

免震技術を活用した阪神高速湾岸線・港大橋の耐震補強 —日本で最初の本格的な長大橋耐震補強—

金 治 英 貞・宮 本 義 広・高 田 佳 彦

阪神高速湾岸線の港大橋は、1974年に完成した橋長980mの長大トラス橋であり、兵庫県南部地震相当のレベルⅡ地震動に対応する内陸型地震や海溝型地震を考慮した解析を実施した場合、数多くの主構トラス部材に座屈あるいは降伏発生の危険性が認められている。そこで、本橋の耐震補強に際しては、床組免震挙動や座屈拘束ブレース塑性変形による非主部材の免震効果や制震効果を期待した設計を実現するために、支承の取替えや部材の取替え、補強を行う方針である。本報文では、橋梁概要、耐震補強概要について述べたのち、現在進行中の免震化工事について紹介する。

キーワード：橋梁，長大橋，鋼構造物，耐震補強，免震，支承取替え，ジャッキアップ

1. 橋梁概要

(1) 橋梁概要

阪神高速道路湾岸線は、本州四国連絡道路から関西国際空港連絡道路に至る延長約80kmの大阪湾岸道路のうち、神戸市東灘区の六甲アイランドから泉佐野市のりんくうJCT間の延長約55.9km、および神戸市垂水区の垂水JCTから名谷JCT間の延長約1.8kmにおいて供用されている道路構造規格第2種1級の道路である。構造的には、大型船舶の航路等を跨ぐ区間が多く、長大橋梁が多いことが特徴である。

港大橋は図-1に示す橋長980m（側径間235m+

中央径間510m+側径間235m）のわが国第1位、世界第3位の長大ゲルバートラス橋であり、上記の4号湾岸線と5号湾岸線の一部を構成している（図-2）。

本橋には各4車線を有する上下2層の道路面があり、日交通量（平日平均）はそれぞれ、61,900台、50,600台となっている（2003年4月時点）。湾岸線の建設は第1期工事として1970年7月にこの港大橋において初めて着手され、これを含む1.9kmが1974年7月に供用開始された。

(2) 構造の特徴

建設当時、当該架橋地点は非常に軟弱な地盤のために支点間における不等沈下が懸念され、この対応のた

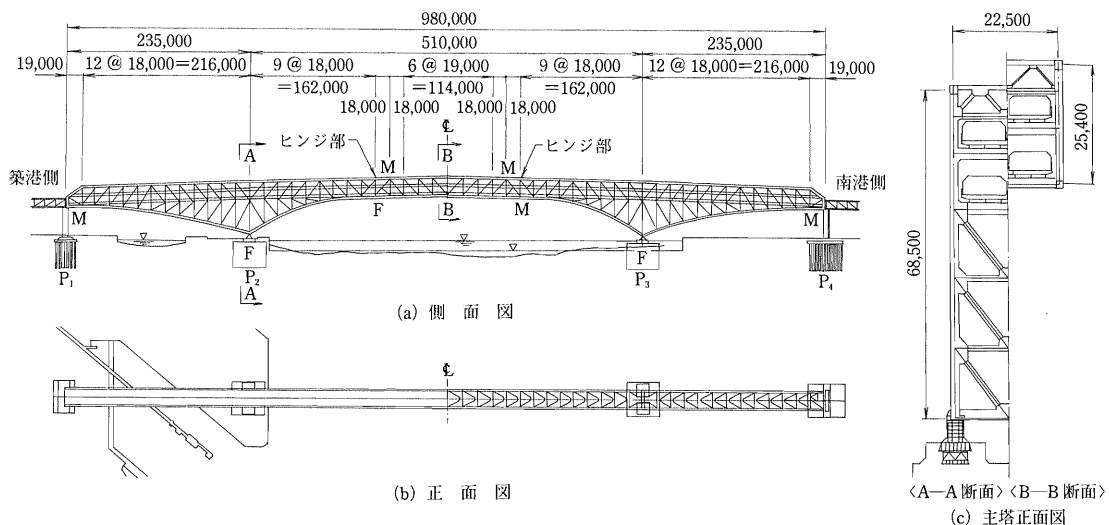


図-1 港大橋一般図



図一2 湾岸線と港大橋位置図

め中央径間にヒンジを有するゲルバー形式が採用されている。また、死荷重軽減が命題となり、日本で初めて高引張力鋼材 HT 780 ($\sigma_y=780 \text{ N/mm}^2$) や HT 690 ($\sigma_y=690 \text{ N/mm}^2$) が本格的に採用された。鋼重量は約 40,000 トン、また舗装を含めた総重量は約 45,000 トンとなっている。

