

2 箱桁橋における橋脚のロッキング振動に着目した地盤振動対策

Ground vibration measures for the rocking vibration of the piers with two-box girders bridge

薄井 王尚*, 梶川 康男**, 深田 宰史***

Kimihiya Usui, Yasuo Kajikawa and Saiji Fukada

*	金沢大学大学院	自然科学研究科	(〒920-8667 金沢市小立野 2-40-20)
** 工博	金沢大学大学院教授	自然科学研究科	(同上)
*** 博士 (工学)	金沢大学大学院助手	自然科学研究科	(同上)

Vibration caused due to running vehicles on a highway bridge is spread to a superstructure, to a substructure and to the ground. The ground vibrates both in the horizontal and the vertical direction. When vehicles load at the vicinity of the beam's edge in the T type pier, rocking vibration of the pier occurs. Its ground vibration in the transverse direction is the biggest. In the two-box girders bridge, which shoes are installed at the vicinity of the beam's edge of the T type pier, the ground vibration has greatly occurred due to the rocking vibration of the pier. This study proposes two measures to mitigate the vibration. Moreover this study evaluates the change of the vibration characteristics and effects of the measures to mitigate the vibration.

Key Words : traffic vibration, vibration characteristics, highway bridge, piers

キーワード: 交通振動, 振動特性, 高架橋, 橋脚

1. まえがき

高架形式の橋梁の周辺地盤における振動は、橋梁上を車両が走行することによって引き起こされ、それが上部構造、下部構造、地盤へと伝播していく中でそれぞれの振動特性により増幅、減衰し、周辺地盤を振動させている¹⁾。

橋梁上を車両が走行する際に発生する振動は、車両、上部構造、下部構造の振動特性による振動以外に、伸縮継手や舗装の段差上を車両が走行することによって生じる衝撃的な振動もある。このような様々な発生源によって生じる振動は、橋脚近傍の地盤上では数Hz~100Hz程度の周波数範囲にわたって発生するが、橋脚のフーチングから距離が離れると比較的高い周波数帯の振動は減衰し、10Hz以下の低い周波数帯のみが遠方まで伝播する²⁾。

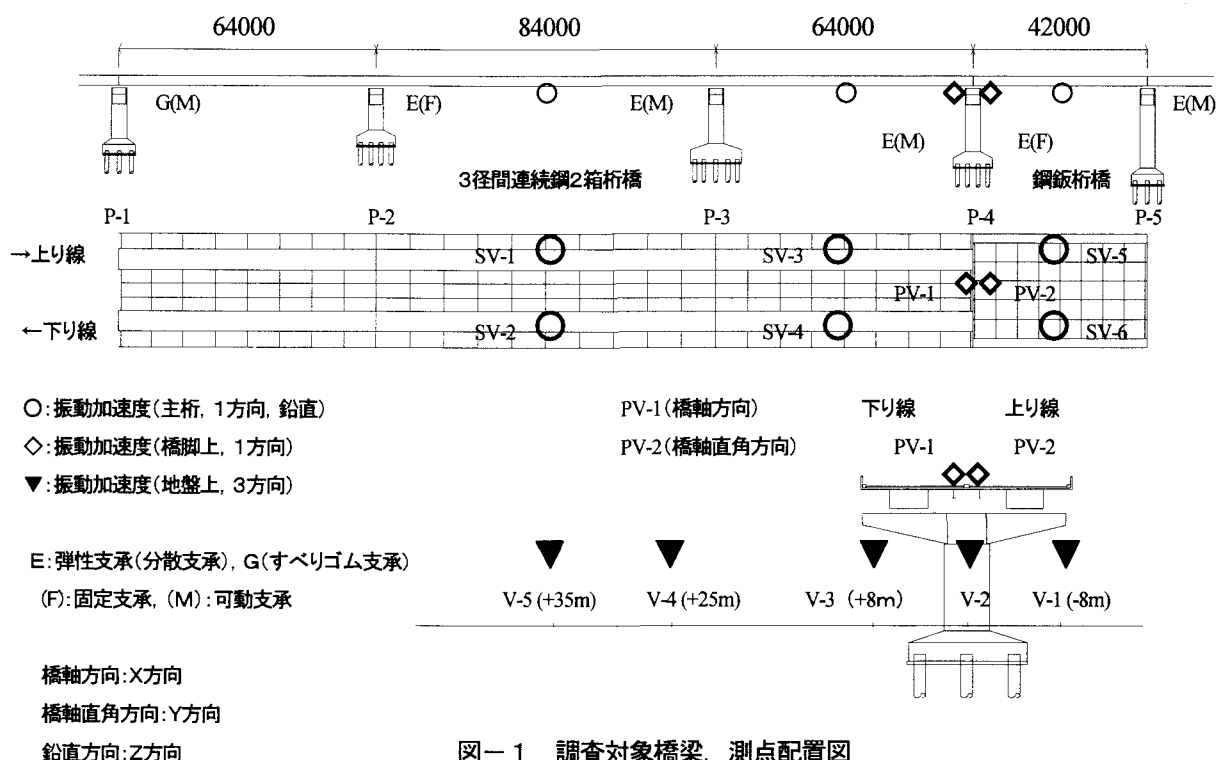
ここで、10Hz以下の低い周波数帯の振動は、車両のばね振動、および低次の上部構造、下部構造の卓越振動数によるものと考えられるが、これらは相互に作用しあって増幅するため、地盤振動の発生要因を把握することが困難な理由のひとつとなっている。

都市内における高架形式の橋梁では、橋梁の桁下空間を利用するために、橋脚はT型橋脚、門型橋脚となる場合が多い。とくに、既設の平面街路に橋梁を架設する場合は、中央分離帯の位置に橋脚を設置することから、橋脚にはT型橋脚の構造が採用される。T型橋脚は、中央分離帯に設

置された柱部から両側に梁を延ばしているため、その梁先端部を含めた橋脚全体の挙動は、鉛直方向、水平2方向に変位、振動することになる。このような橋梁の周辺地盤で振動測定を行うと、鉛直方向だけでなく、水平方向の振動が卓越する場合が多い。上部構造は水平方向と比較して鉛直方向のみが卓越するにも拘わらず、周辺地盤においては水平方向の振動が卓越する。これは、橋脚の構造、および振動特性が影響しているとともに、上部構造、下部構造が一体となって挙動しているためといえる。そのため、上部構造の振動特性のみを対象として振動特性を検討するのではなく、上部構造、下部構造を一体とした挙動、および車両→上部構造→下部構造といった振動の伝播状況を踏まえて地盤での振動特性を把握する必要がある。

このような着目から、これまで高架形式の橋梁の周辺地盤における振動に対し、上部構造、下部構造、周辺地盤を一体として把握するための調査、検討、解析が行われてきた^{3)~4)}。これまでに実施した検討結果によると、下部構造としてT型橋脚が採用された場合、橋軸直角方向への変形が生じやすく、その結果として橋梁周辺地盤において橋軸直角方向の振動が大きくなることがわかった²⁾。

T型橋脚は、その梁先端部付近に荷重が載荷されると梁の変形が大きくなるため、より大きな振動が発生すると予想される。そのため、支承が梁先端部付近のみに設置される2箱桁橋の場合は、このような傾向がより明確に生じる



