

本特集は、近代都市にきわめて甚大な人的・物的被害をもたらした阪神・淡路大震災を深刻かつ真剣に受けとめ、今後の大きな教訓とするため、①地震の特性、②地震被害の特性、③構造物の耐震性、④インフラシステム機能の信頼性、⑤社会経済システムと震災、⑥復興計画・防災計画、に大別し、それぞれの専門分野の方々に個人の立場から、被害の原因、問題点、教訓、復旧復興への掲言、今後の耐震・防災のあり方等について述べていただくものです。

土木学会誌編集委員会

阪神・淡路大震災 第二次報告会開催される

The Second Report Meeting on the Hanshin-Awaji Earthquake

第三次および第四次土木学会・阪神・淡路大震災震災調査団

はじめに

去る3月30日(木)、当学会による阪神・淡路大震災震災調査の第二次報告会が、川口市川口総合文化センターLILIA メインホールにおいて、報道関係者を含めて約1400名の参加者を集めて開催された。

土木学会は、阪神・淡路大震災の発生直後から合計4次にわたる震災調査団を派遣してきた。このうち、第一次および第二次調査団の調査報告は、2月8日の東京(都市センター)における緊急報告会を皮切りに(学会誌3月号参照)、その後の全国の各支部開催の緊急震災調査報告会において行ってきた。一方、第一次・二次調査団に引き続き、第三次調査団(団長：松尾稔名古屋大学教授)は、それまでの調査を補完するために、地盤、河川、地下構造物、コンクリート構造物、ライフライン等の専門家によって組織され、2月1日～3日に現地調査を行い、地震発生後約1カ月を経過した2月15日～17日には、第四次調査団(団長：高田至郎神戸大学教授)が今後の復旧・復興に向けての調査と提言を行うための現地調査を行った。本報告会は、この第三次および第四次調査団の調査報告を行うものであった。

地震発生後2カ月以上の時間があつたため、資料収集やある程度の解析もすすみ、単なる被害状況の報告よりもかなり踏み込んだ分析の報告も多くなされた。なお、以下に各報告の概要を示すが、詳細については「土木学会阪神大震災震災調査第二次報告会資料」を参照されたい。

地震動と被害特性

(1) 地震動の特性

図-1は神戸周辺の活断層と震源位置(淡路島北淡町)を示している。今回震源と考えられている野島断層は、約1000年前に動いた形跡がある。断層のずれは右横ずれで、地表面に現れた活断層は右ずれで最大約1.8mの食い違いを示している。本断層は六甲有馬高槻構造線へと延伸し、須磨断層・諏訪山断層・芦屋断層・甲陽断層・伊丹断層に組み込まれるものである。海洋底の調査によって大阪湾海底にも野島断層と並行位置の断層亀裂が見つかった。また、帯状となった震度7の地域の地下に活断層が存在する可能性もある。菊地¹⁾は、世界各地で観測された地震波を分析した結果から野島断層のほぼ中央にある震源から南西および北東方向に破壊が進み、断層が右横ずれしたことを示している。

■被害がひどい地域から嶋本教授は未知の断層の位置を推定した

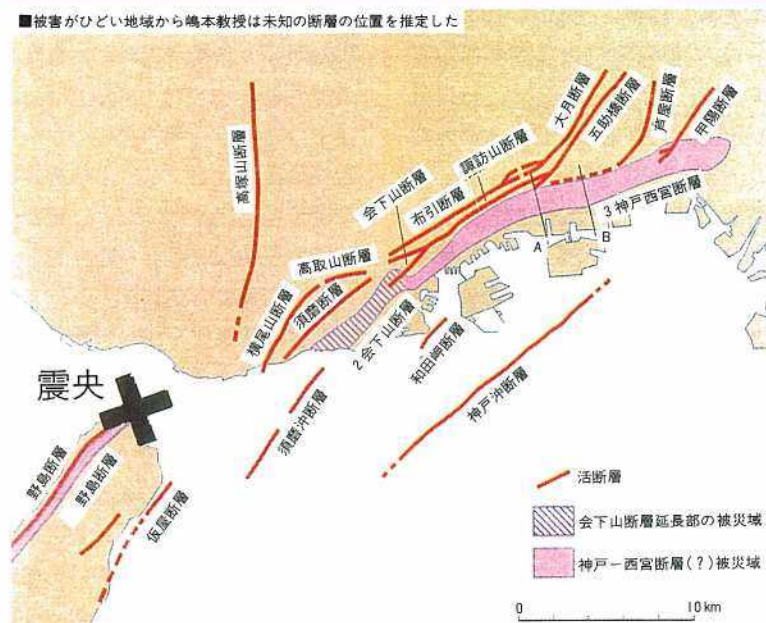


図-1 神戸周辺の活断層と震源位置

余震の分布は淡路島中部から神戸市南部さらに西宮市の北部へと帯状に広がっている。また、余震観測と常時微動計測の結果から、概ねP-S時間が短く、震源に近いほど、水平動に対する上下動の比が大きくなる傾向にあり、水平動と上下動のスペクトル形状がよく似ていること、近い地震ほど高振動数成分が、遠い地震ほど低振動数成分が卓越することを示している調査グループもある²⁾。震度階の分布は神戸から北東に位置する京都や彦根で高い値を示しており、断層の伸びる方向とも符合している。瀬戸内海や大阪湾沿岸の軟弱埋立地盤では震度階は必ずしも大きくなっておらず活断層の影響がきわめて大きいことを示唆している。

図-2(a) は人工島ポートアイランドの地盤面の地震計で記録された加速度波形で、最大加速度値はNS（南北方向）341.2 gal, EW（東西方向）284.4 gal, UD（上下方向）555.9 galである。図-2(b) は同島の地下 83 m の洪積層に設置された地震計で記録された加速度波形で、NS 678.8 gal, EW 302.6 gal, UD 186.6 gal である。地表面に記録された上下方向最大加速度は水平方向の 1.6 倍

