

コンクリート構造物被害

東京大学工学部 岡村 甫(報告担当者)
堀井秀之
東京工業大学工学部 長瀧重義
久田 真

1. まえがき

第1次および第2次の調査によって既に被害の概要が明らかにされているので、この調査では、(1)構造形式によって被害に差があるか、あるとすればその理由、(2)コンクリート構造は鋼構造よりも被害が大きかったか、そうだとすればその理由、(3)構造細目などに関する現行の土木学会コンクリート標準示方書の規定に不備はないか、(4)コンクリート構造の常識に反する現象はなかったか、(5)現行の道路や鉄道に対する耐震設計基準で想定している地震動と今回の地震動との相違、などを解明する手掛かりを得ることを目的とした。したがって、被害を受けた構造物にのみ目を向けるのではなく、同じ設計基準に依って設計された構造物で、被害を受けなかったものにも着目して調査したのである。

この観点から、調査は

- (1)山陽新幹線の阪急今津線西側から武庫川橋梁まで
- (2)阪神高速道路3号神戸線のピルツ橋脚より西側、柳原出口付近まで
- (3)阪神高速道路5号湾岸線の西宮大橋付近
- (4)ハーバーハイウェイの摩耶大橋付近

に絞って行った。その他被害の特に大きい地点、神戸高速鉄道大開駅、JR東海道本線六甲道駅付近、阪神電鉄新在家駅付近などをも調査した。この報告は、調査した範囲のうち、コンクリート橋脚に的を絞って考察した結果を述べたものである。なお、調査時点で既に撤去されたり、補修中であつたりして直接観察することができなかつたものも、第2次までの調査による写真を参照して考察を加えた。

2. 山陽新幹線(阪急今津線西側～武庫川橋梁)の被害

(1) 中間ばりを有する3径間連続ラーメン高架橋(写真S1)

この区間で最も多い構造であり、ラーメン橋台について被害が大きかったものである。この構造は、曲げ抵抗に比してせん断抵抗に余裕がないために崩壊した例が多かったものと思われる。なお、3径間のうち、中央の径間には中間ばりが配置されていなかったが、その影響を解明する必要がある。

- (a)上ばりまたは中間ばりの直下で、せん断ひびわれが生じ、それが発達したものの(写真S2),
- (b)その結果、桁などの重量に耐えられなくなり、その部分から上が橋軸直角方向北側にずれて落下したものの(写真S3),

がそれぞれ相当数見受けられた。

(2) 中間ばりを有しないラーメン高架橋

(a) 柱の上端ハンチ直下で曲げ降伏を起こしたもの(写真 S4)、および、

(b) 曲げ降伏後に、せん断ひびわれが生じ、それが発達したもの(写真 S5)、

がそれぞれ相当数見受けられたが、被害の軽微なものも多かった。また、中間ばりを有する場合とは異なり、崩壊した例は見受けられなかった。曲げによる外力と抵抗力の比が同じ場合には、柱の長い結果として、せん断抵抗に余裕が生じたためと思われる。なお、ハンチの下側の水平打継目は、水平せん断抵抗がほとんどない程度のもので(写真 S5)が見受けられた。

(3) ラーメン橋台

この構造は、道路を横断する場合などスパンの大きい箇所に用いられている PC 単純桁を支えると同時に、自らも列車荷重を担うものであって、高さの高いはりが設けられていた(写真 S6)。調査した区間にあるラーメン橋台は崩壊しており、PC 桁が落下していた。柱の長さが短くなっており、曲げ降伏に比してせん断破壊に対する抵抗力が小さく、靱性が乏しかったものと思われる。その崩壊は、以下の経過をたどったものと推定される。

(a) PC 桁の支承直下で柱にせん断ひびわれが生じ、それが発達し、

(b) PC 桁などの重量に耐えられなくなり、支えている PC 桁の方向にずれて傾き(写真 S7)、

(c) PC 桁が落下した。

(4) ラーメン橋脚

この橋脚は、PC 桁を支えるところに用いられており、4 橋脚すべてがほとんど被害を受けていなかった(写真 S8)。橋軸方向の地震動には、一本の柱で抵抗する必要があるが、ラーメン高架橋の柱断面(90×90cm)よりも大きい断面(160×160cm)となっており、橋軸方向のせん断耐力は曲げ耐力よりも著しく大きいとは思えないのである。しかし、地震力はほぼ橋軸直角方向に作用し、その方向の水平力に対しては十分に余裕のある構造であったため被害を受けなかったと思われる。もし今回の地震力が橋軸方向に作用したならば、被害を受けた可能性があると思われるのである。

(5) 小判型橋脚

武庫川橋梁は PC 桁を小判型橋脚で支えている(写真 S9)。この橋脚は橋脚の中程の水平打継目の約 30cm 上で鉄筋が段落としされており、西側の一脚を除いてすべて、そこで引張りを受けた軸方向鉄筋が降伏して伸び出し、反対側に変位した時に、その鉄筋が圧縮を受けて座屈し、かぶりコンクリートを剥落させると共に、定着が不十分な帯鉄筋をばらけさせていた(写真 S10)。しかし、崩壊に至ったものはなかった。コンクリート断面に比して軸方向鉄筋量が少なく、曲げ抵抗力に比してせん断抵抗力が大きいために、曲げ降伏をした後に相当大きな変形を生じて、崩壊に至らなかったと思われる。一番西側の一脚は、橋脚下端の南東側において、鉄筋が僅かに降伏していた(写真 S11)。

