

支 承 の 活 荷 重 挙 動 に 関 す る 実 験 的 研 究

AN EXPERIMENTAL STUDY ON THE BEHAVIOR OF BRIDGE SUPPORTS UNDER TRAVELING LOAD

徳田 浩一*, 岩崎 雅紀**

Koichi TOKUDA and Masanori IWASAKI

* 工修 (株)横河ブリッジ 技術本部 研究所 (〒261 千葉市美浜区新港88)

** (株)横河ブリッジ 技術本部 研究所 (〒261 千葉市美浜区新港88)

This paper describes the measurements of the dynamic properties of bridge supports under traveling load before and after the replacement of ones. We conducted tests using full-size bridge supports to improve the functions of the bearing. Our major results are as follows:

- (1) Damaged plate bearings that had been used for approximately 20 years no longer functioned well under traveling load.
- (2) These functions could not be fully restored as expected in the design because of the mechanical problem, even by replacing the existing bridge supports with identical new ones. Pot bearing can be used to improve the performance under traveling load.

Key Words: bridge support, traveling load, plate bearing, pot bearing, rubber bearing

1. はじめに

橋梁における支承の主な役目は、①橋本体の死荷重や載荷車両による繰返し活荷重を支える、②車両載荷や温度変化に伴う桁の繰返し変形を拘束しないことである。すなわち、支承は、走行車両による微小変位、温度変化に伴う桁の伸縮や地震時などの大きな変位に対して、長期に渡って円滑に動くように設計、製作されて、良好な状態で維持されなければならない。しかし、支承は架設の最終段階で設置されるために上下部構造の架設誤差の影響を受けやすい、伸縮継手などからの漏水や粉塵の堆積により腐食しやすいなど、設計条件とは異なる過酷な環境下で長期に渡って使用される。事実、長期間供用した橋梁における支承本体および支承回りの損傷は多い^{1)~3)}。特に、支承の機能劣化によってソールプレート取合い部に疲労損傷が発生する事例が近年報告され始めている^{4)~7)}。それらの疲労損傷については、原因^{4)~11)}、補修方法^{4), 6), 7)}と構造改良^{8), 12)}の研究が進められている。

このような実態にある既設橋の支承の機能を回復する方法として、支承の一部交換なども考えられるが、一部を取替えても元通りの機能を回復することができない。したがって、全体を取替えることが最も望ましい。しかし、供用下での取替え作業は容易ではない上、消耗品のように短い周期で取替えることは経済性の面からも難しい。新設、取替えの両面から、従来にも増して、耐久性に優れた支承の実用化が望まれている状況にあるが、支

承の耐久性改善を目的とした研究は支承本体に着目したものが多く、桁の挙動から支承の機能を評価することはほとんどなかった。

そこで、第1に使用数量の多い支承板支承を使用した鋼単純1桁橋において、支承の取替え前後で活荷重に対する支点回りの挙動を実橋調査した。第2に実大モデル桁を用いて活荷重に対する室内比較実験を行い、各種形式の支承の機能を比較した。それらを基に、桁機能からみて適した支承形式について検討した。

2. 支承の問題点

2. 1 管理上の問題点

文献1)~3)などにおいて、線支承や1本ローラー支承の損傷率が高いことが明らかにされている。しかし、国内における最近の支承使用数は高力黄銅支承板支承(以下、BP-A支承という)が最も多く、それゆえ、損傷数も多いことが明らかにされている。

しかし、可動支承の遊間異常、サイドブロックの接触といった外観上の損傷(これらは、主に温度変化に対する機能に影響を及ぼす)は目視により発見可能であるが、BP-A支承は図-1に示すように構造上密閉されているので内部は点検できない。活荷重に対する移動や回転機能の劣化といった損傷は、ソールプレート取合い部の疲労損傷(図-2参照)などが発生してから検出されるのが実情である。

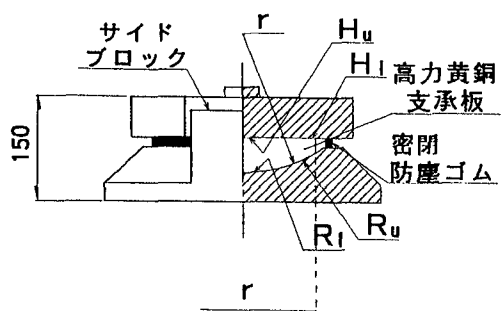


図-1 BP-A支承の一般図

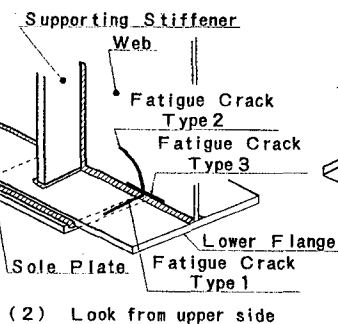
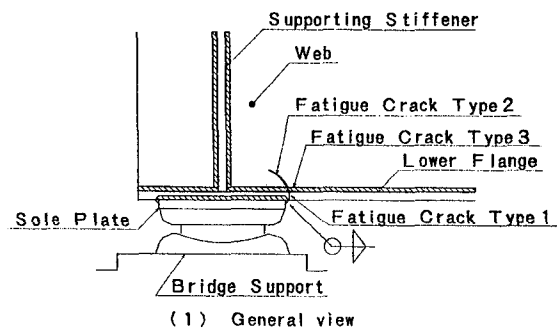


