

特別講演Ⅱ

ノースリッジ地震による橋梁の被害とその特徴

建設省土木研究所

企画部地下開発研究官 川島 一彦

1. 被害の概要

平成元年10月のロマリエータ地震(サンフランシスコ地震)と同様に、今回のノースリッジ地震でも大規模な道路橋の被害が生じた。落橋もしくはそれに近い大被害を受けたのは、以下の7橋である(図-1参照)。

1) 米国でもっとも交通量が多いといわれるサンタモニカ・フリーウェイ(I-10)のフェアファックス/ワシントン地区とラシェネガ/ベニス地区の2橋

2) ロサンジェルス市を南北に横断する大動脈のゴールデンステート・フリーウェイ(I-5)と州道14号(S-14)とのインターチェンジで2橋、この北のガビン・キャニオン地区で1橋、計3橋

3) 州道118(S-118)のミッション/ゴシック地区、ブルクリーク地区の2橋
以下には、この中から代表的な4例の道路橋被害を紹介する。

2. S-118 ミッション/ゴシック地区の高架橋

上下線が分離されており、橋長152mで3径間連続の西行き橋と橋長170mで4径間連続の東行き橋からなる。いずれも、幅員28.2mのPC箱桁である。この橋は、1973年に設計され、1976年に竣工している。カリフォルニア州では1971年のサンフェルナンド地震を契機に耐震設計法が抜本的に改定されている。この橋は、1971年以後の設計であるが、基本的には1971年以前の旧耐震設計法によって設計されており、スパイラル筋をいれる等部分的に現在の設計法を取り入れた過渡期の設計となっている。カリフォルニア州では、マルチカラムの場合には、橋脚頭部で桁と橋脚を剛結し、橋脚基部はヒンジにする場合が多い。この橋も典型的なカリフォルニア州流のマルチカラムの設計になっている。

写真-1のように、東行きの4径間連続のうち手前の2径間部分が落橋した。橋脚の大部分が被害を受けている。写真-2は、西行きの桁と橋脚を示したものである。橋脚には大被害を生じているが、かろうじて落橋は免れた。

多数の橋脚の中にはいろいろなステージの破壊状態があるので、これをつなぎあわせると橋脚がどのように破壊していったかを知ることができる。

橋脚に水平方向の地震力が繰り返して作用すると、まず写真-3に示すように、曲げによってかぶりコンクリートの剥落が生じる。この段階では、すでに主鉄筋やスパイラル筋は降伏している。さらに地震力が作用すると、コンクリート断面積が小さいため、曲げ破壊からせん断破壊に移行し、写真-4のような被害になる。主鉄筋内部のコンクリートが砕け、主鉄筋を横方向に押しやって砕けたコンクリートが横方向にはらみ出した状態である。

こうなると、水平方向の耐力はほとんど失われ、あとおんの少し地震力が作用すると、写真-5のようになる。やがて、桁の重量を支えきれなくなって、写真-6、7に示すように橋脚は圧壊する。

3. S-118のブルクリーク地区の高架橋

上記のミッション/ゴシック地区から約100mほど南東に位置する3径間連続の上下線分離橋であ

る。ブルクリークと呼ばれる小河川を横過している。上部はP C箱桁で、両側の橋台では36度、47度の斜角がある。設計は1973年、竣工は1976年である。

P 3橋脚では、写真- 8に示すように地盤面位置でコアコンクリートが砕け、主鉄筋が大きく外側に向かってはらみだした。詳細を示すと写真- 9に示すとおりである。橋脚の断面積がもとと小さく、また地盤面位置ではスパイラル筋の間隔が30cmである。こうした点から、曲げせん断破壊したものと考えられる。

また、クリークをはさんで対岸のP 2橋脚では、写真- 10に示すように橋脚頭部に近い位置で破壊した。写真- 11に示すように、この位置ではスパイラル筋間隔が12.5cmから30cmに大きくなっており、拘束効果の違いによる橋脚耐力の減少点で破壊が生じている。

橋脚頭部は桁と剛結されており、橋脚基部はヒンジであるから、橋脚に損傷が起こるとすれば本来は橋脚頭部に近い位置のはずである。P 3橋脚で損傷が地盤面位置に生じたのは、橋脚前面にあるクリークの護岸と一体にP 3橋脚が作られていたためである。

4. I - 10 ラシェネガーベニス地区の高架橋

橋長261mで7径間から成るR C箱桁橋であり、上下線が分離されている。幅員は、片側約21mである。1962年に設計され、1964年に竣工した典型的な1971年以前の設計による橋である。

地震によって、写真- 12に示すように、桁は2m程度沈下し、橋の下に設けられていた倉庫のコンクリートブロック壁によってかろうじて落橋を免れた。これは、P 3橋脚からP 7橋脚まで、写真- 13, 14に示すように完全に破壊したためである。曲げせん断破壊からいっきにせん断破壊に移行し、鉛直支持力を失っている。