上部構造の架設は、中間支点上の塔部から両側に単材架設による張出し架設を行ったのち、海上曳航した長さ 186 m、重量約 4,500 トンの中央吊桁部を一括して吊上げ閉合させた。これらの海上からの大規模架設は、のちの湾岸線の長大橋はもとより、本州四国連絡橋の先駆け的施工法でもある。

2. 耐震補強概要

(1) 耐震補強の必要性

兵庫県南部地震以降、全国において橋梁の耐震補強が鋭意実施されてきている。特に、都市の高速道路はリスクマネジメントの見地から補強投資効果の高いインフラストラクチャであることは疑いの余地がなく、優先的な予算配分がなされている。

しかし、都市高速道路と言えども、湾岸地域に位置する長大橋の場合、その投資額、技術的難易度から一般高架橋の耐震補強に遅れをとっているのが現状である。長大橋の場合、補強投資額は大きなものとなるが、同時に損傷時コストである復旧コストと復旧までの経済損失コストも計り知れないことから、長大橋の特性を考慮した、効果的な耐震補強をできるだけ早急に実

施する必要がある。

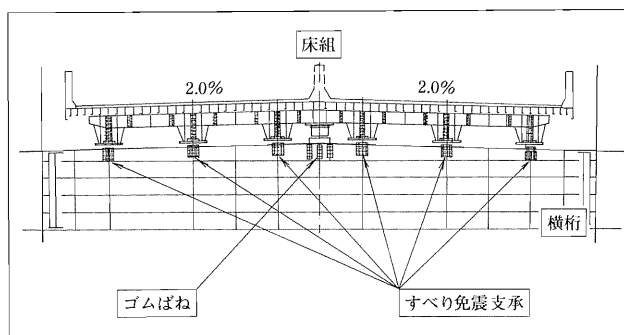
本橋は、最大応答加速度が当初設計の約 4 倍となる近傍断層の地震動を考慮した解析を実施した場合、主構トラス部材に座屈あるいは降伏発生の危険性があることが認められた。また、阪神高速道路の長大橋の中で最も建設年次が古く、損傷時コストが大きいことから最も高い耐震補強の優先度が設定されている。

(2) 耐震補強全体構想

本工事の主たる工事内容は、図一3 に示す床組免震化と座屈拘束ブレースで地震応答を低減するものである。しかしながら、応答低減対策だけではすべての部材を許容値内に抑制することは困難であることから、座屈防止材の設置のほか、一部部材についてはコンクリート充填や鋼板補強による工事が必要とされている。また、構造要素として脆弱と想定される吊桁ヒンジ部や中間支承においてはフェールセーフ構造の設置を考えている。図一4 に全体の補強構想を示す。

応答低減の方法として、橋軸方向には免震化が有効と判断されたことから各種の免震構造が考えられた。しかしながら、主構トラスを支持する巨大な中間支承(死荷重反力 11,178 トン、活荷重反力 2,224 トン)を免震化することは施工困難なことはもち論のこと、その鉛直反力を支持しかつ安定した履歴減衰を得る免震支承の開発は現段階では不可能に近いことから、床組(鋼床版)の既設金属支承をすべり免震支承に取替える方法を採用した。

橋軸直角方向についても種々の方策が考えられたが、解析上座屈が想定される横構や対傾構を、座屈拘束ブレース(座屈しない軸力部材)に取替えることにより、その履歴減衰を期待する技術を現在最有力候補として選択している。座屈拘束ブレースには種々のものがあるが、芯材に低降伏点鋼を用いたものが一般的であり、この芯材が座屈しないように拘束管が外部に配置されたものである。



