったため、ひずみ最大値は走行する車両自体の重量によってほぼ決定される。このため、速度とひずみ最大値の間にははっきりとした傾向は見られない。大きなひずみ応答は、速度40km/h付近に集中しているが、これは超大型車が渋滞から自由走行に移行する時間帯に多く走行していたことと、それ以外の時間帯においても比較的低速で走行していたためと考えられる。

(2) ひずみとスパンおよび構造形式の関係

① 平均ひずみとスパンおよび構造形式の関係

平均ひずみとスパンの関係を図-2.11(1)~(3)の(a)に示す。最も長い50mのスパンでも渋滞時と走行時のひずみの大小関係は有意な差が認められず、必ずしも渋滞時が最も厳しい荷重条件とはならなかった。これは今回の実測調査結果では渋滞が乗用車主体で生じ、大型車が連行して渋滞するような状態が発生しなかったためと考えられる。

② 最大ひずみとスパンおよび構造形式の関係

最大ひずみとスパンおよび構造形式の関係を図-2.11(1)~(3)の(b)に示す。同一形式で比較するとスパンが長い方が生じるひずみが小さくなっており、単純桁でその傾向がはっきり現れている。また単純桁と連続桁で比較すると、連続桁の方が単純桁よりも生じる応答の大きさが小さい。大型車による単独走行の条件に対しては、短スパンより長スパンが、単純桁より連続桁が応力的に余裕があると言える。また、平均ひずみの場合と同様、どのスパンでも渋滞時と走行時のひずみの大小関係は、はっきりした傾向を示さなかった。

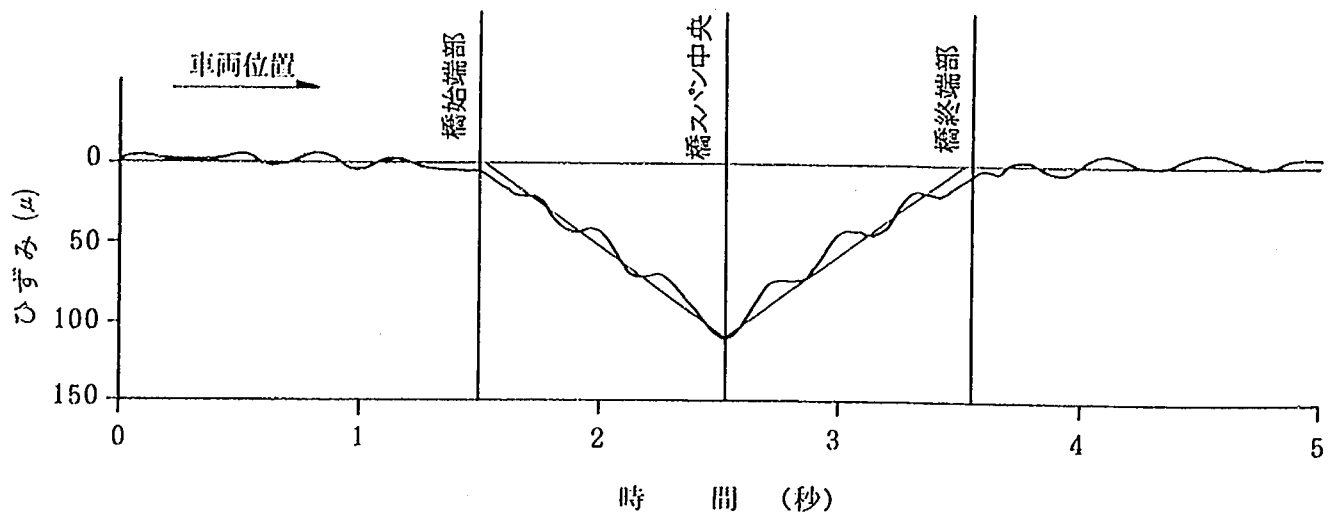


図-2.1 試験車走行時のひずみ応答

表-2.1 試験車走行試験結果

	スパン 番 号	測 定 点	走行車線 (50km/h)		追越車線 (55km/h)	
			ひずみ値 μ	動的係数	ひずみ値 μ	動的係数
単 純 桁	S 1	G 1	107	0.11	42.6	0.06
		G 2	85.2	0.11	63.7	0.06
		G 3	37.1	0.17	86.5	0.05
	S 2	G 1	83.2	0.05	40.2	0.12
		G 2	56.6	0.07	54.1	0.01
		G 3	41.6	0.29	81.6	0.05
連 続 桁	S 3	G 1	73.8	0.06	50.3	0.06
		G 2	73.8	0.08	68.5	0.07
		G 3	39.4	0.07	50.6	0.02
		G 4	20.9	0.14	75.1	0.05
	S 4	G 1	65.2	0.02	48.6	0.04
		G 2	58.5	0.01	52.8	0.03
		G 3	34.1	-0.01	49.8	0.02
		G 4	20.3	0.15	68.0	0.02

走行車線データ：第一回走行試験データを使用

追越車線データ：第二回走行試験データを使用

表 2.2 交通量調査結果

回 数	調 査 時 刻		走 行 車 線				追 越 車 線				全 車 線				走 行 度 (km/h)	備 考
			大 走 型 車 行	小 走 型 車 行	全 交 通 量	大 混 入 車 率	大 走 型 車 行	小 走 型 車 行	全 交 通 量	大 混 入 車 率	大 走 型 車 行	小 走 型 車 行	総 交 通 量	大 混 入 車 率		
1	5:00	00～10	32	34	66	48.5	24	55	79	30.4	56	89	145	38.6	70	
2		30～40	46	82	128	35.9	42	94	136	30.9	88	176	264	33.3	89	
3	6:00	00～10	14	138	152	9.2	16	152	168	9.5	30	290	320	9.4	72	
4		30～40	53	224	277	19.1	37	235	272	13.6	90	459	549	16.4	68	
5	7:00	00～10	28	212	240	11.6	16	305	321	5.0	44	517	561	7.8	43	
6		30～40	25	231	256	9.8	21	284	305	6.9	46	515	561	8.2	39	
7	8:00	00～10	12	213	225	5.3	17	247	264	6.4	29	460	489	5.9	14～32	ノロノロ通行
8		30～40	13	217	230	5.7	18	212	230	7.8	31	429	460	6.7	11～25	“ ”
9	9:00	00～10	21	197	218	9.6	14	217	231	6.1	35	414	449	7.8	13～32	“ ”
10		30～40	45	216	261	17.2	31	248	279	11.1	76	464	540	14.1	25～36	最初のみノロノロ運行
11	10:00	00～10	61	157	218	28.0	48	245	293	16.4	109	402	511	21.3	35～60	
12		30～40	71	165	236	30.1	52	238	290	17.9	123	403	526	23.4	30～45	
13	11:00	00～10	57	117	174	32.8	30	210	240	12.5	87	327	414	21.0	25～34	ノロノロ運行
14		30～40	34	44	78	43.6	21	159	180	11.7	55	203	258	21.3	80	
15	12:00	00～10	35	48	83	42.1	24	169	193	12.4	59	217	276	21.4	71	
16		30～40	46	60	106	43.4	23	195	218	10.6	69	155	324	21.3	“	
17	13:00	00～10	28	65	93	30.1	17	148	165	10.3	45	213	258	17.4	“	
18		30～40	30	49	79	38.0	22	136	158	13.9	52	185	237	21.9	“	
19	14:00	00～10	15	64	79	19.0	14	157	171	8.2	29	221	250	11.6	75	
20		30～40	27	49	76	35.5	17	147	164	10.4	44	196	240	18.3	81	
21	15:00	00～10	33	54	87	37.9	16	171	187	8.6	49	225	274	17.9	56～72	
22		30～40	18	75	93	19.4	14	140	154	9.1	32	215	247	13.0	60～84	
23	16:00	00～10	29	56	85	34.1	8	129	137	5.8	37	185	222	16.7	70～87	
24		30～40	32	64	96	33.3	10	150	160	6.3	42	214	256	16.4	63～87	
25	17:00	00～10	18	58	76	23.7	10	142	152	6.6	28	200	228	12.3	58～79	
26		30～40	22	62	84	26.2	18	150	168	10.7	40	212	252	15.9	51～63	
27	18:00	00～10	39	130	169	23.1	25	240	265	9.4	64	370	434	14.8	51	
28		30～40	16	85	101	15.8	14	181	195	7.2	30	266	296	10.1	“	
計			900	3,166	4,066	22.1	619	5,156	5,775	10.7	1,519	8,322	9,841	15.4		

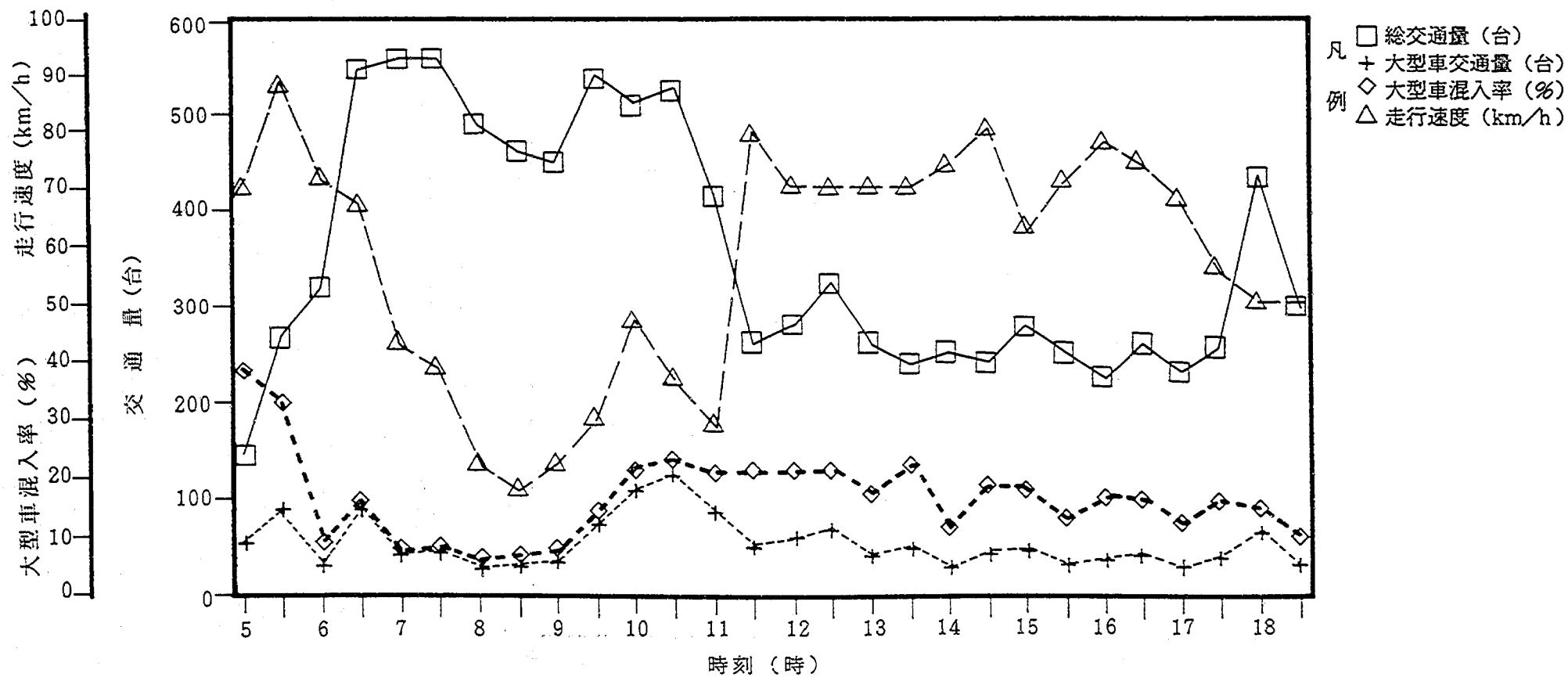


図-2.2 交通量，大型車混入率，走行速度

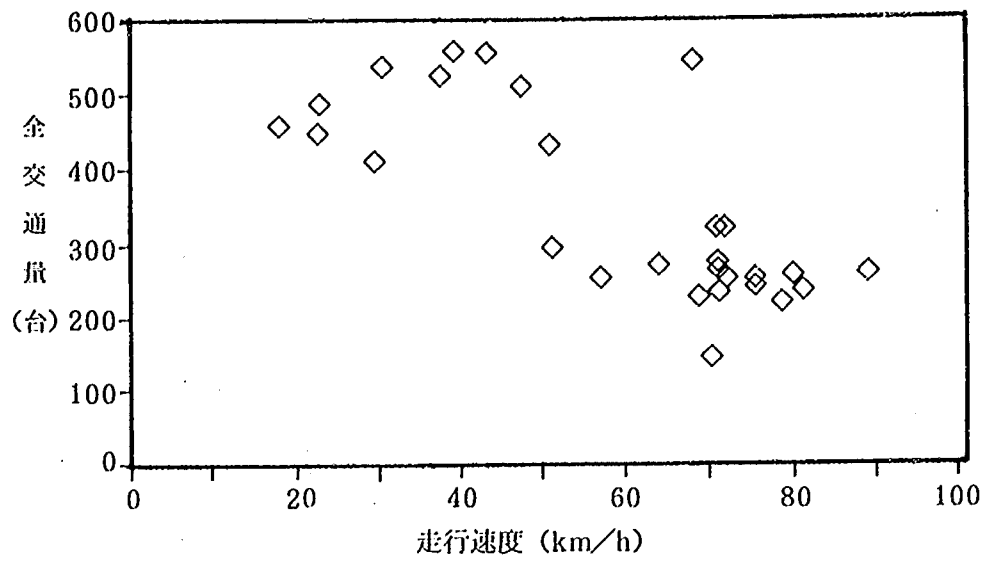


図-2.3 (1) 全交通量を対象としたQ-V図

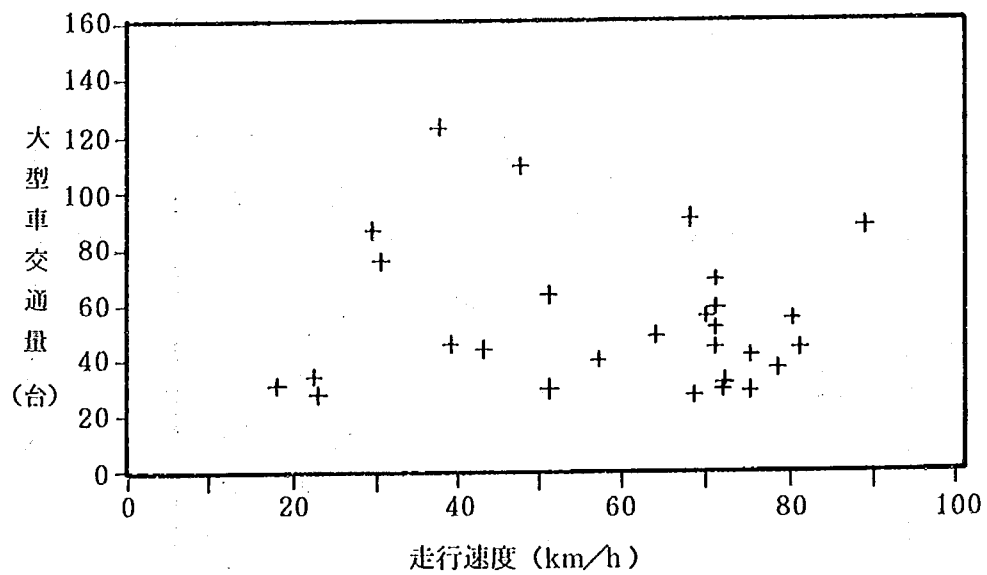


図-2.3 (2) 大型車を対象としたQ-V図

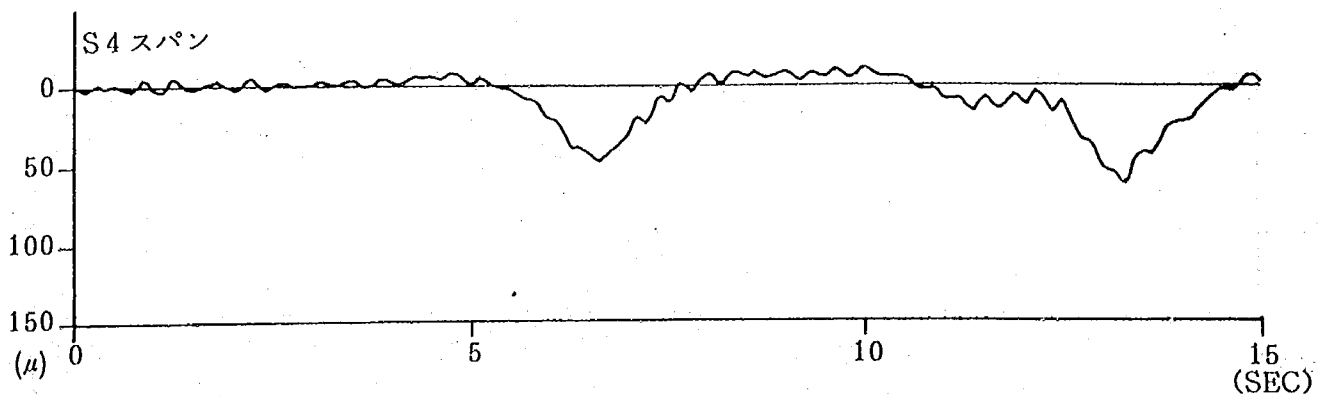
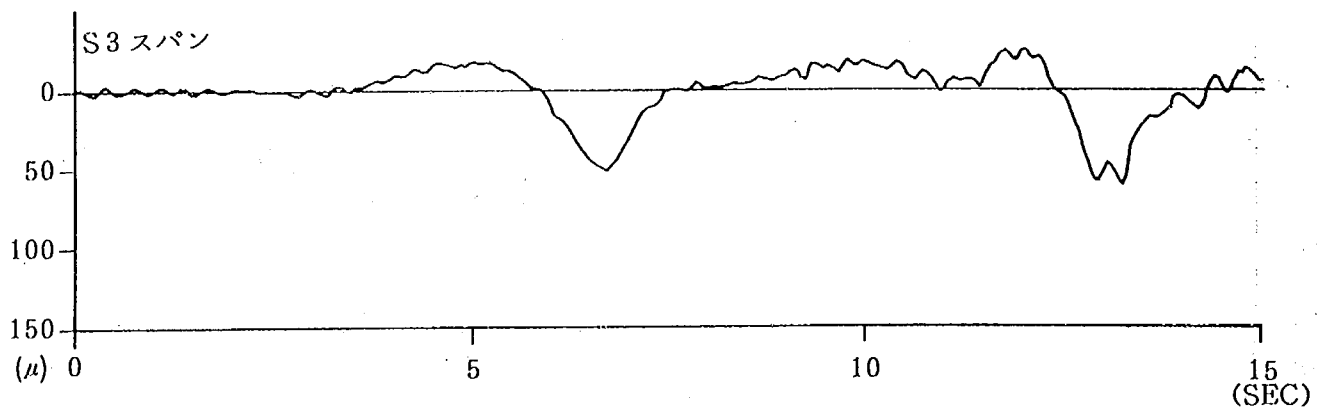
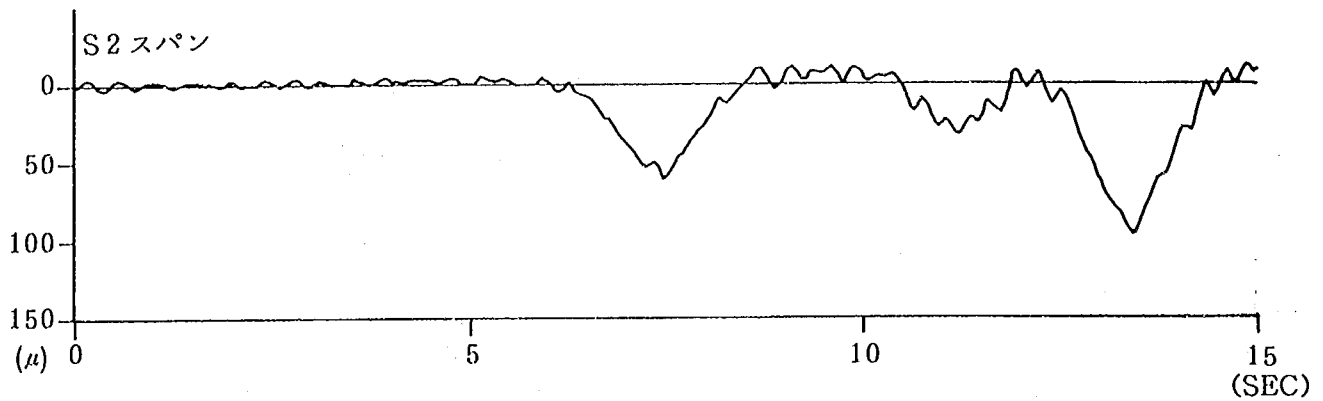
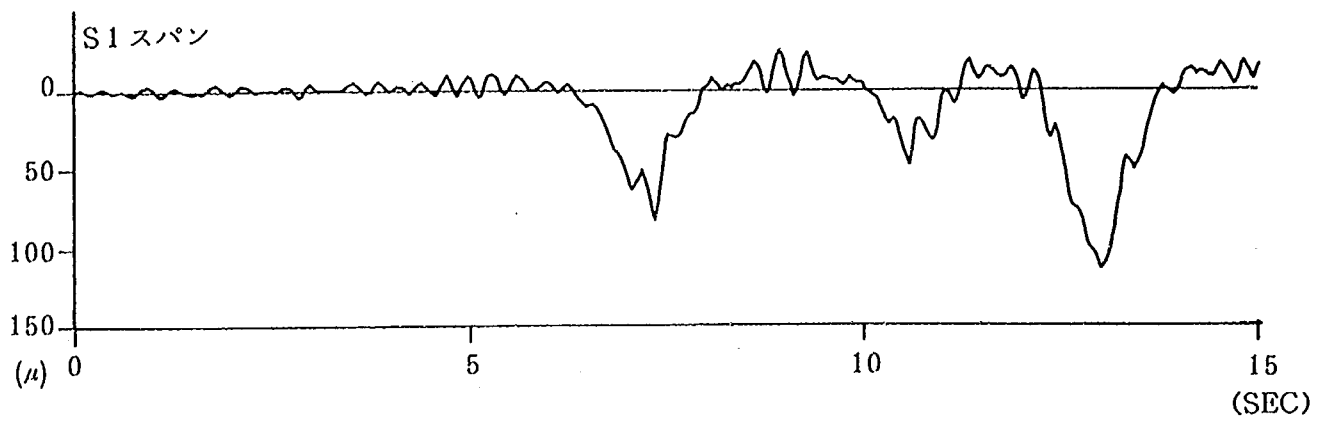