写真- 12に示した橋脚では、主鉄筋には $\phi 58\text{mm}$ の太径鉄筋が用いられているのに対して、帯鉄筋は $\phi 16\text{mm}$ 、ピッチ30cmとごくわずかしき配置されていない。

写真- 15は、取り壊し中の状況を示したものである。橋脚から立ち上げられた主鉄筋は、折り曲げられずにまっすぐに桁のキャップビームに定着されている。これも地震力を考慮しない時代の設計をよく表している。

5. I - 5 / S - 14 のインターチェンジ (サウスコネクター)

橋脚が桁をパンチングシェアーしたように見える特異な被害を生じたのが、写真- 16に示すI - 5 / S - 14 のインターチェンジのサウスコネクターである。この部分は、1971年のサンフェルナンド地震の際には施工中であり、1974年に竣工した。

落橋部分は、写真- 17に示すように両端を橋台とゲルバーヒンジによって支持された3径間連続P C箱桁である。写真- 18に示すように、ゲルバーヒンジ2には、桁間連結ケーブルが設けられているが、橋台A 1には設けられていない。P 3橋脚は残ったが、P 2橋脚は破壊し、桁は落下した。

被害原因の究明はこれからの段階であるが、上下方向の振動を受けて橋脚が圧壊したり桁がパンチングシェアーしたのではなく、水平方向の地震力によって橋脚がせん断破壊したり、橋台やゲルバーヒンジ部での桁掛り長の不足が被害の主要な原因ではないかと考えられている。すなわち、図- 2に示すように、地震力が作用して桁が振動すると、最も橋脚高さが低く剛性が高いP 2橋脚に地震力が集中しやすいため、まずここが曲げせん断破壊を起こしたのではないかと推定される。このため、A 1橋台から桁がはずれ、落下した。こうなると、カンチレバー状に作用する桁の自重によってP 3橋脚上に大きな負の曲げモーメントが生じ、これに耐えきれなくてP 3橋脚のキャップビームと桁との固定部が破壊したと考えられる。ゲルバーヒンジ2からの桁の落下は、こうした一連の落橋と並行して、あるいはその結果生じたのではないかと推定される。

このインターチェンジ橋では、他にも写真- 19、20に示すようにヒンジ部分で大きな目開き

や桁の損傷が生じており、落橋寸前といえる箇所もある。これは、桁間連結ケーブルが写真-21に示すように破断したためである。破断したとはいえこうした措置が講じられていたために、桁間連結ケーブルが有効に機能し、かろうじて大被害をくい止めたと考えられる。

6. 橋梁の復旧

カリフォルニア州交通局は、地震の翌朝から落橋した橋の撤去に着手し、I-5/S-14のインターチェンジ橋をのぞきほぼ1月一般で撤去を完了した。I-5/S-14のインターチェンジ橋も、写真-22のように爆破を用いて撤去された。

最重要幹線であり復旧が1日も早く望まれることから、1週7日、1日2交代の24時間体制で急ピッチに新設橋が建設されつつある。早い箇所は平成6年4月に復旧し、また、遅い箇所でも平成7年1月には復旧予定とされている。

7. あとがき

今回の地震でも1971年以前の旧耐震設計法に準拠して設計、施工された橋に被害が生じた。新しい耐震設計法によって設計された橋には、ほとんど被害は生じていない。また、鋼板巻立てにより耐震補強された鉄筋コンクリート橋脚には被害は生じなかった。さらに、多くの橋で耐震補強の第一段階として実施された桁間連結ケーブルが有効に機能し、落橋を防止した。

被害調査に際して大変お忙しい中をご協力いただいた連邦道路庁、カリフォルニア州等多数の機関の皆様に厚く御礼申し上げます。また、UJNR耐風耐震構造専門部会の米側部会、在ロサンジェルス及びサンフランシスコ総領事館の全面的なご協力を得ました。さらに、建設省初動調査(平成6年1月18日、19日、26日、27日)及び政府調査団(平成6年3月1日～12日)に同行していただいた関係各位に厚く御礼申し上げる次第です。

参考文献

- 1) 国土庁：ノースリッジ地震政府調査団報告書、平成6年6月
- 2) 川島一彦他：1994年1月ノースリッジ地震被害調査速報、土木研究所資料、第3272号、平成6年2月
- 3) California Department of Transportation: The Northridge Earthquake, Post Earthquake Investigation Report, 1994
- 4) Moehle, J. P. et al: Preliminary Report on the Seismological and Engineering Aspects of the January 17, 1994 Northridge Earthquake, Report No. UCB/EERC 94/01, University of California, Berkeley, January 1994
- 5) Priestley, M. J., Seible, F. and Uang, C. M.: The Northridge Earthquake of January 17, 1994, Report No. SSRP-94/06, University of California, San Diego, February 1994

