

京橋ディビダーク橋の地震被害と補修・補強

工務部 工務第一課 是 近 哲 男
計画部 特定計画調整室 川 北 司 郎
神戸第二建設部 須磨工事事務所 瀬 川 利 明

要 約

兵庫県南部地震によって阪神高速3号神戸線は桁の落橋、橋脚の崩壊など多大な被害を被った。京橋ディビダーク橋においては橋脚頂部の鉄筋座屈、桁の衝突と思われる桁端部・ヒンジ沓の破損などさまざまな損傷が見られた。

桁・橋脚の補修・補強としては、ヒンジ沓の取替え、外ケーブルの取付け、鋼板巻立て補強などを行った。昭和63年にP443～P444間のヒンジ沓の取替えでは、下床版に設けた開口部からスパット台船を用いて吊り込みを行うことができたが、今回の補修では現地条件からその工法を用いることができず、また橋脚補強鋼板の搬入についても橋面からの吊り下ろし作業とならざるを得ず、かなり厳しい条件下での施工となった。

本稿では、このディビダーク橋の被災状況をまじえながら、今後類似橋の耐震補強・設計・維持管理の一助とすべく、本橋の復旧に係る設計・施工の概要について報告する。

キーワード：兵庫県南部地震、ディビダーク橋、桁補修

まえがき

兵庫県南部地震によって被害を受けた京橋ディビダーク橋は、3号神戸線京橋ランプの西側海上部に位置する5径間連続で中央の3径間にヒンジを有するPCラーメン橋である。下部構造はケーソン基礎となっている。

今回の地震により、上部工は桁端部とヒンジ沓に、下部工は橋脚の頂部に被害が集中していた。特に、中央の2橋脚は頂部のコンクリートが欠落し、主鉄筋の座屈が生じていた。

橋脚の耐震補強工法としては、橋脚を鋼板で巻立て、鋼板の上端をPC鋼棒で主桁下床版に、下端をアンカー筋でケーソン上床版に定着させる工法を採用した。また、上部工についてはヒンジ沓および支承を交換し、主桁補強のために外ケーブルを桁内に配置した。

1. 橋梁概要

1-1 構造諸元

本橋の構造諸元は以下のとおりである。一般図を図-1に示す。

形式：5径間連続有ヒンジPCラーメン橋

橋長：290.5m (= 48.5 + 70.0 + 70.0 + 65.0 + 37.0)

