



ISSN 0386-5878

土木研究所資料第2660号
007

土木研究所資料

橋の衝撃荷重に関する試験調査報告書 〔Ⅲ—1988〕

昭和63年8月

建設省土木研究所
構造橋梁部構造研究室

「 Copyright © (1988) 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

〔Ⅲ－1988〕

構造研究室 室 長 横 山 功 一
研究員 井 上 純 三
永 原 隆

要 旨

過去2ヵ年にわたって3軸車（後タンデム軸）の走行試験を行ない、鋼床版及びRC床版の動的応答特性及び衝撃係数についてとりまとめた。62年度は衝撃係数に及ぼす車種の影響を調査するために、2軸車（後1軸）を用いた鋼床版衝撃係数測定実験を行なった。その結果、車種による衝撃係数の違いは小さいということが明らかとなった。また、車両側から求められた車輪の動的係数と床版側から求められた衝撃係数の関係は2軸車と3軸車で同様であり、両者には大きな違いが見られた。結局3軸車の場合に原因として考えられたタンデム軸の中軸と後軸の動きにずれがあるとの理由はあてはまらないことが明らかとなった。

キーワード：限界状態設計法、衝撃係数、T荷重、鋼床版、2軸車

まえがき

橋梁活荷重の実態調査によると、車両の大型化、重量化の傾向は依然として変わらず、交通量の増大と相俟って舗装、床版、伸縮装置の損傷や地盤振動、騒音の発生が問題となっている。これらの現象は実交通下、すなわち走行状態にある車両の影響によるものであって、橋梁の合理的な設計法、適切な維持管理方法を確立するためには、交通荷重の動的な影響を明らかにする必要がある。車両が橋梁上を走行すると路面凸凹や橋梁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返し作用することにより、道路橋床版の疲労損傷や鋼部材の疲労クラックが生じている。荷重の偏載や応力の交番など静荷重とは異なる荷重の加わり方が、これらの損傷を助長する。そして交通荷重を受けて損傷した伸縮装置、床版、舗装の補修工事が日常化し、交通処理の問題や補修コストの増大を引き起こしている。

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調査を行う必要がある。

このような事情から、土木研究所では、T荷重の衝撃係数を検討することを目的として過去2ヵ年において3軸車（後タンデム軸）を用いた走行試験を行い、鋼床版（土木研究所舗装走行試験場内、鋼床版試験橋本四第1橋）及びRC床版（北陸地方建設局長岡国道工事事務所管内、落水橋）の動的応答特性及び衝撃係数についてとりまとめた。

今年度は、衝撃係数に及ぼす車種の影響を調査するため、上記の鋼床版試験橋において2軸車走行試験を行い、2軸車（後1軸）の動的応答特性、衝撃係数を、さらに3軸車との比較を行った。本報告書はこの実験で得られた成果をとりまとめたものである。

目 次

1. 概 説	1
1. 1 調査目的	1
1. 2 現在までの調査経緯	1
2. 試験内容	3
2. 1 試験概要	3
2. 2 試験橋梁	3
2. 3 試験車両	3
2. 4 着目床版	3
2. 5 ひずみゲージ及び変位計の取付け位置	3
2. 6 静的載荷試験	4
2. 7 動的載荷試験	4
3. 静的載荷試験結果	21
3. 1 橋軸方向載荷試験	21
3. 2 幅員方向載荷試験	21
3. 3 前回（3軸車試験）との比較	21
4. 動的載荷試験結果	34
4. 1 橋梁の試験結果	34
4. 2 車両の試験結果	35
4. 3 橋梁側（衝撃係数）と車両側（動的係数）の比較	36
4. 4 2軸車と3軸車の実験結果の比較	36
5. 実験結果のまとめ	60
6. 設計基準化のための今後の課題	61
参考文献	62

1. 概 説

1. 1 調査目的

橋梁活荷重に対する合理的な設計方法を確立するためには、橋梁の静的応答特性ばかりでなく、自動車が走行することによる橋の動的応答性についても把握しておく必要がある。活荷重による動的な影響には衝撃、疲労等が考えられるが、これらを適切に評価することにより橋梁の設計方法をより合理的なものとすることができる。

特にT荷重に関しては、1台の大型車両を輪荷重にモデル化した荷重であり、これに対する衝撃係数は局所的な段差、車両振動特性及び橋梁各部材の動的応答特性によりかなり変化するものと考えられる。

本調査は、限界状態設計法において用いる鋼床版、RC床版の衝撃係数について、床版の動的応答、衝撃係数に関する実測データから検討を加えようとするものである。

1. 2 現在までの調査経緯

前節の目的により、過去2ヵ年にわたって一般的な大型車両である3軸ダンプトラック（後タンデム軸）を用いた走行試験を行い、鋼床版（土木研究所舗装走行試験場内、鋼床版試験橋本四第1橋）¹⁾、及びRC床版（北陸地方建設局長岡国道工事事務所管内、落水橋）²⁾の動的応答特性と衝撃係数についてとりまとめた。

鋼床版実験では、路面の段差量（0, 10, 20mm）、試験車の走行速度（20, 40km/h）、総重量（20, 30ton）を変化させ、鋼床版の縦リブひずみ及び試験車の車体加速度を計測した結果、以下の項目が明らかとなった。

- (1) 段差がない場合の衝撃係数は、設計衝撃係数（ $i=0.4$ ）を下回る値であった。しかし段差が20mmになると、設計値を上回る衝撃係数が得られた。
- (2) 衝撃係数に対する各パラメータの影響は、走行速度については一定の傾向を示さず、車両重量については積載重量が増すと衝撃係数は減少した。また段差については衝撃係数に及ぼす影響が最も大きく、T荷重による衝撃係数は段差量の関数として与えたほうが実態と良く適合すると言える。
- (3) 橋梁の一般部（伸縮装置から離れた部分）では20mmの段差が生じることは稀であり、現行の衝撃係数（ $i=0.4$ ）での対応が可能であると考えられるが、伸縮装置部では20mm程度の段差が生じる可能性はかなりあると予想されるため、伸縮装置付近の床版については現行よりも大きくとる必要があろう。
- (4) 車体加速度から求められた車両が路面に加える動的付加荷重を静輪荷重で除した値、すなわち動的係数と、鋼床版の動的応答値と静的応答値から得られた衝撃係数にギャップがあった。動荷重とこれに対する床版応答特性について解明を試みる必要がある。

RC床版実験では、路面の段差量（0, 10, 20mm）、試験車の走行速度（20, 40, 60km/h）を変化させ、RC床版の主鉄筋ひずみ及び試験車の車体加速度を計測した結果、以下の項目が明らかとなった。

- (1) RC床版主鉄筋の衝撃係数は段差量とともに増加し、段差がない場合で0.1程度、段差10mmの場合で0.2程度、段差20mmの場合で0.35程度の値となり、設計値（ $i=0.38$ ）以下の値であった。速度の影響についてははっきりとした傾向が見られなかった。
- (2) RC床版の衝撃係数は通常段差がないと考えられる伸縮装置から離れた部分では、仮に稀なケースと

して10mm程度の段差が生じた場合でも0.2程度を考慮すれば良いものと考えられる。一方伸縮装置付近では、路面凸凹実態調査や維持補修基準に基づいて、仮に20mm程度の段差が生じ得るものとする、衝撃係数は0.4程度の値を見込む必要があると考えられる。またこの範囲は伸縮装置部よりおよそ3m以内である。

- (3) 車両が橋梁（RC床版）に及ぼす動的作用を橋梁及び車両において計測し、それぞれ衝撃係数、動的係数としてとりまとめた。RC床版の衝撃係数は動的係数の1割～4割程度の値となった。これはタンデム軸の中軸と後軸の動きにずれがあることが一因と考えられるため、今後2軸車（後1軸）を用いた実験を行って確認する必要がある。
- (4) 今回の実験結果と前年度行った鋼床版の実験結果を比較すると、RC床版の衝撃係数は鋼床版の衝撃係数の5割程度の値となった。これは、床版の剛性や質量、舗装厚の違いによるものと考えられ、検討の必要があろう。今後同様な実測データが得られれば、T荷重の衝撃係数をRC床版と鋼床版で異なる値とすることも検討する必要が生じてこよう。
- (5) 今回の実験で見られた、段差がない場合に衝撃係数が負の値となる傾向がある理由や、同一断面内で床版コンクリート表面、圧縮側主鉄筋及び引張側主鉄筋で衝撃係数が異なる理由については今後の研究課題となろう。

2. 試験内容

2. 1 試験概要

2軸車（後1軸）による鋼床版の動的応答特性、衝撃係数を把握し、限界状態設計法において用いる衝撃係数について検討するために、土木研究所舗装走行試験場内の鋼床版試験橋本四第1橋において静的、動的載荷試験を行い、鋼床版縦リブのひずみ、主桁の変位及び試験車両の車体加速度を測定した。

静的載荷試験では橋軸方向及び幅員方向に車両位置を変化させた載荷試験を行い、鋼床版縦リブや主桁の荷重分布特性及び動的載荷試験との対比データを得た。

動的載荷試験では試験車両の積載重量、走行速度や路面の段差量を変化させ、これらが鋼床版縦リブ、主桁の動的応答特性、衝撃係数に及ぼす影響を明らかにした。さらに、2軸車と3軸車による衝撃係数の比較、縦リブの衝撃係数と試験車両の車体加速度から求められる動的係数との比較も行った。

2. 2 試験橋梁

対象とした橋梁は、一昨年の実験と同様、土木研究所舗装走行実験場内に架設された鋼床版試験橋本四第1橋である。その平面図、断面図を図-2. 1に示す。対象橋梁の主たる諸元は、橋長9.9m、幅員4.5mであり、縦リブはU断面リブ（トラフリブ）を採用しており、30cm間隔で配置されている。

2. 3 試験車両

試験車両としては、図-2. 2に示すように前1軸、後1軸の2軸普通トラックを用いた。前回の試験結果においては、床版ひずみのデータから得られる衝撃係数は、試験車両（後タンデム軸）の車体加速度から得られる動的係数の5割程度しか示さなかった。その要因として、タンデム軸の軸間距離が1.3mと近いため、中軸と後軸の動きにずれがある場合に大きな影響を及ぼすと考えられた。そのため、今回の試験車両は車軸間距離の大きなもの（前軸～後軸間5.12m）を使用している。

試験車両の総重量は、表-2. 1に示すように約12ton（積載状態1）、20ton（積載状態2）の2通りに変化させた。ここで前車輪は1回、後車輪は2回の計測を行っている。積載状態1の後軸重は、3軸車総重量20ton時の中軸重にほぼ等しく、積載状態2の後軸重は、3軸車総重量20ton時のタンデム軸重（中軸重と後軸重を合わせた荷重）にほぼ等しい。

2. 4 着目床版

試験橋梁の鋼床版は横リブにより橋軸方向に5つのパネルに分かれているが、パネル1と5はパネル2～4と横リブの配置間隔が異なる他、伸縮装置部の影響を受けるものと考えられるため、2～4のパネルに着目した測定を行うこととした。（図-2. 3参照）

2. 5 ひずみゲージ及び変位計の取付け位置

静的載荷試験時のひずみゲージ貼付け位置（66点）を図-2. 4に、動的載荷試験時のひずみゲージ測定

位置 (46点) を図-2. 5, ひずみゲージの貼付け状況を写真-2. 1に示す。図に示すように, 計測したひずみゲージは全て縦リブであり, 橋軸方向 (部材軸方向) のひずみを測定した。

変位計の据付け (3か所) は, 静的載荷試験時, 動的載荷試験時ともに共通であり, 鉛直方向の変位を測定した。変位計の据付け位置を図-2. 6に, 据付け状況を写真-2. 2に示す。

2. 6 静的載荷試験

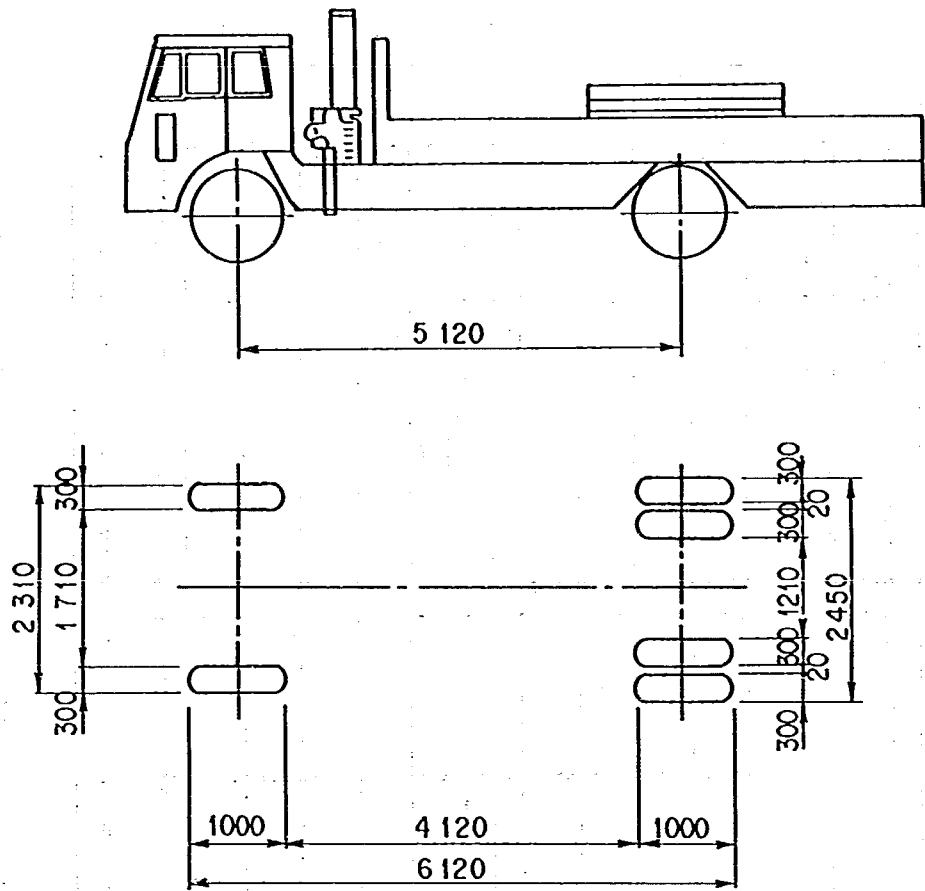
静的載荷試験は, 表-2. 2に示すように橋軸方向載荷試験, 幅員方向載荷試験からなり, 実験総ケース数は148ケースである。橋軸方向載荷試験は, 試験車両を橋軸方向に移動させて各ゲージの影響線及び動的載荷試験との対比に用いる静的最大応答値を求めることを, 幅員方向載荷試験は, 試験車両を幅員方向に移動させて動的載荷試験時に予想される走行位置のずれの許容値を求めることを目的としている。各試験の載荷位置及びその通し番号を図-2. 7に示す。

使用計測器及び計測ブロック図を図-2. 8に, 載荷位置のマーキング及び載荷試験と計測の状況を写真-2. 3, 4, 5に示す。載荷方法は各試験毎に, 無載荷→載荷1→載荷2・・・→無載荷の順序で行い, 試験車両の後軸左車輪 (ダブルタイヤ) の中心を載荷位置に載荷した。

2. 7 動的載荷試験

動的載荷試験では, 表-2. 3に示すように段差量 (0, 10, 20mm), 段差位置 (スパン中央, スパン中央より1 m, 2 m, 3 m手前, 図-2. 9参照), 試験車両の積載重量 (積載状態1, 2), 及び走行速度 (20, 40km/h) を変化させた走行試験を行い, 鋼床版縦リブのひずみ, 主桁変位及び試験車両の車体加速度を計測した。試験車両の車体加速度の計測には小型加速度計を使用している。加速度計の取付け位置を図-2. 10に, 取付け状況を写真-2. 6に示す。

使用した計測器及び計測ブロック図を図-2. 11に, 計測状況を写真-2. 7に示す。計測ブロック図をみてもわかるように, 床版側と試験車両側でデータの記録装置が異なる。そこで両データの同期を取ること, また試験車両の走行速度, 位置を検出することを目的として, 図-2. 12に示すようなシステムを用いた。このシステムにより, 床版側のデータにはロード・スイッチの信号が, 試験車両側のデータには段差板による車体加速度の乱れが入力される。



単位 (mm)

図-2.2 試験車両

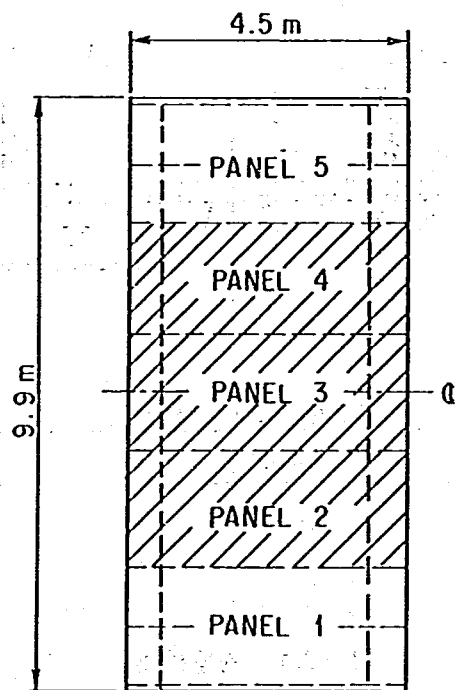
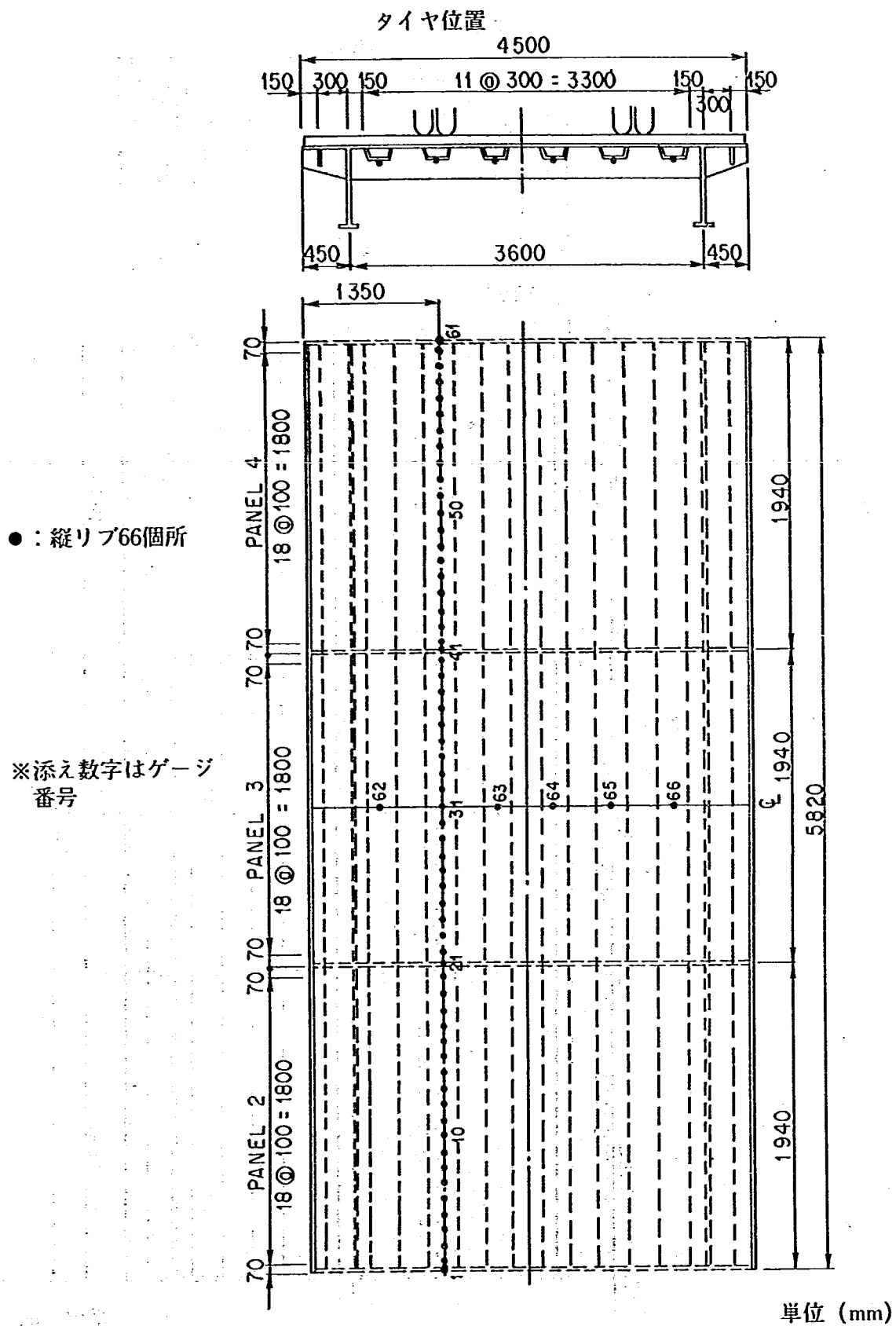
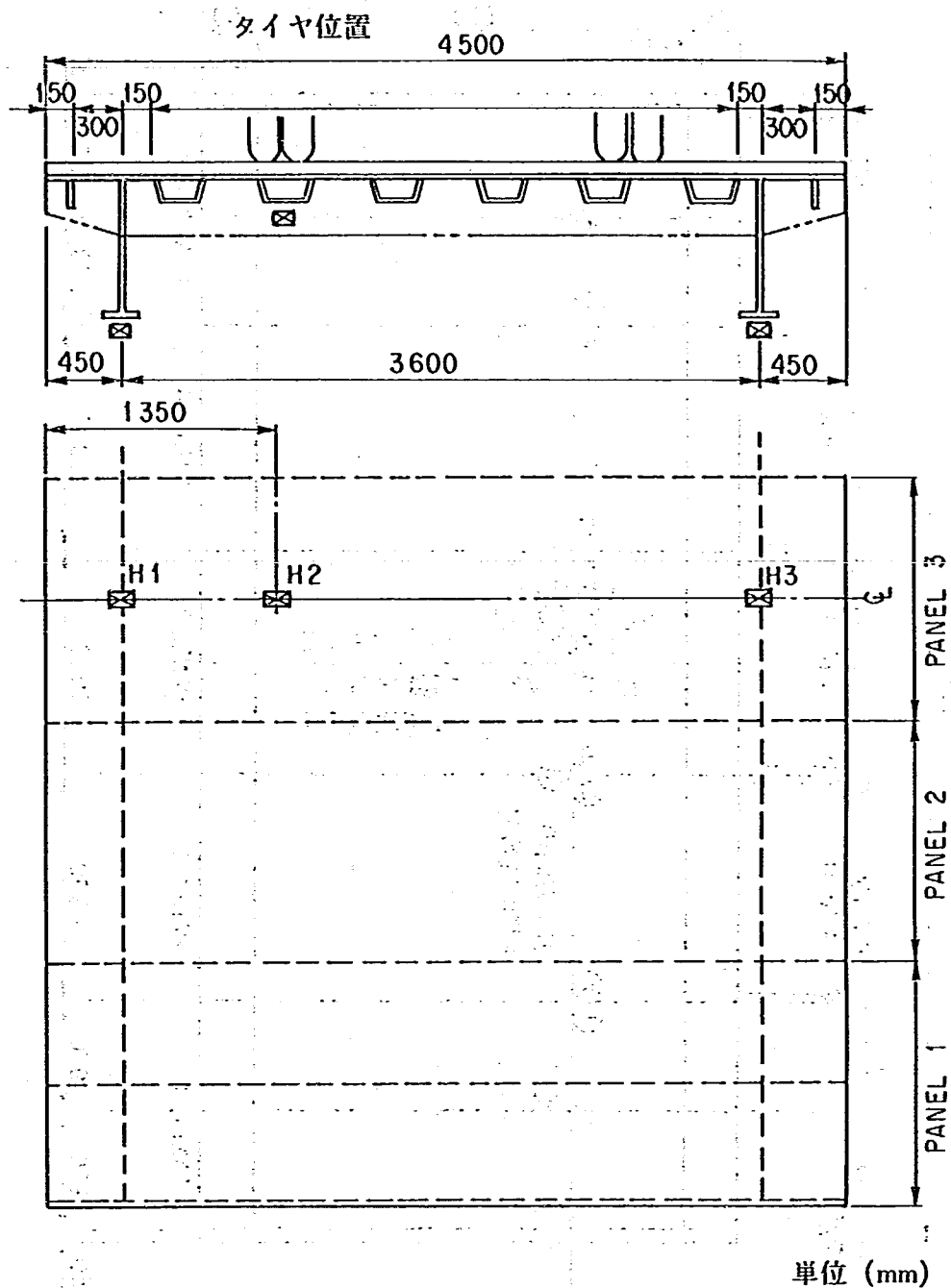


