

阪神高速3号神戸線の復旧工事

阪神高速道路公団 林 秀侃*

〃 丸居保 *

〃 川北司郎*

地震により甚大な被害を受けた阪神高速3号線の復旧工事について、基本的な復旧方針を説明するとともに、設計の概要を紹介するものである。RC橋脚の補修・補強は、RC・鋼板巻立て工法を基本とし、撤去したRC橋脚の再構築では、工期短縮の観点から梁部のみを鋼製とした複合構造として設計・施工を行っている。上部工の復旧においては、地震による損傷状況を踏まえて、端部補強や落橋防止の措置を講じている。また、連続して落橋した区間については、基礎に作用する断面力を軽減するため19径間連続の立体ラーメン橋とし、柱基部に免震沓を取り付けた構造を採用している。

1. はじめに

平成7年1月17日未明に発生した兵庫県南部地震により、阪神高速3号神戸線ならびに5号湾岸線の兵庫県域の区間において、橋脚の倒壊、落橋等の大きな被害を被った。

被災後、両路線とも早期復旧に努めているが、5号湾岸線については9月1日に供用を再開するまでに至っている。本稿では現在進行中である3号神戸線の復旧工事概要について報告する。

2. 被災概要

3号神戸線においては、神戸市と芦屋市との市境で635mにわたって高架橋が倒壊したのを始め、4箇所落橋に至るなど大きな被害を受けた。兵庫県域の橋脚総数1,175基のうち、60%程度がなんらかの被害を受けた。主な被災箇所を、図-1に示す。

地震直後から行った応急調査の結果を「道路震災対策便覧(震災復旧編)」による構造物別被災度の判定区分に対応させて、大きな損傷から損傷がない状態までを、As, A, B, C, Dのランクに分類した。

神戸線のうち約1,000基がRC橋脚であり、そのほぼ15%がA, Asランク、35%が中小規模の損傷

が認められたB, Cランクであった。顕著な被災状況としては、部分的な鋼材の座屈や変形、鉄筋の一部破断やはらみ出し、部分的なコンクリートの剝離や亀裂が揚げられる。

鋼製橋脚では、大きな損傷を受けたのは11基と比較的少ないが、約80%の橋脚でマンホール周辺の座屈、割れ、添接部の塗膜剝離等、何らかの損傷が確認された。

上部工では約7%が落橋等の大きな損傷を受けたが、主として桁端部の座屈が目立った。

3. 復旧の基本方針

神戸線復旧の基本方針は次のとおり。

- ①各構造部材の強度を向上させると同時に、変形性能を高めて橋全体として地震に耐える構造とする。
- ②既設構造物の損傷状況を調査したうえで補強・補修を施し、できるだけ既設部材の再利用を図る。
- ③原形状に再構築、補強を行うのを原則とするが、再構築構造物が連続する区間においては、現地状況を考慮して構造形式等を決定する。

具体的には、「兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧に係る仕様(平成7年2月27日付、建設省道有発第18号)」にあるように、下部構造物の地震時保有水平耐力およびじん性を向上させるとともに、上部構造物では桁の連続化または連結化、免震支承・水平反力分散支承またはゴム支承の採用、床版の軽量化等により下部構造物に作用する地震力の