幅員：17.6m

コンクリート：上部工 $\sigma_{ck} = 400 \text{kgf/cm}^2$

下部工 $\sigma_{ck} = 240 \text{kgf/cm}^2$

桁高：1.3m～3.3m

橋脚高：4.9m～5.5m

橋脚断面：3.0m×8.0m

ケーソン基礎：7.0m×18.0m

L = 20.0m～24.0m

なお、既設橋の施工時期は、昭和39年12月～昭和41年3月であり、昭和63年度にP443～P444間の

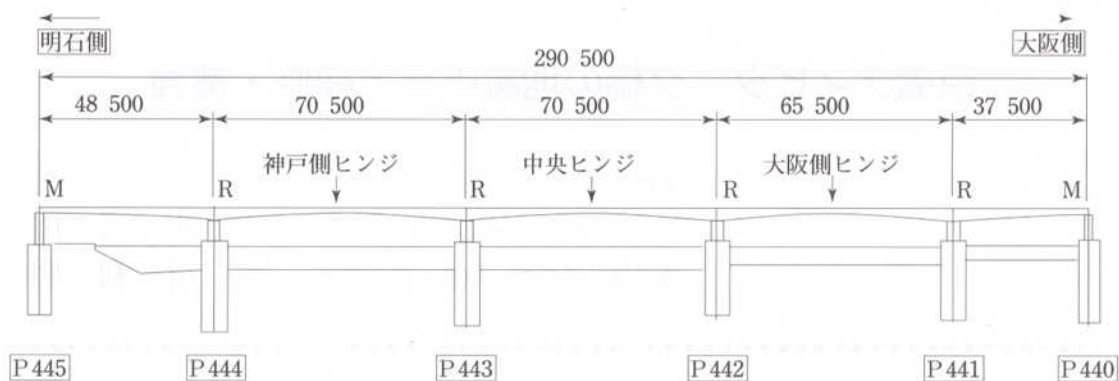


図-1 京橋ディバダーク橋の一般図

ヒンジ沓の取替えや外ケーブル取付けなどの補修工事がなされている。

1-2 被害状況

(1) 上部工

- 1) 桁本体はヒンジ沓部、伸縮装置設置部分のぞき特に損傷は確認されなかった。側径間の打継ぎ目に漏水、遊離石灰が数箇所確認された。
- 2) 橋面は両桁端部、ヒンジ位置の前後1mの範囲に、桁の衝突によると思われる被害が生じていた。
- 3) 伸縮装置、支承、ヒンジ沓はともに大きな被害を受けていた。特に支承はアンカーボルト位置で沓座コンクリートが破損、支承上部コンクリートの欠落がみられるほか、支承も大きく移動しており支承機能を失っていた。

(2) 下部工

- 1) P441橋脚は明石側、大阪側に幅1~2mm程度のひび割れが生じていたが、橋脚の耐力については問題ないと考えられた。
- 2) P442, P443橋脚は明石側、大阪側の柱頂部のコンクリートがはく離しており、主鉄筋は座屈していた。また、帯鉄筋も外側に膨らみ出し、外れているものもあった(写真-1)。
- 3) P444橋脚は山側、海側の側面に幅1~2mm程度のひび割れが発生していたが、橋脚の耐力については問題ないと考えられた。
- 4) ケーソン基礎についてはボアホールカメラによる損傷調査の結果、耐力性・耐久性上問

題となる損傷は確認されなかった。



写真-1 橋脚頂部の損傷状況 (P443)

2. 設計概要

2-1 上部工

上部工の主な補修項目としては、ヒンジ沓取替えおよび外ケーブル取付けが挙げられ、基本的には同種工事を実施した昭和63年度の補修工事の設計に準じた。ただし、今回の反力算定、断面力算定時には以下の2点を考慮して解析を行った。

- 1) 橋脚頂部の損傷によるラーメン部のアンバランスモーメントの開放
- 2) B活荷重

ここで、アンバランスモーメントとは橋脚上端部が地震などにより完全塑性化したと仮定した場合に開放され発生するモーメントである。図-2に上部工の設計フローを示す。

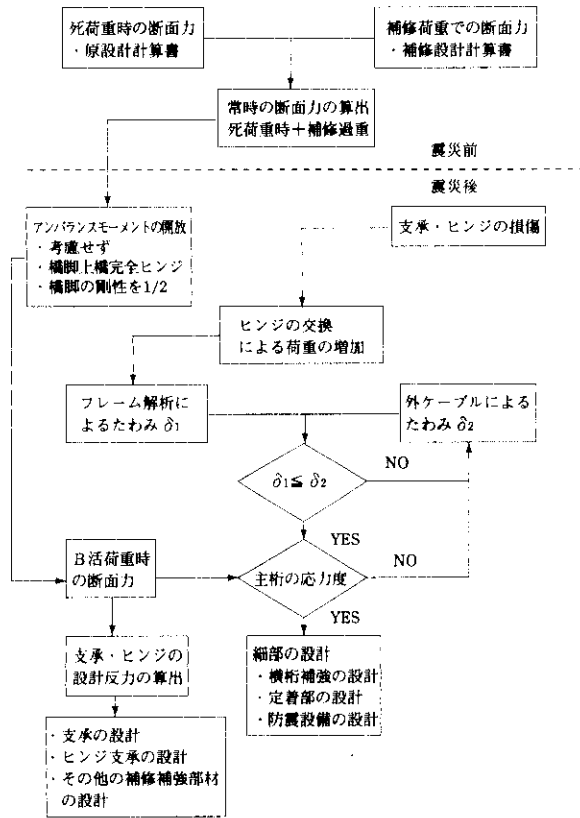


図-2 上部工の設計フロー

2-2 下部工

補強案としては、鋼板巻立てによる補強とRC巻立てによる補強が考えられたが、橋脚まわりは港湾関係者の倉庫や船舶の係船地となっており、補強による橋脚断面の拡幅が少ない鋼板巻立て工法を採用した。