と考えられた。

そこで, 本論文では, T型橋脚を持つ鋼2箱桁橋周辺の地盤の振動特性を示すとともに, T型橋脚のロッキング振動モードの卓越を低減させるために, 橋脚柱部近傍の端横桁下に新たに支承を設ける支承追加工(以後, 疑似支承工という), および端横桁コンクリート巻立て工を実施した橋梁を対象にして, その振動特性の変化, 振動対策工の効果について検討した結果を報告する。

2. T型橋脚の振動特性把握調査

2.1 調査対象橋梁

都市内の高架形式の橋梁の多くは桁下空間に平面街路が走行していることから, 平面街路を走行する車両の影響が大きく, 橋梁からの振動特性のみを把握することは困難である。そこで, 平面街路のない地域を対象として3径間連続鋼2箱桁橋とT型橋脚周辺において振動調査を行った²⁾。調査対象とした橋脚の基礎は場所打ち杭($\phi=1\text{m}$, $l=12.0\text{m}$, $n=10$ 本)の杭基礎である。

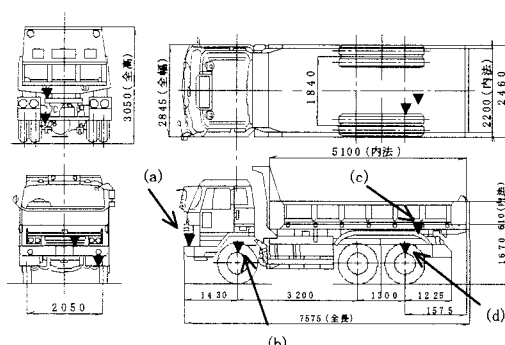
橋梁概要図, および測点配置図を図一1に示す。

2.2 調査方法, 車両ばね振動測定結果

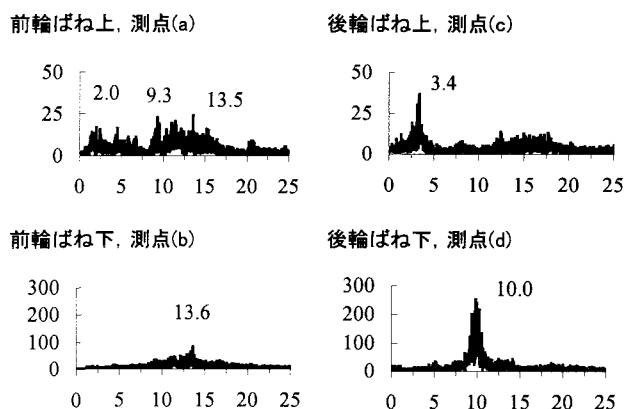
調査は, 大型3軸ダンプトラック(196kN)を試験車両として使用した。試験車両は, 調査対象橋梁の上下線の各2車線(計4車線)を, 走行速度60km/hで走行させた。

実験に使用したダンプトラックを図一2に, 車両のばね振動特性を測定した結果を図一3に示す。ばね上振動は前軸2Hz, 後軸3Hz付近, ばね下振動は前軸14Hz, 後軸10Hz

付近に卓越が生じている。なお, 前軸のばね上振動の9~14Hz付近にも振動数の卓越が認められるが, これは前軸のばね下振動の卓越振動数が現れたものである。



図一2 試験車両 (▼: ばね振動測点)



図一3 試験車両のばね振動特性

2.3 上部構造、下部構造の振動加速度の測定結果

上部構造、下部構造に設置したサーボ型加速度計(1軸)の振動加速度波形をスペクトル分析した結果を図-4に示す。図-4は、試験車走行試験の走行パターンの中で、下り線の走行車線を走行させた際に得られた振動加速度波形を分析した結果である。

また、上部構造：箱桁、鈑桁(P-1～P-5間)、下部構造：T型橋脚(P-1～P-5橋脚)を梁要素でモデル化し、立体FEMモデルにより固有値解析を実施した結果を表-1に示す。なお、解析にあたって、橋脚下端の境界条件は固定として解析を行った。

表-1には、固有値解析結果と図-4に示した各測点のスペクトルの位相の相互関係から判断した振動モード、卓越振動数を対比して示している。

上部構造については、たわみ振動モードの卓越振動数がP-1～P-4：1.4Hz(1.314Hz、()内は固有振動数)、P-4～P-5：2.4(2.224)Hz付近、ねじり振動モードの卓越振動数がP-1～P-4：2.8(2.548)Hz、P-4～P-5：2.9～3.1(2.788)Hz付近にあった。また、図-3に示したように、試験車両のばね上振動も前軸2.0Hz、後軸3.4Hz付近が卓越しており、1.4～3.5Hzの周波数帯域に数多くの卓越振動数が含まれている。

また、下部構造の卓越振動数には、上部構造の振動の影響が認められ、2～5Hzの付近に多くの卓越振動数が存在する。特に、3.1Hz付近のピークはP-4～P-5径間のねじり振動モードの卓越と重なっており、明瞭なピークが認められなかった。

2.4 地盤上の振動測定結果

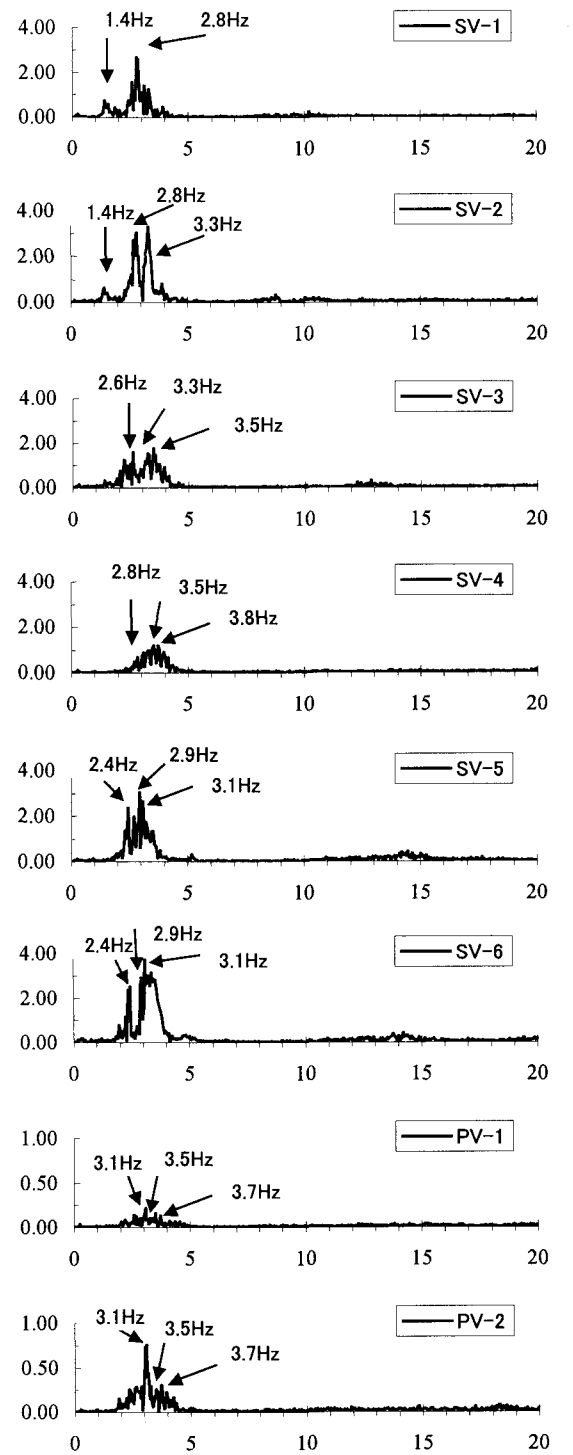
地盤上の振動測定は、3方向(X方向：橋軸方向、Y方向：橋軸直角方向、Z方向：鉛直方向)について実施した。