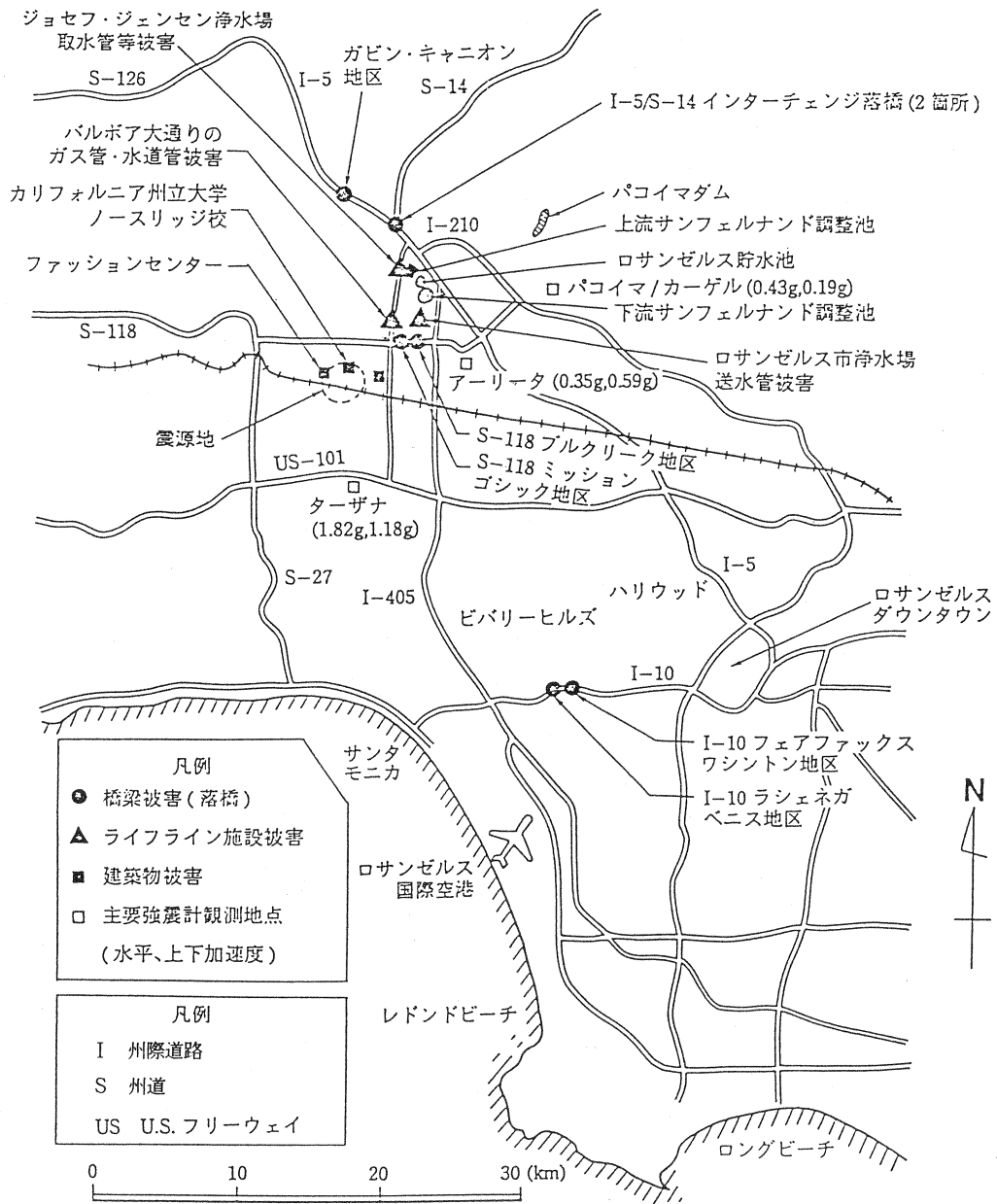


図-1 主要な被災箇所

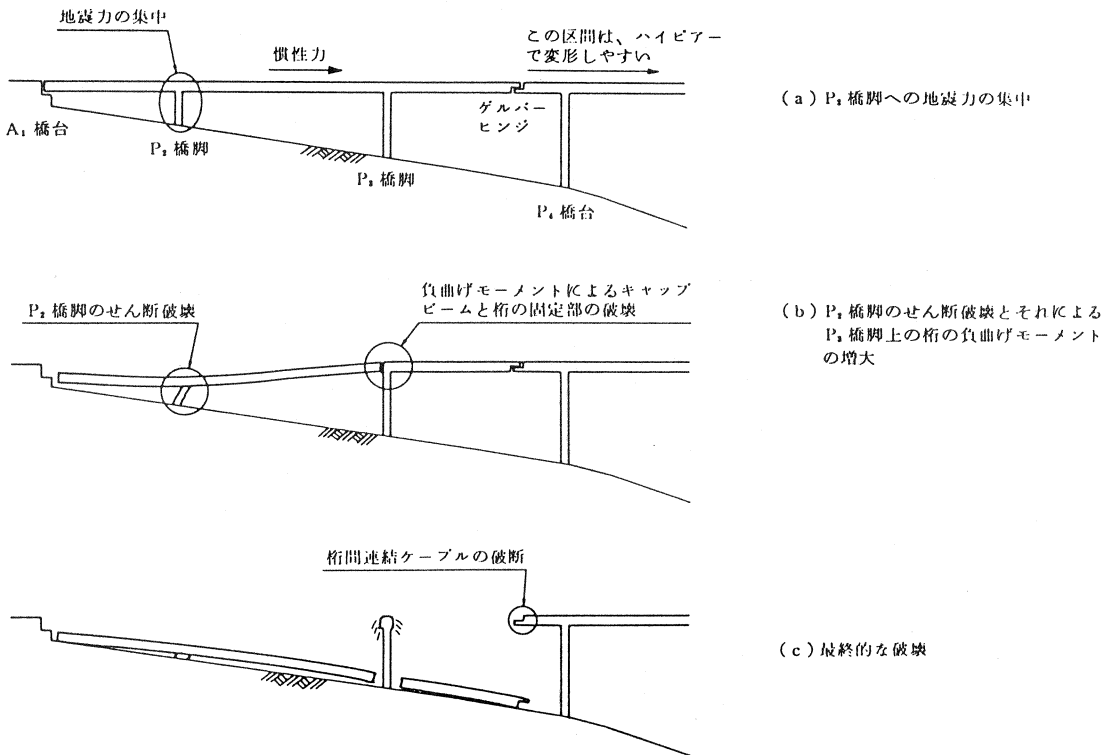


図-2 I-5/S-14 インターチェンジの落橋

