

死荷重負反力を受ける支承の取替工事

A replacement of existing shoes with negative reaction under dead load in service condition

浜田 信彦*, 志村 敦**, 山口 史夫***, 木村 恭介***

Nobuhiko Hamada, Atsushi Shimura, Fumio Yamaguchi, Kyosuke Kimura

* 阪神高速道路公団 工務部 設計課 (〒541-0056 大阪市中央区久太郎町 4-1-3 大阪センタービル)

** 阪神高速道路公団 京都建設部 設計課 (〒604-8152 京都市中京区烏丸通錦小路上ル手洗水町 659 烏丸中央ビル)

*** 片山ストラテック(株) 技術本部 橋梁設計部 橋梁設計 1 課 (〒551-0021 大阪市大正区南恩加島 6-2-21)

Hanshin Expressway Public Corporation is going to replace the shoes in 3-continuous curved mono-box girder with steel deck plate in order to improve proof to earthquake. The bridge is consisted of irregular span length and a skew angle of about 75 degree on the No.27 pier. The shoes on the pier have negative reaction in the condition of dead load and live load. Therefore, the bolts that connect the sole plate of the girder and the upper block of the shoe had broken by means of the negative reaction and produced clearance between the two.

In this paper, it is reported that the behavior of the bridge is measured in order to be recognized the adequacy of the design for replacing the shoes in service condition.

Key Words: negative reaction under dead load condition, shoes replacement, multiple curved mono box girder with steel deck, monitoring

キーワード：死荷重負反力，支承取替え，3 径間連続鋼床版箱桁，モニタリング

1. まえがき

平成 8 年の道路橋示方書改訂に基づき、阪神高速道路公団では、既設鋼製支承から B タイプ支承への取り替え及び落橋防止装置の設置工事を進めている。

本工事は上部構造の耐震改善工事であり、施工範囲は、大阪府道空港池田線のうち空 P 18～P 30 及び、本線に付随したランプ桁中之島入路 P 1、P 20、出入橋出路 P 19～P 4、梅田出入路 P 26 である。

本路線は伊丹空港と大阪市内阪神高速環状線を結ぶ極めて重要な路線である。図-1 に施工位置図を示す。

現場の状況は、ほとんどの区間が上下線分離の 2 層構造となっていること、短い区間でランプとの接続が多いことにより非常に入り組んだものとなっている。

また、平面線形は直線と曲線からなり、既設桁の構造は、鉸桁、箱桁、開断面箱桁、および 3 径間連続鋼床版箱桁から構成されている。

曲線桁において、死荷重状態で支承部に負反力が作用するケースが多いが支承取替については、交通供用下での工事となることから既設支承の取り替えは行わず存置するケースが多い。本工事のうち曲線桁である 3 径間連続鋼床版箱桁の空上 P 27 の端支点は、死荷重状態で負反力が作用し昭和 58 年時に負反力対策の設備を設け、支承

取替を行ったが、本工事の調査で再度負反力によるものと思われる損傷を確認した。

本橋では、空上 P 27 上の損傷した負反力支承取替の設計と施工の概要を報告するものである。



図-1 施工位置図

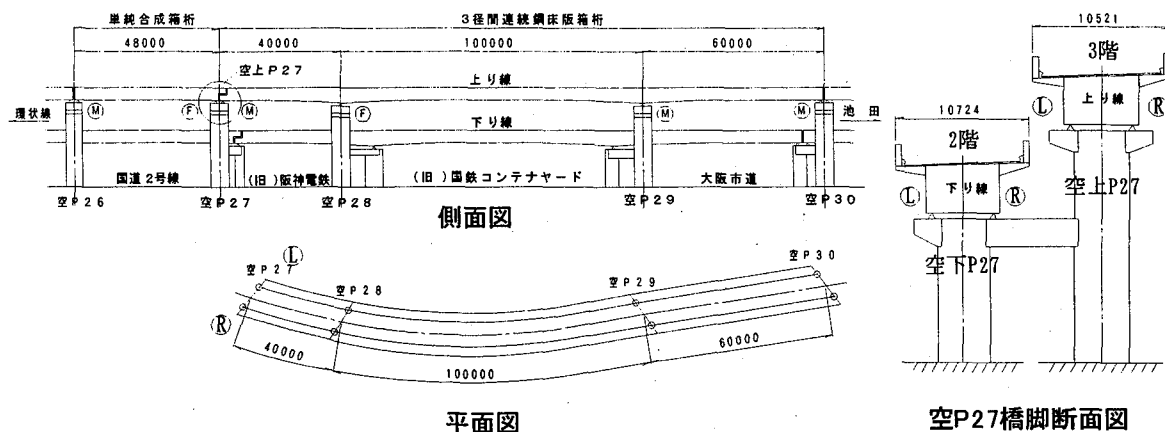


図-2 空P27～P30一般図

2. 空P27 支承の補修経緯

空港線で西梅田公園を横断する地点に位置する空P27～P30は、3径間連続曲線鋼床版1箱桁形式である(昭和42年10月竣工)。図-2に一般図を示す。

本橋の特徴は立地条件に制約された変則スパン割りに加え空P27橋脚上で極端な斜角をなす曲線橋で設計当時より端部支点(空P27)に常時負反力が生ずる構造として注意が払われている。