キーワード：復旧設計、阪神・淡路大震災、
連続立体免震橋

*阪神高速道路公団、078-331-9801

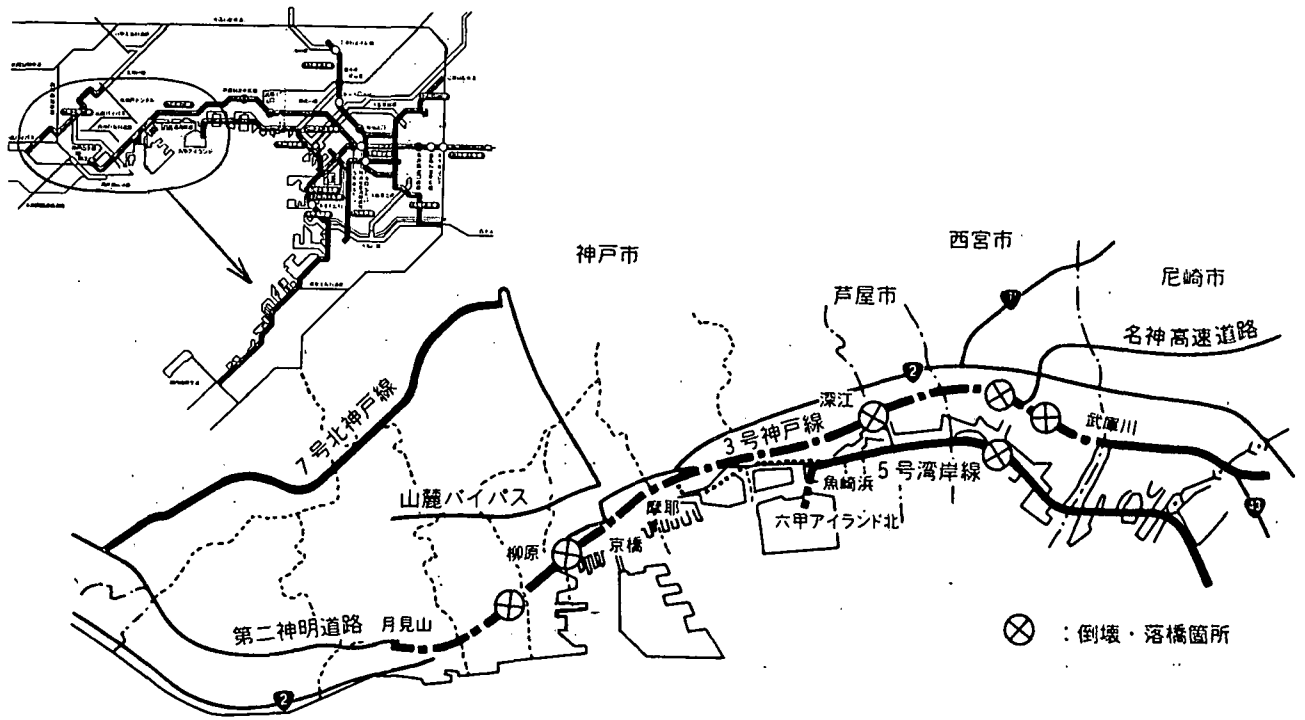


図-1 主な被災地域と落橋箇所

軽減を図って、被災構造物を再構築あるいは補強することになっている。

4. コンクリート構造物

(1) RC橋脚

RC橋脚の復旧設計に当たっては、現行道路橋示方書を満足することを原則としているため、震度法における設計水平震度が、神戸線建設時の0.20から0.25に増加した影響を考慮する必要がある。したがって、RC橋脚の再構築あるいは補強方法としては主鉄筋を増すことを大前提とした。また、被災構造物の部材の材料特性は、損傷レベルによって低減することとした。

倒壊または使用不能と判断された橋脚は、撤去・再構築することとし、フーチング天端付近から上側のコンクリートを撤去した後、既設鉄筋を継ぎ足すとともに後施工アンカーにより補強用の主鉄筋を新たに建て込むこととした。また、十分な変形性能を確保するために最大間隔 150mmに横拘束筋を配置することとした。梁部については、早期復旧および路下の国道の交通への影響を少なくするため鋼製とした。RC柱部と鋼製梁部との接合は、鋼製梁隅角部の下フランジに明けた鉄筋用孔に差し込んだ軸方向主鉄筋とスタッドで行うこととした。(図-2 参照)

RC橋脚の補強についても、基本的な考え方は同じく、既設の柱の外側に後施工アンカーを増設し、必要な帯鉄筋を配置することとした。ただし所定のじん性を確保するために、RC構造の外側に鋼板を配置する、RC・鋼板巻立て併用技法とした。鋼板は型枠兼用部材であり、内側にスタッドジベルを溶接し、RC部材との一体性を図っている。(図-3 参照)

