

002

ISSN 0386—5878

土木研究所資料第3436号

土木研究所資料

高架橋の交通振動軽減対策に関する 実験報告書

平成8年3月

建設省土木研究所
構造橋梁部構造研究室

Copyright © (1996) 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、本報告書の全文又は一部の転載、複製は、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

高架橋の交通振動軽減対策に関する実験報告書

構造研究室

室 長 佐藤 弘史

主任研究員 澤田 憲文^{*1}

主任研究員 日下部毅明^{*2}

研 究 員 今野 久志

研 究 員 長尾 彰洋

部外研究員 鈴木 忠好^{*3}

*1)現 広島県警察本部交通部交通規制課

*2)現 国際開発協力事業団 (JICA)

*3)部外研究員在職期間 (平成3年4月から平成5年3月まで)

要 旨

高架橋の交通振動軽減対策としていくつか方法が考えられるが、土木研究所では、桁端部をコンクリートで巻き立てる工法と鋼製支承を減衰性の高いゴム支承に取り替える対策工について実験を行った。本報告書は、これらの工法が対策として有効な手段であるか実験的に検討したものである。その結果、桁端部補強対策では伸縮継手部付近から発生していた衝撃的振動が対策前と比べて増加する箇所が一部見られたが、全体的には軽減効果が見られた。また、ゴム支承による軽減対策では、支承上部にある橋梁本体の振動は、段差の有無に関係なくゴム支承の方が大きくなったが、支承から下の車両走行側橋台や地盤では、段差有りて走行速度60km/hと厳しい条件下ではゴム支承の方が小さくなることが分かった。

キーワード：高架橋，交通振動，桁端部補強，ゴム支承

目 次

まえがき	
1. 概説	1
2. 桁端部補強対策に関する実験	2
2.1 実験概要	2
2.2 対象橋梁	2
2.3 桁端部補強	7
2.4 実験方法	10
2.4.1 計測項目	10
2.4.2 実験条件	14
2.4.3 データ整理方法	20
2.5 実験結果	21
2.5.1 橋梁の振動特性	21
2.5.2 桁端部補強対策の有効性	36
2.6 桁端部補強対策に関するまとめ	50
2.6.1 橋梁の振動特性	50
2.6.2 桁端部補強対策の有効性の検討	50
3. ゴム支承対策に関する実験	52
3.1 実験概要	52
3.2 対象橋梁	52
3.4 実験方法	56
3.4.1 計測項目	56
3.4.2 実験条件	61
3.4.3 データ整理方法	63
3.5 実験結果	64
3.5.1 時刻歴波形図	64
3.5.2 最大加速度	77
3.6 ゴム支承対策に関するまとめ	79
3.6.1 ゴム支承対策の有効性の検討	79
4. まとめ及び今後の課題	82
付属資料	83

まえがき

車両が高架橋を通過する場合に路面の不陸や伸縮継手部の段差などの影響により衝撃的な振動が発生する。この振動は橋梁の桁、橋脚、基礎などの構造物に伝わる途中である程度減衰されるが、一部は地盤を介して周辺の建物に伝播される。高架道路における振動の成分や卓越振動数などの振動特性は、このように複数の構造物や地盤などを経由するため、平面道路とは異なる複雑な伝播メカニズムとなり、有効な振動軽減対策のとり方が難しくなっている。

このような背景のもと、土木研究所では平成3年度から6年度まで道路事業調査により「道路交通振動軽減対策に関する試験調査」を実施した。

平成3年度にはOA機器等の騒音対策に用いられている制振鋼板と固体伝搬音の低減対策として実験で効果が認められているモルタル充填箱について取り上げ、部材実験により桁や橋脚の振動に伴い発生する低次の道路交通振動対策として有効な手段かどうか検討をした。その結果、粘弾性樹脂のずり変形により振動エネルギーを熱エネルギーに変換する制振鋼板やモルタルとの摩擦により振動を減衰させるモルタル充填箱では、低い振動数領域の制振効果は小さく、道路交通振動対策としての効果は乏しいことが分かった。

そして、平成4～6年度には実橋を使用し、桁端部をコンクリートで巻き立てる工法(桁端部補強対策)と鋼製支承を減衰性の高いゴム支承に取り替える工法(ゴム支承対策)を取り上げ、それらがジョイント部で発生する衝撃的な高い振動数成分の振動軽減に有効な手段であるかどうかを車両走行実験により検討した。

本報告書は、平成4～6年度に行った桁端部補強対策とゴム支承対策の試験結果をとりまとめたものである。

1. 概説

車両が高架橋を通過する時に、路面の不陸や伸縮継手部の段差などにより引き起こされる高い振動数成分の振動を軽減するための対策として、①桁端部補強対策及び②ゴム支承対策を取り上げ、実験的検討を行った。

以下に、その概要を示す。

①桁端部補強対策（平成4、5年度）

桁端部補強対策は桁端部をコンクリートで巻き立てることにより質量を増加させ振動を低減させようとするものである。試験は、床版と補強工の間に無収縮モルタルを打設することにより床版と一体化を図った対策1と、床版までを一体化した補修工法は一般に施工が困難であることを考慮して、床版下面と補強工上面との間に空隙をもうけた対策2について土木研究所試験橋梁で車両走行実験により行った。

②ゴム支承対策（平成6年度）

ゴム支承対策は鋼製支承を減衰性の高いゴム支承に取り替えることにより振動を低減させようとするものである。試験は、単純活荷重合成桁である土木研究所内にある試験橋梁で既存の鋼製支承を用いた場合と積層ゴム支承に取り替えた場合とについて車両走行実験により行った。

2. 桁端部補強対策に関する実験

2.1 実験概要

ダンプトラックを試験車として土木研究所構内にある試験橋梁を用いて、路面の不陸や伸縮継手部の段差を想定した踏み板を使用し、車両重量と走行速度を変化させることにより橋梁各部の振動特性やこれらが振動の大きさに及ぼす影響について調査した。また、高い振動数成分の発生箇所である桁端部をコンクリートで巻き立てる工法が軽減対策として有効であるかどうかの検討を行った。

橋梁の動きを詳細に把握するために、計測点の位置は橋梁端部や桁中央などの路面、主桁、端対傾構、台座基部に加速度計を配置した。

2.2 対象橋梁

実験対象とした橋梁は土木研究所構内の試験橋梁である。その概要は表-2.1 に示したように上部構造は、支間長30m、車道 8.5mの2車線、4本のI型主桁からなる単純活荷重合成桁橋である。また、下部構造は橋台、擁壁、底版を一体化したピット形式であり、基礎に直径40cm、長さ6.0mのプレテンション方式遠心力高強度プレストレストコンクリート杭を打設している。試験橋梁の一般図を図-2.1 に外観を写真-2.1にそれぞれ示す。

試験橋梁の地盤構成は図-2.2の土質柱状図によると粘土質、細砂質から構成されており、N値も表層より約10mぐらいまでは15以下であった。

表-2.1 試験橋梁の概要

上部構造	橋 格	1等橋		下部構造	形 式	ピット形式
	形 式	単純活荷重合成桁			コンクリート	$\sigma_{ca}=210\text{kgf/cm}^2$
	橋 長	30.8m			鉄 筋	SD30A
	支間長	30.0m			基礎形式	PC杭
	幅 員	車 道	8.5m			
	床版厚	210mm				
	舗装厚	車 道	80mm			

(単位:mm)

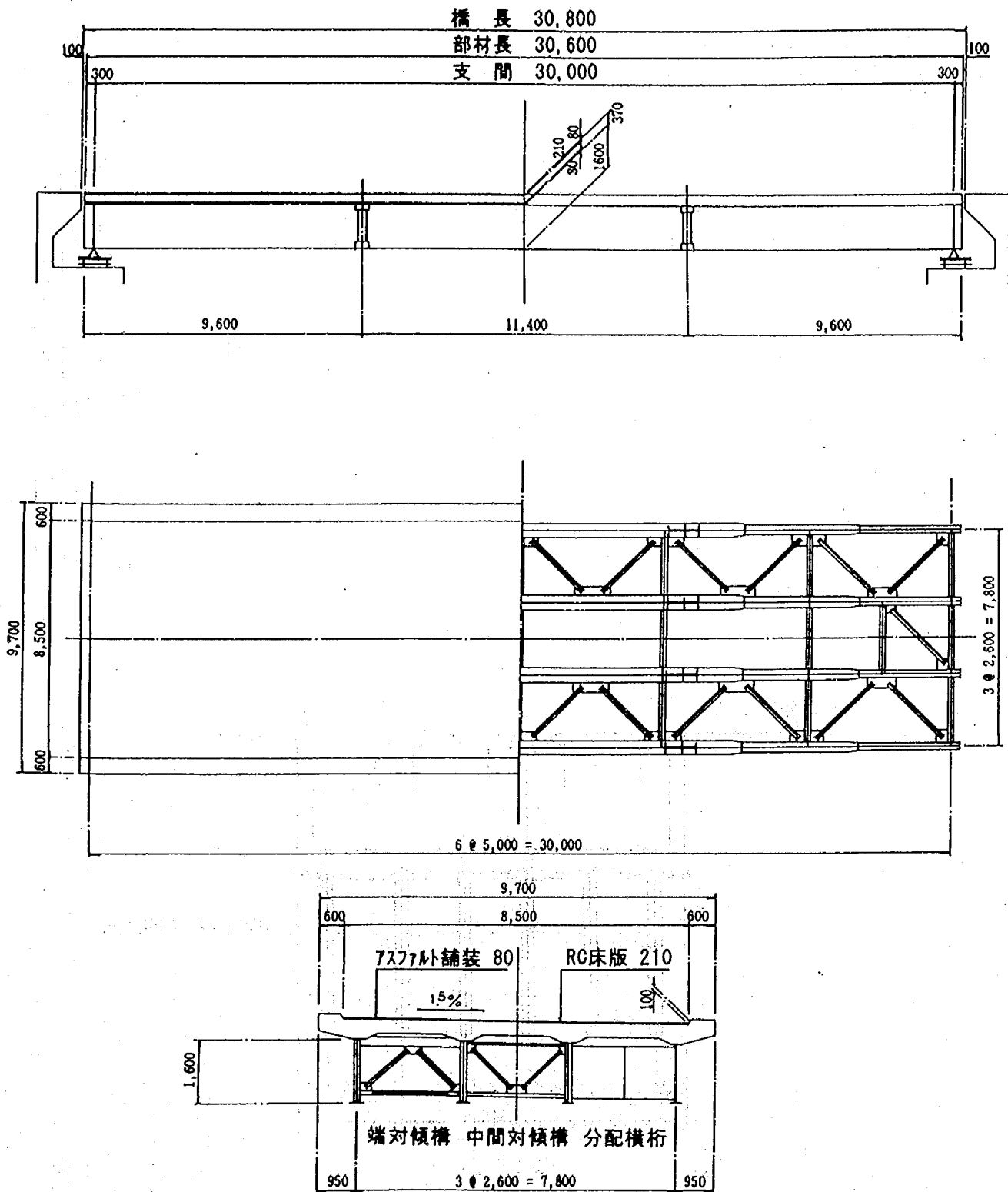
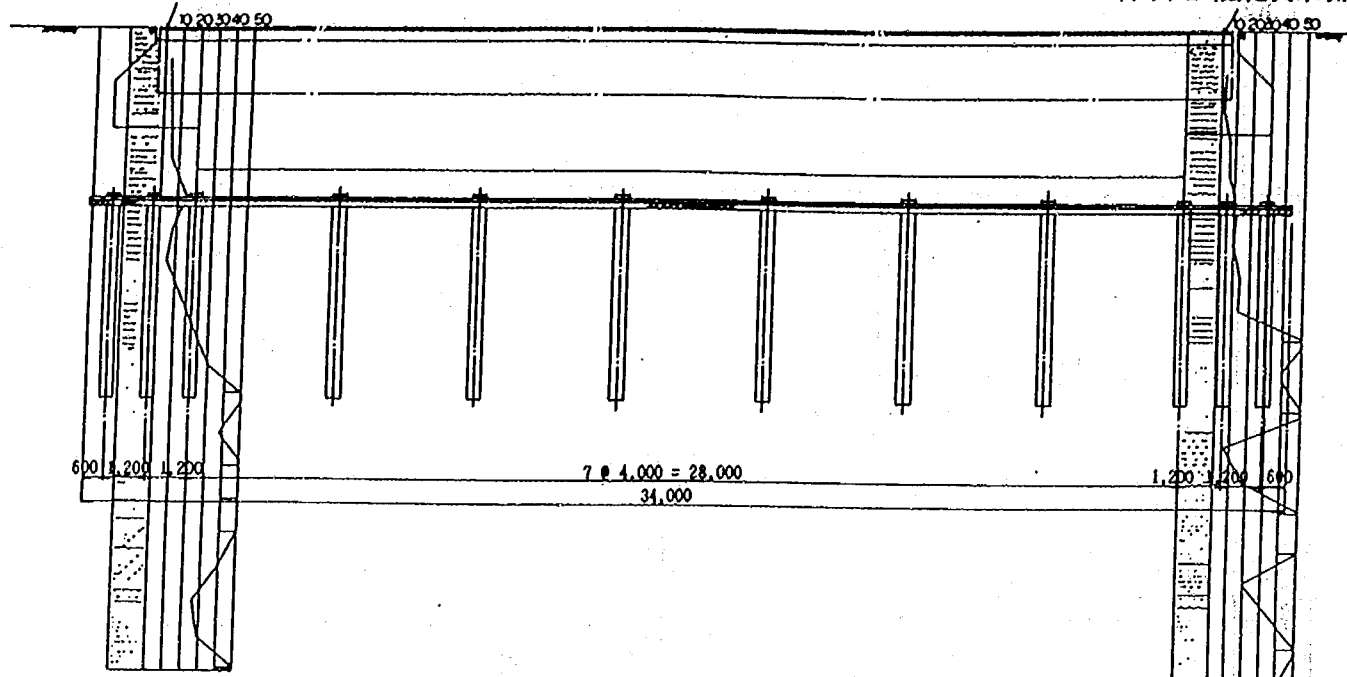


図-2.1(a) 試験橋梁一般図(上部構造)

No. 1 (可動支承側)

No. 2 (固定支承側)



試験走路側

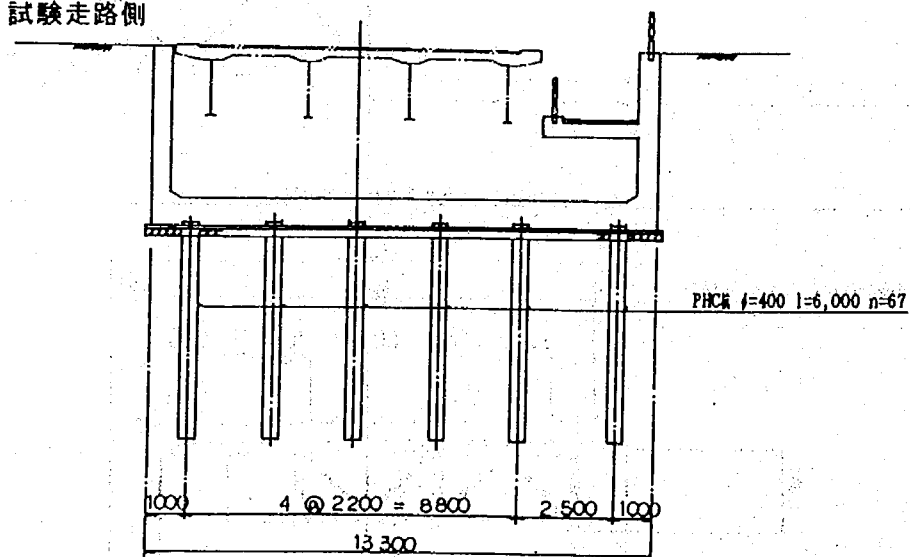


圖-2.1(b) 試驗橋梁一般圖(下部構造)

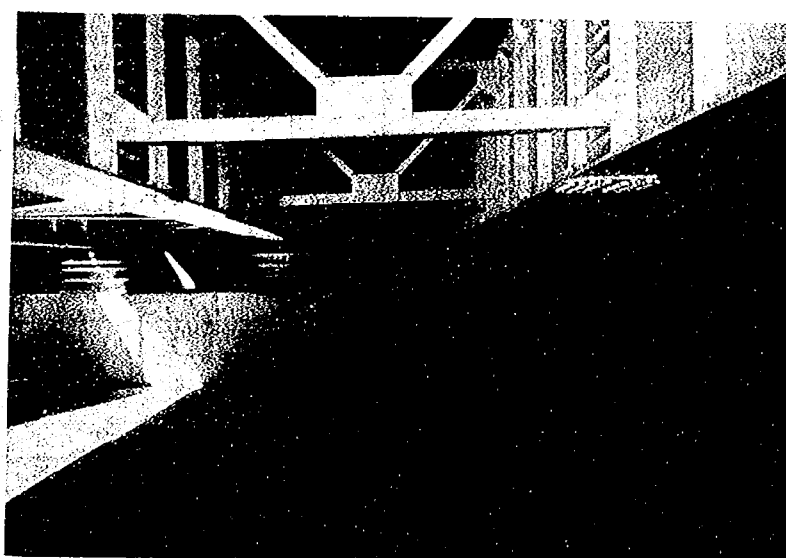
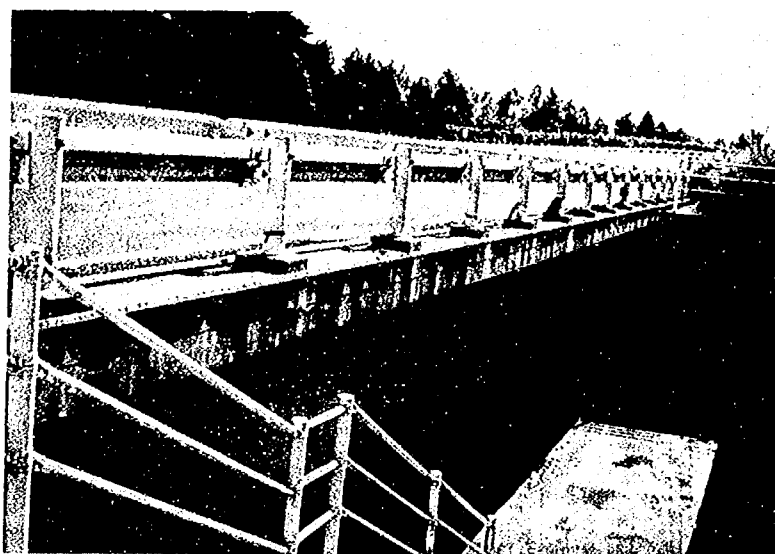


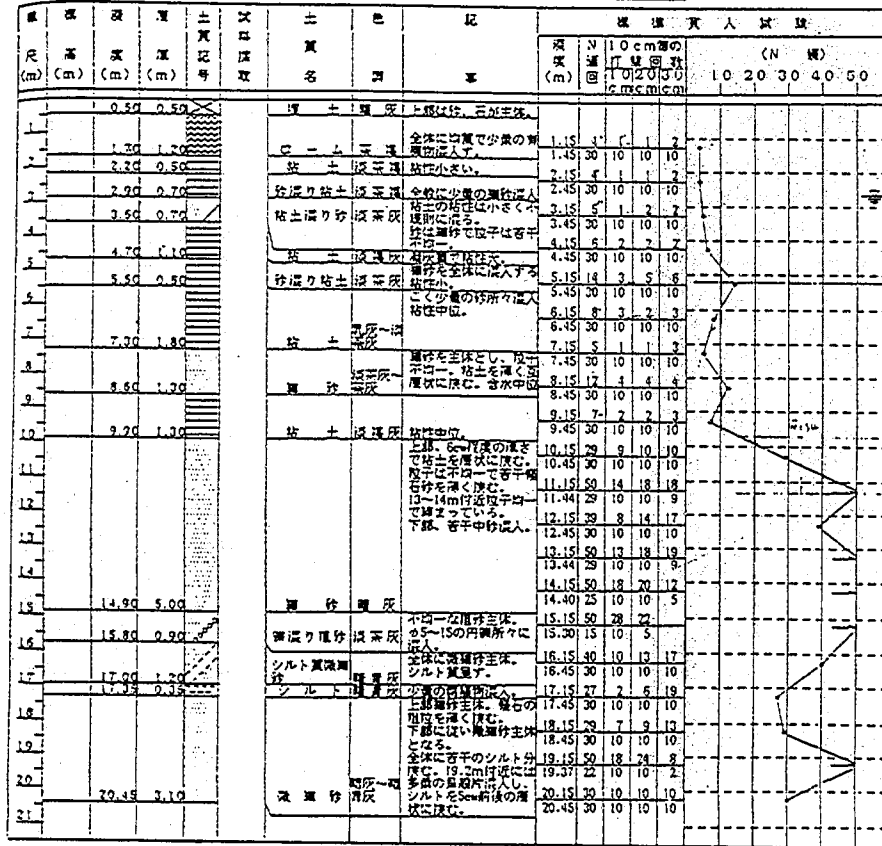
写真-2.1 試験橋梁外観

調査名 試験地盤調査用ボーリング調査 ボーリング方法 ロータリー 式

調査年度 平成23年度 調査年度日 63年11月 7日~11月 8日

調査番号 No. 1 調査地 河内川流域調査用地下水調査

孔内水位 GL-2.70 m 調査者 河川 調査



調査名 試験地盤調査用ボーリング調査 ボーリング方法 ロータリー 式

調査年度 平成23年度 調査年度日 63年11月 9日~11月10日

調査番号 No. 2 調査地 河内川流域調査用地下水調査

孔内水位 GL-2.10 m 調査者 河川 調査

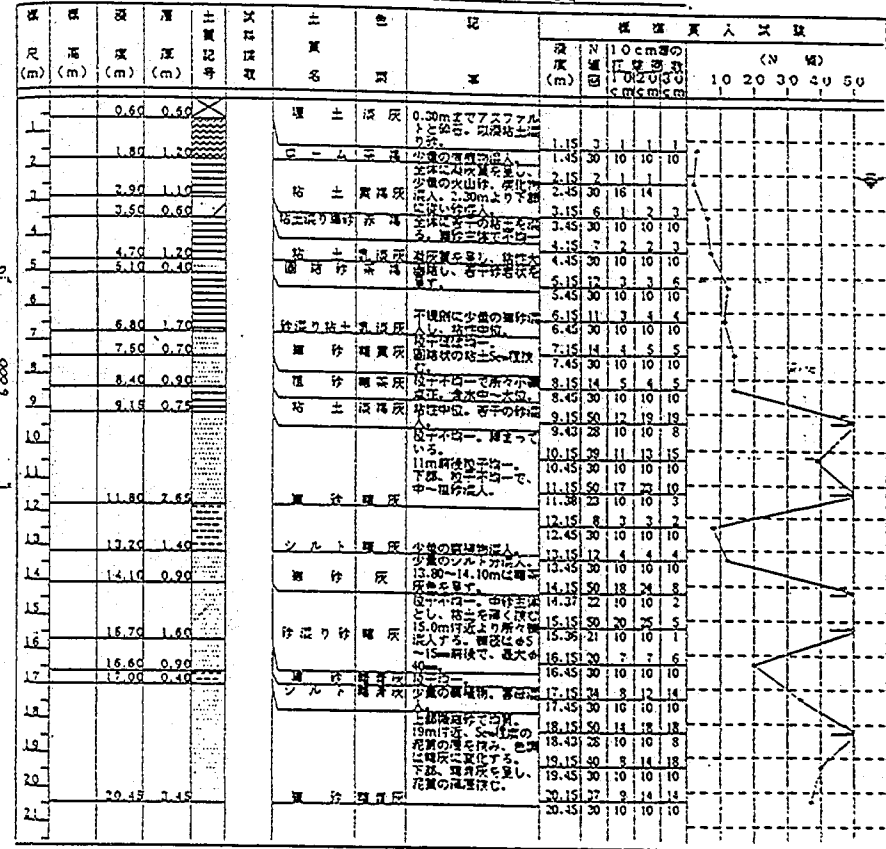


図-2.2 土質性状図

2.3 桁端部補強

補強対策としては、以下の2つを考えた。

対策1： 主桁下フランジから床版までの高さ1.6m、厚さ60cmで対傾構を含めた両側の桁端部全面をコンクリートで巻き立て、床版下約10cmを路面との一体化を図るために無収縮モルタルを挿入した対策工法

対策2： 一体化するために床版と空隙を設けず打設することは困難であるため、桁端部全面をコンクリートで巻き立てず床版との間を空隙を設けた対策工法（本対策工は、対策1の実験後に行ったため床版下約25cmをはつることにより空隙を設けた。）

桁端部補強の一般図を図-2.3に、外景を写真-2.2にそれぞれ示す。

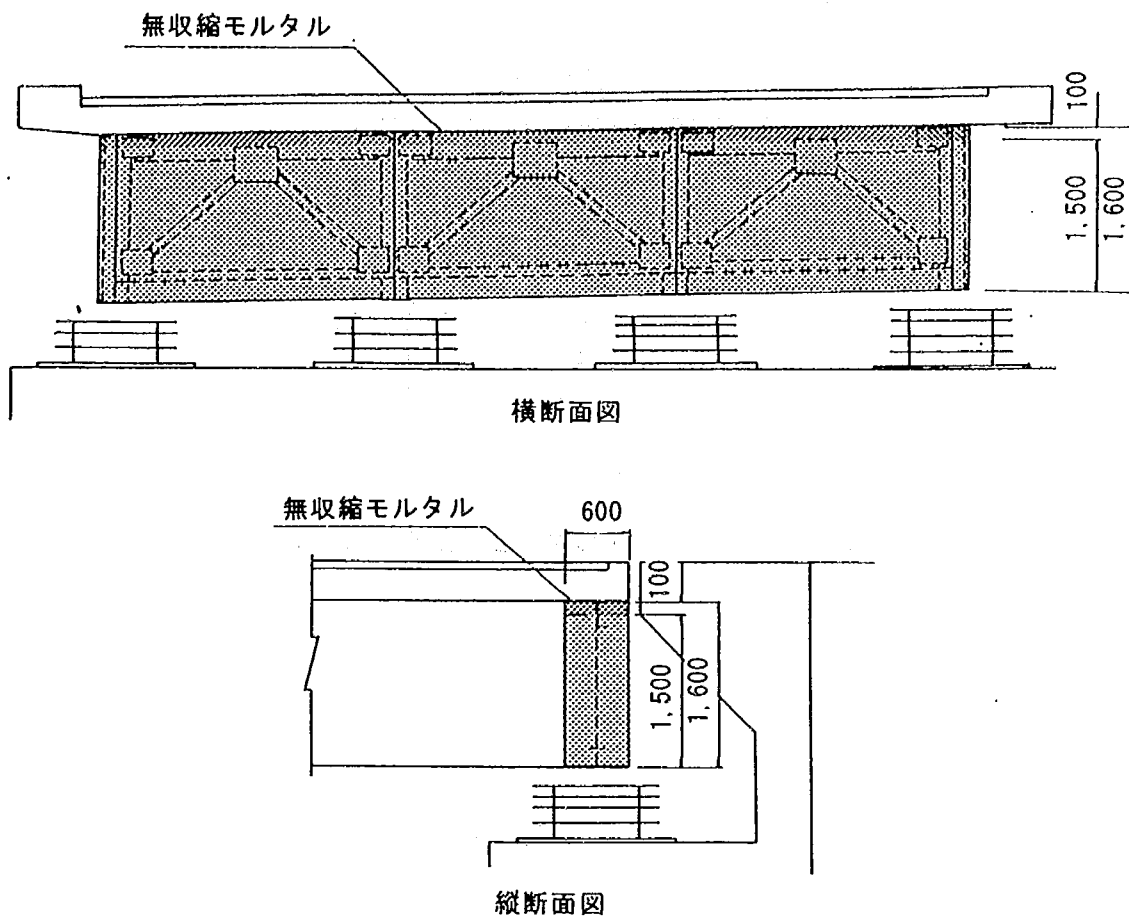
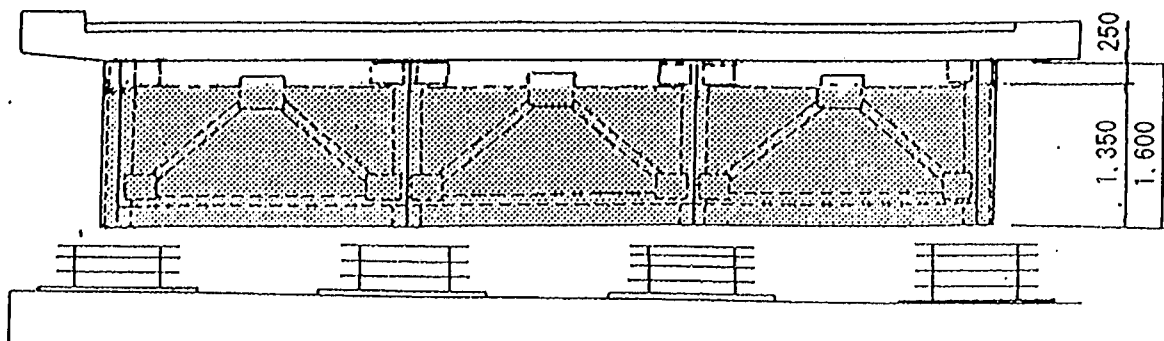
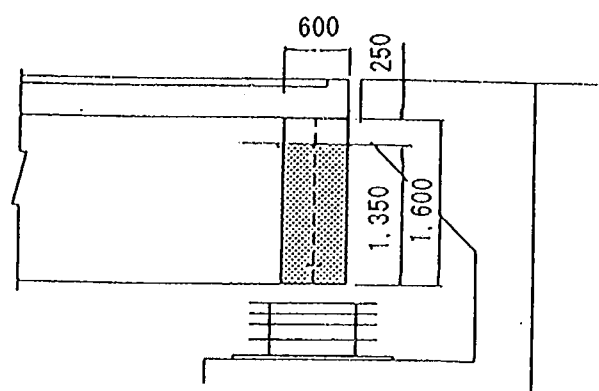


図-2.3(a) 桁端部補強対策1概略図（単位：mm）

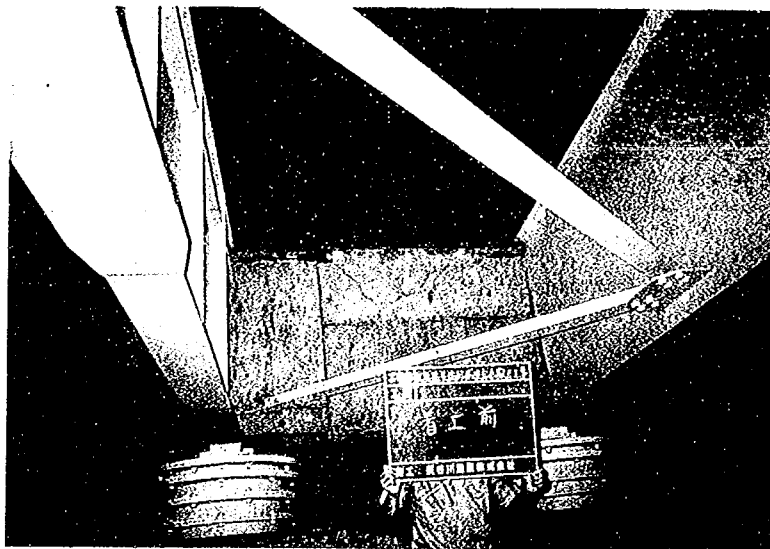
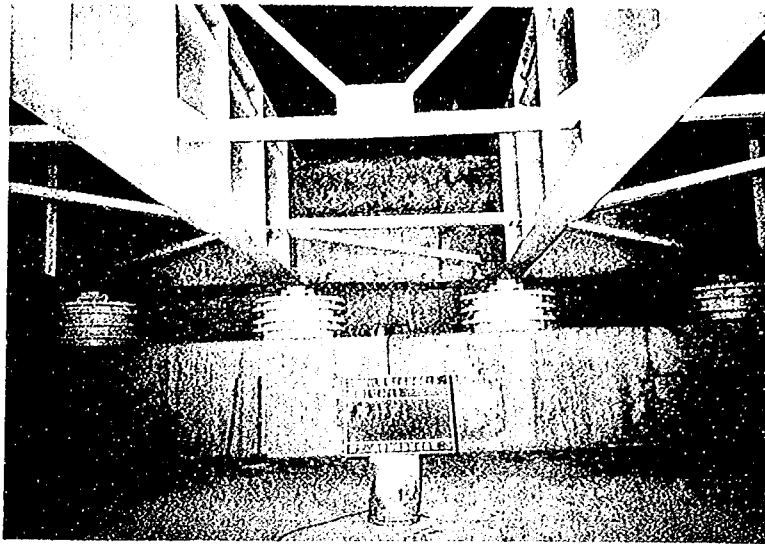


横断面図

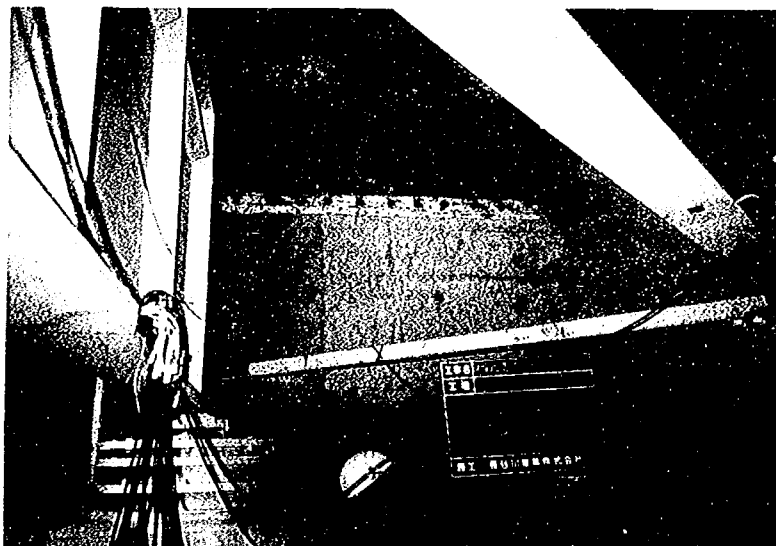


縦断面図

図-2.3(b) 桁端部補強対策2一般図(単位:mm)



(a) 対策 1



(b) 対策 2

写真-2.2 桁端部補強

2.4 実験方法

2.4.1 計測項目

車両走行により桁端部から発生する衝撃的な振動の特性や橋梁の動きを詳細に把握するために、橋軸直角方向を表-2.2 に示す4断面に区切り、その断面内に位置している路面、主桁、端対傾構、台座基部の橋梁各部に合計33箇所40成分の加速度計を配置した。桁端部補強工時にコンクリートで埋まるA-A断面のB-5~6及びB-14の計測器は取り外さずに埋設した。測定記録は、全てデジタルデータレコーダによる磁気記録とし、データサンプリング間隔(Δt)は、対策前と対策1は0.005(sec)で対策2は0.002(sec)で収録した。計測システム図を図-2.4に、計測項目と計測位置を表-2.3、図-2.5に、それぞれ示す。

表-2.2 各断面における加速度計の配置数

位 置	A-A断面 (可動支承側)	B-B断面 (支間1/4点)	C-C断面 (支間中央)	D-D断面 (固定支承側)
路 面	2箇所4成分	—	—	2箇所3成分
主 桁	10 " 11 "	2箇所2成分	3箇所3成分	5 " 5 "
対 傾 構	5 " 5 "	—	—	—
台座基部	2 " 4 "	—	—	2 " 3 "

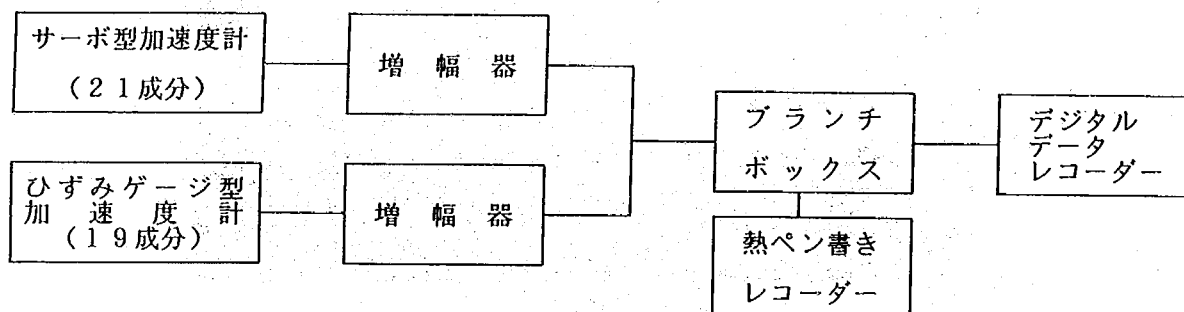
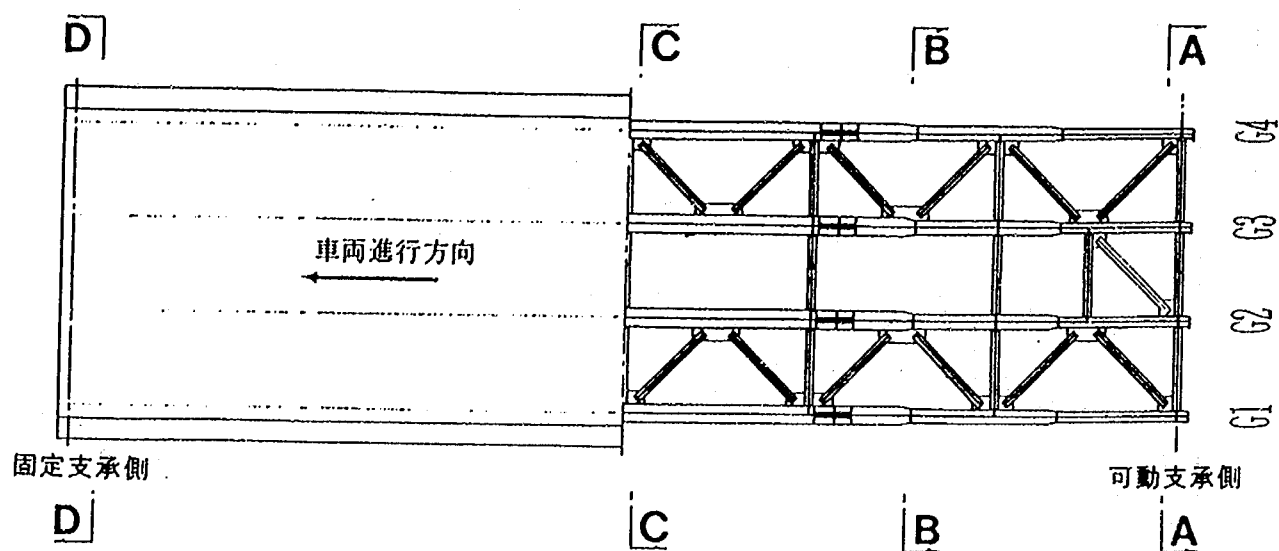


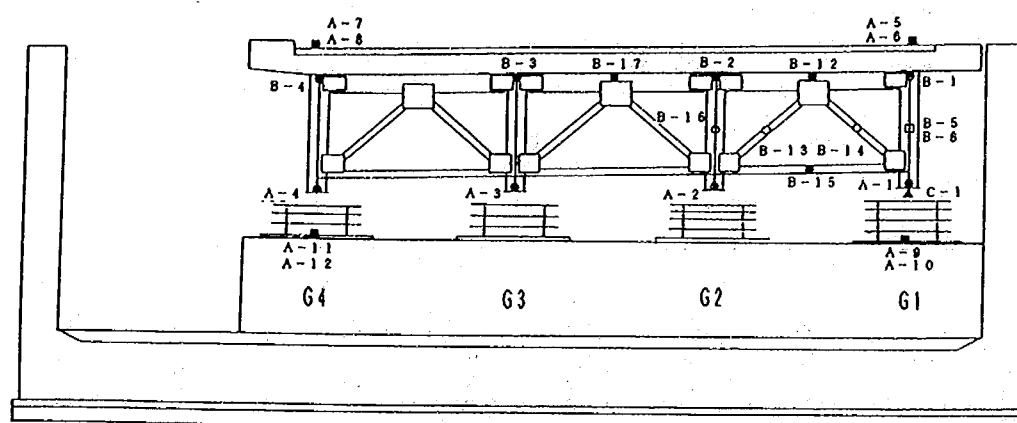
図-2.4 計測システム図

表-2.3 計測項目及び計測位置

計測項目	計測名	振動方向	計測位置	計測項目	計測名	振動方向	計測位置
加速度	A-1	鉛 直	可動支承側 G 1 桁下フランジ	加速度	B-1	鉛 直	可動支承側 G 1 桁上フランジ
	A-2	鉛 直	" G 2 桁 "		B-2	鉛 直	" G 2 桁 "
	A-3	鉛 直	" G 3 桁 "		B-3	鉛 直	" G 3 桁 "
	A-4	鉛 直	" G 4 桁 "		B-4	鉛 直	" G 4 桁 "
	A-5	橋 軸	" G 1 桁上の路面		B-5	橋軸直角	" G 1 桁ウェブ中央
	A-6	鉛 直	" "		B-6	鉛 直	" "
	A-7	橋 軸	" G 4 桁上の路面		B-7	鉛 直	支間中央 G 1 桁下フランジ
	A-8	鉛 直	" "		B-8	鉛 直	" G 2 桁上フランジ
	A-9	橋 軸	" G 1 桁支承台座基部		B-9	鉛 直	" G 4 桁 "
	A-10	鉛 直	" "		B-10	鉛 直	固定支承側 G 1 桁上フランジ
	A-11	橋 軸	" G 4 桁支承台座基部		B-11	鉛 直	" G 2 桁 "
	A-12	鉛 直	" "		B-12	鉛 直	可動支承側 G1~G2桁間の上部端対傾構中央
	A-13	鉛 直	固定支承側 G 1 桁下フランジ		B-13	橋軸直角	" G1~G2桁間の斜部端対傾構中央
	A-14	鉛 直	" G 2 桁 "		B-14	橋軸直角	" G1~G2桁間の斜部端対傾構中央
	A-15	鉛 直	" G 4 桁 "		B-15	鉛 直	" G1~G2桁間の下部端対傾構中央
	A-16	橋 軸	" G 1 桁上の路面		B-16	橋軸直角	" G 2 桁ウェブ中央
	A-17	鉛 直	" "		B-17	鉛 直	" G2~G3桁間の上部端対傾構中央
	A-18	鉛 直	" G 4 桁上の路面		B-18	鉛 直	G 1 桁の可動支承側より支間1/4点
	A-19	橋 軸	" G 1 桁支承台座基部		B-19	鉛 直	G 2 桁の可動支承側より支間1/4点
	A-20	鉛 直	" "	変 位	C-1	橋 軸	G 1 桁可動支承
	A-21	鉛 直	" G 4 桁支承台座基部		C-2	橋 軸	G 2 桁固定支承



A - A 断面



B - B 断面

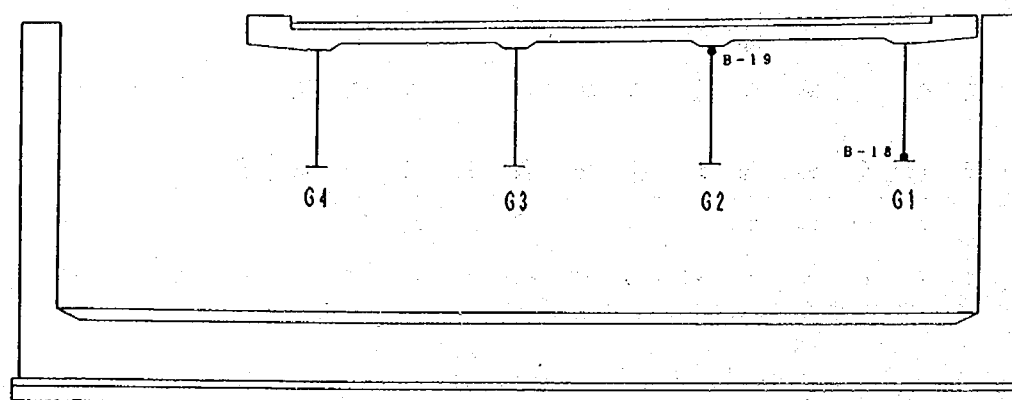
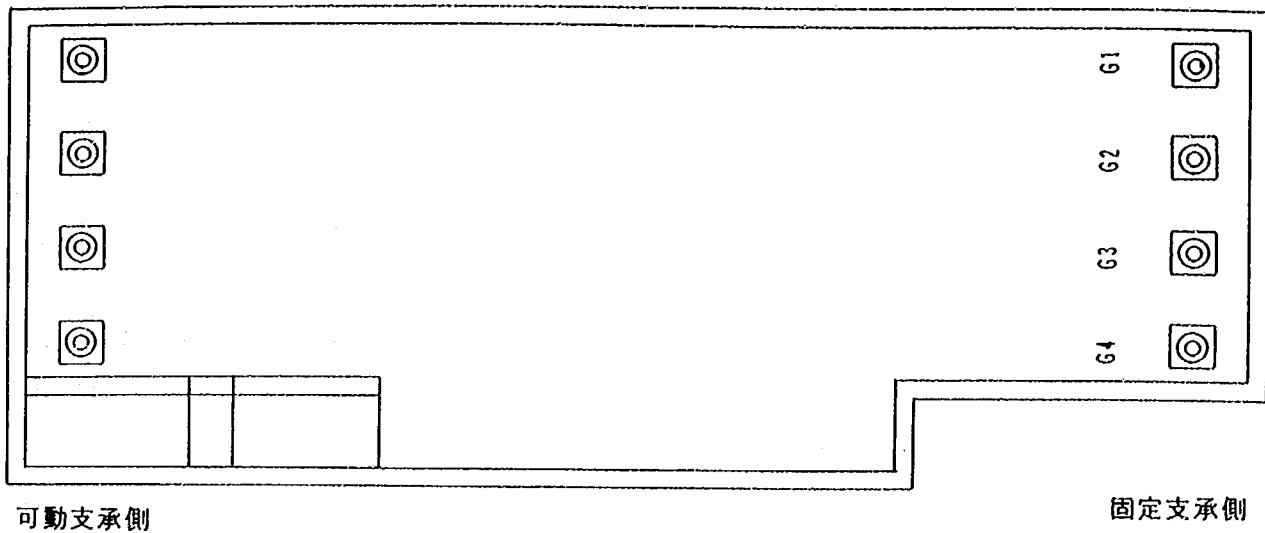
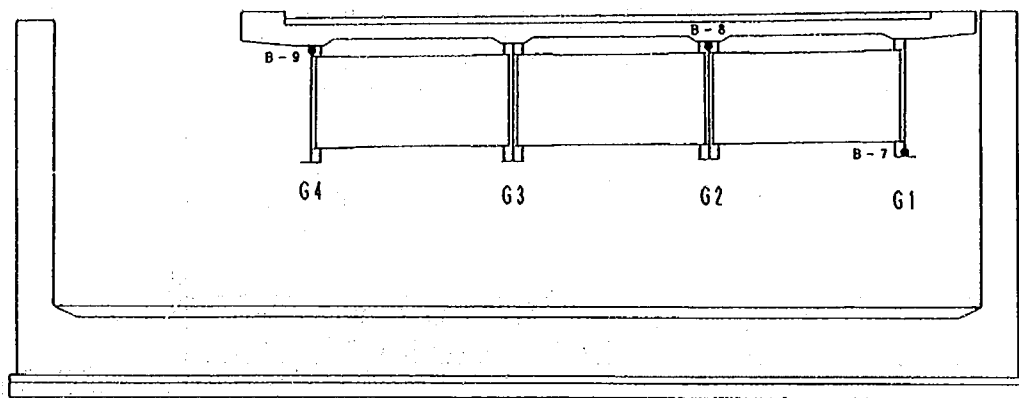


