

(146) 兵庫県南部地震によるPC橋の損傷分析

阪神高速道路公団 正会員 幸左 賢治
 (株)富士ピー・エス 正会員 ○松崎 正明
 機動建設工業(株) 正会員 尾崎 智

1. はじめに

兵庫県南部地震が発生してから早くも3年半以上が経過した。この間、大きな損傷を受けた阪神高速道路3号神戸線も復旧工事を終え、全線が供用再開されている。また、各機関により構造物の被災のメカニズムについて調査研究が行われるとともに、より耐震性に富んだ構造物とするために、コンクリート標準示方書耐震設計編(土木学会、平成8年版)および道路橋示方書耐震設計編(日本道路協会、平成8年12月)が刊行された。

阪神高速道路のPC橋においても、この地震により橋脚の倒壊に伴い橋桁が落下、沈下したものを除いても多くの橋梁が何らかの損傷を受けた。そこで、阪神高速道路公団PC構造物検討委員会(委員長;小林和夫大阪工業大学教授)では、被災直後から3号神戸線のPC橋の被災状況のまとめ、被災要因の分析を行ったが、その後下部工の損傷状況、あるいは復旧工事等を通して7号北神戸線を含む上部工の詳細な損傷データが得られている。このため、本委員会ではこれらの資料を加えてPC橋の損傷状況の整理、損傷の要因、メカニズムについて検討を行ってきた。

本稿は、これらの調査、検討結果の概要について報告するものである。

2. 損傷状況調査

(1) 調査対象

調査対象は阪神高速道路3号神戸線、7号北神戸線のPC橋(原則として本線橋)とした(図1-1)。3号神戸線では橋脚の倒壊により落橋したビルツ橋18径間をのぞく64径間、7号北神戸線では170径間である。

神戸線の全64径間のうち単純桁が53径間、連続桁が11径間である。単純桁はすべてT型桁またはI型桁であり、連続桁は箱桁である。支承は、単純桁ではゴム支承、連続桁では金属支承が使用されていた。

北神戸線では、単純桁が9径間でありその他は連続桁、連続ラーメンである。主桁の構造は、78径間がT型桁、I型桁でありその他は箱桁である。支承は、全支承線215ヶ所のうち149ヶ所がゴム支承、66ヶ所が金属支承であった。

これらの相違は主として建設年代の相違によると考えられる。神戸線は昭和40年頃に建設されており、当時は単純桁型式が多く用いられていた。これに対し、北神戸線は昭和50年代後半以降に建設されており連続型式が一般的となっている、また、これらの路線の建設時には比較的大きな反力の場合、金属支承が使用されていた。

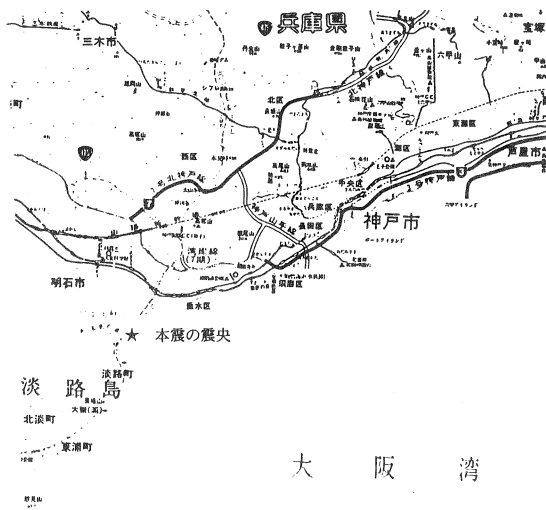


図-1 位置図

(2) 調査内容

各橋梁ごとの調査項目は、上下部工の構造型式、橋軸方向の方位、支承種別、上部工各部位(主桁、横桁、床版、支承、落橋防止装置)の損傷状況である。また、3号神戸線では上部工の移動量、橋脚の損傷度についても調査を行った。

3. 損傷分析

(1) 損傷の概要

3号神戸線では、損傷のほとんどは横桁の落橋防止装置(アンカーボルト、桁間連結装置)取り付け部において生じており、損傷の形態は横桁コンクリートのひびわれ、剥落などである。また、摩耶付近では橋軸直角方向(山側)に最大0.6mの移動が生じた。

7号北神戸線では、プレキャスト桁(T型桁、I型桁)方式の橋梁には3号神戸線と同じく横桁の落橋防止装置取り付け部の損傷が多くみられた。また、端支点1点固定で張出し施工による橋梁などでは、固定側の主桁端部ブロック継ぎ目部等の損傷、金属杓の損傷が生じている。

(2) 損傷度分析

上部工の損傷度を評価するために損傷度を表-1のように区分した。

表-1 損傷度の区分(主桁・横桁)

