

高力黄銅支承板 (BP) 支承からゴム支承への 取替えに対する有益性に関する一考察

徳永 法夫¹・吉川 実²・川北 司郎³・山本 豊⁴

¹正会員 阪神高速道路公団 保全施設部 (〒541大阪市中央区久太郎町4-1-3 大阪センタービル)

²正会員 阪神高速道路公団 神戸第一建設部 (〒650神戸市中央区新港町16-1)

³正会員 阪神高速道路公団 計画部 (〒541大阪市中央区久太郎町4-1-3 大阪センタービル)

⁴正会員 株式会社フジエン지니어リング 調査設計部 (〒532大阪市淀川区東三国4-13-3)

既供用の連続高架橋において、鋼製のBP支承の代替えとしてゴム支承を導入するに当たり、支承機能およびゴム支承化に伴い懸念される桁端段差の発生の有無、騒音振動の増減について、調査、実験し考察した。その結果、既設BP支承は古く管理状況が悪かったため支承としての機能をほとんど有していなかったが、ゴム支承化により設計通りの機能を有することが確認されるとともに、ソールプレート近傍下フランジの疲労損傷の発生原因に関する知見が得られた。桁端段差の発生についてはゴム支承の圧縮変形で桁端部のはね上がりを吸収する方向に作用することが解った。また、ゴム支承交換前後における騒音及び振動レベルには有意な差は認められなかった。

Key Words : bridge support, plate bearing, rubber bearing, noise and vibration

1. まえがき

高力黄銅支承板支承 (以下、BP支承という) は接触面の一方を平面、他方を円柱面あるいは球面として支承板上を上沓および下沓とそれぞれ面接触して、平面接触部でのすべりで伸縮を、曲面接触部でのすべりで回転を逃がす支承である。

しかし、経年変化とともにすべり面へのさびや塵芥の堆積等により、活荷重や温度変化等の変動に追従すべきすべり面が滑動せず、桁の移動を拘束して既設の桁に応力が蓄積され、これが異常音の発生やガセットプレート、下フランジ等の橋梁の損傷に影響を与えていることが明らかになっている。特に、ソールプレート近傍主桁下フランジに疲労損傷が発生する事例が近年報告されている^{1)~4)}。

このように機能が低下した支承は、従来、同型式の支承に取り替えるのが一般的であった。しかし、同型式の支承に取り替えられた支承の機能回復程度については、取替え前よりは改善されるものの十分ではなく、ソールプレート近傍主桁下フランジ橋軸方向ひずみについては、取替え後もほとんど低減されない⁵⁾と報告されている。

そこで、この改善策の一つとしてゴム支承の導入

を図った。ゴム支承は、薄いゴムを積層した単純な構造とすることで上部構造の荷重を支持しつつ、温度変化などによる桁の伸縮や活荷重による桁の回転をゴムの弾性変形で吸収するため機械的な摺動部が無く、しかも潤滑や清掃等のメンテナンスを必要としないメリットがある。さらに、鋼製支承は衝撃的な地震力に弱いのに対し、ゴム支承は鉛直荷重に対する弾性支持によって反力の均等化が図られ、また、連続桁の水平荷重に対する弾性支持によって、常時不静定力、地震時慣性力の低減や均等化が可能となるなどのメリットが報告されている⁶⁾。

しかし、ゴム支承の機能の面で十分解明されていない点もある。例えば、温度変化による桁、脚の移動、支承の変形、供用時の桁、脚の移動量、桁端段差、支承取付部付近の主桁応力、支承取り替えに伴う騒音振動の低減度合いなどである。

本論文では、既設のBP支承の代替えとしてゴム支承を導入するに当たり、次の項目に着目した支承交換前後の調査を行い、ゴム支承化の有益性について考察した。

- ① ゴム支承が支承としての基本的機能を有していること (主として可動性)
- ② ゴム支承化に伴い懸念されている問題の発生の

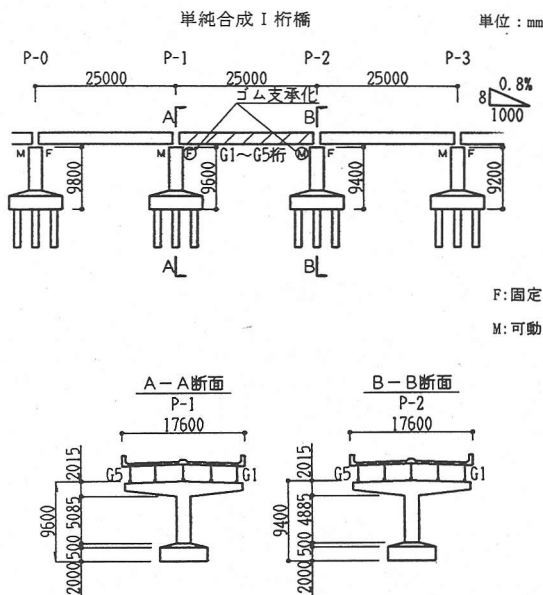


図-1 調査対象橋梁 (側面図・橋脚図)