図-2.5(a) 計測位置図



C - C 断面



D - D 断面

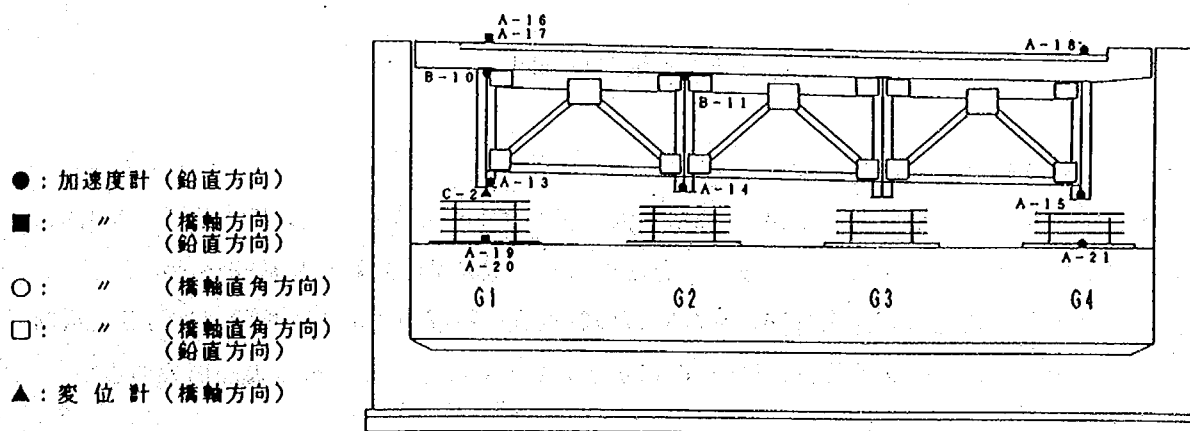


図-2.5(b) 計測位置図

2.4.2 実験条件

(1) 実験ケース

実験のパラメータは走行速度、総重量、段差とし、表-2.4に示す実験ケースを実施した。実験は図-2.6に示すように、平成4年度に桁端部をコンクリートで巻き立てる前の対策前(TEST 1)の8ケースと桁端部全面をコンクリートで巻き立てた対策1(TEST 2)の8ケース、計16ケースについて実施し、5年度は対策1の床版下25cmをはつることにより空隙を設けた対策2(TEST 3)の8ケースについて実施した。

なお、総重量10tfとはダンプトラックに荷重となる積載物を載せていない空荷状態のことであり、総重量30tfとはダンプトラックに1枚2.04m×1.54mの鋼製の荷重板(重量約2tf)を10枚積載した状態のことである。実験状況を写真-2.3に示す。

表-2.4 実験ケース

TEST No.	対策条件	段 差 (mm)	総 重 量 (tf)	走行速度 (km/h)	合 計 (ケ-ス)	実施年度
1	対策前	0, 20	10, 30	30, 60	8	H 4 年度
2	対策1	0, 20	10, 30	30, 60	8	〃
3	対策2	0, 20	10, 30	30, 60	8	H 5 年度

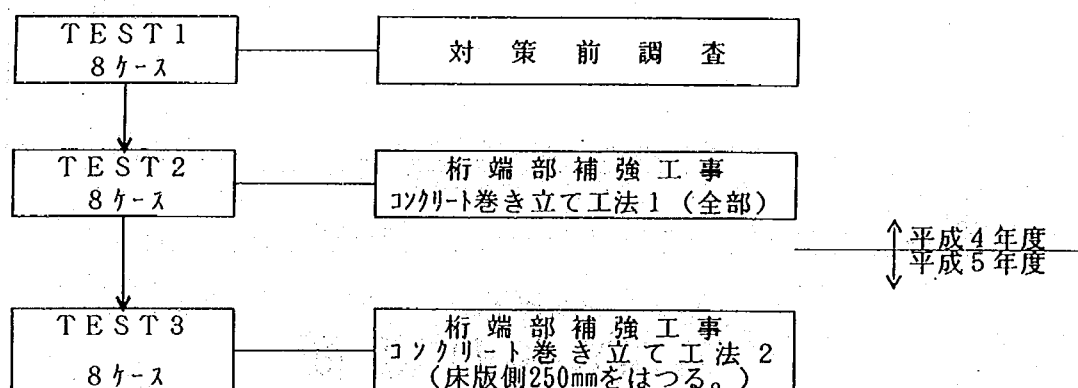


図-2.6 実験フロー図

(2) 試験車及び走行位置

試験車は表-2.5、図-2.7に示すように10.5ton積み大型ダンプトラック(三菱ふそうK-FV313J D、前1軸、後2軸トラニオンサスペンション)を使用した。試験車の外観を写真-2.4に示す。

調査を実施したときの試験車の総重量10tf及び30tfの軸重量を表-2.6に示す。試験車は可動支承側から固定支承側へ走行し、走行する位置は図-2.8に示すとおりG1、G2主桁上の路面である。

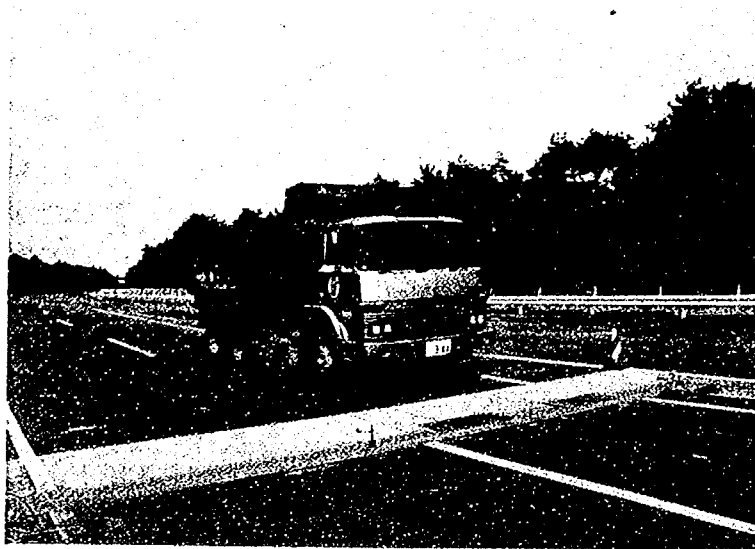
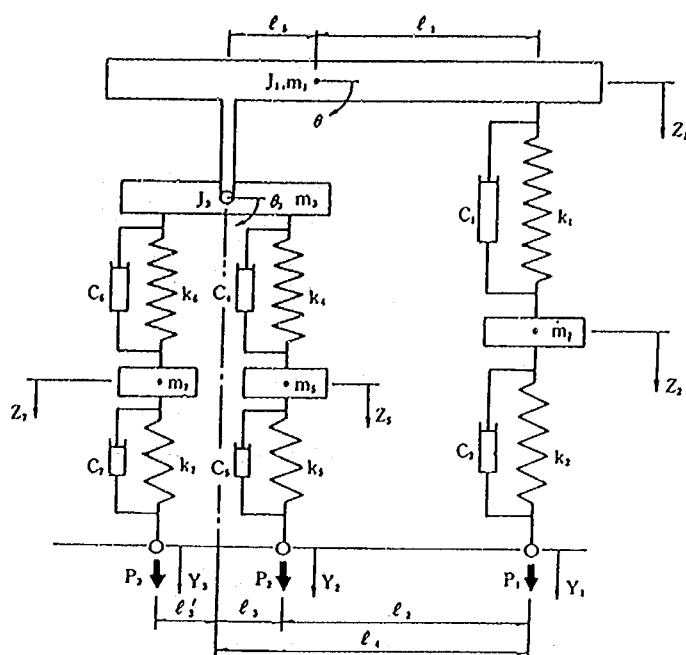


写真-2・3 実験状況

表-2.5 試験車主要概要

型 式	K-FV313JD	
類 別	カスタム 一方開 乗員3名	
車 両 重 量 kg	9055	
乗 車 定 員 人	3	
最 大 積 載 量 kg	10500	
車 両 総 重 量 kg	19720	
全 長 m	7.525	
全 幅 m	2.480	
全 高 m	2.840	
荷 台 内 側 寸 法 m	長 さ	5.100
	幅	2.300
	高 さ	0.600
空 車 時 荷 重 分 布 kg	前 軸	4045
	後 軸	5010 (前2555 後2455)
積 車 時 荷 重 分 布 kg	前 軸	5040
	後 軸	14680 (前7390 後7290)
積 車 時 前 軸 荷 重 割 合 %		
25.6		
輪 距 m	前 輪	2.000
	後 輪	1.865
車 名	三 菱	
型 式	K-FV313JD	
形 状	ダ ンプ	
軸 距 m	3.200+1.300=4.500	
最 小 回 転 半 径 m	7.2 (車体8.2)	
オーバハングボデー後端まで m	1.605	
荷 台 オ フ セ ッ ト m	0.300	
タ イ ヤ サ イ ズ	前 輪	10.00-20-14PR
	後 輪	10.00-20-14PR
積 車 時 タイヤ荷重割合%	前 輪	93.3
	後 輪	76.2 75.2



記 号	名 称	数	値
M ₁	ばね上質量(積載量は含む。トラニオンサスは除く)	1.6840	kgf・S ² /mm
M ₂	前軸ばね下質量(タイヤ左右2個分)	0.0719	kgf・S ² /mm
M ₃	トラニオンサスペンション質量(軸左右合計して)	0.0420	kgf・S ² /mm
M ₄	後軸前側ばね下質量(タイヤ左右2×2=4個分)	0.1191	kgf・S ² /mm
M ₅	後軸後側ばね下質量(タイヤ左右2×2=4個分)	0.1085	kgf・S ² /mm
J ₁	ばね上重心軸まわり慣性モーメント	積載量によって重心高が変わるので、ここでは省略する	
J ₂	トラニオン軸まわり慣性モーメント(軸左右合計して)	7800.	kgf・S ² ・mm
K ₁	前軸ばね定数(軸左右合計して)	62.	kgf/mm * 1
K ₂	前軸タイヤばね定数(タイヤ左右2個分)	220.	kgf/mm
K ₃	後軸前側ばね定数(軸左右合計して)	215.	kgf/mm * 1
K ₄	後軸前側タイヤばね定数(タイヤ左右2×2=4個分)	440.	kgf/mm
K ₅	後軸後側ばね定数(軸左右合計して)	215.	kgf/mm * 1
K ₆	後軸後側タイヤばね定数(タイヤ左右2×2=4個分)	440.	kgf/mm
C ₁	前軸ダンピング(軸左右合計して)	4.5	kgf・S/mm * 2
C ₂	前軸タイヤダンピング(タイヤ左右2個分)	0.52	kgf・S/mm * 3
C ₃	後軸前側ダンピング(軸左右合計して)	2.4	kgf・S/mm * 2
C ₄	後軸前側タイヤダンピング(タイヤ左右2×2=4個分)	1.0	kgf・S/mm * 3
C ₅	後軸後側ダンピング(軸左右合計して)	2.4	kgf・S/mm * 2
C ₆	後軸後側タイヤダンピング(タイヤ左右2×2=4個分)	1.0	kgf・S/mm * 3
L ₁	前軸より重心までの距離	2,877mm	L ₂ 後前軸よりトラニオン中心までの距離 650mm
L ₃	トラニオン中心から重心までの距離	973mm	L ₄ 後後軸よりトラニオン中心までの距離 650mm

* 1 ばねの静ばね定数 k_s を示す(動ばね定数 k_d は、 $k_s \times (2 \sim 3)$ 倍を見込む)

* 2 ばねの板間まさつ等価減衰(前軸は、ショックアブソーバ減衰も含む)

* 3 記入数値は乗心地で問題になる10Hz付近の概略値(条件より大きく変化する)

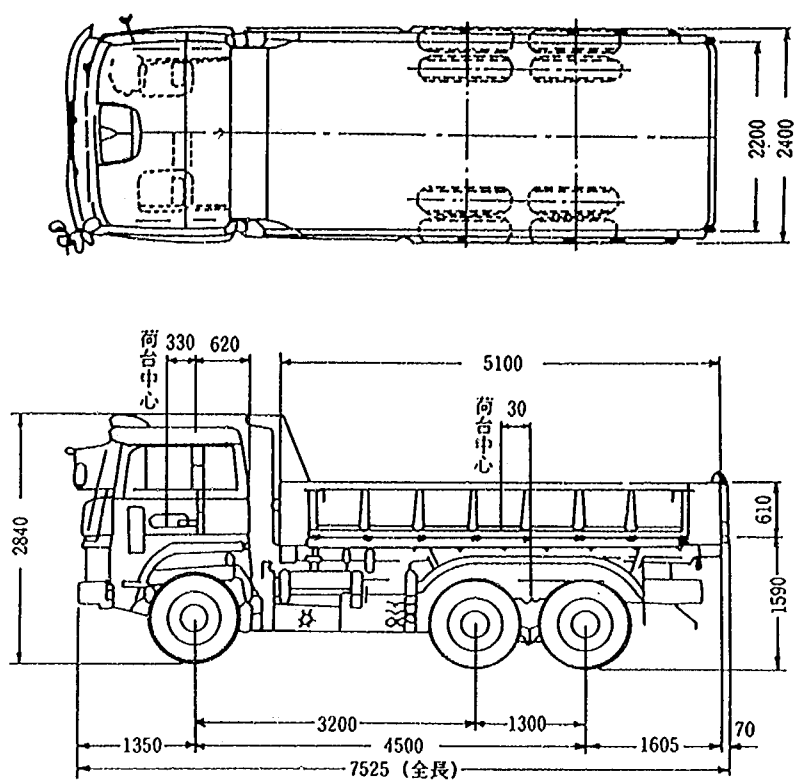


図-2.7 試験車外形寸法(単位:mm)



写真-2.4 試験車

表-2.6 試験車の軸重量 (単位: kgf)

対 策 条 件		前 輪		後 輪				総重量
		右	左	前 側		後 側		
				右	左	右	左	
対策前	10tf	2,195	2,120	1,760	1,700	1,655	1,620	11,050
	30tf	3,600	3,340	5,770	6,230	6,035	6,090	31,065
対策 1	10tf	2,240	2,060	1,650	1,730	1,630	1,500	10,810
	30tf	3,600	3,330	6,170	5,900	5,990	5,950	30,940
対策 2	10tf	2,240	2,035	1,685	1,775	1,565	1,585	10,885
	30tf	3,170	2,940	6,450	6,015	6,190	6,130	30,895

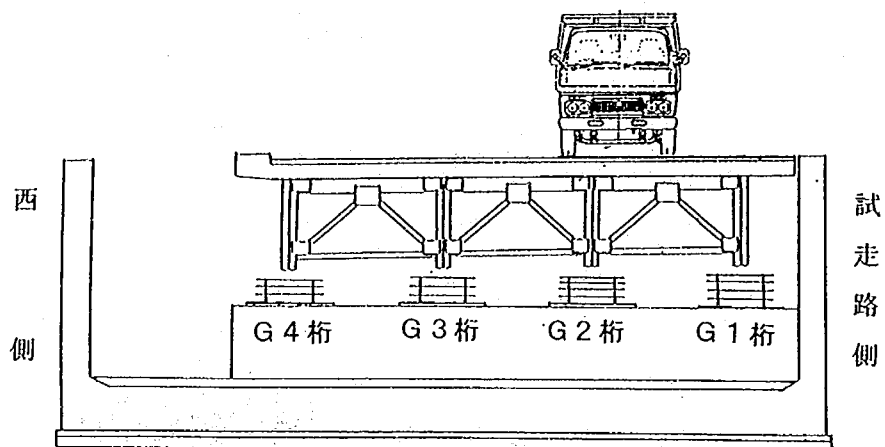


図-2.8 試験車走行位置

(3) 段差

路面の不陸や伸縮継手部の段差などを想定したものとして、図-2・9に示すような鋼製の踏み板を用いた。道路維持修繕要綱において、交通量の多い一般道路における維持修繕要否判断の目標は15～20mmとなっていることから、ここでは段差20mmを採用した。踏み板は写真-2・5に示すような可動支承側の走行位置に設置した。

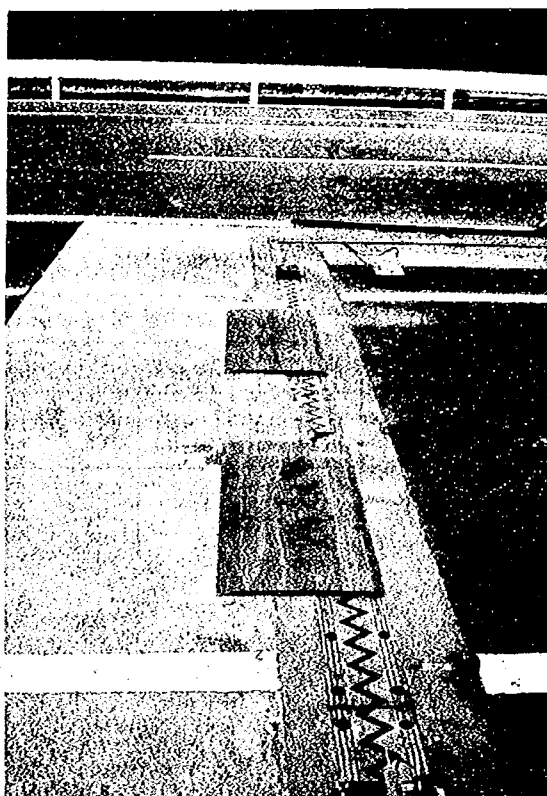
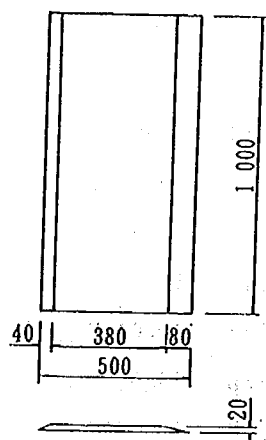


写真-2・5 踏み板設置状況図

図-2・9 踏み板の形状寸法図(単位:mm)

2.4.3 データ整理方法

実験結果は下記に従って整理するものとし、表-2.7 に全実験ケースをまとめた一覧表を示す。

1 0 3 0 1 2 A

総重量 10 : 総重量10tf 30 : 総重量30tf
 走行速度 30 : 30km/h 60 : 60km/h
 段 差 1 : 段差20mm 2 : 段差 0mm
 走行回数 1 : 1 回目 2 : 2 回目 3 : 3 回目
 対策条件 A : 対策前 B : 対策 1 C : 対策 2

表-2.7 実験結果の整理方法

実験条件				対策前	対策 1	対策 2
総重量 (tf)	速 度 (km/h)	段 差 (mm)	回 数			
10	30	0	1	103021A	103021B	103021C
			2	103022A	103022B	103022C
			3	103023A	103023B	103023C
		20	1	103011A	103011B	103011C
			2	103012A	103012B	103012C
			3	103013A	103013B	103013C
	60	0	1	106021A	106021B	106021C
			2	106022A	106022B	106022C
			3	106023A	106023B	106023C
		20	1	106011A	106011B	106011C
			2	106012A	106012B	106012C
			3	106013A	106013B	106013C
30	30	0	1	303021A	303021B	303021C
			2	303022A	303022B	303022C
			3	303023A	303023B	303023C
		20	1	303011A	303011B	303011C
			2	303012A	303012B	303012C
			3	303013A	303013B	303013C
	60	0	1	306021A	306021B	306021C
			2	306022A	306022B	306022C
			3	306023A	306023B	306023C
		20	1	306011A	306011B	306011C
			2	306012A	306012B	306012C
			3	306013A	306013B	306013C

2.5 実験結果

2.5.1 橋梁の振動特性

橋梁の振動特性について図-2・10の手順により特性を把握した。すなわち、まず今回の実験ケースで最も基本的な総重量 10tf、走行速度30km/h、段差0mmの計測データ(103022A)を用いて振動特性を分析し、その特性を他の実験ケースで確認した。また、併せて最大加速度に関しても全実験ケースの計測データを用いて振動特性を明らかにした。

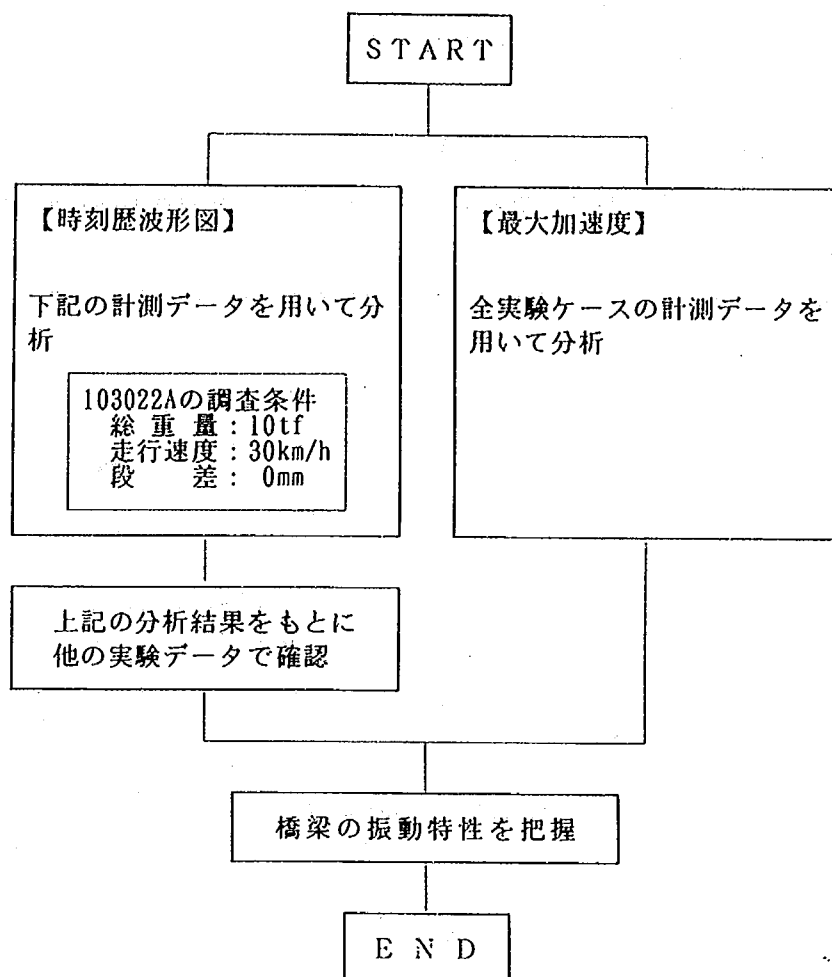


図-2・10 橋梁の振動特性把握フロー図

(1) 時刻歴波形図（実験ケース、103022A）

各計測点で記録された振動加速度の時刻歴波形図を図-2・11～2・14 に示す。可動支承側の断面は鉛直方向成分（Z成分）と橋軸直角方向成分（X成分）で、また固定支承側及び橋軸方向の断面は鉛直方向成分（Z成分）に着目して整理した。これらの結果から下記に示すような橋梁振動の特徴が認められた。

- ① 車両走行側に位置しているG 1及びG 2主桁の時刻歴波形は、G 3及びG 4主桁の時刻歴波形と比べて振幅が大きい。
- ② 路面、主桁下フランジ及び端対傾構の下弦材は高い振動数成分が継続して発生している一方で、主桁上フランジと端対傾構の上弦材では断片的に突出した波形形状であった。
- ③ 上記の主桁上フランジと端対傾構の上弦材で明確に認められる突出した波形形状は、前輪1軸と後輪2軸の試験車が橋梁へ入った瞬間と出る瞬間に発生するものである。
- ④ 加速度の大きい箇所はG 1及びG 2主桁の下フランジであり、その他ではG 1主桁とG 2主桁を連結している端対傾構の上弦材（B-12）であった。
- ⑤ 支間長の中央点または1／4点での時刻歴波形は、図-2・14 に示すように橋梁全体が振動する振動数の低い波形が見られた。

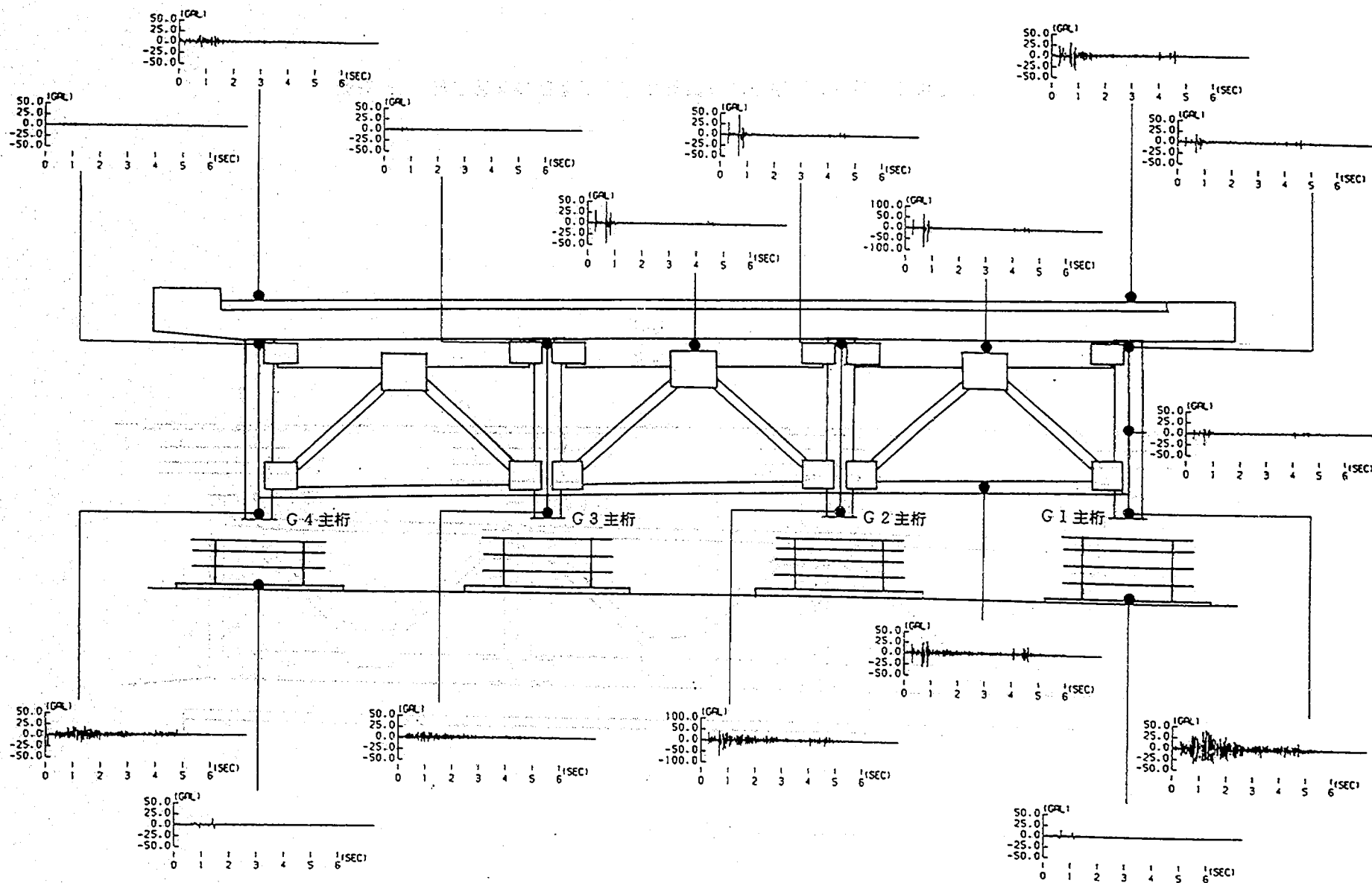


図-2-11 対策前での可動支承側の時刻歴波形図（Z成分，103022A）

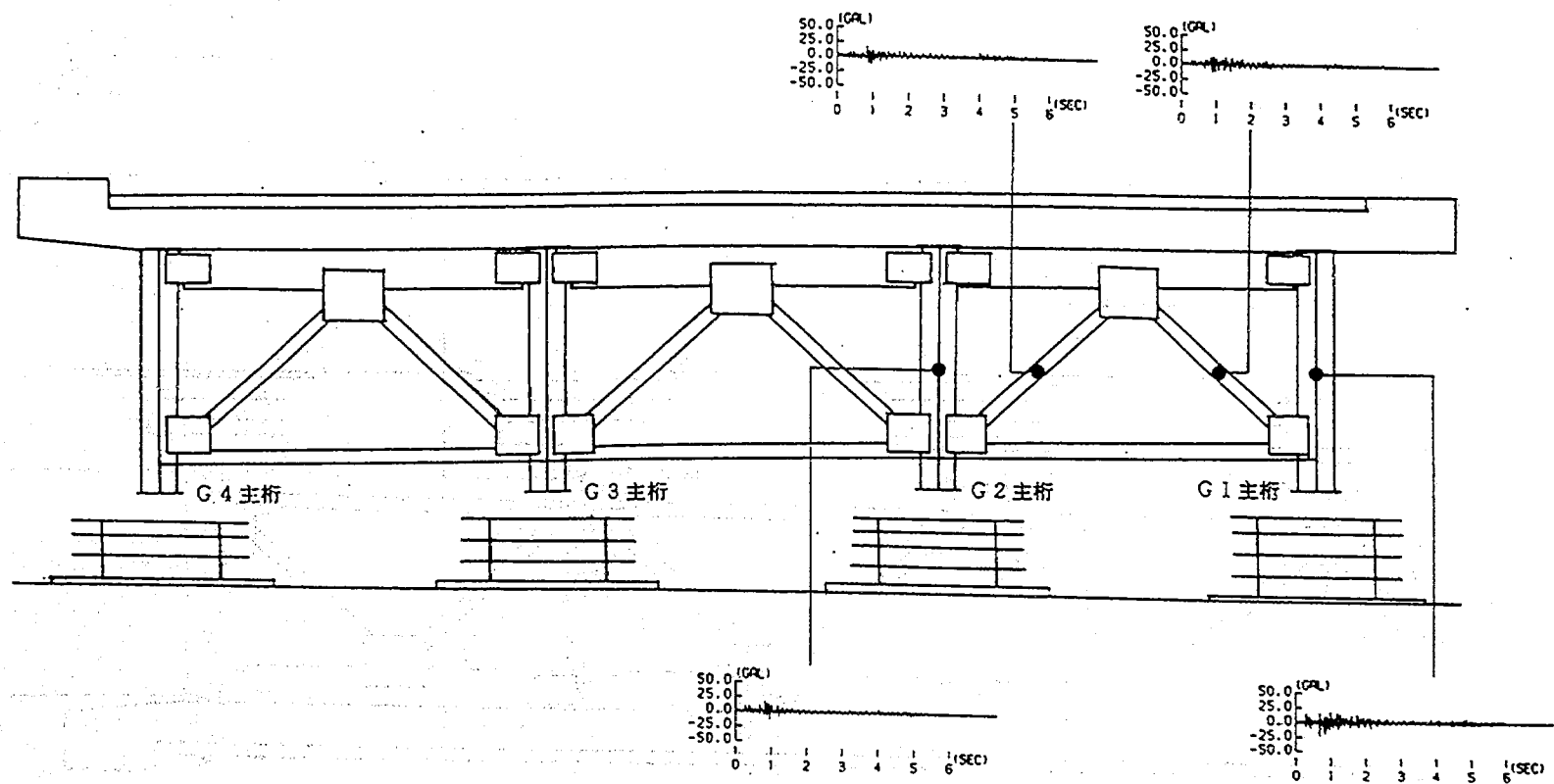


図-2.12 対策前での可動支承側の時刻歴波形図 (X成分, 103022A)

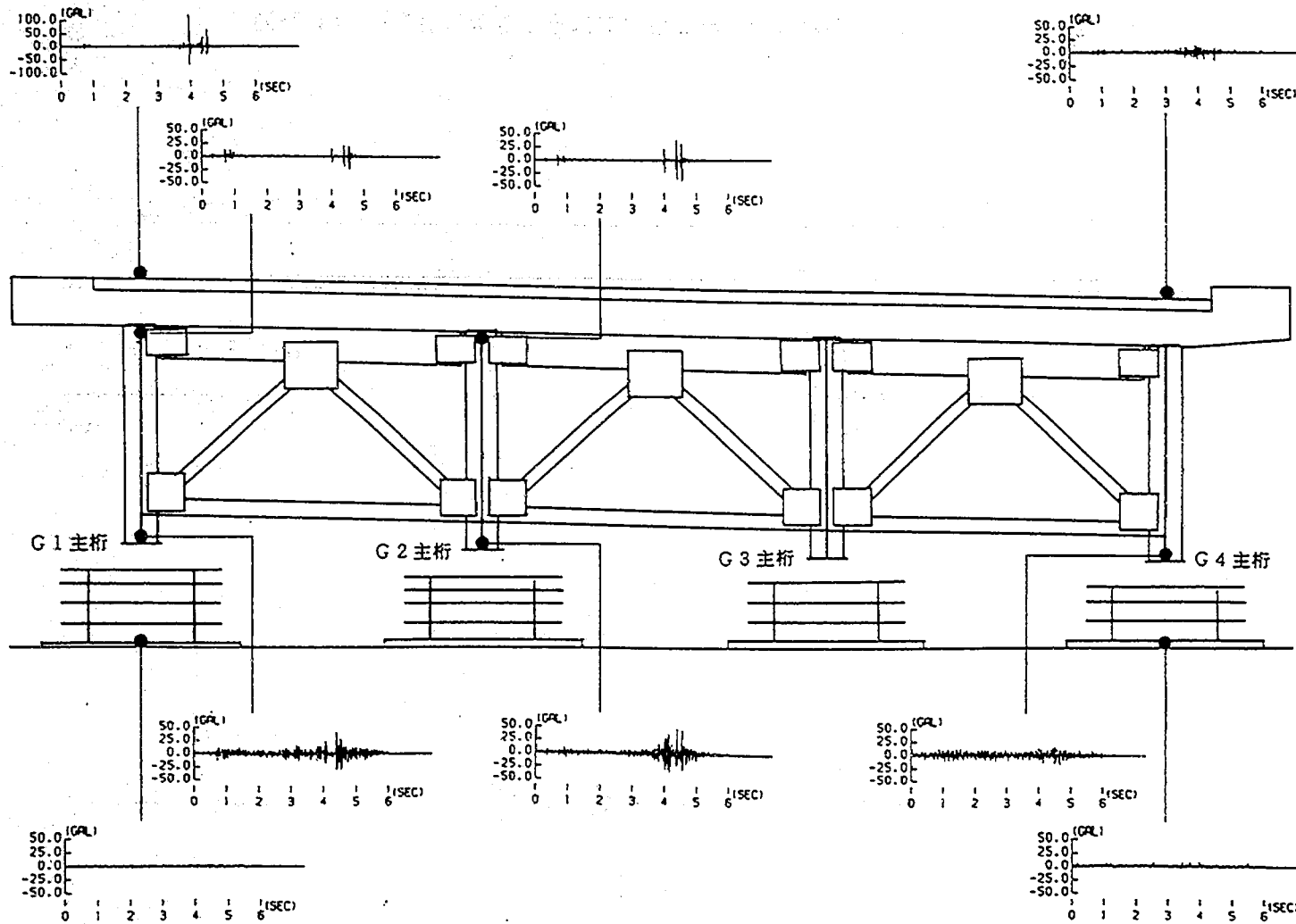


図-2.13 対策前での固定支承側の時刻歴波形図（Z成分，103022A）

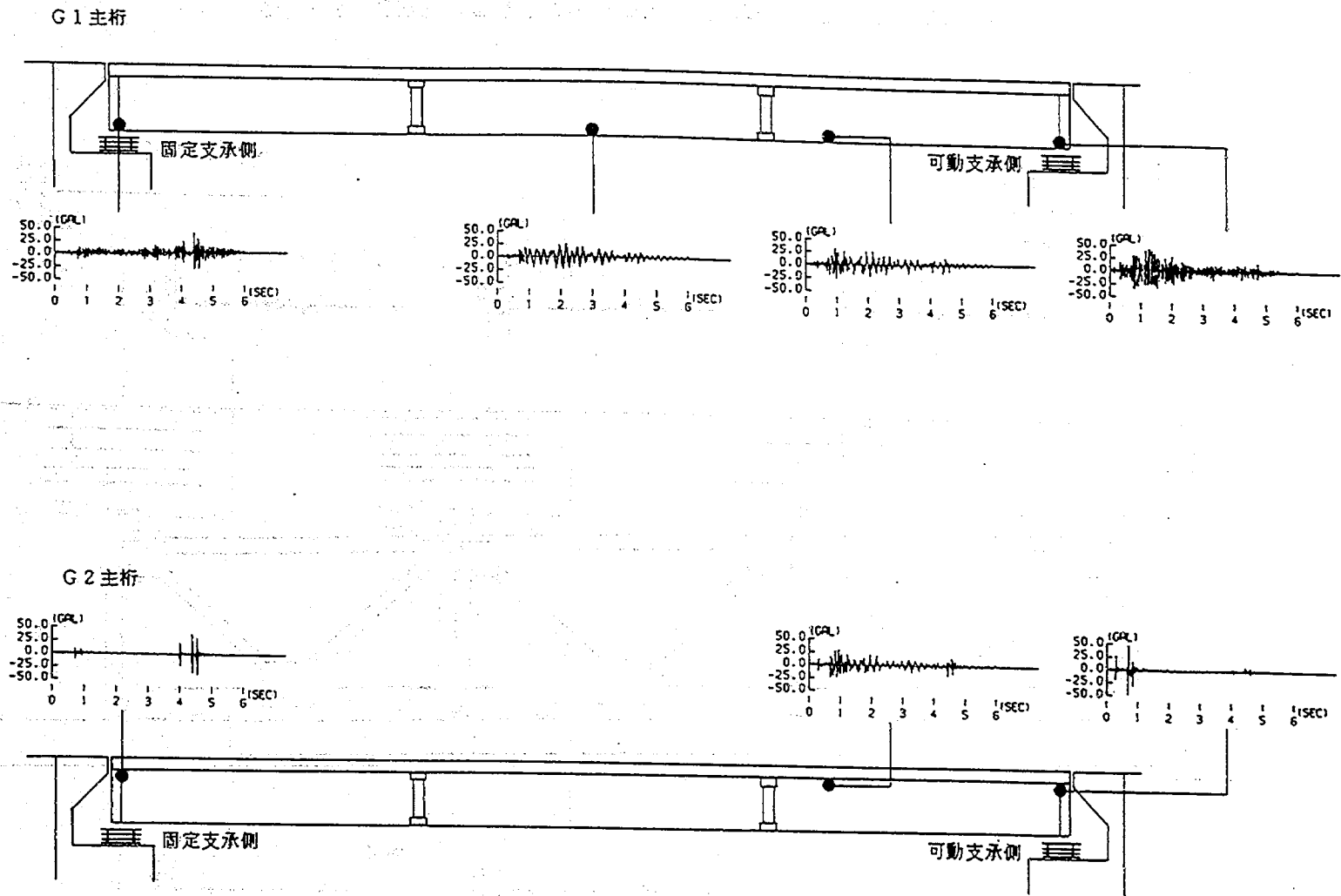


図-2-14 対策前での G 1 主桁及び G 2 主桁の時刻歴波形図 (Z 成分, 103022A)

(2) 最大加速度

G 1 主桁の可動支承側における最大加速度の鉛直方向の推移（Z 成分）を図-2・15 に、橋梁各部の可動支承側における最大加速度の橋軸直角方向の推移（Z 成分）を図-2・16～2・19 に示す。また、主な計測点での加速度最大値を表-2・8 に、総重量10tf、走行速度30km/h、段差 0mmの実験条件で計測された加速度を基本値として、その計測値に対する実験条件の一つを変化させて計測された加速度の比率を表-2・9 に、同一条件における桁端部補強対策前に対する対策後の比率を表-2・10 に示す。

これらの結果から下記に示すような最大加速度からみた橋梁振動の特徴が認められた。

- ① 加速度の最大値とその位置は、表-2・8に示すように対策前は、G 1 主桁下フランジ（A-1、30601A）の1755.0gal であり、対策1は、G 1 主桁上の路面（A-6、10601B）で発生し1030.1galであった。そして対策2では、G 1 主桁下フランジ（A-1、30601C）で発生し1639.9galであった。
- ② 橋梁各部からみた最大加速度は車両走行側に位置している計測点で大きく、主桁下フランジと路面では1 Gを超える加速度を記録していた。また、台座基部や端対傾構では数百ガル、主桁上フランジでは百数十ガルの加速度であった。
- ③ 段差 0mmによる最大加速度の大きさは、路面→主桁下フランジ→主桁上フランジ→主桁ウェブ中央→台座基部の順で小さくなっている。（図-2・15 参照）。
- ④ また、段差20mmによる最大加速度の大きさは、主桁下フランジ→路面→台座基部→主桁ウェブ中央→主桁上フランジの順で小さくなっているが、段差 0mmの計測値に比べ橋梁各部の増加量は大きく、実験条件によっては10倍以上の伸びが現れていた。
- ⑤ 実験条件の中で橋梁に振動を与える影響は、表-2・9 に示すように主桁下フランジ、路面、台座基部では段差が最も大きく、以下走行速度、総重量の順あるが、主桁上フランジや端対傾構では走行速度の影響が大きく、段差と総重量は同程度であった。
- ⑥ 車両が走行する側に位置しているG 1 主桁とG 2 主桁の桁端部補強対策前に対する対策1の最大加速度の比率は、G 1 主桁で0.5～0.8であり、G 2 主桁で0.3～0.5であった。対策2の比率はG 1 主桁で0.5～1.4、G 2 主桁で0.5～1.2であった。
- ⑦ 主桁上フランジと端対傾構の上弦材は、図-2・17 に示すように、対策前は車輪直下のG 1 主桁とG 2 主桁の中央（B-12）で加速度が最も大きく、G 3 主桁で急激に加速度が減少している一方で、桁端部補強対策後の加速度はG 1 主桁からG 4 主桁へ移動するに従い徐々に減少している。
- ⑧ 桁端部の下弦材（B-15）は、図-2・18 及び表-2・10 に示すように段差20mmでの軽減効果が大きく、段差 0mmの2～5割の低減率に対し8～9割も低減されている。
- ⑨ 台座基部の加速度は車両走行側のG 1 主桁支承部よりもその反対側に位置しているG 4 主桁支承部で大きい計測値が多々認められる。また、桁端部補強対策後のG 1 主桁支承部における加速度は、対策前で計測された加速度を上回っている場合がかなり見られた。

表-2.8 主な計測点における最大加速度計測結果一覧表

単位: gal

測点名	総重量 (t)	速 度 (km/h)	対 策 前		対 策 1		対 策 2	
			段 差 (mm)		段 差 (mm)		段 差 (mm)	
			0	20	0	20	0	20
A-1	10	30	45.7	360.9	34.1	213.0	29.8	522.8
		60	103.0	1178.6	59.0	494.3	85.9	1065.6
	30	30	63.4	1211.8	41.5	655.5	48.7	581.8
		60	137.1	1755.0	110.6	788.7	173.6	1639.9
A-2	10	30	67.0	478.1	26.9	182.2	40.6	559.1
		60	176.1	1285.0	87.3	344.2	173.8	1068.9
	30	30	77.6	1310.6	37.6	400.7	64.4	625.3
		60	202.3	1564.0	85.8	550.1	198.2	1484.5
A-3	10	30	15.9	288.3	29.0	214.7	21.6	356.7
		60	33.8	842.5	41.1	396.6	56.4	904.4
	30	30	20.1	658.0	28.7	305.8	27.2	458.9
		60	85.7	960.3	57.5	660.3	86.4	1142.6
A-4	10	30	22.1	305.7	27.1	117.4	16.2	392.2
		60	37.2	521.5	26.3	239.4	62.8	821.6
	30	30	29.9	471.4	21.9	229.6	40.5	599.1
		60	52.7	904.2	38.3	355.6	138.4	1213.7
A-6	10	30	42.8	599.4	28.9	326.6	22.6	336.6
		60	144.1	774.5	97.5	1030.1	92.5	619.1
	30	30	62.1	1517.6	37.3	487.2	36.2	371.1
		60	210.5	1529.6	114.1	562.5	114.7	1350.1
A-8	10	30	17.3	249.1	12.0	362.7	14.9	627.4
		60	108.7	424.3	73.1	605.5	57.6	559.4
	30	30	19.3	236.1	27.1	239.4	22.7	515.8
		60	74.1	422.0	130.6	1019.5	99.6	971.3
A-10	10	30	10.7	137.3	12.1	273.3	7.3	205.9
		60	17.1	235.1	33.3	419.2	19.0	349.1
	30	30	11.6	332.5	9.7	434.0	10.1	243.5
		60	31.4	473.9	36.6	456.4	30.5	663.7
A-12	10	30	13.4	176.3	5.6	189.4	4.9	141.1
		60	14.5	592.9	12.8	299.5	17.5	270.1
	30	30	10.0	396.3	10.2	334.4	8.4	207.1
		60	37.7	444.8	32.0	314.8	42.1	356.6
B-1	10	30	27.5	34.5	18.0	25.6	26.0	47.7
		60	66.3	110.0	48.5	79.7	96.5	150.4
	30	30	36.9	126.9	24.0	86.4	33.0	53.3
		60	83.7	225.5	48.8	164.5	93.5	169.2
B-2	10	30	52.3	49.0	16.2	23.3	28.1	33.9
		60	134.1	154.0	42.5	62.4	86.5	158.8
	30	30	69.0	119.2	24.8	30.6	37.4	64.0
		60	167.9	156.3	46.0	71.9	85.9	199.1
B-3	10	30	8.6	23.0	9.9	13.8	13.2	34.8
		60	20.6	48.2	25.6	35.9	40.9	96.2
	30	30	10.2	33.4	13.0	16.0	15.3	42.4
		60	23.5	65.8	28.6	31.8	40.2	106.2
B-4	10	30	6.1	11.6	6.1	13.3	2.7	11.0
		60	23.1	22.8	10.4	28.5	7.8	37.2
	30	30	8.2	17.2	5.5	18.0	2.4	18.0
		60	23.2	20.1	13.2	30.3	7.3	37.4
B-6	10	30	25.8	58.9	20.3	31.8	23.1	43.2
		60	69.4	148.9	61.3	99.7	84.6	136.8
	30	30	31.1	169.5	29.9	55.1	32.8	66.6
		60	74.7	179.7	64.6	75.6	92.3	323.2
B-12	10	30	85.8	147.1	22.9	31.0	23.7	29.1
		60	254.2	430.7	67.9	84.2	87.3	92.6
	30	30	104.5	467.3	31.6	54.7	45.2	34.9
		60	311.1	466.6	67.4	97.6	102.1	180.6
B-15	10	30	31.4	230.2	25.5	35.0	27.9	54.3
		60	108.3	811.9	74.5	108.0	108.3	108.3
	30	30	48.0	534.4	35.0	60.3	40.1	76.2
		60	136.7	741.7	74.4	90.0	112.9	401.2
B-17	10	30	51.0	49.7	16.6	13.4	25.6	24.7
		60	143.2	162.0	42.2	62.6	79.7	81.6
	30	30	61.3	64.0	22.2	14.6	35.2	40.8
		60	167.2	132.2	48.6	42.6	91.1	124.5