図-2 ソールプレート取合い部の疲労損傷発生箇所

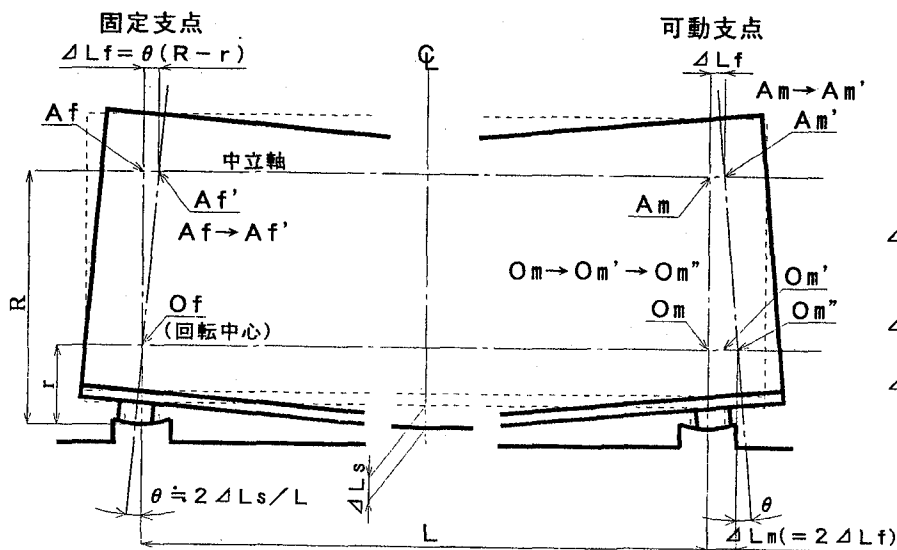
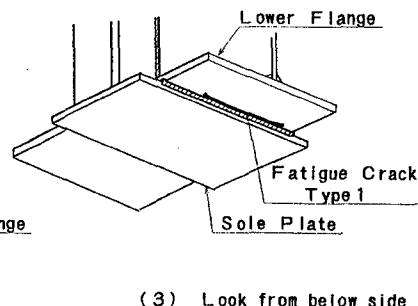


図-3 主桁たわみと支承の変位挙動に関する模式図

点検方法の確立と、より耐久性に優れた支承の開発が望まれている状況にあると考えられる。

2.2 支承板支承の問題点

図-3は、最も使用実績の多いBP-A支承を用いた桁の理想状態(摩擦係数が"0"の場合)における主桁たわみと支承の変位挙動を模式図にしたものである。図からわかるように、固定支承には回転変位のみが生じるが、可動

支承としてのBP-A支承は回転面と水平面の両方ですべりが生じなければならない。しかし、BP-A支承はすべり型支承であるから、ある摩擦係数を有する。たとえば、道路橋支承便覧¹³⁾では、可動支承に働く水平力算出のための摩擦係数として0.15を示している。実際の摩擦係数が十分に低いことはモデル実験¹⁴⁾で明らかにされているが、BP-A支承の活荷重挙動、特に長期の供用に対する性能変化が調査されたことはほとんどない。BP-A支承の活荷重挙動の調査と評価が必要であると考えられる。

3. 実橋調査

3. 1 調査方法

BP-A支承の活荷重挙動を調査するため、取替え前後および取替え1年後に支点回りの挙動調査を行った。図-4に計測対象橋梁の一般図を、表-1に新旧支承構造を示す。表中の記号Hu, Hl, Ru, Rlは、図-1中に示したすべり面を区分する。対象橋梁はT型橋脚上の連続する鋼単純I桁橋であり、供用開始後約22年を経ている。この間、支承は取替えられていない。一部の支承に沓座モルタルの割れ、サイドブロックの接触、可動支承の遊間異常などの損傷が発見されたことから、対象橋梁を含む前後数径間の全支承が取替えられた。取替え支承は、①水平移動面にpolytetrafluoroethylene(PTFE)板とステンレス鋼を用いて摩擦係数の低減を図っている、②回転面の曲率半径を小さくして回転面でのすべり長さを小さくするかわりに水平変位量を大きくしていることが特徴である。活荷重に対する挙動調査は、図-5に示す主

桁支間中央における下フランジひずみ、支承の水平移動量、回転角およびソールプレート前面の主桁下フランジのひずみを動的に計測した。ひずみ及び変位計測はゲージ長さ5mmのひずみゲージと高感度変位計(精度1/1000mm)を用いた。

3. 2 調査結果

実走行車両の車重に比例すると考えられる外主桁支間中央下フランジのひずみと支承回り各部の関係を図-6に例示する。なお、各計測データは車両通過に伴って各計測項目に生じた動波形の全振幅を用いた。これは、走行車両に対して連続桁のような動波形が計測されたためである。図中の●、◆、■印は、実橋を3次元シェル要素によりモデル化して設計荷重(旧T-20相当の車両1台)を載荷した場合のF.E.M.解析結果である。解析における支点は支点補剛材位置の下フランジを線支持した。拘束条件を付表に示す。また、実測値はばらつきが大きい、図中には回帰直線も示した。回帰直線の傾きを計