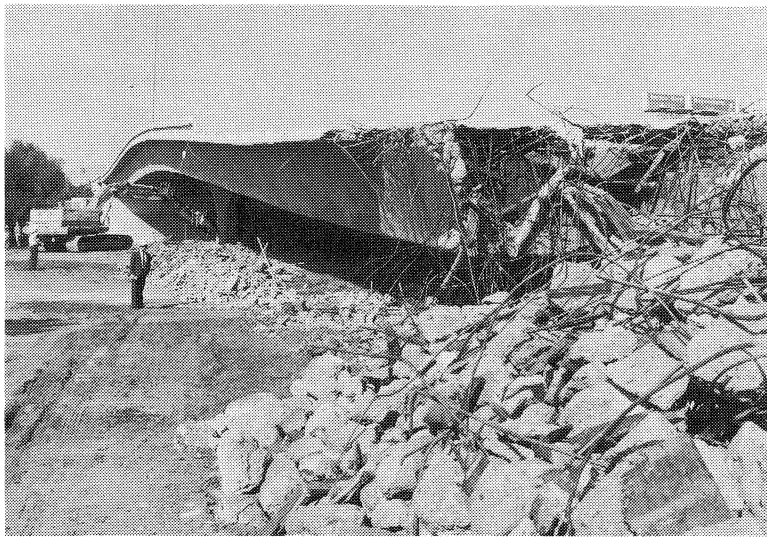


写真-1 S-118 ミッション・ゴシック地区の橋梁被害

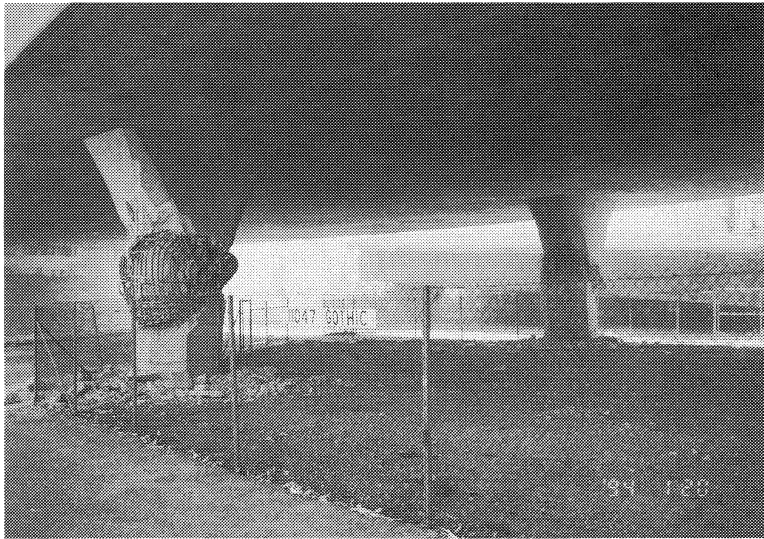


写真-2 西行きの桁を支持する橋脚の損傷
(桁断面のわりに、橋脚断面が小さい)