注) 上表は3回走行における各々の加速度最大値を加え、回数で除した値

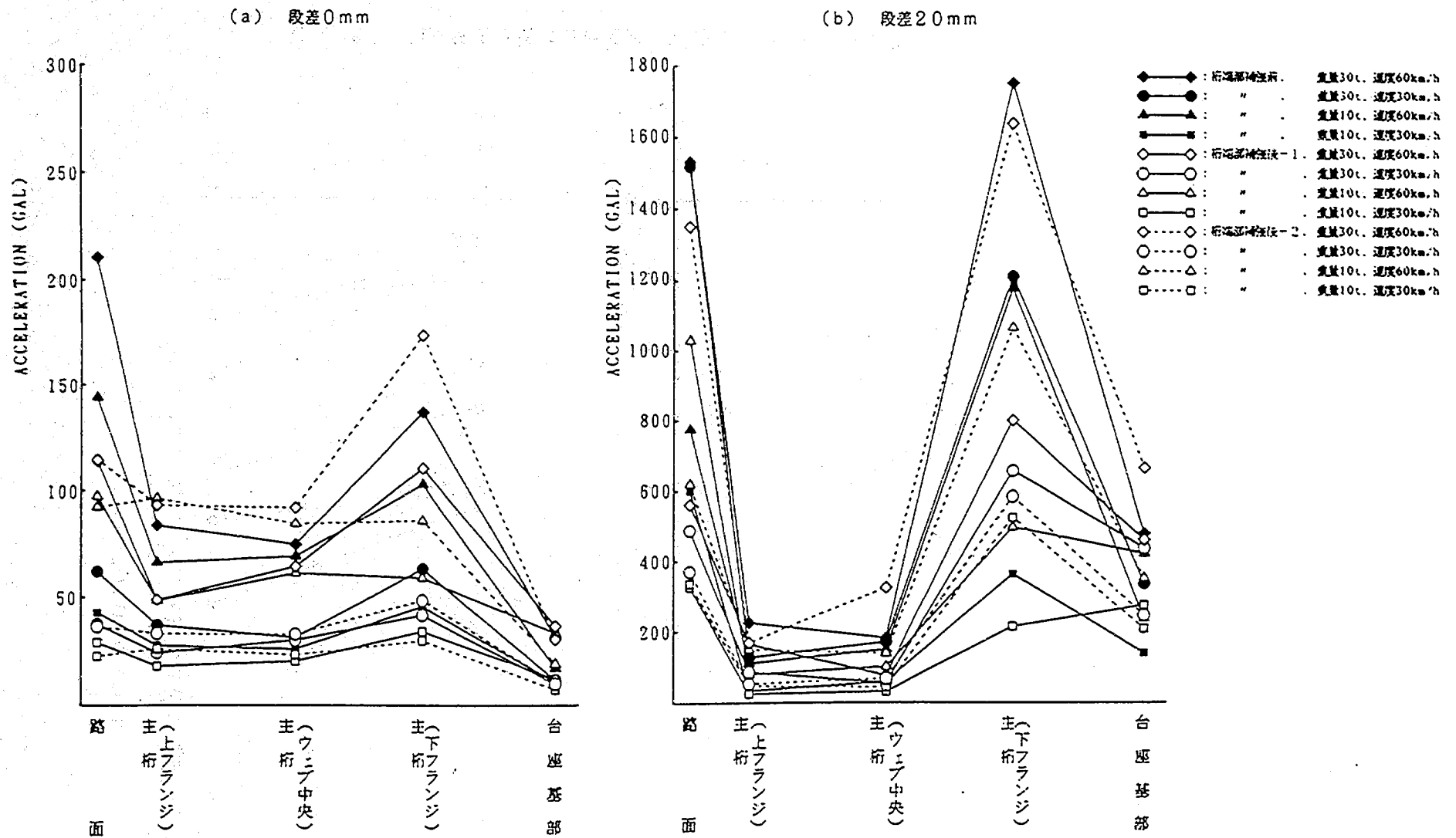


図-2-15 可動支承側 G 1 主桁における最大加速度の鉛直方向推移 (Z 成分)

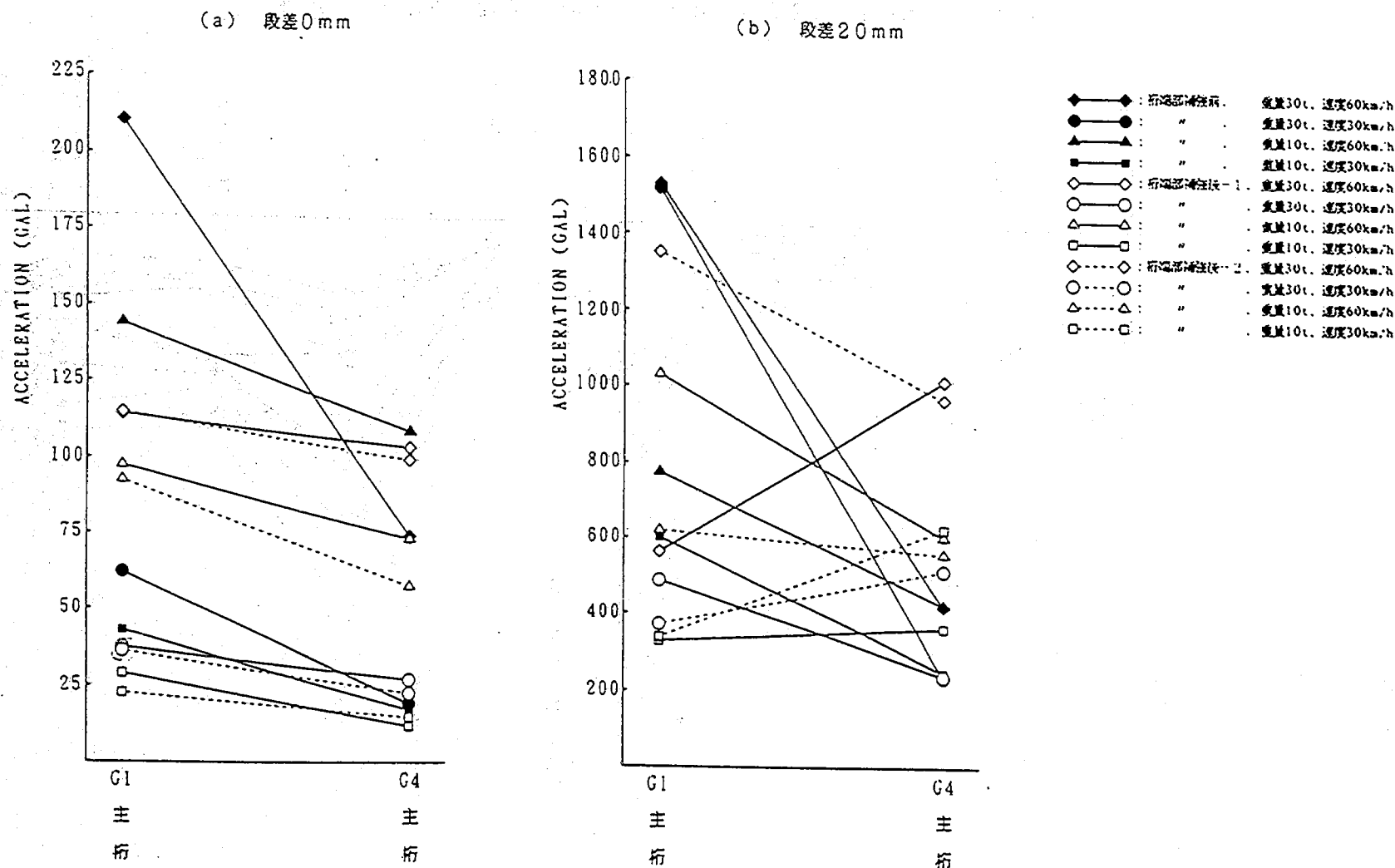


図-2-16 可動支承側路面における最大加速度の橋軸直角方向推移 (Z成分)

表-2.9 実験条件からみた最大加速度比率

単位: gal

測点名	基本値	総重量 (t) 10→30	速度 (km/h) 30→60	段差 (mm) 0→20	測点名	基本値	総重量 (t) 10→30	速度 (km/h) 30→60	段差 (mm) 0→20
A-1	45.7	63.4(1.4)	103.0(2.3)	360.9(7.9)	B-1	27.5	36.9(1.3)	66.3(2.4)	34.5(1.3)
	34.1	41.5(1.2)	59.0(1.7)	213.0(6.2)		18.0	24.0(1.3)	48.5(2.7)	25.6(1.4)
	29.8	48.7(1.6)	85.9(2.9)	522.8(17.5)		26.0	33.0(1.3)	96.5(3.7)	47.7(1.8)
A-2	67.0	77.5(1.2)	176.1(2.6)	478.1(7.1)	B-2	52.3	69.0(1.3)	134.1(2.6)	49.0(0.9)
	26.9	37.6(1.4)	87.3(3.2)	182.2(6.8)		16.2	24.8(1.5)	42.5(2.6)	23.3(1.4)
	40.6	64.4(1.6)	173.8(4.3)	559.1(13.8)		28.1	37.4(1.3)	86.5(3.1)	33.9(1.2)
A-3	15.9	20.1(1.3)	33.8(2.1)	288.3(18.1)	B-3	8.6	10.2(1.2)	20.6(2.4)	23.0(2.7)
	29.0	28.7(1.0)	41.1(1.4)	214.7(7.4)		9.9	13.0(1.3)	25.6(2.6)	13.8(1.4)
	21.6	27.2(1.3)	56.4(2.6)	356.7(16.5)		13.2	15.3(1.2)	40.9(3.1)	34.8(2.6)
A-4	22.1	29.9(1.4)	37.2(1.7)	305.7(13.8)	B-4	6.1	8.2(1.3)	23.1(3.8)	11.6(1.9)
	27.1	21.9(0.8)	26.3(1.0)	117.4(4.3)		6.1	5.5(0.9)	10.4(1.7)	13.3(2.2)
	16.2	40.5(5.0)	62.8(3.9)	392.2(24.2)		2.7	2.4(0.9)	7.8(2.9)	11.0(4.1)
A-6	42.8	62.1(1.5)	144.1(3.4)	599.4(14.0)	B-6	25.8	31.3(1.2)	69.4(2.7)	58.9(2.3)
	28.9	37.3(1.3)	97.5(3.4)	326.6(11.3)		20.3	29.9(1.5)	61.3(3.0)	31.8(1.6)
	22.6	36.2(1.6)	92.5(4.1)	336.6(14.9)		23.1	32.8(1.4)	84.6(3.7)	43.2(1.9)
A-8	17.3	19.3(1.1)	108.7(6.3)	249.1(14.4)	B-12	85.8	104.5(1.2)	254.2(3.0)	147.1(1.7)
	12.0	27.1(2.3)	73.1(6.1)	362.7(30.2)		22.9	31.6(1.4)	67.9(3.0)	31.0(1.4)
	14.9	22.7(1.5)	57.6(3.9)	627.4(42.1)		23.7	45.2(1.9)	87.3(3.7)	29.1(1.2)
A-10	10.7	11.6(1.1)	17.1(1.6)	137.3(12.8)	B-15	31.4	48.0(1.5)	108.3(3.4)	230.2(7.3)
	12.1	9.7(0.8)	33.3(2.8)	273.3(22.6)		25.5	35.0(1.4)	74.5(2.9)	35.0(1.4)
	7.3	10.1(1.4)	19.0(2.6)	205.9(28.2)		27.9	40.1(1.4)	108.3(3.9)	54.3(1.9)
A-12	13.4	10.0(0.7)	14.5(1.1)	176.3(13.2)	B-17	51.0	61.3(1.2)	143.2(2.8)	49.7(1.0)
	5.6	10.2(1.8)	12.8(2.3)	189.4(33.8)		16.6	22.2(1.3)	42.2(2.5)	13.4(0.8)
	4.9	8.4(1.7)	17.5(3.6)	141.1(28.8)		25.6	35.2(1.4)	79.7(3.1)	24.7(1.0)

- 注) 1. 基本値:総重量10tf, 走行速度30km/h, 段差 0mmの調査条件で計測された最大加速度
 2. 上段:桁端部補強対策前の最大加速度, 中段:対策1後の最大加速度, 下段:対策2後の最大加速度
 3. () 内の値は, 基本値に対する調査条件(総重量, 走行速度, 段差)の一つを変更して得られる最大加速度の比率

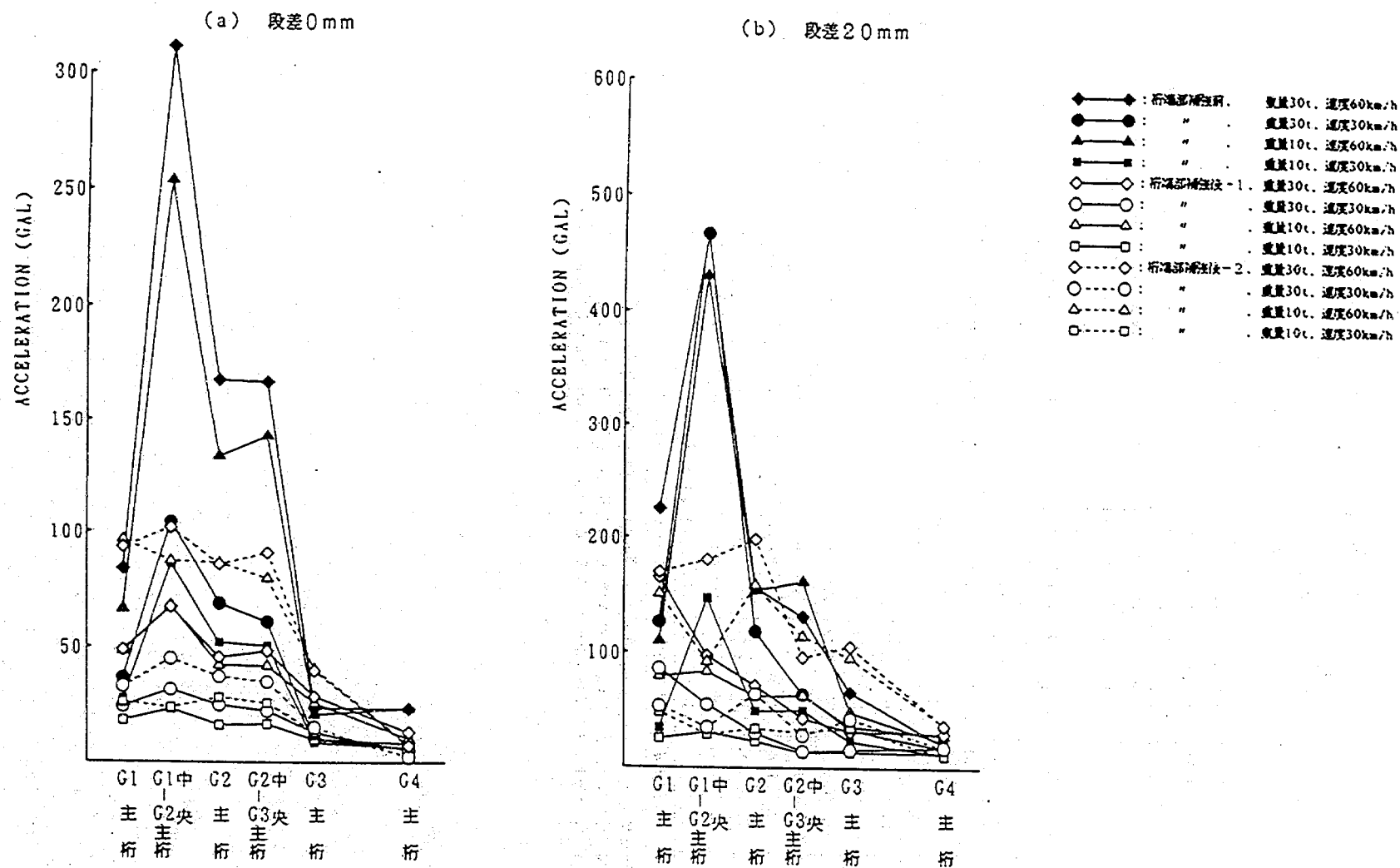


図-2-17 可動支承側主桁上フランジにおける最大加速度の橋軸直角方向推移 (Z成分)

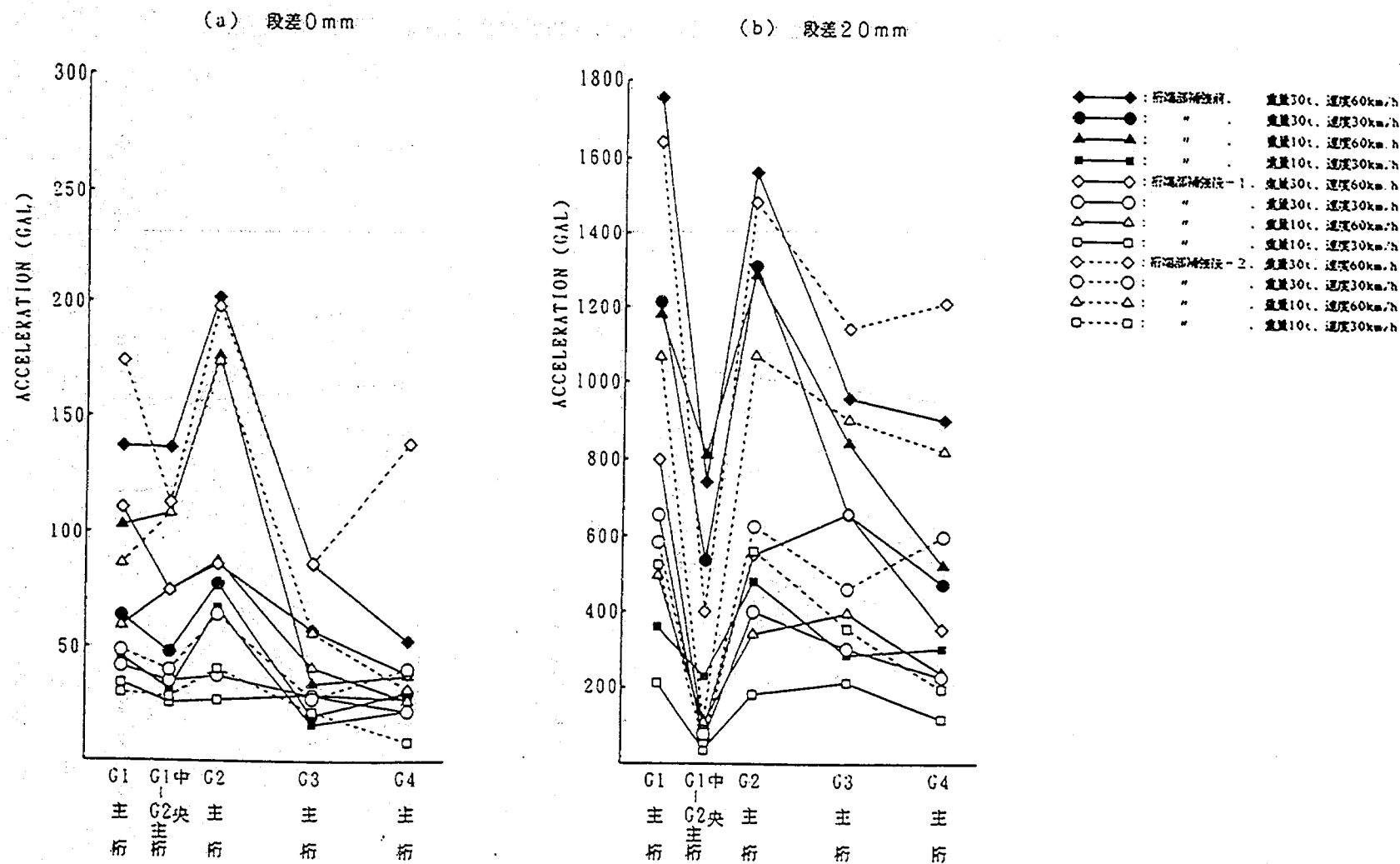


図-2.18 可動支承側主桁下フランジにおける最大加速度の橋軸直角方向推移 (Z成分)

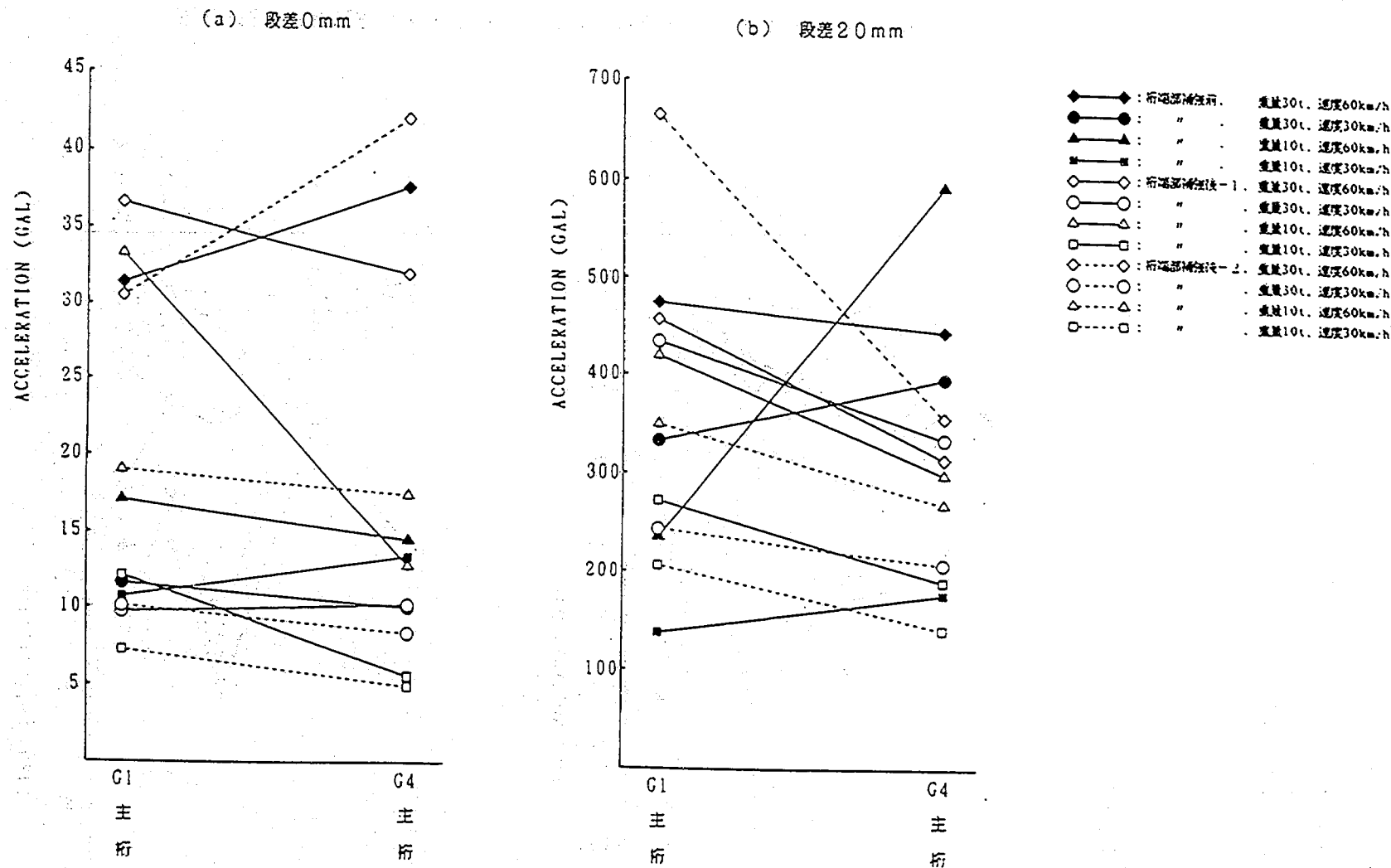


図-2.19 可動支承側台座基部における最大加速度の橋軸直角方向推移 (Z成分)

表-2.10(a) 主な計測点の同一条件における桁端部補強対策前に対する対策1の最大加速度の比率

測点名	総重量 (tf)	速 度 (km/h)	段 差 (mm)		測点名	総重量 (tf)	速 度 (km/h)	段 差 (mm)		測点名	総重量 (tf)	速 度 (km/h)	段 差 (mm)	
			0	20				0	20				0	20
A-1	10	30	0.7	0.6	A-10	10	30	1.1	2.0	B-6	10	30	0.8	0.5
		60	0.6	0.4			60	1.9	1.8			60	0.9	0.7
	30	30	0.7	0.5		30	30	0.8	1.3		30	30	1.0	0.3
		60	0.8	0.5			60	1.2	1.0			60	0.9	0.4
A-2	10	30	0.4	0.4	A-12	10	30	0.4	1.1	B-12	10	30	0.3	0.2
		60	0.5	0.3			60	0.9	0.5			60	0.3	0.2
	30	30	0.5	0.3		30	30	1.0	0.8		30	30	0.3	0.1
		60	0.4	0.4			60	0.8	0.7			60	0.2	0.2
A-4	10	30	1.2	0.4	B-1	10	30	0.7	0.7	B-15	10	30	0.8	0.2
		60	0.7	0.5			60	0.7	0.7			60	0.7	0.1
	30	30	0.7	0.5		30	30	0.7	0.7		30	30	0.7	0.1
		60	0.7	0.4			60	0.6	0.7			60	0.5	0.1
A-6	10	30	0.7	0.5	B-2	10	30	0.3	0.5	B-17	10	30	0.3	0.3
		60	0.7	1.3			60	0.3	0.4			60	0.3	0.4
	30	30	0.6	0.3		30	30	0.4	0.3		30	30	0.4	0.2
		60	0.5	0.4			60	0.3	0.5			60	0.3	0.3
A-8	10	30	0.7	1.5	B-4	10	30	1.0	1.1					
		60	0.7	1.4			60	0.5	1.3					
	30	30	1.4	1.0		30	30	0.7	1.0					
		60	1.8	2.4			60	0.6	1.5					

表-2.10(b) 主な計測点の同一条件における桁端部補強対策前に対する対策2の最大加速度の比率

測点名	総重量 (tf)	速 度 (km/h)	段 差 (mm)		測点名	総重量 (tf)	速 度 (km/h)	段 差 (mm)		測点名	総重量 (tf)	速 度 (km/h)	段 差 (mm)	
			0	20				0	20				0	20
A-1	10	30	0.7	1.4	A-10	10	30	0.7	1.5	B-6	10	30	0.9	0.7
		60	0.8	0.9			60	1.1	1.5			60	1.2	0.9
	30	30	0.8	0.5		30	30	0.9	0.7		30	30	1.1	0.4
		60	1.3	0.9			60	1.0	1.4			60	1.2	1.8
A-2	10	30	0.6	1.2	A-12	10	30	0.4	0.8	B-12	10	30	0.3	0.2
		60	1.0	0.8			60	1.2	0.5			60	0.3	0.2
	30	30	0.8	0.5		30	30	0.8	0.5		30	30	0.4	0.1
		60	1.0	0.9			60	1.1	0.8			60	0.3	0.4
A-4	10	30	0.7	1.3	B-1	10	30	0.9	1.4	B-15	10	30	0.9	0.2
		60	1.7	1.6			60	1.5	1.4			60	1.0	0.1
	30	30	1.4	1.3		30	30	0.9	0.4		30	30	0.8	0.1
		60	2.6	1.3			60	1.1	0.8			60	0.8	0.5
A-6	10	30	0.5	0.6	B-2	10	30	0.5	0.7	B-17	10	30	0.5	0.5
		60	0.6	0.8			60	0.6	1.0			60	0.6	0.5
	30	30	0.6	0.2		30	30	0.5	0.5		30	30	0.6	0.6
		60	0.5	0.9			60	0.5	1.3			60	0.5	0.9
A-8	10	30	0.9	2.5	B-4	10	30	0.4	0.9					
		60	0.5	1.3			60	0.3	1.6					
	30	30	1.2	2.2		30	30	0.3	1.0					
		60	1.3	2.3			60	0.3	1.9					

2.5.2 桁端部補強対策の有効性

桁端部補強対策の有効性は、道路交通振動としてとらえた場合に最も厳しい状態と考えられる総重量30tf、走行速度60km/h、段差20mmの桁端部補強対策前及び対策後の計測データを比較して検討を行う。

なお、検討には前節で明らかとなった橋梁の振動特性も加味することとする。

(1) 時刻歴波形図

各計測点で記録された時刻歴波形図を図-2・20～2・31 に示す。可動支承側の断面に関する検討は、振動加速度の鉛直方向成分（Z成分）と橋軸直角方向成分（X成分）で、また固定支承側及び橋軸方向の断面に関する検討は、鉛直方向成分（Z成分）でそれぞれ整理した。ここで、車両の進行方向は可動支承側から橋梁へ進入して固定支承側から出ているものとする。

これらの結果から下記に示すような特徴が見られた。

- ① 対策前後の各測定場所で比較すると部分的に加速度が対策前と比べ両対策の方が大きくなる箇所が見受けられるが、全体的には加速度は小さくなっており、車両の橋梁への入出時に計測される突出した波形形状の大きさは減少している。
- ② 加速度の大きさは、車両走行位置から遠ざかるにつれて減少しているが、補強対策を実施したことでG4主桁上の路面と上フランジで増加し、台座基部で対策前とほぼ同じであり、その他の計測点では加速度が半分以下に減少した（図-2・20、2・24参照）。
- ③ 固定支承側の断面での振動加速度の特性を比較すると計測位置により傾向に違いがあることが分かる。主桁上フランジでは車両が固定支承側から出る時に発生する振動加速度が大きくなっている。しかし、主桁下フランジと台座基部では橋梁への進入時に発生する加速度の方が大きく、段差無しの場合で固定支承側から出る時に発生する振動加速度が大きくなっていることから段差の影響が大きいことが分かる（図-2・22、2・26、2・30参照）。
- ④ 対策1では、車軸の鉛直線上に位置している端対傾構の上弦材（B-12）と下弦材（B-15）がコンクリートを巻き立てにより一体化しているため、両者とも加速度の大きさが100gal前後となり波形形状も類似していた（図-2・24参照）。
- ⑤ 対策2では、B-12とB-15はコンクリートの一部をはつっているため、十分に一体化しておらず加速度の大きさに差が生じていた（図-2・28参照）。

(2) 最大加速度

桁端部補強対策前と対策後のそれぞれの最大加速度、及び桁端部補強対策前に対する対策後の最大加速度の比率を表-2・11に示す。ここで、対策2のデータサンプリング間隔は0.002secであり、対策前及び対策1（0.005sec）より細かいため、比較が可能なようにデータサンプリング間隔を0.005secで収録しなおした対策2'として表-2・11に併せて示す。

これより下記に示すような特徴が見られた。

1) 対策1の場合

- ① 対策前の加速度の最大値はG 1主桁下フランジで1755.0galを計測しており、他にG 2主桁下フランジとG 1主桁上の路面で1500galを越えているが、補強対策を実施することで798.7gal, 550.1gal, 562.5galとなり、0.4~0.5倍へと減少した。
- ② 対策1で対策前と比べ加速度が増加した計測点は、G 4主桁線上で計測されており、路面(422.0gal→1019.5gal)と主桁上フランジ(20.1gal→30.3gal)であった。これは、補強対策により床版と桁端部が一体化されたため剛体的な挙動をしたものと考えられる。
- ③ 端対傾構の中では上弦材、斜材に比べ下弦材(B-15)の振動加速度が対策前で741.7galと最も大きな値を記録したが、低減率も大きく、対策1の加速度は対策前と比べて約1割の大きさであった。

2) 対策2の場合

- ① 対策2、対策2'の最大加速度の低減効果を比べてみると、対策2'は対策1と対策2の中間に位置し一部対策1より小さくなっている箇所が対策2'であるが、傾向的には床版と桁端部補強の間に空隙を設けたため低減効果が対策1より減少し、逆に加速度が増幅されたところもあった。
- ② 対策2と対策2'で対策前と比較して最大加速度の低減効果が見られた部位は、G 1及びG 2主桁の下フランジと端対傾構であり、効果がなかった部位としては車両走行位置から遠いG 4主桁上の路面と下フランジ、及び主桁上フランジであった。

表-2.11 主な計測点における最大加速度結果一覧表

測点名	総重量 (tf)	速度 (km/h)	段 差 (mm)	a:対策前 (gal)	b:対策1 (gal)	c:対策2 (gal)	c':対策2' (gal)	b/a	c/a	c'/a
A-1	30	60	20	1755.0	798.7	1639.9	1140.5	0.5	0.9	0.6
A-2				1564.0	550.1	1484.5	1357.3	0.4	0.9	0.9
A-4				904.2	355.6	1213.7	1092.3	0.4	1.3	1.2
A-6				1529.6	562.5	1350.1	675.5	0.4	0.9	0.4
A-8				422.0	1019.5	971.3	678.4	2.4	2.3	1.6
A-10				473.9	456.4	663.7	497.5	1.0	1.4	1.0
A-12				444.8	314.8	356.6	321.1	0.7	0.8	0.7
B-1				225.5	164.5	169.2	150.0	0.7	0.8	0.7
B-2				156.3	71.9	199.1	179.3	0.5	1.3	1.1
B-4				20.1	30.3	37.4	31.6	1.5	1.9	1.6
B-6				179.7	75.6	323.2	182.4	0.4	1.8	1.0
B-12				466.6	97.6	180.6	154.3	0.2	0.4	0.3
B-15				741.7	90.0	401.2	187.3	0.1	0.5	0.3
B-17				132.2	42.6	124.5	124.1	0.3	0.9	0.9

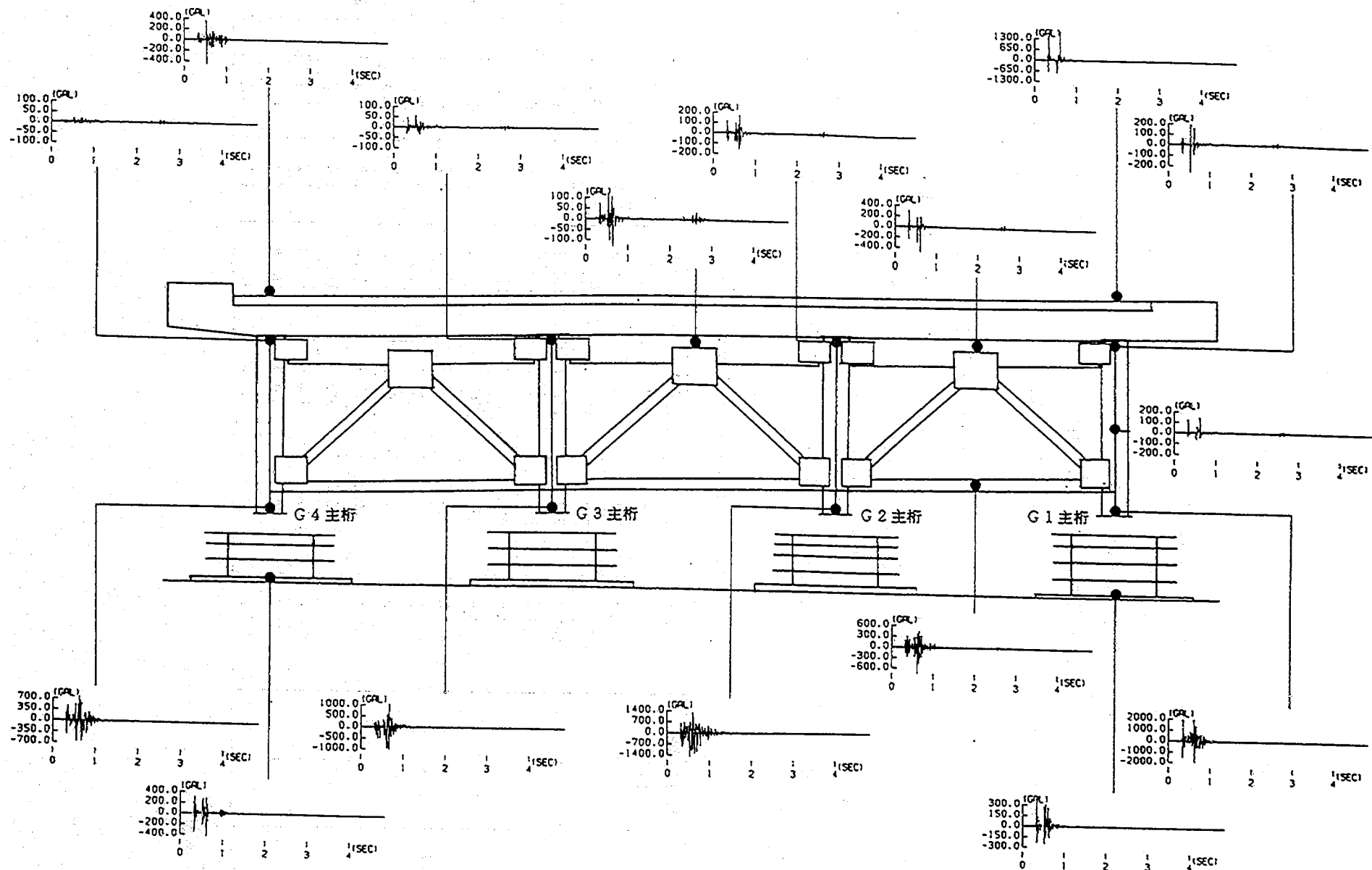


図-2-20 対策前での可動支承側の時刻歴波形図 (Z成分, 306012A)

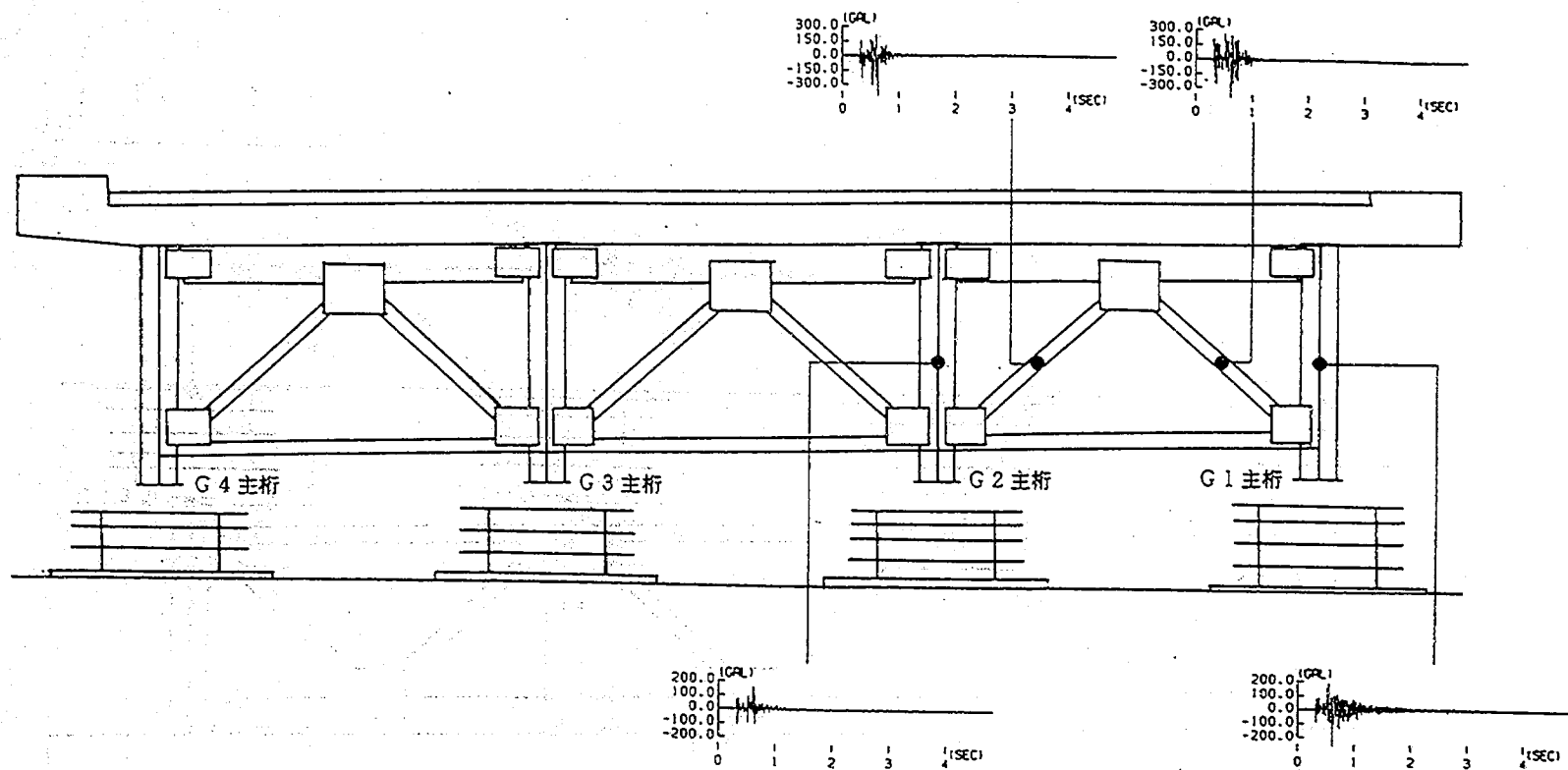


図-2・21 対策前での可動支承側の時刻歴波形図（X成分，306012A）

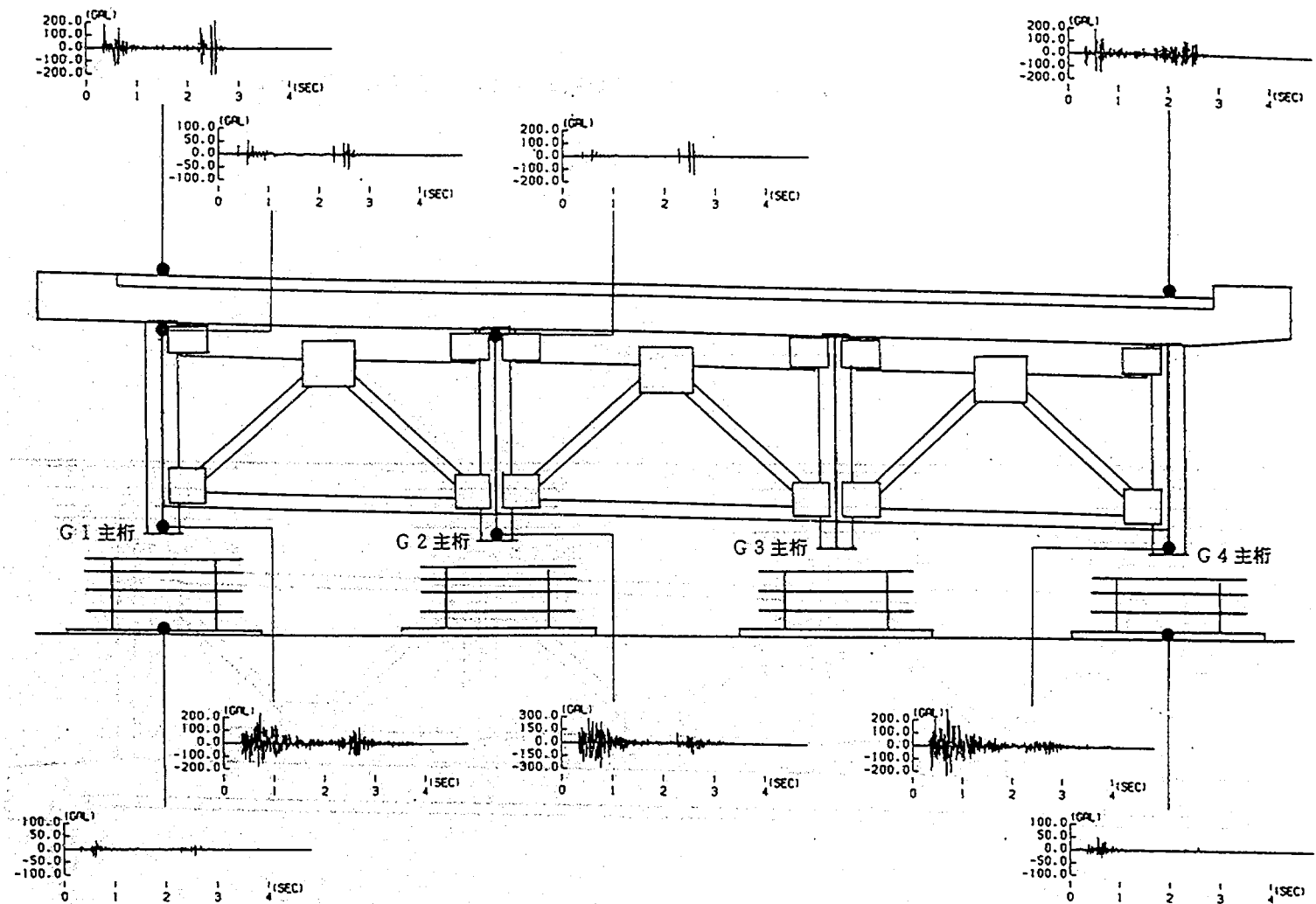
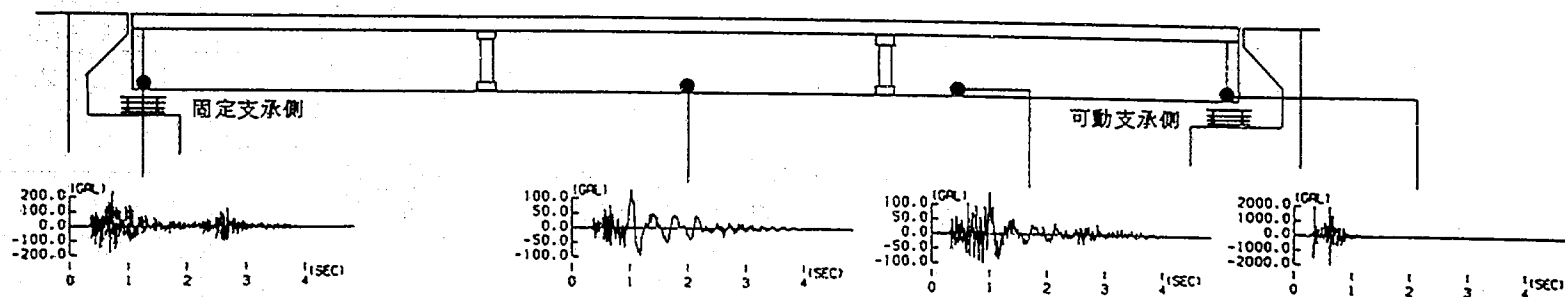


図-2.22 対策前での固定支承側の時刻歴波形図（Z成分，306012A）

G 1 主桁



G 2 主桁

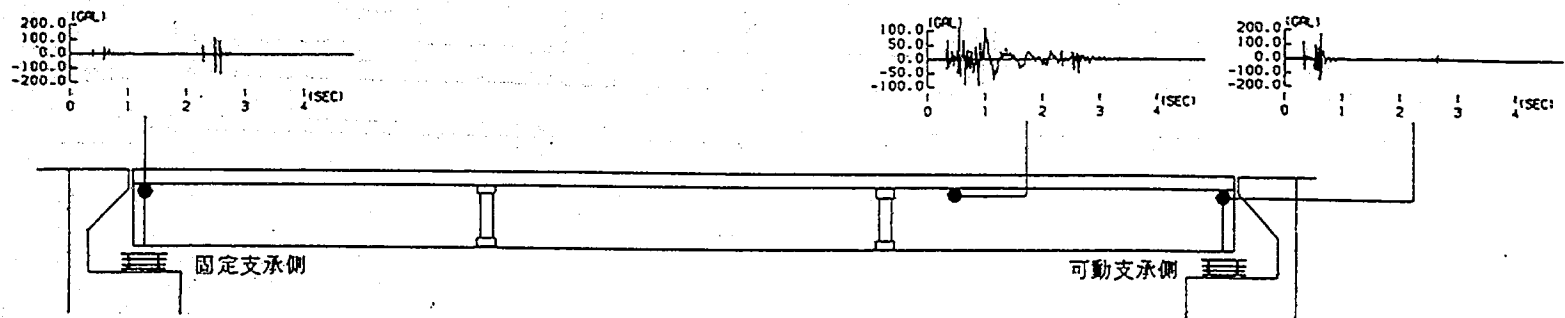


図-2.23 対策前での G 1 主桁及び G 2 主桁の時刻歴波形図 (Z 成分, 306012A)

