

ISSN 0386-5878

土木研究所資料第2258号

13.

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〔Ⅷ—1985〕

昭和60年12月

建設省土木研究所
構造橋梁部構造研究室

Copyright © (1985年) 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、土木研究所長の承認を得ずしてこれを行ってはならない。

橋梁の設計動荷重に関する 試験調査報告書〔Ⅷ—1985〕

構造研究室 横山 功一
井上 純三
藤城 隆
永原 隆

要 旨

近年、自動車輸送量の増大、道路網の整備に伴ない、走行車両の大型化、重量化、高速化が進行し、以前あまり問題視されなかった走行車両による動的問題がクローズアップされてきた。構造研究室では従来より、実橋実測、シミュレーションモデルによる数値解析、模型実験などにより走行車両の動荷重と橋の動的応答に関する基礎的な調査を進めて来た。本報告書は、以上一連の調査並びに59年度に実施した調査、解析をとりまとめたものである。

キーワード：路面凹凸，走行荷重，動的応答，衝撃係数，シミュレーション，伸縮装置

ま え が き

近年の自動車輸送量の増大、道路網の整備に伴う走行車両の大型化、重量化、高速化は依然として続いており、橋梁を初めとする道路構造物は厳しい自動車荷重条件下に置かれている。この自動車荷重と載荷頻度の増大は、これらの作用を直接的に受ける舗装や床版、伸縮装置の損傷要因となる他地盤振動や騒音の原因ともなっている。このような状況のもとで走行車両による動的影響についても明らかにする必要性が生じて来ている。

車両が橋梁上を走行すると路面凹凸や橋梁のたわみにより車両－橋梁系の連成振動が生じ、路面には変動する荷重が作用し、これにより橋梁には動的な応答が発生する。この影響は一般に静荷重よりも大きく、橋梁設計ではこれら活荷重の動的影響を衝撃と称し、衝撃係数をもって衝撃の度合を表している。現行道路橋示方書の衝撃係数は諸外国の基準値を参考にしつつ経験的に設定されたものと考えられ、この妥当性について実態に即したより合理的で明確な再検討が望まれている。

構造研究室では従来より実橋実測、モデルによる数値解析、模型実験などにより走行車両の動荷重、橋梁の動的応答など衝撃の影響に関する基礎的な調査を進めて来た。本報告書はこれら一連の調査ならびに59年度に実施した調査、解析をとりまとめたもので、内容は以下の2章から成る。

第1章 車両の走行荷重及び橋の動的応答に関する試験調査（昭和47年～59年）

主桁の衝撃、すなわちL荷重で設計される部材への衝撃の影響に関する調査である。今年度は橋梁の最大応答を与える自動車荷重条件についての検討を目的とし、実橋における車両走行試験およびシミュレーションモデルを用いた数値解析を実施した。

第2章 橋の伸縮装置に作用する自動車荷重に関する試験調査（昭和54年～59年）

段差部に作用する自動車荷重に関する調査として、車両衝撃力測定装置を用いた段差走行試験を行い、自動車荷重に及ぼす段差量、速度、積載荷重の影響を明らかにした。また実橋における車両走行試験により、実伸縮装置部に作用する自動車荷重の測定を行った。

目 次

ま え が き

1. 車両の走行荷重および橋の動的応答に関する試験調査	1
1. 1 既往の調査と今年度の検討	1
1. 1. 1 研 究 経 緯	1
1. 1. 2 今年度の検討	1
1. 2 走行車両による橋梁の動的応答実測調査	2
1. 2. 1 調 査 概 要	2
1. 2. 2 調 査 内 容	2
1. 2. 3 調 査 結 果	3
1. 2. 4 ま と め	4
1. 3 走行車両による単純桁の動的応答シミュレーション	5
1. 3. 1 解 析 概 要	5
1. 3. 2 シミュレーションモデル	5
1. 3. 3 シミュレーションモデルの照査	6
1. 3. 4 単純桁の動的応答解析	7
1. 3. 5 ま と め	8
参 考 文 献	9
図 表	10
2. 橋の伸縮装置に作用する自動車荷重に関する試験調査	43
2. 1 既 往 の 調 査	43
2. 1. 1 研 究 経 緯	43
2. 1. 2 今年度の検討項目	43
2. 2 走行試験および解析の要領	43
2. 2. 1 走行試験概要	43
2. 2. 2 解 析 の 概 要	44
2. 3 試 験 結 果	45
2. 3. 1 人工段差部（車両衝撃力測定装置）に作用する自動車荷重	45
2. 3. 2 走行車両からの動荷重算出法	46
2. 3. 3 段差部通過後の荷重分布および影響範囲	46
2. 3. 4 実橋伸縮装置部に作用する自動車荷重	46
2. 4 ま と め	47
参 考 文 献	47
図 表	48

1. 車両の走行荷重および橋の動的応答に関する試験調査

1.1 既往の調査と今年度の検討

1.1.1 研究経緯

走行車両による動的な影響は、車両が及ぼす動荷重とこの荷重に対する橋梁の動的応答とに大別することができよう。前者は床版や伸縮装置のように自動車荷重を直接的に受ける部材に対する影響であり、後者は主桁など橋梁全体の応答に対する影響であり、それぞれT荷重で設計される部材とL荷重により設計される部材に対応している。

構造研究室では車両の動荷重を車両側から測定するシステムを開発し、路面に作用する自動車荷重の測定を行って来た。そしてこの動荷重に影響する路面平坦性、速度、軸重のパラメータのうち路面平坦性の影響が大きいことを明らかにした^{1)~5)}。橋の動的応答については数値解析、実橋実測、模型実験などにより検討を進めて来た。数値解析においては走行車両による単純桁の動的応答シミュレーションプログラムを作成し、動的応答に影響する路面平坦性、スパン長、速度の影響について調査した^{1)~5)}。実橋実測では大型トラックを用いた車両走行試験を行い、パラメータの影響を調査するとともに数値解析モデルの妥当性を確認した^{3), 4), 6)}。さらに実橋実測と数値解析の中間的な位置付けとなる単純桁の動的応答模型実験を実施した⁷⁾。これら一連の調査により、主として1台の車両が走行したときの衝撃係数は、路面平坦性が悪く速度が大きくなると増大すること、スパン長、載荷台数が増加すると減少することが明らかとなった。

1.1.2 今年度の検討

現行道路橋示方書の活荷重規定はある渋滞時を想定した活荷重(L荷重)とこの活荷重に対して定められた衝撃係数とから構成されている。すなわち車両の走行に伴う動的な影響は衝撃係数という形で表現されている。しかし活荷重と衝撃は自動車列の走行状態との関連で独立には取扱えないものと考えられる。実交通流では交通量が変化するとそれに伴って車速も変化するため、橋梁上においても走行状態、渋滞(のろのろ渋滞、完全停止)など様々の自動車走行モードが出現する。設計において用いる衝撃係数の検討を行う際には、各走行モードの違いについても検討し、活荷重と衝撃の組合せで橋梁の最大応答を与える走行条件を把握しておく必要がある。

このために今年度は異なる走行モードを持つ自動車荷重列に対する単純桁の動的応答解析を実施することにした。走行モードの違いが橋梁応答に及ぼす影響程度を検討する際に考慮すべき自動車列パラメータとしては次のものが考えられる。

- 1) 車両の配置密度：橋軸および幅員方向の車両配置密度を指し、主として静的応答に係わる。
- 2) 車両列の速度：動的応答に係わり、1)の配置密度とは逆比例的な関係にある。

今回の検討では一方向一車線の自動車荷重列に対し、車両列の速度と橋軸方向の密度(車間距離)を変化させて数値計算を行った。解析に先立ち、実橋車両走行試験を行い、シミュレーションプログラムの照査を行うための実測データを得た。

1.2 走行車両による橋梁の動的応答実測調査

1.2.1 調査概要

走行車両による主桁の衝撃に関する実測データを得るために大型トラックを用いた実橋車両走行試験を実施した。本調査は横断プロファイルメータを用いた路面凹凸調査、荷重車の静的、動的載荷試験とから成り、橋梁主桁の変位、ひずみの測定を行った。静的、動的載荷試験結果を衝撃係数（応答倍率）として整理し、衝撃係数に影響するスパン長、速度、載荷台数、路面凹凸、車種の影響について考察した。

1.2.2 調査内容

1) 調査橋梁

調査対象橋梁は茨城県土浦土木事務所管内の県道 266 号藤沢・豊里線沼崎橋（第 1、第 2 スパン）である。その概要を表－ 1.1 に、一般図を図－ 1.1 に示す。本橋梁を調査橋梁に選んだ理由は、単純桁型式の鋼道路橋であること、桁下が土木研究所内の試験走路になっており、変位計などを取付ける足場の設置や観測車の配置が容易なこと、朝夕を除いては交通量が比較的少なく、道路使用に伴う交通処理が大きな渋滞を引起すおそれが少ないと予想されたからである。

2) 路面凹凸調査

調査対象橋梁上およびその前後 30m を調査区間として、①目視による路面状況図の作成 ②センターラインより左右 1.1 m（荷重車の車輪通過位置）を測線とし、横断プロファイルメータによる路面凹凸高の測定を行った。横断プロファイルメータは本来、道路横断方向の凹凸量（わだち堀れ）の測定に用いるものであるが、この測器は測定能率は悪いものの実路面高を測定できるという特徴を有しているため、今回の調査では敢えて道路軸方向にトラバースさせて縦断プロファイルを測定することとした。

3) 静的載荷試験

調査橋梁の曲げ剛性を実験的に求め、また動的載荷試験に対応するデータを得るために大型トラックを対象橋梁に載荷して橋梁主桁の静的変位、静的ひずみを測定した。

(1) 荷重車

荷重車として満載時重量が約 20 t の 3 軸ダンプトラック（三菱ふそう K-FV313JD、前 1 軸、後 2 軸トラニオンサスペンション）および満載時重量が約 18 t の 2 軸トラック（三菱 K-FP318N）を使用した。使用荷重車の外形寸法を図－ 1.2 に示す。各積載状態での荷重車の輪荷重をロードメータにより測定した結果を表－ 1.2 に示す。

(2) 静的載荷試験ケース

表－ 1.3 に示すケースについて載荷試験を行った。

(3) 測定方法

変位は渦電流式非接触型変位計（25mm 用 3 台、15mm 用 3 台の計 6 台）を用いて、図－ 1.3 に示す位置において測定した。ひずみは変位と同一箇所において測定した。

4) 動的載荷試験

調査橋梁において荷重車走行試験を行い、橋梁の動的応答（変位、ひずみ）を測定した。

(1) 動的載荷試験ケース

表－ 1.4 に示すケースについて行った。

(2) 測定方法

①変位、②ひずみについては静的載荷試験と同一箇所、方法により測定した。従来の実橋実測^{3),6)}では動変位を直接測定するのではなく、橋梁加速度を測定し、これを2重積分することにより求めていた。このためデータ処理の過程で誤差が含まれる可能性があったが、今回の測定ではこの誤差は含まれない。

(3) 走行試験の方法

測定区間は対象スパンの前後30mとし、区間の両端（始終点）にロードスイッチを配置して、荷重車の走行速度、位置の検出を行った。これにより、荷重車が区間内を定速走行したと仮定した場合の荷重車実走行速度、位置および複数車走行時の実車間距離の算出が可能となる。また必要な加速減速距離を与えるために測定区間の前後150m程度の地点を荷重車の待機、待避場所とした。

1.2.3 調査結果

1) 路面凹凸調査結果

調査区間の路面状況図、路面凹凸波形図を図-1.4に示す。さらにこの波形から対象スパン上（右側線）の凹凸波形を取り出し、パワースペクトルを求めた結果を図-1.5に示す。図中に示したISOが定めた路面平坦性評価基準から判断すると、調査橋梁の路面平坦性は第1、第2橋ともに“極良”と“良”の中間程度であると考えられる。

2) 静的載荷試験

各載荷ケースについて得られた主桁（1/2点）の静的変位を表-1.5に示す。この変位から桁を等断面と仮定したときの曲げ剛性EIを求め、設計値と比較した。その結果、第1スパンでは設計値と同程度、第2スパンでは設計値の1.5倍程度の実測剛性値が得られた。第1スパンでは荷重車の載荷位置（幅員中央）のために変位が大きく出る幅員中央寄りの桁の変位から曲げ剛性を算出したが、幅員方向の平均的な変位から曲げ剛性を求めれば設計値より大きい剛性が得られるものと思われる。

3) 動的載荷試験

主桁（1/2点）の変位、ひずみ波形を図-1.6に示す。走行車両による動的な影響を衝撃係数（動的応答倍率） i として整理した。

$$i = \text{動的応答（変位，ひずみ）の最大值} / \text{静的応答（変位，ひずみ）} - 1 \cdots \cdots (1.1)$$

ただし第2スパンの複数走行ケースでは静的載荷時と動的載荷時とで車間距離が大きくばらつくケースが出てきたため式(1.1)より衝撃係数を評価することが困難となった。そこで複数走行試験ケースでは動的載荷試験時の載荷状態に対応する静的応答を、動的応答波形からローパスフィルタを用いて橋梁固有振動成分を除いた低周波成分として求めることにした。⁸⁾ 第2スパンの固有振動数が、1.82Hz、影響線載荷による外力周波数 $=v/2\ell$ （ v は走行速度、 ℓ はスパン長）が最大の場合（速度 $=40\text{km/hr}$ ）でも0.1Hz程度であることから、ローパスフィルタ値を0.2Hzに設定して静的応答を求めた。

$$i = \text{動的応答の最大值} / \text{動的応答のフィルタ処理によった得られた静的応答} - 1 \cdots \cdots (1.2)$$

単独車走行時は式(1.1)、複数車走行時は式(1.2)を用いて i を求めた結果を表-1.6に示す。

4) 考 察

(1) 動的応答について

図-1.6の応答波形により動的応答について考察する。

① 変位と応力の違い

変位と応力の応答波形には若干の違いが認められる。これは変位と曲げモーメントの影響線の形状の違いが現れたものと考えられる。

② 主桁と横桁の違い

変位については両者の違いは比較的少ないのに対し、応力についてはその応答波形に大きな違いがある。主桁は橋梁上にあるすべての車両からの影響を受けるのに対し、横桁は主としてこれが支持する床版パネル上にある車両からの影響しか受けないためであり、両部材の荷重分担特性の違いを反映している。

(2) 衝撃係数（動的応答倍率）について

表-1.6により衝撃係数について考察する。

① 衝撃係数値

今回の測定では衝撃係数の値は最大0.15であった。

② 変位と応力との違い

応答波形に違いはあるものの、衝撃係数値については特に明確な違いは認められず、ほぼ同程度であると判断して良いと思われる。

③ スパン長の影響

第1スパンでは衝撃係数が負の値を示すケースがあった。

④ 速度の影響

ばらつきがあり、速度について一定の傾向を示していない。

⑤ 載荷台数の影響

第2スパンの走行試験結果より、変位については複数車走行時の衝撃係数は単独車走行時に比べて小さくなっているが、応力については逆の傾向を示している。

⑥ 車種の影響

ばらつきがあり、3軸車、2軸車について特に明確な違いは認められない。これは車両重量が同程度（20tと18t）であったことによると思われる。

1.2.4 ま と め

今回の衝撃実測調査により明らかになった事項および今後の課題について以下にまとめる。

- (1) 主桁の衝撃係数は走行速度、載荷台数によりばらついた傾向を示した。
- (2) 桁の変位から求めた衝撃係数とひずみから求めた衝撃係数とは同程度である。
- (3) 今回の測定では車種による衝撃係数の違いは特に認められなかった。
- (4) 今回の測定では実構造物の剛性が設計値よりも最大で5割程度大きく、実構造物は設計時に期待する以上の耐荷力を持つものと予想される。
- (5) 今回の実験は車両総重量は約20tで行ったが、車両重量（積載状態）が異なると車両振動特性も変化することが予想され、橋梁にとって過酷な条件となる過積載時の衝撃の影響についても検討する必要がある。

1.3 走行車両による単純桁の動的応答シミュレーション

1.3.1 解析概要

走行車両による橋梁の動的応答は橋梁構造条件（支間長，質量，剛性），自動車荷重条件（走行速度，載荷台数，車両振動特性），路面平坦性など多くの要因が複雑に影響する現象である。1.2の実測ではこれらのうち基本的なパラメータについての応答特性を明らかにした。本節では主桁の設計活荷重（L荷重）に対する衝撃係数を検討するための基礎データを得るために，これらのパラメータの値を細かく変化させて数値計算を行った。特に自動車列の走行モードが橋梁応答に及ぼす影響を明らかにするために，通常走行，渋滞走行の各走行条件に対して速度と車間距離を変化させて計算を行った。

1.3.2 シミュレーションモデル

橋梁，車両，路面凹凸のモデル化を行い，車両－橋梁の連成系の運動方程式（連立微分方程式）を立て，数値積分により時刻歴応答を求める。

(1) 橋梁のモデル化

① 橋梁を1本の棒部材と仮定した。すなわち橋梁諸元をスパン長，単位長さ当り質量，曲げ剛性で代表させた。

② 伸縮装置部通過時の衝撃は考慮しない。すなわち応答の初期値はゼロを設定した。

(2) 車両のモデル化

20t 3軸ダンプトラックをメーカー提供の資料に基づき，図－1.6に示すような2軸4自由度系にモデル化した。

(3) 路面凹凸のモデル化

路面凹凸は，平均値0の定常確率ガウス過程としてモデル化した。すなわち，路面凹凸高は

$$z_o(x) = \sum_{k=1}^N a_k \cdot \cos(\omega_k x + \phi_k) \dots\dots\dots (1.3)$$

$$\text{但し, } a_k^2 = 4 \cdot S_{z_o}(\omega_k) \cdot \Delta\omega \quad S_{z_o}(\omega) = S_{z_o}(\varrho) / 2\pi : \text{路面凹凸パワースペクトル}$$

$$\Delta\omega = (\omega_u - \omega_l) / N$$

$$\omega_k = \omega_l + (k - 1/2) \cdot \Delta\omega \quad \omega : \text{路面凹凸の空間円振動数 (rad/m)}$$

$$\varrho = \omega / 2\pi : \text{路面凹凸の空間周波数 (cycle/m)}$$

$$\omega_u, \omega_l : \omega \text{ 軸の上, 下限値}$$

$$N : \text{十分大きな正整数}$$

$$\phi_k : 0 \text{ と } 2\pi \text{ の間の一様乱数}$$

で表される。今回の計算では， $\omega_u = 10 \times 2\pi$ ， $\omega_l = 0$ ， $N = 1000$ を用いた。また路面凹凸パワースペクトル $S_{z_o}(\varrho)$ は文献1)を参考に次式で表すことにした。

$$S_{z_o}(\varrho) = \alpha \varrho^{-2} \dots\dots\dots (1.4)$$

ただし α : 路面凹凸の良否により定まる定数。

(4) 定 式 化

振動形解析法を用い、換算質量、換算外力から連立方程式を組立てる。

$$P_1 = C_2 (\dot{Z}_2 - \dot{Y}_1) + k_2 (Z_2 - Y_1) + m_2 g + \frac{(m_1 \ell_2^2 + J_1) g}{\ell_0^2} \quad (1.5)$$

$$P_2 = C_4 (\dot{Z}_3 - \dot{Y}_2) + k_4 (Z_3 - Y_2) + m_3 g + \frac{(m_1 \ell_1^2 + J_1) g}{\ell_0^2} \quad (1.6)$$

換算外力 O_s は以下になる。

$$O_{s1} = \sqrt{\frac{2}{m\ell}} \sin \frac{s\pi x}{\ell} \left\{ C_2 (\dot{Z}_2 - \dot{Y}_1) + k_2 (Z_2 - Y_1) + m_2 g + \frac{(m_1 \ell_2^2 + J_1) g}{\ell_0^2} \right\} \quad (1.7)$$

$$O_{s2} = \sqrt{\frac{2}{m\ell}} \sin \frac{s\pi (x-\ell a)}{\ell} \left\{ C_4 (\dot{Z}_3 - \dot{Y}_2) + k_4 (Z_3 - Y_2) + m_3 g + \frac{(m_1 \ell_1^2 + J_1) g}{\ell_0^2} \right\} \quad (1.8)$$

$$\frac{w\ell}{2g} \ddot{q}_s + \frac{C^* \ell}{2} \dot{q}_s + \frac{EI}{2} \left(\frac{\pi}{\ell}\right)^4 q_s = O_{s1} + O_{s2} \quad (1.9)$$

(1.9) 式が Bridge 系の運動方程式である。

Vehicle 系の運動方程式は以下になる。

m_1 について

$$m_1 \ddot{Z}_1 + C_1 (\dot{Z}_1 + \ell_1 \dot{\theta}_1 - \dot{Z}_2) + k_1 (Z_1 + \ell_1 \theta_1 - Z_2) + C_3 (\dot{Z}_1 - \ell_2 \dot{\theta}_1 - \dot{Z}_3) + k_3 (Z_1 - \ell_2 \theta_1 - Z_3) = 0 \quad (1.10)$$

$$J_1 \ddot{\theta}_1 + \ell_1 [C_1 (\dot{Z}_1 + \ell_1 \dot{\theta}_1 - \dot{Z}_2) + k_1 (Z_1 + \ell_1 \theta_1 - Z_2)] - \ell_2 [C_3 (\dot{Z}_1 - \ell_2 \dot{\theta}_1 - \dot{Z}_3) + k_3 (Z_1 - \ell_2 \theta_1 - Z_3)] = 0 \quad (1.11)$$

m_2 について

$$m_2 \ddot{Z}_2 + C_2 (\dot{Z}_2 - \dot{Y}_1) + k_1 (Z_2 - Y_1) - C_1 (\dot{Z}_1 + \ell_1 \dot{\theta}_1 - \dot{Z}_2) - k_1 (Z_1 + \ell_1 \theta_1 - Z_2) = 0 \quad (1.12)$$

m_3 について

$$m_3 \ddot{Z}_3 + C_4 (\dot{Z}_3 - \dot{Y}_2) + k_4 (Z_3 - Y_2) - C_3 (\dot{Z}_1 - \ell_2 \dot{\theta}_1 - \dot{Z}_3) - k_3 (Z_1 - \ell_2 \theta_1 - Z_3) = 0 \quad (1.13)$$

(1.9), (1.10), (1.11), (1.12), (1.13) の連立方程式を Runge-Kutta-Gill 法の数値積分法によって解き, q_s , および P_1 , P_2 などを求める。

1.3.3 シミュレーションモデルの照査

シミュレーションモデルを照査するために衝撃係数(動的応答倍率)の計算値と実測値とを比較する。

1) 照査ケース

表-1.8に示すケースについて対比計算を行った。

2) 計算条件

(1) 車両諸元

図-1.6に示す値を用いた。

(2) 橋梁諸元

曲げ剛性は静的載荷試験結果から求められた値を、単位長さ当りの質量は設計値（第1橋 $W = 9163 \text{ kg/m}$ 、第2橋 $W = 11129 \text{ kg/m}$ ）を用いた。

(3) 路面凹凸

横断プロファイルメータで計測した路面凹凸の実測値を用いた。

(4) 応答計算

解の収束性から振動モードを7次まで考慮して、0.0005秒間隔でスパン中央点の動的応答を求めた。図-1.8にシミュレーション結果の出力例を示す。

3) 計算結果

対比計算結果を表-1.9に示す。1台走行の場合、曲げモーメントの衝撃係数は変位の衝撃係数と比べて小さい値が得られているが、複数走行の場合は同程度の値となっている。

4) 計算値と実測値との比較

実測値と計算値との対応図を図-1.9に示す。計算値の方が実測値よりもやや大きくなる傾向が認められ、このシミュレーションモデルは衝撃に対して安全側の評価を与えている。特に第1スパンでは実測値と計算値との差が大きくなっている。これらの誤差要因としては、モデル化上の種々の仮定の他、実測値のばらつきによる影響も考えられるため、今回のデータだけからモデルの精度を結論づけることは難しいかも知れない。しかし衝撃係数の特性に関しては実測値と計算値とで同様な傾向を示しており、今回使用するシミュレーションモデルはおおむね妥当であると判断して以下の検討を進めることにした。

1.3.4 単純桁の動的応答解析

1) 解析ケース

自動車荷重列を通常走行（速度 $40 \sim 80 \text{ km/hr}$ ）、渋滞走行（速度 $5 \sim 20 \text{ km/hr}$ ）の2種類の走行状態に設定した。単純桁の橋種は鋼橋（通常、渋滞）、PC桁橋（通常走行のみ）とし、スパン長、車両列の速度を表-1.10に示すように変化させた。

2) 計算条件

(1) 自動車荷重列

荷重列は20ton車からなる単独または連行車両列とし、速度別の車間距離を表-1.11のように設定した。速度 $5 \sim 20 \text{ km/hr}$ の場合は土木研究所で行なわれた活荷重実態調査⁹⁾を参考に設定し、速度 $40 \sim 80 \text{ km/hr}$ の場合はL荷重モデルを想定した仮定値を用いた。

(2) 橋梁諸元

各支間長における単純桁橋の諸元を建設省土木構造物標準設計数値表の2車線道路のデータより表-1.12に示すように設定した。ただし、スパン70mの鋼床版箱桁橋については実設計例より引用した。単位長さ当りの質量は橋梁全断面の質量を、剛性については各主桁の剛性を合計した値とした。

(3) 路面凹凸

式(1.4)において路面平坦性の良否を表すパラメータ α の値を0.0806、0.3225（凹凸a、bと呼ぶ）の2種に設定し、これらのパワースペクトルで与えられる路面凹凸波形を用いた。得られた路

面凹凸波形のパワースペクトルを図－1.10に示す。凹凸a, bはそれぞれ図中に示したISO基準で“極良”, “良”にランク分けされる路面平坦性レベルとなっている。

3) 解析結果

結果を衝撃係数, 最大応答値(変位と曲げモーメント)について整理した。

(1) 通常走行解析結果

通常走行について得られた結果を表－1.13(a), 図－1.11(a)に示す。

① スパン長の影響(10～70m)

1台走行時にはスパン30m程度で衝撃係数のピーク値が得られているが、複数走行時はスパン長の逆減関数となっている。これは単独車走行時には橋梁振動と車両振動の共振現象が現れたのに対し、複数車走行時には、共振現象よりもむしろ車両相互の低減効果が現れたものと考えられる。

② 速度の影響(40～80km/hr)

スパン30mのときは高速になる程、衝撃係数の値が大きくなっているが、それ以外のスパン長ではばらつきがあり一定の傾向を示していない。

③ 路面凹凸の影響(凹凸a, b)

凹凸a, bでは衝撃係数が倍程度異なっており、凹凸a, bで路面凹凸高が倍だけ異なっていることとほぼ対応している。路面凹凸の良否が衝撃係数値に及ぼす影響は非常に大きい。

④ 載荷台数の影響(1, 3, 5台)

自動車載荷台数が増大すると衝撃係数は小さくなるものの、橋梁応答は大きくなっている。

⑤ 橋種の影響(鋼橋, PC橋)

鋼橋とPC橋の結果を比較すると各パラメータの影響は類似した傾向を示しているが、衝撃係数値はPC橋は鋼橋に比べて2～3割程度小さくなっている。

(2) 渋滞走行解析結果

渋滞走行に対して得られた結果を表－1.13(b), 図－1.11(b)に示す。速度が5～20km/hrの範囲では速度が大きくなる程衝撃係数の値が大きくなる傾向にある。しかし橋梁応答でみると、スパンが10mの場合を除き車両がより密に配置された低速時の方が大きくなっている。

(3) 通常走行と渋滞走行との比較

通常走行のうち速度が40km/hrのケース、渋滞走行のうち速度20, 10km/hr, および完全渋滞時(速度=0)の場合の衝撃係数値, 応答値を比較した。完全渋滞時の車間距離は速度5km/hrのときの車間距離を用いた。これらを図－1.12に示す。スパン長の増加とともに最大曲げモーメント, 最大変位は増大するが、最大応答を与える走行状態は短スパン橋梁では走行状態, 中～長スパン橋梁では渋滞時となった。これは、走行時と渋滞時での載荷台数の違いが短スパンでは小さいのに対し、長スパンでは大きいこと、衝撃係数が短スパンでは比較的大きいのに対して中～長スパンでは小さくなることと対応している。最大応答を与える走行モードが変化する限界スパン長は路面凹凸の良否の他、走行条件すなわち速度と車間距離の設定の仕方によっても変化する。

1.3.5 ま と め

活荷重の衝撃についての検討を行うために実橋車両走行試験を行い、主桁の衝撃係数の実測データを得た。次にシミュレーションモデルの照査を行い、異なる走行モードにある自動車荷重列に対する橋梁の動的応答シミュレーション解析を実施し、活荷重と衝撃との組合せによる橋梁活荷重の限界状

態について検討した。今回の検討で明らかになった事項、今後の課題を以下にまとめる。

- (1) 用いたシミュレーションモデルは、構造研究室が開発し、改良を重ねてきたものであるが、実測データとの照査により、衝撃の影響をやや大きめに評価する傾向にあるがおおむね妥当であることが確認された。
- (2) 活荷重による橋梁の動的応答には、スパン長の他、走行条件（速度と車間距離）、路面凹凸の良否が関係している。単独車走行時には橋梁振動と車両振動がスパン長30～40mで共振し、衝撃係数が大きくなるが、複数車走行時には共振現象は見られず、衝撃係数はスパン長の通減関数となっている。いずれの場合も路面凹凸の良否が衝撃係数に及ぼす影響は大きい。
- (3) 異なる走行モードにある自動車荷重列に対するシミュレーション結果により、短スパン橋梁では走行時が、中～長スパン橋梁では渋滞時が橋梁の最大応答を与える自動車荷重条件となった。すなわち短スパン橋梁では衝撃を伴った通常の走行状態が、中～長スパン橋梁では動的応答を含まない完全渋滞時が走行状態より大きな曲げモーメント応答を与える。
- (4) 今回の検討範囲、条件では、長スパン橋梁に対しては、設計においてL荷重について衝撃の影響を考慮しなくてもよい可能性があることが明らかとなった。
- (5) 今後詳細な検討を行うためには、各走行モードの発生頻度や対向車線の走行モードなどの実交通流特性ならびに幅員方向の荷重分配効果などの実橋梁応答特性の衝撃に及ぼす影響を考慮することが必要となる。

＜参 考 文 献＞

- 1) 成田、桂樹：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) 成田、桂樹、江本、藤城：橋梁の設計動荷重に関する試験調査報告書（II－1978），土木研究所資料第1466号，昭和54年2月
- 3) 成田、桂樹、江本、藤城：橋梁の設計動荷重に関する試験調査報告書（III－1979），土木研究所資料第1555号，昭和55年3月
- 4) 山本、桂樹、水上、江本、藤城：橋梁の設計動荷重に関する試験調査報告書（IV－1980），土木研究所資料第1648号，昭和56年2月
- 5) 山本、桂樹、水上、永原：橋梁の設計動荷重に関する試験調査報告書（V－1981），土木研究所資料第1820号，昭和57年3月
- 6) 山本、水上、永原：橋梁の設計動荷重に関する試験調査報告書（VI－1982），土木研究所資料第1968号，昭和58年3月
- 7) 山本、水上、永原：橋梁の設計動荷重に関する試験調査報告書（VII－1983），構造研究室資料，昭和59年3月
- 8) J.R.BILLING：Dynamic loading and testing of bridges in Ontario, Canadian Journal of Civil Engineering, Vol.11 Number 4 December 1984,
- 9) 建設省土木研究所橋梁研究室，株式会社オリエンタルコンサルタンツ：交通流的負荷量の算出方法に関する検討業務報告書，昭和60年1月

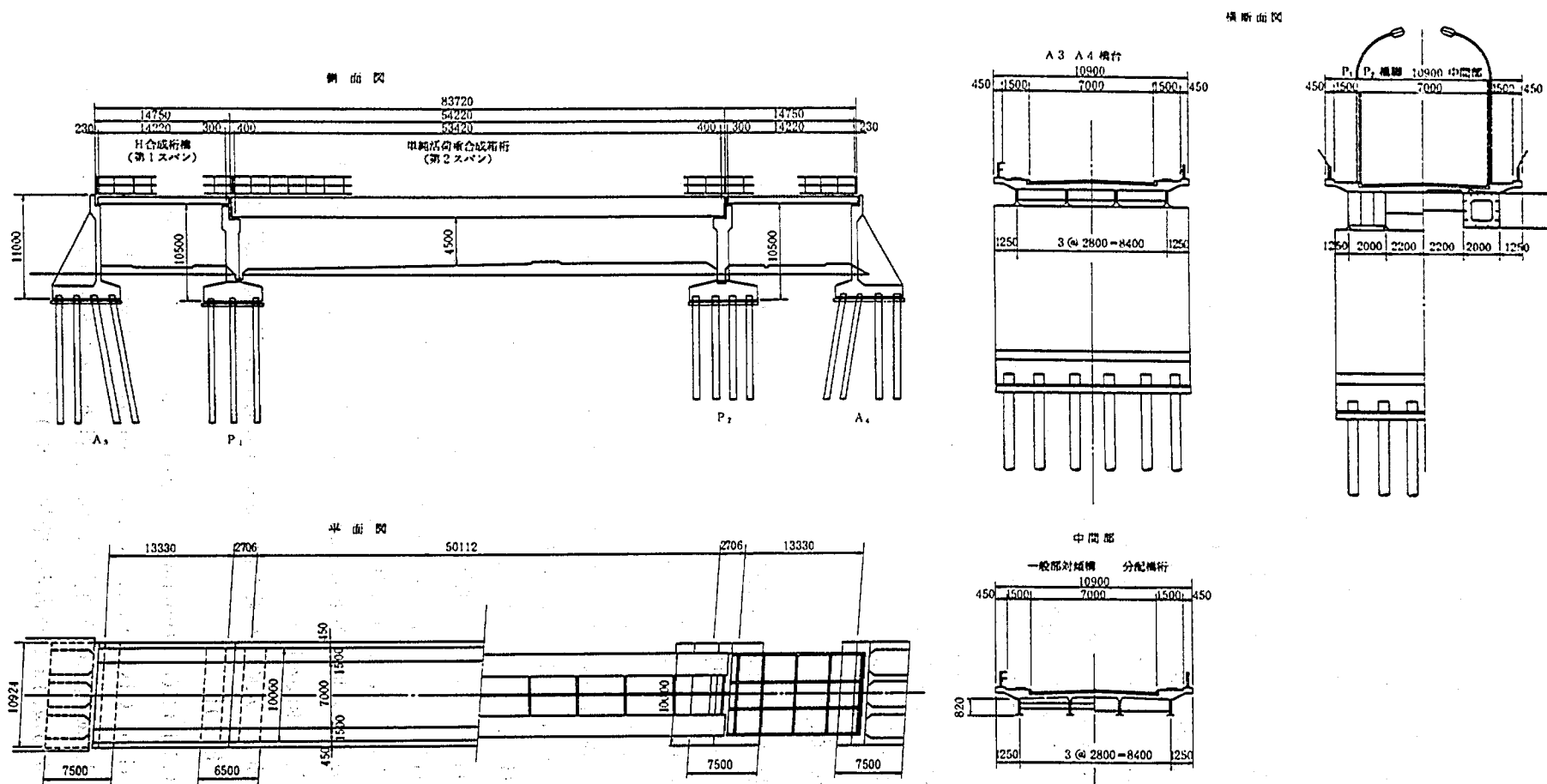
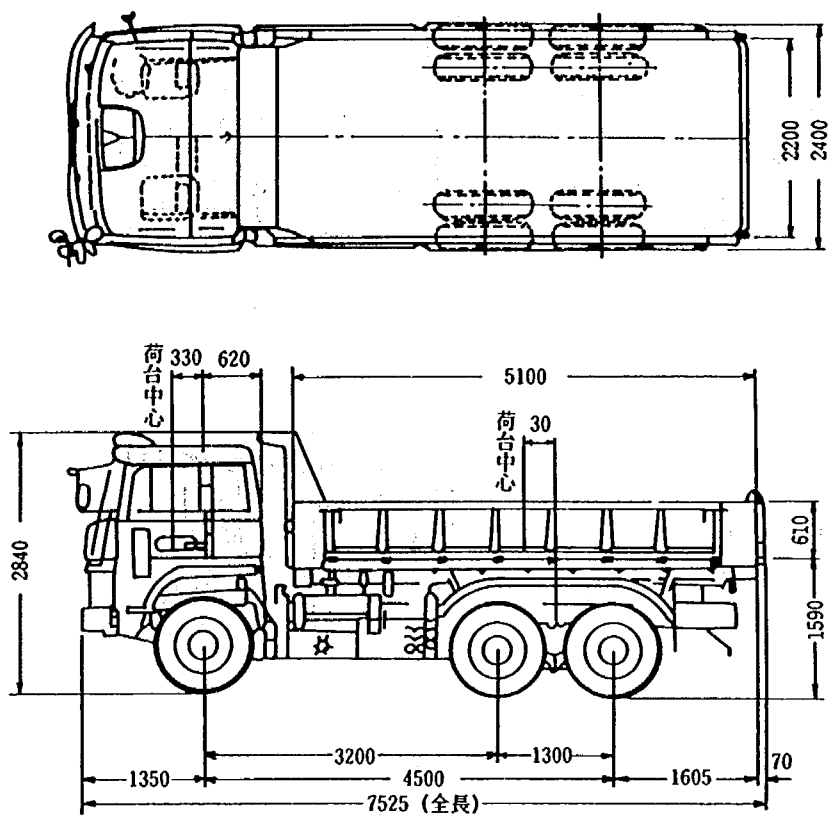
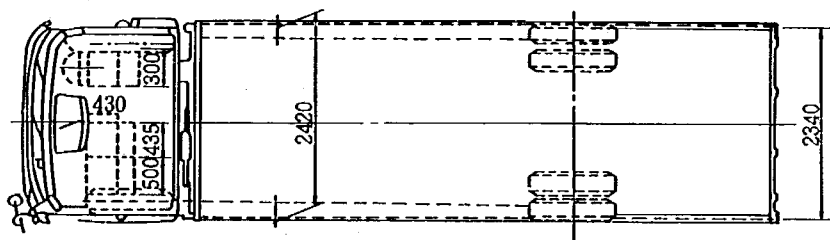