空P27に生ずる反力は模型実験等を行い大巾に修正計算がなされている。

また、先行工区の単純桁と連続桁および橋脚をPC鋼棒にて結ぶ構造とし負反力に対する処置がなされていた(図-3参照)。

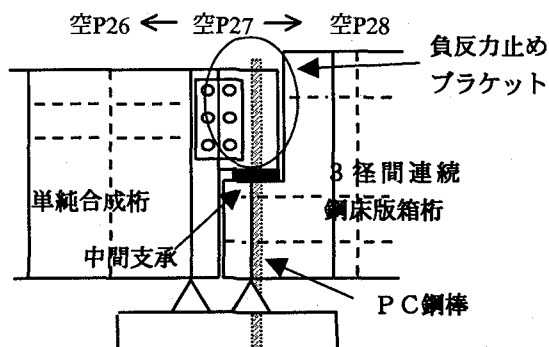
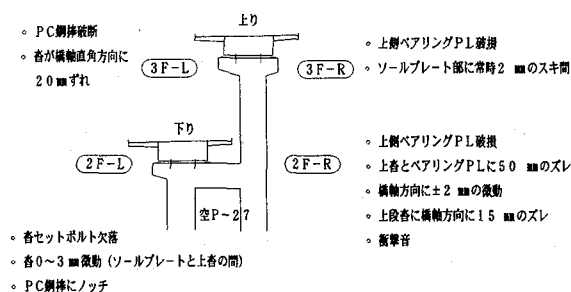


図-3 空P27かけ違い部構造

昭和52年の道路パトロール中に支点上で衝撃音の発生が確認され、その後の調査で支承に局部的破損が認められていた。空上P27(上り線3階)、空下P27(下り線2階)ともR側(曲線外側)支承ベアリングプレートが破損し衝撃音は空下P27支承より発生していた。

これは、負反力を受けるベアリングプレートとネオプレンゴムが移動と回転機能のために繰り返し偏心荷重を受けて破損したと報告されている。

図-4に損傷調査概要を示す。



支承(3F-R)損傷状況

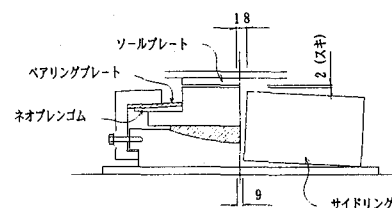


図-4 空P27損傷調査概要(昭和52年)

昭和54年には、消音を目的として空下P27支承の破損ベアリングプレート取替えが行われた。空上P27支承の補修は行われていない。

空上P27支承は、昭和58年に支承構造のみで163tの上揚力に耐えることが出来るものに取替が行われている。

昭和58年の空上P27支承取替に当たり現状の調査を行った結果、解析ではL側(曲線内側)に発生する負反力が実際にはR側に発生していることがわかった。これは製作・架設時の施工誤差によるねじれ変形が生じたものと考えられる。

また、支承取替にあたり、架設時の負反力による予想外の動きを防止する目的で仮受支承、負反力装置(PC鋼棒)、横揺防止装置(ガイド)を設置し取替が行われている。

取替後も用心のためにR側のPC鋼棒は存置させてあった。(図-5参照)

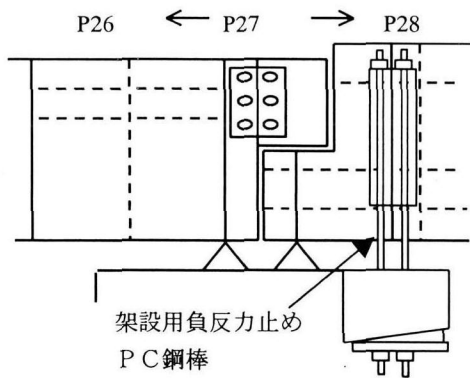


図-5 架設用負反力止め設備

その後の平成10年度阪神高速公団大阪管理部管内点検調査報告書によると、空下P27はR側支承のサイドブロック取付け不良、空上P27はR側支承のセットボルトが4本欠損、LR支承ともに橋軸方向のストッパーの破断が確認されている。

3. 調査・計測

3.1 現況把握

支承取替工事を行うに当たり3径間連続曲線桁の空上下P27桁端部周辺の現場調査を行った。

その結果、平成10年度点検報告書どおり2階支承はR側支承のサイドブロックの取付け不良を（ボルト1本欠損）、空上P27支承については、LR支承とも橋軸方向のストッパーの破断、R側支承は支承セットボルトの欠損を確認した。