表-1 ゴム支承の設計条件

	固定 (Fix)	可動 (Mov)
死荷重【R _d 】	45.0tf(441kN)	45.0tf(441kN)
活荷重【R _L 】	45.0tf(441kN)	45.0tf(441kN)
【1.25×R _L 】	55.0tf(539kN)	55.0tf(539kN)
最大反力【R _{max} 】	110.0tf(1079kN)	110.0tf(1079kN)
温度による伸縮量【δ】	0.0mm	12.5mm

可動, 固定の違いは, 橋軸方向移動制限装置の形状のみで, 可動側は温度変化による伸縮量を確保できるように製作されている。

有無, 程度 (主として桁端の段差)

- ③ ゴム支承化により期待される付加的効果 (構造物の疲労応力の改善, 騒音振動の低減)

2. 調査対象橋梁

試験施工として, 図-1 に示す同一径間の単純桁が連続する高架橋のうちP1-P2間に着目してそのBP固定沓および可動沓のゴム支承化を行った。なお, 支承の交換はG1~G5桁(P1-P2)全てについて行い, 隣接桁の支承は交換していない。

3. 支承改良工事の概要

支承の改良は, 写真-1 に示すように既設のBP支承を積層ゴム支承に交換した。

交換した積層ゴム支承の設計条件を表-1に, 構造図を図-2に示す。

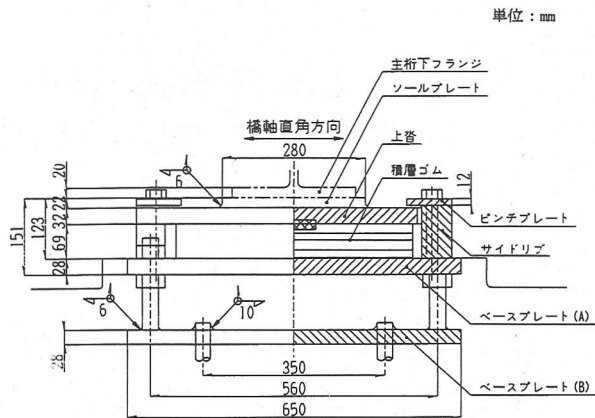
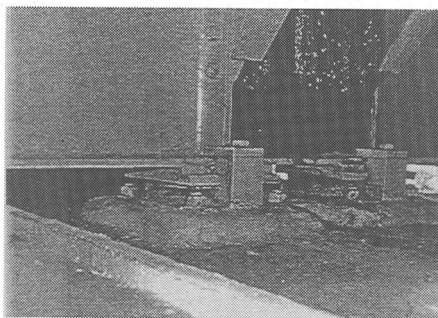


図-2 ゴム支承の構造図

交換前 (BP支承)



交換後 (ゴム支承)

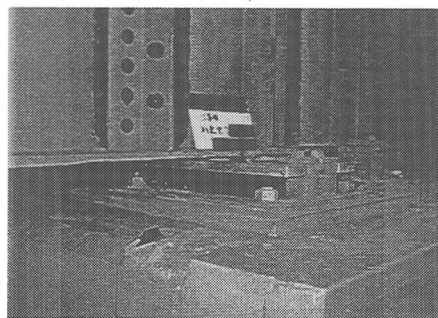


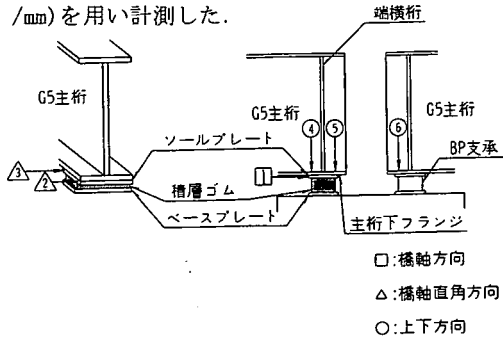
写真-1 BP支承からゴム支承への交換

4. 計測概要

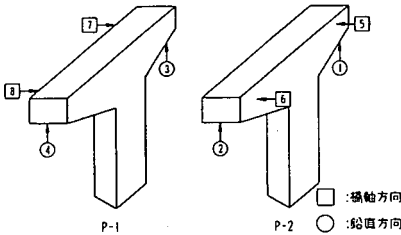
(1) 測定項目および測定位置

計測は, 支承の可動性に着目した桁および橋脚の変位測定 (水平方向, 上下方向), 主桁応力の変化 (特にソールプレート近傍) に着目した主桁下フランジのひずみ測定, 環境改善効果に着目した騒音振動測定を実施した。また, 温度変化に対する支承の可動性を把握するために外気温, 橋体温度の測定も行った。