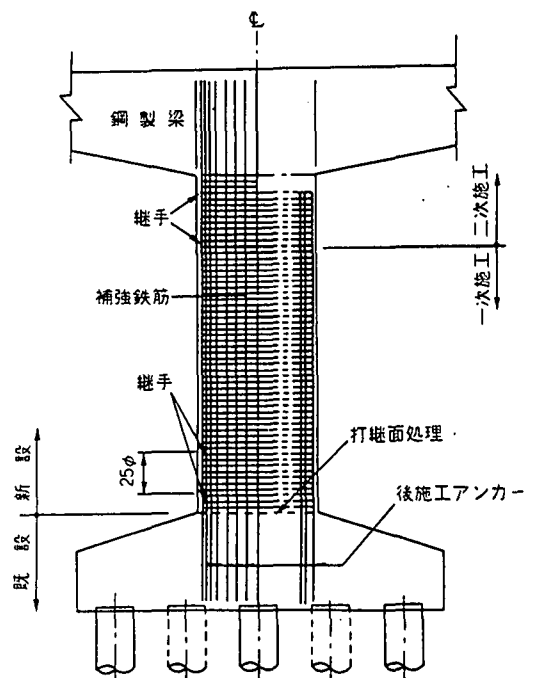


図-2 RC橋脚再構築構造

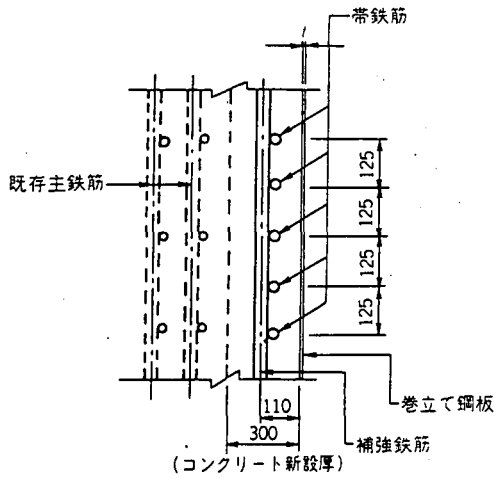


図-3 RC橋脚補修断面

(2) 橋脚PC梁

神戸線RC橋脚の多くは、立地条件等から張出しの大きい梁を有しており、その構造上、PC梁構造が大部分を占めている。梁部の損傷はほとんど認められていないが、桁かかり長や支承縁端距離が不足するものについては、ケミカルアンカーにより梁天端を拡幅することとした。

復旧に伴い梁天端のコンクリートに引張り応力が発生する場合には、拡幅部の中にPCケーブルを設置しプレストレスを追加導入する構造とした。(図

- 4 参照)

(3) PC橋

PC桁橋の主な損傷は、過大な水平力による端横桁に取り付けたアンカーの変形、それに伴うコンクリートの剝離、主桁の横移動である。復旧に当たっては、PCケーブルによる端横桁の横締めを行い、アンカーを取り替えるという工法を標準とした。既設のゴム支承は、損傷状況を確認した上で必要に応じて取り替えるものとした。

PC橋の一種である5径間連続ディビダーク橋については、上部工の損傷は桁端部とヒンジ支承部に集中しており、その他の範囲では特に構造機能上問題となるような損傷は確認されなかった。このためヒンジ支承部はコンクリートを打ち替え、併せて旧タイプのヒンジ支承は新タイプのものに交換することとした。橋脚部では、中央径間の橋脚頂部でコンクリートの欠落、主筋の座屈が確認されたため、柱部には樹脂注入による鋼板接着を行うとともに、主桁下フランジを貫通させてPC鋼棒により鋼板を上側にアンカーする方法とした。この方法は、他の橋脚での定着方法と異なるが、損傷発生状況を分析した結果、上部を固定した方が効果的であることから本工法を採用した。