また、R側支承でソールプレートと上査との間に7～10mm程度の隙間を確認した。

図-6に空上P27R側既設支承の状況を示す。

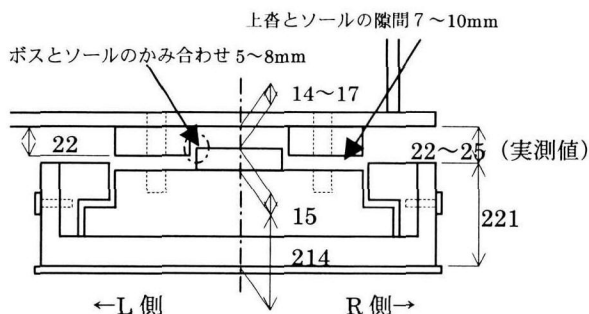


図-6 空上P27R側既設支承

さらに、空下P27のタイバーは破断して橋脚内に落下していた。空上P27架設時R側に存置したPC鋼棒2本は破断し、共に負反力に抵抗しておらず、常時桁が浮いた状態であった。さらに、大型車両の交通によりR側支承が浮き沈みしていることを目視にて確認した。

（写真-1、2参照）

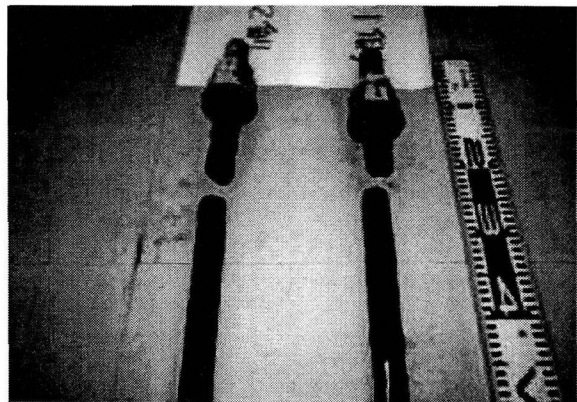


写真-1 空上P27R側 PC鋼棒破断

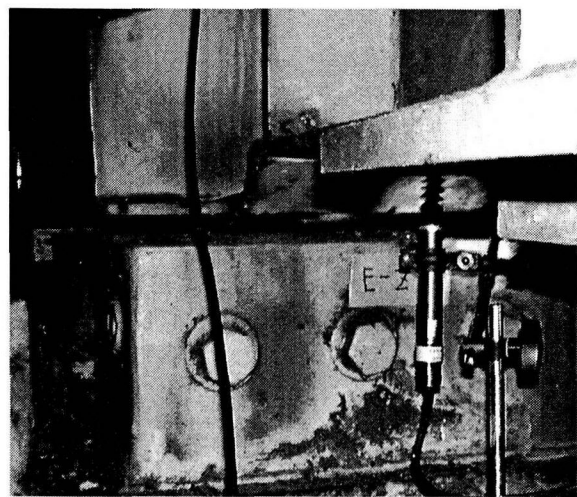


写真-2 空上P27R側 支承部

以上より、空上P27支承については、建設当時に模型実験による反力修正設計、昭和58年には支承のみで負反力に抵抗できる支承への取替を行いさらに負反力止めのPC鋼棒を残置している。

この様に安全側の設計により補修取替が行われているにもかかわらず再度損傷が生じた。

これは、昭和58年の支承取替時に設計上考慮した反力、挙動が、実橋の桁の反力および挙動と異なっているという問題があると考えられる。

今回支承取替工事を行うにあたり十分注意を払う必要があり、実橋の現状把握を行い取替検討及び支承設計を行うこととした。

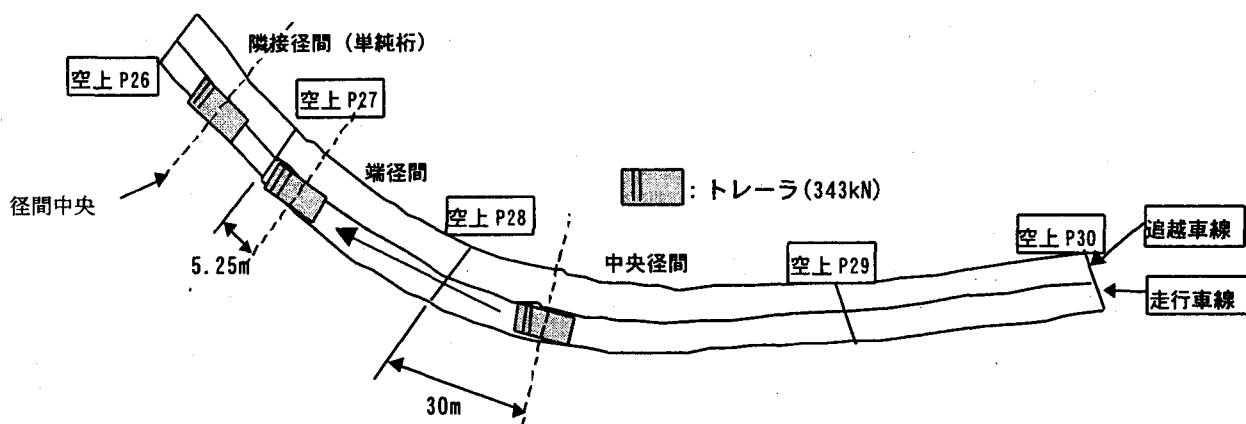


図-7 載荷位置図 (ケース5→ケース6)