本橋の鋼板巻立ては、鋼板を橋脚全高に巻立てることによりじん性を向上させ、鋼板上端部をPC鋼棒にて主桁に定着させ、下端部をアンカー筋にてケーソン基礎に定着させることにより、ラーメン部の曲げ耐力の向上も図る構造とした。一般構造図を図-3に示す。

(1) 解析モデルの選定

原設計計算書では、橋脚下端を固定とした解析モデルで地震荷重による断面力を算出しており、地震荷重に対しては橋脚下端で曲げモーメントが最大となる。しかし、実橋においては橋脚頂部で損傷を起こしていたことから、今回の地震時挙動を反映させるためケーソンをバネ支持とした解析

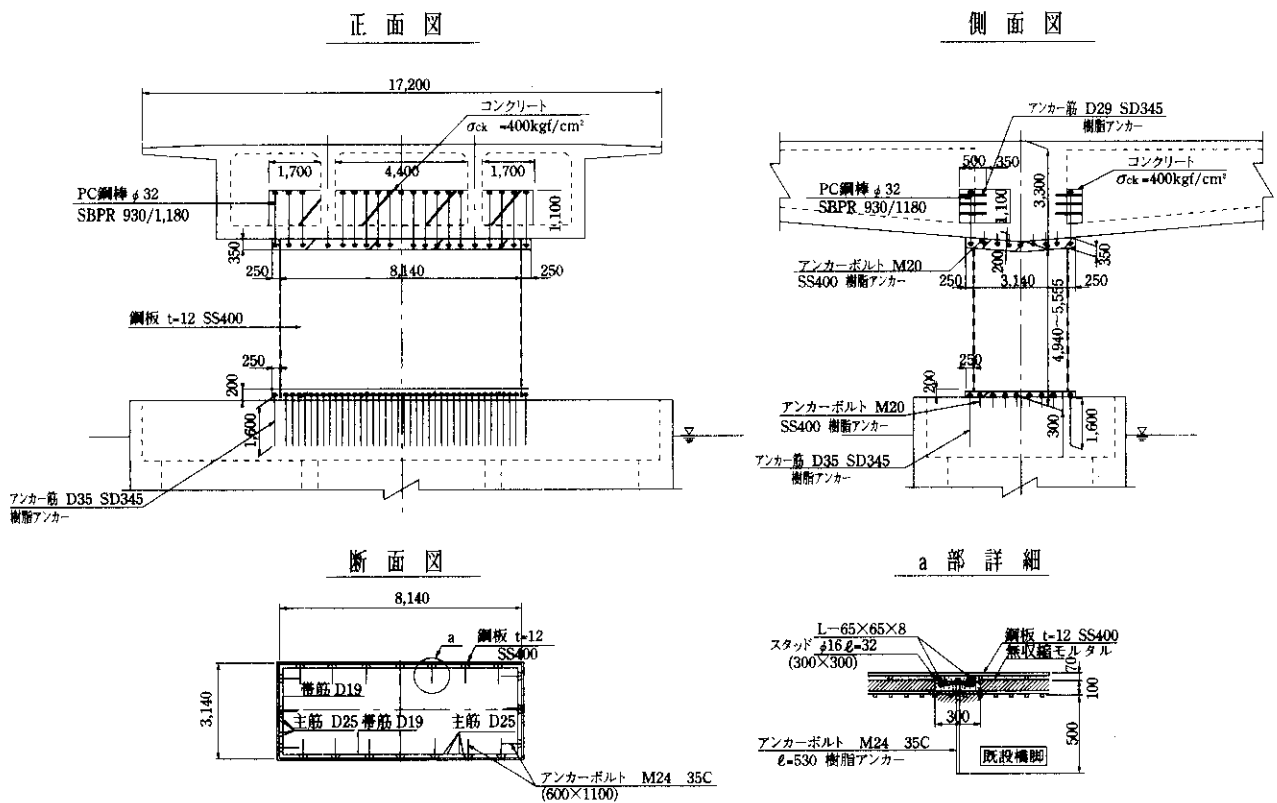


図-3 橋脚補強構造図

モデルを採用した。そのモデルによる地震時断面力は橋脚頂部で最大値を示しており、また動的解析（応答スペクトル法）においても、同様の傾向が見られた。

(2) 震度法

今回の地震により橋脚の鉄筋は損傷を受け、座屈を起こしていた。構造上、既設鉄筋の取替えは極めて困難であることから座屈鉄筋は加熱修正のみとしたため許容応力度の照査においては既設鉄筋は無視した。つまり、弾性変形内では上端PC鋼棒～鋼板～下端アンカー筋が引張鋼材として抵抗すると考え、応力度照査（RC計算）を行った。

