

コンクリート構造物の被害

埼玉大学工学部 町田篤彦

調査メンバーは第1次調査団参加者およびオブザーバーとして参加された方々である。ただし、本稿は、1月20日、町田がオブザーバー東京大学技術研究所小長井一男助教授とともに調査した結果を中心に取りまとめたものである。

1 調査地域および被害概況

第1次調査団が関係機関（建設省近畿地方建設局、日本道路公団建設第2部、運輸省第3港湾建設局および神戸市交通局）に対してヒアリングにより調査した主な鉄筋コンクリート構造物の被害状況は図1および表1の通りである。これらの内、被災現場におもむいて調査したのは、図中、丸印を付した場所である。現地調査の中には、特に関係機関におもむかずに調査した山陽新幹線の被害も含まれている。本文は、これらのうち特に著しい被害を受けた阪神高速道路神戸線深江出路付近、名神高速道路西宮インター～尼崎インター間の鉄筋コンクリート橋脚、山陽新幹線阪急今津線橋梁付近を中心に述べるものである。

2 阪神高速道路公団神戸線の被害

阪神高速道路深江出路付近の鉄筋コンクリート橋脚は、著しい被害を受け、このうちの約500mの間は倒壊に至った。倒壊した橋梁は、ピルツ構造の部分であって、柱脚が円形断面のT形橋脚に鉄筋コンクリート桁を剛結した構造であった。倒壊の原因が大きな地震力が作用したことにあるのは明白であるが、その過程は、少なくとも定性的には、水平力の影響であるとして、以下のように説明できる。すなわち、

1. 曲げモーメントによるひび割れが円周方向に発生する。
2. これらのひび割れのどれかを起点として、斜め方向のせん断ひび割れが発生する。
3. せん断ひび割れの終端付近のコンクリートが圧壊する。
4. これによって、重ね継手で定着されていた帯鉄筋が、せん断力分担および内部コンクリート拘束といった機能を失い、コンクリートの圧壊が断面内部の深い部分にまで及ぶ。
5. 倒壊に至る。

ただし、一般論として、崩壊した後の状態から、崩壊過程を明らかにするのは極めて困難であり、上記は、周辺で倒壊には至っていない橋脚の被害状況を参考にした推論であることは言うまでもない。正しい結論を導くには、3次元弾塑性応答解析など、精密な解析による結果との対比が必要であり、これによれば鉛直方向地震力の影響、上部の回転慣性の影響等もある程度は解明することができよう。

上記の推定が基本的には正しいとすれば、次に問題となるのは、

1. 橋脚断面が曲げ降伏先行の特性を有していたか。
2. 崩壊を惹起したせん断ひび割れは、どこを起点として発生したものか。

の2点である。第1点に関しては、現行の土木学標準示方書を用い、概略計算すると、曲げ耐力／せん断耐力が1に近いことより、せん断破壊しやすい断面特性であったことが推定される。第2点に関しては、従来の地震被害でも認められた鉄筋段落とし部と推定されるもの、鉄筋圧接部と推定されるもの、どちらも判別つかないものが混在し、調査団でも意見の一致を見ていない。ただし、圧接面で破断した鉄筋が少なからず見られたことは、これが倒壊過程の中期以降に生じたものであっても、降伏後の靱性などが全く期待できないこととなるので、今後、破断のメカニズムを含めた検討が必要であると考えられる。

倒壊した部分の前後の鉄筋コンクリート橋脚には、曲げひび割れを生じたもの、曲げにより基部のコンクリートが一部圧壊したもの、上記1～5の倒壊過程において、せん断ひび割れのコンクリートの圧壊、軸鉄筋のはらみ出しが生じたが倒壊には至らなかったものなどが数多く存在することが認められた。また、橋台には、橋台本体に生ずるものとしては従来あまり見られない「短柱のせん断破壊」という形式で破壊したと考えられるものが少なくとも2カ所あった。今回の地震でこのような破壊形式が他にも見られるのであれば、これに対する耐力照査、補強方法、その他何らかの対策を検討する必要があるだろう

3 日本道路公団名神高速道路の被害

名神高速道路尼崎インター～西宮インター間では、尼崎インター武庫川間の壁式鉄筋コンクリート橋脚の著しい被害が目についた。これは写真に見られるように、壁の厚さ方向に生じたX字状のせん断ひび割れが幅方向にわたって貫通したもので、前節に述べた過程を経て生じたものであると考えられる。ただし、前節と大きく異なる点として、せん断ひび割れの終端におけるコンクリートの圧壊がほとんど見られず、軸方向鉄筋が壁の外側に大きく湾曲したのみで、橋梁全体の倒壊には至らなかった点があることを指摘できる。せん断ひび割れの起点となる曲げひび割れの位置を完全に特定することはできなかったが、一部で、鉄筋段落とし部であると認められるものがあつた。