この橋脚より西側の相当長い区間は、被害の著しかった更に西側の区間に比べて作用地震力が小さかったと思われ、中間ばりを有するラーメン高架橋がほとんど被害を受けていなかった(写真 S1)。武庫川橋梁には、地盤の関係でそこより西側にあるラーメン高架橋よりも大きな地震力が作用したか、または、この構造がラーメン高架橋よりも地震に対して弱い、あるいは、その両方であるかを明らかにするには、解析による検討が必要である。なお、100 mほど北側にある国道 171 号線の鋼桁を支えているほぼ同じ形式の橋脚の被害は軽微であった(写真 S12)。

3. 阪神高速道路 3 号神戸線(ピルツ橋脚より西側柳原出口まで)の被害

(1) 単柱式円形橋脚(写真 K1)

この形式の橋脚が最も一般的であった。

(a) 橋脚の下端付近で、橋軸直角方向に水平にひびわれが発生したもの(写真 K2)、

(b) 更に進んで鉄筋の降伏が認められるもの(写真 K3)、

(c) 2 段配筋の内側鉄筋の段落とし位置において、軸方向鉄筋が引張り降伏して伸び出し、逆方向に変位した時に、それらの鉄筋が圧縮力を受けて座屈し、かぶりコンクリートを剥落させると共に、定着が不十分な帯鉄筋をばらけさせたものの、

がいずれも数多く見受けられ、ほとんど被害が認められないものも僅かではあるが存在していた。

段落とし位置の近くで、外側の鉄筋の半分がガス圧接継手となっている場合がほとんどで、ガス圧接継手の多くは、鉄筋の降伏が充分進展する前に圧接位置で破断したと思われ、座屈してはいなかった。なお、継手部で破断しなかった鉄筋は、局部座屈していた(写真 K4)。しかし、崩壊した例は見受けられなかった。この形式は、コンクリート断面に比して軸方向鉄筋量が少なく、曲げ抵抗力に比してせん断抵抗力が大きいために、曲げ降伏をした後に相当大きな変形を生じて、一般に崩壊に至らなかったものと思われる。

(2) 単柱式矩形橋脚(写真 K5)

道路を横断する場合などスパンの大きい場所に用いられており、したがってその断面積は円形橋脚よりも大きい。被害の状況は円形断面の場合とほぼ同様であるが、被害の程度ははるかに大きかった。調査した範囲では、崩壊した例は見受けられなかった。しかし、ピルツ橋脚より東側では、更に大きい断面のこの形式の橋脚が存在し、せん断ひびわれが発生したもの(写真 K6)や、せん断破壊して崩壊したもの(写真 K7)も見受けられる。柱の断面に比して長さが相対的に短いと、せん断破壊を誘発する可能性が高くなるのである。

(3) ピルツ橋脚(写真 K8)

上部構造と一体となった橋脚で、全部で 17 脚が連続して配置されていた。この形式の橋脚全部が橋脚直角方向北側に倒壊しており、調査の段階では既に撤去されていた。倒壊した場合には、その観察によって倒壊の過程を明らかにすることは難し

く、地震応答解析結果などと比較した後に、倒壊した理由などを報告したい。

(4) ラーメン橋脚(写真 K9)

出入口など、幅員が大きい場所に、この形式の橋脚が用いられていた。今回の地震による被害をほとんど全く受けていなかったことに、最初とまどいを感じたが、それは間違いのない事実である。この構造形式は、橋軸方向は地震力によって断面が定まるが、橋軸直角方向は地震力では断面が定まらず、上部構造の荷重によって断面が定まるのが一般である。その結果として、橋軸直角方向の地震力に対しては十分に余裕のある設計となっていたと思われる。今回の地震動が橋軸ほぼ直角方向に作用したことが、被害を受けなかった主たる理由と考えられる。このことは、僅かではあるが存在していた鋼ラーメン橋脚にも、そのまま当てはまることである。

4. 阪神高速道路 5 号湾岸線(西宮大橋付近)の被害

調査した範囲の橋脚は、大部分がラーメン構造であった。ラーメン構造は、既に述べたように、RC構造(写真 K10)、鋼構造(写真 K11)共に、今回の地震による被害をほとんど受けていない。今回の地震は、橋軸ほぼ直角方向に地震動が作用したために、被害を受けなかったものと思われる。新しい基準によって設計されたこの種の橋脚に、橋軸方向に地震力が作用した場合、どのような被害を受けるかについては、現時点では不明である。多くの被害例のあるRC単柱や立体ラーメン構造についての詳細な解析を行い、被害の状況と対比して検討し、その挙動を解析的に明らかにできた後に、この検討を行う必要があると思われる。

5. ハーバーハイウェイ(摩耶大橋付近)の被害

(1) 単柱(壁)式二層ラーメン橋脚(写真 H1)

(a) ラーメンに取りつくやや下側で、北側または南側の連続鉄筋が降伏したもの(写真 H2),

(b) 更に反対側に変位した時に、その鉄筋が圧縮を受けて座屈し、かぶりコンクリートを剥落させると共に、定着が不十分な帯鉄筋をばらけさせたもの(写真 H3),

(c) この状態が橋脚の全周に広がり、鉄筋の座屈が顕著になったもの(写真 H4), などがいずれも相当数認められた。なお、被害のほとんどないものもかなりの数存在していた。

