

土 木 研 究 所 資 料

連続桁高架橋交通振動実測調査報告書

昭和62年7月

建設省土木研究所
構造橋梁部構造研究室

Copyright ©(1987)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、複写は、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。

連続桁高架橋交通振動実測調査報告書

構造研究室 室長 横山 功一
研究員 井上 純三
伊関 英彦

要 旨

連続桁高架橋の交通振動特性を把握し、上部構造形式による振動軽減対策としての有効性を検証するために、高架橋交通振動の実測調査を行った。昨年度同様な実測調査を行った単純桁高架橋と比較した結果、連続桁形式の方が構造物自体の振動の大きさについて、かなりの軽減効果のあることがわかった。

キーワード：連続桁高架橋，主桁の連続化，振動軽減対策

ま え が き

走行車両による構造物及び地盤の振動は道路交通振動と呼ばれ、騒音、大気汚染などとともに道路環境問題の一つとなっている。交通振動レベルの実態調査によると、軟弱地盤など一部を除き要請限度を超えるケースはまれであり、沿道からの苦情が寄せられた場合でもオーバーレイなど路面補修により対応できることが多い。しかし、都市内の高架道路では振動レベルが要請限度値以下であっても沿道から苦情が寄せられたりするケースも報告されている。この理由は高架道路の振動特性が平面道路とは異なる面が見られることその他、都市内という立地特性によるところが大きいと思われる。

高架道路の交通振動特性に関する調査は関係機関においてかなり行われるようになってきており¹⁾、その振動特性は次第に明らかになってきている。しかしながら、有効、かつ実用的な振動軽減対策については振動の発生、伝播のメカニズムが複雑であるため、未だ結論が得られていないようである。

土木研究所では従来より高架道路の交通振動について振動レベルの予測式の検討を行って、昭和61年度にスタートした新しい環境アセスメント制度、即ち建設省所管道路事業環境影響評価技術指針²⁾に反映させた。

また昭和60年度からは高架道路の振動特性、振動軽減対策についての調査も開始し、先ず高架道路の代表例として単純桁の高架橋を対象とした実測調査を行い、振動特性の把握、高架構造面からの振動軽減対策の検討を行った³⁾。

昭和61年度は同様の実測調査を多径間連続桁高架橋を対象に行い、振動の特性や大きさについて単純桁高架橋と比較し、本構造形式の振動軽減対策上の効果を明らかにした。本報告書はこの成果をとりまとめたものである。

目 次

ま え が き

1. 概 説	1
1.1 調査の目的	1
1.2 調査経緯	1
1.3 調査概要	2
2. 調査内容	3
2.1 調査橋梁	3
2.2 調査項目	3
2.3 調査方法	11
3. 調査結果	14
3.1 時刻歴図	14
3.2 最大加速度	14
3.3 スペクトル解析	31
3.4 振動モード	38
4. 多径間連続桁高架橋と単純桁高架橋との比較	44
4.1 最大加速度	44
4.2 周波数特性	49
4.3 構造的対策の検討	50
4.3.1 主桁の連続化と振動軽減効果	50
4.3.2 主桁、橋脚の剛性、質量	51
5. ま と め	53
謝 辞	54
参 考 文 献	54

1. 概 説

1.1 調 査 目 的

高架道路は一般の平面道路とは異なり、自動車からの振動が高架橋の桁、橋脚、基礎などの構造物を介して沿道地盤に伝播する。このため、振動の成分や卓越振動数などの振動特性も他の道路構造とは異なり、振動に関する苦情が生じたり、また有効な振動軽減対策のとり方が難しくなる原因となっている。現在までに①高架構造面からの対策 ②伝播経路対策 ③受振点対策 ④交通制御 など様々な面からの対策が検討されているが、高架道路の振動特性や対策の実現性を考慮した場合、発生源となる振動を抑える高架構造面からの対策を検討するのが基本となろう。

高架構造面からの対策は、高架橋の上部構造、伸縮装置部、下部構造（橋脚、基礎）についてそれぞれ検討されている。この調査では上部構造形式（多径間連続桁）による対策の有効性について明らかにするために実測調査を行うこととした。

1.2 調 査 経 緯

1.2.1 単純桁高架橋での実測

単純桁高架橋での振動実測調査はかなり行われている。阪神公団で行われた単純桁高架橋（T型橋脚）における20t車走行試験結果⁴⁾によると、高架橋各部には以下のような成分の振動が生じている。

- 1) 1～2 Hz ; 橋脚の橋軸直角方向の曲げ一次振動
- 2) 3～4 Hz ; 主桁の鉛直方向の曲げ一次によって引き起こされていると考えられる橋軸方向の振動
- 3) 5 Hz 付近 ; 地盤の構造に起因すると推定される橋軸直角方向の成分が優勢な振動
- 4) 7～8 Hz ; T型梁のロッキングに伴う橋軸直角方向の振動
- 5) 11Hz 付近 ; 主桁の鉛直方向の高次振動によって引き起こされると推定される橋軸方向の振動

これらの振動特性は、支承条件（固定、可動）や車両の走行車線（走行、追越し）などによっても変化する。

土木研究所で行われた単純桁高架橋（T型橋脚、門型ラーメン橋脚）における20t車走行試験結果³⁾によると、T型橋脚では門型ラーメン橋脚と比較して橋軸直角面内の曲げ振動が現われやすい他、車両が走行車線を走行した場合の振動が追越し車線を走行した場合の振動と比べてかなり大きくなるなどの違いが見られ、防振対策上は門型ラーメン橋脚がT型橋脚よりも有利な構造であるというデータが得られている。

1.2.2 多径間連続桁高架橋の実測

多径間連続桁高架橋の振動実測調査はあまり行われていないが、阪神公団で行われた3径間連続非合成桁（T型橋脚）で行われた試験車走行による振動実測結果⁵⁾によると、振動の継続時間が単純桁高架橋と比較して長くなるという特徴が得られている。

防振対策上の効果としては桁のたわみ振動や伸縮装置部からの衝撃的な振動という点については単純

桁高架橋よりも有利であるが、振動の継続時間という点では有利とは言えず、実測例も少ない現時点では結論を得るのは難しいとしている。

1.3 調査概要

連続桁高架橋の交通振動特性を把握し、振動軽減対策としての効果を検証するために、高架道路上で試験車（20 t 車）を用いた走行試験を行い高架橋各部の振動加速度、可動支承上の桁の水平変位及び周辺地盤の振動加速度、並びに沿道における音圧を測定した。

対象橋梁は前年度同様な実測調査を行った単純桁高架橋と対比するために、1 径間当りの長さや橋脚形式が概ね同一の 3 径間連続鋼板桁（RC ラーメン橋脚）とした。試験車の走行速度、走行車線を変化させ、これらが振動の大きさに及ぼす影響について明らかにした。最後に、これらのデータをもとに高架橋交通振動に対する構造的対策の有効性について検討した。

2. 調 査 内 容

2.1 調 査 橋 梁

今回、調査対象とした橋梁は阪神高速道路に位置する多径間連続桁高架橋（以下連続桁橋と略）である。

尚、橋梁の選定にあたっては表－１に示すように前年度同様な実測調査を行った単純桁高架橋（以下単純桁橋と略）と対比するために、橋梁下部構造が概ね同一となるようにし、上部構造形式の違い、つまり主桁の連続化による構造的対策が交通振動の特性や大きさに及ぼす影響について調査した。連続桁橋の一般図を図－１に、構造一般図を図－２(1)、(2)に、そして外観を写真－１にそれぞれ示した。

調査対象高架橋周辺の土質調査は、図－３に示した地点において行い、その地盤構成は図－４の土質柱状図によると砂質、シルト質から構成されており、またN値も表層から約20m位まではほぼ10以下であるということから、かなり軟弱な地盤であると言えそうである。

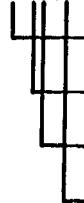
表－１ 調査橋梁概要

調 査 橋 梁	道 路 条 件		高 架 構 造 形 式	
	車 線 数	幅 員	上 部 構 造	下部構造
連 続 桁	4	19.0m	非合成鋼板桁 橋長 81.0 m (27+29+25m)	R C門柱 (ラーメン)
単 純 桁	4	17.6m	合成鋼板桁 橋長 27.5 m	R C門柱 (ラーメン)

2.2 調 査 項 目

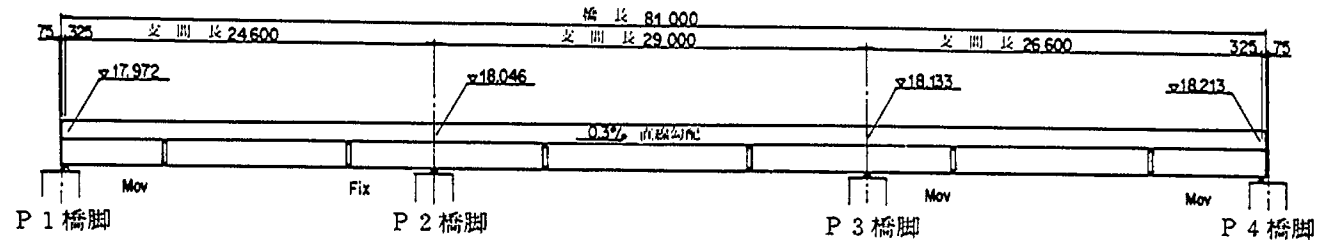
調査項目は、(1)構造物の振動加速度 (2)地盤上の振動加速度 (3)可動支承部の桁と橋脚の相対水平変位 (4)音圧 の4項目とし、総計26成分とした。

調査項目及び測点位置を表－２に、ピックアップの配置を図－５に示す。尚、測点名の記号については、以下のような表示を行うことにする。

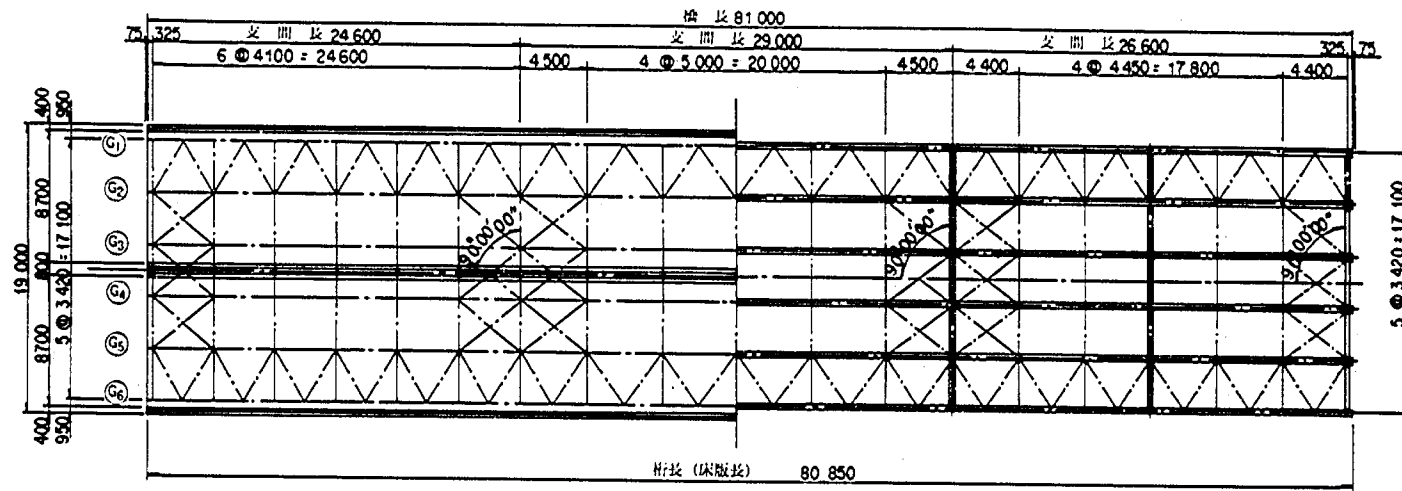
例) P 11 X


 → P : 橋脚, C : 主桁中央, G : 地盤上
 → 測点番号 (橋 軸 方 向)
 → 測点番号 (橋軸直角方向)
 → 振動方向 X : 橋軸方向, Y : 橋軸直角方向, Z : 鉛直方向

側面図



平面図



断面図

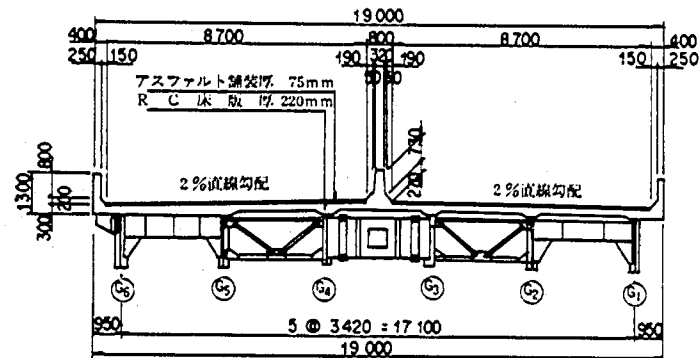
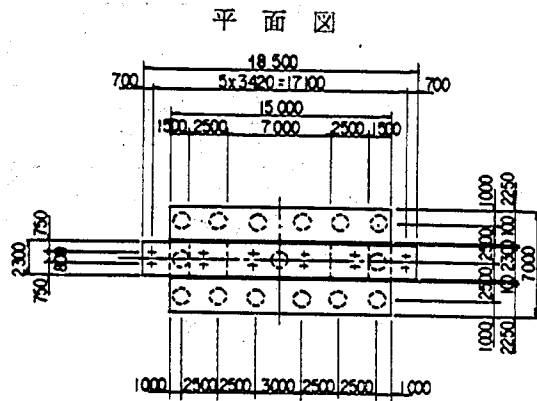
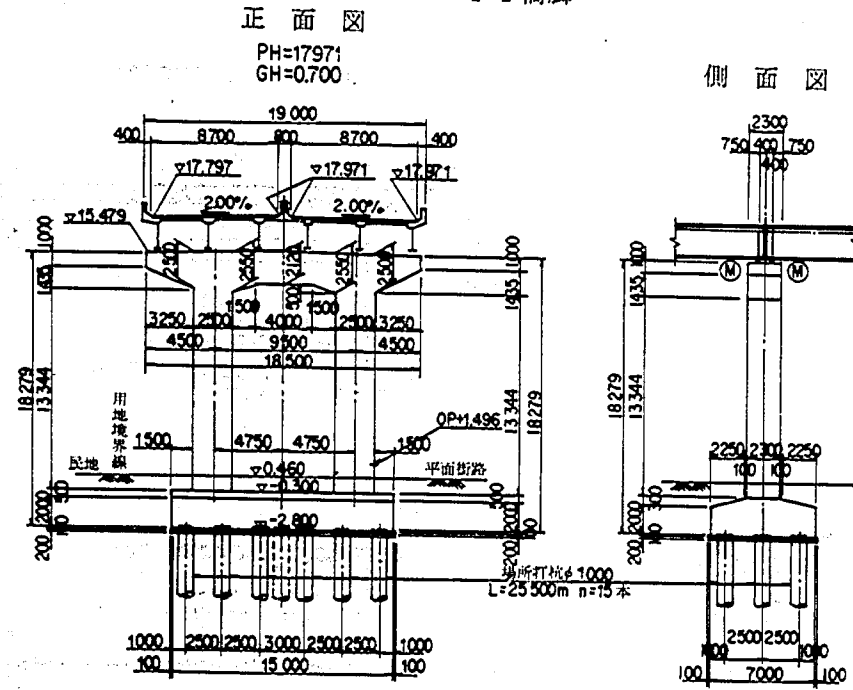


図-1 高架橋一般図

P 1 橋脚



P 2 橋脚

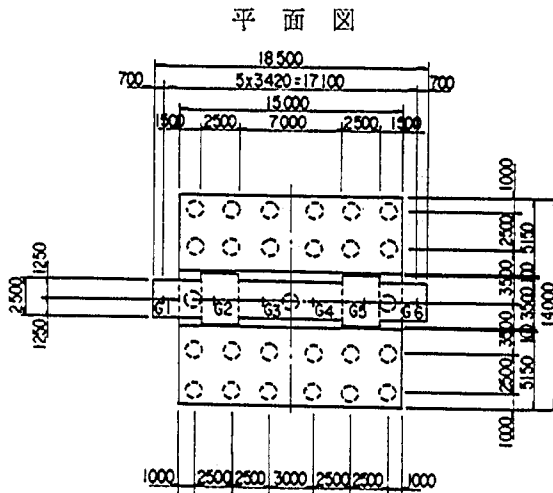
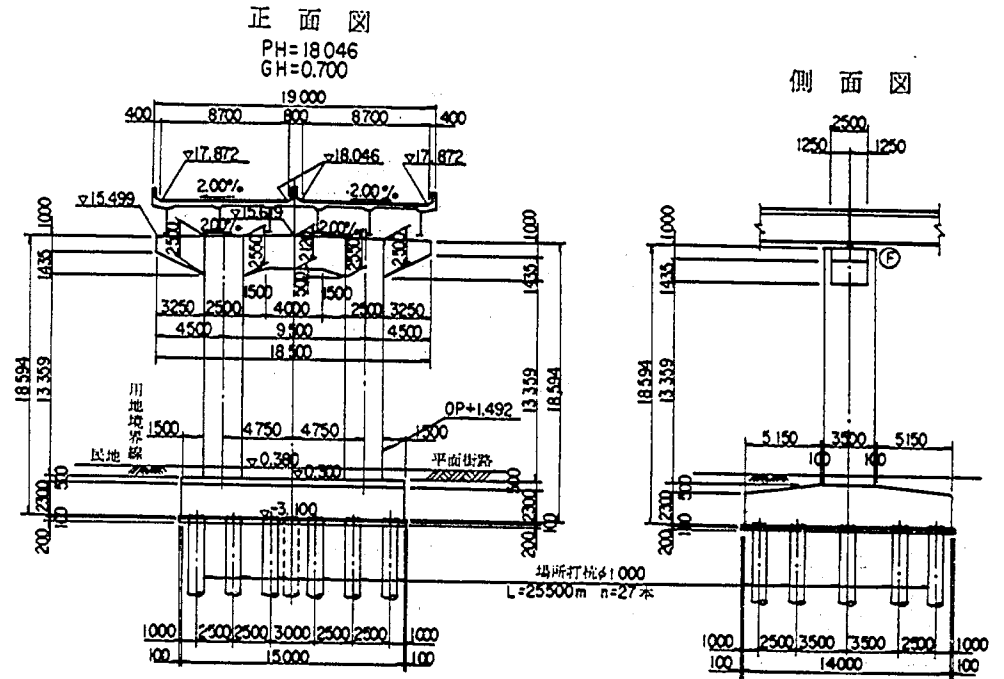
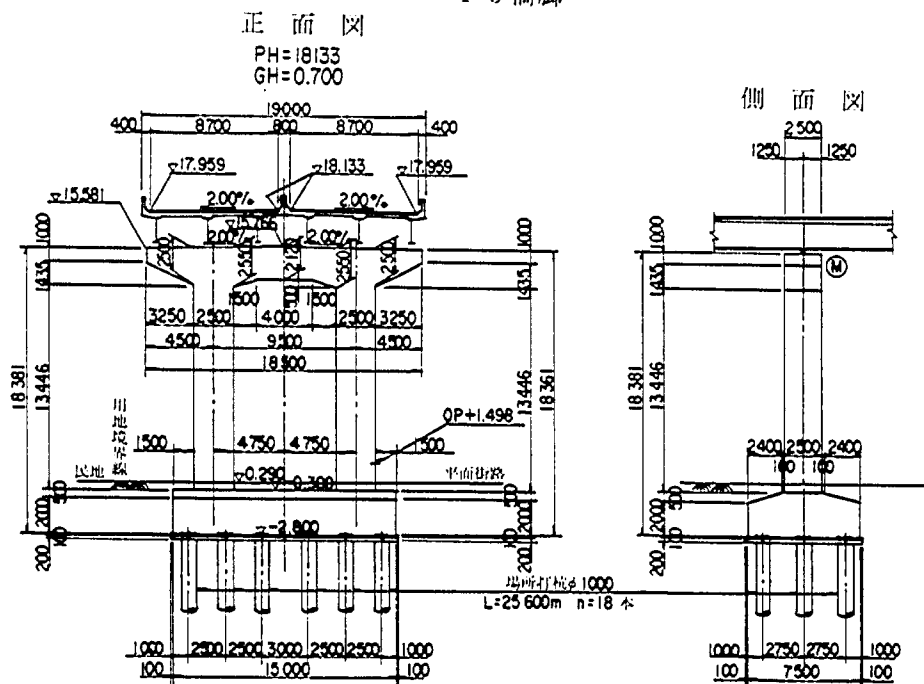