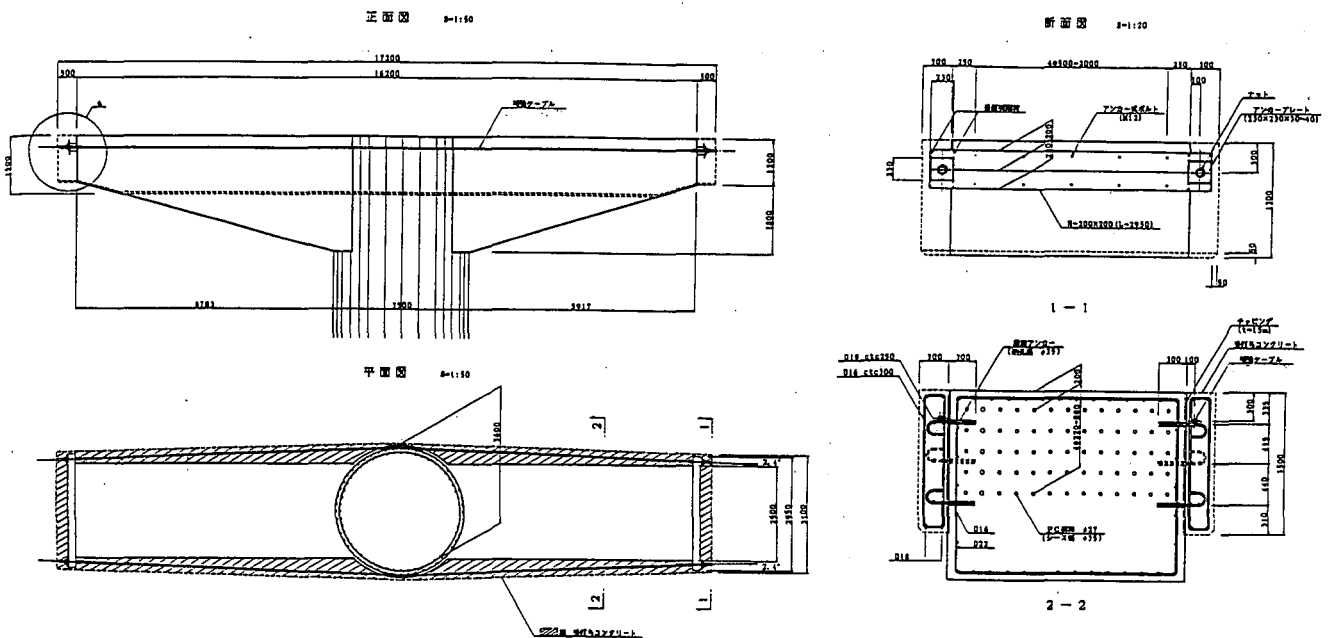


図-4 橋脚PC梁の補強構造

5. 鋼構造物

(1) 鋼製橋脚

柱部に大規模な座屈あるいは全周亀裂等が認められたものは、撤去・再構築を原則とした。ただし、部分的な取り替えにより補修可能と判断したものについては、上部工の荷重を開放した後、損傷部位を輪切り状に切断・除去し新材に取り替えることとした。座屈変形で許容値を越えるが程度の軽いものに対しては、プレスまたは加熱矯正した後、補強板を取り付ける方法あるいは損傷部を部分的に切り取り新しい部材と取り替える方法で、補修・補強することとしている。

鋼製橋脚の地震時保有水平耐力を向上させる方法として、リブ補強等鋼構造物のみで行う方法、柱内にコンクリートを充填する方法等が考えられるが、今回の被災構造物については、早期復旧の観点から復旧仕様に基づき後者の方法により補強することとした。

(2) 鋼桁

落橋上部工は、撤去・再構築するため、通常の新桁と同様の設計を行うこととしたが、上部工の軽量化を図るため鋼床版橋とした。存置橋については、端横桁がニーブレス構造の旧橋タイプに主桁の座屈が多く見受けられたことから、端横桁を充腹構造に取り替えることとした。また、耐震性向上のため、可能な限り鋼桁の連続化、連結化を図り、ジョイントレスの構造とした。(図-5参照)