損傷を受けた箇所では、2段配筋の内側の鉄筋が段落としされており、その近傍で外側の鉄筋の半分がガス圧接継手となっていた。鉄筋の降伏が充分進展する前にガス圧接継手の多くが圧接位置で破断したと思われ、一般に座屈してはいなかった。この位置で鉄筋を止めるのは、この構造を2次元的に見ると頷けない。上部のラーメン構造は橋軸直角方向には強く、被害が認められなかった。また、この形式の構造で崩壊した例はなかった。この形式の橋脚は、コンクリート断面に比して軸方向鉄筋量が少なく、曲げ抵抗に比してせん断抵抗が大きいために、曲げ降伏をし

た後に相当大きな変形を生じて、崩壊に至らなかったものと思われる。なお、同様な形式の鋼製の橋脚もあり、ほとんどが被害を受けていなかった。しかし、柱の下から1/3程の位置で、北側の鋼板が局部座屈していたもの一例を確認した(写真 H5)。たまたまこの前後にある同形式のRC橋脚は被害が認められなかった(写真 H6)のが印象的であった。

(2) 単柱式矩形橋脚

(a) 橋脚の下端または少し上部で鉄筋の段落とし位置(写真 H7)において、引張りを受けた軸方向鉄筋が降伏して、伸び出した程度のもの、および、

(b) さらに反対側に変位した時に、その鉄筋が圧縮力を受けて座屈し、かぶりコンクリートを剥落させると共に、定着が不十分な帯鉄筋をばらけさせたもの(写真 H8)、

が見受けられた。

2段配筋の内側の鉄筋が段落としされ、その近傍で外側の鉄筋の半分がガス圧接継手となっていた。ガス圧接継手の多くは圧接位置で破断しており、大部分は座屈していなかった。この形式の橋脚は被害が認められないものが最も多く、崩壊したものはなかった。高さが高いもの(写真 H7)あるいは軸方向鉄筋比の小さいものも多く、曲げ抵抗力に比してせん断抵抗力が大きいために、曲げ降伏をした後に相当大きな変形を生じて、一般に崩壊に至らなかったものと思われる。

(3) 壁式橋脚

この形式の橋脚は多くはないが、以下の3例は他に見られない特徴的な被害であった。なお、この形式の橋脚が設けられていた位置は、海の傍であり、周りの地盤は数10cmほど沈下していたが、橋脚の基礎はしっかりとしていた(写真 H9)。

(a) 一断面で外側に配置されている主鉄筋の1/2がガス圧接継手となっており、そのほとんどが圧接部で引張り破断し、その断面から約1メートル離れた断面で、残りの鉄筋がガス圧接継手となっており、そのほとんどが圧接部で破断していた(写真 H10)。2つの継手位置は鉄筋軸方向には1メートルほど離れているが、この橋脚の断面厚さに比べれば、この程度の距離は同一断面と考えられるものであって、継手を離す距離に断面寸法を考慮する必要のあることを示している(写真 H11)。なお、この断面で外側の鉄筋はほとんどすべて破断していたにもかかわらず、橋脚は崩壊を免れていた。

(b) スパンの大きい鋼箱桁連続桁橋である第二摩耶大橋を支えている橋脚には、奇妙なひびわれが発生していた(写真 H12)。鋼桁はこの橋脚上で固定支承となっており、支承は橋脚にしっかりと固定されていた。桁は東隣の支承あたりから北側に大きく曲線を描いており、東隣の可動支承上で南側の桁は支承上にあっただが、北側の桁は支承から外れて橋軸直角方向北側に数10cm移動していた(写真 H13)。その結果、橋脚上面には北側桁の支承から水平力が橋軸直角方向北方向に作用し、そこから曲げひびわれが発生し、下に向かって伸展し、最後に北に曲がったものと思われる。相当に多い帯鉄筋の存在によって、橋脚の崩

壊は免れ、したがって落橋しなかったものと思われる。このような力は設計では考慮されていないものであり、この経験を今後に生かす道を慎重に検討する必要がある。

- (c) 第二摩耶大橋のもう一方の橋脚(写真 H14)には、D 22 の主鉄筋が 2 段配置されているが、内側の鉄筋は外側の鉄筋量の約 1/5 であって、鉄筋量がやや少ない印象を受けた。水平打継目の約 30cm 上で、内側の一段が止められている。この断面で残りの鉄筋のほとんどが引張り破断しており、そのため橋脚北側の一部、水平打継目より下側が地表まで落下していた(写真 H15)。

(4) ラーメン橋脚

この形式がほとんど被害を受けていないのは、既に述べた高架橋の場合と同様であった(写真 H16)。同じ形式の鋼ラーメン橋脚もほとんど被害を受けていなかったが、上部隅角部南側内側コーナーより亀裂が水平に走っていた例が認められた(写真 H17)。溶接部に沿った脆性破壊と思われる。また、その北側の柱では局部座屈が認められた。