図-2(1) 高架橋構造一般図

P 3 橋脚



P 4 橋脚

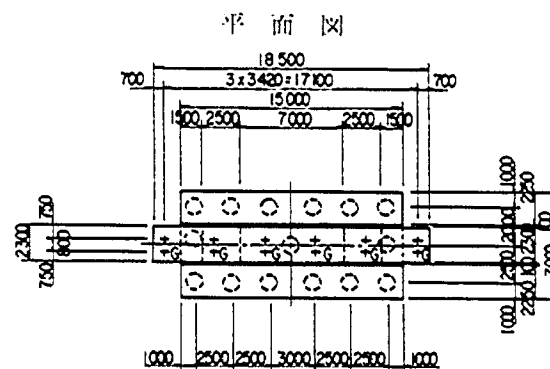
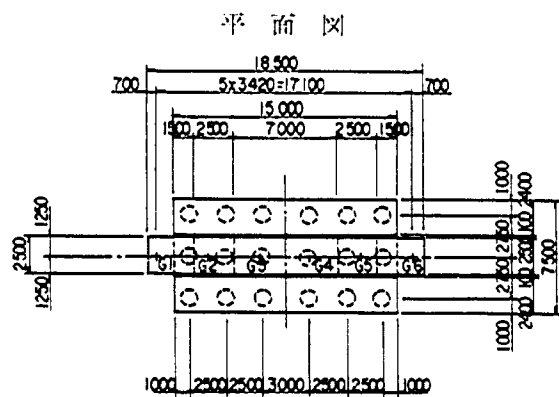
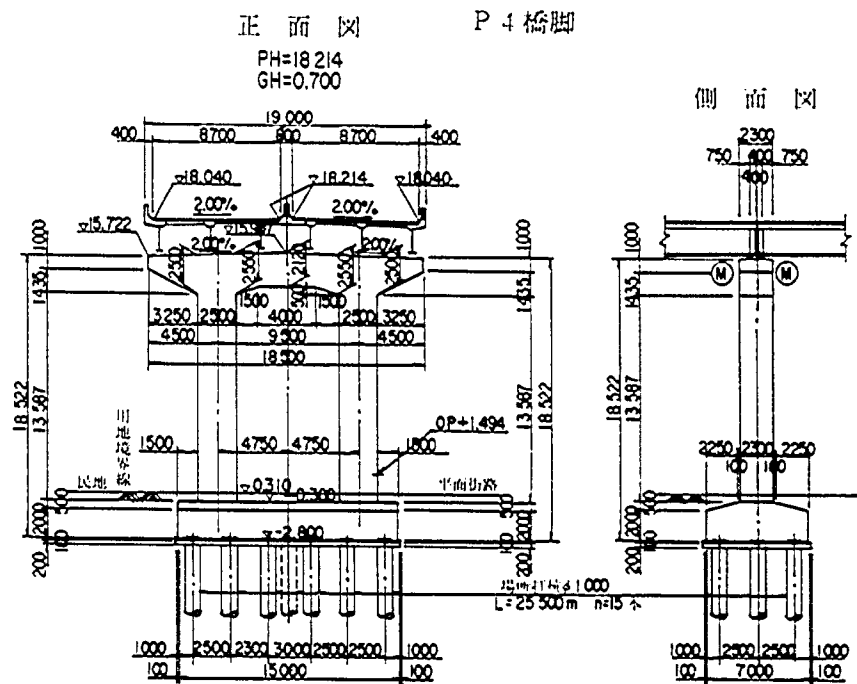
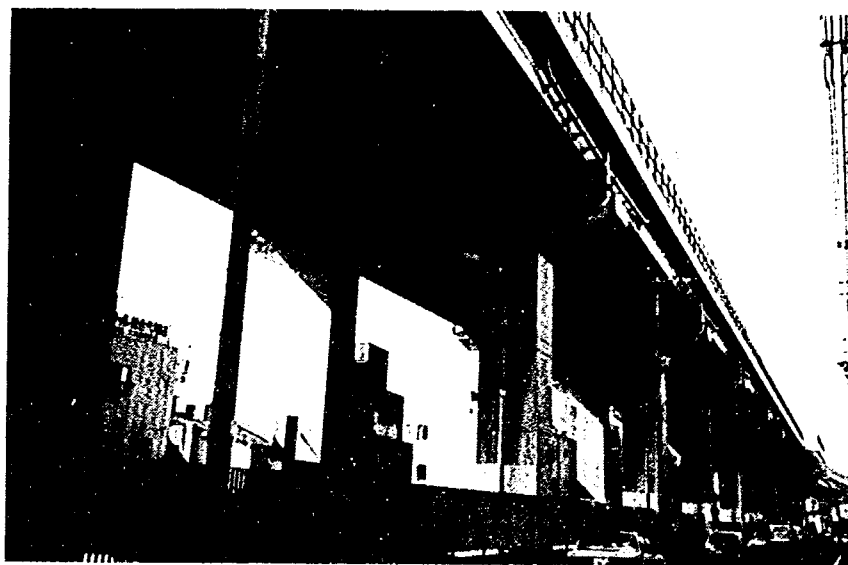
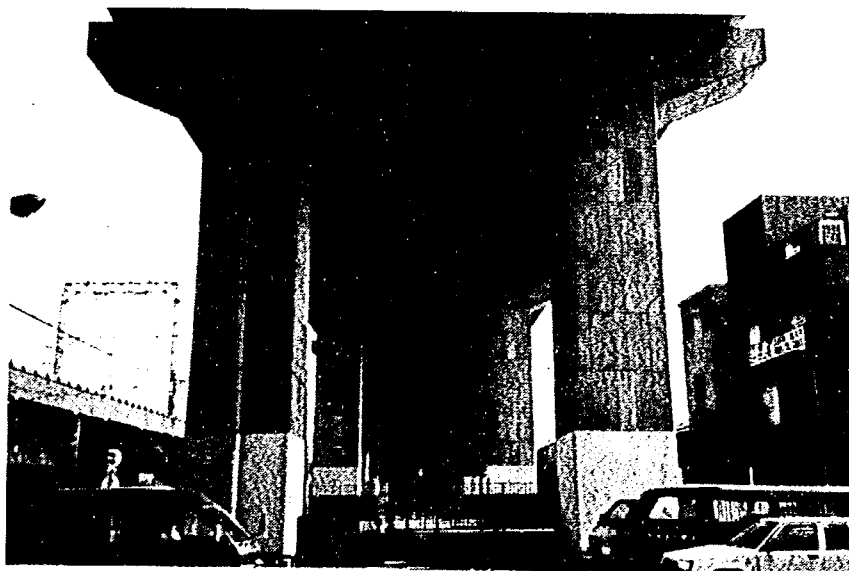


図-2(2) 高架橋構造一般図



対象橋梁全景



橋 脚

写真-1 調査橋梁外観

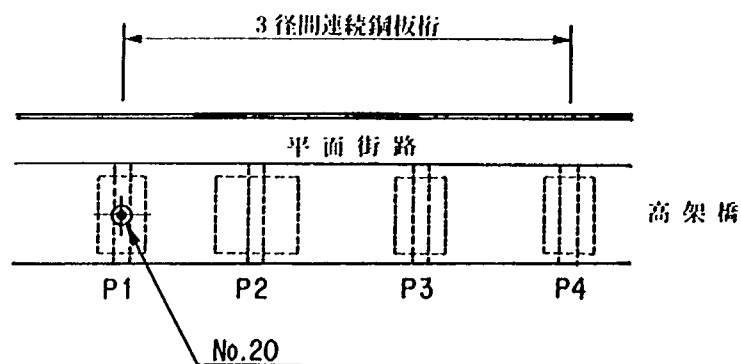


図-3 土質調査位置図

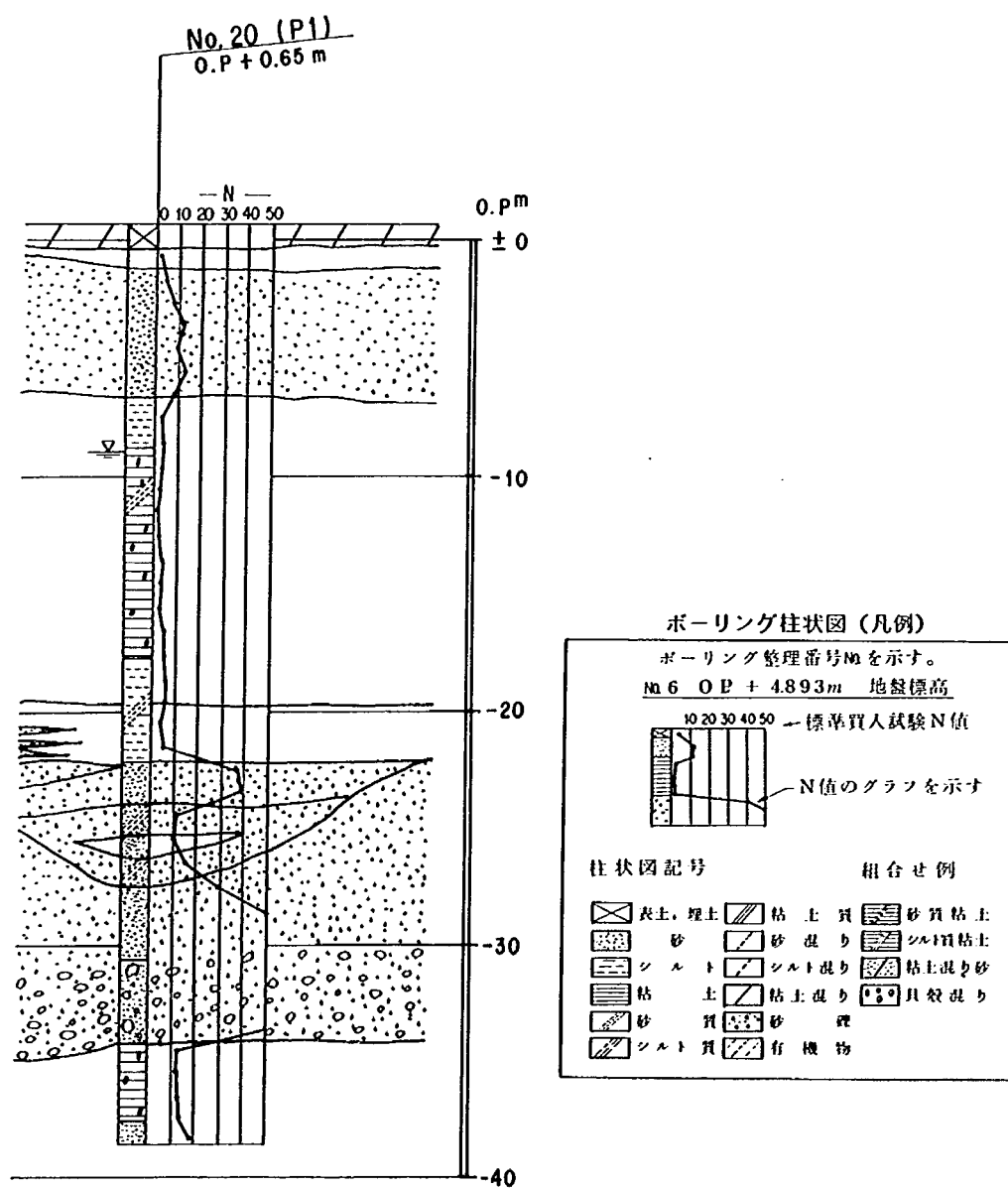


図-4 土質柱状図

表-2 調査項目及び測点位置

調 査 項 目	測 点 名	測 点 位 置	振 動 方 向
振 動 加 速 度	P 11 X P 11 Z	P 1 橋脚天端 橋脚直上部	橋 軸 方 向 鉛 直 方 向
	P 21 X P 21 Y P 21 Z P 22 Z P 23 Z	P 2 橋脚天端 橋脚直上部 P 2 橋脚天端 梁 中 央 部 P 2 橋脚天端 橋脚直上部	橋 軸 方 向 橋軸直角方向 鉛 直 方 向 鉛 直 方 向 鉛 直 方 向
	P 24 X P 24 Y P 24 Z	P 2 橋脚基部	橋 軸 方 向 橋軸直角方向 鉛 直 方 向
	P 31 X P 31 Z	P 3 橋脚天端 橋脚直上部	橋 軸 方 向 鉛 直 方 向
	P 41 Z	P 3 橋脚天端 橋脚直上部	橋 軸 方 向
	C 11 Z C 21 Z C 22 Z C 23 Z C 24 Z C 31 Z	G-2 桁 1/2 スパン (第一径間) G-2 桁 1/2 スパン (第二径間) G-3 桁 1/2 スパン (第二径間) G-4 桁 1/2 スパン (第二径間) G-5 桁 1/2 スパン (第二径間) G-2 桁 1/2 スパン (第三径間)	鉛 直 方 向 鉛 直 方 向 鉛 直 方 向 鉛 直 方 向 鉛 直 方 向 鉛 直 方 向
地盤上振動加速度	G1 Z	P 1 橋脚側面から 4.0 m	鉛 直 方 向
	G2 X G2 Y G2 Z	P 2 橋脚側面から 4.0 m	橋 軸 方 向 橋軸直角方向 鉛 直 方 向
	G3 Z	P 3 橋脚側面から 4.0 m	鉛 直 方 向
変 位	D	G-2 桁	橋 軸 方 向
音 圧	S	P 2 ~ P 3 橋脚中間部	

側面図

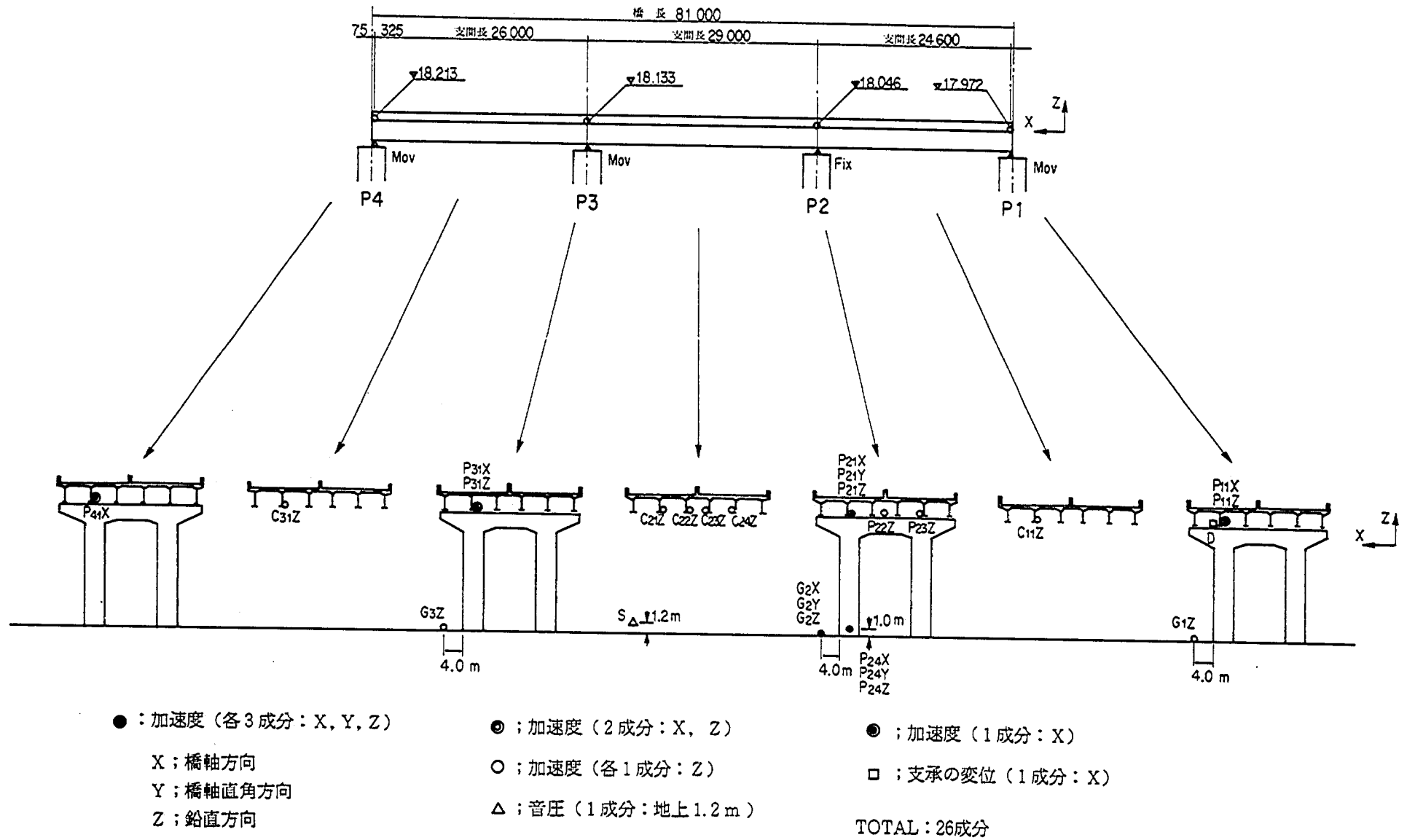


図-5 ピックアップ配置図

2.3 調査方法

2.3.1 調査要領

高架道路上の走行試験は、試験車の走行速度、走行位置を変化させ図-6に示した要領で行い、試験車走行による高架橋各部の振動加速度、周辺地盤での振動加速度、及び沿道における音圧を測定記録した。試験車の走行パターンは表-3のとおりである。走行試験は平面街路及び鉄道等からの振動、騒音の影響を避けるためと、試験車ができるだけ単独走行に近い条件となることを考慮して、深夜に走行車線の一車線を規制した状態で行った。

表-3 試験車走行パターン

走行位置	走行回数			走行回数計
	40km/h	60km/h	70km/h	
走行車線	3	3	3	9
追越車線	—	3	—	3

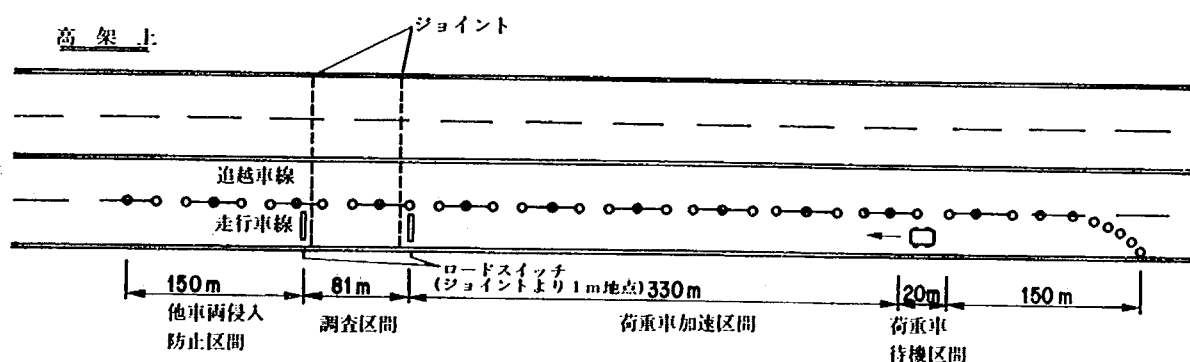


図-6 調査要領図

また対象高架橋の伸縮装置部の前後1mの位置にロードスイッチを設置することにより、試験車の進入、通過の確認、及び走行速度の検出を可能とした。尚、ロードスイッチは交通規制の関係上、走行車線側についてのみ設置した。

2.3.2 計測システム

計測システムは表-4の計器類を用いて図-7に示す通りとし、測定記録はすべてデジタルデータレコーダによる磁気記録とした。尚、振動加速度は周波数範囲0~40 Hzを対象とし、鉛直、及び水平方向の測定を行った。

2.3.3 試験車

試験車は、図-8、表-5に示したように総重量20tの前1軸、後2軸の3軸大型ダンプトラックを用いた。試験車の外観を写真-2に示す。

表-4 使用計器

計器名	型式	メーカー	使用個数	備考
加速度計 (サ-ボ型)	V401BR V401R V401AR	AKASHI	24個	その他 ・中径ケーブル ・ロードスイッチ
変位計 (非接触型)	VJ II-6B-SP (コネクタボックス)	SHINKAWA ELECTNIC	1セット	
低周波音 レベル計	NA-17	RI ON	1セット	
増幅器 (加速度)	N24C N24SA N24E	AKASHI	6台	
デジタル データレコーダ	TEAC DR-2000A (MT-800)	TEAC	1台	
ペン書レコーダ	LINER CORDER MARK V " WR3001 RECTY-HORIZ-8K 23-1-L	WATANABE SAN-EI	3台	
メモリスコープ	MS-5100A	岩通電子 測定器	1台	
マルチメータ	TR6355	タケダ理研	1台	

加速度測定

加 速 度 計
(24 成分)

増 幅 器

変位測定

変 位 計
(1 成分)

増 幅 器

音圧測定

低周波音レベル計
(1 成分)

車速測定

ロードスイッチ車両通過
(1 成分)

ペン書レコーダ
(27 成分)

デジタルデータレコーダ
(27 成分)

図-7 計測システム

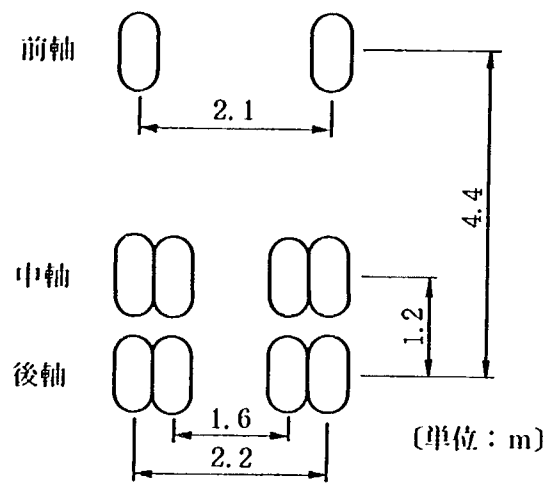


図-8 荷重車諸元 (いすゞ；K-S S Z 4 5 1 D)

表-5 荷重車重量

重 量 (t o n)		
前 軸	中, 後 軸	全
5.3	1 4.6	1 9.9



写真-2 試験車

3. 調 査 結 果

3.1 時 刻 歴 図

試験車の走行によってどのような振動が発生するかを見るために、走行車線走行時、追越し車線走行時の振動波形図を図-9.1、図-9.2にそれぞれ示す。この図では、高架橋の主桁、橋脚天端、橋脚基部、橋脚側面から4.0 m離れた地盤上での鉛直、あるいは水平方向加速度の波形記録と、沿道における音圧波形、及び可動支承部の桁と橋脚の相対水平変位記録を示している。

試験車の進入、通過は対象高架橋の伸縮装置部前後1 mに設置されたロードスイッチの信号(MARKER)により確認することができる。尚、ロードスイッチの設置は走行車線側だけであり、従って追越し車線を走行した時の進入、通過の信号は得られていない。

これらの振動波形図より、主桁の鉛直方向には比較的低い振動数の波が支配的に発生しているのがわかるが、これは桁のたわみ一次振動と考えられる。また橋脚の振動波形より橋軸方向については桁と同じように低い振動数の波が発生しているが、さらに鉛直方向についてみると高い振動数の波が支配的に現われるようになる。これは伸縮装置部の衝撃加振力に対する応答が現われたものと思われる。そして地盤上には、これらの要素が複雑に関係しあって伝播された振動が記録されている。

このように試験車が走行する時に生ずる高架橋各部の振動の特徴的傾向から判断できることは、交通振動の発生原因がこれら主桁のたわみ振動や伸縮装置部の衝撃振動によるものであるということである。

一方、桁の振動は試験車が対象スパン上を走行している時だけでなく、接近して来る時や遠ざかって行く時にも測定されている。伸縮装置部から発生する振動は対象高架橋の前後約80 mの、また桁の振動は対象高架橋の前方約160 m、後方約120 mの範囲で、それぞれ試験車の影響を受けているようである。

3.2 最 大 加 速 度

各種走行試験ケースを終えた結果、高架道路、平面街路ともに他車の影響が少ないデータを1ケースずつ選んで、以下の対象ケースとした。

振動波形図から試験車が走行した時の高架橋の各部、周辺地盤に生ずる振動加速度、及び音圧等の最大値を読み取り表-6に示した。

加速度の最大値は桁中央のZ方向成分が極端に大きく、橋脚天端、橋脚基部、地盤へと伝播していくにしたがって小さくなっている。しかし、これは試験車が走行車線を走行した時に言えることで、追越し車線を走行した時には、橋脚基部のZ方向成分の振動加速度は橋脚天端よりも上回る傾向を示した。

振動加速度と試験車の走行速度、走行位置の関係を図-10に示す。走行速度が速くなれば高架橋各部、及び地盤上の加速度の最大値は、試験車の走行位置に関係なく大きくなるという傾向が確かめられる。また走行速度が同じ時、走行位置の違いによる振動加速度との関係についてみると、追越し車線走行時の方が走行車線走行時よりも高架橋各部、地盤上において小さくなり、高架橋一般に見られるような傾向を示した。

振動の大きさを方向別について比較すると、橋脚天端ではX方向成分の振動が他の成分よりも大きい値

昭和61年度高架橋交通振動実測調査 (LABEL No.12-1)