下り線の走行車線に試験車両を走行させた際の橋脚直下、橋脚から±8m、+25m、+35m離れた地点の地盤上での振動加速度波形、スペクトル図(橋軸直角方向のみ)を図-5に、橋脚から+8mのV-3測点の橋軸直角方向(Y方向)のスペクトル図を拡大したものを図-6に示す。

また、試験車走行試験の走行パターンの中で、上り線および下り線の走行車線を走行させた際に得られた振動加速度波形(外乱の影響の少ない走行ケースで、各走行パターン3回分)について、それぞれの振動加速度波形の振幅の最大値の読み取りおよび実効値の算出を行い、各3回分の測定結果の平均値を求めた。なお、実効値は、下記に示す式(1)により算出した。

$$a_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T a^2 dt} \quad (1)$$

a_{rms} ：実効値、 a ：振動加速度、 T ：測定時間(20.48秒)

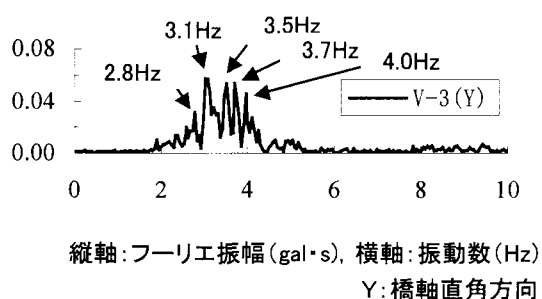
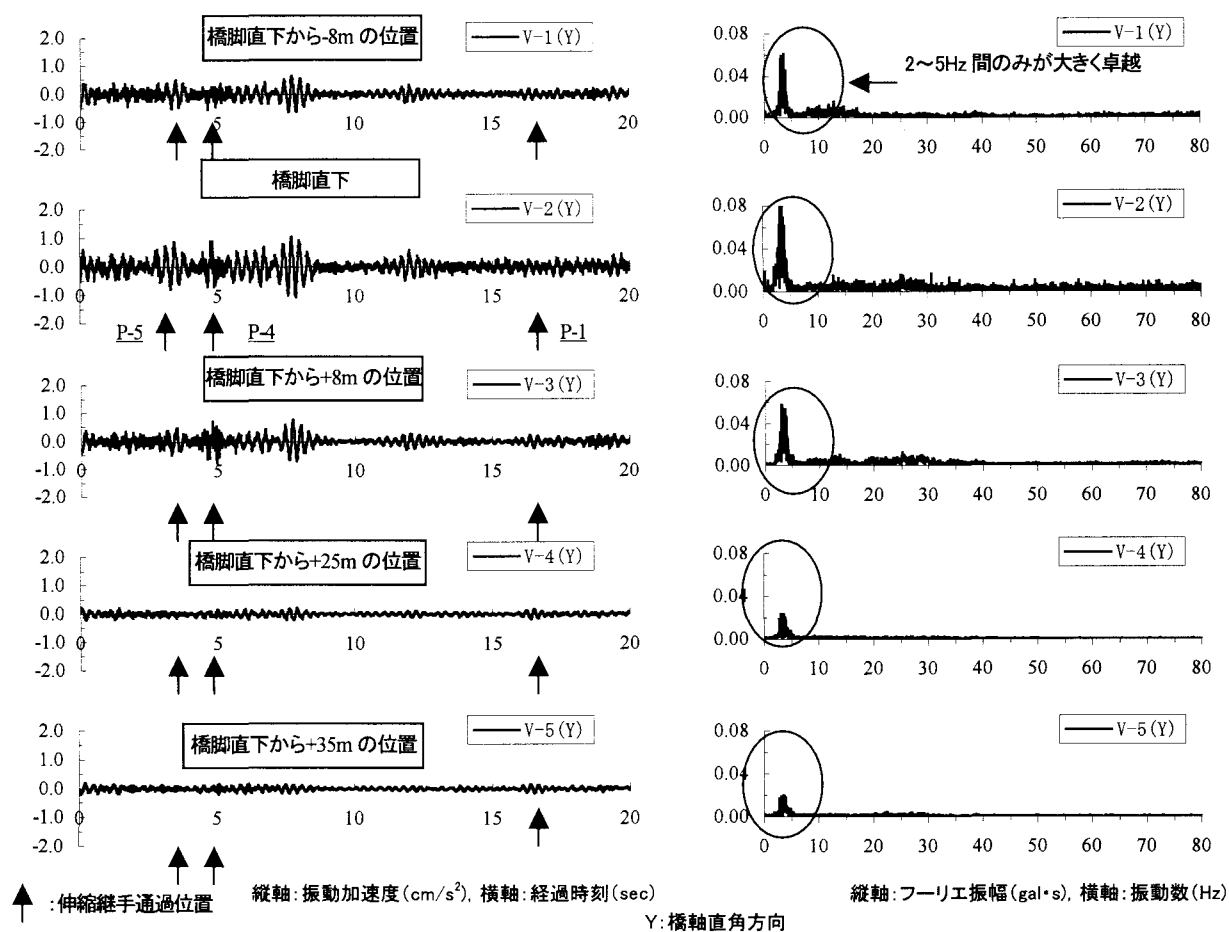


縦軸：フーリエ振幅(gal·s)、横軸：振動数(Hz)

図-4 スペクトル図(上部構造、下部構造)

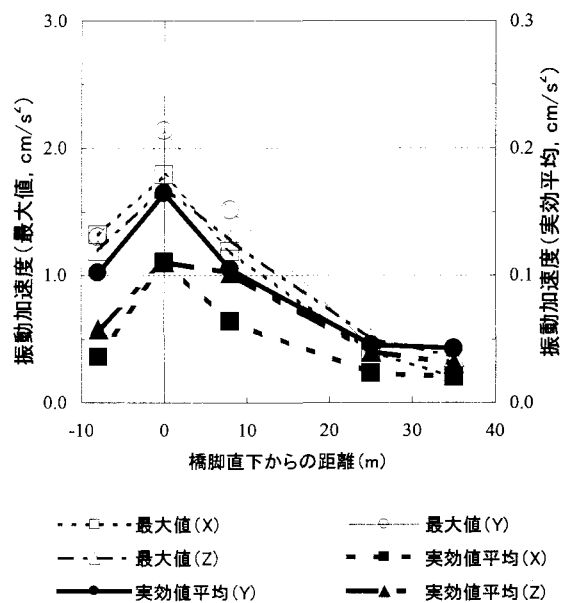
表-1 固有振動数と卓越振動数

対象	振動モード	固有振動数 (解析値)	卓越振動数 (測定値)
P-1～P-4	たわみ1次振動モード	1.314Hz	1.4Hz
P-4～P-5	たわみ1次振動モード	2.224Hz	2.4Hz
P-1～P-4	ねじり1次振動モード	2.548Hz	2.8Hz
P-4～P-5	ねじり1次振動モード	2.788Hz	2.9～3.1Hz
P-4	橋脚ロッキング振動モード	2.788Hz	3.1Hz
	車両ばね振動		3.3～3.5Hz