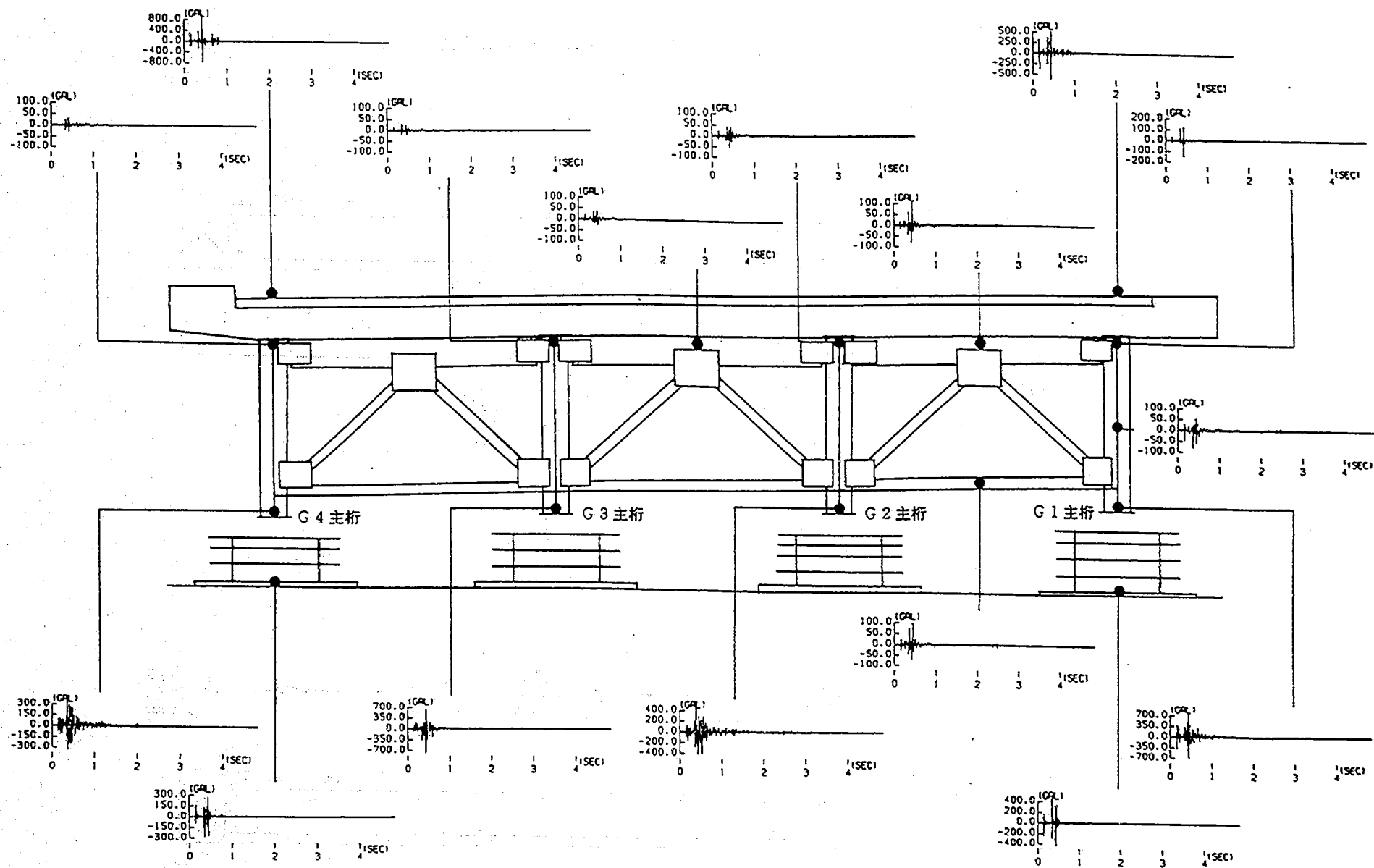


図-2.24 対策1での可動支承側の時刻歴波形図 (Z成分, 306012B)

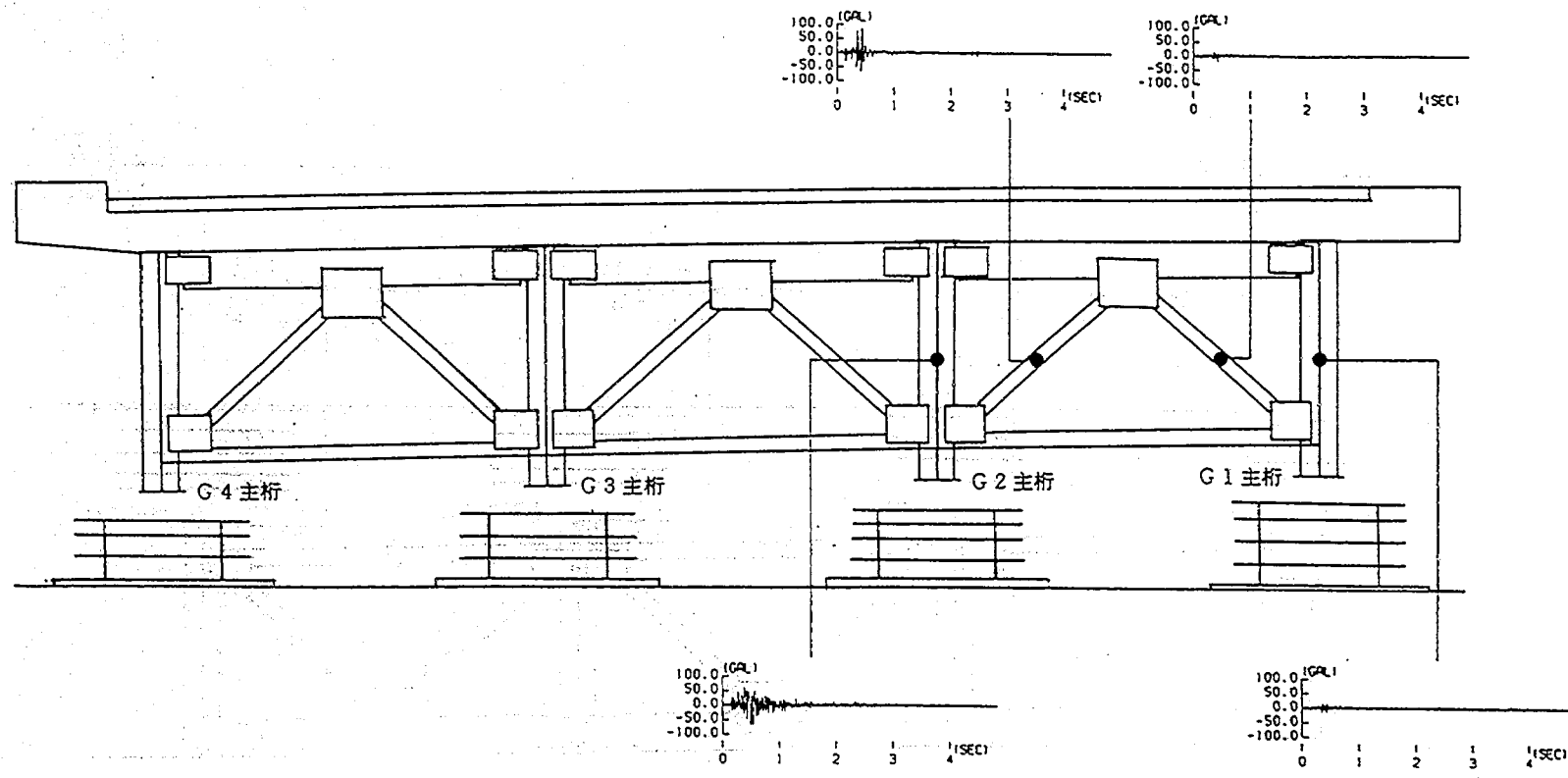


図-2-25 対策1での可動支承側の時刻歴波形図（X成分，306012B）

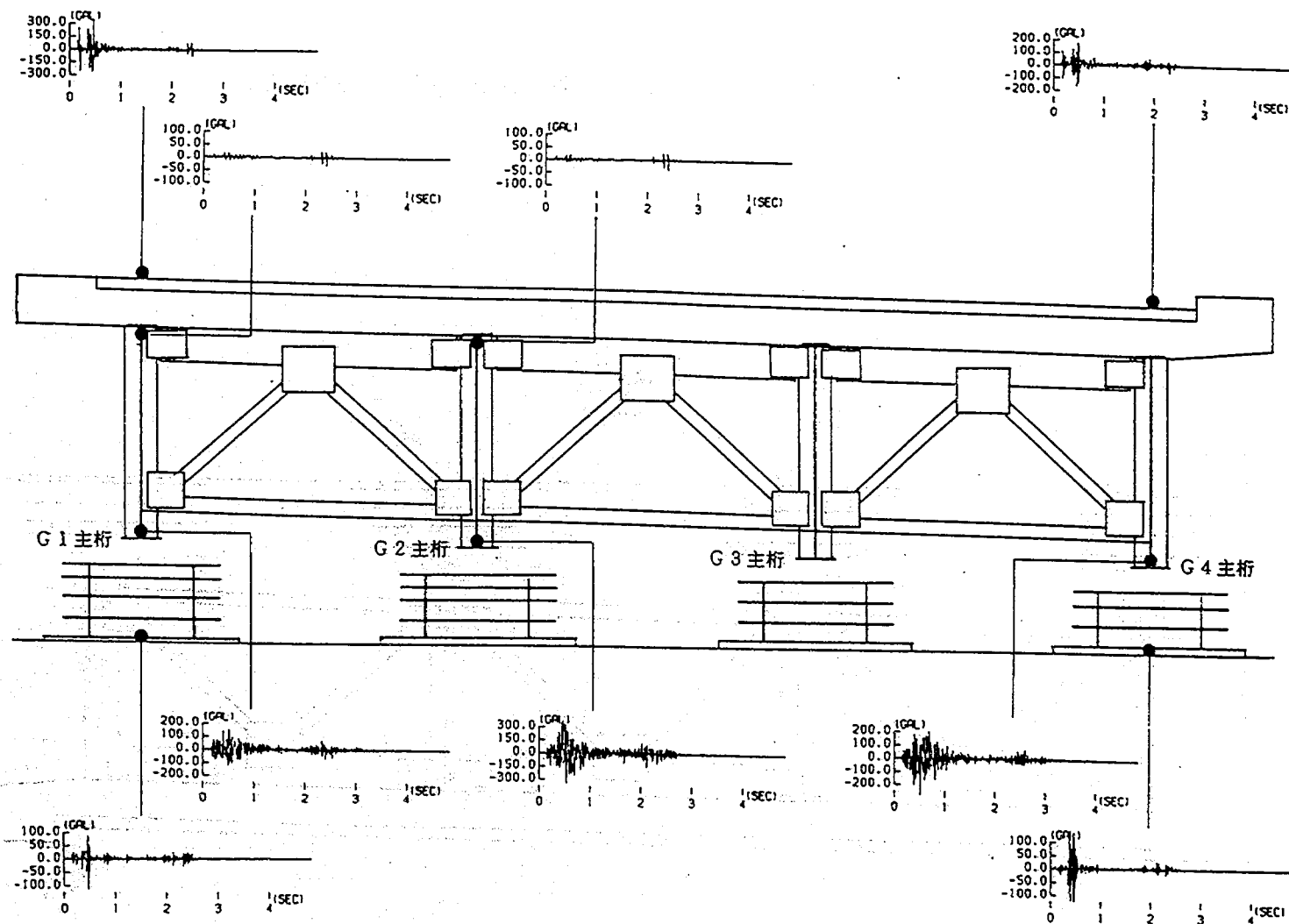
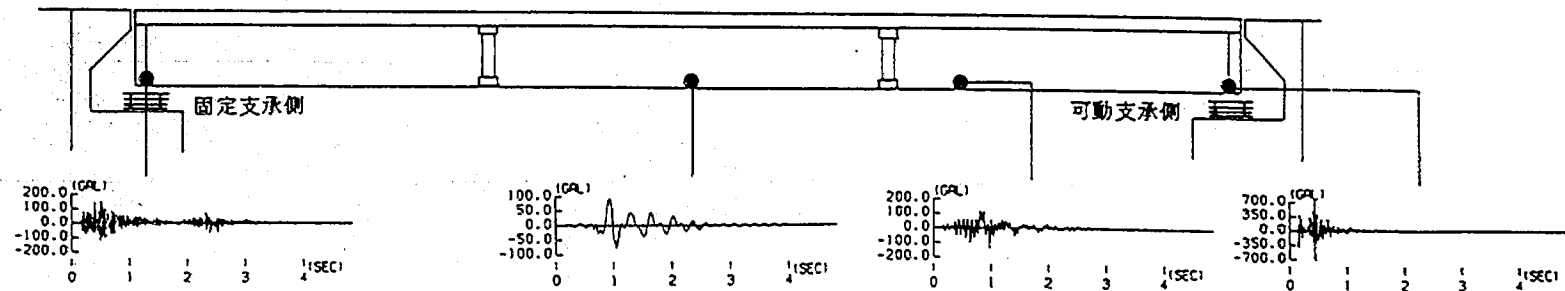


図-2・26 対策1での固定支承側の時刻歴波形図（Z成分，306012B）

G 1 主桁



G 2 主桁

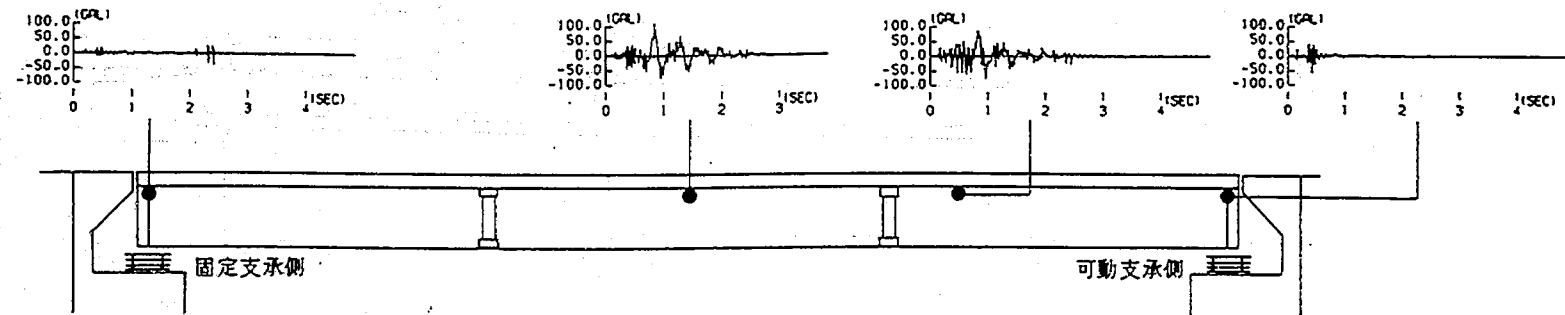


図-2.27 対策1でのG 1主桁及びG 2主桁の時刻歴波形図 (Z成分, 306012B)

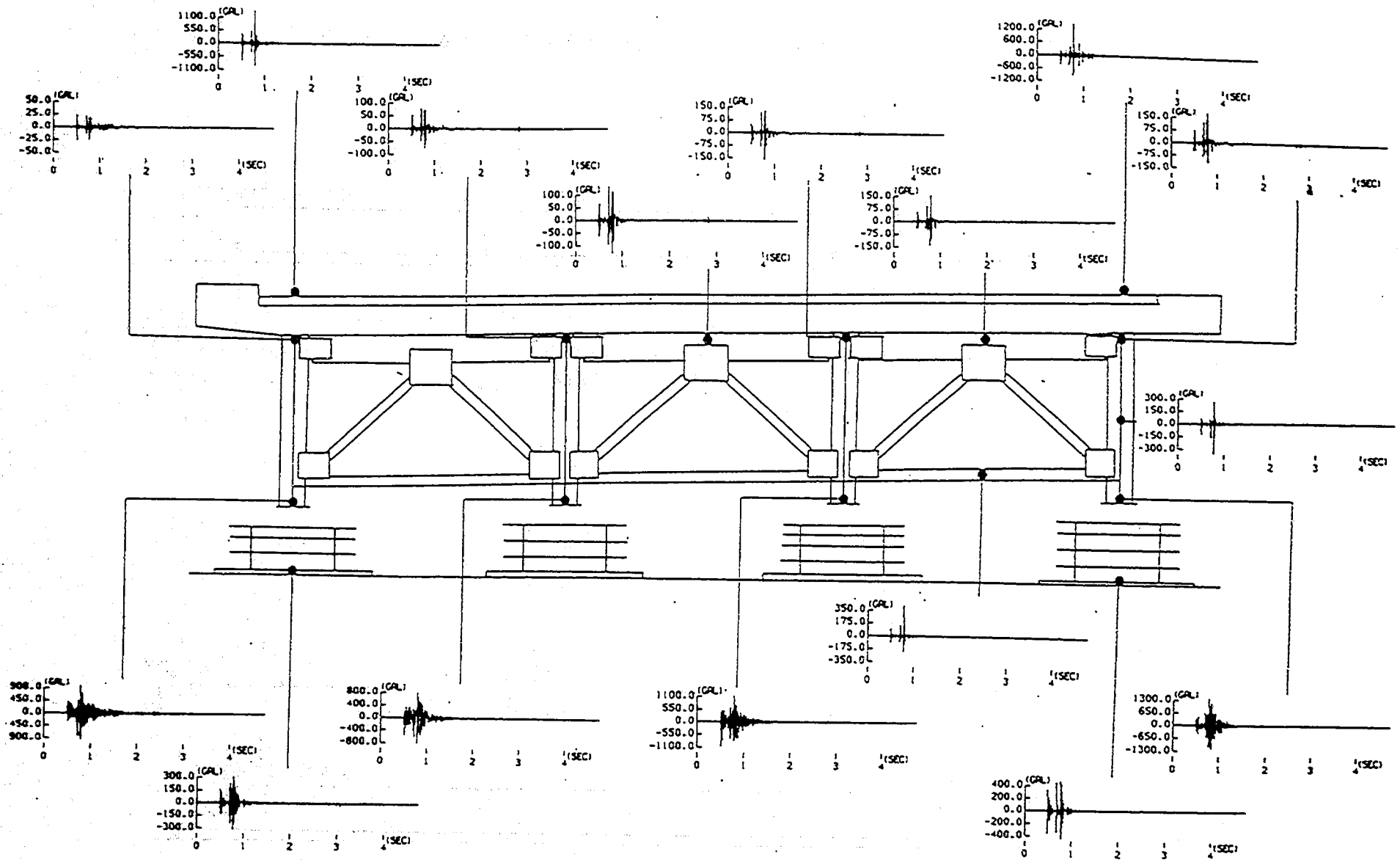


図-2-28 対策2での可動支承側の時刻歴波形図（Z成分，306012C）

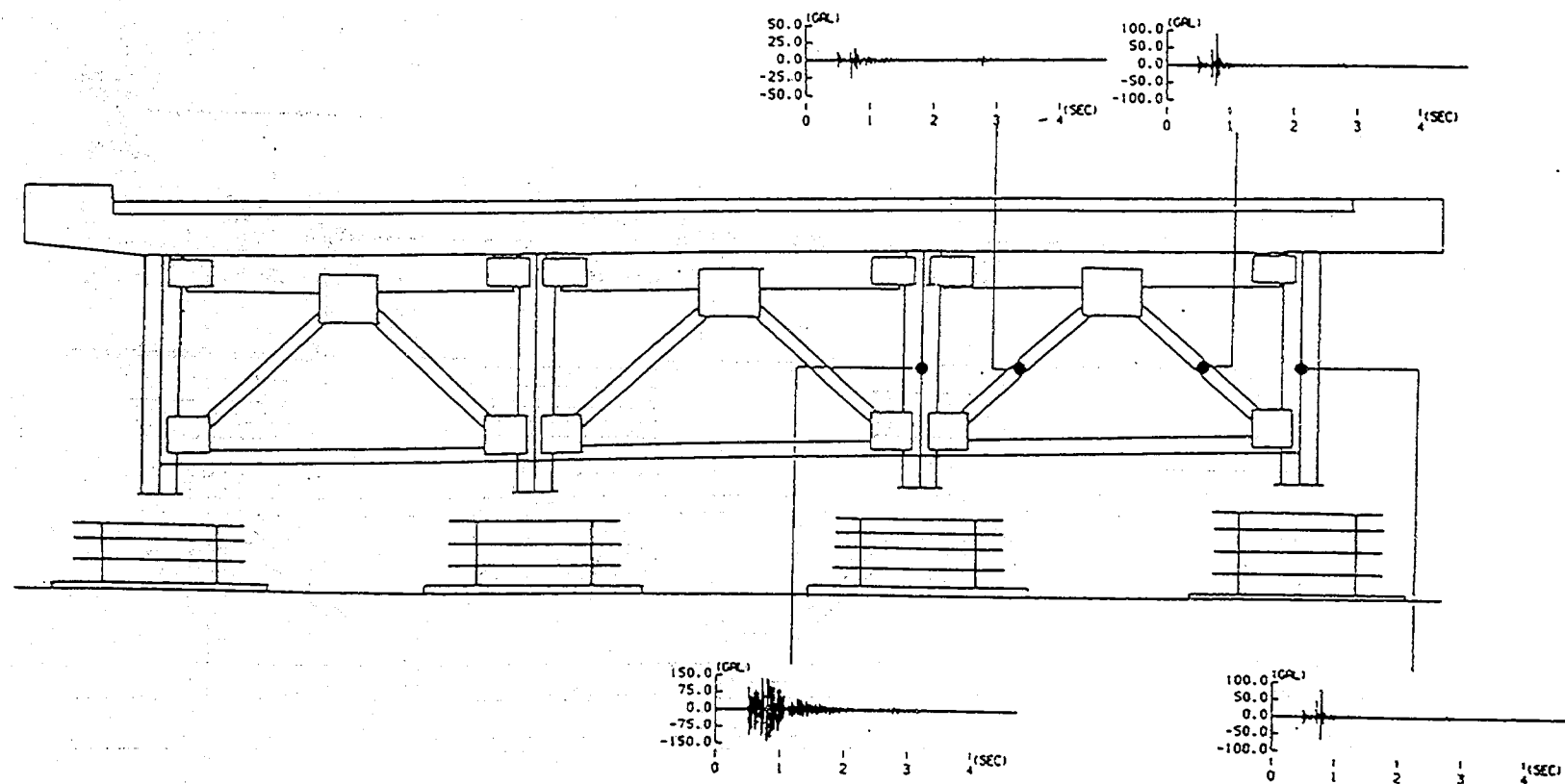


図-2-29 対策2での可動支承側の時刻歴波形図（X成分，306012C）

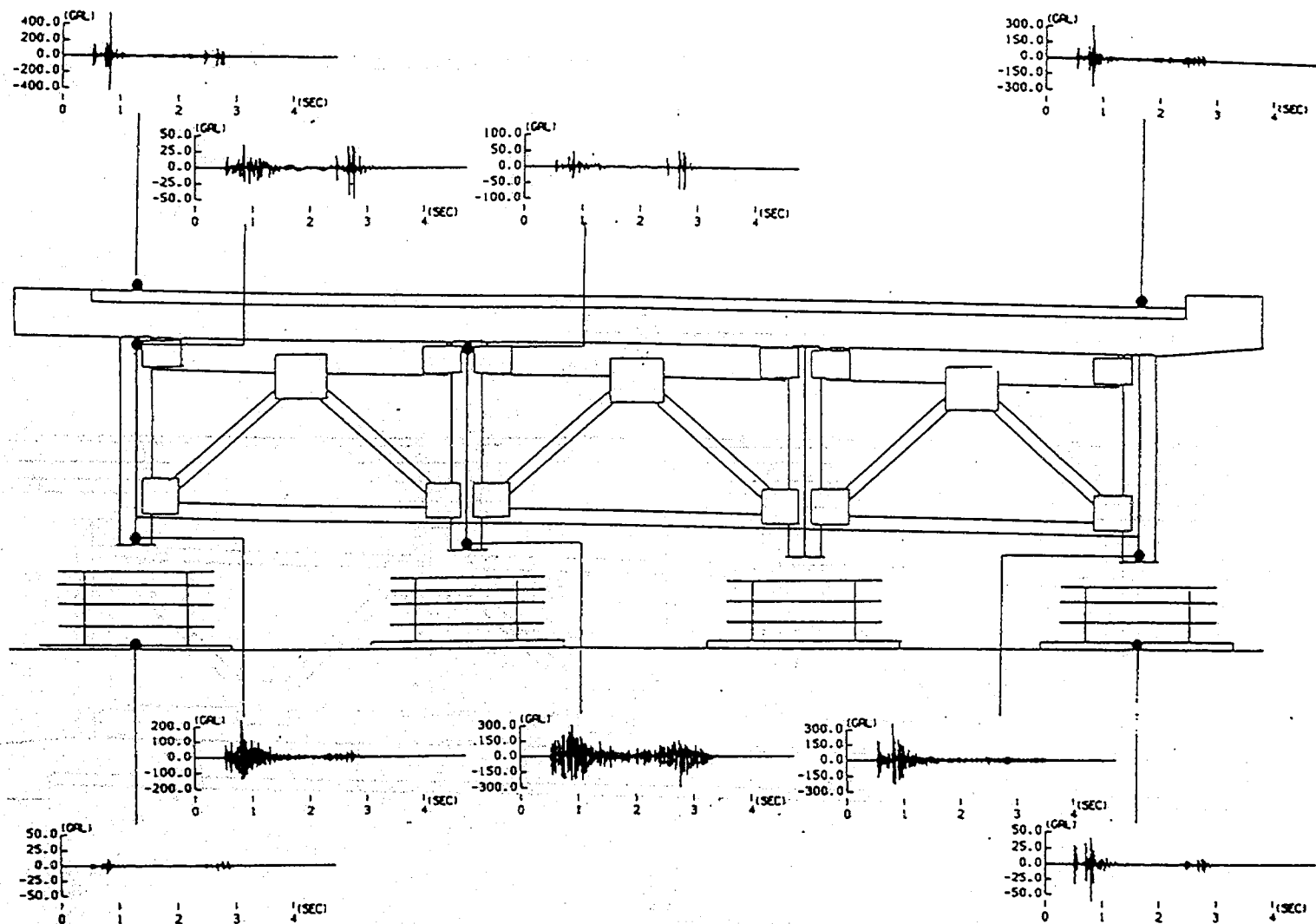


図-2.30 対策2での固定支承側の時刻歴波形図（Z成分，306012C）

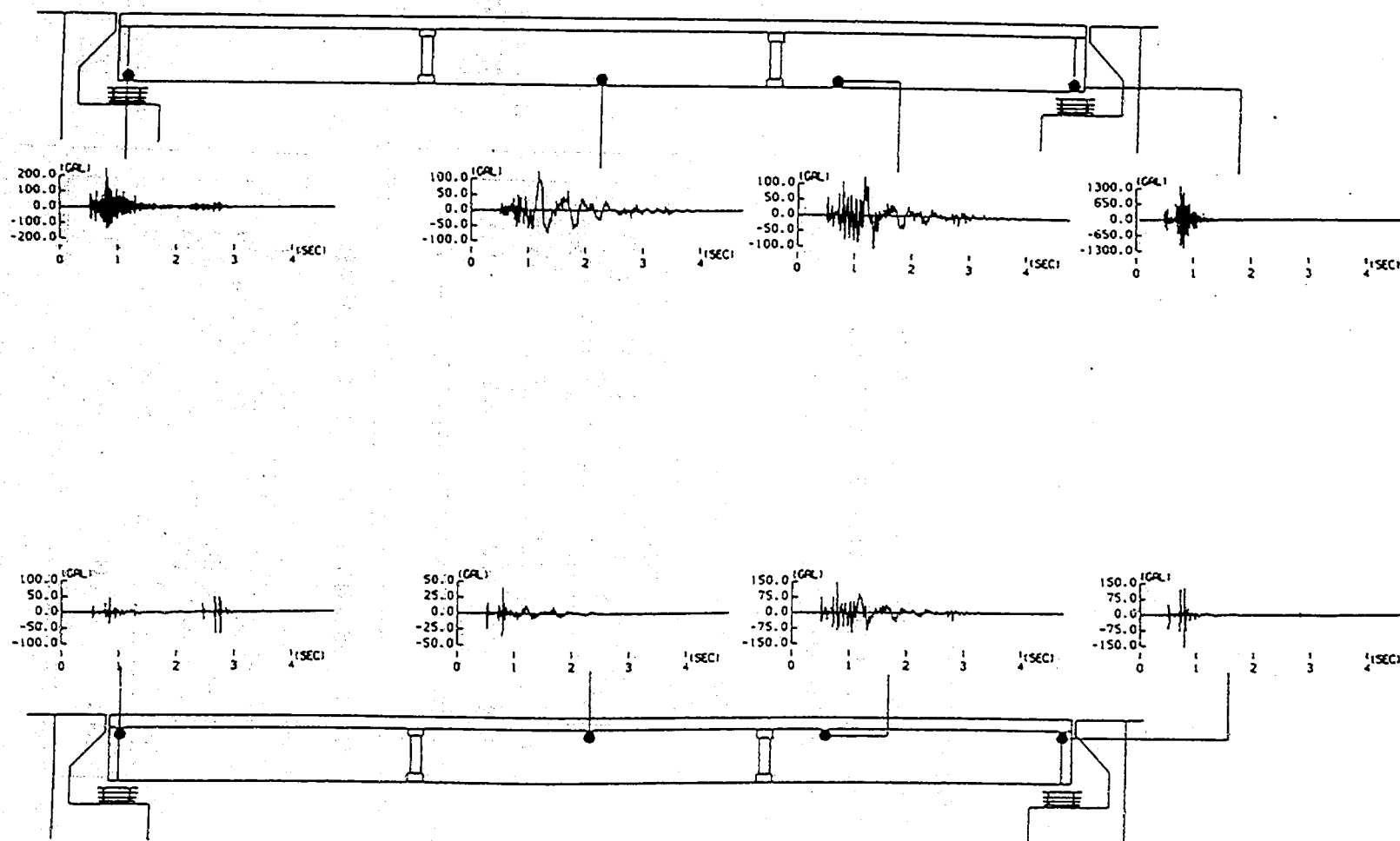


図-2-31 対策2でのG1主桁及びG2主桁の時刻歴波形図（Z成分，3060120）

2.6 桁端部補強対策に関するまとめ

今回の交通振動実測調査により明らかとなった事項及び桁端部補強対策の有効性について以下にまとめる。

2.6.1 橋梁の振動特性

- ① 車両荷重を直接支える主桁や端対傾構の上弦材、また車両走行に伴う振動が直接伝播される路面や支承で支持されている主桁下フランジでは、加速度が大きく発生する。
- ② 車両の走行位置を中心に加速度は大きく発生するが、その位置から離れた鉛直方向の台座基部や橋軸直角方向のG4主桁では加速度が半分以上減少し、全体的には振動発生源から遠ざかるにつれて加速度は減少する傾向を示している。
- ③ 車両総重量(10,30t)、走行速度(30,60km/h)、及び段差(0,20mm)の中で交通振動に最も影響を与える条件は段差と考えられ、以下総重量、走行速度と思われる。また、段差の有無をパラメータとした場合の交通振動に与える影響は、段差0mmのとき走行速度>総重量であり、段差20mmでは総重量>走行速度であった。

2.6.2 桁端部補強対策の有効性の検討

- ① 桁端部補強対策前後における最大加速度の大きさを図-2.32, 2.33に示す。

桁端部補強対策1は、部分的に増加する箇所が見られるが、1500galを超えていた3箇所全て1000galを下回るなど衝撃的な振動を軽減する対策としてかなりの効果が期待できた。

補強対策2は、対策1よりもその効果が少なく、G1桁下フランジでは1500gal以上の加速度が発生し、G2, G4桁の下フランジでも1000gal以上の加速度が発生している。

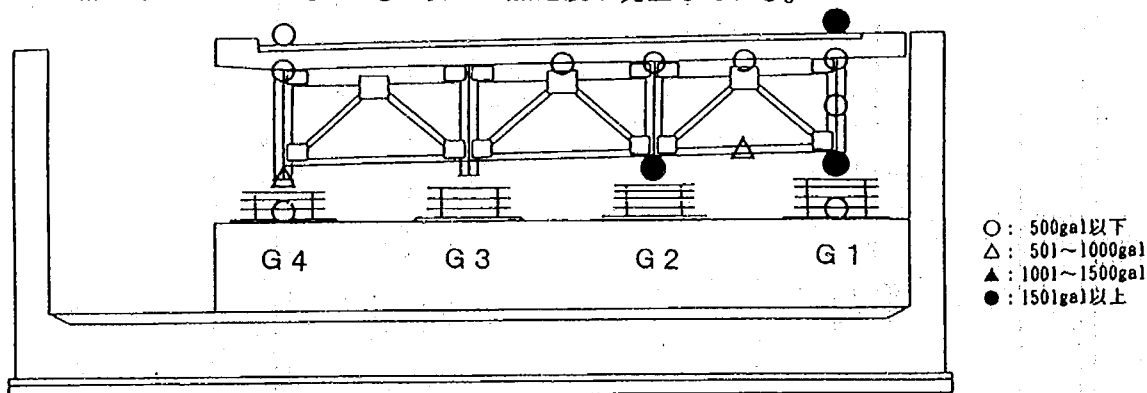


図-2.32 補強対策前における最大加速度概略図

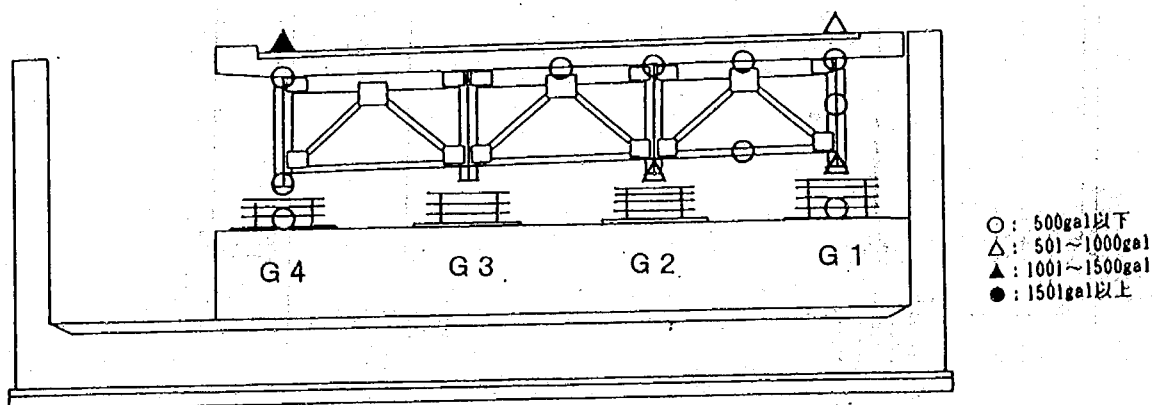


図-2.33(a) 補強対策1における最大加速度概略図

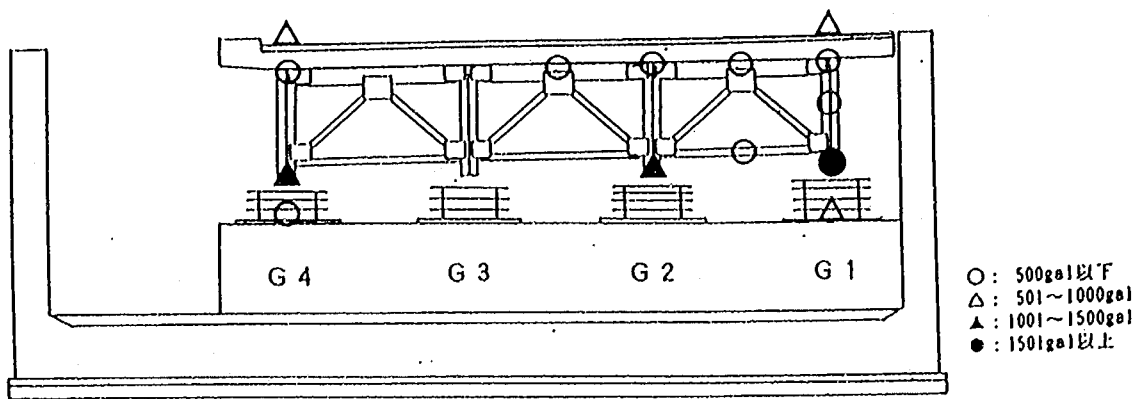


図-2・33(b) 補強対策2における最大加速度概略図

- ② 最大加速度からみた桁端部補強対策前に対する対策後の低減効果を図-2・34に示す。加速度は主桁下フランジ、路面、端対傾構の下弦材で大きく発生するが、対策1では主桁下フランジと路面では5割以上、下弦材では約9割の軽減効果が認められた。しかし、車両走行位置と反対側に位置しているG4主桁の路面及び上フランジでは、対策を実施したことで主桁と床版などが一体化され逆に加速度が増加したが、G4主桁上の路面の加速度でも対策前のG1主桁下フランジの値と比べて約6割程度の大きさであった。対策2では主桁下フランジと路面では5割未満、下弦材では約5割の軽減効果が認められた。

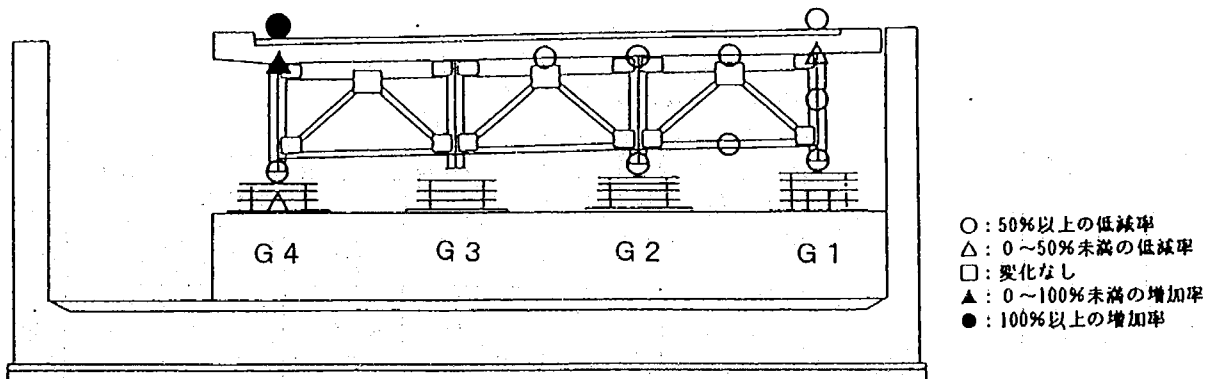


図-2・34(a) 最大加速度からみた対策1の低減効果

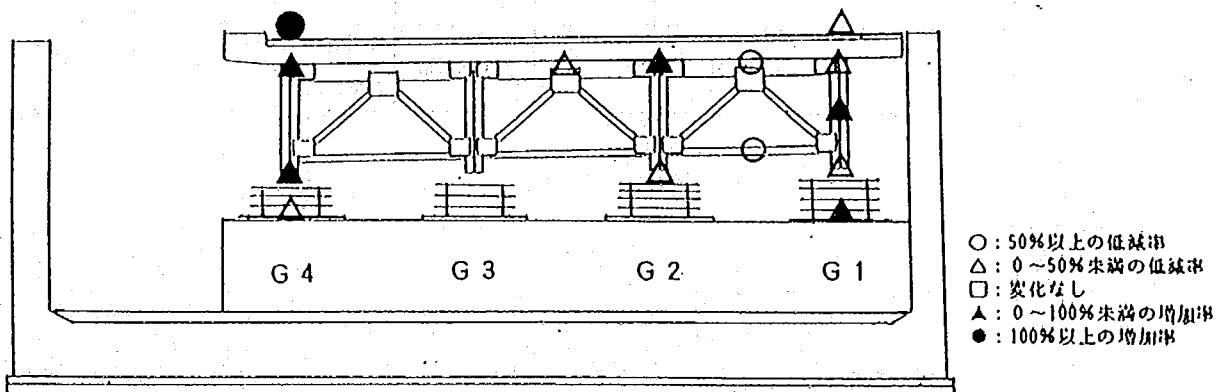


図-2・34(b) 最大加速度からみた対策2の低減効果

3. ゴム支承対策に関する実験

3.1 実験概要

実験は、桁端部補強対策実験と同様にダンプトラックと試験橋梁を用いた車両走行法により鋼製支承を減衰性の高いゴム支承に取り替えることがジョイント部で引き起こされる高い振動数成分の振動を軽減するための対策として有効な手段であるかどうかの検討を行った。

橋梁の動きを詳細に把握するために、計測点の位置は橋梁端部や桁中央などの路面、主桁、端対傾構、台座基部に加速度計を配置した。

3.2 対象橋梁

実験対象とした橋梁は、端部補強対策実験と同様に土木研究所構内の試験橋梁を使用した。

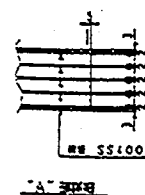
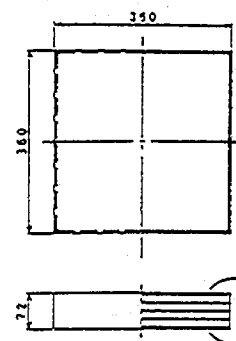
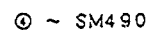
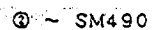
3.3 ゴム支承

ゴム支承は、既存の高力黄銅支承板支承(鋼製支承)と同じ設計条件で製作されたゴムと鋼板が交互に4層からなる積層ゴム支承であり、設置数は可動側支承4点とした。ゴム支承及び鋼製支承の一般図を図-3・1、3・2に、外観写真を写真-3・1、3・2に、そしてゴム支承の材料成績表を表-3・1にそれぞれ示す。

表-3・1 ゴム支承材料特性

検査項目 規格値	静的せん断 弾性率 (kgf/cm ²)	引張強さ (kgf/cm ²)	伸 び (%)	耐 劣 化 性		圧縮永久歪率 (%)	耐オゾン性	耐水性 重量変化率 (%)	耐寒性 (℃)	硬さ 参考値 (度)
				25%伸長応力 変化率 (%)	伸び変化率 (%)					
製品番号	10±1.0	150 以上	550以上	-10~+30	-50以上	25以下	亀裂なし	10以下	-30以下	60±5
9410-360057 9410-360058 9410-360059 9410-360060	9.6	290	570	+16.3	-10.1	17	亀裂なし	+2.4	-56	60
備 考				70℃×70hr		70℃×22hr	20%伸長 40℃×96hr	50℃ ×72hr		

① $CR \approx NR + SS400$



设计条件

力		力	
最大出力	P_{max}	75.0	kg
平均出力	P_g	56.3	kg
電機出力 (kW) (電機)	P_{em}	11.3	kg
機械出力 (kW) (機械)	P_{me}	11.3	kg
主 機 力 (kW)	V	5.63	kg
電 機 負 荷			
設計電流	i_d	± 30	kg
平均電流	i	± 30	kg
主 機 負 荷		電 機 負 荷	
設計電流	K_h	0.29	kg

材 料 表

品名	数量	単位	数量	単位	数量	単位
1 ゴム	21.8	kg	1	kg	21.8	kg
2 ベースプレート	SM490	1	1	1	SM490	1
3 ガイドブロック	SC450	1	1	1	SC450	1
4 ソールプレート	SM490	1	1	1	SM490	1
5 六角ボルト	—	1	1	1	六角ボルト	1
6 セットボルト	—	1	1	1	セットボルト	1

1 鋼材重量 143.0 (kg)

- ⑤ 六角ボルト
M24×80 強度区分 10.9
- ⑤ 六角ボルト
M20× 強度区分 4.6

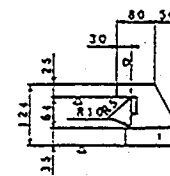
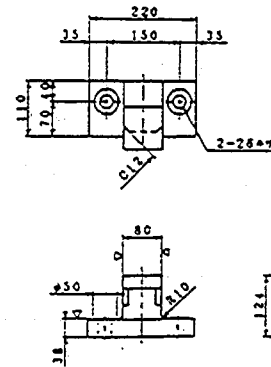
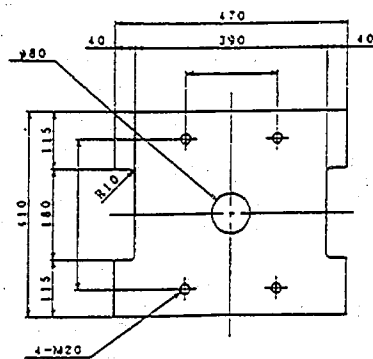
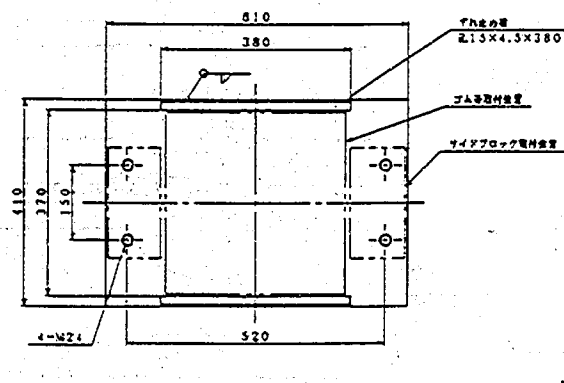


図-3.1 ゴム支承一般図(単位:mm)

遊天姥

C		D	
全	力	R	力
全	力	7.5	0.2
全	力	56.3	0.2
全	力	10.7	0.2
全	力	11.3	0.2
全	力	13.5	0.2
全	力	13.5	0.2
全	力	50.3	0.2
全	力	50	0.2
全	力	70	0.2
全	力	110	0.2
全	力	0.36	0.2
全	力	0.15	0.2
全	力	0.01	0.2

附件表

品名		数量	単価	合計
1	下	1	76.61	
2	上	1	5.62	
3	ベアリングプレート	1	6.1	
4	シールリング	1	0.3	
5	ワイヤロープ	2	8.1	
6	ボルト	1	0.77	
7	ボルト	1	1.27	
8	アングルプレート	1	11.3	
合計				159.4