(3) 地震時保有水平耐力照査

既設橋脚の損傷程度により弾性変形内での既設鉄筋の抵抗は無視したが、地震時保有水平耐力照査のような降伏後の大きな変形状態に対しては既設鉄筋の抵抗も考慮して照査を行った。

ただし、道路橋示方書V耐震設計編ではラーメン構造の橋脚の地震時保有水平耐力の照査方法は明記されていない。そこで、地震時の橋脚に発生する断面力（ケーソンをバネモデルとして解析）が単柱橋脚の上下を逆転させたように、橋脚上端で曲げモーメントが最大になり、橋脚下端で曲げモーメントがほぼ0となっていることに着目して橋脚を上下逆転させて、地震時保有水平耐力を照査した。その概念図を図-4に示す。

(4) 鋼板と橋脚の一体性

PC鋼棒、鋼板、アンカー筋が引張鋼材として橋脚と一体に抵抗するためには、鋼板と橋脚の付着が問題となる。ここでは、道路橋示方書II鋼橋編の合成桁のずれ止めの設計に準じて鋼板と橋脚間のせん断力に対する照査を行った。その結果、本補強では短いスタッド（ $\phi 16$, $L=32$, $@300 \times 300$ ）を鋼板に配置した。なお、施工の不確実性や耐久性を考慮し、スタッド以外にせん断力を伝達する機構として、鋼板と橋脚間に働く全せん断力に対してアンカーボルト（M24, $@1100 \times 600$ ）を配置した。下部工の設計フローを図-5に示す。

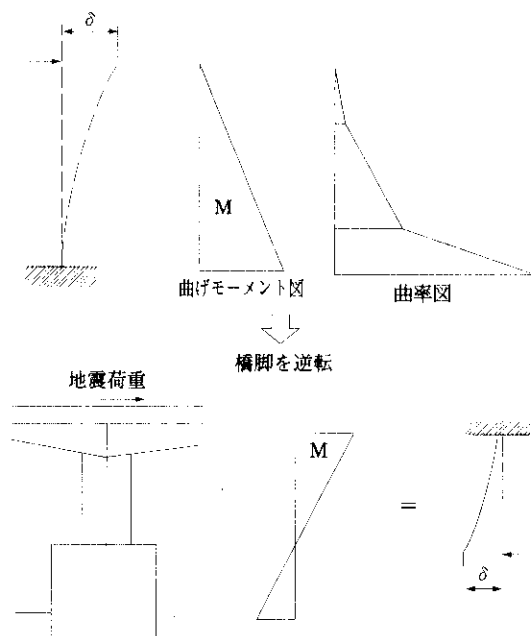


図-4 保有水平耐力概念図

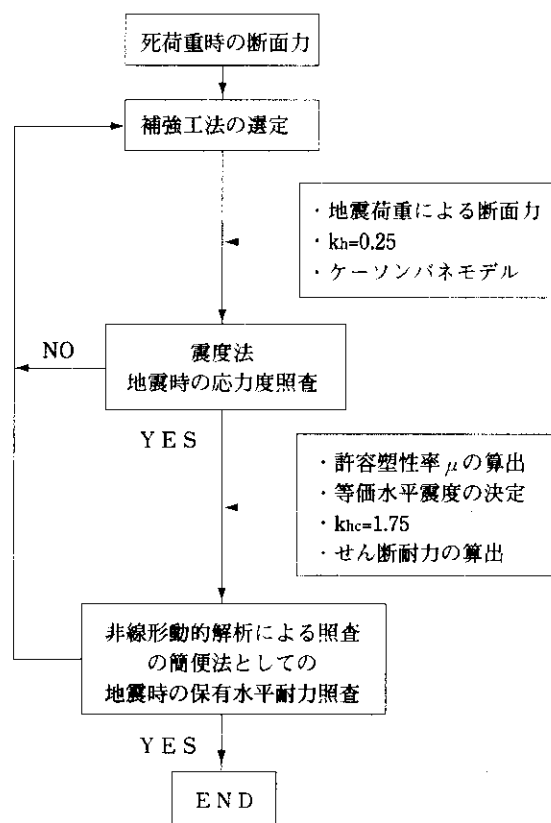


図-5 下部工の設計フロー

3. 施工概要

3-1 上部工

(1) 鋼材探査

作業用開口部のはつり、ヒンジ沓・外ケーブル取付けのための穿孔および横桁補強部の樹脂アンカー用の穿孔時にPC鋼材・鉄筋の損傷を避けるためにその位置を工事に先立って調査した。調査は、しゅん工図の調査、X線探査、レーダー探査により行った。