図-2.4 (1) 走行時の時刻歴図 (5:30)

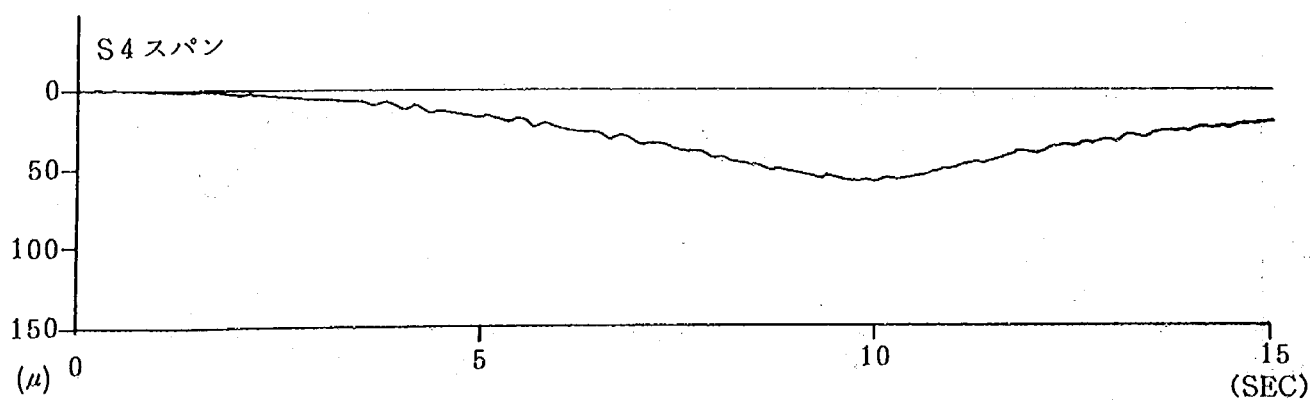
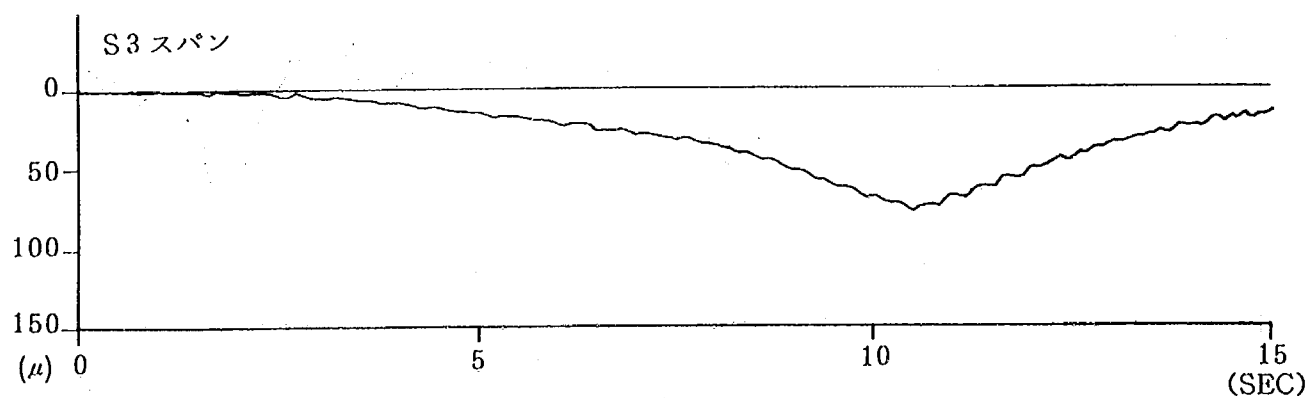
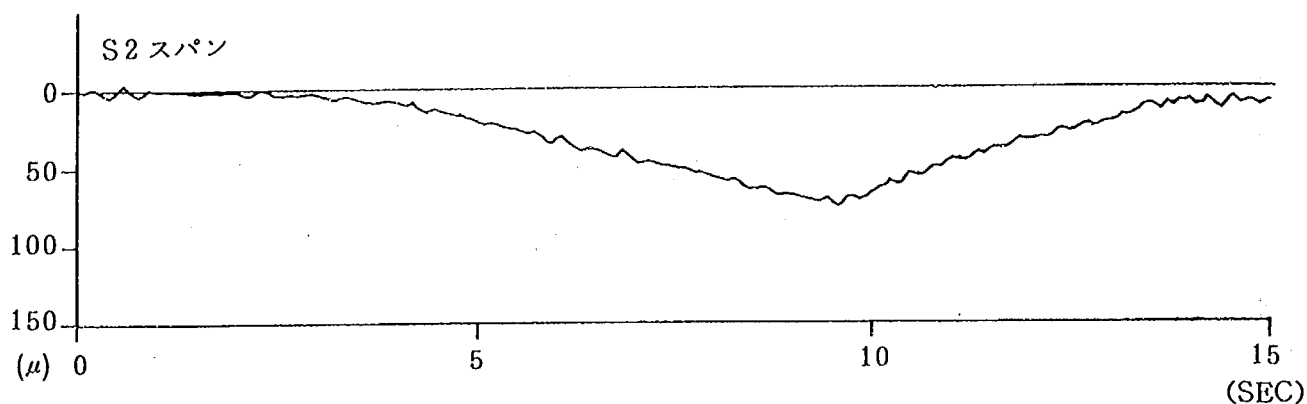
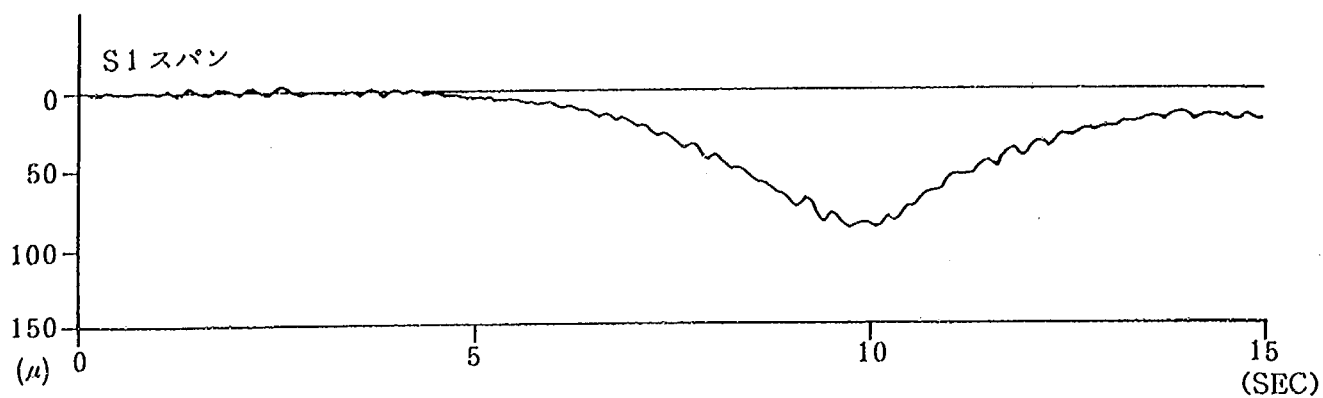


図-2.4 (2) 渋滞時の時刻歴図 (8:30)

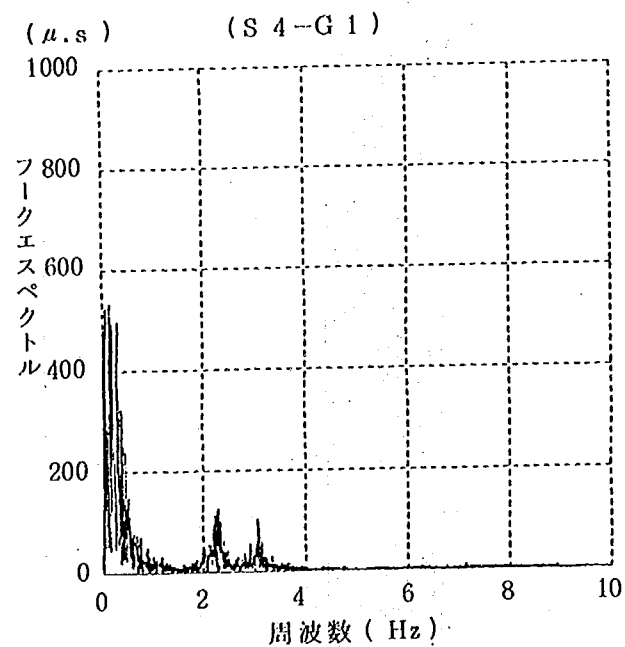
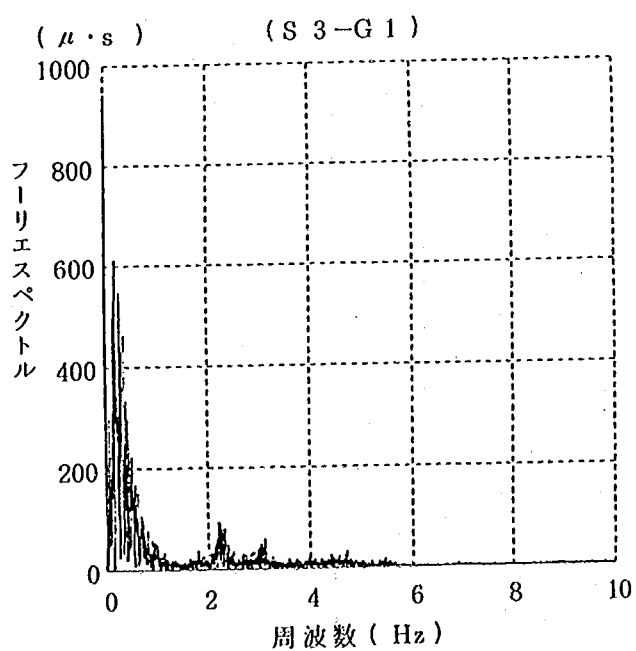
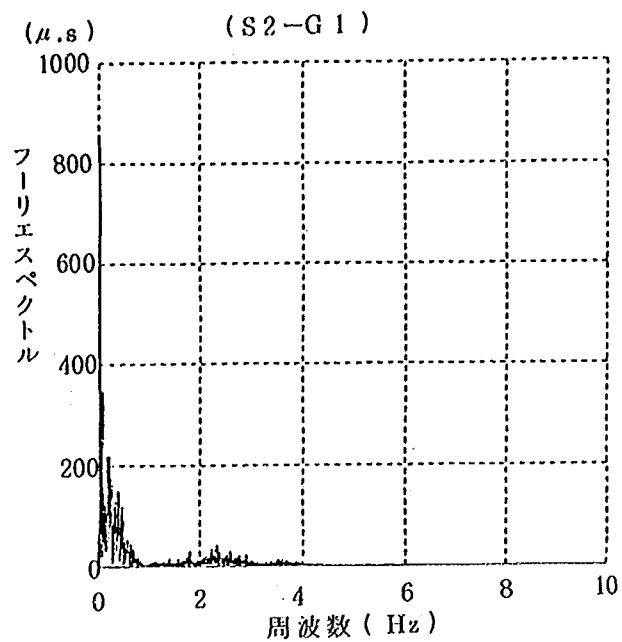
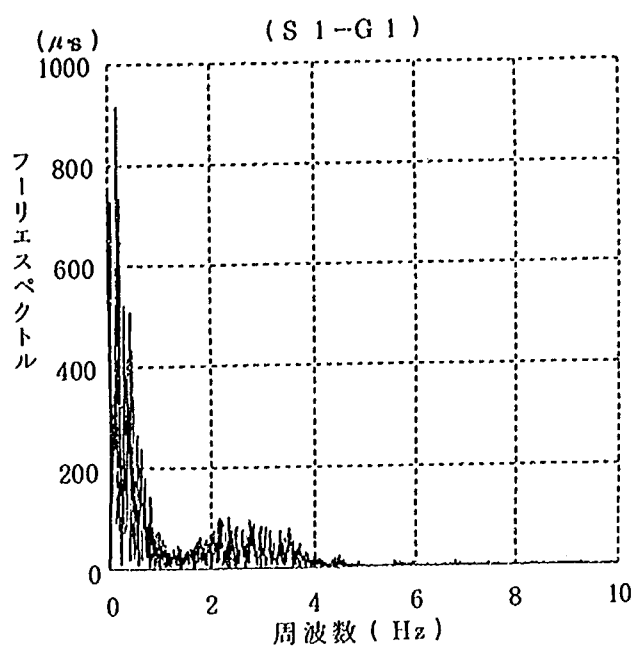
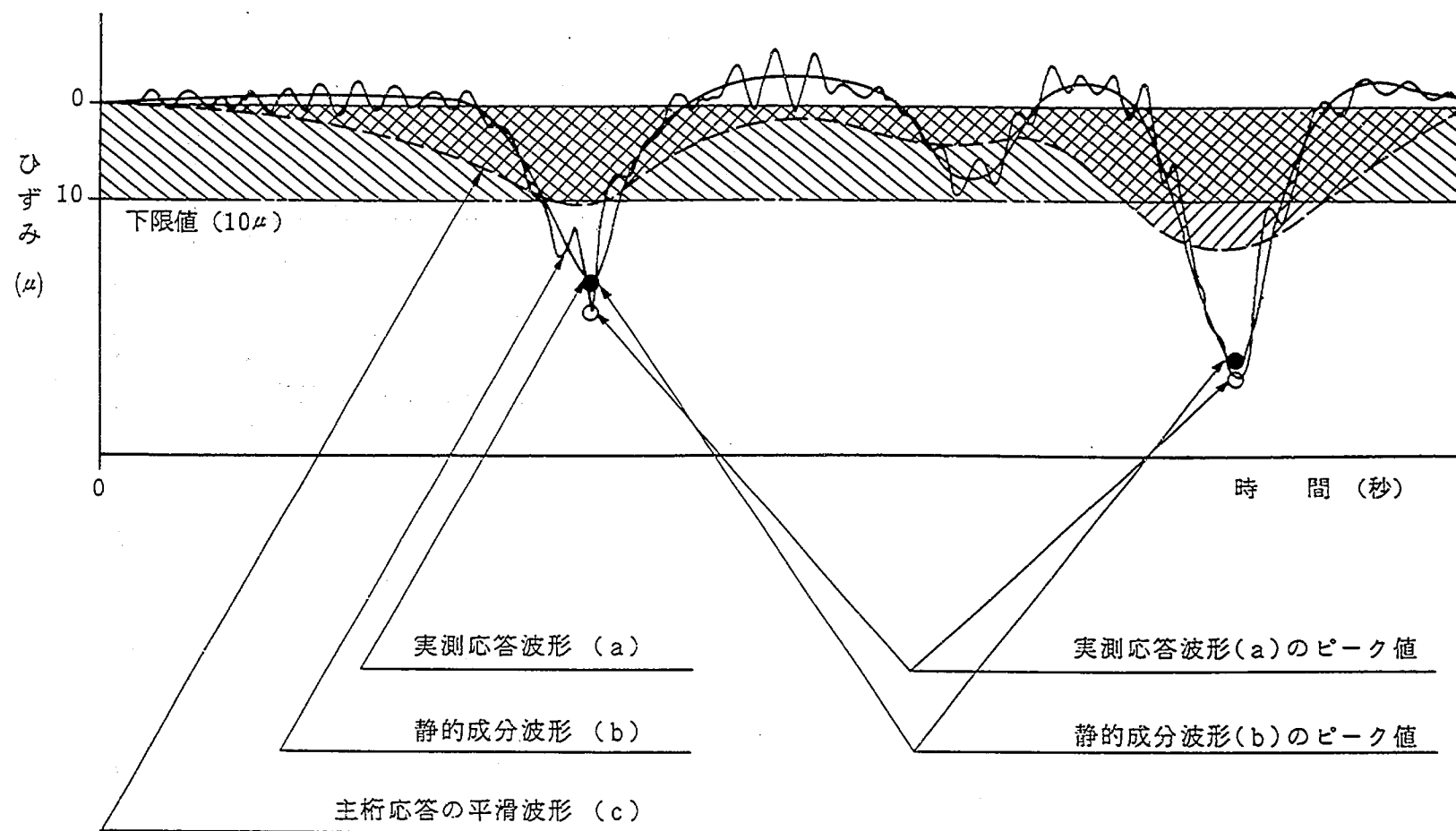


