

道路・鉄道（その1）グループ報告

調査メンバー：川原睦人（中央大学教授、応用力学）

檜山和男（中央大学助教授、応用力学）

平野廣和（中央大学専任講師、防災科学）

1. 調査対象地域

阪神高速道路（神戸線、湾岸線、大阪市内線、池田線）、中国自動車道、湾岸幹線道路（ハーバーハイウェイ）、一般国道（43号線他）、神戸市営地下鉄の諸施設

2. 被害状況・復旧状況

（1）阪神高速道路神戸線

神戸線では、2次災害を防止することを目的として復旧作業が進行中である。鋼製橋脚が崩壊し上部の鋼桁が落下した西宮市荒戒町、社家町などの高架橋、神戸市東灘区の横転したピルツ構造の東灘高架橋、RC橋脚が倒壊し上部の鋼桁が落下した神戸市中央区海岸通り的高架橋などは、いずれも十日間程度で撤去され、国道43号線の交通が確保されている（写真1）。現在、これらの地点では、基礎の支持力の調査が行なわれている。

神戸線は、国道上に建設されたこと、高架橋の圧迫感を極力減らすこと等から、単柱形式の橋脚により上部の桁を支持する構造が多く存在している。この単柱形式の橋脚に多くの損傷箇所が見られたが、現在、これらの修復が順次進行している。コンクリート橋脚では、軽微な損傷箇所は、写真2のようにクラックに樹脂を注入することにより補強している。橋脚損傷部の補強には、写真3のように倒壊防止のため桁や橋脚を支保工で支持した後、橋脚に鋼板を巻付け、この中にコンクリートを打設する方法がとられている。損傷が大きく鉄筋が露出している場合には、倒壊防止のため桁を支保工で支持した後、露出部にモルタルを吹き付ける方法（写真4、5）やコンクリートで固める方法がとられている（写真6）。鋼製橋脚においては、写真7のように補剛材を付けて剛性を高める処置がとられている。

西宮ランプ付近では、橋脚の側方への移動により上部工の落橋の危険が高い箇所がある。ここでは、写真8のように支保工により桁を支持し、落橋の危険性を防いでいる。また、湊川出入り口付近では、連続桁の固定支点の橋脚が水平移動し、上部工が落橋し支間の中央部付近で垂れ下がっている。ここでは、写真9のように補強支持して、今後の対応策を待っている。これらの処置は、余震による危険が予想されたため応急にとられた対策である。

（2）阪神高速道路湾岸線

湾岸線は、その殆どが埋立地を通るにもかかわらず、被害の程度は比較的軽微であった。

南芦屋浜料金所付近の3径間連続桁橋では、写真10のように支承が損傷し路面に段差が生じた。このため、現在、一般車両の通行は不能となっている。

西宮港大橋では、側径間の取付け桁橋が落橋した。この付近は埋立地であるので不等沈下が予想されたため単純桁橋が採用された。しかし、地盤の側方流動により橋脚が橋軸方向に移動し落橋を招く結果となった。ここでは、橋脚の健全度を調査し、橋脚の天場を一部拡幅して、桁端部を補修した桁を吊り上げて元に戻す方法がとられている。現在、落橋した桁部分の舗装と床板を撤去し、桁を吊り上げる作業が進行中である（写真11、12）。

東神戸大橋は、3径間斜張橋である。この橋梁には、耐震ダンパーが取付けられていたため、支承が一部損傷したが本体には被害が無かった。神戸側側径間のペンデル支承のピンが飛び（写真13）、神戸側側径間が浮き上がり、伸縮装置が破損して路面に写真14のような段差が生じた。このため、一般車両は通行不能となっている。復旧作業としては、側径間にカウンターウエイトを載せて浮き上がっている桁を押し下げ、ピンを入れ直す作業を行う予定である。ただし、ピンが特注であることから製作に時間が掛かっている。復旧開通は、4月下旬が見込まれている。