図一3 すべり免震システム

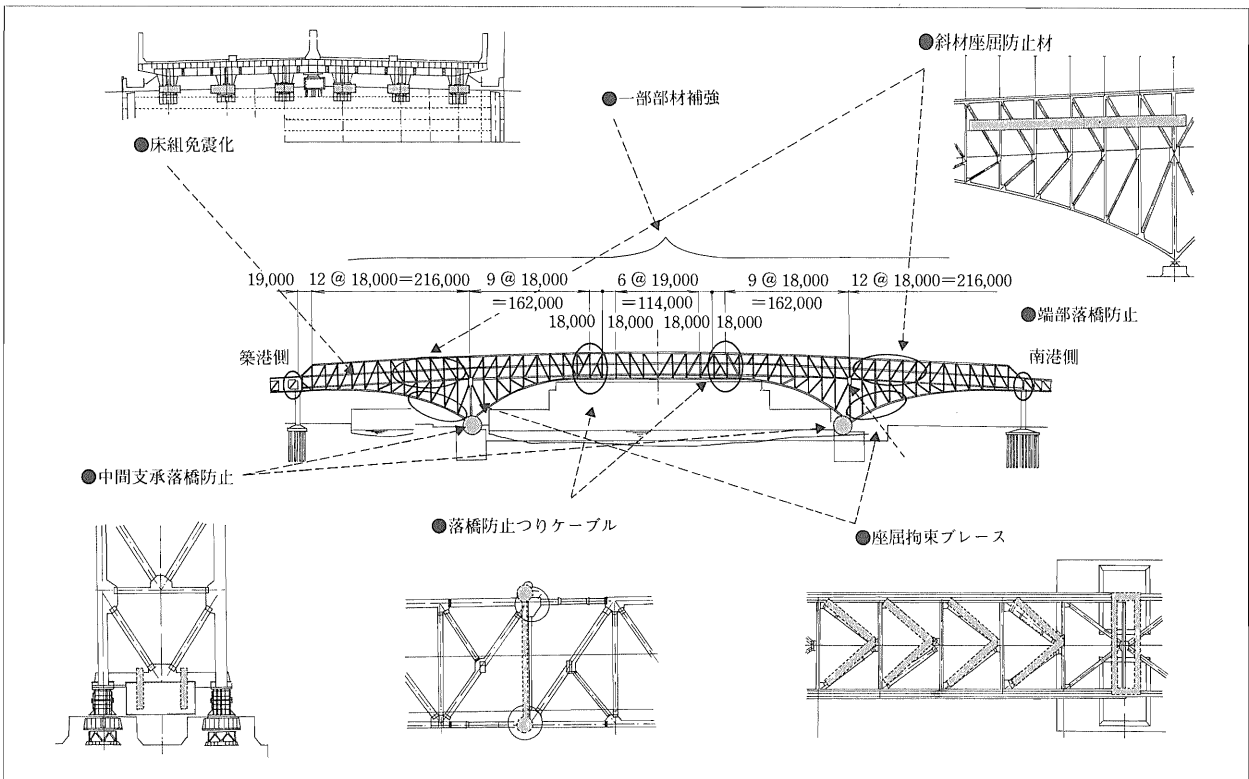


図-4 耐震補強全体構想

3. 床組免震化施工法

(1) 施工の基本方針

本工事は、既存の支承板支承（BP・A 支承）（片側移動量約 50 mm 程度）を施工実績の少ないすべり免震支承（片側移動量約 670 mm 程度）に交換する工事である（図-5）。特徴として、各支点の最大反力は死荷重状態で約 400 kN、全反力で約 1,000 kN と比較的小さい。このため、支承交換の際には以下の点に留意する必要がある。