振動加速度波形の振幅の最大値と実効値の平均は、測定した方向別 (X, Y, Z 方向) に求めた。最大値と実効値を縦軸に、橋脚直下からの距離を横軸にして図化したものを図-7に示す。

図-5の振動加速度波形の図中に示した矢印 (↑) は、伸縮継手のある橋脚P-5, P-4, P-1を通過した経過時刻を示している (橋脚直下の測点 V-2(Y) の図中の矢印の脇にそれぞれの橋脚番号を記載している)。図-5の経過時刻5秒付近はP-4橋脚上を試験車両が通過した時刻であるが、加速度振幅の最大値は、いずれの測点も経過時刻7~8秒で発生している。この経過時刻7~8秒の時間帯の振幅は、橋脚P-5, P-4, P-1の伸縮継手を通過する際に発生する衝撃的な振幅よりも大きくなっている。



また、図-5 (右) に示したスペクトル図では、いずれの測点のスペクトル (橋軸直角方向) についても 2~5Hz 付近のみが大きく卓越しており、それ以外の振動数の卓越は認められない。

図-6は、図-5のV-3測点のスペクトル図を拡大した

ものであるが、2.8, 3.1, 3.5, 3.7, 4.0Hzの振動数にスペクトルの卓越が認められる。これらの振動数のうち2.8, 3.1Hzは表-1に示したように、P-1～P-4径間、P-4～P-5径間のねじり1次振動モードおよびP-4橋脚の橋脚ロッキングモードの卓越振動数と考えられる。

また、図-5の加速度波形の振幅は、橋脚直下が最も大きく、橋脚直下から距離が離れるにつれて順に小さくなっている。また、図-6のスペクトル図について、橋脚直下から±8mの位置では、2～5Hz付近のスペクトルのピークは、橋脚直下と比較して70%程度に小さくなっているが、橋脚直下から+25m, +35mの2地点では、ほぼ同等の距離(±8mと10mを比較)であるにも拘わらずスペクトルのピークの低減は小さいことがわかる。

次に、図-7は、測定した方向別(X, Y, Z方向)に求めた最大値と実効値の距離減衰の状況を示しているが、橋脚直下近傍だけでなく橋脚から25m以上離れた地点においても橋軸直角方向の振動振動加速度の最大値、実効値が他の方向の値より大きいことがわかる。

上記に述べたことをまとめて整理すると、橋軸直角方向(Y方向)の橋脚のロッキング振動モードを含む橋梁の挙動によって生じる地盤上の振動は減衰が小さく、離れた地点まで伝播しているものと考えられる。

3. 振動対策工

3.1 概要

往復4車線を持つ鋼2箱桁橋の場合、支承が梁先端部付近のみに設置されていることから車両が走行車線、追越車線のどちらを走行しても活荷重は梁先端部付近に載荷されることになる。このような活荷重をできるだけ橋脚柱中央部に載荷させ、上部構造のねじり振動モードや橋脚のロッキング振動モードを発生させるにくくすることで、橋脚周辺地盤の振動が低減される可能性があると考えられる。

そこで、このような着目点に基づいて振動対策工を検討することにした。

3.2 振動対策工の着目点

振動対策工の着目点を以下に整理する。

(1) 疑似支承工(図-8～図-10参照)

疑似支承工は、橋脚の梁先端部に生じる活荷重の影響を小さくすることを目的とする。

箱桁橋の端横桁部に活荷重に耐える程度の支承を設け、活荷重による支点反力を柱部に近い新設支承に移行させ、橋脚梁のたわみを小さくさせようとするものである。したがって、上部構造の死荷重は既設の支承で受け持つと考え、疑似支承は活荷重の一部を受け持つものと考えた。

また、鋼支承では、①すべり面となるテフロン板のクリープ変形があること、②回転への対応が難しいことから、ゴム支承または支承板支承(BP支承)の採用を検討した。

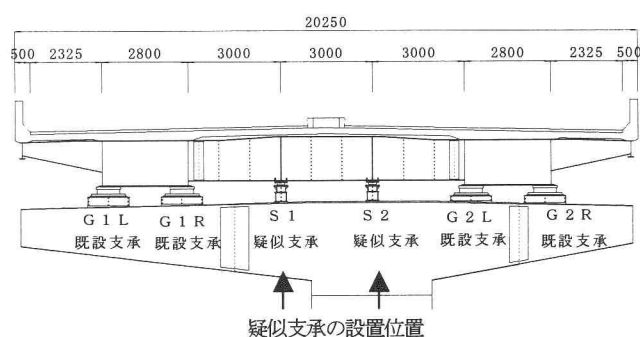


図-8 疑似支承の設置位置

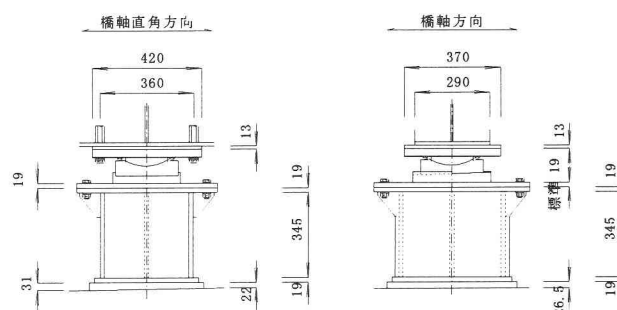


図-9 疑似支承、設置架台の一例

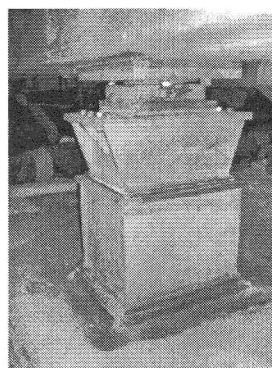
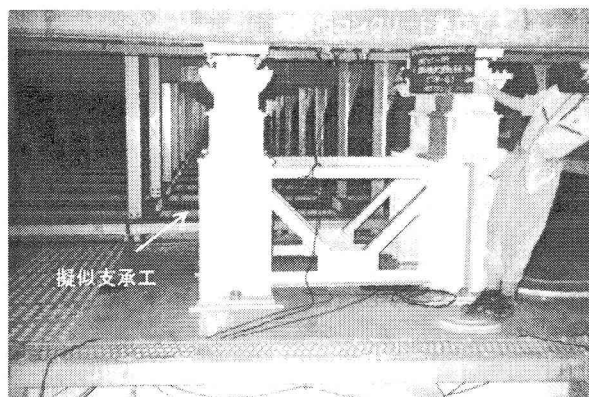


図-10 振動対策工

しかし、ゴム支承については、本対策工の目的である荷重分配効果が悪くなることから除外し、支承構造として、非常に実績の多い支承板支承を基本構造とした支承（高力黄銅支承板支承、B P-A 支承、支承反力 600～1000kN 程度）を採用することにした。

なお、疑似支承は比較的主桁間隔の広い 2 つの箱桁の端横桁下に 2 個以上設置するが、この場合車両の走行状態によっては片側の疑似支承に負反力が生じる場合があることから、設置時に負反力に対応するだけのプレロードを与えることにしている。

(2) 端横桁コンクリート巻立て工⁵⁾

端横桁コンクリート巻立て工は、車両が伸縮継手部を通過する際に生じる端部床版部、および端横桁部の衝撃的な振動（揺れ）が地盤振動のひとつの要因であることに着目し、端横桁に発生する衝撃的な振動の発生を抑制することを目的とする。