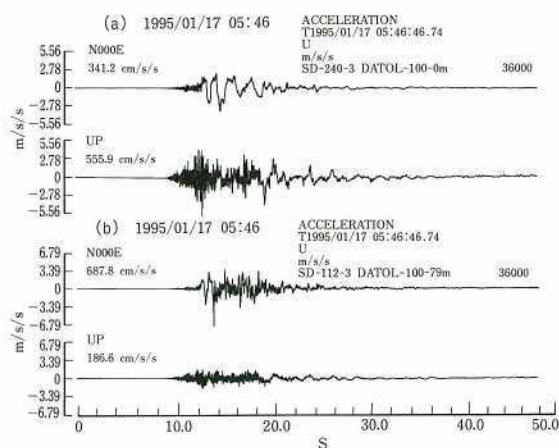


図-2 ポートアイランドでの加速度波形

となるのに対して、地中洪積層に記録された水平方向最大加速度は上下方向の 3.6 倍となっている。

(2) 震害特性

神戸大学土木系教室の緊急調査グループによる建物被害状況調査の結果、神戸市から西宮市に至る地域の顕著な被害は阪急線と国道43号線に挟まれた帯状地域に集中していることがわかった。被

害地域を詳細に見ると、島状に分布し、複合扇状地上に集中している。伊丹市では地盤条件が良かったにもかかわらず、被害が大きいことは伊丹断層の影響が強いと考えられる。被害分布の特徴としては以下のことが指摘される³⁾。

- ① 神戸市域を六甲山地、山麓部の段丘、それに続く複合扇状地域、旧沿岸域ならびに埋立地域と大きく分類すると、建物全壊の被害分布は複合扇状地域に分布する。
- ② この複合扇状地域内での被害分布をさらに詳しくみると、高位の山麓段丘域に近いところでは被害は少ない。
- ③ 複合扇状地域の下位に出現する旧沿岸域でも被害の分布は少ない。
- ④ 埋立地域では地盤の液状化がみられるが、木造家屋建物の被害は比較的少ない。
- ⑤ 被害分布をマクロ的にみると六甲山麓に沿って0.7～1.2km程度幅で帯状に南西から北東に分布している。
- ⑥ この帯状分布域の中でも被害密度の大きな地域と小さい地域が分布する。この原因は地形あるいは地盤条件に起因するものと思われる。
- ⑦ 西宮地域に入ると帯状をした被害分布は夙川付近からやや北に角度を変えて阪急今津線甲東園駅の東の方へと変化する。
- ⑧ 宝塚市内、伊丹市内の断層と構造線付近に大きな被害の分布域がみられる。
- ⑨ 淡路においては、北淡町、一宮町で被害が大きく、今回の震源に最も近い淡路町ではこれら2町と比較すると被害は少ない。

参考文献

- 1) 朝日新聞 1月27日朝刊
- 2) 鹿島建設(株)、平成7年兵庫県南部地震被害調査報告書(第1報)、1995年2月
- 3) 神戸大学工学部土木系教室、兵庫県南部地震緊急被害調査報告書(第1報)、1995年2月

(神戸大学 高田 至郎、沖村 孝、李 騰雁)

コンクリート構造物の被害特性

コンクリート橋脚の多くが、鉄筋の降伏する以

上の力を受けており、せん断破壊後に崩壊した橋脚が数多く見受けられた。当時の設計で許容されるせん断応力度は、現在の2～3倍であって、設計上はせん断補強の必要のなかったものである。現在は鉄筋コンクリート構造のせん断特性に関して多くの知見を得ており、現行の設計法ならば鉄筋量の追加などのせん断補強をしていたと思われるものが多く含まれている。

曲げ降伏変位を相当に越えた変位を受けたと思われる橋脚も多く見受けられた。その場合、結果としてせん断破壊に対して十分な余裕があると、崩壊までには至っていない。このことは、せん断破壊に対して十分な余裕を持たせることで部材に靱性を持たせ、大きな地震による崩壊を防ぐという、最近の耐震設計法の考え方が正しいことを示している。最新の基準によって設計され、施工の良いコンクリート橋脚は、今回程度の地震動に対して崩壊を免れる可能性は十分にあると思われる。

ラーメン橋脚が被害をほとんど受けていないのが大きな特徴である。この構造に地震時に作用する曲げモーメントおよびせん断力は、橋軸方向は地震力によるもののみであるが、橋軸直角方向は地震力による他に桁および活荷重によるものであって、今回のように上載荷重が作用していない場合には、橋軸直角方向の地震力に対しては余裕のある設計となっている。今回の地震動が、多くの場合橋軸はほぼ直角方向に作用したために、コンクリート橋脚のみならず鋼橋脚もほとんど被害を受けなかったものと思われる。

同じ構造形式の場合には、鋼構造とRC構造とで被害を受けたものの確率はほぼ同様であって、被害の程度に本質的な相違はなかったといえる。ラーメン橋脚の場合は、鋼構造もRC構造と同様に、ほとんど被害を受けていないが、単柱式橋脚の場合には、局部座屈や崩壊している鋼橋脚がRC橋脚の場合とはほぼ同じ割合で存在していたのである。

鉛直地震動によって、桁が支承から外れやすくなったことは容易に想像できる。しかし、橋脚を

上下方向の力のみで崩壊させることはきわめて困難である。桁自重や活荷重等による常時荷重に比べて、鉛直地震動によって作用する力は大きくとも上部構造の自重程度であり、コンクリートの圧縮に対する安全度を考えると、それによる崩壊は到底考えられないのである。水平地震動による被害に及ぼす鉛直地震動の影響は、一般にそれほど大きくはない。

