

# 阪神大震災時の鉄筋コンクリート建造物の被害

7/5/2004

## (1) レポート課題

本報告書は、阪神大震災時における鉄筋コンクリート建造物（土木建造物）の被害をまとめたものである。文中には、写真番号が付してあるので、被害状況の説明と写真番号とを照合して、その被害の特徴を理解する。

次回授業に以下の課題を提出すること。

- ・ 対象とする被害例を2件選ぶ。
- ・ 各被害例をスケッチして再現する。
- ・ また、以下のキーワードを参考にして、被害の特徴を説明する。

構造形式 単柱形式、ピルツ構造、ラーメン橋脚（単層、2層）

断面形状 角単柱、丸単柱、小判形、壁式

被害状況 斜めひび割れ、塑性ヒンジ、かぶりコンクリートの剥離、  
コアコンクリートの破壊、軸方向筋の座屈、

破壊形式 曲げ破壊、せん断破壊

配筋状況 軸方向筋（主鉄筋）、せん断補強筋（帯鉄筋）

耐震構造細目 帯鉄筋の定着フック、主鉄筋の段落し、主鉄筋の圧接

地震力の方向 橋軸方向、橋軸直角方向、2方向

出典：（社）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、2.兵庫県南部地震による被害と教訓、1997年4月

## ② 単柱式橋脚

### ピルツ橋橋脚

ピルツとはドイツ語で「きのこ」の意味であり、上部桁の一部と橋脚が一体構造で、その形がきのこに似ていることからこの種の橋梁をこう呼んでいる。隣接する橋脚間にはゲルバー桁が載っている。昭和39年の鋼道路橋示方書に準じて設計され、昭和44年度に竣工した。橋脚はフーチングの上面から2.4m位のところで、主鉄筋（軸方向筋）が途中定着（段落し）されている。ピルツ橋橋脚17本は、橋脚直交方向に過大な地震力を受け、ほとんどすべてせん断破壊を呈した。このため、上部構造と橋脚が一体となって、横倒しに崩壊し、最悪な地震被害を全世界にさらした。

17本の橋脚が概ね中間の高さで破壊し、倒壊した。そのうち特徴的な1本の橋脚の破壊状況を写真2.4.1-1に示す。内側柱筋（軸方向筋）の段落し（途中定着）部付近から斜めに破壊しているこ

と分かる。鉄筋の圧接接手部は破断し、また、帯鉄筋は、ばらけている（定着フックがはずれ、閉合していない）。写真 2.4.1-2 は別の橋脚（ピルツ橋橋脚）の被害例で、倒壊時に被りコンクリート柱筋が引き剥がした様子が伺われる。

ピルツ橋に関しては、材料試験、配筋調査、設計照査、シミュレーション解析などの詳細な検討が行われた。その結果は次のように報告されている。すなわち、コンクリート強度は設計基準強度よりはるかに大きく、鉄筋は規格強度を上回っていた。降伏点が明確でないものもあり、大きな応力履歴を受けていたことをうかがわせる。鉄筋の圧接部の強度は降伏強度以上で、多くは規格引張強度の95%以上であった。設計は当時の仕様を満足していた。シミュレーション解析結果と現行設計基準による耐力比較から、段落し部の軸方向鉄筋が降伏したのち斜めひび割れが進行し、せん断破壊に至ったと考えられている。

#### 単柱式橋脚

ピルツ橋橋脚以外の橋脚の被害について述べる。矩形断面橋脚の被害例を写真 2.4.1-3～写真 2.4.1-5 に示す。写真 2.4.1-3 のように軽微な斜めひび割れのものから、写真 2.4.1-4 のような大きな被害のものまで広範囲に多数見受けられた。段落し部からせん断によるものも含まれていた。斜めの損傷部が既にずれて橋脚上部が着地しているものや折損、倒壊したものもあった。写真 2.4.1-5 は曲げによる被害例である。柱基部に多く見られた。この種のパターンは、軽微な曲げひび割れだけのものから広範囲に被りコンクリートが剥離して柱筋（軸方向筋）が座屈しているものまで、数は少なくなかった。殆ど全周に柱筋（軸方向筋）が露出しているものもあった。

コンクリートの損傷は、写真 2.4.1-3 被りコンクリートも含めて被害がほとんどなく、写真 2.4.1-4：被りコンクリートは剥落し、かつ、軸方向筋は若干座屈していることが見られ、内部コンクリート（コアコンクリート）も一部損傷していると思われる。写真 2.4.1-5 基部の曲げにより、被りコンクリートは剥落しているが、軸方向筋と帯鉄筋に囲まれた内部コンクリート（コアコンクリート）は、ほぼ健全と推察される。