6. まとめ

(1) ピルツ橋脚は 17 脚すべてが倒壊していた。コンクリート構造の被害は、ラーメン高架橋と単柱式橋脚に多く見られ、ラーメン橋脚にはほとんど見受けられなかった。鋼構造の場合も、被害は単柱橋脚に多く見られ、ラーメン橋脚にはほとんど被害が生じていなかった。また、単柱式橋脚の場合でも、細くて長いものは比較的被害が小さく、太くて短いものは被害が大きい傾向が認められた。これらのことは、構造形式によって耐震性能に相違があることを示すのではなく、今回の地震の特性、設計時に想定した地震力の大きさ、設計詳細、設計者や施工者の技術力などの相違によるものである。

(2) ピルツ橋脚、ラーメン高架橋および単柱式橋脚は、橋軸方向と橋軸直角方向の地震動両方に対して、ほぼ同程度の抵抗力を持つように設計されているものである。今回の地震によって、これらの相当多くのものが鋼材の降伏する以上の力を受けており、今回の地震が静的水平震度が 0.2 程度で許容応力以内に納まる程度の大きさのものではなかったことは確実である。しかし、せん断破壊を起こさなかったものの大多数は崩壊に至っていない。せん断補強が現行の学会基準を満足している程度であれば、今回程度の地震動に対して崩壊を免れる可能性は高いと思われる。

(3) 倒壊あるいは崩壊し、橋脚の損傷が落橋の原因となったものの多くは、主鉄筋が曲げモーメントによって降伏した後に、せん断破壊を起こし、その結果上部構造を支えきれなかったものと思われる。この場合、橋脚が対称に造られていなかったものを除いて、ほとんどすべての橋脚が橋軸直角方向北側に倒れていたのが特徴である。この原因は、地震動の特性によるものと思われるが、特に、鉛直方向地震動の影響である可能性があると思われる。

(4) ラーメン橋脚が、鋼構造、コンクリート構造共に被害が極めて軽微であった

理由は、今回の地震が、ほとんどの橋脚に対して、橋軸直角方向に作用したことによるものと思われる。ラーメン橋脚は、橋軸直角方向の地震動には著しく強いが、橋軸方向に対しては単柱式橋脚と大差ないものである可能性が高い。今回調査した橋の橋軸方向は大部分が東西方向であり、地震動が主として南北方向であったことは、ラーメン橋脚にとって幸運であったと言えよう。同じ構造形式の場合には、鋼構造とRC構造とで被害に本質的な相違はなかったといえる。

(5) コンクリート橋脚における構造細目については、土木学会の現行規定で基本的に問題はないと思われる。しかし、支承から橋脚に伝わる力について、桁が支承からはずれた場合についても考慮しておくことが望まれる。なお、構造細目について、設計者に分かりやすいマニュアルを作成する必要性を痛感した。

7. 今後の課題

以下の目的を達成すべく、土木学会コンクリート委員会は総力を挙げて取り組む必要がある。それが、今回の大きな犠牲に少しでも報いる道である。この調査報告は、今後の詳細な調査研究を進めていく第一歩に位置づけられるものである。

(1) 阪神大震災で被害を受けたコンクリート構造物の状況を詳細に調査すると共に、それらの構造物の解析ならびに必要な実験を行って、コンクリート構造物の耐震性について研究する。

(2) その結果を学会の耐震設計法に反映し、今後のコンクリート構造物の設計施工に役立てる。なお、必要に応じて、既設構造物の補強にも役立てる。

(3) 遅くとも1年後までに、これらの調査研究結果を公表し、国内講習会や国際セミナー等を通じて、多くの技術者の理解を求める。

参考資料「土木学会コンクリート標準示方書の耐震に関する規定」

土木学会コンクリート標準示方書設計編は、昭和61年に限界状態設計法に全面的に移行したが、同時に、耐震に関する検討方法も、最近の知見を取り入れて全面的に改定され、平成3年版でも基本的にそれを踏襲している。参考のため、以下にその概要を述べる。

耐震設計は、地震時の安全性および地震後に要求される構造物の供用性能に基づいて行うのを原則とし、被災の程度を、健全維持、軽微な損傷、中程度の損傷およびかなりの損傷に分類し、地震時の最大応答変位が降伏変位のそれぞれ1, 2, 3および4倍に相当するとしたのである。中程度の損傷の場合には、被災後の適当な時期に補修をしたり、あるいは点検をしながら供用することが可能である程度を想定しており、かなりの損傷となる場合には、なるべく早い時期に補修、補強することが想定されている。なお、一般の土木構造物の場合には、公共性、経済性、地震後の供用性、耐用年数等から考えて、設計想定地震による被害を「軽微な損傷」以下とするのがよいとしている。

設計で想定する地震は、一般に、建設時点において耐用期間中に1回程度発生す

る規模としている。構造物に作用する慣性力は、構造物の重量とその負重量に設計震度を乗じたものであり、設計水平震度は、標準水平震度 0.2 を、地域、地盤、構造物の固有周期、被災後の供用性能、および計算上考慮しない部材の耐震効果を入れて補正したものである。例えば、地震活動が低い地域で、岩盤上にあり、構造物の固有周期が 0.1~0.7 秒であり、主要部材以外の耐震効果を期待できない構造で、かなりの損傷を許す場合の設計水平震度は 0.10 となるのに対し、同じ条件で軟弱地盤上で健全維持をしようとする、設計水平震度は 0.48 となる。