3.2 活荷重による挙動確認

現状把握を行う為に、まずは車線規制を行わない一般車両荷重による計測にて変形状及び端支点に着目した主桁の3次元的な挙動の確認を行った。

計測結果から桁端部挙動の確認を行うことができたが、特に大きな値の変位やひずみを計測する事は出来なかった。その後、空上 P27 走行車線側の車線規制を行い既知荷重による挙動調査を行った。を図-7に載荷位置図を表-1に載荷ケースを示す。

表-1 載荷ケース

載荷ケースNo.	静的載荷ケース		
	車線	対象	試験車台数
1	走行車線	中央径間	1台
2		端径間	1台
3		隣接径間(合成桁)	1台
4		中央・端径間	2台
5		中央・隣接径間	2台
6		端・隣接径間	2台
7		中央径間	2台
8	追越車線	中央径間	1台
9		中央径間	2台
10	走行・追越車線	中央径間	2台
載荷ケースNo.	動的載荷ケース		
	車線	試験車台数	
11	走行車線	1台	
12	追越車線	1台	

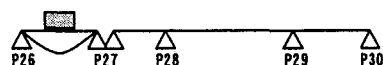
単純桁に荷重が載荷された状態 (ケース3) において単純桁支点部の回転により、負反力を押さえているブラケットが浮き拘束を解放するためこの時の空上 P27 (老)の挙動が、本来桁自身が動こうとする挙動となる。

その結果、空上 P27 (老)の桁端部は R 側が浮き曲線内側へ動くことが確認された。

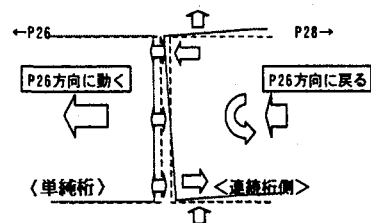
図-8にこれらの挙動を示す。

<荷重載荷図>

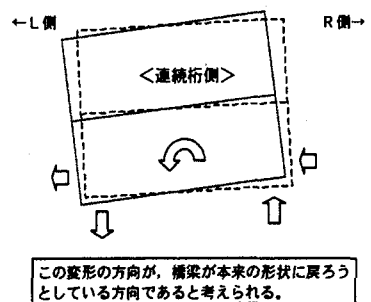
○空 P26~P27 : 隣接径間 (50m)



<空 P27 平面図>



<空 P27 断面図 (P28→P26)>



<空 P27 側面図>

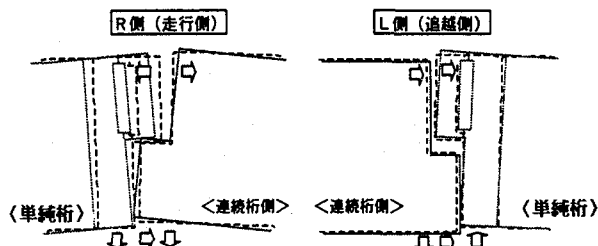


図-8 既知荷重による空上 P27 挙動調査 (ケース3)