端横桁に生じる衝撃的な振動は、車両が伸縮継手部を通過する際に生じる衝撃荷重に対し、端横桁の剛性が不足していること、重量（質量）が不足していることを要因として生じている。これは、PC 箱桁橋のようなコンクリート箱桁橋の径間端部においては衝撃音が小さいことからも理解される。

また、コンクリート巻立てを実施することで端横桁の剛性を向上させることができ、上部構造のねじり振動モードの発生を抑制することの効果も期待できる。

端横桁の巻立て厚は下部構造の余裕耐力を考慮した上で、図-11 に示した FEM モデル（梁要素）によるシミュレーション解析（周波数応答解析）を行い、30cm（端横桁片面のみ）に決定した。設計上端横桁に必要とされる剛性は鋼部材のみで確保できていることから、コンクリート部材に配筋する鉄筋量としては最小鉄筋量（巻立て断面の 0.15%）を満足するものとした。また、剛性を向上させる上で端横桁の鋼部材とコンクリートが一体化しているこ

とが望ましいことから、端横桁のウェブにスタッドを設置し、より高い剛性を発揮できるよう考えた。さらに、巻き立てたコンクリート上部と既設床版は密着している方が衝撃力の緩和には効果的であることから、コンクリート上部については無収縮モルタルを施工し、既設床版と密着させることにした。

3.3 対策工の効果の予測

疑似支承工、端横桁コンクリート巻立て工を実施することによる振動の低減効果については、対策工事前にシミュレーション解析を実施し、その効果を予測している。解析対象は図-1 に示した橋梁で、解析モデルを図-11 に示す。

シミュレーション解析は、梁要素を使用した FEM モデルとし、周波数応答解析とした。解析における加振周波数は、図-4 にスペクトルの卓越が認められる 1～20Hz までとした。コンクリート巻立て工の場合、数 10Hz 以上の周波数帯での衝撃的な振動の軽減が想定されるが、ここでは上部構造のねじり振動モードの発生を抑制する効果についてのみ把握することを目的とした。また、加振力は鉛直方向（上下方向）に 10kN とし、全周波数帯一定とした。なお、着目点は、図-11 に示したように P-4 橋脚下端での橋軸直角方向の振動加速度とした。

シミュレーション解析では、疑似支承工、端横桁コンクリート巻立て工の各々について確認したが、各対策工実施により卓越する振動数のピークが移動するため、同一の周波数で応答を比較することができない。そこで、表-1 に示した 5 つの振動モードに着目して、それぞれの振動モードごとに応答値を比較し、それらの結果を平均して評価することにした。

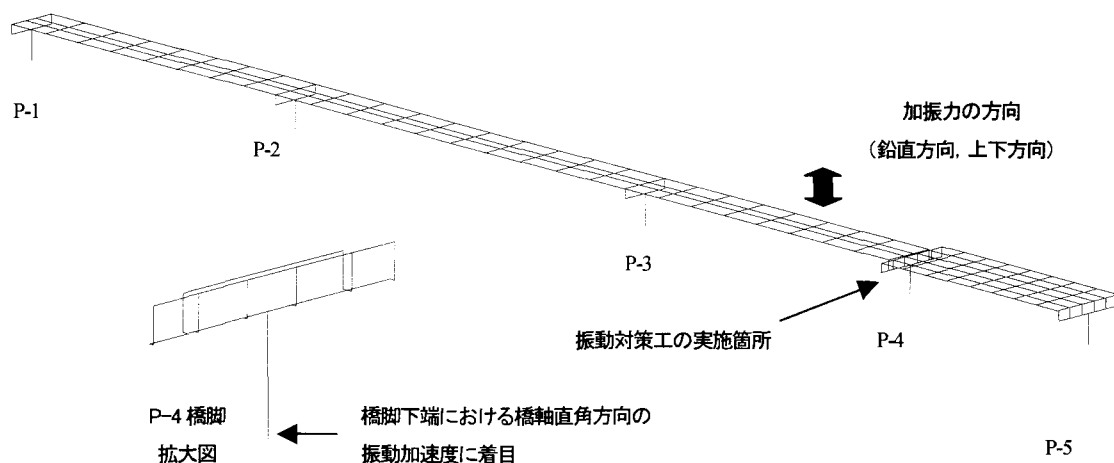


図-11 解析モデル

解析モデルについて、すべての橋脚の下端の境界条件は固定とした。

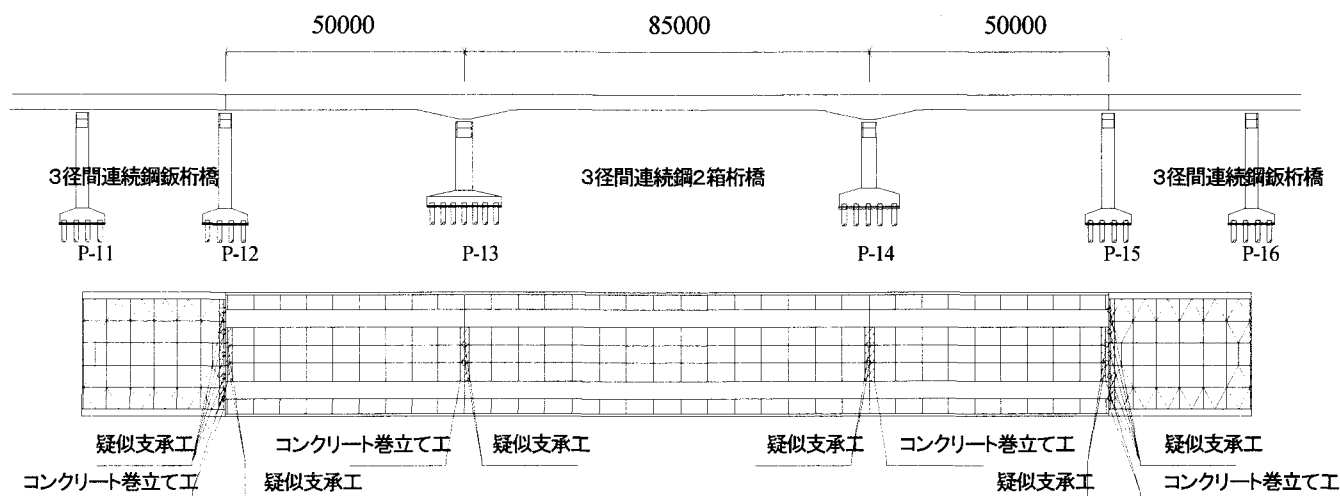
増加重量			振動加速度の 低減効果
鋼箱桁	鋼鉄桁	合計	
約10kN	約25kN	約34kN	

厚さ	増加重量			振動加速度の 低減効果
	鋼箱桁	鋼鈑桁	合計	
20cm	約69kN	約137kN	約206kN	-1. 5dB
30cm	約108kN	約206kN	約314kN	-2. 5dB

振動低減効果は、橋脚直下の振動加加速度の応答値で-1.5～-3.0dB 程度と考えられた。特に、橋脚のロッキング振動モード (2.788Hz) は、疑似支承工だけでなくコンクリート巻立て工によっても低減効果があることがわかった。