- ① 上柵及び下柵が分離した構造であるため、従来の金属支承やゴム支承と異なり、単体では水平方

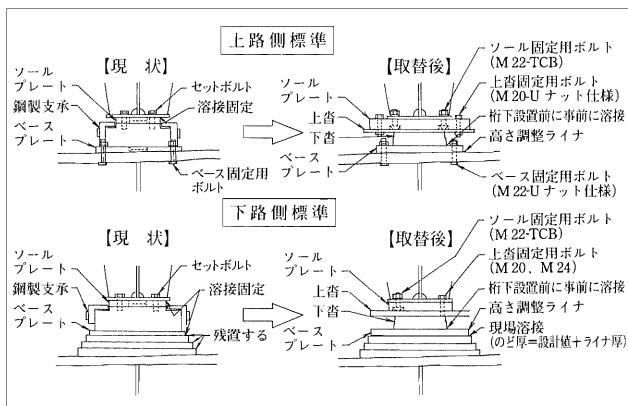


図-5 支承取替え構造図

向の変位拘束、特に橋軸直角方向への変位拘束が出来ない。

- ② 鋼床版桁の横方向の剛性が反力に比較して大きく、一般的な方法である 1 支承線上の交互ジャッキアップは不可能である。つまり、G1 桁（6 主桁の 1 番目桁を意味する）と G3 桁をジャッキアップする場合、G2 桁も自然と浮上ることになる。

上記の留意点を考慮した施工要領は下記のとおりである。

- ③ ジャッキアップは G1 桁～G6 桁で同時に行う。ジャッキアップ量は、ソールプレートと上柵のせん断キーが外れない 3 mm 程度とする。
- ④ ジャッキアップ中は隣り合う横桁位置でのジャッキアップは行わない。
- ⑤ 取替え後の新支承の設置は橋軸直角方向の変位拘束装置の取付けと同時に行い、常に橋軸直角方向への変位拘束が可能な状態を確保する。

図-6 に作業工種と手順を述べる。

(2) ジャッキアップ補強工

写真-1 のように横桁上に足場を設置した後、ジャッキアップに先立ち必要な補強材を取付ける。補強手順は、以下のとおりである。

- ① テンプレートをを用いて、鋼床版横リブウェブ、

耐震補強工事 作業フロー図 (例:端支点、桁連結あり)