図-2.3 着目床版

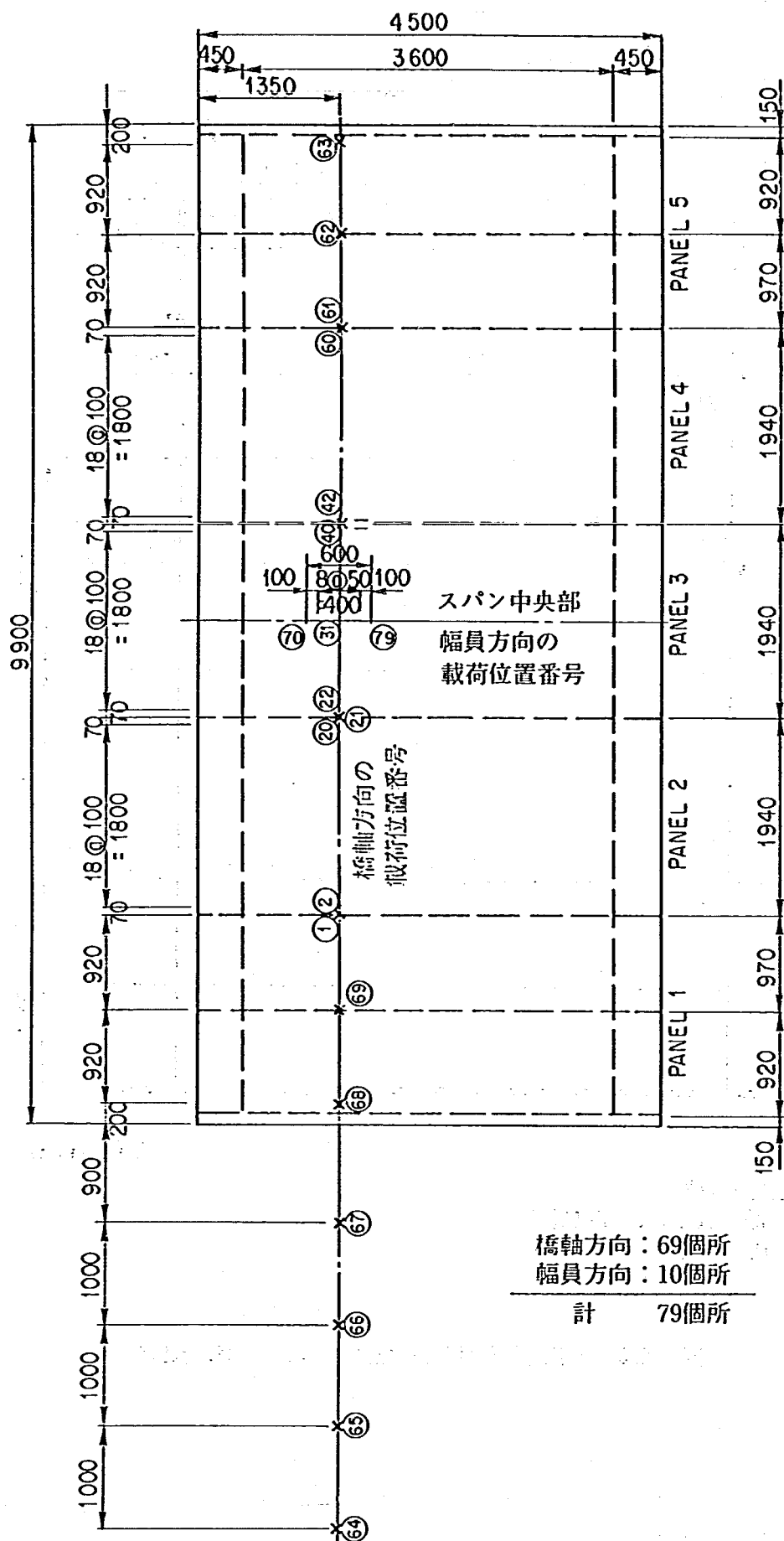


図—2.4 静的載荷試験時のひずみゲージ測定位置

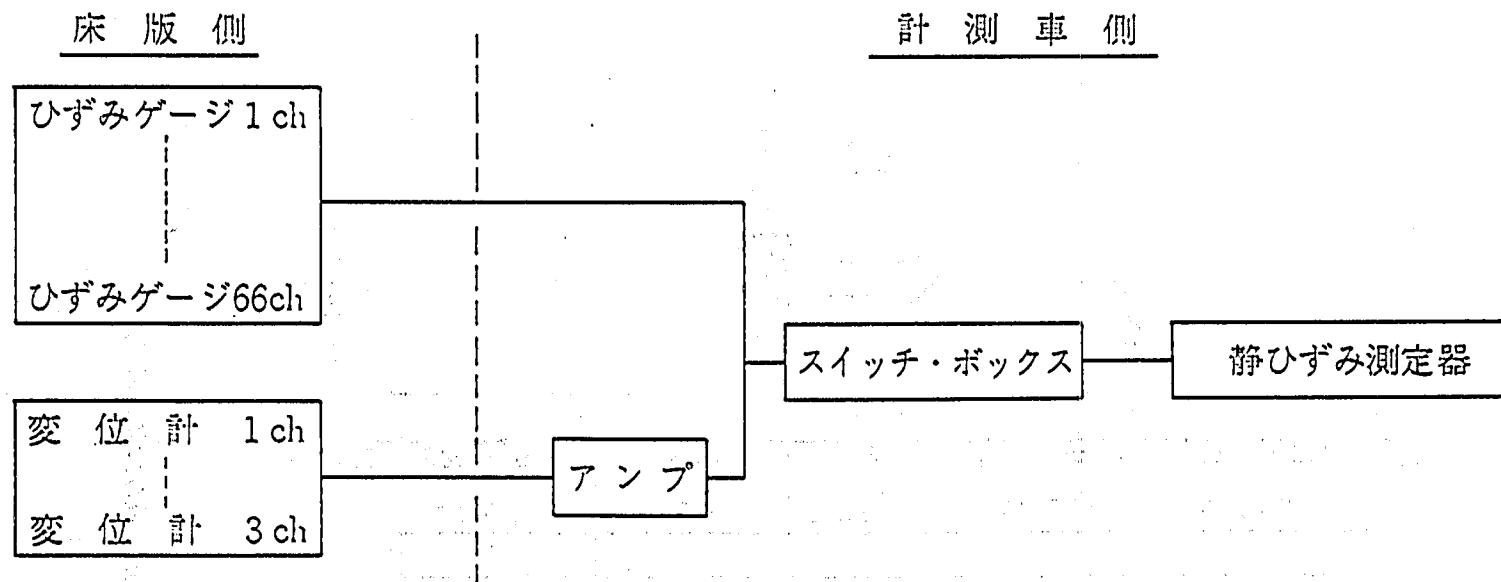


注; 図; 変位形
添え数字は、変位計の
通し番号

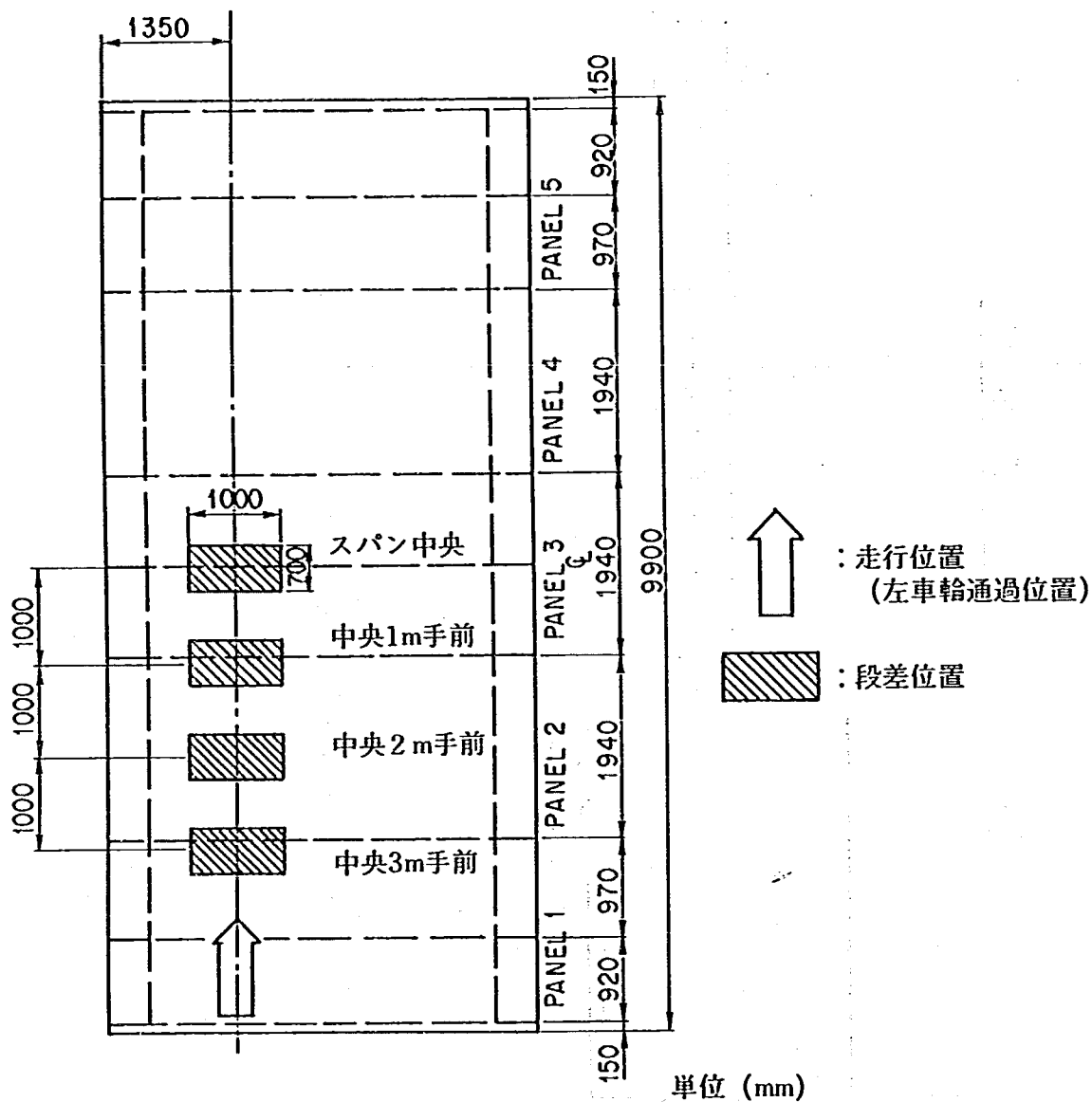
図一 2.6 変位計据付け位置 (静的載荷, 動的載荷共通)



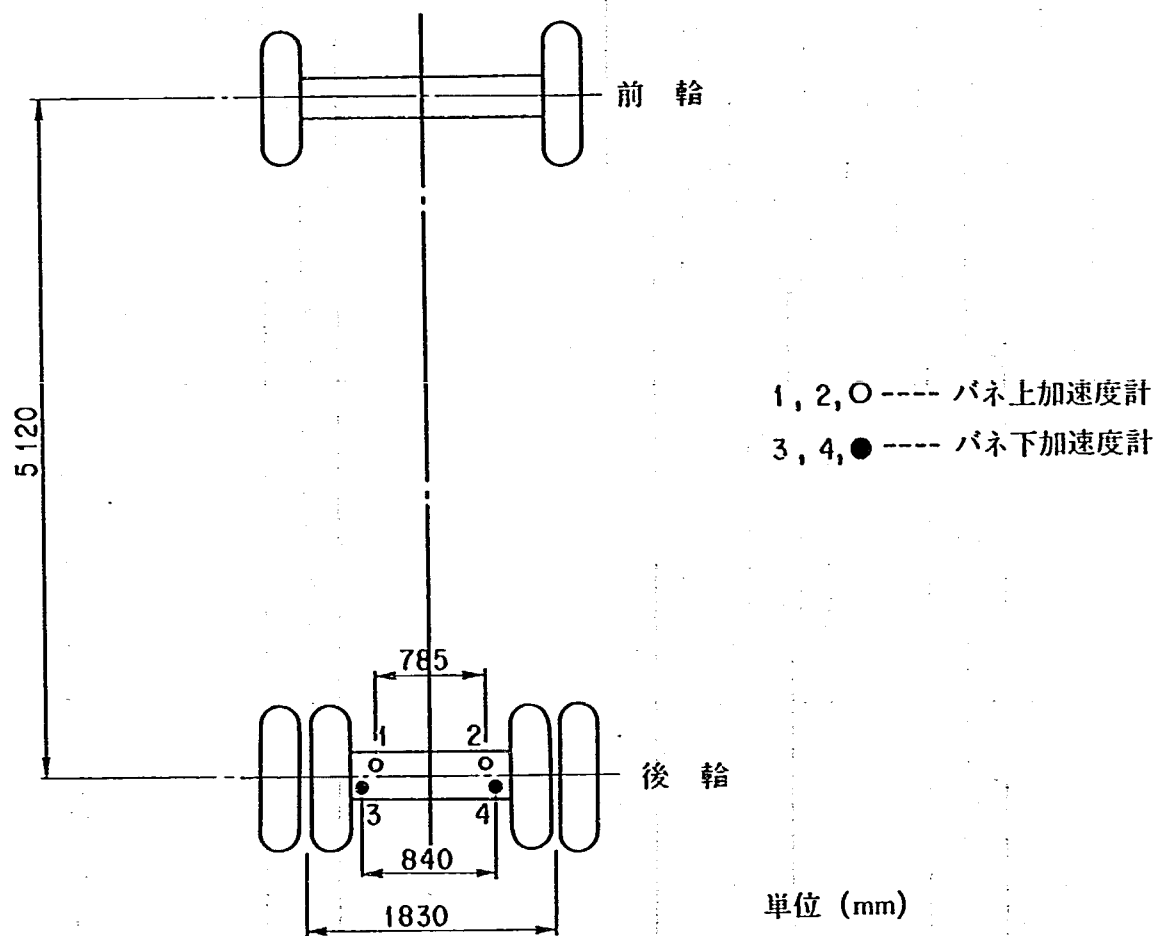
図一 2.7 静的載荷試験載荷位置



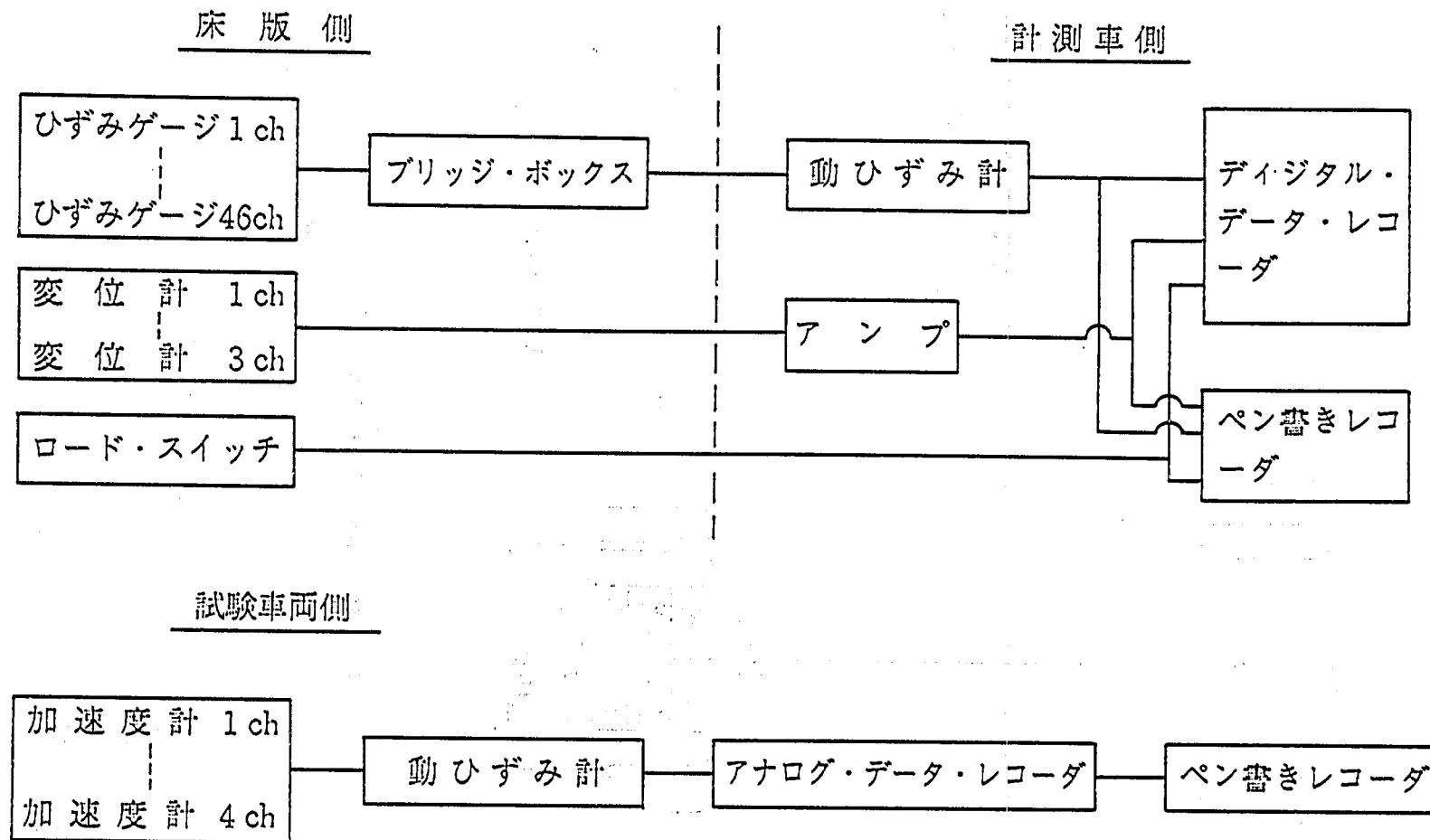
図一 2.8 静的載荷試験時の計測ブロック図



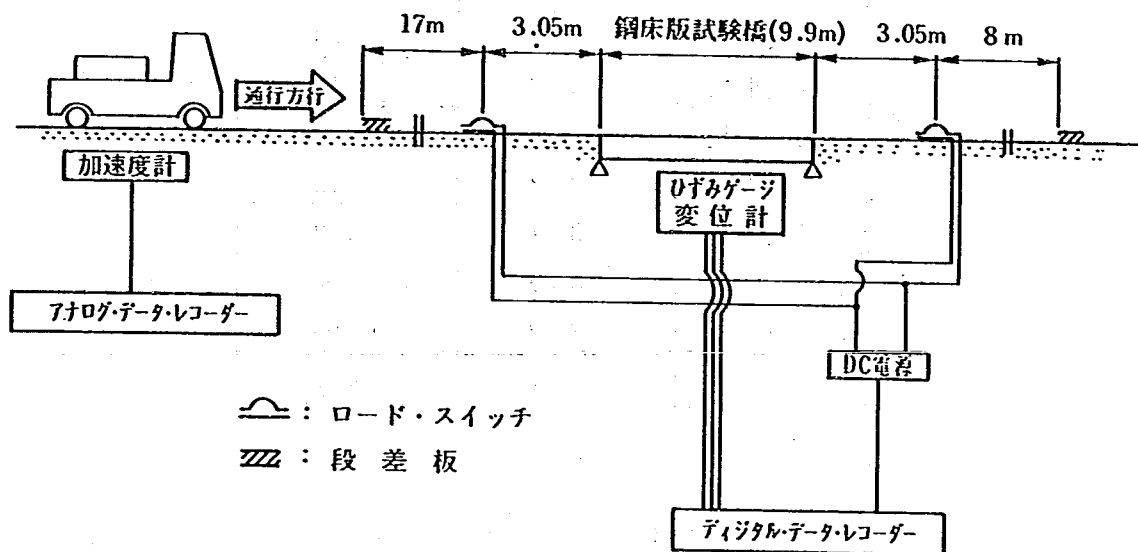
図一 2.9 走行及び段差位置



図一 2.10 加速度計取付位置



図一 2.11 動的載荷試験時の計測ブロック図



図—2.12 実験システム

表－2.1 試験車の輪荷重、軸荷重
単位：t

		積載状態 1	積載状態 2
左前輪荷重		2.22	2.25
右前輪荷重		2.31	2.32
前軸荷重		4.52	4.56
左後輪荷重	1回目	3.86	7.93
	2回目	3.92	8.13
	平均	3.89	8.03
右後輪荷重	1回目	3.83	7.72
	2回目	3.77	7.52
	平均	3.80	7.62
後軸荷重		7.69	15.65
総重量		12.21	20.21

表－2.2 静的載荷試験ケース

実 験 条 件	載荷位置	ケース数	備 考
橋軸方向載荷試験（積載状態 1）	1～69	69	図－2.7 参照
橋軸方向載荷試験（積載状態 2）	1～69	69	〃
幅員方向載荷試験（積載状態 1）	70～79	10	〃

計 148 ケース

表－2.3 動的載荷試験ケース

積載状態	段差量 (mm)	段差位置	速 度 (km/h)	繰返し数
1	なし	—	20, 40	各 3 回
	10	スパン中央		
	20	スパン中央		
		中央 1 m 手前		
		中央 2 m 手前		
		中央 3 m 手前		
2	なし	—		
	10	スパン中央		
	20	スパン中央		

計 54 ケース

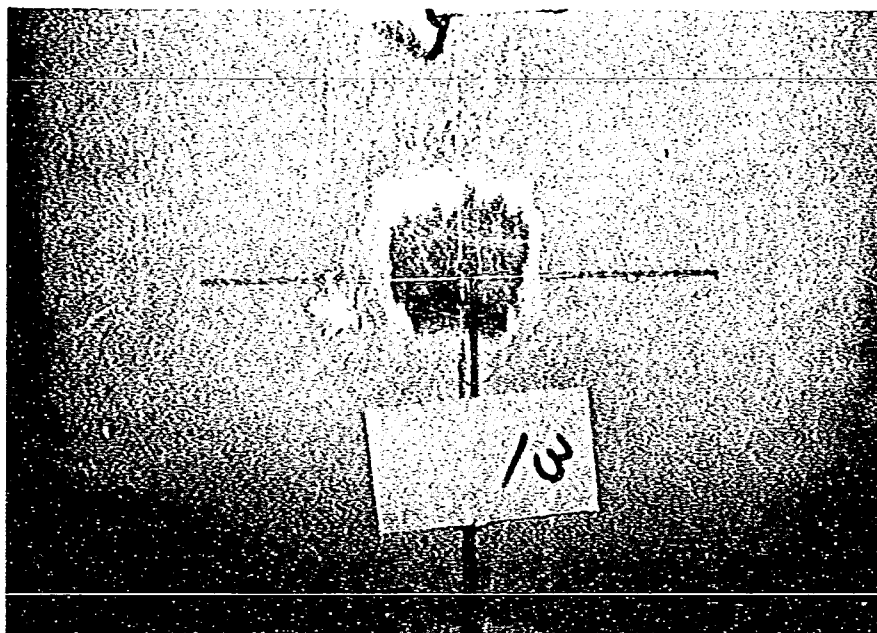


写真-2. 1 ひずみゲージ貼付け

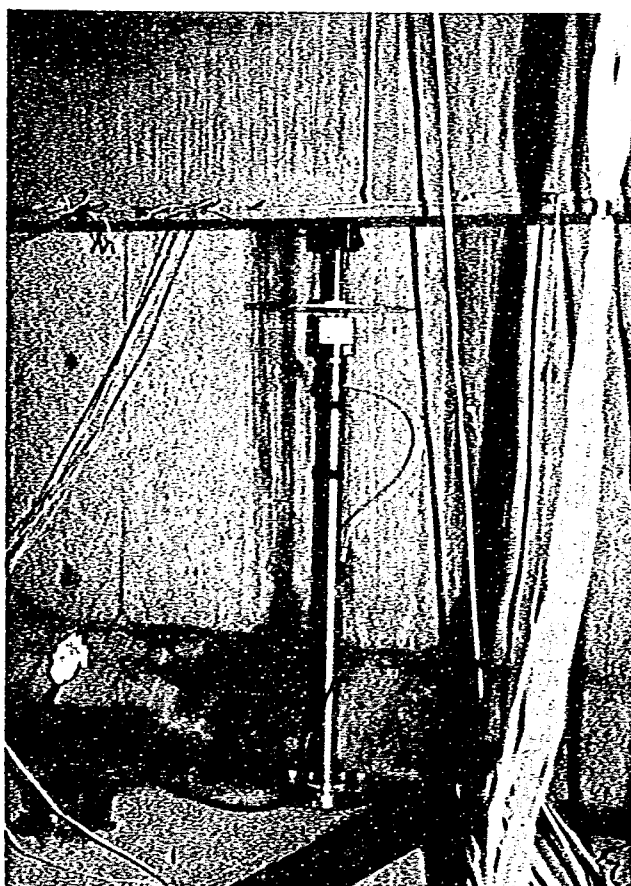


写真-2. 2 変位形据付け

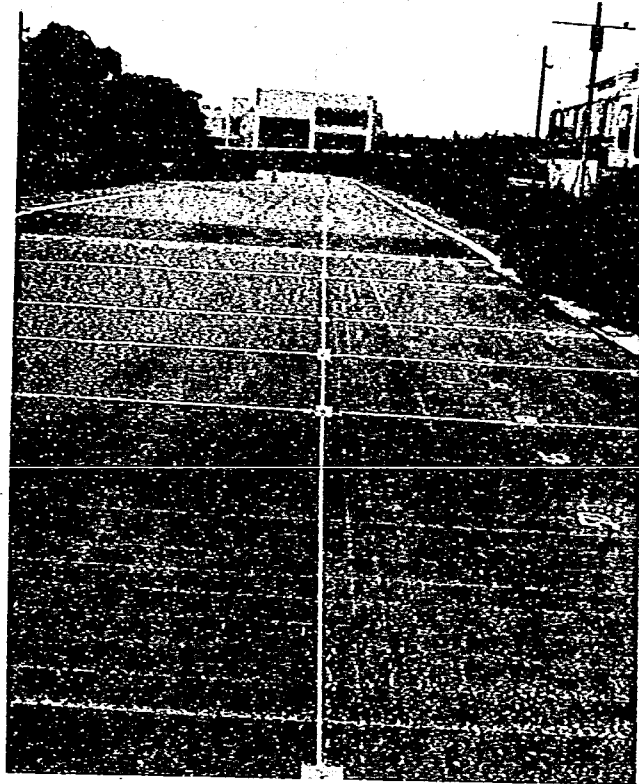


写真-2. 3 载荷位置のマーキング

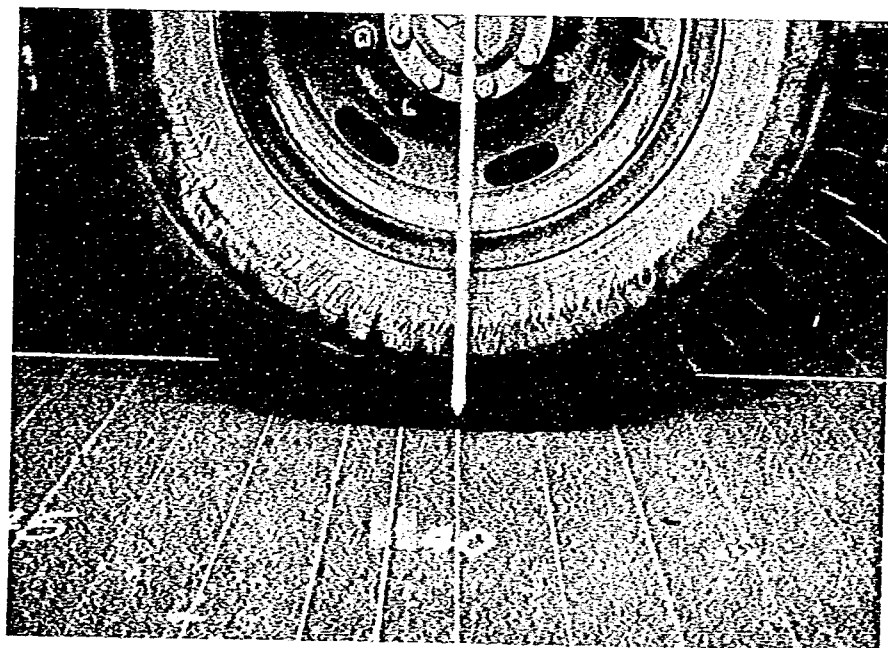


写真-2. 4 静的载荷試験

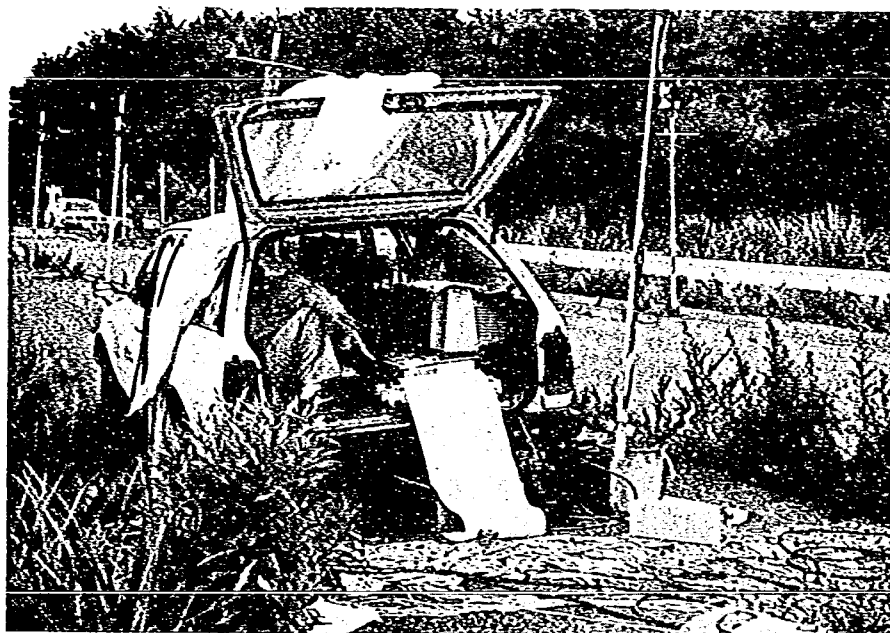


写真-2. 5 静的载荷試験時の計測状況

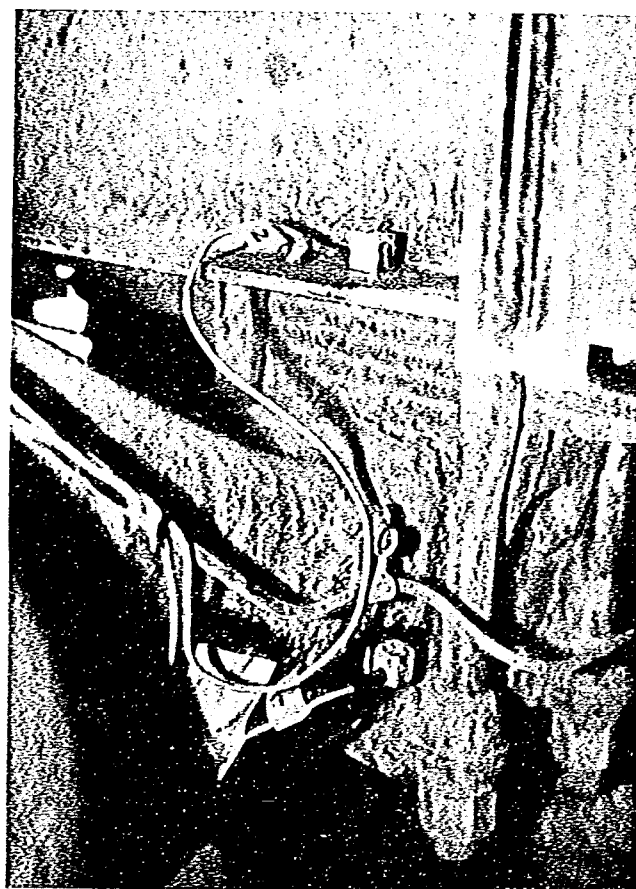


写真-2. 6 加速度計取付け



写真－2. 7 動的載荷試験時の計測状況

3. 静的載荷試験結果

ひずみゲージから得られた縦リブの応力は引張り側を、変位計から得られた変位量は下方を正 (+) として整理した。

3. 1 橋軸方向載荷試験

図-3. 1(1)~(3)に積載状態1の各載荷位置における左車輪通過位置上に配列した縦リブひずみゲージ(ゲージ番号S1~S61)から得られた応力分布の一例を示す。図中の P_1 、 P_2 はそれぞれ試験車両の前輪、後輪を、添付の番号は載荷位置(図-2. 7参照)を表す。縦リブ応力の分布は、前軸と後軸の車軸間隔が離れていることにより、前車輪による応力分布と後車輪による応力分布が分離された形状をしており、お互いの影響はほとんど無視できる。