(2) 横桁補強工

外ケーブルの導入力に対してヒンジ部横桁の耐力が不足するため、横桁補強を行った。補強部モルタルを横桁・主桁と一体化させるために、多数の樹脂アンカーを打設しており、その位置はX線探査およびレーダー探査により作成したPC鋼材・鉄筋の配置図に基づいて決定した。

(3) ヒンジ沓取替え

損傷を受けたヒンジ沓に接近して、新しいヒンジ沓を設置した。ヒンジ沓は、外寸法69cm×

60cm×60cm、重さ1.24tfの面支承タイプで、上床版開口部から搬入し、あらかじめセットしておいたレール上をジャッキにて横移動させ据え付けた(写真-2)。

なお、ヒンジ沓定着部のモルタルは、硬化時に

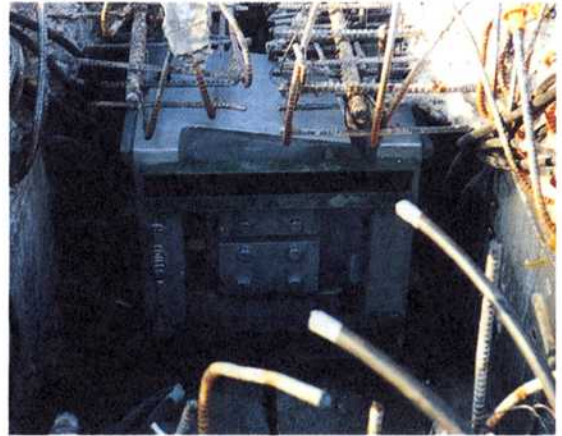


写真-2 ヒンジ沓の据え付け

おける桁の振動の影響を極力小さくするために、超早強無収縮モルタルを使用した。ヒンジ部構造図を図-6に示す。

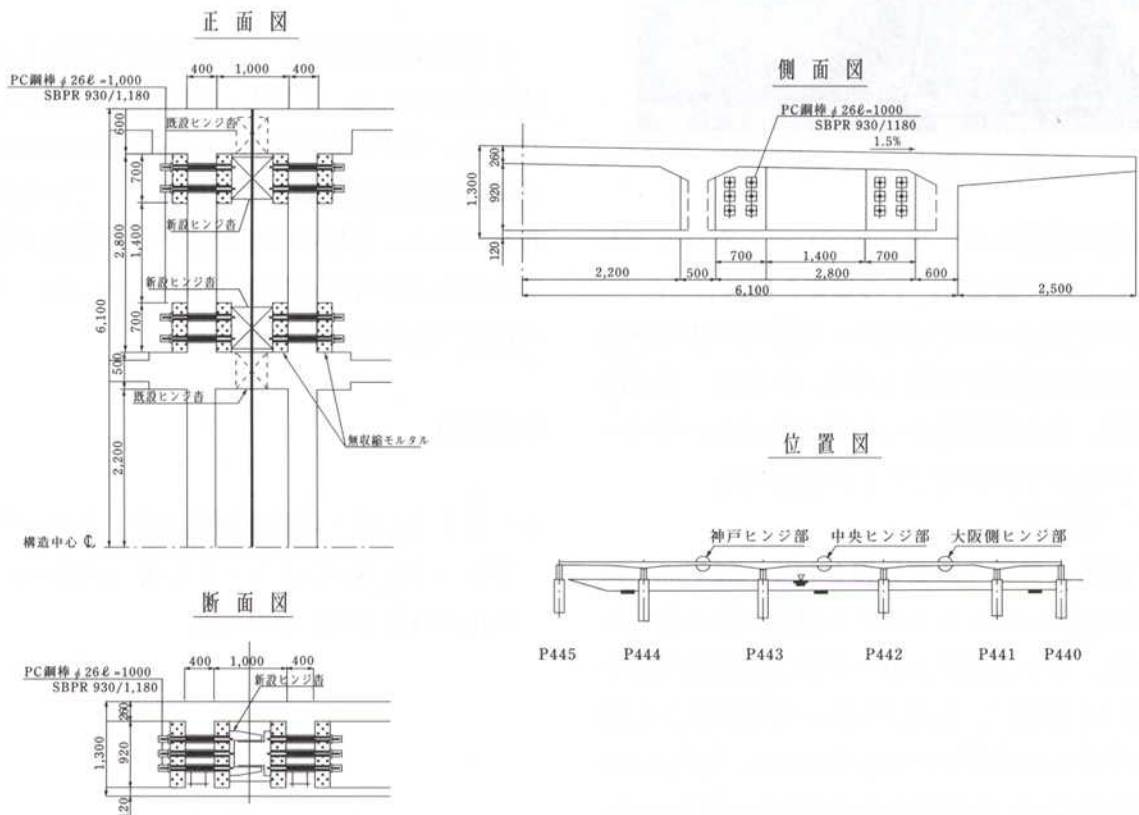


図-6 ヒンジ部構造図

(4) 外ケーブル取付け

構造変更によるヒンジ沓の重量増加による桁のたわみを制御することおよび主桁の部材補強を目的として、S441～S442に外ケーブルを設置した。外ケーブルとして、SEEEタイプF360Tを1径間当たり12本用いた。桁内へのケーブル挿入は中央分離帯開口部(50cm×40cm)から、リール・ウインチなどを用いて引き込んだ。緊張力は外ケーブル1本当たり200tf導入している。緊張状況を写真-3に示す。また、ケーブル定着部はウレタン樹脂注入により防食を行っている。

(5) 損傷を受けた既設支承(BP支承:P440-6個, P445-4個)に替えて、既設支承1個に対してゴム支承をその両側に2個取り付けた。なお、



写真-3 外ケーブル緊張状況

既設支承は本体のベアリングプレートをジャッキアップした後に撤去し、その機能を除外した。