空氣面積 0.51 m²

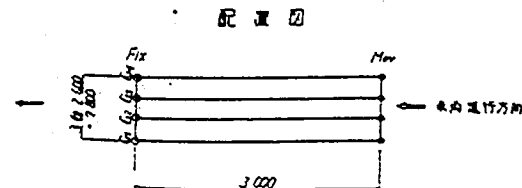
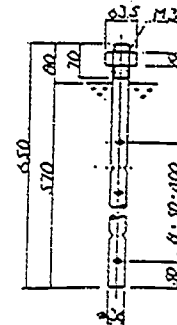
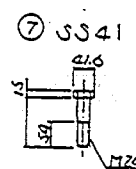
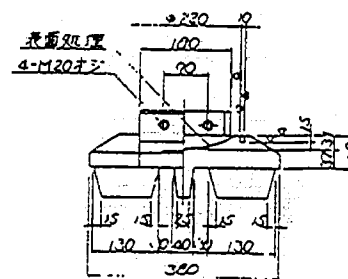
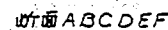
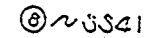
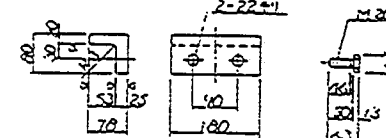
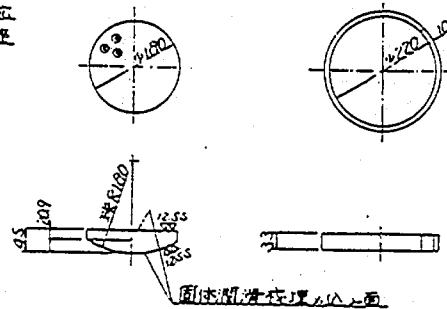
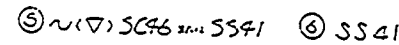
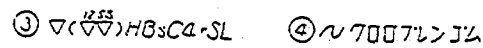
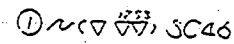


图-3-2 鋼製支承一般図(単位:mm)

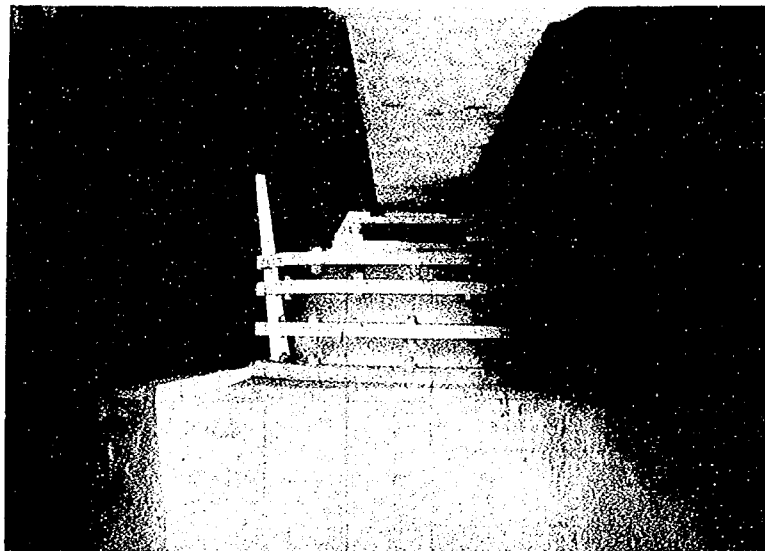
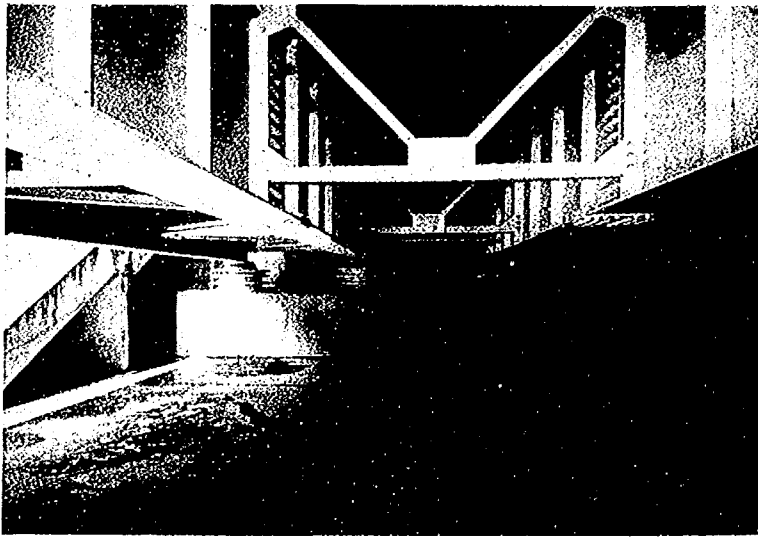


写真-3・1 ゴム支承

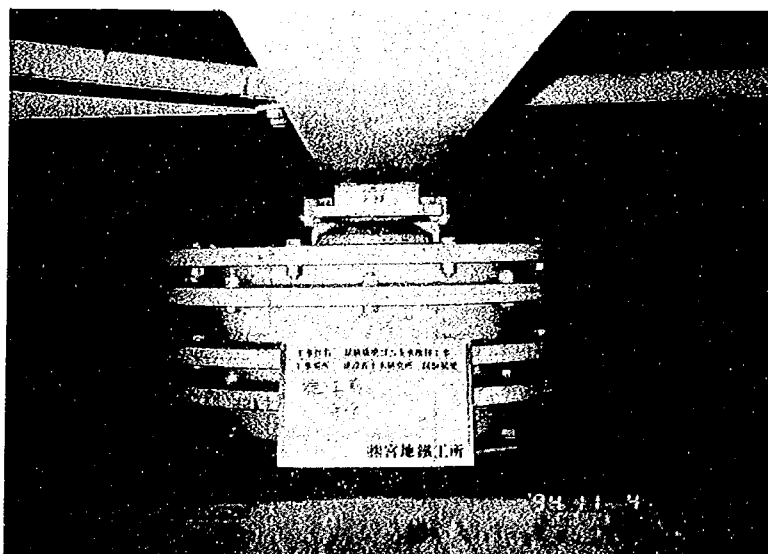


写真-3・2 鋼製支承

3.4 実験方法

3.4.1 計測項目

車両走行により桁端部から発生する衝撃的な振動の特性や橋梁の動きを詳細に把握するために、橋軸直角方向を表-3・2 に示す4断面に区切り、その断面内に位置している路面、主桁、端対傾構、台座基部の橋梁各部に合計35箇所41成分の加速度計を配置した。そして車両側にもバネ上、バネ下に加速度計を4箇所4成分を配置した。橋梁側と試験車側の計測システム図を図-3・3に、計測項目と計測位置を表-3・3、図-3・4にそれぞれ示す。

表-3・2 試験橋梁の各断面における加速度計の配置数

位 置	A-A断面 (可動支承側)	B-B断面 (支間1/4点)	C-C断面 (支間中央)	D-D断面 (固定支承側)
路 面	2箇所3成分	—	—	2箇所3成分
主 桁	10 " 12 "	2箇所2成分	3箇所3成分	5 " 5 "
対 傾 構	5 " 5 "	—	—	—
台座基部	2 " 3 "	—	—	2 " 3 "
主桁下の 地表面	—	1箇所1成分	1箇所1成分	—

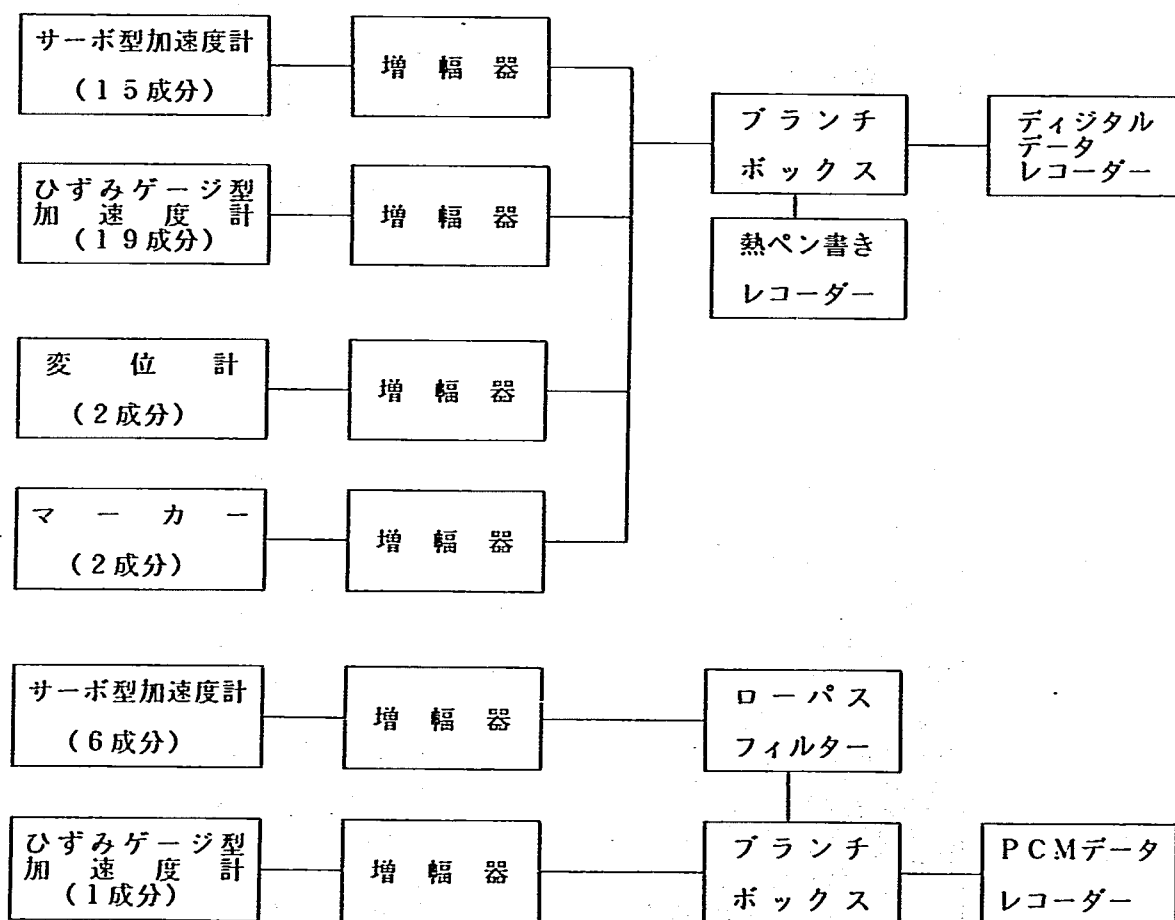


図-3・3(a) 計測システム図(橋梁側)

表-3・3(a) 計測項目及び計測位置(橋梁側)

計測項目	計測名	振動方向	計測位置	計測項目	計測名	振動方向	計測位置
加速度	A-1	鉛 直	可動支承側 G 1 桁下フランジ	加速度	B-1	鉛 直	可動支承側 G 1 桁上フランジ
	A-2	鉛 直	" G 2 桁 "		B-2	鉛 直	" G 2 桁 "
	A-3	鉛 直	" G 3 桁 "		B-3	鉛 直	" G 3 桁 "
	A-4	鉛 直	" G 4 桁 "		B-4	鉛 直	" G 4 桁 "
	A-5	橋 軸	" G 1 桁上の路面		B-5	橋軸直角	" G 1 桁ウェブ中央
	A-6	鉛 直	" "		B-6	鉛 直	" "
	A-7	鉛 直	G3桁の可動支承側より支間1/4点 地表面		B-7	鉛 直	支間中央 G 1 桁下フランジ
	A-8	鉛 直	可動支承側 G 4 桁上の路面		B-8	鉛 直	" G 2 桁上フランジ
	A-9	橋 軸	" G 1 桁支承台座基部		B-9	鉛 直	" G 4 桁 "
	A-10	鉛 直	" "		B-10	鉛 直	固定支承側 G 1 桁上フランジ
	A-11	鉛 直	G3桁の可動支承側より支間中央点 地表面		B-11	鉛 直	" G 2 桁 "
	A-12	鉛 直	可動支承側 G 4 桁支承台座基部		B-12	鉛 直	可動支承側 G1~G2桁間の上部端対傾構中央
	A-13	鉛 直	固定支承側 G 1 桁下フランジ		B-13	橋軸直角	" G1~G2桁間の斜部端対傾構中央
	A-14	鉛 直	" G 2 桁 "		B-14	橋軸直角	" G1~G2桁間の斜部端対傾構中央
	A-15	鉛 直	" G 4 桁 "		B-15	鉛 直	" G1~G2桁間の下部端対傾構中央
	A-16	橋 軸	" G 1 桁上の路面		B-16	橋軸直角	" G 2 桁ウェブ中央
	A-17	鉛 直	" "		B-17	鉛 直	" G2~G3桁間の上部端対傾構中央
	A-18	鉛 直	" G 4 桁上の路面		B-18	鉛 直	G1桁の可動支承側より支間1/4点
	A-19	橋 軸	" G 1 桁支承台座基部		B-19	鉛 直	G2桁の可動支承側より支間1/4点
	A-20	鉛 直	" "		B-20	鉛 直	可動支承側 G 1 桁下フランジ
	A-21	鉛 直	" G 4 桁支承台座基部	変 位	C-1	橋 軸	G 1 桁可動支承
					C-2	橋 軸	G 2 桁固定支承

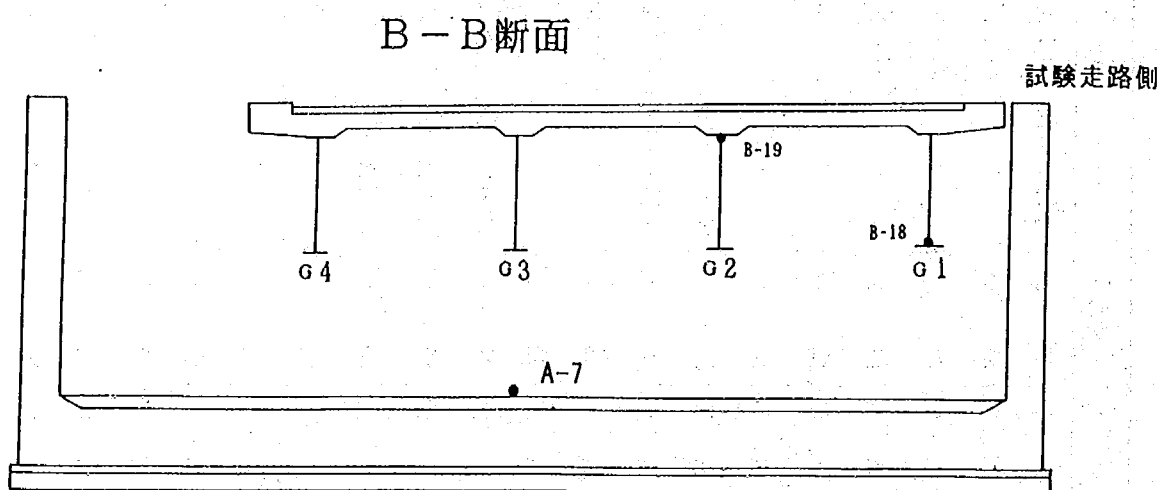
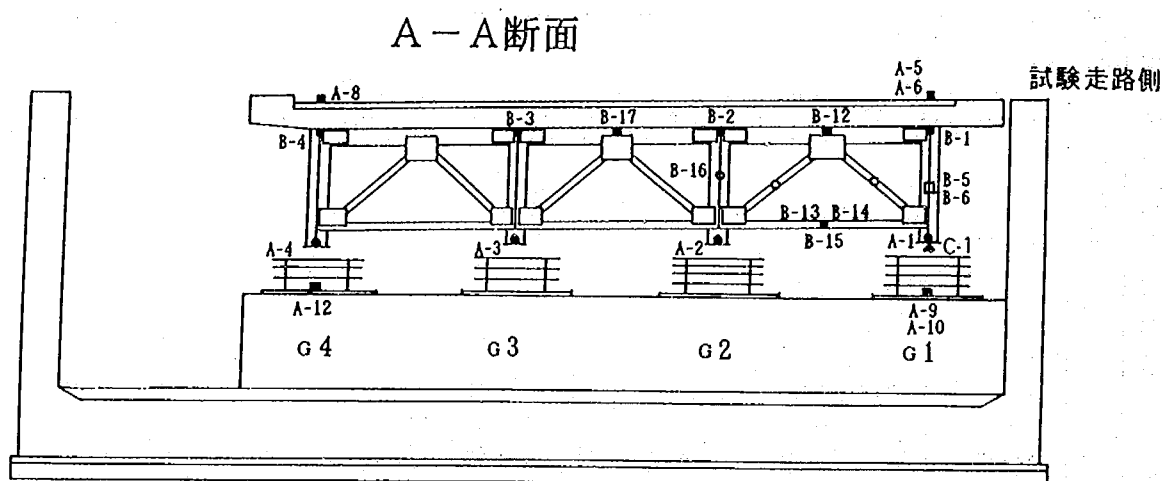
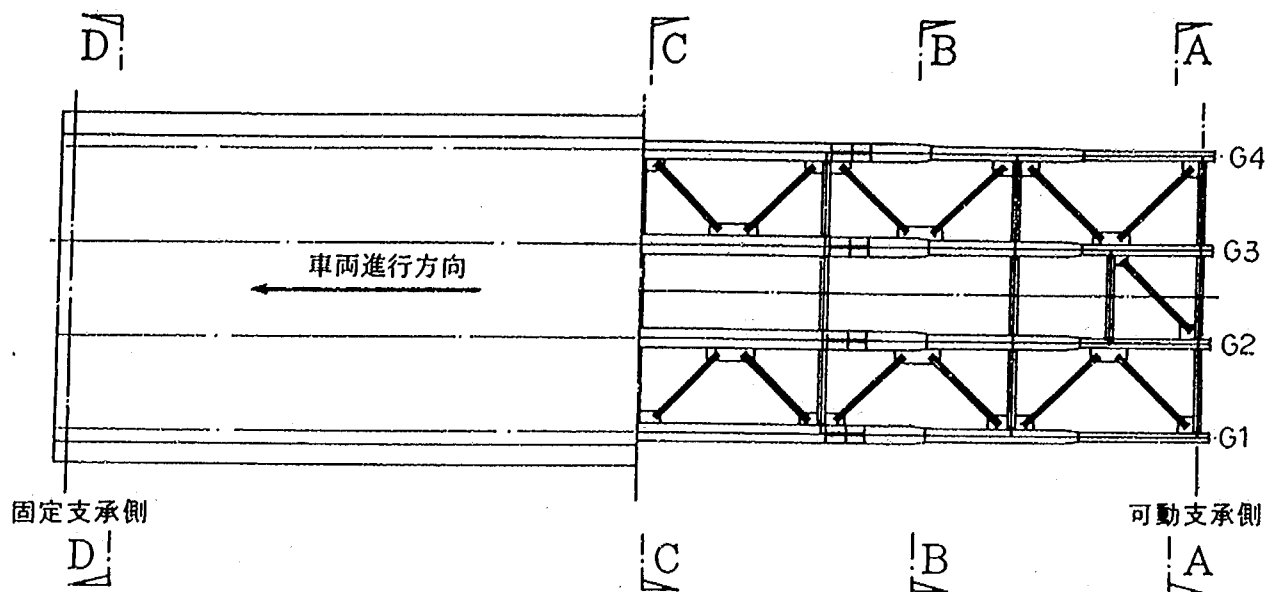
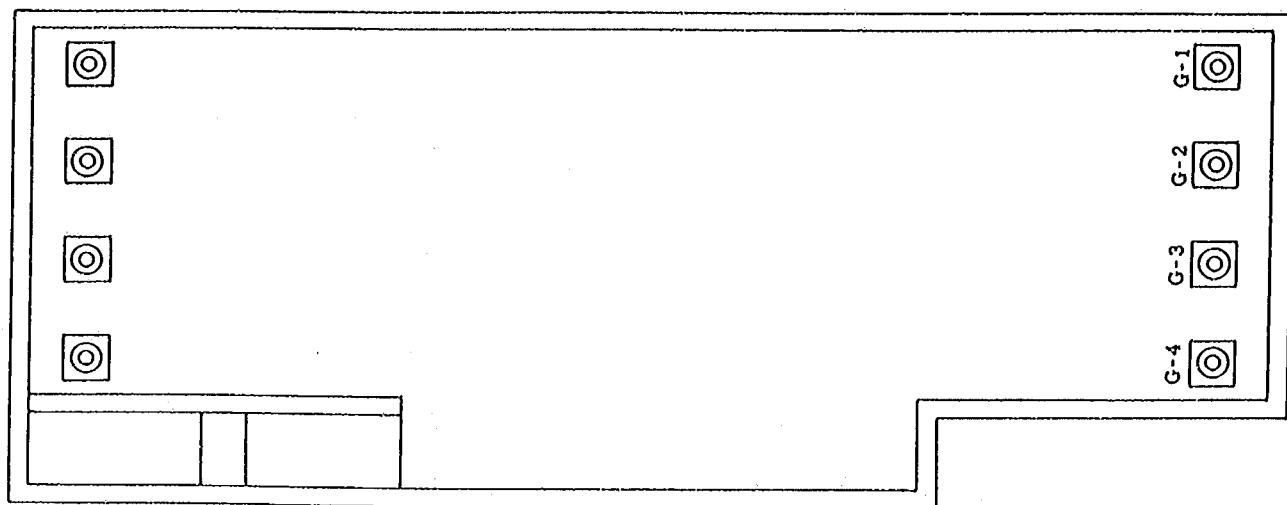


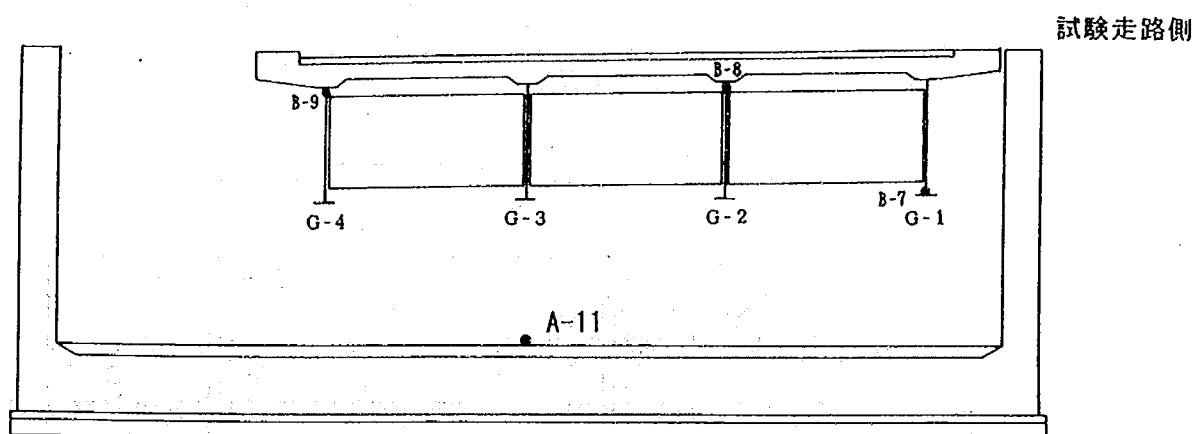
図-3・4(a) 計測位置図(橋梁側)



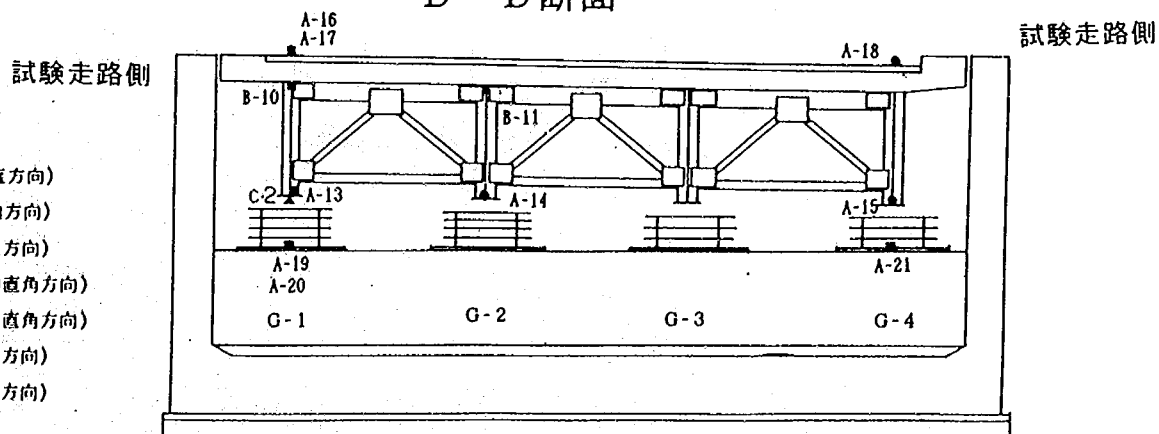
可動支承側

固定支承側

C - C断面



D - D断面



- : 加速度計 (鉛直方向)
- : 加速度計 (橋軸方向)
- : 加速度計 (橋軸直角方向)
- : 加速度計 (橋軸直角方向)
- ▲ : 変位計 (橋軸方向)

図-3.4(b) 計測位置図(橋梁側)

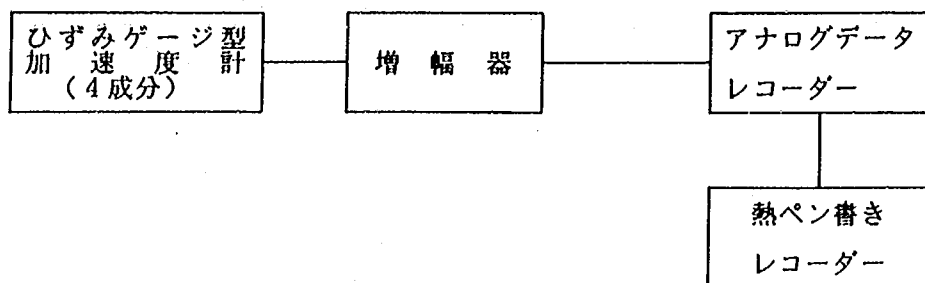


図-3・3(b) 計測システム図(試験車側)

表-3・3(b) 試験車両に関する計測項目及び計測位置

計 測 項 目	計測名	振動方向	計 測 位 置
加 速 度	D-1	鉛 直	左前輪車軸
	D-2	鉛 直	中輪車軸
	D-3	鉛 直	後輪車軸
	D-4	鉛 直	シャシバネ上

D-1～4は、ひずみ型加速度計

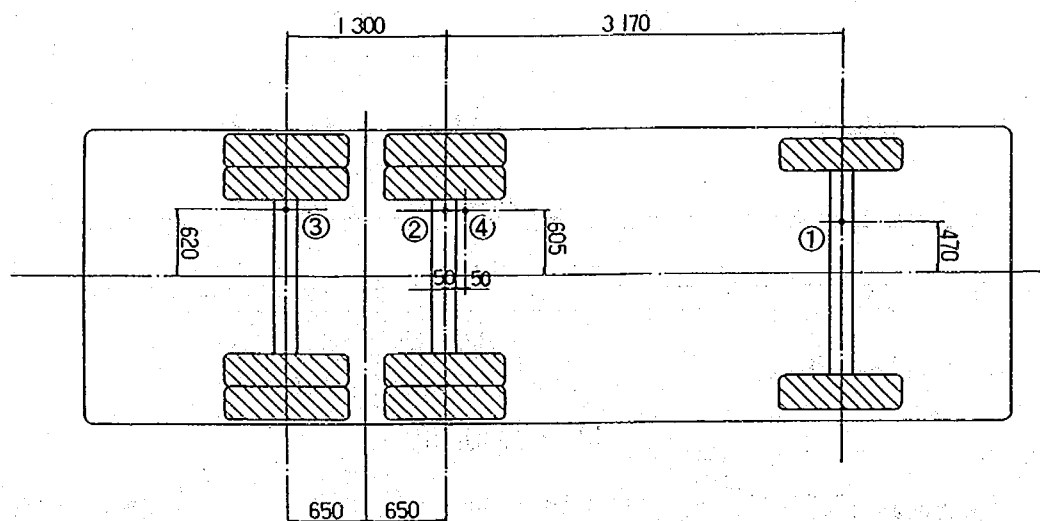


図-3・4(c) 計測位置図(試験車側)

3.4.2 実験条件

(1) 実験ケース

実験のパラメータは走行速度、総重量、段差とし、表-3・4に示す実験ケースを実施した。実験は図-3・5に示す対策前である既存の鋼製支承(TEST A)の4ケースとゴム支承に取り替え後(TEST B)の4ケース、計8ケースについて実施した。

なお、総重量30tfとはダンプトラックに1枚2.04m×1.54mの鋼製の荷重板（重量約2tf）を10枚積載した状態のことである。

表-3・4 実験ケース

TEST No.	支承条件	段差 (mm)	総重量 (tf)	走行速度 (km/h)	合計 (ケース)
A	鋼製支承	0, 20	30	30, 60	4
B	ゴム支承	0, 20	30	30, 60	4

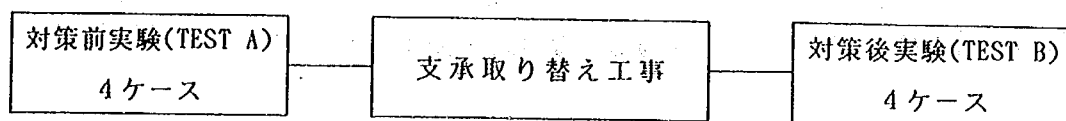


図-3・5 実験フロー図

(2) 試験車及び走行位置

試験車は桁端部補強対策実験と同車種である10.5ton積み大型ダンプトラック（三菱ふそうK-FV 313JD、前1軸、後2軸トラニオンサスペンション）を使用し、1枚2.04m×1.54mの鋼製の荷重板（重量約2tf）を総重量が30tfになるように10枚積載した。実験を実施したときの試験車の軸重量を表-3・5に、またその試験車が走行する位置を図-3・6に示す。

表-3・5 試験車の軸重量（単位：kgf）

対 策 条 件	前 輪		後 輪				総重量
	右	左	前 側		後 側		
			右	左	右	左	
鋼製支承	3,240	3,005	6,025	5,850	6,110	6,170	30,400
ゴム支承	3,285	3,180	5,840	6,040	5,706	6,430	30,481

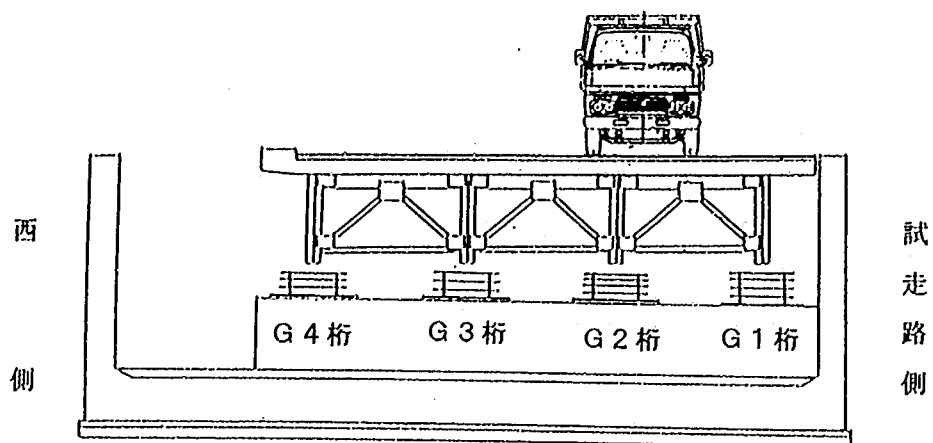


図-3・6 試験車走行位置

(3) 段差

路面の不陸や伸縮継手部の段差などを想定したものとして、桁端部補強対策実験で使用した厚さ20mmの鋼製の踏み板を用い、写真-3・3 に示すような可動支承側の走行位置に設置した。



写真-3・3 踏み板設置状況

3.4.3 データ整理方法

実験結果は下記に従って整理するものとし、表-3・6 に全実験ケースをまとめた一覧表を示す。

3 0 3 0 1 2 A

総重量 30 : 総重量30tf
 走行速度 30 : 30km/h 60 : 60km/h
 段 差 1 : 段差20mm 2 : 段差 0mm
 走行回数 1 : 1 回目 2 : 2 回目 3 : 3 回目
 対策条件 A : 鋼製支承 B : ゴム支承

表-3・6 実験結果の整理方法

対策前(鋼製支承)					対策後(ゴム支承)				
総重量 (tf)	速 度 (km/h)	段 差 (mm)	回 数	記 号	総重量 (tf)	速 度 (km/h)	段 差 (mm)	回 数	記 号
30	30	0	1	303021A	30	30	0	1	303021B
			2	303022A				2	303022B
			3	303023A				3	303023B
		20	1	303011A			20	1	303011B
			2	303012A				2	303012B
			3	303013A				3	303013B
	60	0	1	306021A		60	0	1	306021B
			2	306022A				2	306022B
			3	306023A				3	306023B
		20	1	306011A			20	1	306011B
			2	306012A				2	306012B
			3	306013A				3	306013B

3.5 実験結果

ゴム支承対策の有効性の検討は、計測データから出力される時刻歴波形図と最大加速度及びパワースペクトル解析の比較により行った。なお、スペクトル解析については付属資料に示す。

3.5.1 時刻歴波形図

走行速度60km/h, 総重量30tf, 段差有り(20mm)と段差無しのケースについて、鋼製支承とゴム支承の場合の可動支承側の断面と固定支承側及び橋軸方向の断面の主な鉛直方向成分(Z成分)加速度の時刻歴波形図を図-3・7~3・18に示す。

これらの結果から対策前後下記に示すような特徴が見られた。ここで、車両の橋梁への進行方向は可動支承側から進入して固定支承側から出るものとする。

① 可動側支承側の断面

- ・ 段差有り(図-3・7、3・10参照)

対策前(鋼製支承)では、後輪が橋梁を通過したとき発生する振幅が大きかったのに対して、対策後(ゴム支承)では前輪の通過時に発生する振動のほうが同じかむしろ大きな振動を示した。

- ・ 段差無し(図-3・13、3・16参照)

対策前後に関係なく後輪の通過時に発生する振動の方が大きくなる傾向を示した。

② 固定支承側の断面

- ・ 段差有り(図-3・8、3・11参照)

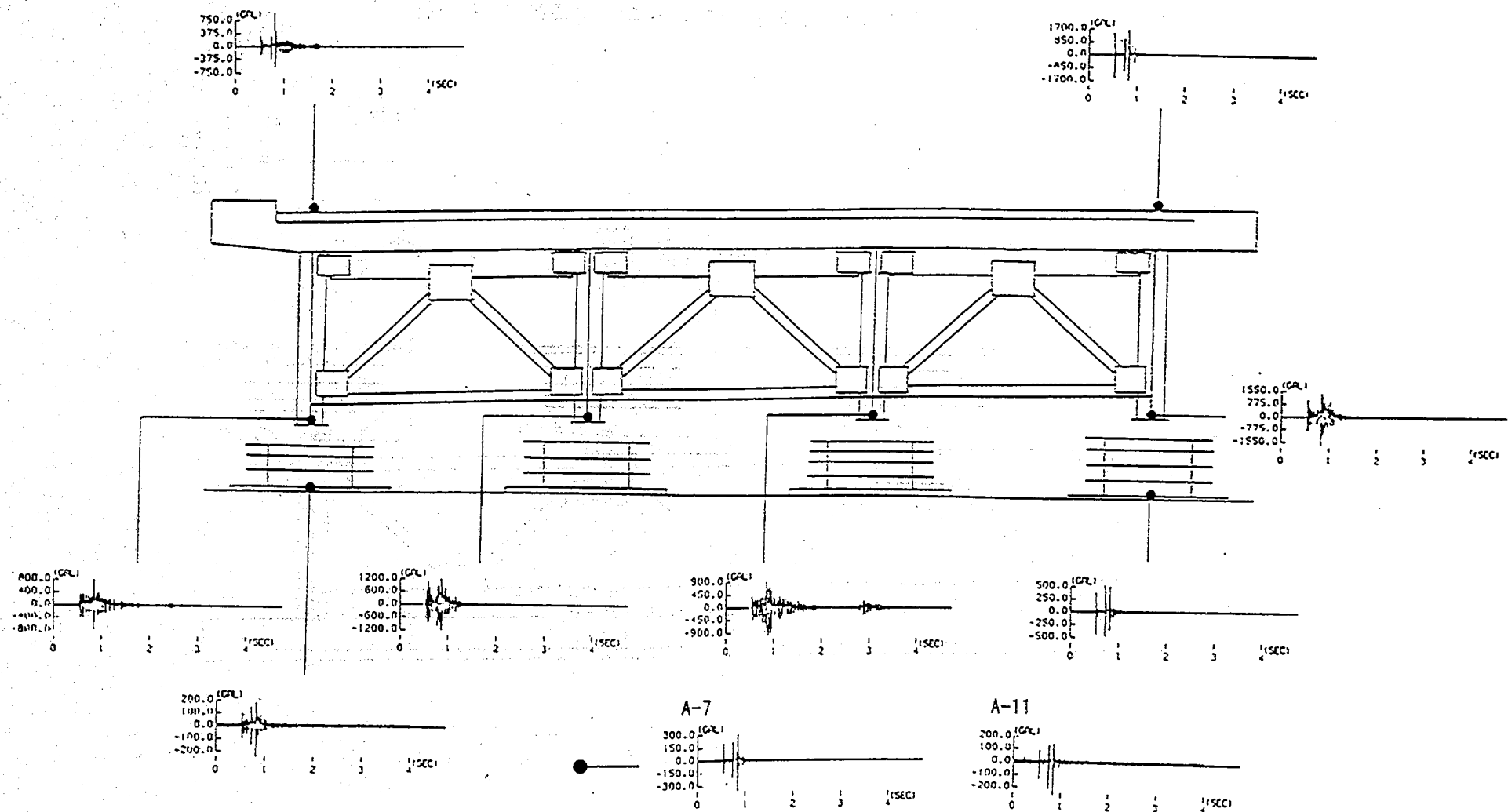
対策前後に関係なく橋梁への進入時の段差通過時に発生する振動の方が橋梁(固定支承側)を出る時に発生する振動よりも大きく段差による影響が大きいことが分かる。また、その振動自体も可動支承側と同様に対策前は後輪が通過時に、そして対策後は前輪が通過時に発生する振動が大きくなる傾向を示した。

- ・ 段差無し(図-3・14、3・17参照)

段差有りとは傾向が違い、対策前後に関係なく車両が橋梁(固定支承側)を出る時に、そして後輪の固定支承通過時に発生する振動が大きくなった。

③ 橋軸方向の断面(段差有り：図-3・9, 3・12 段差無し：図-3・15, 3・18 参照)

橋軸方向の断面である支間長の中央点または1/4点での時刻歴波形は、段差の有無に関係なく橋梁全体が振動する振動数が低い波形が見られた。特に対策後では明瞭に周期性が分かる波形が現れた。



注) A-7, 11はG 3桁の可動支承側より支間1/4, 中央点の桁下地表面に設置

図-3-7 対策前(鋼製支承)での可動支承側の時刻歴波形図 (Z成分, 306013A)

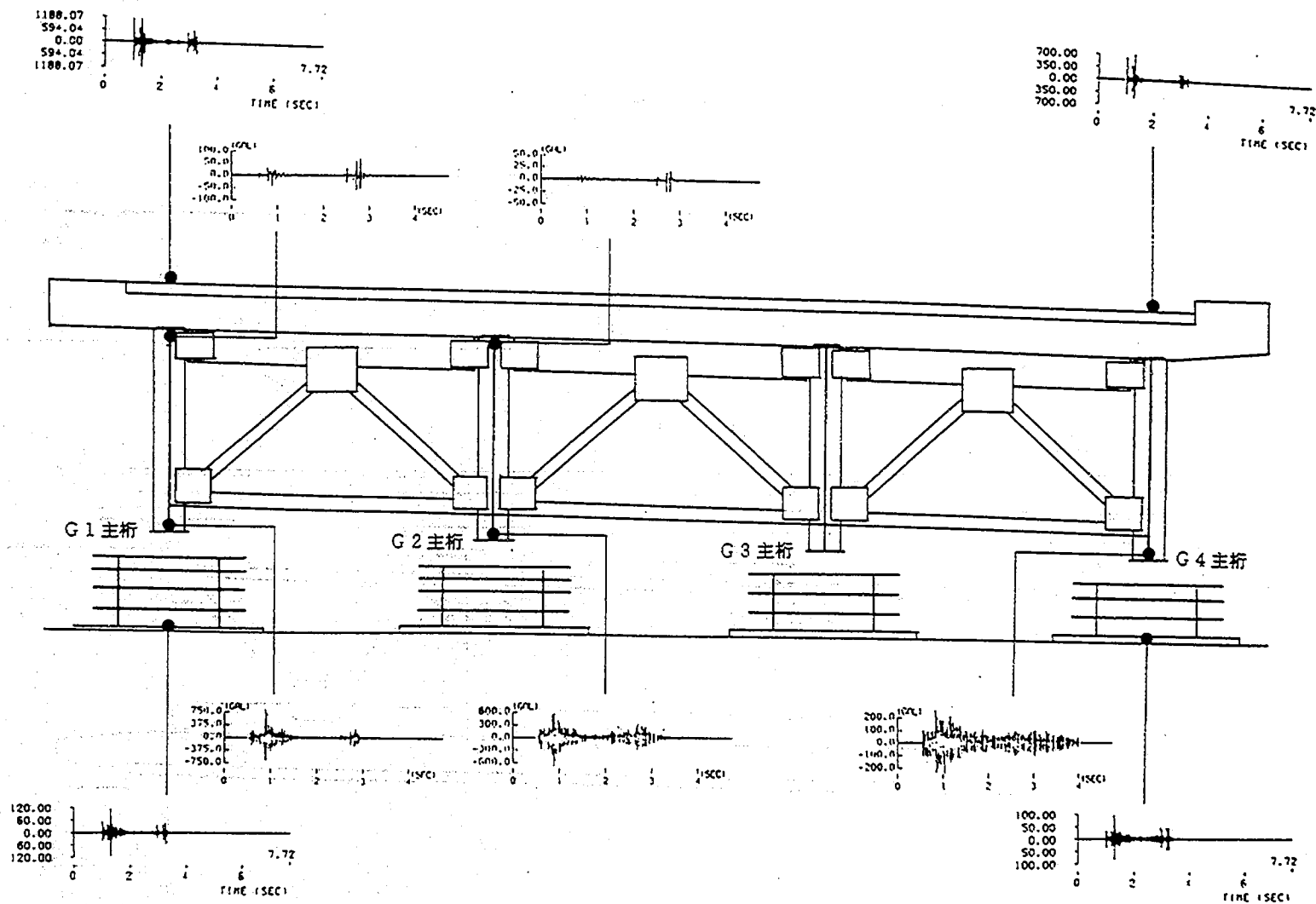


図-3・8 対策前(鋼製支承)での固定支承側の時刻歴波形図 (Z成分, 306013A)

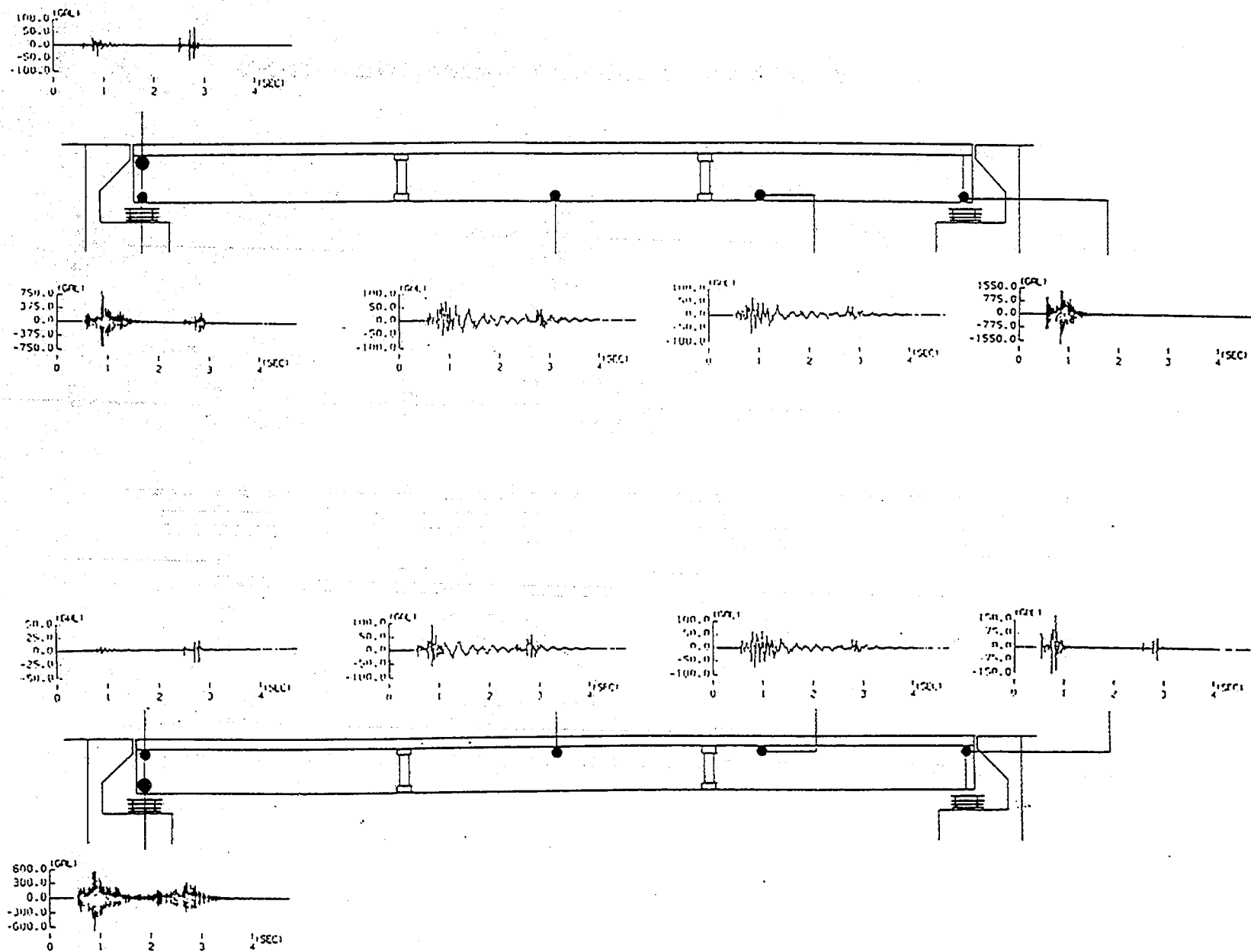
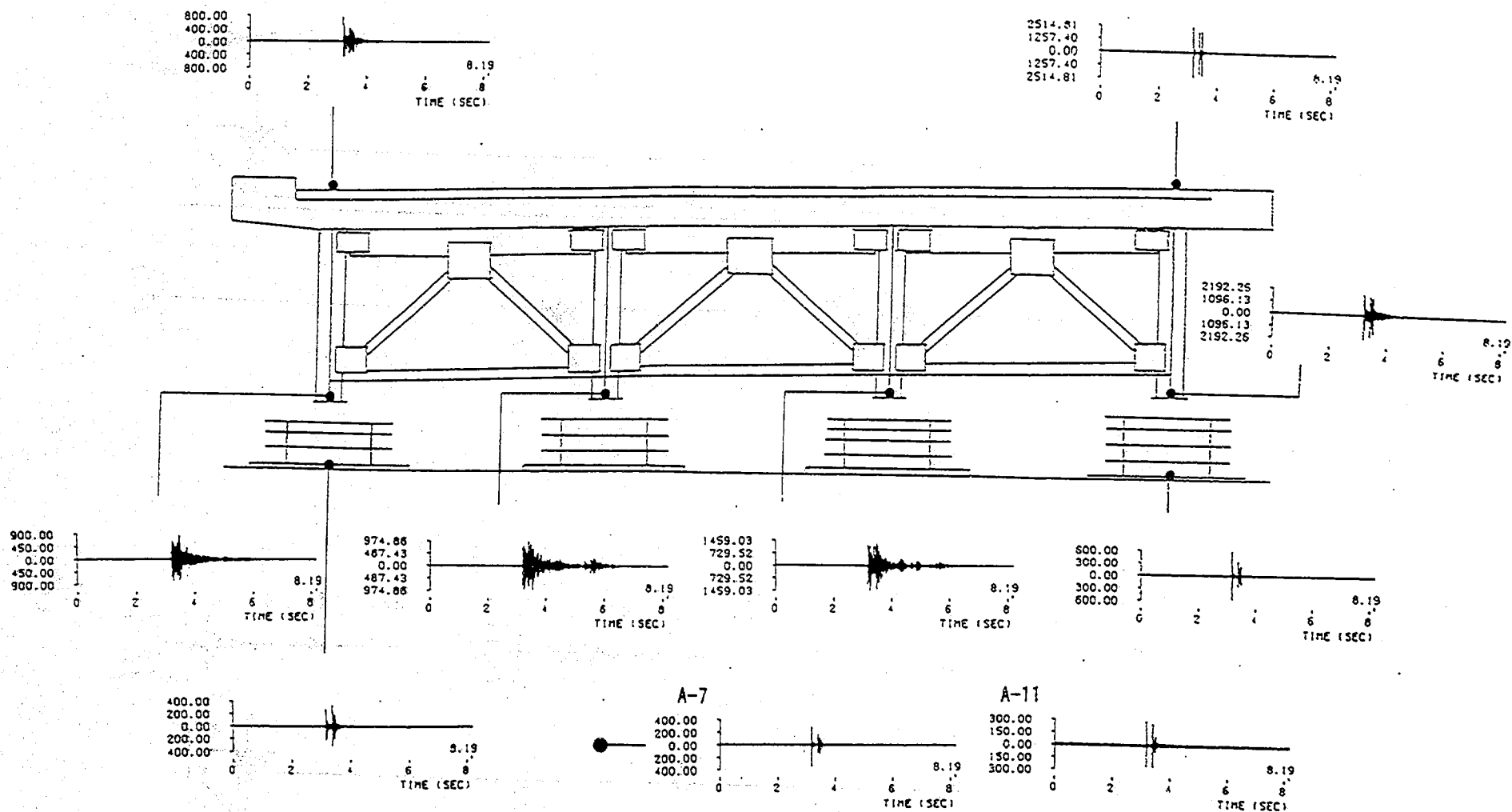