従来より、壁のような版状構造物が面外のせん断を受ける場合のせん断耐力は、押し抜きせん断を除いて、その幅が極めて大きいことにより、ややもすると重要視されない傾向があつたが、一方で、幅方向に一樣なせん断力を受ける場合には、柱や梁に生ずるようなせん断破壊を生ずるとの指摘もあり、土木学会示方書にもこの点の注意が明記してある。ここに見られた被害は、この指摘を実証するものであり、壁の表面に直角方向の一樣な水平地震動によるものと判断されるのであつて、主鉄筋をとりまく形式のせん断補強鉄筋を配置することが必要であることを示すものといえる。

このほかの被害としては、鉄筋コンクリートラーメン橋脚に発生したせん断ひび割れに言及したい。これは、写真に見られるように、今回の地震においては特に著しい被害とは言えないが、コンクリートの剥落、軸方向鉄筋のはらみ出しが生じたものである。この程度の被害にとどまっているのは十分な帯鉄筋が配置されていることが大きいと考えられるが、残念ながら端部が直角フックとなっており、これがこのような被害となって表れたと考えられる。

4 山陽新幹線の被害

山陽新幹線では、阪急今津線橋梁の落橋およびこの付近のラーメン橋脚に見られた被害について述べる。今津線橋梁の落橋は、橋台の被災によるものである。橋台は4柱式のラーメン構造で、

柱の4本ともに、西側の橋台では柱頭付近に、また、東側の橋台では柱基部付近に、それぞれせん断ひび割れを生じ、これが貫通して、分断された部分が自重その他により下方に大きく変位したと推定される被害が生じた。今津線橋梁の東側にもう一つ同様の橋台が同様の被害を受けて落橋を招いた箇所があった。いずれの場合もせん断ひび割れの起点を特定することができなかった。柱のせん断スパン比が小さいことが何らかの影響を及ぼしていることが考えられるが、正しくは今後の検討に待たなければならない。

落橋した2つの橋梁のあいだに3スパン2層ラーメン橋の二つが大きな水平および鉛直変位を生じ、著しい被害を受けたことが観察された。これらの内の一つは、一部は1層柱上端が、一部は2層柱上端がせん断破壊し、他の一つはすべての柱において1層の上端部がせん断破壊していた。また、この橋梁に続く東側では、3スパン1層ラーメン橋の多くが、大きな変位を生ずるには至ってはいないものの、柱上端にせん断破壊を生じたことが観察された。これらの橋梁においても、せん断ひび割れの起点は特定することはできなかったが、いずれも断面力が大きい部位であることは確かである。

以上のように、山陽新幹線阪急今津線橋梁およびその付近のコンクリート橋脚の被害で共通した事項は、せん断ひび割れを生じた部位は断面力が大きく塑性ヒンジ化しやすい部位で、柱に生じたという点である。このことから、この種の構造において靱性に期待した設計を行う場合、柱に塑性ヒンジを生じさせない注意は勿論として、塑性ヒンジ部に期待し得る曲率靱性率およびこれに及ぼす横方向補強鉄筋量の影響などに関する検討も行っておくことが必要であるといえる。

5 むすび

計測された地震記録、著しい震災などより、兵庫県南部地震が極めて大きな外力として構造物に作用したことは確かである。しかし、昭和40年以前の静的震度0.2は論外としても、その後の大地震の教訓から引き上げられてきた震度（換言すれば、現行の各種設計規準類で想定していた地震による作用）より大きな作用が及ぼされたかと言う点に関しては、詳細な検討が必要であると考えられる。この検討には、現行の設計基準で設計された構造物の被災状況、著しい被害を受けた構造物に対する現行基準による耐力照査（これは既になされていると思うが）、現行規準により耐震設計した同じ構造物に対する弾塑性応答解析などが必要である。このような検討を重ねた上で初めて、設計想定地震、靱性に対する配慮、耐震上必要な構造細目などの見直しを行い、必要な修正を行うことが可能となるのであり、今回の教訓を生かす道であると考えられる。

今回、鉄筋コンクリート構造物は未曾有とあって過言でない著しい被害を受けた。このような中であって、いかに速報とはいえ、概略の解析結果は示すべきであると考えて努力したが、時間的制約その他諸般の事情で果たせなかった。また、調査団の団員およびコンクリート委員会委員諸子とのdiscussionも十分でなく、筆者の個人的見解を述べた部分もある。これらの点について、お詫びする次第である。また、本文中の一部で現行の土木学会示方書の規定をもととした記述があるが、これらは、いずれも、建設当時の設計基準類ではふれられていない事項であることをお断りしておきたい。