コンクリート橋脚における構造細目については、現行（昭和 61 年以降）の土木学会コンクリート標準示方書の規定，すなわち，

- ① 耐震にとって重要な部材では、帯鉄筋比を 0.2% 以上とするとともに、せん断力に対する安全率を、曲げモーメントのその 1.2 倍とし、部材接合部から柱幅の高さの範囲では、さらにその 1.25 倍とする。
- ② 帯鉄筋の端部は 135° 以上折り曲げて、内部のコンクリートに十分定着するか、あるいは連続したらせん鉄筋形式とする。
- ③ 引張主鉄筋の引張部定着、いわゆる段落としは、同一断面では全引張主鉄筋の 1/2 以下とし、計算上不要となる点から部材の有効高さを延長し、そこから定着長以上を延ばす必要がある。その間の設計せん断耐力は、設計せん断力の 1.5 倍以上としなければならない。

で基本的に問題はないと思われる。

被害を受けた構造物の被災状況を調査すると、鉄筋の段落とし位置の選択、水平打継目、鉄筋のガス圧接継手、帯鉄筋の定着などの施工が、構造物の安全性よりも経済性を重んじて行われたとの印象が深い。高度成長期に施工された構造物のみならず、最近施工されたものにも見られた。このことが被害を大きくした原因とは必ずしも考えられないが、今後検討すべき事項である。

今後の詳細な調査研究によって、構造物が受けた地震動の大きさと被害との関係を明らかにし、コンクリート構造物の耐震設計法に反映する必要がある。

（東京大学 岡村 甫）

地下構造物・構造物基礎被害

（1）地下構造物の被害

今回の地震による神戸高速鉄道大開駅の崩壊は誠にショッキングなものであった。理由は、地下構造物は地震に対して安全であるという神話ができていたからである。今回のような予想を超える激しい地震動に対する地下構造物の耐震性を再検討するためには、激震地における被害構造物と無被害構造物を調査・分析することが不可欠である。以下、施工法別にその概要を述べる。

開削工法では、調査対象構造物はすべて矩形断面で、土被りが 5 m 以内と比較的小さく、ほとんどが激震地内のものである。このうち上述の大開駅の壊滅的な被害は、地下 2 階中央付近の鉄筋コンクリート製中柱が完全に破壊し、上スラブが線路に沿って押しつぶされた状況になり、地表面は広範囲にわたり最大 3 m 程度陥没した。一方、神戸市営地下鉄三宮駅では、地下 1 階の鉄筋コンクリート製中柱が多数破壊（コンクリート剝離・鉄筋露出）したが、地下 2・3 階の鋼管柱の被害はなかった。また、NTT 洞道では延長約 4 km、ポートターミナル共同溝では延長約 1 km、いずれも激震地内に位置するにもかかわらず、エクスパンションジョイント部のずれや開口により、地下水が流入し浸水する被害で、本体構造物はほとんど被害を受けなかった。さらに、三宮駅前さんちかタウンでは、ほとんど無傷といってもよい程度であった。その理由は、この本体構造物（幅約 40 m、長さ約 240 m）は上述のような線状構造物ではないこと、増設による中壁が耐震壁の機能を果たしたこと、中柱はコンクリートで中詰めされた鋼管柱であること、もともと水平震度 0.1 で設計されていたこと、などによると考えられる。

シールド工法では、NTT 洞道の径 4 m シールドが延長約 6 km、関西電力の径 5 m シールドが延長約 1 km、いずれも土被り 10～20 m 程度で設置されていたが、無被害であった。

山岳トンネル工法では、盤滝トンネルにおいて、断層位置で覆工側壁のクラック、コンクリート剝

離、鉄筋露出およびインバートのクラック等の損傷が発生した。新幹線六甲トンネルにおいても、断層位置付近で覆工に同様な損傷が発生している。

以上、総合的には地下構造物は地上構造物よりも耐震性に優れていると考えられるが、具体的な今後の技術的課題として、開削工法では、構造物の中柱の耐震設計法とエクспанションジョイント部の漏水防止法、また山岳トンネル工法では、断層付近での覆工の強化法などが挙げられる。

(2) 構造物基礎の被害

今回の地震による構造物被害において、直接視認できる損傷のほとんどは上部構造において発生している。しかし、直接視認できない基礎構造にも場合によっては損傷があり、上部構造の損傷の原因になっていることは大いに考えられる。以上の視点から、地盤工学的に問題も多く、構造物基礎にとっても厳しい条件下におかれるであろう埋立地の水際線構造物（道路橋）を対象として、構造物基礎の被害実態を把握するとともに、地盤工学的見地から推定される構造物損傷の原因について述べる。

調査対象は、阪神高速道路湾岸線、ハーバーハイウェイおよび人工島連絡道路の中の9橋梁と接続している高架橋で、21地点である。被害は水路を跨ぐ高架橋に集中しており、それらよりもさらに陸側に位置する高架橋および橋脚が海中に設置されている場合には、大きな被害がほとんど認められない。水際線構造物基礎の周辺では、ほとんどの護岸が海側に移動するとともに沈下し、背面地盤にときには陥没など著しい変状が生じている。一般に、地盤変状は護岸から30~40m程度で、ときには70~80m程度の陸域にまで及んでいる。液状化現象による噴砂の痕跡は構造物基礎の内陸側において大規模に確認される場合が多い。構造物基礎が護岸から20~30mしか離れていない場合、構造物付近の護岸は他の部分に比して水路側への移動量が小さい。これは、構造物基礎によって地盤の移動が妨げられ、逆に、構造物基礎が地盤から側方流動圧を受けたことを意味する。このような条件下におかれた杭基礎は地震時に側方流

動を受ける杭、すなわち「地震時受働杭」と呼ばれることがある。

以上の被害状況に基づいて、水際線構造物に損傷を与える原因を地盤工学的見地から総合的に推定すれば、①液状化現象と側方流動現象との相乗作用、②側方流動現象のみ、③その他（基礎形状の相異、構造物全体としての3次元的挙動など）に分類できる。以下に、今後の技術的課題を要約する。