図-3. 2(1)~(4)はひずみ応力、変位の影響線の一例である。上図は積載状態1(左後輪重=3.89ton)、下図は積載状態2(左後輪重=8.03ton)による影響線である。積載状態は1、2の輪重の比(2.06)と各積載状態における静的最大応答値の比を比較してみると、(1)縦リブ支点、(2)縦リブ支間中央点のひずみ応力はそれぞれ2.04、2.06とほぼ一致し、鋼床版の縦リブ応力は輪重と正比例的な関係にあることがわかる。一方、(3)主桁、(4)縦リブの変位はそれぞれ、1.73、1.95と輪重比よりも小さな値を示した。また、この影響線から最大値を読み取り、動的応答値との対比に用いる静的最大応答値を得た(表-3. 1参照)。

3. 2 幅員方向載荷試験

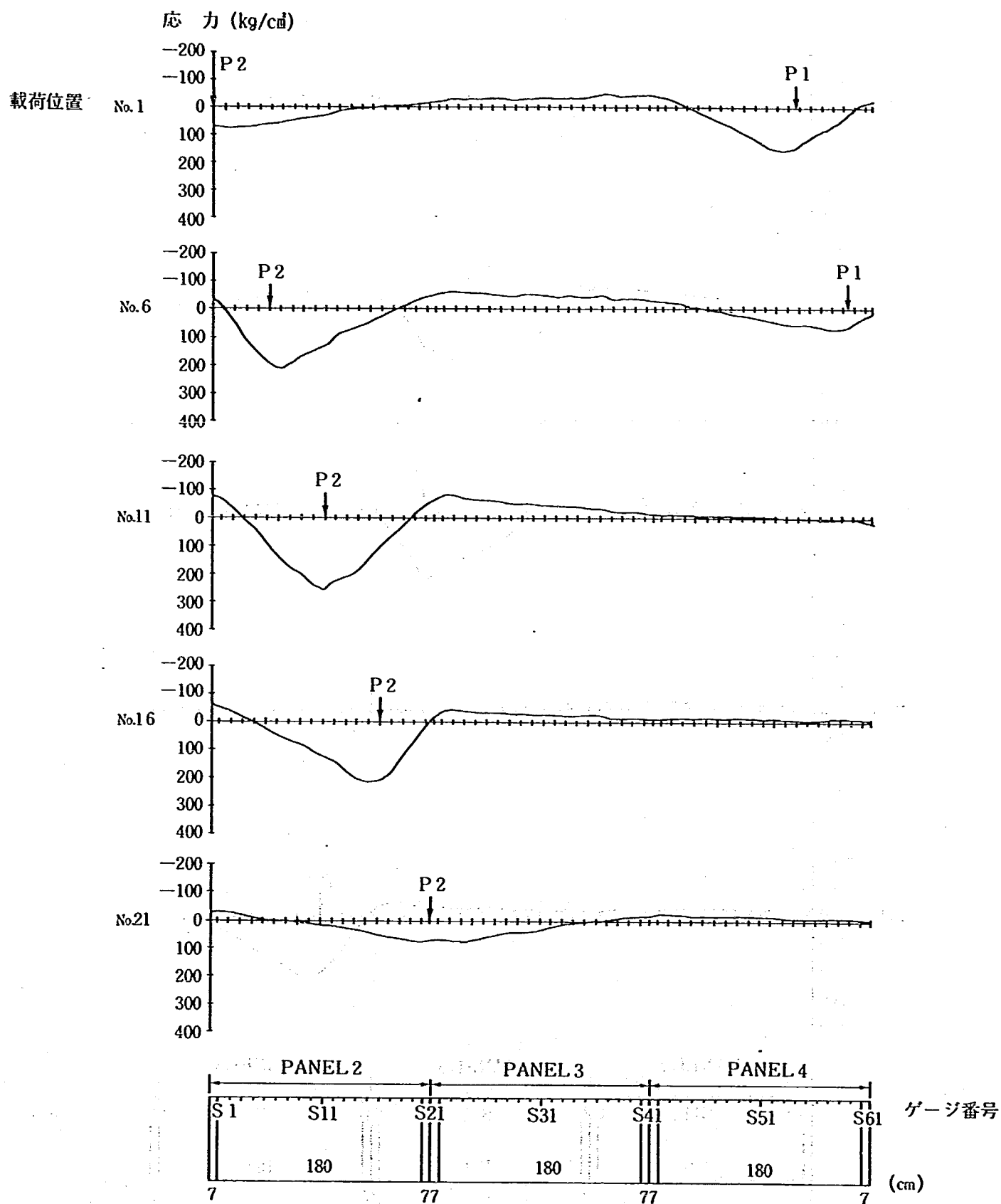
幅員方向の載荷位置のずれが縦リブの応答に与える影響を、橋軸方向に配列した縦リブ応力(ゲージ番号S1~S61)について整理した結果を図-3. 3(1)に示す。またゲージ番号31の縦リブ応力について幅員方向載荷位置の変化に対する影響線を図-3. 3(2)に示す。路肩寄り(進行方向左側)を+ (プラス) 幅員中央寄り(進行方向右側)を- (マイナス) のずれとすると、+15cm、-10cm以上のずれがある場合に縦リブひずみ応答が10%以上小さくなることがわかる。衝撃係数の測定では応答値にマイナス10%以上の誤差が含まれることは精度上問題がある。そこで動的載荷試験では、後軸ダブル・タイヤの隙間(15cm)内に走行目標線が見えること、すなわちずれの許容値 ± 7.5 cmを確認しながら行った。これにより、応答値に含まれる誤差はほぼマイナス5%以内と考えて良い。

3. 3 前回(3軸車試験)との比較

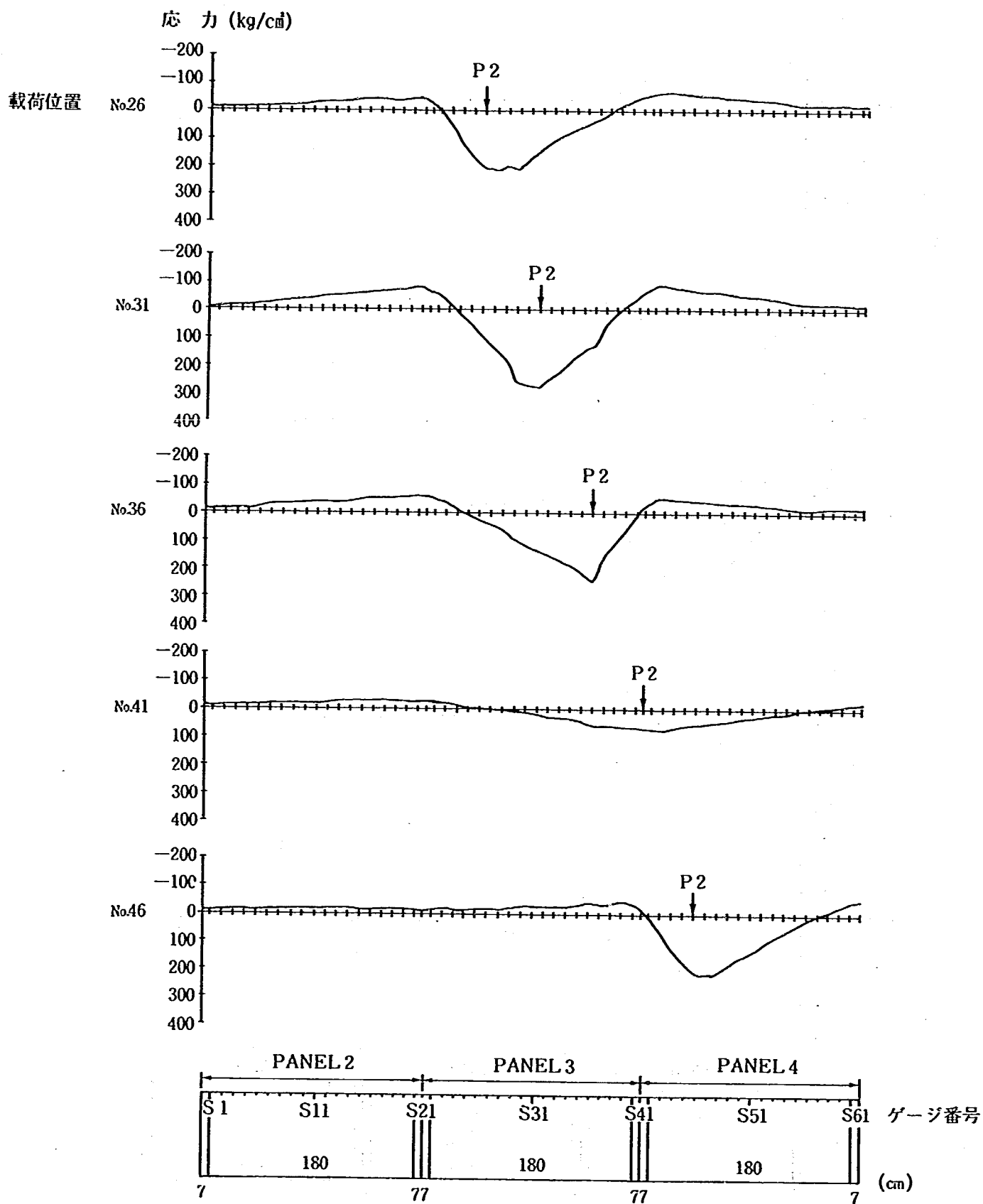
縦リブの静的応答特性を比較するために、前回の3軸車試験の結果と比較する。図-3. 4は3軸車の中軸がパネル2の中央に載荷された場合の縦リブ応力分布であり、図-3. 1(1)の載荷位置番号11と対応する。また、図-3. 5はパネル3中央縦リブの応力影響線であり、図-3. 2(2)と対応する。両者を比較すると、3軸車ではタンデム軸(中軸と後軸)による応力が合成されたような形状を示しているが、3. 1でも述べたように2軸車では後軸による応力が前軸による応力と独立した形状で現れている。以上のことから、今回用いた2軸車では3軸車走行試験時の衝撃係数と動的係数の違いの一因と考えられた車軸間の相互作用につ

いては問題とはならないと考えられる。

図-3、6は3軸車(タンデム軸重=15.1ton)、2軸車(後軸重=7.7ton(積載状態1)、15.7ton(積載状態2))による橋軸方向に配列した各縦リブひずみゲージの静的最大応答値の分布を示したものである。図からわかるように、2軸車の積載状態1と3軸車による応力分布はほぼ似かよった分布を示し、2軸車の積載状態2は両者のおよそ2倍の値をもつ分布を示している。この結果では、同じ総重量の場合2軸車はタンデム軸を持つ3軸車よりも鋼床版縦リブに、大きな応力を発生させることがわかる。



図一3.1(1) 橋軸方向载荷試験結果 (縦リブ応力分布)



図一 3.1(2) 橋軸方向载荷試験結果 (縦リブ応力分布)

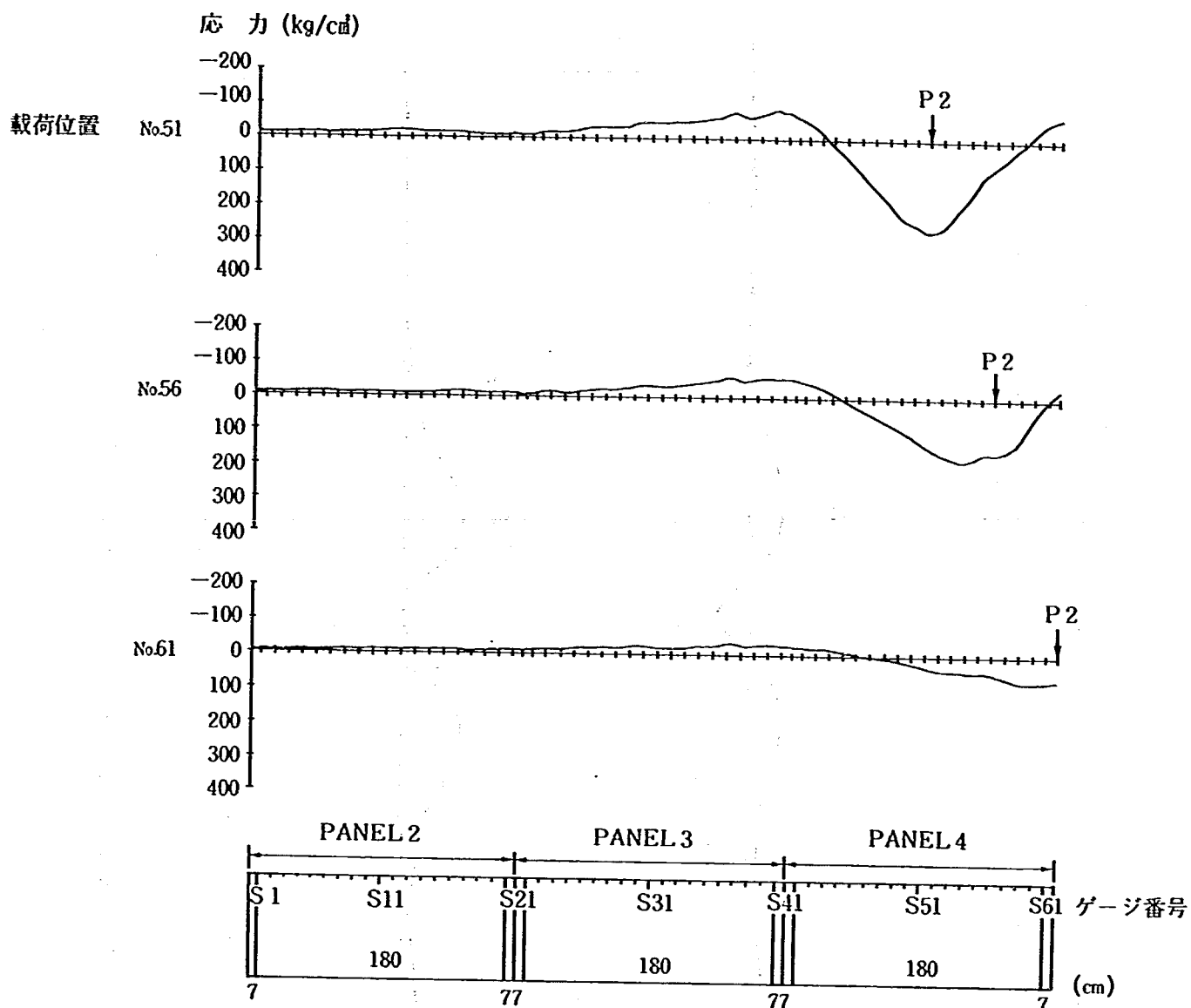
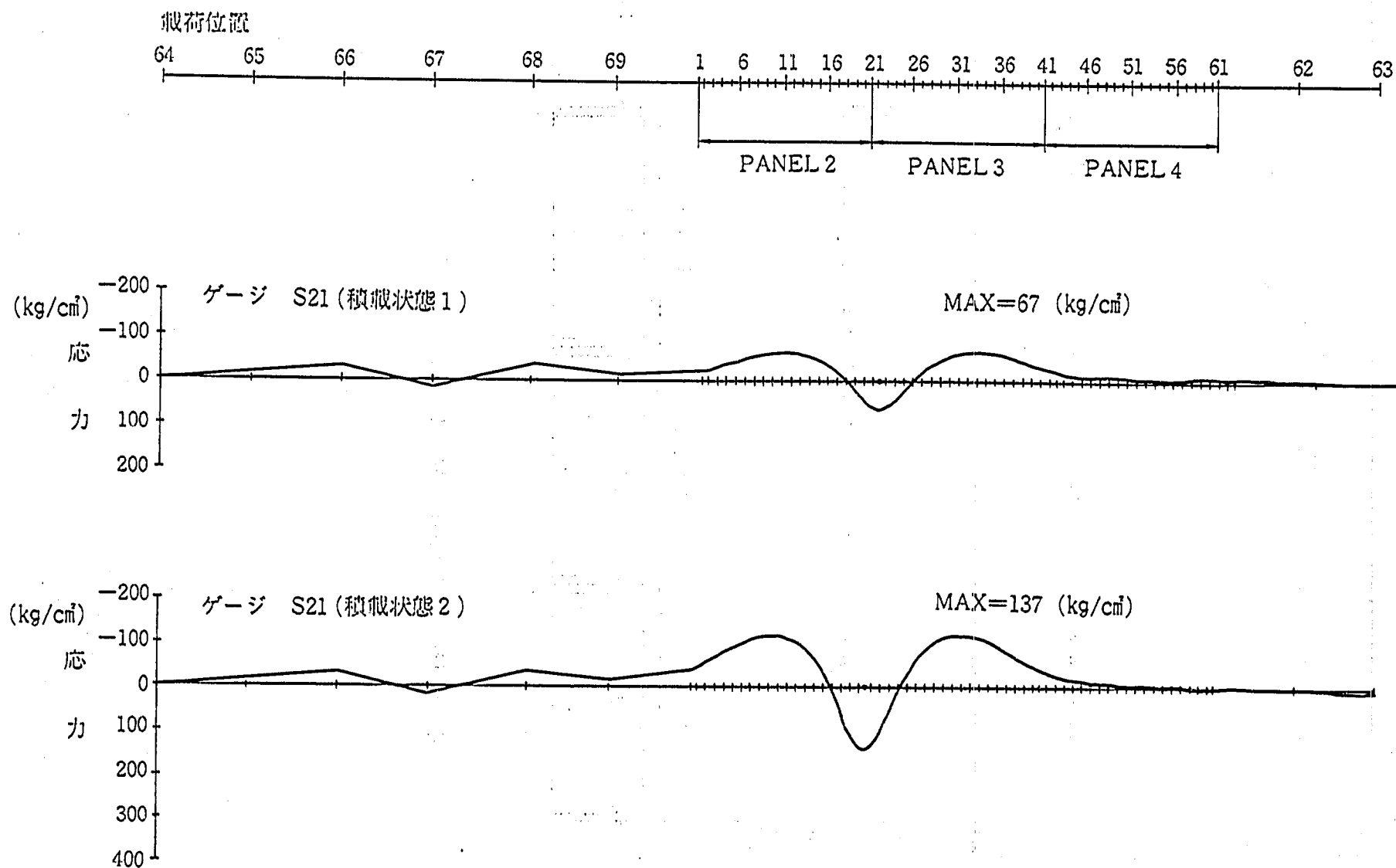
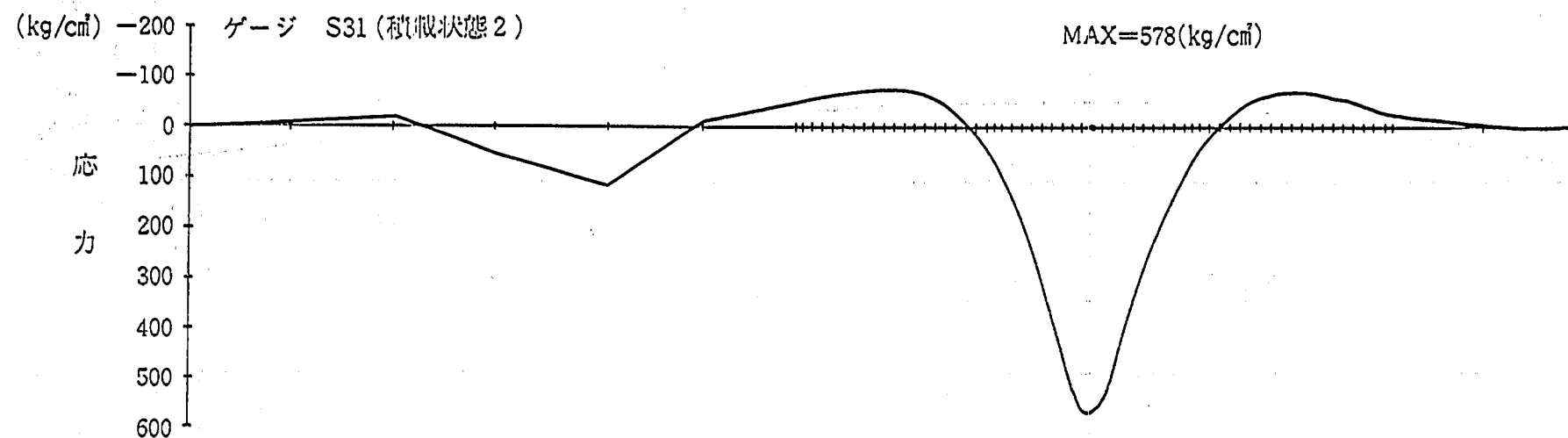
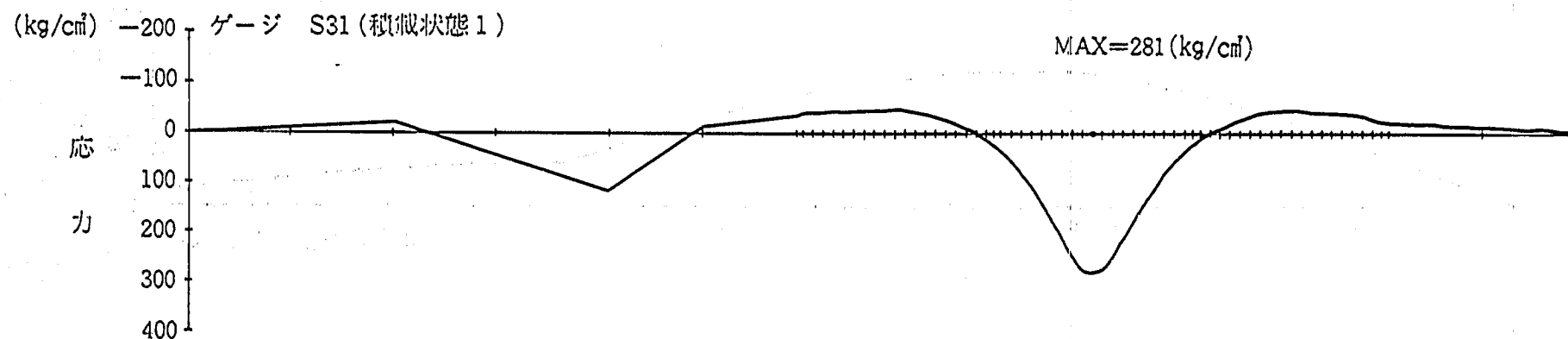
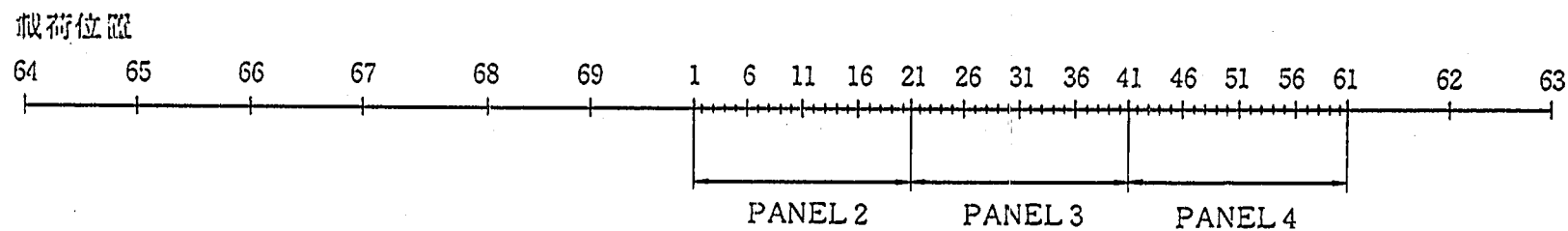


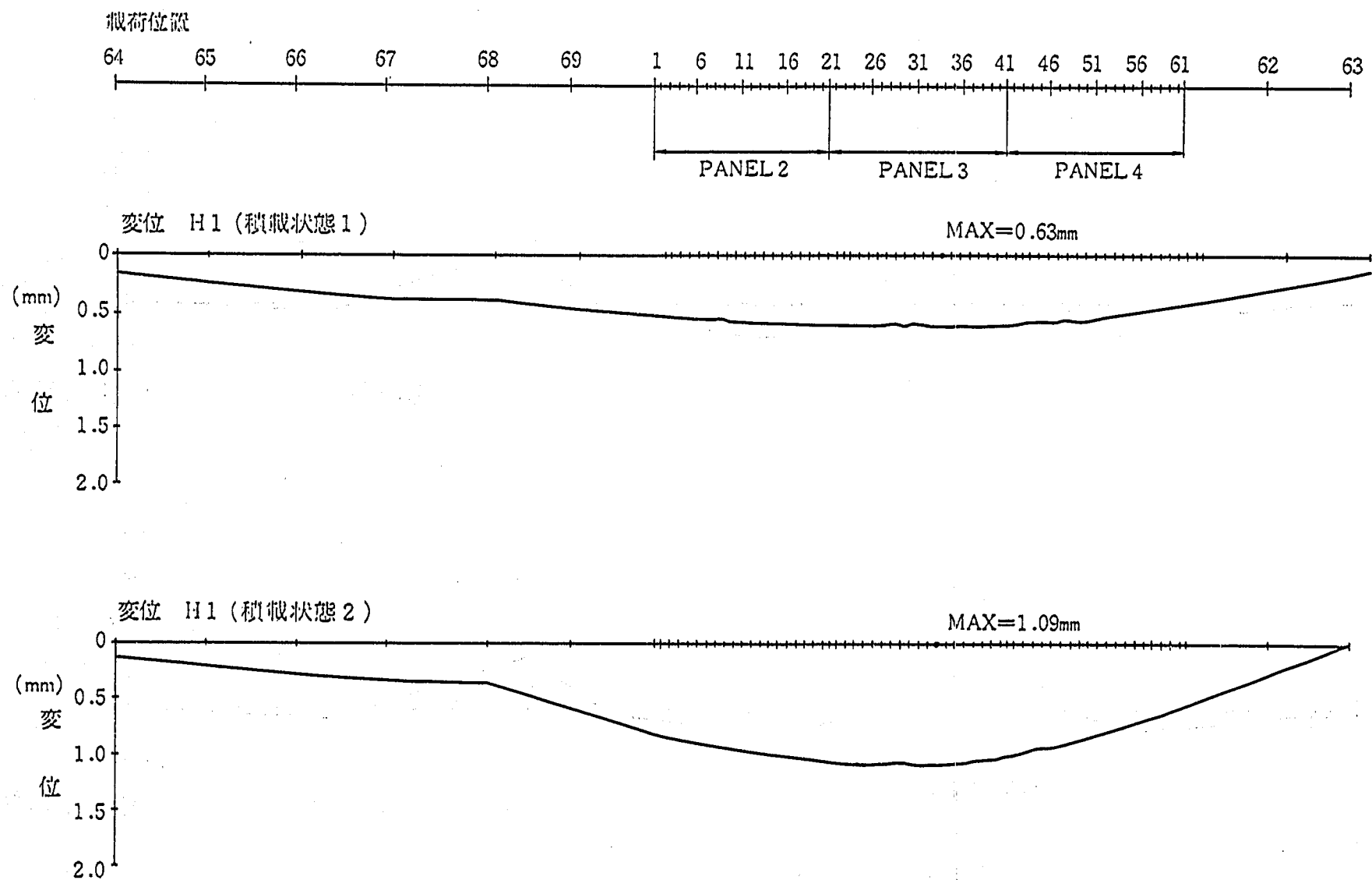
図-3.1(3) 橋軸方向載荷試験結果 (縦リブ応力分布)