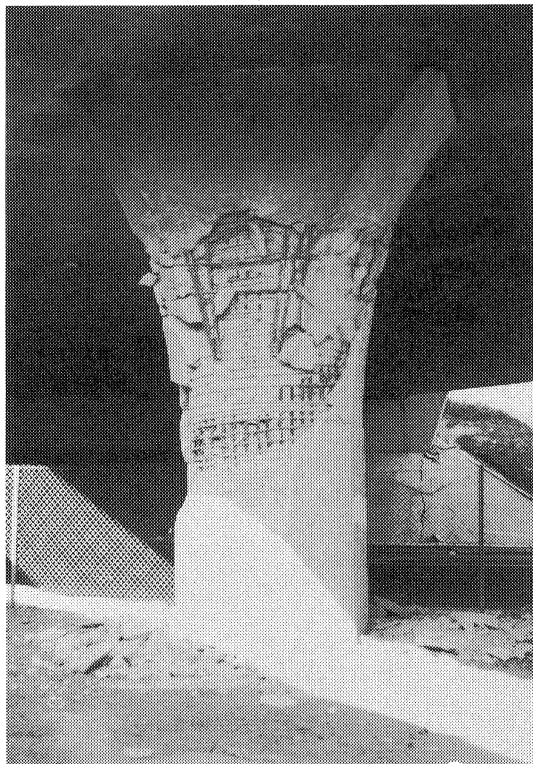
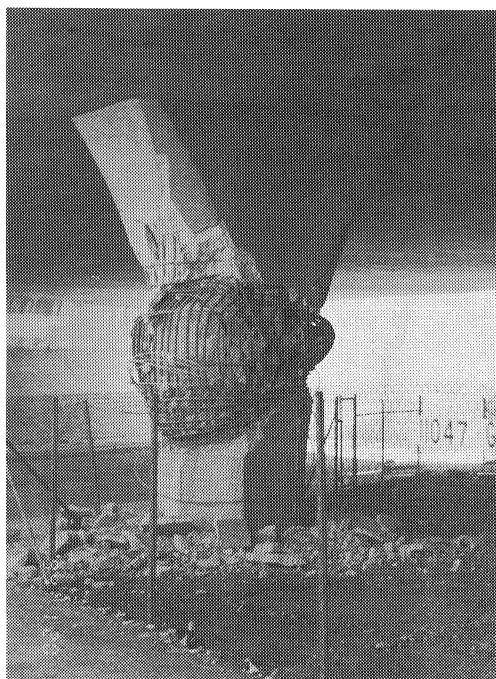
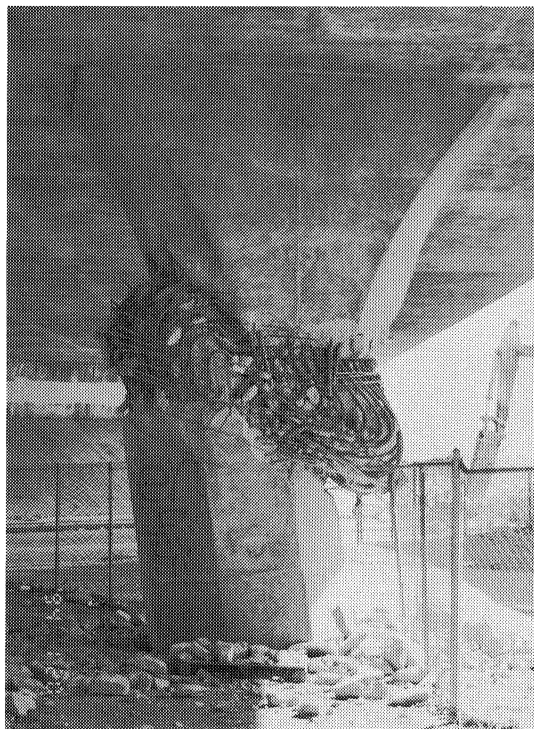


写真-3 曲げ破壊によるかぶりコンクリートの剝離(主鉄筋やスパイラル筋はすでに降伏している)



写真－4 曲げ破壊からせん断破壊に移行し、スパイラル筋が破断して、主鉄筋が大きくはらみだした状態



写真－5 軸線が完全にずれ、死荷重に対する支持力を失いつつある状態

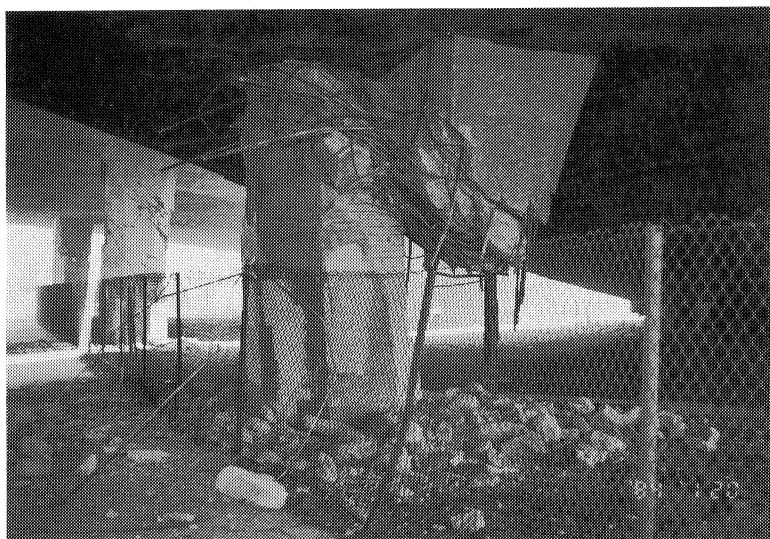


写真-6 フレア部の下で完全にずれてしまった状態



写真-7 最終的な破壊状態



写真-8 地盤面位置で破壊したP3橋脚
(S-118 ブルクリーク橋)