- 1) 被害が直接視認されなかった構造物も含めて、その基礎の健全性を検討するとともに、今後の補修対策法や耐震設計法を確立する。
- 2) 構造物を護岸に近接して陸側に設置する場合には、構造物基礎と護岸との系統的設計が必要となる。その際、「地震時受働杭」としての設計法が応用できよう。
- 3) 上部構造と下部構造（基礎）との構造物全体としての耐震性の整合性ある検討が重要なポイントになろう。

(大阪大学 松井 保)

地盤災害

(1) 埋立地・人工島

埋立地・人工島は、一般に緩い堆積構造となることから、各種の地盤改良工が施工されていた。ポートアイランド島内では中央部の住宅地を中心に、在来の沖積粘土層の圧密沈下対策として、プレロード工とサンドドレーン工が施工され、また、埋立土層の支持力増加を目的とした締固め工が施工されていた。これらの地区の被害は、地盤改良対策がされていない外周の港湾施設地区に較べて軽微であり、供用にほとんど差し支えない程度であった。このように地盤改良工の有無により、液状化の被害に顕著な差があった。

(2) 宅地造成地・急傾斜地

過去の地震では山腹部の宅地造成地に多くの被害が報告されているが、今回は比較的少なかった。

神戸市東灘区岡本六丁目では、道路およびコンクリート吹付け工の崩壊が、また、同区西岡本七丁目では、急傾斜地に取り付けられた道路の崩壊が見られた。道路の崩壊は、盛土部がその背後の

切土との境界面から剥がれ、一部地山部分を巻き込んで崩落したものであった。これらのケースは過去の地震でも多く報告されており、切土と盛土の一体化対策が必要である。また、コンクリート吹付け工は、地震時の崩壊防止に対しては効果がないことを示していた。

西宮市仁川百合野町では大規模な斜面崩壊が発生した。崩壊前の斜面の勾配は $15\sim 20^\circ$ 程度の緩斜面であったが、旧版地形図および空中写真から、崩壊した斜面は、昭和20年代後半からの浄水場建設に伴い、谷部を埋めて盛土した部分であったと推定される。崩壊地は今回の地震で動いたといわれている甲陽断層の北西数100mの場所にある。斜面の崩壊方向は、断層の変位方向とされる北東方向とほぼ一致しており、また、緩斜面にも関わらず、崩壊土が仁川の対岸部まで多量に達していることから、土塊の滑動方向へ大きな加速度が作用したのではないかと推察される。

(3) 鉄道盛土・切土

鉄道盛土は、何らかの変状を生じていた。

阪神本線石屋川駅西側では、垂直盛土壁が転倒モードで破壊して上部が両側に開き、中込土内にすべり破壊が生じた。JR山陽本線新長田駅付近では、垂直盛土壁の転倒モード破壊と滑動モードの変状が認められた。これらの変状は、タイロッド工やアンカーを利用して、両側の垂直壁を連結させることで防止・軽減できると考えられる。

西宮市高塚町の阪急神戸線沿線では、住宅地となっている緩傾斜地で切土方向への滑動が生じ、土塊上の住宅・マンションが傾斜した。旧版地形図で、この場所は以前、谷であったことから、この滑動は旧地形が一因と考えられる。

JR東海道本線芦屋川トンネル入口付近の切土斜面は、高さ約10m、傾斜約 60° であるが、被害は軽微であった。この斜面は扇状地堆積物からなり、砂礫が混合した強度が大きい土と推定されることから、地震動に耐えたと考えられる。

(4) 河川・貯水池堤防

大阪市此花区の新淀川左岸堤防の潰壊では、堤防周辺に多くの噴砂痕が認められたことから、堤

防基礎地盤が液状化したために、堤体がすべり破壊したと推定される。基礎地盤の液状化対策を含めた地盤改良対策が必要である。

西宮市満池谷町ニテコ池では、北側から東側にかけての護岸と中仕切りの堤防2基が崩壊した。護岸と堤防はまさ土の盛土で、地震動に伴って水位以下の部分が液状化して崩壊したと推定される。旧版地形図で、この池の北から東側には以前、谷地形が発達していたことから、護岸の崩壊はこの旧地形に起因して生じたと考えられる。

(5) まとめ

仁川百合野町からJR芦屋川トンネルに至る北東—南西方向の一連の地盤災害は、右横ずれ変位をしたといわれている甲陽断層沿いに生じている。この地域には以前、多くのため池が分布しており、これらを埋立てたような地盤の弱点箇所がこの断層の動きに伴い崩壊したものと推測される。このような地域における土木・建築構造物は、地盤を含めたひとつのシステムとして設計することが大切である。

(九州大学 落合 英俊, 日本大学 梅村 順)

河川被害

(1) 河川堤防の被害

被害が大きかった河川は、淀川、猪名川、藻川、正蓮寺川、神崎川、左門殿川、中島川でありこれらの河川で堤防について被害調査を行った。

淀川本川の直轄区間では18被災箇所で大災害復旧が行われた。この中で河口域の西島地区(左岸0.2km~2.0km)、西島地区(右岸1.1km~1.9km)、高見地区(左岸2.5km~2.7km)の堤防は砂質性の地盤上に建設されており被害が大きかった。

最も堤防被害の大きかった西島地区では、盛土からなる堤体は液状化と堤体内土砂の側方流動(写真-1)によって大規模な崩壊、沈下が生じた。高潮氾濫防止のため高さ1.6mのコンクリート製のバラベットの盛土上に設置されており、盛土の崩壊によってこのバラベットの側面が大破した。震災前のバラベットの高さはOP+8.1mであったが崩