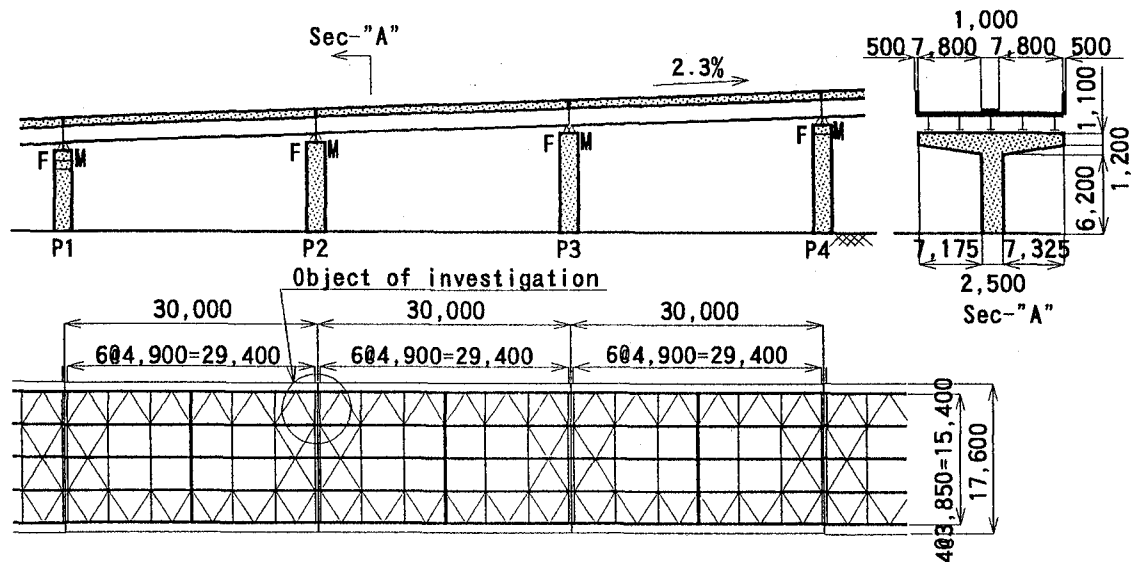


図-4 計測対象橋梁の一般図

表-1 新旧支承の構造比較

	撤去支承	新設支承
設計反力	100 tonf	100 tonf
回転部		
曲率半径 r	500 mm	210 mm
表面処理		
Hu	固体潤滑剤被覆	SUS316
Hl	固体潤滑剤埋込	PTFE
Ru	固体潤滑剤埋込	固体潤滑剤埋込
Rl	固体潤滑剤被覆	固体潤滑剤被覆

Hu, Hl, Ru, Rl: 図-1 参照
PTFE: polytetrafluoroethylene

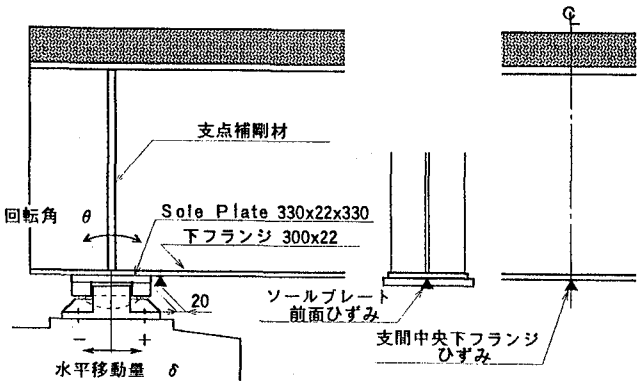
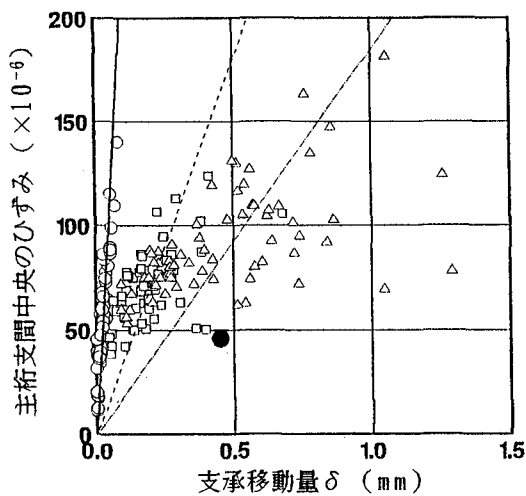


図-5 動的計測位置

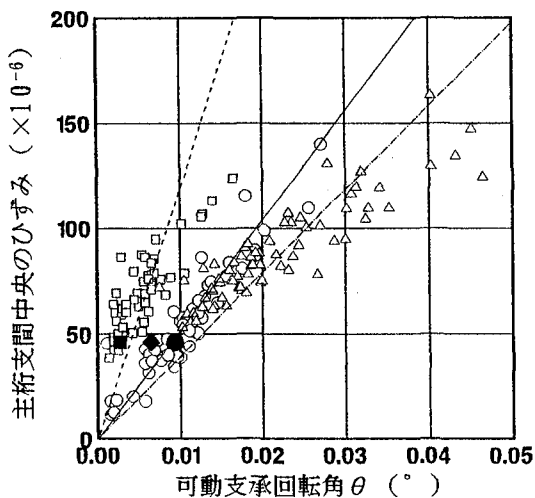


(1) 支承移動量

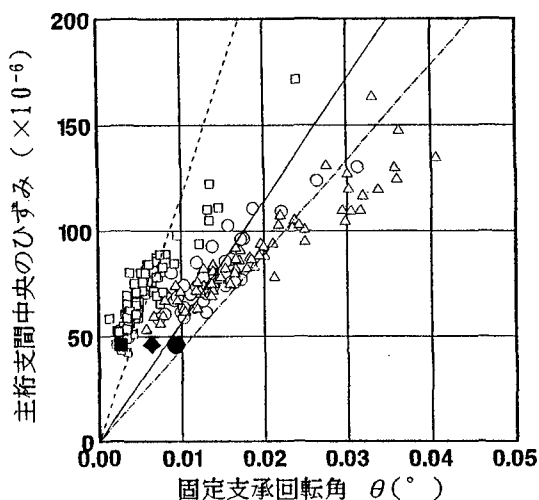
○ — : 取替え前 (実測値)
 □ - - : 取替え直後 (実測値)
 △ - · - : 1年経過後 (実測値)