図一 3.2(1) 橋軸方向載荷試験結果 (横リブ部縦リブの応力影響線)



図一 3.2(2) 橋軸方向載荷試験結果 (パネル中央部縦リブの応力影響線)



図一 3.2(3) 橋軸方向載荷試験結果 (主桁変位計の変位影響線)

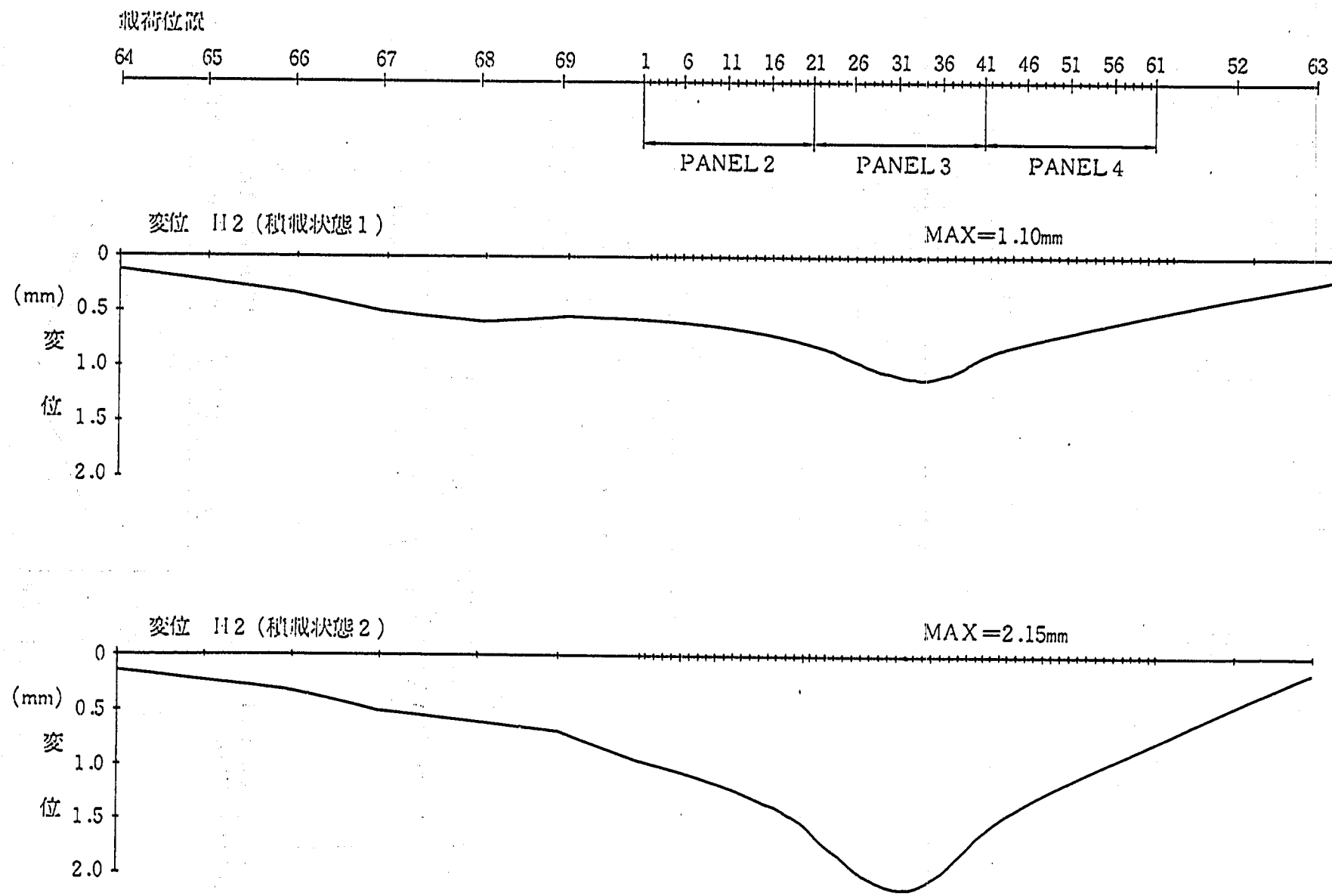
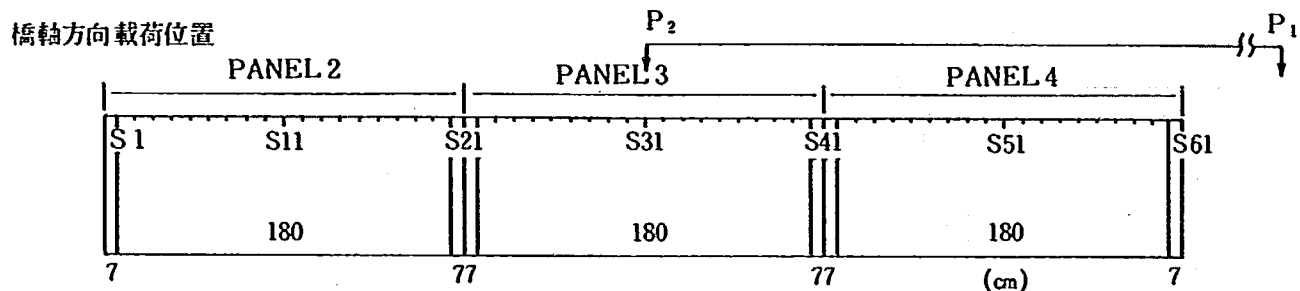
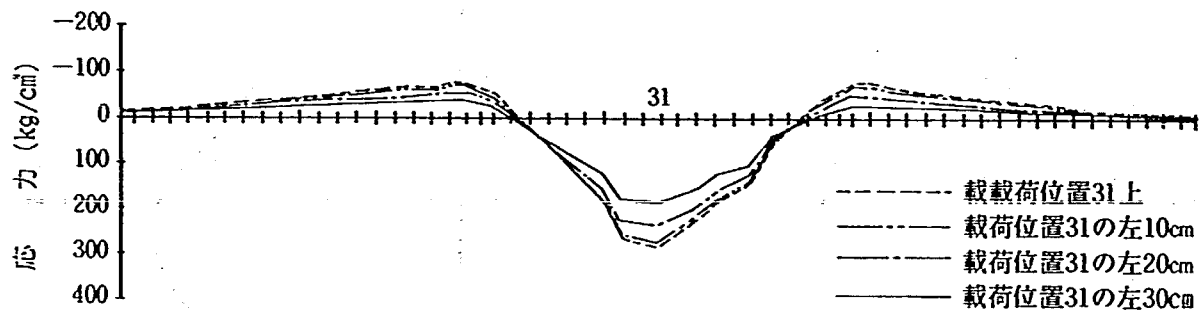


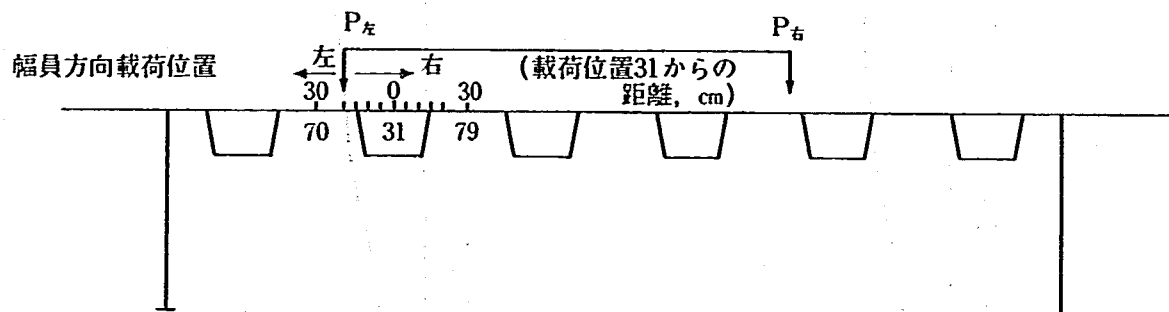
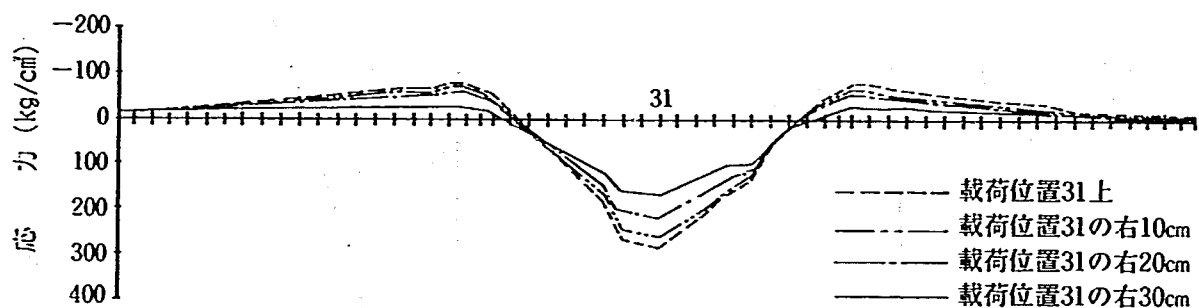
図-3.2(4) 橋軸方向載荷試験結果 (縦リブ変位計の変位影響線)



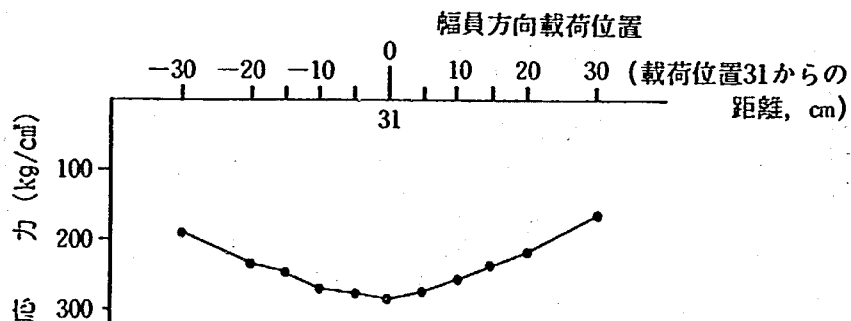
橋軸方向の縦リブ応力分布 (載荷位置31から左側に載荷した場合)



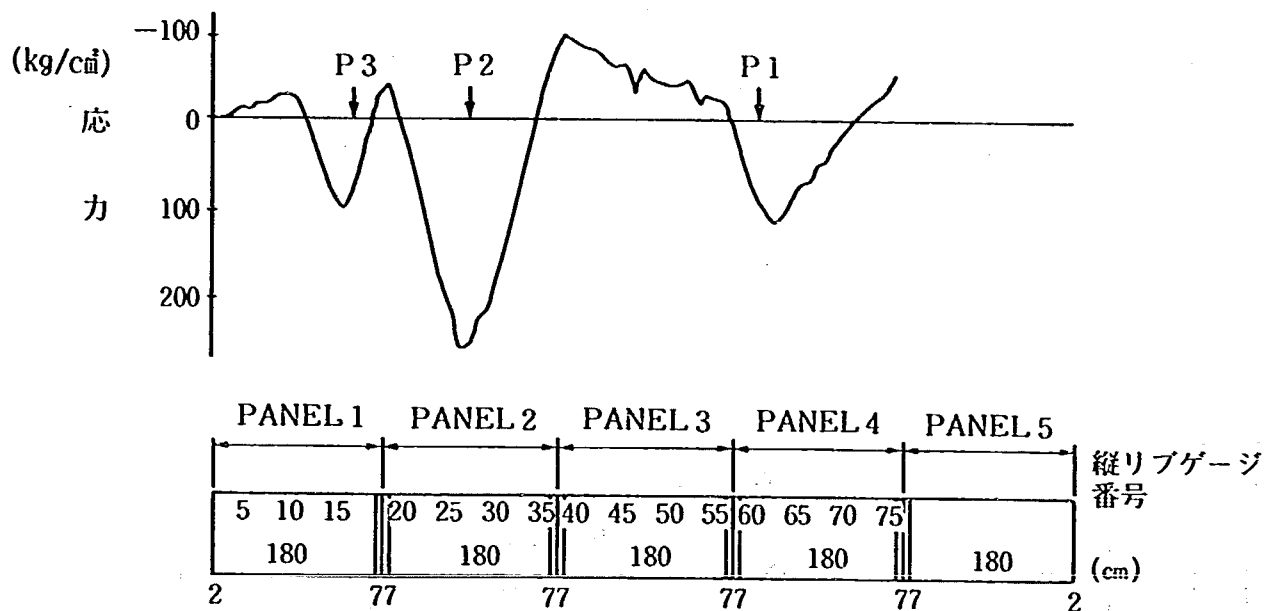
橋軸方向の縦リブ応力分布 (載荷位置31から右側に載荷した場合)



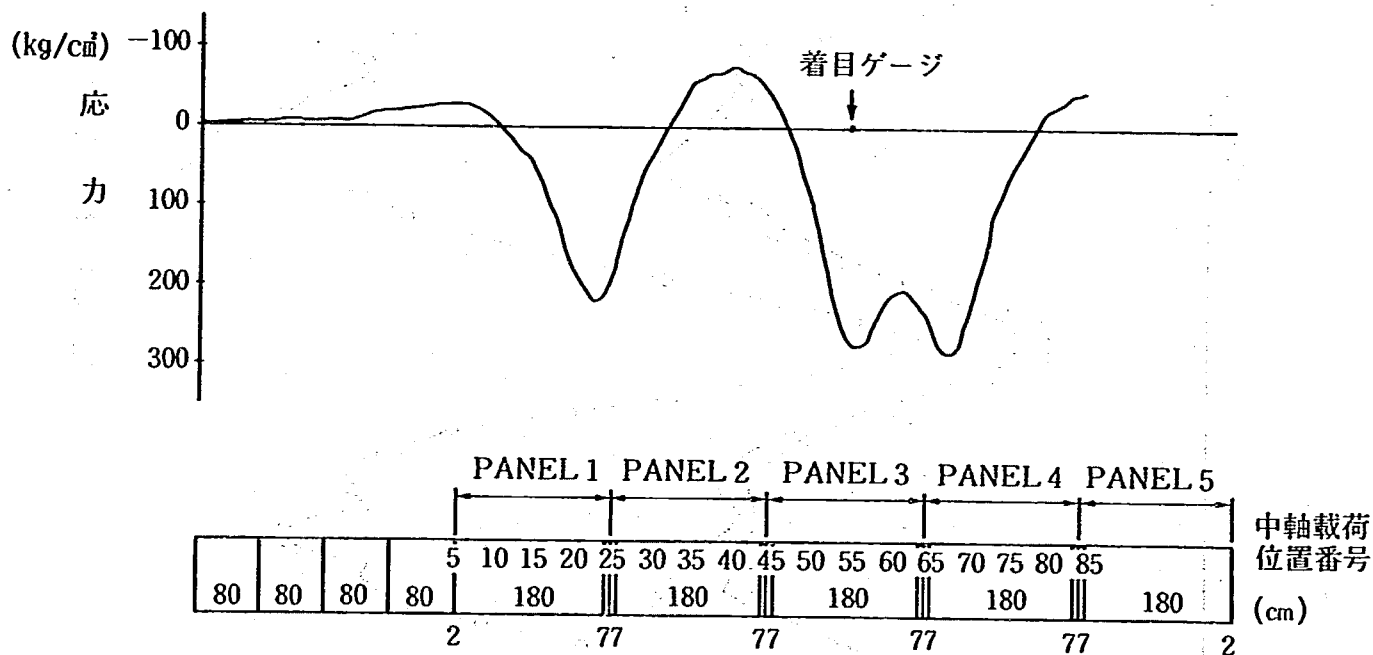
幅員方向載荷位置の変化に対する
載荷位置31上の縦リブ応力
影響線



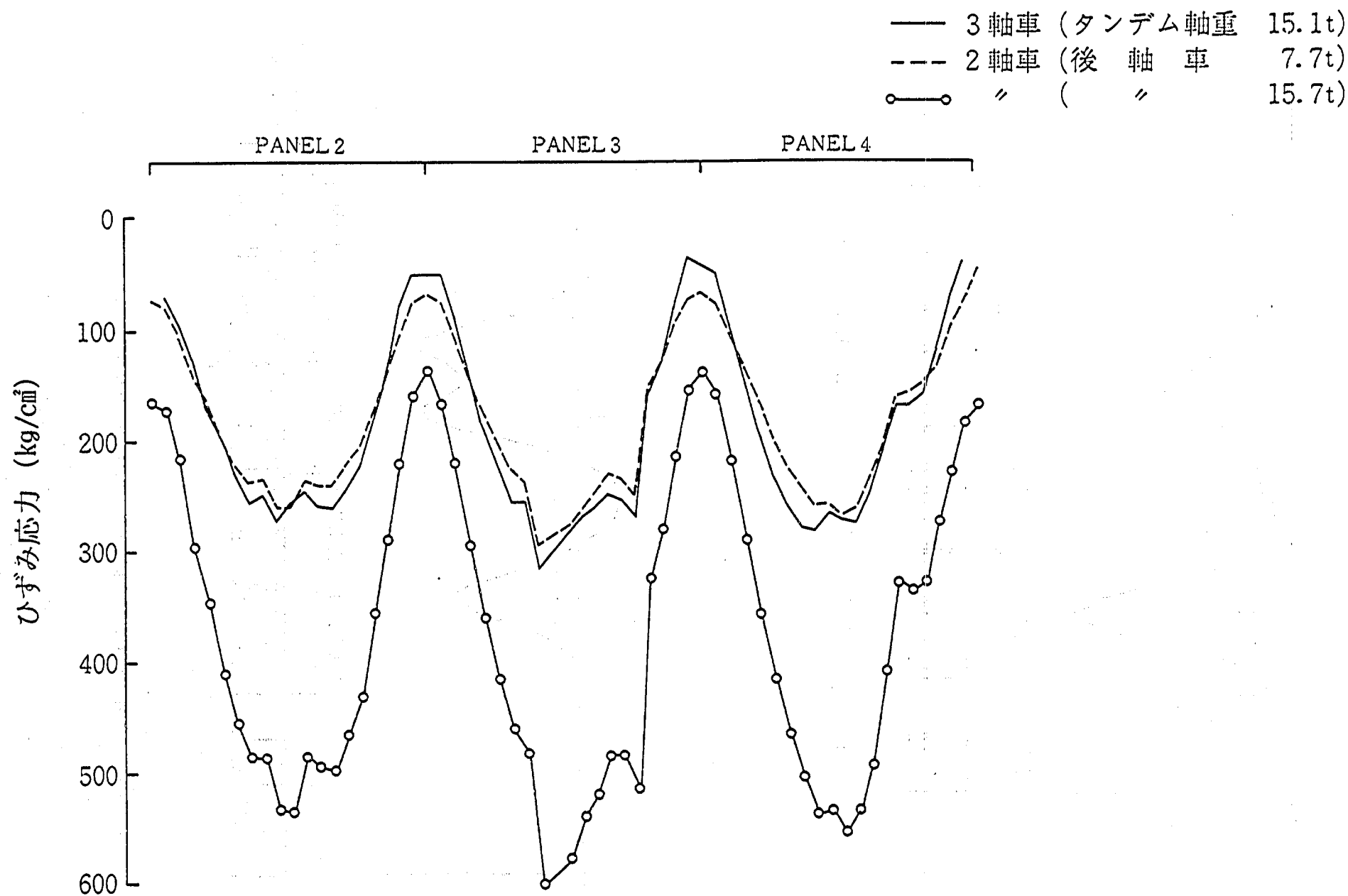
図—3.3 幅員方向載荷試験結果 (載荷位置31と70~79との比較)



注; P1, P2, P3はそれぞれ試験車の前輪, 中輪, 後輪を表わす。



図一 3.5 3軸車による縦リブの応力影響線



図一 3.6 3 軸車と 2 軸車による静的最大応答値 (縦リブ応力) の比較

表-3.1 静的最大応答値

測定部材	ゲージ番号	積 載 状 態		測定部材	ゲージ番号	積 載 状 態		測定部材	ゲージ番号	積 載 状 態	
		1	2			1	2			1	2
縦 リ ブ 応 力	S-1	73.5	163.8	縦 リ ブ 応 力	S-32	262.5	541.8	縦 リ ブ 応 力	S-63	58.8	136.5
	2	79.8	172.2		33	247.8	520.8		64	58.8	115.5
	3	102.9	216.3		34	231.0	485.1		65	300.3	615.3
	4	142.8	296.1		35	235.2	485.1		66	27.3	60.9
	5	168.0	346.5		36	249.9	516.6	変 位	主桁 H-1	0.63	1.09
	6	197.4	469.5		37	155.4	323.4		縦リブ H-2	1.10	2.15
	7	222.6	455.7		38	128.1	279.3		主桁 H-3	0.70	1.18
	8	237.3	485.1		39	96.6	214.2	縦リブ応力: kg/cm ²			
	9	235.2	487.2		40	73.5	155.4	変 位: mm			
	10	258.3	533.4		41	67.2	138.6				
	11	258.3	535.5		42	77.7	159.6				
	12	235.2	485.1		43	105.0	222.6				
	13	239.4	495.6		44	138.6	291.9				
	14	239.4	497.7		45	165.9	357.0				
	15	222.6	464.1		46	201.6	417.9				
	16	205.8	428.4		47	224.7	466.2				
	17	174.3	354.9		48	243.6	506.1				
	18	140.7	287.7		49	260.4	537.6				
	19	105.0	220.5		50	258.3	535.5				
	20	75.6	159.6		51	268.8	556.5				
	21	67.2	136.5		52	262.5	535.5				
	22	75.6	165.9		53	235.2	495.6				
	23	105.0	220.5		54	205.8	409.5				
	24	144.9	294.0		55	163.8	331.8				
	25	174.3	361.2		56	157.5	338.1				
	26	203.7	415.8		57	149.1	331.8				
	27	224.7	459.9		58	134.4	275.1				
	28	237.3	483.0		59	100.8	228.9				
	29	296.1	602.7		60	77.7	184.8				
	30	159.6	323.4		61	73.5	170.1				
	31	281.4	577.5		62	21.0	58.9				

4. 動的載荷試験結果

4. 1 橋梁の試験結果

4. 1. 1 縦リブ

1) 時刻歴応答

試験車が走行したときの鋼床版縦リブのひずみ、変位の動的応答波形の一例を図-4. 1(1)~(4)に示す。(1)、(2)はひずみについて示したものである。通常走行(段差なし)の場合、縦リブは輪重の影響を受けた応答となっており、床版の固有振動数と考えられるような成分は見られていない。段差走行の場合、段差の影響と考えられる衝撃的な成分が現れており、段差が無い場合と比較し、応答値も増大している。段差の影響が顕著に現れているのは(1)の総重量12tの場合であり、(2)の総重量20tの場合は影響の現れ方が小さくなっているようである。(3)、(4)は変位について示したものである。縦リブ変位の波形には橋全体の変形と鋼床版の変形が重ね合わされた応答が生じているように見受けられる。縦リブひずみの動的応答の最大値と静的載荷の影響線の最大値の比率から衝撃係数を求め、図-4. 2に示すように衝撃係数の分布図を作成した。その結果、段差のない場合でも車両が路面に及ぼす動荷重の変動によると考えられる衝撃係数の変動が見られる(図-4. 2(1)~(4)参照)。また、段差のある場合大きな衝撃係数が生じるのは段差板の真下付近で、段差より離れると衝撃係数が小さくなる傾向にある(図-4. 2(5)~(6)参照)。そこで、段差量の影響を見るためにスパン中央部の鋼床版(第3パネル)に着目し、表-4. 1に示すように衝撃係数をとりまとめた。

2) 通常走行時の衝撃係数

積載状態1、2ともに段差のない場合の衝撃係数は多くのケースで負の値をとる。ここで通常走行時の縦リブのひずみ応力分布を静載荷の場合と比較して図示する。図-4. 3は後輪がゲージNaS31、65上に位置するときの幅員方向のひずみ応力分布のグラフである。グラフよりひずみ応力は動載荷時の方が車輪直下の点では、ほぼ同程度~20%程度小さくなっており、又、その他の点ではほぼ同程度~2倍程度の値となった。次に図-4. 4は後輪がゲージNaS31上の橋軸方向のグラフである。後輪直下のゲージNaS31で約20%ひずみ応力が低下している他、圧縮応力が生じているゲージNaS9で約30%、Na33で約40%それぞれ低下している。

これらのことから、動的載荷時には幅員方向に荷重が分配されそのため橋軸方向、走行目標線上では全般にひずみ応力が低下し衝撃係数が負の値になる原因となっている事がわかる。

参考に、作年度のRC床版での例を図-4. 5、6に示す。ここでは後2軸の3軸ダンプトラックを用いており第2軸が着目点上に載荷された場合をとりあげた。図は車輪がゲージNa13上にある時の主鉄筋のひずみ応力のグラフである。図-4. 5は幅員方向の例であり鋼床版と同様の傾向を示している。図-4. 6は橋軸方向のグラフであるが動的載荷時には最大で20%程度低下しておりこれも鋼床版と同様の傾向となった。圧縮側では約40%の差が見られた。幅員方向のグラフより、走行位置がG6側にややずれた事も考えられるが、静載荷時にG6側に載荷位置をずらした実験でも圧縮側のひずみ応力にはほとんど変化が見られないことからこれは静荷重、動荷重の特性の違いと見ることがで

きる。

3) 段差走行時の衝撃係数

段差のある場合、積載状態によって衝撃係数の値は大きく異なり、積載状態1では段差10mm、20mmの場合それぞれ0.29、0.54となった。しかし積載状態2では段差のある場合でも衝撃係数は負の値となる傾向にある(図-4.7参照)。これは4.2車両の試験結果に示すように車両重量が増加すると車両が路面に及ぼす動荷重の静荷重に対する比率(動的係数)が小さくなることによると考えられる。また段差のある場合には走行速度が増大すると衝撃係数も増加する傾向にある(図-4.8参照)。図-4.2(5)、(6)より、大きな衝撃係数が作用するのは段差板の真下辺りになるので、段差板を着目床版中央より1、2、3m手前に置いた場合、着目床版での衝撃係数は小さくなっている。

4. 1. 2 主桁

1) 時刻歴応答

試験車が走行した時の鋼床版主桁変位の動的応答波形の一例を図-4.9に示す。段差がない場合には静的なたわみに加えて桁のたわみ振動によると考えられる振動成分が見られる。その卓越動数は概略、車両総重量12tの場合は3.7Hzに、車両総重量20tの場合は2.8Hzになっている。また段差がある場合には桁の固有振動成分に加えて、段差の影響と考えられる高い周波数の振動成分が見られる。積載状態による違いを調べると、総重量20tの場合には、12tの場合と比較して、動的な振動成分が減少する傾向にあることが分る。これは4.2の車両の試験結果で示すように、車両重量が増加すると動的係数が減少することと対応している。