対象とした径間は、3径間連続鋼2箱桁橋を対象とし、その橋梁に隣接する3径間連続鋼桁橋の端横桁部も施

上部構造の振動特性は、試験車両通過時の振動特性について検討を行った。図-14に主桁の振動測点であるSV-1 (P-14~P-15間, G1桁)の振動加速度波形と周波数分析結果を代表例として示す。



- 465 -

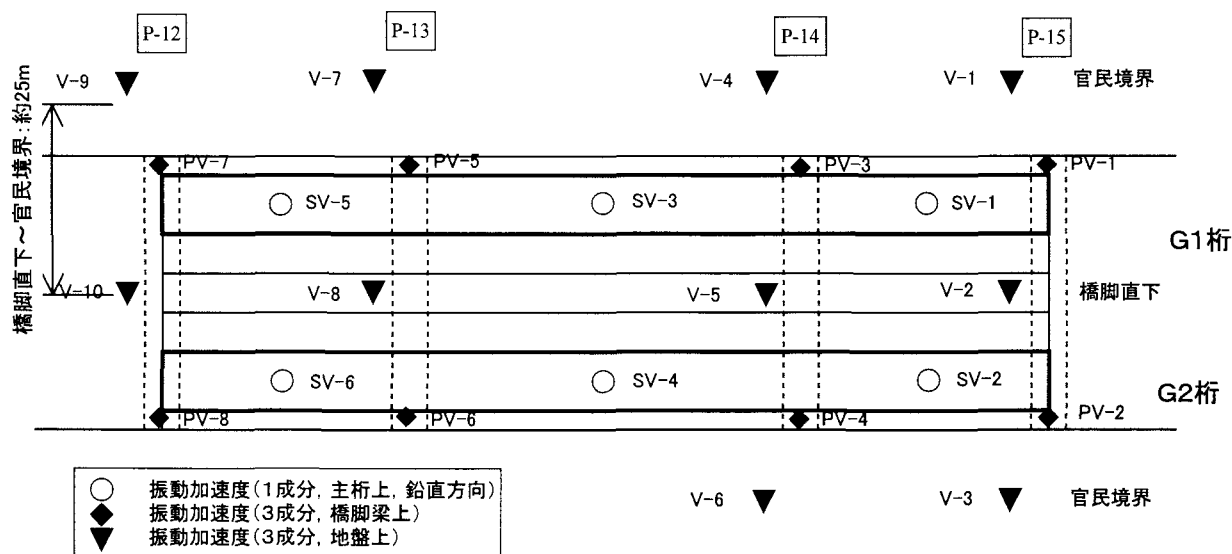


図-13 測点配置図

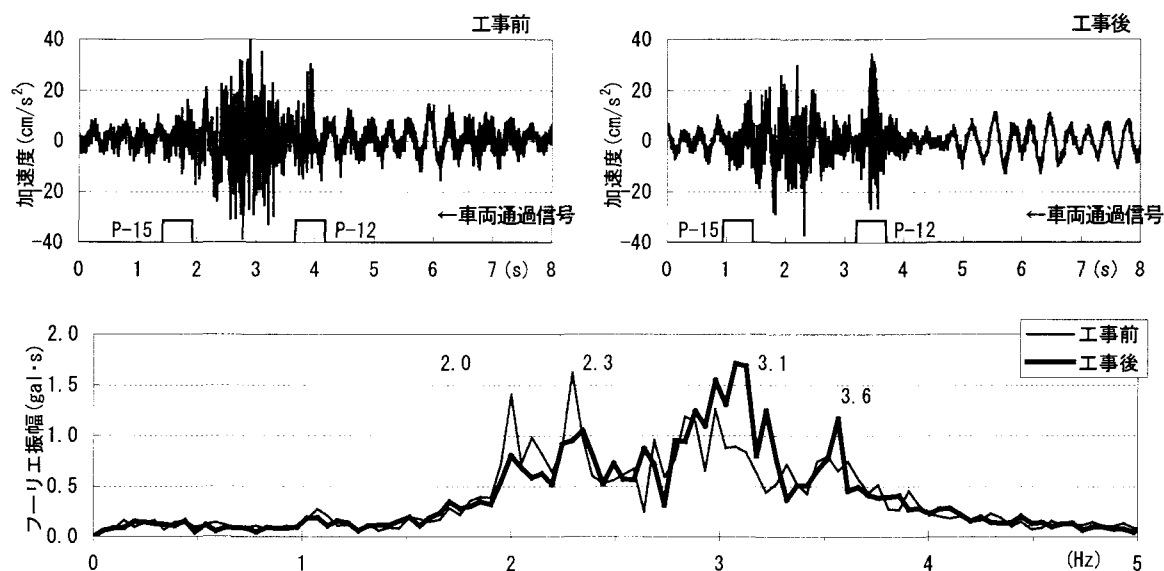


図-14 上部構造の振動特性の変化（振動加速度波形，スペクトル） 測点：SV-1（P-4～P-5間，G1桁）

SV-1 の振動加速度波形では、振幅には工事前後で大きな変化は認められず、 $\pm 30 \sim 40 \text{ cm/s}^2$ 程度の振幅となっている。スペクトル図では、2.0、2.3Hz のフーリエ振幅のピークが工事後に小さくなり、逆に3.1、3.6Hz のフーリエ振幅のピークが工事後に大きくなる傾向が認められる（図中の卓越振動数はいずれも工事後のもの）。

主桁に配置したそれぞれの測点の位相差からみて、2.0、2.3Hz はたわみ振動モード、3.1、3.6Hz はねじり振動モードと考えられる。これらは、いずれも側径間が卓越する振動モードである。

工事前後でスペクトルのピーク（卓越振動数）を比較すると、たわみ振動モード（2.0、2.3Hz）の卓越振動数には変化がなく、ねじり振動モード（3.1、3.6Hz）の卓越振動数は高い周波数に移行していることがうかがえる。

これらは、疑似支承工，コンクリート巻立て工の実施による変化と考えられるが、いずれの影響を強く受けているかは測定結果からは不明である。

（3）下部構造の振動特性

下部構造の振動特性についても、上部構造の場合と同様に、試験車両通過時の振動特性について検討を行った。

図-15に橋脚の振動測点である PV-3（P-14）の振動加速度波形（橋軸直角方向）と周波数分析結果を代表例として示す。

PV-3 の振動加速度波形では、振幅には工事前後で大きな変化は認められず、 $\pm 2 \text{ cm/s}^2$ 程度の振幅となっている。スペクトル図では、5Hz 以下の周波数帯では工事後のスペクトルのピークの方が小さくなっている傾向が認められるが、5～10Hz の周波数帯では逆に工事後の方がスペクトル