図-2.5 ひずみ波形のフーリエスペクトル図



注) 静的成分波形(b)の値が10μ未満の応答値及び、平滑波形(c)未満の応答値(斜線部)は、解析対象から外す。

図-2.6 応答波形の処理

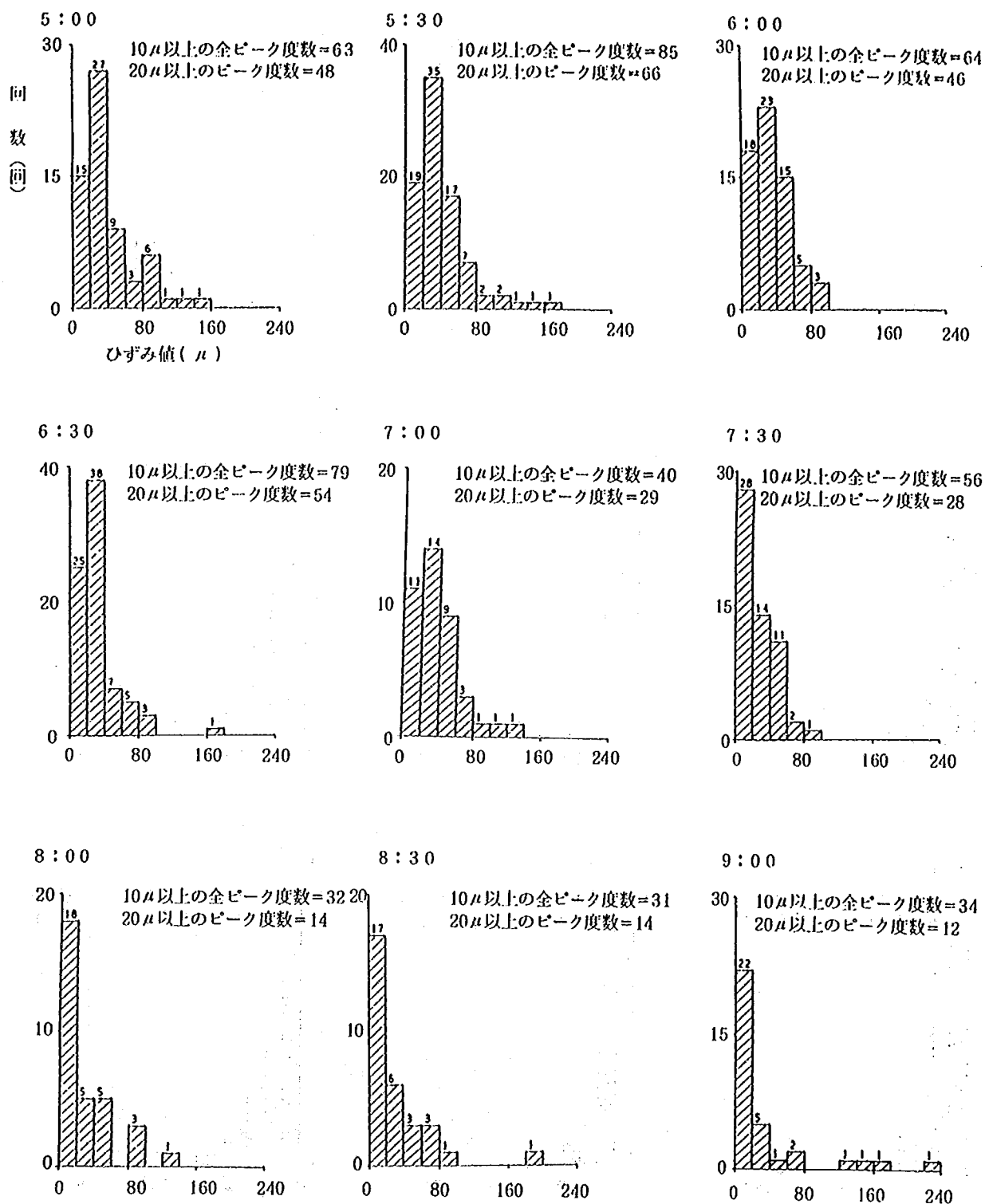
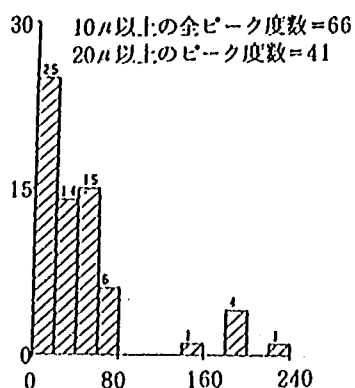
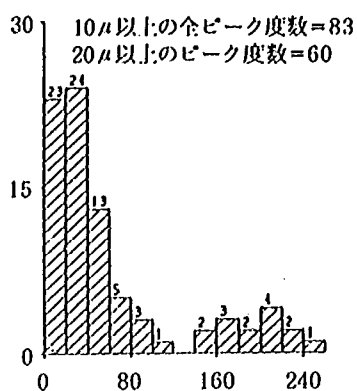


図 2-7 (1) S 1 スパン G 1 桁 応答値のヒストグラム

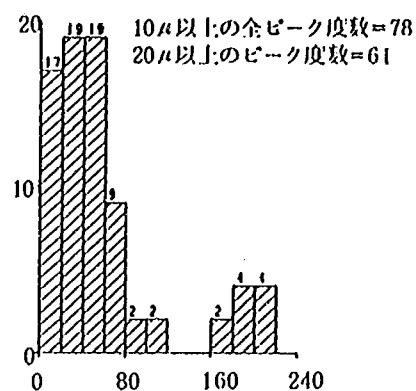
9:30



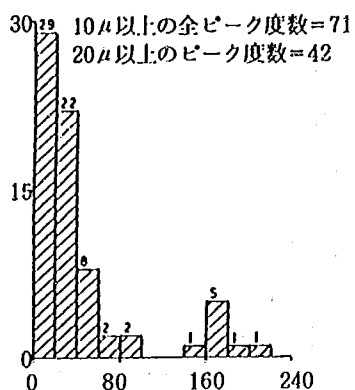
10:00



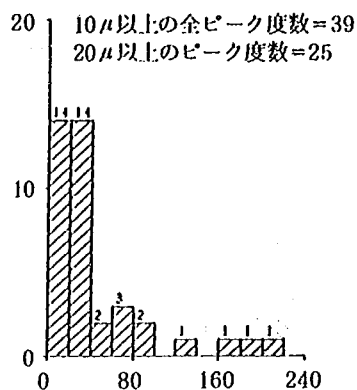
10:30



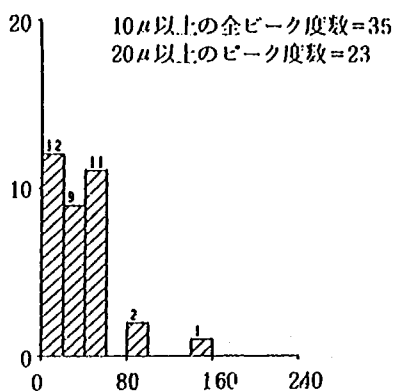
11:00



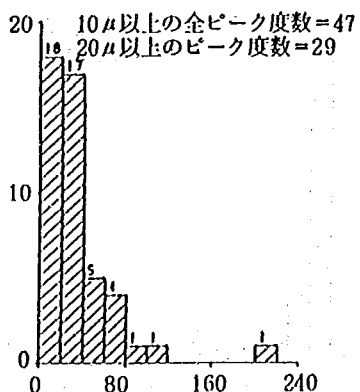
11:30



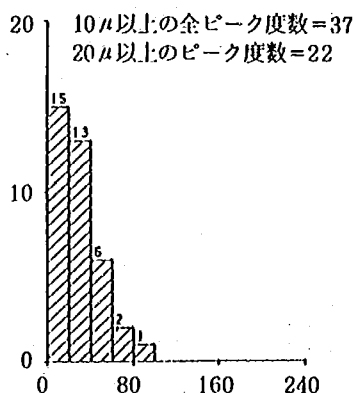
12:00



12:30



13:00



13:30

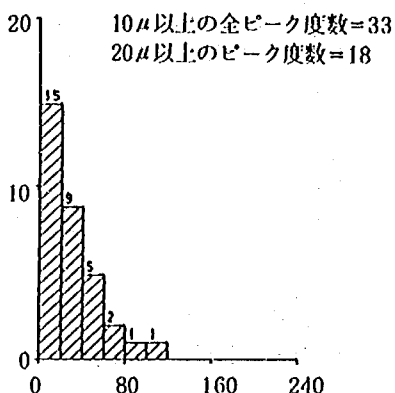


図2-7 (2) S1スパンG1桁 応答値のヒストグラム

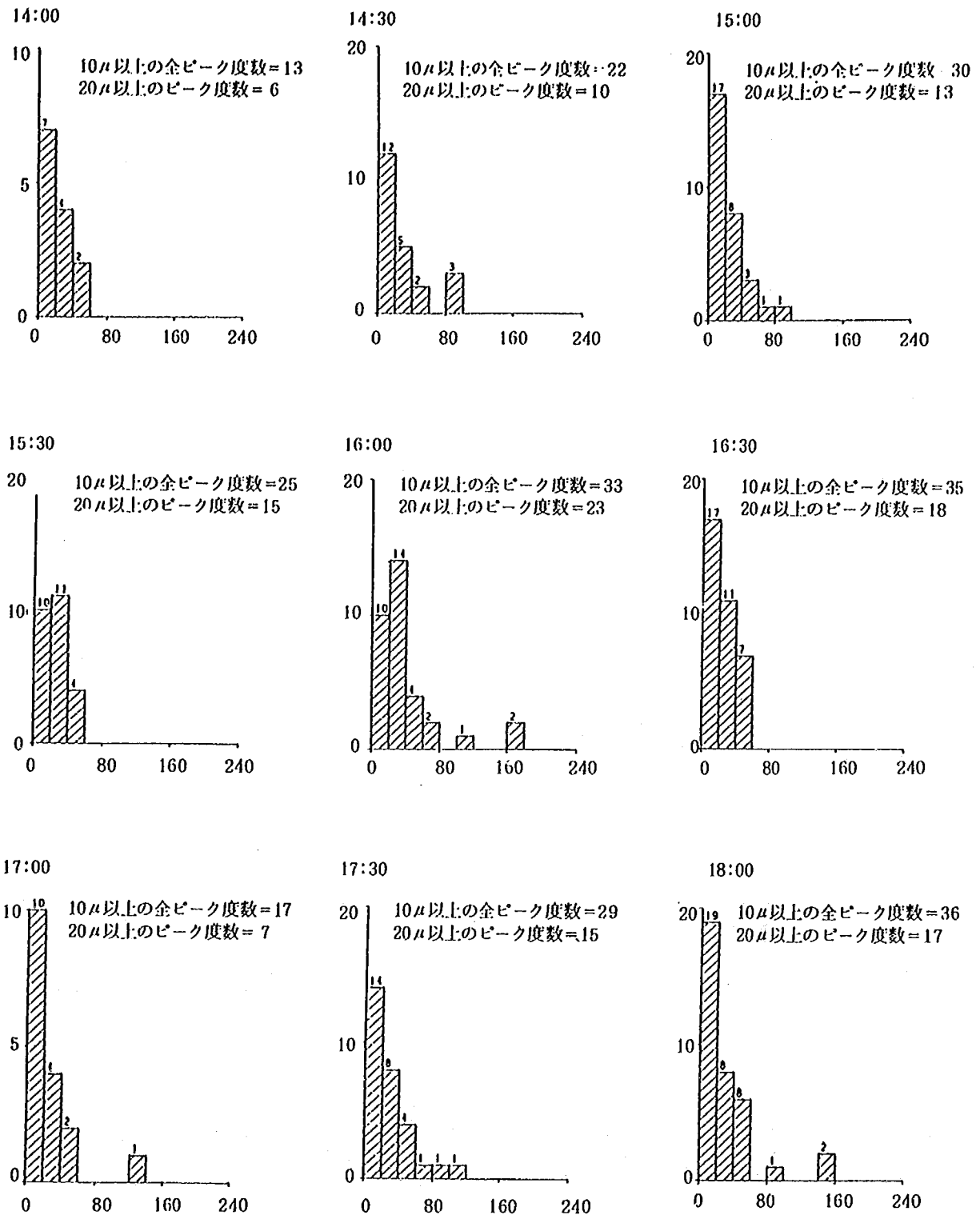


図2-7 (3) S1スパンG1桁 応答値のヒストグラム

18:30

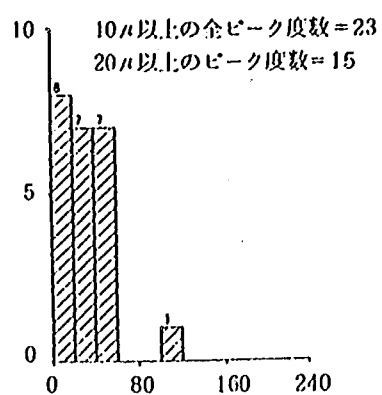


図2-7 (4) S1スパンG1桁 応答値のヒストグラム

表-2.3 (1) 動的係数調査結果一覧表 (S 1 スパン G 1 桁)

時 刻	10 μ 以上の 総ピーク個数	10 μ 以上の ひずみ平均値	動 的 係 数 平 均 値	ひ ず み 最大値 (μ)	ひずみ最大 値に対応す る動的係数
5 : 00	63	47	0.19	175	0.16
5 : 30	85	47	0.21	190	0.16
6 : 00	64	41	0.18	116	0.17
6 : 30	79	37	0.17	196	0.14
7 : 00	40	42	0.17	147	0.15
7 : 30	56	31	0.12	97	0.12
8 : 00	32	34	0.09	127	-0.01
8 : 30	31	35	0.09	200	0.05
9 : 00	34	42	0.10	225	0.00
9 : 30	66	49	0.12	249	0.10
10 : 00	83	69	0.14	269	0.08
10 : 30	78	67	0.14	231	0.12
11 : 00	71	52	0.11	224	0.04
11 : 30	39	53	0.19	225	0.18
12 : 00	35	44	0.16	178	0.21
12 : 30	47	41	0.16	245	0.17
13 : 00	37	34	0.16	112	0.17
13 : 30	33	37	0.15	127	0.18
14 : 00	13	27	0.11	54	0.15
14 : 30	22	36	0.17	108	0.18
15 : 00	30	31	0.17	117	0.22
15 : 30	25	29	0.13	50	0.04
16 : 00	33	45	0.16	195	0.16
16 : 30	35	30	0.18	66	0.16
17 : 00	17	33	0.16	137	0.13
17 : 30	29	37	0.14	125	0.13
18 : 00	36	36	0.12	172	0.10
18 : 30	23	38	0.12	136	0.21

表-2.3 (2) 動的係数調査結果一覧表 (S 1 スパン G 2 桁)

時 刻	10 μ 以上の 総ピーク個数	10 μ 以上の ひずみ平均値	動 的 係 数 平 均 値	ひ ず み 最大値 (μ)	ひずみ最大 値に対する 動的係数
5 : 00	64	43	0.16	137	0.15
5 : 30	95	41	0.17	151	0.15
6 : 00	76	34	0.16	95	0.06
6 : 30	92	33	0.14	153	0.16
7 : 00	53	34	0.14	131	0.19
7 : 30	63	26	0.10	77	0.12
8 : 00	36	31	0.07	114	0.01
8 : 30	33	35	0.10	156	0.06
9 : 00	32	40	0.06	172	0.00
9 : 30	75	44	0.08	190	0.10
10 : 00	84	61	0.12	210	0.06
10 : 30	87	52	0.12	193	0.13
11 : 00	56	48	0.09	177	0.04
11 : 30	36	46	0.14	181	0.19
12 : 00	35	37	0.14	141	0.22
12 : 30	44	37	0.14	181	0.17
13 : 00	36	31	0.13	87	0.18
13 : 30	35	32	0.12	97	0.18
14 : 00	19	23	0.13	55	0.10
14 : 30	21	31	0.14	86	0.19
15 : 00	33	27	0.13	90	0.25
15 : 30	33	25	0.10	70	0.16
16 : 00	31	41	0.15	157	0.16
16 : 30	32	29	0.14	75	0.26
17 : 00	19	28	0.10	105	0.13
17 : 30	28	36	0.12	96	0.15
18 : 00	36	34	0.12	128	0.14
18 : 30	26	33	0.12	109	0.22

表-2.3 (3) 動的係数調査結果一覧表 (S 1 スパン G 3 桁)

時 刻	10 μ 以上の 総ピーク個数	10 μ 以上の ひずみ平均値	動 的 係 数 平 均 値	ひ ず み 最大値 (μ)	ひずみ最大 値に対応す る動的係数
5 : 00	61	39	0.14	98	0.11
5 : 30	86	38	0.14	98	0.09
6 : 00	68	29	0.17	95	0.06
6 : 30	91	33	0.11	104	0.02
7 : 00	100	24	0.12	109	0.07
7 : 30	68	22	0.10	55	0.04
8 : 00	35	30	0.08	97	0.02
8 : 30	49	27	0.08	167	0.03
9 : 00	50	26	0.08	80	0.01
9 : 30	97	33	0.08	187	0.02
10 : 00	97	45	0.11	218	0.05
10 : 30	100	37	0.10	105	0.13
11 : 00	73	30	0.09	76	0.05
11 : 30	34	33	0.16	81	0.05
12 : 00	38	27	0.15	58	0.34
12 : 30	42	30	0.15	81	0.05
13 : 00	31	26	0.14	70	0.07
13 : 30	39	25	0.12	53	0.10
14 : 00	16	30	0.10	87	0.05
14 : 30	26	21	0.15	42	0.13
15 : 00	32	28	0.11	81	0.06
15 : 30	27	28	0.07	98	0.14
16 : 00	22	34	0.15	105	0.15
16 : 30	22	31	0.11	112	0.21
17 : 00	36	31	0.08	52	-0.02
17 : 30	36	30	0.11	81	0.07
18 : 00	39	33	0.11	180	0.09
18 : 30	30	27	0.07	70	0.00

表-2.3 (4) 動的係数調査結果一覧表 (S 2 スパン G 1 桁)

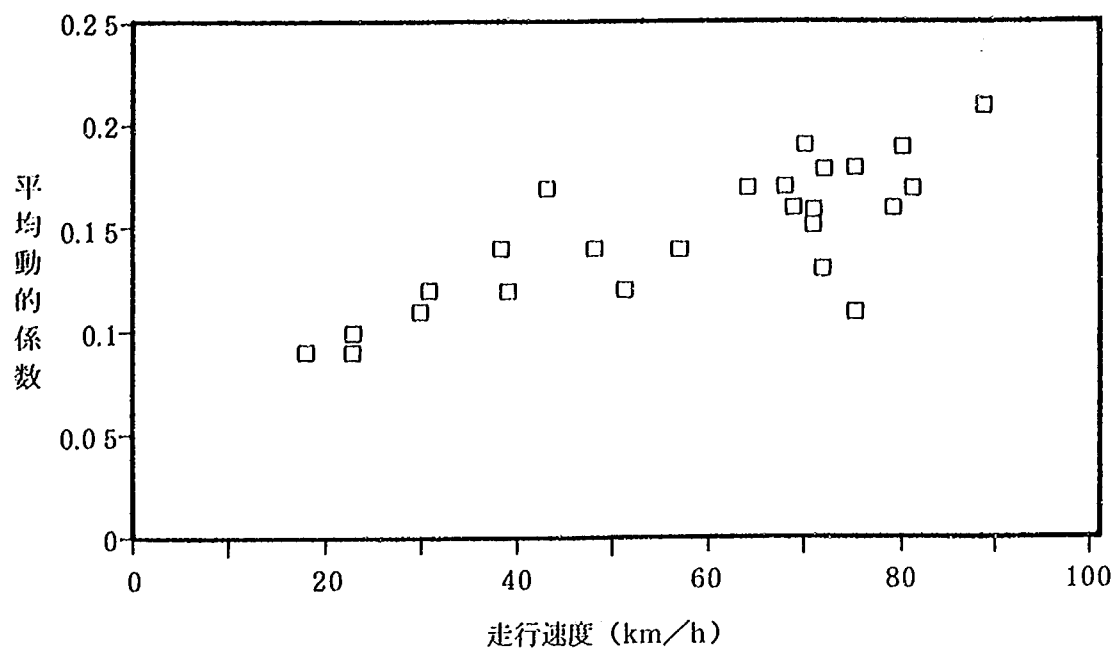
時 刻	10 μ 以上の 総ピーク個数	10 μ 以上の ひずみ平均値	動 的 係 数 平 均 値	ひ ず み 最大値 (μ)	ひずみ最大 値に対する 動的係数
5 : 00	53	41	0.13	129	0.04
5 : 30	92	40	0.13	139	-0.01
6 : 00	100	33	0.14	91	0.05
6 : 30	100	41	0.11	158	-0.00
7 : 00	100	41	0.07	132	0.04
7 : 30	100	46	0.05	107	0.03
8 : 00	70	29	0.08	112	0.00
8 : 30	100	31	0.07	148	-0.00
9 : 00	94	44	0.08	187	-0.00
9 : 30	100	50	0.08	181	0.04
10 : 00	100	62	0.11	212	0.06
10 : 30	100	58	0.10	177	0.06
11 : 00	97	47	0.07	163	-0.01
11 : 30	100	44	0.09	183	0.07
12 : 00	100	37	0.08	128	-0.00
12 : 30	100	34	0.09	179	0.03
13 : 00	61	27	0.08	93	0.04
13 : 30	64	25	0.08	94	0.07
14 : 00	18	23	0.11	45	-0.02
14 : 30	19	30	0.08	86	0.06
15 : 00	24	27	0.10	82	0.03
15 : 30	22	23	0.09	41	0.08
16 : 00	29	39	0.09	166	0.05
16 : 30	20	28	0.10	53	0.18
17 : 00	14	28	0.11	97	-0.01
17 : 30	24	32	0.08	106	0.03
18 : 00	45	29	0.08	132	0.03
18 : 30	57	24	0.07	108	0.07