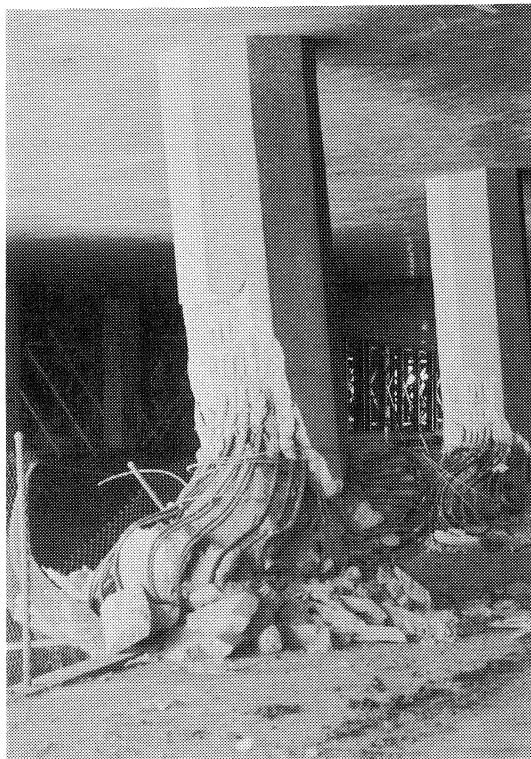


写真-9 完全にコアコンクリートが主鉄
筋からはみ出したP3橋脚

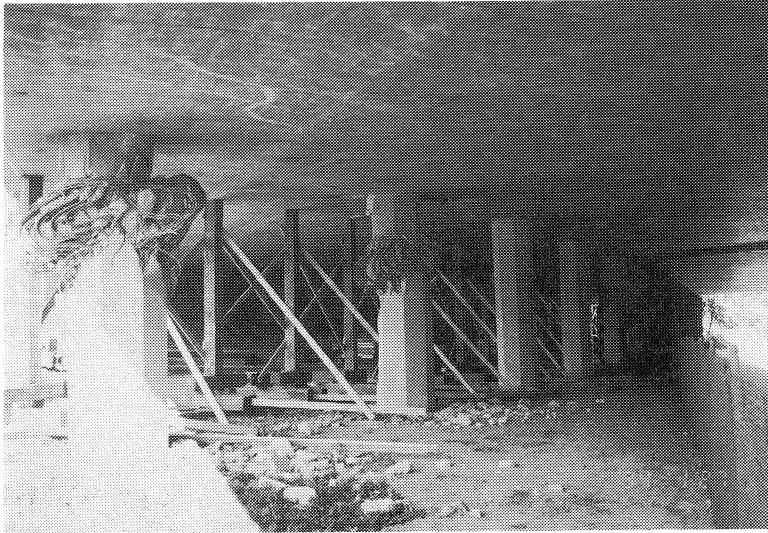


写真-10 橋脚頭部付近で破壊したP2橋脚
（S-118 プルクリーク橋）

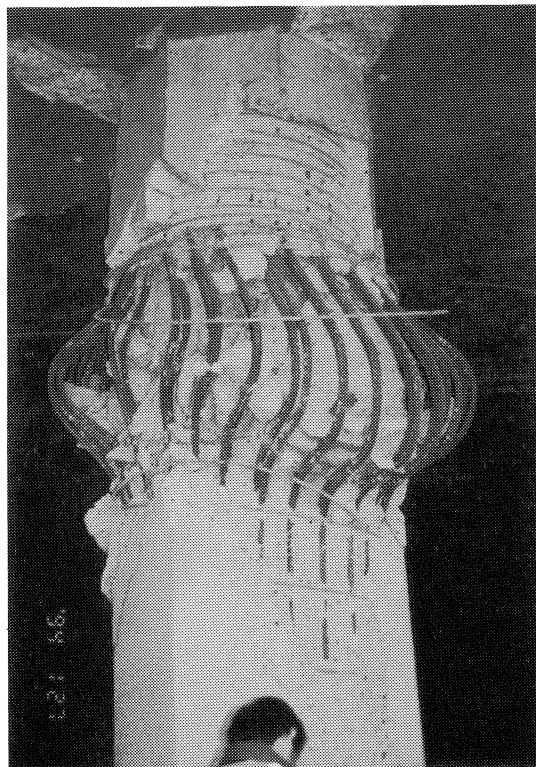


写真-11 スパイラル筋の間隔を拡げた
位置で生じた破壊



写真-12 サンタモニカフリーウェイ (I-10)
のラシェネガ・ベニス地区の橋梁被害
(手前は、すでに撤去されている)