車 線=走行車線
 設定速度= 60.0 km/h
 実車速度= 58.2 km/h

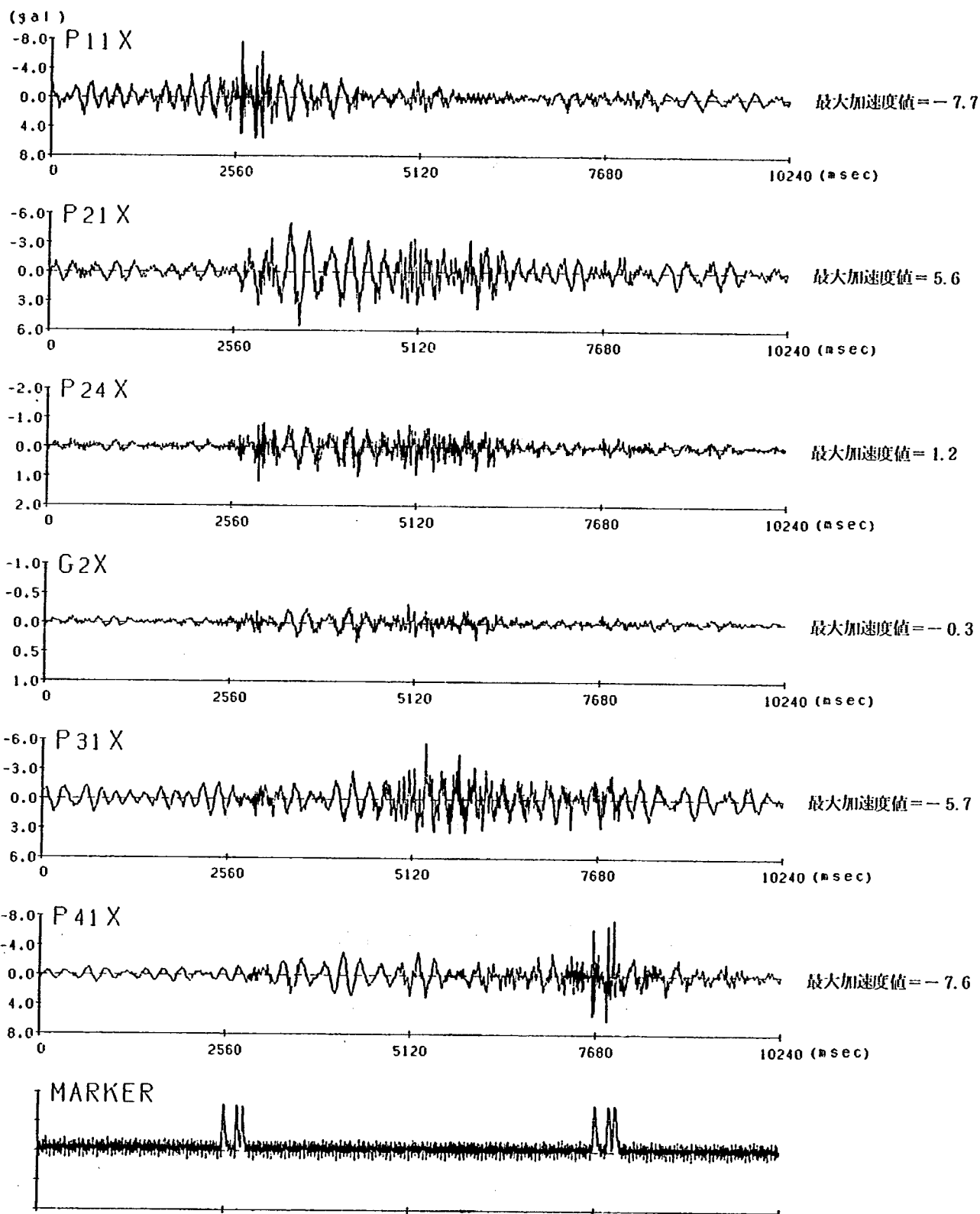


図-9.1(1) 試験車通過時の振動波形 (走行車線 60km/h 走行)

昭和61年度高架橋交通振動実測調査 (LABEL No.12-2)

車 線=走行車線
 設定速度 = 60.0 km/h
 実車速度 = 58.2 km/h

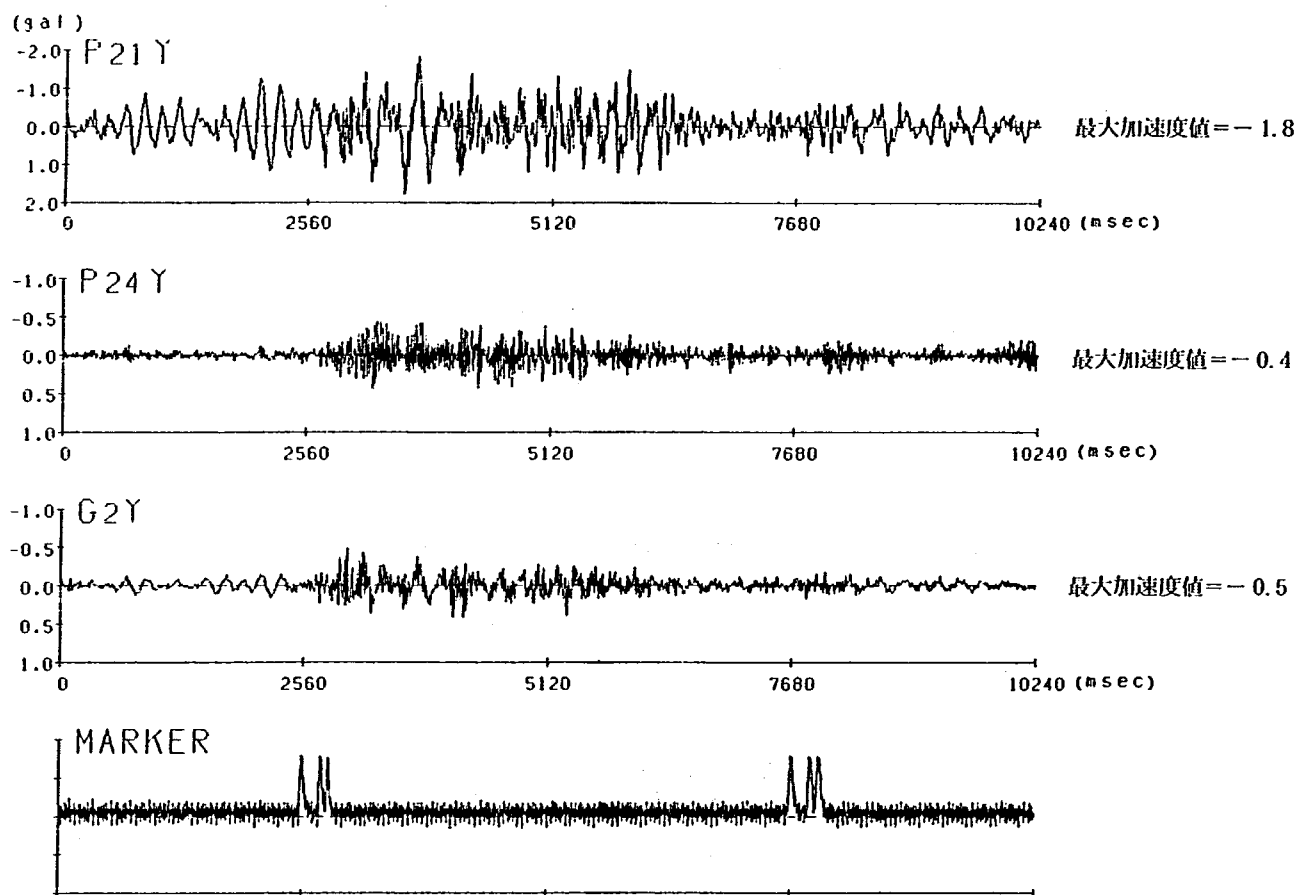


図- 9.1(2) 試験車通過時の振動波形 (走行車線 60km/h 走行)

昭和61年度高架橋交通振動実測調査 (LABEL No.12-3)

車 線=走行車線
 設定速度= 60.0 km/h
 実車速度= 58.2 km/h

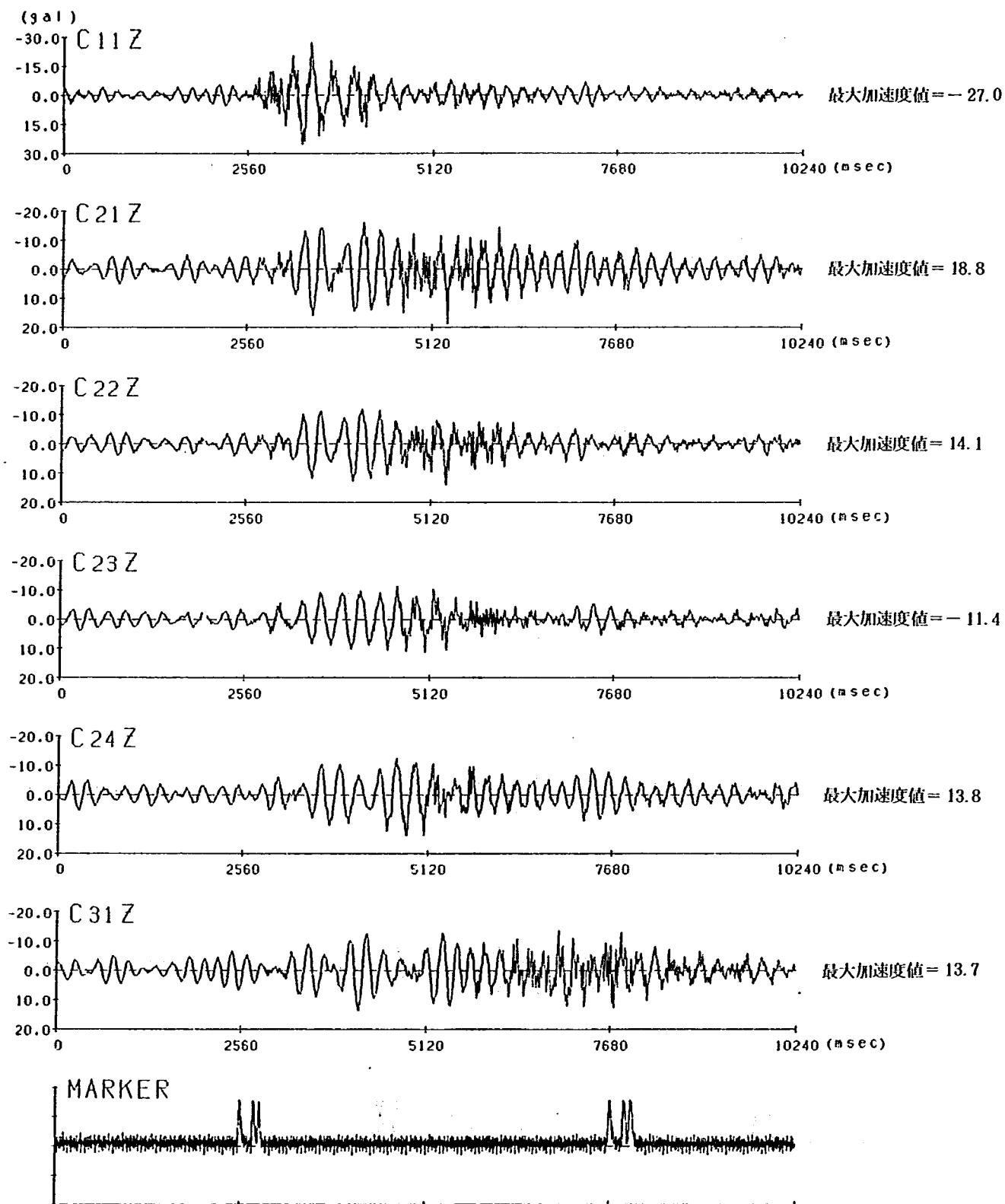


図-9.1(3) 試験車通過時の振動波形 (走行車線 60km/h 走行)

昭和61年度高架橋交通振動実測調査 (LABEL No.12-4)

車 線=走行車線
 設定速度= 60.0 km/h
 実車速度= 58.2 km/h

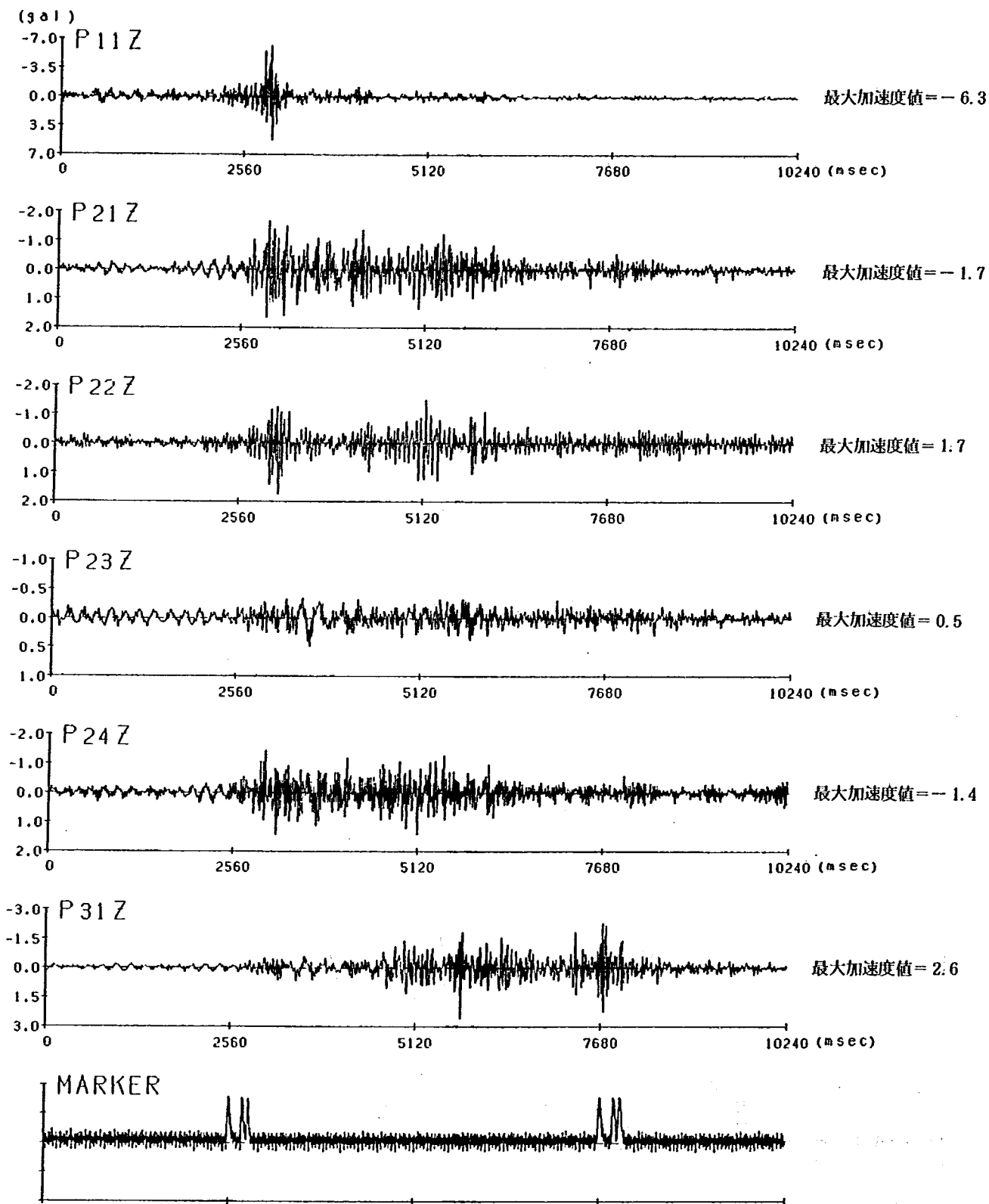


図- 9.1 (4) 試験車通過時の振動波形 (走行車線 60km/h 走行)

昭和61年度高架橋交通振動実測調査 (LABEL No.12-5)

車 線=走行車線
 設定速度= 60.0 km/h
 実車速度= 58.2 km/h

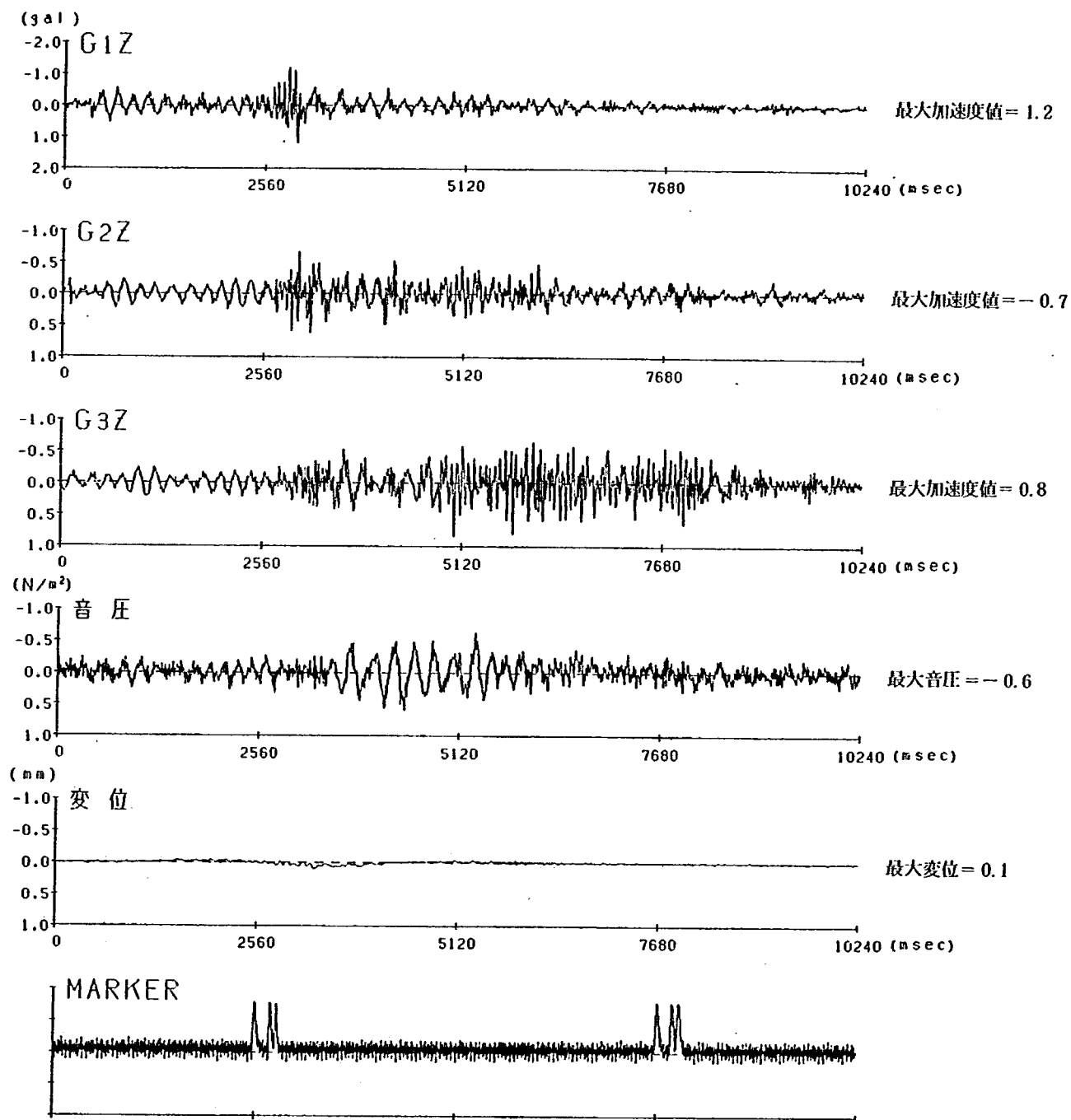


図-9.1(5) 試験車通過時の振動波形 (走行車線 60km/h 走行)

昭和61年度高架橋交通振動実測調査 (LABEL No.23-1)

車 線=追越車線
設定速度=60.0 km/h

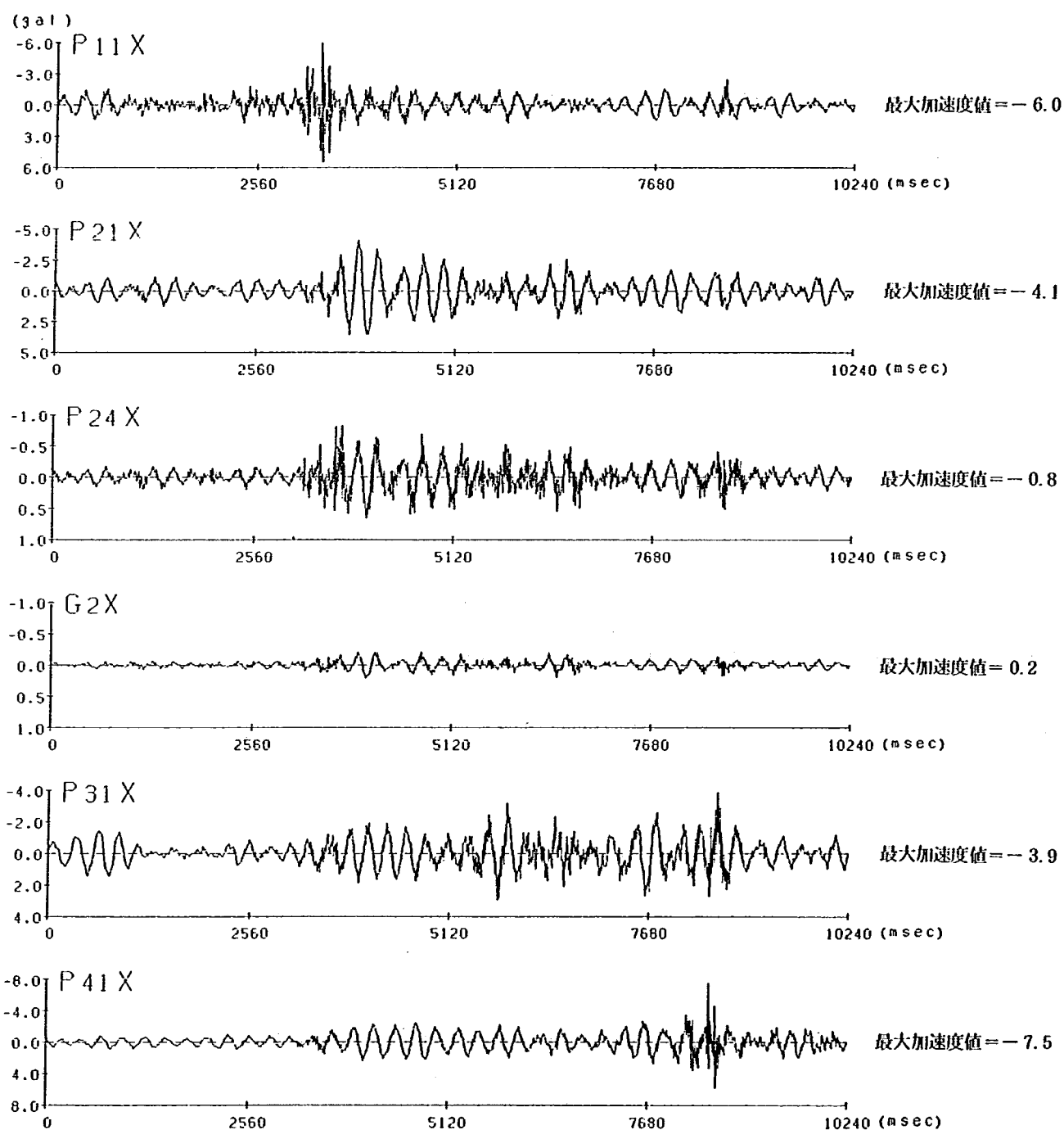


図-9.2(1) 試験車通過時の振動波形 (追越車線 60km/h 走行)

昭和61年度高架橋交通振動実測調査 (LABEL No.23-2)