図-3-9 対策前(鋼製支承)での G 1 主桁及び G 2 主桁の時刻歴波形図 (Z 成分, 306013A)



注) A-7, 11はG3桁の可動支承側より支間1/4, 中央点の桁下地表面に設置

図-3-10 対策後(ゴム支承)での可動支承側の時刻歴波形図 (Z成分, 306013B)

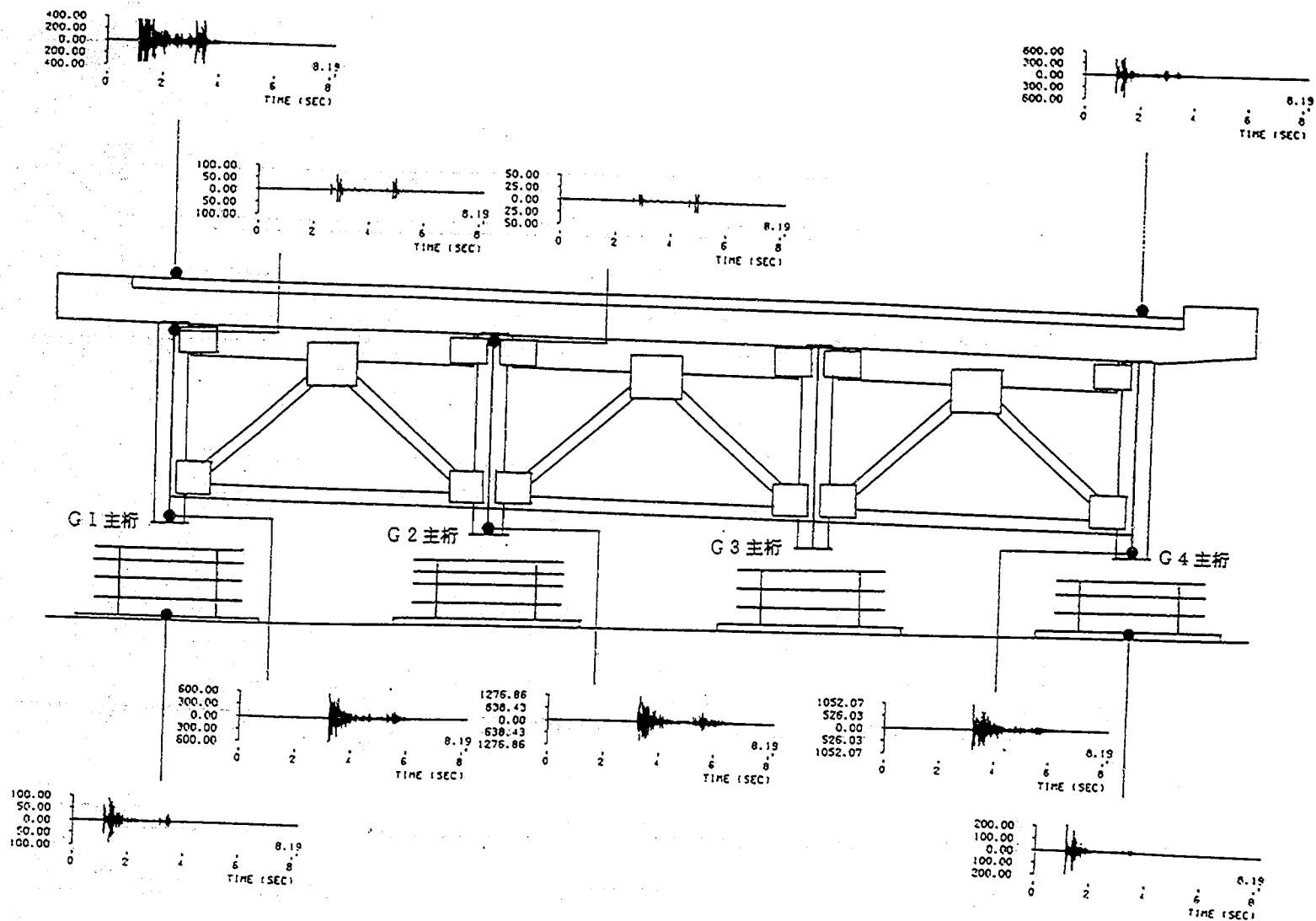


図-3-11 対策後(ゴム支承)での固定支承側の時刻歴波形図 (Z成分, 306013B)

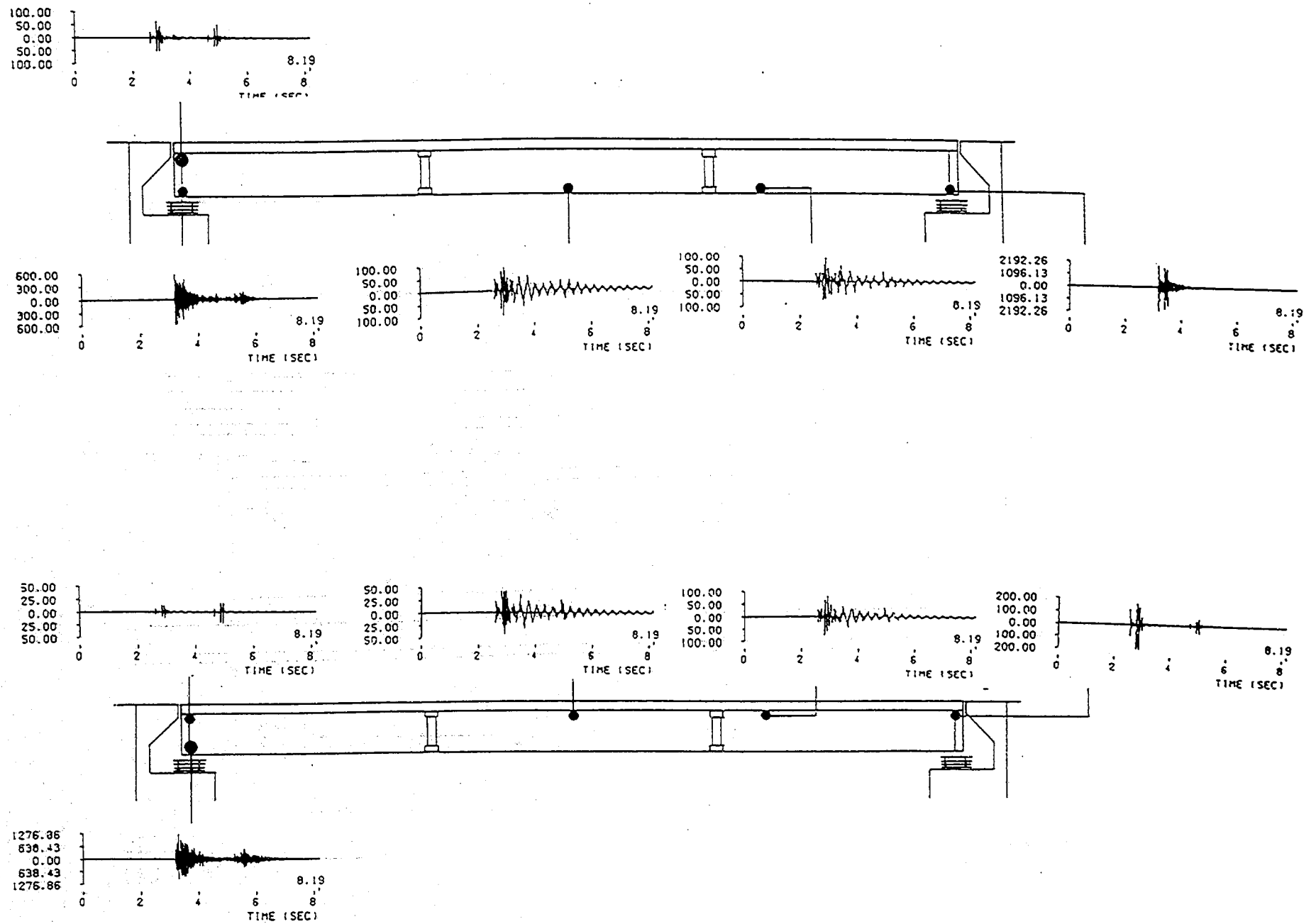
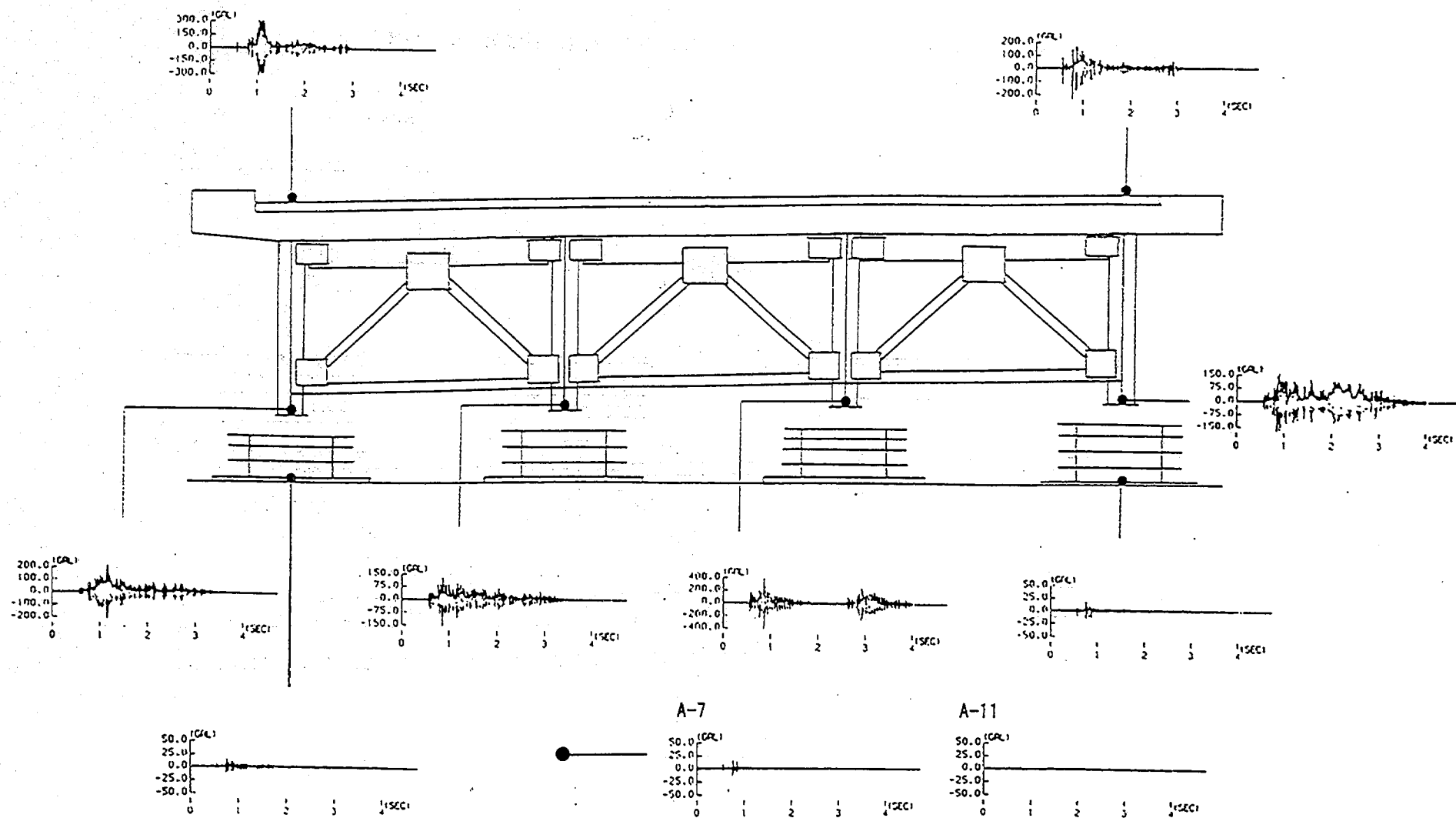


図-3-12 対策後(ゴム支承)でのG 1 主桁及びG 2 主桁の時刻歴波形図 (Z 成分, 306013B)



注) A-7, 11はG 3桁の可動支承側より支間1/4, 中央点の桁下地表面に設置

図-3.13 対策前(鋼製支承)での可動支承側の時刻歴波形図 (Z成分, 306023A)

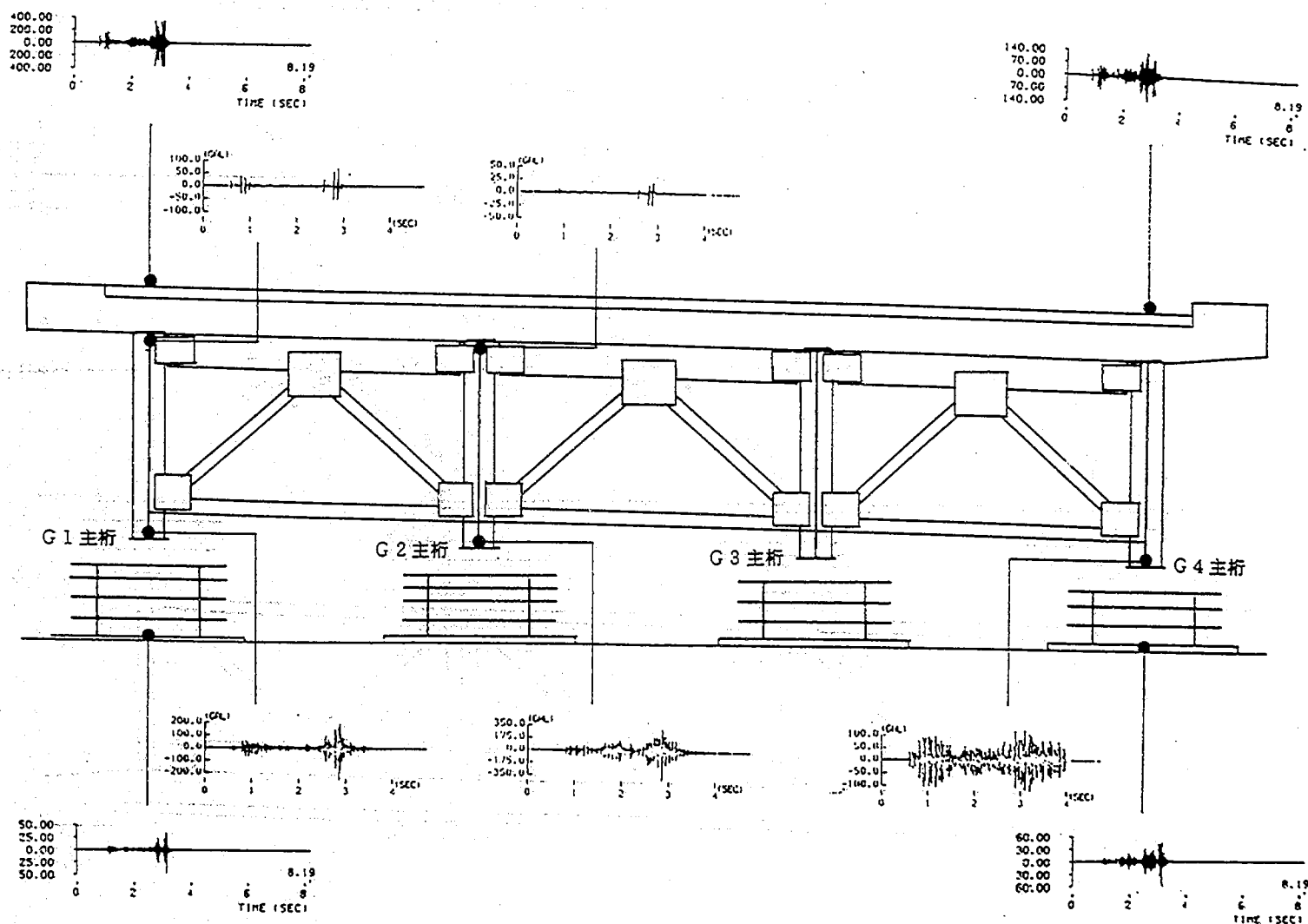


図-3.14 対策前(鋼製支承)での固定支承側の時刻歴波形図 (Z成分, 306023A)

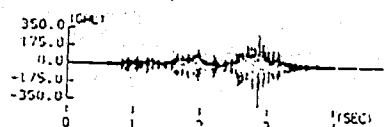
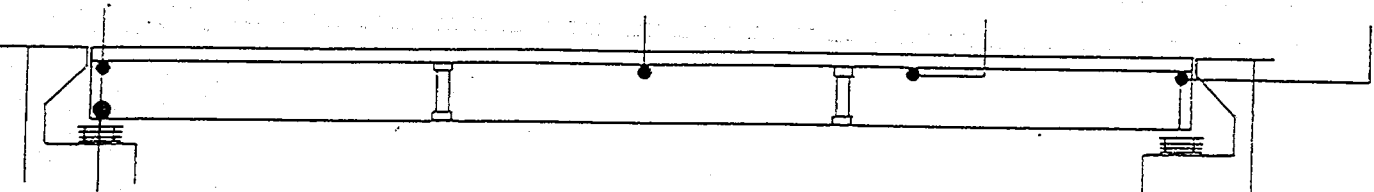
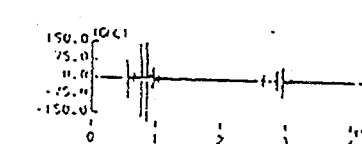
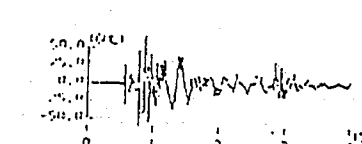
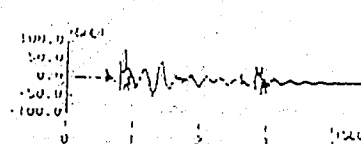
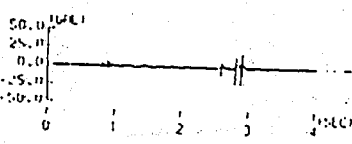
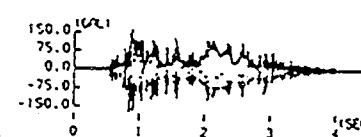
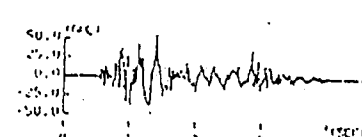
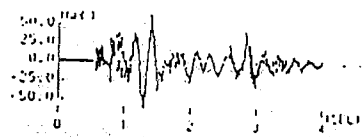
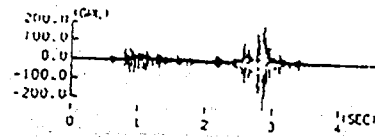
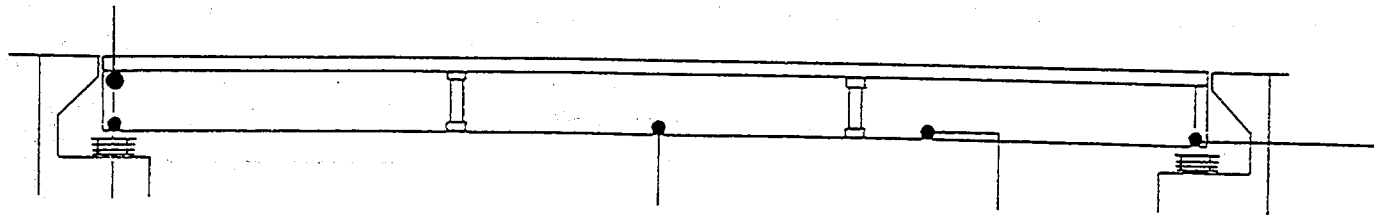
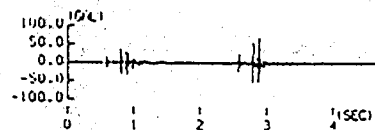
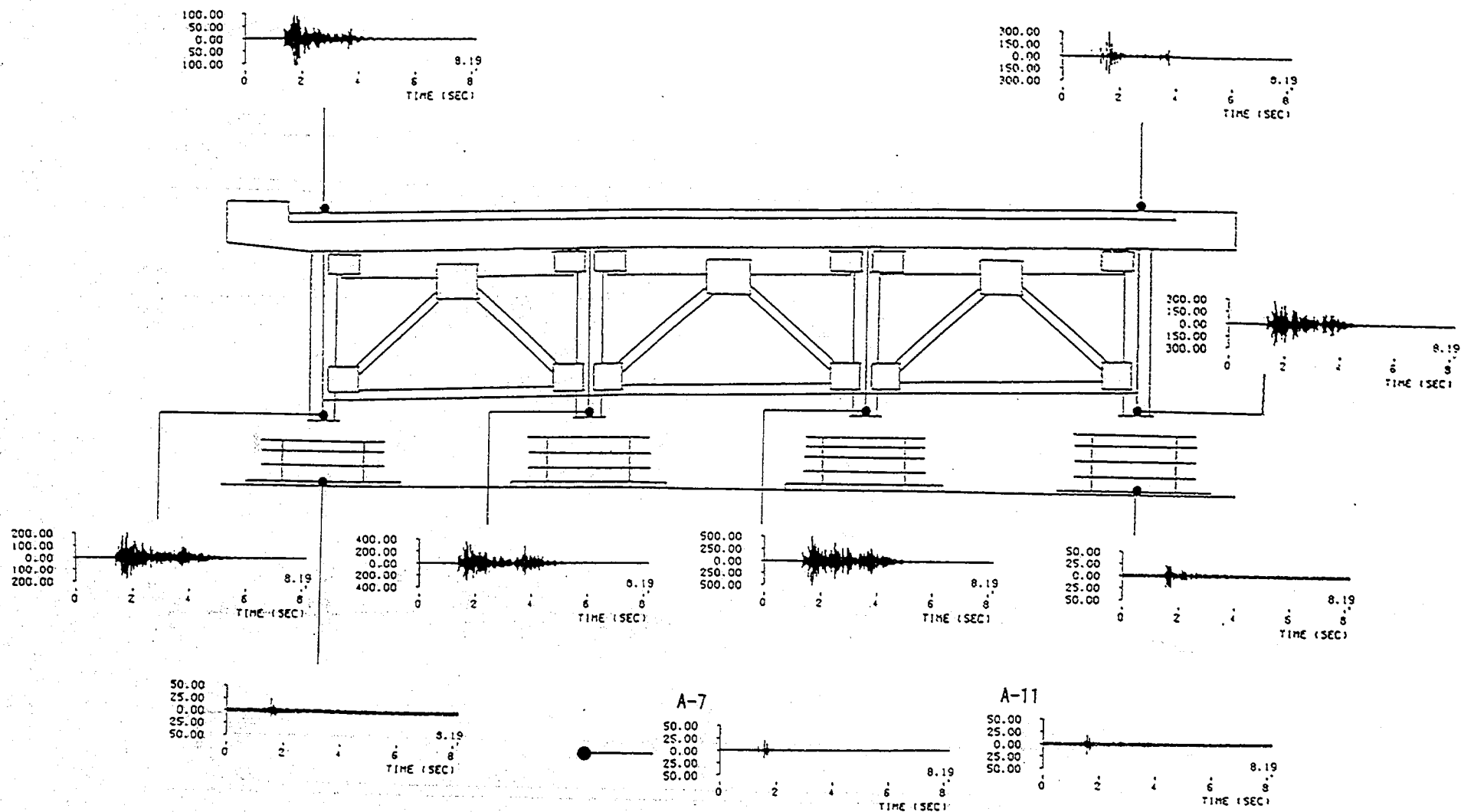


図-3.15 対策前(鋼製支承)でのG1主桁及びG2主桁の時刻歴波形図 (Z成分, 306023A)



注) A-7, 11はG 3桁の可動支承側より支間1/4, 中央点の桁下地表面に設置

図-3.16 対策後(ゴム支承)での可動支承側の時刻歴波形図 (Z成分, 306023B)

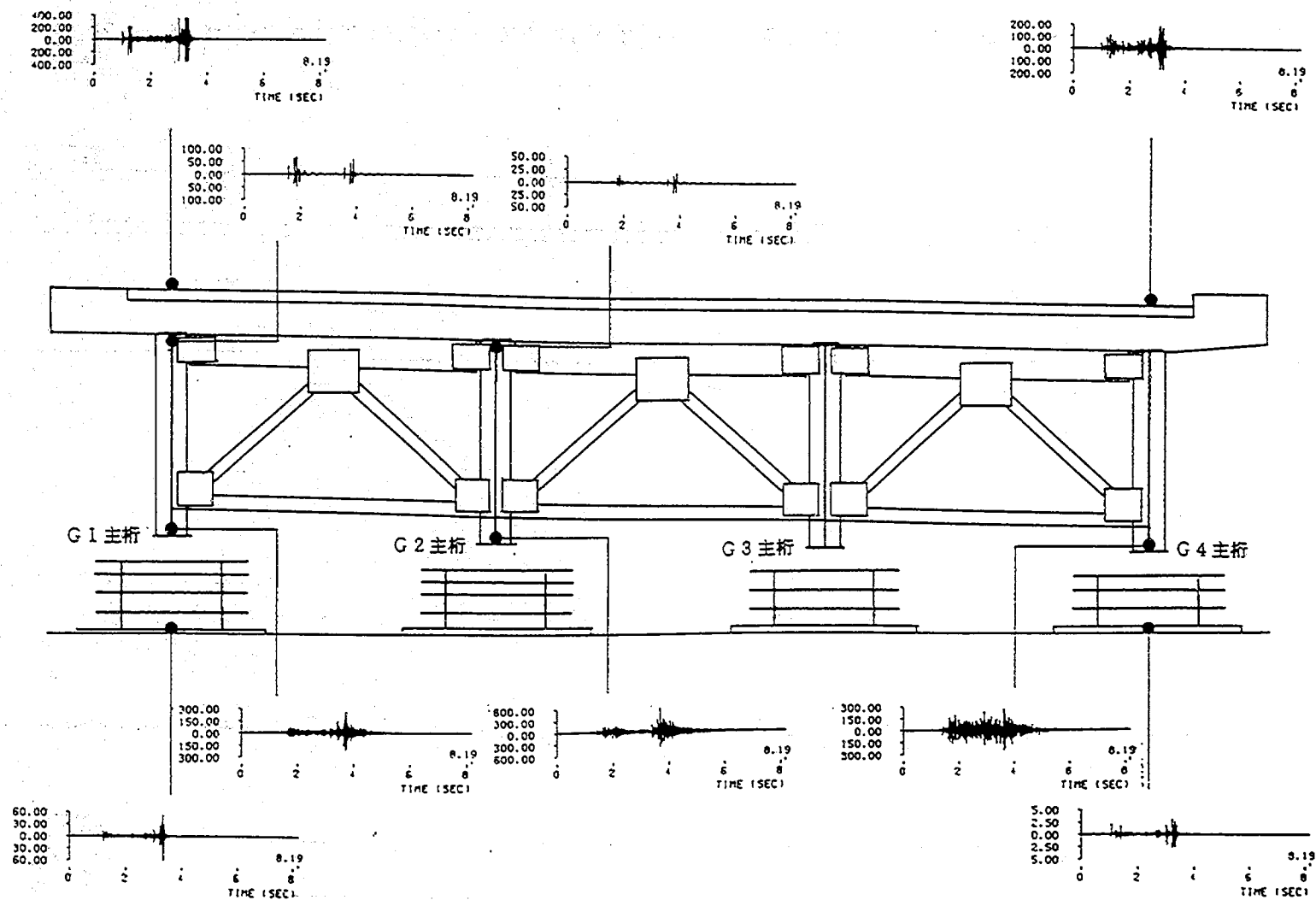


図-3-17 対策後(ゴム支承)での固定支承側の時刻歴波形図 (Z成分, 306023B)

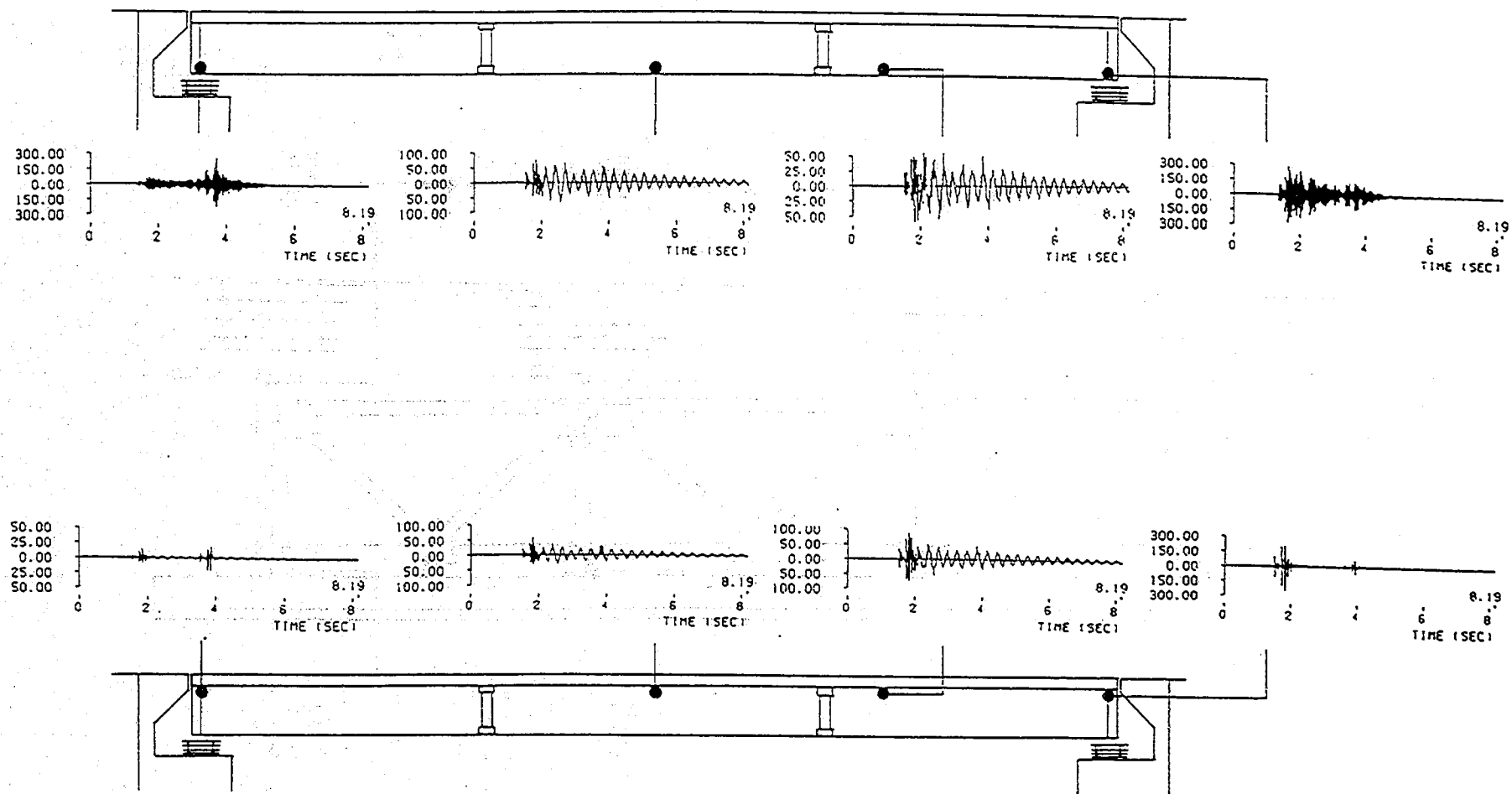
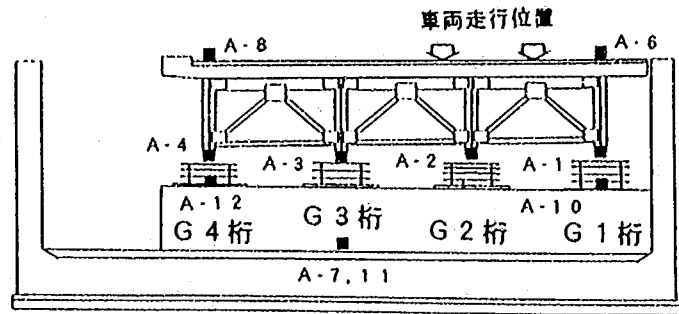


図-3-18 対策後(ゴム支承)でのG1主桁及びG2主桁の時刻歴波形図 (Z成分, 306023B)

3.5.2 最大加速度

ゴム支承による対策の有効性を最大加速度で検討を行った。条件としては、道路交通振動としてとらえた場合に最も厳しい状態と考えられる走行速度60km/h、総重量30tf、段差有り(20mm)と段差無しのケースにおいて行った。図-3・19に示す主な可動支承側計測点で記録された対策前(鋼製支承)に対する対策後(ゴム支承)の最大加速度における低減効果を表-3・7に示す。これらの結果より計測点別に次のようなことが確認できた。



* A-7, 11はG 3桁の可動支承側より支間1/4点・中央点の桁下 地表面に設置

図-3・19 計測位置図

① 支承より上での計測点：路面(A-6, 8)及び主桁下フランジ(A-1, 2, 3, 4)

段差の有無による最大加速度については、鋼製支承、ゴム支承共に、計測位置に関わらず段差無しの場合の加速度が500gal以下であったものが、段差有りでは約700gal~2,500galと大きく増加していることが分かる。対策前後で比較すると、段差有り、段差無し共に車両走行位置から遠い位置(A-4, 8)ではゴム支承の方が加速度が減少する傾向が見られるが、車両走行位置の直下(A-1, 2, 8)では、ゴム支承の方が加速度の値が大きくなっている。

② 支承より下での計測点：台座基部(A-10, 12)及び主桁下の地表面(A-7, 11)

橋梁上部より伝播してきた振動が支承を通過することによる低減効果(G 1主桁:A-1→A-10, G 4主桁:A-4→A-12)については、段差無しの場合、鋼製支承、ゴム支承ともに約1/10程度に低減されている。一方、段差有りの場合は、車両走行側のA-1で2,000gal程度発生していた加速度が、台座基部のA-10では500gal程度まで低減している。

台座基部及び地表面での加速度については、段差無しの場合、ゴム支承の方が鋼製支承より大きくなっているが、加速度の値自体は17gal~26galと非常に小さな値であった。次に、段差有りの場合、車両走行位置より遠いG 4桁支承台座基部では、鋼製支承が264.9galであったのに対し、ゴム支承では323.9galと2割程度増加している。しかしながら、車両走行位置直下のG 1桁支承台座基部及び桁下地表面の2箇所では、ゴム支承の方が鋼製支承に対し2割程度の加速度の低減効果が見られた。

表-3.7 対策前後の最大加速度とその比率

測定位置 (全て鉛直方向を測定)	a:対策前(鋼製支承) (gal)		b:対策後(ゴム支承) (gal)		比 率 b/a	
	段差有り	段差無し	段差有り	段差無し	段差有り	段差無し
A-1 (G1桁下フランジ)	1797.1	187.1	2320.1	306.6	1.3	1.6
A-2 (G2桁 ")	1033.7	395.6	1503.8	451.9	1.5	1.1
A-3 (G3桁 ")	1165.1	140.9	1062.8	348.8	0.9	2.4
A-4 (G4桁 ")	987.2	193.2	788.5	186.4	0.8	1.0
A-6 (G1桁上の路面)	1827.1	211.1	2472.5	287.4	1.4	1.4
A-7 (G3桁の可動支承側より 支間1/4点 桁下地表面)	421.6	17.3	231.1	21.8	0.5	1.2
A-8 (G4桁上の路面)	894.1	334.8	676.8	120.8	0.8	0.4
A-10 (G1桁支承台座基部)	657.8	17.1	515.2	25.8	0.8	1.5
A-11 (G3桁の可動支承側より 支間中央点 桁下地表面)	304.3	5.4	247.7	24.0	0.8	4.4
A-12 (G4桁支承台座基部)	264.9	17.7	323.9	24.8	1.2	1.4

※ 上記の最大加速度は平均値である。

3.6 ゴム支承対策に関するまとめ

今回の実験により明らかとなった事項及びゴム支承による対策の有効性について以下にまとめる。

3.6.1 ゴム支承対策の有効性の検討

- ① ゴム支承対策前後における走行速度60km/hの段差有りでの最大加速度の大きさを図-3・20, 3・21に示す。

ゴム支承に取り替えたことにより、車両走行側では主桁下フランジ及び路面の支承より上での計測点の加速度が増加したが、支承より下の主桁台座基部及び地表面では一部増加する箇所が見られるが、全体的には減少する傾向があり、衝撃的な振動を軽減する対策として効果が期待できると思われる。

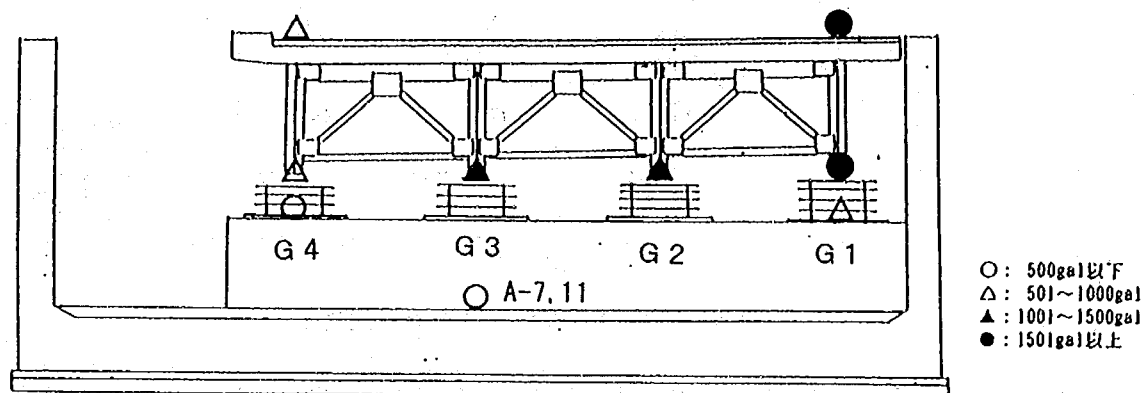


図-3・20 対策前における最大加速度概略図

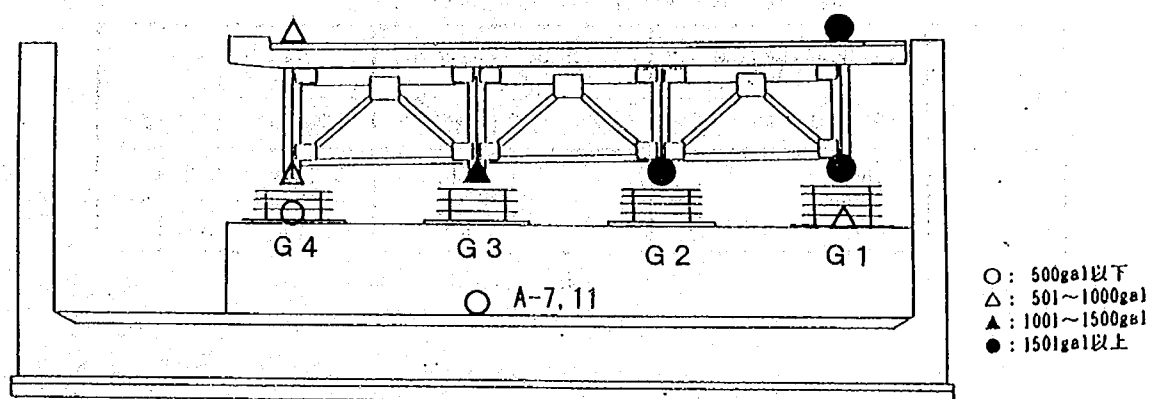


図-3・21 対策後における最大加速度概略図

- ② 最大加速度からみた対策前に対する対策後の低減効果を図-3・22に示す。この図から車両走行位置からの距離と支承を境にして傾向が違ってくる。支承より上では、車両走行位置と反対側に位置しているG3、G4主桁の主桁下フランジと路面では軽減効果が認められたが、車両走行下の位置であるG1、G2では逆に増加していた。支承より下では、主桁台座基部で一部増加する箇所が見られるが、全体的には減少した。

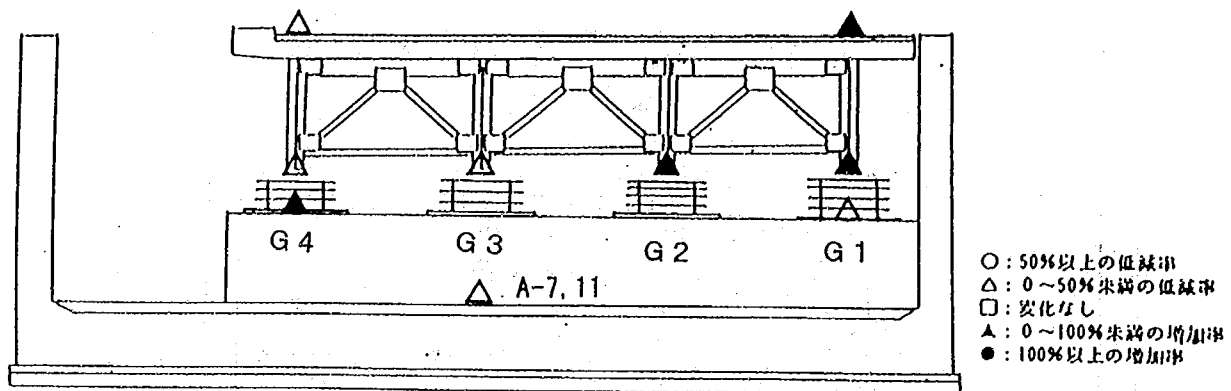


図-3・22 最大加速度からみた対策後の低減効果

- ③ 対策前後におけるG2桁台座基部での鉛直振動レベルを表-3・8に、走行速度60km/h、総重量30tf、段差有り(20mm)の時刻歴図を図-3・23に示す。この表から振動レベルにおいても加速度と同じ傾向を示し、走行速度60km/hの段差有りでは、ゴム支承による軽減効果が著しく大きく7.7dBも低減した。それに対し段差が無い場合では、逆に1.1dBと増加した。

表-3・8 対策前後における振動レベル

走行速度	a:対策前(鋼製支承) (dB)		b:対策後(ゴム支承) (dB)		差(b-a) (dB)	
	段差有り	段差無し	段差有り	段差無し	段差有り	段差無し
30km/h	58.9	46.3	57.7	46.7	-1.2	0.4
60km/h	67.7	51.9	60.0	53.0	-7.7	1.1

※ 上記は平均値である。

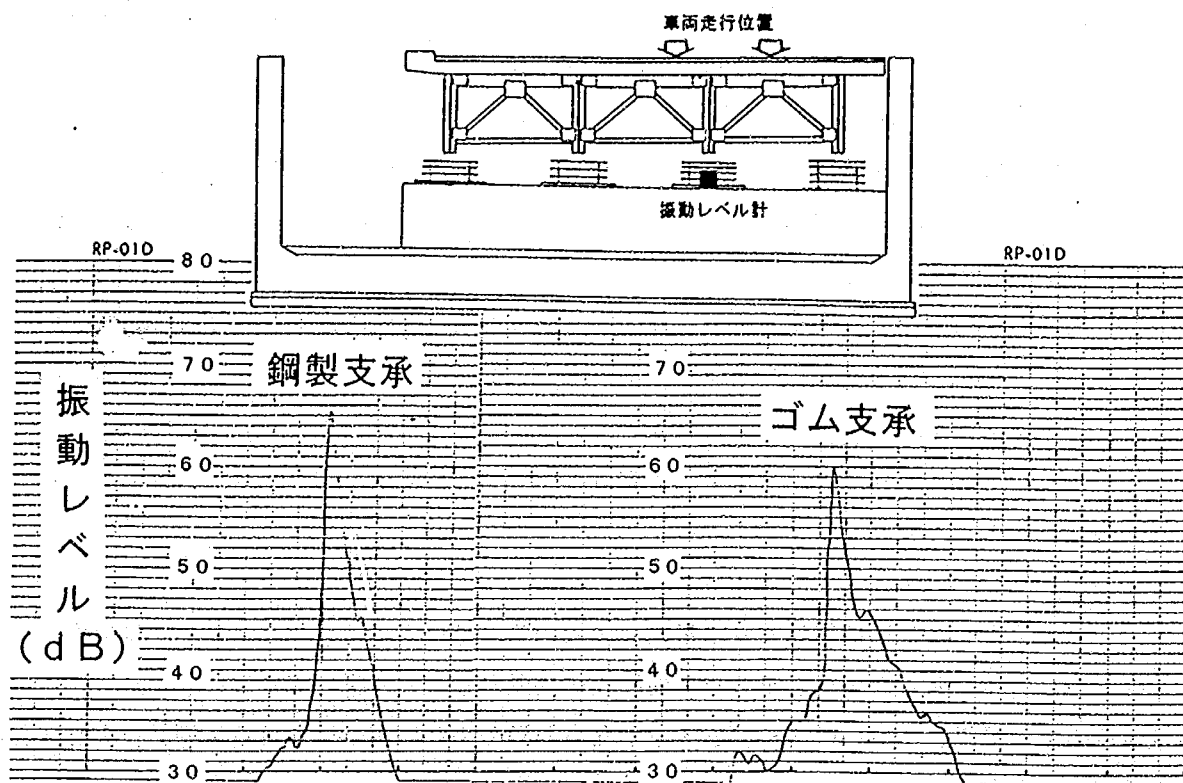


図-3.23 対策前後の振動レベル波形図 (60km/h, 段差有り)