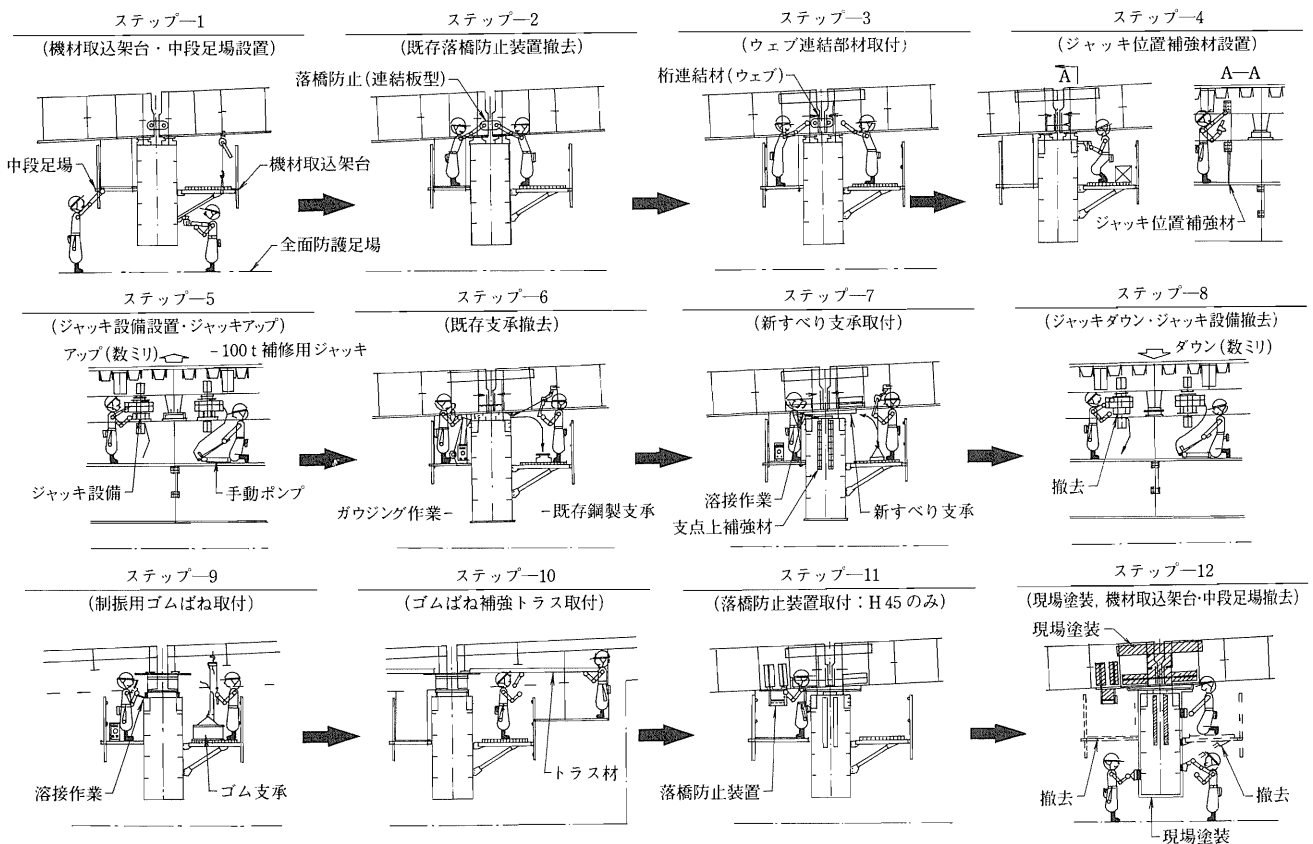


図-6 作業フロー

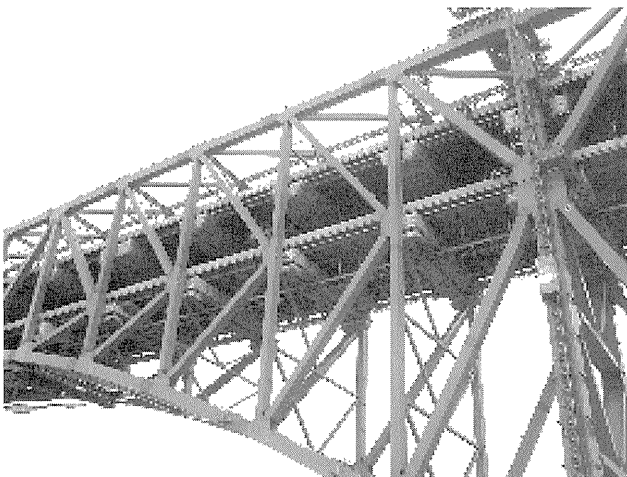


写真-1 トラス横桁上に設置された足場

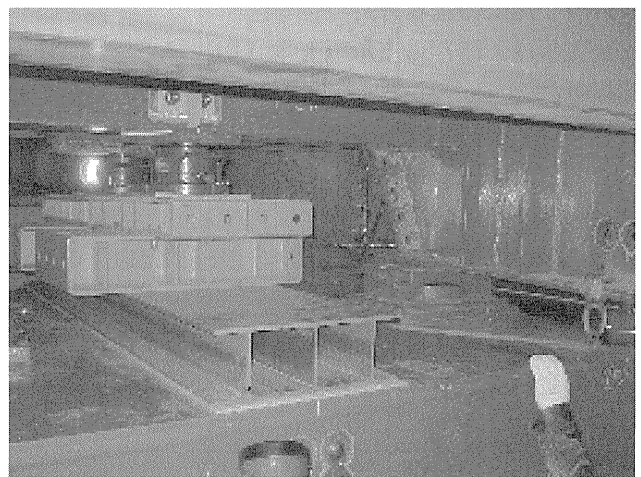


写真-2 ジャッキアップ

端支点横桁ウェブ、および中間支点横桁ウェブに補強材取付け孔のマーキングを行う。

- ② 携帯用磁気式ボール盤を用いて桁に直角に削孔する。
- ③ ウェブ補強板（中間支点のみ）を取付けた後、所定の位置にジャッキアップ補強材を高力ボルトにて確実に締付け固定する。

(3) ジャッキアップ (写真-2)