上記の工事については桁内・足場内の作業空間が非常に狭い場所での施工であったため、換気設備の完備、また開口部からの出入りについてはその安全対策などを徹底して工事を進めた。

3-2 下部工

まず初めに橋脚の断面修復として、幅0.3mm以上のひび割れに対してエポキシ樹脂の注入を行った。次に、水平方向アンカーボルトの定着型鋼を取り付けるために、またアンカー穿孔位置と主筋との取り合いの確認のために幅30cm、深さ5cm程度(主筋まで)の橋脚表面部分をはつり取った。

アンカー穿孔では、主筋を回避しなければなら

なかったため、穿孔位置にばらつきが生じた。これを鋼板加工の図面にフィードバックするためにすべてのアンカーについて穿孔位置の計測を行った。鋼板はラフタークレーンにより橋面上より吊り下ろし、ケーソン上面に仮設した横取りレールにて足場内に取込み、組み立て、溶接を行った。

無収縮モルタル注入では、1ロット当たりの高さはアンカーボルトの配筋間隔と注入時の鋼板応力を考慮して最大1.2mとした。

本工事においては、資材および機材の搬入・搬出は海上からは不可能であり、すべて橋面上から行わなければならなかった。しかし、工期が設定された復旧工事のために本線のいたる所では舗装工事、中央分離帯改良工事などがなされていたためかなり詳細な工程調整が必要であった。また、橋脚まわりは船舶の係船地となっており第三者を通行させながらの工事のために、適宜、警備員・誘導員を配置し、第三者の安全確保を最優先として工事を進めた。

あとがき

兵庫県南部地震後、多くの橋脚に鋼板巻立て工法が採用された。しかし、鋼板の上下端を定着した工法、ラーメン部を含めた耐震補強工法などに対する設計および施工方法は確立していないのが現状である。今回の工事で採用した設計条件や施工方法などが今後の同種工事に生かされ、さらに合理化されることを期待する。

参考文献

- 1) 山本俊夫他：京橋橋の補強工事について、プレストレスコンクリートVOL. 31, No.6, Nov.-Dec, 1989, pp31-39.