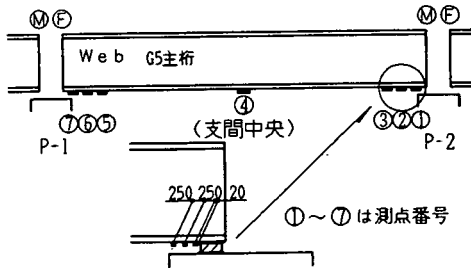
①桁移動量（橋軸方向，橋軸直角方向，上下方向）
橋脚を不動点とし，高感度変位計（感度： 100×10^{-6} /mm）を用い計測した。



②橋脚変位（橋軸方向，上下方向）
地盤を不動点とし，高感度変位計（感度： 100×10^{-6} /mm）を用い計測した。



③主桁ひずみ（ソールプレート脇，径間中央）
自己温度補償型ゲージを用い計測した。



④温度（外気温，桁温）
熱電対を用い，外気温については主桁ウェブから500mm離れた位置で計測した。

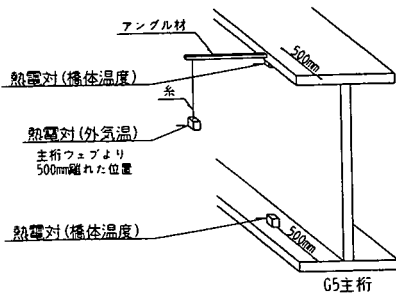


図-3 測定位置 (1)

測定項目および測定位置を図-3および図-4に示す。

⑤騒音（橋脚上）・振動（橋脚脇）
普通騒音計および振動レベル計を用い計測した。

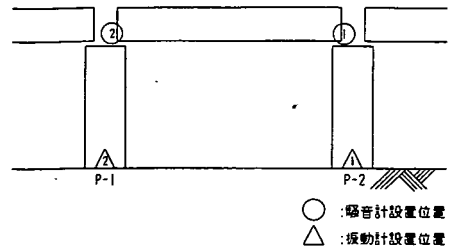


図-4 測定位置 (2)

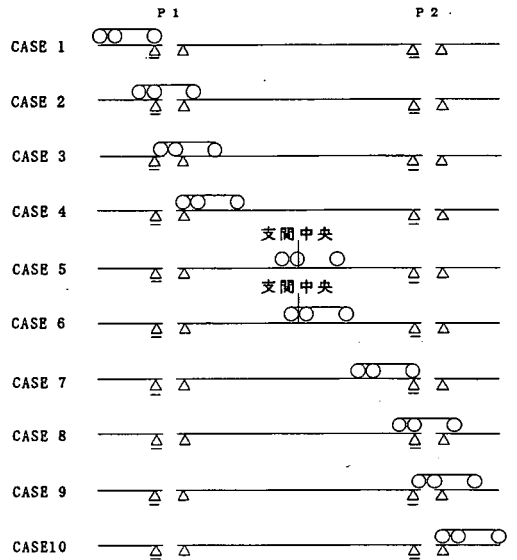


図-5 静的荷重ケース

(2) 荷重方法

a) 静的荷重

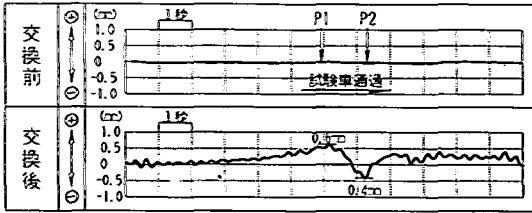
静的荷重試験は，夜間の交通量が少ない時間帯（深夜0:00~3:00）に試験車（20tf（196kN）に調整したダンプトラック）を用いて，G5桁側車線で実施した。荷重位置は，主桁に対して厳しい荷重条件となる左車輪位置が外桁（G5桁）上になる場合とした。

荷重ケースは図-5に示すとおり，CASE1-前輪がP1橋脚可動側(M)支承上となる場合，CASE2-後輪前軸がP1橋脚可動側(M)支承上となる場合というように少しずつ橋軸方向に荷重位置を変化させ，支承上付近で8ケース，支間中央付近で2ケースとした。

b) 動的荷重

試験車（20ton）を用いた走行試験を，静的荷重試験同様，G5桁側車線において走行速度60km/hで実施した。

試験は測定対象箇所（P1~P2）において試験車以



(試験車走行…G5桁可動側の橋軸方向水平変位)
 図-6 支承変位波形例

外の車両が走行することを考慮して走行回数は5回とし、そのうち単独走行時のデータを用いて支承交換前後の比較を行った。

c) 一般車走行

支承の桁伸縮に対する追従性を把握するため、24時間連続測定を実施した。また、24時間帯の一般車を対象として騒音振動レベル測定を行い、支承交換前後の比較を行った。

5. 計測結果

(1) 変位量

支承交換前は、可動側(P2側)固定側(P1側)ともB P支承であったが、改良工事により両側ともゴム支承(可動、固定の配置は交換前と同じである)に交換されている。変位量の計測は、支承変位(主桁下フランジの水平変位・鉛直変位を計測)、橋脚梁先端の水平(橋軸方向)変位・鉛直変位に着目して行った。以下に、項目ごとに計測結果を示す。

a) 支承水平変位

図-6に試験車走行時の可動側支承(P-2側)における橋軸方向変位の応答波形を示す。なお、図中の応答波形は、波形の衝撃的成分を取り除くため、5Hzのローパスフィルターを介している。