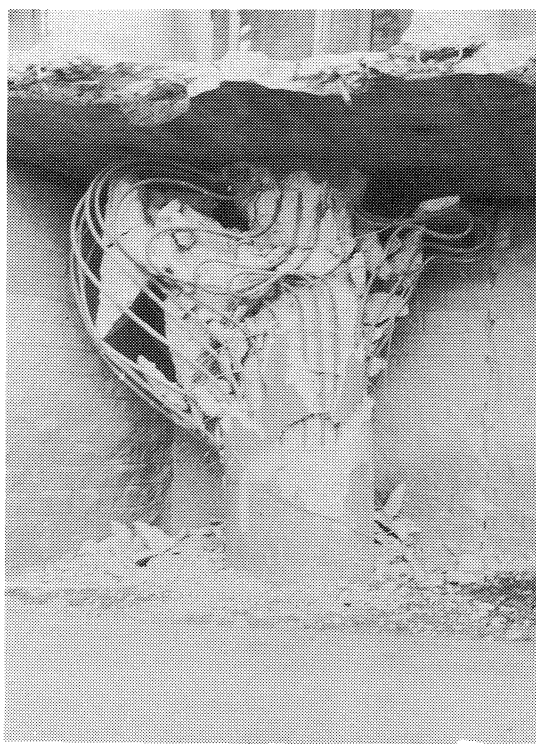


写真-13 完全に曲げせん断破壊した橋脚
(I-10ラシェネガ・ベニス地区)

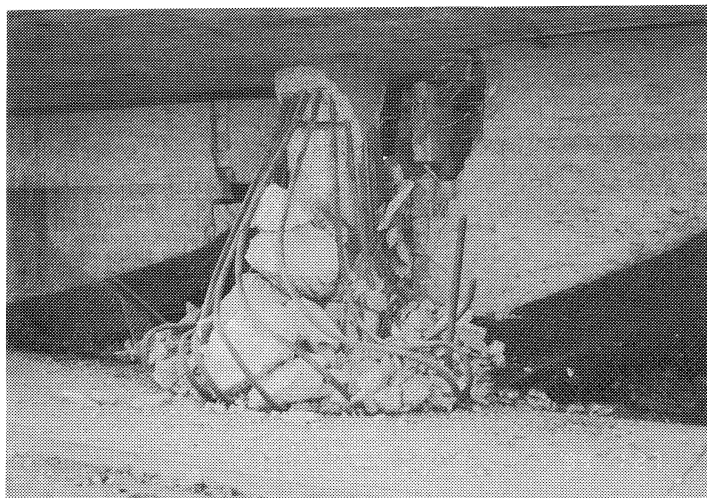


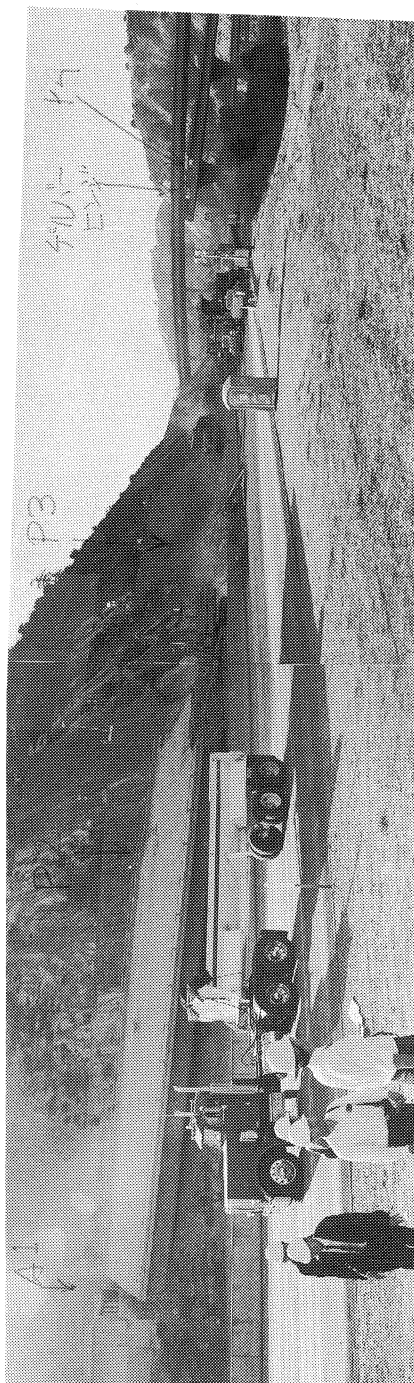
写真-14 完全に破壊した橋脚



写真-15 折り曲げられずにまっすぐキャップビーム
に定着された橋脚主鉄筋



(a) 落橋部の航空写真(カリフォルニア州交通局による)