損傷度	定義
A	桁全体にコンクリートの剥離・欠落が見られ、明らかに断面欠損となり、桁本体の信頼性に欠ける。
B	コンクリートの剥離が見られ、剥離深さが鉄筋の内側まで至っており、桁本体の剛性が低下していると判断される。
C	一部表層のコンクリートの剥離が見られるが、剥離深さが鉄筋まで至らず損傷度は軽度と判断される。
D	損傷が無いが表面に多少の小さなひびわれがあるが、桁本体に影響無いと判断される。

この損傷度区分により調査橋梁における損傷度を集計すると表-2のようになる。なお、この表では主桁は全本数、端横桁は桁間1ヶ所ごと全ヶ所数を対象としている。

表-2 主桁・横桁の損傷度(本数、ヶ所数)

		損傷度				
		A	B	C	D	計
3号神戸線	主桁	0 (0%)	0 (0%)	11 (2.5%)	431 (97.5%)	442 (100%)
	横桁	0 (0%)	3 (0.4%)	138 (17.9%)	631 (81.7%)	772 (100%)
7号北神戸線	主桁	0 (0%)	0 (0%)	19 (2.1%)	872 (97.9%)	891 (100%)
	横桁	0 (0%)	12 (1.2%)	31 (3.1%)	951 (95.7%)	994 (100%)

この表から、被災度が大きかった3号神戸線での損傷ランク“D”の比率が主桁で98%、横桁で82%であり、7号北神戸線では主桁で98%、横桁で96%である。このことから、ほとんどのPC上部工は軽微な損傷を受けたか健全であったと言える。

また、3号神戸線と7号北神戸線の損傷比率の違いについて比較すると、主桁の損傷比率は両者ともCランクが2%台であるが、横桁では3号神戸線が“B、C”ランクが18%程度であるのに対して、7号北神戸線では4%程度である。この差異は以下の理由によると思われる。

- ・橋梁の位置で地盤条件による地震動の違い

7号神戸線の架橋位置はI種地盤であり、3号神戸線はII種地盤である。また、3号神戸線は震度7の帯にほぼ沿っており、また周辺家屋の被害も明らかな違いがある。このことから、地震動は3号神戸線周辺が7号北神戸線に比べて非常に大きかったと考えられる。

・建設時期および設計基準の違い

前述のとおり3号神戸線は昭和40年頃に建設されており、7号北神戸線は昭和50年代後半以降の建設である。また、このことにより適用された設計基準の差異がある。3号神戸線では昭和39年の「鋼道路橋示方書」またはそれ以前の基準に基づいて設計されている。これに対して7号北神戸線では、昭和46年の「道路橋耐震設計指針」および昭和55年の「道路橋示方書V耐震設計編」が適用されている。

・上部工の型式の違い

設計時期の違いは上部工の構造型式の違いを生じている。3号神戸線は単純桁がほとんどであるが、7号北神戸線では走行性・耐震性に優れた連続桁型式がほとんどである。

次に、3号神戸線については下部工の損傷が大きく、下部工についての損傷度の調査を行った。これと上部工の損傷度の関連を分析したのが表-3である。

表-3

この表によると、上部工の損傷度が高い場合には下部工の損傷度は低く、上部工の損傷度が低い場合には下部工の損傷度は高くなっている。このことは、各橋梁ごとにみても当てはまっている。これは、上下部のどちらかが損傷することによってエネルギーを吸収したことによると考えられる。

		下部工			
		A	B	C	D
上部工	C	0%	13%	7%	80%
	D	0%	42%	29%	29%

4. 損傷事例

前述のとおり、今回の地震によるPC橋の損傷はほとんどが端支点横桁の落橋防止装置取り付け部における損傷であった。ここでは、横桁の損傷度“B”であり、また上部工の大きな移動を生じた3号神戸線摩耶付近の橋梁の事例を示す。

本橋は、S301からS311まで11径間PC単純合成桁橋の連なる橋梁区間である。橋脚は、P301がラーメン橋脚であり、他はRC単柱である。基礎構造は場所打ち杭基礎である。上部工の竣工は昭和44年である(図-2)。

(1) 損傷状況

主桁の損傷は支承部付近の剥離(角欠け)が主で、損傷度は軽微である。横桁は全径間にわたって剥落・ひび割れおよび鉄筋露出が確認され、S311では損傷度Bとなっている。また、桁間連結装置にはナットのゆるみ、緩衝パッキンの変形が確認された。

本橋の損傷において大きな特徴は、上部工全体が横断勾配の低い山側に横移動していることである。移動量は、P302で609mmであり、P303で336mm、P304で129mmと順次減少し、最終径間付近で再びP310で71mm、P312で174mmと増加していた。