写真-1 崩壊・大破した淀川堤防（西島地区）

壊によって最大で3mの沈下が生じ、有効堤防高さがOP+3.5mとなった。応急復旧期間中の淀川の満潮位はOP+1.7mであったために、ゼロメートル地帯に発達した大阪市内への海水の侵入を回避することができた。

西島地区では堤防天端に大きな縦断亀裂と陥没が生じ、川裏側への堤防のはらみ出しおよびのり尻崩壊等が見られた。この地区では、地盤改良が実施されていたこともあって、左岸の西島地区に比べると被災規模は小さい。

猪名川左岸ではコンクリート製の高水護岸に全断面スケールの亀裂が発生しているところがあり、また低水護岸の川側へのはらみ出しが見られた。猪名川の派川、藻川では、天端の縦横断亀裂、沈下、川表と川裏のり面の亀裂、低水護岸の破損、高水敷での噴砂等が見られた。

国道171号線より下流の武庫川右岸堤防では規模の大きい亀裂が多く見られた。その他、堤防の沈下、のり面のすべり、路肩の亀裂、高水敷の縦亀裂が見られた。堤防材料は河床を浚渫したまき土である。約800mごとにつくられている床止め工には変状は見られない。

家屋、道路等に大きな被害を受けた灘区と東灘区の境を流れる住吉川は、掘り込み河道のためか、強い地震動を受けた割には調査区間の被害規模は大きくなく、石積み護岸の崩落とそれに伴う道路の陥没が主たる被害であった。

（2） 今後に向けて

堤防の最大の機能は、洪水、高潮、地震によっ

て河川水や海水が堤内地へ侵入することを防ぐことにある。一般に河口付近は、地盤条件によっては地盤の液状化が生じやすく、堤防の被災の可能性が高い。堤防が被害を受けても洪水や高潮に対しては、来襲前に緊急復旧を行えば、洪水、高潮に対する堤防の機能は確保可能であると考えてよい。しかし、堤防の壊滅的被害によって機能を失い、河川水、海水が市街地に流入するようなことは絶対に避けなければならないことである。このためには、破壊しても満潮位よりも高いある程度の堤防高さが残留、確保されることが不可欠である。地震外力、地盤条件、潮位等を十分考慮に入れ、危機的状況においても機能を確保できるような堤防の設計法が検討されなければならない。

（広島大学 福岡 捷二）

道路構造物の被害と復旧状況

（1） 橋梁上部構造

橋梁上部構造の被害の程度は比較的軽微であった。東神戸大橋は斜張橋であるが、橋軸方向にすべての支承を自由とし、支柱を両側に2本ずつ立て、かつ、ダンパーを設置する構造が用いられた。橋梁上部構造自身は無被害であったが、神戸側の支承のピンが損傷した。六甲アイランド大橋はダブルデッキのローゼ橋であるが、支承が損傷し、橋軸直角方向に大きく移動している。これらの橋梁では、橋軸直角方向に異常な地震力を受けたものと考えられ、今後、橋軸方向の力学的検討と同時に、橋軸直角方向の落橋防止策や移動防止策などの検討が必要であろう。

（2） 高架橋の上部構造

高架橋では、上部構造には異常が少ないものの支承に多くの損傷が見られ、路面の伸縮継ぎ手の位置において段差が生じ、一般車両の通行が不可能になっている。単純桁構造においては落橋したものがあるが、連続桁構造では、一部を除き、落橋は免れている。また、桁と桁を連結する耐震連結は桁の落下を防止する意味において効果があったと言える。神戸線においては、耐震連結が概して小型のものが用いられており、効果が低減して



写真-2 第2摩耶大橋における落下防止装置

いた。耐震連結が構造物の被害をより大きくした可能性もあるが、これは上部構造が連結していることを前提とした設計法をとることで解決できると考えられる。橋台と上部桁を連結する落下防止工は効果があると考えられるので、今後の採用の検討が期待される（写真-2）。

（3）コンクリート橋脚

被災地域では、単柱式のコンクリート橋脚が多く、倒壊したもの、橋脚上部が崩壊したもの、橋脚の中央部にせん断による損傷の生じたもの、橋脚の基部が損傷したもの、打ち継ぎ目に損傷の生じているものなどの被害が生じている。崩壊した橋脚は10日程度で撤去された。コンクリート橋脚の軽微な損傷箇所は、クラックに樹脂を注入し補強している。コンクリート橋脚の多くの損傷部の補強には、倒壊防止のため支保工で支持した後、橋脚に鋼板を巻き付け、この中にコンクリートを打設する方法が採られた。損傷が大きく鉄筋が露出している場合には、露出部にモルタルを吹き付ける工法や、コンクリートで固める方法が採られている。阪神高速神戸線に、地震の前にコンクリート橋脚に鋼板を巻き付け樹脂を注入し補強した橋脚があるが、これらに被害は及んでいない。

（4）鋼製橋脚

鋼製橋脚では、倒壊したもの、脆性破壊による



写真-3 脆性破壊による亀裂の復旧

亀裂の入ったもの、局部座屈したものなどの被害が生じている。局部座屈による耐荷力が低下したものは縦リブ補剛材を溶接し補強している。ハーバーハイウェイの摩耶埠頭近くにあるラーメン橋脚では脆性破壊による亀裂が生じたが、この部分には補強板をあて周囲を溶接することで復旧している（写真-3）。鋼製橋脚の場合は概して復旧が早い特徴があると考えられる。

（5）支承および免震支承

多くの橋梁や高架橋で支承の損傷が多く見受けられる。しかし、支承が損傷することにより上部構造や橋脚の被害を軽減したものとも推察される。支承そのものや変位移動制限装置などが脆性破壊したことを考えると、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。また、損傷した支承の一部にはアンカーボルトが浮き上がったものがある。現在の支承は浮き上がりに弱い構造なので、これに対する対策が必要であろう。また、支承が弱点になることから、上下部一体となった構造の検討が期待される。たとえば、5径間連続V脚ラーメン橋の灘浜大橋には被害が生じていない。阪神高速池田線の豊中南インターチェンジ付近に古い単純桁橋の腹板どうしをシャーププレートによりつないで連続構造とし、積層