神戸線の鷹取工区は、JR山陽本線をオーバーパスする区間を含んでおり、この区間では桁本体の損傷は比較的軽微であるが下部構造への影響を軽減する必要があるため、既設構造のうち主桁部分を再利用して鋼床版桁橋とした。摩耶付近の非常駐車帯でも同様の再利用桁を採用している。

支承については、水平力の分散および減衰を図るため免震支承への取り替えを行うこととした。落橋防止装置についても、従来から取り付けられているプレート式のものに代えて、復旧仕様に示されるようなPCケーブル式を採用した。

6. 基礎構造物

基礎構造物の損傷状況について抜き取り調査を実施したところ、杭頭部周辺に微細なひび割れのあるものが若干見られたが、損傷の程度としては軽微なものであった。このような損傷のある杭については載荷試験を実施し、耐荷力的には問題がないことを確認したが、杭体柱の鉄筋の腐食を防止するため、ひび割れにはポリマー系超微粒子セメントを注入した。

フーチングについては、柱部の補修・補強作業に伴いひび割れ等の損傷を調査したが、杭と同様で、大多数のフーチングには損傷は見あたらなかった。地震が原因と考えられる亀裂がわずかに確認されたが、軽微なものであったため既設構造の補修に止めた。

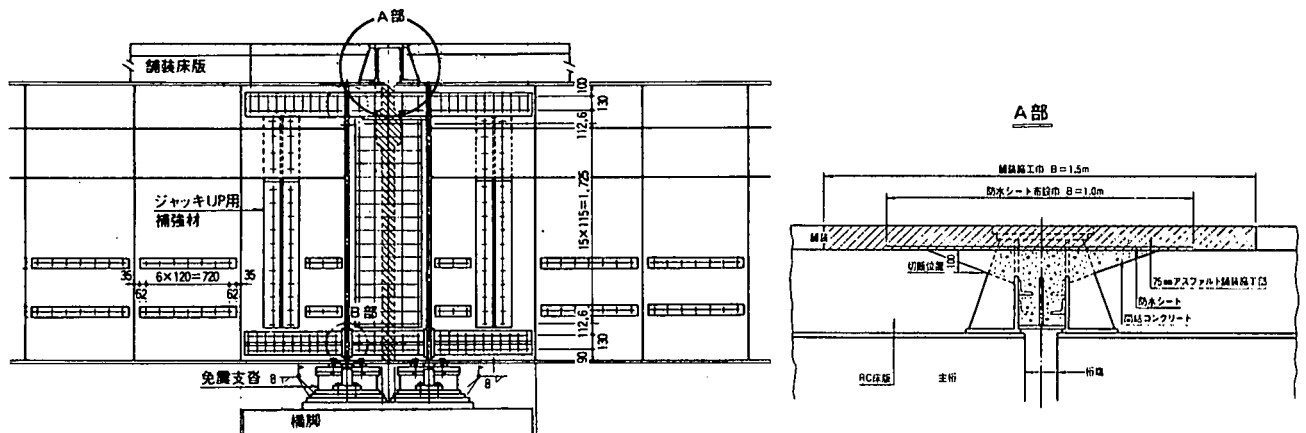


図-5 鋼桁のジョイントレス

7. 連続立体免震橋の設計

3号神戸線で連続して構造物が倒壊、落橋した区間で、道路橋としては例のない構造を採用した。当該工区は、神戸市中央区海岸通でメリケンパークからハーバーランドにかけての国道2号上の箇所（弁天工区と呼ぶ）であり、震災直後に基礎を除く構造物すべてを撤去・再構築することとした。

既設の構造は、国道2号の中央分離帯および歩道に設けた独立単柱で上部工を支持しており、上部構造とは鋼製支承で連結されていた。（図-6参照）復旧に当たっては、①原構造の鋼製支承を免震支承に置き換えた構造、②基礎と剛結した立体ラーメン構造、③基礎とヒンジ支承で連結した立体ラーメン構造、④基礎と免震支承で連結した立体ラーメン構造について、耐震性、施工性等を比較検討し、④の構造を採用した。連続径間数については、端部での温度時、地震時の移動量、ねじり変形量および温度応力を考慮して19径間とした。