車 線=追越車線
設定速度= 60.0 km/h

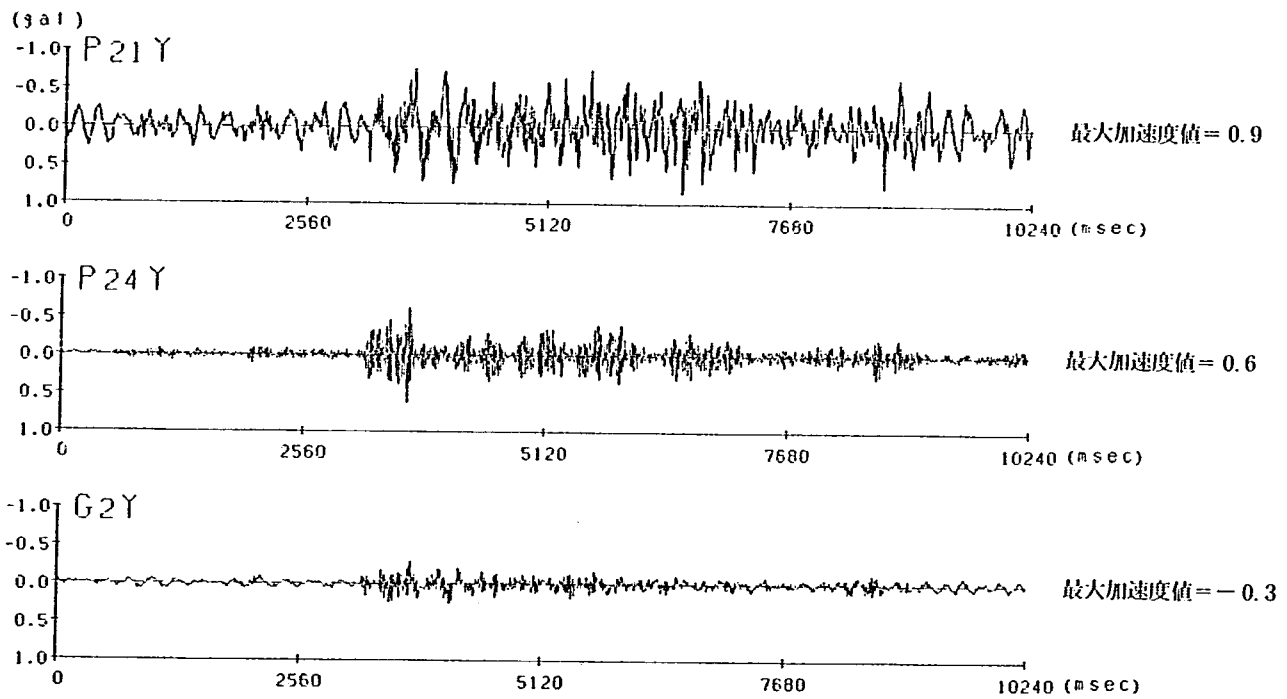


図- 9.2 (2) 試験車通過時の振動波形 (追越車線 60km/h 走行)

昭和61年度高架橋交通振動実測調査 (LABEL No23-3)

車 線 = 追越車線
設定速度 = 60.0 km/h

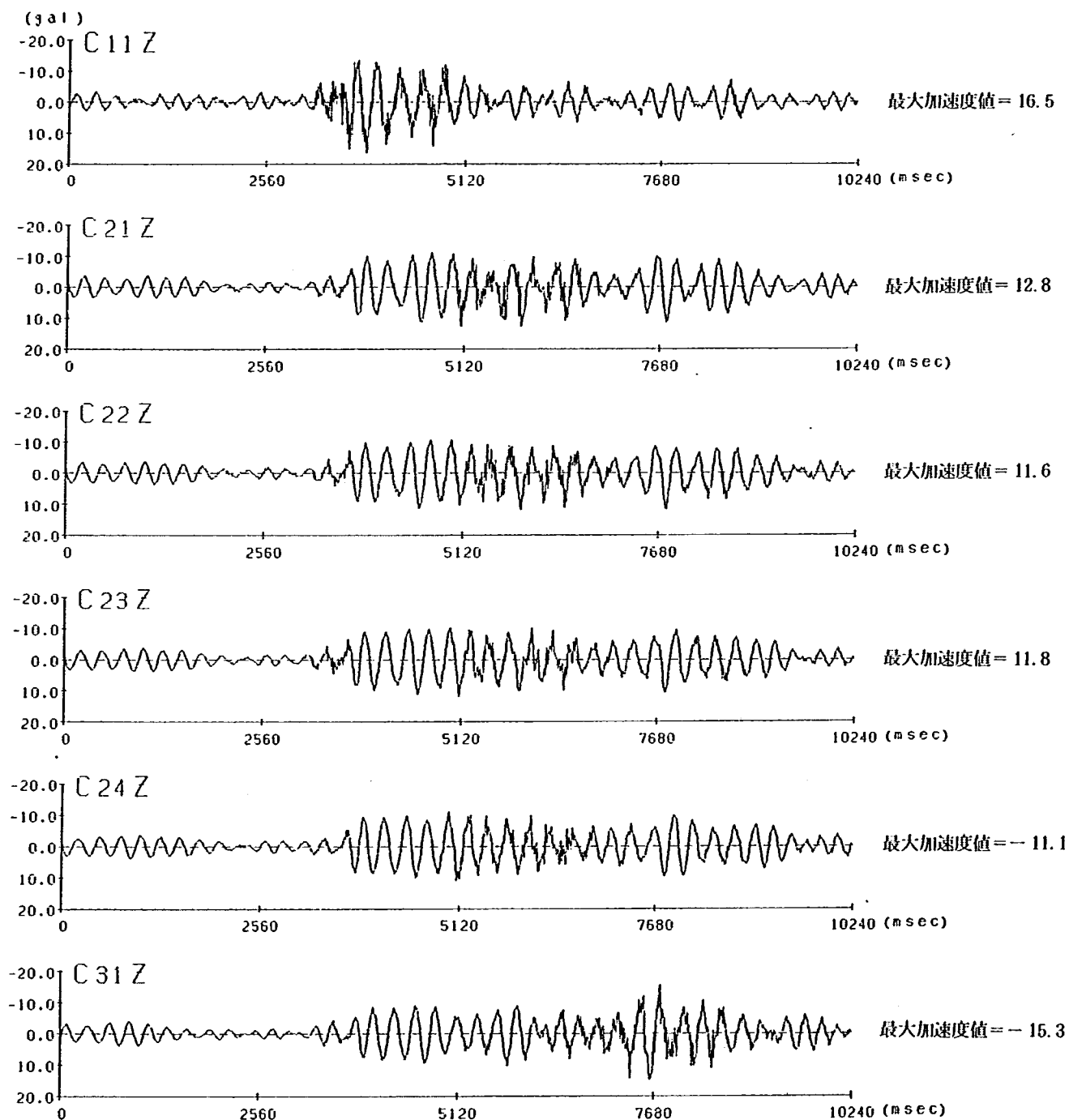


図-9.2(3) 試験車通過時の振動波形 (追越車線 60km/h 走行)

昭和61年度高架橋交通振動実測調査 (LABEL No.23-4)

車 線=追越車線
設定速度=60.0 km/h

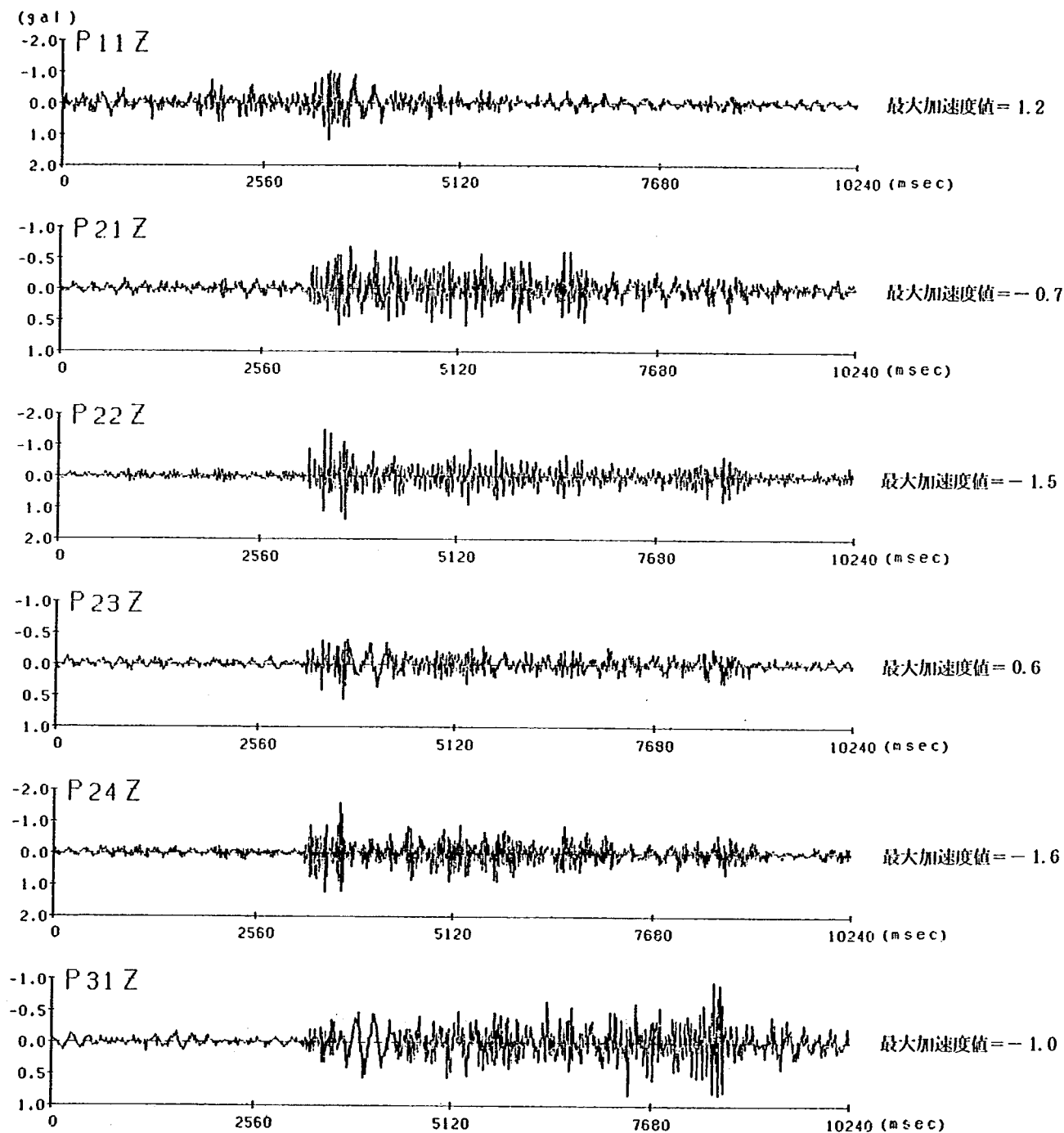


図-9.2(4) 試験車通過時の振動波形 (追越車線 60km/h 走行)

昭和61年度高架橋交通振動実測調査 (LABEL No.23-5)

車 線=追越車線
設定速度=60.0 km/h

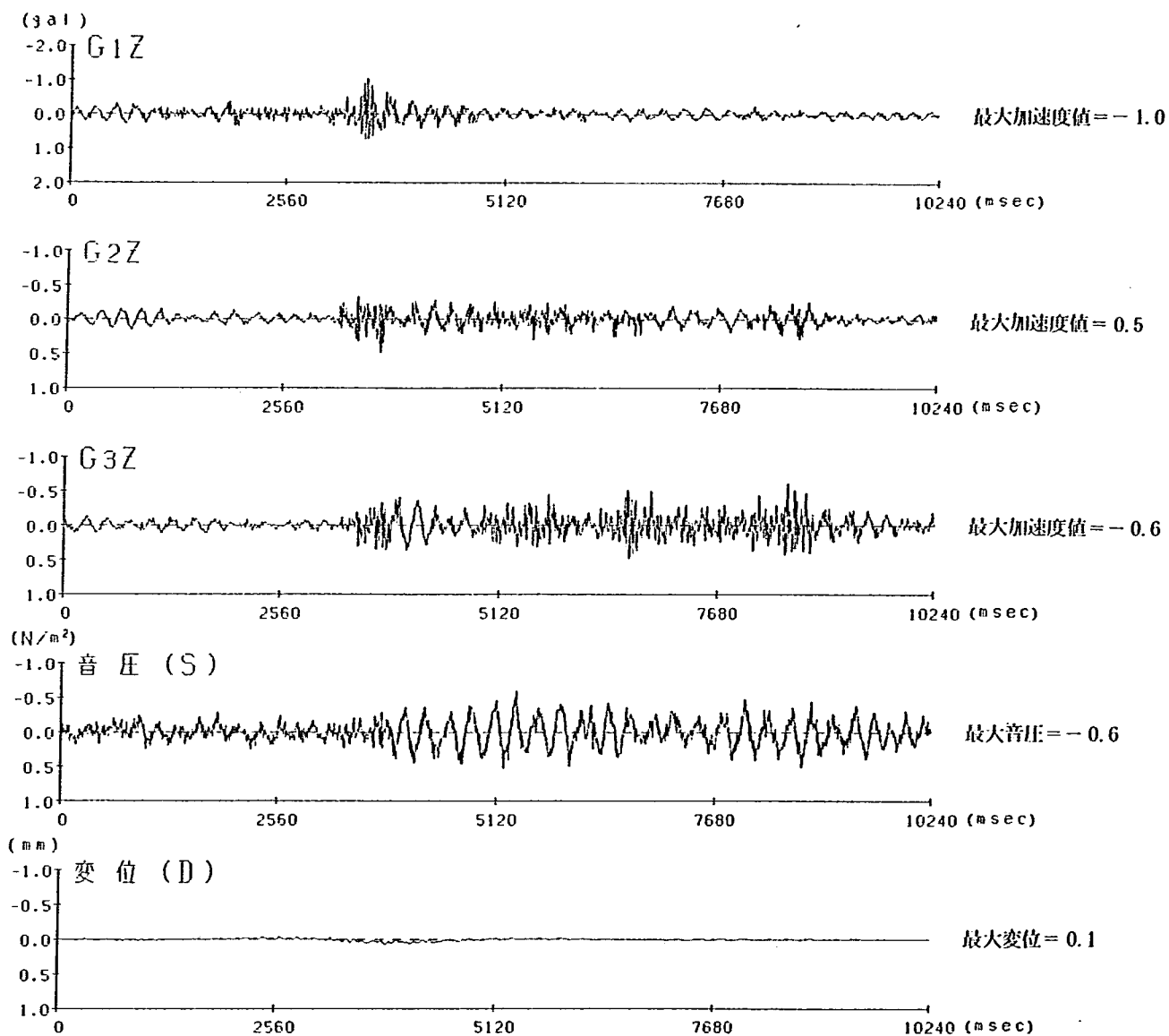
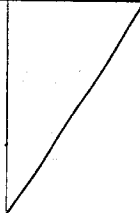


図-9.2(5) 試験車通過時の振動波形 (追越車線 60km/h 走行)

表-6 最大加速度, 最大変位, 最大音圧レベル調査結果一覧表

荷重車走行条件			加 速 度 (gal)																								変位	音 圧 レベル	ラベル
			X 成 分						Y成分			Z 成 分																	
設定走行 速度(km/h)	実車速度 (km/h)	車線	橋 脚					地盤	橋脚		地盤	主 桁					橋 脚					地 盤			支承	(N/m ²)	No.		
			P ₁₁	P ₂₁	P ₂₄	P ₃₁	P ₄₁	G ₂	P ₂₁	P ₂₄	G ₂	C ₁₁	C ₂₁	C ₂₂	C ₂₃	C ₂₄	C ₃₁	P ₁₁	P ₂₁	P ₂₂	P ₂₃	P ₂₄	P ₃₁	G ₁				G ₂	G ₃
40	39.8	走行	7.7	3.7	0.7	3.5	4.8	0.2	1.7	0.8	0.4	19.6	26.3	22.8	17.8	14.5	18.4	3.6	1.5	1.1	1.1	2.0	1.5	1.0	0.5	0.8	0.1	0.7	17
	43.4		8.2	3.8	0.8	2.9	9.2	0.2	1.3	0.4	0.5	22.8	16.2	11.6	11.1	9.3	13.9	3.1	1.9	0.9	0.4	0.9	1.0	0.9	0.5	0.7	0.1	0.5	⑮
	41.0		7.8	4.5	0.8	4.6	7.9	0.3	1.9	0.4	0.4	27.8	34.0	29.7	25.8	17.0	21.5	3.1	1.9	1.3	0.5	1.0	1.4	1.0	0.6	0.7	0.1	1.1	19
60	58.9	走行	8.7	4.7	1.0	5.1	7.4	0.3	2.4	0.7	0.5	20.4	16.2	14.5	15.1	15.1	13.6	4.1	2.3	1.8	0.7	2.1	2.1	1.1	0.6	1.0	0.1	0.8	11
	58.2		7.7	5.6	1.2	5.7	7.6	0.3	1.8	0.4	0.5	27.0	18.8	14.1	11.4	13.8	13.7	6.3	1.7	1.7	0.5	1.4	2.6	1.2	0.7	0.8	0.1	0.6	⑫
	59.4		7.9	5.2	1.0	3.5	7.8	0.3	1.9	0.5	0.5	25.3	15.9	12.3	11.1	12.3	16.7	3.6	2.2	1.5	0.5	1.6	1.9	1.1	0.8	0.9	0.1	0.6	13
60		追越	6.0	4.1	0.8	3.9	7.5	0.2	0.9	0.6	0.3	16.5	12.8	11.6	11.8	11.1	15.3	1.2	0.7	1.5	0.6	1.6	1.0	1.0	0.5	0.6	0.1	0.6	⑮
			6.0	4.1	0.9	3.9	6.1	0.3	1.1	0.6	0.2	18.4	16.1	12.9	12.2	13.6	17.8	1.6	0.9	1.6	0.5	1.4	0.8	1.1	0.4	0.6	0.1	0.7	24
			5.6	3.8	0.7	3.3	5.6	0.2	1.0	0.5	0.3	16.4	14.5	13.5	14.3	11.8	17.7	1.4	0.7	1.5	0.4	1.3	1.2	1.2	0.4	0.6	0.1	0.7	25
70	67.4	走行	9.5	5.6	1.4	7.0	9.1	0.4	2.5	0.8	0.6	31.0	24.7	19.5	23.0	23.3	24.7	4.8	2.7	2.3	0.8	2.1	2.0	1.1	1.0	1.0	0.1	0.9	14
	67.8		6.9	6.8	1.6	6.3	8.5	0.4	2.2	0.9	0.6	27.0	25.1	19.0	19.7	22.2	21.5	4.7	3.0	2.1	0.7	2.5	2.2	1.1	1.0	0.9	0.1	0.8	⑮
	67.1		8.5	6.3	1.2	5.5	9.0	0.3	2.2	0.9	0.6	24.4	25.7	18.1	20.6	28.8	21.1	5.1	2.8	2.3	0.6	3.0	2.0	1.3	0.8	1.4	0.1	0.7	16