写真-4 阪神池田線豊中付近の免震支承

ゴムによる免震支承を用いてより耐震性能を向上させたいわゆるノージョイント工法が実施されていた(写真-4)。この区間には全く異常が認められず、効果があったものと考えられる。ただし、桁の端部が橋台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定される。今後、大きな変位に対する対策、地震時における破断強度の保証、耐久性の確保など今後の検討が期待される。

(6) 側方流動

阪神高速湾岸線の西宮港大橋の側径間の取り付け桁が落橋した。これは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。今後、地盤の側方流動に対する対策が慎重にたてられる必要があるものと考えられる。

(中央大学 川原 睦人)

海岸・港湾施設の被害と復旧状況

ポートアイランド、六甲アイランド等の神戸港内の主要港湾施設の被害状況については、学会第一次報告ですでに報告済みである。このため、ここでは調査報告例の少ない地点の被害について述べ、併せて神戸港の復旧状況を示す。

なお今回の震災では阪神臨海地域の諸施設が甚大な被害を被ったが、同地域の被害形態の種類としては、地盤の種類によって以下の2つに分類できるであろう。ひとつは、臨海人工埋立地盤における被害であり、他のひとつは自然堆積した臨海沖積地盤における被害である。これら2つの被害形態は、地域的には兵庫県と大阪府を境として区

分され、前者の被害は震度7~6を経験した神戸~西宮間の臨海埋立地盤での液状化を伴うものであり、後者は中震度の震度5~4を受けた尼崎および大阪市の淀川河口付近の自然堆積沖積地盤の液状化による被害である。まず淀川河口付近の被害を述べ、次に臨海埋立地周辺護岸の被害について述べる。

(1) 淀川河口付近における被害

大阪府と兵庫県の境界には淀川が位置するが、淀川を中心とする臨海および内陸地域は過去の縄文時代の海進の影響を受けた地域であり、特に河口付近には緩い沖積砂が下部の軟弱沖積粘土を覆って広範囲に堆積している。このためこの地域では中程度の震度によっても地盤の液状化が発生し、構造物が被害を受けている。たとえば、淀川左岸堤防の崩壊や、尼崎港に位置する昭和32年建設の尼崎閘門構造物の被害がその典型である。淀川左岸堤防については、堤体盛土の安定性も検討が必要であるが、尼崎閘門での液状化では暗黒色の自然堆積した沖積砂が噴砂を生じており、付近の護岸構造物も沈下している。このような護岸構造物の沈下は、従来より地盤標高が低い河口低地の防潮対策にはきわめて深刻な問題であり、早急に対策が講じられるべきである。

(2) 西宮・芦屋臨海埋立地での被害

西宮および芦屋地域においても臨海部が良質なまき土を用いて埋立造成され、ほとんどすべての埋立地が液状化を生じた。これらの埋立地の護岸構造は、①下部の軟弱沖積粘土層を掘削・除去して、置換砂の上に直立ケーソンあるいは傾斜護岸を設置したものや、②軟弱沖積粘土層をサンドコンパクション等の方法で地盤改良した上に直立ケーソンあるいは傾斜護岸を設置したものが多。なお、沖積粘土層の下部には沖積砂層があり、さらにその下は洪積砂層と粘土層の互層となっている。

上記のような様々な護岸構造を集合した埋立地の例として、南芦屋浜埋立地がある。ここでは東西の護岸はそれぞれ置換砂の上に直立ケーソンと傾斜護岸を構築したもので、埋立地内部のマリー

ナ護岸は地盤改良層上に直立ケーソンを設置したものである。いずれの護岸形式においても、程度の差はあるが沈下あるいは側方移動等の被害が確認されている。特に本埋立地北岸に沿って走る阪神高速道路湾岸線の大型橋梁基礎は側方流動の影響を受けており、高速道路の上部橋梁桁が橋梁基礎のごく一部に乗った状態で倒壊を免れている。橋梁基礎の支持対象層は大深度であるため、護岸の変状がどの地層で生じたかについて慎重に調査する必要がある。

以上は背後に盛土を持つ護岸付近の被害であるが、荷重条件としては護岸ほど厳しくない防波堤についても被害が確認された。たとえば、ポートアイランド2期埋立地南端の施工途中の防波護岸や長田港などの防波堤での被害である。このような構造物の変状は支持層である置換砂の強度低下が原因のひとつと考えられ、詳細な調査が必要である。

現在、ポートアイランドと六甲アイランドなどの主要港湾施設では、使用可能バースを順次増やし、仮使用されつつある。さらに2年以内には完全復旧が目標とされている。このような護岸・岸壁の復旧方法には重量ケーソンの他に栈橋形式など、耐震性を考慮して比較検討されるべきであり、さらに、護岸施設の安定性を検討する上で、今回の埋立土の液状化、護岸の側方流動、置換砂の支持力低下などのメカニズムについて十分な究明がなされるべきである。

(神戸大学 田中 泰雄)

下水道の被害と復旧状況

(1) 被害状況

被災地区に存在する43の下水道終末処理場のうち被害が報告されているのは8処理場であった(建設省調査結果)が、神戸市東灘処理場が最もひどい被害を受けている。東灘処理場では運河に面した擁壁の大きな移動や沈下が起き、それに伴い施設に大きな影響を受け、場内の導水渠、最初沈澱池に入る地点での接続部、処理施設のエキスパンションジョイント、脱水機場・管理棟等の建