表-2.3 (5) ひずみ, 動的係数調査結果一覧表 (S 3 スパン G 1 桁)

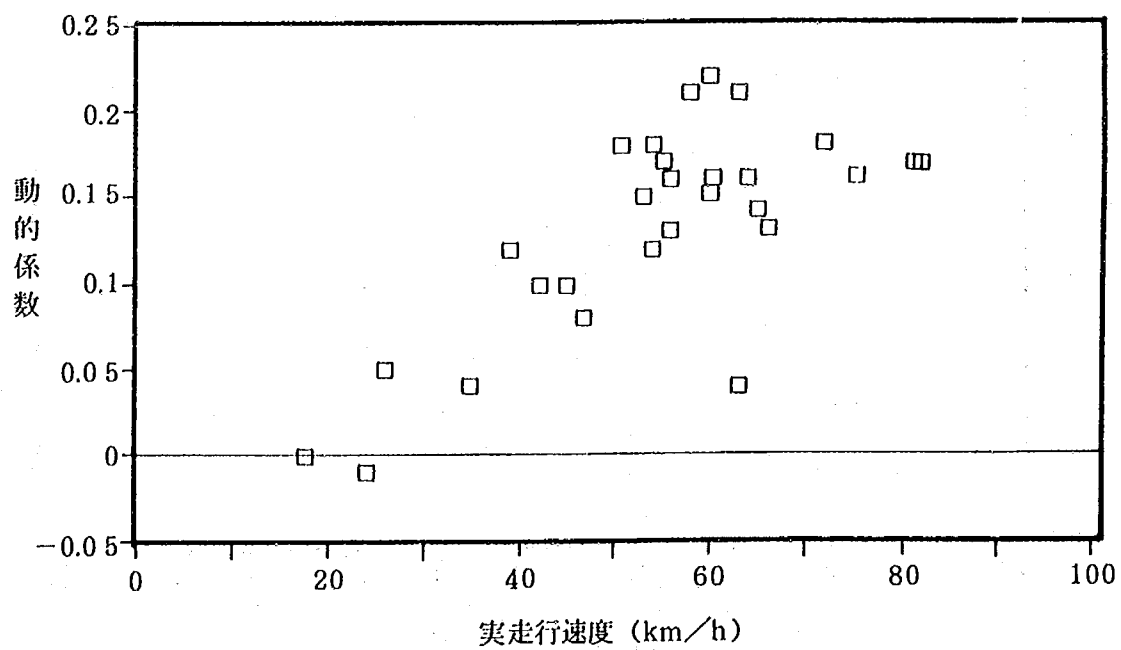
時 刻	10 μ 以上の 総ピーク個数	10 μ 以上の ひずみ平均値	動 的 係 数 平 均 値	ひ ず み 最大値 (μ)	ひずみ最大 値に対応す る動的係数
5 : 00	45	36	0.09	107	0.09
5 : 30	55	34	0.09	118	0.08
6 : 00	49	31	0.07	73	0.04
6 : 30	47	28	0.12	122	0.00
7 : 00	30	30	0.09	77	0.09
7 : 30	25	28	0.09	63	0.08
8 : 00	13	37	0.08	65	-0.00
8 : 30	11	39	0.09	131	0.01
9 : 00	9	67	0.06	158	0.01
9 : 30	33	44	0.09	133	-0.01
10 : 00	36	60	0.12	155	0.09
10 : 30	42	48	0.10	134	0.06
11 : 00	45	48	0.09	165	0.01
11 : 30	26	47	0.08	150	0.07
12 : 00	30	36	0.06	108	-0.01
12 : 30	40	32	0.08	161	0.05
13 : 00	27	28	0.07	76	0.07
13 : 30	24	29	0.08	75	0.07
14 : 00	12	25	0.08	64	0.01
14 : 30	18	28	0.08	72	0.06
15 : 00	24	24	0.08	77	0.02
15 : 30	17	26	0.07	58	0.08
16 : 00	26	38	0.07	132	0.05
16 : 30	27	28	0.06	191	0.05
17 : 00	11	28	0.04	86	-0.03
17 : 30	19	31	0.09	96	0.04
18 : 00	24	21	0.07	113	0.05
18 : 30	19	30	0.08	89	0.08

表-2.3 (6) ひずみ、動的係数調査結果一覧表 (S4スパンG1桁)

時刻	10 μ 以上の 総ピーク個数	10 μ 以上の ひずみ平均値	動的係数 平均値	ひずみ 最大値 (μ)	ひずみ最大 値に対する 動的係数
5:00	41	35	0.08	113	0.04
5:30	64	33	0.11	107	0.01
6:00	52	29	0.09	71	0.07
6:30	60	28	0.10	135	0.12
7:00	34	32	0.07	79	0.02
7:30	36	26	0.08	62	0.05
8:00	18	34	0.07	80	0.03
8:30	20	31	0.09	132	0.02
9:00	22	50	0.04	159	0.02
9:30	41	44	0.06	138	0.07
10:00	46	55	0.12	161	0.07
10:30	48	51	0.05	132	0.05
11:00	41	46	0.06	156	0.02
11:30	27	42	0.13	137	0.09
12:00	26	35	0.05	107	0.04
12:30	30	33	0.07	142	0.05
13:00	22	26	0.09	67	0.09
13:30	14	34	0.04	72	-0.02
14:00	10	26	0.09	61	0.04
14:30	10	34	0.07	67	0.10
15:00	14	27	0.08	67	0.02
15:30	12	24	0.06	46	0.01
16:00	24	36	0.14	128	0.03
16:30	23	29	0.08	185	0.01
17:00	11	26	0.05	88	0.07
17:30	17	31	0.08	97	0.00
18:00	23	31	0.10	110	0.01
18:30	19	28	0.06	83	0.11