図- 1.1 調査橋梁一般図

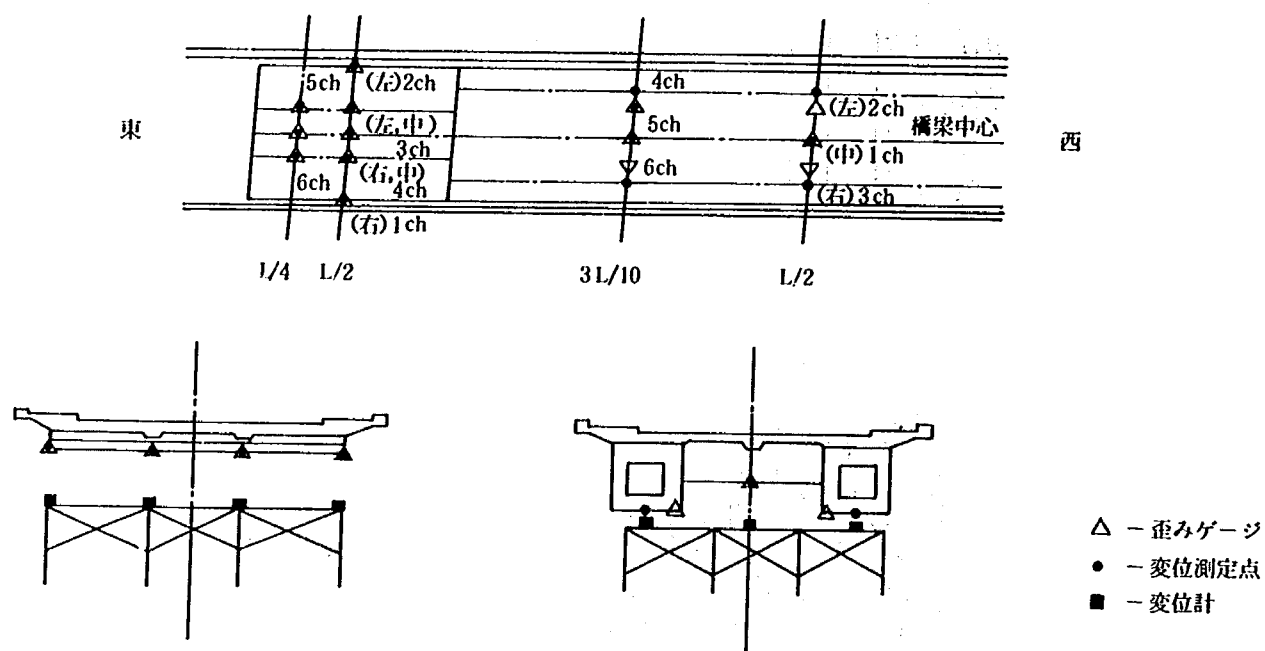


3 軸 車



2 軸 車

図- 1.2 荷重車外形寸法



[第一スパン]

L/2	左	.....	25mm用 (2 ch)
	左中	.....	25mm用 (3 ch)
	右中	.....	15mm用 (4 ch)
	右	.....	変位計故障の為削除 (1 ch)
L/4	左中	.....	15mm用 (5 ch)
	右中	.....	15mm用 (6 ch)

[第二スパン]

L/2	左	.....	25mm用 (2 ch)
	中	.....	変位計故障の為削除 (1 ch)
	右	.....	25mm用 (3 ch)
3L/10	左	.....	15mm用 (4 ch)
	中	.....	15mm用 (5 ch)
	右	.....	15mm用 (6 ch)

図- 1.3 計測器配置図

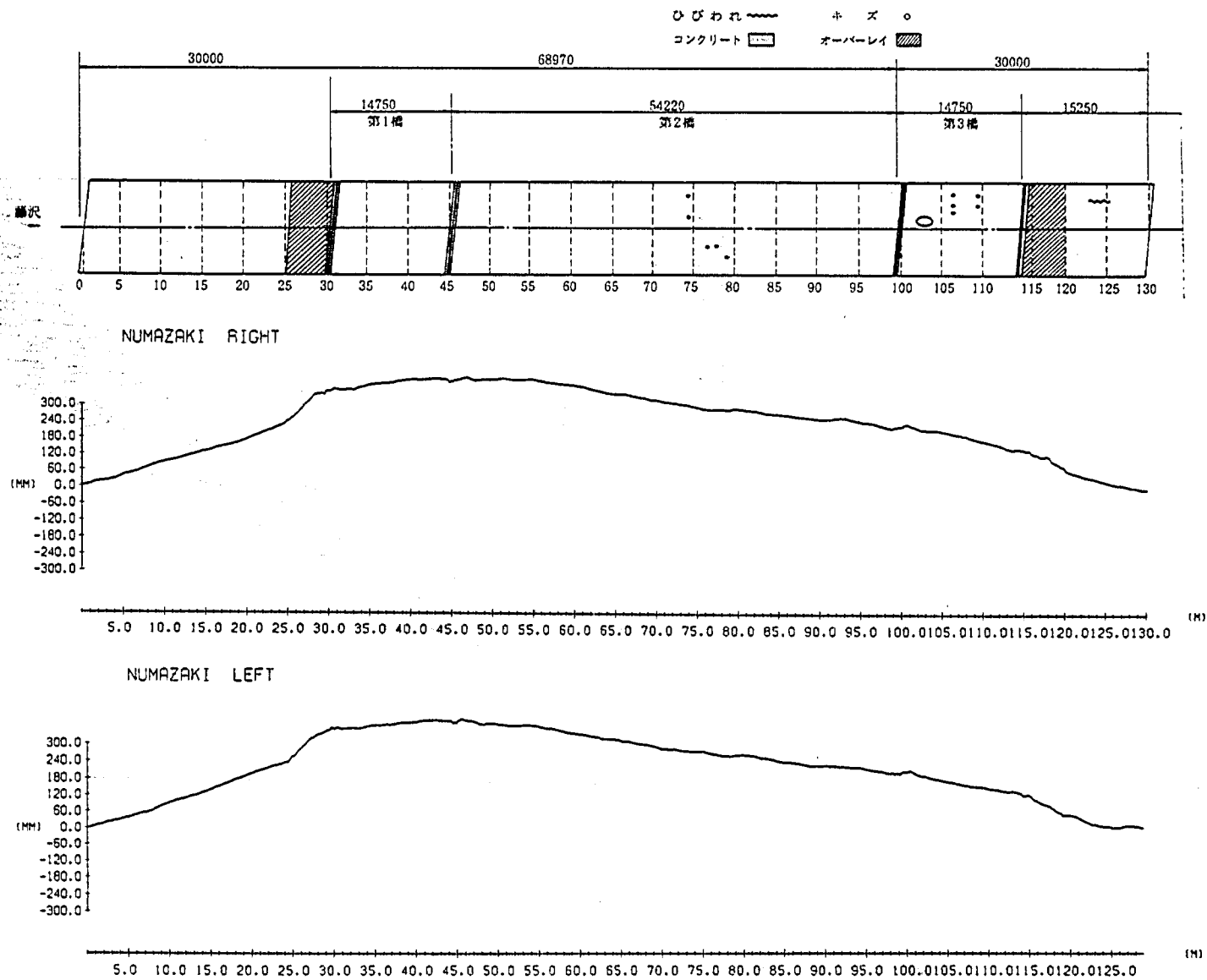


図-1.4 調査区間路面状況図，路面凹凸波形図

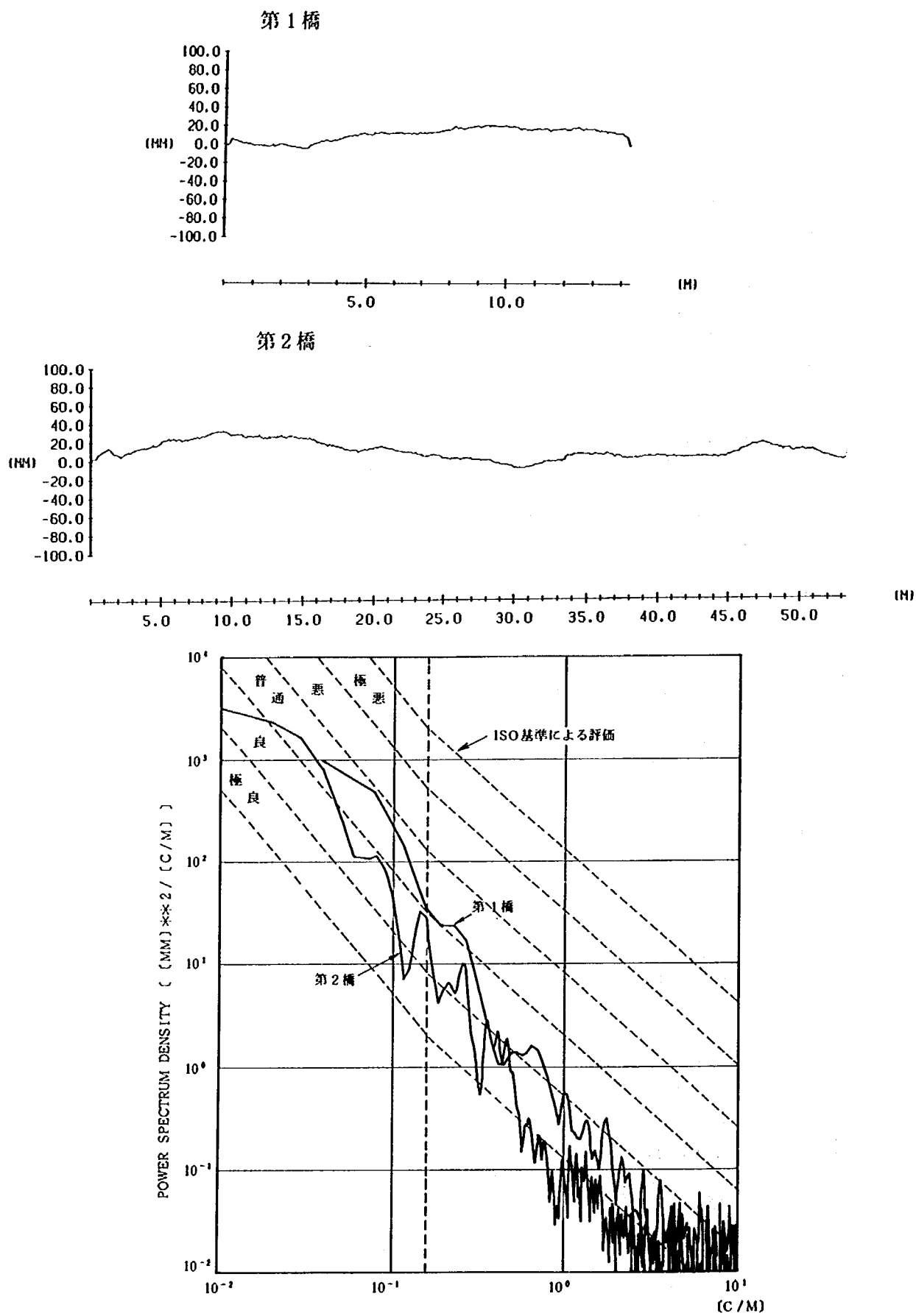
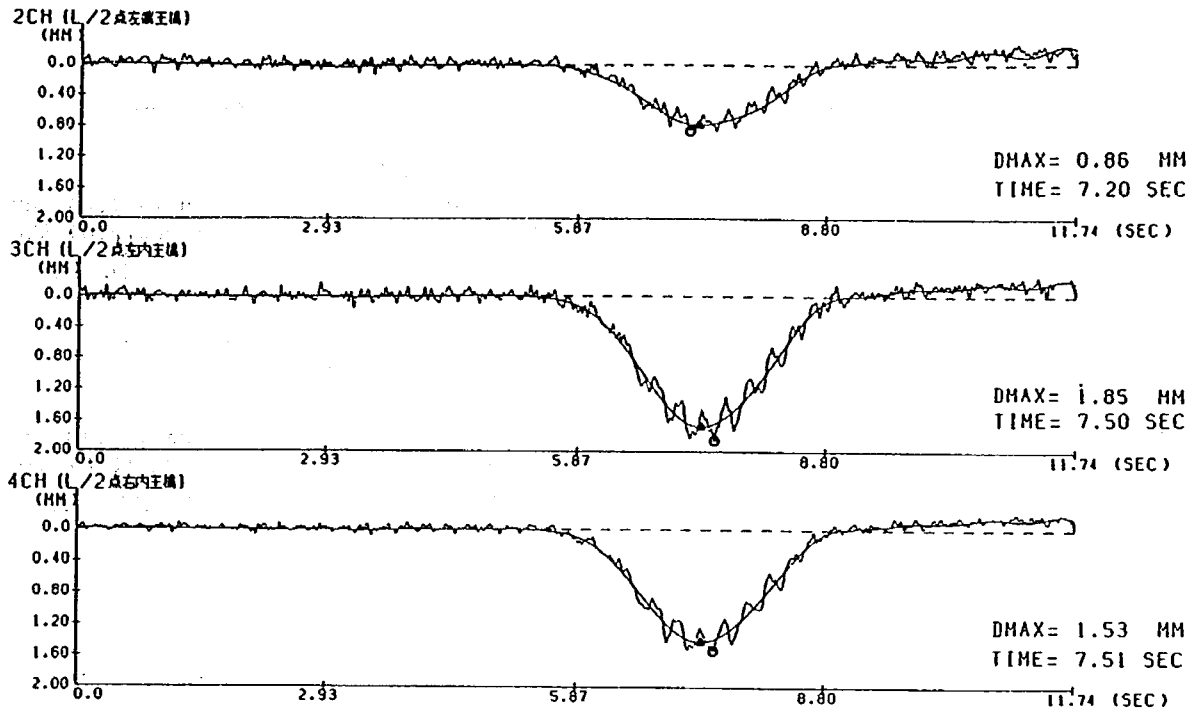


図- 1.5 調査橋梁路面凹凸波形図，パワースペクトル図

(a) 第1橋1台走行 速度20km/hr

変位



応力

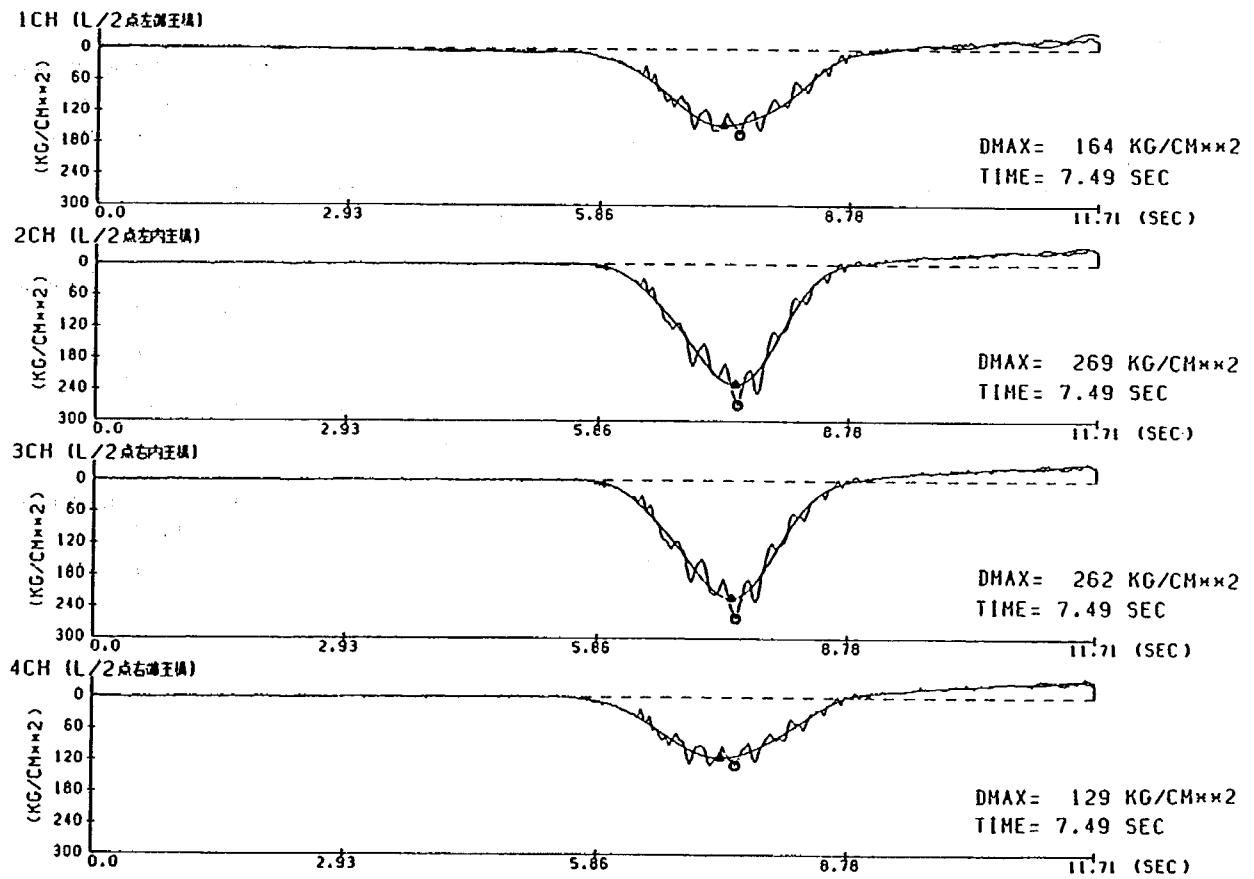
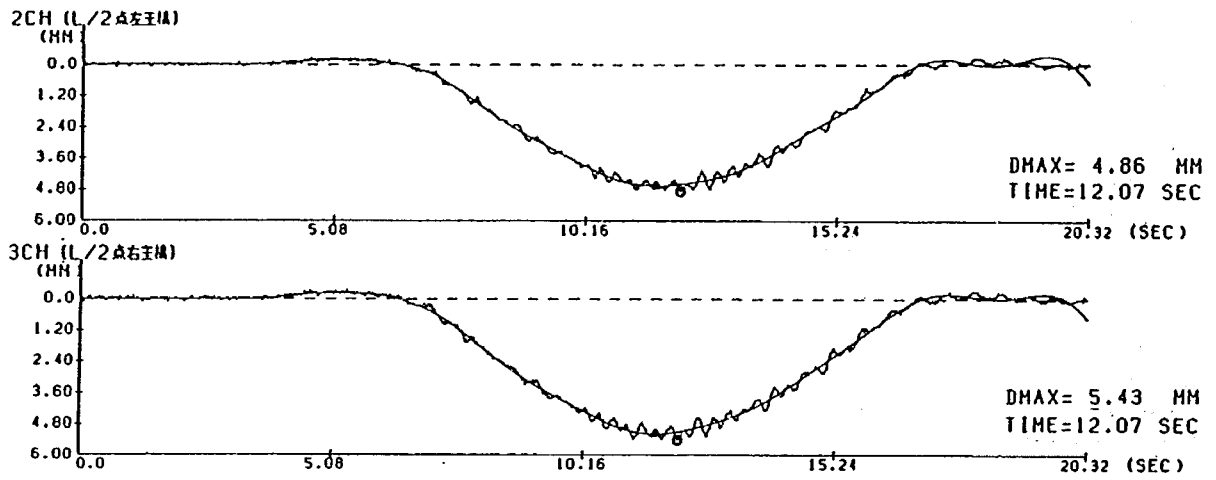


図-1.6(a) 動的応答波形図

(b) 第2橋1台走行 速度20km/hr

変位



応力

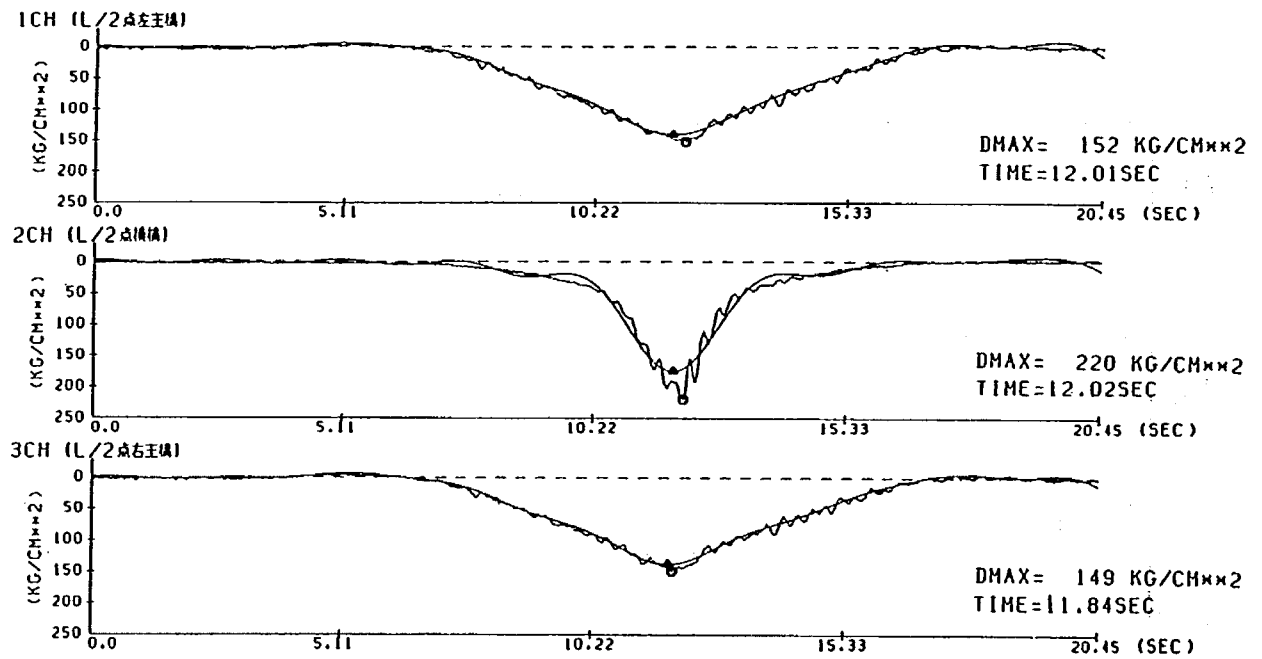
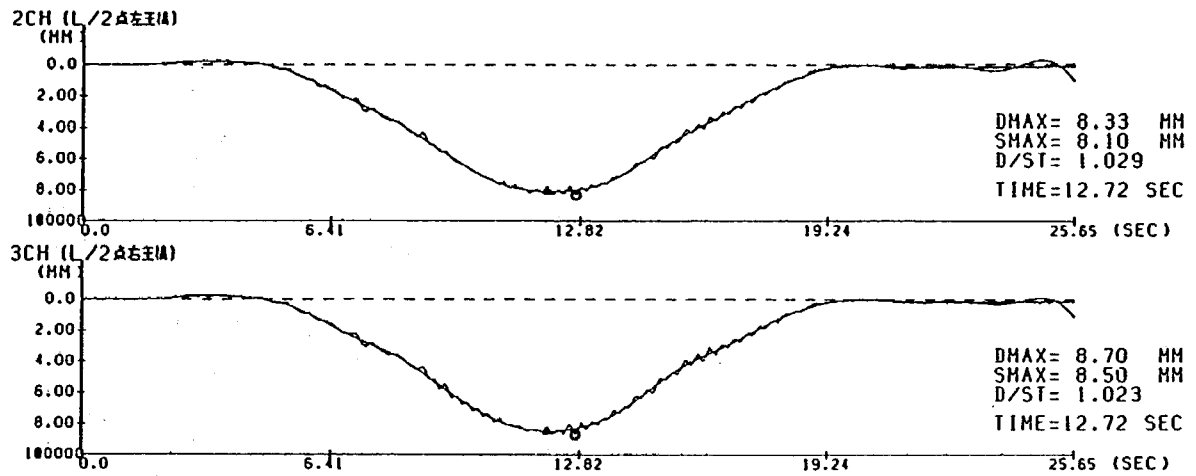


図-1.6(b) 動的応答波形図

(c) 第2橋2台走行 速度20km/hr

変位



応力

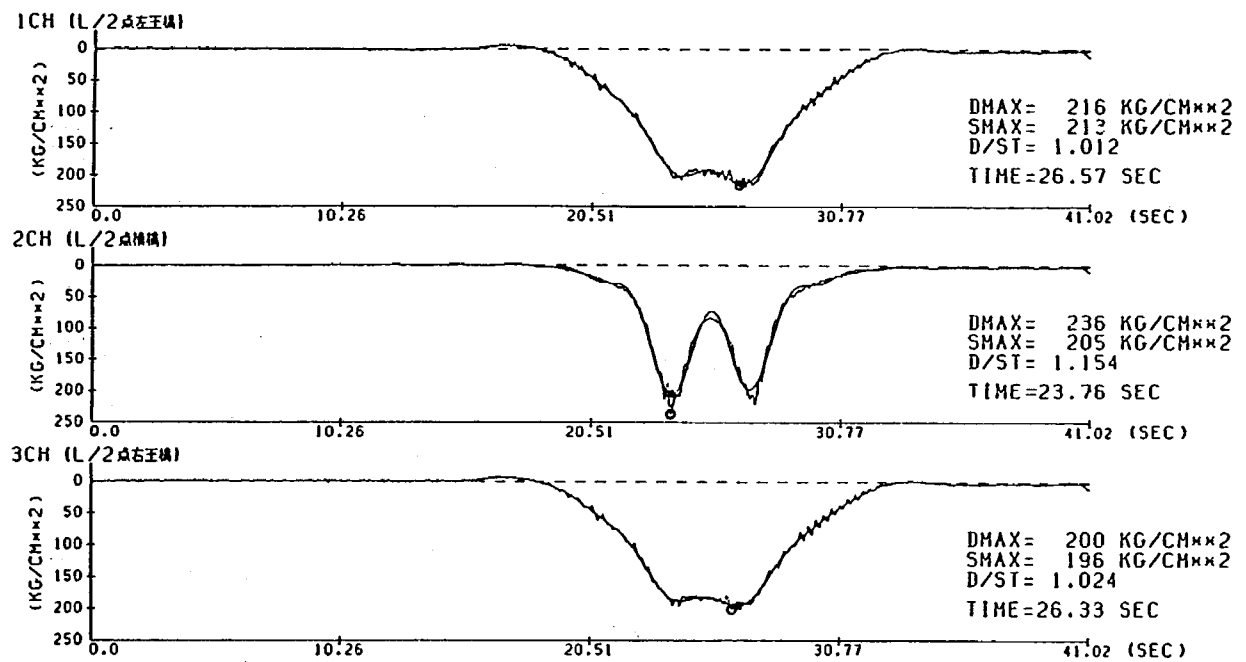
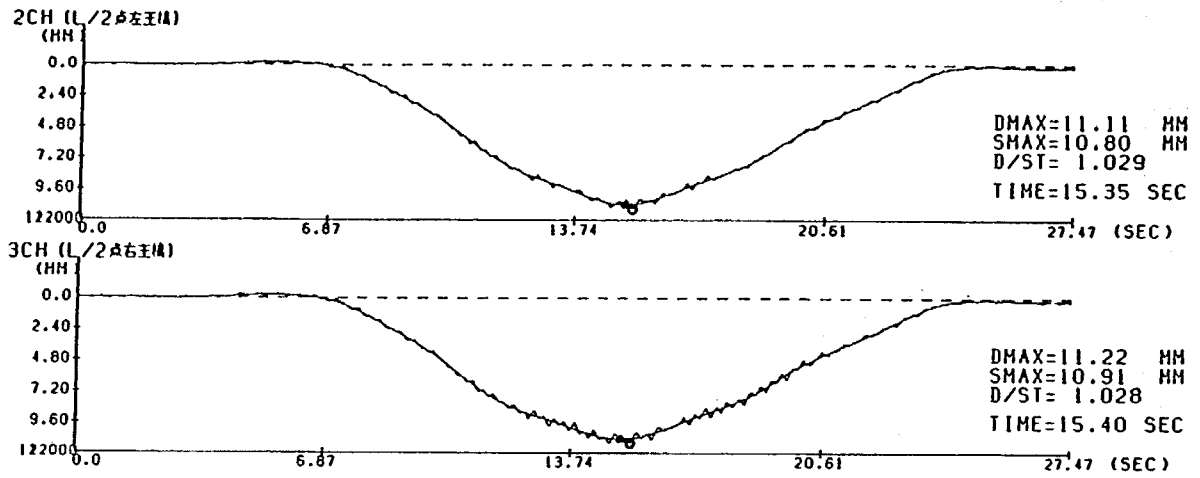


図-1.6(c) 動的応答波形図

(d) 第2橋3台走行 速度20km/hr

変位



応力

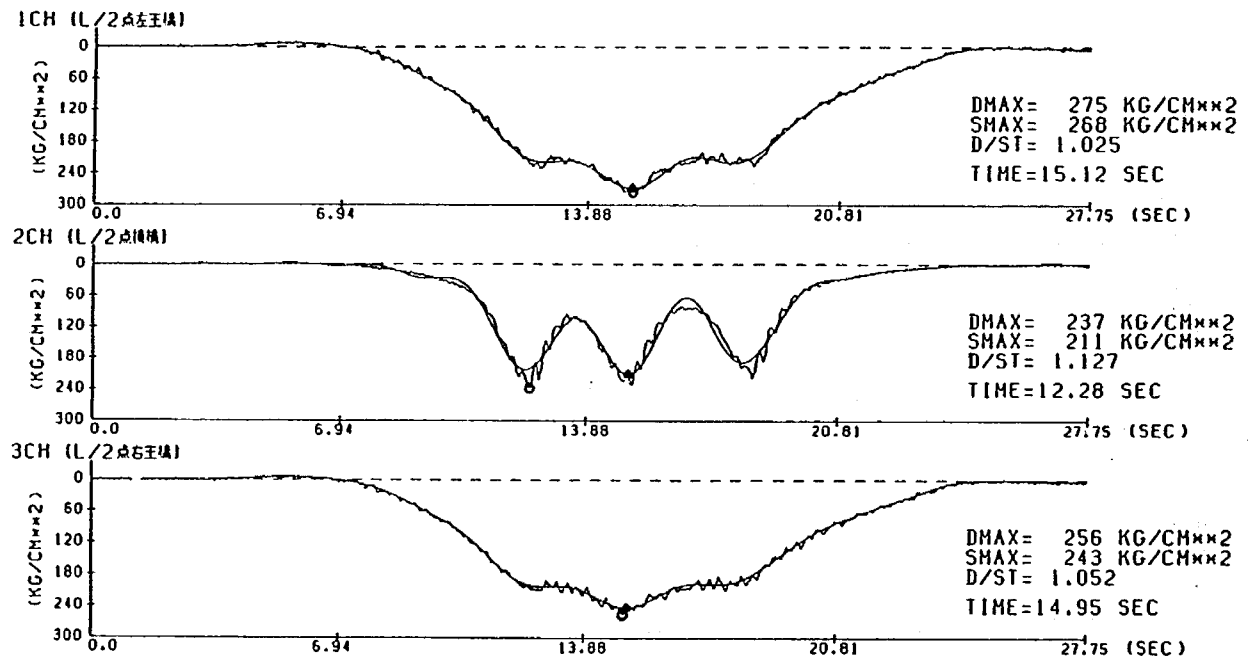


図- 1.6(d) 動的応答波形図

(a) 第1スパン1台走行 速度20km/hr

STEEL-G SPAN=14.3 CAR=1 SPEED=20

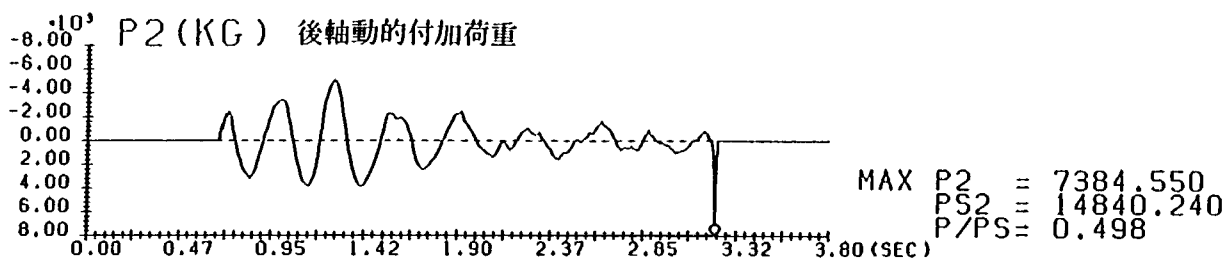
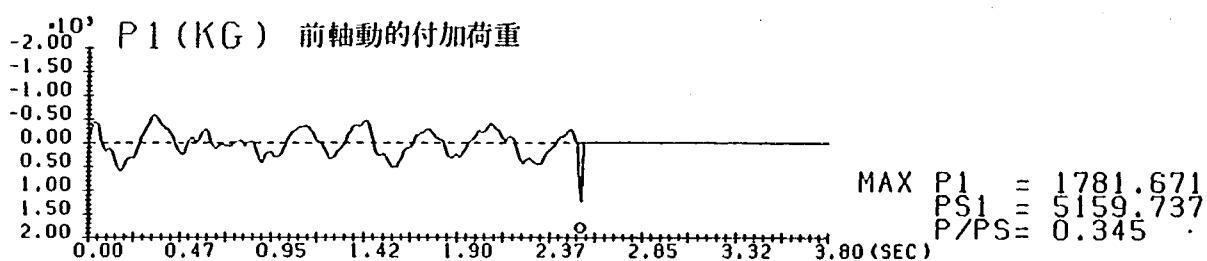
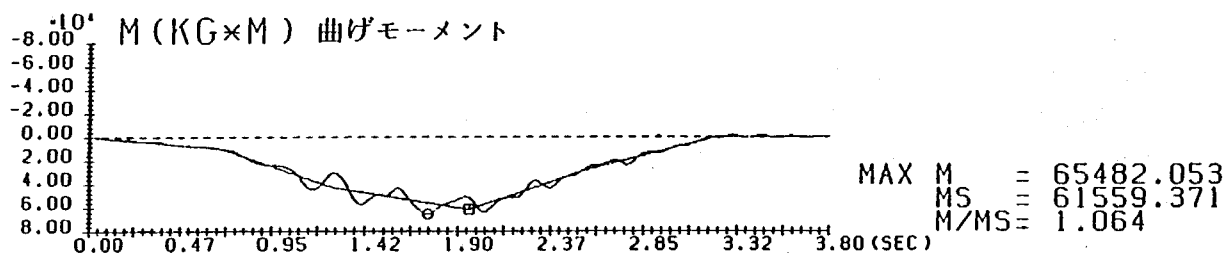
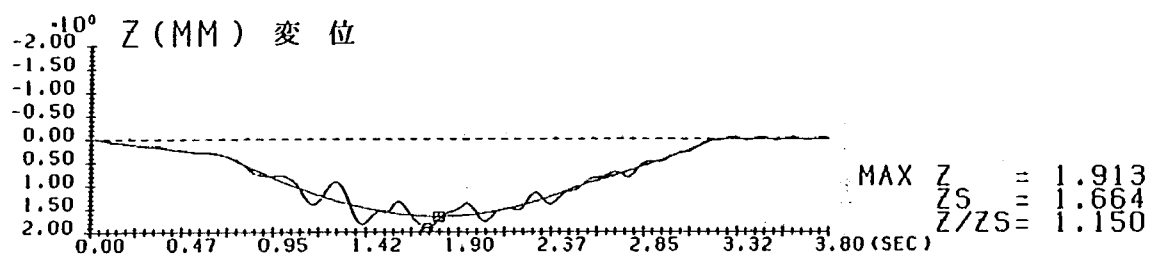
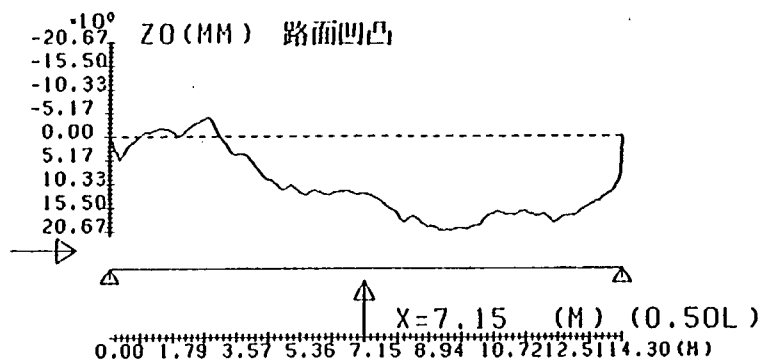


図-1.8(a) シミュレーション結果出力例

(b) 第2スパン1台走行 速度20km/hr

STEEL-G SPAN=53.3 CAR=1 SPEED=20

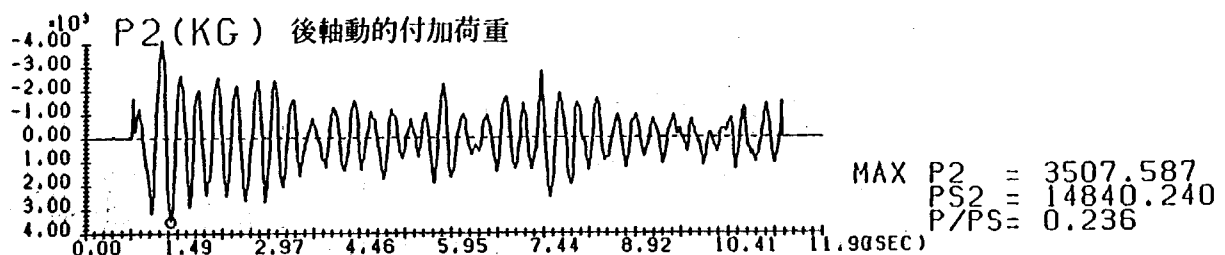
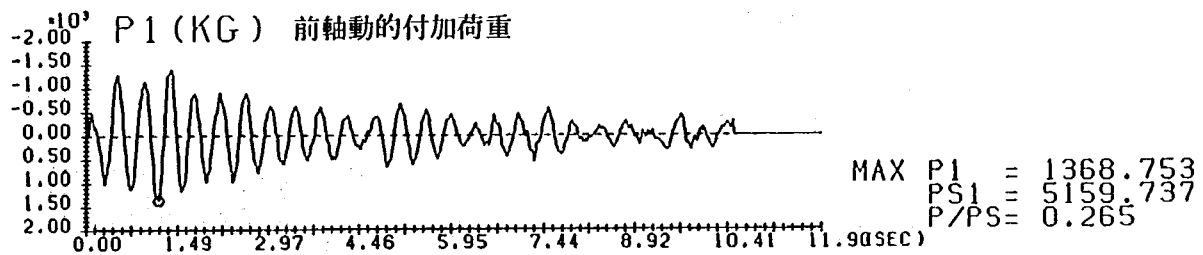
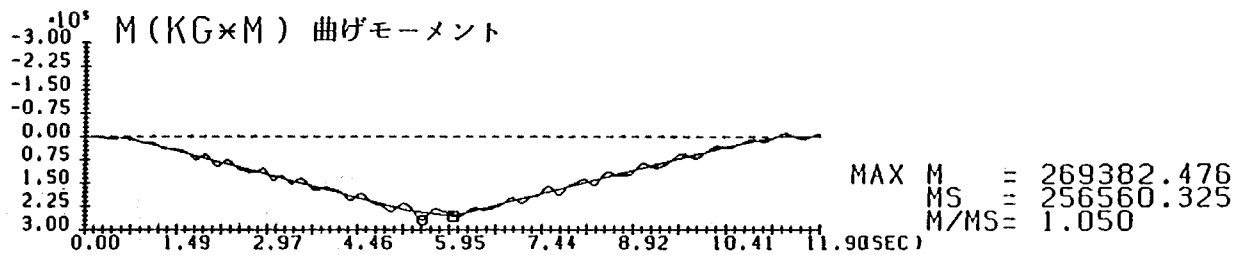
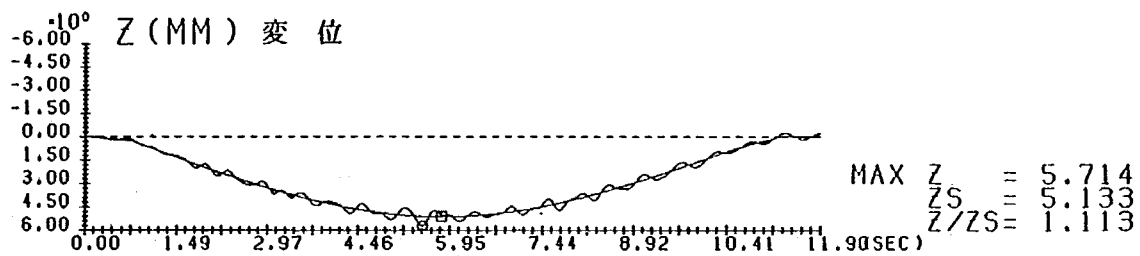
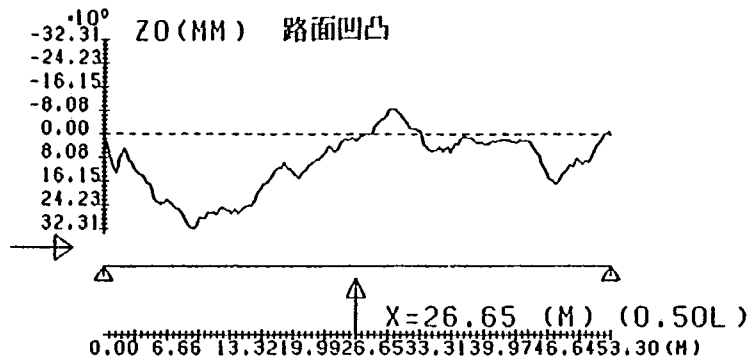