曲げモーメントの安全照査に用いる安全率は総合して 1.15 であるが、せん断力に対する安全率はコンクリートに対して 1.8、帯鉄筋に対して 1.38 とし、部材接合部から柱幅の高さの範囲では、更に、それぞれの 1.25 倍の安全率を見込むことによって、曲げ降伏後にもせん断破壊を防ぎ、柱の靱性を高めることによって、想定地震以上の地震に対しても崩壊しないように配慮しているのである。

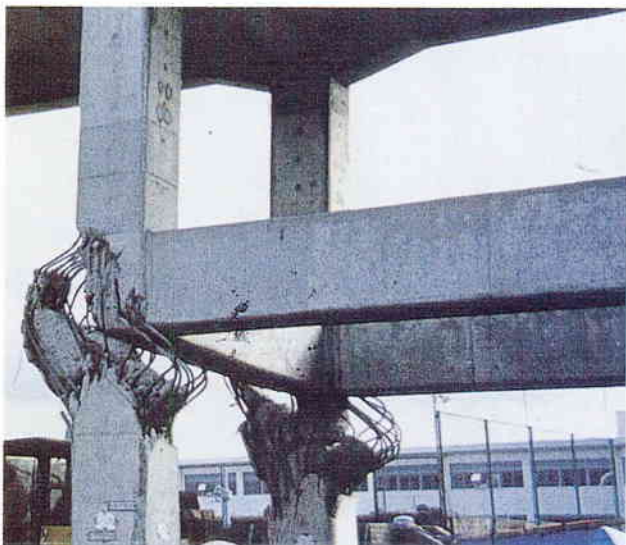
耐震構造細目としては、帯鉄筋の端部は 135° 以上折り曲げて内部のコンクリートに十分定着するか、あるいは連続したらせん鉄筋形式とするとし、帯鉄筋比を 0.2% 以上とすることを要求している。また、引張主鉄筋の引張部定着、いわゆる鉄筋の段落としは、同一断面では全引張主鉄筋の $1/2$ 以下とし、計算上不要となる点から部材の有効高さを延長し、そこから必要な定着長以上を延ばす必要がある。その間の設計せん断耐力は、設計せん断力の 1.5 倍以上としなければならない。しかし、鉄筋の継手位置については、できるだけ応力の大きい断面を避けるものとするにとどまっており、具体的な規定にはなっていない。

最近の道路橋示方書(平成 2 年)では、従来から行われている許容応力度の照査に加えて、新たに、脆性的な破壊を生じないように、鉄筋コンクリート橋脚の保有耐力を土木学会標準示方書の想定地震よりも相当大きな地震に対して照査することが望ましいこととなった。曲げ破壊がせん断破壊に先行すると判断された場合には、終局変位をコンクリート圧縮縁ひずみとその終局ひずみ(0.0035)となる時として、安全係数 1.5 を用いて許容塑性率を求め、これに基づいて等価水平震度を算定している。ただし、地震力を大きく想定していることもあって、保有耐力の算定に用いるせん断耐力に対する安全率は、土木学会標準示方書よりも相当に控え目な値となっている。なお、耐震構造細目は、基本的には、土木学会標準示方書と同様である。

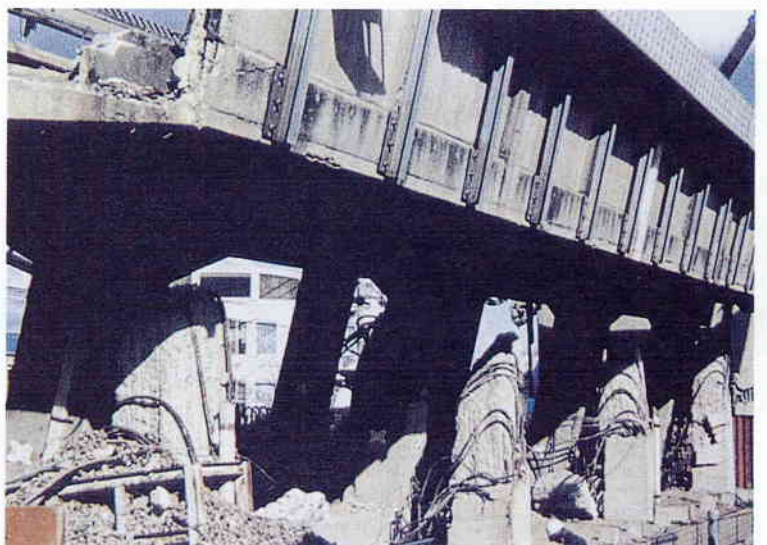
平成 4 年に作られた鉄道構造物等設計標準における想定地震は、道路橋示方書の保有耐力の照査に用いる地震と本質的に同じである。設計で設定した靱性率を確保するための帯鉄筋量を部材細長比、鉄筋比、作用圧縮応力度、部材高さの関数として求める計算式が与えられているのが特徴である。この帯鉄筋を、橋脚には下端から断面高さの 2 倍まで、柱には部材接合部から柱の断面高さの 2 倍まで、はりには部材接合部からはりの断面高さの 1.5 倍までに配置することを原則とし、所要の靱性率を確保するとしている。その他の構造細目は、基本的には、土木学会標準示方書と同様である。