具体的な設計手順としては、復旧仕様による設計条件を確認した後、2タイプの構造解析モデルを設定した。（図-7参照）ひとつは静的設計および保有耐力照査に用いるための19径間立体モデルであり、もうひとつは動的解析のための簡易全体モデルである。この簡易全体モデルは、動的解析に当たっ

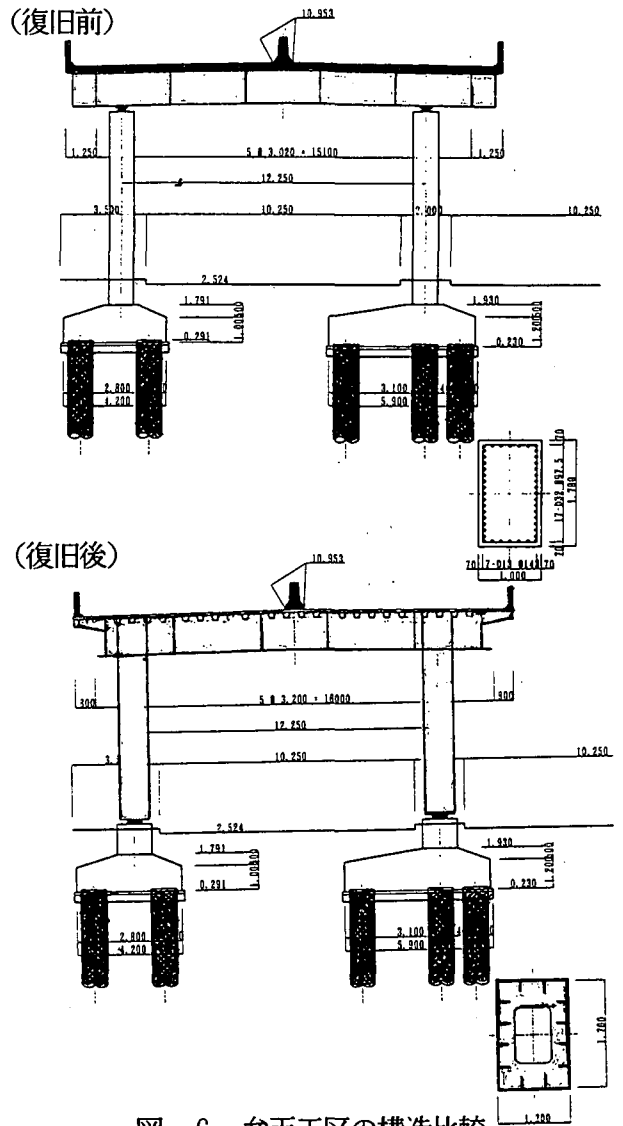
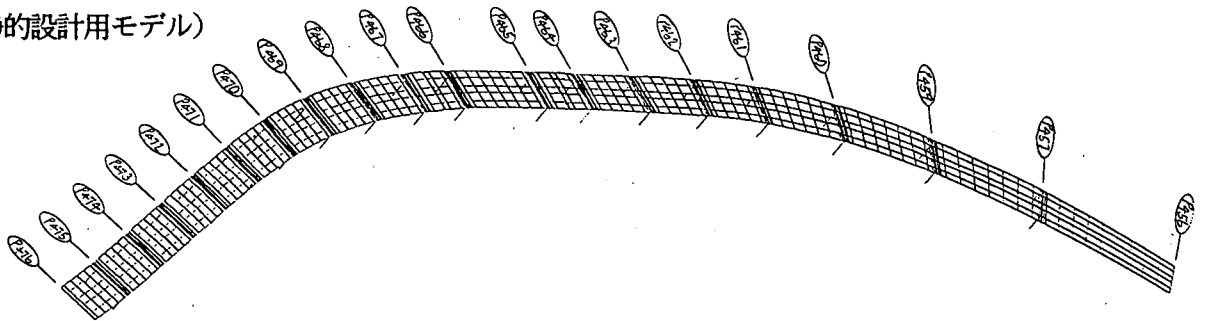
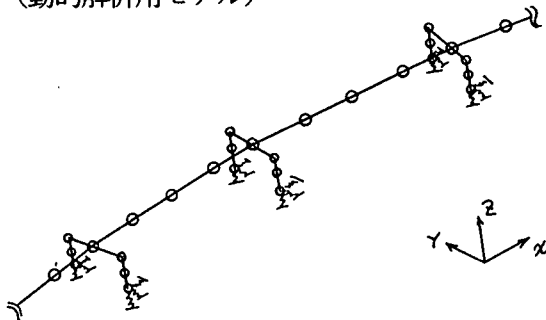