注) ラベルNo.の○付数字は各ケースの代表データ

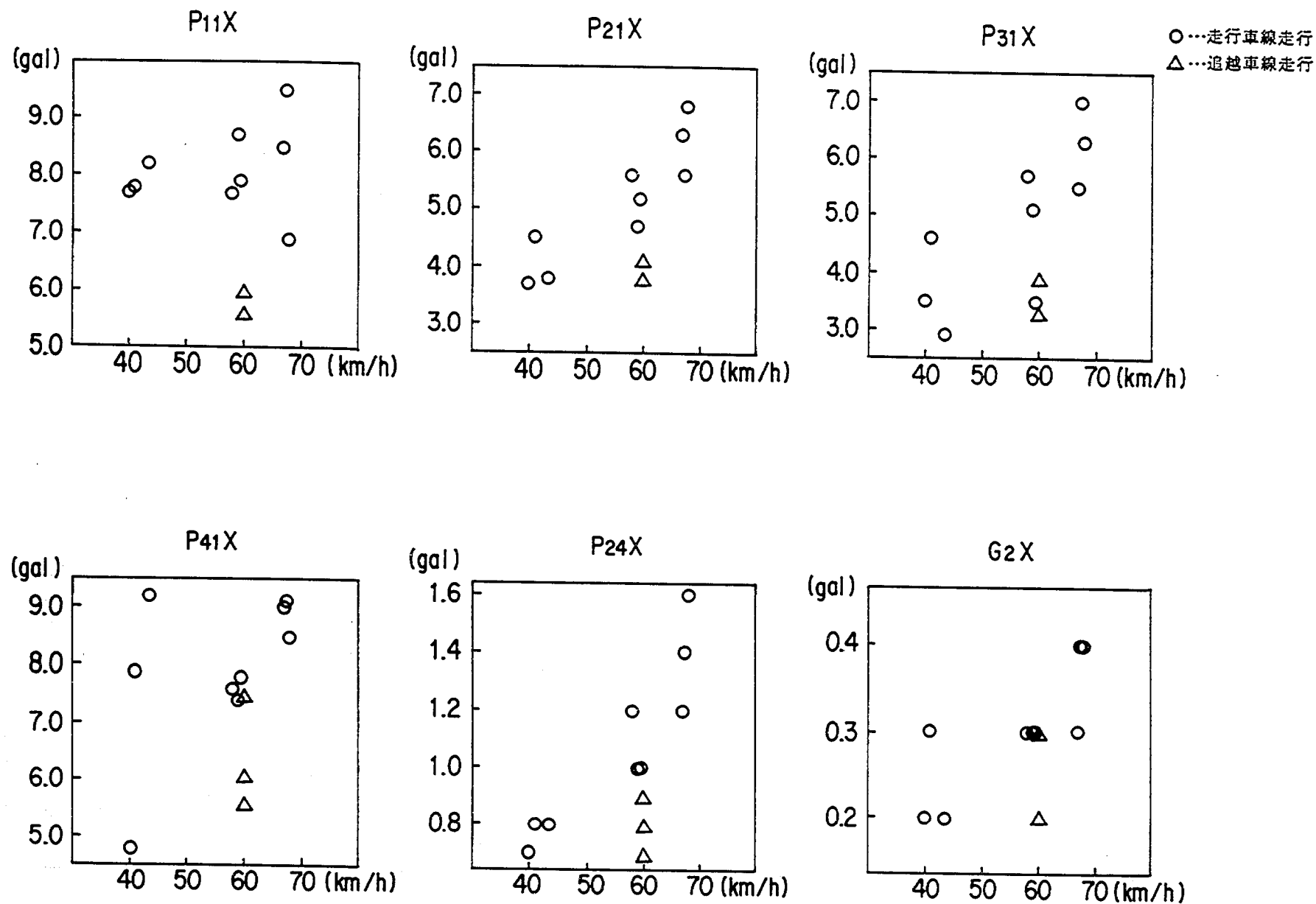


図-10(1) 荷重車走行速度、走行位置の違いによる最大加速度値への影響

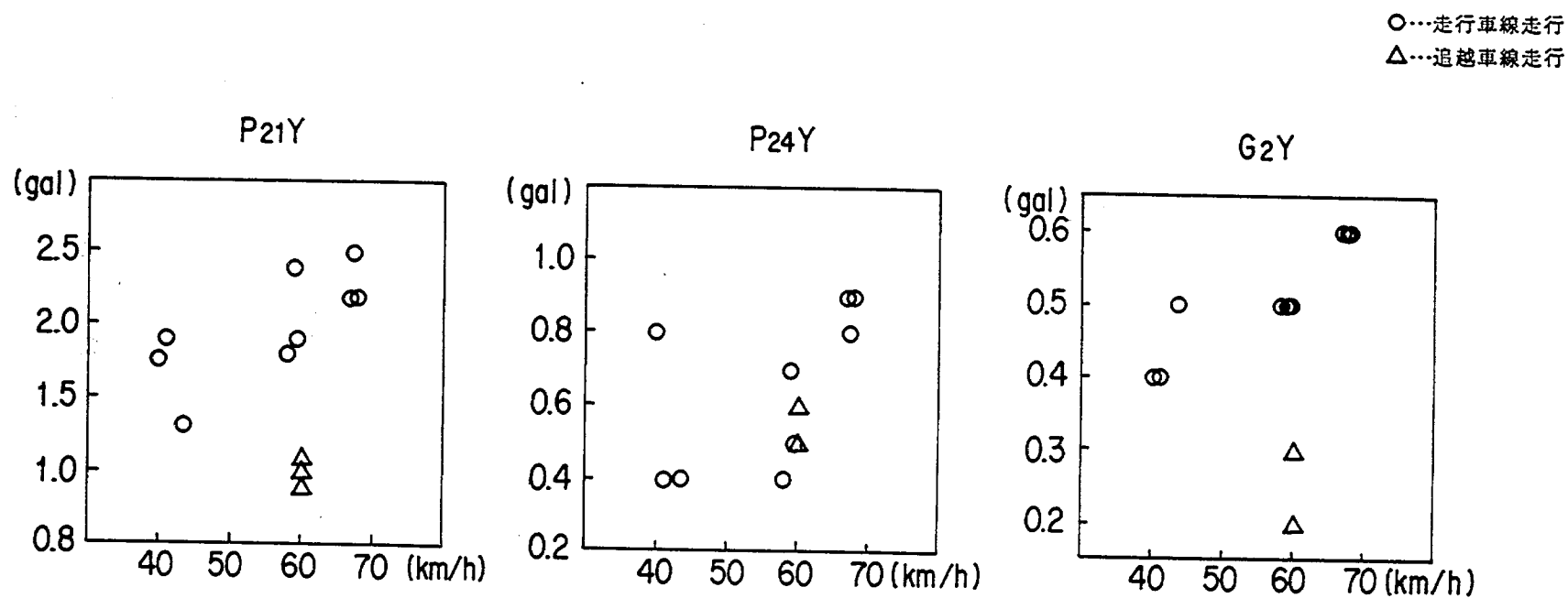


図-10(2) 荷重車走行速度, 走行位置の違いによる最大加速度値への影響

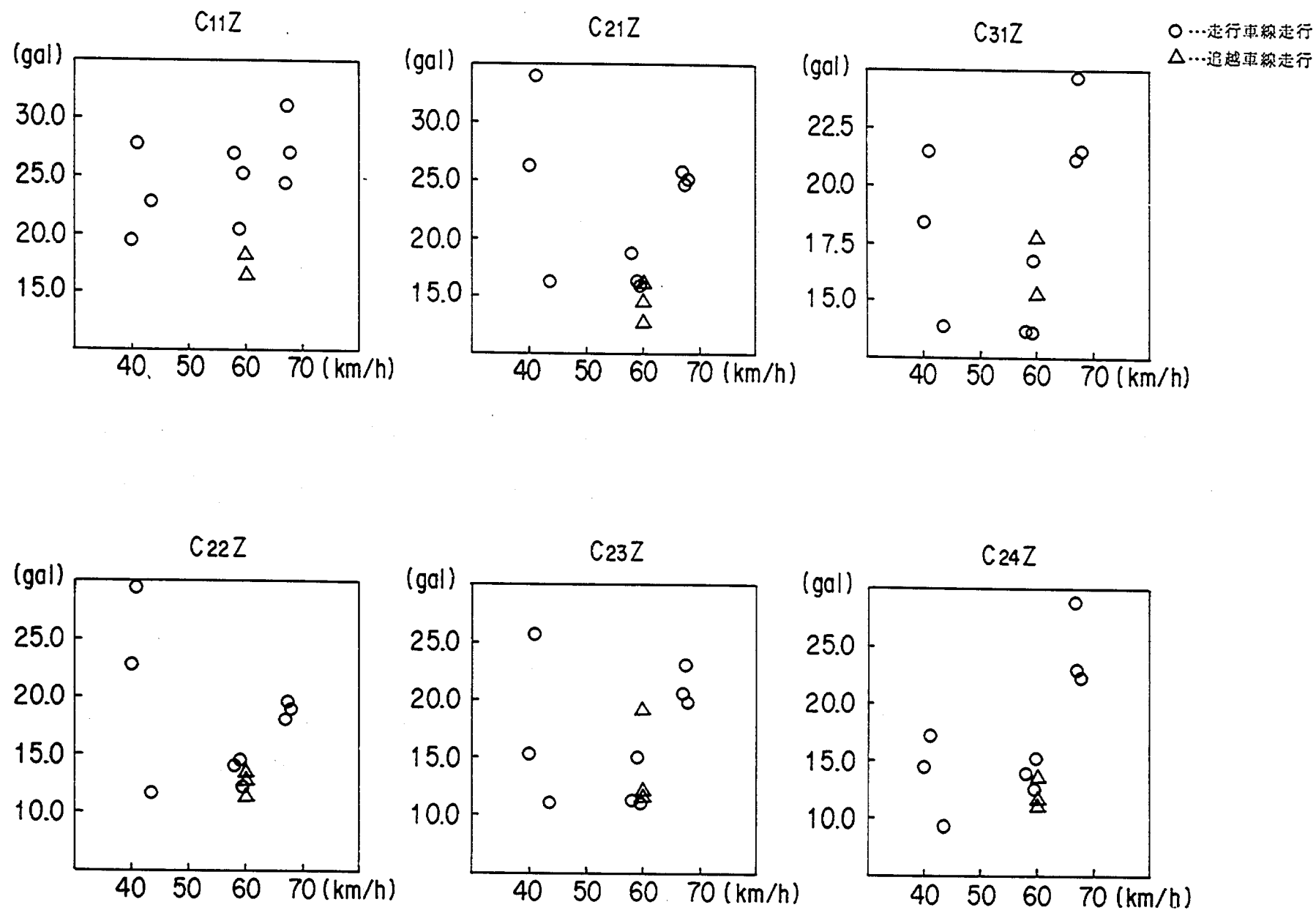


図-10(3) 荷重車走行速度, 走行位置の違いによる最大加速度値への影響

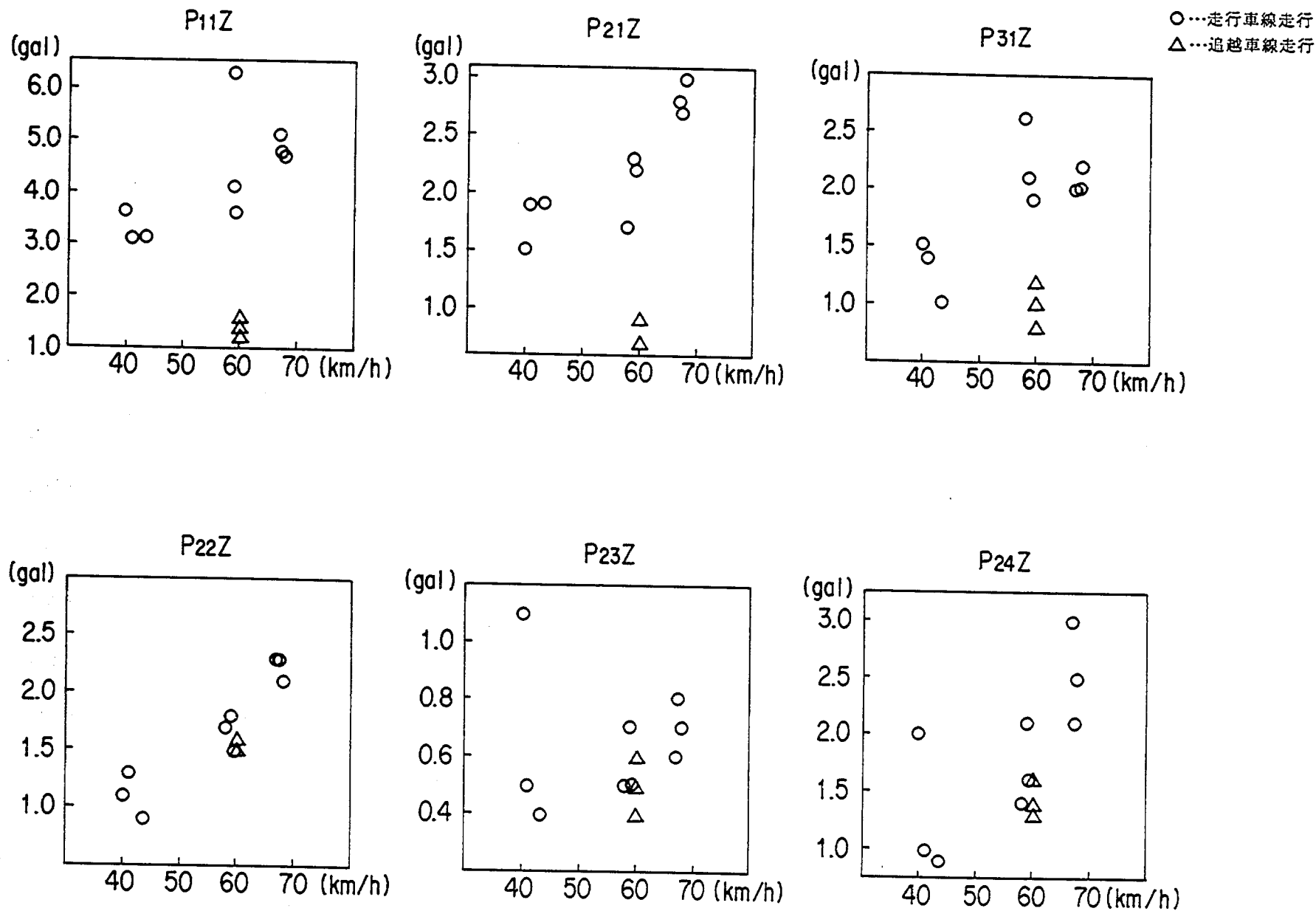


図-10(4) 荷重車走行速度、走行位置の違いによる最大加速度値への影響

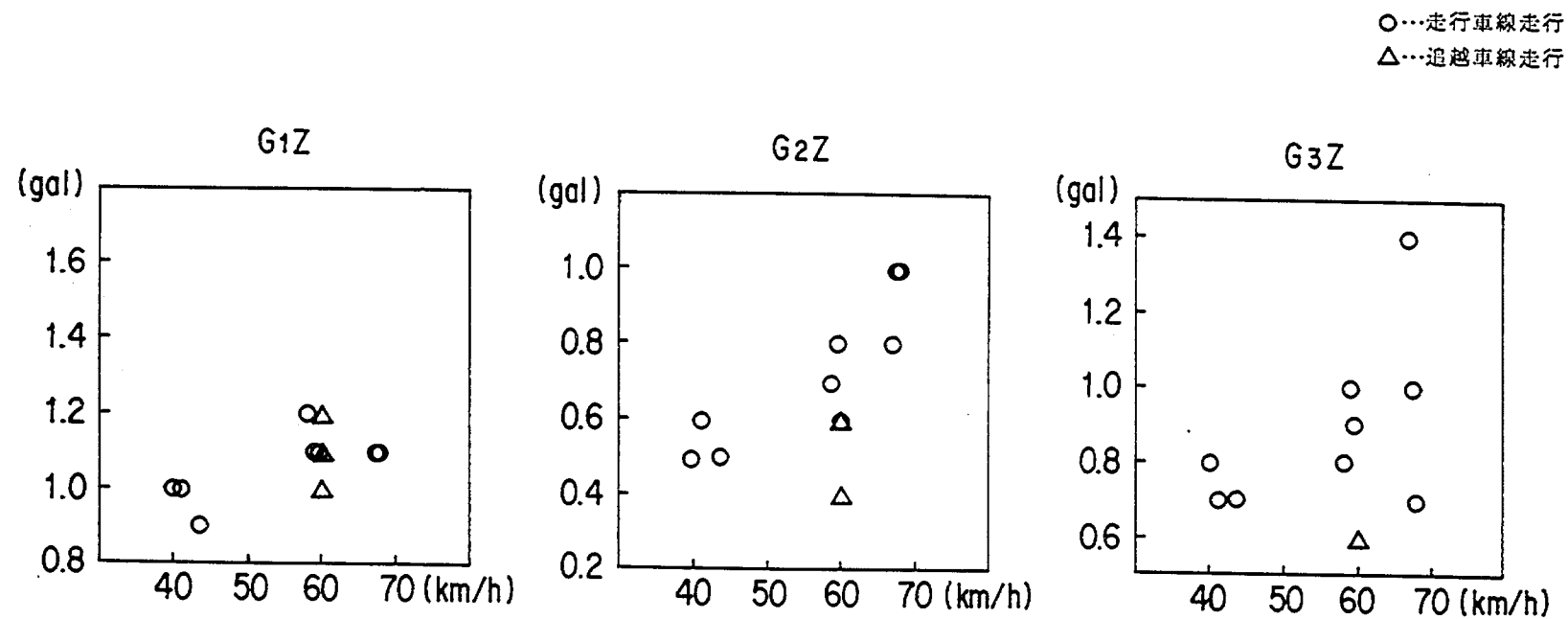


図-10(5) 荷重車走行速度, 走行位置の違いによる最大加速度値への影響

を示すが、橋脚基部になるとその傾向はなくなり X, Y, Z 方向成分ともほぼ同じオーダーとなる。次に地盤振動について、これら 3 成分のうちどの成分が卓越しているのかを示したのが図-11である。これらの図からわかるように、X, Y の水平成分に比べて Z 方向の鉛直成分が卓越している。

伸縮装置部から受ける影響についてみると、試験車が伸縮装置部のない橋脚を通過した時の橋脚の振動は、伸縮装置部を通過した時のそれよりもかなり小さな値を示しており、その効果は地盤振動にも現われている。また地盤振動の大きさは、桁で発生した振動が橋脚、地盤へと伝播していく過程においてかなり低減された値を示し、3 成分とも同じオーダーとなっている。

3.3 スペクトル解析

高架橋各部、周辺地盤、及び音圧における周波数特性を調べるために、測定された振動についてパワースペクトル解析による周波数解析を行い、それぞれの周波数特性を明らかにしようとした。解析にあたってはスペクトルの平滑化を行い卓越周波数の読み取りを容易にした。尚、計算条件は次のとおりである。

解析対象時間 ($T = N \Delta t$) : 1 0.2 4 秒

時間間隔 ($\Delta t = 1/f$) : 0.0 1 秒

対象データ数 (N) : 1 0 2 4 個

バンド幅 : 2.1 6

図-12は、各種走行試験ケースの中から代表例として、試験車が走行車線を 60 km/h で走行した時のパワースペクトル密度関数を示したものである。また、パワースペクトル解析より得られた結果から卓越振動数を読み取り整理したものを表-7に示した。分析結果をまとめると以下のようである。

(1) 主桁の鉛直振動

C11 Z ~ C31 Z の周波数解析によると、パワースペクトルがピークを示すのは 3.7 ~ 4.7 Hz の低周波数領域であり、その他の周波数成分は殆ど含まれていないのがわかる。この卓越する周波数成分は桁の固有一次振動数と考えられる。

(2) 橋脚の振動

i) 橋軸方向の振動 (X 方向)

P11 X ~ P41 X の周波数解析から、橋脚の橋軸方向の振動については 3.7 ~ 4.8 Hz の低周波数領域で明瞭なピークを示し、これは主桁の卓越振動数とほぼ同じ値である。また、他に含まれる振動数成分としては 10 ~ 40 Hz 付近の領域において、わずかなピークが複数見られると言った程度である。

しかし、橋脚基部にいたっては 3.7 ~ 3.8 Hz 付近の領域において、さらに著しいピークを示し、この周波数成分には伸縮装置の影響によると思われるものが関係していると考えられる。

ii) 橋軸直角方向の振動 (Y 方向)

P21 Y と P24 Y の周波数解析によると、橋軸直角方向の周波数成分には橋軸方向と同様な傾向が見られ、桁の振動による影響の大きいことがわかる。しかし、基部においてはピークを示す領域は 30 ~ 40 Hz の高周波領域についてのみであり、桁の振動の影響は受けていないと言えそうである。このように、橋脚の天端と基部とでは周波数成分に大きな違いが見られ、両者を比較すると前者は低周波

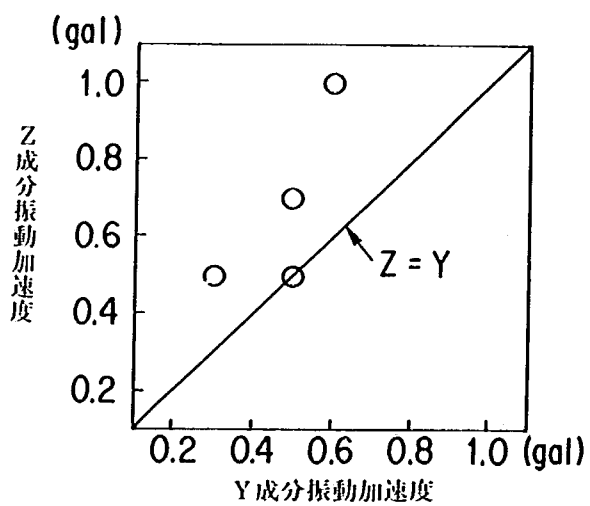
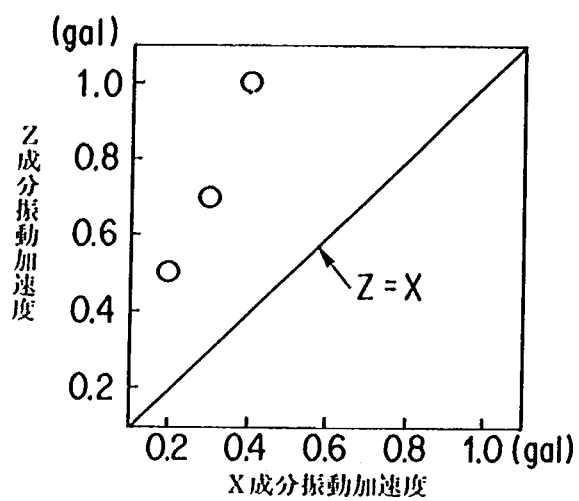
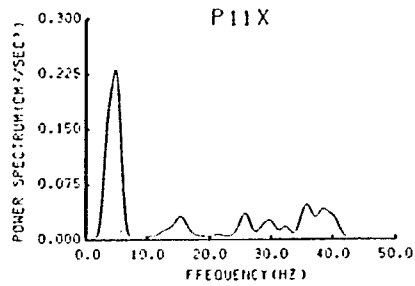
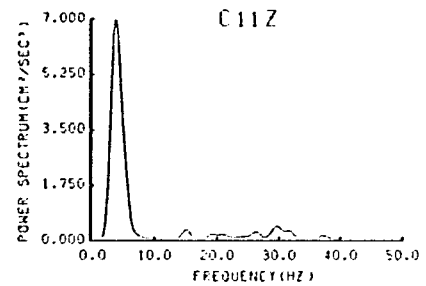


図-11 X, Y, Z成分の比較

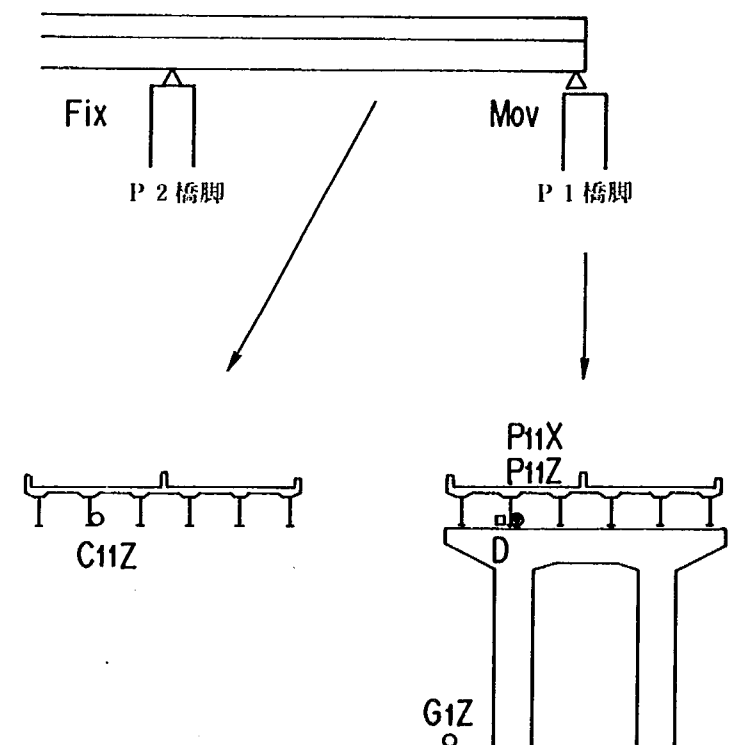
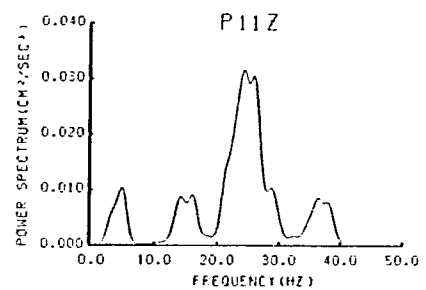
橋 脚



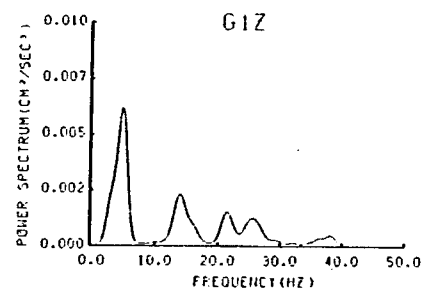
主 桁



橋 脚



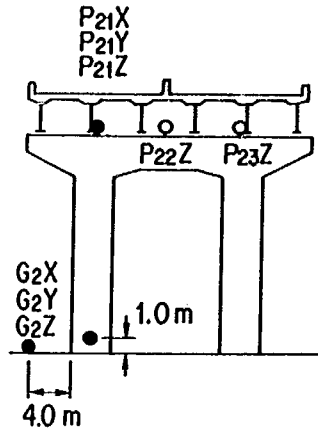
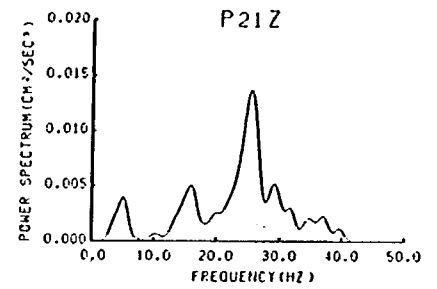
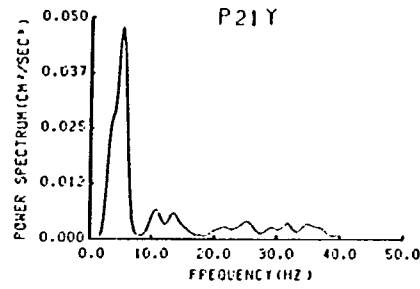
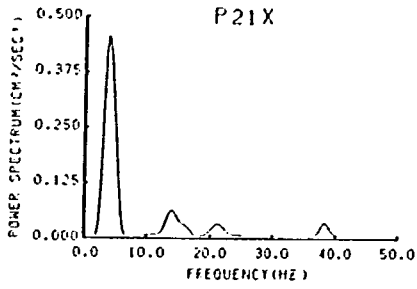
地 盤