4. まとめ及び今後の課題

今回の実験より桁端部補強対策では、伸縮継手部付近から発生していた衝撃的振動が対策前の主桁下フランジでは0.9~1.8Gと、かなり大きな値を示していたが、対策1では0.4~0.8Gと5、6割低減できた。それに対して対策2では車両走行位置直下での主桁下フランジは、対策1に比べ小さいものの低減したが、反対車線下での主桁下フランジは、反対に増幅してしまった。この様に対策前と比べて増加する箇所が一部見られ、全体的には軽減効果が見られたが対策1ほどではなく、桁端部補強は空隙を設けず桁端部全面をコンクリートで巻き立てる方が良いと思われる。

ゴム支承による軽減対策では、支承より上部にある橋梁本体の振動は、段差の有無に関係なくゴム支承の方が大きくなったが、支承より下の車両走行側橋台や地表面では、段差有りで走行速度60km/hと厳しい条件下ではゴム支承の方が小さくなることが分かった。

この結果より両対策は車両走行によって発生する桁端部の衝撃的な振動を軽減する対策としては、かなりの効果が期待できると考えられる。

なお、今回対象とした試験橋梁はピット形式であり、単一走行下での実験である。そのため、実際の高架橋での官民境界で計測した場合、そのまま同程度の効果があるとは現時点では明言できない。このため今後は通量の多い橋梁、あるいはノージョイント化され段差のない橋梁における実測データを踏まえた検討が必要であると考えられる。

付属資料

(桁端部補強対策編)

付表-1.1 全計測点における最大加速度計測結果一覧表

単位: gal

測点名	総重量 (tf)	速 度 (km/h)	対 策 前		対 策 1		対 策 2	
			段 差 (mm)		段 差 (mm)		段 差 (mm)	
			0	20	0	20	0	20
A-1	10	30	45.7	360.9	34.1	213.0	29.8	522.8
		60	103.0	1178.6	59.0	494.3	85.9	1065.6
	30	30	63.4	1211.8	41.5	655.5	48.7	581.8
		60	137.1	1755.0	110.6	798.7	173.6	1639.9
A-2	10	30	67.0	478.1	26.9	182.2	40.6	559.1
		60	176.1	1285.0	87.3	344.2	173.8	1068.9
	30	30	77.5	1310.6	37.6	400.7	64.4	625.3
		60	202.3	1564.0	85.8	550.1	198.2	1484.5
A-3	10	30	15.9	288.3	29.0	214.7	21.6	356.7
		60	33.8	842.5	41.1	396.6	56.4	904.4
	30	30	20.1	658.0	28.7	305.8	27.2	458.9
		60	85.7	960.3	57.5	660.3	86.4	1142.6
A-4	10	30	22.1	305.7	27.1	117.4	16.2	392.2
		60	37.2	521.5	26.3	239.4	62.8	821.6
	30	30	29.9	471.4	21.9	229.6	40.5	599.1
		60	52.7	904.2	38.3	355.6	138.4	1213.7
A-5	10	30	25.4	85.5	22.3	104.3	20.4	136.4
		60	73.0	143.2	44.9	193.6	38.1	108.0
	30	30	31.1	202.9	29.0	144.5	22.5	86.0
		60	56.2	413.0	90.4	203.0	61.2	211.5
A-6	10	30	42.8	599.4	28.9	326.6	22.6	336.6
		60	144.1	774.5	97.5	1030.1	92.5	619.1
	30	30	62.1	1517.6	37.3	487.2	36.2	371.1
		60	210.5	1529.6	114.1	562.5	114.7	1350.1
A-7	10	30	26.1	49.2	16.3	87.2	14.7	28.3
		60	28.1	78.5	38.3	105.9	34.5	141.6
	30	30	27.2	36.9	17.7	86.6	13.5	27.1
		60	34.0	38.7	48.2	102.5	25.4	35.8
A-8	10	30	17.3	249.1	12.0	362.7	14.9	627.4
		60	108.7	424.3	73.1	605.5	57.6	559.4
	30	30	19.3	236.1	27.1	239.4	22.7	515.8
		60	74.1	422.0	130.6	1019.5	99.6	971.3
A-9	10	30	9.0	45.9	5.6	86.7	4.0	8.8
		60	20.2	119.7	13.4	102.8	4.4	16.0
	30	30	11.7	100.0	10.1	75.3	4.2	19.1
		60	23.6	147.0	28.8	149.6	19.4	22.1
A-10	10	30	10.7	137.3	12.1	273.3	7.3	205.9
		60	17.1	235.1	33.3	419.2	19.0	349.1
	30	30	11.6	332.5	9.7	434.0	10.1	243.5
		60	31.4	473.9	36.6	456.4	30.5	663.7
A-11	10	30	16.9	73.4	10.0	91.3	7.9	36.6
		60	30.1	139.4	28.2	141.7	30.3	66.7
	30	30	13.6	98.9	14.8	94.6	10.2	44.9
		60	39.7	156.4	46.4	123.0	37.6	102.2
A-12	10	30	13.4	176.3	5.6	189.4	4.9	141.1
		60	14.5	592.9	12.8	299.5	17.5	270.1
	30	30	10.0	396.3	10.2	334.4	8.4	207.1
		60	37.7	444.8	32.0	314.8	42.1	356.6

単位: gal

測点名	総重量 (t)	速 度 (km/h)	対 策 前		対 策 1		対 策 2	
			段 差 (mm)		段 差 (mm)		段 差 (mm)	
			0	20	0	20	0	20
A-13	10	30	37.5	90.2	31.5	89.7	8.5	49.0
		60	104.3	155.7	54.2	176.2	23.2	244.3
	30	30	31.7	226.1	24.0	164.6	15.1	99.3
		60	122.7	258.4	74.0	194.5	50.1	243.3
A-14	10	30	46.8	97.2	28.9	158.9	22.1	101.6
		60	141.5	215.6	89.6	339.2	91.6	290.0
	30	30	61.8	285.7	43.6	370.7	40.0	172.4
		60	149.1	366.5	134.9	394.0	226.2	358.8
A-15	10	30	21.6	121.5	24.5	122.9	11.0	82.9
		60	65.2	226.5	42.5	230.7	28.3	187.6
	30	30	24.8	239.4	31.0	190.5	15.7	105.4
		60	64.5	317.1	56.1	317.8	60.4	288.1
A-16	10	30	17.2	61.9	17.2	90.2	17.9	86.0
		60	48.9	125.2	37.5	198.0	53.9	132.7
	30	30	27.6	129.4	16.9	226.2	21.2	118.9
		60	70.3	133.4	46.4	240.9	58.0	163.8
A-17	10	30	87.5	125.9	35.6	62.2	28.9	103.1
		60	220.0	245.5	111.7	86.5	98.8	424.0
	30	30	70.7	185.1	30.4	312.4	47.1	240.1
		60	218.0	246.3	126.2	373.9	154.8	603.4
A-18	10	30	14.2	108.1	15.9	89.7	7.3	36.1
		60	40.7	173.0	51.1	328.4	36.0	377.3
	30	30	35.4	88.4	19.0	181.8	19.4	169.3
		60	227.1	172.8	72.3	177.8	69.7	480.5
A-19	10	30	6.9	11.6	5.9	23.9	6.3	18.0
		60	19.2	30.1	21.4	25.9	16.7	27.2
	30	30	8.1	26.2	6.4	25.0	5.5	18.4
		60	21.7	42.1	26.3	30.2	16.7	40.4
A-20	10	30	8.4	14.6	6.9	20.8	4.5	5.1
		60	13.9	32.9	15.3	49.6	9.4	8.1
	30	30	8.9	28.5	10.1	47.5	4.1	4.2
		60	16.8	35.5	23.9	105.7	9.4	14.4
A-21	10	30	8.2	19.5	7.8	27.0	3.9	23.4
		60	8.9	26.6	20.0	75.6	10.7	36.2
	30	30	8.2	30.0	9.7	72.5	4.6	15.4
		60	13.1	44.5	24.5	100.4	13.1	55.5

単位: gal

測点名	総重量 (t)	速 度 (km/h)	対 策 前		対 策 1		対 策 2	
			段 差 (mm)		段 差 (mm)		段 差 (mm)	
			0	20	0	20	0	20
B-1	10	30	27.5	34.5	18.0	25.6	26.0	47.7
		60	66.3	110.0	48.5	79.7	96.5	150.4
	30	30	36.9	126.9	24.0	86.4	33.0	53.3
		60	83.7	225.5	48.8	164.5	93.5	169.2
B-2	10	30	52.3	49.0	16.2	23.3	28.1	33.9
		60	134.1	154.0	42.5	62.4	86.5	158.8
	30	30	69.0	119.2	24.8	30.6	37.4	64.0
		60	167.9	156.3	46.0	71.9	85.9	199.1
B-3	10	30	8.6	23.0	9.9	13.8	13.2	34.8
		60	20.6	48.2	25.6	35.9	40.9	96.2
	30	30	10.2	33.4	13.0	16.0	15.3	42.4
		60	23.5	65.8	28.6	31.8	40.2	106.2
B-4	10	30	6.1	11.6	6.1	13.3	2.7	11.0
		60	23.1	22.8	10.4	28.5	7.8	37.2
	30	30	8.2	17.2	5.5	18.0	2.4	18.0
		60	23.2	20.1	13.2	30.3	7.3	37.4
B-5	10	30	25.2	92.0	6.6	13.7	6.1	13.8
		60	71.8	181.0	7.9	18.0	8.5	30.0
	30	30	43.6	260.5	7.7	17.3	4.1	17.9
		60	107.7	305.1	9.0	21.2	11.2	86.7
B-6	10	30	25.8	58.9	20.3	31.8	23.1	43.2
		60	69.4	148.9	61.3	99.7	84.6	136.8
	30	30	31.1	169.5	29.9	55.1	32.8	66.6
		60	74.7	179.7	64.6	75.6	92.3	323.2
B-7	10	30	34.6	39.1	34.0	34.0	28.8	71.9
		60	72.8	202.3	64.3	135.5	155.2	543.3
	30	30	63.9	52.9	36.5	36.4	36.1	38.3
		60	109.6	123.6	76.4	88.8	97.7	119.2
B-8	10	30	—	—	27.2	30.5	3.2	7.2
		60	—	—	83.7	119.8	12.3	27.3
	30	30	—	—	28.4	32.1	4.1	13.6
		60	—	—	81.6	107.7	10.3	47.2
B-9	10	30	30.7	31.5	35.3	27.8	33.3	33.9
		60	46.7	114.8	68.1	85.7	84.7	122.6
	30	30	37.9	28.2	26.8	28.5	25.5	23.0
		60	61.1	71.9	62.4	75.9	57.2	81.6
B-10	10	30	23.7	24.7	11.7	9.8	12.2	21.6
		60	68.0	69.9	27.6	32.2	49.9	57.0
	30	30	17.3	19.2	9.3	10.3	13.7	13.3
		60	67.1	63.8	30.5	31.3	56.0	51.0
B-11	10	30	40.5	41.4	11.0	11.0	16.3	15.3
		60	113.8	122.4	32.5	35.7	66.8	59.6
	30	30	42.9	41.7	10.9	14.1	21.2	19.5
		60	138.2	139.9	34.5	36.9	70.6	71.5
B-12	10	30	85.8	147.1	22.9	31.0	23.7	29.1
		60	254.2	430.7	67.9	84.2	87.3	92.6
	30	30	104.5	467.3	31.6	54.7	45.2	34.9
		60	311.1	466.6	67.4	97.6	102.1	180.6

単位: gal

測点名	総重量 (tf)	速 度 (km/h)	対 策 前		対 策 1		対 策 2	
			段 差 (mm)		段 差 (mm)		段 差 (mm)	
			0	20	0	20	0	20
B-13	10	30	14.4	126.8	28.4	39.8	6.0	9.1
		60	36.4	192.5	81.8	103.9	7.9	19.3
	30	30	18.7	312.9	37.0	42.2	3.7	8.2
		60	48.2	378.6	80.7	83.1	9.7	25.2
B-14	10	30	14.2	169.2	5.1	10.2	6.2	17.5
		60	32.6	347.2	7.4	22.1	9.8	29.5
	30	30	21.6	394.9	4.6	19.8	4.2	20.2
		60	51.8	478.0	8.2	22.5	11.9	94.6
B-15	10	30	31.4	230.2	25.5	35.0	27.9	54.3
		60	108.3	811.9	74.5	108.0	108.3	108.3
	30	30	48.0	534.4	35.0	60.3	40.1	76.2
		60	136.7	741.7	74.4	90.0	112.9	401.2
B-16	10	30	12.9	65.0	7.3	27.0	10.2	68.7
		60	23.5	147.6	14.8	75.9	26.2	109.7
	30	30	12.3	188.7	8.7	65.5	9.2	87.9
		60	32.1	215.6	18.8	88.3	38.0	161.3
B-17	10	30	51.0	49.7	16.6	13.4	25.6	24.7
		60	143.2	162.0	42.2	62.6	79.7	81.6
	30	30	61.3	64.0	22.2	14.6	35.2	40.8
		60	167.2	132.2	48.6	42.6	91.1	124.5
B-18	10	30	34.1	76.8	30.1	47.9	31.1	104.1
		60	94.5	159.6	84.9	148.1	115.1	212.9
	30	30	45.0	91.4	34.5	66.0	28.4	50.4
		60	93.7	131.3	110.2	128.5	96.8	126.9
B-19	10	30	31.4	54.9	28.9	42.2	33.6	61.9
		60	82.9	133.9	80.2	137.8	127.0	212.2
	30	30	38.9	75.7	28.1	61.1	27.9	58.1
		60	104.5	111.1	76.9	95.2	69.5	158.0

注) 上表は3回走行における各々の加速度最大値を加え、回数で除した値

付属資料

(ゴム支承対策編)

付表-2.1 全計測点における最大加速度とその比率

測定名	速 度 (km/h)	(単位:gal)					
		a:対策前(鋼製支承)		b:対策後(ゴム支承)		比率(b/a)	
		段 差 (mm)		段 差 (mm)		段 差 (mm)	
		0	2.0	0	2.0	0	2.0
A-1	3.0	60.8	1351.4	108.7	2175.7	1.8	1.6
	6.0	187.1	1797.1	306.6	2320.1	1.6	1.3
A-2	3.0	79.6	761.2	133.8	1498.4	1.7	2.0
	6.0	395.6	1033.4	451.9	1503.8	1.1	1.5
A-3	3.0	39.2	1229.9	108.3	998.1	2.8	0.8
	6.0	140.9	1165.1	348.8	1062.8	2.5	0.9
A-4	3.0	38.1	714.8	63.5	801.2	1.7	1.1
	6.0	193.2	987.2	186.4	788.5	1.0	0.8
A-5	3.0	14.9	152.8	62.9	239.9	4.2	1.6
	6.0	33.2	293	215.7	264.3	6.5	0.9
A-6	3.0	61.6	1732.5	63.6	2568	1.0	1.5
	6.0	211.1	1827.1	287.4	2472.5	1.4	1.4
A-7	3.0	4.7	130	7.7	150.9	1.6	1.2
	6.0	17.3	421.6	21.8	231.1	1.3	0.5
A-8	3.0	46.9	228.4	36.8	370.4	0.8	1.6
	6.0	334.8	894.1	120.8	676.8	0.4	0.8
A-9	3.0	3	35.4	22.1	235.7	7.4	6.7
	6.0	9.9	87.9	54.6	401.4	5.5	4.6
A-10	3.0	5.9	519.4	8	380.5	1.4	0.7
	6.0	17.1	657.8	25.8	515.2	1.5	0.8
A-11	3.0	3.3	82.5	7.9	182.3	2.4	2.2
	6.0	5.4	304.3	24	247.7	4.4	0.8
A-12	3.0	5.4	113	7.7	221.1	1.4	2.0
	6.0	17.7	264.9	24.8	323.9	1.4	1.2
A-13	3.0	40.9	172.8	50.6	342.7	1.2	2.0
	6.0	243.7	779.6	234.8	602	1.0	0.8
A-14	3.0	67.6	216.4	162.5	821	2.4	3.8
	6.0	344.6	650.9	522.1	1158.1	1.5	1.8
A-15	3.0	54.7	144	69.8	586	1.3	4.1
	6.0	124	299.5	244.7	926.6	2.0	3.1
A-16	3.0	41.9	239.3	34.7	260.1	0.8	1.1
	6.0	105.8	283.5	109.8	650.4	1.0	2.3
A-17	3.0	204.4	117.8	116.2	366.9	0.6	3.1
	6.0	375.5	1188.2	367.1	367	1.0	0.3
A-18	3.0	43.6	168.8	52.2	253.8	1.2	1.5
	6.0	126.6	894.6	155.1	514.5	1.2	0.6
A-19	3.0	12.5	31	15.2	40.5	1.2	1.3
	6.0	47.1	82.6	52.9	55.9	1.1	0.7
A-20	3.0	13.2	44.9	12.5	76	0.9	1.7
	6.0	46.5	99.9	53.3	85.6	1.1	0.9
A-21	3.0	12.9	34.3	1.2	112.9	0.1	3.3
	6.0	55.4	104.3	8.2	188.1	0.1	1.8

(単位:gal)							
測定名	速 度 (km/h)	a:対策前(鋼製支承)		b:対策後(ゴム支承)		比率 (b/a)	
		段 差 (mm)		段 差 (mm)		段 差 (mm)	
		0	2.0	0	2.0	0	2.0
B-1	3.0	27	117	34.3	94.8	1.3	0.8
	6.0	95.2	235	160.9	153.9	1.7	0.7
B-2	3.0	55.1	105.4	71.3	2.5	1.3	0.0
	6.0	183.5	166.3	260.1	201.2	1.4	1.2
B-3	3.0	13.7	32.7	36.8	53.2	2.7	1.6
	6.0	51.7	70.8	88.9	98.5	1.7	1.4
B-4	3.0	7.2	16.5	23	42.3	3.2	2.6
	6.0	19.9	26.7	59.9	53.1	3.0	2.0
B-5	3.0	118.5	318	148.4	272	1.3	0.9
	6.0	356.7	733.7	504.4	671.3	1.4	0.9
B-6	3.0	19.3	73.6	37.4	85.4	1.9	1.2
	6.0	71.9	133.7	142.5	138.3	2.0	1.0
B-7	3.0	30	58	37.8	69.9	1.3	1.2
	6.0	67.3	72.2	83.8	88.4	1.2	1.2
B-8	3.0	25.4	40.9	17.1	27.6	0.7	0.7
	6.0	85.4	93.7	59	46.9	0.7	0.5
B-9	3.0	20.2	22	31.8	36.6	1.6	1.7
	6.0	40.8	32.6	70.8	60.1	1.7	1.8
B-10	3.0	21.4	25.5	18.2	30.1	0.9	1.2
	6.0	76.8	71.7	72	59.9	0.9	0.8
B-11	3.0	10	9.9	17	18.3	1.7	1.8
	6.0	24.2	24	29.2	32.2	1.2	1.3
B-12	3.0	75.5	97.9	75.4	95.1	1.0	1.0
	6.0	237.9	204.7	263.9	195.4	1.1	1.0
B-13	3.0	8.3	38.6	22.4	45.1	2.7	1.2
	6.0	40.5	72.4	31.9	49	0.8	0.7
B-14	3.0	11.6	38.1	20.8	27.7	1.8	0.7
	6.0	34	62.8	42	42	1.2	0.7
B-15	3.0	20.3	83.7	51.9	115.6	2.6	1.4
	6.0	91.5	175.3	170.6	175.3	1.9	1.0
B-16	3.0	44.3	136.6	61	141.9	1.4	1.0
	6.0	273.3	270	178.4	165.1	0.7	0.6
B-17	3.0	49.5	54.9	66.9	59.7	1.4	1.1
	6.0	173	133.2	214.2	165.3	1.2	1.2
B-18	3.0	23.3	82.1	31.4	55.8	1.3	0.7
	6.0	54.7	68.5	61.6	87.9	1.1	1.3
B-19	3.0	22.4	86.6	28.4	49.3	1.3	0.6
	6.0	68.7	69.9	87	87.5	1.3	1.3

ゴム支承対策のスペクトル解析

ゴム支承対策の対策前後の振動波形の周波数特性を調べるためにパワースペクトル解析による周波数解析を行った。以下に示すように、今回の解析では、ノイズと思われる成分を含んでいるなど、更に検討を要する点が少ない。このため、以下の解析結果の扱いについては注意が必要である。

スペクトル解析の計算条件は次のとおりである。

	サーボ型加速度計 (A -)	ひずみ型加速度計 (B -)
時間間隔 (Δt)	: 0.001秒	0.002秒
対象データ数 (N)	: 16,384個	8,192個
解析対象時間 ($T = N \times \Delta t$)	: 16.384秒	16.384秒

解析対象とした実験ケースは、道路交通振動としてとらえた場合に最も厳しい状態と考えられる走行速度60km/h、総重量30tf、段差有り(20mm)と段差無しのケースとし、可動支承側の主な計測点で行った。主な計測点で行の加速度のパワースペクトル密度関数の図を付図-2.1~2.4に、そしてこれより計算された加速度のパワースペクトル面積(パワースペクトル密度関数とその横軸(100Hzまでの振動数)で囲まれた面積)を付表-2.2に示す。また、その時の試験車のバネ上及びバネ下の計測点でのパワースペクトル密度関数の図を付図-2.5, 2.6に示す。

固定支承側及びG1, G2主桁橋軸方向上のパワースペクトル密度関数の図については付図-2.8~2.15に、全ての計測点におけるパワースペクトル面積を付表-2.3にそれぞれ示す。

(1) 卓越振動数

まず、パワースペクトル密度関数の図より計測点別に次のようなことが分かる。

① 支承より上での計測点：路面 (A-6, 8) 及び主桁下フランジ (A-1, 2, 3, 4)

路面

・ 段差有り(付図-2.1, 2.2参照)

計測位置毎の周波数成分を見てみると車両直下であるA-6の卓越した振動数は、対策前で電源ノイズと思われる50Hzが他の振動に比べ非常に大きな値を示した。対策後では50Hzの振動があるものの対策前に比べ1/4以下に減少し、それに加え23Hz付近の振動が50Hzと同程度の値を示した。また、反対車線のA-8でも対策前では50Hzの振動が卓越しているが、A-6ほどではなく10Hz、25Hz、60Hz、70Hzと広く分布していた。対策後では、3~4Hzの振動が発生し、全体的に多少対策前に比べ増加したもののP.S.D.F.自体は小さく、みな同程度の大きさであった。

・ 段差無し(付図-2.3, 2.4参照)

対策による周波数特性に変化はなかった。計測位置毎の周波数成分を見てみると車両直下であるA-6計測点では25Hz、35Hz、45Hz、57Hz付近に卓越した振動があり、それに加え電源ノイズと思われる50Hzの振動が対策前では他の振動成分に比べ著しく卓越していた。対策後では逆に他の成分のP.S.D.F.が増し、50Hzの振動が他の成分と同レベルまで減少した。A-8では、35~40Hz、46~50Hzの2つの卓越した領域があり、段差有りと同様にゴム支承に取り替えることにより2つの領域に加え3~4Hzの振動が発生した。

主桁下フランジ

・ 段差有り(付図-2・1, 2・2参照)

対策前後を比較すると振動数領域が以下のように変化した。P. S. D. F. は、A-2は減少したがA-3, 4では、50Hzの値自体は変化が無いものの他の卓越した振動数は逆に増加した。

	対策前		対策後
A-1	25Hz、50Hz、71Hz、89Hz	→	25Hz、50Hz、65Hz
A-2	93Hz	→	75～85Hz
A-3	50Hz、71～72Hz、90～100Hz	→	65～75Hz、95Hz
A-4	50Hz	→	65Hz

・ 段差無し(付図-2・3, 2・4参照)

対策前後に関わらず支承上での計測点では、ほぼ周波数特性の傾向に違いはなかった。周波数成分としては、外側主桁下フランジであるA-1, 4では50Hz以下に集中し、25Hz、37～38Hz、47～48Hzに卓越した振動数があった。内側主桁下フランジであるA-2, A-3では50Hz以上に集中し、70～75Hz、90～100Hzに卓越した振動数があった。また、P. S. D. F. は測定位置に関係なくゴム支承に取り替えることにより増加していることが分かる。

② 支承より下での計測点：台座基部 (A-10, 12) 及び主桁下の地表面 (A-7, 11)

台座基部

・ 段差有り(付図-2・1, 2・2参照)

段差有りでは計測位置による傾向の違いは見られなかったが、周波数成分が対策前では50Hzの他に40Hz、60Hz、80Hzと20Hz間隔での3つの山であったものが対策後では13Hz、42Hz、72Hz、100Hzと鋭利に卓越した振動成分に変わり対策前後で傾向が違ってくる。ことが分かる。

・ 段差無し(付図-2・3, 2・4参照)

台座基部では計測位置による傾向の違いは見られなかった。周波数成分としては、対策前では50Hz以下に振動が集中していたが対策後になると3～4Hz、30～40Hz、90～95Hzと広く分布した。

主桁下の地表面

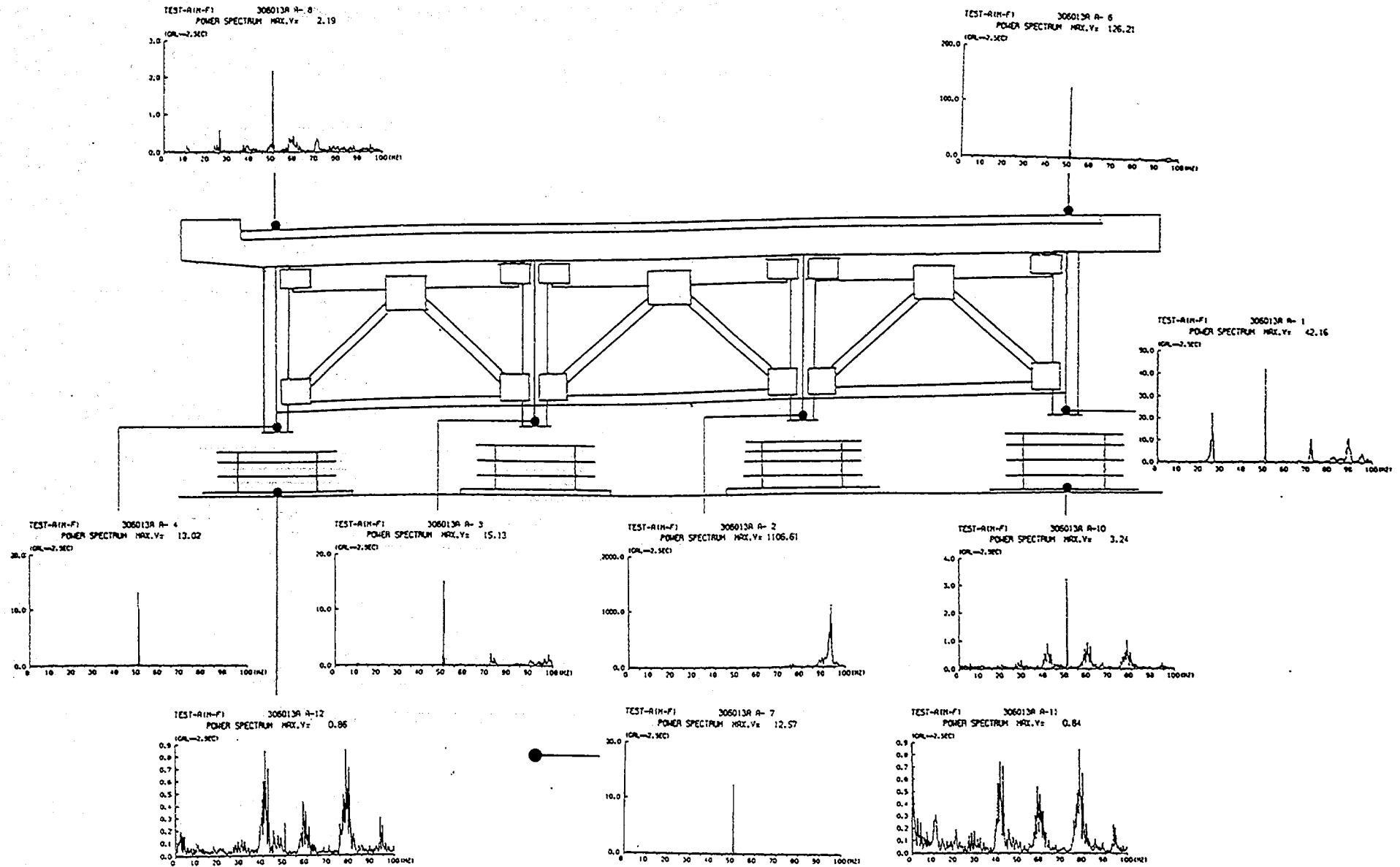
・ 段差有り(付図-2・1, 2・2参照)

主桁下の地表面のA-7は、対策前の卓越した振動数は電源ノイズと思われる50Hzのみであり、対策後では、50Hzの振動はなくなり14Hzに卓越した振動が発生したもののP. S. D. F. 自体は極めて小さかった。

A-11は対策前後関係なく台座基部と同じ振動傾向を示した。

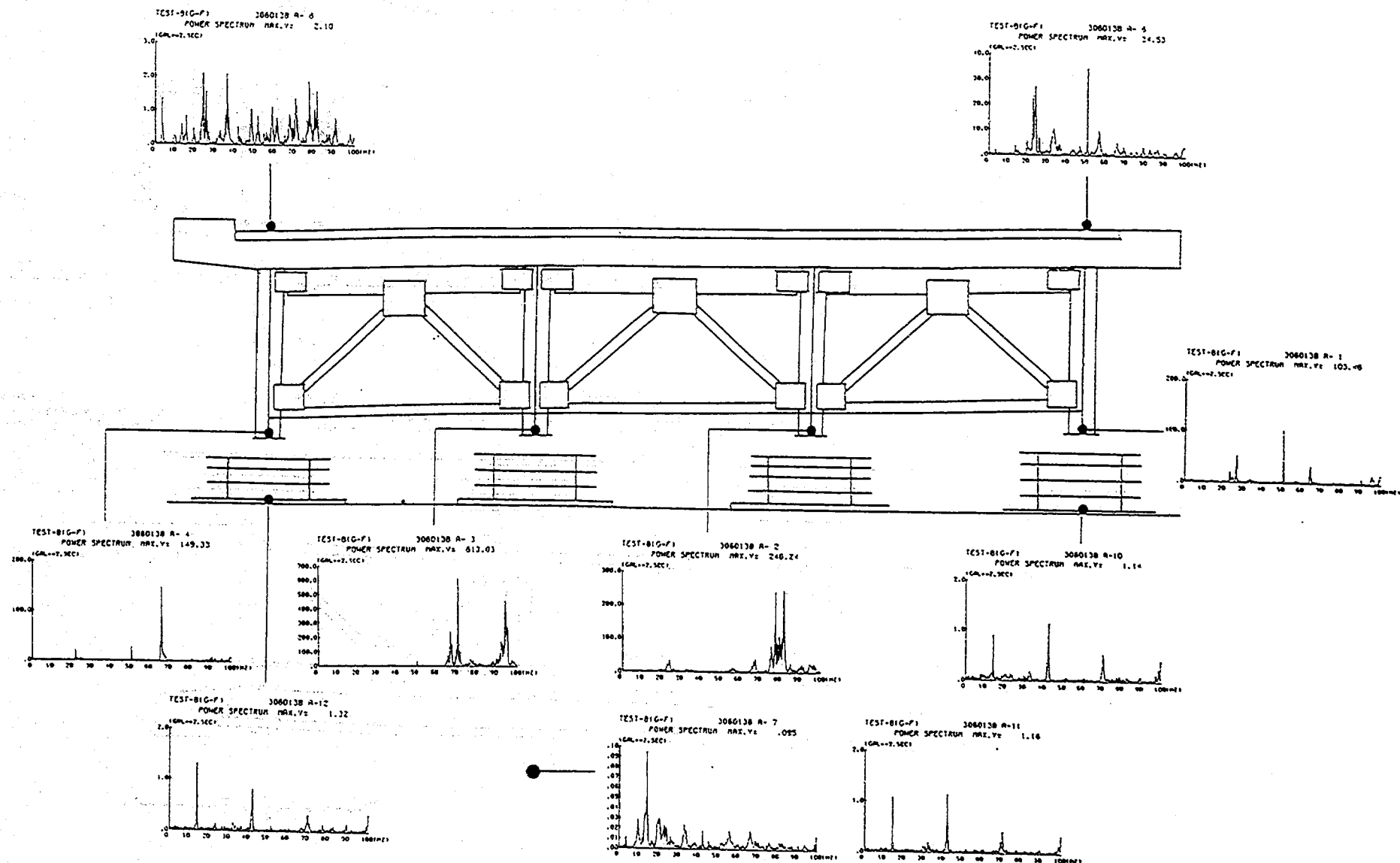
・ 段差無し(付図-2・3, 2・4参照)

A-7の周波数成分は対策前では25Hz、35Hz、45Hzと50Hz以下に固まっていた。対策後では50Hzのひげのような卓越した振動がなくなりP. S. D. F. 自体は小さいものの3～4Hzに卓越した振動が現れた。A-11は対策前後関係なく台座基部と同じ振動傾向を示し、対策前では50Hz以下に振動が集中していたが対策後になると3～4Hz、30～40Hz、90～95Hzと広く分布した。



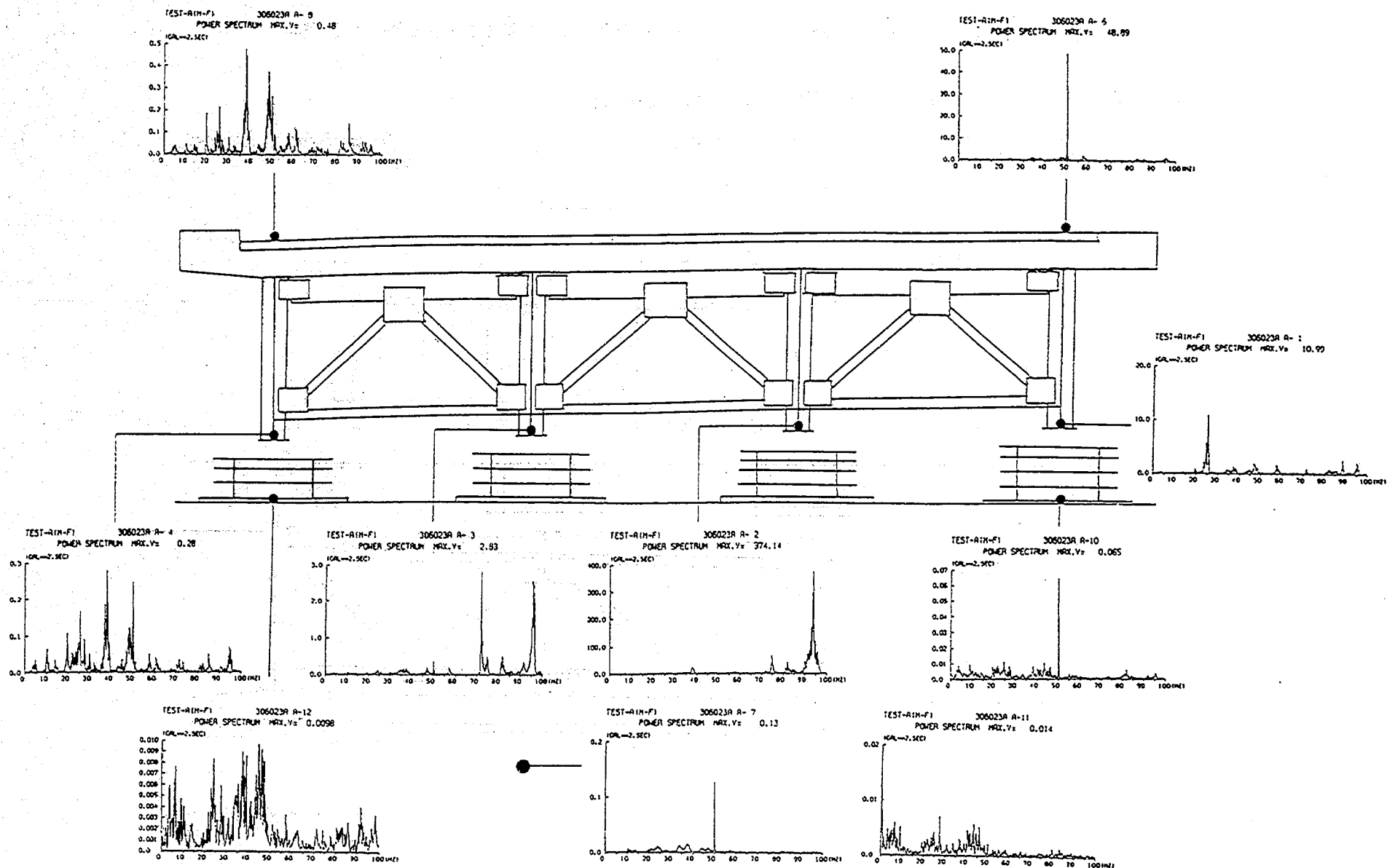
注) A-7, 11はG 3桁の可動支承側より支間1/4, 中央点の桁下地表面に設置

付図-2-1 対策前(鋼製支承)での可動支承側のパワースペクトル図 (Z成分, 306013A)



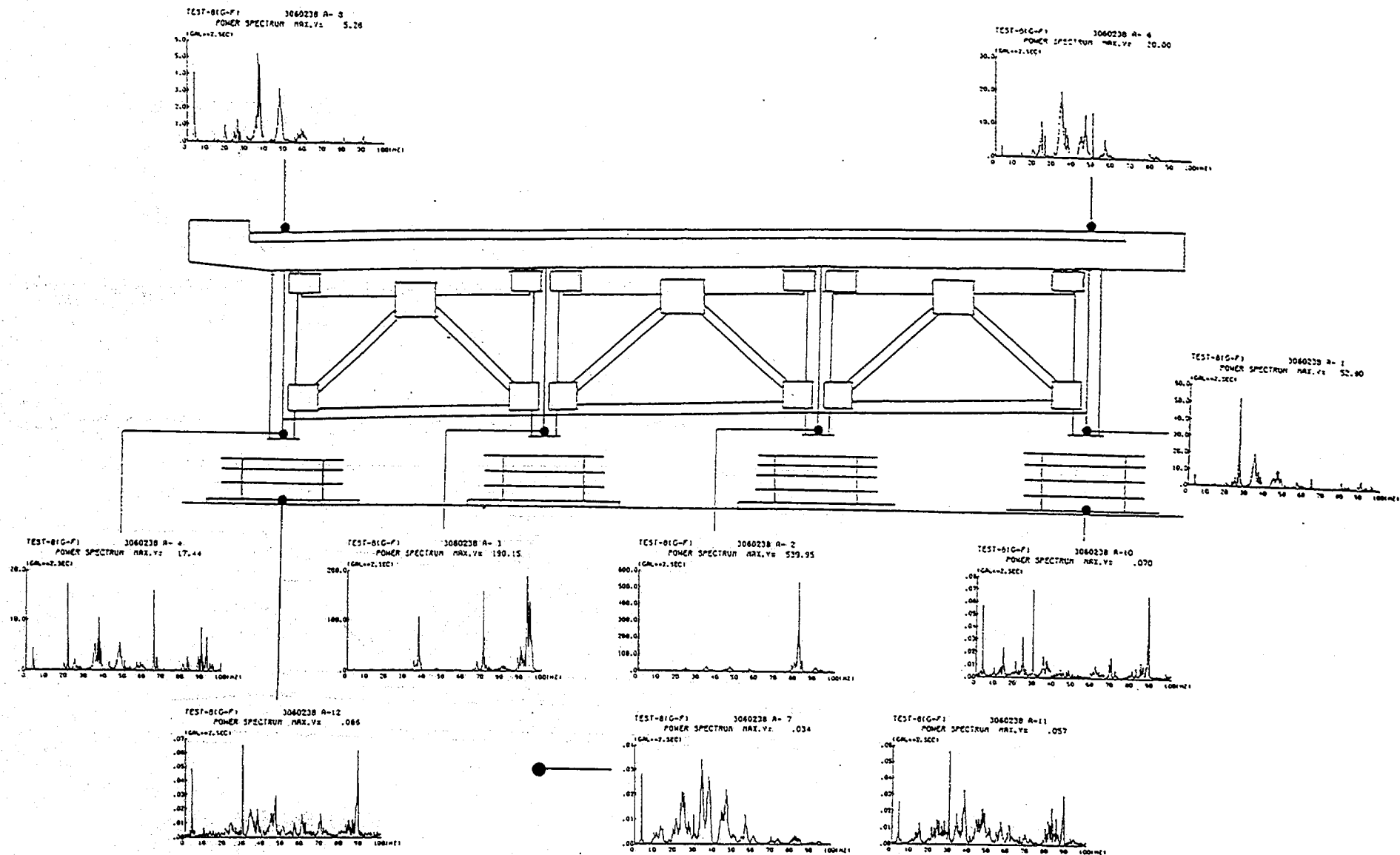
注) A-7, 11はG 3桁の可動支承側より支間1/4, 中央点の桁下地表面に設置

付図-2.2 対策後(ゴム支承)での可動支承側のパワースペクトル図 (Z成分, 306013B)



注) A-7, 11は G 3 桁の可動支承側より支間1/4, 中央点の桁下地表面に設置

付図-2-3 対策前(鋼製支承)での可動支承側のパワースペクトル図 (Z成分, 306023A)



注) A-7, 11はG 3桁の可動支承側より支間1/4, 中央点の桁下地表面に設置

付図-2-4 対策後(ゴム支承)での可動支承側のパワースペクトル図 (Z成分, 3060238)

(2) パワースペクトル面積

付表-2・2に示す段差の有無による対策前後のパワースペクトル面積とその比率について計測点別に比較した結果、以下のことが分かる。

① 支承より上での計測点：路面（A-6, 8）及び主桁下フランジ（A-1, 2, 3, 4）

段差無しでは、ゴム支承に取り替えたことにより車両走行側の主桁下フランジ（A-1, 2）及び路面（A-6, 8）では増加しているものの数倍であるのに対し反対側車線であるG 3、G 4 桁下フランジ（A-2, 3）では71、23倍と極めて大きな値であることが分かる。ただし、面積の値自体は一方、段差有りでは、段差無しに比べ半分以下の増加に収まっており、特に反対側車線であるG 3、G 4 桁下フランジ（A-3, 4）は、4、7倍と段差有りとは比べ大幅に小さいことが分かる。

② 支承より下での計測点：台座基部（A-10, 12）及び主桁下の地表面（A-7, 11）

段差無しでは、支承上での計測点に比べ比率が2～3倍と小さいものの増加しているが、パワースペクトル面積の値自体は0.2～0.3gal²増加と非常に小さくなっている。また、振動が支承を通過することによるパワースペクトル面積の増減（G 1 主桁：A-1→A-10、G 4 主桁：A-4→A-12）について見てみると対策前の支承上で数十gal²あったものが0.2gal²まで減少し、対策後でも数百gal²あったものが0.4gal²まで減少した。ここで対策前に比べパワースペクトル面積自体は2～3倍と大きくなったものの支承を通過することによる減少率を比べるとむしろゴム支承の方が大きいことが分かる。

一方、段差有りでは、ゴム支承に取り替えたことによる軽減効果が顕著に現れ1割～5割まで減少した。そして振動が支承を通過することによるパワースペクトル面積の増減についても減少率を比べるとゴム支承の方が大きいことが分かる。

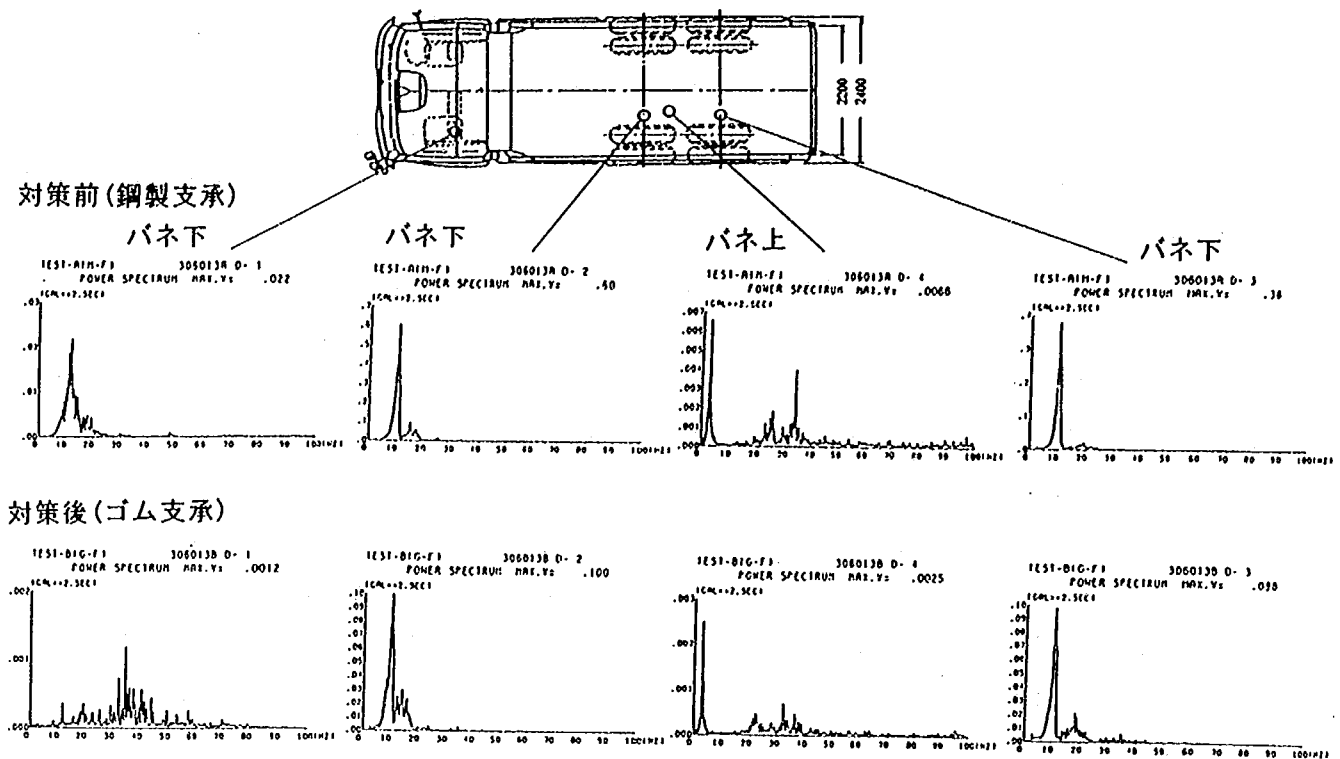
付表-2・2 対策前後のパワースペクトル面積とその比率

測定位置 (全て鉛直方向を測定)	a:対策前(鋼製支承) (gal ²)		b:対策後(ゴム支承) (gal ²)		比 率 b / a	
	段差有り	段差無し	段差有り	段差無し	段差有り	段差無し
A-1 (G 1 桁下フランジ)	99.7	31.3	253.2	162.2	2.5	5.2
A-2 (G 2 桁 ")	2523.5	836.1	945.6	851.2	0.4	1.0
A-3 (G 3 桁 ")	370.8	8.6	1479.3	614.8	4.0	71.3
A-4 (G 4 桁 ")	25.7	1.7	183.3	41.1	7.1	23.2
A-6 (G 1 桁上の路面)	117.5	39.8	170.8	130.5	1.5	3.3
A-7 (G 3 桁の可動支承側より 支間1/4点 桁下地表面)	4.8	0.2	0.6	0.4	0.1	1.8
A-8 (G 4 桁上の路面)	7.2	3.1	21.4	20.9	3.0	6.7
A-10 (G 1 桁支承台座基部)	14.9	0.2	6.6	0.4	0.4	1.7
A-11 (G 3 桁の可動支承側より 支間中央点 桁下地表面)	12.0	0.2	5.8	0.5	0.5	2.8
A-12 (G 4 桁支承台座基部)	9.6	0.2	5.2	0.5	0.5	2.7