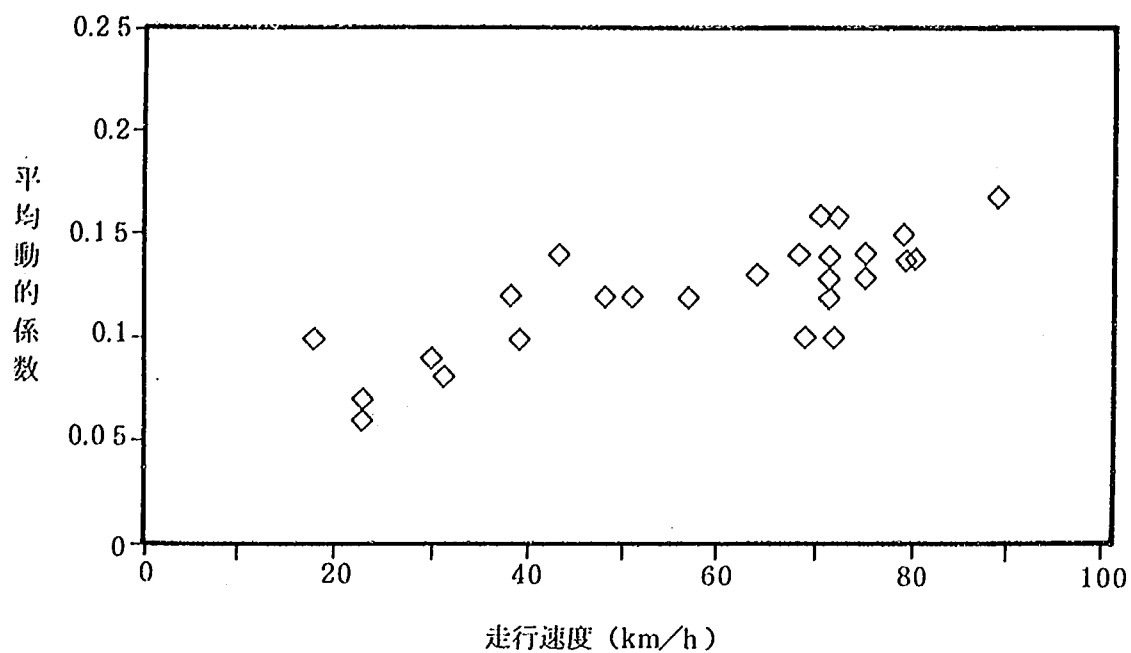


(a) 平均動的係数－走行速度

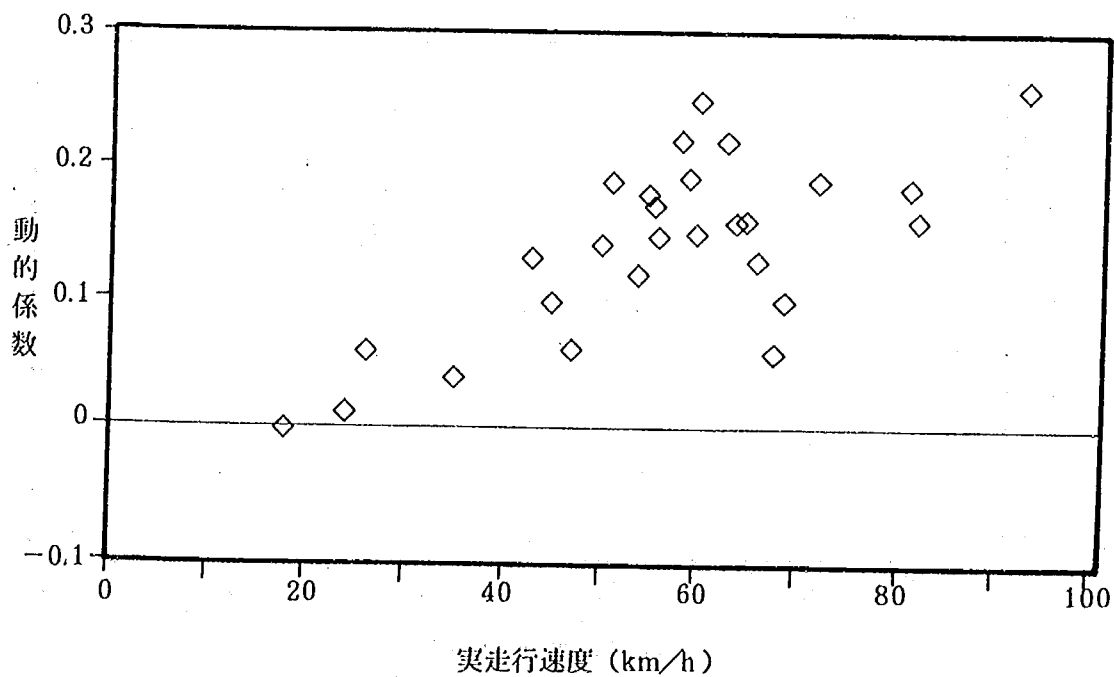


(b) 最大ひずみに対応する動的係数－走行速度

図-2.8 動的係数と走行速度の関係 (1) S 1 - G 1

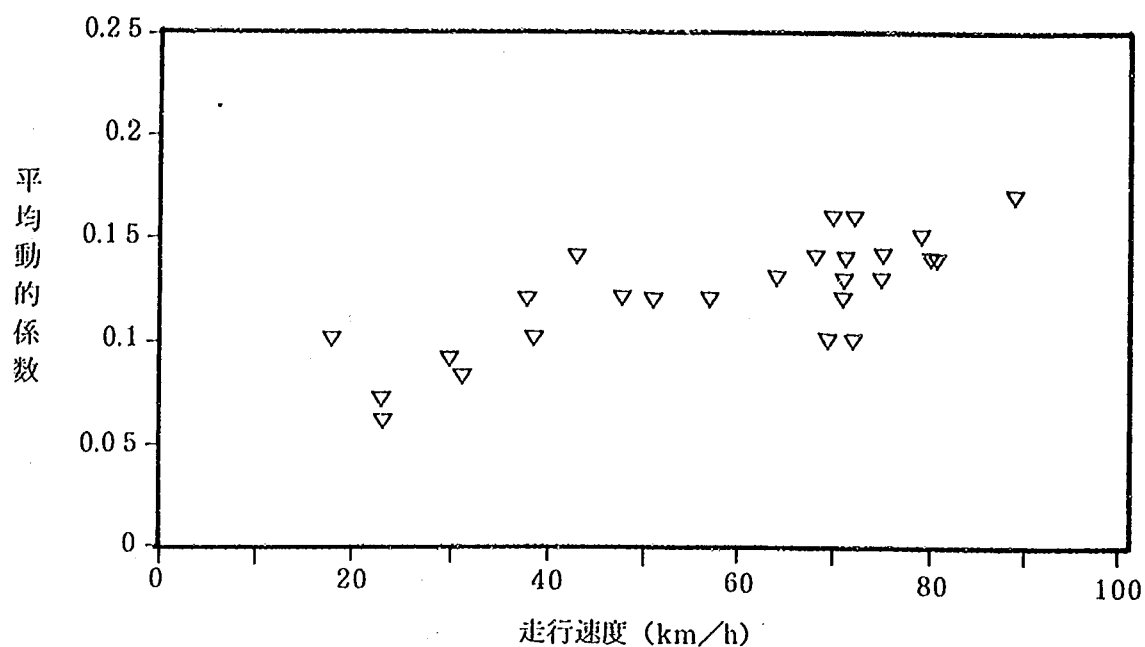


(a) 平均動的係数－走行速度

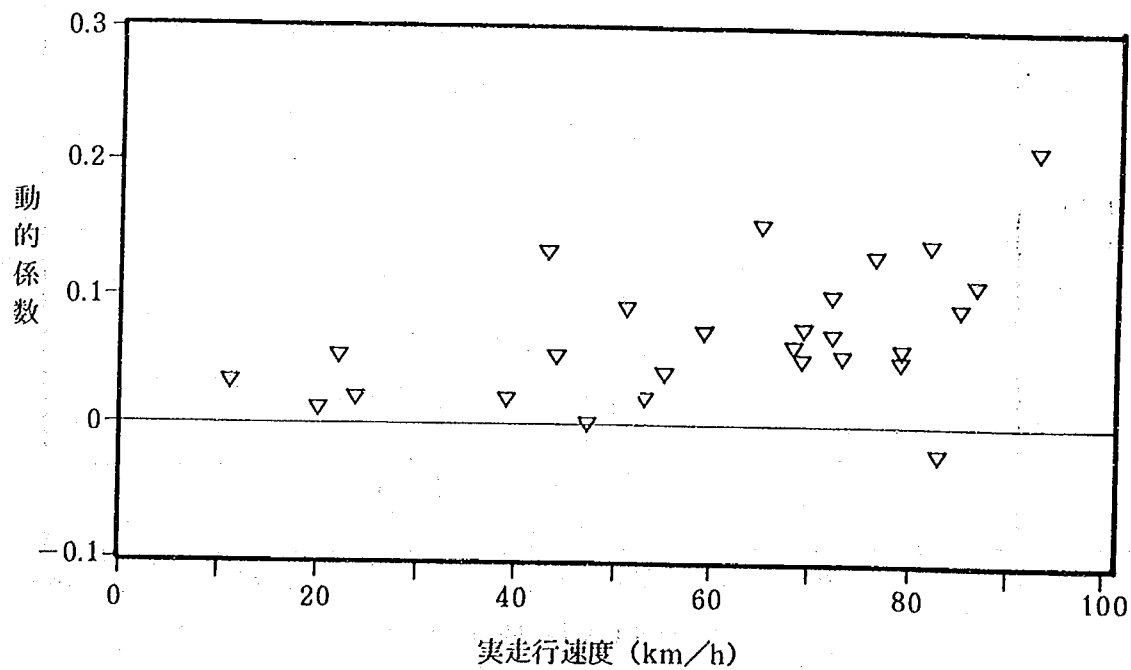


(b) 最大ひずみに対応する動的係数－走行速度

図-2.8 動的係数と走行速度の関係 (2) S 1 - G 2

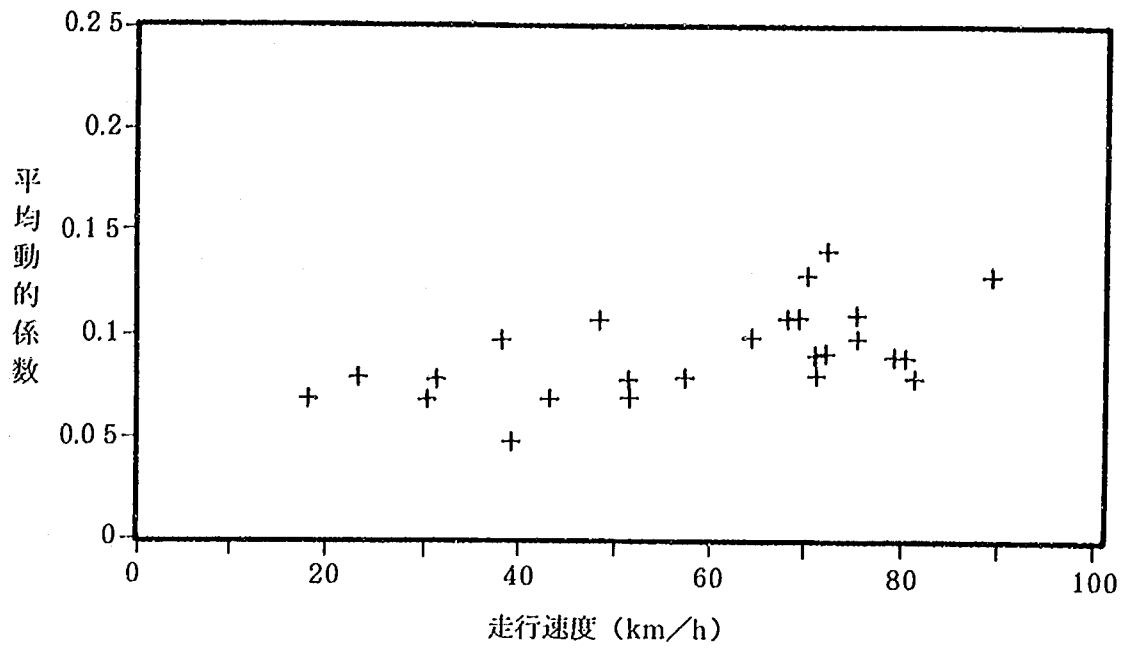


(a) 平均動的係数－走行速度

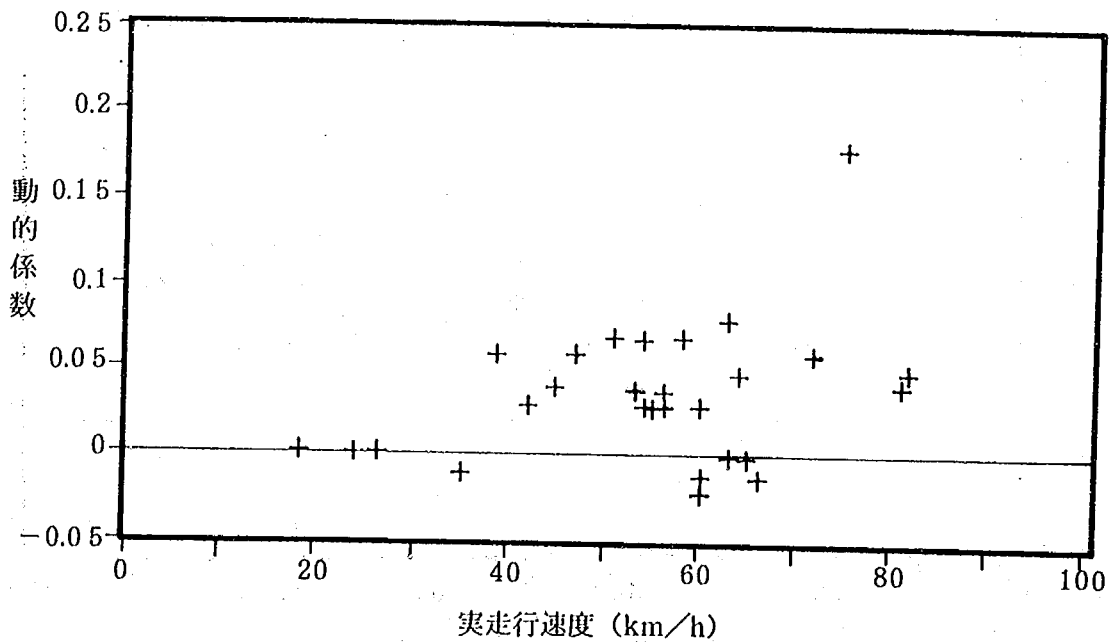


(b) 最大ひずみに対応する動的係数－走行速度

図-2.8 動的係数と走行速度の関係 (3) S1-G3

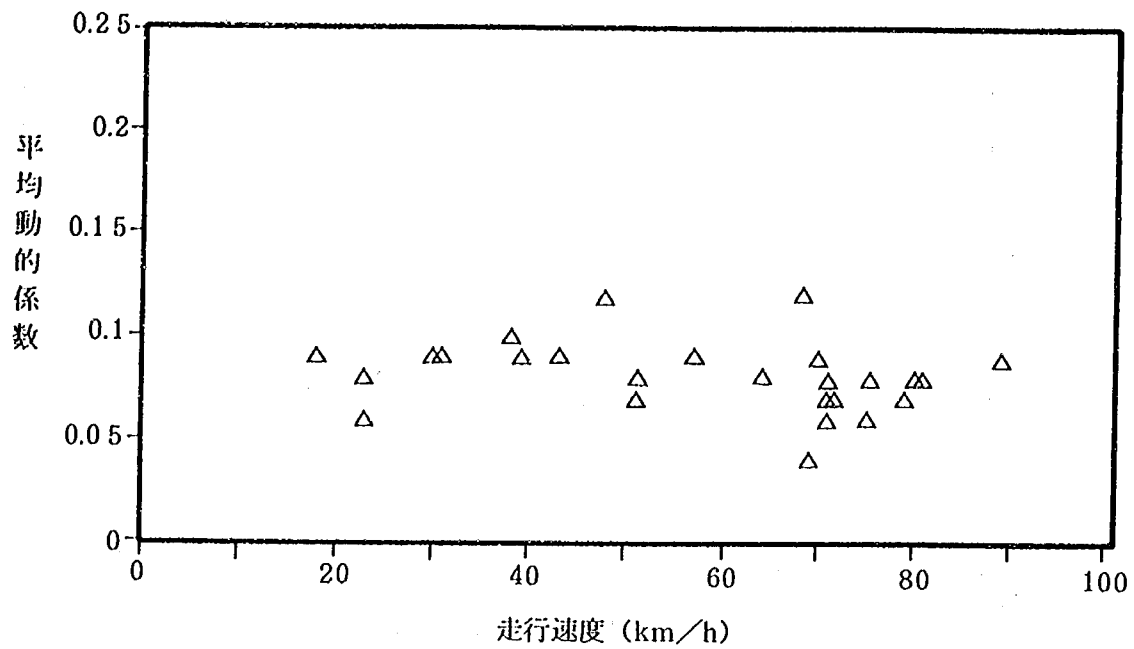


(a) 平均動的係数－走行速度

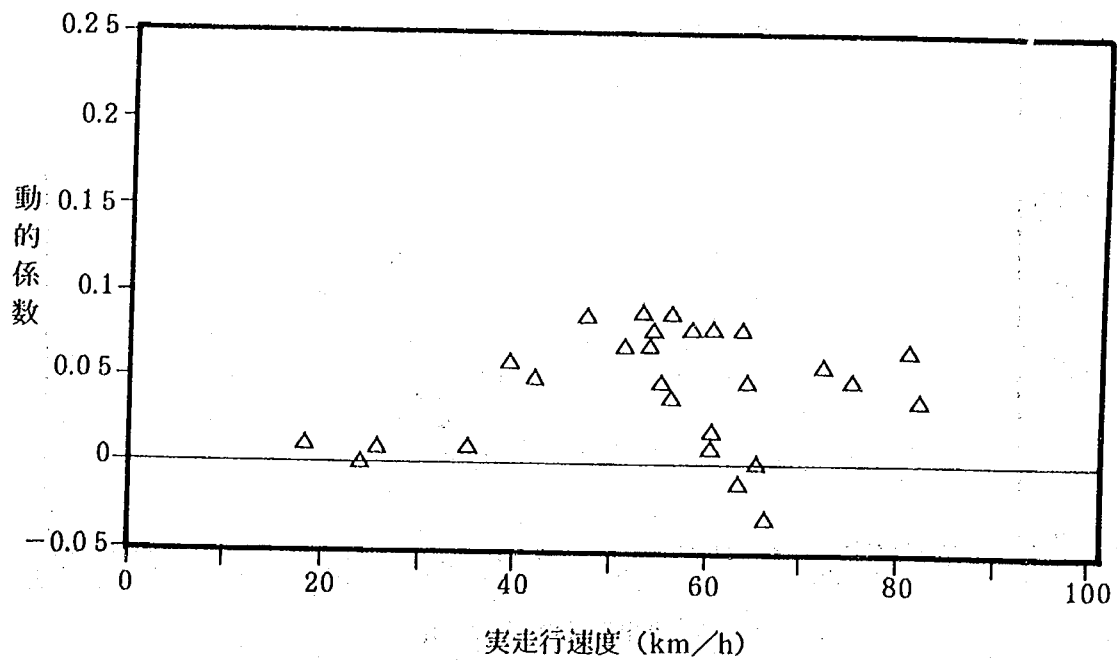


(b) 最大ひずみに対応する動的係数－走行速度

図-2.8 動的係数と走行速度の関係 (4) S 2 - G 1

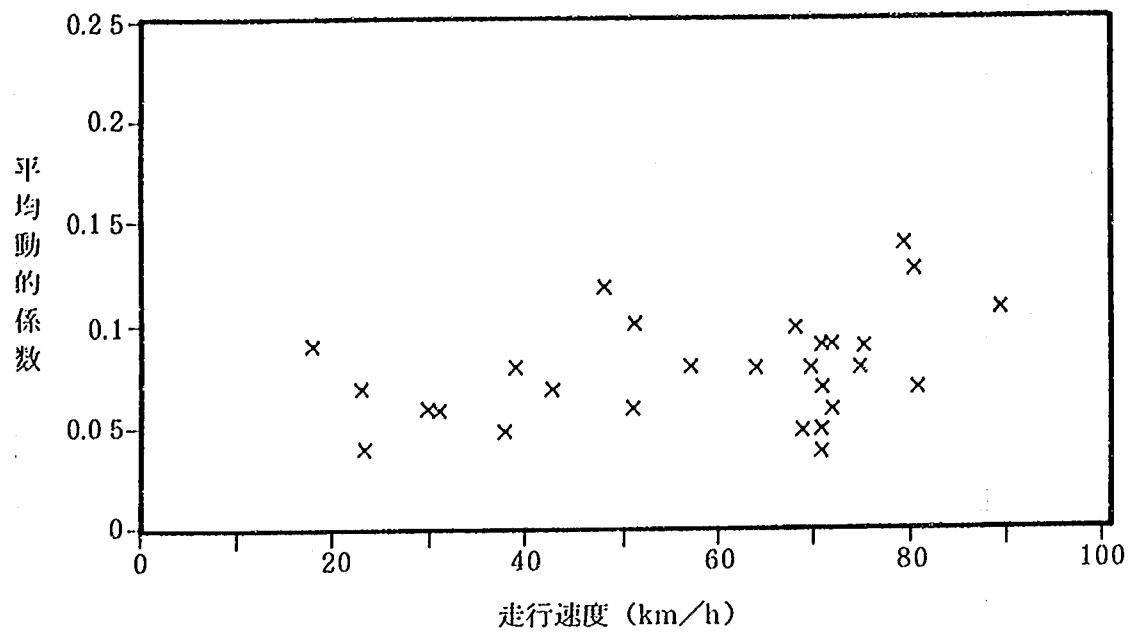


(a) 平均動的係数－走行速度

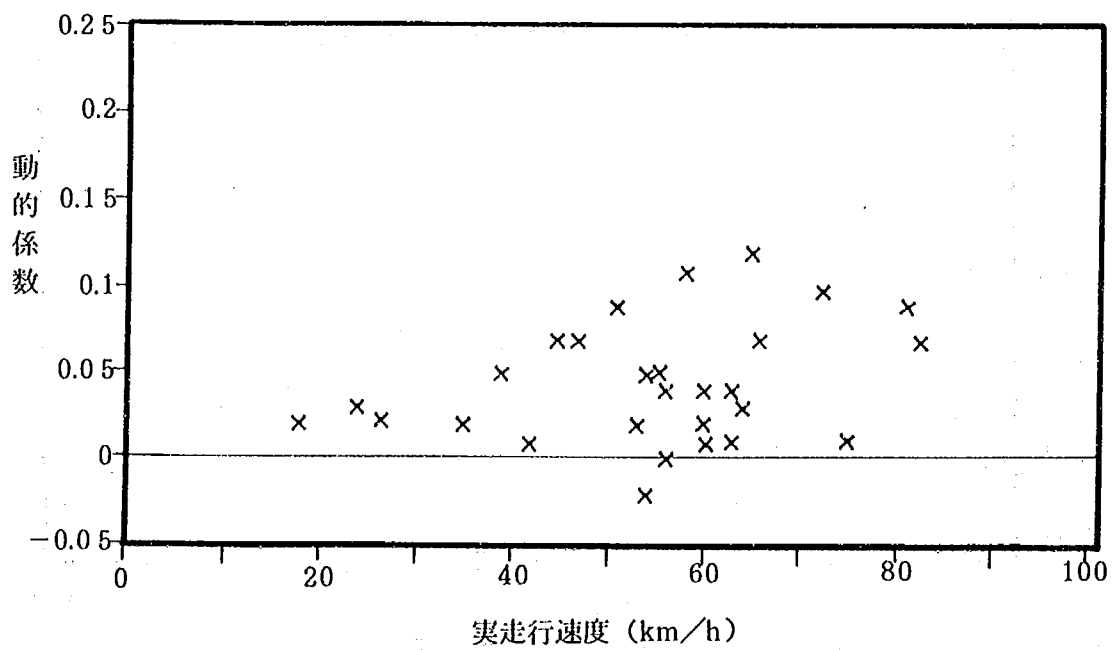


(b) 最大ひずみに対応する動的係数－走行速度

図-2.8 動的係数と走行速度の関係 (5) S 3 - G 1



(a) 平均動的係数－走行速度



(b) 最大ひずみに対応する動的係数－走行速度

図-2.8 動的係数と走行速度の関係 (6) S 4 - G 1

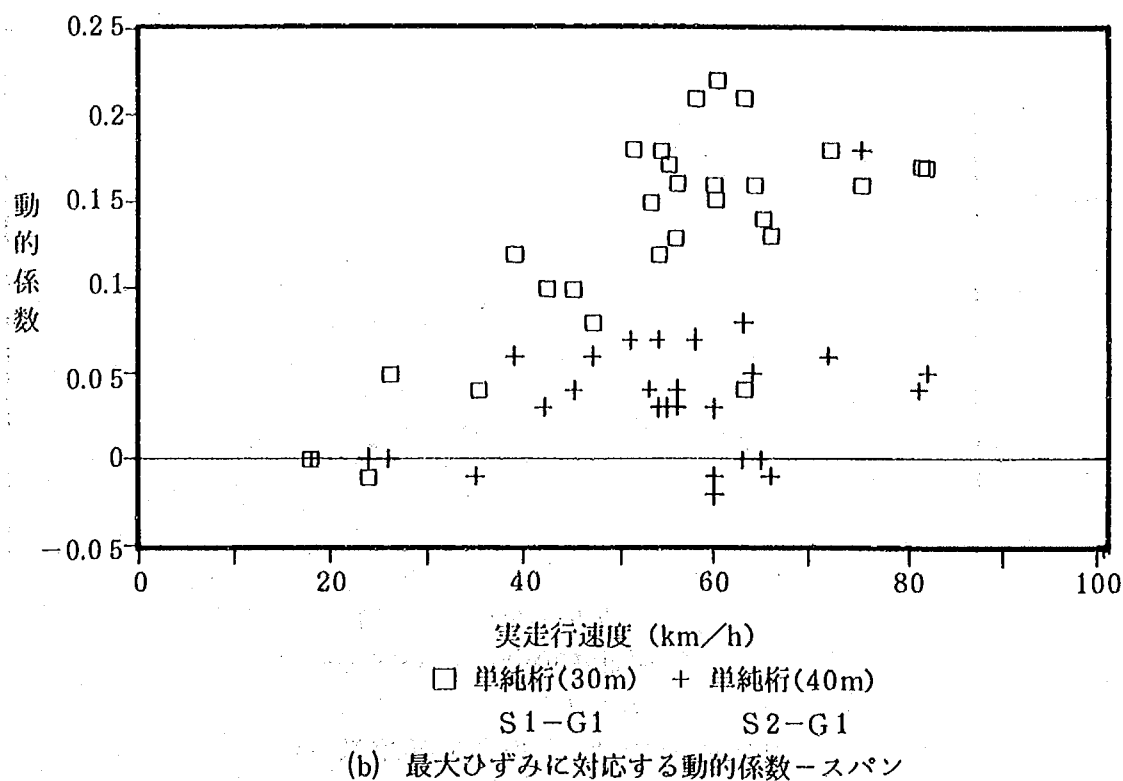
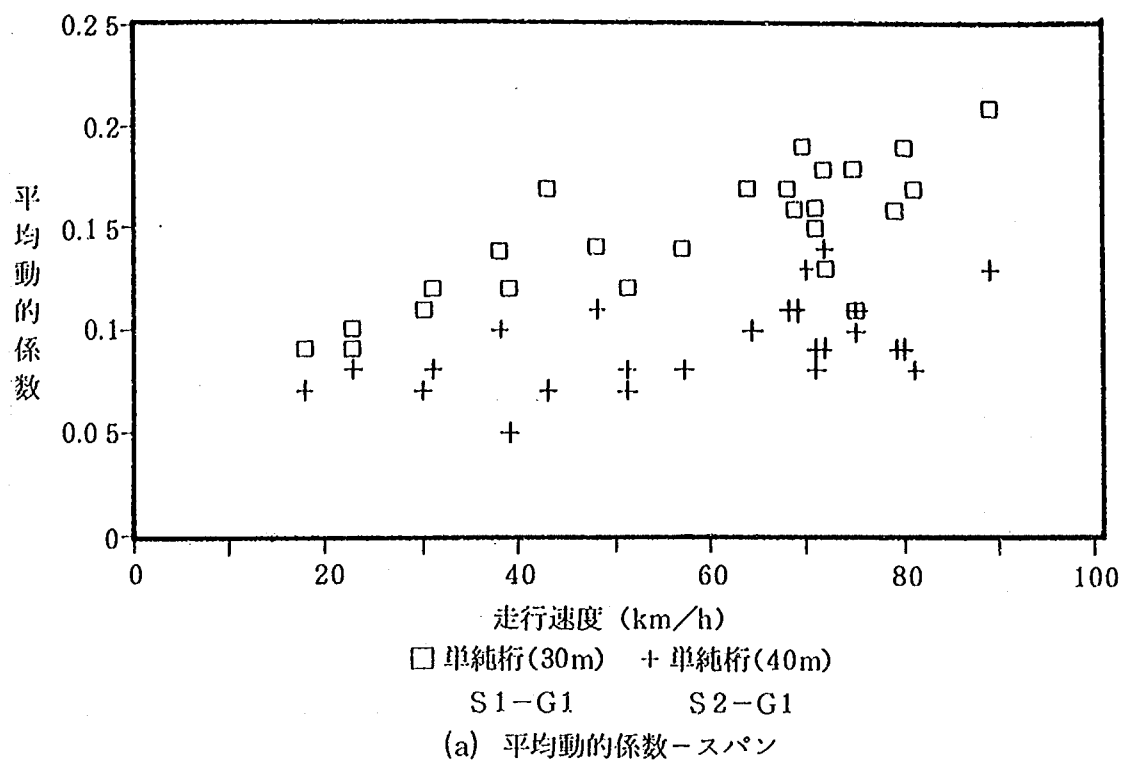


図-2.9 動的係数とスパンの関係 (1) S1-G1とS2-G1

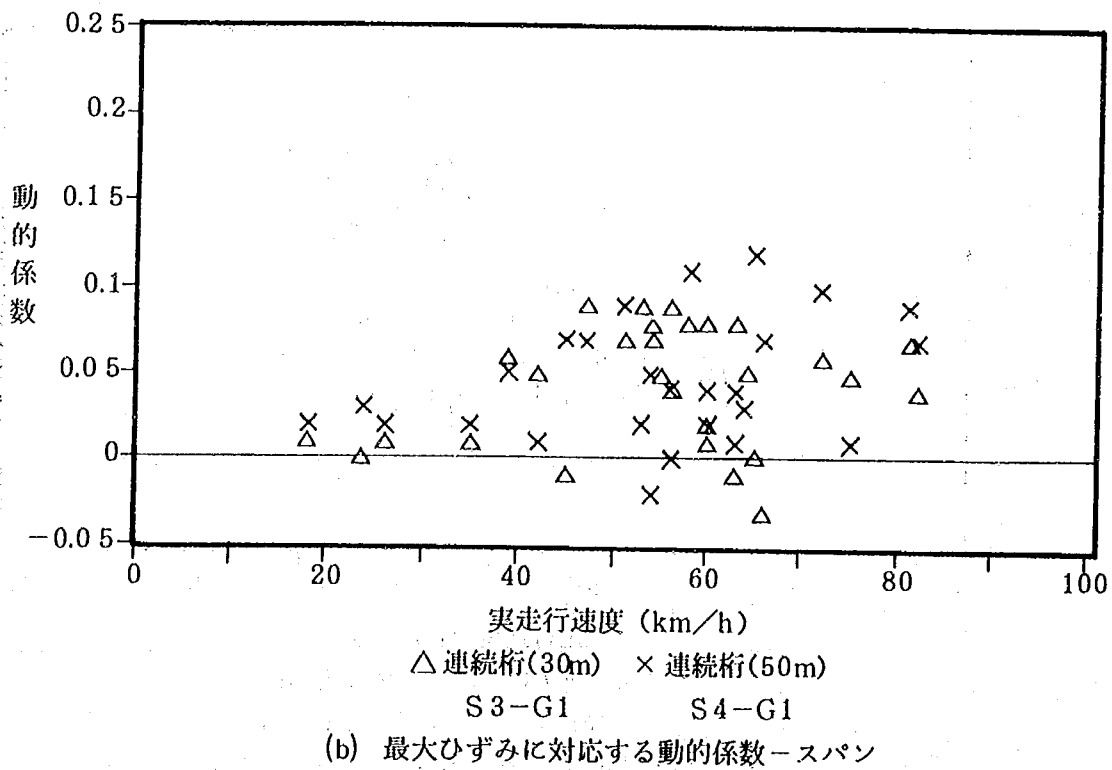
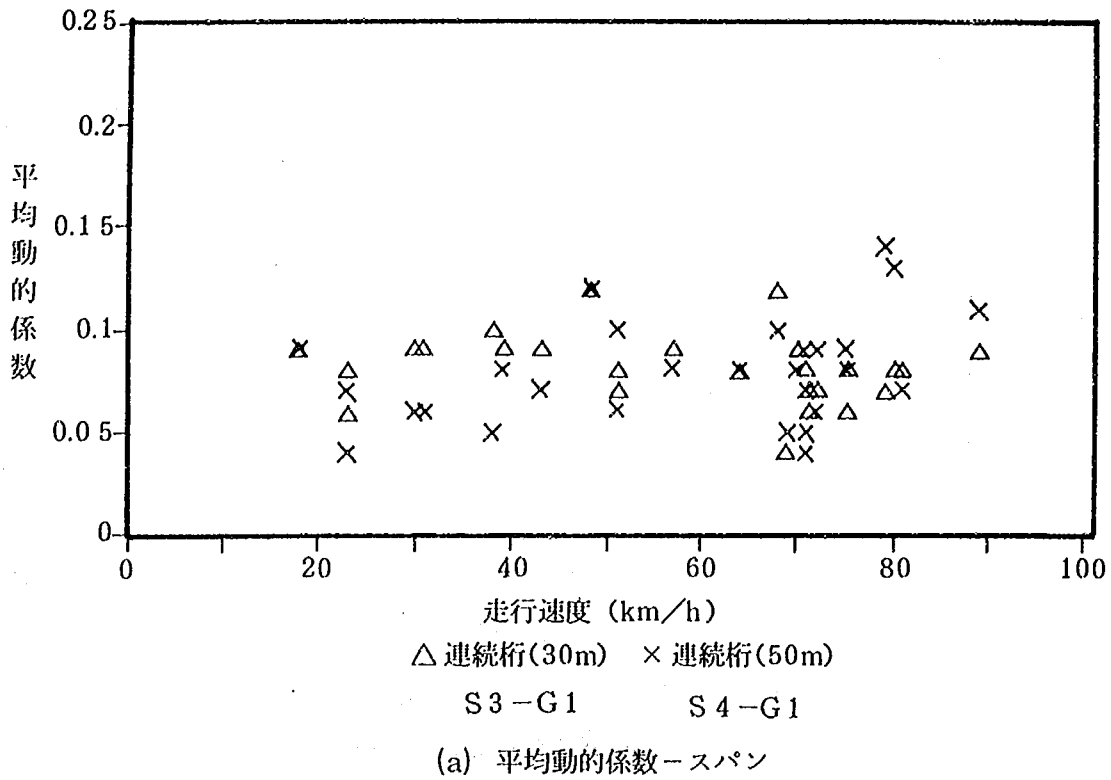