付表 F.E.M.解析条件

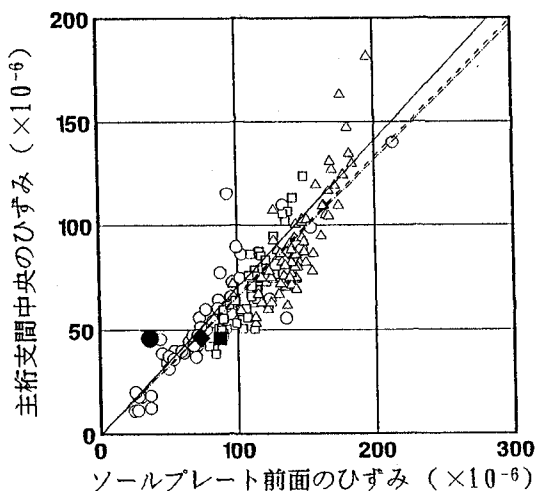
	水平移動	回転
●	Free	Free
◆	Fix	Free
■	Fix	Fix



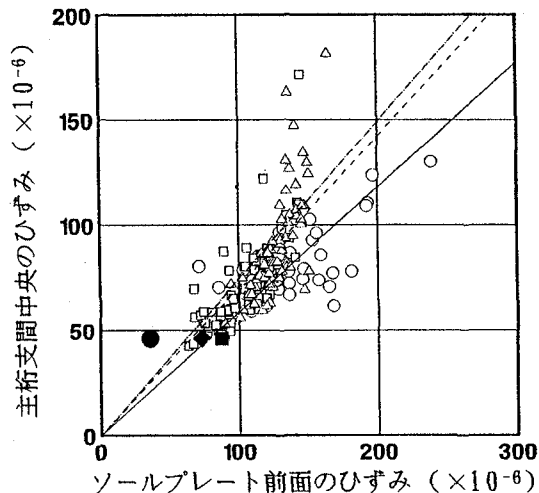
(2) 可動支承回転角



(3) 固定支承回転角



(4) ソールプレート前面のひずみ (可動支承側)



(5) ソールプレート前面のひずみ (固定支承側)

図-6 外主桁支間中央下フランジのひずみと支承回りの挙動

測段階別に表－２に示す。結果をまとめると次のとおりである。

(1) 可動支承

1) 水平移動

取替え前はほとんど水平変位していないことがわかる。既設支承を撤去後に解体調査した結果を写真－１に例示する。密閉構造であったにも拘わらず内部に紛塵が充填されており、水平面のすべり機能を喪失している。取替えによって水平移動量は約６倍に、１年経過後は１２倍に大きくなっており、解析値に近づく傾向が認められる。しかし、解析値と比較すると、１年経過後でも約５５％である。

2) 回転

回転角は、取替え前に比べて取替え直後では約４４％と小さくなっているが、１年経過後は約１．３倍となっている。解析値と比較すると、取替え前および１年経過後は可動支点、取替え直後は完全拘束の解析値にほぼ等しい。

3) ソールプレート前面ひずみ

ソールプレート前面ひずみは、取替えてもあまり変化がなく、実測値はどの計測段階においても完全拘束あるいは固定支点の解析値にほぼ等しい。

(2) 固定支承

1) 回転

可動支承の場合と同様の挙動を示している。

2) ソールプレート前面ひずみ

ソールプレート前面ひずみは、約２０％低下する傾向が見られる。特に高ひずみ域での低下が大きい。

以上、取替えによってすべり機能はかなり改善されたにも係わらず、ソールプレート取合い部の応力については、あまり低減されなかった。原因は取替え前後での支承諸元の違いによるものと考えられた。そこで、各種BP-A支承や他型式の支承の性状を比較実験することとした。

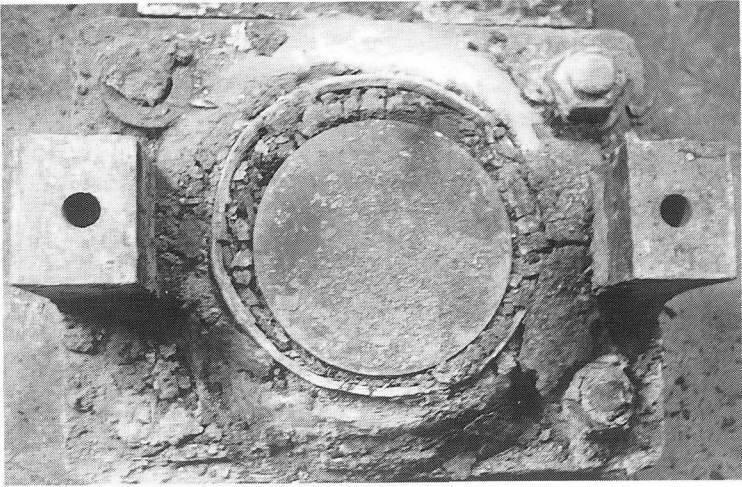
表－２ 回帰直線の勾配比較

	計 測 目	計 測 階	回帰直線 勾 配	比 率 (%)
実 測 値	可動支承 水平移動	取替え前	4.5×10^{-4}	100
		取替え直後	2.8×10^{-3}	618
		1年経過後	5.4×10^{-3}	1200
	可動支承 回 転 角	取替え前	1.9×10^{-4}	100
		取替え直後	8.4×10^{-5}	44
		1年経過後	2.5×10^{-4}	131
	固定支承 回 転 角	取替え前	1.7×10^{-4}	100
		取替え直後	8.6×10^{-5}	49
		1年経過後	2.2×10^{-4}	128
	可動支承 ソールプレート 前面ひずみ	取替え前	1.4	100
		取替え直後	1.5	106
		1年経過後	1.5	108
	固定支承 ソールプレート 前面ひずみ	取替え前	1.7	100
		取替え直後	1.4	83
		1年経過後	1.3	79
解 析 値	可動支承移動 支点回転	可動支点	9.8×10^{-3}	
		固定支点	2.0×10^{-4}	344
		完全拘束	1.4×10^{-4}	237
	ソールプレート 前面ひずみ	可動支点	5.9×10^{-5}	100
		固定支点	7.8×10^{-1}	41
		完全拘束	1.6	84
			1.9	100