2) 衝撃係数

表-4.2に衝撃係数を取りまとめた。縦リブと異なり、段差がない場合にも0.2~0.49程度の値となった。これは桁のたわみ振動による変動成分を持つためと考えられる。衝撃係数は段差量とともに増大し、段差10mmの場合で0.30~0.61、段差20mmの場合で0.38~1.23程度の値となった。また、衝撃係数は走行速度により増加し、車両重量が増加すると減少する傾向を示した。

今回、実験対象とした鋼床版の主桁はスパンが短く、縦リブの衝撃係数と同様に段差量をパラメータとしてとりまとめることができる。ただし、段差がない場合にも、たわみ振動による動的増分が生じる点が、縦リブと異なる。

4. 2 車両の試験結果

試験車走行時に測定された車体のバネ上、バネ下の鉛直方向の加速度より、車両が路面に及ぼす動荷重を求めた。この一例として左後車輪の動荷重の時刻歴図を図-4.10(1)~(4)に示す。各時刻歴図の頭の部分には試験車の位置検出用に設置した段差板による動荷重変動が見られるが、試験車が橋梁に進入する前にはこの変動は減衰してしまい橋梁上の測定結果には影響を与えていない。ただし橋梁の伸縮装置部に段差があり、その付近で大きな動荷重が作用しておりこちらの方は橋梁上の測定結果に若干影響を与えている。動荷重の振動成分は、車両のバネ上振動に起因する低周波成分と車両のバネ下振動に起因する高周波成分とからなる。

段差のない一般部を走行するときには、低周波成分が顕著であるが、段差部を走行するときには、高周波成分が顕著となる。左後車輪動荷重の時刻歴図より、段差有りの場合には段差板の中央から、また段差なしの場合には段差板と同じ位置からそれぞれ前後1 mの区間内での最大値を読み取り、静荷重との比率（動的係数）を求めた。その結果を表-4. 3に整理した。段差20mmの場合は段差なし、10mmの場合と比較し、動的係数が大きくなっている。また走行速度が増大すると動的係数が増加し、積載重量が増加すると速度40km/hの場合に動的係数が減少していることが分かる。参考のため、バネ上荷重、バネ下荷重の時刻歴波形のスペクトル解析を行い、卓越振動数を求めた結果を表-4. 4に整理した。積載重量が大きくなると、バネ上振動数が低くなり、バネ下振動数がやや高くなっている。このことから推定されるように積載状態により車両の質量、バネ定数、減衰定数などの振動特性が変化し、車両重量が増加すると同一路面上を走行した場合に車両に生じる鉛直方向加速度が小さくなることが分かる。

4. 3 橋梁側（衝撃係数）と車両側（動的係数）の比較

図-4. 11に鋼床版縦リブの最大衝撃係数と後軸左輪重の最大動的係数を比較した。段差の無い場合でも車両に若干の振動が見られ、そのため動的係数はすべて正の値を示しているが、これに対し、衝撃係数の方は段差の無い場合や車両総重量が20 t（積載状態2）の場合は負の値となっている。また衝撃係数が正の値をとる場合でも動的係数に対する比率は3割程度と両者の間には大きなギャップが生じている。

同様の傾向が60年度に実施した3軸車を用いた実験でも見られた。このとき、衝撃係数と動的係数にギャップが生じた原因の一つとして3軸車中軸と後軸の動荷重の変動に時間的なずれがあることが考えられたが、タンデム軸を持たない2軸車でも同様な傾向が見られたことから、この理由は必ずしもあてはまらないことが明らかとなった。

4. 4 2軸車と3軸車の実験結果の比較

1) 衝撃係数

2軸車と3軸車のスパン中央部の鋼床版縦リブの衝撃係数を図-4. 12に比較した。速度が20km/hの場合は3軸車が、40km/hの場合は2軸車がそれぞれ他と比較して大きくなっており、一定の傾向を示していない。一方、段差量の影響は2軸車、3軸車共に顕著に現れている。衝撃係数に及ぼす車種の影響は、段差量による影響と比較し、相対的に小さいと言って良い。

2) 動的係数

2軸車と3軸車の動的係数を図-4. 13に比較した。速度の影響は2軸車の方が3軸車に比較して大きく、段差量の影響は2軸車、3軸車共に顕著に現れている。段差量20mm、速度40km/hの場合を除いて2軸車と3軸車で動的係数はほぼ一致しており、衝撃係数と同様に車種の影響は小さい。

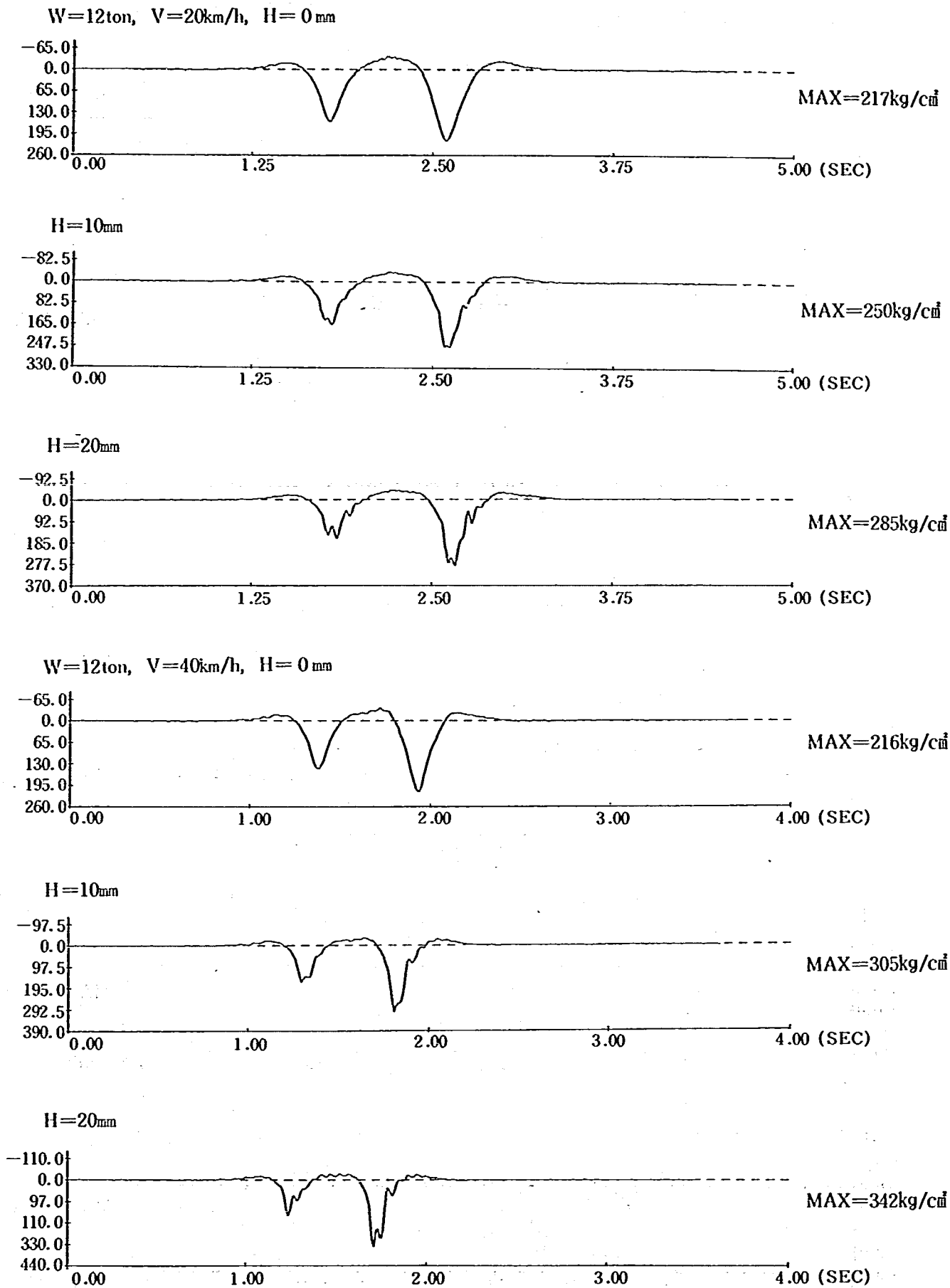


図-4. 1(1) 動的応答時刻歴図 (縦リブ応力)
(スパン中央, 縦リブ支間中央)

W: 車両重量
V: 走行速度
H: 段差量

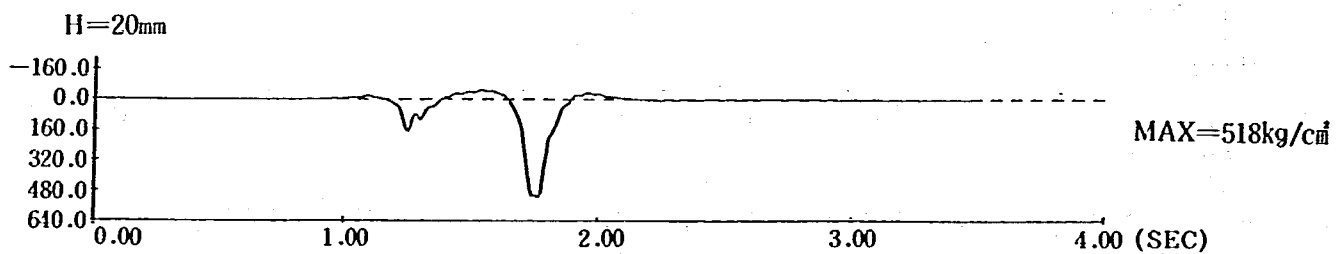
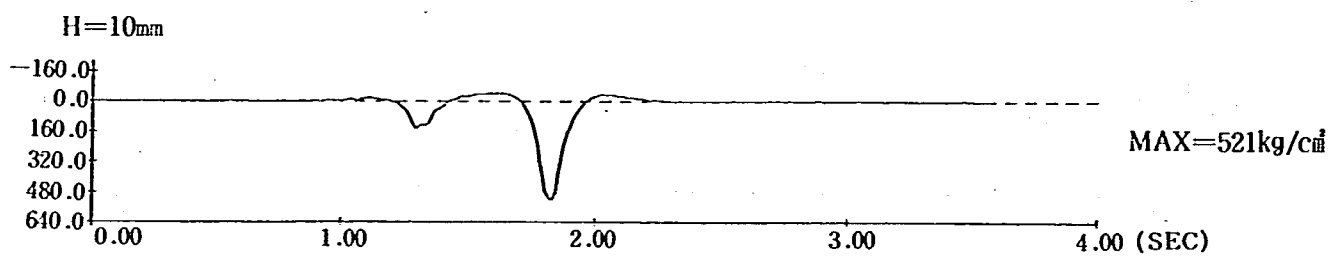
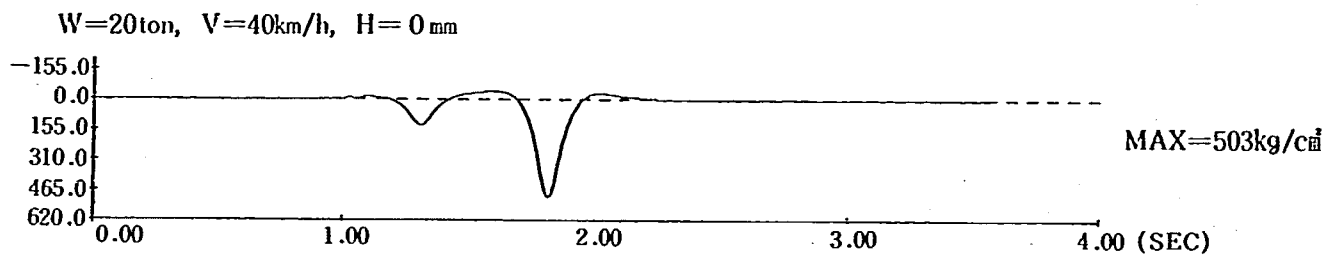
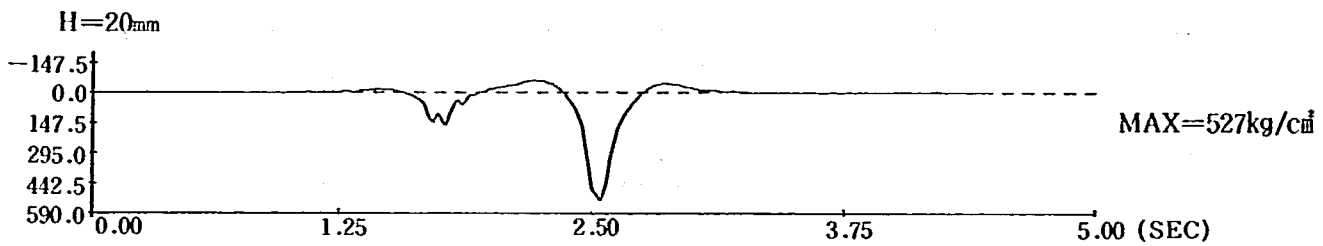
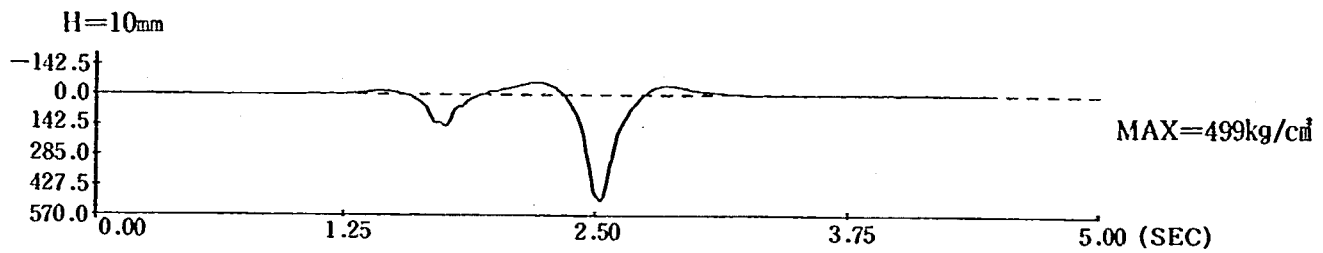
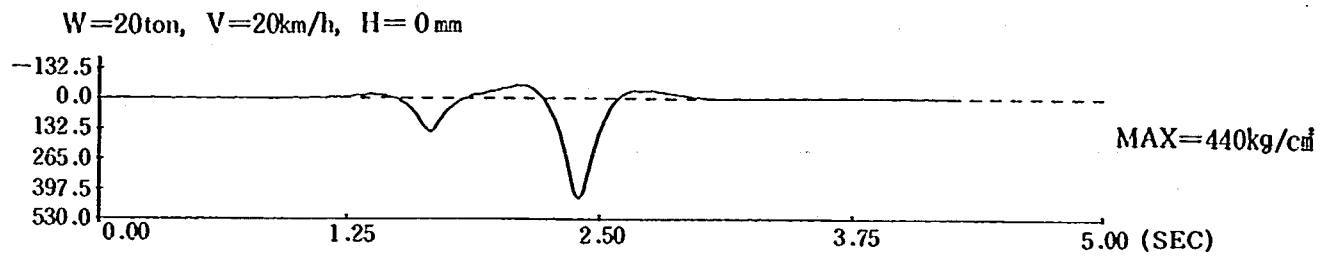
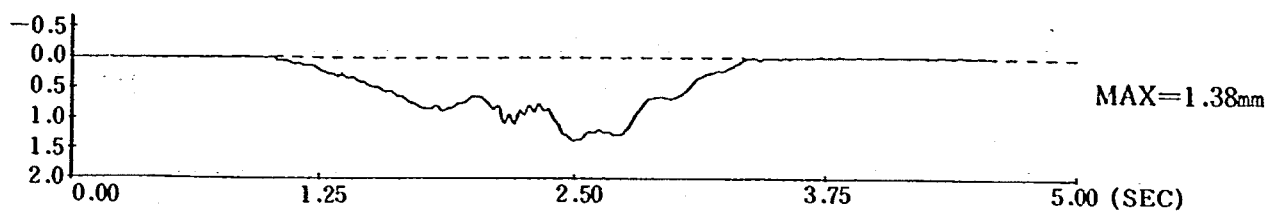


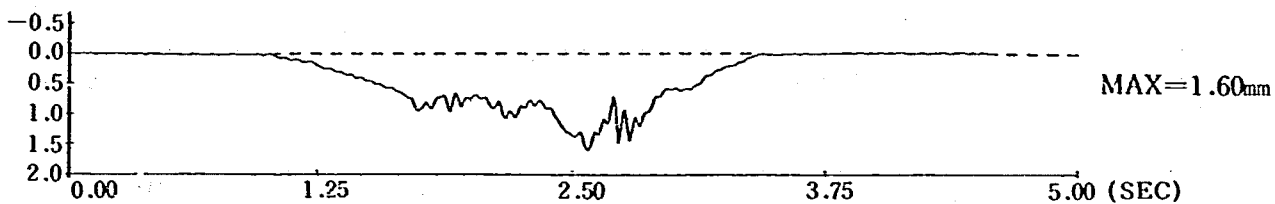
図-4. 1(2) 動的応答時刻歴図 (縦リブ応力)
(スパン中央, 縦リブ支間中央)

W: 車両総重量
V: 速度
H: 段差量

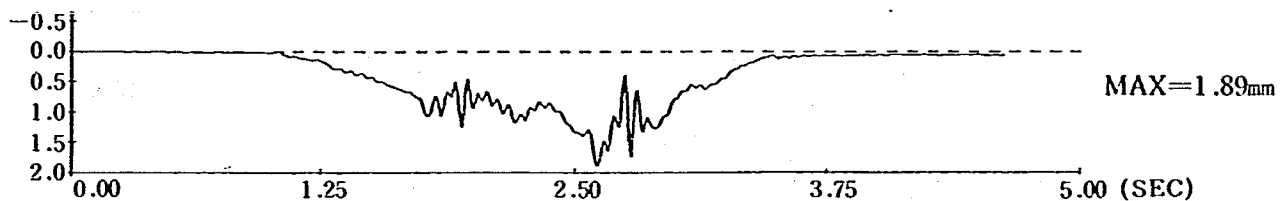
W=12ton, V=20km/h, H=0mm



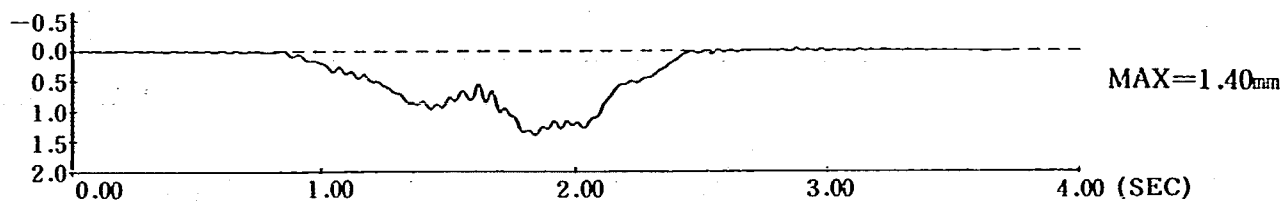
H=10mm



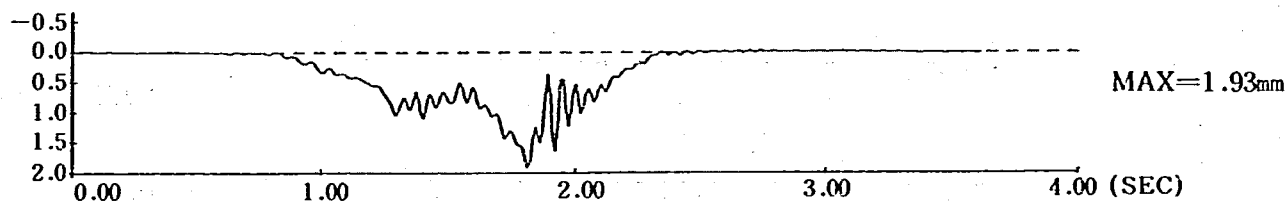
H=20mm



W=12ton, V=40km/h, H=0mm



H=10mm



H=20mm

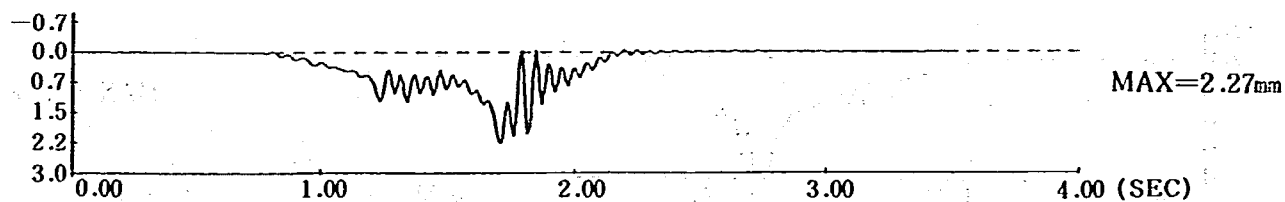


図-4. 1(3) 動的応答時刻歴図 (縦リブ変位)
(スパン中央, 縦リブ支間中央)

W: 車両総重量
V: 速度
H: 段差量

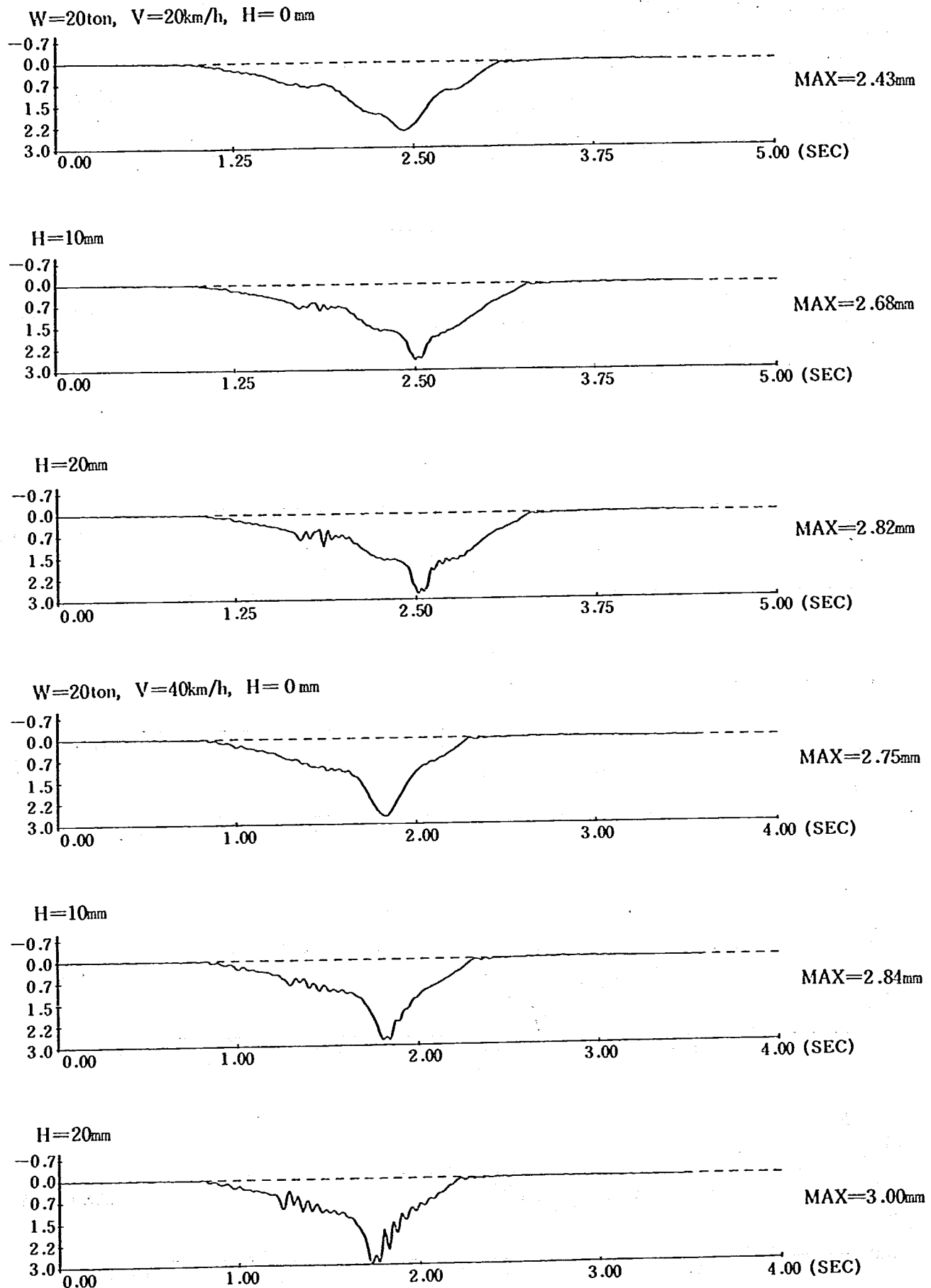
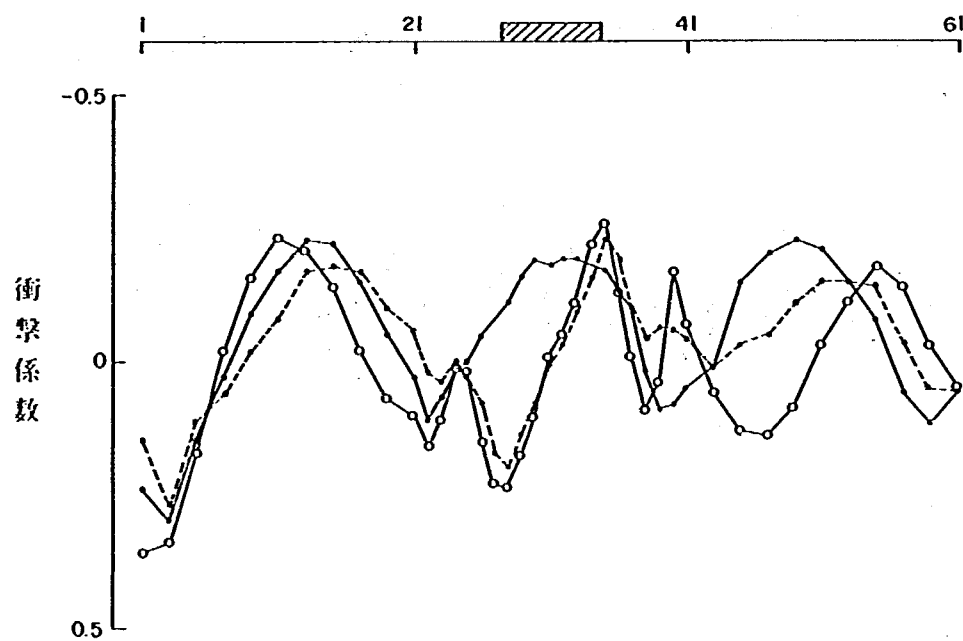


図-4. 1(4) 動的応答時刻歴図 (縦リブ変位)
(スパン中央, 縦リブ支間中央)

W: 車両総重量
V: 速度
H: 段差量

(1) 段差量の影響〔0, 10, 20mm〕
車両総重量12ton 速度40km/h

●—● 段差0mm (3回平均)
●- - ● 〃 10mm (〃)
○—○ 〃 20mm (〃)



(2) 段差量の影響〔0, 10, 20mm〕
車両総重量12ton 速度20km/h

●—● 段差0mm (3回平均)
●- - ● 〃 10mm (〃)
○—○ 〃 20mm (〃)