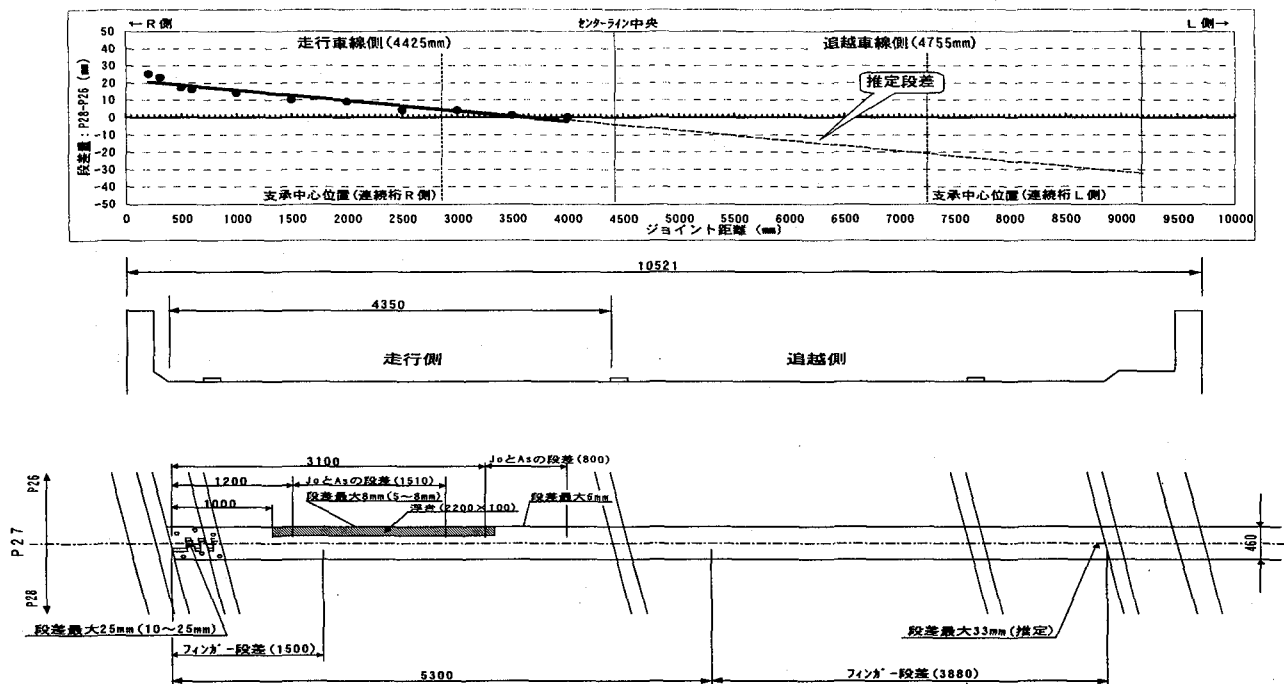


図-9 空上P27伸縮装置段差計測

3.3 路面調査

路面調査では、支承損傷によるものと考えられる伸縮装置の段差が発見された。

車線規制を行った走行車線側端部で最大25mmのフィンガー段差を計測した、また追い越し車線側は推定値で33mmの段差が有るものと考えられる。

空上P27伸縮装置の段差状況を図-9に示す。

3.4 死荷重負反力の測定

既設負反力止め設備を使用しP C鋼棒、センターホールジャッキ変位計などを設置して空上P27R側の実際の負反力と負反力による浮き上がり量を計測した。

その結果、P C鋼棒を引張込みR側支承の変位が動かなくなったのが8.8mmであった。

そのときの反力は52tfであり負反力の値は52tで浮き上がりの量は8.8mmであったと言える。

浮き上がりの量については単純桁側のブラケットによる拘束があるため、拘束が無くなった場合の浮き上がり量を計測時の反力と変位の関係より推定した。

グラフの傾きよりジャッキに32tfの力が入るまではブラケットと接していたと考えられる。

その後の傾きの傾向から単純桁側のブラケットによる拘束が無くなった場合の空上P27R側浮き上がり量の推定すると約17mmとなった(図-10参照)。

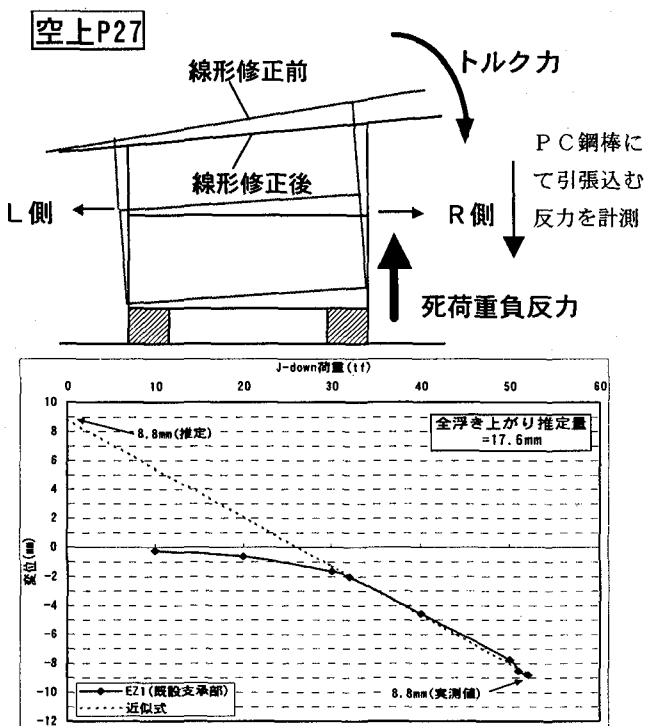


図-10 空上P27R側浮き上がり量の推定

4. 空P27取替支承の設計と施工

昭和58年に支承取替が行われた際にも支承のみで負反力に抵抗出来る設計になっていたにもかかわらず、R側の支承セットボルトはすべて破断し、上査とソールプレート間に8.8mmの隙間が生じる結果になった。

R側は桁の捻れ変形により常に桁が浮いた状態でありL側の支承に全荷重が作用している。

したがって、空上P27R側支承を正規の位置に設置し直し伸縮装置の段差を軽減させるとともに負反力も軽減させる方針とした。

支承設計に関しては、現状の52tf負反力状態、架設時に負反力止めにて引張込んだ状態、空上P28R側支承設置高さ変更時など空上P27～P30で考えられる構造系に対して解析を行い、空上P27LR側に発生する各反力ケースの内で最大値を選択して支承設計反力とした。反力表を表-2に示す。

		通常		損傷		負入力521f		空27R空28R沈下	
解析内容		全首有効 不等沈下無し		空27R側支無効 不等沈下無し		空27R側 負入力521f再現		空27R側1.6mm沈下 空28R側0.0mm沈下	
主桁 No.		G1L	G1R	G1L	G1R	G1L	G1R	G1L	G1R
不等沈下による影響		0.000	0.000	0.000		744.731	-732.109	127.048	-205.696
死荷重	死(不等)	-77.572	176.225	101.691		667.159	-555.884	49.476	-29.471
	将来荷重	-12.823	29.469	17.154		-12.823	29.469	-12.823	29.469
	小 計	-90.395	205.694	118.845		654.336	-526.415	36.653	-0.002
活荷重	Max	1064.304	1066.275	1542.415		1064.304	1066.275	1064.304	1066.275
	Min	-673.859	-331.422	-909.251		-673.859	-331.422	-673.859	-331.422
反力合計	Max	973.909	1271.969	1661.260		1718.640	539.860	1100.957	1066.273
	Min	-764.254	-125.728	-790.406		-19.523	-857.837	-637.206	-331.424
死荷重反力合計		115.299		118.845		127.921		36.651	
R(表示反力1.1)		-1438.114	-457.151	-1699.656		-1438.114	-457.151	-1438.114	-662.848