円形断面の被害例を写真 2.4.1-6～写真 2.4.1-8 に示す。写真 2.4.1-6 に示される損傷は、柱の中ほどや比較的上部に生じていた。柱筋（軸方向筋）の座屈により、内部コンクリート（コアコンクリート）が圧縮破壊し、柱部材としての機能を失っている。

柱筋（軸方向筋）の座屈が全周でなく、一部だけに生じているものも多かった。この種の橋脚では柱筋の段落しが行われているものが多く、段落しが引き金のひとつになっていると思われる。柱筋の座屈に至る経過は上述の矩形断面（長方形断面）の場合と同様と思われる。一般に、矩形断面に比べて円形断面では断面の縁端のみならず周囲の比較的広範囲の鉄筋が座屈することが実験により知られているが、この種の損傷に関しては2軸曲げや応力波の伝播も含めそのメカニズムについて議論されている。写真 2.4.1-7 はせん断型の損傷例である。このせん断破壊により折損・倒壊した橋脚がみられた。段落し部が曲げ降伏したあとせん断に移行したためと考えられている。写真 2.4.1-8 は、柱基部における曲げ型の損傷例であり、この種の損傷が多く見られた。柱筋が座屈し、定着端でフックを持たない帯鉄筋がばらけている。このため、内部コンクリート（コアコンクリート）

トが激しく損傷し、鉛直方向の耐荷能力を著しく低下していることが容易に推察できる。

### (3) ラーメン橋脚

ラーメン橋脚の被災は単柱形式のものに対して比較的少なかったようであるが、写真 2.4.1-9 と写真 2.4.1-10 は、異なる 2 つの被災例である。(写真 2.4.1-9 は、明らかに橋軸直交方向のせん断損傷であり、向かって右側橋脚のみ侵害を受けている。写真 2.4.1-10 は、クローズアップのため、わかりにくいですが、やはり、橋軸直交方向の入力によるものと思われる)。これらの橋脚はいずれも昭和 42 年の基準で設計され、昭和 44 年に供用が開始されたものである。写真 2.4.1-9 の例では、柱が橋軸直角方向の地震力によってせん断破壊している。単柱形式橋脚では、この被害程度で落橋したかもしれないが、横梁を介してもう一方の柱が落橋に抵抗しているように見える。写真 2.4.1-10 のような被害が、程度の差は別にしていくなか見られた。すなわち、隅角部の引張り側の鉄筋が塑性変形を受け、そのあと逆向きの地震力により鉄筋が圧縮され座屈している。

写真 2.4.1-11 に示す 2 層ラーメン橋脚は、昭和 41 年の基準で設計され、昭和 45 年に供用が開始されたもので、下段橋脚(柱部)の中間部が損傷している。この橋脚では、下段橋脚の高さの中ほどで柱筋が段落しされている。損傷部位は位置的にこの付近であり、詳細は写真 2.4.1-12 に示されるとおりである。引張り試験後の鉄筋においても観察されるように、大きな引張り塑性変形を受けたあと圧縮を受けて座屈したと見られる鉄筋は発錆している。圧接部が破断したものは錆びていないで直立している。側面から見た写真 2.4.1-13 によると、内部に大きな斜めひびわれが生じている。

### (4) 単柱(壁)式 2 層ラーメン橋脚

写真 2.4.1-14 に示した橋脚は昭和 41 年の基準で設計され、昭和 52 年の供用が開始されたもので、橋脚上端部付近が損傷している。この橋脚では高さ方向に 2 回段落しされており、損傷は上の段落し位置付近で生じている。この部位は断面急変部かつ施工打継ぎ部付近でもある。段落しされていない柱筋は座屈しており、大きな引張りひずみを経験したあと圧縮力を受けたことが伺われる。帯鉄筋は、ばらけている。帯鉄筋の定着端は直角フックになっている。

橋軸直角方向に損傷を受けたもの、および全周に損傷を受けたものがあつたが、上段のラーメン橋脚の被災は見当たらなかった。このような損傷パターンが多くの単柱(壁)式 2 層ラーメン橋脚で見受けられた。

背の低い別のいくつかの橋脚において観察された被害例を写真 2.4.1-15 ~ 写真 2.4.1-18 で示す。このうち、写真 2.4.1-15 は主に橋軸直角方向の地震力により被災したもので、写真 2.4.1-16 は段落し部の被災例である。