図-1.8(b) シミュレーション結果出力例

(c) 第2スパン2台走行 速度20km/hr

STEEL-G SPAN=53.3 CAR=2 SPEED=20

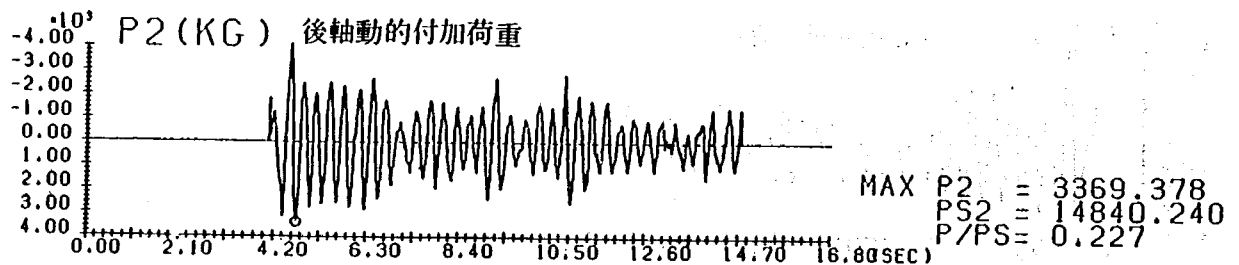
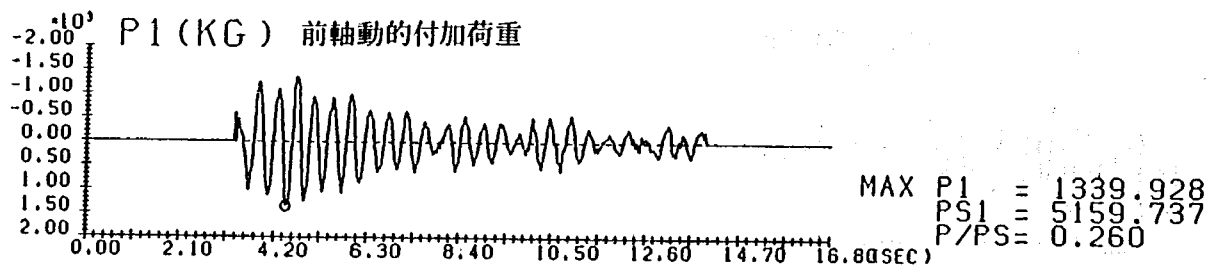
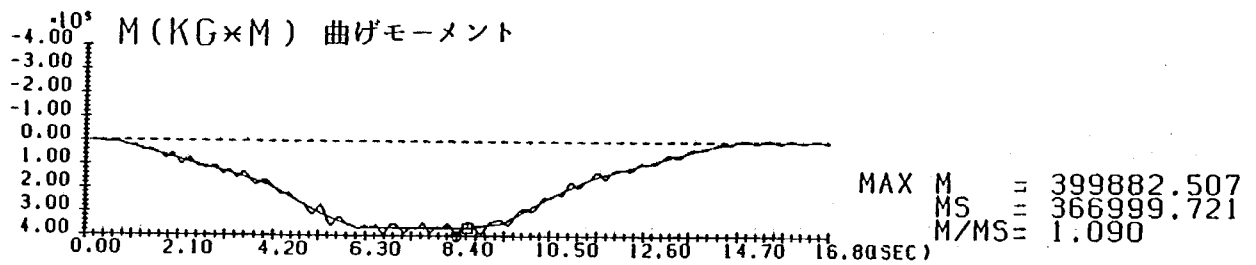
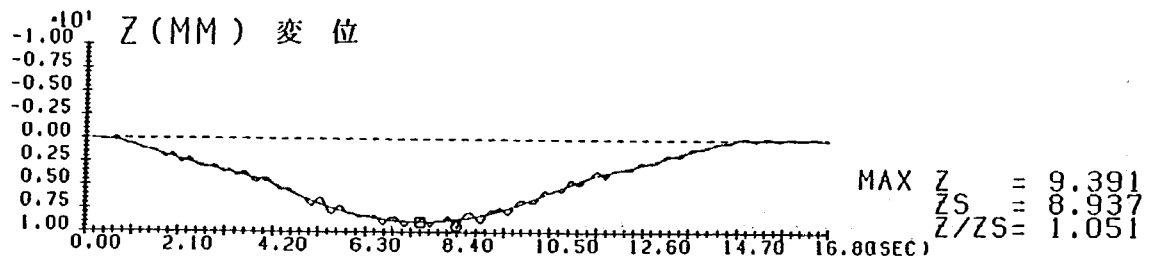
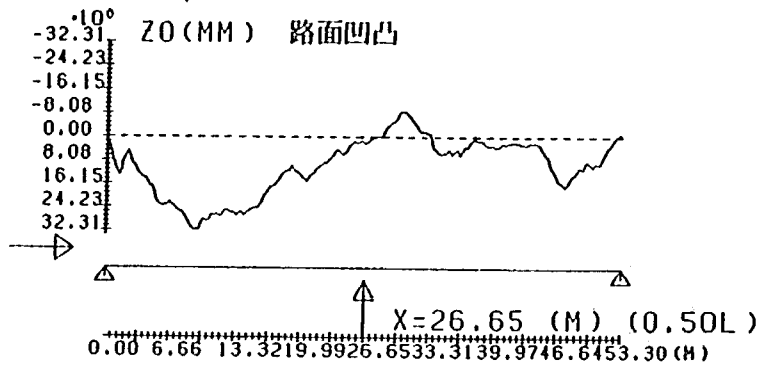


図-1.8(c) シミュレーション結果出力例

(d) 第2スパン3台走行 速度20km/hr

STEEL-G SPAN=53.3 CAR=3 SPEED=20

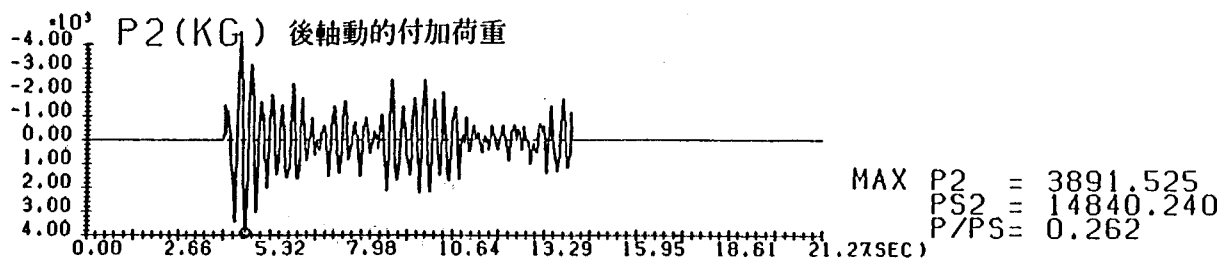
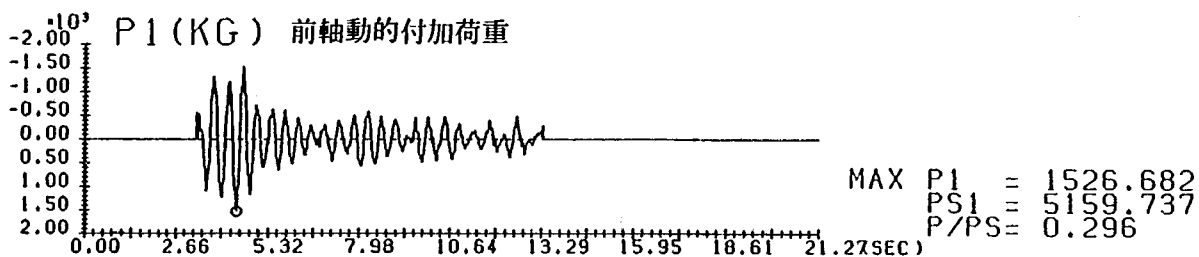
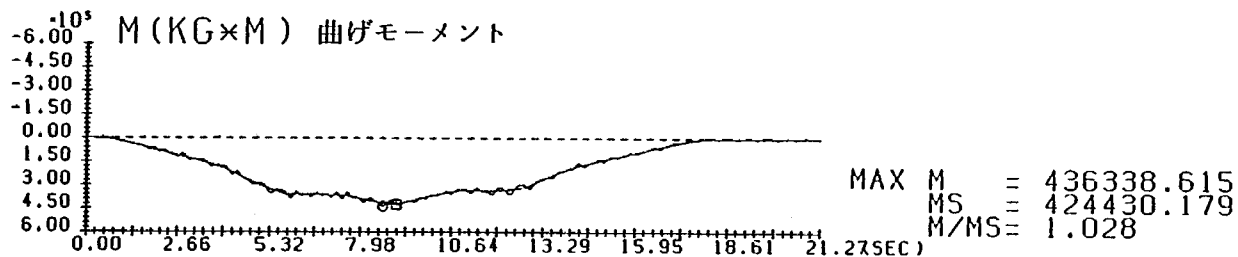
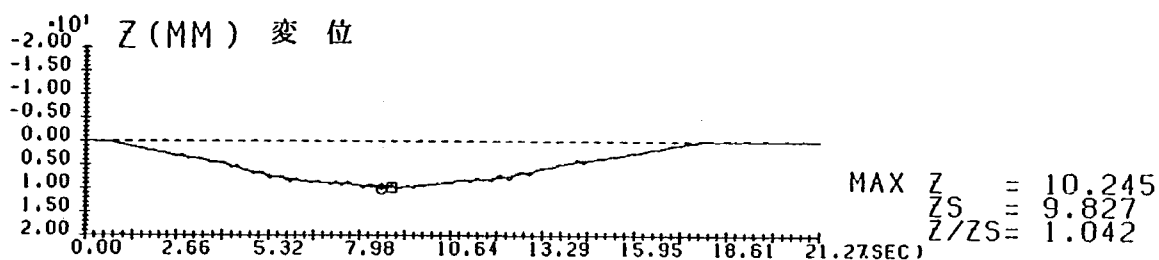
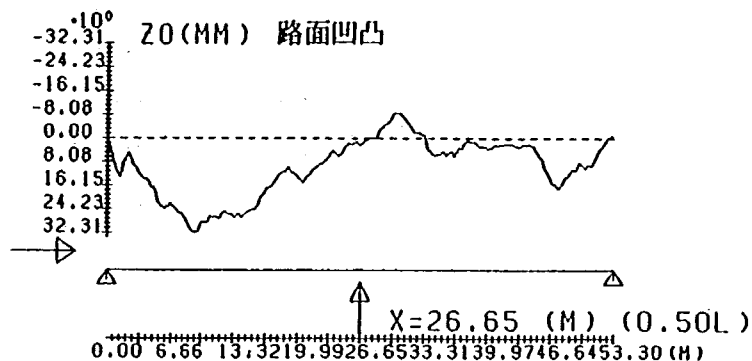
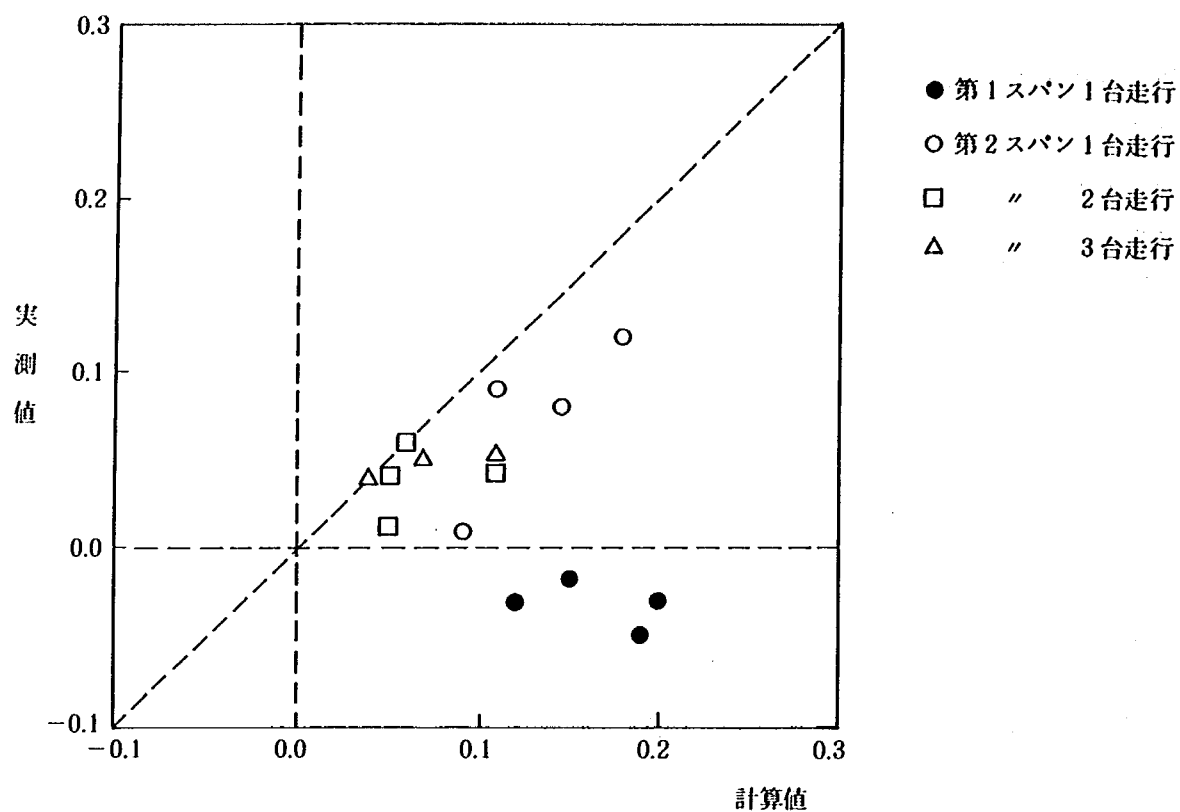


図-1.8(d) シミュレーション結果出力例

① 変 位



② 曲げモーメント（応力）

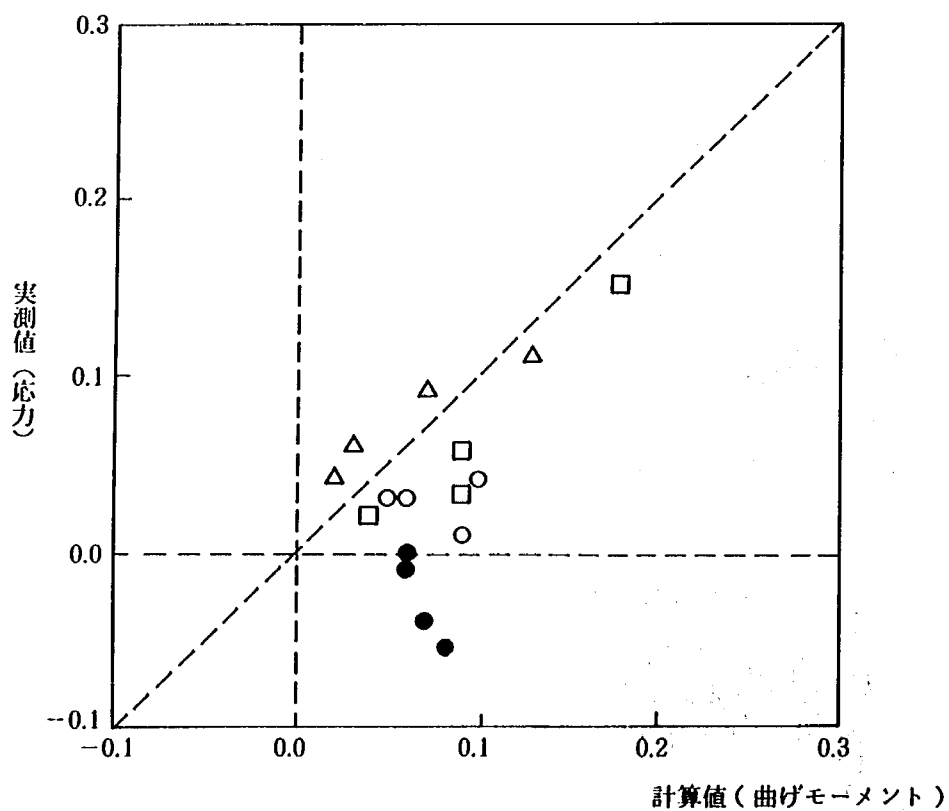


図- 1.9 衝撃係数の実測値と計算値との比較

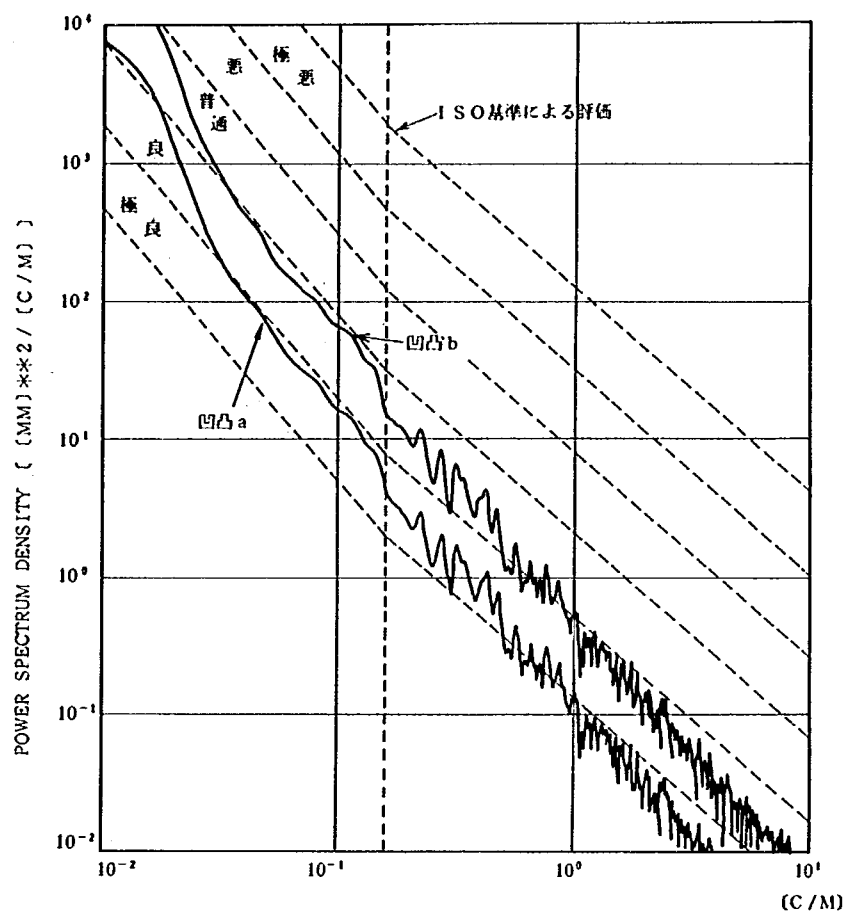
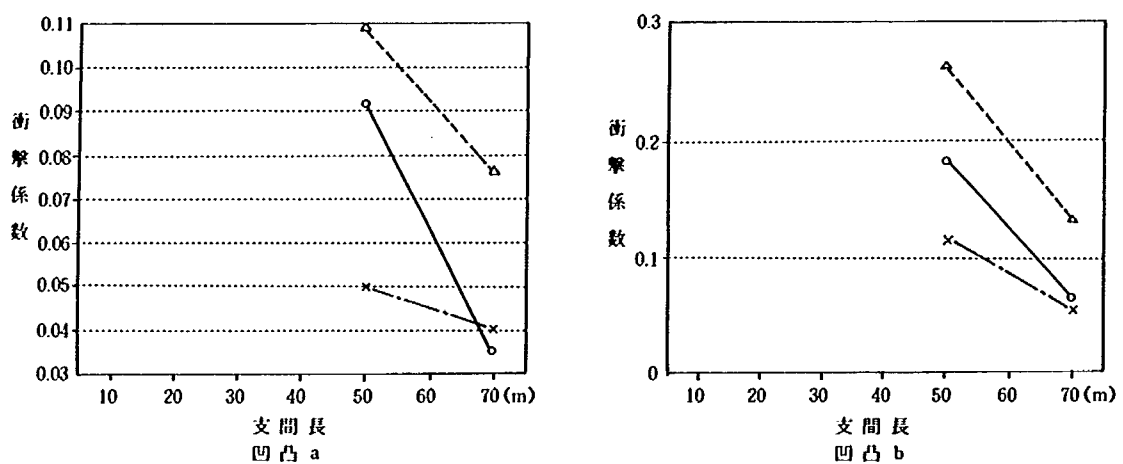
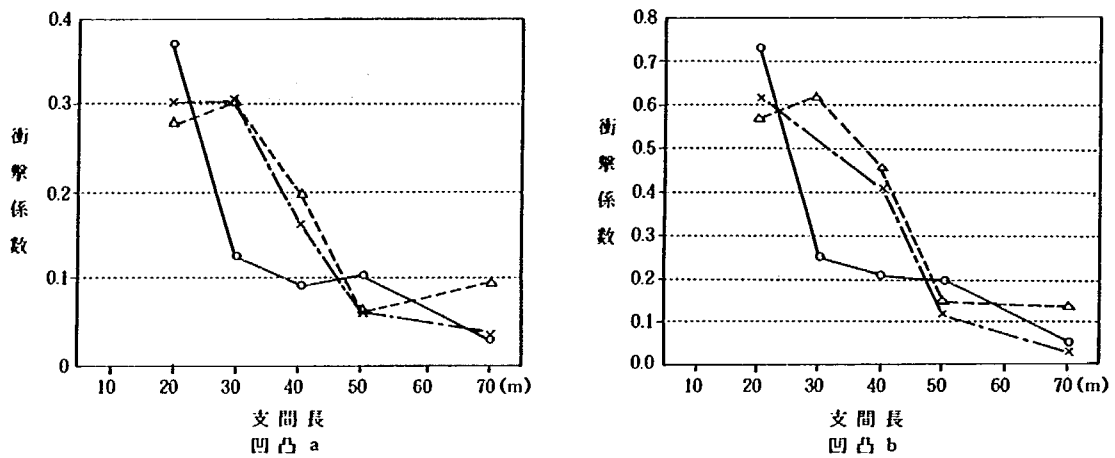
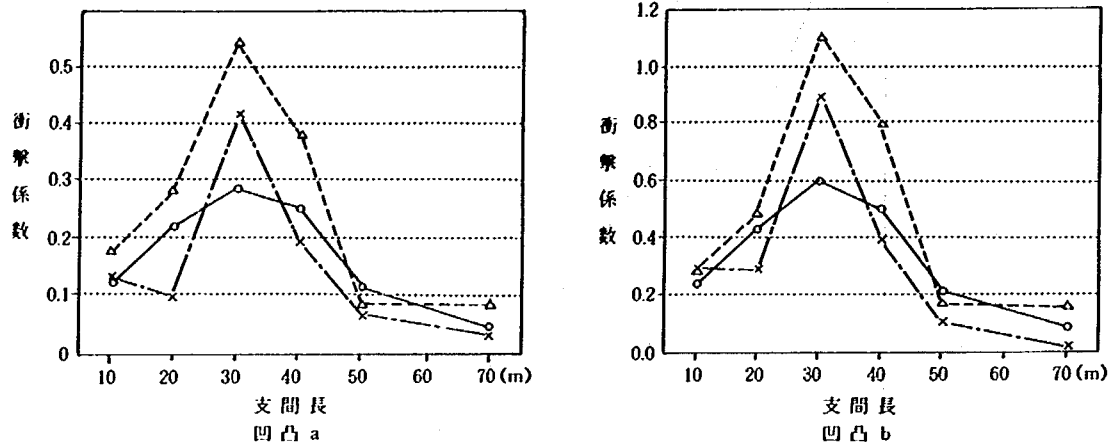


図- 1.10 路面凹凸 a, b パワースペクトル図

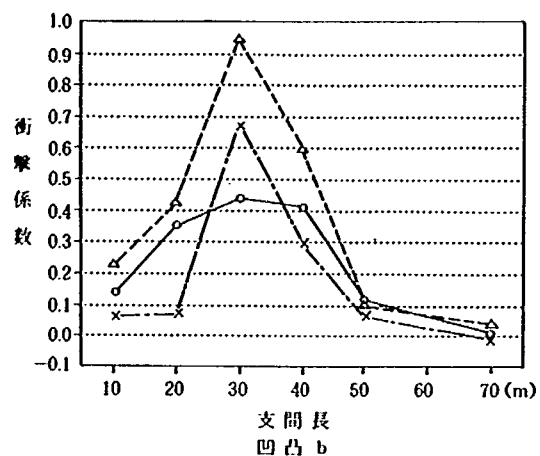
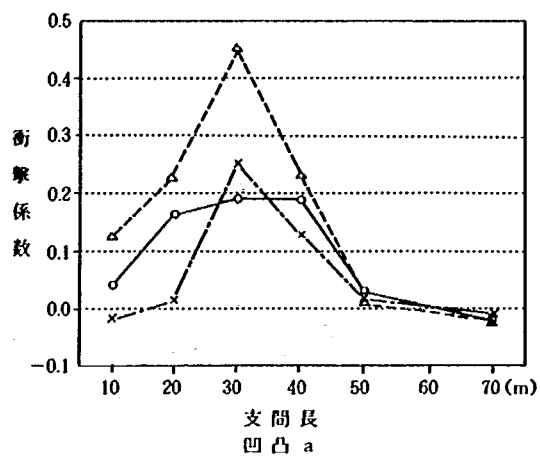
(a) 通常走行シミュレーション

(1) 鋼 橋

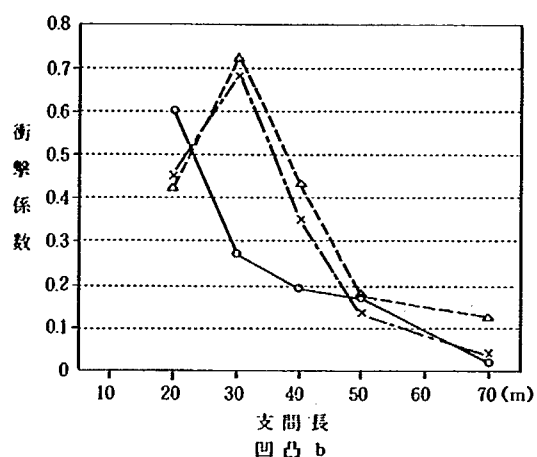
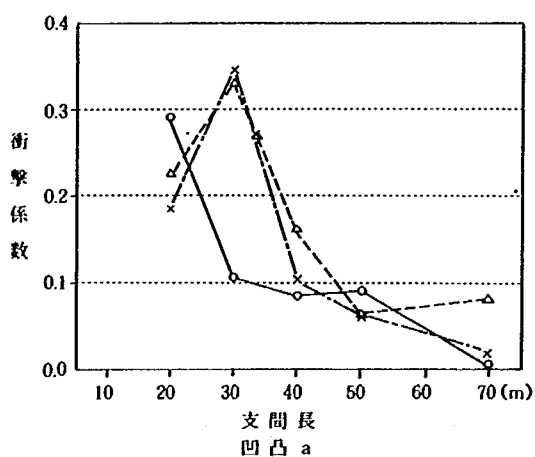


凡例 : $\text{---}\bigcirc\text{---}$ $v=40$ $\text{---}x\text{---}$ $v=60$ $\text{---}\triangle\text{---}$ $v=80$

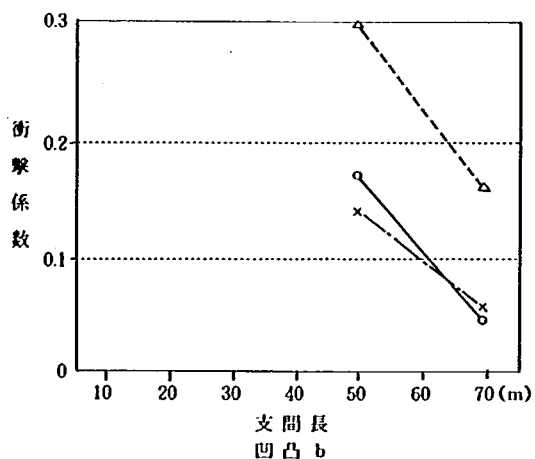
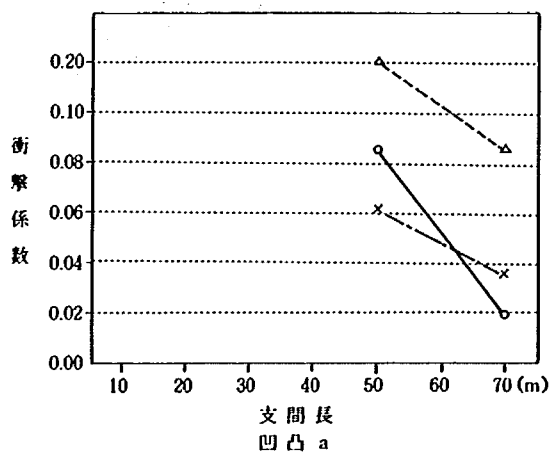
図-1.11(a) シミュレーション結果



モーメント着目の衝撃係数 (1台走行時)



モーメント着目の衝撃係数 (3台走行時)

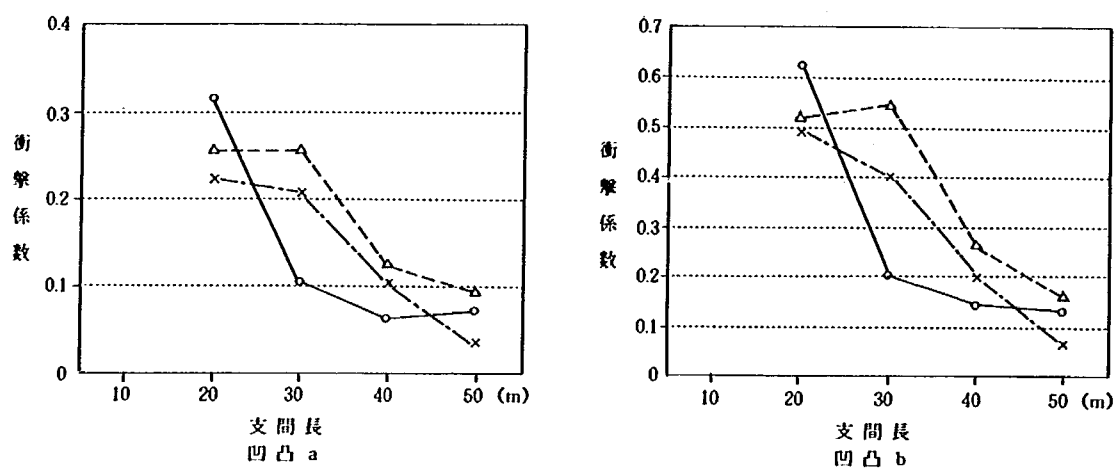
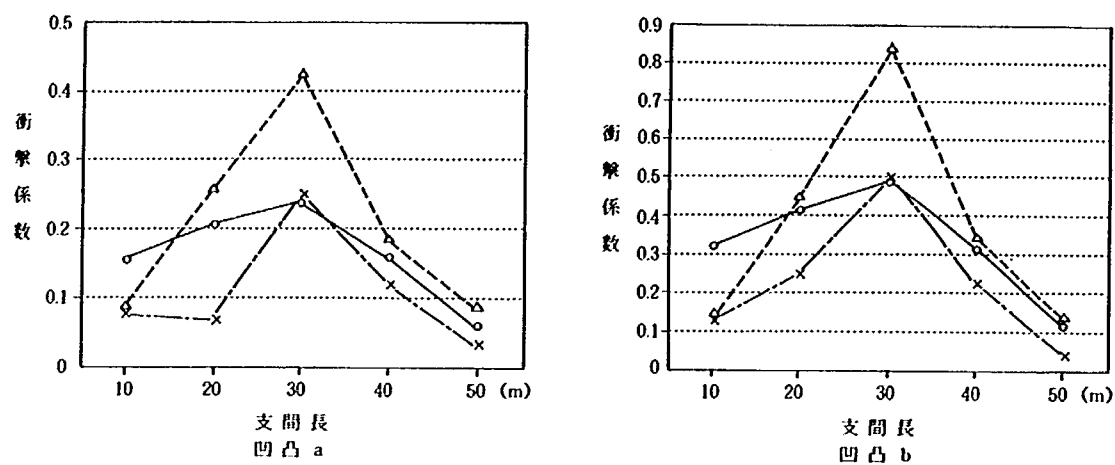


モーメント着目の衝撃係数 (5台走行時)

凡例 : $\text{---}\bigcirc\text{---}$ $\text{---}\times\text{---}$ $\text{---}\triangle\text{---}$
 $v=40$ $v=60$ $v=80$

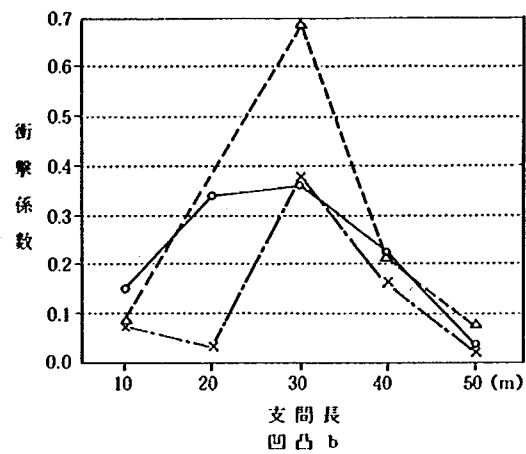
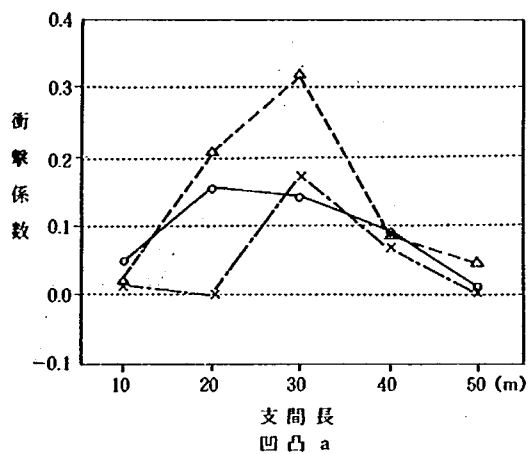
図-1.11 (b) シミュレーション結果

(2) PC橋

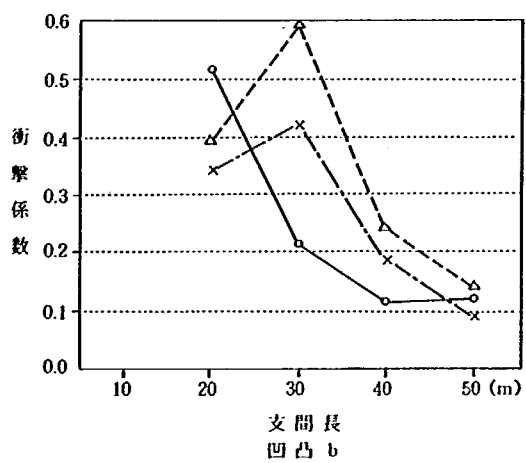
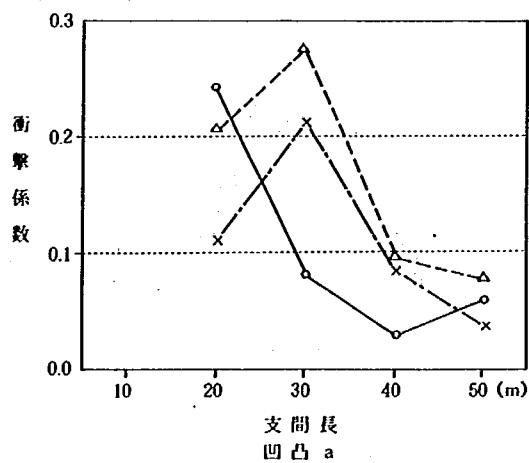


凡例 : —○— $v=40$ - - × - - $v=60$ - - △ - - $v=80$

図-1.11(c) シミュレーション結果



モーメント着目の衝撃係数 (1台走行時)



モーメント着目の衝撃係数 (3台走行時)

凡例 : $\text{---}\bigcirc\text{---}$ $\text{---}\times\text{---}$ $\text{---}\triangle\text{---}$
 $v=40$ $v=60$ $v=80$