また、セットボルトの設計は、4本にて行っているが、設置本数はボルトの片効きを考慮して8本の設置としている。新設支承図を図-11に示す。

Technical drawing of a mechanical part showing three views: front, top, and side. The front view shows a rectangular block with a central slot and two side slots. The top view shows the block's footprint with dimensions 450x480. The side view shows the block's profile with dimensions 430x220. Dimensions are given in millimeters.

その際、空上P27R側支承の負反力止めにロードセルを設置し、空上P28R側支承をジャッキダウンすることにより、ロードセルに作用している負反力値が抜けていくことになる。

```

graph TD
    A[ジャッキアップ設備・アップリフト設備の設置] --> B[ステップ1:空P27主桁ジャッキアップ]
    B --> C[既設梁と主桁・橋脚との離切、既設梁の撤去  
新設梁の挿入位置調整]
    C --> D[空P27主桁ジャッキダウン  
R側PC鋼伸張梁]
    D --> E[新設梁滑接]
    E --> F[ステップ2:空P28主桁ジャッキアップ]
    E --> G[L・R側繰り返し返し]
    F --> H[既設梁と主桁・橋脚との離切、既設梁の撤去  
新設梁の挿入位置調整]
    H --> I[空P28主桁ジャッキダウン]
    I --> J[新設梁滑接]
    J --> K[ステップ3:空P28上R側ジャッキダウン]
    J --> L[L・R側繰り返し返し]
    K --> M[P27～P30 反力測定・桁内部応力測定]
  
```

The flowchart illustrates the installation process for the P27 main structure and P28 upper R-side structure. It begins with the installation of jacking equipment and up-lift equipment. The process then follows a series of steps: Step 1 involves jacking up the empty P27 main beam, separating the existing beam from the main beam and pier, removing the existing beam, and adjusting the position of the new beam. This is followed by jacking down the empty P27 main beam, stretching the R-side PC steel beam, and sliding the new beam into place. A loop labeled 'L・R側繰り返し返し' (Repeat on L・R side) leads to Step 2, which involves jacking up the empty P28 main beam, separating the existing beam from the main beam and pier, removing the existing beam, and adjusting the position of the new beam. This is followed by jacking down the empty P28 main beam and sliding the new beam into place. Another loop labeled 'L・R側繰り返し返し' (Repeat on L・R side) leads to Step 3, which involves jacking down the empty P28 upper R-side beam. The process concludes with force measurement and internal stress measurement for P27 through P30.

P28 R側支承のジャッキアップダウンを行った。

		空P27 (f)	
		R側	L側
P28R側 ジャッキ量 (mm)	5	-8.4	11.6
	0	0	0
	-10	16.4	-19.8
	-17	27.6	-35.8

— 1016 —

測定の結果、空上P28R側支承をジャッキダウンすることによって空上P27R側支承に正反力を与えることがわかったが、同時に空上P27L側支承の反力が減少することがわかった。図-14に空上P28R側ジャッキアップダウンした場合の空上P27LRの反力変化量を示す。

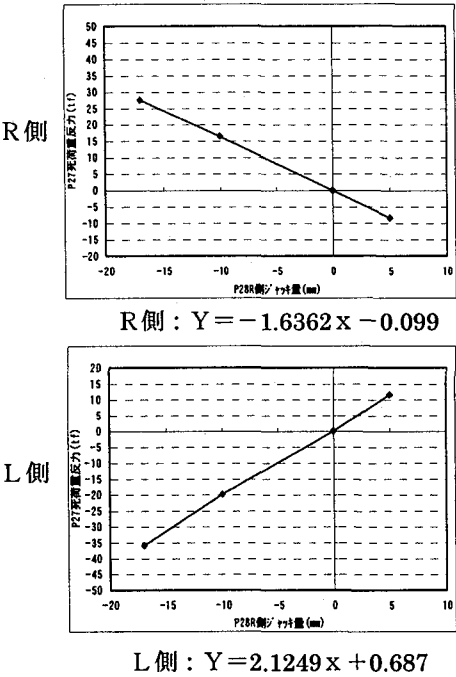


図-14 空上P28R側ジャッキアップダウンによる空上P27LR反力変化量

次に、支点反力をジャッキに預けた状態で、24時間の継続計測を行い、温度変化に対する反力変化を計測した。

図-15に温度変化による空上P27LR 支承の反力変化状況を示す。

空上P27R側支承は、気温が下がり桁温度が下がるにつれて負反力量が増加する傾向が有ることがわかった。空上P27L側支承は、気温が上がるにつれて負反力量が増加する傾向となった。

