

耐震 One Point Advice #4

地震被害に学ぶ

耐震工学/Phase1 として位置付けた地震被害について、貴重な事例を紹介/考察する。国内の主要な地震被害調査のうち鉄筋コンクリート構造物の被害事例を引用したもので、被災状況を仔細に観察し、耐震工学上の要点を見直してみよう。ここでは、道路橋、鉄道橋、地中構造物など写真 1～写真 11 まで 14 点の画像を提示する。

① 道路橋下部構造/単柱式 RC 橋脚

兵庫県南部地震に際しては、地震動規模が極めて大きかったこと、旧基準による靱性不足、鉄筋の不備（段落し、継ぎ手）などにより、多くの被害を受けた。



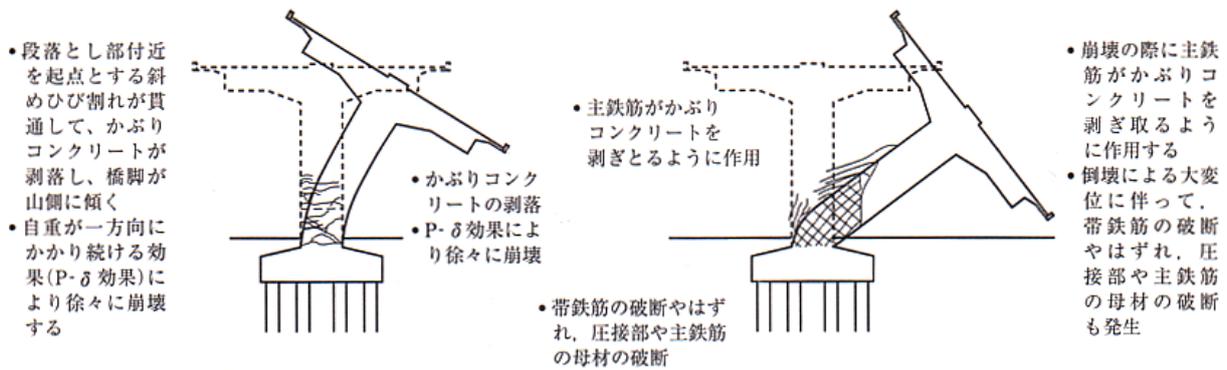
写真1 単柱式 RC 橋脚の被災：阪神高速 3 号神戸線/兵庫県南部地震
(提供：目黒公郎教授/東京大学[2])

写真1左は、矩形断面の単柱式橋脚（角柱）で、橋軸方向の地震力にて完全なせん断破壊となった。段落し位置付近から斜めひび割れが進展、拡大したものと推察される。橋面にて相当量沈下し、使用不能状態となったと思われる。

写真1右は、円形断面の T 型橋脚（丸柱）で、柱中部（段落し位置と思われる）にてかぶりコンクリートが剥落し、軸方向筋の座屈も見える。橋軸直交方向にやや傾斜（残留変形）しているが、かろうじて自立はしている。

・ ピルツ橋脚

ピルツ橋脚は上部桁と橋脚が一体構造となり、その形状がきのこ（＝ピルツ/ドイツ語）に似ていることから、このように呼ばれている。1969年に竣工したこの道路橋は、兵庫県南部地震(1995)にて17基がほぼ一体となって倒壊した（写真2）。この衝撃的な倒壊の様子は海外にも報道され、兵庫県南部地震の象徴的な地震被害として全世界の耳目を集めた。



橋脚倒壊のメカニズム

写真2：ピルツ形式橋梁の倒壊/兵庫県南部地震

(提供：宮家満司氏/榊竹中土木[2])

写真2左：柱中間部の段落し付近にて斜めひび割れが誘発され、せん断破壊が生じたと推察される。さらに、軸方向鉄筋が圧接部で破断したため、倒壊に至ったと考えられる。同じ高さ位置における軸方向筋の破断（圧接部と思われる）、およびばらけた帯鉄筋を見ることができる。

写真2右：このピルツ形式橋梁は、600mにわたり17基の橋脚が連続的に横倒しとなった。これら倒壊橋脚は、曲げひび割れからのせん断破壊、段落とし部での主鉄筋降伏からのせん断破壊（写真5左）、など、橋脚によって若干異なる破壊形式を呈していた。

・ RC ラーメン橋脚



写真3 RC ラーメン橋脚の柱部の損傷

(阪神高速3号神戸線/兵庫県南部地震[3])