図-1.11 (d) シミュレーション結果

(b) 波滯走行シミュレーション

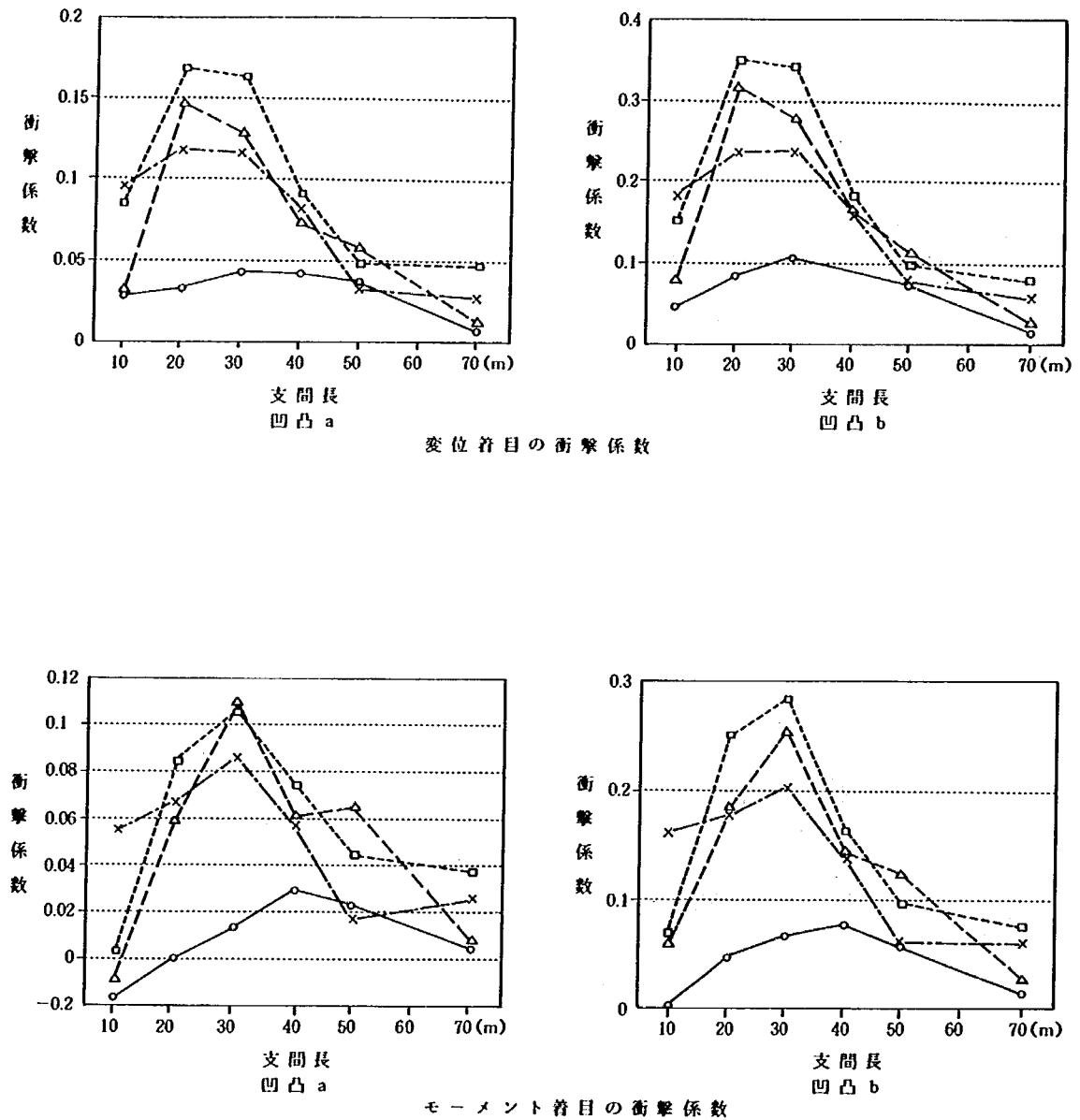
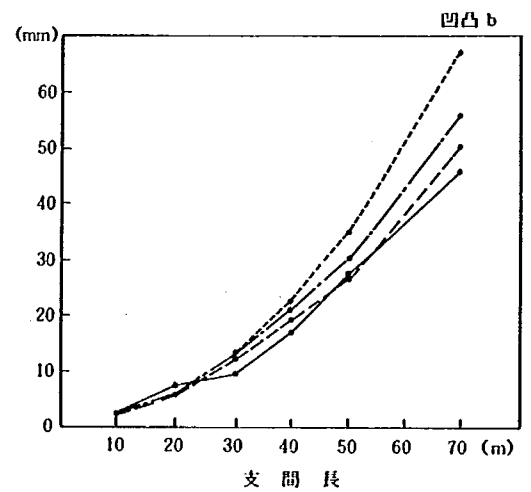
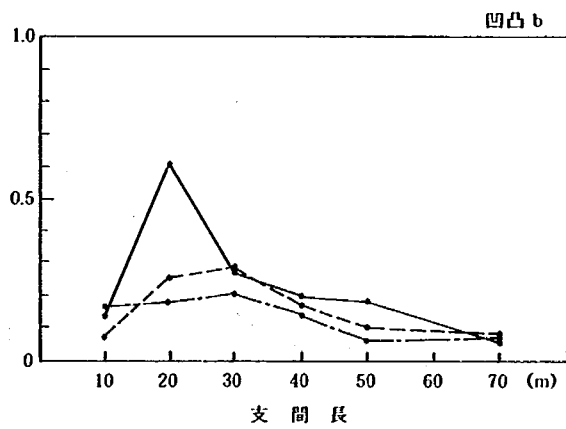
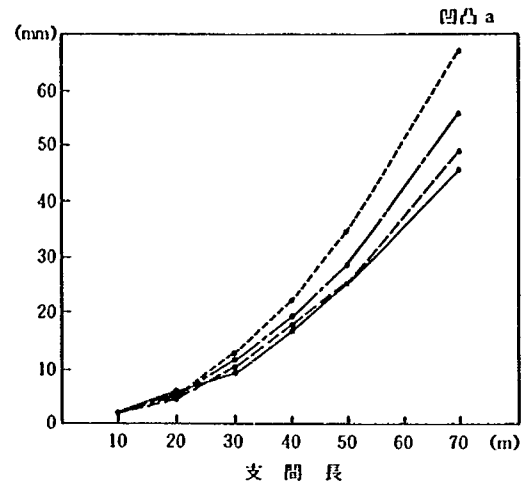
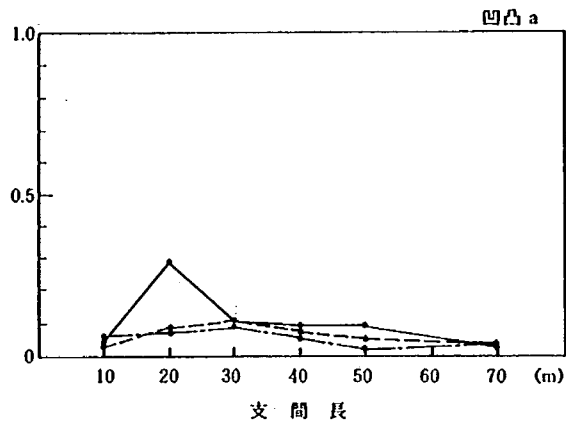


図-1.11(e) シミュレーション結果

(a) 曲げモーメント

衝撃係数 (曲げモーメント)

最大曲げモーメント



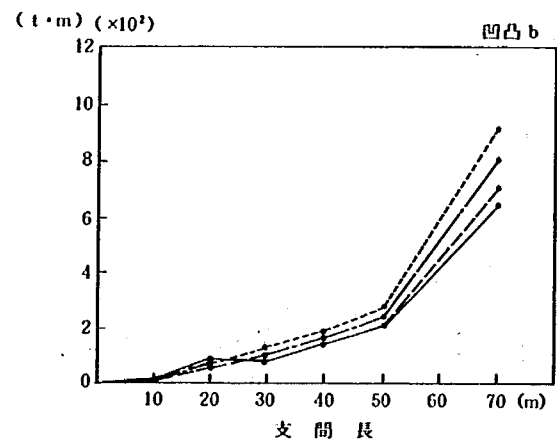
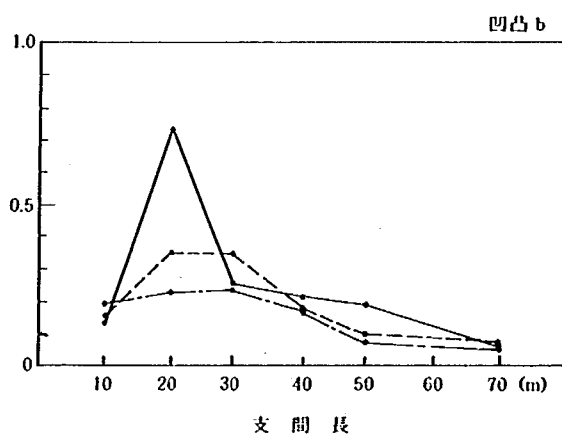
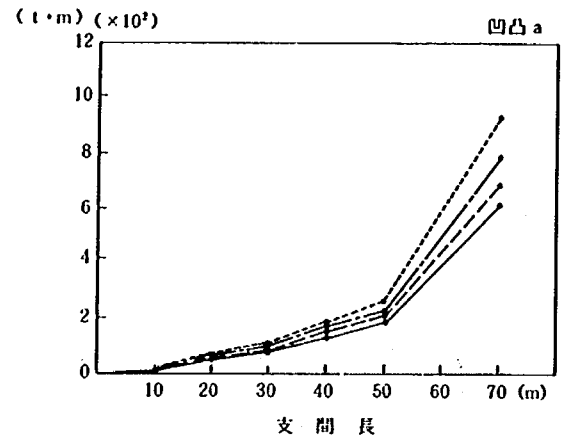
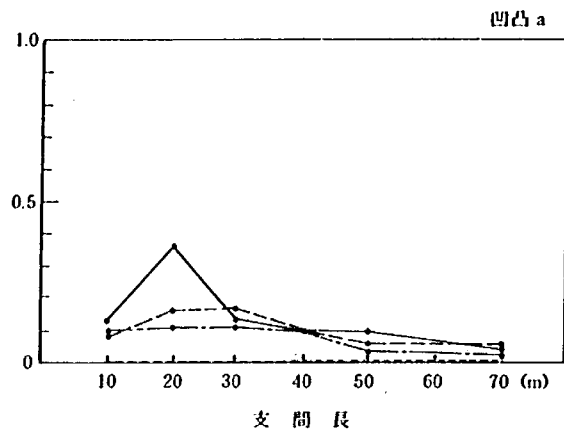
————— 40 km/hr
 - - - - - 20 "
 - · - - - 10 "
 · · · · · 0 "

図- 1.12(a) 通常走行と渋滞走行との比較

(b) 変位

衝撃係数 (変位)

最大変位



— 40km/hr
 - - 20 "
 - · - 10 "
 ··· 0 "

図- 1. 12(b) 通常走行と渋滞走行との比較

表- 1.1 調査橋梁概要

橋 名	橋 長 (m)	支間長 (m)	幅 員 (m)	タイプ	架設場所	備 考
沼崎橋 第一橋	14.81	14.26	(車道) 7.0 (歩道) 1.50 × 2	鋼 橋 H 桁 成	筑波郡豊里町 沼崎	昭和 48 年 道路橋示方書 1 等橋
沼崎橋 第二橋	54.12	53.28	同 上	鋼 橋 箱 桁	同 上	同 上

表- 1.2 荷重車輪荷重 (2回平均値)

< 3 軸車 >

(単位: kg)

荷重車	3 軸 ト ラ ッ ク					
軸 別	前 軸		後 軸 前		後 軸 後	
左右別	左	右	左	右	左	右
輪 荷 重	2,635	2,658	3,855	3,535	3,760	3,863
軸 荷 重	5,293		7,390		7,623	
総重量	20,306					

< 2 軸車 >

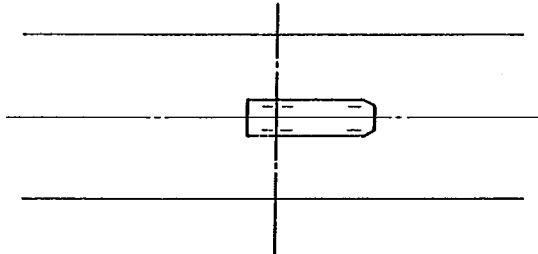
(単位: kg)

荷重車	2 軸 ト ラ ッ ク			
軸 別	前 軸		後 軸	
左右別	左	右	左	右
輪 荷 重	2,925	3,030	5,945	5,845
軸 荷 重	5,955		11,790	
総重量	17,745			

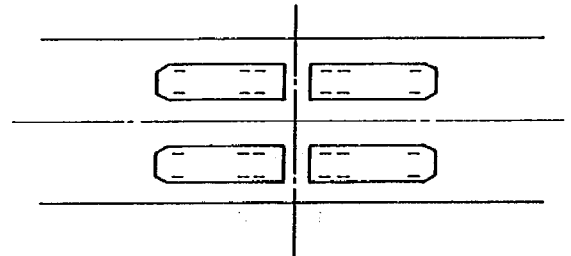
表- 1.3 静的載荷試験ケース（3軸車 20 t，2軸車 18 t）

	車 種	載 荷 台 数	載 荷 位 置
第1スパン	3 軸 車	1, 4台	幅 員 中 央
	2 軸 車	1 台	同 上
第2スパン	3 軸 車	1, 2, 3, 4台	幅員中央, 縦列
	2 軸 車	1 台	幅 員 中 央

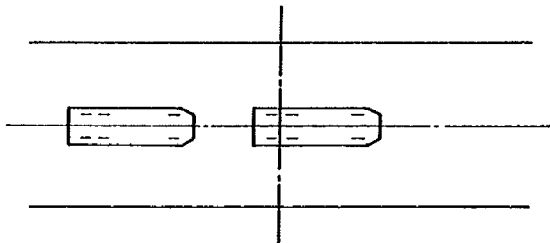
1 台 載 荷



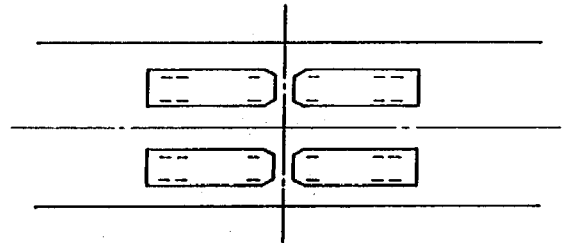
第1スパン4台載荷



2 台 載 荷



第2スパン4台載荷



3 台 載 荷

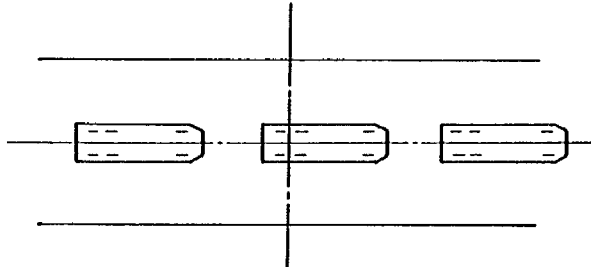


表-1.4 動的載荷試験ケース (3軸車 20 t, 2軸車 18 t)

	車 種	載 荷 台 数	速度 (km/hr)	走行位置
第1スパン	3 軸 車	1 台	10, 20, 30, 40	幅員中央
	2 軸 車	同 上	同 上	同 上
第2スパン	3 軸 車	1, 2, 3台	同 上	同 上
	2 軸 車	1 台	同 上	同 上

表-1.5 静的載荷試験結果

	載荷状態	変 位 量 (cm)	曲げ剛性実測値 EI (kg・cm)	曲げ剛性設計値 EI (kg・cm)
第 1 橋	4台載荷	0.47	7.3×10^{12}	7.3×10^{12}
	1台載荷	0.18	6.3×10^{12}	
	平 均		6.8×10^{12}	
第 2 橋	4台載荷	2.06	1.2×10^{14}	8.6×10^{13}
	3台載荷	1.13	1.1×10^{14}	
	2台載荷	0.80	1.2×10^{14}	
	1台載荷	0.49	1.3×10^{14}	
	平 均		1.2×10^{14}	

表-1.6 衝撃係数実測値

(1) 変 位

	速度 (km/hr)	10	20	30	40
3 軸 車	第1橋 (1台)	-0.03	-0.02	-0.03	-0.05
	第2橋 (1台)	0.08	0.09	0.09	0.12
	" (2台)	0.03	0.04	0.01	0.04
	" (3台)	0.03	0.04	0.05	0.05
2 軸 車	第1橋 (1台)	0.12	0.10	0.10	0.15
	第2橋 (1台)	0.06	0.01	-0.01	0.08

(2) 応 力

	速度 (km/hr)	10	20	30	40
3 軸 車	第1橋 (1台)	-0.04	0.00	-0.01	-0.06
	第2橋 (1台)	0.01	0.03	0.03	0.04
	" (2台)	0.02	0.03	0.06	0.15
	" (3台)	0.04	0.06	0.09	0.11
2 軸 車	第1橋 (1台)	-0.01	0.03	-0.03	0.14
	第2橋 (1台)	0.06	0.03	0.01	0.06

表-1.8 照査ケース

	車 種	載 荷 台 数	速度 (km/hr)	走行位置
第1スパン	3 軸 車	1 台	10, 20, 30, 40	幅員中央
第2スパン	同 上	1, 2, 3台	同 上	同 上

表-1.9 衝撃係数計算値

(1) 変 位

速度 (km/hr)	10	20	30	40
第1スパン (1台)	0.12	0.15	0.20	0.19
第2スパン (1台)	0.14	0.11	0.11	0.18
“ (2台)	0.03	0.05	0.05	0.11
“ (3台)	0.03	0.04	0.07	0.11

(2) 曲げモーメント

速度 (km/hr)	10	20	30	40
第1スパン (1台)	0.07	0.06	0.06	0.08
第2スパン (1台)	0.09	0.05	0.06	0.10
“ (2台)	0.04	0.09	0.09	0.18
“ (3台)	0.02	0.03	0.07	0.13

表-1.10 解析ケース

車両走行 状 態	橋 種	支間長 (m)	車 両 数 (台)	速 度 (km/hr)
通常走行	鋼 橋	10	1	40, 60, 80
		20	1, 3	40, 60, 80
		30	1, 3	40, 60, 80
		40	1, 3	40, 60, 80
		50	1, 3, 5	40, 60, 80
		70	1, 3, 5	40, 60, 80
	P C 橋	10	1	40, 60, 80
		20	1, 3	40, 60, 80
		30	1, 3	40, 60, 80
		40	1, 3	40, 60, 80
		50	1, 3	40, 60, 80

車両走行 状 態	橋 種	支間長 (m)	速 度 (km/hr)
渋滞走行	鋼 橋	10	5, 10, 15, 20
		20	5, 10, 15, 20
		30	5, 10, 15, 20
		40	5, 10, 15, 20
		50	5, 10, 15, 20
		70	5, 10, 15, 20

表- 1.11 走行速度と車間距離

速度 (km/hr)	5	10	15	20	40, 60, 80
車間距離 (m)	2.2	4.3	5.4	6.2	7.0

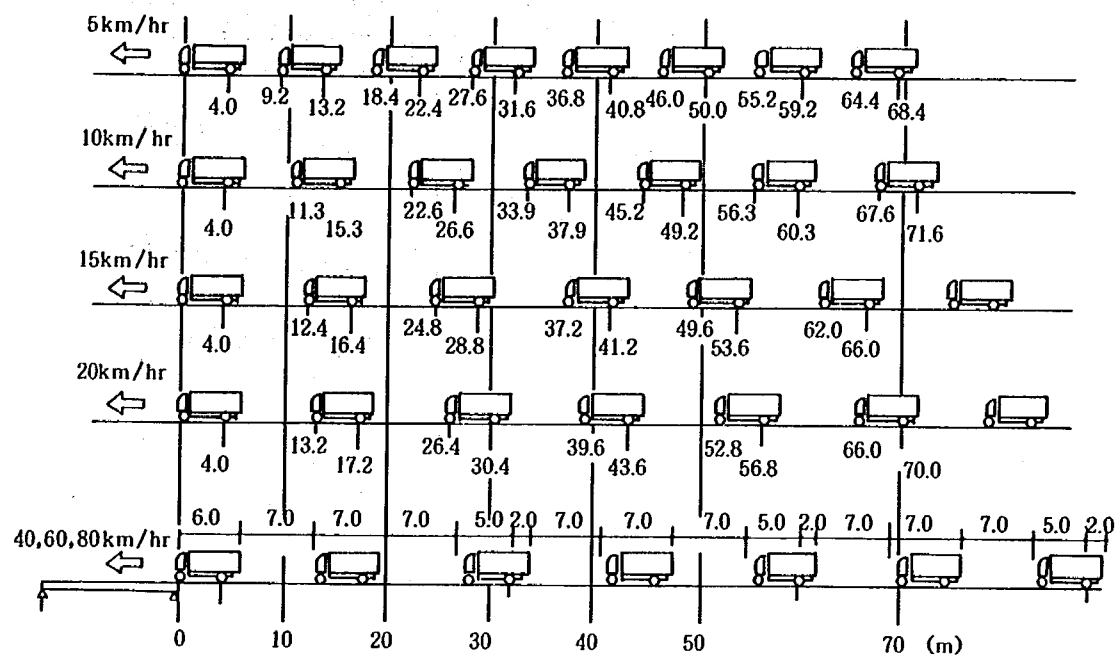


表- 1.12 橋 梁 諸 元

橋 種	鋼 桁 橋						P C 桁 橋				
ヤング率 (kg/cm ²)	2.1 Et 6						4.0 Et 5				
減 衰 率	0.02						0.05				
支 間 長 (m)	10	20	30	40	50	70	10	20	30	40	50
単位長さ当りの重量 (kg/m)	10,340	10,640	10,730	11,190	12,000	7,350	12,880	14,400	16,510	19,000	21,000
曲 げ 剛 性 EI (kg・cm ⁴)	6.74 × 10 ¹²	1.25 × 10 ¹³	4.14 × 10 ¹³	7.98 × 10 ¹³	1.30 × 10 ¹⁴	1.47 × 10 ¹⁴	4.24 × 10 ¹²	1.80 × 10 ¹³	4.00 × 10 ¹³	9.80 × 10 ¹³	1.58 × 10 ¹⁴
1 次固有振動数 (Hz)	12.56	4.21	3.39	2.60	2.05	1.42	8.92	4.34	2.69	2.21	1.71
備 考	H形鋼橋		活荷重合成桁橋			鋼床版箱桁橋	プレテンション T 桁橋		ポストテンション T 桁橋		

表- 1.13 シミュレーション結果

(a) 通常走行シミュレーション

(1) 鋼 橋

支間長 (m)	車両数 (台)	速 度 (km/hr)	路面 凹凸	衝 撃 係 数		最 大 値	
				変 位	モーメント	変 位 (mm)	モーメント (kg・m)×10 ³
10	1	40	B	0.12	0.04	0.60	42
			C	0.24	0.14	0.66	46
		60	B	0.13	-0.02	0.60	39
			C	0.22	0.07	0.65	43
		80	B	0.17	0.12	0.62	45
			C	0.29	0.22	0.69	49
20	1	40	B	0.22	0.16	3.14	105
			C	0.43	0.35	3.68	122
		60	B	0.09	0.01	2.81	91
			C	0.29	0.07	3.31	96
		80	B	0.28	0.23	3.29	110
			C	0.48	0.42	3.80	128
	3	40	B	0.37	0.29	3.53	116
			C	0.73	0.60	4.45	144
		60	B	0.30	0.18	3.35	107
			C	0.62	0.45	4.16	131
		80	B	0.28	0.22	3.29	110
			C	0.57	0.42	4.03	128
30	1	40	B	0.29	0.19	3.43	167
			C	0.60	0.43	4.27	201
		60	B	0.42	0.25	3.79	175
			C	0.90	0.67	5.06	234
		80	B	0.55	0.45	4.13	203
			C	1.10	0.95	5.61	273
	3	40	B	0.13	0.11	4.38	185
			C	0.25	0.27	4.86	213
		60	B	0.30	0.35	5.05	225
			C	0.62	0.69	6.29	283
		80	B	0.31	0.33	5.07	223
			C	0.62	0.73	6.30	289
40	1	40	B	0.25	0.19	4.14	225
			C	0.50	0.40	4.97	267
		60	B	0.19	0.13	3.94	214
			C	0.39	0.29	4.61	245
		80	B	0.38	0.23	4.56	233
			C	0.79	0.59	5.93	301
	3	40	B	0.09	0.08	6.78	336
			C	0.21	0.20	7.50	370
		60	B	0.16	0.10	7.22	342
			C	0.41	0.35	8.73	420
		80	B	0.20	0.16	7.42	360
			C	0.46	0.43	9.03	445

支間長 (m)	車両数 (台)	速 度 (km/hr)	路面 凹凸	衝 撃 係 数		最 大 値	
				変 位	モーメント	変 位 (mm)	モーメント (kg・m)×10 ³
50	1	40	B	0.11	0.03	4.43	248
			C	0.22	0.12	4.85	268
		60	B	0.07	0.03	4.26	246
			C	0.11	0.06	4.42	255
		80	B	0.08	0.02	4.32	244
			C	0.17	0.09	4.67	262
	3	40	B	0.11	0.09	9.86	502
			C	0.20	0.18	10.69	543
		60	B	0.06	0.07	9.47	490
			C	0.12	0.14	10.00	525
		80	B	0.06	0.07	9.48	490
			C	0.15	0.18	10.28	541
	5	40	B	0.09	0.09	9.86	502
			C	0.18	0.17	10.69	543
		60	B	0.05	0.06	9.48	491
			C	0.12	0.15	10.08	529
		80	B	0.11	0.12	10.02	518
			C	0.26	0.30	11.42	601
70	1	40	B	0.04	-0.02	10.11	334
			C	0.09	0.00	10.57	341
		60	B	0.03	-0.01	9.96	337
			C	0.02	0.00	9.84	339
		80	B	0.08	-0.02	10.48	334
			C	0.16	0.03	11.21	350
	3	40	B	0.03	0.01	25.76	765
			C	0.06	0.03	26.43	785
		60	B	0.03	0.02	25.86	773
			C	0.04	0.04	25.96	790
		80	B	0.10	0.08	27.47	822
			C	0.14	0.13	28.60	860
	5	40	B	0.04	0.02	31.87	918
			C	0.06	0.05	32.67	945
		60	B	0.04	0.04	32.01	932
			C	0.05	0.06	32.42	956
		80	B	0.08	0.09	33.14	977
			C	0.13	0.16	34.83	1.046

(2) PC橋

支間長 (m)	車両数 (台)	速 度 (km/hr)	路面 凹凸	衝 撃 係 数		最 大 値	
				変 位	モーメント	変 位 (mm)	モーメント (kg・m)×10 ³
10	1	40	B	0.15	0.05	0.61	42
			C	0.32	0.16	0.70	46
		60	B	0.08	0.02	0.57	41
			C	0.14	0.08	0.61	43
		80	B	0.08	0.02	0.58	41
			C	0.13	0.08	0.60	43
20	1	40	B	0.21	0.15	2.15	104
			C	0.41	0.34	2.52	120
		60	B	0.07	0.00	1.91	90
			C	0.25	0.03	2.23	93
		80	B	0.26	0.20	2.24	108
			C	0.45	0.39	2.58	125
	3	40	B	0.31	0.24	2.34	112
			C	0.62	0.51	2.90	136
		60	B	0.22	0.11	2.18	100
			C	0.50	0.34	2.67	121
		80	B	0.26	0.20	2.24	108
			C	0.52	0.39	2.71	125
30	1	40	B	0.24	0.14	3.42	160
			C	0.49	0.36	4.12	190
		60	B	0.25	0.17	3.45	164
			C	0.50	0.38	4.15	193
		80	B	0.42	0.32	3.94	185
			C	0.84	0.69	5.10	236
	3	40	B	0.11	0.08	4.44	181
			C	0.20	0.21	4.84	203
		60	B	0.21	0.21	4.85	203
			C	0.41	0.42	5.65	237
		80	B	0.26	0.28	5.04	214
			C	0.54	0.60	6.20	267
40	1	40	B	0.16	0.09	3.12	207
			C	0.32	0.22	3.54	233
		60	B	0.12	0.06	3.01	202
			C	0.23	0.16	3.31	220
		80	B	0.18	0.08	3.19	206
			C	0.34	0.21	3.62	230
	3	40	B	0.06	0.03	5.36	319
			C	0.15	0.11	5.79	344
		60	B	0.11	0.08	5.58	336
			C	0.21	0.18	6.09	367
		80	B	0.12	0.09	5.67	339
			C	0.26	0.24	6.39	384

支間長 (m)	車両数 (台)	速 度 (km/hr)	路面 凹凸	衝 撃 係 数		最 大 値	
				変 位	モーメント	変 位 (cm)	モーメント (kg・m)×10 ³
50	1	40	B	0.06	0.01	3.47	242
			C	0.12	0.04	3.65	248
		60	B	0.03	0.00	3.37	240
			C	0.04	0.02	3.40	245
		80	B	0.08	0.04	3.55	250
			C	0.14	0.07	3.73	258
	3	40	B	0.07	0.06	7.85	487
			C	0.13	0.12	8.29	514
		60	B	0.04	0.04	7.58	477
			C	0.07	0.09	7.83	499
		80	B	0.09	0.08	7.99	495
			C	0.15	0.14	8.40	522

(b) 渋滞走行シミュレーション

支間長 (m)	車両数 (台)	速 度 (km/hr)	路面 凹凸	衝 撃 係 数		最 大 値	
				変 位	モーメント	変 位 (mm)	モーメント (kg・m)×10³
10	2	5	B	0.03	-0.02	0.55	39
			C	0.05	0.00	0.56	40
	1	10	B	0.10	0.06	0.58	42
			C	0.18	0.16	0.63	47
	1	15	B	0.03	-0.01	0.55	40
			C	0.08	0.06	0.57	42
20	1	20	B	0.09	0.00	0.58	40
			C	0.16	0.07	0.61	43
	3	5	B	0.03	0.00	3.92	114
			C	0.08	0.05	4.11	119
	2	10	B	0.12	0.07	3.54	103
			C	0.24	0.18	3.93	114
30	2	15	B	0.15	0.06	3.23	99
			C	0.32	0.18	3.72	111
	2	20	B	0.17	0.09	3.06	100
			C	0.35	0.25	3.55	115
	4	5	B	0.04	0.01	5.87	261
			C	0.11	0.07	6.24	274
40	3	10	B	0.12	0.09	5.15	233
			C	0.24	0.20	5.72	258
	3	15	B	0.13	0.11	4.72	217
			C	0.28	0.25	5.35	245
	3	20	B	0.16	0.11	4.69	201
			C	0.34	0.29	5.42	233
50	5	5	B	0.04	0.03	9.54	457
			C	0.09	0.08	9.97	478
	4	10	B	0.08	0.06	8.06	388
			C	0.17	0.14	8.69	418
	4	15	B	0.07	0.06	7.41	363
			C	0.17	0.14	8.05	391
70	4	20	B	0.09	0.07	7.16	350
			C	0.19	0.16	7.78	379
	6	5	B	0.04	0.02	14.19	706
			C	0.07	0.06	14.69	731
	5	10	B	0.03	0.02	11.54	575
			C	0.07	0.06	11.99	598
70	5	15	B	0.06	0.06	10.89	538
			C	0.11	0.12	11.46	568
	4	20	B	0.05	0.04	10.15	503
			C	0.10	0.10	10.64	529
	8	5	B	0.01	0.00	46.68	1,346
			C	0.02	0.02	47.10	1,362
70	7	10	B	0.03	0.03	39.03	1,124
			C	0.06	0.06	40.27	1,162
	6	15	B	0.01	0.01	34.87	1,008
			C	0.03	0.03	35.42	1,026
	6	20	B	0.05	0.04	34.00	983
			C	0.08	0.08	35.04	1,020

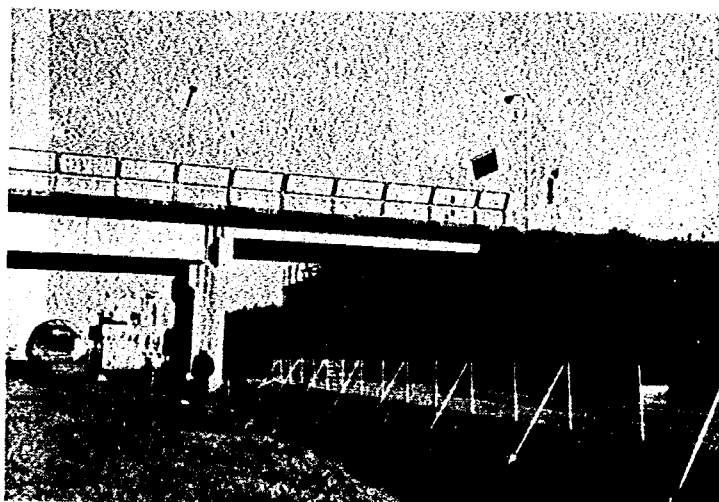


写真1.1 第 1 スパン

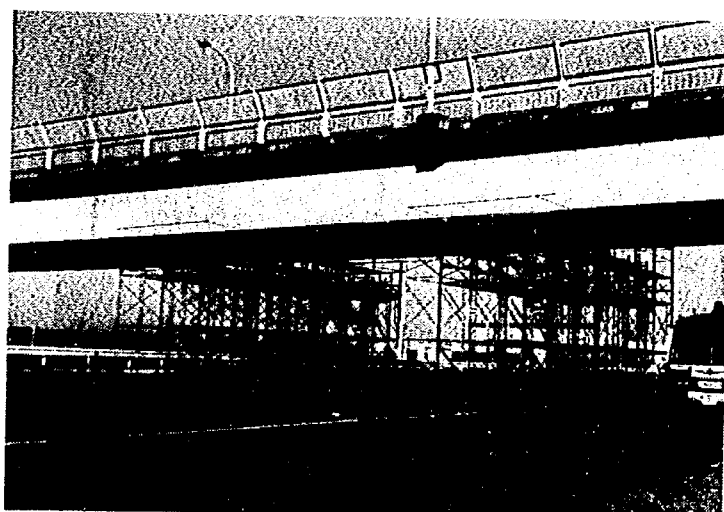


写真1.2 第 2 スパン

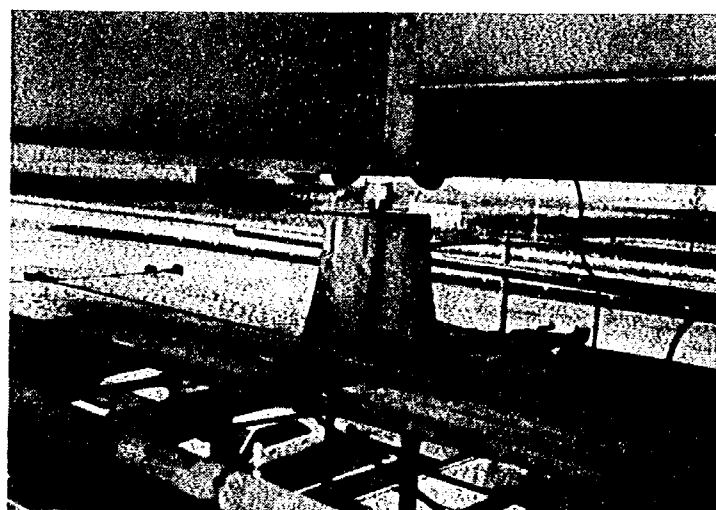


写真1.3 変位計設置状況

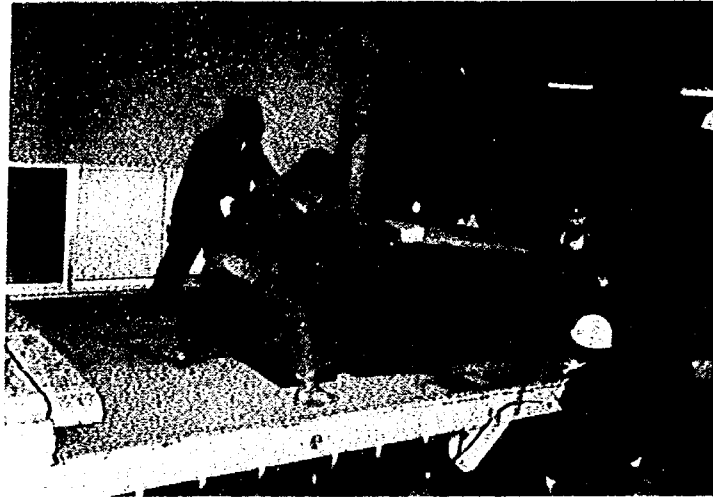


写真1.4 荷重板設置

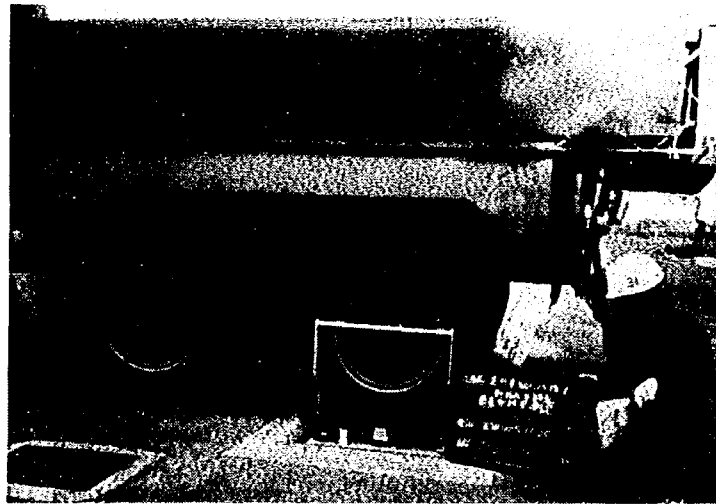


写真1.5 輪荷重測定

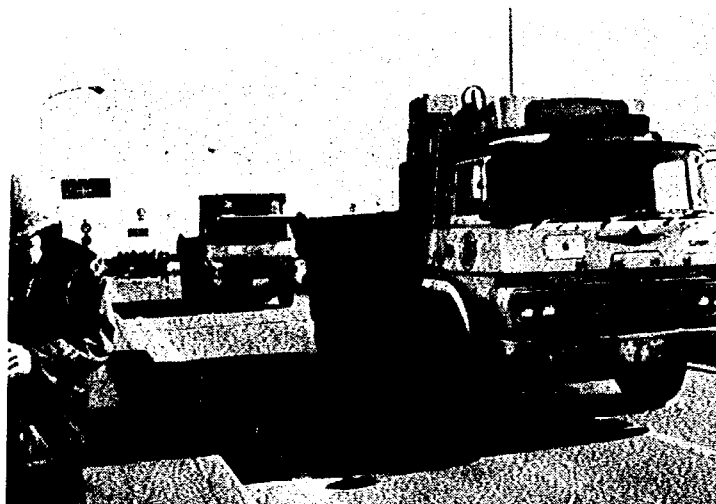


写真1.6 載荷試験

2. 橋の伸縮装置に作用する自動車荷重に関する試験調査

2.1 既往の調査

2.1.1 研究経緯

橋梁の伸縮装置部およびその近傍の舗装面は、施工誤差、走行車両のタイヤによる摩耗、アスファルトの流動性等により極端な段差が生じていることが多い。構造研究室では、路面凹凸に起因する実働自動車荷重の実測調査^{1) 2) 3)}等を通じて、路面不陸部特に伸縮装置近傍の段差部に生じる自動車荷重は一般路面に対するよりも大きいことを明らかにしてきた。