(2) 損傷の原因

1) 上部工の横移動

上部工の大きな横移動のメカニズムは以下のとおり推測される。本橋のS301径間は高幅員スパンであり、上部工の重量は他の径間の約1.8倍である。これに橋軸直角方向に水平力が作用した時、P302で

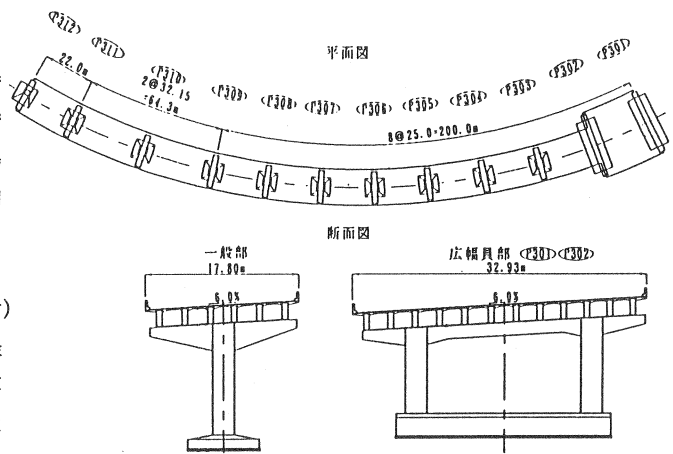


図-2 橋梁一般図

は桁間連結装置で繋がれているS302側に水平力が伝わりS302側のアンカーボルトが先に破断し、続いてS302側の水平力も受け持つこととなったS301側のアンカーボルトも破断した。この結果、P302上において大きな移動が生じ、たの径間も引きずられる様に移動したと考えられる。

2) 横桁の損傷

端支点横桁のアンカーボルト部の剥離・欠落(Cランクの損傷)はコンクリートの表面部分で見られ、部材内部には起こっていない。また鉄筋の歪曲(Bランクの損傷)は移動量の大きかった箇所ではしか認められていない(写真-1)。

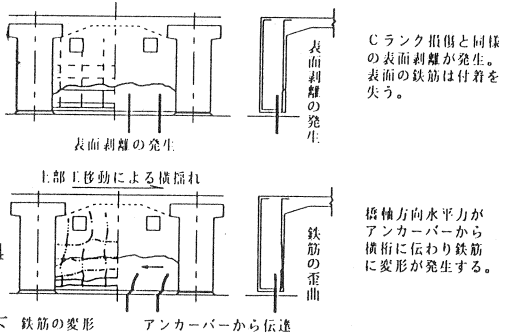
Cランクの損傷の原因は以下のとおりと考えられる。アンカーボルトの配置は図-3のようであり、支間側のかぶりがない。このため、上部工の移動により衝撃力がかかりコンクリートの剥離・欠落が生じた。また、充填材が地震時の瞬間的な移動に対しアンカーボルトを拘束し可動できなかったことも考えられる。

Bランクの損傷の原因は以下のとおりと考えられる。横桁表面コンクリートの剥落により付着を失った鉄筋に大きな水平力がアンカーボルトより繰り返し伝達され、鉄筋の歪曲が発生しこれに伴いコンクリートの剥離が進行した(図-3)

Bランクの損傷の生じたS311では、橋軸方向にも20~100mmの移動があり橋軸方向にも相当な水平力が作用していたと考えられる。



写真-1 S311横桁損傷



5. まとめ

阪神高速道路3号神戸線および7号北神戸線のPC橋234径間について、今回の地震による損傷状況の調査、損傷原因、メカニズムについての検討を行った。これらをまとめると以下のとおりである。

図-3 損傷メカニズム

- (1) プレキャストT型桁およびI型桁の損傷の大部分は支承部付近の剥離、ひびわれであるがその程度は軽微である。北神戸線の箱桁でも支承部桁端付近にひびわれの生じたものが数橋あった。
- (2) 今回の地震による損傷のほとんどが、端支点横桁の落橋防止装置(おもにアンカーボルト)取付部に生じている。これは、設計で考慮された水平力が震度法レベルであり、実際に発生した水平力がこれをはるかに越える大きなものであったこと、また、アンカーボルトの移動可能性が常時における移動量しか考慮していなかったため横桁に生じる衝撃力が大きくなったためと考えられる。しかしながら、大部分の損傷は軽微なものであった。
- (3) 調査橋梁ではゴム支承が多く用いられていたが、支承本体の損傷はほとんど生じていない。鋼製支承では、サイドブロックの脱落等多くの損傷が見られた。
- (4) 今後設計される橋梁は、平成8年に改訂された基準により行われることとなり、下部構造はもちろん上部構造、支承、落橋防止構造等も十分な耐震性能の確保ができることと考えられる。しかしながら、今回のような激甚な地震による損傷のメカニズムについて検討していく必要がある。また、既設橋梁の横桁補強についても検討の必要があると考えられる。