*：図－６中の各計測項目の値を外主桁支間中央の解析値で除した値を示す。



(1) 上査下面



(2) 下査と支承板

写真－１ ２０年供用後のBP-A支承

4. 室内比較実験

4. 1 実験方法

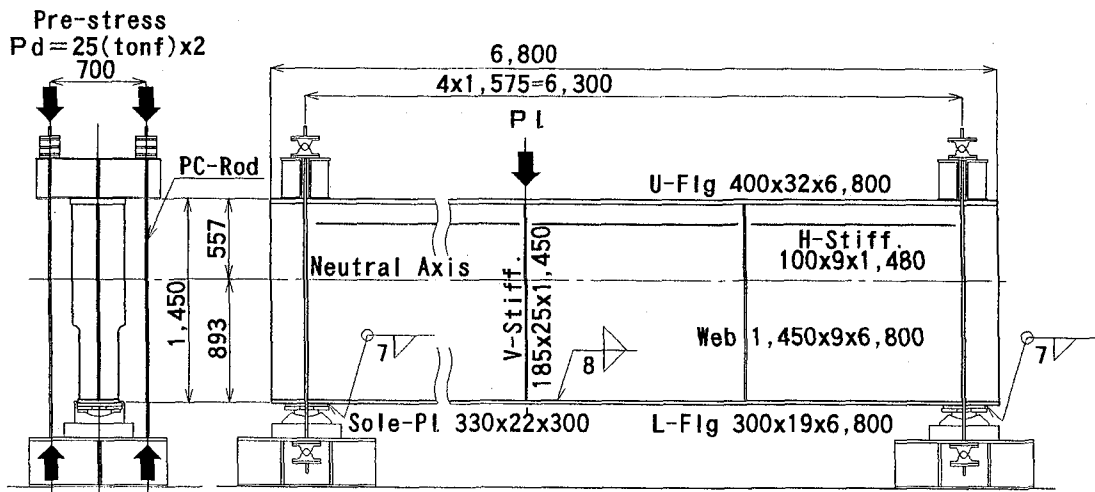
各種支承の特性を把握するため、実大支承の室内比較実験を行った。図－7に載荷方法を示す。モデル桁中立軸・支承間距離および支承回りの寸法諸元は先の計測橋梁にほぼ合せた。死荷重相当反力(Pd=50tonf)を予め、PC鋼棒を用いて各支点到鉛直載荷した後、活荷重相当力Plを支間中央に載荷した。実験支承の設計反力はすべて100tonfである。諸元を表－3に示す。BP-A1は実橋における取替え前支承、BP-A3は取替え後支承と同じ諸元である。BP-A3は、水平移動面にPTFE板とステンレス鋼を用いて摩擦係数の低減を図る共に、回転面の曲率半径を小さくして回転面での滑り長を小さくするかわりに水平変位量を大きくしている。BP-A2はBP-A1の回転面の

曲率半径のみを小さくしている。BP-A4は回転面にPTFE粉末を塗布し、水平移動面と同じ条件にしたものである。

実験は、最初に可動支承にピンローラー支承、固定支承にピン支承を用いた実験を行い、これを基本ケースとした。その他の実験は、着目する支承が可動支承の場合、固定支承はピン支承を用い、着目支承が固定支承の場合、他方はピンローラー支承を用いた。なお、ひずみゲージは実験の間、貼り直しを行っていない。

4. 2 実験結果および考察

図－8に載荷荷重Plと水平移動量あるいは回転角の関係を示す。表－4には、各線図の傾きと基本ケースであるピンローラー支承を100%とした場合の比率を示す。ゴム支承の水平移動量は、低荷重域において比例関係が見られなかったため、高荷重域(15tonf≦Pl≦25tonf)

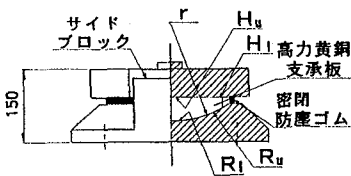


図－7 支承実験載荷方法

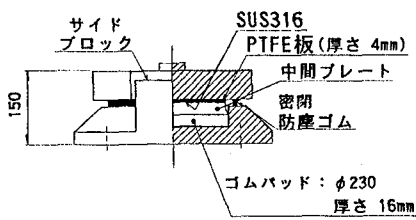
表－3 実験支承の諸元

	BP-A1	BP-A2	BP-A3	BP-A4	BP-B	ゴム支承
設計反力	100tonf	100tonf	100tonf	100tonf	100tonf	100tonf
回転部						
曲率半径 r	500 mm	210 mm	210 mm	210 mm		
表面処理						
Hu	固体潤滑剤被覆	固体潤滑剤被覆	SUS316	SUS316	SUS316	ゴム
Hl	固体潤滑剤埋込	固体潤滑剤埋込	PTFE	PTFE	PTFE	
Ru	固体潤滑剤埋込	固体潤滑剤埋込	固体潤滑剤埋込	PTFE粉末塗布	ゴム	
Rl	固体潤滑剤被覆	固体潤滑剤被覆	固体潤滑剤被覆	PTFE粉末塗布		