図-6 弁天工区の構造比較

(静的設計用モデル)



(動的解析用モデル)



(部分平面モデル)

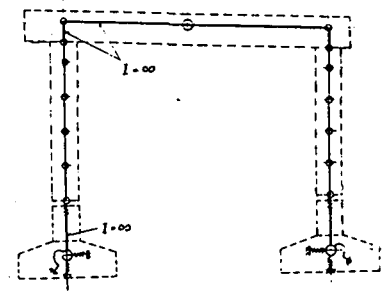


図-7 構造解析用モデル

て接点数を減らすため主桁を1本の梁に置き換えたものである。モデルの簡易化の妥当性については、主桁部が1質点と多質点の両ケースの部分平面モデル

を用いて、橋軸直角方向の地震応答解析を行い、両者の結果にほとんど差異がないことを確認した。下部工はフーチング部分のみの質量を与え、杭の影響を考慮した線形バネで支持するモデルとし、免震支承は水平方向にバイリニア、鉛直方向および回転には線形バネで置き換えた。動的解析の入力波としては、当該地域が2種地盤であることからJR鷹取駅の地震記録を用いた。解析の結果、全体的な水平移動のモードが卓越し、当初懸念した支承位置での回転モードについては十分対応できることが確認された。鋼柱基部と支承との取り付け構造を図-8に示す。

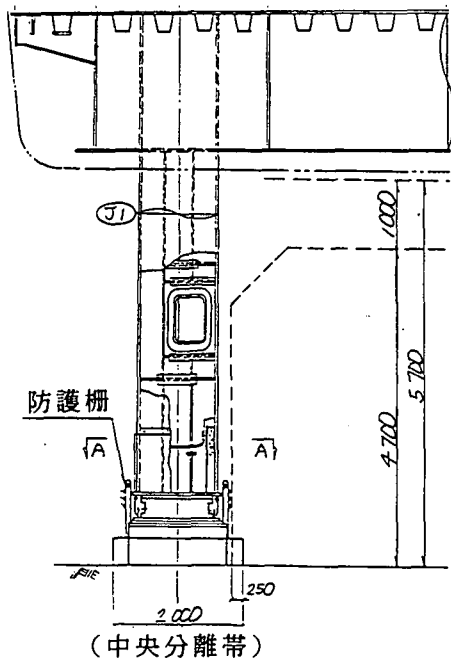


図-8 柱基部の構造

8. おわりに

阪神高速道路3号神戸線の復旧工事について、主に設計面からその概要を述べたわけであるが、現地工事の方もこれから最盛期に入るところであり、今後とも新たな課題に取り組んでいく必要があることと思う。本稿で述べた方針は基本線であることをご了解いただきたい。

Reconstruction of the Kobe Route

Hidenao Hayashi, Tamotsu Marui, Shiro Kawakita

The Great Hanshin Earthquake hit the Hanshin area at dawn on January 17, 1995. The major suffered area in Kobe lays along on just the north side of the Kobe route; therefore, tremendous damages were observed to the viaduct structures of The route. This paper shows a retrofit programme of the Kobe route, including a design of new type bridge structure.