ジャッキアップ補強完了後、ジャッキアップ用の架台を設置し、ジャッキアップを行う。

- ① 既存支承のセットボルトを5~10mm程度緩める。
- ② 補修用100tジャッキを架台の上に設置し、支承線上を同時にジャッキアップする。ジャッキアップは手動ポンプ作業員と高さ計測員からなる班で

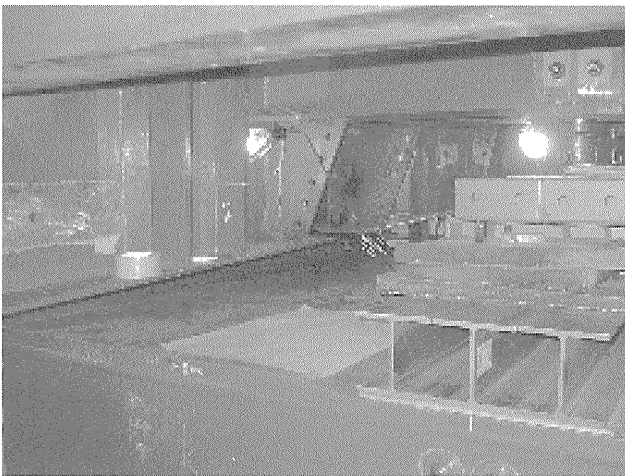
行い、直尺等を用いて1mmずつをジャッキアップ量を確認しながら行う。また、その都度油圧等の返上がないかを確認しながら本体と支承との絶縁が確認されるまでジャッキアップを行う。なお、標準ジャッキアップ量は前述のとおり3mmとする。

- ③ ジャッキアップ完了後、桁下間隔を再度計測して、ジャッキアップ量に各支承間で差が生じていないことを確認する。確認終了後、ジャッキのロックを行う。

(4) 既設支承撤去 (写真—3)

既存支承の撤去は以下の手順で行う。

- ① 緩めておいた既設セットボルトを外す。
- ② 縦桁下フランジとソールプレート及び台座とベースプレートの溶接部をガウジングにてはつりとる。
- ③ レバーブロック等を用いて支承を橋軸方向に引抜き、横桁上から撤去する。
- ④ 溶接熱影響部はディスクサンダを用いて平滑に仕上げる。



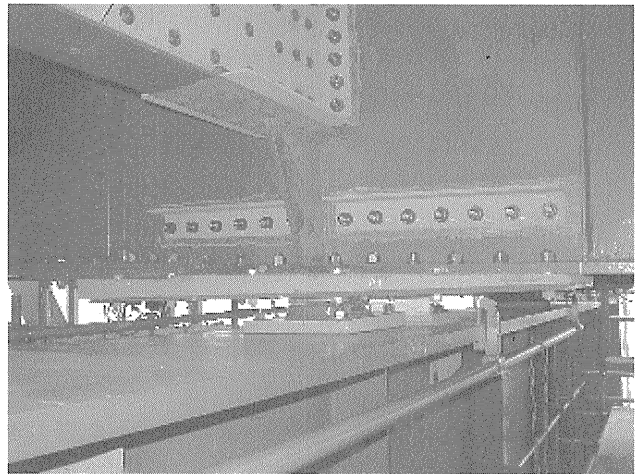
写真—3 既設支承撤去

(5) すべり支承据付け (写真—4)

- ① 下沓高が低く円形のため据付け後の溶接が困難な下沓とベースプレートの溶接を実施する。
- ② テンプレートを用いて下フランジのセットボルト孔のマーキングを行い、孔を明ける。
- ③ ソールプレートを下フランジに高力ボルトで固定する。このとき下面が水平になっていることを確認する。なお、精度は1/100以下を目標とする。
- ④ ソールプレートの下に上沓を設置し、セットボルトで固定する。
- ⑤ 下沓、ベース及び調整プレートを縦桁及び横桁

のウェブの交差する位置を中心に設置する。なお、調整プレートはベースプレートの直下に設置する。

- ⑥ ジャッキダウンはアップ時と同様に直尺等で確認しながら徐々に行う。ジャッキダウン終了後、隙間が認められる場合は再度ジャッキアップして調整プレートを交換する。
- ⑦ 設置高の管理終了後、ベースプレートをボルト又は溶接にて固定する。