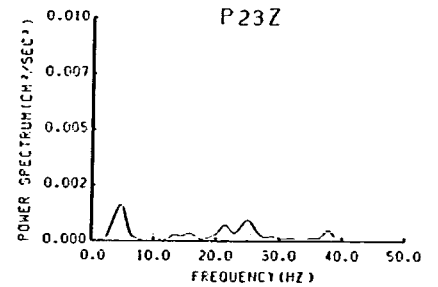
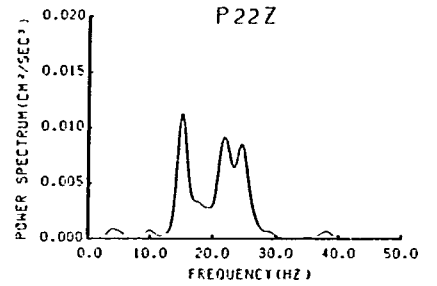
- ◎：加速度(2成分：X, Z)
- ： " (2成分：Z)
- ：支承の変位(1成分：X)

図-12(1) 高架橋各部におけるパワースペクトル

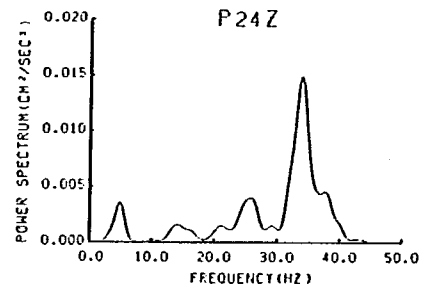
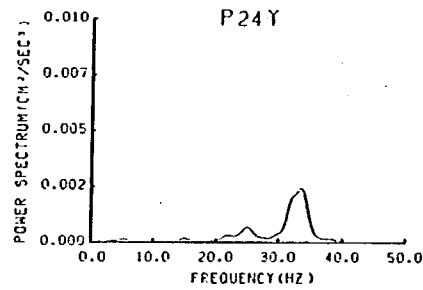
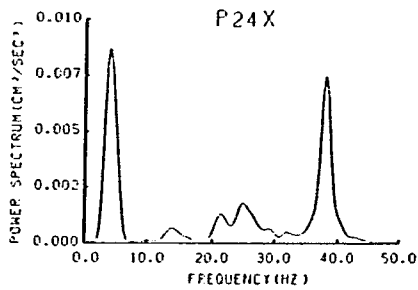
橋 脚



● : 加速度(各3成分; X, Y, Z)
○ : " (各1成分; Z)



橋 脚



地 盤

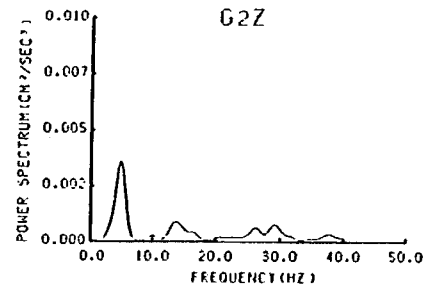
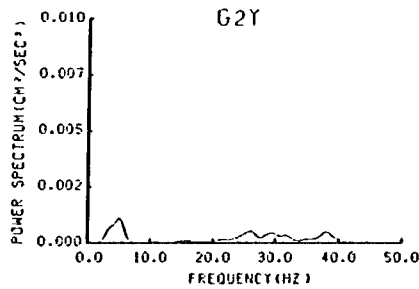
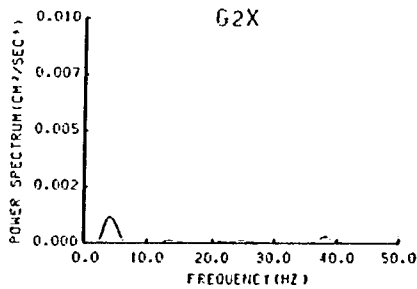
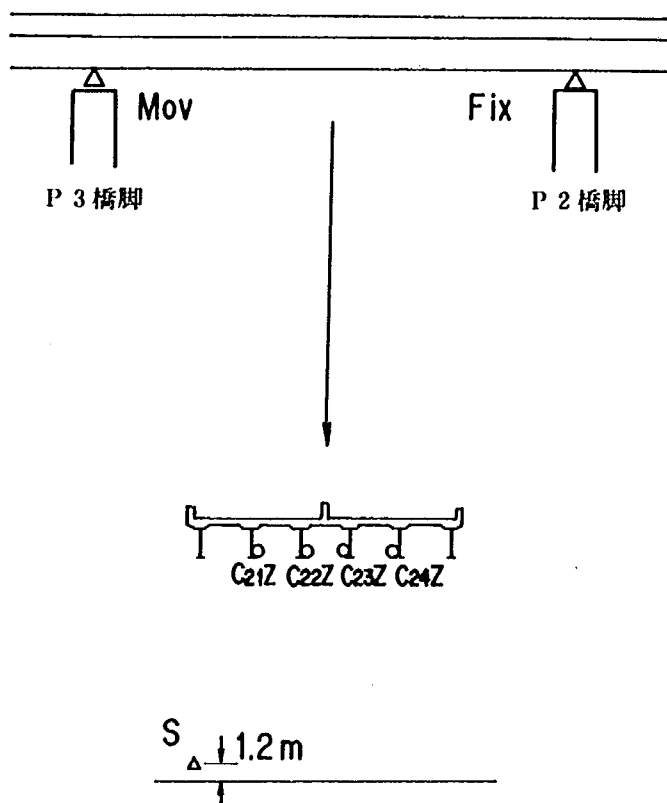
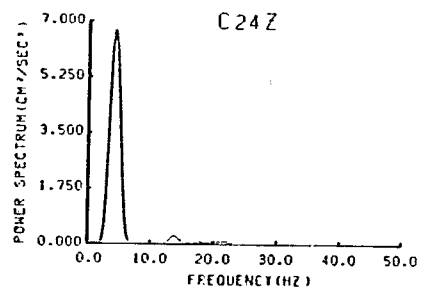
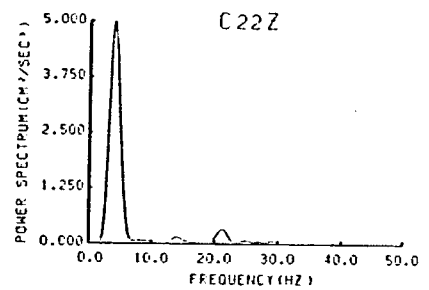
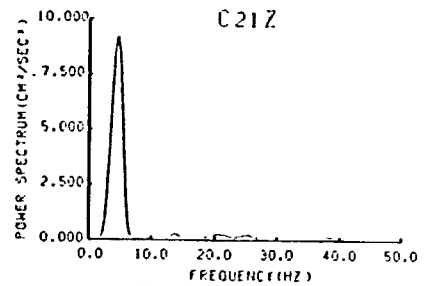


図-12(2) 高架橋各部におけるパワースペクトル



○: " (各1成分: Z)
 △: 音 圧(1成分: 地上1.2m)

主 桁



音 圧

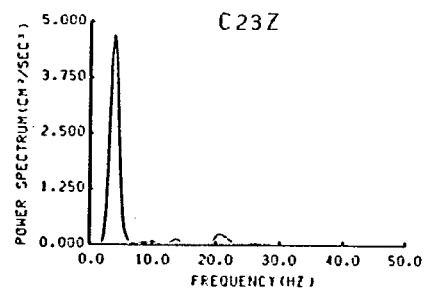
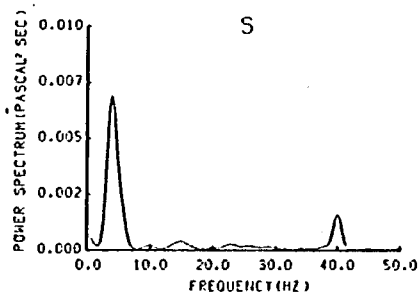
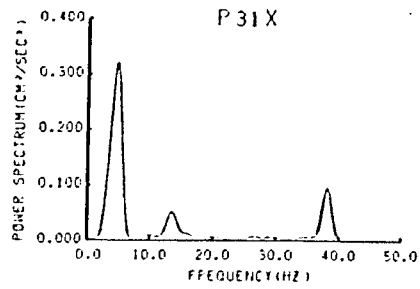
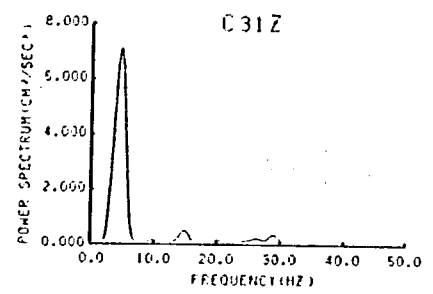


図-12(3) 高架橋各部におけるパワースペクトル

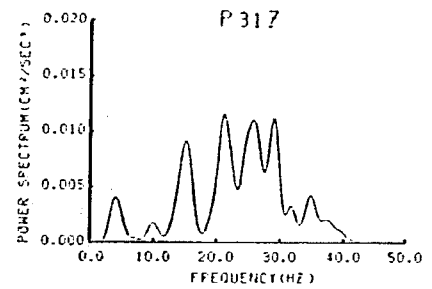
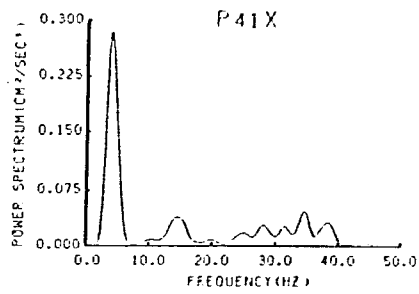
橋 脚



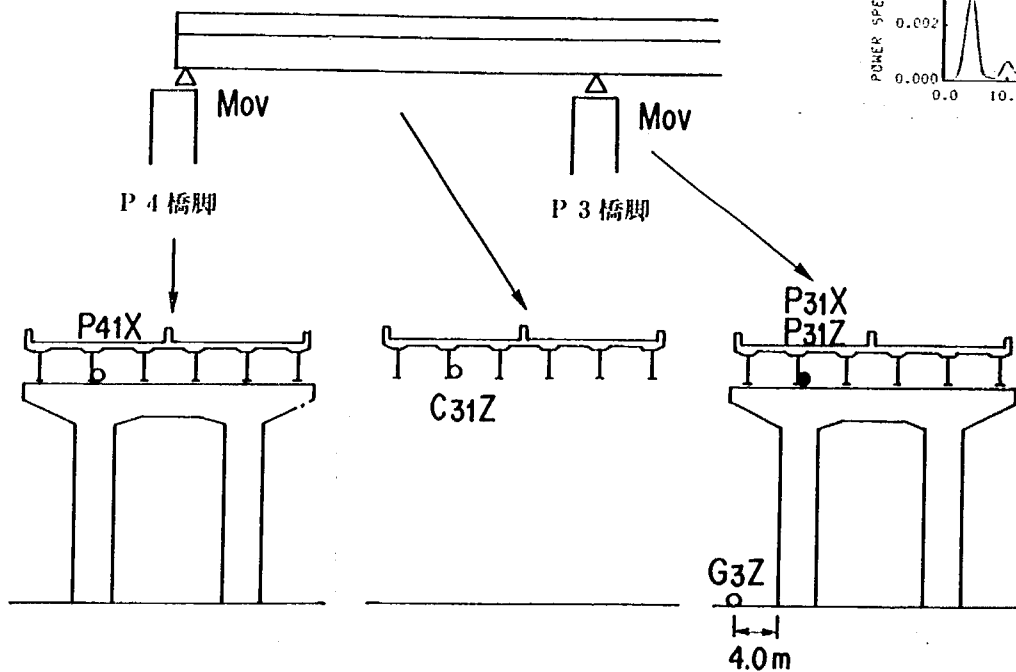
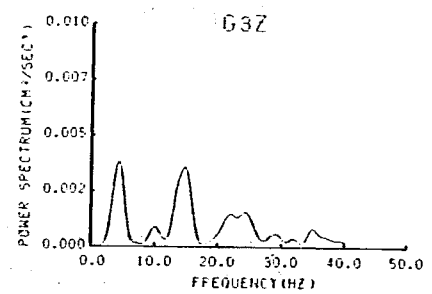
主 桁



橋 脚



地 盤



◎：加速度(各2成分：X, Z)

○： " (各1成分：X, Z)

図-12(4) 高架橋各部におけるパワースペクトル

表-7 パワースペクトル卓越振動数一覧表

上段：1番目のピーク振動数
下段：2 " "

荷重車走行条件			卓 越 振 動 数 (Hz)																										音圧	ラベル
			X 成 分						Y 成 分			Z 成 分																		
			橋 脚					地盤	橋脚		地盤	主 桁							橋 脚						地 盤					
設定走行 速度(km/h)	実車速度 (km/h)	車線	P ₁₁	P ₂₁	P ₂₄	P ₃₁	P ₄₁	G ₂	P ₂₁	P ₂₄	G ₂	C ₁₁	C ₂₁	C ₂₂	C ₂₃	C ₂₄	C ₃₁	P ₁₁	P ₂₁	P ₂₂	P ₂₃	P ₂₄	P ₃₁	G ₁	G ₂	G ₃	S	No.		
40	3 9.8	走行	3.7	3.6	3.6	3.7	3.7	3.6	5.8	33.1	6.9	7.0	3.6	3.7	3.8	3.8	6.7	7.0	7.0	22.1	7.0	33.2	7.0	7.0	7.0	7.0	3.7	17		
			7.1	6.8	33.4	13.1	6.7	7.0		7.0	27.7	3.7	7.0	7.1	7.2	7.0	3.7	26.1	27.6	17.7	23.4	7.0	21.1	3.8	3.7	13.6	40.0			
	4 3.4	"	3.8	3.7	3.7	3.9	3.7	3.7	3.6	33.3	3.7	3.7	3.8	3.8	3.8	3.9	3.8	29.1	26.6	22.2	3.9	3.9	3.8	4.0	3.9	3.9	3.8	18		
			30.2	12.0	26.5	12.0	13.8		7.2		30.1	7.5	7.4	7.8	8.0			3.8	16.1	15.6	7.2	33.5	22.8		7.3	7.6	39.8			
	4 1.0	"	3.7	3.6	3.6	3.7	3.7	3.6	3.6	33.4	3.5	3.7	3.7	3.7	3.7	3.8	3.7	3.6	7.2	21.4	7.1	3.7	7.1	7.1	7.2	7.1	3.7	19		
			7.2	7.1	26.0	7.1	7.1	7.2	7.1	27.7	7.1	7.1	7.1	7.2	7.4	7.0	7.1	7.2	3.6	3.7	3.7	33.6	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	39.9		
60	5 8.9	"	3.8	3.9	3.9	4.3	3.8	3.9	3.5	32.8	26.3	3.8	4.4	3.9	3.8	4.1	4.3	23.7	25.2	21.6	16.0	33.9	26.3	4.2	4.6	14.8	3.9	11		
			15.3	13.7	38.4	13.5	14.5	38.5	36.7	26.3	3.6	29.9					14.9	15.9		14.8	24.7	26.1	14.8	14.1	13.7	4.0	39.9			
	5 8.2	"	4.8	3.8	3.8	4.7	3.8	3.9	5.2	33.5	4.9	3.7	4.6	3.9	3.8	4.2	4.7	24.3	25.4	15.0	4.8	33.9	21.2	4.9	4.9	4.5	3.9	12		
			35.7	13.7	38.0	38.1	34.7	38.2	10.7	25.0	26.0			21.3	20.6	13.9	15.0	4.8	15.9	21.5	25.0	25.8	15.1	14.0	13.7	14.8	40.0			
	5 9.4	"	3.6	3.7	38.8	4.5	3.7	3.7	3.4	33.5	26.4	3.7	4.4	3.8	3.8	4.0	4.4	26.7	26.0	15.0	25.5	34.5	15.1	3.5	26.6	15.0	3.8	13		
			39.0	21.5	3.7	38.9	15.4	38.9	21.4	25.3	29.6	30.0	26.3	21.2	21.1	14.2	15.0	16.1	15.6	21.5	3.9	26.3	21.5	14.8	4.6	4.0	40.0			
60		追越	3.7	3.8	3.8	3.9	3.7	3.8	3.5	34.1	38.9	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	4.0	25.1	24.7	4.0	34.2	4.3	4.2	4.2	4.1	3.8	23		
			37.4	37.4	37.5	37.6	37.5	37.7	10.6	25.0	4.4	31.1						26.2	3.9	15.1	24.7	4.0	38.6	24.3	29.0	25.1	39.9			
		"	4.2	4.6	4.6	4.2	4.0	4.6	4.9	33.7	4.6	4.6	4.5	4.0	4.0	4.3	4.3	4.5	24.8	24.6	4.4	33.7	4.8	4.5	4.7	4.7	4.4	24		
			37.0	20.7	37.0	37.0	36.5	36.9	20.4	24.7	38.5	31.2	29.9					26.3	4.5	15.1	24.4	4.7	15.2	23.9	29.0	25.1	39.9			
		"	3.6	3.8	3.8	3.7	3.7	3.8	6.5	31.6	38.0	3.8	3.8	3.7	3.7	3.8	3.8	25.6	3.8	25.3	3.9	31.6	4.1	4.2	3.9	4.0	3.8	25		
			37.8		38.0	38.0	38.2	38.1	10.6	25.5	6.3	31.3						3.9	25.3	14.8	25.6	26.4	26.6	25.1	25.6	24.4	39.9			
70	6 7.4	走行	3.8	3.8	3.8	3.9	3.8	3.9	5.9	33.7	6.0	3.9	4.0	3.9	3.9	3.9	3.9	25.8	28.4	17.9	3.9	33.9	16.3	3.9	4.0	4.0	3.9	14		
			30.3	12.5	26.6	12.4	12.3	12.5	12.3	28.2	28.4	28.3						3.9	3.9	3.9	26.6	3.9	28.5	25.6	28.5	12.3	39.9			
	6 7.8	"	3.8	3.8	3.8	3.9	3.8	3.8	12.4	33.5	3.7	3.8	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	26.1	28.3	17.8	3.9	33.7	28.8	3.9	4.0	12.5	3.9	15		
			30.3	12.6	42.9	12.5	12.5	12.6	3.6	28.2	28.4	28.5						3.9	18.5	23.1	12.7	3.9	23.1	12.8	12.5	4.0	40.0			
	6 7.1	"	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	3.9	5.9	33.4	5.9	3.9	4.0	3.9	3.9	3.9	3.9	24.6	28.2	17.7	3.9	33.5	24.0	4.0	4.0	12.4	3.9	16		
			30.2	12.5	43.0	12.4	12.4	22.8	12.4	23.1	28.2	28.3	17.8						3.9	23.1	22.8	23.2	3.9	33.3	17.0	28.4	4.0		40.0	

注) ラベルNo.の○付数字は各ケースの代表データ

数領域で、後者は高周波数領域でそれぞれピークが現われ、場所の違いによる特性の変化が見られた。

iii) 鉛直方向の振動 (Z 方向)

P₁₁Z ~ P₃₁Z の周波数解析では、橋脚の鉛直振動には広い周波数領域にわたって多数のピークが生じており、主桁のスペクトル図に見られるように、ある一点だけで著しく卓越するといった性質の振動ではないことがわかる。つまり、これらの図によると、卓越する周波数成分には主桁の一次振動によるものや、ジョイント振動による高次のもの、さらには構造物の固有振動数などによる要因が、これらと複雑に影響を及ぼしあって発生したと考えられるものが含まれてくるようになる。なかでも 20 ~ 30 Hz 付近のピークは、他の領域でのそれよりも大きく、伸縮装置部からの振動が橋脚の振動特性に大きく影響を及ぼしているものと言えそうである。

(3) 地盤振動

地盤振動の振動数成分は、G₂X, G₂Y, G₁Z ~ G₃Z の周波数解析によると 3 方向成分とも 4 Hz 付近でピークを示すが、X, Y 方向についてはそのピークはわずかなものであり、一方 Z 方向に関しては 4 Hz 付近のピークは明瞭となっており、さらに 10 ~ 40 Hz の範囲で数個のピークが生じている。つまり地盤の 3 成分の周波数特性は 4 Hz 付近で卓越を示し、それ以上の周波数領域においてはピークが減衰するか、あるいは消滅するような傾向が現われている。これは構造物から地盤へと伝播する過程においてある種のフィルター作用を受けて、高周波成分のものが急速な減衰効果を受けるものと思われる。

3.4 振 動 モ ー ド

(1) 橋軸方向

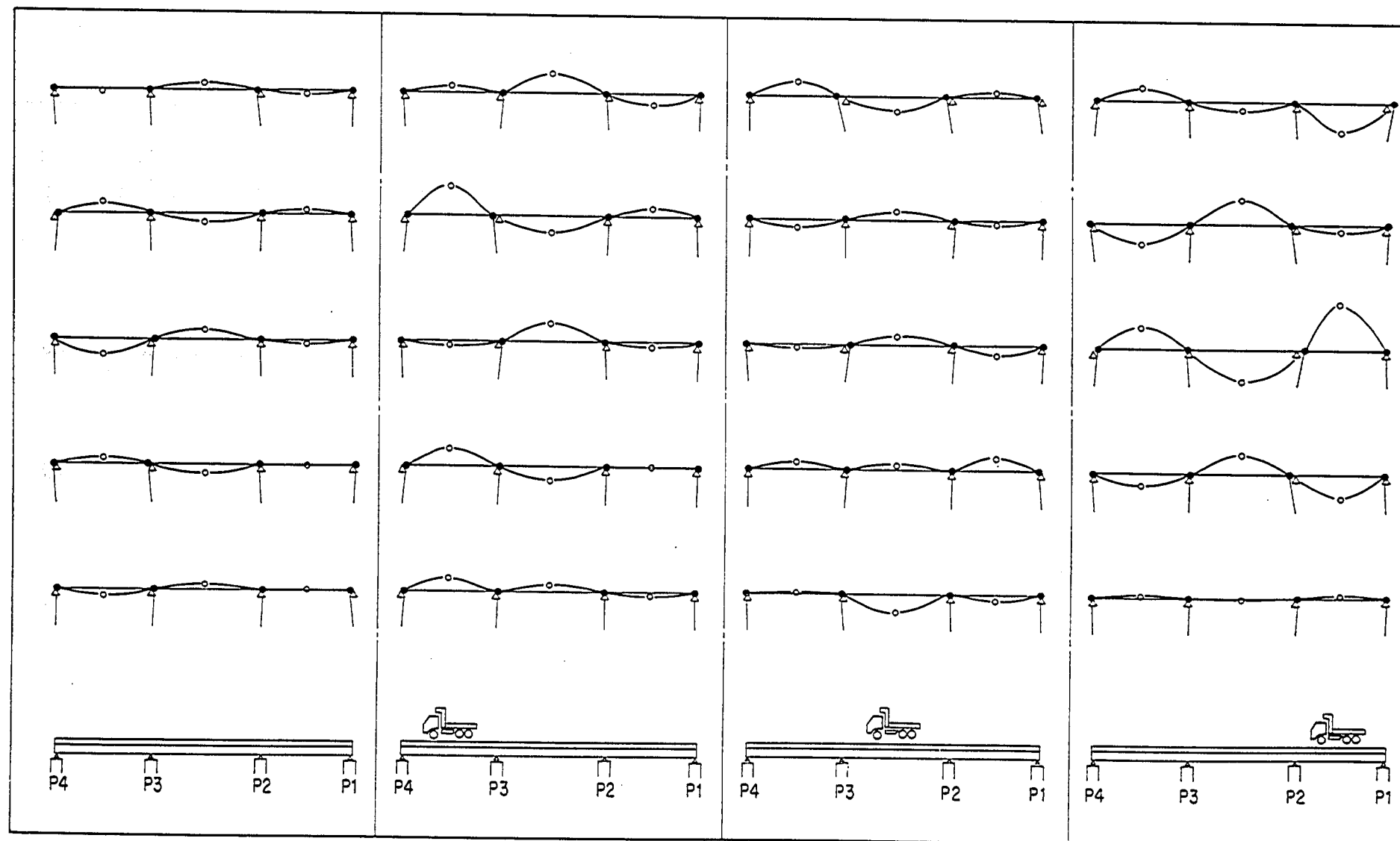
主桁の振動と橋脚の振動との関係を明確にするために、振動加速度波形から各測点の同時刻の振動加速度値を変位量として 0.1 秒毎に読み取り、その変位量だけ移動した各測点を結ぶことによって高架橋の振動モードを調べた。図-13.1 と図-13.2 は、それぞれ試験車が走行車線、追越し車線を走行した時の第一径間通過中、第二径間通過中、第三径間通過中、及び対象径間通過後の 4 時間帯における橋軸方向の振動モードを描いたものである。