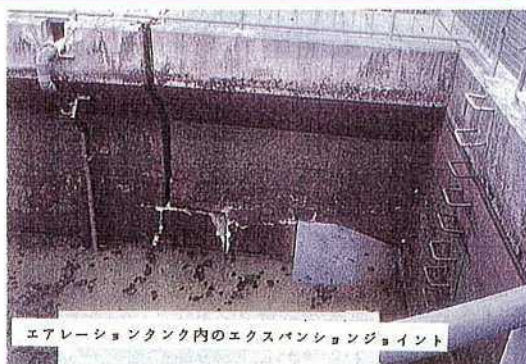


写真-5 東灘処理場の損傷状況

造物、地下回廊等の損傷が主なもので、処理を行えない状況であった(写真-5)。

その他の処理場の被害は、漏水、浸水、場内配管の一部損傷、汚泥掻き寄せ機の損傷、消化槽等の一部破損であった。ポンプ施設では、地震発生に伴う停電時にポンプの呼び水や、自家発電装置の運転に必要な冷却水がなく、発電等の機能を十分に発揮できなかったという事例が報告されている。一部のポンプ場では処理場の処理水(高度処理水)を利用して応急的な処置をとることができたとのことである。

下水の管渠では、いくつかの場所でマンホールの立ち上がりのズレ、管渠の亀裂や段差の発生、勾配の変化、土木構造物の破損に伴う損傷、液状化に伴う泥の侵入等が確認されている。また、宅地から汚水マスへの接合部、取付管のズレ、下水管の亀裂、勾配の変化等の局地的な被害が発生している。神戸市のポートアイランドでは周辺の地盤が沈下したことにより、マンホールが地表面より浮き出たような状況になっていたものもあった。下水管が地下構造物のため、被害状況を完全に把握することはきわめて困難な状況である。

雨水管では、暗渠部分は汚水管の被害状況とほぼ同じであるが、開水路については倒壊家屋の瓦礫や土砂が堆積したり、側壁が破損したりしている部分が多数存在する。また吐き口についても護岸の崩壊により被害を受けたところもあり、一部応急的な対策がたてられているが、今後の雨期の集中降雨に対して、早急な対策が望まれる。



写真-6 テレビカメラによる下水管渠の調査

(2) 復旧作業の進捗状況

東灘処理場を除く処理場においては応急処置を取るにより、平常通り的高级処理がなされている。神戸市東灘処理場では、復旧が遅れており、流入する下水は、魚崎運河を締め切り沈澱池としての機能を持たせて処理し、自然放流している。しかし、好ましい状況とは言えず、早急な対策が望まれる。

大規模な損傷を受けた下水管渠については「仮管」「共同溝を下水管のバイパスとして一時的に使用」するなどの応急処置が施された。また、地震発生直後から、他都市等の応援をうけて、テレビカメラを下水管に入れて内部をテレビ撮影し(写真-6)、今後の改修計画の基礎資料にするよう、その調査結果を整理している。

雨水管については堆積土砂の排除、開水路の河床・護岸の損傷に対し、応急処置がなされており、一応雨水を流下させることができるような状況に修復されている。

(京都大学 津野 洋)

電気・ガス・通信施設の被害と復旧状況

(1) 電気施設

関西電力の送電線・配電線の被害は大きく、兵庫県のみならず京都府の一部にわたる広範囲で電力の供給が停止した。送電線は全体で112路線が、配電線は660路線で被害を受けた。三宮の地中配電線では、ケーブル延長25kmのうち、4km(約16%, 75回線)で不能となった。これらの被害

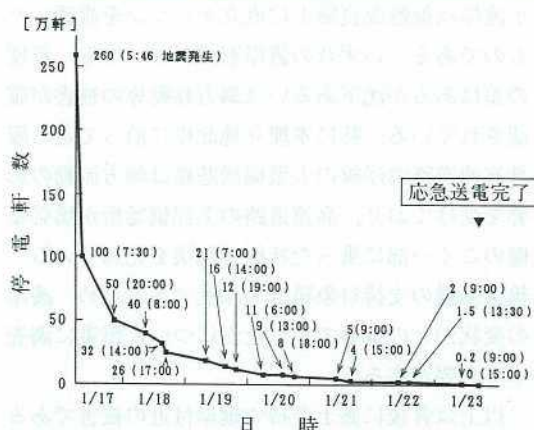


図-3 停電軒数の時間推移

のほとんどは引込線に集中しており、建物との接合部における管路のずれ、継手部のはずれが原因である。

地震後に関西電力内に災害対策本部が設置され、復旧体制が整えられた。各営業所管内を複数のブロックに分割し、各責任者の役割を明確にして、復旧作業を行った。地震直後からの停電軒数を図-3に示す。約260万軒で供給が停止したが、6日後の1月23日午後3時には送電不可能な地域を除き応急復旧を完了した。

(2) ガス施設

大阪ガスの総戸数570万戸から成る供給エリアは8つのスーパーブロック、55個のミドルブロックに分割されるが、地震発生から6時間後に5個のミドルブロックでガスの供給が停止した。このため、85万6000戸で供給停止となった。

管路では、中圧導管、低圧導管などに被害が発生した。管の座屈による被害例を写真-7に示す。中圧導管の被害は比較的少ないが、被害としてはバルブ部のドレッサー継手の損傷やフランジの緩みによる漏れがあった。低圧管の被害としては、ネジ継手部での破損が大半である。一方、PE管の被害は報告されていない。また、液状化が多発したポートアイランドでは、50cmを超える地盤沈下に対して伸縮継手、二重管工法などの対策が有効に働き、管路の被害は軽微であった。

ミドルブロックを復旧のためにさらに小さくブ



写真-7 ガス管路座屈 (神戸市中央区フラワーロード)

ロック分けし、比較的被害の小さい部分から復旧を行った。ただし、公共性の高い施設には優先的に復旧あるいはプロパンを使った供給を行った。2月17日までに29万5000戸が復旧、4月11日に送ガス不可能な家屋を除き全面的に復旧した。