支承の水平(橋軸)変位は、支承交換前はほとんど変位がみられなかったが、支承交換後には可動側、固定側とも全振幅で1.0mm程度の変位が確認され、交換後のゴム支承では活荷重の荷重に追従して挙動している。

図-7には静的載荷試験における支承の橋軸方向の可動状況を示している。支承交換後は試験車をP1側付近に載荷した場合、P1側の支承は桁が縮む方向に変位し、P2側の支承は桁が伸びる方向に変位している。試験車をP2側に載荷した場合はその逆であった。これは、桁および橋脚の変位計測結果から、図-8に示すような橋脚の倒れに伴う上部工全体のずれに起因するものと考えられる。またスパン中央に載荷した場合は、固定側のP1の支承変位は小さい

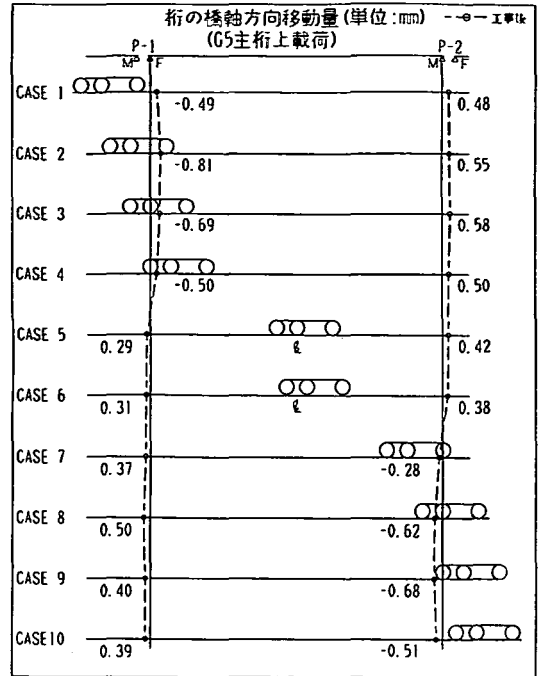


図-7 静的載荷試験における支承変位状況(橋軸方向)

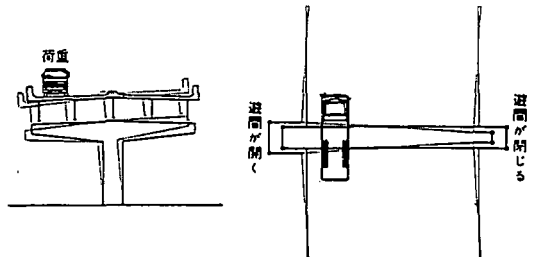


図-8 橋脚の倒れによる桁端の変位

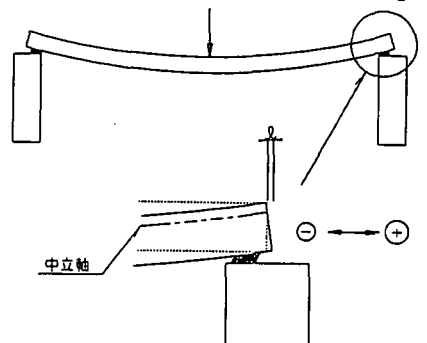


図-9 桁のたわみによる支承変位

ものの両側とも支承は桁が伸びる方向に変位している。これは、図-9に示すように、桁のたわみ(回転)により桁が伸びる方向に支承変位が生じているためである。なお、このときの橋脚の倒れ量はP1、P2ともほぼ均等で小さく、橋脚の倒れによる橋軸方向変位への影響はほとんどないものと考えられる。

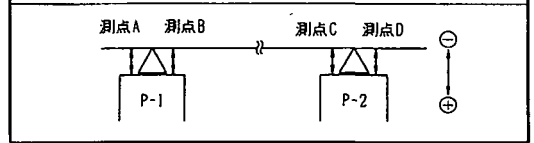
表-2 温度変化と支承移動量

	交換前	交換後
最高桁温(下フランジ)	31.8℃	28.5℃
最低桁温(下フランジ)	27.6℃	23.8℃
日変化	4.2℃	4.7℃
橋軸方向移動量 ()内は設計値	0.115mm (1.26 mm)	1.025mm (1.41 mm)

表-3 スパン中央載荷時の桁鉛直変位 (mm)

	測点A	測点B	測点C	測点D
交換前	-0.06	0.05	0.07	-0.10
交換後	0.03	0.17	0.18	0.03

測点配置



交換前

交換後

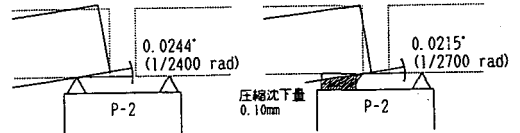


図-11 支承の回転変位状況

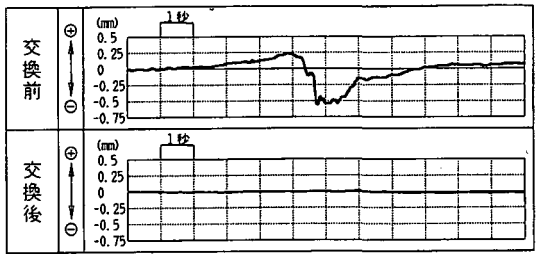


図-12 P2橋脚(可動側)変位の応答波形(橋軸方向)