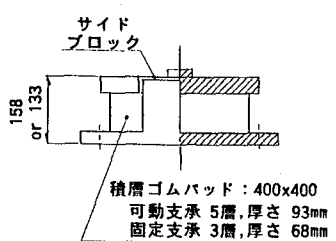
PTFE : polytetrafluoroethylene



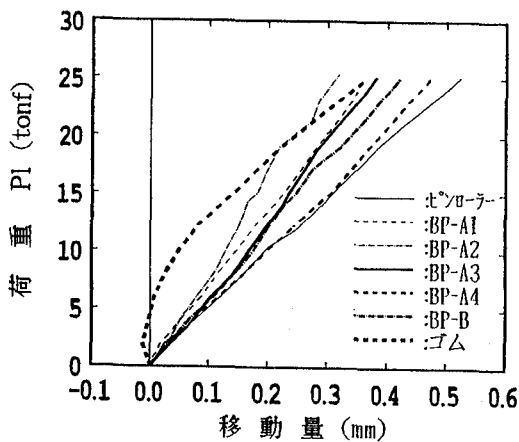
付図1 BP-A支承



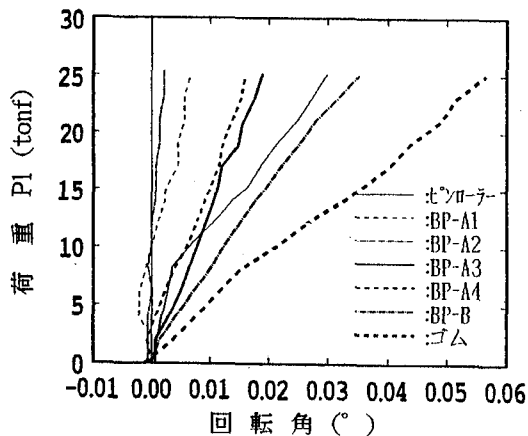
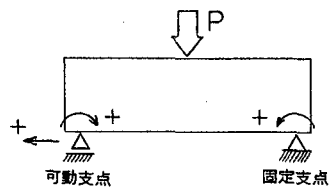
付図2 BP-B支承



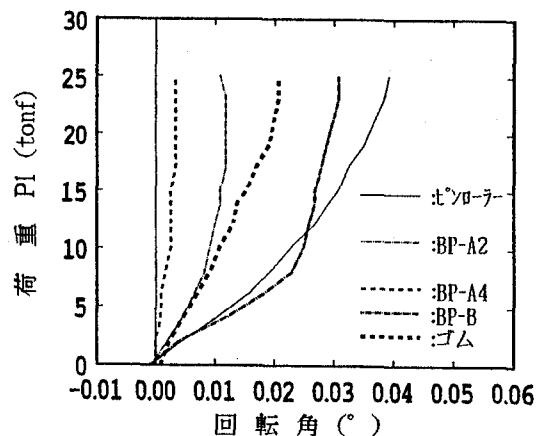
付図3 ゴム支承



(1) 支承移動量



(2) 可動支承回転角



(3) 固定支承回転角

図-8 载荷荷重と支承の水平移動量、回転角との関係

表-4 各種支承の水平移動量と荷重・回転角線の傾きの比較

	移 動 量		可動支承回転角		固定支承回転角	
	(mm)	(%)	(°/tonf)	(%)	(°/tonf)	(%)
ヒンローラー	0.217	100.0	0.00157	100	0.00157	100
BP-A1	0.138	63.6	0.00027	17	—	—
BP-A2	0.130	59.9	0.00008	5	0.00057	36
BP-A3	0.143	65.9	0.00077	49	—	—
BP-A4	0.150	69.1	0.00065	41	0.00018	11
BP-B	0.162	74.7	0.00141	90	0.00162	103
ゴム	0.184	84.8	0.00227	145	0.00109	69

における勾配とした。また、図-9に、単位载荷荷重当りのソールプレート前面における主桁下フランジの橋軸方向ひずみ分布および主桁ウェブの鉛直方向ひずみ分布(図-2のType3亀裂を発生させる鉛直方向応力)を示す。表-5に、ひずみ集中点の値を一覧にして示す。結果をまとめると次のとおりである。

(1) 可動支承の水平移動

図-8(1)よりBP-A支承は、いずれも载荷荷重に対してほぼ比例関係にある。しかし、表-4からわかるように、ピンローラー支承に比べると、水平移動面が固体潤

滑剤であるBP-A1、BP-A2は約60%、ステンレス鋼とPTFE板の組合せであるBP-A3、BP-A4は66%~69%と低い。試験数が各1基であるが、BP-A支承については曲率半径、すべり面の種類の違いによる有意差はないと判断される。

BP-B支承も約75%と低い、BP-A支承に比べると改善されている。

ゴム支承は、ゴムの弾性係数が高いため、低荷重段階で水平移動拘束が生じている。このため、25tonfまでの水平移動量はBP-A支承と差がない。ゴム支承を設計する場合、使用するゴムの弾性係数に対する配慮が必要であ