伸縮装置部実働自動車荷重実測調査^{1) 2)}では、土木研究所周辺の15橋を対象として路面凹凸調査、荷重車（2軸車）走行試験を実施し、

①タイヤ中心の軌跡を考慮した路面凹凸波形の平滑化

②自動車の固有振動数に近い周波数の路面凹凸が自動車に大きな応答を与える、という観点による路面凹凸波形のデジタルフィルタを用いた平滑化

など、段差量の評価手法に重点を置いた解析により、次のような自動車動荷重特性を明らかにした。

①走行速度の増大とともに、動的付加荷重（静荷重からの増分）は僅かではあるが増大する。

②動的付加荷重の最大値は静軸重の大きさの影響を受けない。すなわち、一般路面部ではバネ上質量の慣性力が動的付加荷重の一部として作用するが、伸縮装置部のように波長の短い段差部ではバネ下質量の慣性力が卓越する。

③動的付加荷重の最大値と最大段差量の相関関係が最も強いのは評価区間が伸縮装置±1 m、±2 m、±5 mのうち、評価区間が最も短い±1 mの場合である。

このように、路面凹凸は自動車の動的応答に大きな影響を与えるが、これまでの実測調査では自動車動荷重測定法の検証が行なわれていないこと、路面に生じている段差と最大荷重の作用位置との対応が十分にとれていないために、衝撃力に関する要因説明は十分ではない。

2.1.2 今年度の検討項目

以上のような経緯より、車両衝撃力測定装置（動輪荷重計）を製作し、

①人工段差部（車両衝撃力測定装置）に作用する自動車荷重を計測し、パラメータ（段差量、走行速度、積載重量、車種）の影響を明らかにする。

②走行車両からの動荷重測定法の検証を行う。

③②の動荷重記録より、段差部通過後の荷重分布および影響範囲を求める。

④実橋伸縮装置近傍に作用する自動車荷重を計測する。

上記4点を検討項目とした車両走行試験を実施した。

2.2 走行試験および解析の要領

2.2.1 走行試験概要

本調査は、車両衝撃力測定装置（以下、装置と略す）を用いた土木研究所所内走行試験と茨城県内（土浦土木事務所管轄）の実橋（5スパン）における走行試験に大別される。所内走行試験では、車

両振動および動輪荷重（鉛直，水平）を，また実橋走行試験では車両振動を測定した。

1) 車両衝撃力測定装置

本装置は，土木研究所試験走路内に埋設した一種の荷重測定器である（図－2.1 参照）。水平・鉛直両方向の衝撃力を測定することができ，衝撃力の大きさに影響を及ぼす要因と考えられる段差量および遊間量を段差板・遊間スペーサーにより変えることができる。また，走行車両の左右輪に対する路面性状を同一にするため，右車輪通過位置にダミーの段差板を設けている。

2) 実験ケース

衝撃力の要因をつかむために予備実験を行ったが，遊間量（6 cm）による衝撃力の差は見られなかった。そこで車両衝撃力測定装置を用いた段差走行試験では，段差量，走行速度，積載荷重，車種の4つを基本的なパラメータとした。実橋車両走行試験では，積載荷重を一定にし，走行速度を変化させて走行試験を行った。表－2.1 に実験ケースを示す。

3) 荷 重 車

3 軸車，2 軸車については，1.2 走行車両による橋梁の動的応答調査において用いた荷重車と同じ車両を用いた。5 軸車（セミトレーラ）の外形寸法を図－2.2 に示す。各積載状態における荷重車の輪荷重を表－2.2 に示す。

4) 走 行 試 験

衝撃的な動輪荷重（鉛直，水平）を車両衝撃力測定装置により，また車両加速度（車体および車軸）を小型加速度計により測定した。小型加速度計の取付け位置を図－2.3 に示す。

所内実験では装置の前方30m，後方20mの地点に配置したロードスイッチによる電気的パルス信号により，実橋実験では，対象橋梁の同位置に配置した段差板（40mm）による車両加速度の変化により，車両の位置，走行速度が検出できるようにした。車両の位置・走行速度の検出システムを図－2.4（括弧内は実橋試験）に示す。

2.2.2 解析の概要

1) 装置の荷重データ

車両衝撃力測定装置により出力された3 軸車，2 軸車，5 軸車の荷重波形記録を図－2.5 に示す。時系列の荷重波形には装置のもつ固有振動であると思われる高周波の振動数成分が含まれていたのでスペクトル解析を行い（図－2.6 参照），鉛直固有振動数が120 Hz 程度，水平固有振動数が85 Hz 程度であることを確認した。そこで50 Hz のローパスフィルタを用いてこれらの高周波成分を除去して最大荷重を求めた。

ここに，鉛直，水平荷重の動的係数を次式のように定義する。

$$i \text{ (鉛直荷重の動的係数)} = DF / SF \dots\dots\dots (2.1)$$

$$i \text{ (水平荷重の動的係数)} = DH / SF \dots\dots\dots (2.2)$$

DF は鉛直最大動輪重，DH は水平最大動輪重，SF は鉛直静輪重を表わす。

2) 車両加速度からの動荷重測定法

トラックの動荷重は，車体に取りつけた加速度計の記録より車両が路面に対して作用する動的付加荷重（静荷重からの変動成分）として求めた。まず，各軸においてバネ上（車体）2箇所，バネ下（車軸）2箇所の加速度より，力の作用点である左右の懸架バネ上およびタイヤ中心の加速度を求める（図－2.7 参照）。求められた加速度を用いて，車輪の動的付加荷重，軸の動的付加荷重はそれぞ

れ式 (2.3), (2.4) のように加速度と質量の積として表わすことができる⁴⁾。

$$F_L \text{ (左車輪の動的付加荷重)} = m_{uL} \cdot \ddot{z}_{uL} + m_{\ell L} \cdot \ddot{z}_{\ell L} \dots\dots\dots (2.3)$$

$$F \text{ (軸の動的付加加重)} = F_L + F_R \dots\dots\dots (2.4)$$

ここに, m_{uL} は左バネ上質量, $m_{\ell L}$ は左バネ下質量, $\ddot{z}_{uL}$ は左バネ上加速度, $\ddot{z}_{\ell L}$ は左バネ下加速度
 F_R は右車輪の動的付加荷重である。

2.3 試 験 結 果

2.3.1 人工段差部 (装置) に作用する自動車荷重

各試験ケースにおける装置側の鉛直最大輪荷重と動的係数を求めたものを表-2.3に示す。次に段差量, 走行速度, 積載荷重による影響について考察するために, 3軸車 (中軸に着目) で積載荷重0, 6, 10 ton の場合について, 図-2.8に示すように結果を整理した。また, 2軸車 (後軸), 5軸車 (第2軸) の各満載時の結果を図-2.9に示す。

1) 段差量の影響

段差量が大きくなるにつれて輪荷重も増大する。動的係数は段差量に対して比例的に増大している。

2) 走行速度の影響

走行速度が増加すると輪荷重 (動的係数) も増大するが, 高速になると増加は頭打ちとなる傾向がある。これは段差から受ける衝撃的な外力とこれに対する車両の周波数応答特性との関係によるものと思われる。

3) 積載荷重の影響

積載荷重が大きい程, 輪荷重値は大きくなる。しかし, 動的係数は積載荷重が大きい程小さくなるという逆の傾向を示す。この結果として無積載の場合でも, 段差量が大きく高速の場合には衝撃が大きいために満載時の7~8割程度の輪荷重が作用することになる。この理由としては, 図-2.11に示すように段差部においてはバネ上よりもバネ下の荷重変動が卓越することの他, バネ上重量が増すとバネ下の荷重変動が押えられる傾向にあることによると考えられる。

4) 車種の影響

3軸車, 2軸車, 5軸車を各満載時で比較すると, 動的係数は2軸車が一番小さいが, 輪荷重値では2軸車が一番大きくなる。これは総重量では2軸車が最も小さいものの, タンデム軸を持つ3軸車, 5軸車に比べて1軸当りの静輪荷重が大きくなることによると考えられる。

5) 動的係数

今回の実験の範囲では動的係数の値は0~4程度に変化しているが, 3軸車で輪荷重値が最も大きい積載荷重が10 tonの場合, 段差が20mmで走行速度が50 km/hr を越えると動的係数の値は1を越えている。今回の実験で用いた段差は人工的な極端な段差であり, 輪荷重も設計値 (8 ton) の半分程度であるため, この結果を設計衝撃係数と直接比較できないものの, 衝撃の影響は予想以上に大きい。

6) 水平荷重

3軸車の中軸左水平輪荷重と動的係数を求めたものを表-2.4, 図-2.10に示す。段差量, 走行速度, 積載荷重による影響は鉛直荷重と同様な傾向を示している。水平荷重値が最も大きい積載荷重10 tonの場合について見れば, 段差量が20mm, 走行速度が50 km/hr で水平荷重は1.5 t程度と静輪荷重の4割程度の値となっている。

2.3.2 走行車両からの動荷重算出法

式(2.3)の動荷重算出法を検討するために、3軸車中軸左車輪に着目し、式(2.3)より得られた車両側荷重と装置側荷重の比較を装置上で発生する最大荷重値で比較した(図-2.11)。装置側の荷重値が7 tonを越えるあたりから車両側がやや大きな値を示す傾向にはあるが、相関係数; 0.98 (車両側荷重/装置側荷重の) 平均値; 1.048, 標準偏差; 0.086 とかなり良い対応を示しており、車両からの動荷重算出法が妥当であると確認できた。

2.3.3 段差部通過後の荷重分布および影響範囲

図-2.12は車両側動荷重記録の一例である。段差部(装置)通過後、車両からは路面に対し変動する動荷重が作用するが、これらの分布を得るために各ケースにおける中軸左車輪のピーク荷重とピーク荷重の段差からの距離を算出した(図-2.13参照)。その結果を図-2.14, 図-2.15に示す。図-2.14は荷重分布および段差量別の荷重分布包絡線を示したものである。斜線部は段差板(装置)上であり、その後方の路面には段差部よりも大きな荷重が作用していることがわかる。今回の試験結果(3軸車)では、段差部から2 m, 8 mにピークが見られ、バネ上動荷重の第1, 第2ピークに対応している。図-2.16は走行速度別の荷重分布包絡線を示したものである。段差量別の包絡線では荷重値に差があるものの影響範囲はほぼ一致しているのに対して走行速度別の包絡線は高速になるにつれて影響範囲が広がり、荷重分布形状も変化している。

仮に段差量が20mmの場合、動的係数 $i=1$ を考えると影響範囲は15m近くにまで及んでおり、実橋で考えると伸縮装置部だけでなくその近傍の床版に対してもかなりの動荷重が作用することになる。特に短スパン橋梁では伸縮装置通過時の衝撃がスパン全体に及ぶ可能性がある。

なお、式(2.4)を用いて得られた軸の動的付加荷重最大値と式(2.3)で得られた車輪の動的付加荷重最大値は、各ケースはほぼ同程度の値を示した。これは左右車輪の動きにずれがある(ローリングの効果)ため、この結果軸重の動的係数は輪荷重の動的係数よりも小さくなる。

2.3.4 実橋伸縮装置部に作用する自動車動荷重

1) 路面凹凸調査

走行試験に先立ち橋長+前後10mを測定区間として横断プロファイルメータにより路面凹凸を測定した。図-2.16に路面凹凸波形図を示す。いずれの橋梁においても伸縮装置部の前後に段差が認められるが、この段差は後打ち材と舗装との間に生じているものが多い。段差量は最大で20mm程度にまで達している。

2) 伸縮装置部に作用する自動車荷重

図-2.17に橋梁通過時の動的付加荷重の一例を示す。伸縮装置の近傍で最大動的付加荷重が作用しているが路面状況が悪いE橋ではスパン上においても同程度の荷重が作用していることがわかる。

輪荷重および軸荷重について伸縮装置近傍(伸縮装置の前後6 m, 計12mを評価区間とする)に作用する最大荷重と動的係数を求めた結果を表-2.5に示す。車両衝撃力測定装置を用いた段差走行実験と同様に、輪(軸)荷重の大きい2軸車は3軸車, 5軸車と比較して動的係数では小さくなっているが、最大荷重では逆に大きくなっている。またこれらの荷重の大きさは、段差量, 走行速度, 積載荷重の他、段差の形状によっても変化している。

3) 実橋梁路面に作用する自動車荷重

図-2.17の橋梁通過時の動的付加荷重記録から、区間2 mの間に生じる最大荷重を折線グラフで結

び、図-2.18に示すような橋梁全スパンに作用する自動車荷重分布図を得た。伸縮装置から離れたスパン中央付近では、動的係数の値は0.2～0.4程度以下の値となっている場合が多い。しかし路面状況が悪ければE橋のようにスパン中央部付近でも動的係数で0.4を越える自動車荷重が作用することがある。

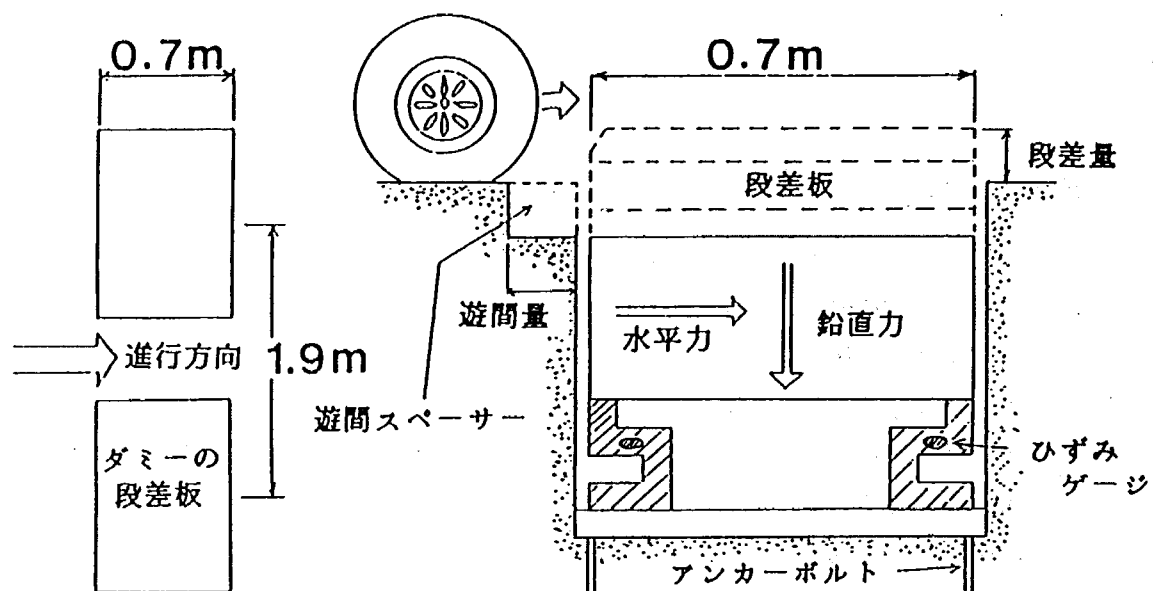
2.4 ま と め

伸縮装置に作用する自動車荷重に関して、段差走行試験、実橋車両走行試験を行って、路面段差部に作用する自動車荷重、実橋梁路面に作用する自動車荷重についてとりまとめた。以上の検討により明らかになった事項および今後の課題を以下にまとめる。

- 1) 路面段差部に作用する自動車荷重には輪荷重値の他、段差量、走行速度が影響する。
- 2) 段差部に作用する自動車荷重の倍率を動的係数として整理した。動的係数は段差量、走行速度が大きくなると増大し、積載荷重が大きくなると減少する。今回の調査で20 tonダンプトラック中軸輪荷重は、段差量が20mmで走行速度が50km/hr程度になると動的係数は1を越えている。
- 3) 段差形状にもよるが、段差後方の路面にも段差部と同程度かそれ以上の自動車荷重が作用する。影響範囲は車両の速度に関係するが、10～15m程度にまで達することがある。
- 4) 床版の設計ではT荷重に対して0.4程度の衝撃係数を見込んでいるが、今回の実橋動荷重実測結果では伸縮装置およびその近傍、路面状況の悪い橋梁ではスパン上でも動的係数の値は0.4を越えるケースがあった。
- 5) 今回の調査では自動車荷重としての衝撃の影響を調査したが、橋梁部材の応答から衝撃の影響を調査し、T荷重に対して見込むべき衝撃係数の値を検討する必要がある。
- 6) 本調査では輪荷重、軸荷重について整理したが、橋軸方向に広がりをもつ床版や縦桁については大型車のタンデム軸重（軸間距離1.3m）が最大応答を与える荷重となることが予想されるので、タンデム軸による動的応答について調査する必要がある。

<参 考 文 献>

- 1) 成田, 桂樹, 江本, 藤城: 橋梁の設計動荷重に関する試験調査報告書〔Ⅲ-1979〕, 土木研究所資料第1555号, 昭和55年3月
- 2) 山本, 桂樹, 水上, 江本, 藤城: 橋梁の設計動荷重に関する試験調査報告書〔Ⅳ-1980〕, 土木研究所資料第1648号, 昭和56年2月
- 3) 山本, 桂樹, 水上, 永原: 橋梁の設計動荷重に関する試験調査報告書〔Ⅴ-1981〕, 土木研究所資料第1820号, 昭和57年3月
- 4) 成田, 桂樹, 江本: 橋の構造特性に関する試験調査報告書〔Ⅱ-1976〕, 土木研究所資料1233号, 昭和52年3月



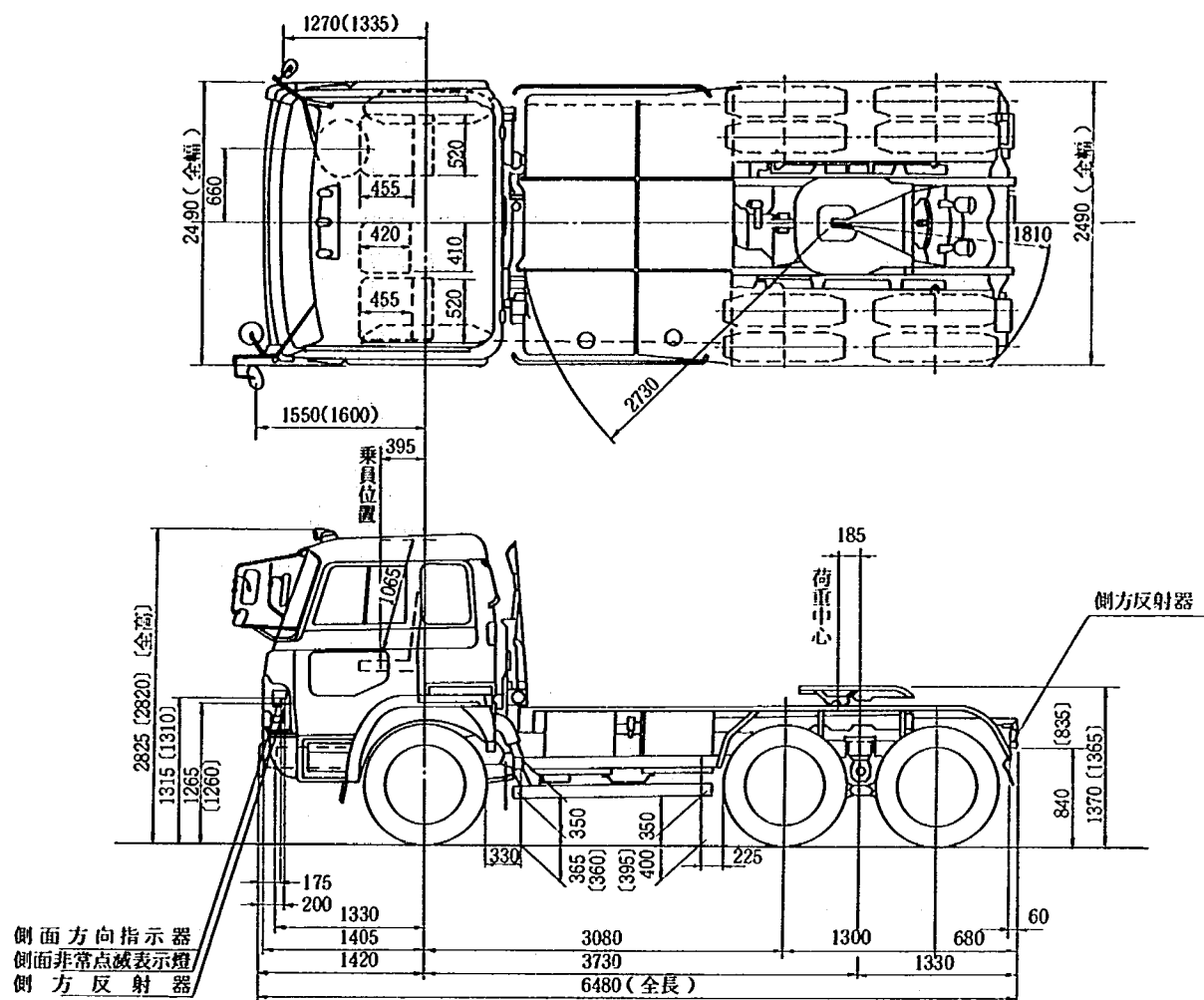
平面図

断面図

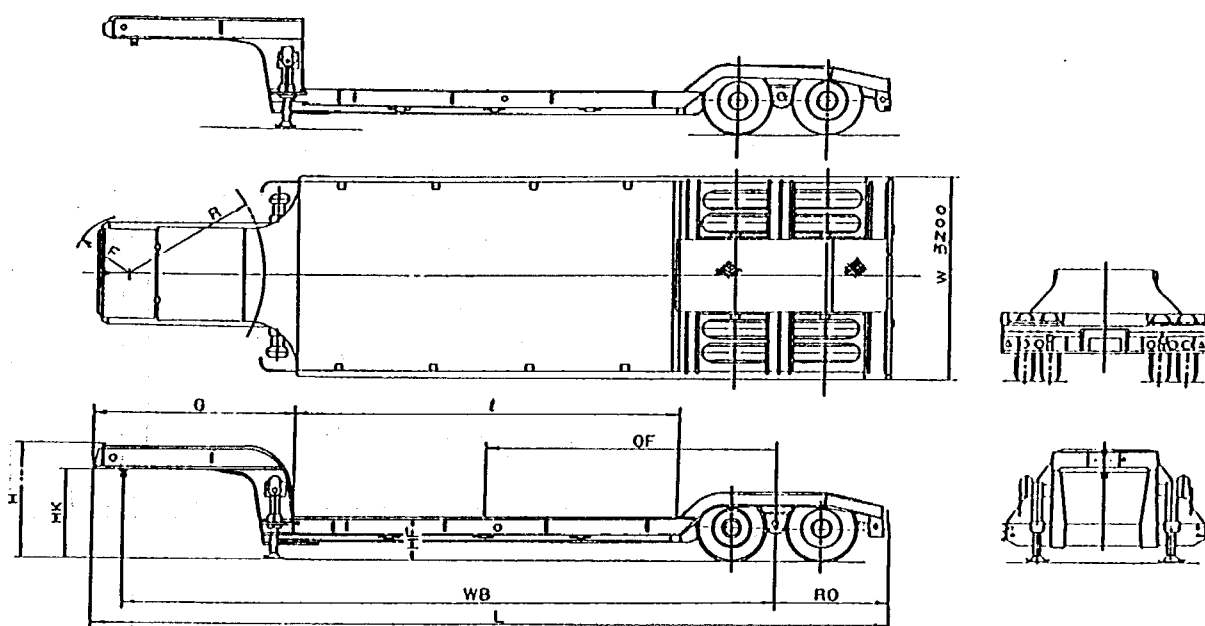
車両衝撃力測定装置の主な仕様

ロードセルの方式	ひずみゲージ式
荷重測定範囲	鉛直, 水平共に 0 ~ 30 tf
精 度	静荷重 ± 1 % F S 以内 (F S ; 10 tf)
	動荷重 ± 5 % F S 以内 (F S ; 10 tf)
段差量調整範囲	- 30 ~ + 40 mm (5 mm ピッチ)
遊間量調整範囲	5 ~ 105 mm (20 mm ピッチ)
使用温度範囲	- 5 ~ + 40 °C
固有振動数 (段差板を除く)	鉛直方向 120 Hz
	水平方向 85 Hz

図 - 2.1 車両衝撃力測定装置



ト ラ ク タ 部



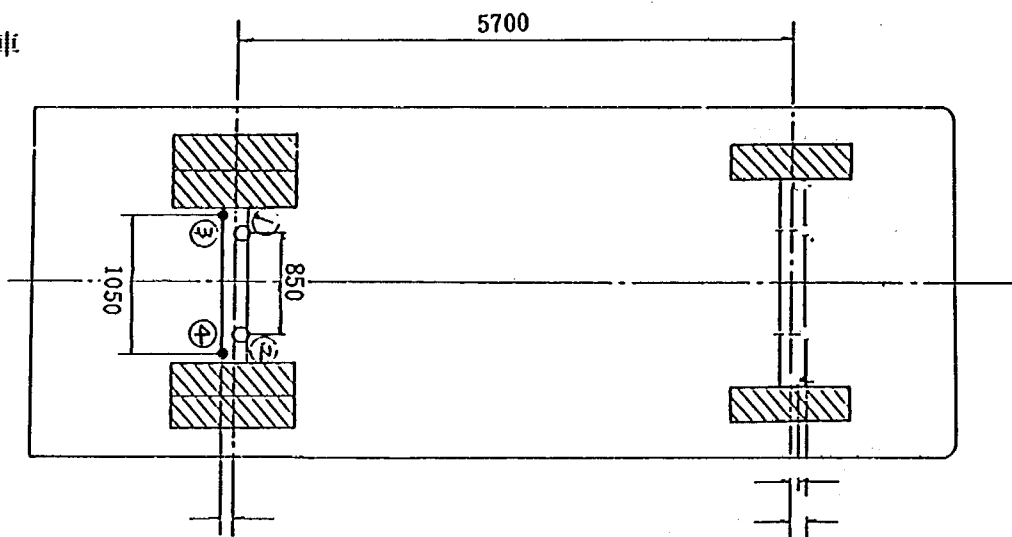
トレーラ部

図-2.2 5軸車(セミトレーラ)外形図

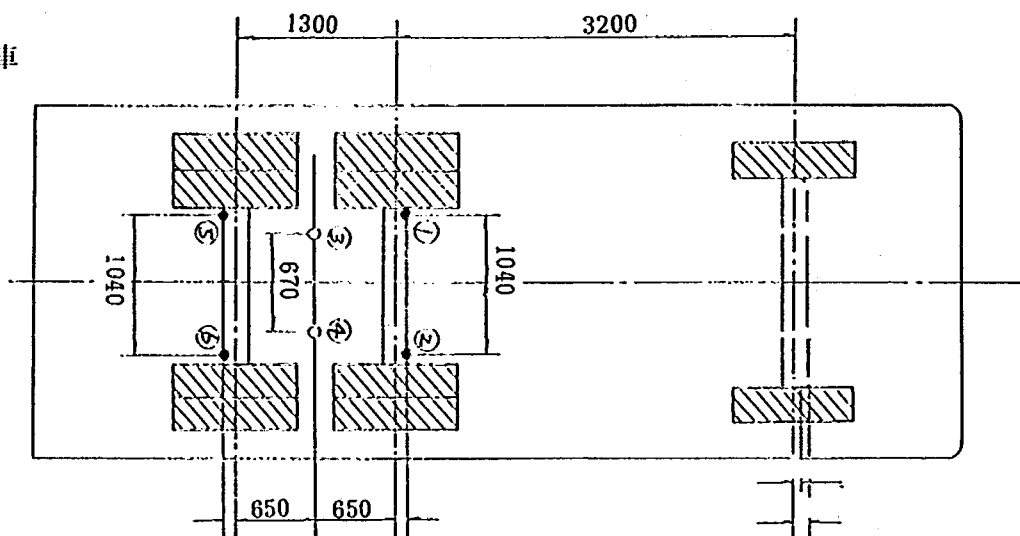
○ …… バネ上加速度計

● …… バネ下加速度計

2 軸車



3 軸車



5 軸車

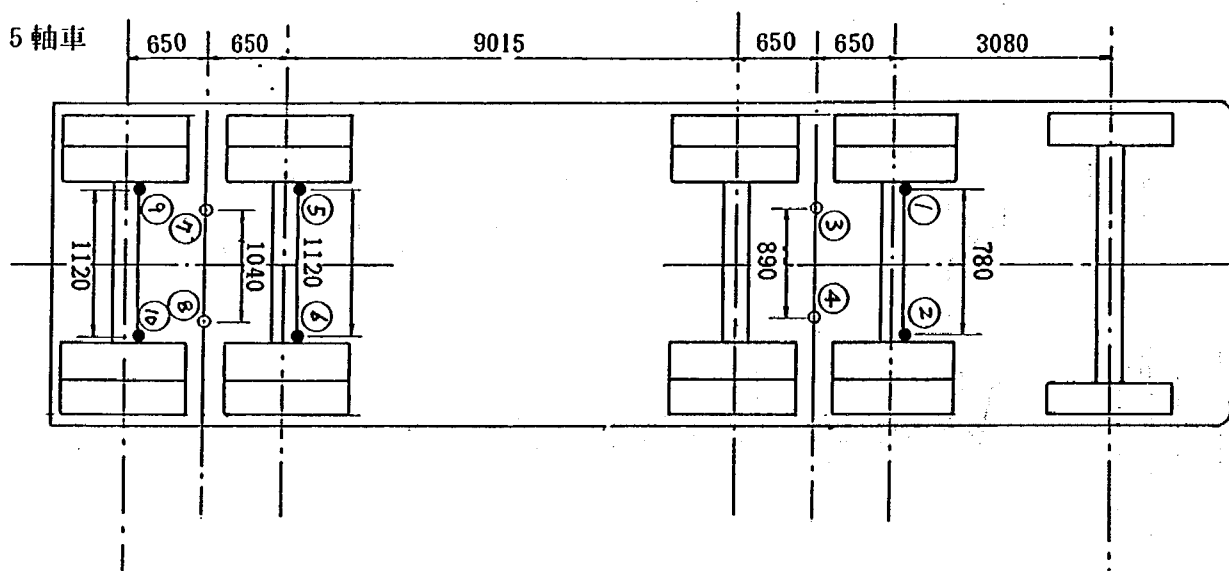


図 - 2.3 加速度計取付け位置

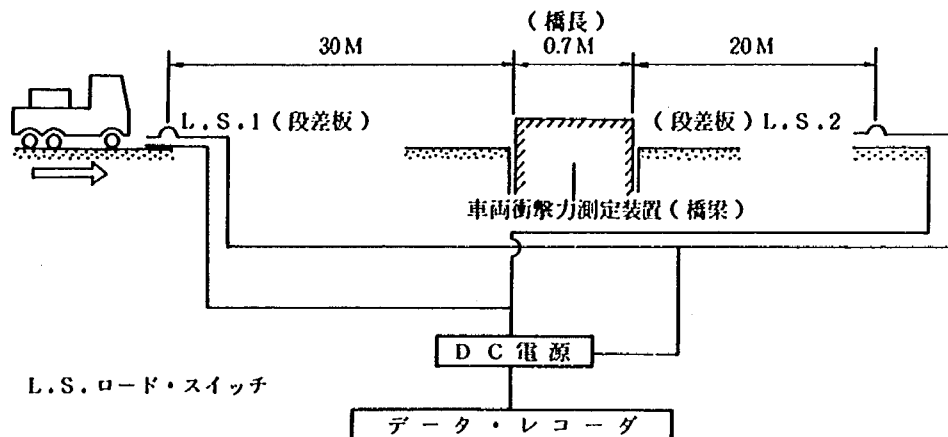
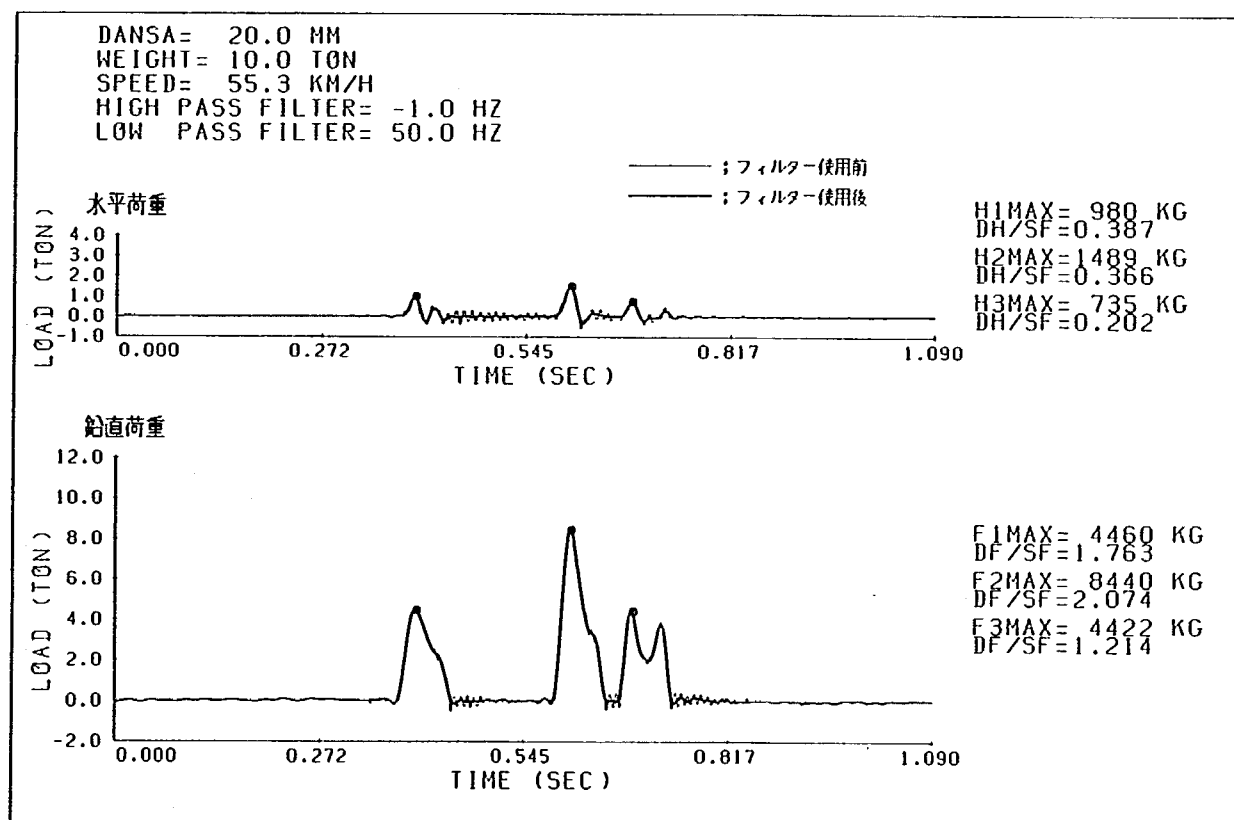
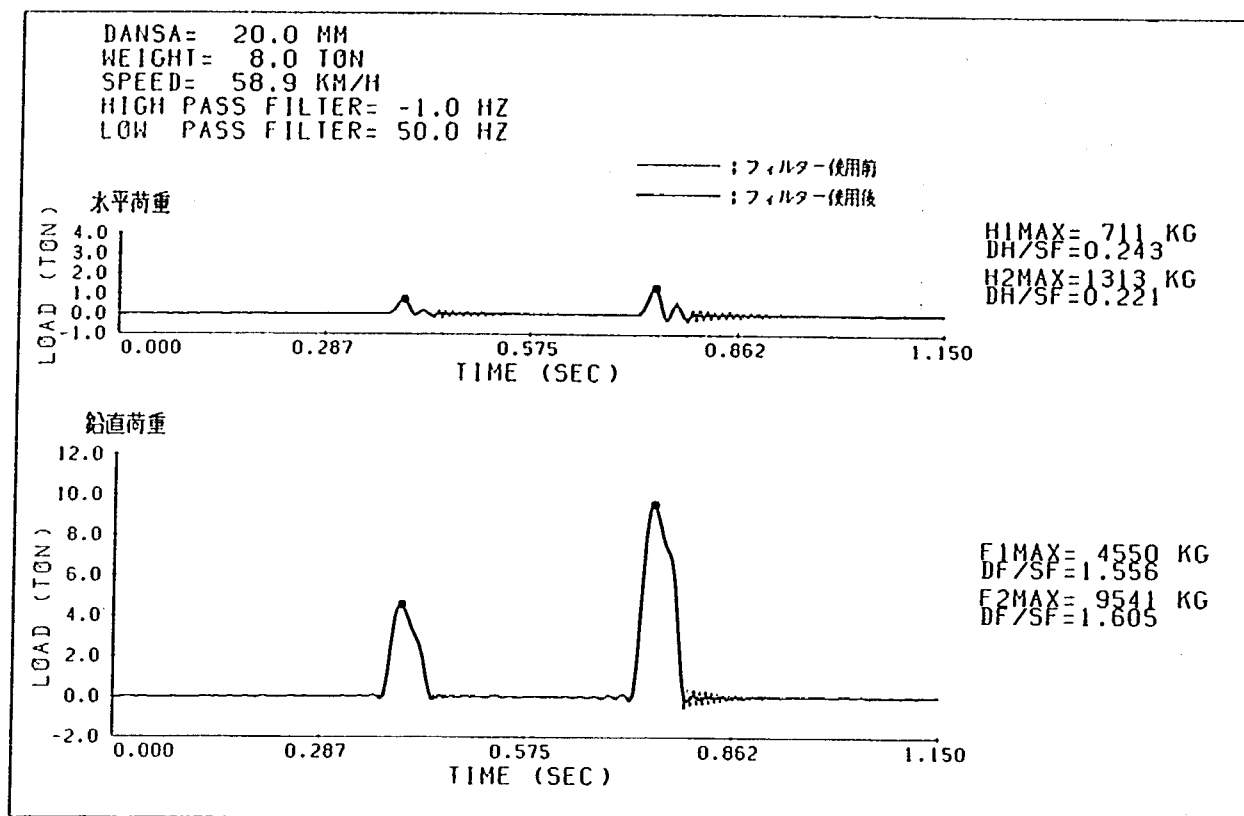