表-3の測点A, BおよびC, Dの平均値を支承自体の圧縮変位と考えると, ゴム支承自体の圧縮変位は0.1mm程度と小さく, 単純にこの変位量が段差になると考えても影響を与える値ではないものと思われる。

また, 表-3のP2(可動側)の変位差から回転角を求めると, 交換前...0.0244° (1/2400 rad)
交換後...0.0215° (1/2700 rad)

となり, 支承の回転角はほとんど変化していない。(図-11参照)

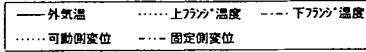
支承の回転角の変化がほとんどないこと, および支承交換後にはゴム自体が圧縮されることから, 桁端部のはね上がりによる段差は相殺され, 隣接桁との段差はほぼ0となっている。

c) 橋脚変位

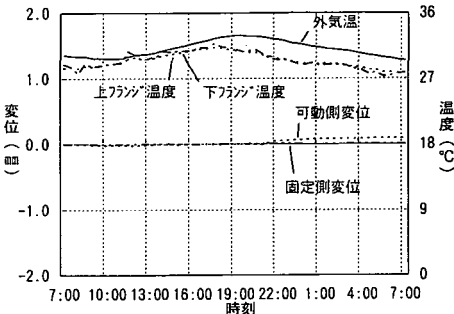
試験車走行時における橋脚変位の一例として, 水平変位(橋軸方向)の応答波形を図-12に示す。図はG5桁(外桁)の可動側の橋脚変位を表したもので, +変位は橋脚が車両の進行方向側に倒れる方向の変位, -変位はその逆を示す。

図からわかるように, 支承交換により橋脚の水平変位はほぼ0に減少している。このことは, 支承交

凡例



交換前



交換後

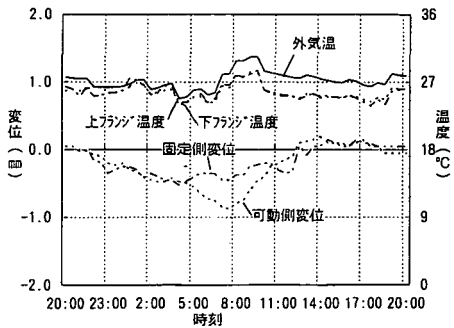


図-10 支承変位の24時間経時変化

表-2, 図-10は, 温度変化に伴う支承変位の計測結果を示している。

支承交換前後の桁温度の日変動は4.2℃~4.7℃程度で, 交換前のB P 支承の橋軸方向変位は0.1mmとほとんど追従していなかったが, ゴム支承への交換後は設計値に近い移動量を示している。ただ, 温度変化どおりに移動量が追従しないのは, 桁温度の測定位置が日陰であったため, 日照による床版温度変化の影響の方が大きかったものと推測される。

b) 支承鉛直変位(支承の回転および桁のはね上がり)