図-2.9 動的係数とスパンの関係 (2) S3-G1とS4-G1

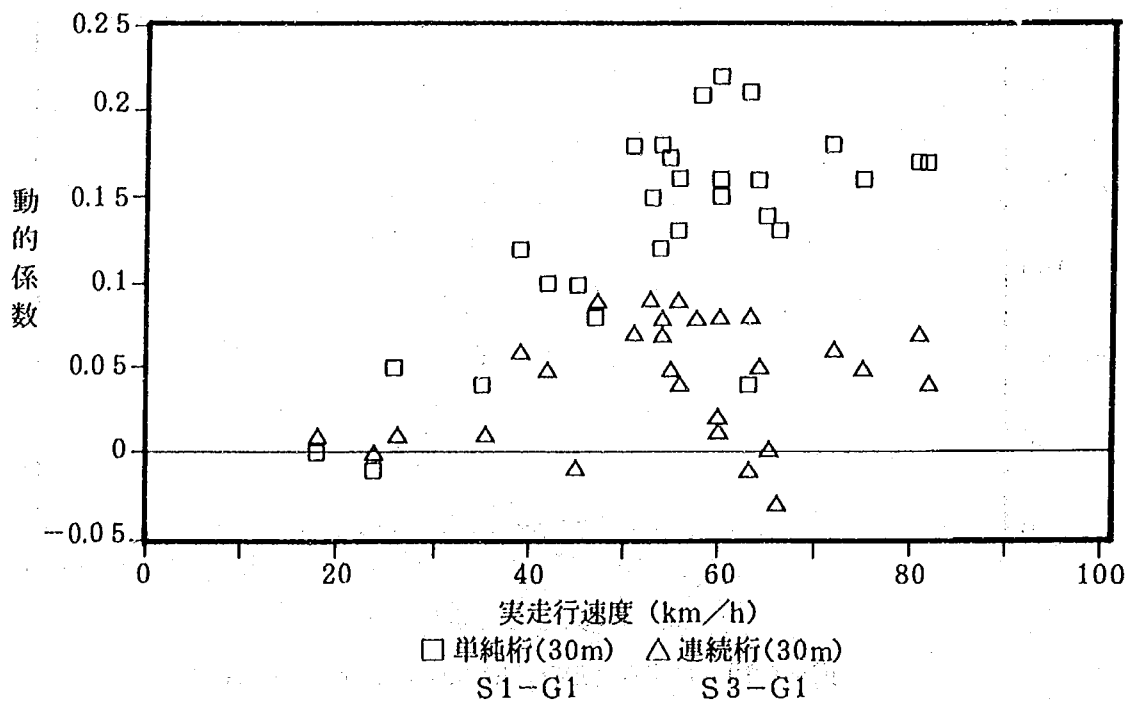
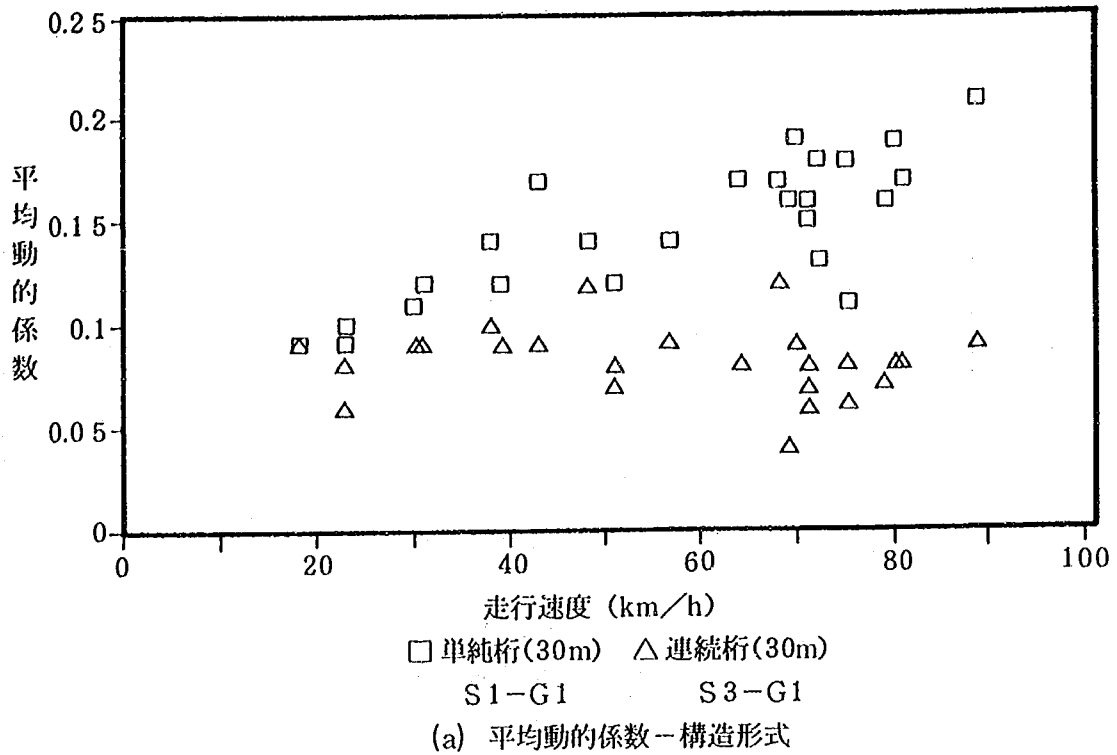
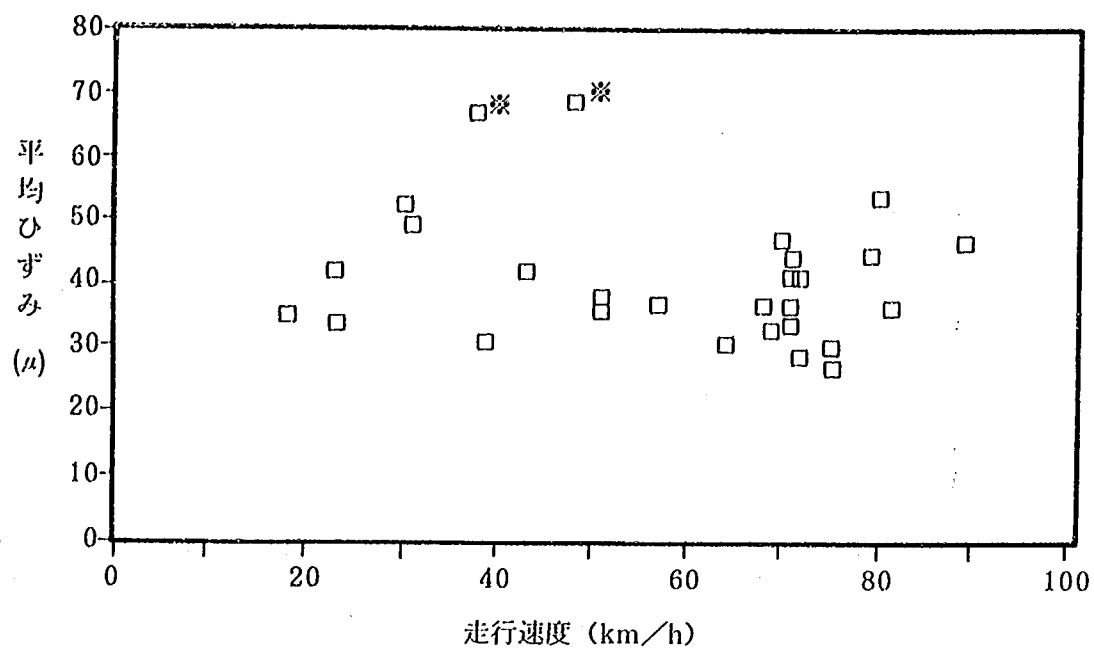
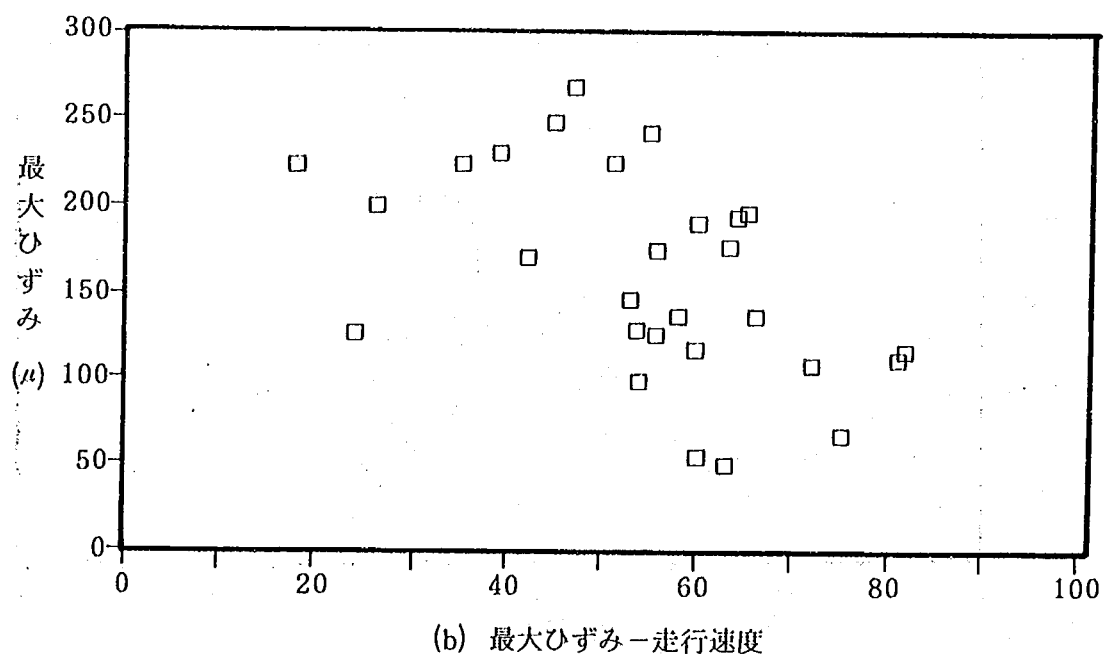