その割合はR側の方が大きく、空上P27LR共に正反力での支承取り替えは不可能で有ることがわかった。

これは空P27～P30が曲線桁であり、端支点上で斜角を有していることによる。温度変化による桁の伸びによる反力が構造全体で釣合っており、1支承線上では釣合わなく、他支承にも影響しているものと考えられる。

これらのことから、現状の状態でR側支承を死荷重反力がゼロとなるように取り替えてもL側支承に負反力が発生することになる。

今回の反力計測結果を基にLRの反力が1年を通して釣合いが取れるように空上P28R側支承の下げ量を決定することとした。

空P28R側の支承設置高さを変化させた場合の温度変化による空P27LR反力変化を推定したグラフを図-16に示す。

グラフより空上P28R側支承を 10mm ジャッキダウンにて設置した場合が空上P27LR共に反力バランスが良いので10mm 下げて支承取替を行う事とした。

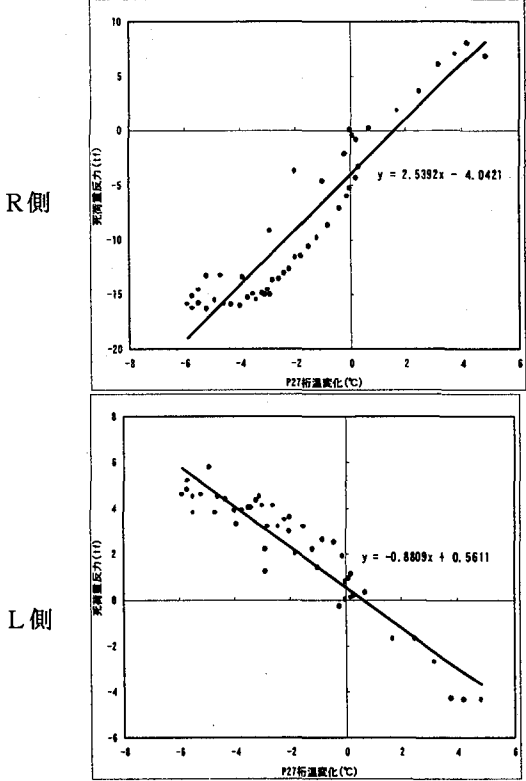


図-15 桁温度と空上P27支点反力の関係

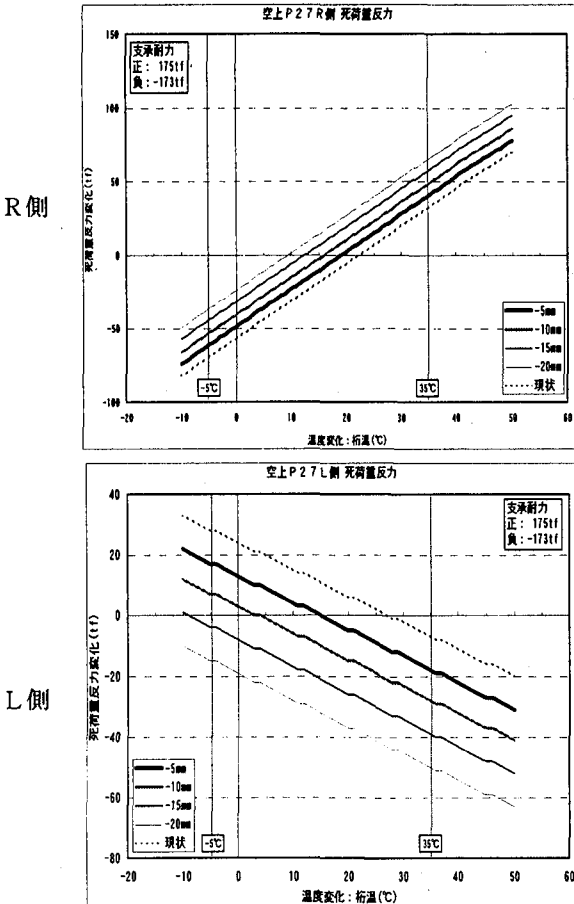


図-16 温度変化による空上P27LR反力変化量

5. 支取替後の安全確認（モニタリング計測）

実反力測定時に24時間の継続計測を行ったところ温度によりLRの反力が変化している事が確認された。

このことより支取替後の気温の変化によってLRで発生する負反力の値が変化している。

支取替は、空上P27での温度変化による反力の増減を考慮して空上P28R側支取の設置高を決定したが、支取替後に実際に支取に作用している反力を計測する事が出来ない。

よって、空上P27支取替時に支点上補剛材にひずみゲージを設置し温度変化と補剛材に作用する応力の関係と温度変化とジャッキに作用する実反力の関係を求めることとした。

この2つの関係式より支点上補剛材の応力と反力の関係を求め、これを管理値として使用することとした。

表-3に応力及び桁温と死荷重反力の関係式を示す。

表-3 応力及び桁温と死荷重反力の関係式

y=ax+b	応力と死荷重反力		桁温と死荷重反力	
	a	b	a	b
R側応力	-5.0104	2.7125	1.6678	2.6549
L側応力	-1.681	0.8699	-0.4505	0.4907