S 1 中間ばりを有するラーメン高架橋



S 2 中間ばり直下のせん断ひびわれ



S 3 上部が橋軸直角方向北側に落下



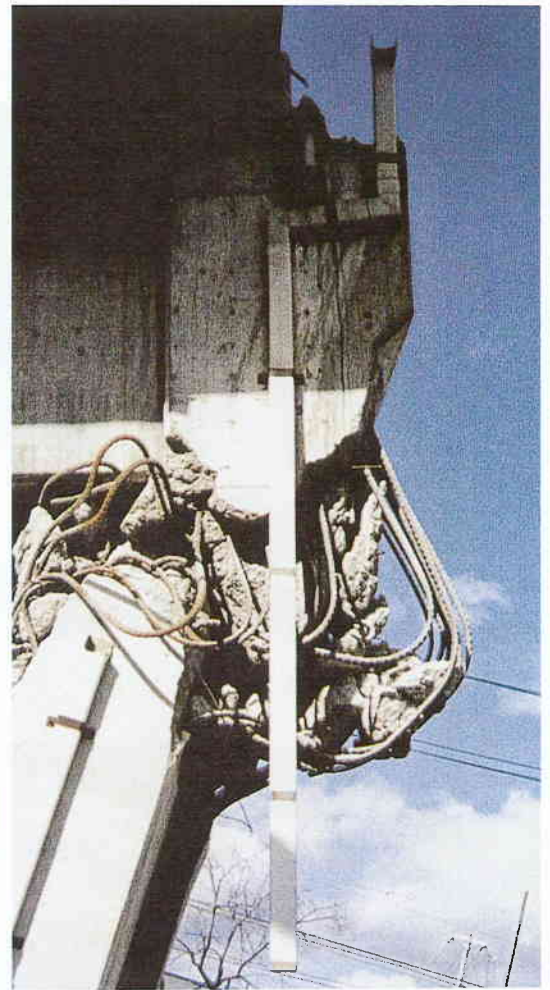
S 4 中間ばりを有しないラーメン高架橋
ハンチ直下での曲げ降伏



S 5 曲げ降伏後のせん断ひびわれ



S 6 ラーメン橋台に用いられている
高さの高いはり



S 7 ラーメン橋台支承直下のせん断破壊
PC 桁は落橋



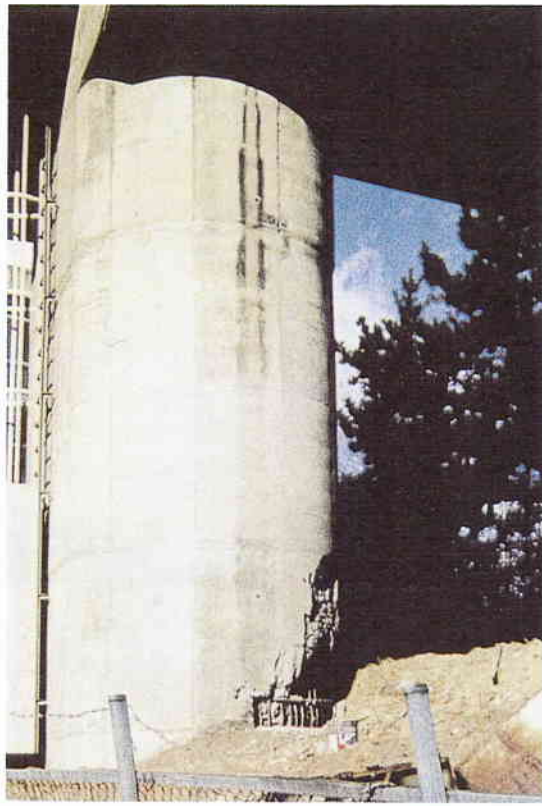
S 8 PC 桁を支える健全なラーメン橋脚



S 10 段落とし部における
鉄筋の曲げ降伏後の局部座屈
かぶりコンクリートの剥落
ばらけた帯鉄筋
真ん中に水平打継目



S 9 武庫川橋梁小判型橋脚の全景



S 1 1 橋脚下端の曲げ降伏



S 1 2 軽微な被害の国道 171 号線の橋脚



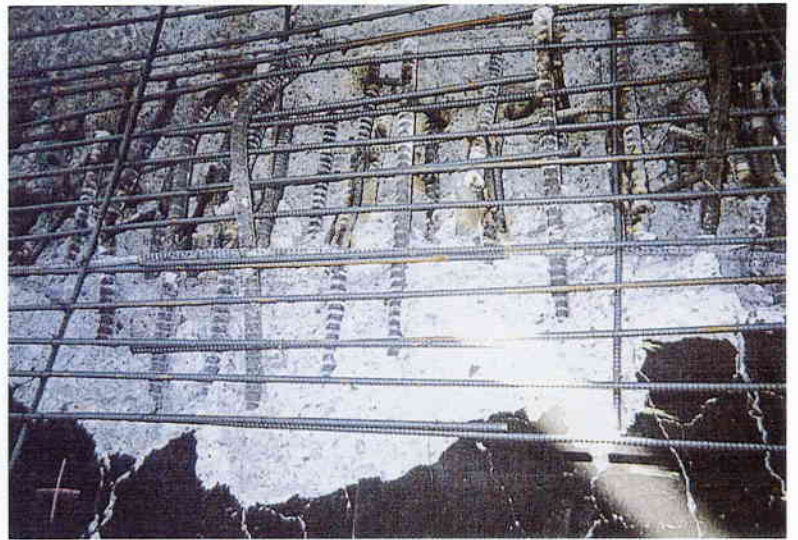