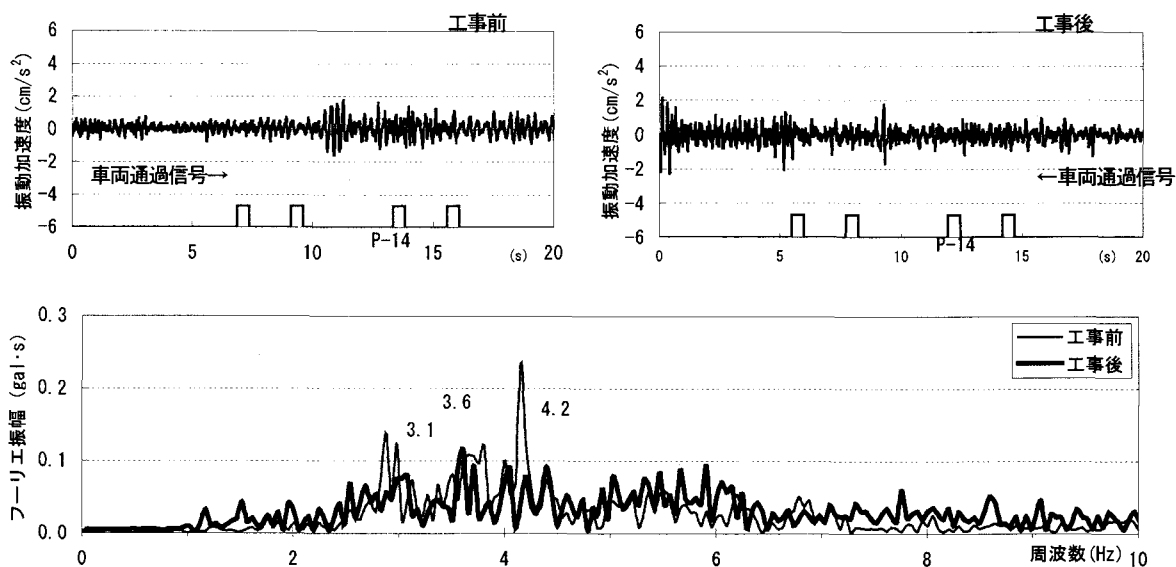


図-15 下部構造の振動特性の変化（振動加速度波形，スペクトル） 測点：PV-3（P-14橋脚梁上，橋軸直角方向）

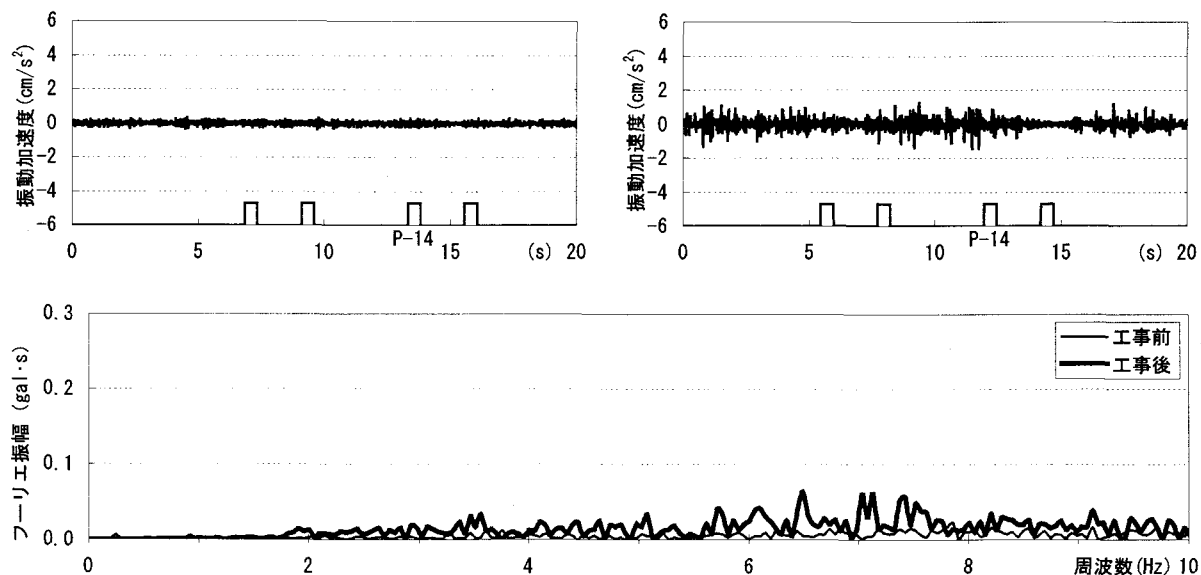


図-16 下部構造の振動特性の変化（振動加速度波形，スペクトル） 測点：PV-3（P-14橋脚梁上，橋軸方向）

ルのピークは大きくなっている。

橋軸直角方向の振動特性の変化を詳細に見ると，工事前において卓越していた2.9, 3.0Hz（工事後3.1Hz），3.6～3.8Hz（工事後3.6Hz），および4.2Hz（工事後4.2Hz）のフーリエ振幅のピークが小さくなっている。

また，橋脚では上部構造のたわみ振動モード（2.0, 2.3Hz）の周波数のスペクトルのピークは低く，ねじり振動モード（3.1, 3.6Hz）の周波数のスペクトルが卓越して現れている。

橋脚がT型橋脚の場合，上部構造の支点が3次元的に挙動することから，上部構造の剛性を変化させると下部構造の挙動までが変化することになると考えられる。

また，図-16にPV-3（P-14）の振動加速度波形（橋軸方向）と周波数分析結果を代表例として示す。

PV-3の橋軸方向の振動加速度波形は，橋軸直角方向の場合と異なり，工事後の振幅は大きくなっている。また，

スペクトル図では，大きく卓越するピークは認められないが，全般的に工事後の方がフーリエ振幅は大きくなっている。

これは，以下のような現象が生じたためであると考えられる。

鋼製支承は，弾性支承と比較して上支承と下支承間の摩擦が大きいため，車両走行時の微小変位振幅レベルでは，上支承と下支承間のすべりが発生しにくい状態となっている。つまり，支承部での水平挙動が拘束されているような状態となっている。

このように，支承部ですべりが生じにくい状態において，上部構造に上下方向の振動挙動（たわみ振動モード，ねじり振動モード）が生じた場合，橋脚を橋軸方向に振動させることになる（スウェイ振動を生じさせる）。これは，主桁の中立軸と支承の高さが異なるために，上部構造のたわみ，振動変位によって主桁に中立軸を中心とした回転が生

じ、その結果として支承部では橋軸方向の挙動が生じるためである。

したがって、このような橋脚天端位置における橋軸方向の挙動（スウェイ振動）によって、橋脚直下では橋軸方向の地盤振動が生じていると考えられる。

ここで、弾性支承の場合は鋼製支承の場合と異なり、支承部における水平方向の挙動の拘束は小さく、支承部に橋軸方向の挙動が生じた場合でも、橋軸方向の変位は橋脚には伝わらず、弾性支承の変形によって吸収される。

このため、橋脚天端位置における橋軸方向の挙動の発生は小さく、その結果として橋脚直下における橋軸方向の地盤振動の発生も小さいものとなっている。

上記に示した支承形式の差異による現象の違いは、鋼製支承を弾性支承に取り替えた際の振動の発生状況や橋脚の変形状態を測定した調査結果から得られたものである^{6), 7)}。

今回の調査結果が示している振動の性状は、上記に示したような鋼製支承から弾性支承への変更に伴って発生している「橋軸方向の挙動が大幅に小さくなる」といった現象と反対の状況となる「橋軸方向の挙動が大きくなる」といった現象を示していることから、追加して設置した疑似支承によって橋軸方向の挙動が制限されたものと推定される。

このことから考えて、上部構造のたわみ振動モードの卓越振動数のピークが小さくなっている状況は、橋軸方向のすべりを制限する疑似支承（B P-A 支承）による影響と推定される。