六甲アイランド大橋は、総重量が1万トンを超えるダブルデッキのローゼ橋である。ここでは、六甲アイランド側の橋脚上で橋軸直角方向に桁が大きく移動し、支承からはずれて、弦材が橋脚より外側にはみ出ている（写真15）。しかし、本体は上横構水平材と斜材の一部に座屈変形が生じた程度で大きな損傷は見られない。現在、橋脚の正規の位置に支承を設置し、我国の最大級のフローティング・クレーン船3隻を用いた一括吊りによる修復作業計画が進行中である。しかし、吊り上げるためには本来の橋梁の応力状態と全く異なった応力状態になるため、部材の補強が必要となる。また、熔接による吊りピースでは危険が伴うので、ディテールについては詳細な検討が現在なされている。六甲アイランド大橋の復旧開通は、10月頃が見込まれている。

（3）阪神高速道路大阪市内線

大阪市内線では、支承に損傷が見られたものの、桁本体ならびに橋脚の被害は殆ど無く、全体的に被害は概ね軽微であった。復旧に際しては、桁をジャッキにより持ち上げてから支承の交換が行われた。このため、桁が外見上無事であるかに見えても復旧開通には時間を必要とした。

（4）阪神高速道路池田線および中国自動車道

池田線の豊中南インターチェンジ付近では、古い桁橋を補修して連続構造とし、免震支承を用いることにより耐震性を向上させる試み、いわゆるノージョイント工法が実施されていた（写真16）。この実施区域には全く異常が認められていない。ただし、桁端部が橋脚に衝突した形跡があり、水平変位は相当大きかったものと推察される。また、中国自動車道の生瀬高架橋においても同じ工法が用いられていた（写真17）。これらの補修工の効果は大きかったものと推察される。よって、既存の橋梁の耐震性の向上の一つの方向を示すものと考えられる。

（5）湾岸幹線道路

摩耶大橋は、2径間斜張橋である。全面通行止めにもかかわらず、バイクや歩行者は

通行している（写真18）。橋梁の本体に被害が及んでいるため、撤去の方向で検討されている。これに隣接する第2摩耶大橋は、3径間連続箱桁橋であるが、支承や橋脚の損傷（写真19、20）はあるものの橋梁の本体には被害は及んでいない。橋梁形式や被害の程度により、復旧の方法に差異が生じる一例と言えよう。

（6）神戸市営地下鉄

神戸市交通局地下鉄山手線の上沢駅及び駅西側線路部約260メートル区間では、市街地函型トンネル構造の鉄筋コンクリート製中柱が破損している。コンクリートが破壊し鉄筋が露出している（写真21）。一部では、軸方向鉄筋が屈曲してコンクリートと鉄筋が分離している。中柱をサポートを用いて応急に支持している。変位計により変位を常時計測しているが、特に異常は認められていない。現在、車両の運行は開始しているが、復旧工事に支障をきたすため駅の旅客扱いは中止している。安全面を十分考慮の上、復旧工事終了後に旅客扱いを再開する方針とのことである。



写真1 国道43号線（深江付近）



写真2 コンクリート製橋の樹脂注入による修復



写真3 コンクリート製橋脚の修復



写真4 コンクリート製橋脚のモルタル吹き付け



写真 5 コンクリート製橋脚の倒壊防止(1)



写真 6 コンクリート製橋脚の倒壊防止(2)



写真 7 鋼製橋脚の修復



写真 8 上部工の落橋防止(1)



写真 9 上部工の橋脚防止(2)



写真 10 南芦屋浜料金所付近の路面の段差



写真 11 西宮港大橋の側径間の修復状況



写真 12 西宮港大橋の側径間部の床版の撤去



写真 13 東神戸大橋の支承の損傷



写真 14 東神戸大橋の路面の段差



写真 15 六甲アイランド大橋の橋軸直角方向の移動



写真 16 豊中南インターチェンジ付近(ノージョイント工法)