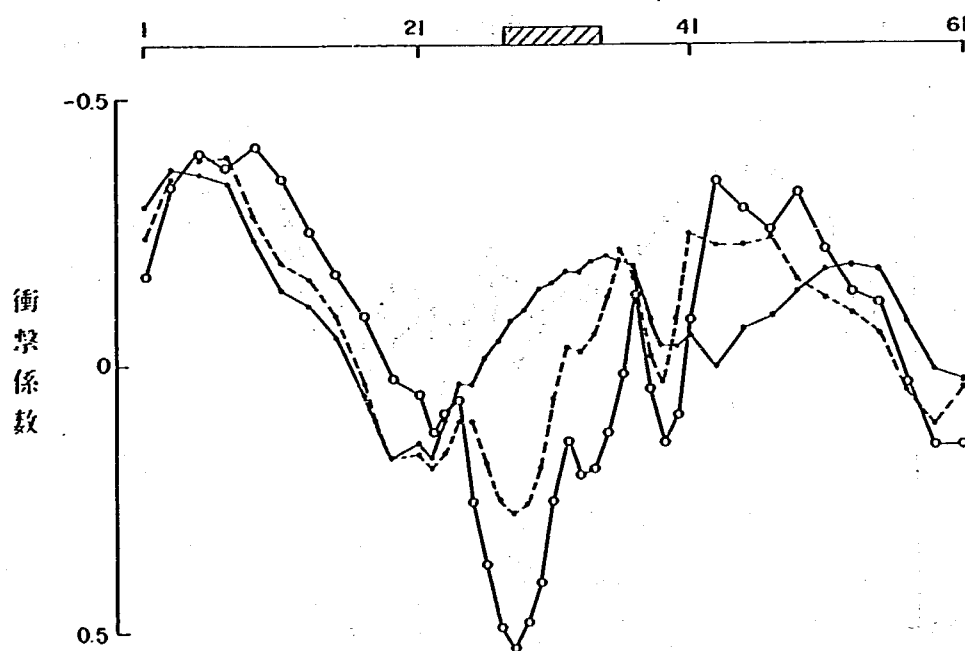
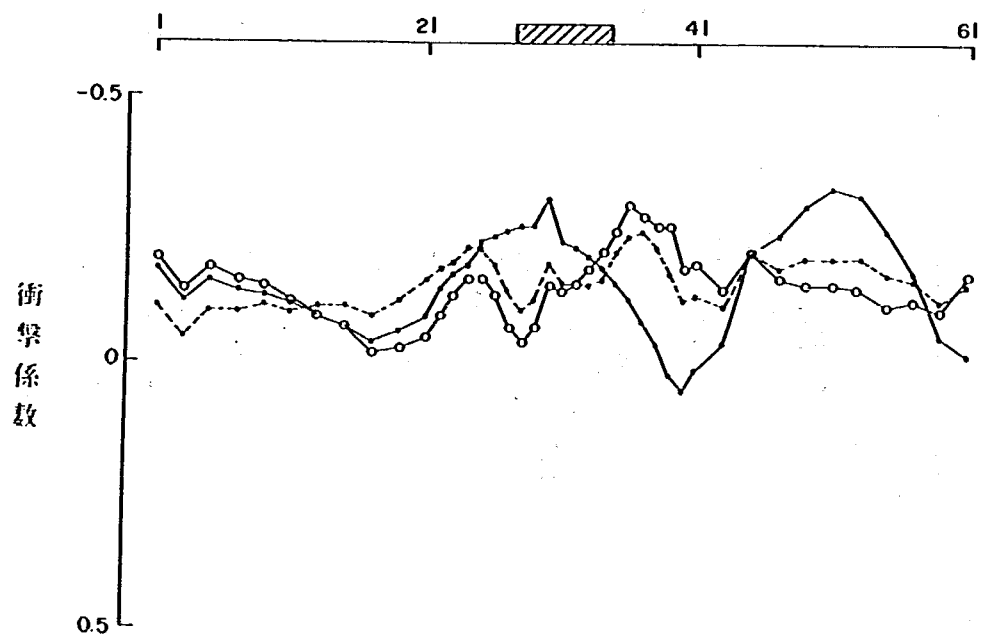


図-4.2 鋼床版縦リブの衝撃係数分布図 (その1)

(3) 段差量の影響〔0, 10, 20mm〕
車両総重量20ton 速度20km/h

●—● 段差 0 mm (3回平均)
●- - ● 〃 10mm (〃)
○—○ 〃 20mm (〃)



(4) 段差量の影響〔0, 10, 20mm〕
車両総重量20ton 速度40km/h

●—● 段差 0 mm (3回平均)
●- - ● 〃 10mm (〃)
○—○ 〃 20mm (〃)

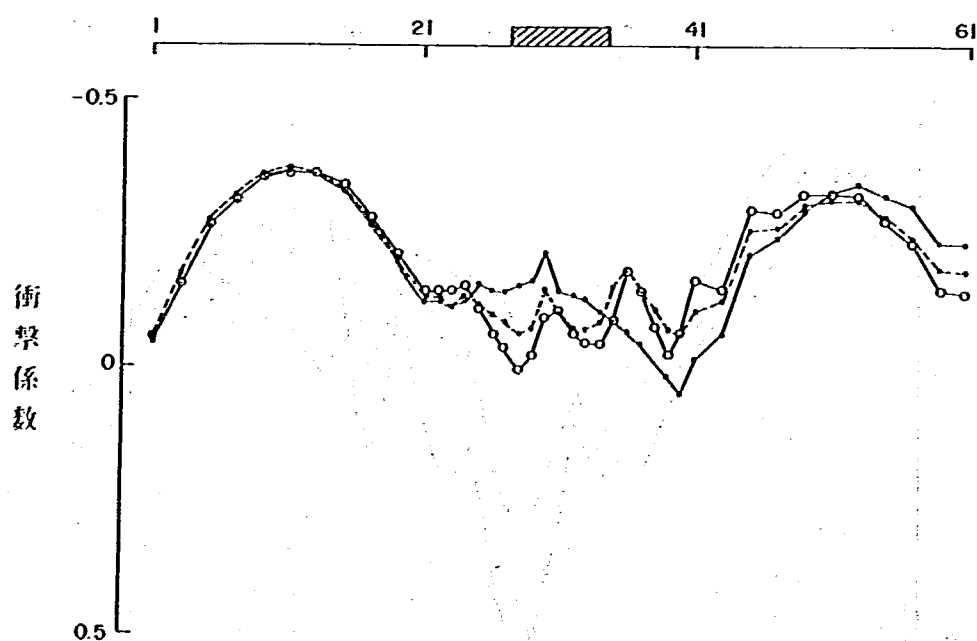
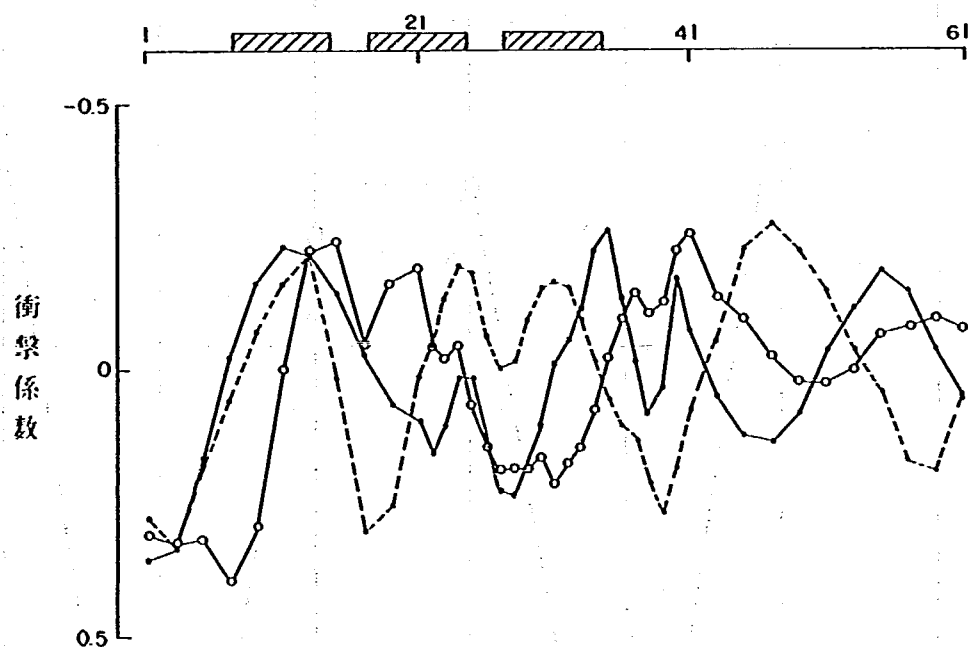


図-4. 2 鋼床版縦リブの衝撃係数分布図 (その2)

(5) 段差位置の影響 [スパン中央, スパン中央より1m, 2m手前]
車両総重量12ton 速度20km/h, 段差20mm

●—● スパン中央 (3回平均)
- - - 1 m 手前 (♡)
○—○ 2 m 手前 (♡)



(6) 段差位置の影響 [スパン中央, スパン中央より1m, 2m手前]
車両総重量12ton, 速度40km/h, 段差20mm

●—● スパン中央 (3回平均)
- - - 1 m 手前 (♡)
○—○ 2 m 手前 (♡)

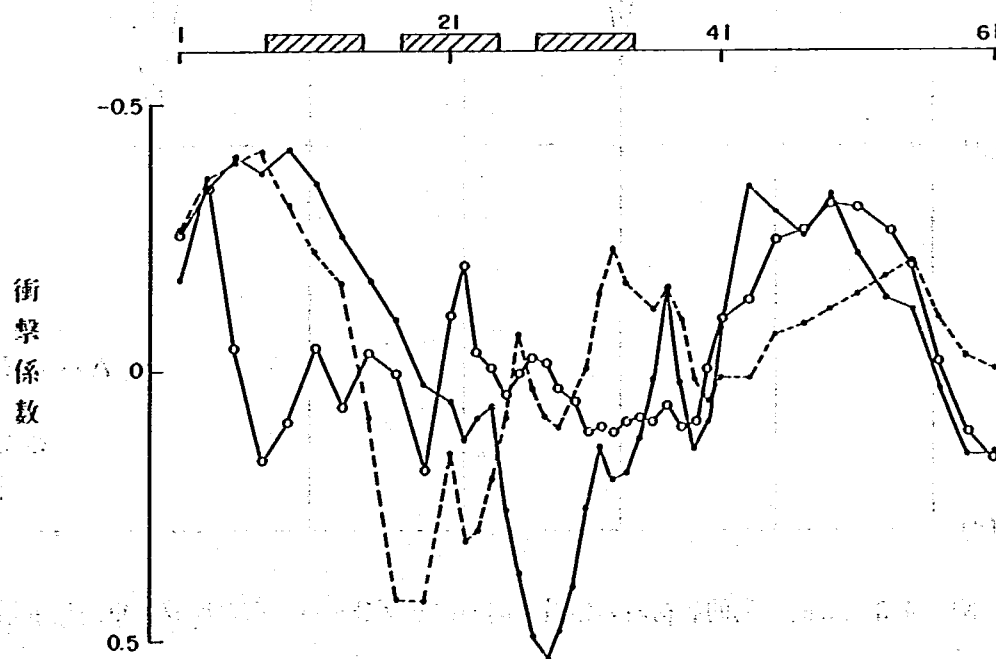
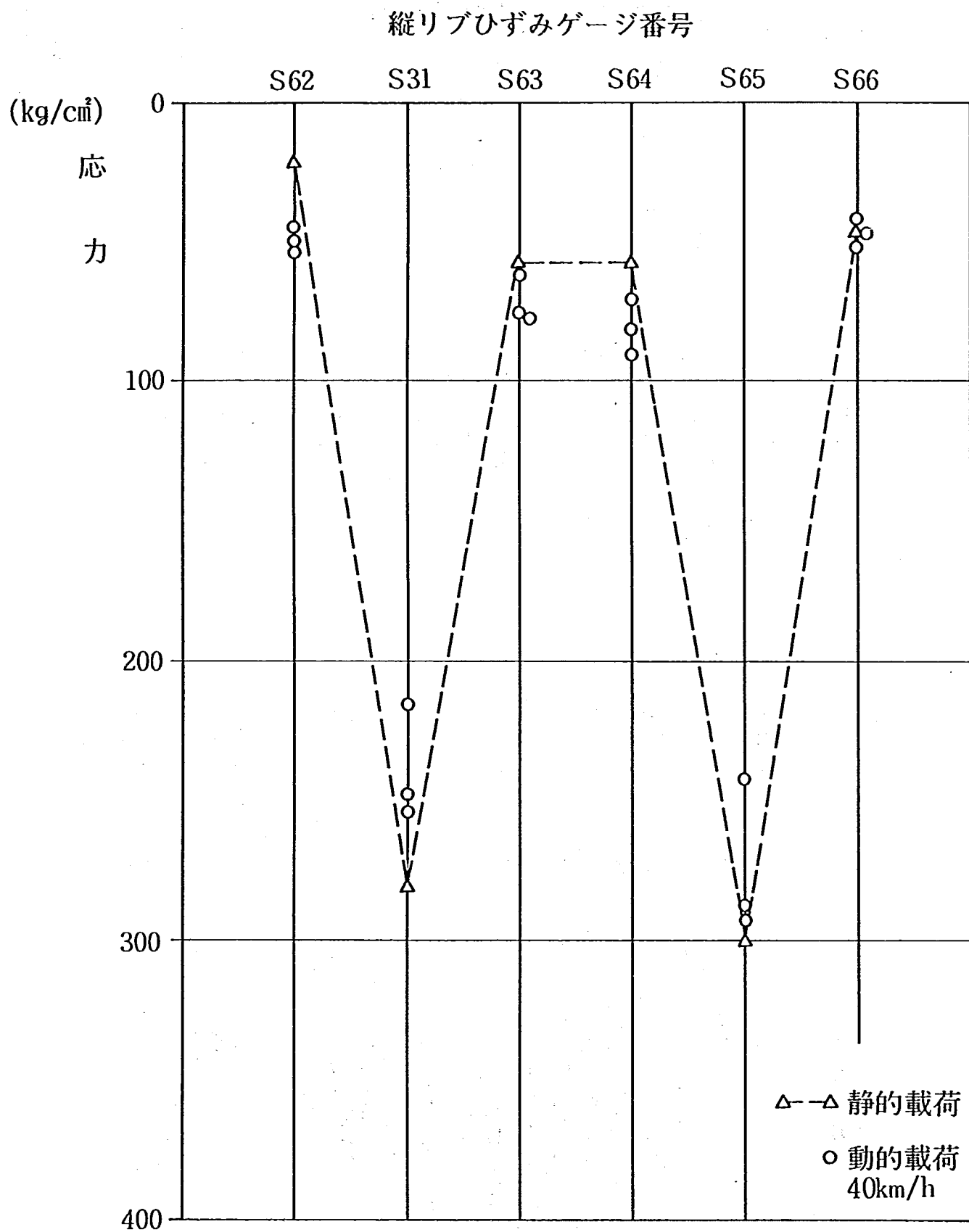
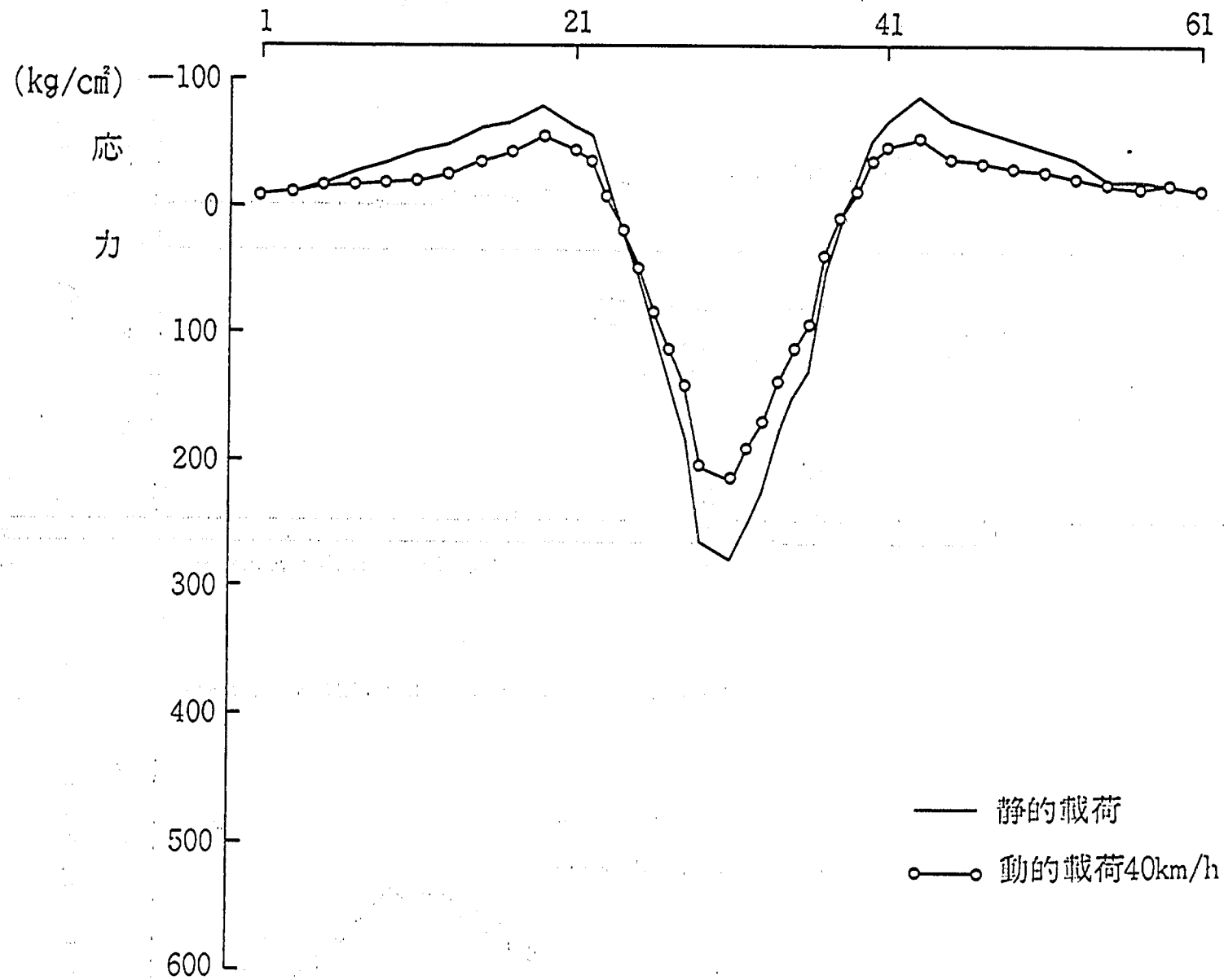


図-4. 2 鋼床版縦リブの衝撃係数分布図 (その3)

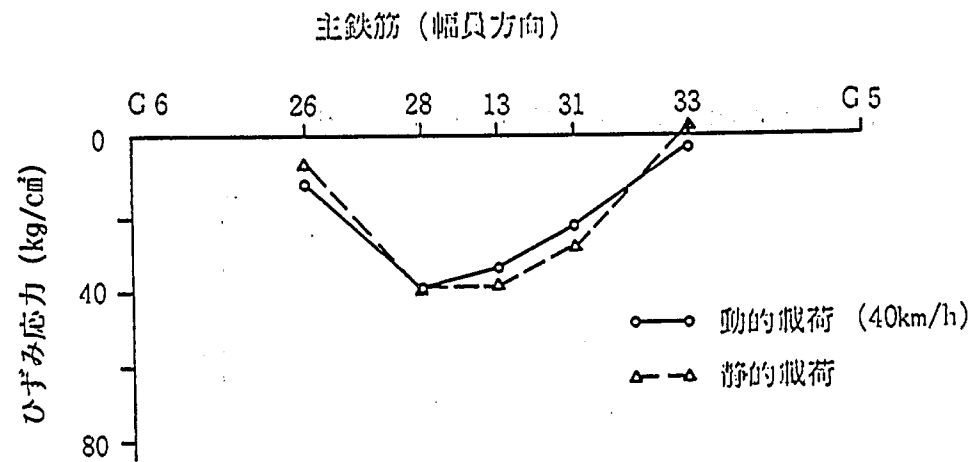


図一 4.3 静的, 動的载荷時の幅員方向の縦リブひずみ分布の比較 (車両総重量12ton)

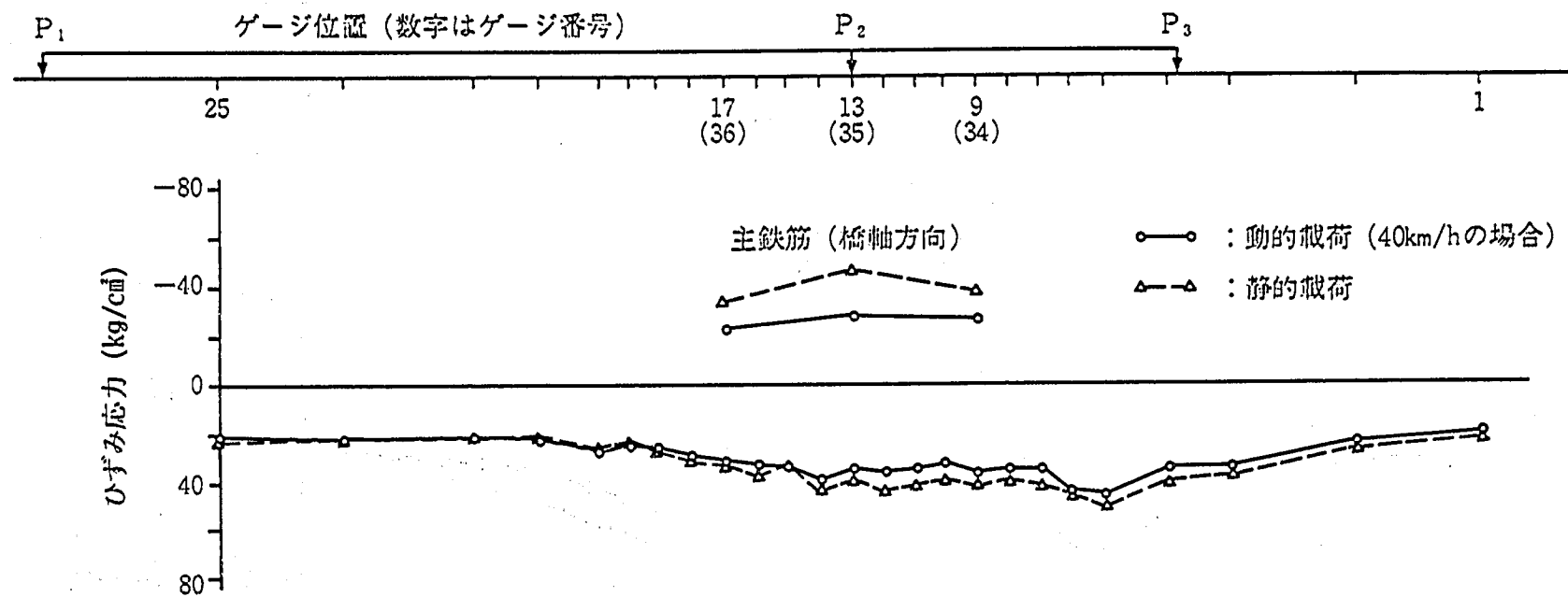
縦りブひずみゲージ番号



図一 4.4 静的、動的載荷時の橋軸方向のひずみ分布の比較 (車両総重量12ton)



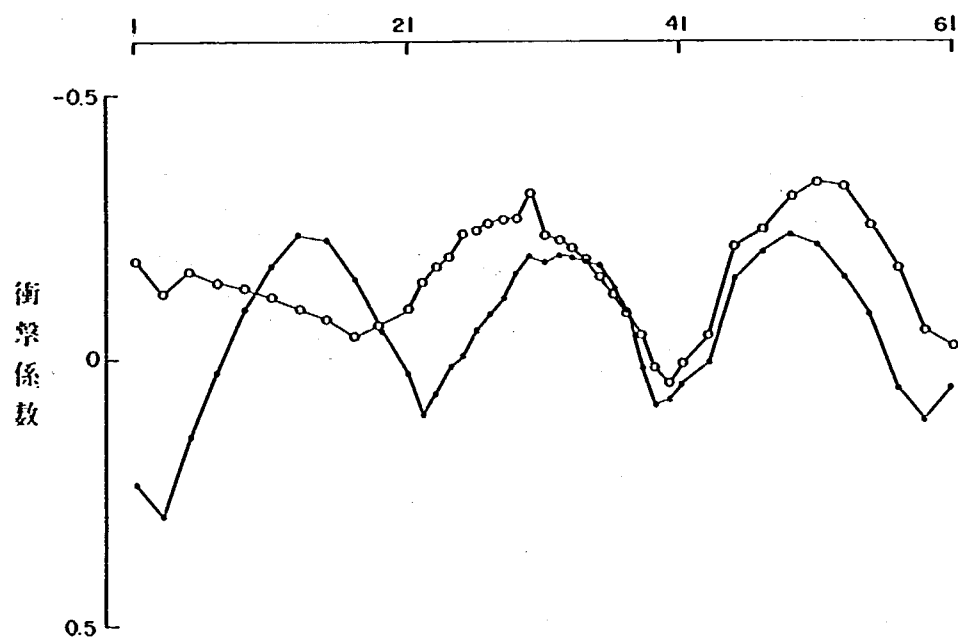
図—4.5 R C床版の静的、動的ひずみ応力分布の比較



図—4.6 R C床版の静的、動的ひずみ応力分布の比較

(1) 積載重量の影響 (車両総重量12ton, 20ton)
速度20km/h, 段差0 mm

●—● 車両総重量12ton
○—○ 車両総重量20ton



(2) 積載重量の影響 (車両総重量12ton, 20ton)
速度20km/h, 段差20mm

●—● 車両総重量12ton
○—○ 車両総重量20ton

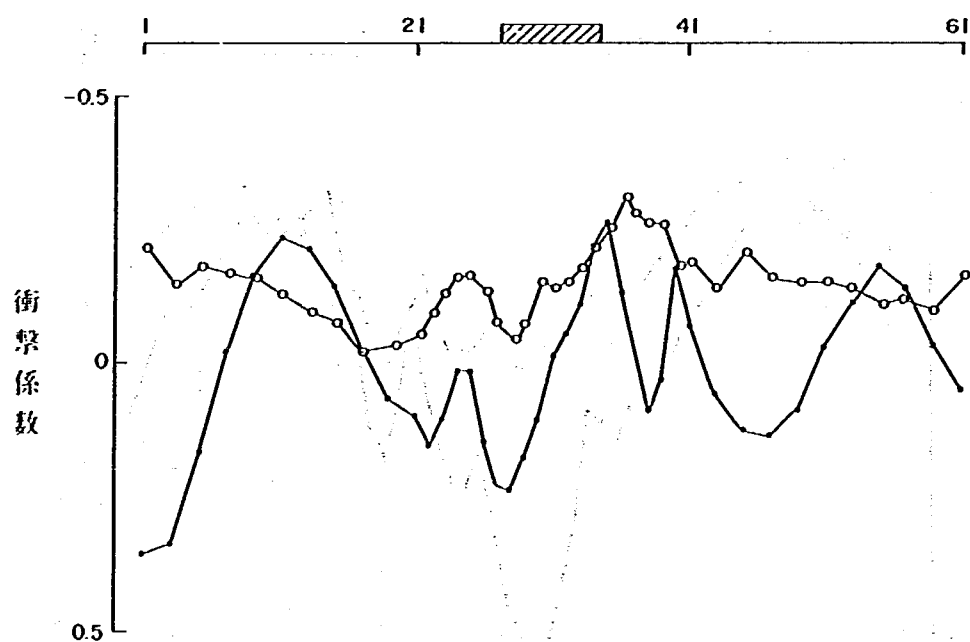
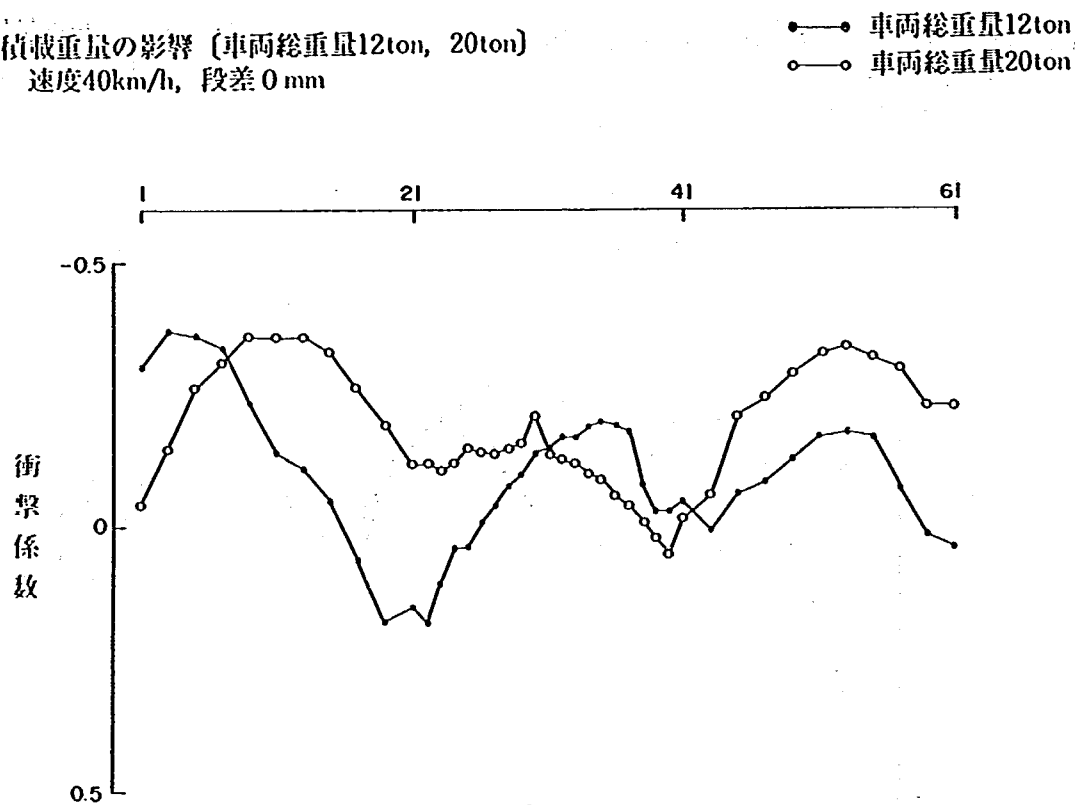