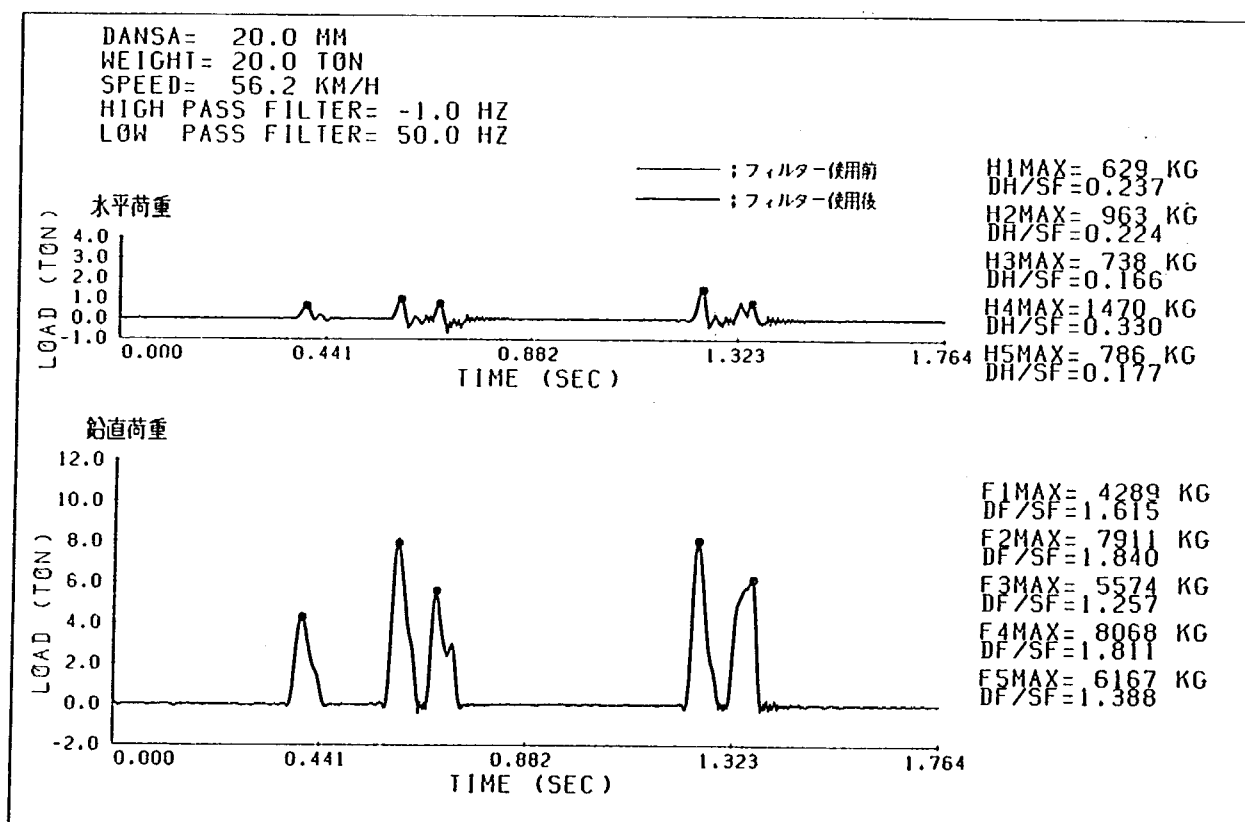
図-2.4 ロードスイッチ (段差板) 配置図



(a) 3 軸 車



(b) 2 軸 車



(c) 5 軸 車

図-2.5 輪荷重波形記録(車両衝撃力測定装置)

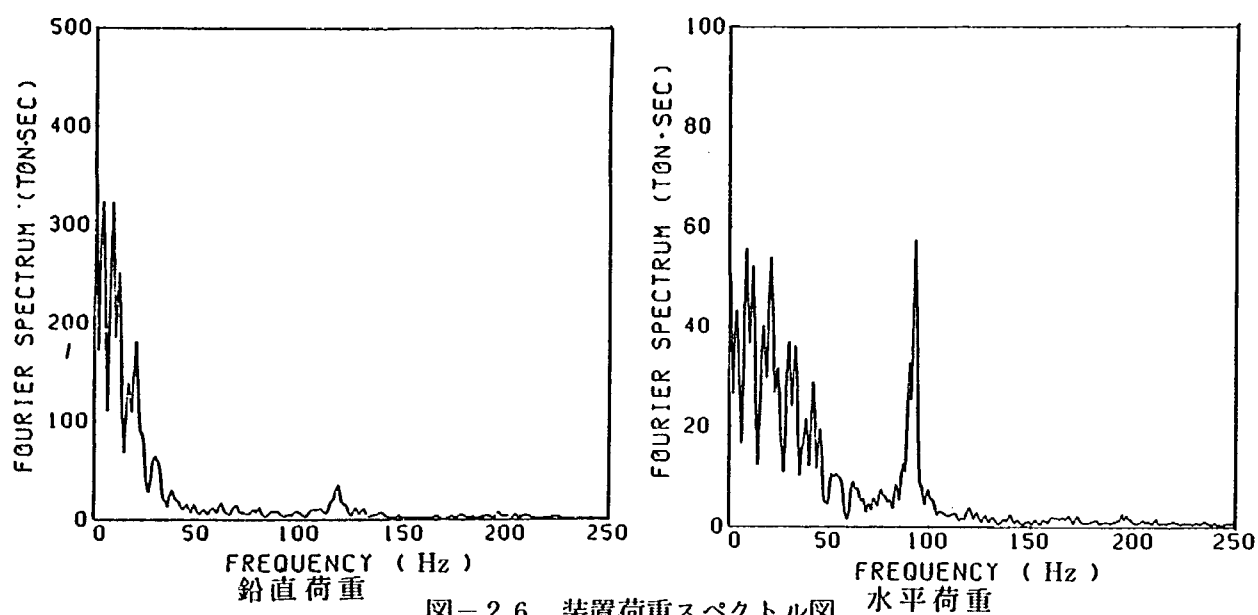


図-2.6 装置荷重スペクトル図

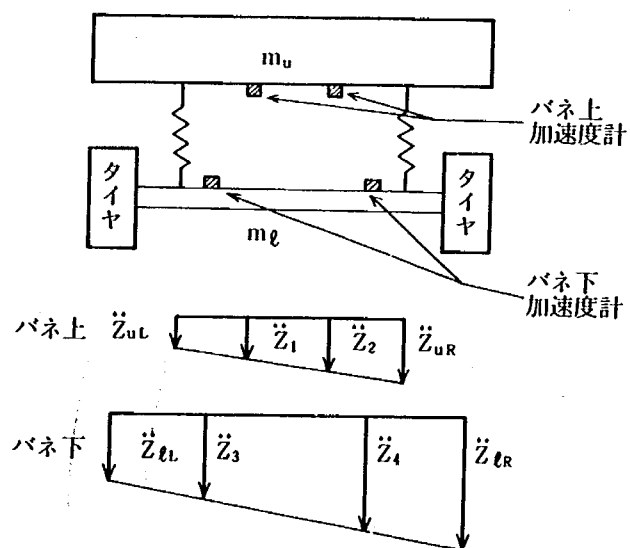


図-2.7 バネ上, バネ下の加速度算出法

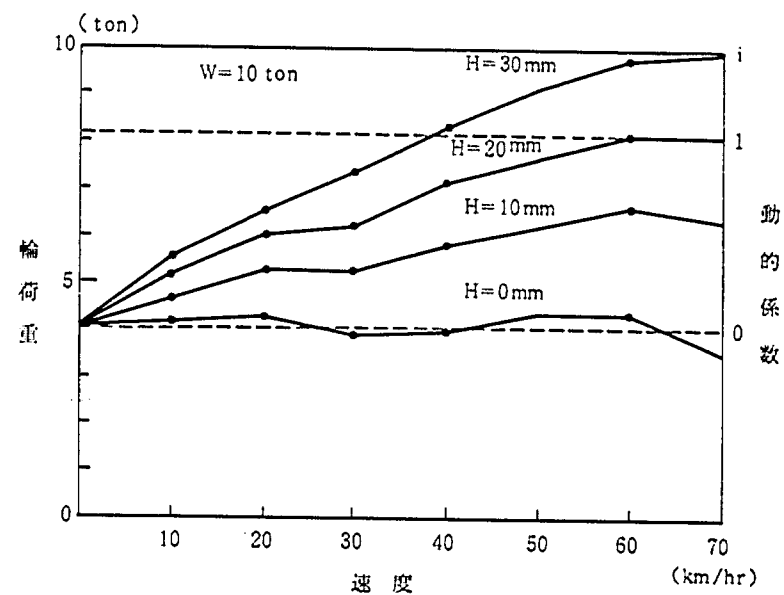
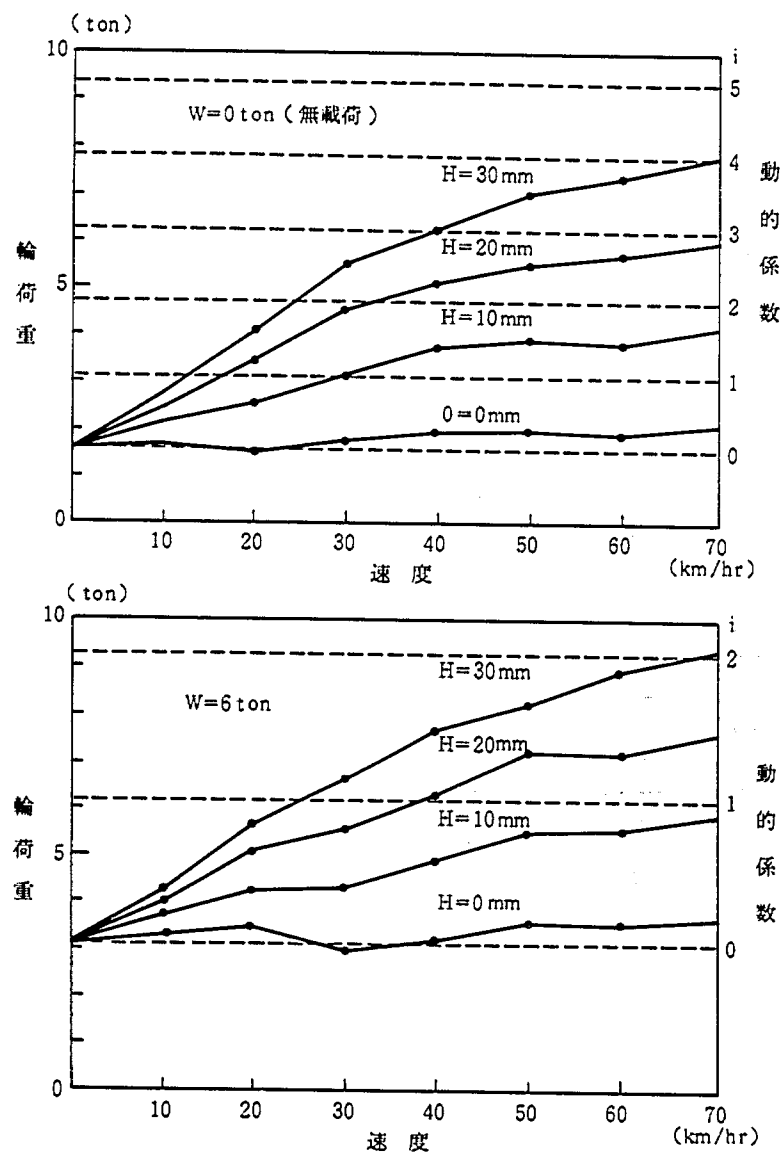


图-2.8 3轴车段差走行试验结果(铅直荷重)

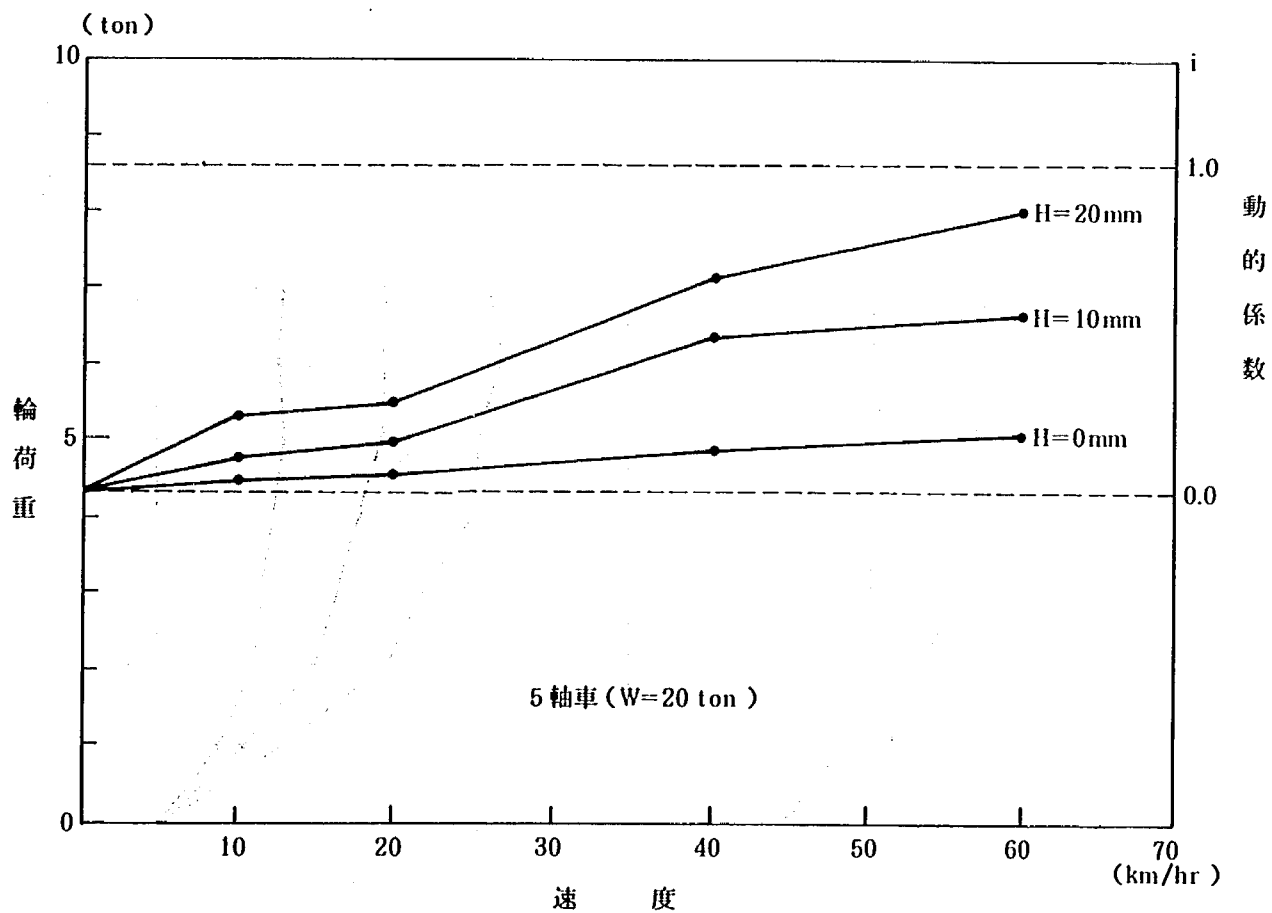
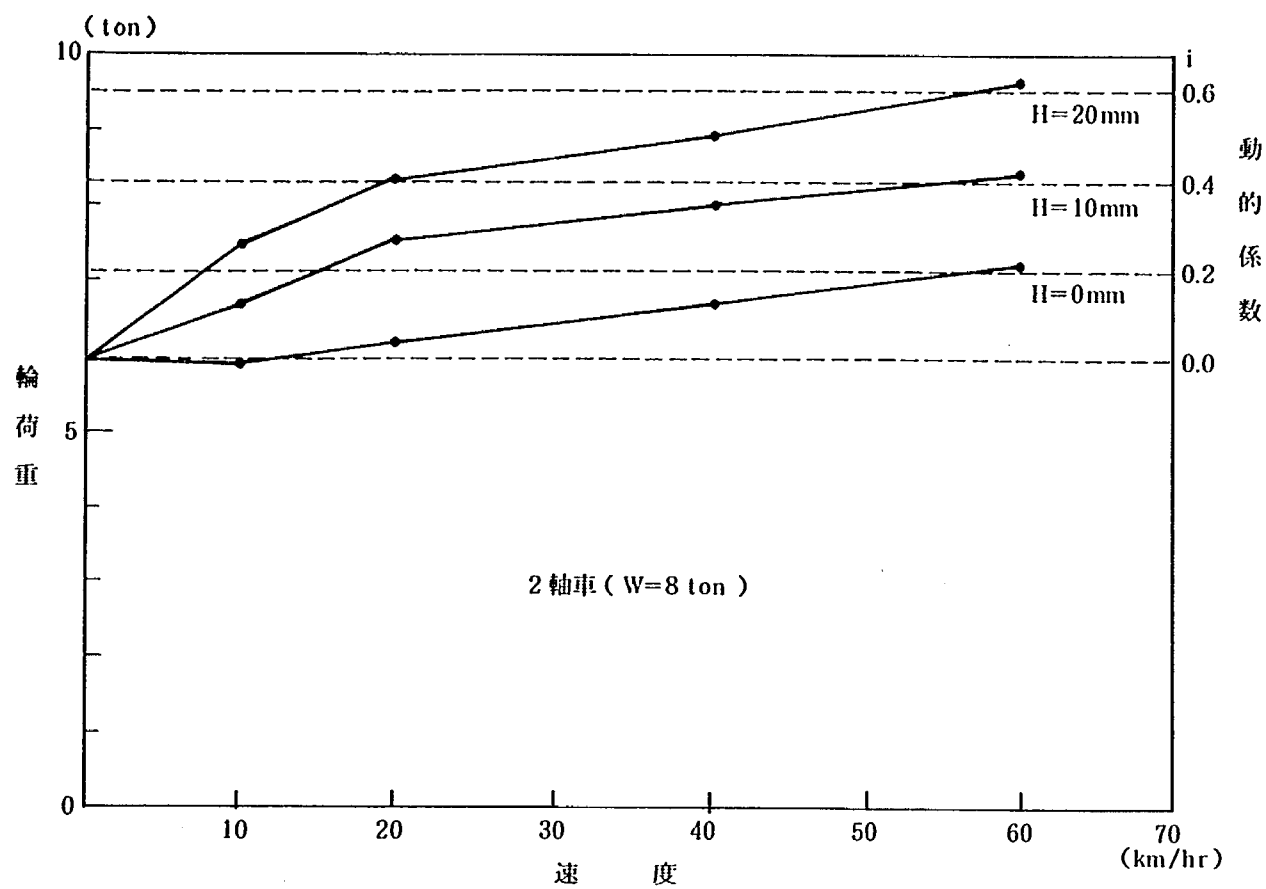


圖-2.9 2軸車, 5軸車段差走行試驗結果

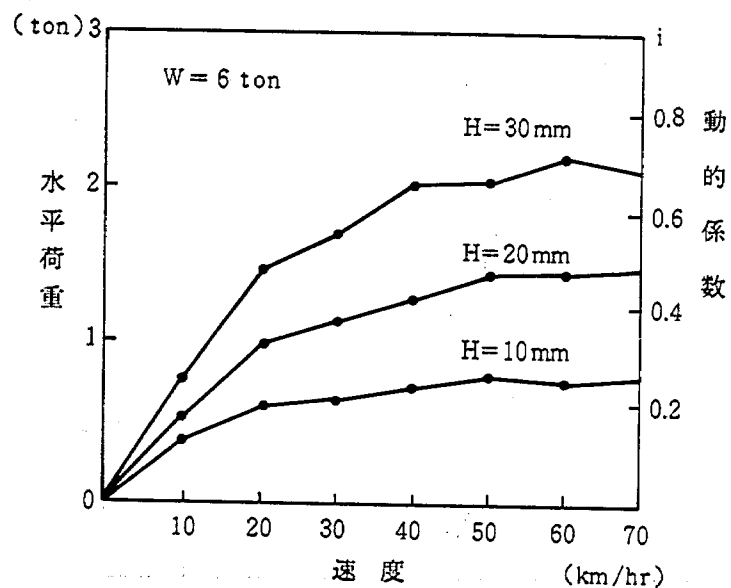
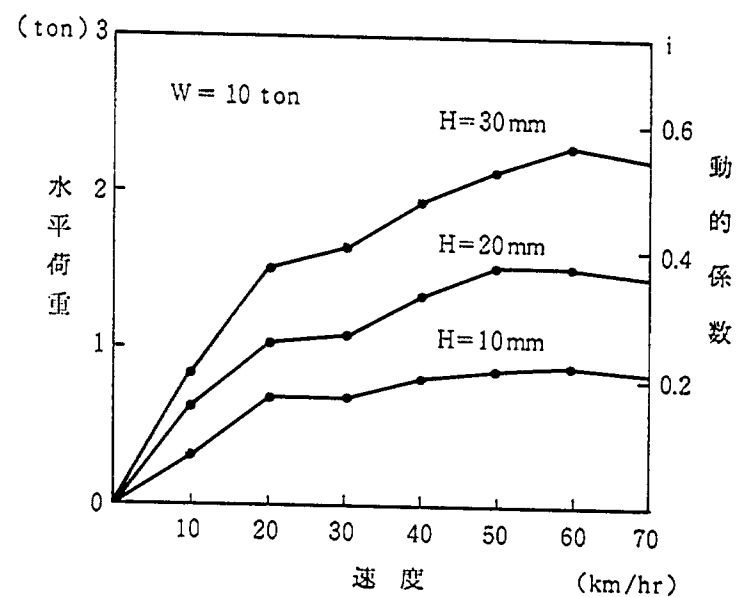
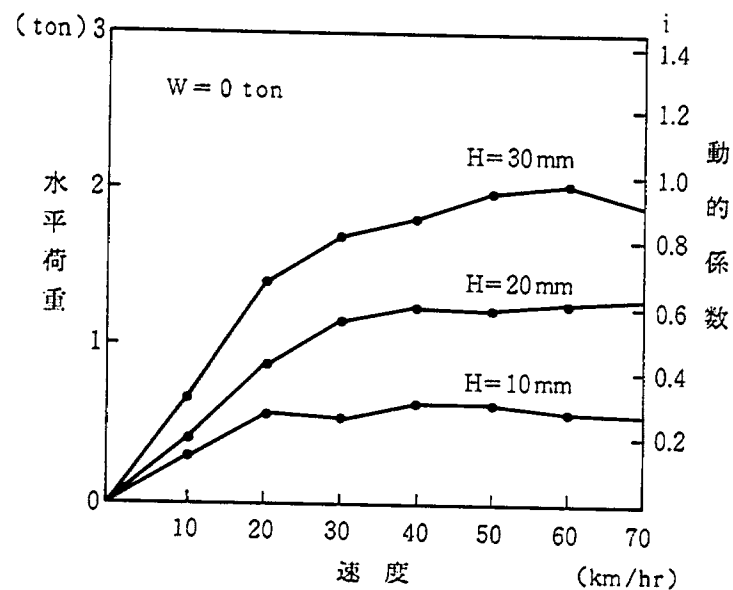


圖-2.10 3軸車段差走行試驗結果 (水平荷重)

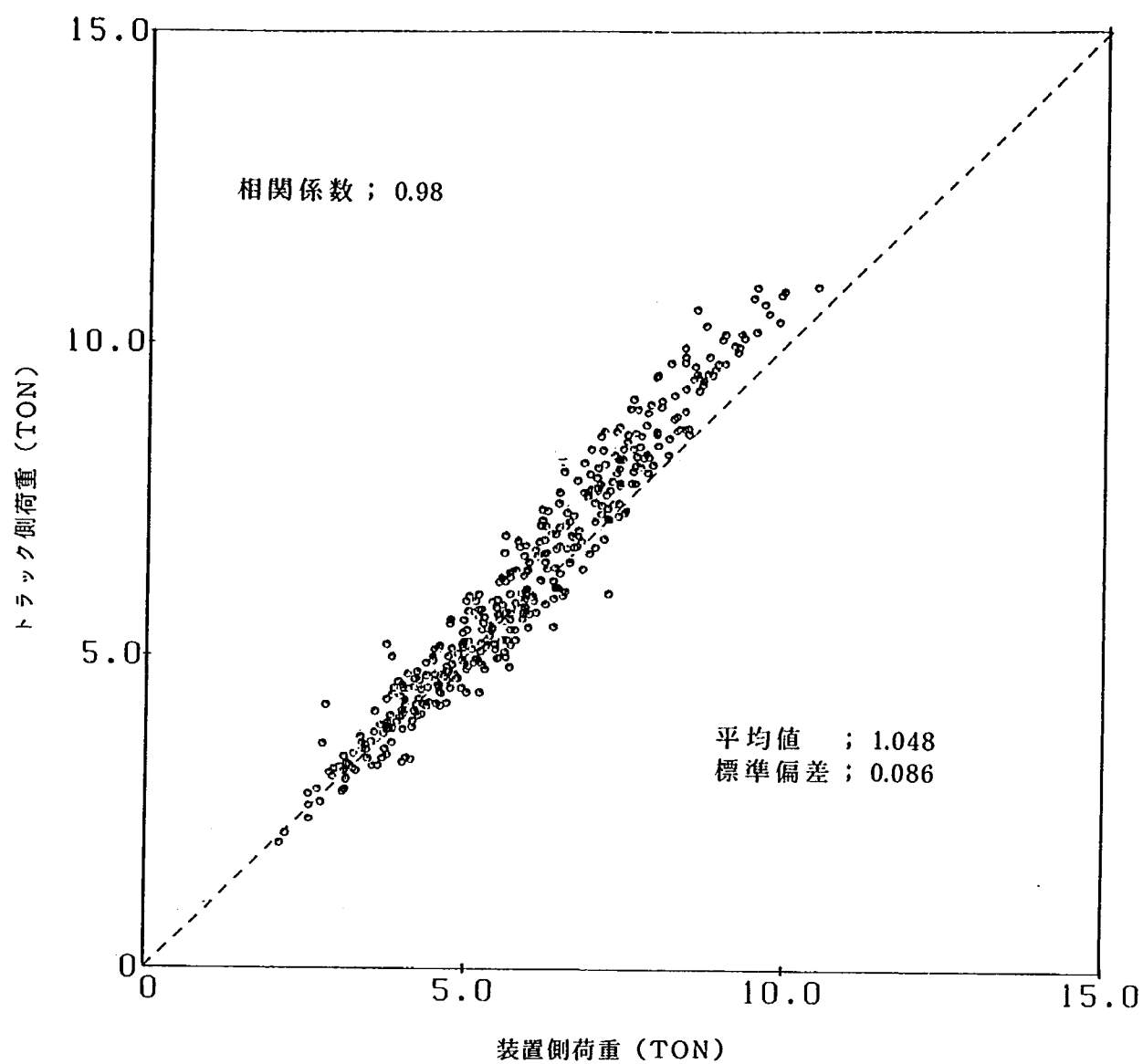


図-2.11 トラック側と装置側の荷重比較図

DANSA= 20.0 MM
 HEIGHT= 10.0 TON
 SPEED= 40.0 KM/H
 ICASE= 1

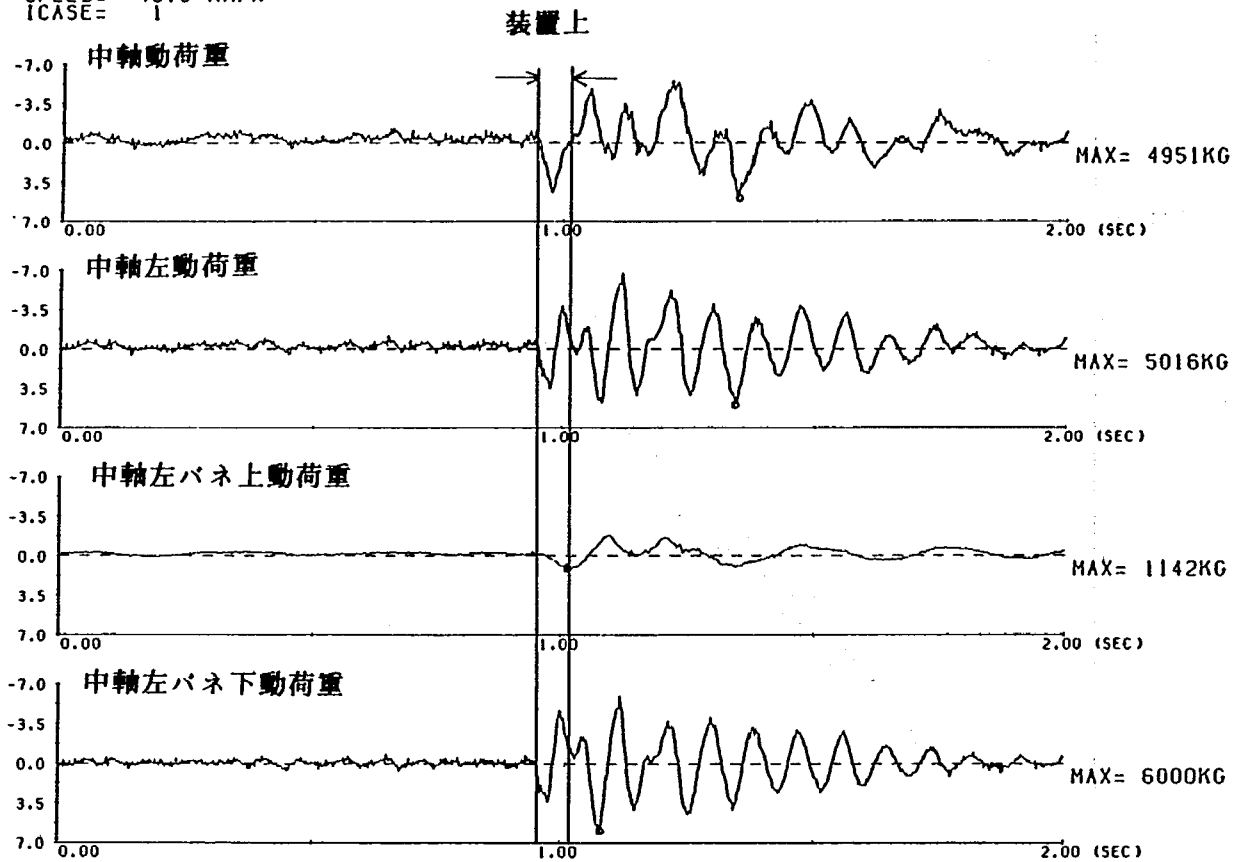


図-2.12 車両側動荷重変動図

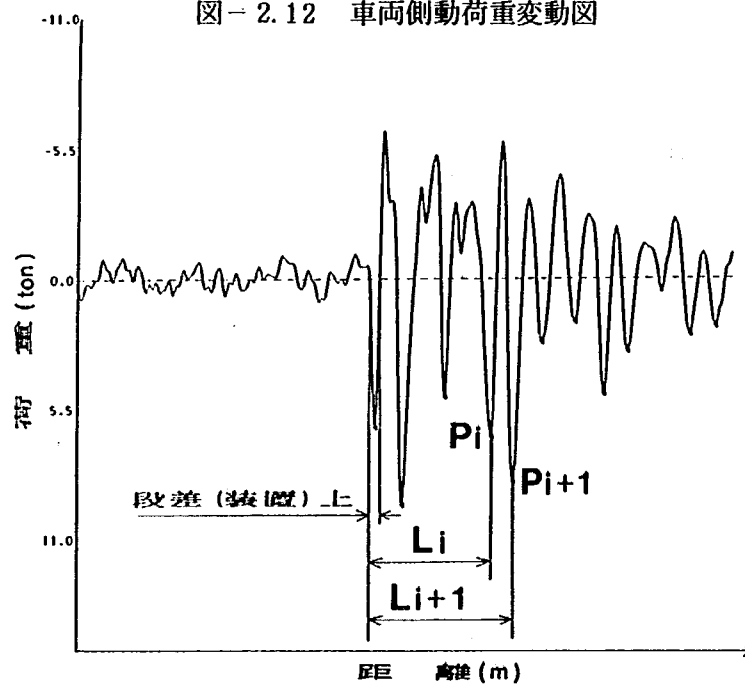


図-2.13 ピーク荷重と作用位置

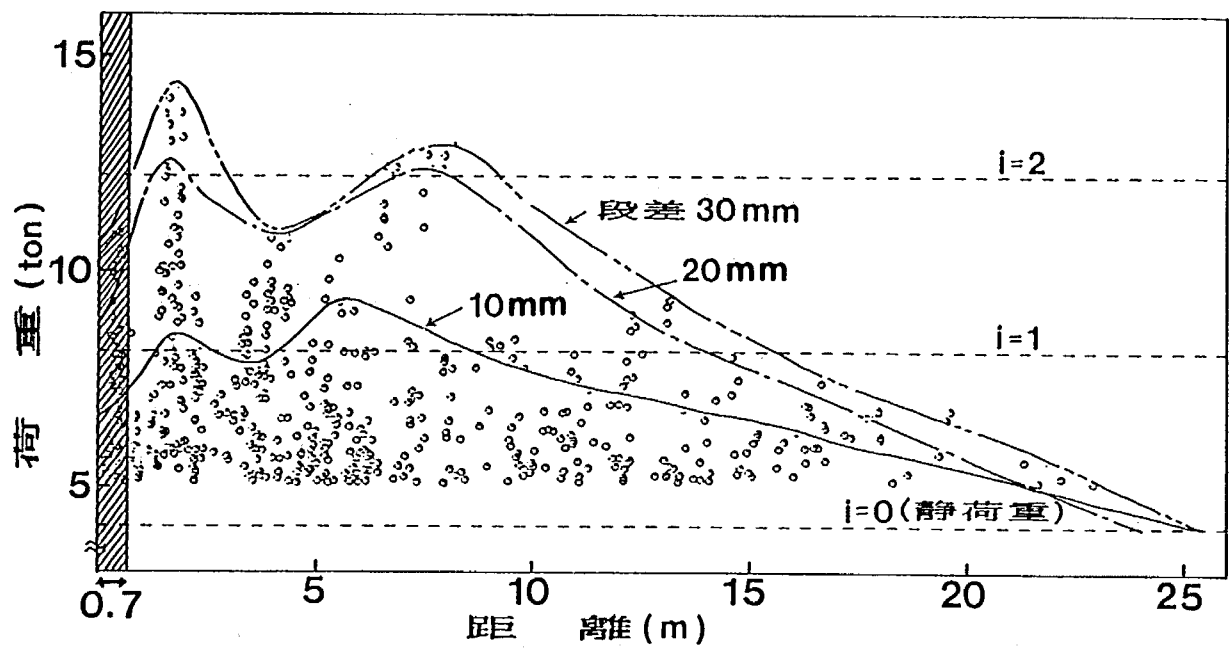


図- 2.14 段差部通過後の荷重分布及び段差量別包絡線

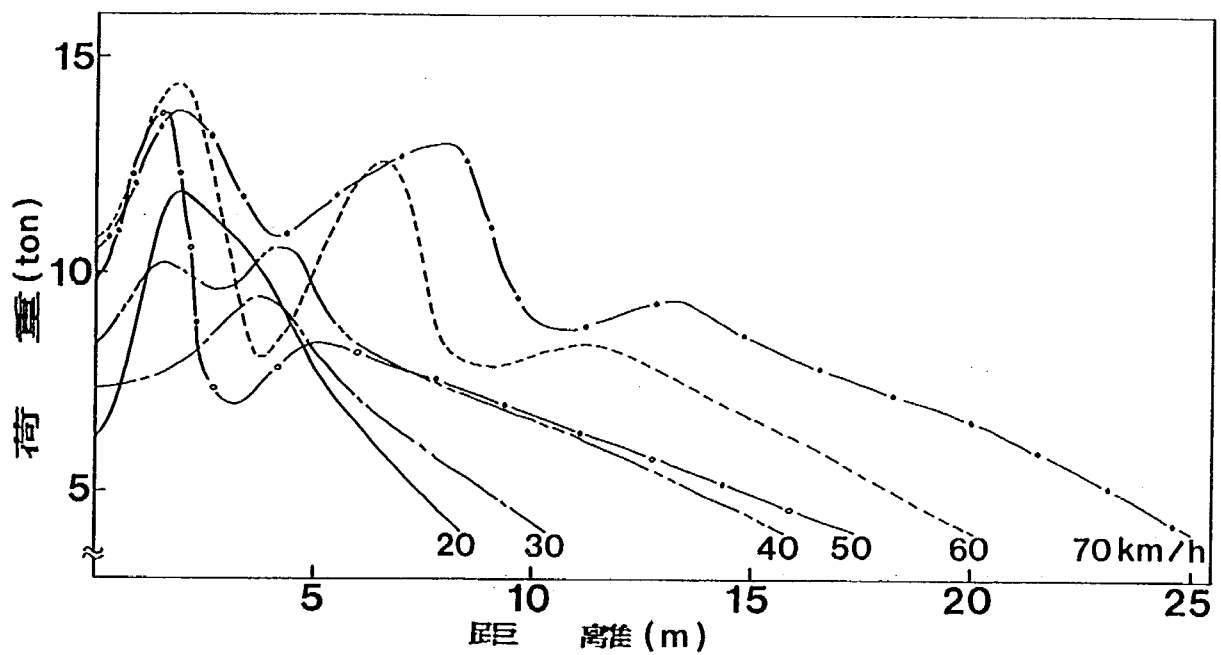
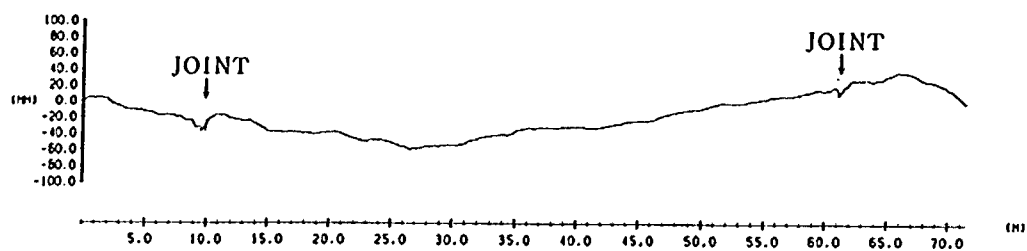
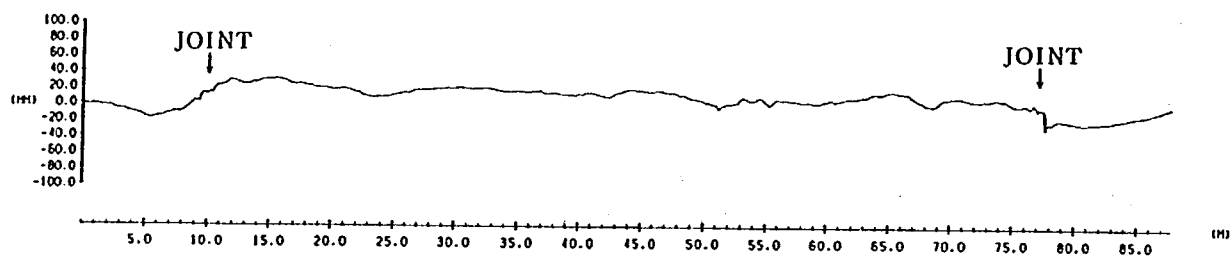