写真 17 生瀬高架橋の免震支承



写真 18 摩耶大橋



写真 19 第 2 摩耶大橋の支承の損傷



写真 20 第 2 摩耶大橋の橋脚部の修復



写真 21 神戸市営地下鉄上沢駅構内の中柱

3. 将来計画的な視点からの意見

調査の結果得られた知見を纏めると以下のようなになる。

- 1) 入念に検討を加えられた上部工（例えば、ローゼ橋、ニールセン・ローゼ橋、ラーメン橋、斜張橋等）は損傷が少ない。桁橋では、単純桁橋の一部が落橋した。落橋を防止するという意味においては、連続桁構造が好ましいと言える。
- 2) 桁と桁とを連結する耐震連結板は、一部は損傷したものの、桁の落下を防止したと判断されるものが多数見られた。この意味で、効果があったものと考えられる。耐震連結板が構造物の被害をより大きくした可能性もあるが、これは上部工が連結していることを前提として設計することで解決できるものと考えられる。これまでは、線構造が多用されていたが、今後面構造への検討が期待される。
- 3) 桁橋においてはコンクリート製の橋脚に損傷が多く見受けられる。これは、コンクリート構造が地震の変位に追随できなかつたことによるものと考えられることから、コンクリート製の橋脚はじん性(ductility)の増大を図る必要があるだろう。
- 4) 鋼製の橋脚は、一部を除いて概ね致命的な損傷が少ない。しかし、阪神高速神戸線の西宮近くには倒壊した鋼製の橋脚がある。この原因の究明が急がれるところである。阪神高速神戸線大阪市内の中之島西出入口付近に、コンクリート橋脚に鋼板を巻き付け樹脂を注入することにより補強した橋脚がある。このような補修工法や、コンクリートと鋼の両者の特性を生かした合成橋脚などが今後注目される。
- 5) 多くの橋梁で、支承が損傷した場合が見受けられる。これは、いわば、支承が電気的ヒューズの役割を果たしたものと考えられる。すなわち、支承が損傷することで、橋梁本体や橋脚の損傷を免がれているものである。ただし、支承や変位制限装置などがぜい性破壊していることを考えると、鋳鉄に代わるより粘りのある材料による製品の開発が期待される。
- 6) 損傷した支承の一部にアンカーボルトが浮き上がっているものがある。鉛直上向きに力が作用したことが推察される。現在の支承は、鉛直上向きの力には弱い構造となっているので、鉛直震度を考慮するか否かは別の議論として、浮き上がりに対する対策の検討が必要であろう。
- 7) 支承が弱点になることから、上部構造と下部構造が一体となった構造が今後更に検討されるものと考えられる。例えば、5径間連続ラーメン橋の灘浜大橋には全く被害が生じていない。
- 8) 地盤の側方流動による橋脚の移動によって、上部工が落橋したであろうと思われる場合がある。今後、側方流動に対する対策が慎重にたてられる必要があると考えられる。
- 9) 積層ゴムを用いた免震支承は効果があったと考えられる。ただし、変位が非常に大きくなることに対する対策、地震時における破断強度の保証、耐久性の確保などの問題点もある。このため、ゴムそのものの材料としての改良を含め、今後の検討が期待される。
- 10) ダンパー等の制震構造は効果があったと考えられる。今後、改良を加えより良い製品の検討が期待される。

1 1) 今後、積極的な振動のアクティブ制御の検討が期待される。ただし、制御装置なしで耐震構造となっていることが重要であり、当面、損傷をより少なくする目的で導入されるべきであろう。

1 2) 復旧の時点において、作業員の宿舍の確保の問題がある。作業員宿舍が遠隔地にしか確保できないために、通勤に大幅な時間を要している。さらに、余震に対する安全の問題もある。作業員の安全衛生と休養を確保する必要がある。

以上、調査を実施して考えたことの一部を報告した。これらが、諸賢のこれからの議論の材料として資するところとなれば幸甚である。