試験車のスパン中央載荷時における支承を挟んだ両側の主桁鉛直変位を表-3に示し, これらから支承自体の圧縮変位および回転角を求めた。

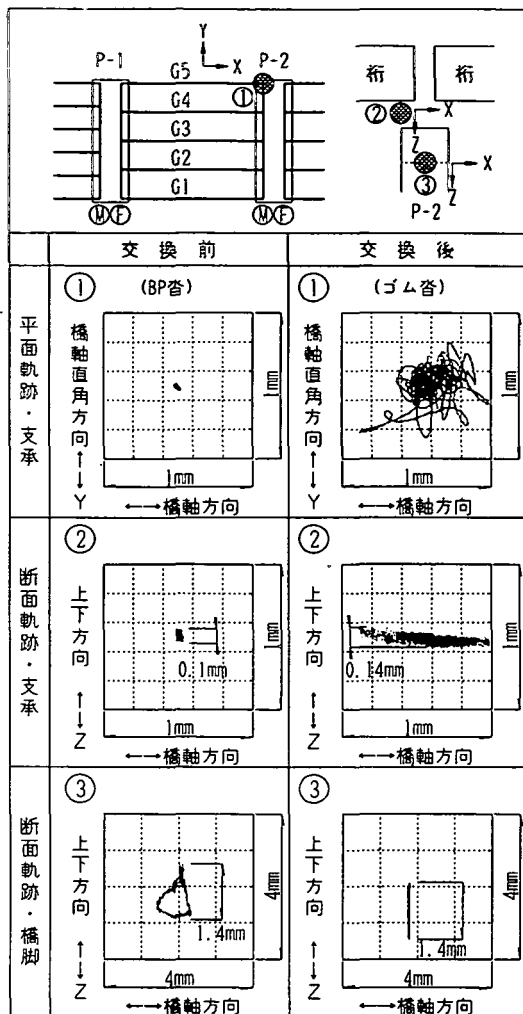


図-13 支承および橋脚の挙動軌跡

換前にはBP支承の機能障害により橋脚に水平力が作用していたが、ゴム支承への交換によりこれらの作用力はゴム支承の弾性変形で吸収されていることを示している。

d) 支承および橋脚の質点の挙動軌跡

試験車走行におけるP2側（可動側）の支承および橋脚の挙動軌跡を図-13に示す。

図-13の①に示すように、支承交換前のBP支承はほとんど可動していないが、交換後のゴム支承は平面的に揺れ動いている様子がよくわかる。この支承交換後の平面的な動きは、a)項で述べたように載荷位置の違いにより桁と橋脚の動きが複雑に変化するためと考えられる。

図-13の③では交換前のBP支承が橋軸方向に可動していなかったため橋脚に水平力が作用し橋脚が橋軸方向に変位していたが、交換後はゴム支承が

表-4 静的載荷による主桁応力（試験車20tf(196kN)）

		交 差 部									
		CASE 1	CASE 2	CASE 3	CASE 4	CASE 5	CASE 6	CASE 7	CASE 8	CASE 9	CASE 10
測点	①	-4.5	-3.6	-4.1	-5.8	-2.41	-1.9	-1	11.0	12.6	12.1
	②	-1.6	-1.1	-1.1	-1.8	-1.1	-1.1	6.8	1.1	1.0	5.3
	③	-5	-2	-5	-11	-11	-11	19	100	1.1	6.0
	④	2	1.9	1.4	1.7	1.40	1.9	2.9	3	2	0
	⑤	4.2	8.2	9.0	10.0	-8	-1.8	-2.1	-1.6	-1	-1.4
	⑥	4.4	8.4	9.5	9.6	-8	-1.8	-2.8	-1.9	-1.1	-1.2
	⑦	12.1	1.45	1.21	1.79	-1.52	-1.60	-9.2	-4.5	-8.7	-3.5

注：+：引張、-：圧縮
CASE 1~4：P1支承付近の観測
CASE 5~8：スパン中央付近の観測
CASE 9~10：P2支承付近の観測

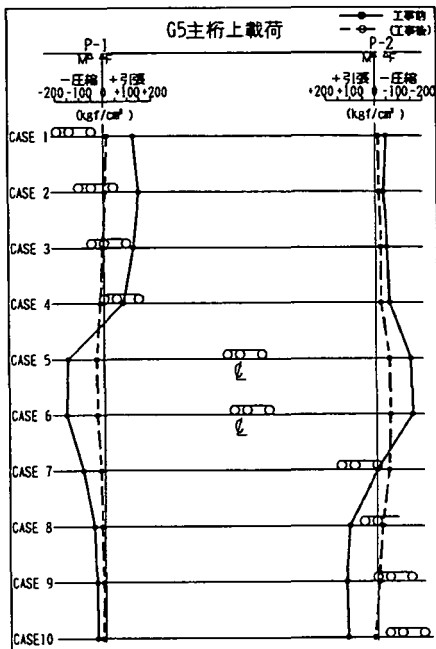


図-14 桁端部の応力変化 (SOLE-20mm)

滑らかに弾性変形し橋脚の水平変位量（橋軸方向）は減少していることがわかる。また、図-13の②③をみると、桁端部、橋脚梁先端の鉛直変位は、桁端部（支承部）0.1mm程度、橋脚梁先端 1.4mm程度で、支承交換前後でほとんど変わっていない。

(2) 主桁応力

ひずみ測定値に弾性定数 $[2.1 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2 (2.06 \times 10^{11} \text{ Pa})]$ を乗ずることにより主桁応力を算出している。各静的載荷ケースでの主桁応力を表-4に、ソールプレートからスパン中央側へ20mmの位置（測点①、⑦ 図-3参照）での主桁応力を図-14に示す。全体的に、支承交換後の主桁応力は交換前に比較して小さくなっている。特に、他測点に比較して大

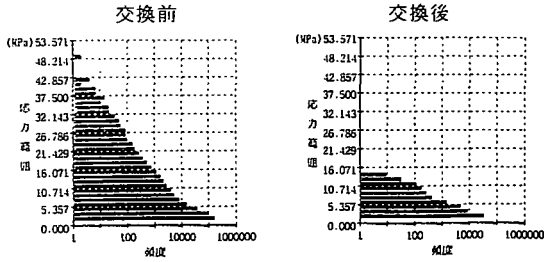


図-15 主桁応力の頻度分析結果 (P2側 SOLE-20mm)