図-13.1 と図-13.2 の振動モード図を比較してみると、試験車の走行位置の違いに関係なく主桁には全体として曲げ一次振動が発生しているのがわかる。

また、径間相互間において振動モードに乱れが入ることがある。今回の実験においては主桁上に配置した測点数も少なかったために、詳細な検討はここでは加えることはできないが、他の次数の曲げ振動が連成している可能性も考えられ、主桁には複雑な連成振動が影響を及ぼしあっているものと推察できる。

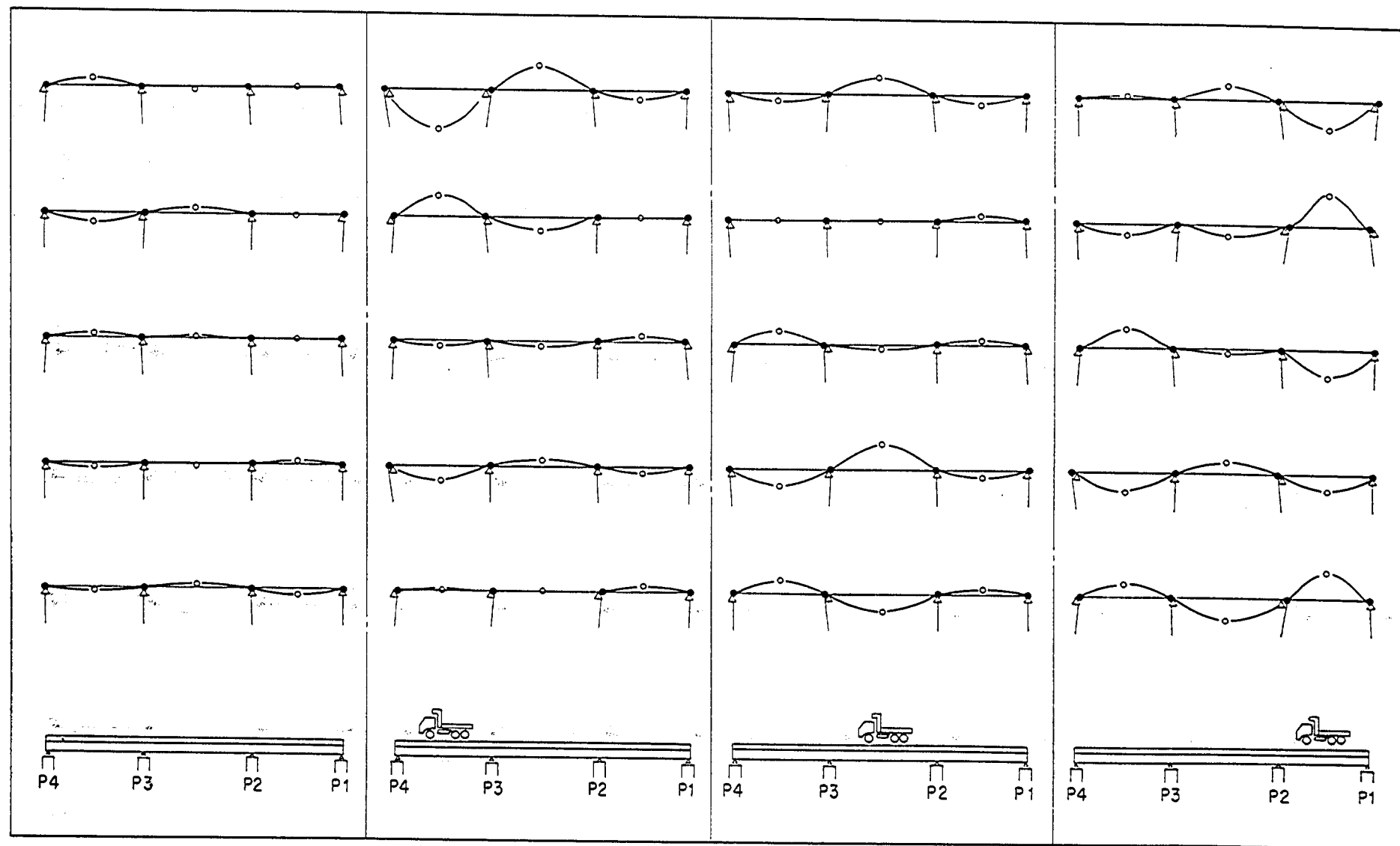
(2) 橋軸直角方向

主桁相互間の振動の関係を確かむために、橋軸直角方向の振動モード図を図-14.1, 図-14.2 に示した。同図は、それぞれ試験車が走行車線、追越し車線を走行した時の第一径間通過中、第二径間通過中、第三径間通過中、及び対象径間通過後における第二径間中央での橋軸直角方向の振動モード図を示した



凡例 { ● X方向加速度
○ Z方向加速度
△ 支 承

図-13.1 振動モード図 (走行車線走行)



凡例 { ● X方向加速度
○ Z方向加速度
△ 支 承

図-13.2 振動モード図（追越車線走行）

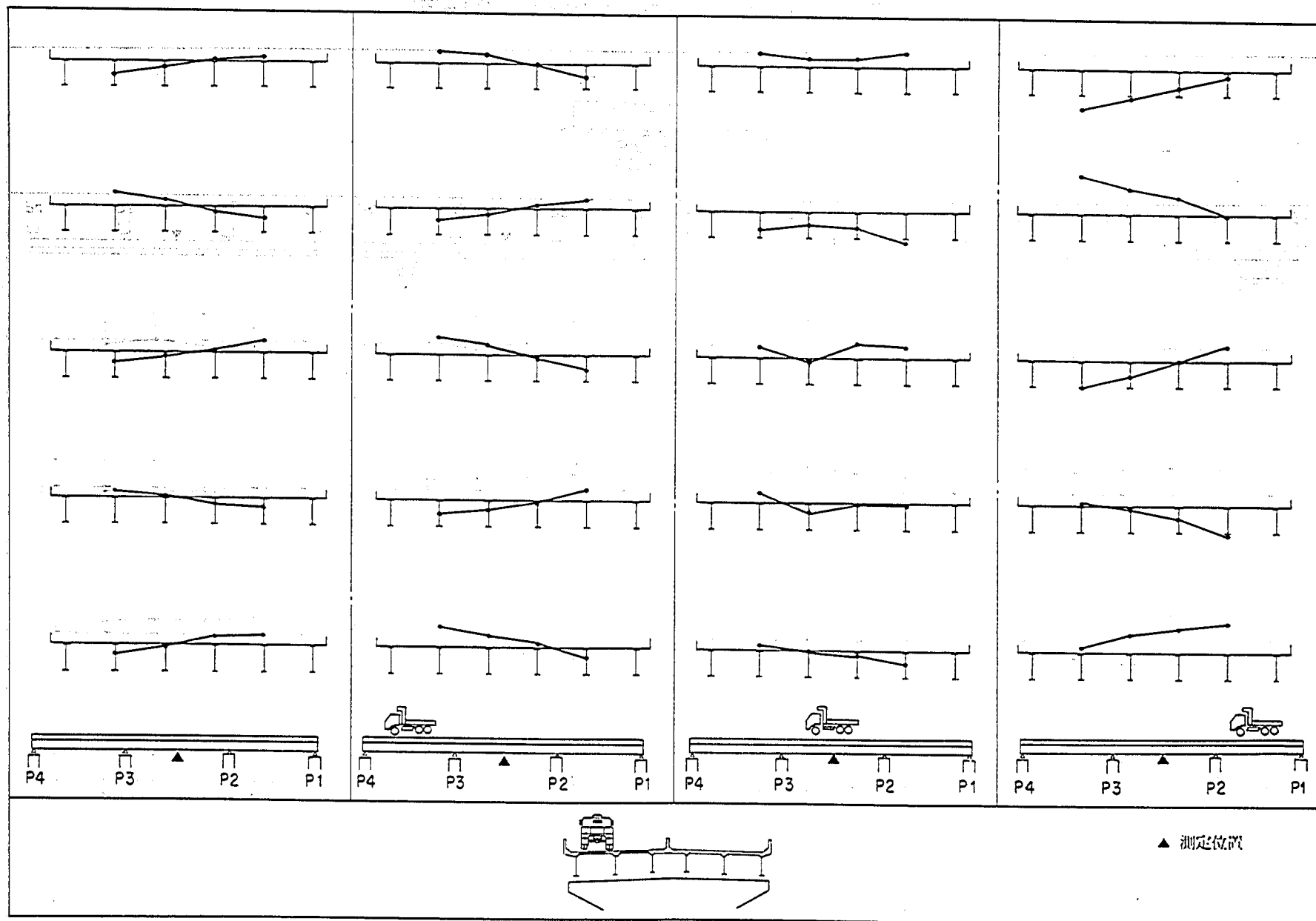


図-14.1 橋軸直角方向振動モード図（走行車線走行）

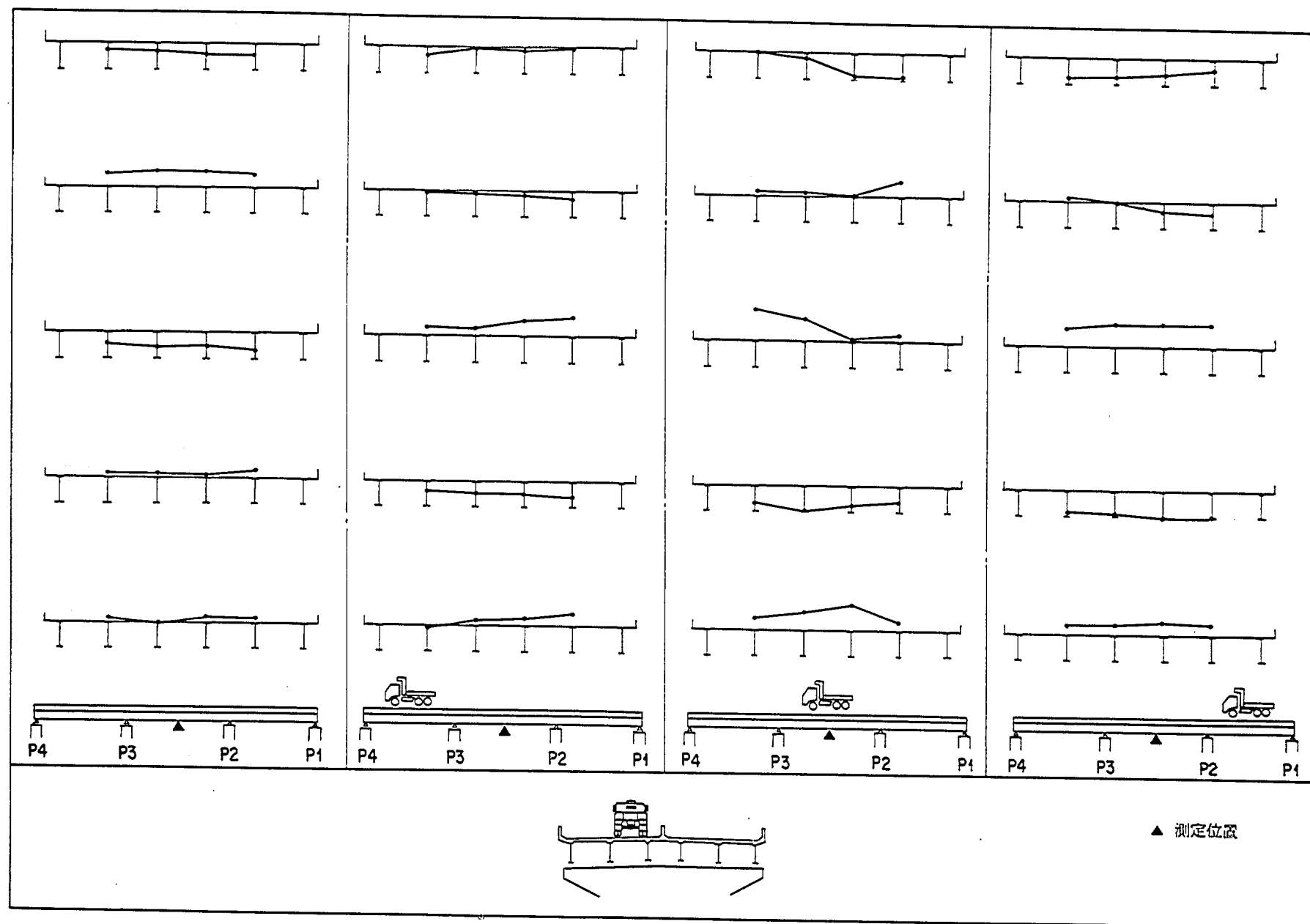


図-14.2 橋軸直角方向振動モード図（追越車線走行）

ものである。

これらの図によると、試験車の走行位置の違いによって振動モードにそれぞれ特徴的な傾向が認められた。図-14.2を見ると、試験車が追越し車線を走行した時には、桁全体が上下方向に同時にたわむような振動モードを示しているのがわかる。つまり、走行車両による荷重にたいして主桁相互間で均等に抵抗しており、いわゆる荷重の横分配効果が見られる。一方、図-14.1によれば、試験車が走行車線を走行すると桁には逆位相の振動モードが現われ、ねじれ振動が生じているのがわかる。このねじれ振動が交通振動に及ぼす様々な要因の一つであるとも考えられるため、荷重分配横桁の剛性を強くすることによって、ねじれに起因する振動に対しては、軽減効果が期待できるものと思われる。

4. 多径間連続桁高架橋と単純桁高架橋との比較

4.1 最大加速度

主桁の連続化による交通振動軽減対策の有効性について明らかにするために、振動加速度の最大値について単純桁橋と連続桁橋のデータ比較を行った。連続桁橋、単純桁橋の各点で測定されたデータをもとに、図-15、及び表-8に示した比較対象成分に従って位置的に対応する測点ごとに分けて比較したものが図-16である。

図-16において C_1Z 、 C_2Z 、 C_3Z の図はスパン中央部での主桁の鉛直方向振動加速度を比較したものである。 C_1Z の図は測定対象車線側の第一径間～第三径間のそれぞれの主桁について、 C_2Z の図は真中の2本の主桁について、 C_3Z の図は反対側車線の主桁についての比較を示している。これらの図を見てわかるとおり、主桁の連続化による振動軽減の効果が著しく現われており、連続桁橋の振動加速度は単純桁橋に比べて約30～60%まで低下している。

橋脚天端、基部、及び地盤振動について、伸縮装置部による影響の度合いを調べてみた。図中の黒印は連続桁橋において伸縮装置のある橋脚の、白印は伸縮装置のない橋脚の振動データである。

$P_MX \sim P_3Z$ の図は橋脚天端の比較を示したものである。これらの図が示すとおり、構造的に伸縮装置がなくなれば当然であるが路面の状態も良くなり、従って振動が小さくなる。また、伸縮装置の振動の大きさの比較を $P_MX \sim P_1X$ の図中の黒印で見ると、連続桁橋の方が大きくなっている。伸縮装置部の段差高を比較すると両橋とも5mm程度でそれ程大差はないが、伸縮装置の型式についてみると単純桁橋はゴムジョイント型式であり、連続桁橋は鋼製のフィンガージョイント型式である。このことから、伸縮装置の型式、あるいは材質の違いによる影響が生じたものと考えられる。

P_4X 、 P_4Y 、 P_4Z の図は、橋脚基部について比較したものである。橋脚の支承条件は固定であり同一条件となっている。 P_4X 、 P_4Y の図より、X成分、Y成分については振動の著しい軽減が見られるが、 P_4Z の図によるとZ成分の振動の軽減は全く見られない。

P_5X 、 P_5Y 、 P_5Z の図は、地盤振動について比較したものである。3方向成分とも支承条件が固定である橋脚の周辺地盤についてであり、 P_5Z の図には橋脚支承条件が可動である周辺地盤の振動データも加えた。これらの図からわかるように、主桁や橋脚で見られた振動の軽減は見られず、試験車の走行位置によっては軽減する場合もあるが、全体的に見ると連続桁橋周辺地盤の振動の方が大きくなっている。さらに P_5Z の図についてみても、連続桁橋の橋脚条件の方が可動支承、あるいは伸縮装置がないというように構造的にも有利であるにもかかわらず、その影響は現われていないと言える。振動が構造物から地盤へと伝播する経路においては基礎構造がその間に含まれるが、連続桁橋、単純桁橋とも場所打ち杭による杭基礎構造であり、その条件は同一である。また、地質条件の違いを図-17に示した土質柱状図で比較してみると、連続桁橋の周辺地盤は地中20m位まではN値がほぼ10以下であり、かなり軟弱な地盤層であるのに対し、単純桁橋の方は地中数m位まではN値は10以下であるが、それより下の地盤になるとN値は10～50の間で変動は見られるが、硬い地盤層へと条件が良くなっているのがわかる。従ってこれらの結果から、構造物の振動軽減効果がそのまま地盤に現われるのではなく、地形、及び地質条件などの伝

表-8 単純桁橋と連続桁橋
の比較対象成分

測点位置	単純桁橋	連続桁橋
主 桁	C ₁ Z	C ₁₁ Z
		C ₂₁ Z
		C ₃₁ Z
	C ₂ Z	C ₂₂ Z
		C ₂₃ Z
	C ₃ Z	C ₂₄ Z
橋 脚 天 端	PMX	P ₁₁ X P ₃₁ X
	P ₁ X	P ₂₁ X P ₃₁ X P ₄₁ X
	P ₁ Y	P ₂₁ Y
	P ₁ Z	P ₂₁ Z P ₃₁ Z
	P ₂ Z	P ₂₂ Z
	P ₃ Z	P ₂₃ Z
橋 脚 基 部	P ₄ X	P ₂₄ X
	P ₄ Y	P ₂₄ Y
	P ₄ Z	P ₂₄ Z
地盤上	P ₅ X	G ₂ X
	P ₅ Y	G ₂ Y
	P ₅ Z	G ₁ Z
		G ₂ Z
音 圧	S	S