写真3：道路橋ラーメン橋脚の被災例で、せん断破壊で生じた典型的な斜めひび割れが見られる。橋軸直角方向の地震力（紙面右から左への揺動）によるせん断破壊と推察される。

・ 橋脚基部の損傷の状況



写真4 RC 橋脚基部での損傷

(阪神高速3号神戸線/兵庫県南部地震[3])

写真4：単柱式T型橋脚における基部での損傷の状況を例示したもの。曲げモーメントの繰返しにより柱基部に損傷が集中しており、曲げ破壊と推察される。また、かぶりコンクリートは剥離し、鉄筋内部のコアコンクリートも破壊している。小ブロック状のコンクリート片が特徴であり、実験室では見られないコンクリートの破壊である。

(2) 鉄道橋

・RC ラーメン高架橋

RC ラーメン高架橋は鉄道施設の標準構造として多用されるが、多くの場合、高さ 10m 以下→1 層式ラーメン構造、10m 超→2 層式ラーメン構造となる。これまでの大地震に際しては、柱部材を中心に震害を受けている。



写真 5 RC ラーメン高架橋の被害

(JR 山陽新幹線/兵庫県南部地震[3])

写真 5 : 3 径間 2 層 (中間梁付き) ラーメン高架橋で、2 層目の柱部にてせん断破壊している。このため、損傷した柱は支持能力を失い、2 層目が完全に崩壊。写真手前のラーメン高架橋は損傷がなく、このため、軌道部が中吊状態となった。



写真 6 RC ラーメン高架橋の被害例

(JR 上越新幹線/新潟県中越地震[4])

写真 6 : 1 層式ラーメン構造であり、柱上部にて大きな損傷受け、これは橋軸方向の地震力によってせん断破壊が生じたと推察される。大きな斜めひび割れにそって柱が大きくずれ、主鉄筋がはらみ出し、内部のコアコンクリートも完全に破壊している。

・連続橋橋脚



写真7 連続橋梁の被害
(JR 上越新幹線/新潟県中越地震[4])

写真7：3径間連続PC箱桁橋における単柱式橋脚の被害。内側の軸方向鉄筋に段落としがあり、その付近でほぼ全周に渡り、かぶりコンクリートの剥落および軸方向鉄筋のはらみ出しが見られる。



写真8 橋脚損傷部位の拡大
(新潟県中越地震[4])

写真8：帯鉄筋は、フックなしの重ね継手によって定着されており、一部の帯鉄筋が落下している。帯鉄筋内のコアコンクリートも損傷が激しい。

(3) 地中構造物/地下鉄軌道階[5]

次に、地中構造物の被害例として、神戸高速鉄道線大開駅の被災を写真9に示した[5]。併せて、横断面の被害状況を、下図のように3断面の被災状況を図化した。

ここでは、地下鉄駅舎部（軌道階）の中柱が線路方向に連続崩壊し、被害延長距離は120mに及んだ。これは、鉛直荷重支持部材の崩壊による空間保持機能の喪失であり、地中構造物としてほとんど前例がない。