表-5 疲労損傷度および疲労寿命

	P328 SOLE-20mm		スパン中央	
	交換前	交換後	交換前	交換後
最大応力範囲 (kgf/cm ²)	446~499	131~144	315~328	289~302
(MPa)	43.7~45.0	12.8~14.1	30.9~32.2	28.3~29.6
疲労損傷度 (全応力)	3.04E-02	1.19E-03	5.83E-03	6.73E-03
疲労寿命 (年)	33	838	171	149
疲労損傷度 (打ち切り)	3.14E-03	0	0	4.69E-05
疲労寿命 (年)	318	∞	∞	21327

大きな交番応力が発生するソールプレート脇 (測点①, ⑦) では支承交換前に比較して最大引張応力が約10% [130~140kgf/cm²→13kgf/cm² (12.7~13.7MPa→1.3MPa)] に、最大圧縮応力は約40% [150~160kgf/cm²→30~60kgf/cm² (14.7~15.7MPa→2.9~5.9MPa)] に減少している。このように、支承交換前のソールプレート近傍の下フランジに比較的大きな交番応力が作用していることから、支承の機能障害が当該部位の損傷事例の一因になっていると考えられる。

次に、24時間連続測定における主桁応力 (ソールプレート脇) の頻度分析結果 (図-15) を示す。

支承交換前後で応力範囲も小さくなり、また頻度も少なくなっていることがわかる。

支承付近とスパン中央での主桁の応力頻度結果から求めた疲労損傷度および疲労寿命を表-5に示す。疲労寿命の推定は、鋼構造物の疲労設計指針⁷⁾に基づいて、全応力を対象に計算したものと応力範囲の打ち切り限界を考慮したものの2種類について算出している。

計算結果では、支承のソールプレート脇 (SOLE-20mm) が最も疲労寿命が短い、全応力を対象に計算したもので交換前…30年、交換後…830年、打ち切り限界を考慮したもので交換前…310年、交換後…∞と25倍以上に寿命が延びている。

(3) 騒音・地盤振動への支承交換効果

騒音および地盤振動についての支承交換前後比較は、官民境界地上1.2m地点の騒音レベル (L₅₀)、官民境界地盤の振動レベル (L₁₀) によって行った。支承交換前後の比較を行うに際し、騒音レベルおよび

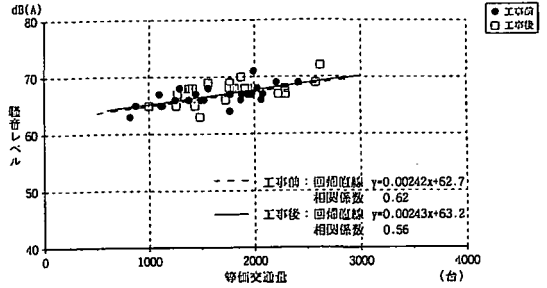


図-16 騒音レベルの支承交換前後比較

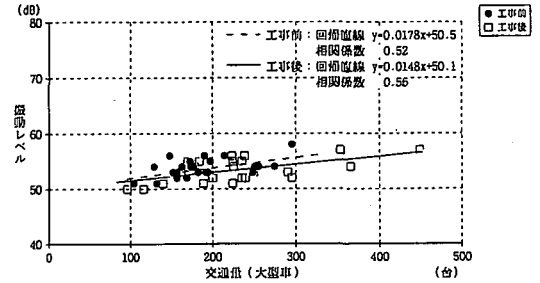


図-17 振動レベルの支承交換前後比較

び振動レベルの交通量の相違による影響を除去するため、縦軸に騒音レベル、振動レベル、横軸に騒音の場合は等価交通量 (大型車交通量×5+小型車交通量)、振動の場合は大型車交通量をプロットし、一回帰直線により前後比較を行った。

騒音の比較結果を図-16に、地盤振動の比較結果を図-17に示す。

ゴム支承の弾性変形に伴う桁端段差によって騒音振動の増大が懸念されたが、ゴム自体の圧縮変形により桁端部のはね上がり (キックアップ) は相殺される傾向にあることが確認され、支承交換前後における騒音レベル (L₅₀)、振動レベル (L₁₀) の増幅は認められなかった。

6. 考察

以上、B P支承からゴム支承への交換前後に、試験車 [20tf (196kN)] を用いた静的載荷試験および動的載荷試験を行い構造物の挙動調査を実施した。以下に、得られた結果をもとに考察する。

(1) 変位量

① 支承の水平変位 (橋軸方向) は、支承交換前はほとんど認められなかったが、支承交換後、可動側 (P2)、固定側 (P1) 側とも全振幅で1.0mm程度の変位が確認され、支承交換により円滑に挙動するようになった。(試験車による静的載荷時)