図- 2.15 走行速度別の荷重分布包絡線

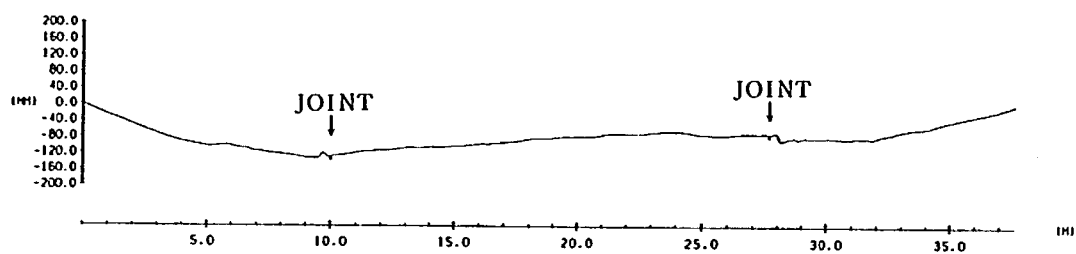
NO.1 SHIMAKI ALL SPAN (A橋)



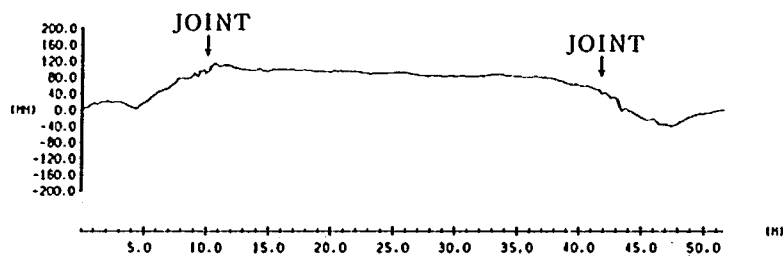
NO.5 NAKASATANI ALL SPAN (B橋)



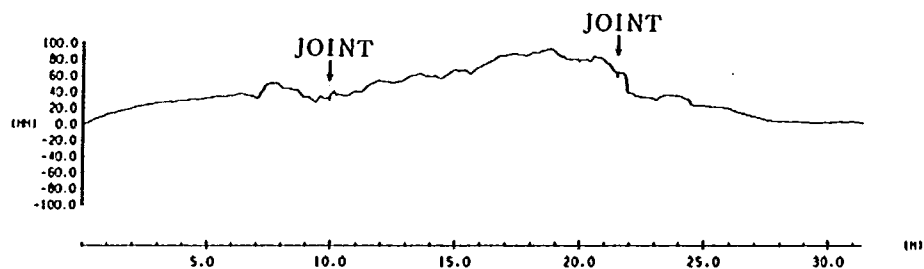
NO.6 YAMADA ALL SPAN (C橋)



NO.15 KOKONOE ALL SPAN (D橋)



NO.19 SHIRASAGI ALL SPAN (E橋)



↓ : 伸縮装置

図- 2.16 調査橋梁路面凹凸波形図

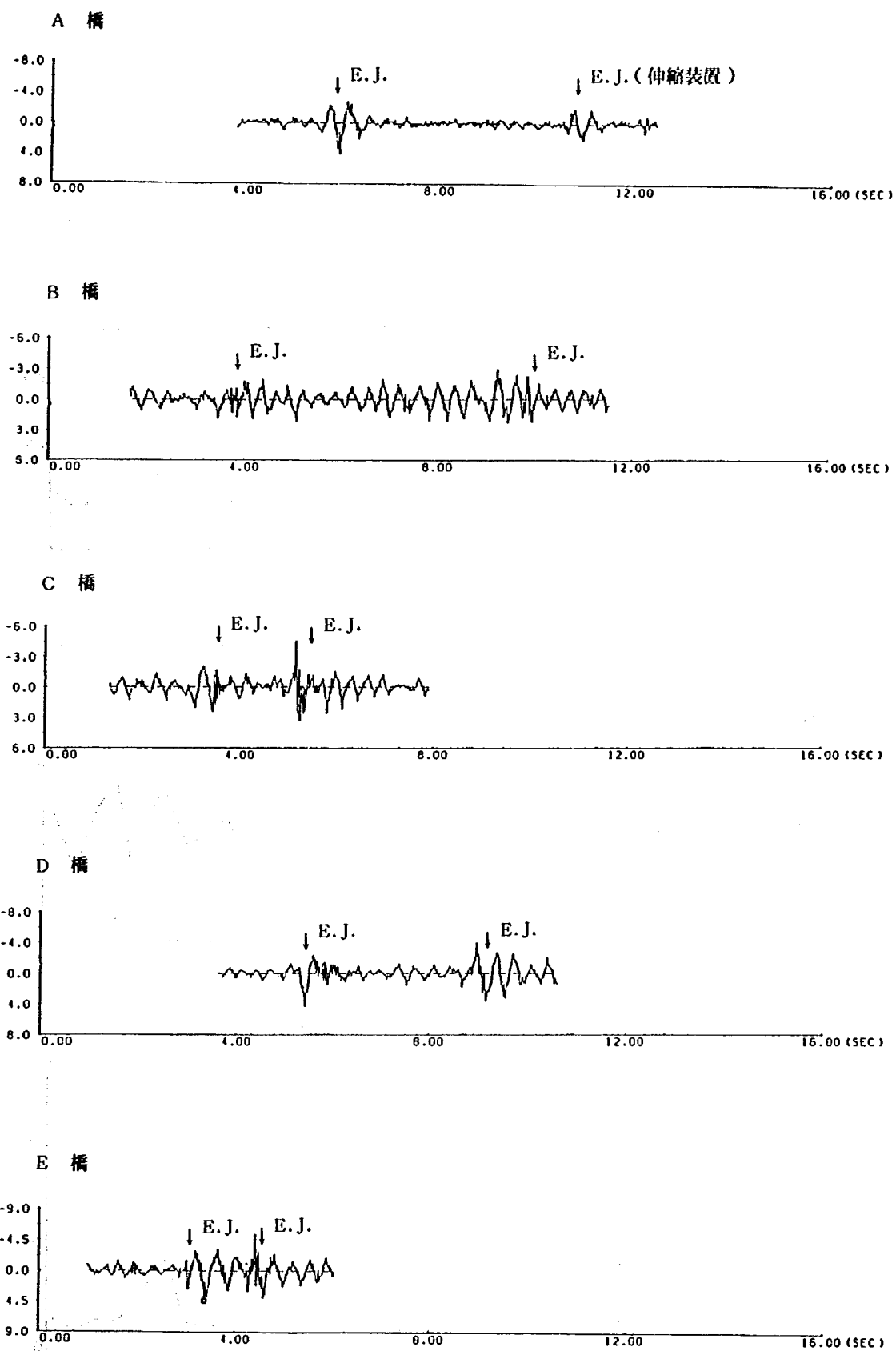


図-2.17 橋梁通過時の動的付加荷重

NO.1 SHIMAKI ALL SPAN

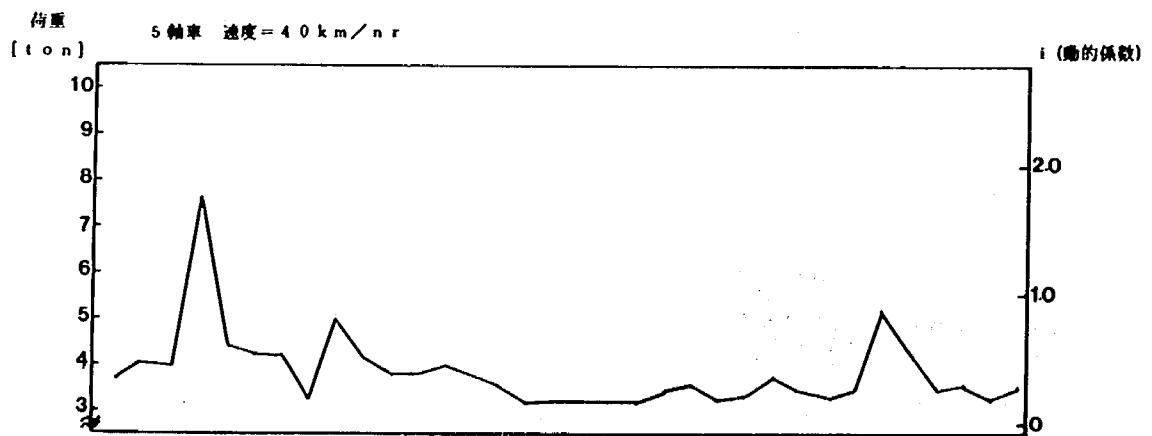
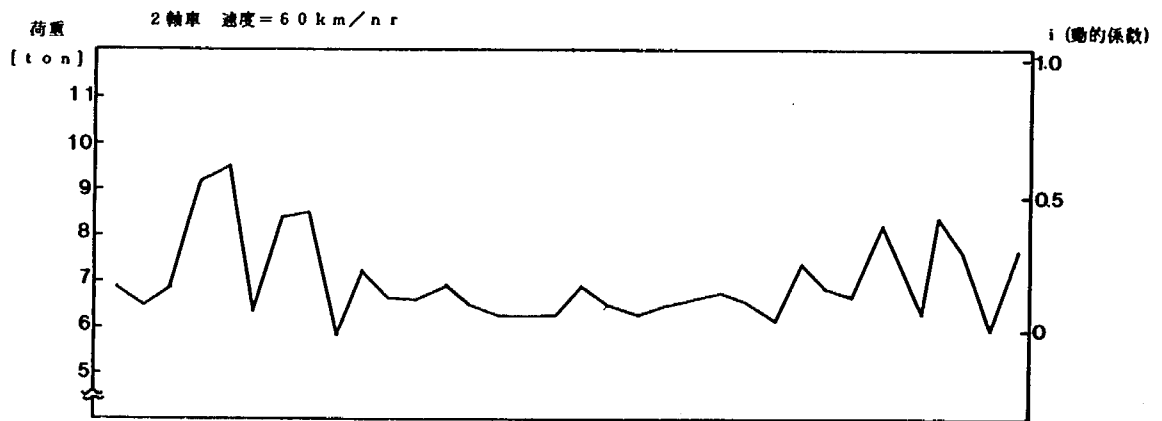
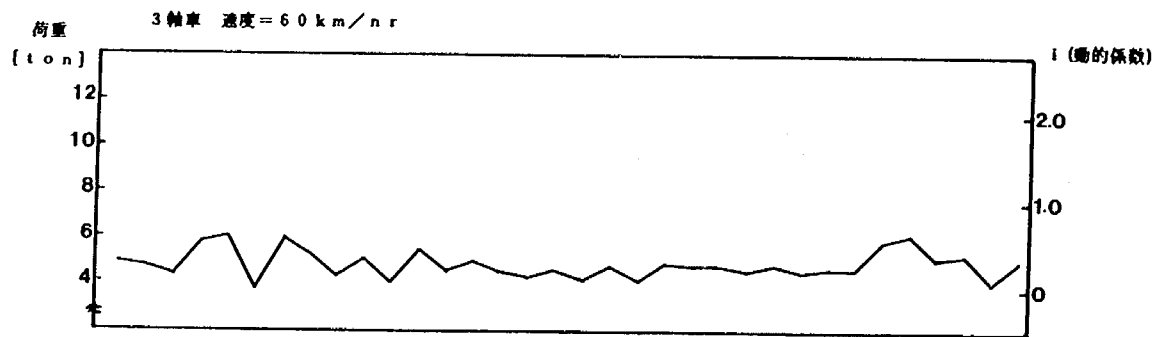
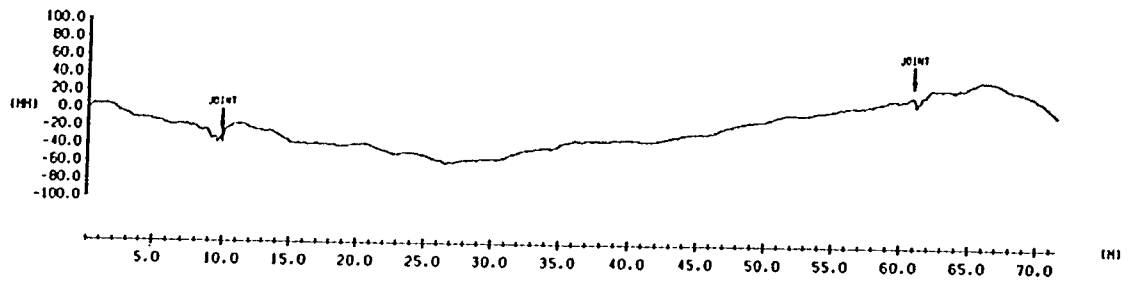
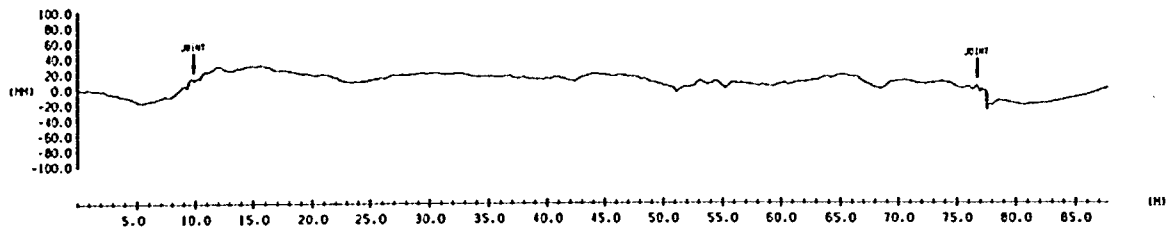
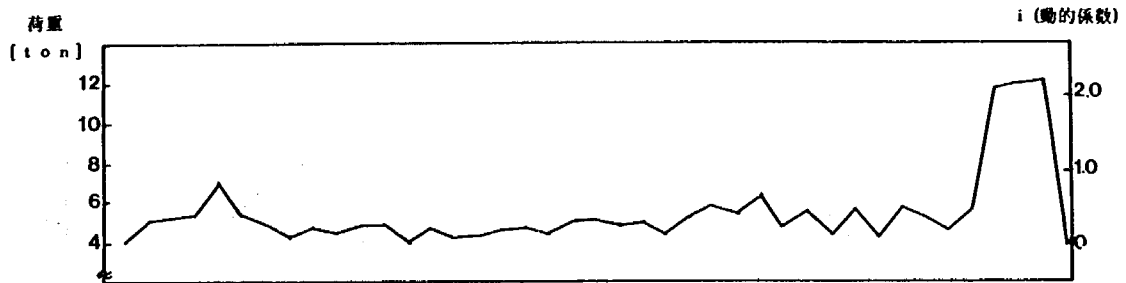


図-2.18 橋梁路面に作用する自動車荷重

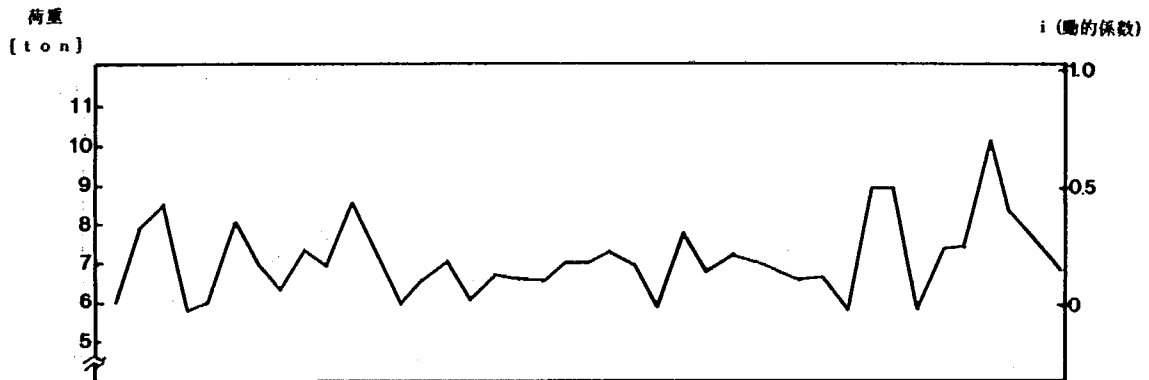
NO.5 MAKASATANI ALL SPAN



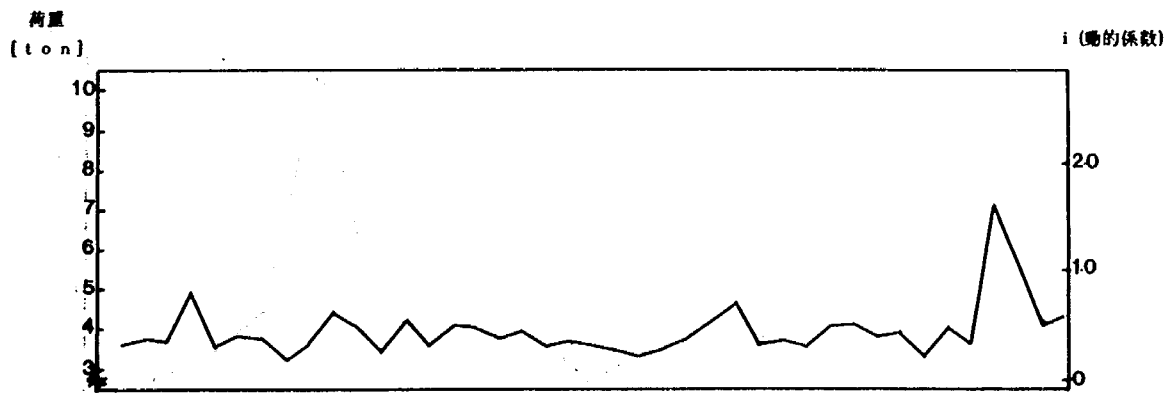
3軸車 速度=60km/hr



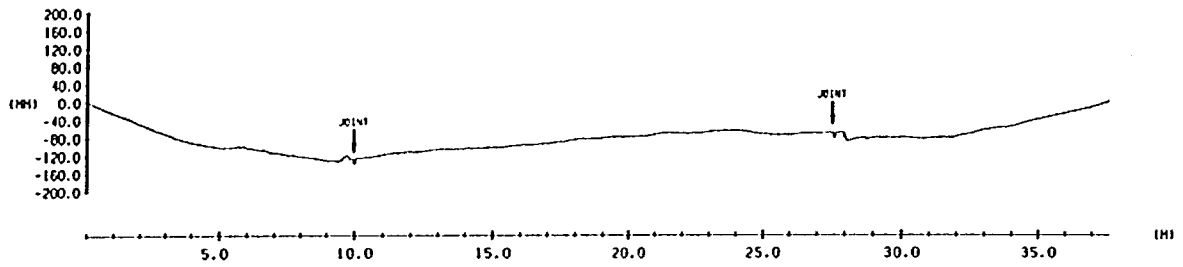
2軸車 速度=60km/hr



5軸車 速度=40km/hr



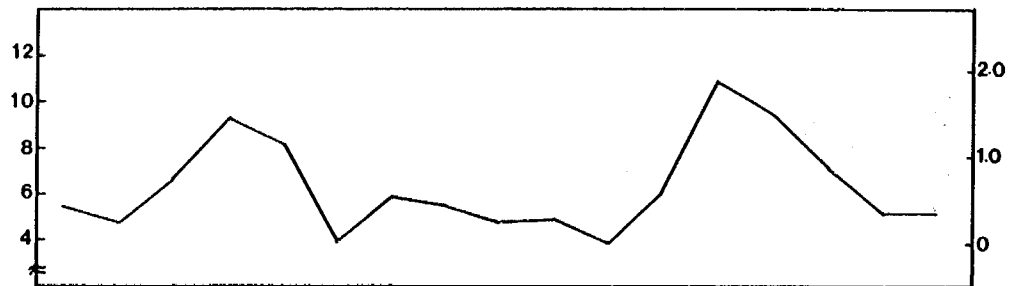
NO.6 YAMADA ALL SPAN



3 軸車 速度 = 60 km / hr

荷重
[ton]

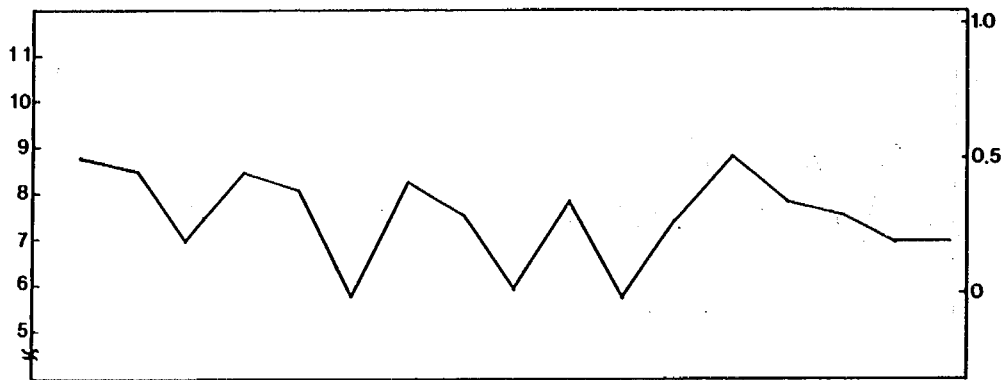
i (動的係数)



2 軸車 速度 = 60 km / hr

荷重
[ton]

i (動的係数)



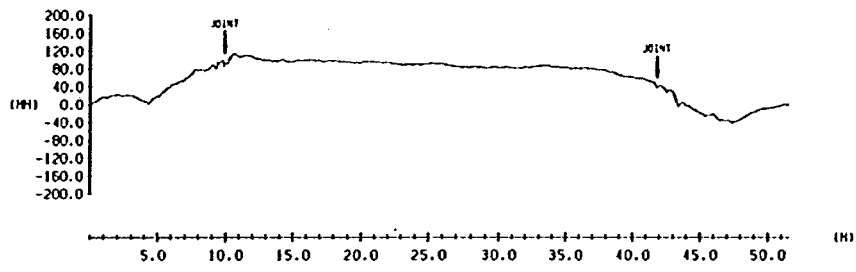
5 軸車 速度 = 40 km / hr

荷重
[ton]

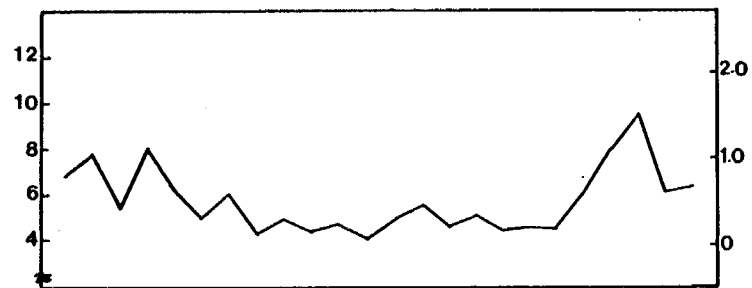
i (動的係数)



NO.15 KOKONOE ALL SPAN

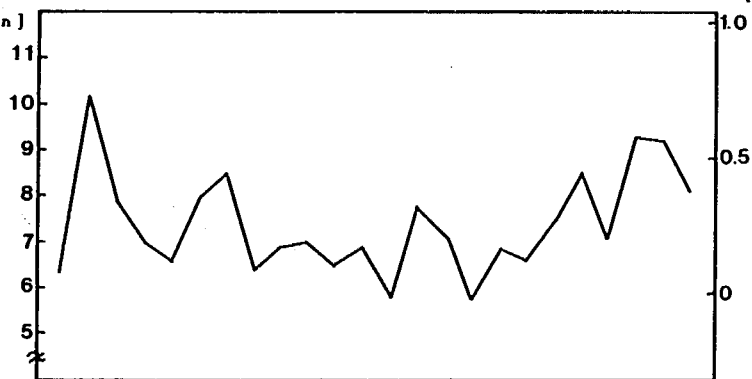


荷重 3軸車 速度=60 km/hr
[ton] i (動的係数)



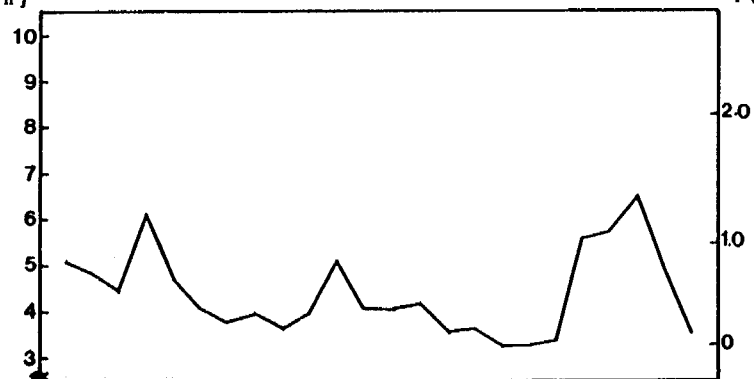
2軸車 速度=60 km/hr

荷重 [ton] i (動的係数)



5軸車 速度=40 km/hr

荷重 [ton] i (動的係数)



NO.19 SHIRASAGI ALL SPAN

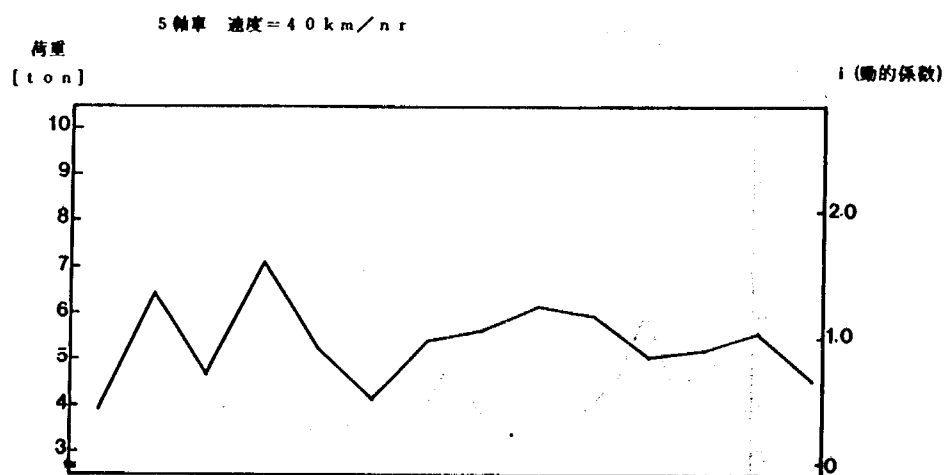
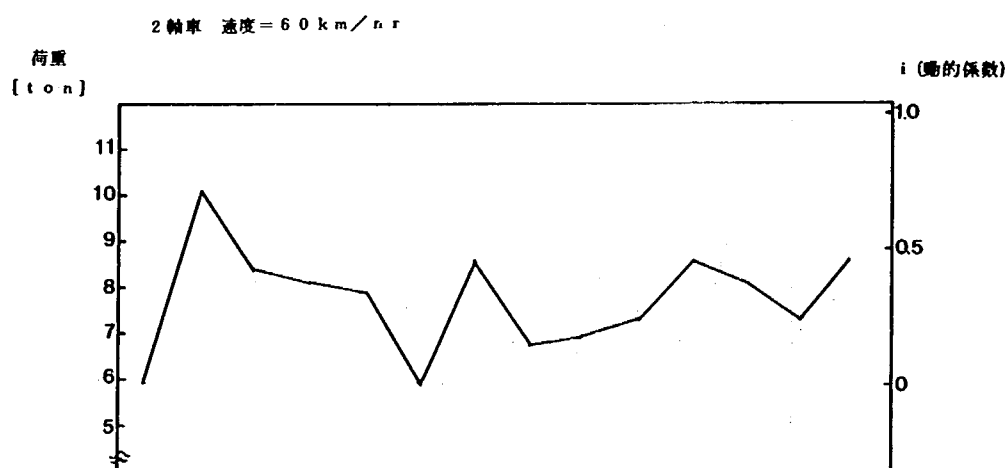
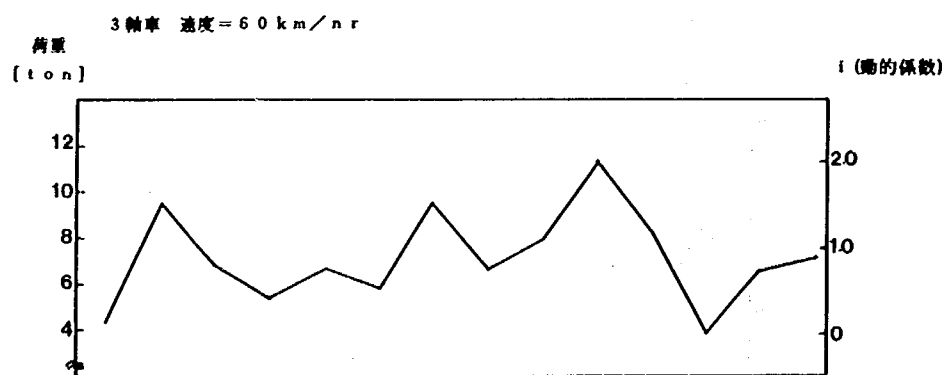
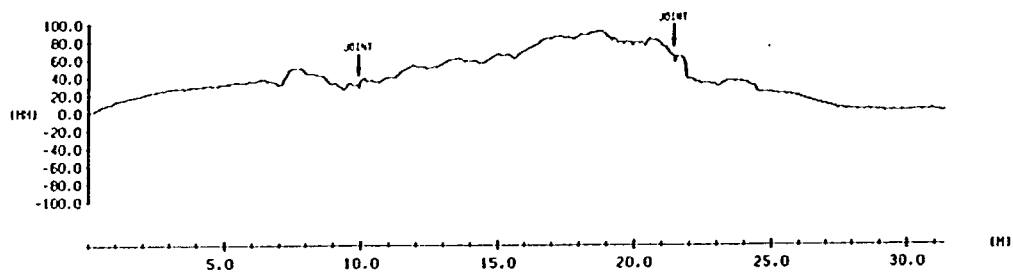


表-2.1 実験ケース

(1) 所内段差走行試験

(2軸トラック)

項 目	ケース数	内 容
段 差 量	3	0, 10, 20mm
走 行 速 度	4	10, 20, 40, 60km/hr
積 載 荷 重	2	0, 8 ton

(3軸ダンプトラック)

項 目	ケース数	内 容
段 差 量	4	0, 10, 20, 30mm
走 行 速 度	1	10km/hr
積 載 荷 重	2	0, 10 ton

(5軸セミトレーラ)

項 目	ケース数	内 容
段 差 量	3	0, 10, 20mm
走 行 速 度	4	10, 20, 40, 60km/hr
積 載 荷 重	2	6, 20 ton

(2) 実橋車両走行試験

橋梁名	橋長 (m)	幅員 (m)	橋 種	伸縮装置
A	51.1	12.9 (6.5)	3 径間連続PCホロースラブ桁橋	ゴ ム 系
B	68.0	13.45 (7.62)	3 径間連続PCホロースラブ桁橋	ゴ ム 系
C	17.7	8.5 (7.50)	PC単純T桁橋	突 合 せ 型
D	32.0	11.3 (7.5)	単純合成板桁橋	鋼フィンガー
E	11.844	11.80 (7.0)	PC単純T桁橋	突 合 せ 型

車 種	走行速度	積 載 荷 重
2 軸 ト ラ ッ ク	40, 60km/hr	満載 (8 ton)
3 軸 ダンプトラック	40, 60km/hr	満載 (10 ton)
5 軸 セミトレーラー	30, 40km/hr	(6 ton)

表- 2.2 荷重車輪荷重

3 軸車 (ton)					5 軸車 (ton)			
軸別	タイヤ	積 載 荷 重			軸別	タイヤ	積 載 荷 重	
		0 (ton)	約 6 (ton)	約 10 (ton)			6 (ton)	20 (ton)
前軸	左	2.16	2.37	2.53	1 軸	左	2.57	2.66
	右	2.20	2.45	2.63		右	2.79	2.81
	計	4.36	4.82	5.16		計	5.36	5.47
中軸	左	1.56	3.07	4.07	2 軸	左	2.81	4.30
	右	1.35	2.76	3.74		右	2.71	4.11
	計	2.91	5.83	7.81		計	5.51	8.41
後軸	左	1.45	2.65	3.64	3 軸	左	2.84	4.44
	右	1.37	2.67	3.58		右	2.94	4.28
	計	2.82	5.32	7.22		計	5.78	8.72
計	左	5.17	8.08	10.24	4 軸	左	2.67	4.45
	右	4.92	7.88	9.94		右	2.66	4.40
	計	10.09	15.96	20.18		計	5.33	8.85

2 軸車 (ton)			5 軸車 (ton)		
軸別	タイヤ	積載荷重	5 軸	軸	計
		8 (ton)			
前軸	左	2.93	5 軸	左	13.57
	右	3.03		右	13.71
	計	5.96		計	27.27
後軸	左	5.95	5 軸	左	4.45
	右	5.85		右	4.34
	計	11.80		計	8.79
計	左	8.87	5 軸	左	4.45
	右	8.88		右	4.40
	計	17.75		計	8.85

表-2.3 段差走行試験結果(鉛直荷重と動的係数)

3軸車試験結果(a)

積載重量 W(ton)	段 差 H(mm)	走行速度 V (km/hr)	前 軸 最大荷重 F1max	動的係数 i (F1max)	中 軸 最大荷重 F2max	動的係数 i (F2max)	後 軸 最大荷重 F3max	動的係数 i (F3max)
0.0	0.0	10.0	2.30	1.10	1.68	1.09	1.69	1.15
		20.0	2.33	1.08	1.54	0.99	1.69	1.17
		30.0	2.49	1.15	1.76	1.13	2.06	1.42
		40.0	2.46	1.14	1.98	1.27	2.02	1.39
		50.0	2.71	1.25	2.01	1.29	1.51	1.04
		60.0	2.67	1.23	1.97	1.27	1.40	0.97
		70.0	2.62	1.21	2.17	1.40	1.61	1.11
		75.0	2.66	1.23	2.18	1.40	1.56	1.08
0.0	5.0	10.0						
		20.0	2.68	1.24	2.16	1.39	2.73	1.88
		30.0	2.79	1.29	2.58	1.66	2.60	1.79
		40.0	2.99	1.38	2.92	1.88	2.36	1.63
		50.0	3.05	1.41	3.03	1.95	1.63	1.12
		60.0	3.00	1.38	3.06	1.97	1.66	1.14
		70.0	3.01	1.39	3.33	2.14	1.94	1.34
		75.0	3.29	1.52	3.41	2.19	2.47	1.70
	10.0	10.0	2.54	1.21	2.16	1.40	2.32	1.58
		20.0	2.78	1.29	2.58	1.66	4.09	2.82
		30.0	3.01	1.39	3.17	2.04	3.04	2.10
		40.0	3.21	1.48	3.76	2.42	2.60	1.80
		50.0	3.41	1.57	3.89	2.50	1.97	1.36
		60.0	3.24	1.50	3.88	2.49	2.34	1.62
		70.0	3.40	1.57	4.18	2.69	2.91	2.00
		75.0	3.68	1.70	4.62	2.97	3.67	2.53
	15.0	10.0						
		20.0	2.97	1.37	3.12	2.01	4.83	3.33
		30.0	3.38	1.56	4.01	2.57	3.61	2.49
		40.0	3.55	1.64	4.54	2.92	2.94	2.03
		50.0	3.86	1.78	4.77	3.07	2.39	1.65
		60.0	3.83	1.77	5.05	3.24	2.72	1.88
		70.0	3.93	1.81	5.24	3.37	3.85	2.65
		75.0	4.17	1.93	5.66	3.64	4.70	3.24

積載重量 W(ton)	段 差 H(mm)	走行速度 V (km/hr)	前 軸 最大荷重 F1max	動的係数 i (F1max)	中 軸 最大荷重 F2max	動的係数 i (F2max)	後 軸 最大荷重 F3max	動的係数 i (F3max)
0.0	20.0	10.0	2.83	1.35	2.49	1.62	2.63	1.79
		20.0	3.06	1.42	3.47	2.23	4.01	2.76
		30.0	3.48	1.61	4.56	2.93	3.88	2.68
		40.0	3.84	1.77	5.18	3.33	2.83	1.95
		50.0	4.12	1.90	5.53	3.56	2.86	1.97
		60.0	4.19	1.94	5.79	3.72	3.25	2.24
		70.0	4.20	1.94	6.07	3.90	4.54	3.13
		75.0	4.53	2.09	6.56	4.22	5.93	4.09
	25.0	10.0						
		20.0	3.05	1.41	3.73	2.40	5.44	3.75
		30.0	3.69	1.70	4.81	3.09	4.43	3.05
		40.0	3.96	1.83	5.58	3.59	3.37	2.33
		50.0	4.48	2.07	6.13	3.94	3.23	2.23
		60.0	4.53	2.09	6.48	4.16	3.95	2.72
		70.0	4.57	2.11	7.16	4.60	5.38	3.71
		75.0	4.91	2.27	7.48	4.80	6.60	4.55
	30.0	10.0	3.09	1.48	2.73	1.77	3.75	2.55
		20.0	3.30	1.52	4.06	2.61	4.45	3.07
		30.0	3.95	1.83	5.53	3.56	4.16	2.87
		40.0	4.39	2.03	6.34	4.07	3.69	2.54
		50.0	4.77	2.20	7.09	4.56	4.25	2.93
		60.0	4.82	2.23	7.50	4.82	5.02	3.46
		70.0	5.00	2.31	7.84	5.04	6.11	4.21
		75.0	5.36	2.48	8.44	5.43	7.48	5.16

荷重 (ton)

3 軸車試驗結果 b)

積載重量 W (ton)	段 差 H (mm)	走行速度 V (km/hr)	前 軸 最大荷重 F1max	動的係數 i (F1max)	中 軸 最大荷重 F2max	動的係數 i (F2max)	後 軸 最大荷重 F3max	動的係數 i (F3max)
2.0	0.0	10.0						
		20.0	2.42	1.06	2.01	0.98	2.25	1.20
		30.0	2.56	1.13	2.02	0.98	2.56	1.36
		40.0	2.61	1.15	2.41	1.17	2.57	1.36
		50.0	2.77	1.22	2.46	1.19	2.09	1.11
		60.0	2.73	1.20	2.52	1.22	1.81	0.96
		70.0	2.78	1.22	2.57	1.25	2.53	1.34
		75.0	2.79	1.23	2.44	1.18	2.72	1.45
	5.0	10.0						
		20.0	2.73	1.20	2.77	1.35	3.26	1.73
		30.0	2.89	1.27	2.96	1.44	3.01	1.60
		40.0	2.96	1.30	3.27	1.58	2.85	1.51
		50.0	3.22	1.42	3.49	1.69	2.44	1.30
		60.0	3.07	1.35	3.54	1.72	2.09	1.11
		70.0	3.19	1.40	3.89	1.89	2.52	1.34
		75.0	3.34	1.47	3.63	1.76	3.04	1.62
	10.0	10.0						
		20.0	2.82	1.24	3.04	1.47	3.72	1.98
		30.0	3.19	1.40	3.42	1.66	3.13	1.66
		40.0	3.31	1.45	4.06	1.97	3.45	1.83
		50.0	3.56	1.56	4.40	2.14	2.37	1.26
		60.0	3.42	1.50	4.43	2.15	2.45	1.30
		70.0	3.60	1.58	4.95	2.40	3.28	1.74
		75.0	3.87	1.70	4.85	2.35	4.22	2.24
	15.0	10.0						
		20.0	3.01	1.32	3.61	1.75	5.40	2.87
		30.0	3.39	1.49	4.20	2.04	3.66	1.94
		40.0	3.73	1.64	4.96	2.41	3.66	1.94
		50.0	3.89	1.71	5.19	2.52	2.92	1.55
		60.0	3.91	1.72	5.79	2.81	2.78	1.48
		70.0	3.94	1.73	5.92	2.87	3.67	1.95
		75.0	4.35	1.91	5.98	2.90	5.33	2.83