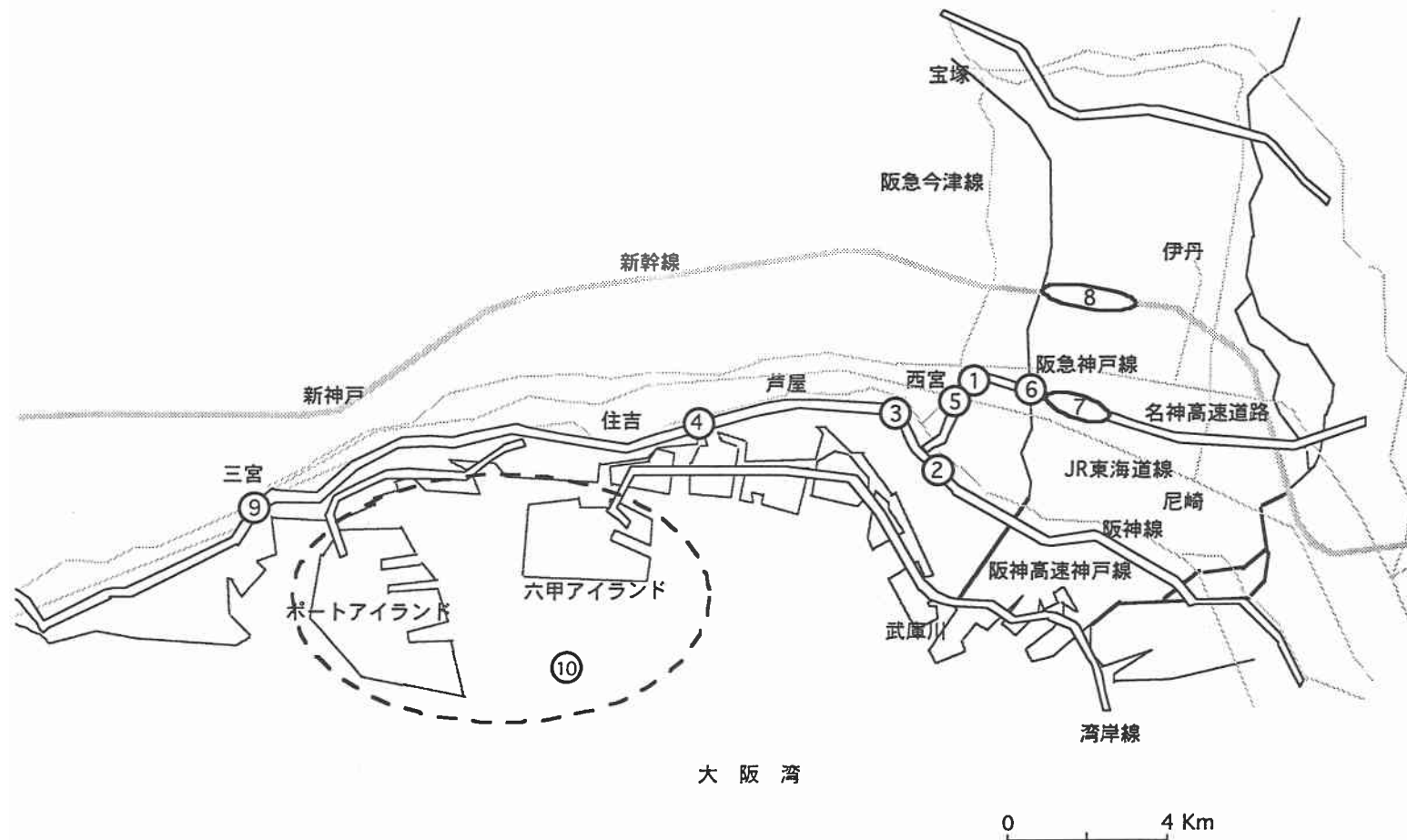


図1 鉄筋コンクリート構造物の被害状況調査地点

表1 鉄筋コンクリート構造物の主な被害概況

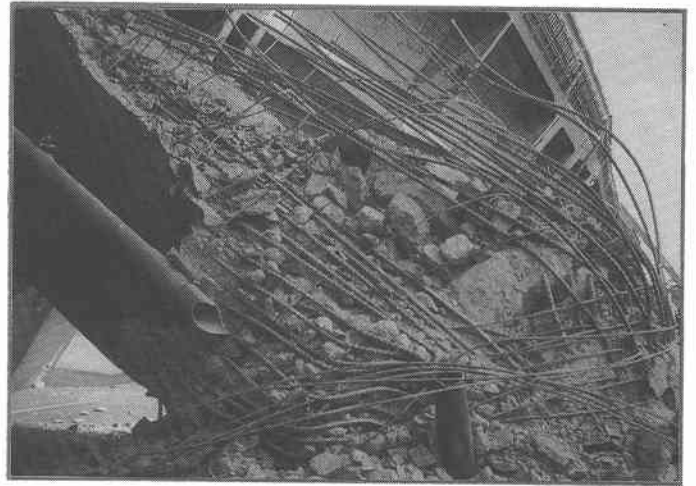
路線名等	位置	主な被害状況
1 名神高速道路	西宮市 西宮バリア付近	落橋
2 阪神高速 神戸線	西宮市 西宮IC付近	落橋
3 " "	西宮市 西宮戎神社付近	落橋
4 " "	神戸市 深江出入路付近	約500mにわたり橋脚が山側に倒壊
5 名神高速道路	西宮市 尼崎IC～西宮IC	せん断ひびわれ