- ② ゴム支承化による支承の鉛直変位は、試験車による静的載荷時では0.1mm程度と小さく、桁端の段差に影響を与える値ではなかった。
- ③ 支承の回転角は、支承交換前後ほとんど変化はみられない(1/2400~1/2700rad)。したがって、径間中央付近載荷時において最も大きくなる桁端のはね上がりはゴムの圧縮変位により相殺され、ジョイント付近の段差はほぼ0となる傾向を示した。
- ④ 橋脚の橋軸方向変位は支承変位とは逆で、交換前の変位が大きく、交換後は小さくなった。支承交換前(BP支承)は、支承が水平方向にほとんど可動しておらず、そのため橋脚に水平力が作用し橋脚が橋軸方向に変位していたと考えられる。
- ⑤ 温度変化(桁の伸縮)による支承の変位は、交換前は可動支承も機能していなかったが、交換後はほぼ設計移動量どおり可動していることが確認できた。

(2) 主桁応力

- ① 比較的大きな引張、圧縮の交番応力が発生するソールプレート脇は、支承交換前に比較して最大引張応力が約10% [130~140kgf/cm²→13kgf/cm² (12.7~13.7MPa→1.3MPa)] に、最大圧縮応力は約40% [150~160kgf/cm²→30~60kgf/cm² (14.7~15.7MPa→2.9~5.9MPa)] に減少した。
- ② 一般車による24時間連続測定の実力頻度分析結果から主桁下フランジの疲労寿命を算出すると、交換後の疲労寿命は交換前に比較して25倍以上に延びており、ソールプレート脇でよくみられる下フランジの亀裂損傷の一原因が解消されたと言える。

(3) 騒音振動

騒音および振動レベルは、支承交換前後でほとんど変化が認められなかった。当初、ゴムの弾性変形に伴う桁端段差によって騒音振動が増大するのではないかと懸念されたが、支承回りの変位測定結果からも桁端段差が大きくなっていないことが確認され、ゴム支承化による騒音振動に対する悪影響はほとんどないものと考えられる。

7. 結論

BP支承からゴム支承への改良に伴って、支承の機能および騒音振動の増減について、以下のような結論が得られた。

- ① ソールプレート近傍下フランジの疲労損傷の発生原因に関する知見が得られた。
- ② ゴム支承化に伴い懸念されていた問題の発生の有無、ゴム支承化により期待される付加的効果についても、すべて改良方向の結果が得られた。しかし、今回の調査では交換前にほとんど可動していなかったBP支承と交換後のゴム支承との比較になっており正常に機能しているBP支承とゴム支承との比較ではないため、一概にゴム支承の方がBP支承に比較して有益であるとは言い切れず、今後の課題と言える。また、1径間のみの支承改良で、同一橋脚上に交換されずに残っている隣接桁のBP支承の影響を受けているものの騒音振動レベルの増大がみられなかったこと、ソールプレート近傍下フランジの交番応力が低減され疲労損傷の一原因が解消されたこと、およびゴム支承の場合メンテナンスをほとんど必要としないというメリットなどを考慮すると、ゴム支承化は妥当であると考えられる。

謝辞：最後に、本支承改良工事に当たり、ご協力いただいた関係者各位に感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 白野弘明, 山崎信之: 支承の損傷内容と要因の推定, 阪神高速道路公団技報, 第4号, pp.142-149, 1984.
- 2) 中島 拓, 青山高司, 坂元義一, 小林 潔, 須藤 典助, 曾我 明: 鋼I桁橋支承部の疲労亀裂損傷(上), 橋梁と基礎, 建設図書, Vol.25, No.5, pp.27-34, 1991.
- 3) 一樹久允, 青山高司, 木暮 深, 鹿野頭一, 松本 巧: 鋼I桁橋支承部の疲労亀裂損傷(下), 橋梁と基礎, 建設図書, Vol.25, No.9, pp.31-37, 1991.
- 4) 福本 昉士, 北田俊行, 吉川 紀, 長沼敏彦, 溝渕修治, 岩崎雅紀: 阪神高速道路における鋼構造物の維持管理の現状と展望, 橋梁と基礎, 建設図書, Vol.27, No.3, pp.27-33, 1993.
- 5) 徳田浩一, 岩崎雅紀: 支承の活荷重挙動に関する実験的研究, 構造工学論文集, 土木学会, Vol.41A, pp.935-944, 1995
- 6) 日本道路協会: 宮城県沖地震による道路橋の被害ならびに支承部の耐震性に関する報告書, 1979.
- 7) 日本鋼構造協会: 鋼構造物の疲労設計指針・同解説, 1993.

(1996.6.20受付)

A STUDY ABOUT VALIDITY OF EXCHANGE FROM BEARING WITH BEARING PLATE INTO RUBBER BEARING

Norio TOKUNAGA, Minoru YOSHIKAWA, Shirou KAWAKITA
and Yutaka YAMAMOTO

At the continuous viaduct for existing, in introducing rubber bearing in place of BP bearing, we considered and investigated the bearing function and if it was occurred the difference in level of girder end and was increased noise/vibration by the exchange into rubber bearing.

As a result, we confirmed the validity of this exchange, and got the knowledge about the cause of the fatigue damage at the lower flange. About the occurrence of the difference in level of girder end, it was confirmed that the compressive deformation of rubber bearing absorb the action that the girder end spring up. And the meaningful difference wasn't recognized in the noise/vibration level in exchange before and after to rubber bearing.