図-4.7 衝撃係数に及ぼす積載重量の影響 (その1) 速度20km/h

(3) 積載重量の影響 (車両総重量12ton, 20ton)
速度40km/h, 段差 0 mm



(4) 積載重量の影響 (車両総重量12ton, 20ton)
速度40km/h, 段差20mm

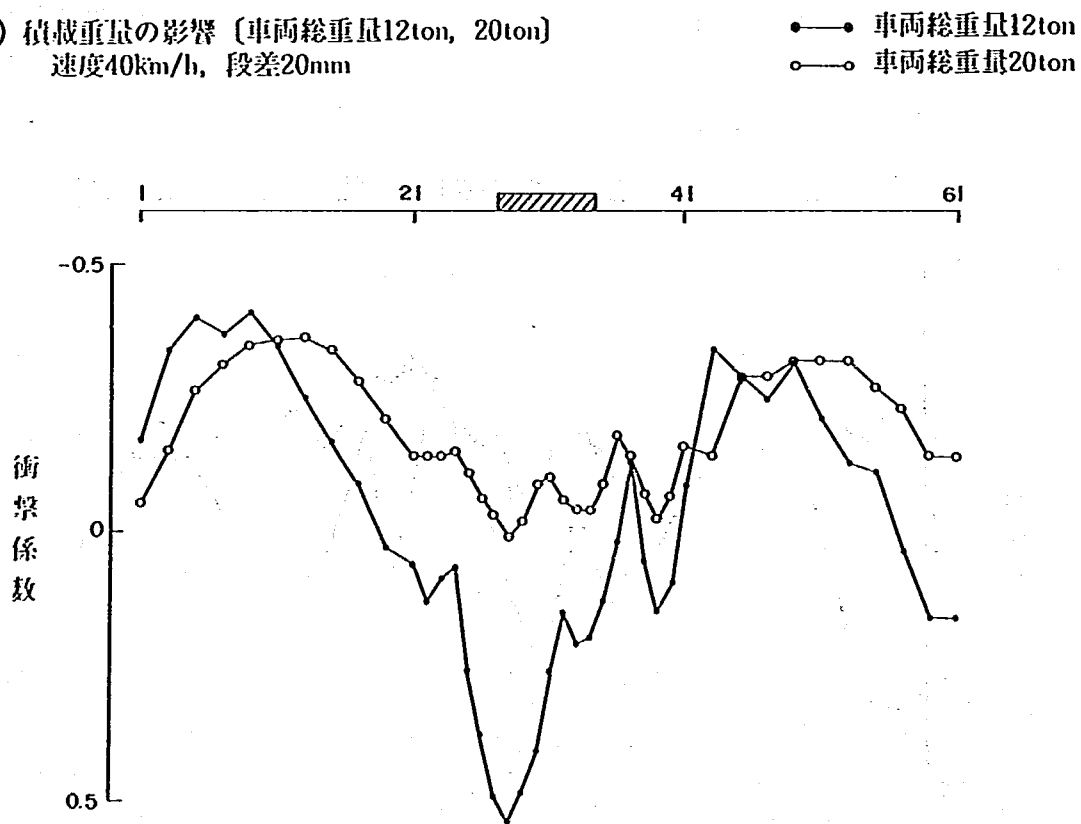
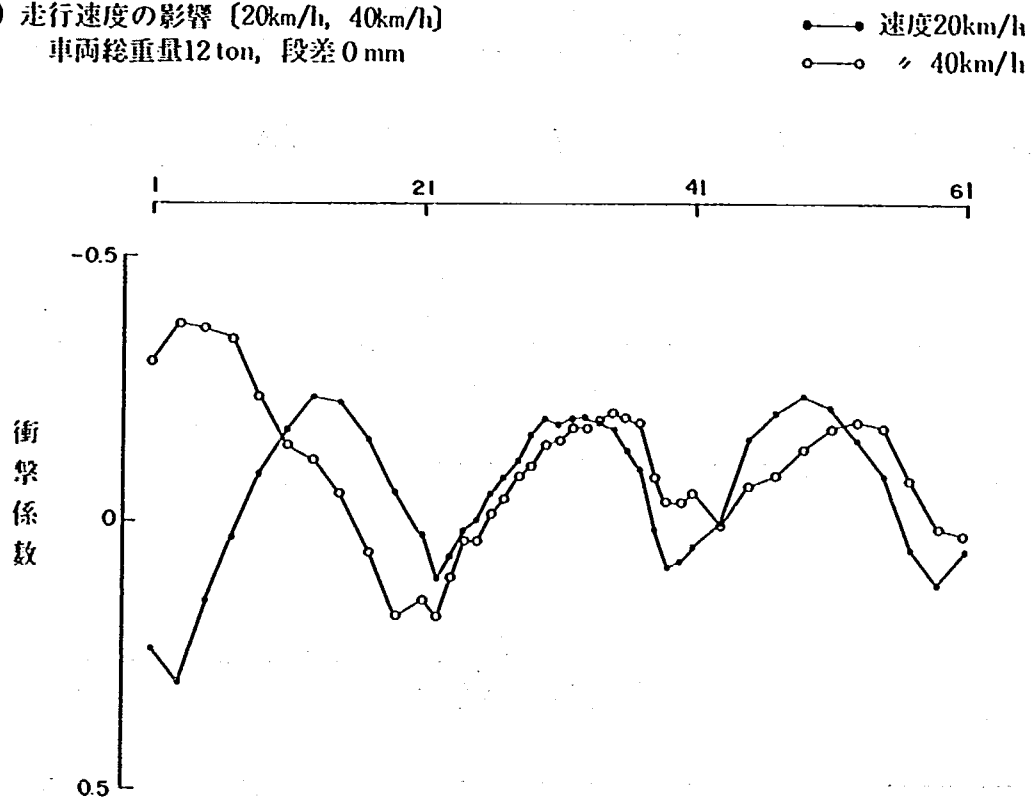


図-4. 7 衝撃係数に及ぼす積載重量の影響 (その2) 速度40km/h

(1) 走行速度の影響 [20km/h, 40km/h]
車両総重量12 ton, 段差 0 mm



(2) 走行速度の影響 [20km/h, 40km/h]
車両総重量12 ton, 段差20mm

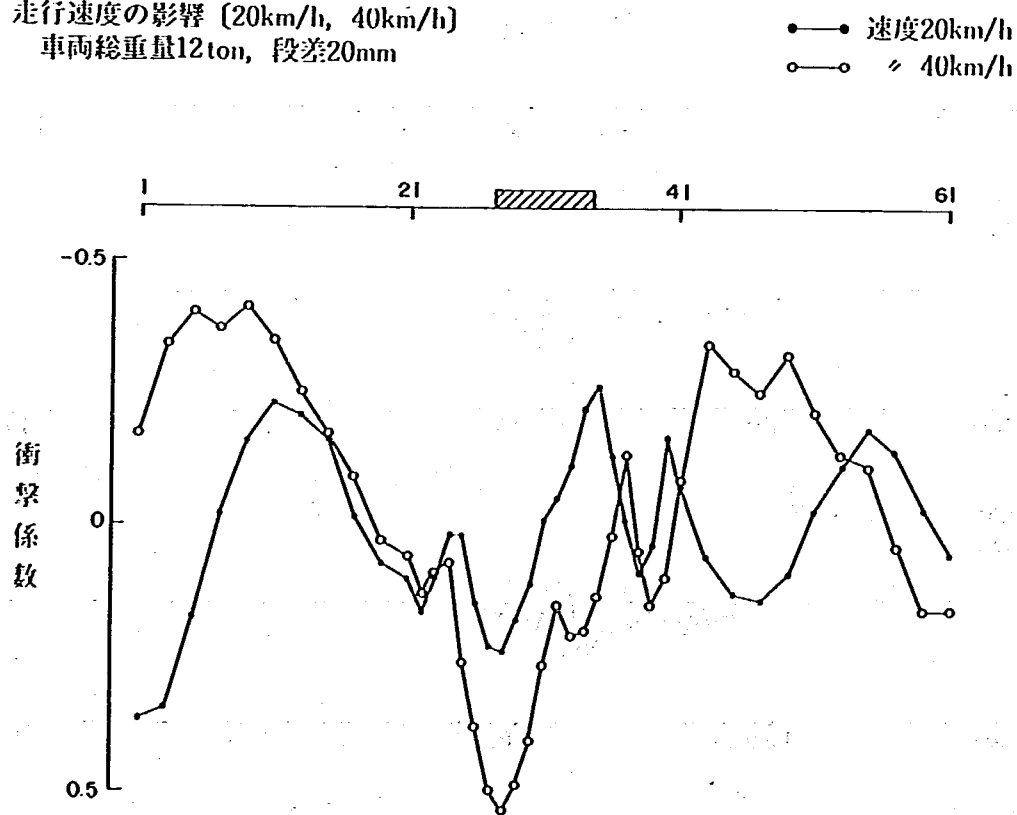


図-4.8 衝撃係数に及ぼす走行速度の影響

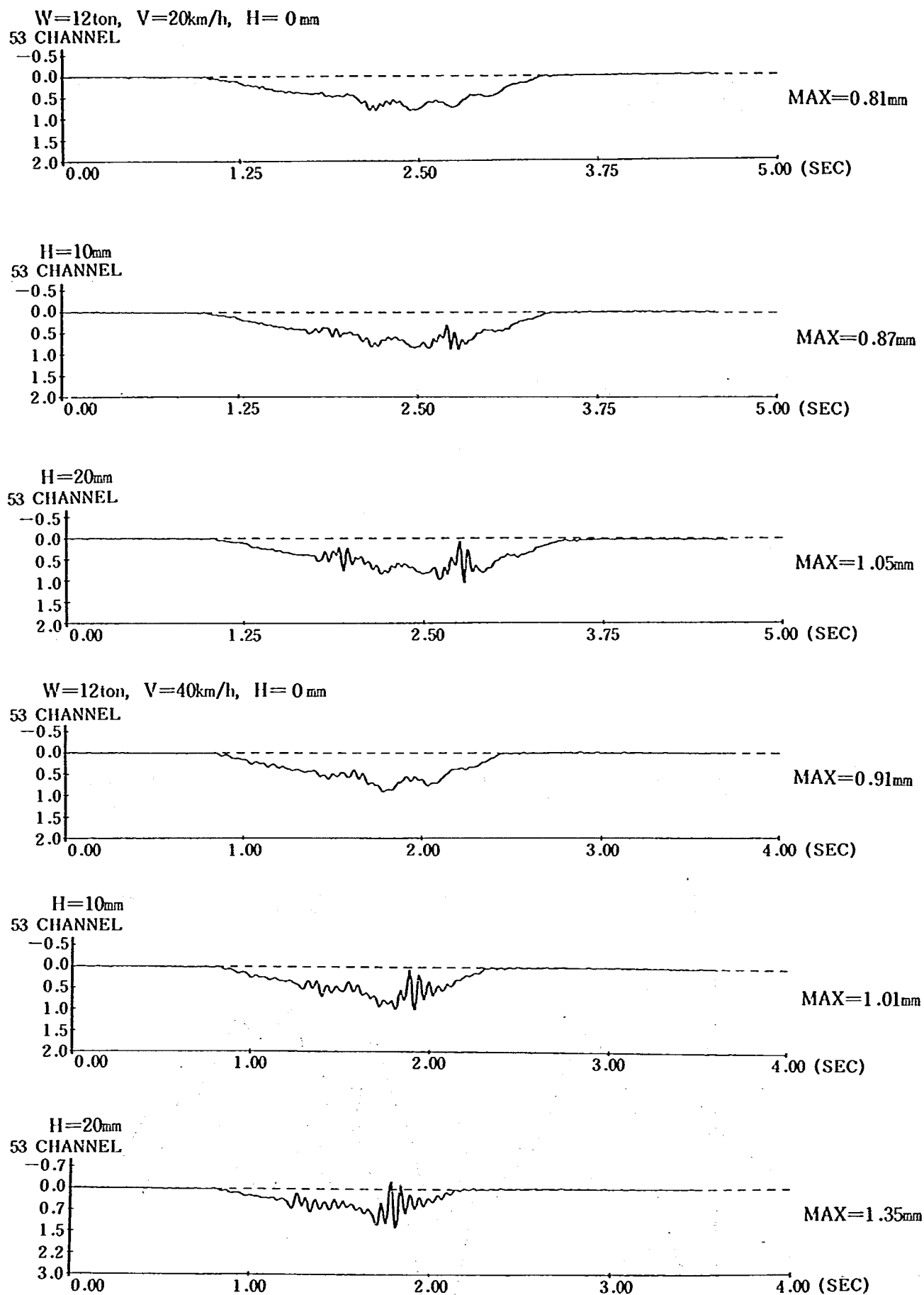


図-4. 9(1) 動的応答時刻歴図 (主桁変位)

W: 車両重量
V: 走行速度
H: 段差量

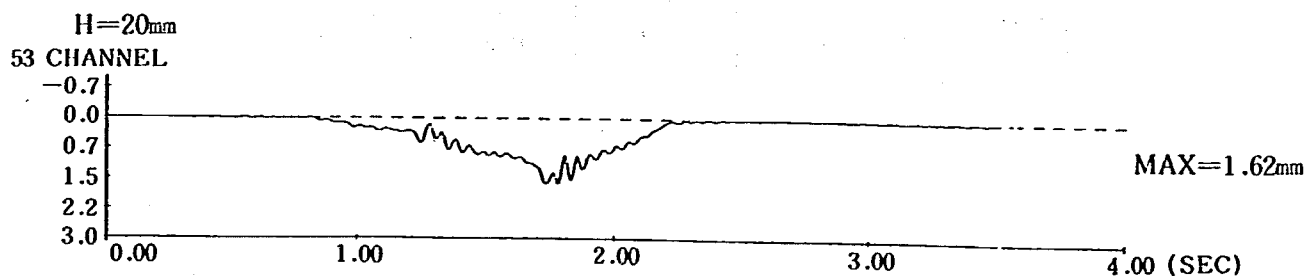
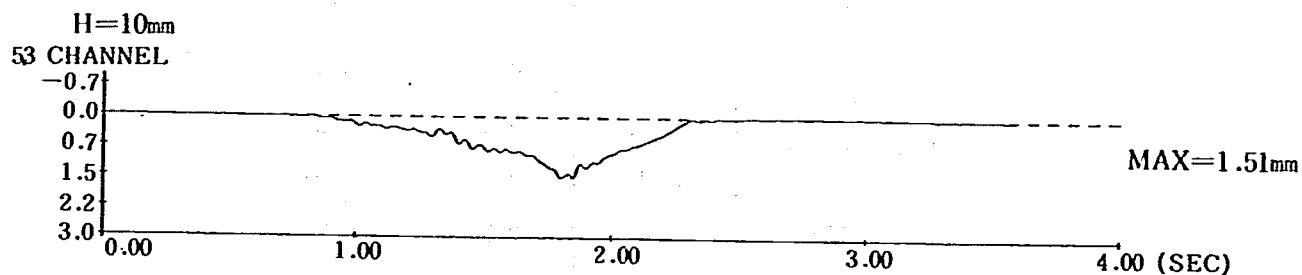
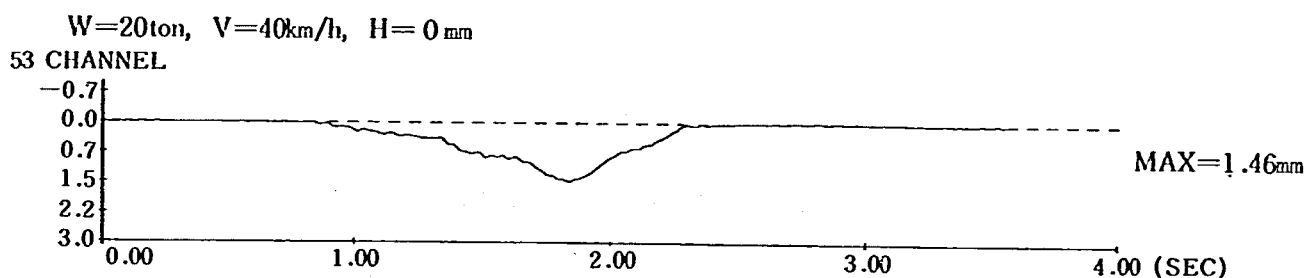
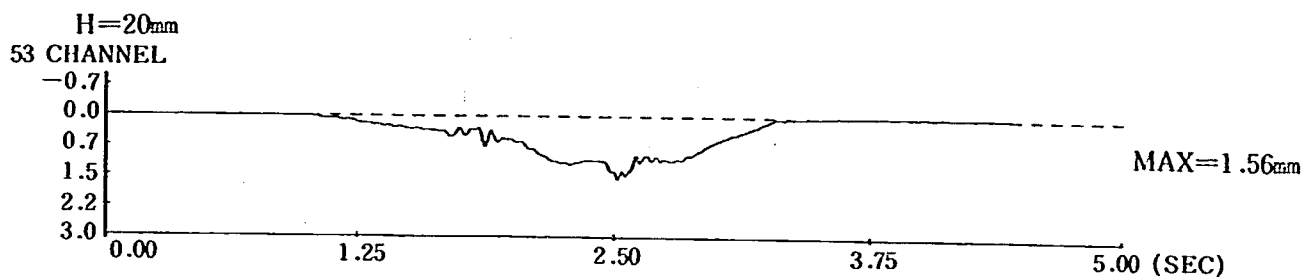
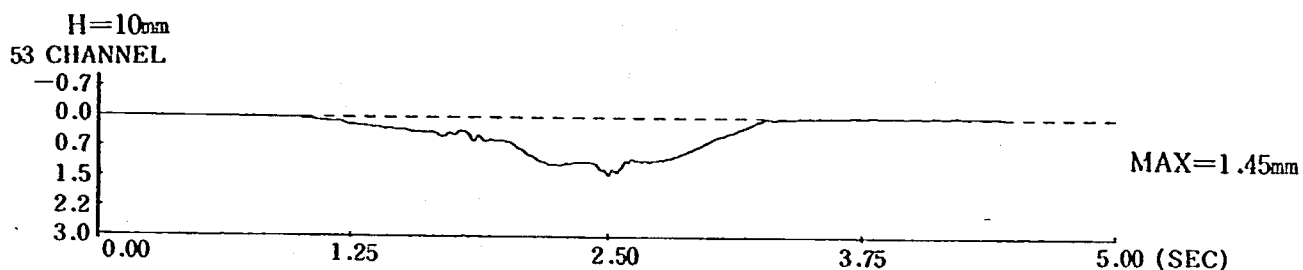
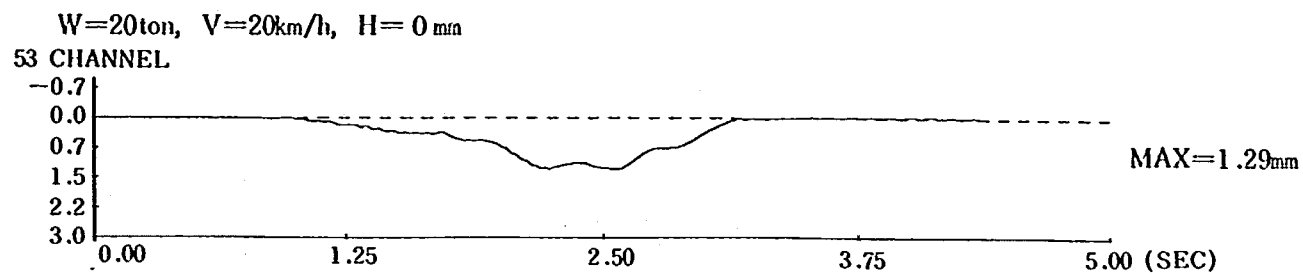


図-4.9(2) 動的応答時刻歴図 (主桁変位)

W: 車両重量
V: 走行速度
H: 段差量

表-4.1 鋼床版縦リブの衝撃係数

総重量 (t)	段差量 (mm)	段差位置	速 度 (km/h)	
			20	40
12 (積載状態1)	なし	—	— 0.05	— 0.01
	10	中 央	0.20	0.29
	20	同 上	0.24	0.54
		1 m手前	0.11	0.11
		2 m手前	0.22	0.12
		3 m手前	0.05	0.22
20 (積載状態2)	なし	—	— 0.12	— 0.06
	10	中 央	— 0.10	— 0.06
	20	同 上	— 0.04	0.01

(応力が 200 kg/cm² 以上のゲージに着目)

表-4.2 鋼床版橋主桁の衝撃係数

総重量 (t)	段差量 (mm)	段差位置	速 度 (km/h)	
			20	40
12 (積載状態1)	なし	—	0.30	0.49
	10	中央	0.49	0.61
	20	同上	0.65	1.23
20 (積載状態2)	なし	—	0.20	0.29
	10	中央	0.30	0.39
	20	同上	0.38	0.50

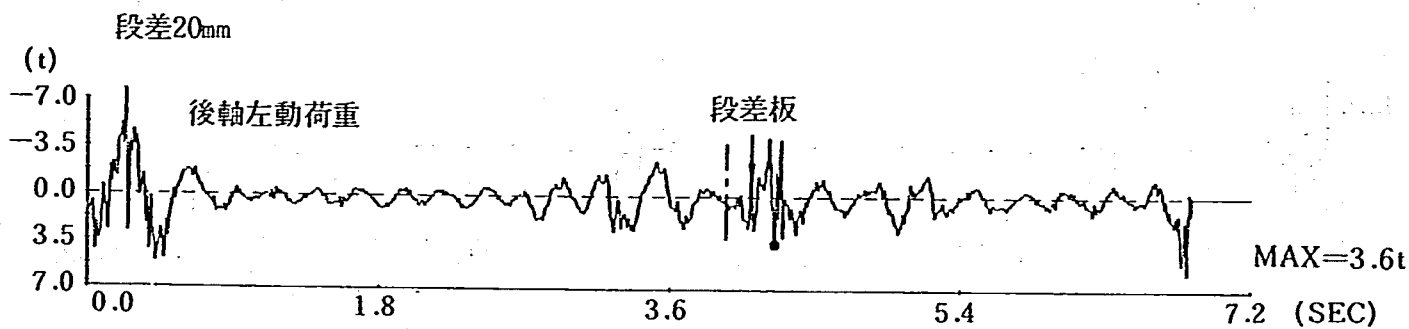
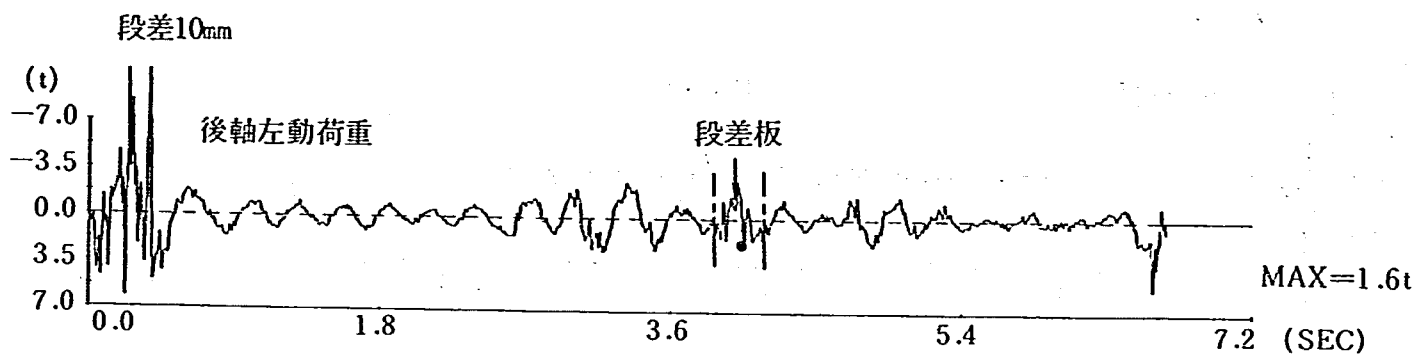
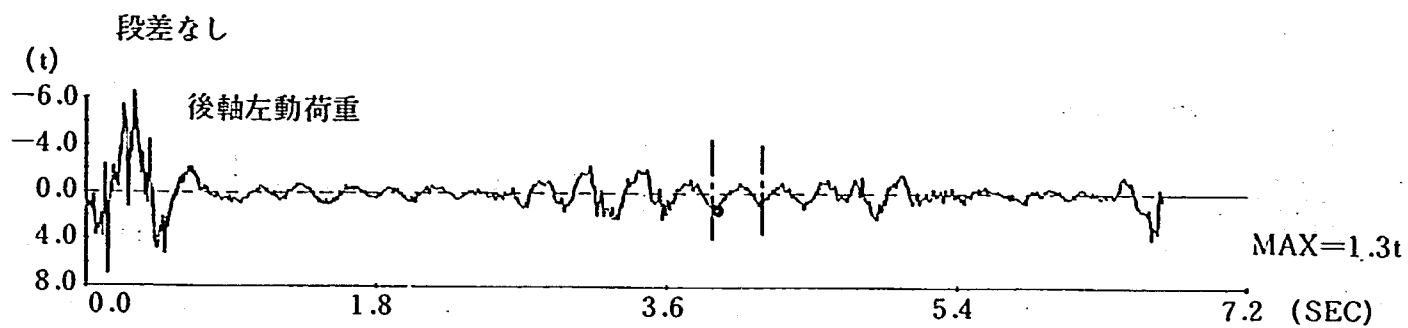
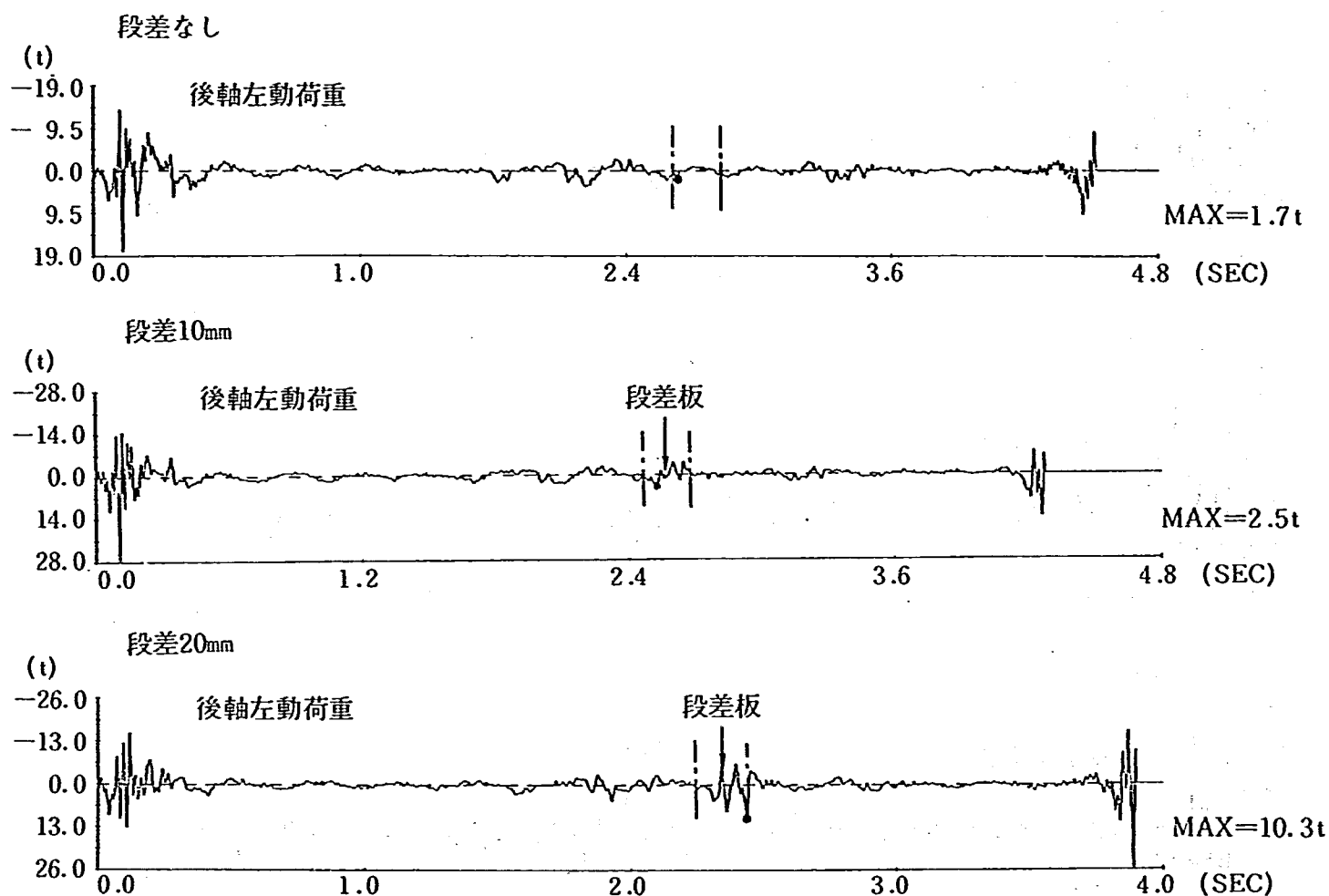