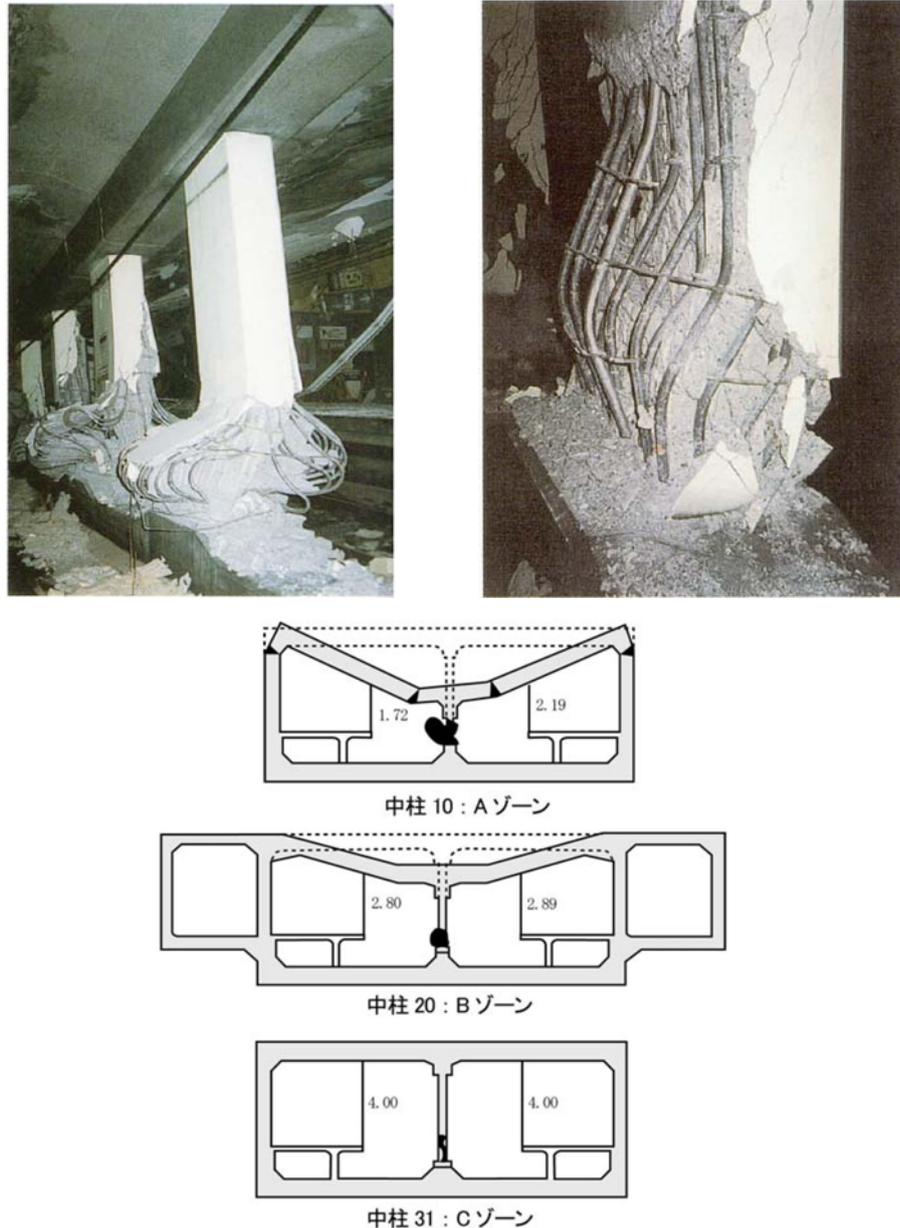


写真9 神戸高速鉄道線大開駅の被災[5]

写真9左：最も被害が激しい軌道階のAゾーンに位置するもので、中柱が完全に崩壊し、ほとんど原型を止めない。このため、上床階が下側に折れ曲がり最大2.9m沈下した[5]。

写真9右：横断面方向（路線直交方向）に損傷し、中柱基部(柱33)に斜めひび割れが認められ、せん断破壊と推察される。コンクリートが剥離し、鉄筋が露出/座屈し、垂直保持機能は喪失していると思われる。

(4) 建築建屋/中層 RC ラーメン構造



写真 10 : RC 造建物の中間層崩壊の例
(兵庫県南部地震[2])

最後に、建築建屋の被災のうち、特に、RC ラーメン構造の被災例を示す。

写真 10 : 4 層目のみ崩壊し、他の階には目立った損傷は見られない。特定の一層のみが崩壊するいわゆる中間層破壊であり、兵庫県南部地震では中層建物を中心に多く生じた。



写真 11 : RC 造建物のせん断破壊の例
(兵庫県南部地震[2])

写真 11 : 高さの低い窓に隣接している部材を中心に、せん断破壊に起因する多数の斜めひび割れが見られる。

本原稿での掲載画像は、参考文献[2]～[7]および個人からの提供によるもので、貴重な資料の提供に深謝いたします。

【参考文献】

- [1] 吉川弘道：『鉄筋コンクリート構造物の耐震設計と地震リスク解析』、丸善(株)、pp.240, 2008.2
- [2] 日本建築学会/土木学会編：1995年阪神淡路大震災スライド集、丸善、1995
- [3] コンクリート工学協会近畿支部：土木コンクリート構造物の震災対策に関する研究委員会報告書 CD-ROM 付き、1999.5
- [4] 土木学会コンクリート委員会：2004年10月新潟県中越地震 コンクリート構造物の被害調査速報、<http://www.saitama-u.ac.jp/material/niigata-eq/>、2004
- [5] 佐藤工業(株)：神戸高速鉄道東西線 大開駅災害復旧の記録 第1編被害調査、平成9年1月
- [6] 日本コンクリート工学協会：兵庫県南部地震に関する耐震技術特別研究委員会報告書 第2編 構造設計小委員会、1997.4
- [7] 建設省兵庫県南部地震道路橋対策委員会編：兵庫県南部地震における道路橋の被災に関する調査（中間報告書）、1995.3