6 " "	尼崎市 西宮市 尼崎IC～西宮IC	ロッカー橋脚 傾斜
7 " "	尼崎市 尼崎IC～西宮IC	壁式橋脚せん断破壊
8 山陽新幹線	尼崎市 阪急今津線	ラーメン橋脚せん断破壊
9 神戸市地下鉄	神戸市 三宮駅付近	中柱せん断破壊
10 神戸港	神戸市 六甲アイランド ポートアイランド	変位、変状著しい



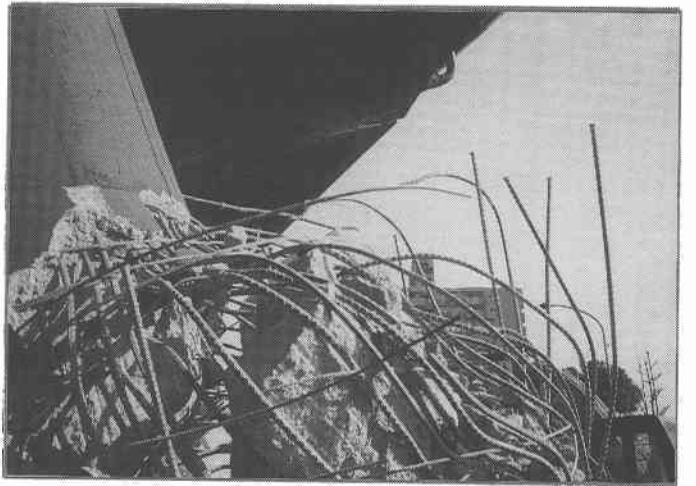
全景



裏側を見る

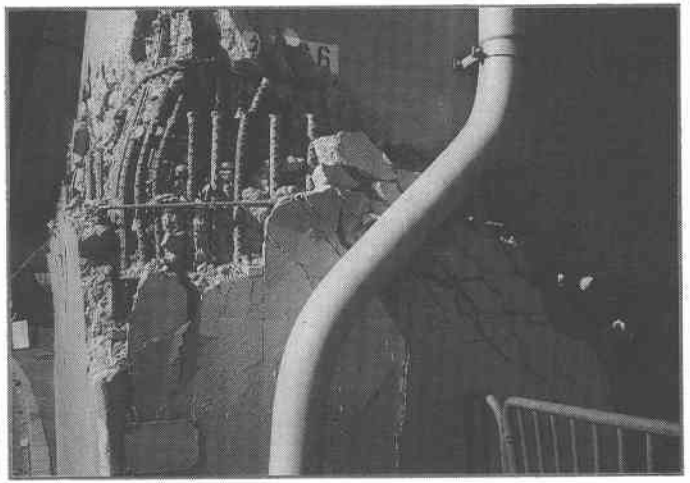
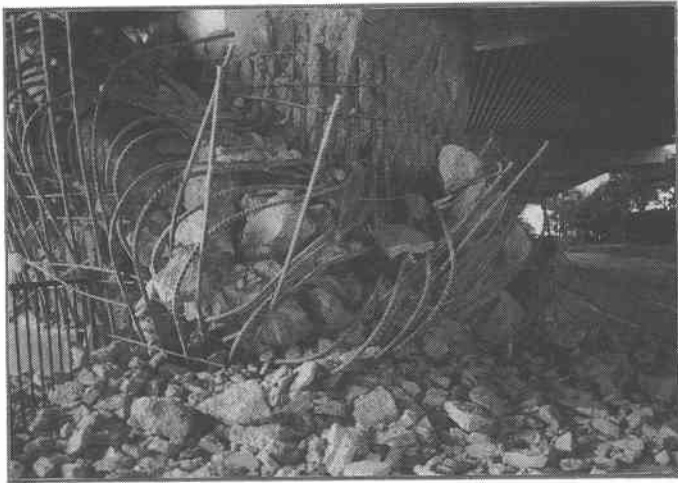