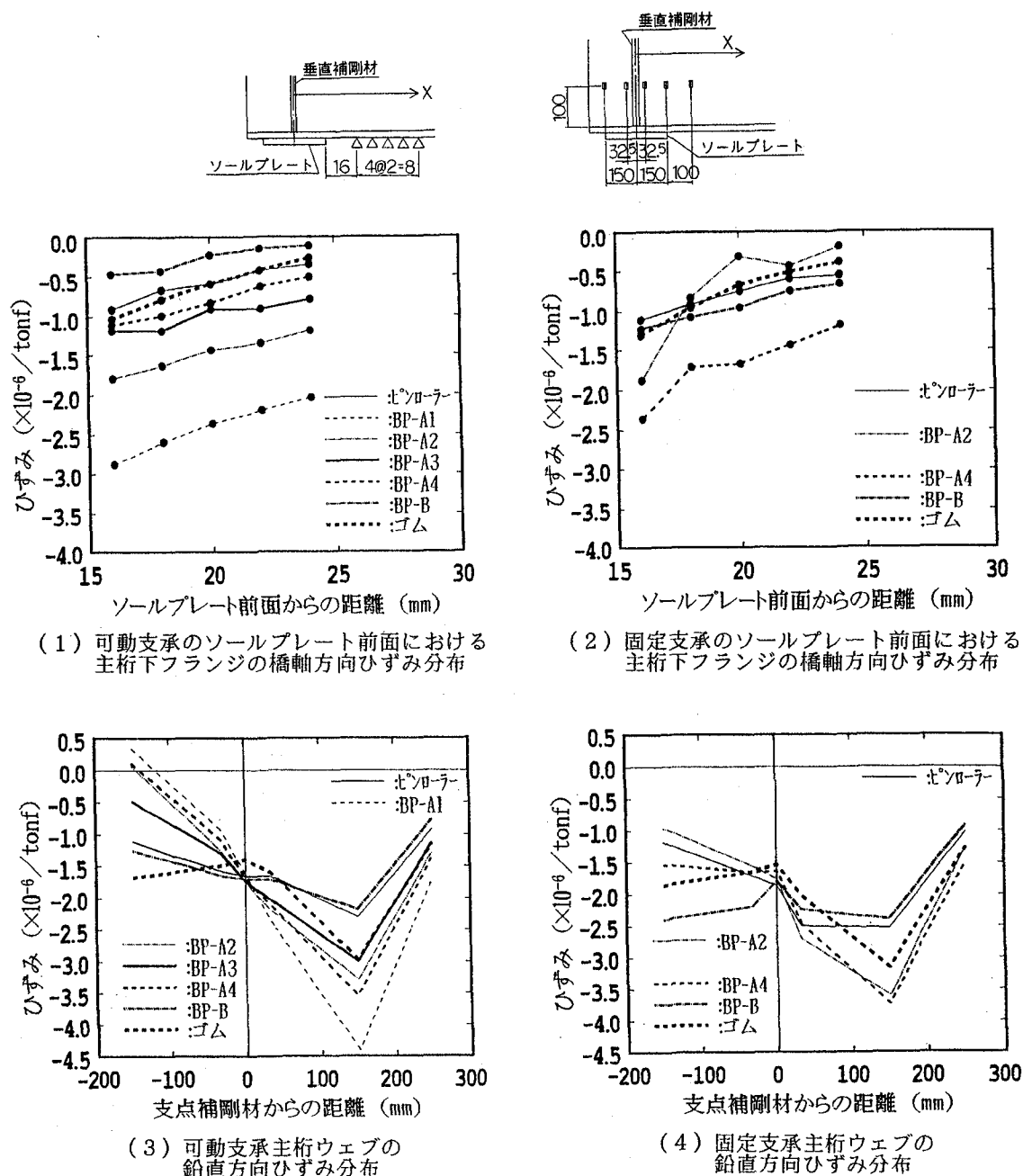


図-9 単位載荷荷重当りのソールプレート前面および主桁ウェブのひずみ分布

表-5 ソールプレート前面と主桁ウェブのひずみ集中点の値の比較

	ソールプレート前面ひずみ				主桁ウェブ鉛直ひずみ			
	可動支承 (μ /tonf) (%)		固定支承 (μ /tonf) (%)		可動支承 (μ /tonf) (%)		固定支承 (μ /tonf) (%)	
センサー	-0.92	100	-1.12	100	-2.30	100	-2.54	100
BP-A1	-2.88	313	—	—	-4.40	191	—	—
BP-A2	-1.80	196	-1.88	168	-3.28	143	-3.60	142
BP-A3	-1.20	130	—	—	-3.00	130	—	—
BP-A4	-1.12	122	-2.36	211	-3.54	154	-3.74	147
BP-B	-0.48	52	-1.24	111	-2.18	95	-2.40	94
ゴム	-1.04	113	-1.32	118	-2.98	130	-3.16	124

と考えられる。

(2) 回転角

表-4より各BP-A可動支承は、ピンローラー支承に比べて、水平移動面が固体潤滑剤処理のBP-A1、BP-A2は約17%、5%、PTFE板のBP-A3、BP-A4は約49%、41%と低い。また、BP-A固定支承も、ピン支承に比べて、水平移動面が固体潤滑剤処理のBP-A2は約36%、PTFE板のBP-A4は約11%といずれも低い。各BP-A支承の差は個体差、試験温度差などによるものと推定され、水平移動と同様、回転角についても各BP-A支承に回転面の違いによる有意差はないと考えられる。

BP-B支承は、可動支承、固定支承で挙動が異なるものの、可動、固定共にBP-A支承に比べて十分に大きい。BP-B固定支承は約8tonf(回転角にして約 0.025°)以上の高荷重における回転角が小さいが、回転角が 0.025° 以上の高荷重は、図-6から主桁支間中央のひずみ約 100μ 以上である。これは、F.E.M.解析値(T-20)の約2倍である。このような重車両に対して回転拘束が生じるので、実用上は問題ないと考えられる。

ゴム支承は可動の場合145%と十分に高いが、固定の場合69%と低く、差が大きい。表-3の付図3に示したとおり、可動、固定でゴム厚に差があるためである。このことは支承の設計における注意点であると考えられる。

したがって、支承は、支承板と下沓とのすべりで回転するより、BP-B支承やゴム支承のようにゴムの変形による方が優れているといえる。

(3) ソールプレート前面ひずみ

図-9(1)、(2)に示すように、いずれのケースについてもソールプレート前面の主桁下フランジ下面に圧縮ひずみが発生している。継手の偏心による他、移動あるいは回転の拘束によると考えられる。