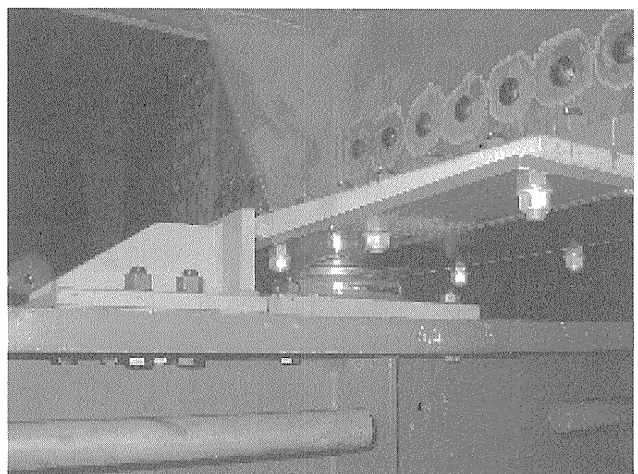


写真—4 新設すべり免震支承

(6) 変位拘束装置設置 (写真—5)

変位拘束装置はすべり支承の橋軸直角方向の変位および鉛直上方向の変位を拘束する部材である。設置要領は下記のとおりである。

- ① すべり支承の出来形に合わせて調整ライナー厚の決定を行い、携帯用磁気式ボール盤を用いて削孔を行う。
- ② 変位拘束装置を高力ボルトにて確実に締付ける。
- ③ 1ブロックに1支承線のみ、本装置と上沓間に



写真—5 変位拘束装置とすべり免震支承

常時固定用の橋軸方向変位拘束用ピンを通して固定する。

(7) ゴムばね設置

本ゴムばねは常時において鉛直力の支持は行わず、常時においては鉛直方向に約5mmの隙間により鋼床版と横桁とを分離し、せん断キーにて水平力を伝達させるものである。設置要領は以下のとおりである。

- ① ジャッキアップ装置撤去後に、横リブの下フランジ下面に上から縦断調整フィラー、高さ調整フィラー及びブレーキラス用ガセットの順に設置して高力ボルトで固定する。
- ② 横桁上面にベースプレートを設置して、仮溶接にて固定する。
- ③ ゴムばねの上にソールプレートを乗せてガセットとベースプレートの間に橋軸方向から挿入する。
- ④ セットボルトにてガセットとソールプレートを圧着、固定する。固定後、下沓及びベースプレートを本溶接する。
- ⑤ ゴムばね据付け後、縦桁付きガセットを高力ボルトにて固定する。その後、ガセット間の距離を測定してトラス材の一方の削孔を行ったのちに、トラス材を順次取付けて、高力ボルトにて固定する。

4. おわりに

本報文では、床組免震工事を中心に紹介したが、今

後、他のメニューも随時実施され、大幅な耐震性能向上が図られる予定である。本プロジェクトが今後の長大橋の耐震補強に少なからず参考になれば幸いである。

最後に本報文をまとめるに際して、一部、港大橋耐震補強工事(13-1-湾)(日立・エイチイーシー建設工事共同企業体)の施工計画書を参考にさせていただいた。ここに深く感謝したいと思います。 JCMA

[筆者紹介]

金治 英貞(かなじ ひでさだ)
阪神高速道路公団
大阪建設局
設計課



宮本 義広(みやもと よしひろ)
阪神高速道路公団
大阪建設局
大阪改築事務所



高田 佳彦(たかだ よしひこ)
阪神高速道路公団
大阪建設局
設計課



建設機械図鑑

本書は、日本建設機械要覧のダイジェスト版として、写真・図版を主体に最近の建設機械をわかりやすく解説したものです。建設事業に携わる方々、建設施工法を学ばれる方々、そして建設事業に関心のある一般の方々のための参考書です。

A4判 102頁 オールカラー 本体価格2,500円 送料600円

社団法人 日本建設機械化協会

〒105-0011 東京都港区芝公園3-5-8 (機械振興会館) Tel. 03(3433)1501 Fax. 03(3432)0289