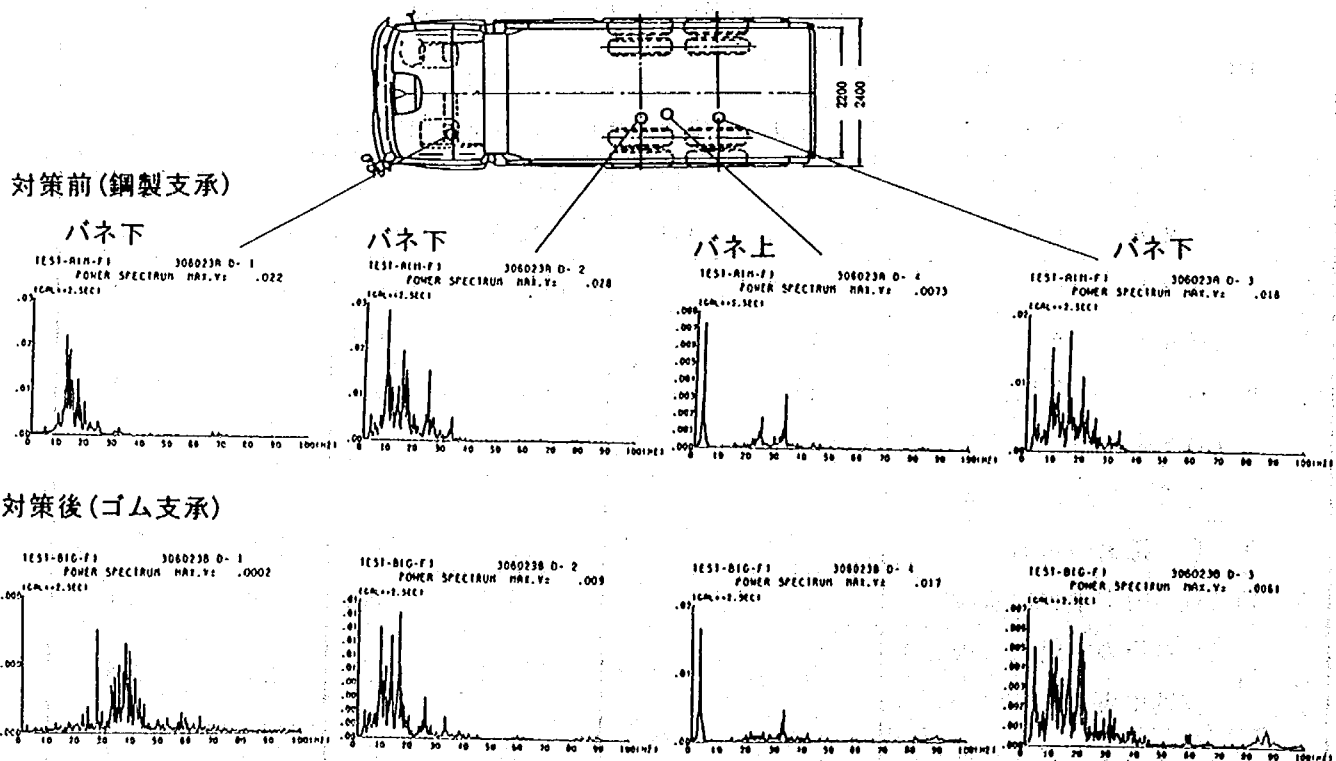
※ 上記の最大加速度は平均値である。

③ 試験車での計測点(付図-2.5, 2.6参照)

車両のバネ上・バネ下振動数は、一般的に1~4Hz, 8~15Hzと言われており、実験結果でも対策の有無に関係なく同様の4~6Hz, 9~12Hz付近の卓越振動数が認められた。



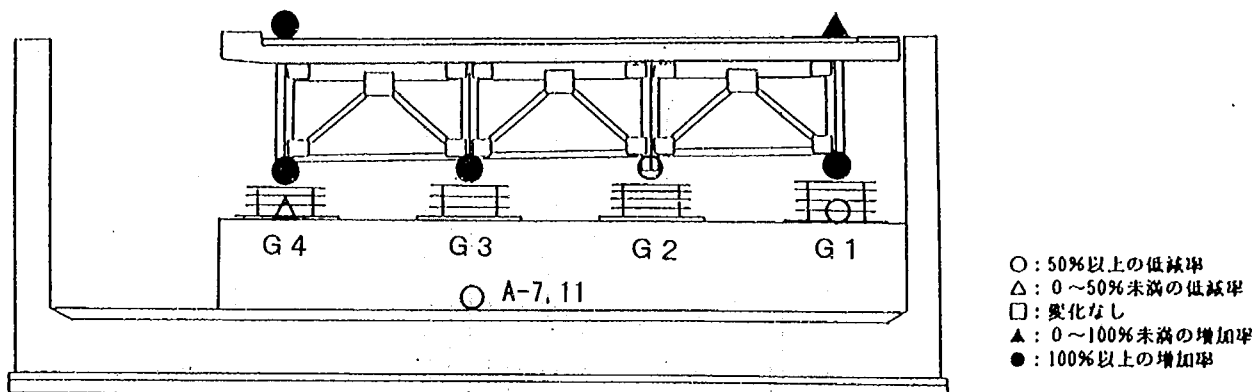
付図-2.5 段差有りでの車両側のパワースペクトル図 (306013A, 306013B)



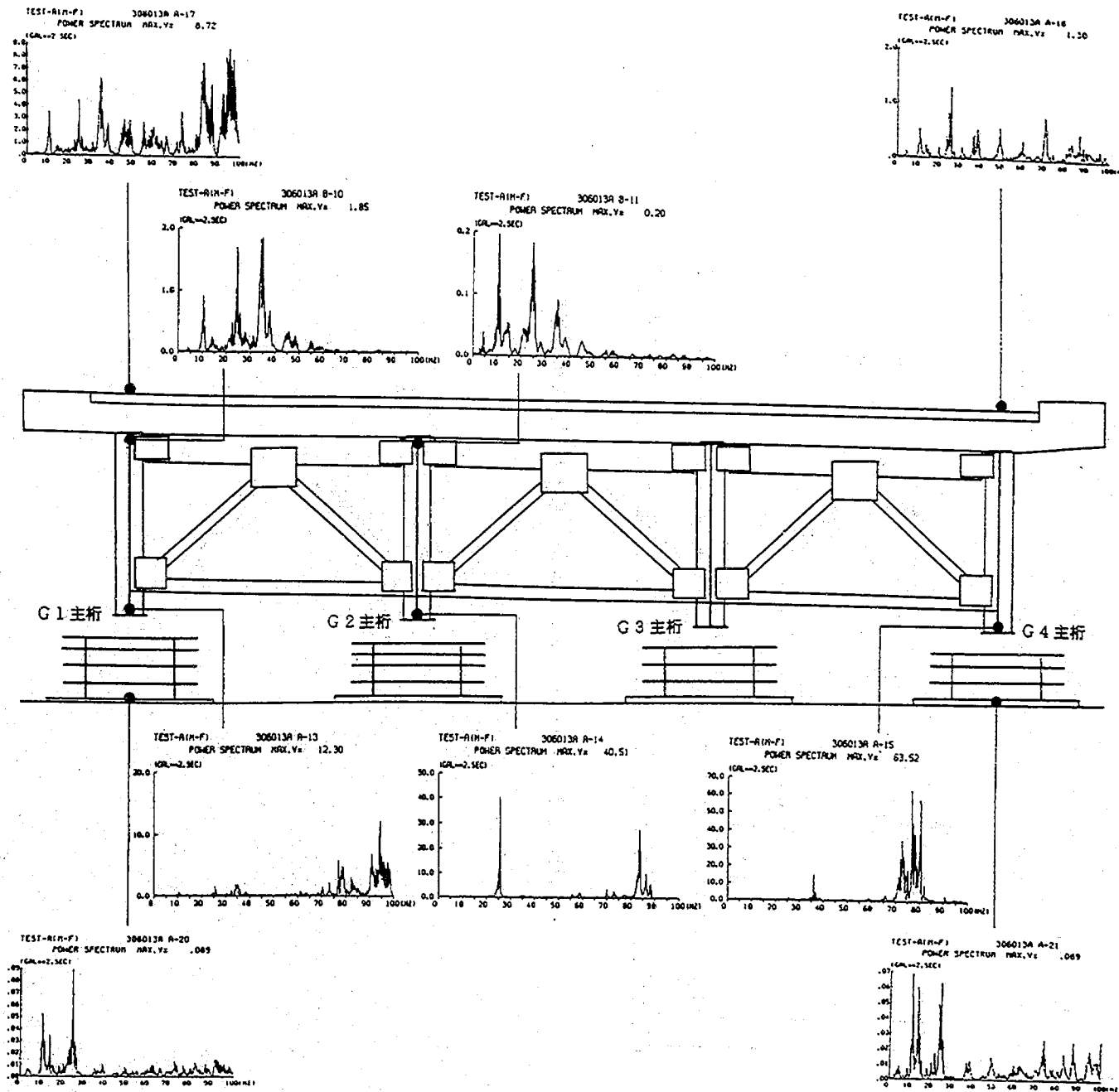
付図-2.6 段差無しでの車両側のパワースペクトル図 (306023A, 306023B)

(3) まとめ

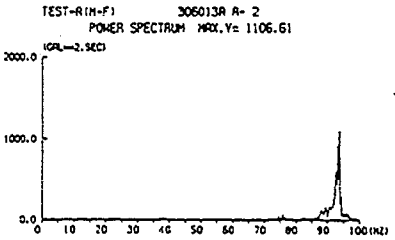
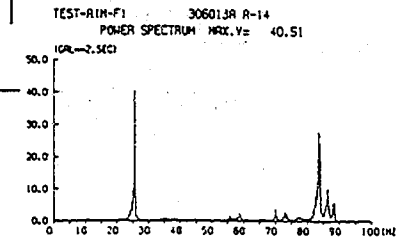
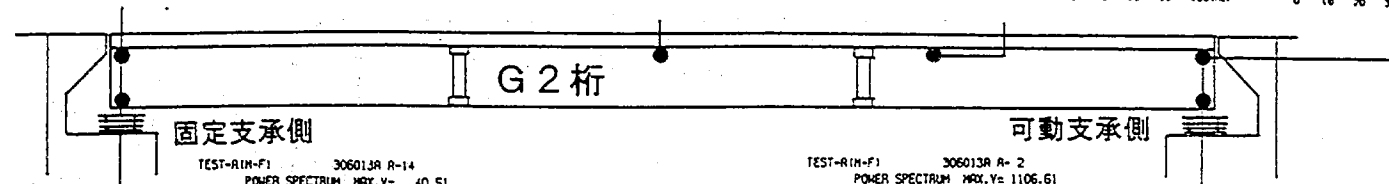
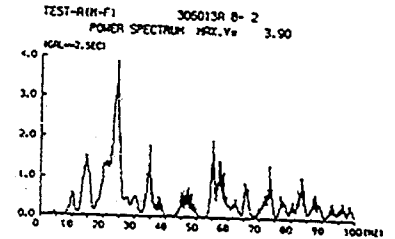
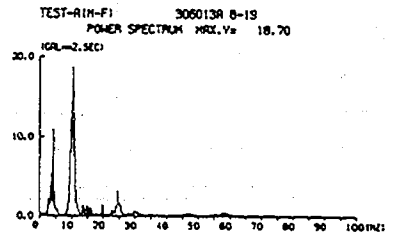
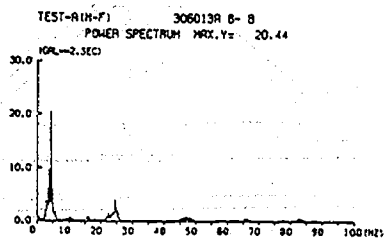
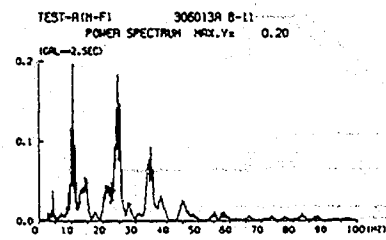
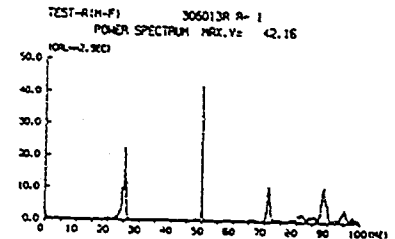
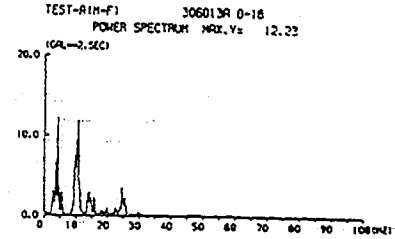
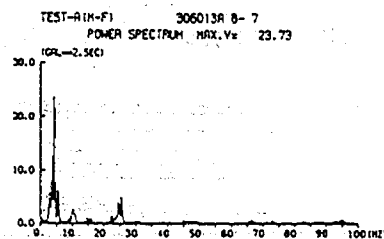
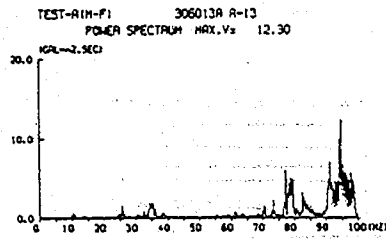
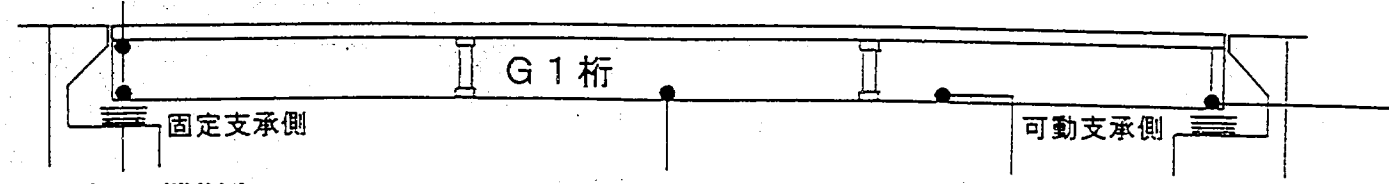
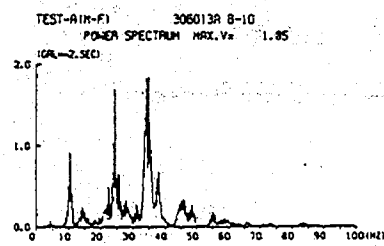
パワースペクトル面積（0～100Hz）からみた対策前に対する対策後の低減効果を付図-2・7に示す。本文「3.6.1 ゴム支承対策の有効性」の最大加速度による比較と同様に支承を境にして傾向が違い、支承より上での計測点では、あまり効果が見られず、増加率が100%以上と逆に顕著に現れた。支承より下での計測点では、50%以上の低減効果があり、また、支承通過時の低減率を比べても対策前で車両走行下であるG1主桁(A-1→A-10)で85%、反対車線下であるG4主桁(A-4→A-12)で63%であったものが、対策後ではG1、G4主桁で97%とほぼ100%低減しており、50Hzの振動数についてもう少し検討が必要であるもののゴム支承が減衰性が高く対策として有効であることがパワースペクトル面積からも確認できる。



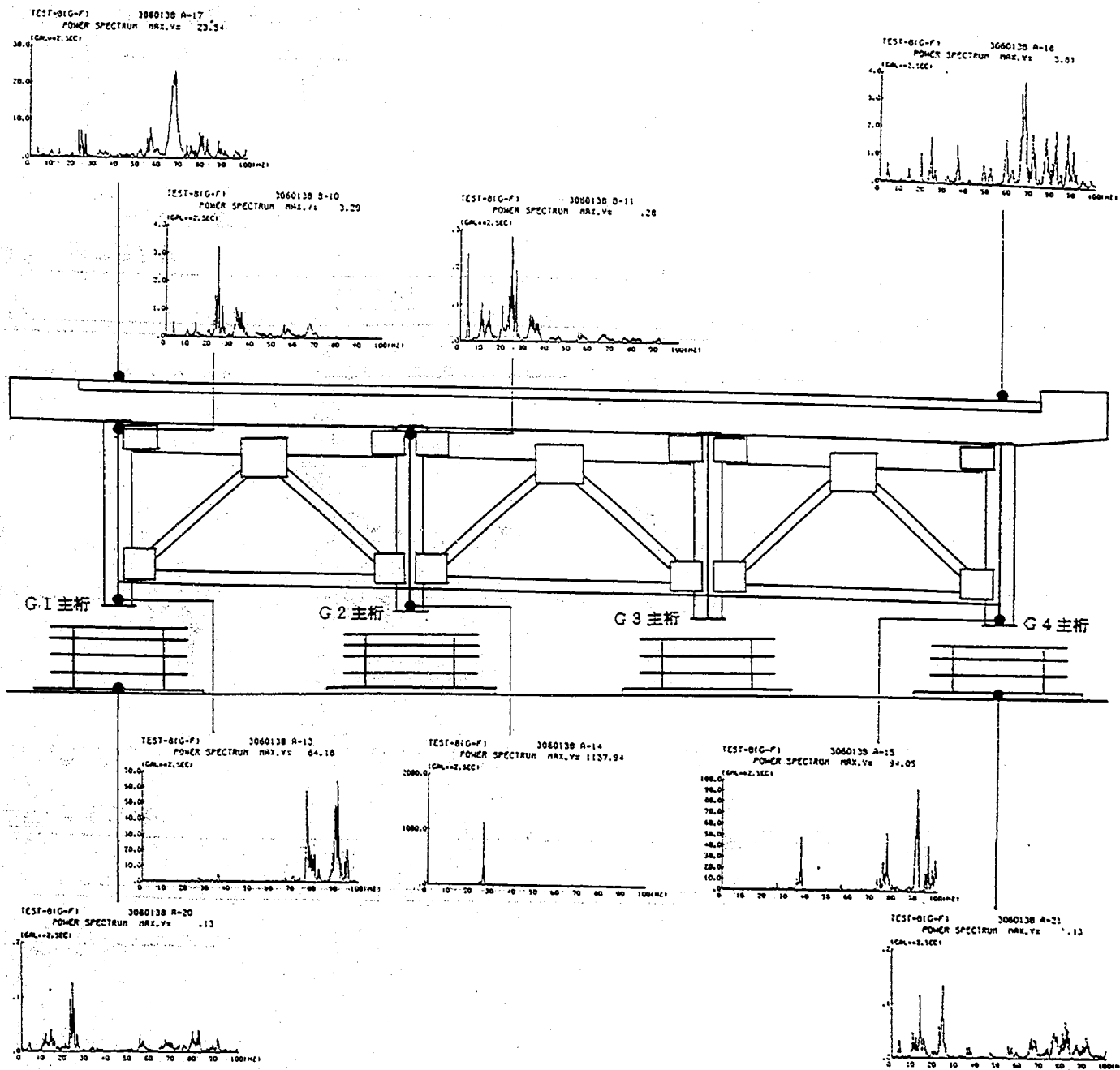
付図-2・7 パワースペクトル面積からみた対策後の低減効果



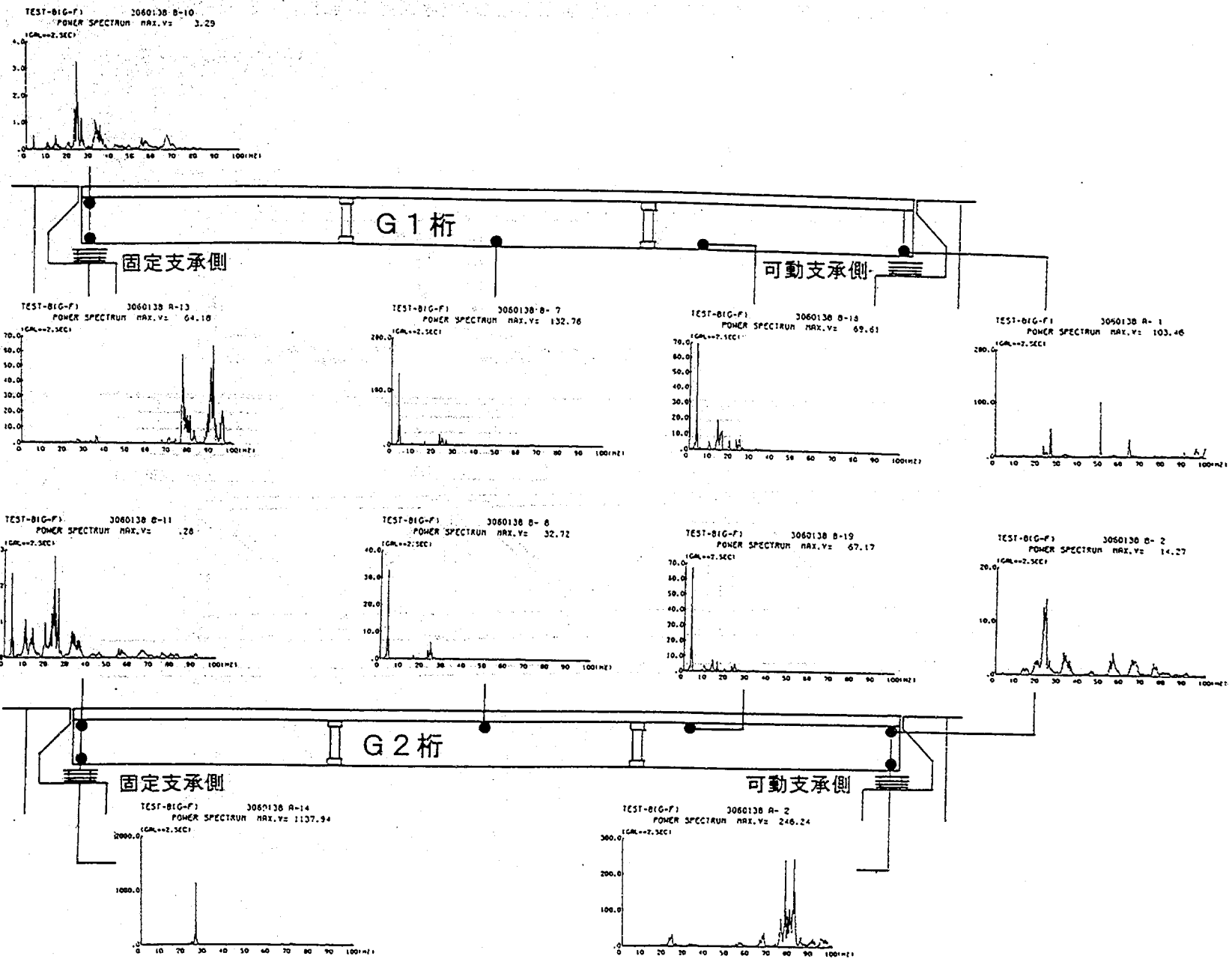
付図-2-8 対策前(鋼製支承)での固定支承側のパワースペクトル図 (Z成分, 306013A)



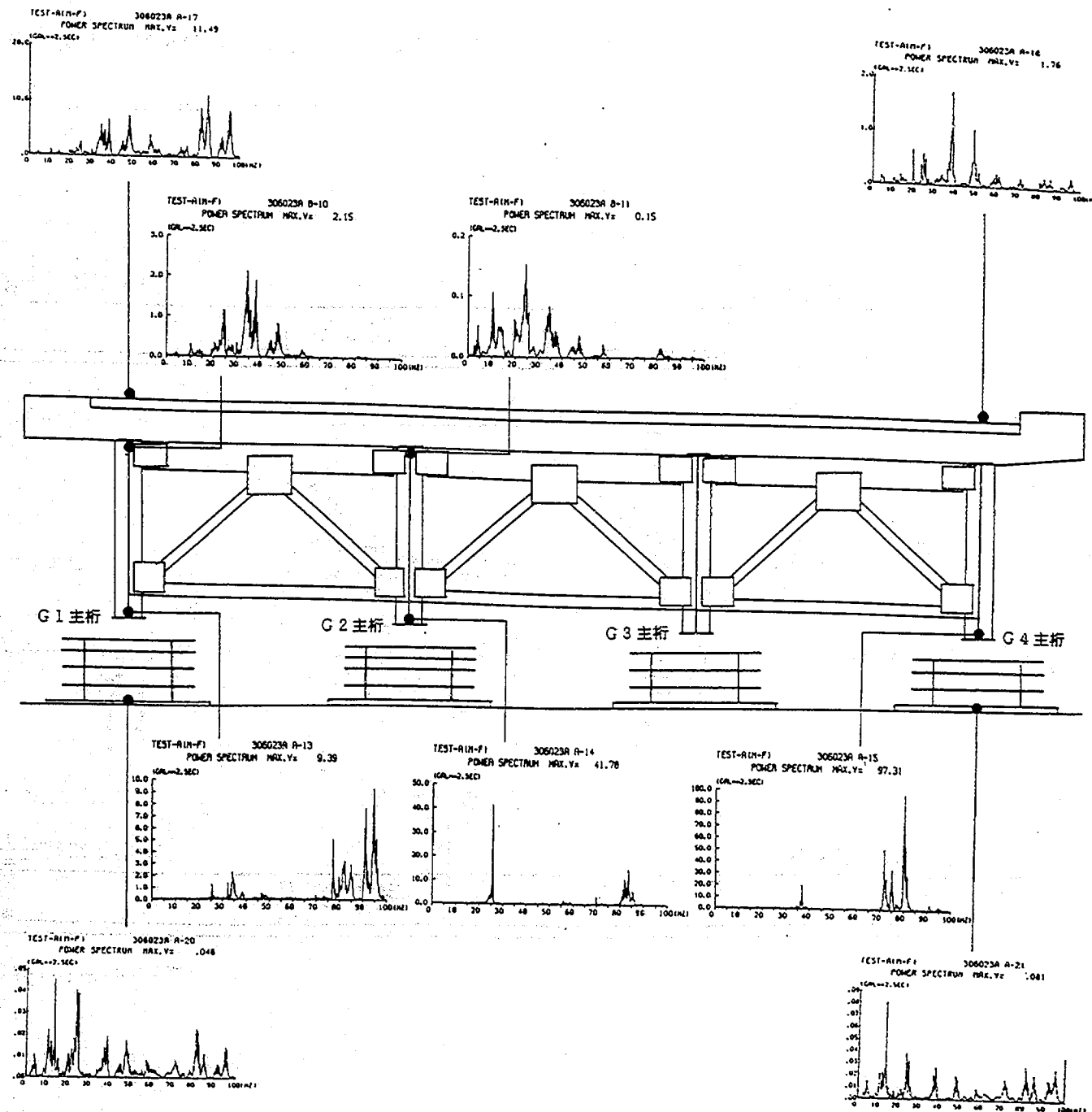
付図-2.9 対策前(鋼製支承)でのG 1 主桁及びG 2 主桁のパワースペクトル図 (Z成分, 306013A)



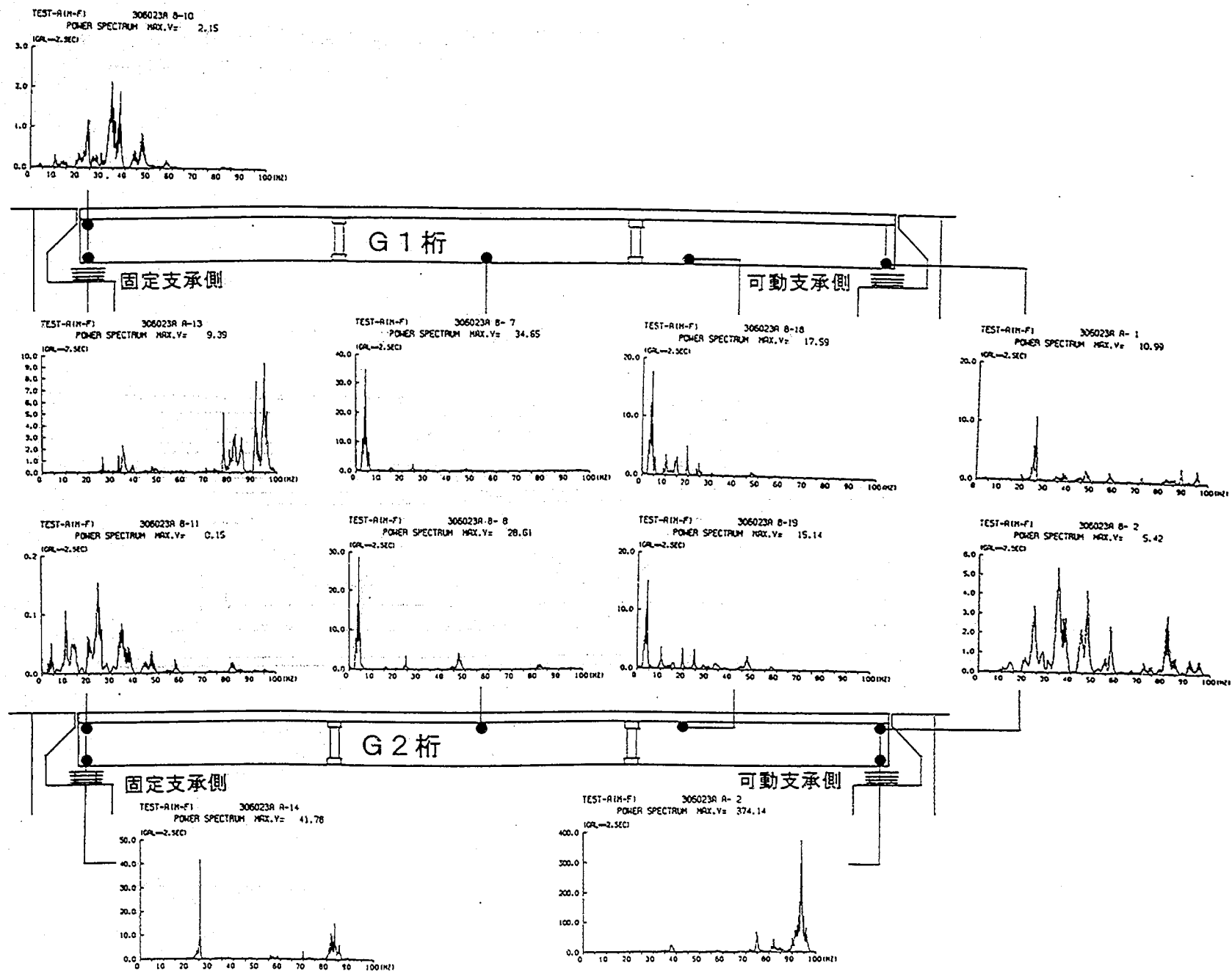
付図-2-10 対策後(ゴム支承)での固定支承側のパワースペクトル図 (Z成分, 306013B)



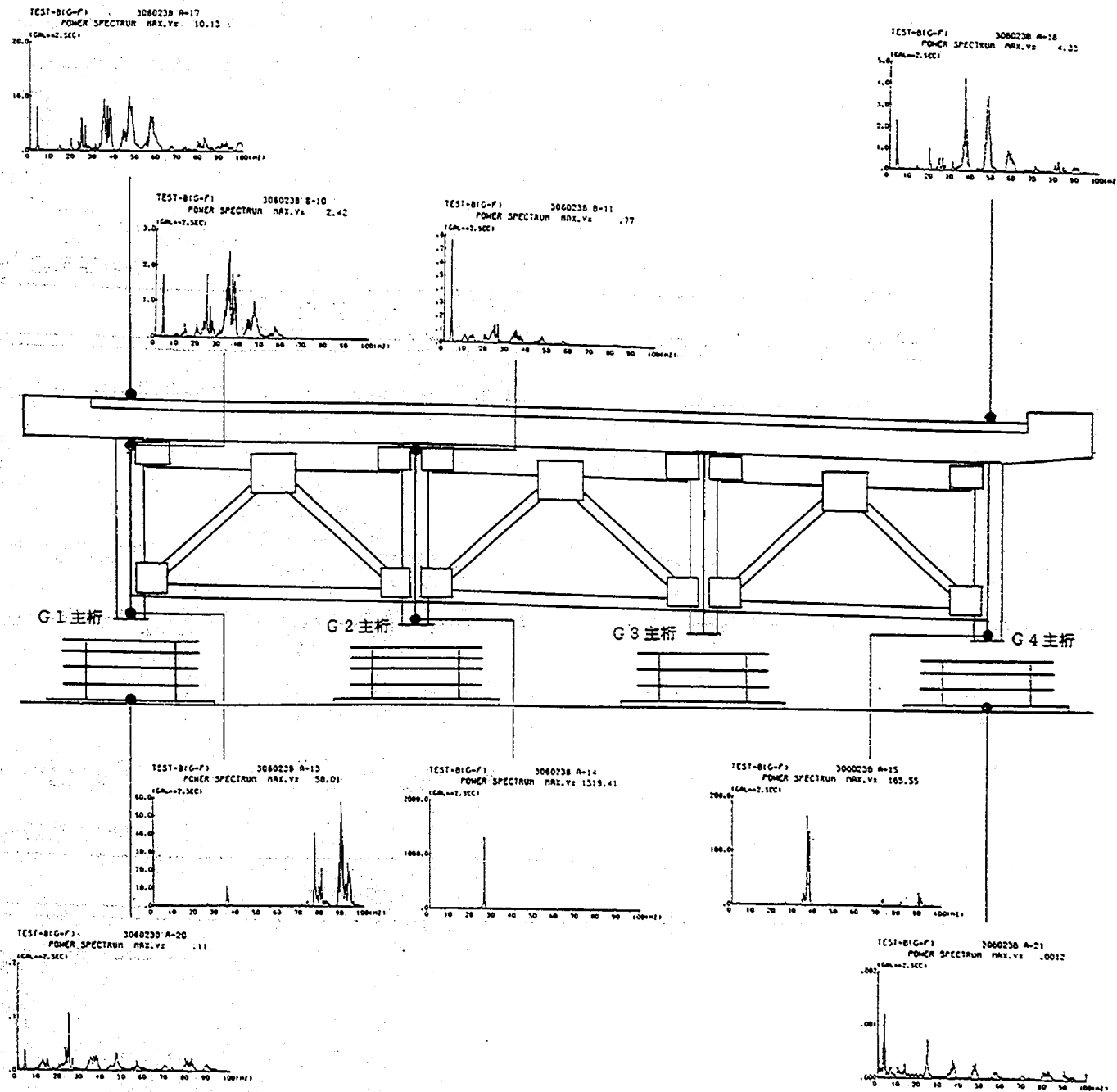
付図-2-11 対策後(ゴム支承)でのG1主桁及びG2主桁のパワースペクトル図 (Z成分, 306013B)



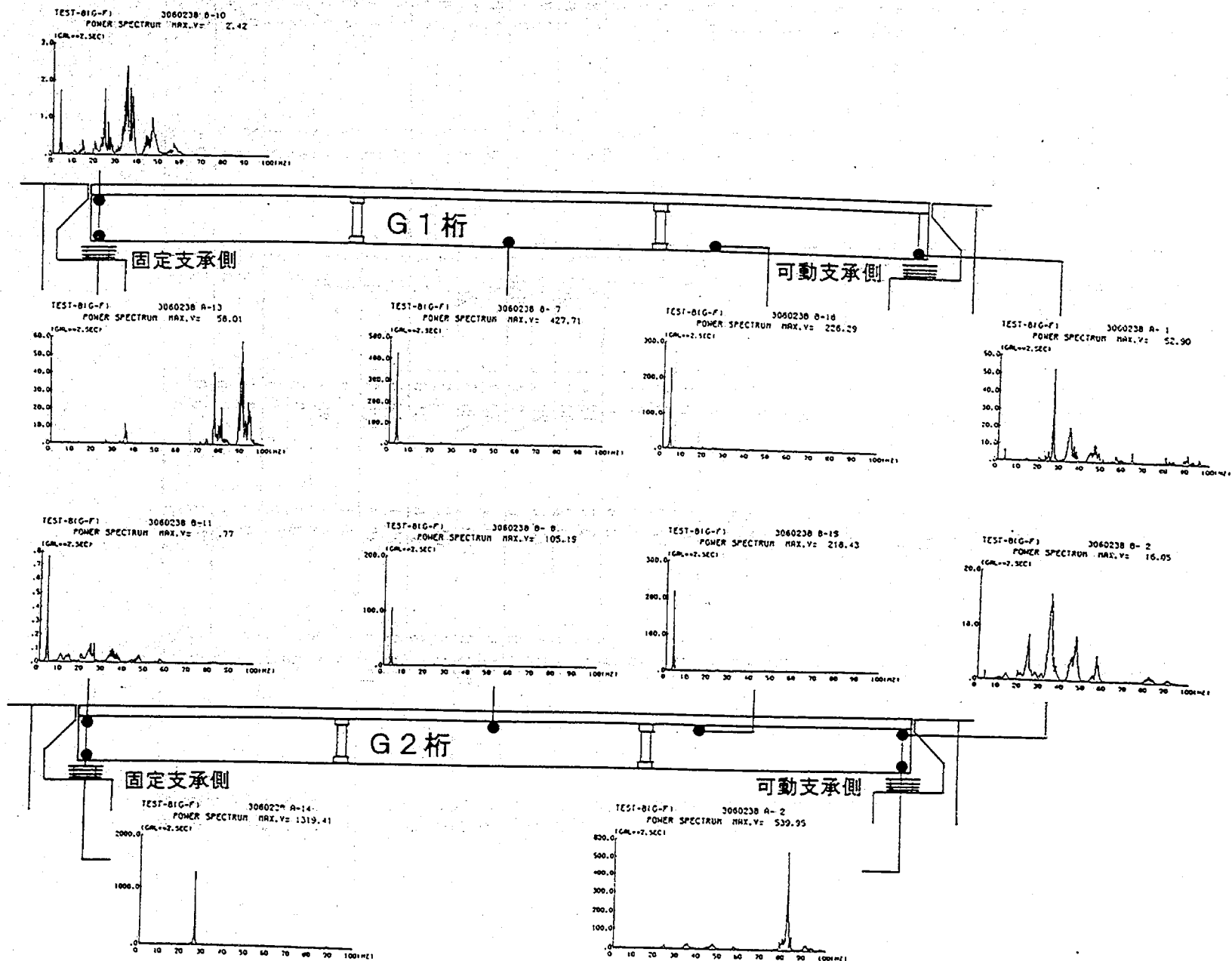
付図-2.12 対策前(鋼製支承)での固定支承側のパワースペクトル図 (Z成分, 306023A)



付図-2-13 対策前(鋼製支承)でのG 1 主桁及びG 2 主桁のパワースペクトル図 (Z成分, 306023A)



付図-2-14 対策後(ゴム支承)での固定支承側のパワースペクトル図 (Z成分, 306023B)



付図-2-15 対策後(ゴム支承)でのG1主桁及びG2主桁のパワースペクトル図(Z成分, 306023B)

付表-2.3 全計測点におけるパワースペクトル面積(0~100Hz)とその比率

測定名	速 度 (km/h)	(単位:gal ²)					
		a:対策前(鋼製支承)		b:対策後(ゴム支承)		比率(b/a)	
		段 差(mm)		段 差(mm)		段 差(mm)	
		0	20	0	20	0	20
A-1	30	4.5	31.1	19.6	149.7	4.4	4.8
	60	31.3	99.7	162.2	253.2	5.2	2.5
A-2	30	51.8	679.4	57.3	478.4	1.1	0.7
	60	836.1	2523.5	851.2	945.6	1.0	0.4
A-3	30	1.2	10.9	58.6	919.4	48.9	84.6
	60	8.6	370.8	614.8	1479.3	71.3	4.0
A-4	30	0.3	4.5	8.6	73.0	26.6	16.3
	60	1.8	25.7	41.1	183.3	23.2	7.1
A-5	30	2.2	40.8	21.2	99.2	9.5	2.4
	60	7.3	15.8	230.8	169.2	31.8	10.7
A-6	30	16.5	50.6	14.6	80.4	0.9	1.6
	60	39.8	117.5	130.5	170.8	3.3	1.5
A-7	30	0.1	0.5	0.1	0.2	1.0	0.3
	60	0.2	4.8	0.4	0.6	1.8	0.1
A-8	30	0.6	2.7	2.7	14.8	4.5	5.4
	60	3.1	7.2	20.9	21.4	6.7	3.0
A-9	30	0.0	0.1	0.1	0.8	15.0	8.7
	60	0.0	0.3	0.6	2.3	16.7	8.5
A-10	30	0.2	5.4	0.1	4.9	0.4	0.9
	60	0.2	14.9	0.4	6.6	1.7	0.4
A-11	30	0.1	0.4	0.1	0.6	0.7	1.5
	60	0.2	12.0	0.5	5.8	2.8	0.5
A-12	30	0.1	3.3	0.1	0.6	0.8	0.2
	60	0.2	9.6	0.5	5.2	2.7	0.5
A-13	30	4.1	3.0	12.8	120.4	3.1	40.8
	60	42.6	73.2	190.9	294.2	4.5	4.0
A-14	30	5.1	13.8	28.1	92.2	5.5	6.7
	60	66.9	76.6	612.4	545.7	9.2	7.1
A-15	30	41.5	73.7	30.7	147.2	0.7	2.0
	60	227.0	259.3	265.3	288.6	1.2	1.1
A-16	30	4.8	61.3	5.3	22.8	1.1	0.4
	60	28.3	37.6	31.6	24.8	1.1	0.7
A-17	30	54.9	29.1	19.5	70.9	0.4	2.4
	60	111.0	132.4	126.3	141.1	1.1	1.1
A-18	30	3.4	4.1	2.5	17.6	0.7	4.3
	60	8.8	9.1	20.1	28.1	2.3	3.1
A-19	30	0.1	0.4	0.5	2.5	5.1	6.5
	60	0.7	0.8	1.5	1.4	2.1	1.7
A-20	30	0.1	0.3	0.1	0.2	1.4	0.9
	60	0.4	0.5	0.6	0.7	1.5	1.5
A-21	30	0.1	0.3	0.0	3.0	0.0	9.3
	60	0.5	0.6	0.1	1.1	0.2	1.7

(単位:gal²)

測定名	速 度 (km/h)	a:対策前(鋼製支承)		b:対策後(ゴム支承)		比率(b/a)	
		段 差(mm)		段 差(mm)		段 差(mm)	
		0	2.0	0	2.0	0	2.0
B-1	3.0	2.3	7.0	3.2	13.8	1.4	2.0
	6.0	15.3	22.0	47.3	40.9	3.1	1.9
B-2	3.0	7.1	14.5	13.3	0.0	1.9	0.0
	6.0	55.5	41.3	101.4	83.8	1.8	2.0
B-3	3.0	1.0	2.8	3.2	7.7	3.3	2.8
	6.0	6.0	6.4	25.1	23.2	4.2	3.6
B-4	3.0	0.4	1.8	1.0	4.5	2.4	2.6
	6.0	1.9	2.0	8.7	7.0	4.5	3.4
B-5	3.0	193.7	1036.3	538.9	602.3	2.8	0.6
	6.0	1485.9	3078.1	4663.8	5930.3	3.1	1.9
B-6	3.0	1.5	5.2	4.2	11.9	2.8	2.3
	6.0	9.7	14.2	37.9	36.5	3.9	2.6
B-7	3.0	21.7	51.6	41.7	74.5	1.9	1.4
	6.0	53.2	46.1	160.4	92.2	3.0	2.0
B-8	3.0	12.2	27.7	7.0	14.1	0.6	0.5
	6.0	47.4	35.8	42.0	22.3	0.9	0.6
B-9	3.0	14.5	17.7	25.0	33.8	1.7	1.9
	6.0	26.8	19.8	149.5	64.7	5.6	3.3
B-10	3.0	1.6	4.5	1.8	3.7	1.2	0.8
	6.0	13.2	11.2	14.8	13.0	1.1	1.2
B-11	3.0	0.3	0.7	0.3	0.5	1.0	0.7
	6.0	1.3	1.3	1.5	1.4	1.2	1.1
B-12	3.0	12.8	21.4	14.5	22.3	1.1	1.0
	6.0	87.1	70.6	109.6	90.9	1.3	1.3
B-13	3.0	0.6	2.1	1.8	3.5	2.9	1.6
	6.0	3.4	3.6	4.5	6.5	1.3	1.8
B-14	3.0	0.6	1.6	1.9	2.9	3.1	1.9
	6.0	2.9	3.0	4.8	5.9	1.7	2.0
B-15	3.0	2.2	10.4	6.0	30.1	2.8	2.9
	6.0	27.1	34.7	72.4	80.7	2.7	2.3
B-16	3.0	39.3	111.2	69.4	193.1	1.8	1.7
	6.0	1021.8	499.8	270.9	215.9	0.3	0.4
B-17	3.0	6.0	8.0	12.8	14.4	2.1	1.8
	6.0	51.1	27.8	76.7	62.6	1.5	2.3
B-18	3.0	13.4	83.7	26.6	47.2	2.0	0.6
	6.0	35.0	37.6	97.7	71.4	2.8	1.9
B-19	3.0	9.1	98.1	18.2	39.1	2.0	0.4
	6.0	35.4	43.1	93.8	51.1	2.6	1.2
B-20	3.0	13.2	0.0	195.1	335.5	14.7	
	6.0	95.9	97.9	1688.7	1625.6	17.6	16.6

高架橋の交通振動軽減対策に関する
実験報告書

ISSN 0386-5878
土木研究所資料第3436号
平成8年3月(1996)

佐藤弘史, 澤田憲文, 日下部毅明, 今野久志, 長尾彰洋, 鈴木忠好

要 旨

高架橋の交通振動軽減対策としていくつか方法が考えられるが, 土木研究所では, 桁端部をコンクリートで巻き立てる工法と鋼製支承を減衰性の高いゴム支承に取り替える対策工について実験を行った。本報告書は, これらの工法が対策として有効な手段であるか実験的に検討したものである。その結果, 桁端部補強対策では伸縮継手部付近から発生していた衝撃的振動が対策前と比べて増加する箇所が一部見られたが, 全体的には軽減効果が見られた。また, ゴム支承による軽減対策では, 支承上部にある橋梁本体の振動は, 段差の有無に関係なくゴム支承の方が大きくなったが, 支承から下の車両走行側橋台や地盤では, 段差有りで行速度60km/hと厳しい条件下ではゴム支承の方が小さくなることが分かった。

キーワード: 高架橋, 交通振動, 桁端部補強, ゴム支承

郵便はがき

五十円切手
をはって下
さい。

3 0 5 - □ □

茨城県つくば市大字旭一番地

建設省土木研究所

構造橋梁部構造研究室 行

No. 002

No. 002

配布先氏名

配布先住所

土木研究所資料第3436号 部

上記のとおり受領しました。

所属（住所）

氏名

印