積載重量 W (ton)	段 差 H (mm)	走行速度 V (km/hr)	前 軸 最大荷重 F1max	動的係數 i (F1max)	中 軸 最大荷重 F2max	動的係數 i (F2max)	後 軸 最大荷重 F3max	動的係數 i (F3max)
2.0	20.0	10.0						
		20.0	3.02	1.33	3.89	1.89	5.98	3.18
		30.0	3.67	1.62	4.78	2.32	4.22	2.24
		40.0	3.93	1.73	5.65	2.74	3.83	2.04
		50.0	4.19	1.84	5.90	2.86	3.27	1.74
		60.0	4.22	1.85	6.35	3.08	3.51	1.86
		70.0	4.31	1.89	6.81	3.30	4.62	2.45
		75.0	4.63	2.03	7.01	3.40	6.27	3.33
	25.0	10.0						
		20.0	3.19	1.40	4.32	2.09	4.83	2.57
		30.0	3.80	1.67	5.28	2.56	4.64	2.46
		40.0	4.08	1.79	6.10	2.96	3.78	2.01
		50.0	4.56	2.00	6.71	3.25	3.54	1.88
		60.0	4.49	1.97	7.09	3.44	3.95	2.10
		70.0	4.63	2.03	7.58	3.67	5.39	2.87
		75.0	4.88	2.15	7.79	3.77	7.02	3.73
	30.0	10.0						
		20.0	3.35	1.48	4.61	2.24	5.31	2.82
		30.0	4.04	1.78	5.65	2.74	6.03	3.20
		40.0	4.37	1.92	6.66	3.23	4.92	2.61
		50.0	4.86	2.14	7.17	3.48	4.14	2.20
		60.0	4.91	2.16	8.07	3.91	5.03	2.67
		70.0	5.13	2.26	8.57	4.15	6.18	3.28
		75.0	5.38	2.37	8.62	4.18	7.42	3.94

荷重 (ton)

3 軸車試驗結果(c)

積載重量 W(ton)	段 差 H(mm)	走行速度 V (km/hr)	前 軸 最大荷重 F1max	動的係數 i (F1max)	中 軸 最大荷重 F2max	動的係數 i (F2max)	後 軸 最大荷重 F3max	動的係數 i (F3max)
4.0	0.0	10.0						
		20.0	2.48	1.07	2.65	1.04	2.99	1.28
		30.0	2.67	1.15	2.46	0.97	3.07	1.31
		40.0	2.69	1.16	2.78	1.10	3.03	1.29
		50.0	2.88	1.24	2.86	1.13	2.56	1.09
		60.0	2.80	1.21	3.08	1.21	2.37	1.01
		70.0	2.79	1.20	3.07	1.21	3.07	1.31
		75.0	2.86	1.23	2.79	1.10	3.19	1.36
	5.0	10.0						
		20.0	2.76	1.19	3.31	1.30	3.71	1.58
		30.0	2.93	1.26	3.21	1.26	3.39	1.45
		40.0	3.06	1.32	3.77	1.48	3.22	1.38
		50.0	3.26	1.41	4.13	1.62	2.79	1.19
		60.0	3.17	1.37	3.95	1.56	2.55	1.09
		70.0	3.25	1.40	4.48	1.76	2.98	1.27
		75.0	3.50	1.51	4.02	1.58	3.66	1.56
	10.0	10.0						
		20.0	2.91	1.26	3.69	1.45	4.56	1.95
		30.0	3.23	1.39	3.92	1.54	3.49	1.49
		40.0	3.34	1.44	4.57	1.80	3.70	1.58
		50.0	3.61	1.56	4.96	1.95	3.11	1.33
		60.0	3.42	1.47	5.11	2.01	2.74	1.17
		70.0	3.67	1.58	5.39	2.12	3.49	1.49
		75.0	4.05	1.75	4.96	1.95	4.46	1.90
	15.0	10.0						
		20.0	3.04	1.31	4.12	1.62	5.82	2.48
		30.0	3.49	1.50	4.65	1.83	3.93	1.68
		40.0	3.72	1.61	5.42	2.13	4.10	1.75
		50.0	3.98	1.72	5.78	2.28	3.29	1.40
		60.0	3.89	1.68	6.12	2.41	3.17	1.36
		70.0	4.01	1.73	6.54	2.57	4.68	2.00
		75.0	4.43	1.91	6.19	2.44	5.77	2.46

積載重量 W(ton)	段 差 H(mm)	走行速度 V (km/hr)	前 軸 最大荷重 F1max	動的係數 i (F1max)	中 軸 最大荷重 F2max	動的係數 i (F2max)	後 軸 最大荷重 F3max	動的係數 i (F3max)
4.0	20.0	10.0						
		20.0	3.07	1.32	4.27	1.68	6.09	2.60
		30.0	3.72	1.60	5.19	2.04	4.42	1.89
		40.0	4.05	1.75	6.10	2.40	4.43	1.89
		50.0	4.30	1.86	6.49	2.56	3.60	1.54
		60.0	4.20	1.81	6.90	2.72	3.74	1.59
		70.0	4.34	1.87	7.38	2.90	4.95	2.11
		75.0	4.64	2.00	7.19	2.83	6.29	2.69
	25.0	10.0						
		20.0	3.24	1.40	4.79	1.89	6.13	2.62
		30.0	3.93	1.70	5.66	2.23	5.00	2.13
		40.0	4.23	1.82	6.56	2.58	4.58	1.96
		50.0	4.57	1.97	7.15	2.81	3.83	1.63
		60.0	4.61	1.99	7.47	2.94	4.10	1.75
		70.0	4.76	2.05	8.27	3.25	5.73	2.45
		75.0	5.05	2.18	8.31	3.27	7.13	3.04
	30.0	10.0						
		20.0	3.63	1.56	5.43	2.14	6.04	2.58
		30.0	4.05	1.75	6.09	2.40	5.93	2.53
		40.0	4.48	1.93	7.05	2.77	5.00	2.14
		50.0	4.91	2.12	7.97	3.14	4.56	1.95
		60.0	4.90	2.12	8.42	3.32	5.10	2.18
		70.0	5.17	2.23	8.96	3.53	6.73	2.87
		75.0	5.38	2.32	9.19	3.62	7.48	3.19

荷重 (ton)

3 軸車試驗結果(d)

積載重量 W(ton)	段 差 H (mm)	走行速度 V (km/hr)	前 軸 最大荷重 F1max	動的係數 i (F1max)	中 軸 最大荷重 F2max	動的係數 i (F2max)	後 軸 最大荷重 F3max	動的係數 i (F3max)
6.0	0.0	10.0	2.62	1.10	3.27	1.13	3.40	1.20
		20.0	2.57	1.09	3.43	1.12	3.30	1.25
		30.0	2.80	1.19	2.95	0.96	3.47	1.31
		40.0	2.85	1.20	3.20	1.04	3.48	1.32
		50.0	2.98	1.26	3.54	1.15	2.90	1.10
		60.0	2.95	1.25	3.51	1.14	2.92	1.10
		70.0	2.87	1.21	3.65	1.19	3.87	1.46
		75.0	2.97	1.26	3.42	1.12	3.79	1.43
	5.0	10.0						
		20.0	2.88	1.22	4.07	1.32	4.13	1.56
		30.0	3.04	1.29	3.62	1.18	3.92	1.48
		40.0	3.07	1.30	4.05	1.32	3.79	1.43
		50.0	3.30	1.40	4.65	1.52	3.36	1.27
		60.0	3.33	1.41	4.63	1.51	3.27	1.24
		70.0	3.37	1.43	4.86	1.58	3.49	1.32
		75.0	3.63	1.54	4.54	1.48	3.92	1.48
	10.0	10.0	2.90	1.22	3.66	1.27	3.63	1.28
		20.0	3.01	1.27	4.26	1.39	4.82	1.82
		30.0	3.40	1.44	4.30	1.40	3.94	1.49
		40.0	3.40	1.44	4.91	1.60	4.11	1.55
		50.0	3.76	1.59	5.54	1.81	3.52	1.33
		60.0	3.53	1.49	5.55	1.81	3.11	1.18
		70.0	3.73	1.58	5.88	1.91	3.56	1.35
		75.0	4.00	1.69	5.49	1.79	4.36	1.65
	15.0	10.0						
		20.0	3.14	1.33	4.71	1.53	6.04	2.28
		30.0	3.57	1.51	4.94	1.61	4.16	1.57
		40.0	3.87	1.64	5.72	1.86	4.64	1.76
		50.0	4.06	1.72	6.23	2.03	3.88	1.47
		60.0	3.90	1.65	6.79	2.21	4.26	1.61
		70.0	4.12	1.74	6.85	2.23	5.13	1.94
		75.0	4.42	1.87	6.80	2.21	6.18	2.34

積載重量 W(ton)	段 差 H (mm)	走行速度 V (km/hr)	前 軸 最大荷重 F1max	動的係數 i (F1max)	中 軸 最大荷重 F2max	動的係數 i (F2max)	後 軸 最大荷重 F3max	動的係數 i (F3max)
6.0	20.0	10.0	3.26	1.37	3.98	1.38	4.13	1.45
		20.0	3.26	1.38	5.12	1.67	6.44	2.43
		30.0	3.80	1.61	5.59	1.82	4.58	1.73
		40.0	4.13	1.75	6.30	2.05	4.90	1.85
		50.0	4.32	1.83	7.25	2.36	4.00	1.51
		60.0	4.26	1.80	7.21	2.35	4.10	1.55
		70.0	4.49	1.90	7.64	2.49	5.66	2.14
		75.0	4.82	2.04	7.72	2.52	6.38	2.41
	25.0	10.0						
		20.0	3.35	1.42	5.48	1.79	5.77	2.18
		30.0	3.95	1.67	6.05	1.97	5.64	2.13
		40.0	4.30	1.82	7.00	2.28	5.38	2.04
		50.0	4.74	2.00	7.44	2.42	4.74	1.79
		60.0	4.74	2.00	8.04	2.62	4.57	1.73
		70.0	4.94	2.09	8.55	2.79	6.25	2.36
		75.0	5.24	2.22	8.59	2.80	7.09	2.68
	30.0	10.0	3.49	1.47	4.22	1.46	4.77	1.68
		20.0	3.51	1.48	5.67	1.85	6.23	2.35
		30.0	4.19	1.77	6.59	2.15	5.85	2.21
		40.0	4.62	1.95	7.71	2.51	5.58	2.11
		50.0	4.97	2.10	8.26	2.69	4.92	1.86
		60.0	4.96	2.10	8.92	2.91	5.06	1.91
		70.0	5.15	2.18	9.37	3.05	6.58	2.49
		75.0	5.50	2.33	9.54	3.11	8.15	3.08

荷重 (ton)

3 軸車試驗結果(e)

積載重量 W(ton)	段 差 H(mm)	走行速度 V (km/hr)	前 軸 最大荷重 F1max	動的係數 i (F1max)	中 軸 最大荷重 F2max	動的係數 i (F2max)	後 軸 最大荷重 F3max	動的係數 i (F3max)
8.0	0.0	10.0						
		20.0	2.70	1.10	4.10	1.14	4.03	1.28
		30.0	2.86	1.17	3.34	0.93	4.00	1.27
		40.0	2.87	1.17	3.74	1.04	3.76	1.19
		50.0	3.03	1.24	3.95	1.10	3.45	1.09
		60.0	3.00	1.23	4.24	1.18	3.41	1.08
		70.0	3.00	1.23	3.88	1.08	4.43	1.40
		75.0	3.10	1.27	3.69	1.03	4.46	1.41
	5.0	10.0						
		20.0	2.95	1.21	4.44	1.24	4.72	1.49
		30.0	3.17	1.30	3.95	1.10	4.56	1.44
		40.0	3.23	1.32	4.51	1.26	4.11	1.30
		50.0	3.37	1.38	4.80	1.34	3.85	1.22
		60.0	3.33	1.36	4.98	1.39	3.62	1.15
		70.0	3.34	1.37	4.94	1.38	3.90	1.23
		75.0	3.61	1.48	4.82	1.35	4.56	1.44
	10.0	10.0						
		20.0	3.09	1.26	5.00	1.40	5.07	1.60
		30.0	3.47	1.42	4.81	1.34	4.42	1.40
		40.0	3.59	1.47	5.26	1.47	4.61	1.46
		50.0	3.87	1.58	5.79	1.62	4.20	1.33
		60.0	3.66	1.50	6.14	1.71	3.53	1.12
		70.0	3.84	1.57	6.16	1.72	3.86	1.22
		75.0	4.14	1.69	6.00	1.67	4.97	1.57
	15.0	10.0						
		20.0	3.17	1.29	5.32	1.48	6.03	1.91
		30.0	3.60	1.47	5.37	1.50	4.36	1.38
		40.0	3.92	1.60	6.20	1.73	4.92	1.56
		50.0	4.08	1.67	6.79	1.90	4.28	1.36
		60.0	4.06	1.66	7.19	2.01	3.78	1.20
		70.0	4.21	1.72	7.13	1.99	4.69	1.48
		75.0	4.40	1.80	7.16	2.00	5.42	1.71

積載重量 W(ton)	段 差 H(mm)	走行速度 V (km/hr)	前 軸 最大荷重 F1max	動的係數 i (F1max)	中 軸 最大荷重 F2max	動的係數 i (F2max)	後 軸 最大荷重 F3max	動的係數 i (F3max)
8.0	20.0	10.0						
		20.0	3.29	1.34	5.41	1.51	6.64	2.10
		30.0	3.86	1.58	5.99	1.67	4.72	1.49
		40.0	4.14	1.69	6.57	1.83	5.43	1.72
		50.0	4.44	1.81	7.43	2.07	4.60	1.45
		60.0	4.36	1.78	7.83	2.19	4.16	1.32
		70.0	4.59	1.87	7.89	2.20	5.50	1.74
		75.0	4.92	2.01	8.25	2.30	7.06	2.23
	25.0	10.0						
		20.0	3.41	1.39	5.62	1.57	7.20	2.28
		30.0	4.02	1.64	6.43	1.80	5.48	1.73
		40.0	4.32	1.77	7.22	2.02	5.83	1.85
		50.0	4.79	1.96	8.23	2.30	5.01	1.59
		60.0	4.71	1.92	8.63	2.41	4.63	1.47
		70.0	5.03	2.06	8.79	2.45	6.17	1.95
		75.0	5.24	2.14	9.05	2.53	7.40	2.34
	30.0	10.0						
		20.0	3.71	1.51	6.18	1.73	7.24	2.29
		30.0	4.30	1.76	6.99	1.95	6.25	1.98
		40.0	4.78	1.95	8.03	2.24	5.92	1.87
		50.0	5.17	2.11	8.81	2.46	5.30	1.68
		60.0	5.12	2.09	9.38	2.62	5.24	1.66
		70.0	6.42	2.62	10.15	2.85	6.39	2.02
		75.0	5.68	2.32	9.96	2.78	7.89	2.50

荷重 (ton)

3 軸車試驗結果 f)

積載重量 W(ton)	段 差 H(mm)	走行速度 V (km/hr)	前 軸 最大荷重 F1max	動的係數 i (F1max)	中 軸 最大荷重 F2max	動的係數 i (F2max)	後 軸 最大荷重 F3max	動的係數 i (F3max)
10.0	0.0	10.0	2.78	1.04	4.11	1.07	4.13	1.08
		20.0	2.68	1.06	4.22	1.04	4.47	1.23
		30.0	2.86	1.13	3.85	0.95	4.40	1.21
		40.0	2.79	1.10	3.97	0.98	4.19	1.15
		50.0	3.12	1.23	4.43	1.09	3.83	1.05
		60.0	2.97	1.17	4.41	1.08	4.73	1.30
		70.0	3.15	1.24	3.65	0.90	4.61	1.27
		75.0	3.03	1.20	4.32	1.06	4.26	1.17
	5.0	10.0						
		20.0	2.99	1.18	5.15	1.27	5.04	1.38
		30.0	3.23	1.28	4.42	1.09	5.13	1.41
		40.0	3.28	1.30	5.08	1.25	4.61	1.27
		50.0	3.57	1.41	5.62	1.38	4.34	1.19
		60.0	3.42	1.35	5.75	1.41	4.25	1.17
		70.0	3.58	1.42	5.55	1.37	4.65	1.28
		75.0	3.76	1.49	5.22	1.28	5.14	1.41
	10.0	10.0	3.08	1.16	4.61	1.20	4.69	1.22
		20.0	3.12	1.24	5.28	1.30	5.65	1.55
		30.0	3.51	1.39	5.25	1.29	5.04	1.38
		40.0	3.81	1.51	5.83	1.43	5.03	1.38
		50.0	3.93	1.55	6.27	1.54	4.73	1.30
		60.0	3.81	1.51	6.69	1.64	4.29	1.18
		70.0	3.91	1.55	6.47	1.59	4.15	1.14
		75.0	4.22	1.67	6.33	1.55	5.37	1.48
	15.0	10.0						
		20.0	3.22	1.27	5.75	1.41	6.33	1.74
		30.0	3.70	1.46	5.89	1.45	4.81	1.32
		40.0	4.03	1.59	6.56	1.61	5.46	1.50
		50.0	4.24	1.68	7.17	1.76	4.58	1.26
		60.0	4.17	1.65	7.65	1.88	4.14	1.14
		70.0	4.25	1.68	7.39	1.82	4.65	1.28
		75.0	4.54	1.79	7.35	1.81	5.98	1.64

積載重量 W(ton)	段 差 H(mm)	走行速度 V (km/hr)	前 軸 最大荷重 F1max	動的係數 i (F1max)	中 軸 最大荷重 F2max	動的係數 i (F2max)	後 軸 最大荷重 F3max	動的係數 i (F3max)
10.0	20.0	10.0	3.44	1.29	5.23	1.36	4.92	1.29
		20.0	3.38	1.34	6.02	1.48	7.36	2.02
		30.0	3.90	1.54	6.25	1.54	5.36	1.47
		40.0	4.34	1.72	7.31	1.80	5.80	1.59
		50.0	4.59	1.82	7.73	1.90	5.06	1.39
		60.0	4.50	1.78	8.27	2.03	4.48	1.23
		70.0	4.65	1.84	8.36	2.05	5.19	1.43
		75.0	5.04	1.99	8.22	2.02	6.80	1.87
	25.0	10.0						
		20.0	3.57	1.41	6.03	1.48	7.59	2.09
		30.0	4.21	1.66	7.06	1.75	5.13	1.41
		40.0	4.55	1.80	7.80	1.92	6.32	1.74
		50.0	5.00	1.98	8.74	2.15	5.11	1.40
		60.0	4.86	1.92	9.12	2.24	5.18	1.42
		70.0	5.05	2.00	9.40	2.31	6.31	1.73
		75.0	5.26	2.08	9.24	2.27	7.58	2.08
	30.0	10.0	3.68	1.39	5.11	1.44	5.36	1.40
		20.0	3.67	1.45	6.51	1.60	8.33	2.29
		30.0	4.42	1.75	7.42	1.82	6.15	1.69
		40.0	4.80	1.90	8.37	2.06	6.24	1.71
		50.0	5.18	2.05	9.20	2.26	5.98	1.64
		60.0	5.29	2.09	9.81	2.41	5.52	1.52
		70.0	5.39	2.13	9.92	2.44	6.33	1.74
		75.0	5.80	2.28	10.07	2.48	7.76	2.13

荷重 (ton)

2 軸車試驗結果

積載重量 W(ton)	段 差 H(mm)	走行速度 V (km/hr)	前 軸 最大荷重 F1max	動的係數 i (F1max)	後 軸 最大荷重 F2max	動的係數 i (F2max)
0.0	0.0	10.0	2.55	1.07	2.74	1.15
		20.0	2.55	1.08	2.74	1.15
		40.0	2.84	1.19	3.01	1.27
		60.0	2.87	1.21	3.52	1.48
	10.0	10.0	2.86	1.20	2.85	1.20
		20.0	2.87	1.21	3.54	1.49
		40.0	3.37	1.42	4.30	1.80
		60.0	3.53	1.48	5.07	2.13
	20.0	10.0	3.12	1.32	3.29	1.38
		20.0	3.14	1.32	4.04	1.70
		40.0	3.91	1.65	5.62	2.36
		60.0	4.14	1.74	6.64	2.79
8.0	0.0	10.0	3.01	1.03	5.89	0.99
		20.0	3.03	1.04	6.18	1.04
		40.0	3.40	1.16	6.63	1.12
		60.0	3.29	1.13	7.18	1.21
	10.0	10.0	3.37	1.15	6.68	1.13
		20.0	3.41	1.17	7.50	1.27
		40.0	3.90	1.33	7.94	1.34
		60.0	3.99	1.37	8.39	1.41
	20.0	10.0	3.44	1.18	7.46	1.26
		20.0	3.66	1.26	8.30	1.40
		40.0	4.36	1.50	8.88	1.50
		60.0	4.58	1.57	9.58	1.62

5 軸車試驗結果

積載重量 W(ton)	段 差 H(mm)	走行速度 V (km/hr)	1 軸 最大荷重 F1max	動的係數 i (F1max)	2 軸 最大荷重 F2max	動的係數 i (F2max)	3 軸 最大荷重 F3max	動的係數 i (F3max)	4 軸 最大荷重 F4max	動的係數 i (F4max)	5 軸 最大荷重 F5max	動的係數 i (F5max)
6.0	0.0	10.0	2.65	1.03	2.93	1.05	2.98	1.05	2.74	1.03	2.71	1.01
		20.0	2.71	1.06	3.06	1.09	3.05	1.08	2.69	1.01	3.12	1.17
		40.0	2.82	1.10	3.35	1.19	3.28	1.15	2.80	1.05	2.85	1.06
		60.0	2.92	1.14	3.22	1.15	3.22	1.14	3.52	1.32	3.05	1.14
	10.0	10.0	2.93	1.14	3.10	1.10	3.31	1.17	2.97	1.11	2.98	1.11
		20.0	2.87	1.12	3.54	1.27	4.12	1.45	3.74	1.40	3.77	1.41
		40.0	3.43	1.33	4.72	1.68	4.12	1.45	4.48	1.68	4.83	1.81
		60.0	3.66	1.43	5.05	1.80	3.44	1.21	5.14	1.92	3.11	1.16
	20.0	10.0	3.19	1.24	3.30	1.18	3.62	1.28	3.24	1.21	3.13	1.17
		20.0	3.12	1.22	4.13	1.47	5.18	1.83	4.49	1.68	4.68	1.75
		40.0	4.02	1.57	5.95	2.12	4.72	1.66	5.72	2.14	6.53	2.44
		60.0	4.47	1.74	6.43	2.29	4.93	1.74	6.95	2.60	3.00	1.13
20.0	0.0	10.0	2.88	1.09	4.47	1.04	4.60	1.04	4.60	1.03	4.52	1.01
		20.0	2.90	1.09	4.52	1.06	4.62	1.04	4.65	1.05	4.64	1.05
		40.0	2.93	1.11	4.87	1.13	4.82	1.09	4.84	1.09	4.48	1.01
		60.0	3.10	1.17	5.08	1.18	4.71	1.06	4.96	1.12	4.82	1.09
	10.0	10.0	3.14	1.19	4.73	1.10	4.97	1.12	4.94	1.11	5.06	1.14
		20.0	3.05	1.15	4.97	1.16	5.11	1.15	5.26	1.18	5.01	1.13
		40.0	3.53	1.33	6.36	1.48	6.73	1.52	6.46	1.45	7.27	1.64
		60.0	3.80	1.43	6.62	1.54	4.84	1.09	6.57	1.48	6.00	1.35
	20.0	10.0	3.18	1.20	5.29	1.23	4.91	1.11	5.24	1.18	5.35	1.21
		20.0	3.19	1.20	5.49	1.28	5.90	1.33	5.53	1.24	5.56	1.26
		40.0	4.05	1.53	7.11	1.66	7.41	1.63	7.03	1.58	7.90	1.78
		60.0	4.35	1.64	8.02	1.87	5.61	1.27	8.09	1.82	6.20	1.40

荷重 (ton)

表- 2.4 水平荷重と動的係数

3 軸車実験結果 (水平荷重)

積載重量 W(ton)	段 差 H(mm)	走行速度 V (km/hr)	前 軸 最大荷重 H1max	動的係数 i (H1max)	中 軸 最大荷重 H2max	動的係数 i (H2max)	後 軸 最大荷重 H3max	動的係数 i (H3max)
0	10	10	0.29	0.14	0.27	0.18	0.32	0.22
		20	0.45	0.21	0.56	0.36	0.62	0.43
		30	0.42	0.19	0.52	0.34	0.52	0.36
		40	0.53	0.25	0.63	0.41	0.35	0.24
		50	0.60	0.28	0.62	0.40	0.20	0.14
		60	0.55	0.25	0.58	0.37	0.35	0.24
		70	0.53	0.25	0.57	0.37	0.40	0.27
		75	0.56	0.26	0.62	0.40	0.44	0.30
	20	10	0.43	0.21	0.38	0.25	0.67	0.46
		20	0.66	0.30	0.85	0.55	0.92	0.63
		30	0.66	0.30	1.14	0.73	0.94	0.65
		40	0.80	0.37	1.24	0.80	0.55	0.38
		50	0.95	0.44	1.22	0.80	0.58	0.40
		60	1.00	0.46	1.25	0.80	0.82	0.60
		70	1.02	0.47	1.29	0.83	1.07	0.74
		75	1.02	0.47	1.29	0.83	1.02	0.71

積載重量 W(ton)	段 差 H(mm)	走行速度 V (km/hr)	前 軸 最大荷重 H1max	動的係数 i (H1max)	中 軸 最大荷重 H2max	動的係数 i (H2max)	後 軸 最大荷重 H3max	動的係数 i (H3max)
0	30	10	0.56	0.27	0.63	0.41	0.86	0.58
		20	0.89	0.41	1.36	0.88	1.40	0.96
		30	0.94	0.43	1.66	1.07	1.16	0.80
		40	1.09	0.51	1.79	1.15	0.78	0.54
		50	1.33	0.62	1.98	1.27	1.11	0.77
		60	1.43	0.66	2.02	1.30	1.38	0.95
		70	1.46	0.67	1.88	1.21	1.64	1.13
		75	1.51	0.70	2.04	1.31	1.65	1.13
6	10	10	0.32	0.14	0.39	0.13	0.46	0.16
		20	0.47	0.20	0.60	0.20	0.66	0.25
		30	0.46	0.19	0.66	0.21	0.65	0.24
		40	0.50	0.21	0.73	0.24	0.65	0.25
		50	0.61	0.26	0.81	0.26	0.39	0.15
		60	0.60	0.25	0.77	0.25	0.31	0.12
		70	0.58	0.25	0.80	0.26	0.49	0.18
		75	0.61	0.26	0.72	0.23	0.57	0.22

荷重 (ton)

積載重量 W[ton]	段 差 H[mm]	走行速度 V (km/hr)	前 軸 最大荷重 H1max	動的係数 i (H1max)	中 軸 最大荷重 H2max	動的係数 i (H2max)	後 軸 最大荷重 H3max	動的係数 i (H3max)
	20	10	0.48	0.20	0.53	0.18	0.87	0.30
		20	0.74	0.31	0.98	0.32	1.24	0.47
		30	0.68	0.29	1.14	0.37	0.84	0.32
		40	0.80	0.34	1.27	0.39	1.06	0.40
		50	0.98	0.40	1.45	0.42	0.77	0.28
		60	0.98	0.41	1.45	0.42	0.86	0.26
		70	1.04	0.43	1.49	0.42	1.20	0.37
		75	1.07	0.44	1.44	0.42	1.30	0.44
	30	10	0.63	0.26	0.77	0.27	1.21	0.42
		20	0.98	0.42	1.45	0.47	1.50	0.57
		30	0.98	0.42	1.68	0.55	1.27	0.48
		40	1.12	0.47	2.02	0.66	1.50	0.57
		50	1.27	0.54	2.05	0.67	1.17	0.44
		60	1.43	0.60	2.20	0.72	1.48	0.56
		70	1.48	0.63	2.10	0.69	1.86	0.70
		75	1.56	0.66	2.17	0.71	1.98	0.75

積載重量 W[ton]	段 差 H[mm]	走行速度 V (km/ hr)	前 軸 最大荷重 H1max	動的係数 i (H1max)	中 軸 最大荷重 H2max	動的係数 i (H2max)	後 軸 最大荷重 H3max	動的係数 i (H3max)
10	10	10	0.37	0.14	0.31	0.08	0.55	0.14
		20	0.50	0.20	0.71	0.17	0.74	0.20
		30	0.48	0.19	0.68	0.17	0.70	0.19
		40	0.52	0.21	0.82	0.20	0.62	0.17
		50	0.62	0.24	0.87	0.21	0.58	0.16
		60	0.60	0.24	0.91	0.22	0.52	0.14
		70	0.61	0.24	0.85	0.21	0.54	0.15
		75	0.66	0.26	0.84	0.21	0.69	0.19
	20	10	0.52	0.20	0.62	0.16	0.91	0.24
		20	0.75	0.30	1.04	0.26	1.12	0.31
		30	0.75	0.30	1.07	0.26	0.94	0.26
		40	0.80	0.32	1.34	0.33	1.16	0.32
		50	0.99	0.39	1.52	0.37	0.88	0.24
		60	0.99	0.39	1.51	0.37	0.82	0.23
		70	1.02	0.41	1.46	0.36	1.05	0.29
		75	1.09	0.43	1.46	0.36	1.32	0.36
	30	10	0.67	0.25	0.83	0.22	1.32	0.35
		20	0.97	0.38	1.51	0.37	1.55	0.43
		30	1.01	0.40	1.64	0.40	1.41	0.39
		40	1.09	0.43	1.94	0.48	1.65	0.45
		50	1.30	0.51	2.16	0.53	1.37	0.38
		60	1.43	0.56	2.31	0.57	1.43	0.39
		70	1.50	0.59	2.22	0.54	1.76	0.48
		77	1.56	0.62	2.17	0.53	1.97	0.54

荷重 [ton]

表- 2.5 実橋試験結果

車 種	速 度 (km / h)	荷 重 お よ び 動 的 係 数										
		四 万 騎 橋			中 佐 谷 橋		山 田 橋		九 重 橋		白 鷺 橋	
			入 口	出 口	入 口	出 口	入 口	出 口	入 口	出 口	入 口	出 口
2 軸 車	40	後 軸	18.9	15.9	14.7	15.4	16.2	17.3	18.2	17.9	19.5	19.0
			0.61	0.35	0.25	0.31	0.37	0.47	0.55	0.52	0.66	0.61
		“ 左車輪	10.0	8.0	7.6	8.4	8.6	9.5	10.0	9.5	10.6	9.9
			0.70	0.36	0.30	0.43	0.45	0.62	0.69	0.62	0.80	0.68
	60	後 軸	17.6	15.6	17.4	16.1	17.2	15.4	20.6	17.6	19.4	17.8
			0.50	0.33	0.48	0.36	0.46	0.31	0.74	0.50	0.64	0.51
		“ 左車輪	9.4	8.4	8.5	9.8	8.7	9.4	10.3	9.4	10.0	9.1
			0.60	0.43	0.45	0.67	0.48	0.60	0.75	0.59	0.70	0.55
3 軸 車	40	中 軸	12.3	11.4	10.1	11.5	10.8	14.9	15.2	15.8	13.1	14.9
			0.63	0.50	0.33	0.52	0.42	0.97	1.00	1.08	0.73	0.97
		“ 左車輪	7.4	6.1	6.4	8.2	7.7	11.3	6.8	8.7	7.3	8.5
			0.97	0.60	0.70	1.18	1.05	1.99	0.81	1.29	0.94	1.25
	60	中 軸	11.8	10.1	10.5	16.4	12.0	15.3	14.4	14.2	14.7	16.3
			0.56	0.34	0.39	1.16	0.58	1.02	0.90	0.87	0.94	1.16
		“ 左車輪	5.6	5.8	7.0	11.7	9.0	11.2	8.7	9.3	9.2	10.7
			0.48	0.53	0.86	2.08	1.37	1.95	1.29	1.45	1.44	1.84
5 軸 車	30	第 2 軸	8.4	7.3	—	—	7.3	9.5	12.1	10.2	11.1	11.7
			0.51	0.32	—	—	0.32	0.72	1.19	0.85	1.02	1.13
		“ 左車輪	5.8	3.9	—	—	5.7	9.5	7.9	5.6	6.0	6.6
			1.12	0.42	—	—	1.07	2.46	1.85	1.02	1.19	1.41
	40	第 2 軸	9.4	8.6	8.0	9.9	8.0	9.8	9.5	10.3	11.7	12.1
			0.71	0.57	0.46	0.81	0.46	0.77	0.74	0.87	1.12	1.20
		“ 左車輪	7.2	5.2	5.0	7.1	6.3	10.1	5.9	6.2	7.3	6.3
			1.60	0.89	0.81	1.56	1.29	2.65	1.14	1.26	1.66	1.29

注：1) 上欄：荷重 (ton)、下欄：動的係数

2) 評価区間：伸縮装置± 6 m

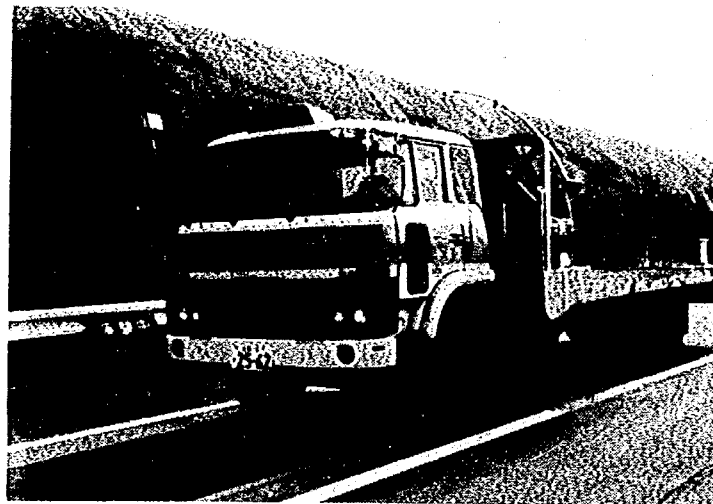


写真2.1 2 軸 車



写真2.2 3 軸車（ダンプトラック）



写真2.3 5 軸車（セミトレーラ）



写真 2.4 突き合せ型伸縮装置

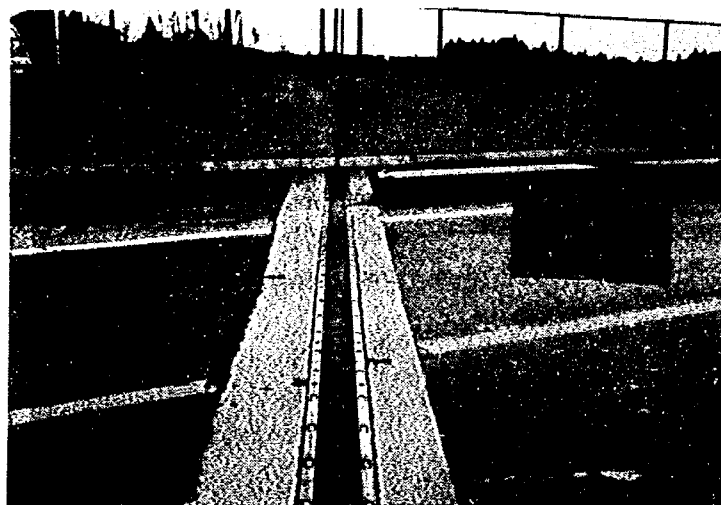


写真 2.5 ゴム系伸縮装置

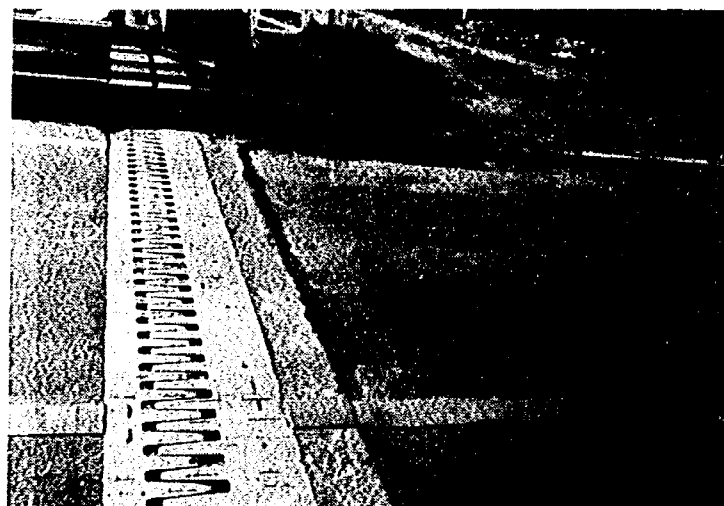


写真 2.6 鋼製伸縮装置

橋梁の設計動荷重に関する
試験調査報告書(VIII-1985)

I S S N 0386-5878
土木研究所資料第2258号
昭和60年12月(1985)
横山 功一・井上 純三
藤 城 隆・永 原 隆

キーワード：路面凹凸、走行荷重、動的応答、衝撃係数、シミュレーション、伸縮装置

要 旨 近年、自動車輸送量の増大、道路網の整備に伴ない、走行車両の大型化、重量化、高速化が進行し、以前あまり問題視されなかった走行車両による動的問題がクローズアップされてきた。構造研究室では従来より、実橋実測、シミュレーションモデルによる数値解析、模型実験などにより走行車両の動荷重と橋の動的応答に関する基礎的な調査を進めて来た。本報告書は、以上一連の調査並びに59年度に実施した調査、解析をとりまとめたものである。

郵便はがき

いは40
。って
切下手
を下を

3 0 5 - □ □

建設省土木研究所
構造研究室 御中

茨城県筑波郡豊里町
大字旭一番地

No. 13

No. 13

配布先氏名

配布先住所



土木研究所資料第2258号 部

上記のとおり受領しました。

所 属（住所）

氏 名 印