ここに、応力による死荷重反力の推定値は、Xに応力変化量を、桁温による死荷重反力の推定値は、Xに温度変化量を代入することにより算出する。

モニタリング計測は、支取替後に月一回の間隔で行った。計測回数は5月初から7月末までの3ヶ月間で4回行った。この際の桁温の変化量は初期値から+15度となっている。この4回の計測結果から死荷重反力の値を推定した。表-4に死荷重反力推定結果一覧を示す。

表-4 死荷重反力推定結果一覧

			4/24 初期値	5/7 第1回	5/31 第2回	7/4 第3回	7/30 第4回
測定値	桁温	℃	20	25	22	33	35
	R側応力	μ	-2023	-2033	-2029	-2049	-2051
	L側応力	μ	-2179	-2174	-2176	-2155	-2144
変化量	桁温	℃	-	5	2	13	15
	R側応力	μ	-	-10	-6	-26	-28
	L側応力	μ	-	5	3	24	35
換算	桁温	℃	-	5	2	-13	15
	R側応力	Mpa	-	-2.1	-1.2	-5.4	-5.8
	L側応力	Mpa	-	1	0.6	4.9	7.2
死荷重反力	R側	tf	20	31	26	47	49
(応力変化)	L側	tf	-23	-25	-24	-31	-35
死荷重反力	R側	tf	20	28	23	42	45
(温度変化)	L側	tf	-23	-25	-24	-29	-30

(1MPa=10.2kgf/cm²=1N/mm²)

死荷重反力は、桁温20℃から35℃までの15℃の変化に対して、応力変化からの推定値では、R側は20tfから49tf、L側は-23tfから-35tfとなった。

温度変化では、R側は20tfから45tf、L側は-23tfから-30tfとなった。

2つの推定値に若干の差異はあるが、推定結果の傾向は同様であり特に問題は無い。

ここで、1年を通しての温度変化（桁温）の範囲を+50℃から-10℃と設定して死荷重反力範囲の推定値を表-5に示す。

表-5 温度変化による死荷重反力範囲の推定値

	桁温(℃)	死荷重反力(tf)	
		P27R	P27L
最高温度	50	70	-37
初期値	20	20	-23
最低温度	-10	-30	-9

このように桁温度+50℃から-10℃の範囲での死荷重反力の推定値は、R側は70tfから-30tf、L側は-37tfから-9tfとなった。

これに活荷重の影響を考慮すると空上P27LRの最大死荷重反力の推定値はL側で-37tfである。活荷重minを考慮すると、一番不利な場合であっても負反力は-106tf程度である。

このことより発生する負反力は、新設支取の耐力-173tfに対しては問題の無い負反力値で有り、今回の支取替は年間の温度変化による死荷重反力の変化にも対応できていることを確認した。

6. あとがき

本報告では、主に死荷重状態において負反力の生じる3径間連続曲線鋼床箱桁端支取の損傷した支取替工事の設計と施工について述べた。

本報告の主な内容は下記の通りになる。

- 1) 現状を調査した結果、空上P27R側支取の死荷重状態における反力は、-52tfであり、浮き上がり量は17mmであった。
- 2) 死荷重反力を24時間計測した結果、桁温度の変化により死荷重反力が変化することが解った。反力変化量は、L側支取はR側支取に比較して大きい。
- 3) 負反力の改善対策について、本橋の場合、空上P28R側支取位置を下げる事が有効な方法であることが解った。
- 4) 本支障取替工事により、空上P27反力は、空上P27R側の負反力52tfが正反力20tfに、空上P27L側反力が-23tfに改善された。
- 5) 新規支取は、年間の温度変化による死荷重反力の変化に十分対応できることを確認した。

一般に支取替工事において、負反力が生じている場合、工事の安全性等を考慮すると取り替えを行わないケースが多い。本報告が、今後施工される負反力の生じる支取替工事の設計、施工の参考になれば幸いである。

最後に、本工事にあたり終始多大なご指導をいただいた阪神高速道路公団大阪建設局建設企画部設計課、大阪第一改築工事事務所関係各位、(財)阪神高速道路管理技

術センター林秀侃様、タカラ技研（株）池田圭一様、横河メンテック（株）関係各位およびフジエンジニアリング（株）関係各位に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 富田穰・瀬川章彦・岩永巧：曲線部（空P-27）における負反力査の損傷と補修、第15回技術研究発表論文集、pp.207-210,1983
- 2) 岡本美津男・浜田信彦・志村敦：死荷重負反力を伴う支承の取替、第33回技術研究発表論文集、pp.202-207,2001

- 3) 阪神高速道路公団、(株)東京鉄骨橋梁製作所：空P27に関する資料集成業務報告書、1983
- 4) 片山ストラテック（株）空P27支承取替検討報告書、2001
- 5) 浜田信彦・志村敦・山口史夫・木村恭介：死荷重負反力を受ける支承の取替検討、土木学会第56回年次学術講演会、2001.
- 6) 浜田信彦・志村敦・山口史夫・木村恭介：死荷重負反力を受ける支承の取替工事、土木学会第56回年次学術講演会、2001.

(2001年9月14日受付)