K 1 阪神高速の単柱式円形橋脚



K 2 曲げひびわれ



K 3 鉄筋の降伏



K 4 圧接継手の破断
破断していないものは局部座屈



K 5 矩形断面の橋脚
曲げ降伏



K 6 せん断ひびわれ



K 7 単柱式矩形橋脚の崩壊



K 8 ピルツ橋脚の倒壊



K 9 健全なラーメン橋脚



K 10 健全な湾岸線のRCラーメン橋脚



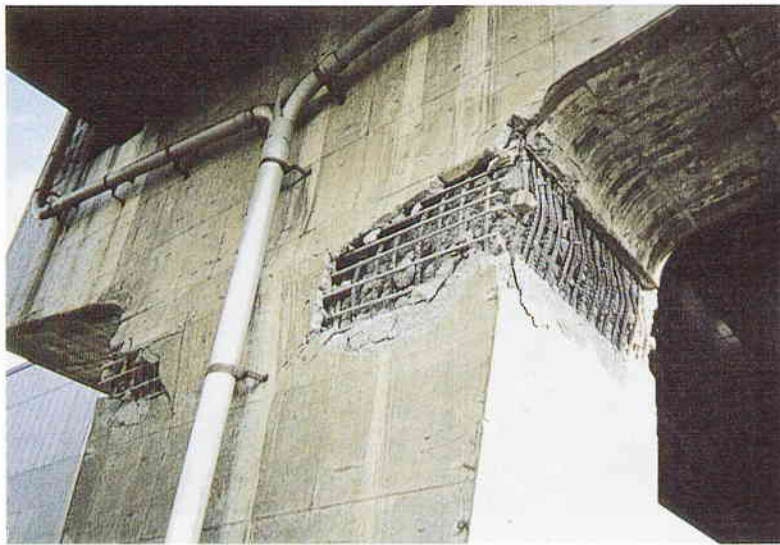
K 11 健全な湾岸線の鋼橋脚



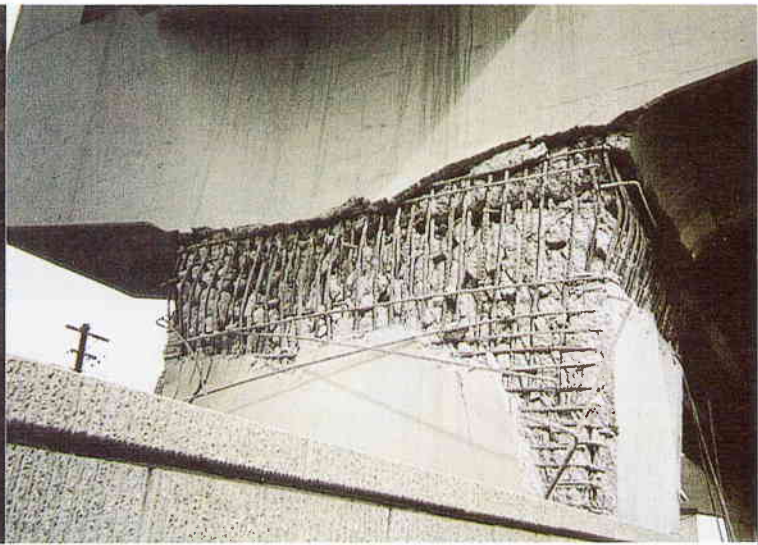
H 1 単柱(壁)式二層ラーメン橋脚



H 2 段落とし部における鉄筋降伏



H 3 曲げ降伏後の鉄筋の局部座屈



H 4 水平打継目、鉄筋段落とし、
ガス圧接継手の破断、
不十分な帯鉄筋の定着



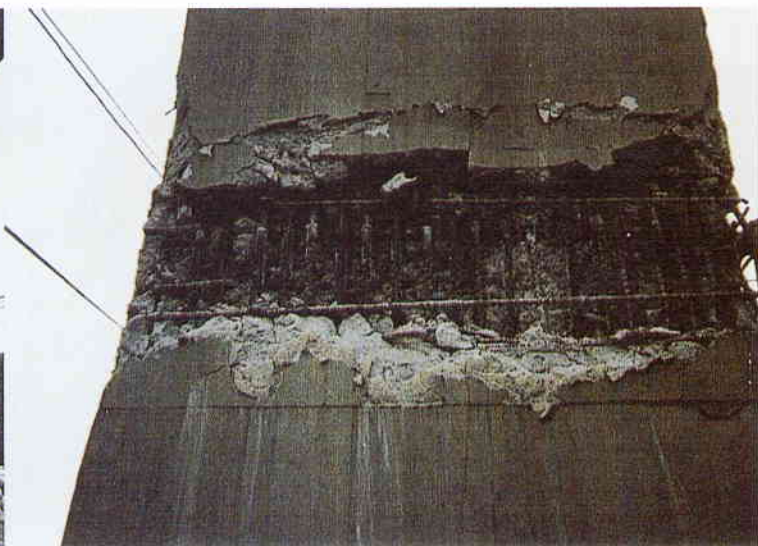