図-2.9 動的係数とスパンの関係 (3) S1-G1とS3-G1

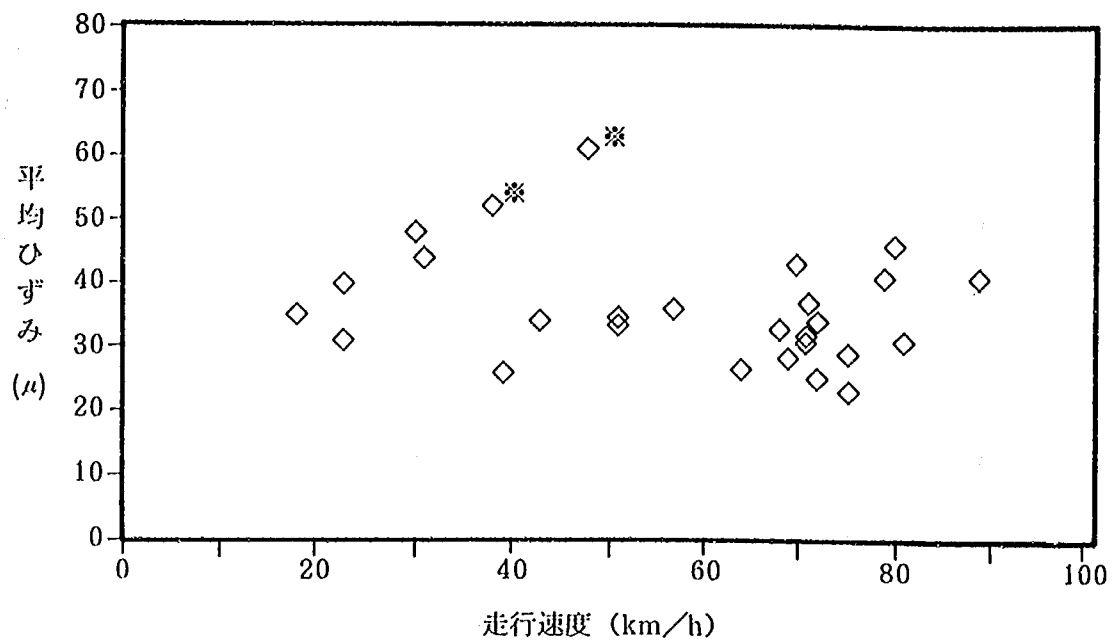


(a) 平均ひずみ－走行速度

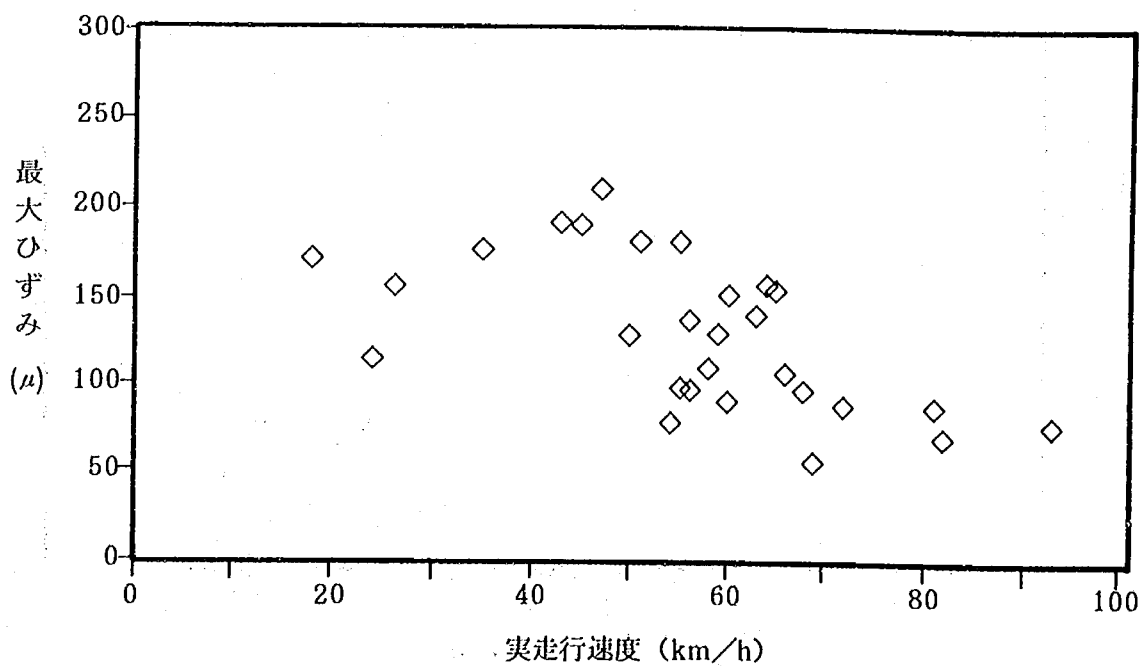


(b) 最大ひずみ－走行速度

図-2.10 ひずみと走行速度の関係 (1) S 1-G 1

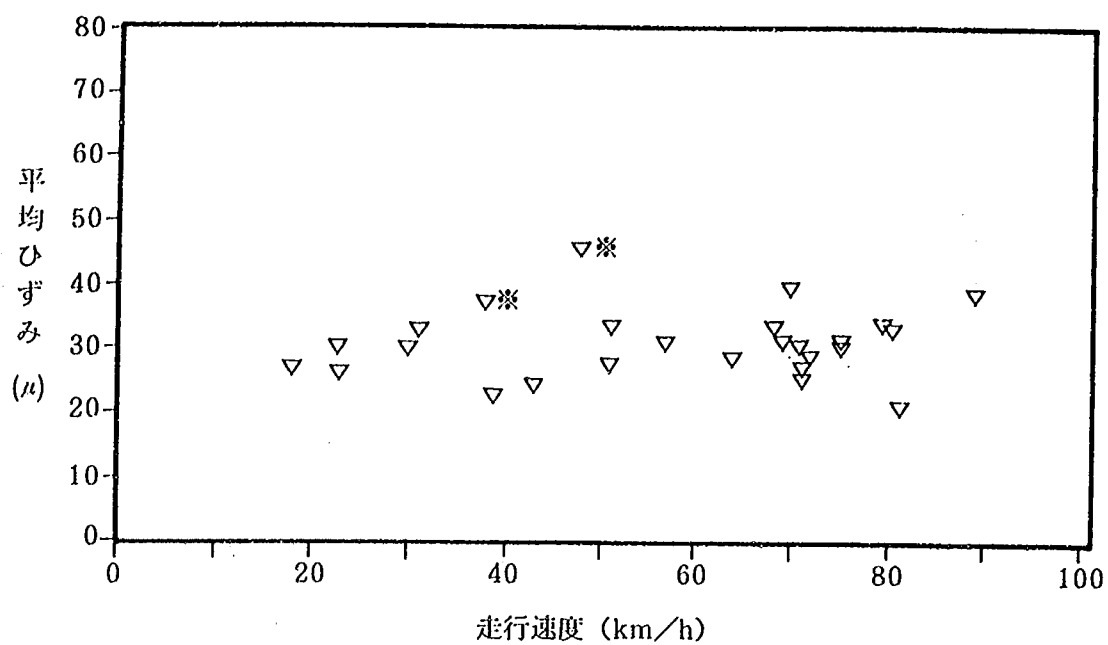


(a) 平均ひずみ－走行速度

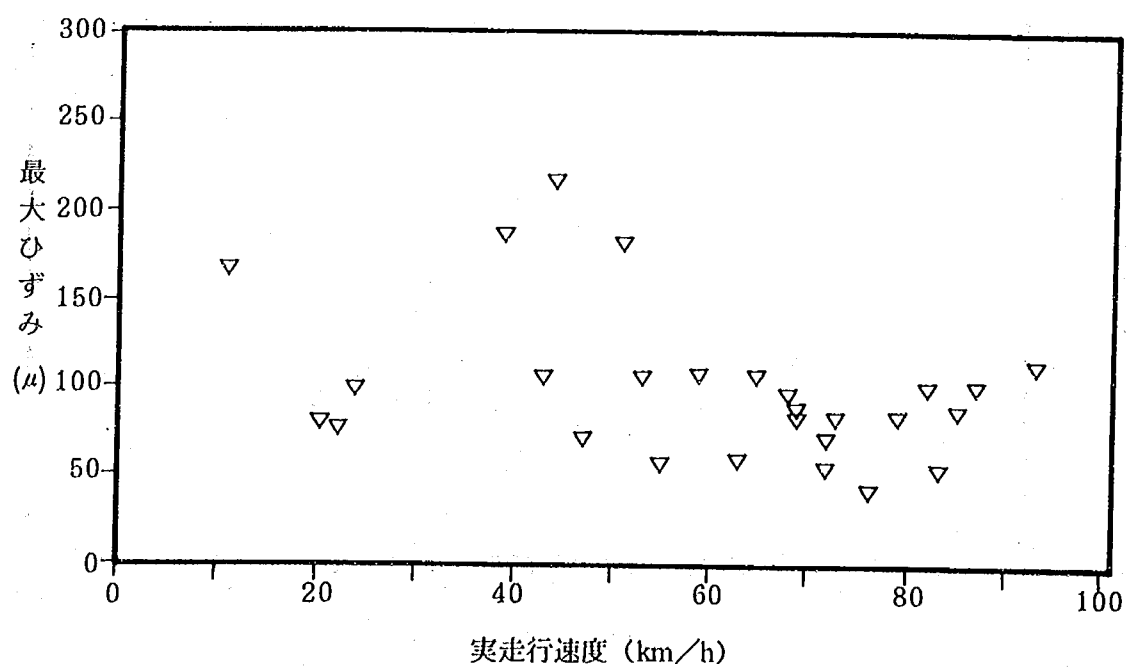


(b) 最大ひずみ－走行速度

図-2.10 ひずみと走行速度の関係 (2) S1-G2

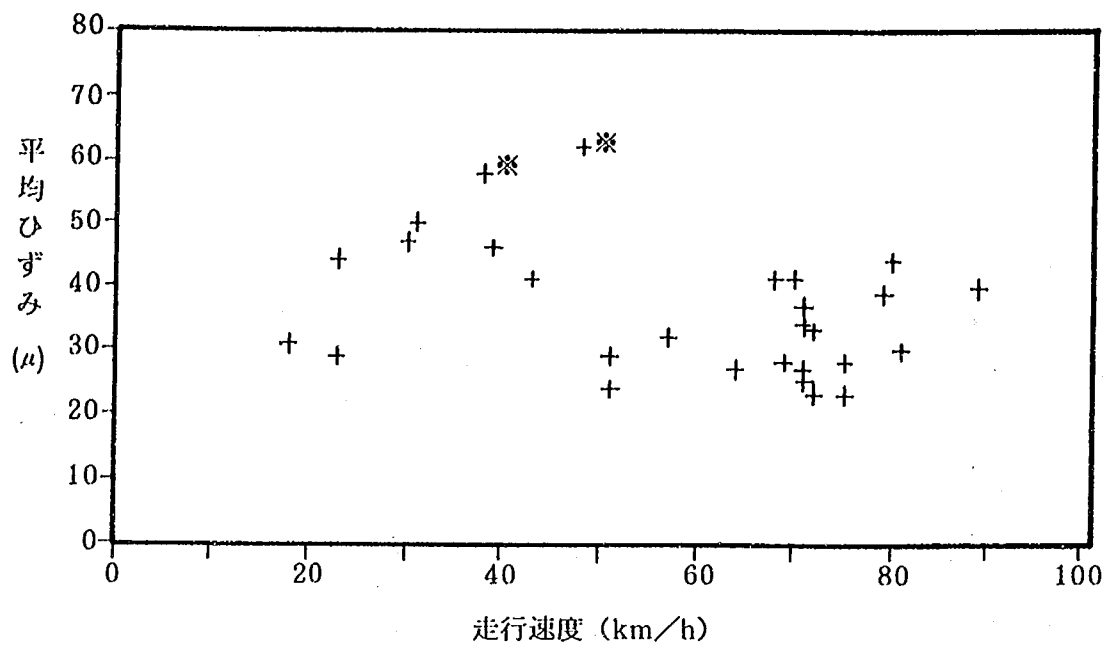


(a) 平均ひずみ－走行速度

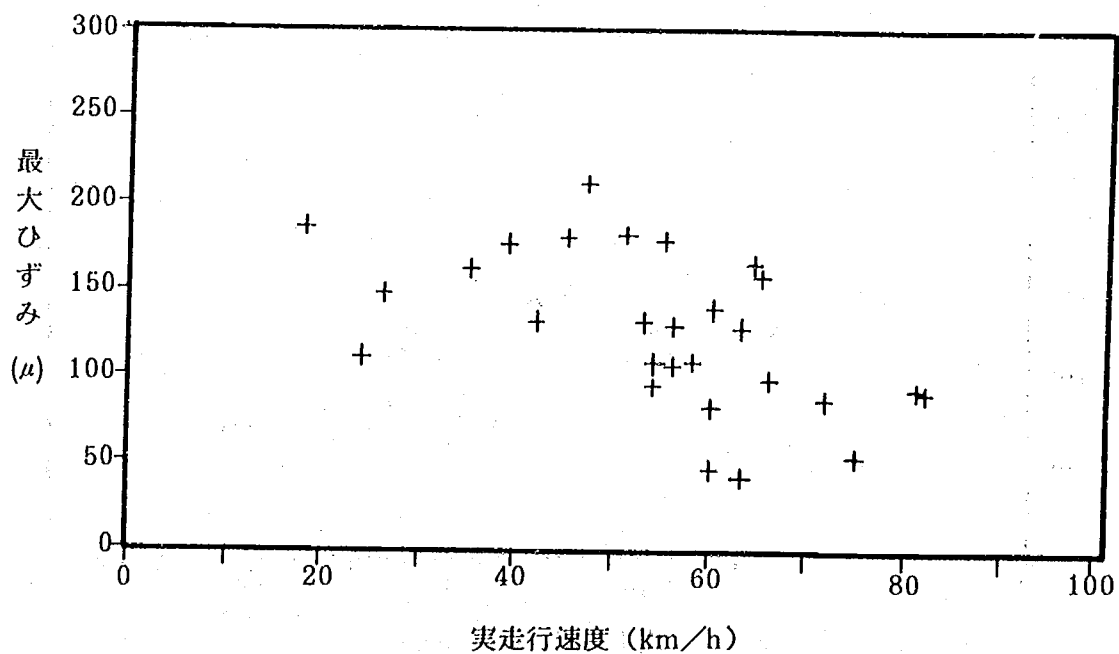


(b) 最大ひずみ－走行速度

図-2.10 ひずみと走行速度の関係 (3) S1-G3

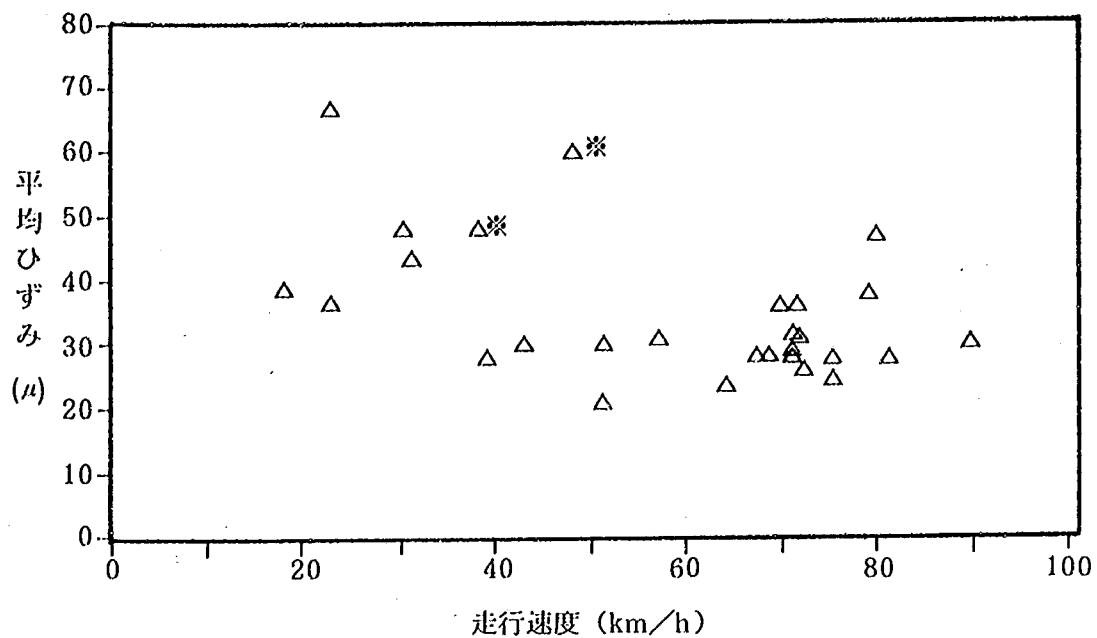


(a) 平均ひずみ－走行速度

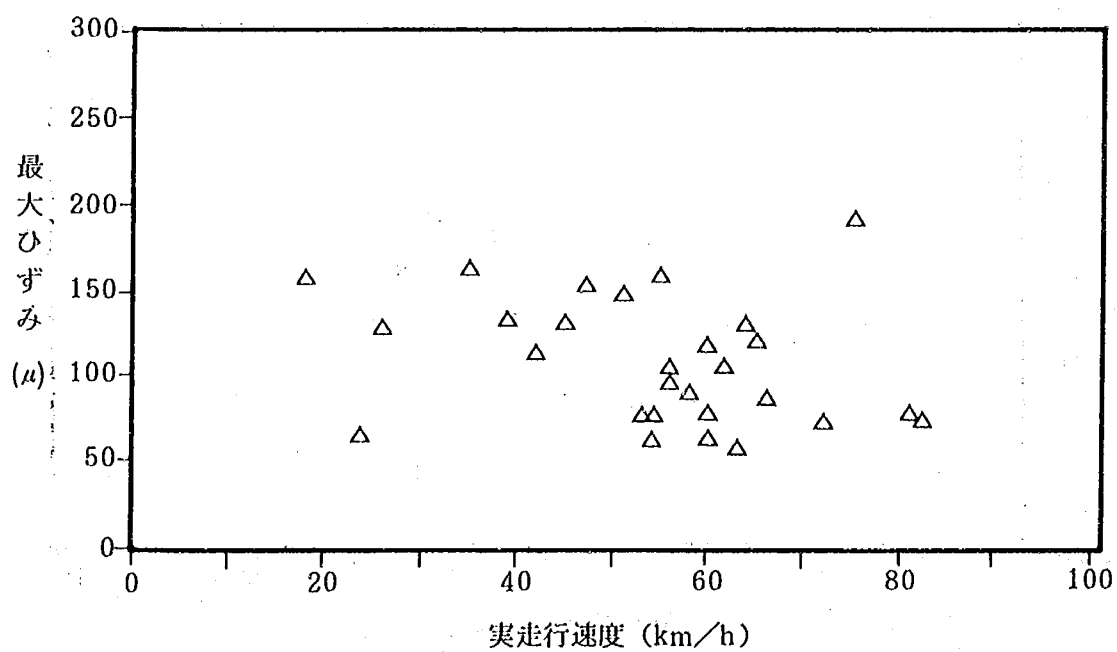


(b) 最大ひずみ－走行速度

図-2.10 ひずみと走行速度の関係 (4) S 2 - G 1

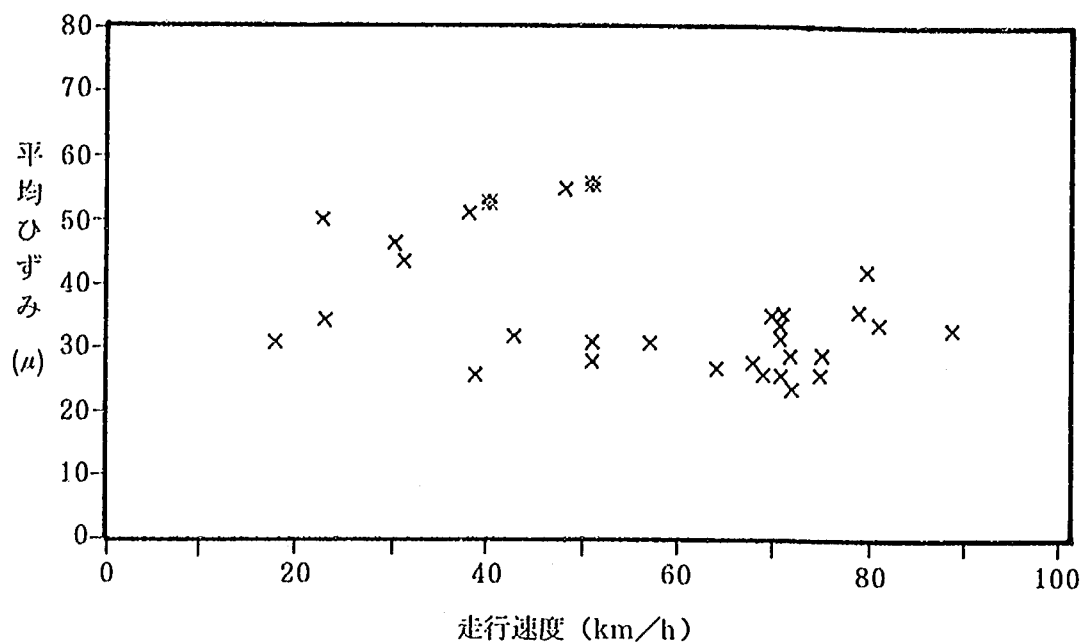


(a) 平均ひずみ－走行速度

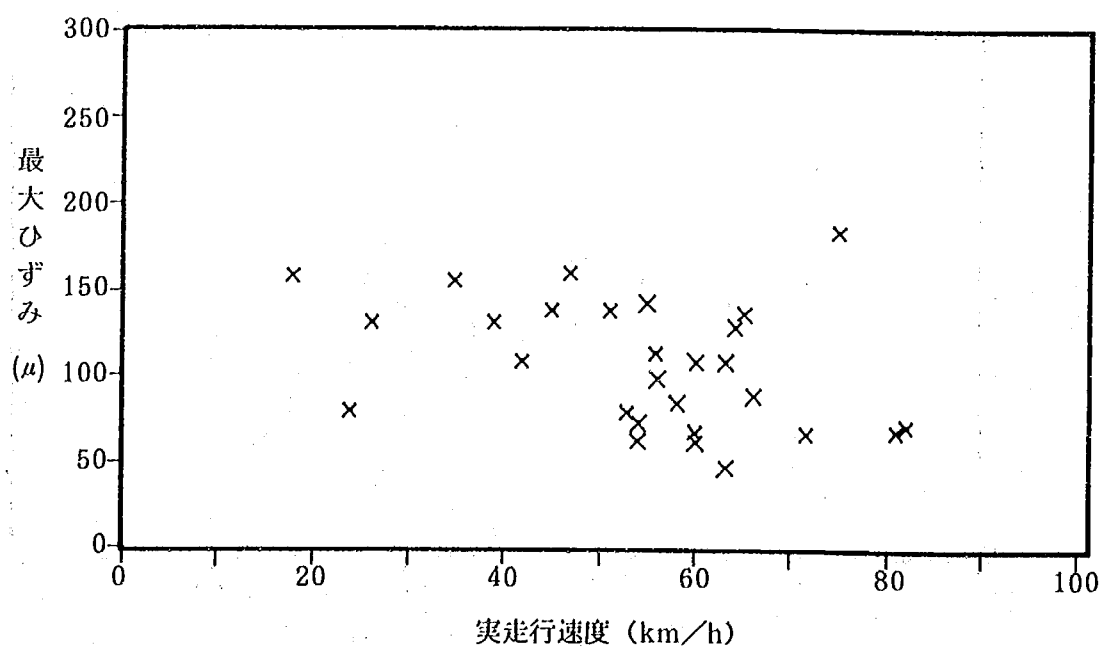


(b) 最大ひずみ－走行速度

図-2.10 ひずみと走行速度の関係 (5) S 3 - G 1



(a) 平均ひずみ－走行速度



(b) 最大ひずみ－走行速度

図-2.10 ひずみと走行速度の関係 (6) S 4 - G 1

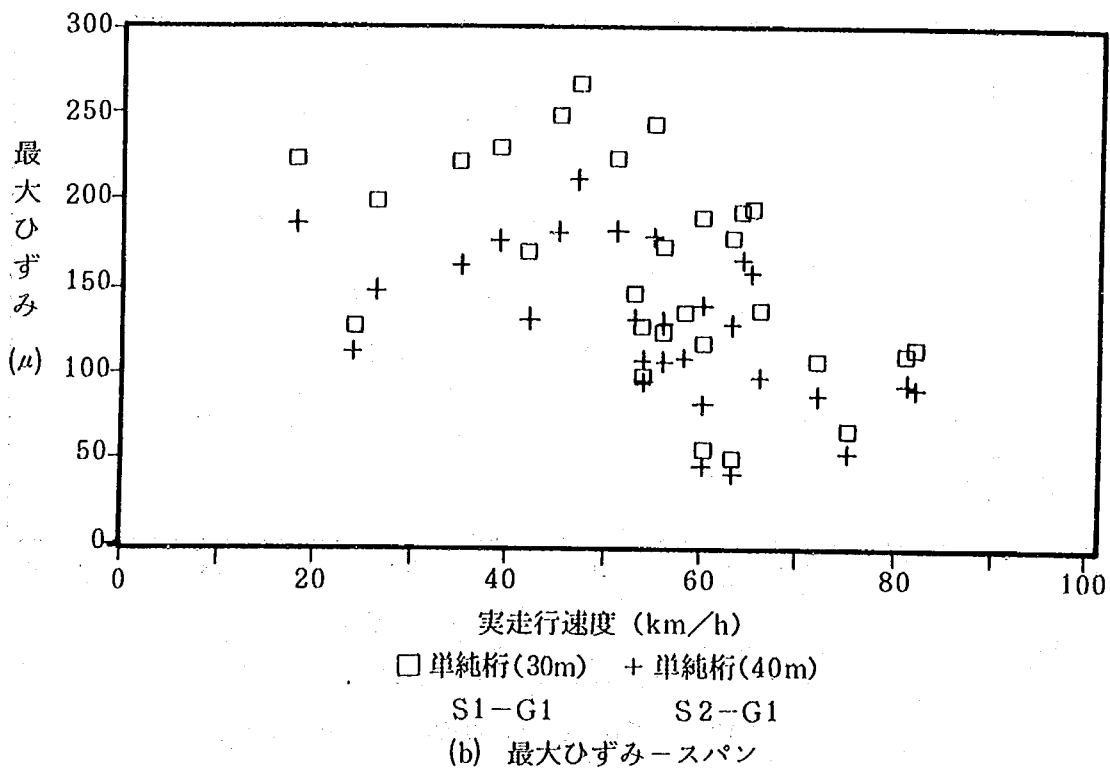
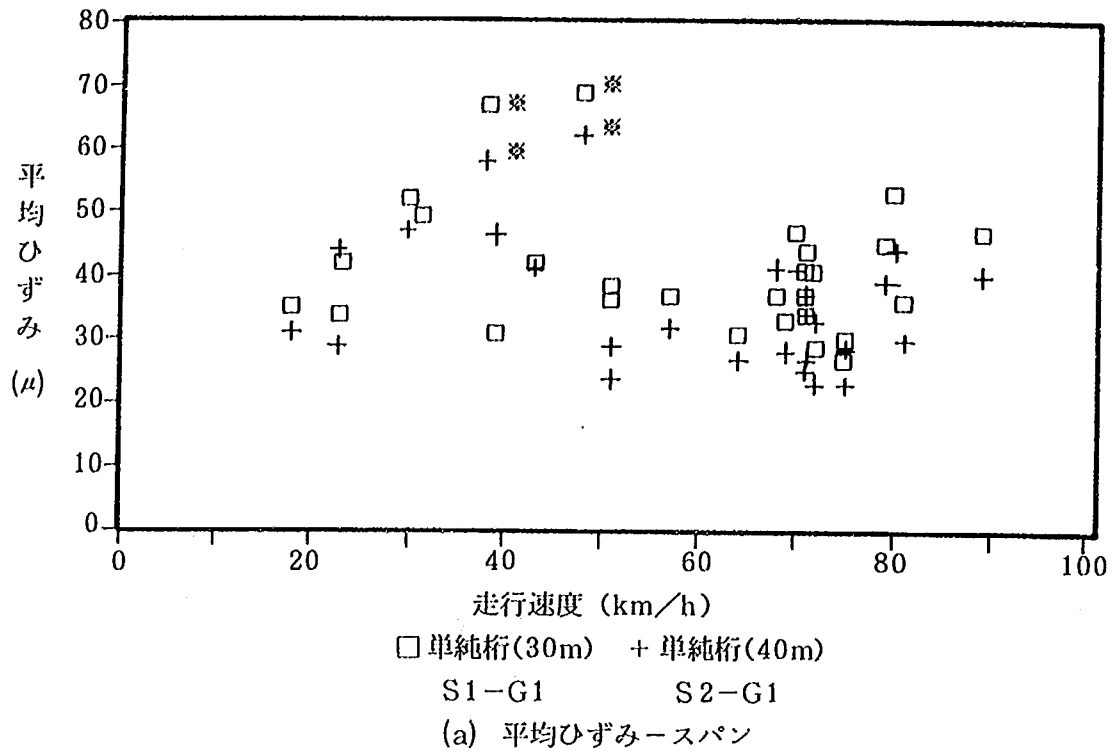