(b) 東側からみた落橋部

写真-16 ゴールデンステート・フリーウェイ(I-10)
と州道14号(S-14)とのインターチェンジ



写真-17 壊れ残ったP3橋脚とキャップビーム
（カリフォルニア大学バークレイ校による）

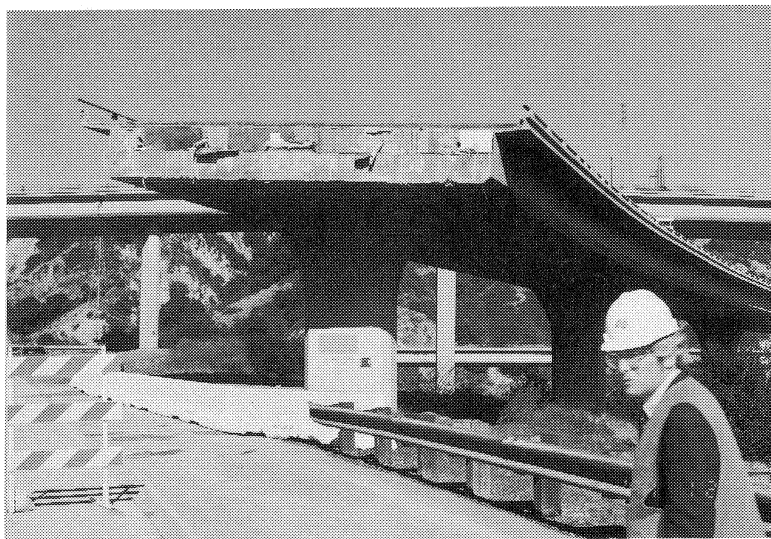


写真-18 ゲルバーヒンジ2
（桁間連結ケーブルが破断している）



写真-19 桁掛り長が非常に短く，残留移動によって
落橋寸前のゲルバーヒンジ部



写真-20 ゲルバーヒンジ部のジョイントに生じた
大きな目開き（落橋寸前）

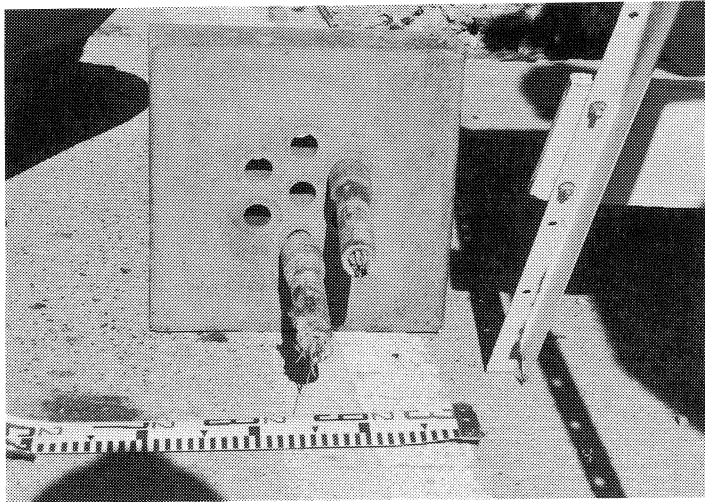


写真-21 桁間連結ケーブルの破断

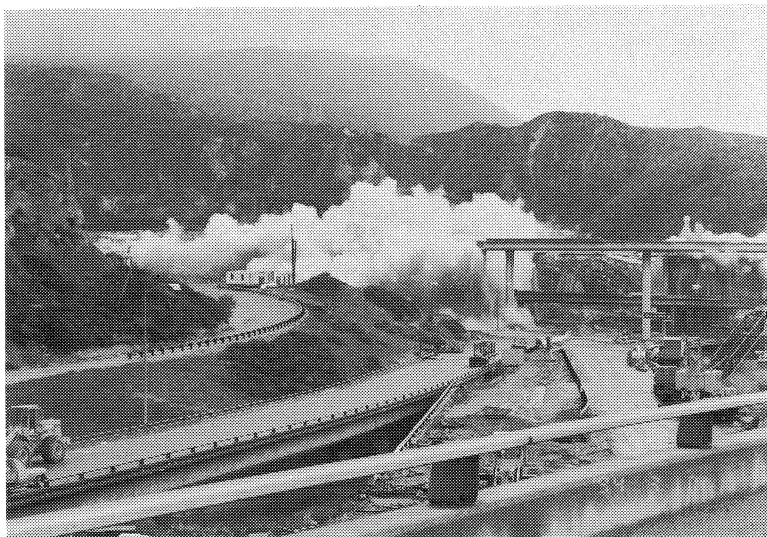


写真-22 爆破を用いた I-5 / S-14 インターチェンジ
の取り壊し