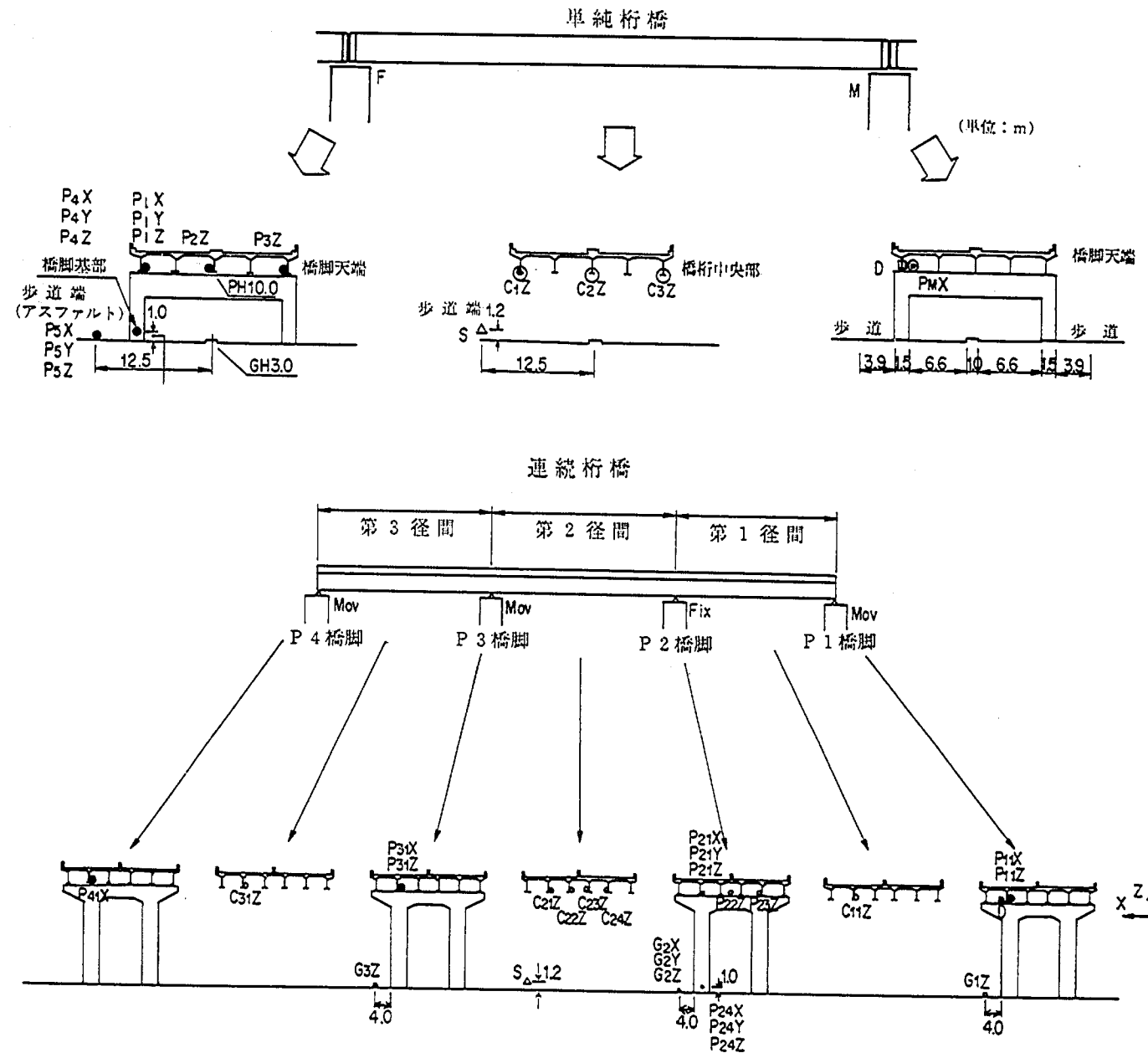


図-15 単純桁橋と連続桁橋の比較対象成分位置図

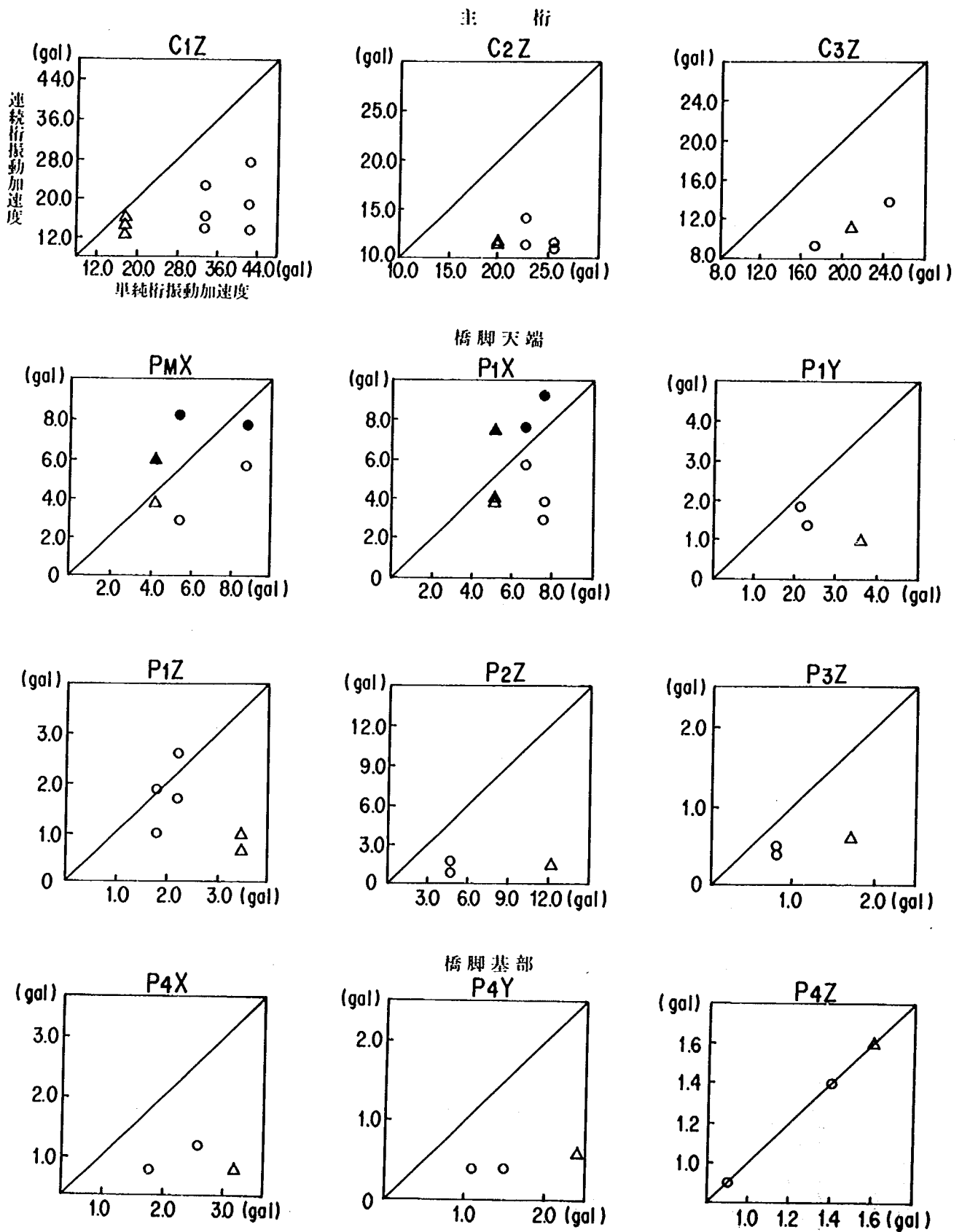
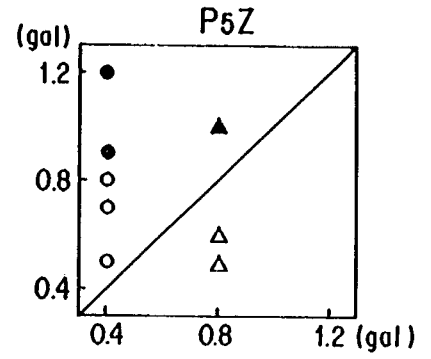
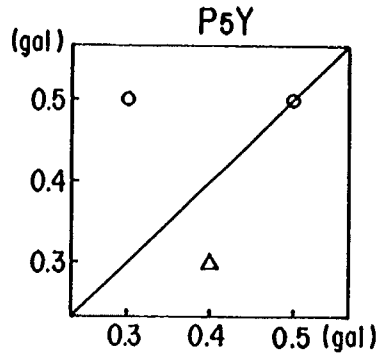
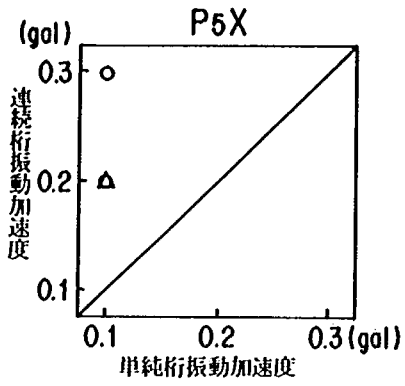
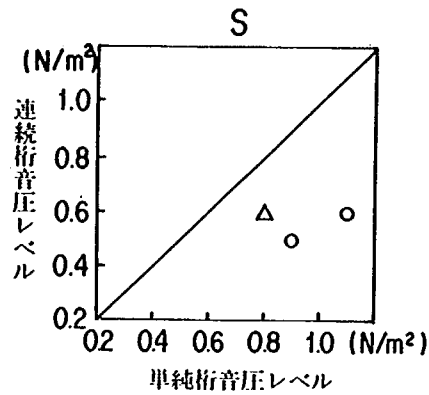


図-16(1) 単純桁橋と連続桁橋の最大加速度についての比較

地 盤 上

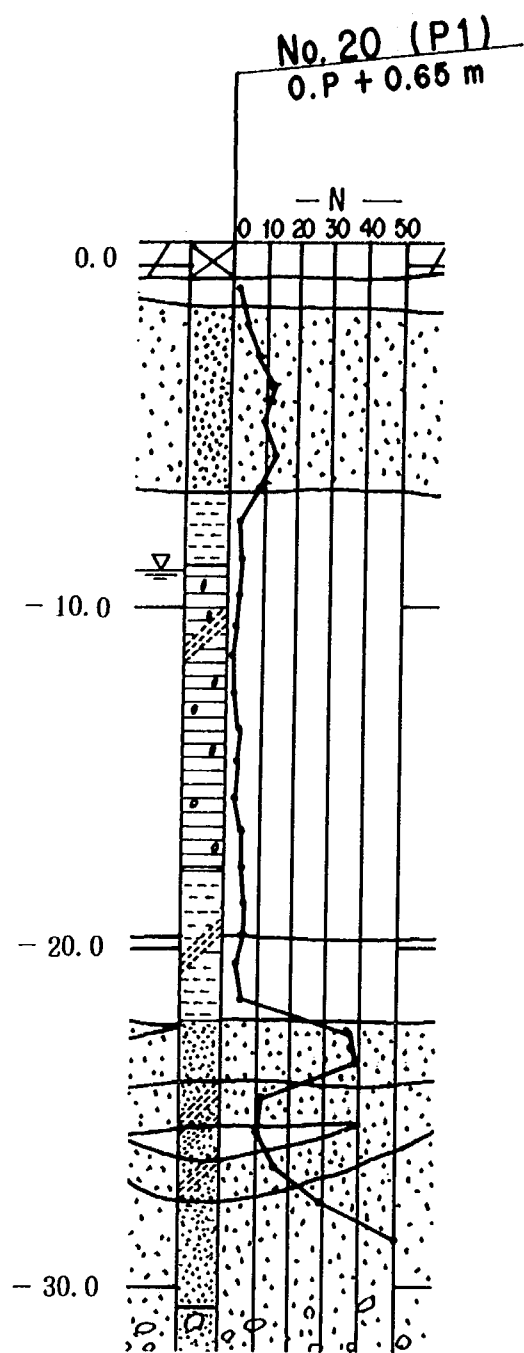


音 圧

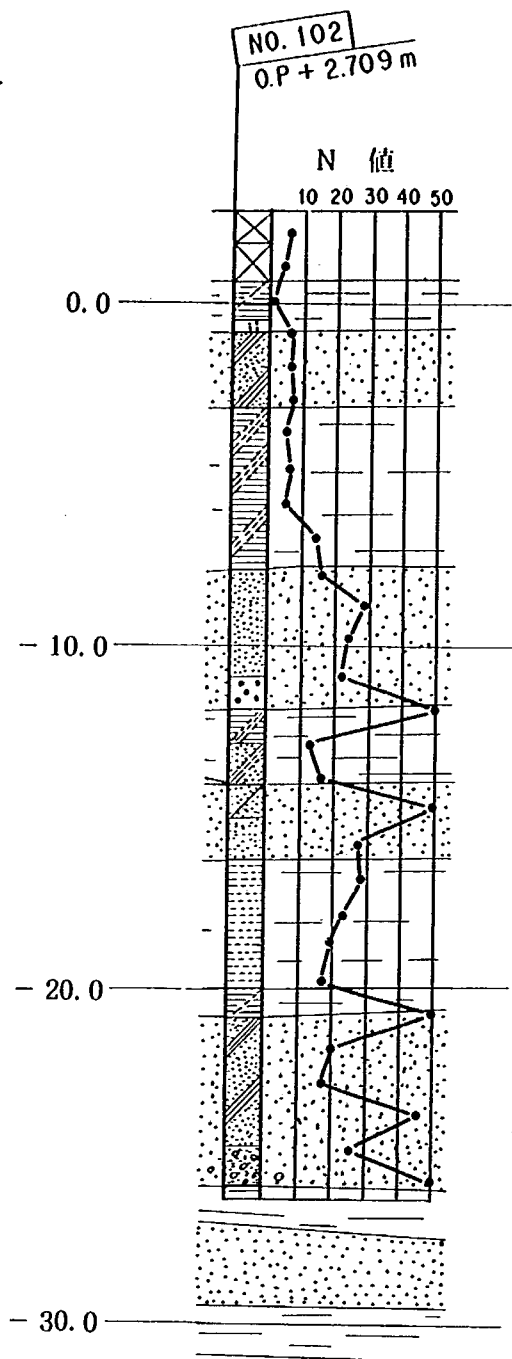


(○走行車線データ
△追越車線データ
白印は橋脚上伸縮装置なし
黒印は " あり)

図-16(2) 単純桁橋と連続桁橋の最大加速度についての比較



連 続 桁 橋



単 純 桁 橋

図-17 土質柱状図の比較

播経路の要因によって、その特性が複雑な性状へと変化していくものと推察できる。

Sの図は沿道における音圧についての比較であるが、この図からわかるように連続桁橋周辺の音圧の方が小さくなっている。これは主桁の振動加速度が軽減されたことによる影響が現われたものと言えるであろう。

4.2 周 波 数 特 性

高架橋の各部分で測定される振動はその条件によって様々であるが、連続桁橋と単純桁橋の卓越周波数についておよそそのオーダーを示すと表-9のようになる。これによると上部構造形式の違いによる周波数特性の差異は殆ど見られず、ほぼ同様な周波数特性を示していると言えそうである。連続桁橋と単純桁橋の橋梁各部の周波数特性を見てみると、主桁にはたわみ一次振動と推定できる4Hz付近の低周波振動が発生し、橋脚については鉛直、水平方向とも桁のたわみ振動の影響を受けていると考えられる4Hz付近の低周波成分のものと、伸縮装置部通過時に発生する比較的高次の振動が広い周波数帯域で複数個含まれた振動数成分となっている。さらに、地盤振動の周波数特性についても橋脚と同様な傾向が現われていると言えるが、特に主桁のたわみ一次振動から受ける影響の方が、伸縮装置部から受ける振動の影響よりも大きいということが図-12のスペクトル図を見てもよくわかる。

表-9 連続桁橋と単純桁橋の周波数特性

測 位	点 置	測 方	点 向	周 波 数 (Hz)	
				連 続 桁	単 純 桁
主	桁		Z	3 ~ 5	3 ~ 4
橋	脚		X	3 ~ 5 12 ~ 14 37 ~ 38	3 ~ 4
			Y	3 ~ 7 10 ~ 13 33 ~ 34	3 ~ 5 11 ~ 15 19 ~ 21
			Z	4 ~ 5 15 ~ 40	4 10 ~ 40
地	盤		X	4 ~ 5	4
			Y	4	4
			Z	4 ~ 5 12 ~ 16 20 ~ 30	4 10 ~ 30

4.3 構造的対策の検討

4.3.1 主桁の連続化と振動軽減効果

連続桁橋は単純桁橋に比べて長径間を渡るのに経済的な形式である。伸縮装置の数が少なく、交通の快適性も図れ、また振動伝播経路である橋脚の数も少ないため、交通振動軽減対策としてひとつの有効な手段として考えられる。そこで、今回の調査結果より明らかとなった事項について検討してみた。

先に示した図-16によると主桁の鉛直振動加速度は単純桁橋に比べて、そのピーク値は約30～60%まで低下しているのがわかるが、これは主桁の連続化によって桁に発生する曲げモーメントが単純桁形式と比較して全体的に小さくなるため、それがたわみ振動軽減の効果として現われたと言えよう。

また桁の鉛直振動数成分と音圧の振動数成分は、図-18に示したスペクトル図からもわかるように、振動性状も非常によく似ており相関関係があるものと推定できるため、桁のたわみ振動を軽減させることにより低周波空気振動に対しても有効な対策になり得るものと思われる。

一方、伸縮装置部の除去による振動の軽減効果を調べるために、連続桁橋データにおいて橋脚のX成分、Z成分、及び地盤上のZ成分について、振動加速度の最大値が変化していく様子を示したのが表-10である。この表からわかるように、伸縮装置部での段差部で発生する振動の影響は大きく、伸縮装置のない路面を走行すると振動はかなり軽減しており、その効果は橋脚や地盤にもはっきりと現われている。これは振動発生源である伸縮装置部の衝撃的な振動が除去されたことによるものであることは明らかである。

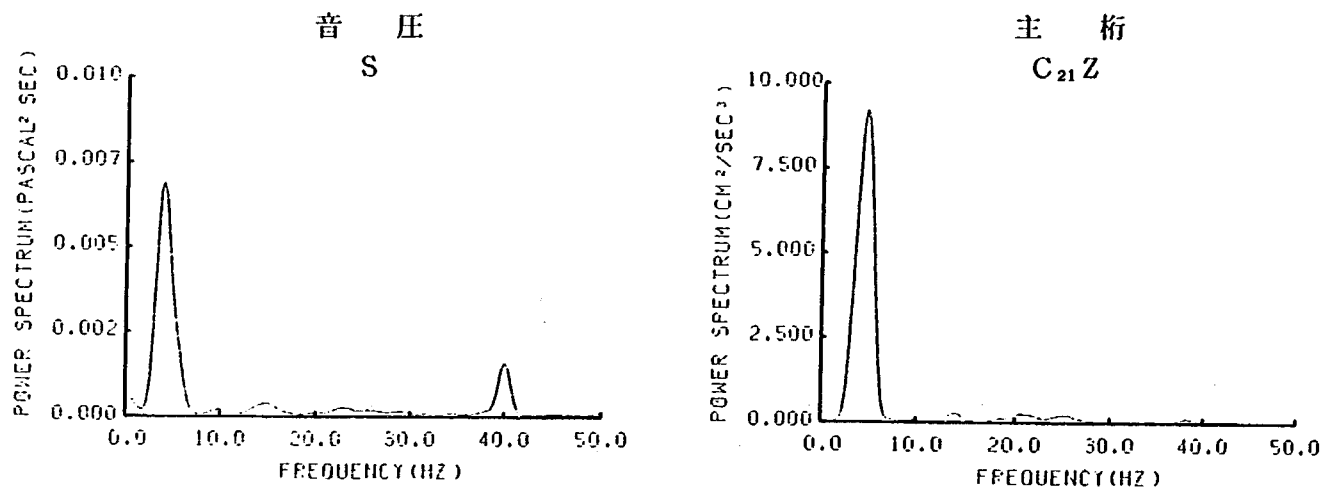


図-18 音圧と主桁のパワー・スペクトル図

表-10 伸縮装置部除去による最大加速度値の変化

ラベル No	荷重車走行条件 設定走行 速度(km/h) 車線		加 速 度 (gal)								
			橋			脚			地 盤		
			X 成 分			Z 成 分			Z 成 分		
			伸 縮 装置部	伸縮装置部なし		伸 縮 装置部	伸縮装置部なし		伸 縮 装置部	伸縮装置部なし	
			P ₁₁	P ₂₁	P ₃₁	P ₁₁	P ₂₁	P ₃₁	G ₁	G ₂	G ₃
18	4 0	走行	8.2	3.8	2.9	3.1	1.9	1.0	0.9	0.5	0.7
12	6 0	走行	7.7	5.6	5.7	6.3	1.7	2.6	1.2	0.7	0.8
23	6 0	追越	6.0	4.1	3.9	1.2	0.7	1.0	1.0	0.5	0.6
15	7 0	走行	6.9	6.8	6.3	4.7	3.0	2.2	1.1	1.0	0.9

上述したように、上部構造形式を連続化することで構造物全体の振動は、かなり軽減することがわかったが、それが周辺地盤に及ぼす効果についてみると、むしろ単純桁橋に比べて連続桁橋の地盤振動の方が少し大きめとなる結果を示した。地盤振動加速度データを比較するうえにおいては地盤、地質条件は高架橋架設地点の場所ごとによってその条件が異なるため、ここでは単純な比較はできないが、地盤の振動特性は地盤状況によるところが大きいものと推測できる。このため連続桁橋周辺地盤には単純桁橋周辺地盤で測定された振動加速度を下回る顕著な軽減効果として現われない結果になったのかも知れない。地盤振動については詳細な検討資料も乏しいため今後の検討課題としたい。

4.3.2 主桁、橋脚の剛性、質量

連続桁橋と単純桁橋の主桁、橋脚の剛性、質量を表-11に比較して示した。主桁の断面二次モーメントは連続桁橋が単純桁橋と比較してかなり小さくなっている。これは連続桁橋が非合成桁であり、単純桁橋が合成桁であることによる違いが現われたものと考えられる。桁の単位長さ当りの重量は連続桁橋が単純桁橋よりもやや大きくなっているが、これは連続桁橋の幅員が単純桁橋の幅員と比較し、やや大きいことによると考えられる。橋脚は断面二次モーメント、単位長さ当りの重量ともに連続桁橋が単純桁橋に比較し、かなり大きくなっている。これは橋脚高の違いが関係しているものと考えられる。

主桁、橋脚の剛性、質量増が振動軽減に及ぼす効果については桁の連続、非連続の違い、合成、非合成の違い、橋脚高の違いなど比較の前提条件が異なっているため、今回の連続桁橋と単純桁橋の実測デ

一タ比較より検討することは難しいと考えられ、数値解析モデルを用いて構造的諸元の違いによる影響をパラメトリックに検討する必要があると考えられる。

振動特性から見ると桁のたわみ振動成分が橋脚、地盤にも現われており、桁の剛性、質量増により発生源となる桁のたわみ振動を低減できれば振動軽減対策として有効と考えられる。同様に橋脚は桁や伸縮装置部の振動の地盤への伝播経路となり、地盤振動との相関性が高いことから、橋脚の剛性、質量増により橋脚の振動を低減できれば振動軽減対策として有効と考えられる。これらの効果の定量化については、解析モデルを用いた今後の検討によることとなろう。

表-11 連続桁と単純桁の高架橋構造諸元

(1) 3 径間連続桁高架橋構造諸元

上 部 構			橋脚 番号	方 向	下 部 構 (柱)		下 部 構 (梁)	
	$I_g (m^4)$	$W_g (t/m)$			$I_p (m^4)$	$W_p (t/m)$	$I_b (m^4)$	$W_b (t/m)$
第一径間	0.0789	2.004	P 1	X	2.535	14.4	2.600	12.5
				Y	2.995		1.667	
第二径間	0.0978	2.163	P 2	X	8.932	21.9	2.600	12.5
				Y	4.557		1.667	
			P 3	X	3.255	15.6	2.600	12.5
				Y	3.255		1.667	
第三径間	0.0877	1.989	P 4	X	2.535	14.4	2.600	12.5
				Y	2.995		1.667	

(2) 単純桁高架橋構造諸元

上 部 構			橋脚 番号	方 向	下 部 構 (柱)		下 部 構 (梁)	
	$I_g (m^4)$	$W_g (t/m)$			$I_g (m^4)$	$W_p (t/m)$	$I_b (m^4)$	$W_b (t/m)$
単 径 間	0.2381	15.89	P 1	X	1.000	7.5	1.545	10.5
				Y	0.563		1.400	
			P 2	X	1.000	7.5	1.545	10.5
				Y	0.563		1.400	

I ; 断面二次モーメント
W ; 単位長さ当り重量

5. ま と め

昭和61年度の高架橋交通振動実測調査は、多径間連続桁高架橋を対象に行い、振動の特性や大きさについて前年度調査した単純桁橋と比較した結果を踏まえて、主桁の連続化による振動軽減対策上の有効性について検討を行った。その結果をまとめると以下のとおりである。

(1) 連続桁橋の振動特性

- 1) 高架橋の交通振動数成分は桁のたわみ振動に起因する4Hz程度の低周波成分と伸縮装置部通過時に生ずる10～40Hzの高周波成分とからなる。
- 2) 地盤上で卓越する振動数成分は4Hz程度の低周波成分であり、桁の鉛直たわみ一次振動の影響は著しい。
- 3) 音圧の振動特性は桁の振動特性と相関性が見られる。

(2) 連続桁橋と単純桁橋との比較

- 1) 上部構造形式の違いによる振動特性（固有振動数、振動モード）の差異は殆ど見られない。
- 2) 連続桁橋の方が単純桁橋に比べて橋梁各部の振動の大きさは減少する。

上述したように、高架橋の振動特性は主桁を連続構造にしても殆ど変化はしないが、高架橋各部には顕著な振動軽減効果が現われた。そこで、連続桁橋の振動軽減対策上の有効性について明らかとなった事項について以下にまとめる。

(3) 主桁の連続化形式による振動軽減効果

- 1) 桁のたわみ振動は約30%～60%の割合で軽減効果が見られた。
- 2) 構造的に伸縮装置の数が少なくなるために衝撃的な振動が除去あるいは緩和される。
- 3) 周辺音圧レベルは軽減される。
- 4) 地盤振動の大きさについては、単純桁高架橋周辺地盤よりも下回る傾向が見られず、その軽減効果は明確ではなかった。このことから、地盤振動特性は高架橋周辺の地盤条件によって複雑に変化するものと思われ、地盤における伝播経路対策については今後の検討課題となろう。

謝

辞

本調査を実施するにあたり、阪神高速道路公団保全施設部保全技術課の関係各位から多大な協力を得ました。ここに記して、感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 阪神高速道路公団；道路交通振動調査研究検討会報告書，昭和58年度，阪神高速道路管理技術センター，昭和59年3月
- 2) 建設省所管道路事業環境影響評価技術指針，昭和60年9月
- 3) 建設省土木研究所構造研究室；高架橋交通振動実測調査報告書，土木研究所資料第2428号，昭和62年1月
- 4) 阪神高速道路公団，(株)奥村組技術研究所；高架橋脚および地盤の模型振動実験業務報告書，阪神高速道路公団，昭和59年3月
- 5) 阪神高速道路公団第二建設部；橋脚振動測定業務（西淀川工区 NYP-28），昭和56年7月

連続桁高架橋交通振動実測調査報告書

I S S N 0386-5878

土木研究所資料 第2500号

昭和62年7月 (1987)

横山 功一、井上 純三
伊関 英彦

要 旨 連続桁高架橋の交通振動特性を把握し、上部構造形式による振動軽減対策としての有効性を検証するために、高架橋交通振動の実測調査を行った。昨年度同様な実測調査を行った単純桁高架橋と比較した結果、連続桁形式の方が構造物自体の振動の大きさについて、かなりの軽減効果のあることがわかった。

キーワード：連続桁高架橋、主桁の連続化、振動軽減対策

郵便はがき

40円切手
をはいて
下さい

3 0 5 - □ □

茨城県筑波郡豊里町大字旭一番地
建設省土木研究所
構造橋梁部・構造研究室
御中

No. 302

No. 302

配布先氏名

配布先住所

土木研究所資料第2500号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名 印