図-4. 10(1) 左後輪動荷重の時刻歴図 (総重量12t 走行速度20km/h)



図一 4 . 10(2) 左後輪動荷重の時刻歴図 (総重量12 t 走行速度40km/h)

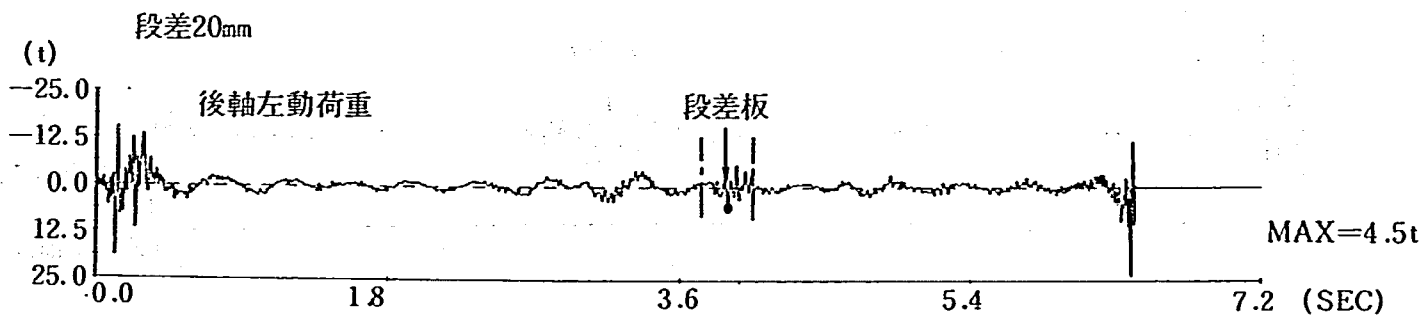
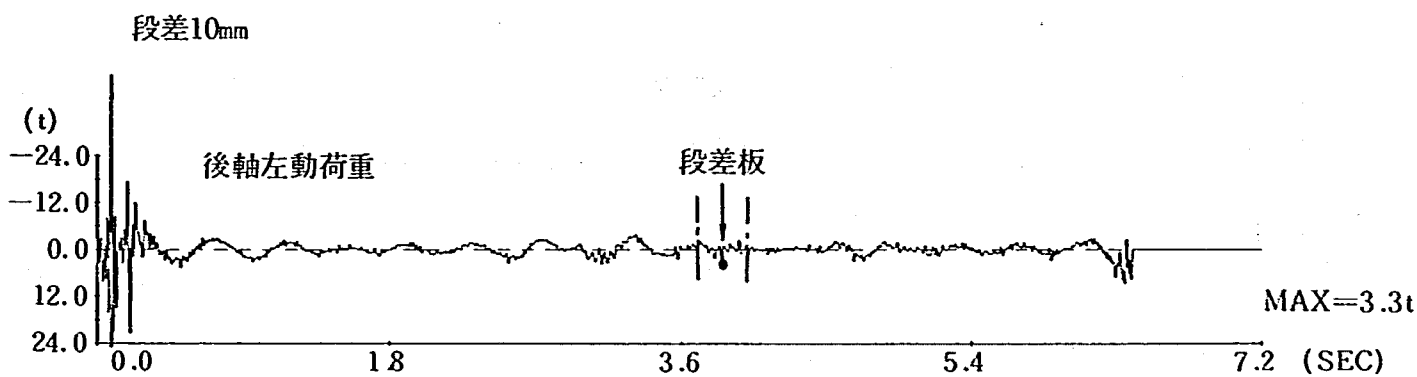
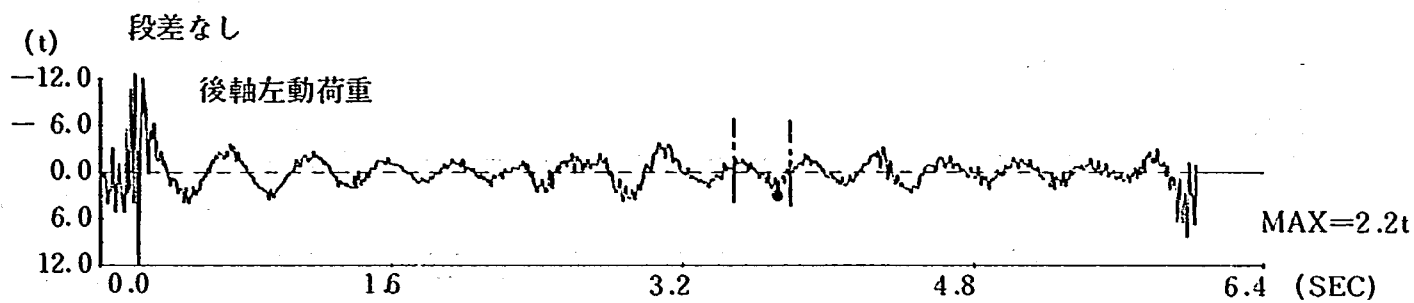


図-4. 10(3) 左後輪動荷重の時刻歴図 (総重量20 t 走行速度20km/h)

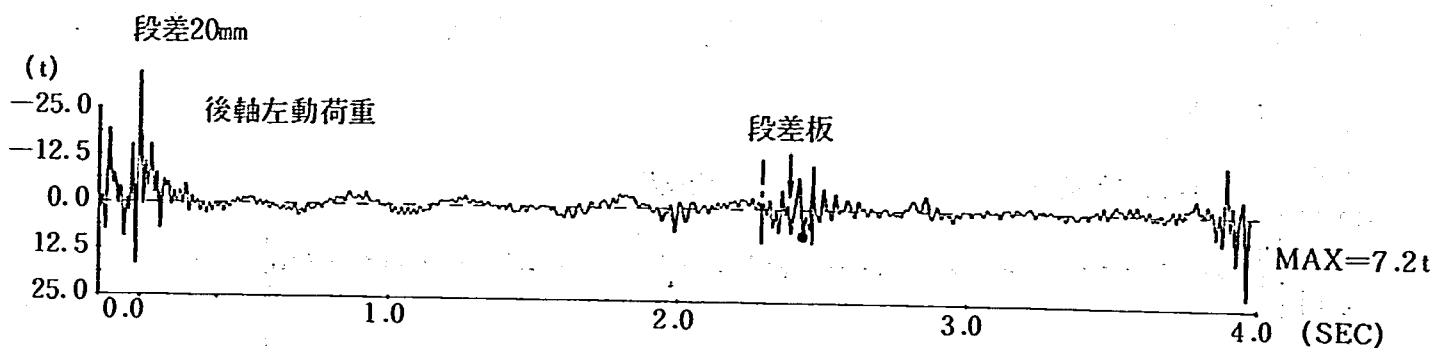
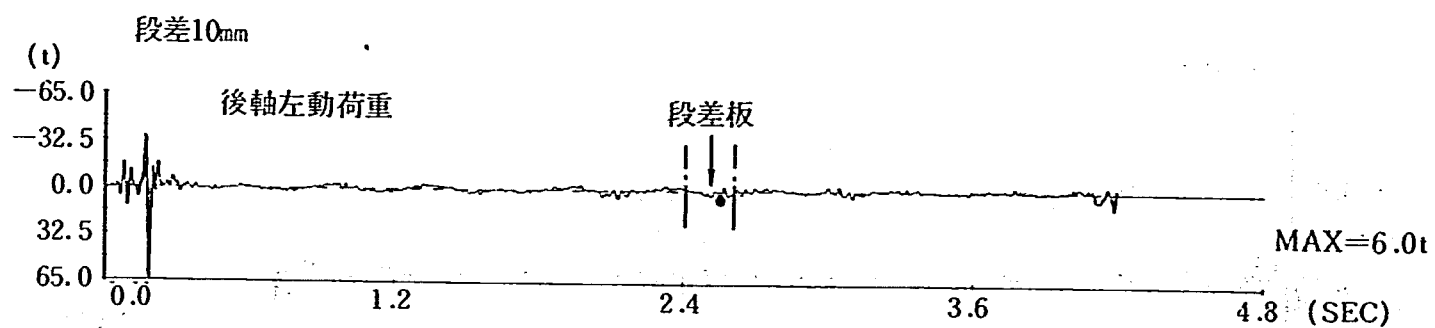
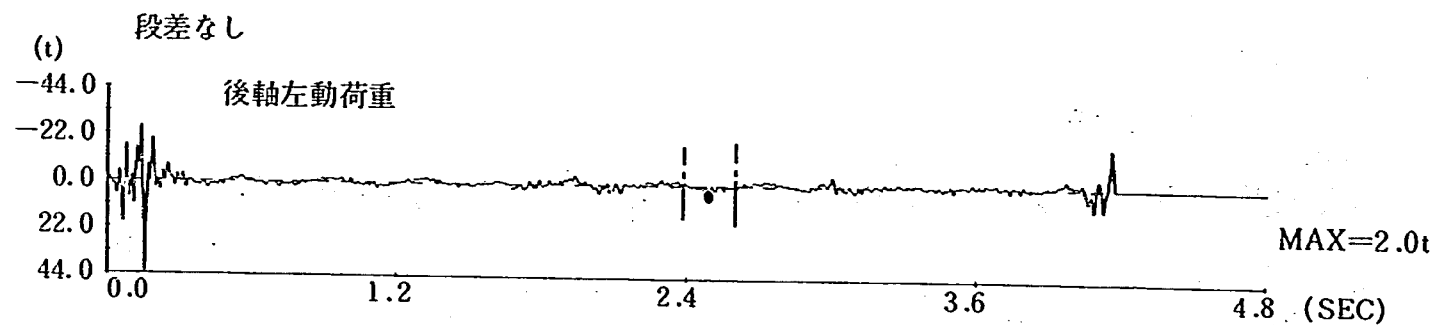
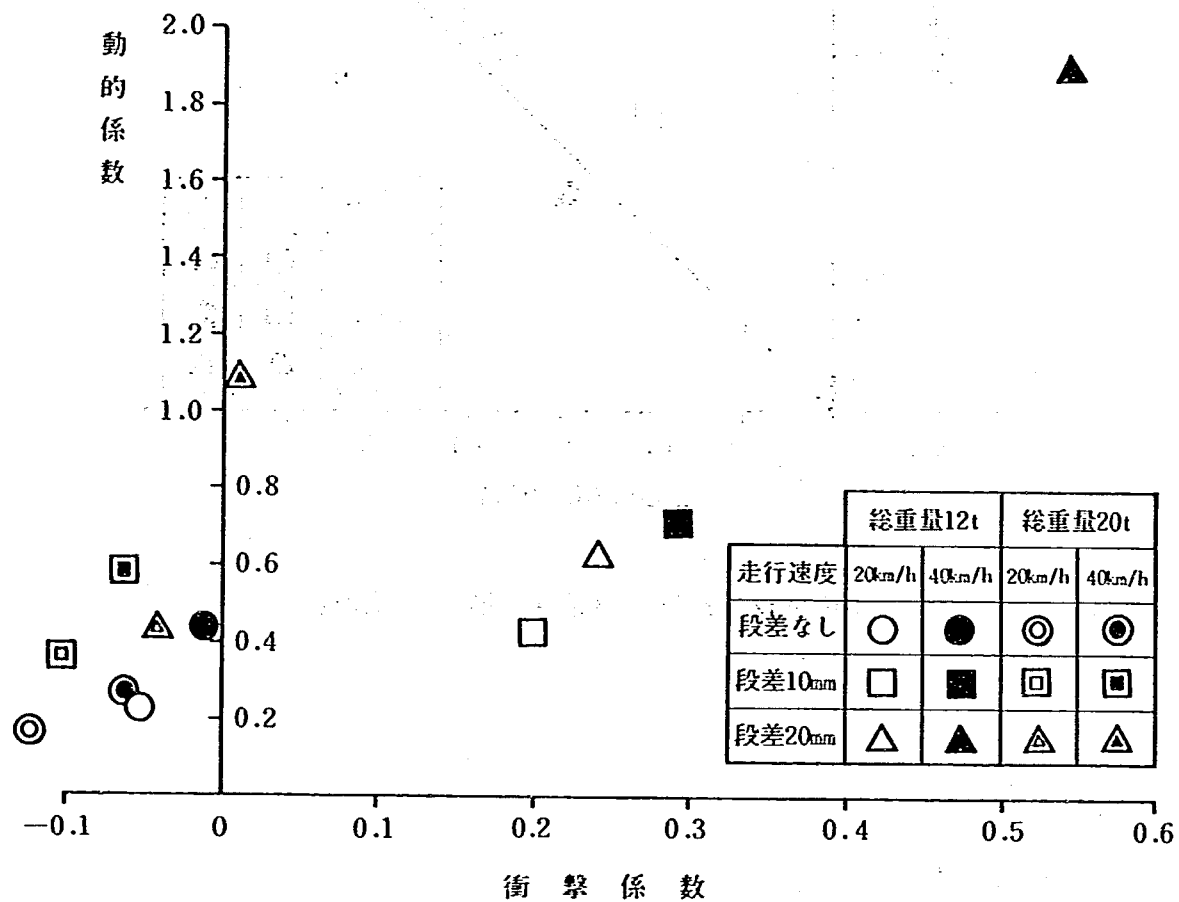
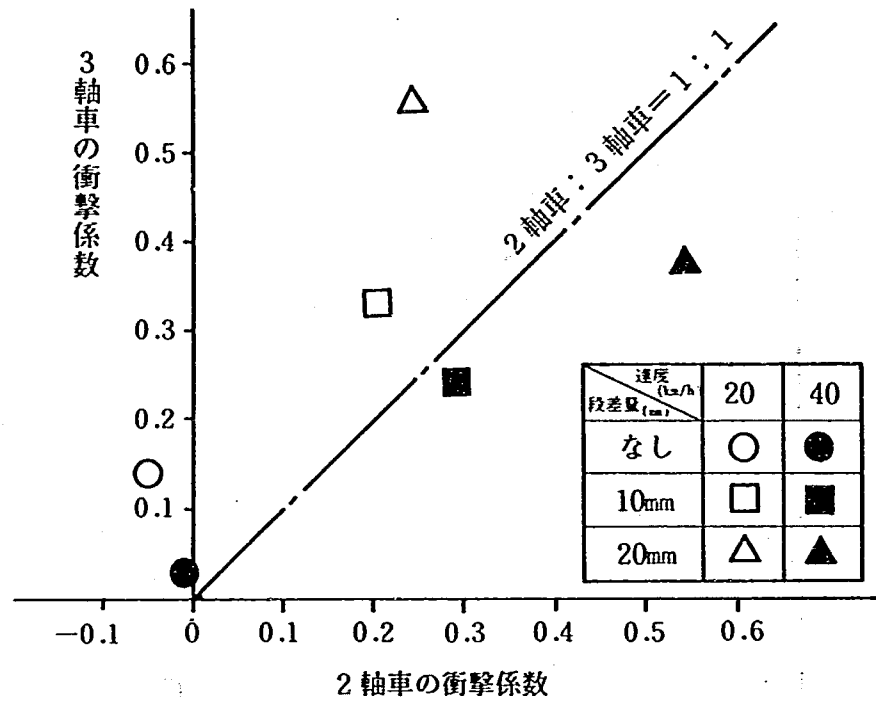


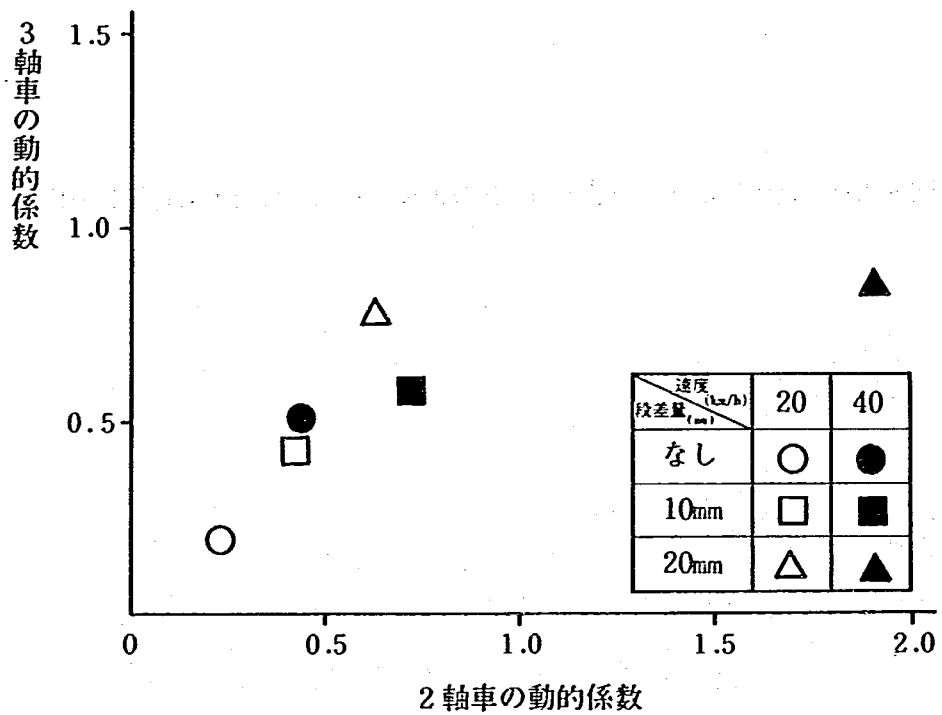
図-4. 10(4) 左後輪動荷重の時刻歴図 (総重量20 t 走行速度40km/h)



図—4.11 鋼床版縦リブの最大衝撃係数と後軸左輪重の最大動的係数の比較



図—4.12 2 軸車と 3 軸車の衝撃係数の比較



図—4.13 2 軸車（後軸左車輪）と 3 軸車（中軸左車輪）の動的係数の比較

表一 4.3 2 軸車左後輪動荷重最大値及び動的係数 (3 回平均値)

実 験 条 件			後 軸 左 車 輪 動荷重 ($\times 10^3 \text{kg}$)	後軸左車輪 係 的 係 数
車両総重量 (ton)	走行速度 (km/h)	段 差 量 (mm)		
12	20	0	1.0	0.23
		10	1.9	0.43
		20	2.8	0.63
	40	0	2.0	0.44
		10	3.2	0.72
		20	8.4	1.90
20	20	0	1.5	0.17
		10	3.0	0.36
		20	3.7	0.44
	40	0	2.3	0.27
		20	4.9	0.58
		40	9.2	1.09

表一 4.4 2 軸車左後輪動荷重の卓越振動数

実 験 条 件			パ ネ 上 の 卓越振動数 [Hz]	パ ネ 下 の 卓越振動数 [Hz]
車両総重量 (ton)	走行速度 (km/h)	段 差 量 (mm)		
12	20.0	0.0	2.69	9.95
		10.0	3.05	11.42
		20.0	2.87	13.37
	40.0	0.0	2.93	15.87
		10.0	2.99	15.93
		20.0	3.17	16.48
20	20.0	0.0	2.44	16.79
		10.0	2.32	15.93
		20.0	2.38	15.87
	40.0	0.0	2.63	17.64
		10.0	2.38	18.07
		20.0	2.63	18.01

5. 実験結果のまとめ

T荷重の衝撃係数に及ぼす車種の影響について調査するため、鋼床版試験橋で2軸車を用いた衝撃係数測定実験を行い、60年度の3軸車の実験結果と比較した。得られた結果をまとめると以下の通りとなる。

- 1) 2軸車の衝撃係数は3軸車と同様に段差量、走行速度が増加すると増大する傾向を示し、積載重量が増加すると減少する傾向を示した。

2軸車の衝撃係数は3軸車の衝撃係数と比較して大きな違いはなく、車種の違いが衝撃係数に及ぼす影響は段差量や積載重量の影響と比較して相対的に小さい。これらの結果から床版の衝撃係数と路面に生じる段差量をパラメータとしてとりまとめられることが確認できた。

- 2) 限界状態設計法で用いるT荷重の衝撃係数は、積載重量による影響も大きいいため橋の路面平坦性の実態の他、これと組み合わされるT荷重の大きさを勘案して適切な値を設定する必要がある。

- 3) 床版の応答から求められる衝撃係数は車両が路面に加える荷重より求められる動的係数と比べて小さい。この理由として、3軸車の場合にタンデム軸を構成する中軸と後軸の動きに時間的なずれがあるためと考えられたが、2軸車でも同様な傾向が見られたことから、この理由は必ずしもあてはまらないということが明らかとなった。床版の応答性の方から理由を検討する必要がある。

6. 設計基準化のための今後の課題

6. 1 現行のT荷重衝撃係数

T荷重により設計されるRC床版、鋼床版および縦桁、床桁などの床組部材の衝撃係数は、主桁の設計に用いられるL荷重に対する衝撃係数と同様な支間Lに関する低減式で表現される式(1)の値を用いることを基本としている。

$$i = 20 / (50 + L) \quad (1)$$

RC床版については、式(1)で計算される衝撃係数値が用いられている。鋼床版については、鋼床版を構成する縦リブと横リブで扱いが異なり、支間の短い縦リブの衝撃係数は0.4を用いることとし、横リブの衝撃係数としては、支間の大きなものもあるため式(1)に従って計算した衝撃係数を用いることとしている。ただし、疲労について照査する場合、衝撃の影響を考慮しないこととしている。床組部材のうち縦桁についてはT荷重を1台載荷するときには式(1)の衝撃係数を用い、断面力を最大にする位置に可能な限り載荷する場合は衝撃が生じないものと考え、衝撃係数を考慮しないものとしている。

6. 2 これまでの調査で明らかとなった事項

先に行った3軸車を用いた鋼床版、RC床版の衝撃係数測定実験結果および今回の2軸車を用いた鋼床版衝撃係数測定実験結果より、床版の衝撃係数は床版支間の関数とするよりも、路面に生じる段差量をパラメータとしてとりまとめられることが明らかとなった。

標準的な20t車を用いた実験結果によると特に段差がない場合で鋼床版、RC床版ともに0.1程度、10mm程度の段差が生じた場合で、鋼床版では0.3程度、RC床版では0.2程度と現行の設計値を下回る値となる。また20mm程度の段差が生じた場合で鋼床版では0.5~0.6程度、RC床版では0.4程度と設計値と同程度もしくはそれを上回る衝撃係数が作用することになる。

6. 3 今後の検討課題

設計衝撃係数は、これまでの実験結果をもとに路面平坦性の実態やT荷重の大きさを勘案して、適切な値を設定する必要があるだろう。

今回の検討で得られた値は対象とする部材の支間長が鋼床版縦リブで1.94m、RC床版で2.85mとかなり短く、T荷重で設計される部材として比較的スパンが長い鋼床版横リブや縦桁、横桁など床組部材、スパンの短い主桁は荷重の特性や部材の特性が関係してくることも予想されるため、床版と同じように段差量をパラメータとして整理してよいか今後の検討課題として残されている。

さらに鋼床版の疲労照査で衝撃係数を考慮しない現行の規定で問題ないか、また床組部材のうち縦桁についてはT荷重を断面力を最大にする位置に可能な限り載荷する場合は衝撃が生じないものと考え、衝撃係数を考慮しないものとしているが、鋼床版やRC床版ではこのような載荷をした場合でも衝撃係数を考慮していることから、この考え方で矛盾がないかといった点についても検討する必要があるだろう。

参考文献

- 1)建設省土木研究所構造研究室,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)建設省土木研究所構造研究室,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

橋の衝撃荷重に関する試験調査報告書
〔Ⅲ－1988〕

ISSN 0386 - 5878
土木研究所資料第2660号
昭和63年8月(1988)

横山功一、井上純三、永原 隆

要 旨

過去2カ年にわたって3軸車(後タンデム軸)の走行試験を行ない、鋼床版及びRC床版の動的応答特性及び衝撃係数についてとりまとめた。62年度は衝撃係数に及ぼす車種の影響を調査するために、2軸車(後1軸)を用いた鋼床版衝撃係数測定実験を行なった。その結果、車種による衝撃係数の違いは小さいということが明らかとなった。また、車両側から求められた車輪の動的係数と床版側から求められた衝撃係数の関係は2軸車と3軸車で同様であり、両者には大きな違いが見られた。結局3軸車の場合に原因として考えられたタンデム軸の中軸と後軸の動きにずれがあるとの理由はあてはまらないことが明らかとなった。

キーワード：限界状態設計法、衝撃係数、T荷重、鋼床版、2軸車

郵便はがき

305-□□

40円切手
をはって
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 007

No 007

配布先氏名

配布先住所

○

土木研究所資料第2660号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住 所)

氏 名

印

○