H 5 局部座屈の認められた鋼橋脚



H 6 隣にある健全なRC橋脚



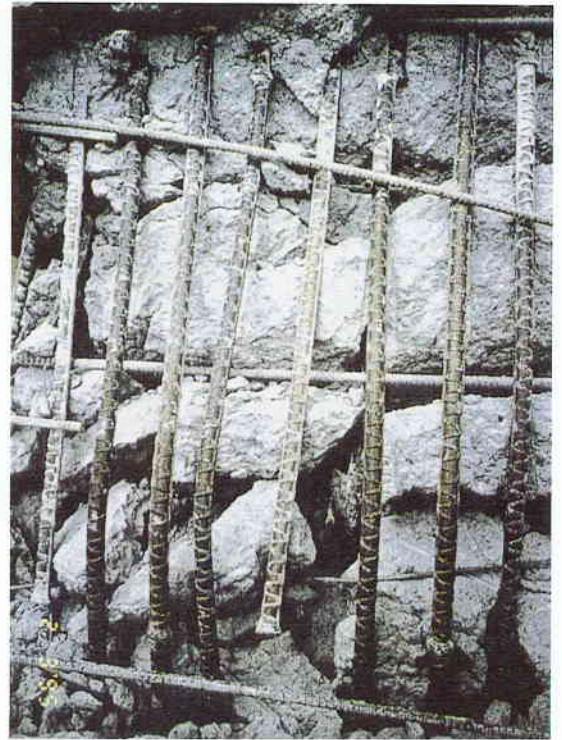
H 7 高さの高い単柱式橋脚の被害
段落とし部での鉄筋降伏



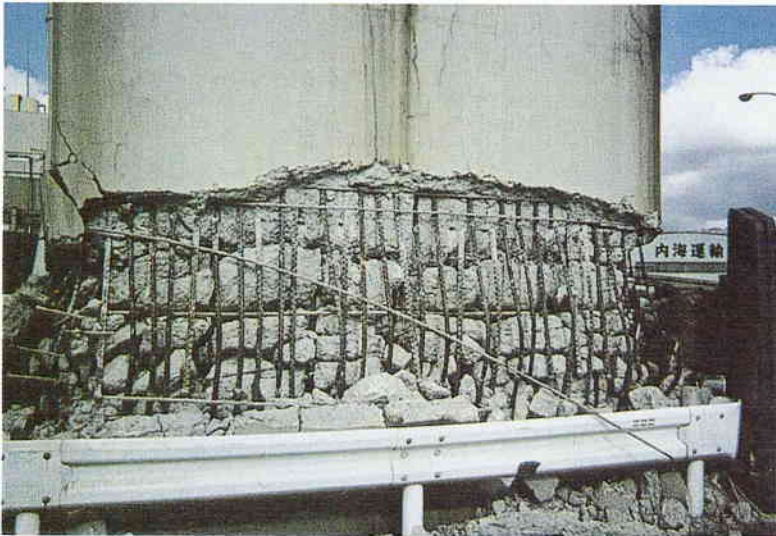
H 8 ガス圧接継手の破断、
不十分な帯鉄筋の定着



H 9 健全なフーチング
周囲の土は陥没



H 1 0 離れた位置における圧接部の破断



H 1 1 二つの位置でのガス圧接継手と
橋脚の断面寸法の関係



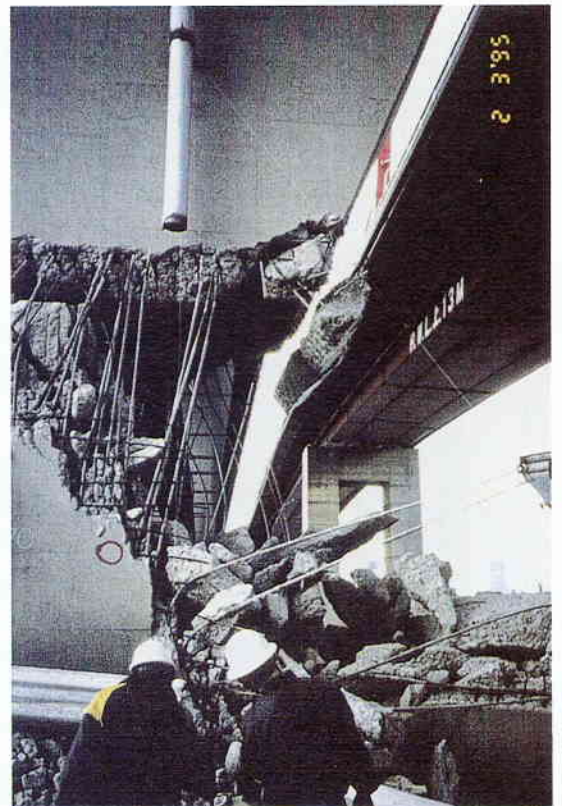
H 1 2 第二摩耶大橋の橋脚に見られた
奇妙なひびわれ



H 1 3 支承上における鋼桁の横ずれ



H 1 4 水平打継目と鉄筋破断



H 1 5 鉄筋破断とコンクリートの落下



H 1 6 健全なラーメン橋脚



H 1 7 鋼橋脚に見られた亀裂