各BP-A支承は、可動、固定共に総じて高い値を示している。回転角あるいは水平移動量では有意差が見られなかった各BP-A支承も、ソールプレート前面ひずみでは差が見られ、中でも、表-5より水平移動面が固体潤滑剤のBP-A1がピンローラー支承に比べて約313%、BP-A2が約196%と際立って高い。

一方、BP-B支承とゴム支承は総じて低い値を示している。特に、BP-B可動支承は52%と低い。

(4) 主桁ウェブの鉛直方向ひずみ分布

図-9(3)、(4)および表-5からわかるように、ソールプレート前面直上において、各BP-A支承あるいはゴム支承のいずれの場合も、ピンローラー支承に比べて、可動支承で約130%~190%、固定支承で約120%~150%のひずみ集中が生じている。しかし、基本ケースとBP-B支承は、この傾向が顕著ではない。

ソールプレート前面やこの部位におけるひずみ集中は、支承の移動あるいは回転の拘束によるものであるから、支承機能の経年劣化は、これら部位のひずみをモニタリングすることにより評価できる可能性がある。特に、新

設橋や支承取替え後は、ソールプレート取合い部の疲労損傷防止を目的として、ソールプレートをボルトで取付けるように改造できるが、そのような場合でも、主桁ウェブの鉛直ひずみはモニタリング項目として、提案される。

5. まとめ

以上、使用数量の多いBP-A支承の取替え前後で支承回りの実橋挙動調査を実施した。また、各1基であるが、各種形式の実大支承を用いたモデル実験を行い、活荷重挙動を比較した。得られた結果をまとめると次のとおりである。

(1) 約20年間供用した固体潤滑剤を使用したBP-A支承は、水平移動機能が著しく低下していた。

(2) 水平移動面にPTFE板を使用したBP-A支承に取替えることにより水平移動機能は改善されたが、十分ではなかった。

(3) BP-A支承の回転機能は、取替え直後には著しく低下したものの、1年経過後は取替え前より改善された。しかし、それでもまだ十分ではないと考えられた。

(4) ソールプレート取合い部の主桁下フランジ橋軸方向ひずみは、取替えてもあまり低減されなかった。

(5) BP-A支承の機能は固体潤滑剤あるいはPTFE板のいずれを用いても、BP-B支承あるいはゴム支承に比べて劣っていた。

(6) BP-B支承とゴム支承は、疲労損傷防止において重要なソールプレート取合い部のひずみ低減に効果的であった。ただし、それらの支承を設計する場合、採用するゴムの弾性係数はソールプレート取合い部の疲労に対する配慮が必要であると考えられる。

以上の結果をもとに今後は、①耐久性の評価、②既設支承の機能の点検手法(特に活荷重に対する性能の調査および評価手法)などの課題について検討を行う予定である。特に、支承が所要性能を発揮できるか、また、発揮しているかは、据付け時の施工精度や環境などによって異なるので、試験施工を行うなどして評価したいと考えている。

謝 辞

本研究のうち、実橋調査を行うにあたっては、阪神高速道路公団の長沼敏彦氏を始めとする関係各位には多大なる援助をしていただいた。ここに感謝の意を表する次第である。

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.142-149，1984.3.

- 2) 福本晴士・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，Vol.27，No.3，pp.27-33，1993.3.
- 3) 室井智文：日本道路公団における支承の現況，橋梁と基礎，Vol.17，No.8，pp.165-169，1983.8.
- 4) 杉山 功・佐藤仁男・前田俊雄：3径間連続鋼床版箱桁端部の応力性状と補修，阪神高速道路公団技報，第4号，pp.150-159，1984.3.
- 5) 岩崎雅紀・名取 暢・深沢 誠・寺田博昌：鋼橋の疲労損傷事例と補修・補強対策，横河橋梁技報，No.18，pp.36-52，1989.1.
- 6) 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，Vol.25，No.5，pp.27-34，1991.5.
- 7) 一桙久允・青山高司・木暮 深・鹿野顕一・松本 巧：鋼I桁橋支承部の疲労亀裂損傷（下），橋梁と基礎，Vol.25，No.9，pp.31-37，1991.9.
- 8) 三木千寿・妹尾賢一郎・森 猛：鋼橋支承部ソールプレート端に生じた疲労損傷と局部応力についての考察，構造工学論文集，Vol.36A，pp.949-958，1990.3.
- 9) 西川和廣・村越 潤・広瀬隆宏：鋼桁支承ソールプレート溶接部の疲労に関する検討－実橋載荷実験に基づくソールプレート周辺部の応力測定結果の報告－，土木技術資料，Vol.35-2，pp.51-59，1993.2.
- 10) 西川和廣・村越 潤・佐々木靖雄・広瀬隆宏：鋼桁支承ソールプレート溶接部の疲労に関する検討－模型桁の静的載荷実験に基づく桁端部の応力と細部構造に関する検討－，土木技術資料，Vol.35-7，pp.51-58，1993.7.
- 11) 西川和廣・村越 潤・佐々木靖雄：鋼桁支承ソールプレート溶接部の疲労に関する検討－模型桁の疲労試験－，土木技術資料，Vol.36-3，pp.40-45，1994.3.
- 12) 館石和雄・名取 暢・三木千寿：プレートガーダー支承部の疲労損傷とそのディテール改良に関する研究，土木学会論文集，No.489/I-27，pp.167-176，1994.4.
- 13) 日本道路協会：道路橋支承便覧，1991.7.
- 14) 奈良一郎：鋼鉄道橋の支承構造，構造物設計資料，No.4，pp.12-19，1965.12.

(1994年9月14日受付)