(3) 通信施設

NTTの加入者系回線の約144万回線中、28.5万回線(約20%)が不通となった。主な被害原因は、交換機の非常電源の故障、建物の損壊に伴う引込線の切断、架空線路の切断、焼失などである。洞道では、翌18日に全路線踏査され、全被害状況が把握された。開削工法によって作られた短形洞道のジョイント部や側壁部に被害があった。一方、地中深く埋設される円形洞道には被害がなかった。

不通電話回線の復旧状況の推移を図-4に示す。NTTでは、17日午前に災害本部員を招集し、回線の点検・復旧を進めた。その後、移動電源車

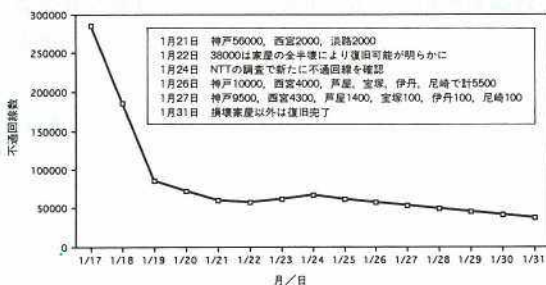


図-4 不通回線復旧推移図

などの導入によって18日には交換機が再始動したため、19日には不通回線数は約1/3の85000回線に減少した。1月31日には実質的に復旧が不能な38000回線を除いて、不通回線が全面復旧した。

参考文献

神戸大学工学部土木系教室、兵庫県南部地震緊急被害調査報告書(第1報、第2報)、1995年2月

(金沢大学 北浦 勝)

災害廃棄物の現状と課題

(1) 災害廃棄物の発生量

兵庫県南部地震は大量の災害廃棄物(ガレキ)を一時に発生させた。1月26日の厚生・建設・運輸3省から構成される連絡会推計によれば1100万t、2月4日の兵庫県推計によれば1300万t、さらに3月末の厚生省推計によれば1850万tと、被害把握の深化とともに発生推定量は増加の一途をたどっている。平成2年に建設省により実施された建設副産物センサスによれば、兵庫県の1年間の副産物発生量は約300万tであり、実に平常時の6倍にあたる災害廃棄物がきわめて限られた地域に一時に発生したことになる。さらにその多くが建築物からのガレキであり、木質系、鉄筋などの金属系、コンクリート系や家具・什器や書類・衣類までも含んだ混合廃棄物であることが大きな特徴である。

(2) 災害廃棄物処理上の問題

災害廃棄物は発生現場での分別と撤去、運搬、仮置き場への搬入と分別を経て、あるものはリサイクルへ、また焼却による減量化や埋立等により最終的に処分される。被災地域の復旧・復興のためには一刻も早い災害廃棄物の撤去と処分が要求されるが、前述した大量性と一時性のために著しく困難な状況に直面している。廃棄物の処理、リサイクルには分別が基本であるが、被災地での撤去作業の困難性、仮置き場の不足(写真-8)と作業効率を主な原因として、十分な分別がなされているとはいえない状況にある。そのため、撤去現場での飛散性アスベストの発生や、仮置き場で



写真-8 災害廃棄物仮置き場（西宮市甲子園浜）

の野焼きによる減量化の際の大気汚染問題を引き起こしているのみならず、再生資源化が難しいというリサイクルへの問題や、木質系や家具書類等の埋立処分場への投入は、それらの腐敗分解に伴うガス発生・地盤沈下や強度低下等が懸念される。幸い最終処分場は大阪湾フェニックスセンターをはじめ容量的には確保されているので、最終処分までの撤去、運搬、分別作業の効率化が必要である。

（3） 今後に向けて

仮置き場をさらに確保するとともに、仮置き場内での分別作業の効率化のために簡易な分別システムの導入が必要である。また道路渋滞を考慮すると災害廃棄物の運搬は海上輸送との連携、建設関連復旧物資輸送との連携により空車率を下げることで、規制による時間分散化が必要である。リサイクルは今回の災害廃棄物の大量性・一時性を考慮するときわめて難しいが、リサイクルはやはり建設副産物処理の基本方向であり、リサイクル率を高めることが望まれる。このためにも広域で需給バランスを考えることが重要である。また広域処理は、被災地外の処理施設・処理能力の活用という視点からも評価されよう。環境への影響は極小化することが要請されるが、廃棄物処理のスピー

ドの復旧・復興への影響等も勘案した弾力的な配慮も時によって要請されよう。とにかく災害廃棄物処理の総合的プログラムの確立が最重要である。問題は行政区界を超えて広がっており、効率的かつ、より環境や道路混雑等の外部影響の少ない解決方法には、自治体内の処理という原則では対応できない面もある。

（筑波大学 石田 東生）

あ と が き

以上の各報告のあと、松尾稔名古屋大学教授（第三次調査団団長）によって総括報告がなされた。松尾教授は、今回の甚大な震害に対する一土木技術者としての率直な謝罪に始まり、耐震規準の見直しの是非と学会の役割、防災に対する国民の意識と政府の役割、そして一人ひとりの土木技術者の資質と創意工夫の重要性などについて広い視点から論じた。

その後の質疑応答では、技術的・専門的な質問の他に、元中央官庁のエンジニアから「土木業界の産官学のなれ合い体質と情報非公開性が今回の震災の激化を招いたのではないか」という厳しい意見もあった。

この第三次および第四次調査団の調査報告を中心とした報告会も、全国の多くの支部で開催されている。また、かなりの大部となるであろう「阪神・淡路大震災調査報告書」も本格的に企画・編集作業が始まっている。被災地以外の一般市民の関心は、震災後立て続けに発生した社会不安を煽る事件に移行しがちであるが、我々土木学会員はこの大震災の結果を真摯に受けとめ、決してその経験を風化させることなく、さらに良質な社会資本の整備に貢献していくことが社会的使命と考えられる。

（全体とりまとめ：名古屋大学 森川 高行）