図-2.11 ひずみとスパンの関係 (1) S1-G1とS2-G1

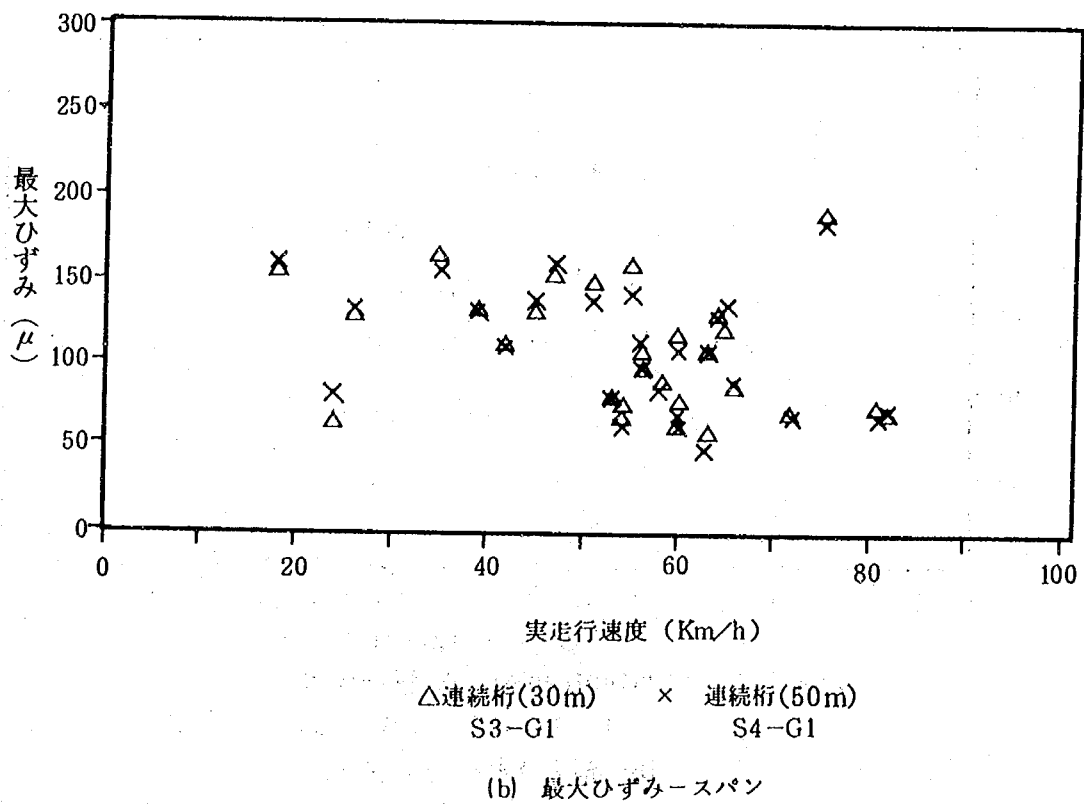
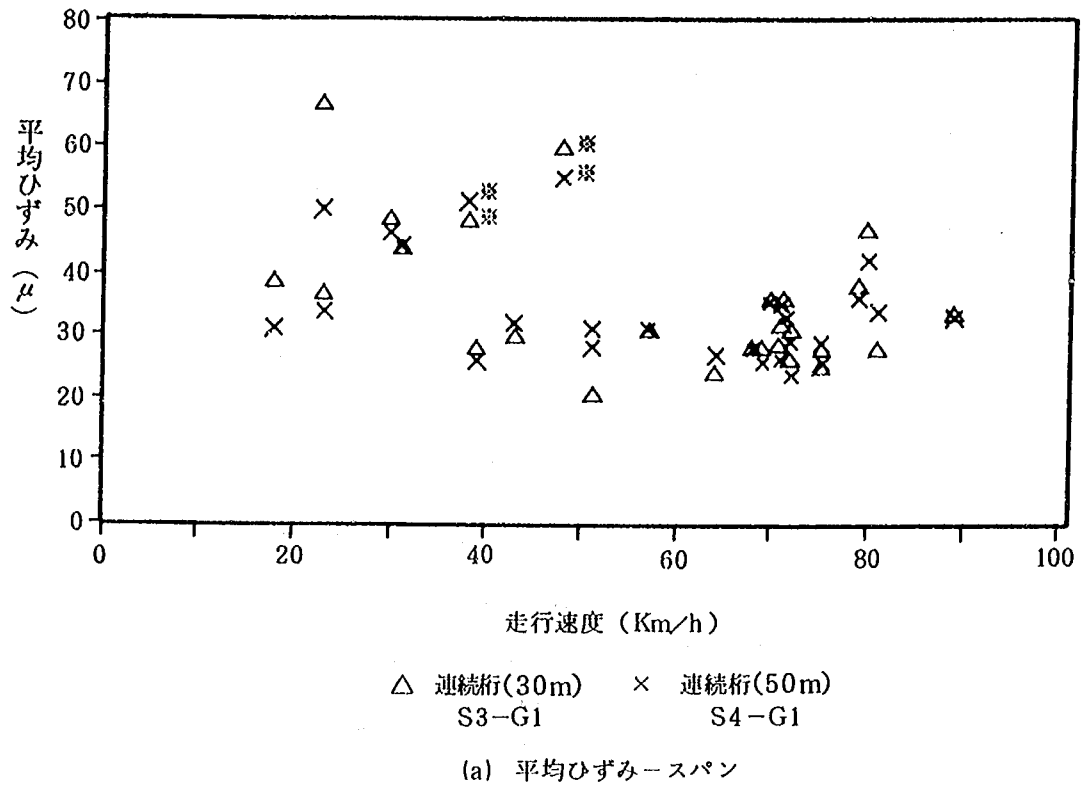


図-2.11 ひずみとスパンの関係 (2) S3-G1とS4-G1

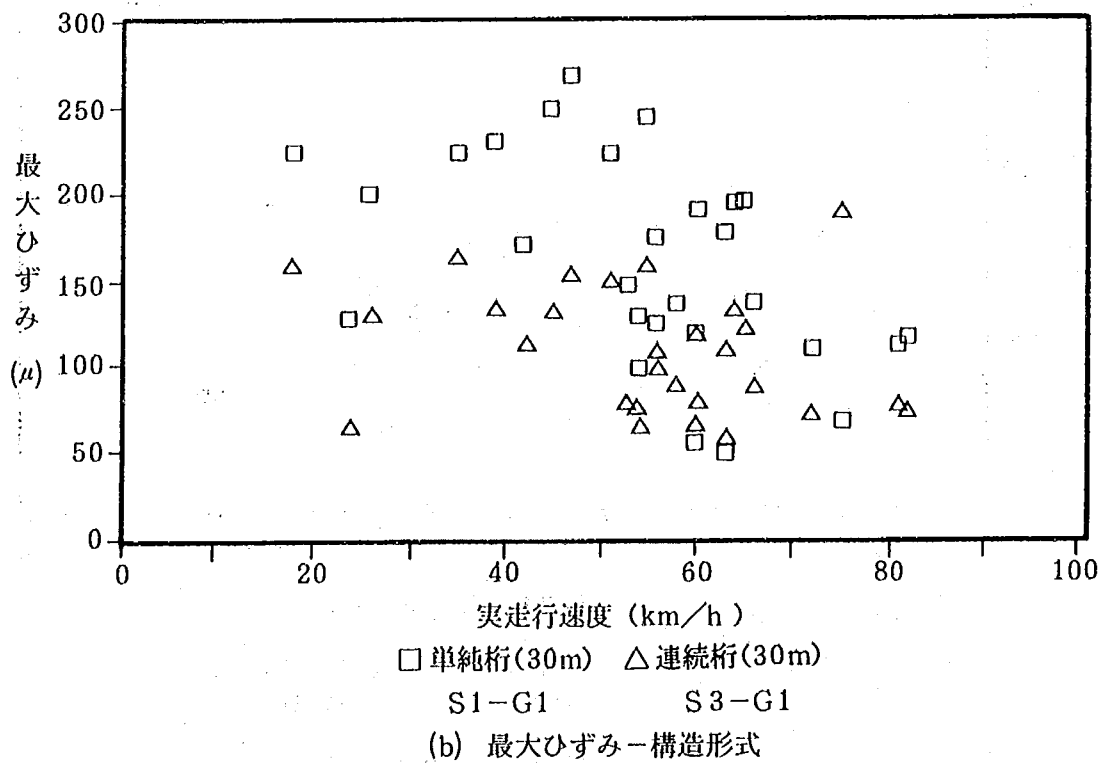
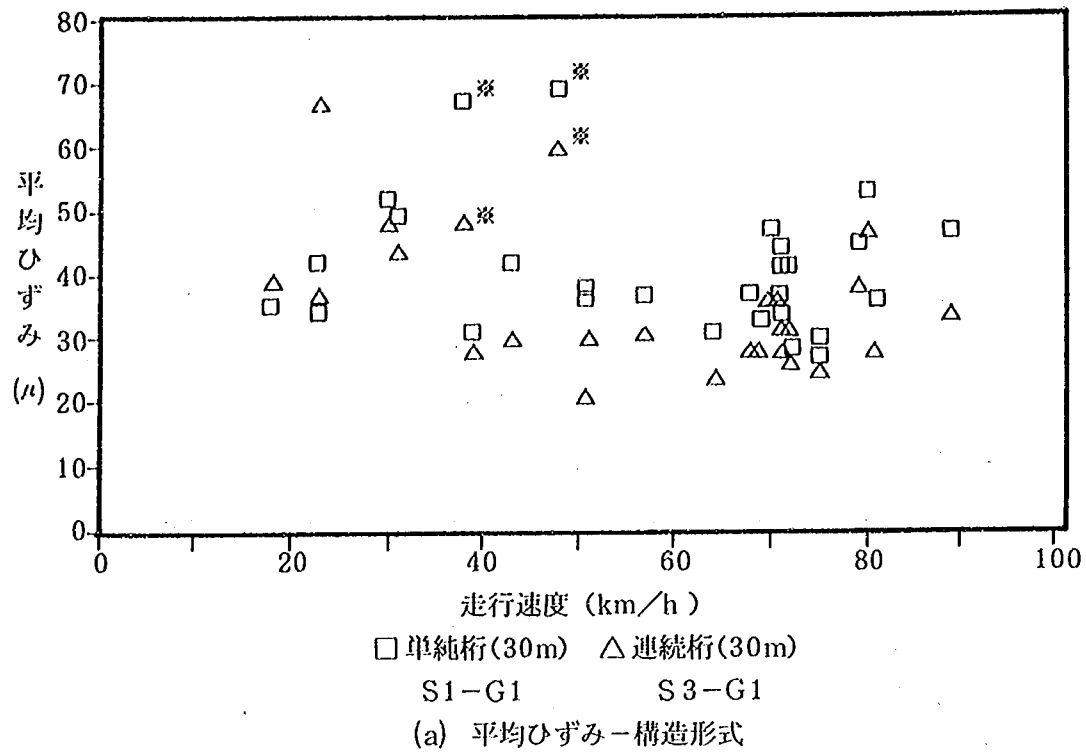


図-2.11 ひずみとスパンの関係 (3) S1-G1とS3-G1

3. L 荷重の衝撃係数に関する検討

3.1 今回の実測調査と動的応答シミュレーション¹⁾との比較

1) 条件の比較

今回の実測調査条件と動的応答シミュレーションの条件を表-3.1に対比して示した。

対象期間については実測調査が半日程度であるのに対し、シミュレーションでは50年間としている。渋滞時間については、シミュレーションが40%と実測調査の上限に近い条件となっている。渋滞時間については、シミュレーションが信号渋滞の回数としていることから同一レベルで比較できないが、600回/日の渋滞回数は信号時間を2分サイクルとすると、1日20時間程度とほぼ一日中渋滞が生じていることと対応しており、シミュレーションの方が厳しい条件となっている。

車線数は、実測調査が2車線、シミュレーションが1車線と異なっており、ひずみ応答の絶対値を検討するには車線数の影響を考慮する必要がある。しかし、走行車線走行時と追越車線走行時で動的係数の値は大きな違いはないことから、走行、渋滞の相対的な比較を行う際には、シミュレーションで行った1車線の検討で特に問題ないと考えられる。また、スパンについては、実測調査では最大でもスパン50m（連続桁）であり、シミュレーションの最大120m（単純桁）よりかなり短い。

2) 結果の比較

動的係数について、走行速度に伴う増加、スパンの増加に伴う低減についてはシミュレーションと同様な結果が得られている。

一方、限界状態となる走行条件は、動的シミュレーションでは短スパン（20m）では走行、長スパン（60、120m）では渋滞となったが、実測調査では、最大の50m スパンでも超大型車による走行状態となった。これは、荷重条件（対象期間、大型車混入率、渋滞時間）の違いにより、シミュレーションでは超大型車の連行載荷が生じたのに対し、実測調査では単独走行しか生じなかったことによると考えられる。

3.2 設計衝撃係数の検討

今回の実測調査では荷重条件等の違いにより、シミュレーションの検証する結果が得られなかったが、動的係数の特性についてはシミュレーションを裏付けるデータが得られた。荷重条件、スパン等の条件が類似した橋を対象とした調査を行えば、これを検証するデータが得られるものと考えられ、その意味で、シミュレーション結果は概ね妥当であると判断される。

以上の検討から、L 荷重の衝撃係数は、シミュレーション結果に従い、短スパンでは衝撃係数を考慮するが、長スパンでは衝撃係数を考慮しなくても良く、また、中スパンでは、短スパンの値を連続的にすり付ければ良いものと考えられる。衝撃を考慮しなくても良い限界スパンの値は動的シミュレーション¹⁾では20mから60mの範囲にあることが明らかとなっている。また、20t車を対象とした動的シミュレーション¹⁾では20から30m程度となっており、これらの結果に基づく検討の範囲では、安全側を見れば60m程度、平均的には40m程度として良いものと考えられる。

表-3.1 実測調査条件と動的応答シミュレーション条件の比較

		実 測 調 査	動的応答シミュレーション
荷 重 条 件	対象期間	5時～18時40分 (13時間40分)	50年間
	大型車混入率	5%～40%	40%
	渋滞時間	8時～9時	600回/日
構 造 条 件	車線数	2車線	1車線
	スパン (m)	30m, 40m (単純) 30m, 50m (連続)	20m, 60m, 120m (単純)
	橋 種	鋼鈑桁	鋼鈑桁

表-3.2 実測調査結果と動的応答シミュレーション結果との比較

	実 測 調 査	動的応答シミュレーション
超大型車	あ り	あ り
超大型車の連行載荷	な し	あ り
限界状態となる 走行状態	スパン 30, 40, 50mともに 超大型車による走行	短スパン (20m) では走行 長スパン (60, 120m) では渋滞

4. ま と め

今回の実験結果をこれまでのL荷重の衝撃係数に関する検討結果と合せてとりまとめると以下の通りとなる。

- 1) L荷重が対象とする主桁の動的係数は、自動車の走行速度が大きくなると増加し、桁のスペンが長くなると減少する。また連続桁の動的係数は単純桁の動的係数よりも小さくなる傾向を示す。
- 2) 主桁の応答に及ぼす小型車の影響は小さく、大型車の影響が支配的である。従って、渋滞による小型車の複数台数載荷の影響は設計では考慮しなくても良く、大型車の複数台数載荷の影響のみを考慮すれば良い。また、走行車線側の桁に着目した場合、追い越し車線側に載荷される車両の影響についても考慮する必要がある。
- 3) 橋の動的応答シミュレーションではスペン20～30mの短スペンでは走行時が、それ以上の長スペンでは渋滞時が支配的な活荷重条件となったが、今回の実測結果では、比較的スペンの長い橋（＝50m）でも走行状態の方が厳しい条件となった。今回の実測調査とシミュレーションでは、対象とする期間や渋滞の発生頻度、大型車混入率等の荷重条件が異なるために、結果が一致しなかったものと考えられる。これらの条件を合わせれば、その他の動的応答特性についてはシミュレーションを裏付けるデータが得られており、両者の結果は一致するものと予想され、シミュレーション結果は概ね妥当であったと判断される。
- 4) 設計においてはL荷重の衝撃係数は、短スペンでは考慮する必要があるものの、長スペンでは考慮しなくても良く、中スペンでは短スペンの値と長スペンの値を連続的にすり付ければ良いものと考えられる。衝撃を考慮しなくても良い限界スペンの値は、これまでの検討範囲では、安全側を見れば60m程度、平均的には40m程度と考えられる。

謝

辞

今回の実測調査の実施に際しては、首都高速道路公団の関係の方々より多大な御協力を頂きました。ここに記して感謝致します。

参 考 文 献

1. 橋の衝撃荷重に関する試験調査報告書 [I-1987]
土木研究所資料第2426号 昭和62年1月
2. 橋の衝撃荷重に関する試験調査報告書 [III-1988]
土木研究所資料第2660号 昭和63年8月
3. 橋の衝撃荷重に関する試験調査報告書 [II-1987]
土木研究所資料第2508号 昭和62年11月
4. 橋梁の設計動荷重に関する試験調査報告書 [VII-1985]
土木研究所資料第2258号 昭和60年12月

橋の衝撃荷重に関する試験
調査報告 (Ⅳ-1990)

ISSN 0386-5878

土木研究所資料 第2875号

平成2年2月 (1990)

構造研究室 室長 横山 功一

研究員 井上 純三

金子 学

要 旨

実交通下で走行時及び渋滞時の橋の動的応答を測定し、限界状態となる活荷重条件について検討した。主桁の動的係数は自動車の走行速度が大きくなると増加し、主桁のスパンが長くなると減少する傾向を示し、橋の動的応答シミュレーション結果を裏付けるデータとなった。

また、限界状態となる活荷重条件についてシミュレーションと対比して検討を加えた結果、シミュレーション結果をもとにL荷重の衝撃係数を取りまとめた良いことが明かとなった。

キーワード：実交通、渋滞、走行、動的係数、限界状態

郵便はがき

305-□□

41円切手
をはいて
下さい

茨城県つくば市大字旭一番地

建設省土木研究所

構造研究室御中

No. 3

No. 3

配布先氏名

配布先住所



土木研究所資料 第2875号 部

上記のとおり受領いたしました。

所 属 (住所)

氏 名 印

土木研究所資料第2875号
橋の衝撃荷重に関する試験調査報告書(Ⅳ-1990)