段落とし部のせん断破壊と思われる例



圧接部付近のせん断破壊と思われる例

写真1 阪神高速道路公団神戸線の被害(1)

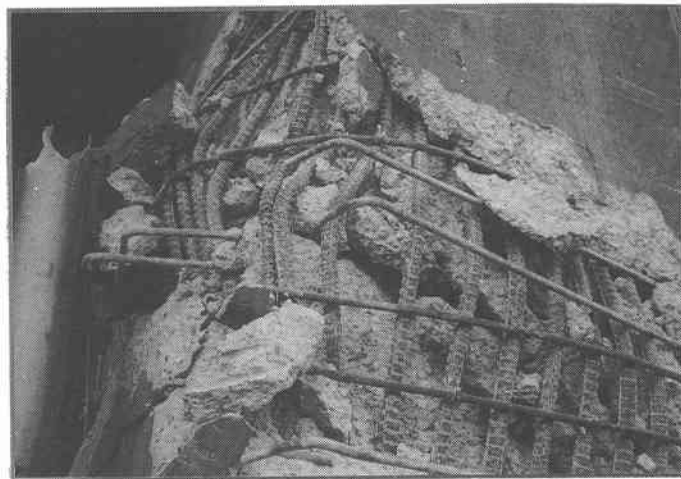


圧接部の破断



短柱のせん断破壊？

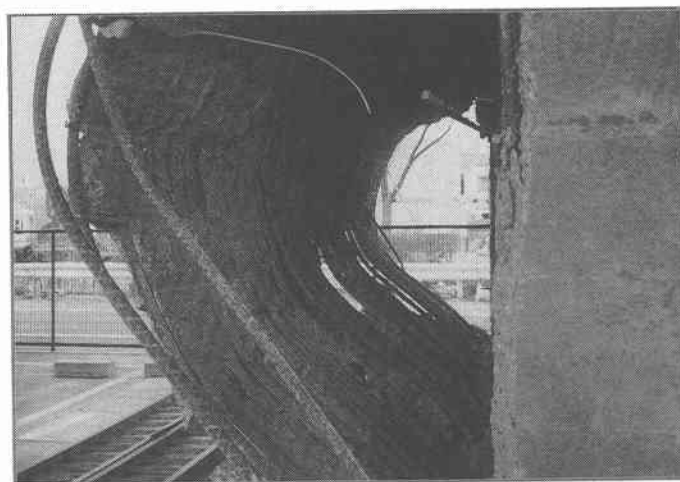
写真2 阪神高速道路公団神戸線の被害(2)



ラーメン橋脚のせん断破壊

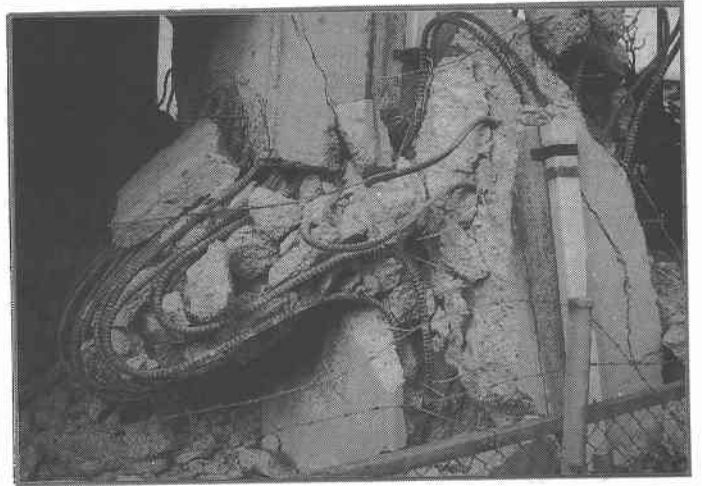


ロッカー橋脚の傾斜



壁式橋脚のせん断破壊

写真3 名神高速道の被害



ラーメン橋台のせん断破壊



ラーメン橋脚のせん断破壊



写真4 山陽新幹線の被害