（４）上下部構造の振動特性の変化

工事前後の上下部構造の振動特性を比較すると、上部構造ではたわみ振動モードの振幅が小さくなり、ねじり振動モードの振幅が大きくなっている。しかし、橋脚においては橋軸方向については、工事後の方が振幅は大きくなっているが、橋軸直角方向はねじり振動モードの周波数帯の振幅が全般的に小さくなっていることがわかった。

4. 4 調査結果（一般車走行測定）⁸⁾

（１）概要

一般車走行測定は、一般車両が走行する状態での地盤振動を測定し、振動低減対策工事前後の比較を定量的に行うために実施したものである。

測定は、橋脚直下、および官民境界の位置で3方向の地盤振動を測定し、振動レベルの統計処理値を求めた。測点配置図を図-13に示す。なお、測定は20:00～翌8:00の連続で実施したが、分析にあたっては毎正時から10分間の測定結果12回分のデータについての統計処理値を算出し、交通量測定結果と比較しながら整理を行った。

（２）調査結果

表-4に工事前後における鉛直方向の振動レベル(L10)（12時間平均値）を、図-17に大型車換算交通量（等価交通量）と振動レベル（L10）の相関図を示す。

各官民境界の鉛直方向で発生している振動レベルは、-1.8～0.4dB となっており、P-12 橋脚を除いて振動レベルは小さくなっている。また、工事前後で交通量が異なり、工事後の方が交通量は多くなっていることから、橋梁上を走行する交通量を横軸に、縦軸に振動レベルをとり、相関を求めた。

図-17の工事後の近似直線は、工事前のものと比較して下に位置している。このことから判断して、対策工事の前後で、振動レベルは低下する傾向が認められ、振動対策

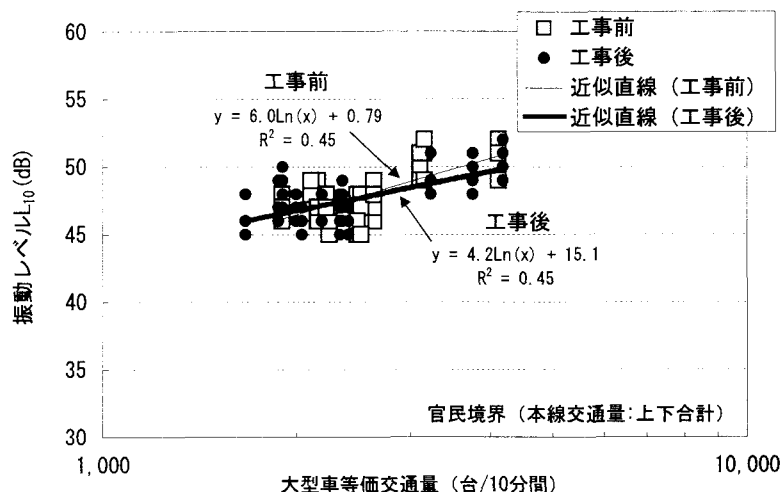


図-17 大型車等価交通量と振動レベルの相関分析結果

表-4 振動対策工の低減効果（振動レベルL₁₀の工事前後比較）

（単位: dB）

		鈑桁橋	3径間連続鋼箱桁橋			鈑桁橋
		P-12	P-13	P-14	P-15	
官民境界	工事前	47.1	48.1	46.8	48.8	
	工事後	47.5	47.3	46.5	47.0	
	増減	0.4	-0.8	-0.3	-1.8	

工による振動低減効果が現れているものといえる。

したがって、鉛直方向については、工事後において若干ではあるが振動レベルのピーク値が減少していることが確認できた。

5. まとめ

地盤振動を低減される対策として、T型橋脚のロッキング振動に着目し、検討を行った。

まず、本研究ではT型橋脚周辺の地盤振動の振動特性について明らかにした。また、この検討結果から、T型橋脚のロッキング振動は、上部構造の挙動に影響を受けるため、梁部先端に載荷されている活荷重を柱上に近い位置に荷重分配させること、上部構造のねじり剛度を向上させることが重要であることがわかった。

そこで、このような挙動に対応する対策として疑似支承工、端横桁コンクリート巻立て工を採用することにした。

以下に、本研究により得られた知見を示す。

- ① 疑似支承工、端横桁コンクリート巻立て工を採用した振動軽減対策工では、橋脚直下から約25m離れた位置にある官民境界において約1dBの振動低減効果が認められた。
- ② 疑似支承工は、上部構造のたわみ振動モードの振幅を小さくすることがわかった。
- ③ 疑似支承工は、下部構造の橋軸方向の振幅を大きくするが、この影響は周辺地盤の鉛直方向の振動には影響を与えていないことがわかった。
- ④ 対策工の実施により、上部構造のねじり振動モードの卓越振動数が高い振動数に移行し、振幅が大きくなる。しかし、この影響は橋脚の振動には現れていない。
- ⑤ 橋脚のロッキング振動モードの発生は、疑似支承工、コンクリート巻立て工により抑制されている。

実橋での調査結果から、上部構造に対して橋軸方向の拘束を加えると鉛直方向の振動が低減することがわかった。

これは、支承部で拘束を受けることで橋脚の橋軸方向の曲げ剛性が上部構造の変形、振動を抑制する方向に寄与するためと推定される。

このような支承部における作用は、本来の支承に求める

機能とはいえない。しかし、上部構造の振動によって生じる地盤振動の抑制作用といった特性については、更に検討を行っていく必要があると考えられる。

また、実橋では上部構造、下部構造の単独の振動特性だけでなく、相互の作用により振動特性が変化する。したがって、振動対策の検討にあたっては、上部構造と下部構造を合わせた橋梁全体の挙動を把握した上で慎重な採用が必要ではないかと考えられる。

今後は、これらの対策工について、車両走行による動的応答シミュレーションを行い、各部の挙動と各対策工の効果について明確にしていきたいと考えている。

参考文献

- 1) 梶川康男：橋梁環境振動，橋梁振動コロキウム'97 97 論文集，pp. 71-76，1997. 10.
- 2) 薄井王尚，田中浩，菊池正庸：橋脚の挙動とその周辺地盤での振動特性，橋梁振動コロキウム'01 論文集，pp. 161-166，2001. 10.
- 3) 横山功一，井上純三，伊関英彦：高架道路の交通振動特性と振動軽減対策に関する実測調査，土木技術資料，Vol. 30，No. 4，pp. 41-46，1988.
- 4) 杵本正信：橋梁交通振動の加振源対策，橋梁交通振動に関するコロキウム論文集 PART A，pp. 109-119，1995.
- 5) 佐藤弘史，澤田憲文，今野久志，長尾彰洋：高架橋の桁端部補強による道路交通振動の軽減対策，土木技術資料，Vol. 37，No. 5，pp. 58-63，1995.
- 6) 薄井王尚，徳永法夫，川谷充郎，西村昂：ゴム支承化による橋梁交通環境振動への影響に関する実験，土木学会年次学術講演会講演概要集第7部，Vol. 52，pp. 148-149，1997.
- 7) 薄井王尚，徳永法夫，西村昂，松井繁之：高架道路の弾性支承化と交通振動に関する研究，土木学会年次学術講演会講演概要集第7部，Vol. 53，pp. 404-405，1998.
- 8) 中野正義，宇野巧，田中浩：都市高速道路における新橋梁振動対策の効果について，土木学会年次学術講演会講演概要集第1部，Vol. 57，I-575，2003.

(2004年9月17日 受付)