

地震により損傷したRC橋脚の被災調査と定量的評価

阪神高速道路公団保全施設部 正会員 前川 順道
阪神高速道路公団保全施設部 正会員 田坂 広
阪神高速道路公団保全施設部 正会員 林田 充弘

1. はじめに

1995年1月17日の兵庫県南部地震により、阪神淡路地域における多くの構造物が、未曾有の被害を受けた。阪神高速道路において当該地域を通過する路線としては、3号神戸線、5号湾岸線、および7号北神戸線が存在していたが、大きな損傷を受けたのは前者の2路線であった。特に3号神戸線においては、ピルツの倒壊(18径間)や落橋(6径間)に代表されるように、橋脚構造物の脆性に起因すると考えられる損傷により、高速道路としての機能を失うに至った。その一方で、5号湾岸線については西宮港大橋の隣接桁が落橋した他、大型橋梁部において通行不可能となる損傷が生じたものの、RC橋脚における被災は皆無であった。

そこで本論では、3号神戸線のRC橋脚を例に、震災直後の被災度判定と復旧工事における詳細データを基にした被災度判定の比較を行い、支承の調査結果やせん断-曲げの耐力比と併せて、損傷橋脚の分析を行うこととした。

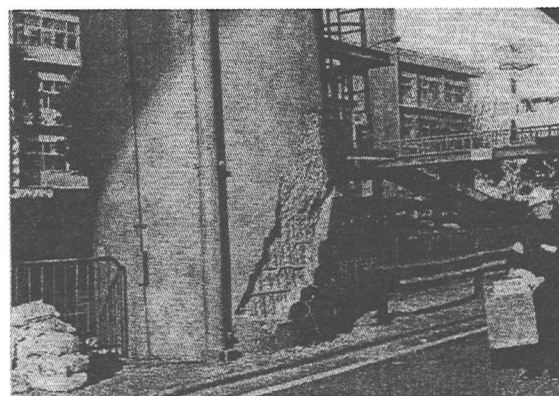


写真-1 せん断破壊例(Bランク)

2. 被災度判定結果

2. 1. 震災直後の判定

被災度の診断に当たっては、震災直後の外観調査および写真判読により、As、A、B、C、Dランクの5種類に区分した。判定区分は道路震災対策便覧(震災復旧編)による構造物別被災度の判定手法に基づいている。これらの分類が示す橋脚の損傷状態は以下であり、それらが表す損傷の模式図を表-1に示した。

As：崩壊、倒壊した場合、または損傷変形が著しく大きなもの。

A：鉄筋の破断等が生じ、変形が大きなもの。

B：鉄筋の一部の破断やハラミ出し及び部分的なかぶりコンクリートの剥離や亀裂がみられるもの。

C：ひび割れの発生や局部的なかぶりコンクリートの剥離がみられるもの。

D：損傷がないか、あっても耐荷力的に影響のないきわめて軽微なもの。

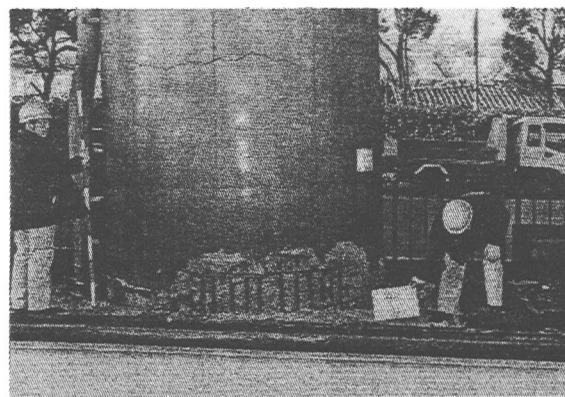


写真-2 曲げ破壊例(Bランク)

キーワード：兵庫県南部地震／目視調査／詳細調査／橋脚損傷／支承損傷

阪神高速道路公団保全施設部保全技術課 TEL:06-252-8121 FAX:06-252-8433

表-1 RC橋脚の被災度分類

判定 典型的な 破壊モード	As	A	B	C	D
柱地盤面位置 での曲げ破壊					損傷なし
柱地盤面位置での 曲げせん断破壊					損傷なし
軸方向鉄筋段落とし 部の曲げせん断破壊					損傷なし
柱地盤面位置での せん断破壊					損傷なし

復旧工事においては、この判定をもとに、AsおよびAランクのものは、既存の橋脚を撤去・再構築することとし、Bランク以下の橋脚については、損傷状況を詳細に調査し、その結果に基づき損傷部位の取替え、補修を行うこととした。

2. 2. 詳細調査の判定

復旧下部工工事に伴う詳細調査においては、ハラミ出し量とハラミ出し範囲による鉄筋の取替えの要否を判断する要領を設け、定量的な被災度を把握した。詳細調査の判定では、B、CランクをさらにB₁、B₂、B₃、C₁、C₂に分類し、軸鉄筋の取替え比率やコンクリートの損傷度をより詳細に区分することとした。なお、As、Aランクについては緊急に鋼板巻立て等の措置を講じていたこと、また危険度が大きく詳細調査が困難であったことから、ランクの変更は行わず、今回はBランク以下のRC橋脚について判定を詳細に分類したものとなっている。

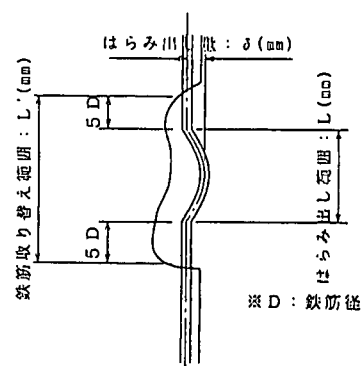


図-1 座屈鉄筋の取替え要領図

詳細判定が示す損傷の状態は以下である。

- As : 倒壊に近い、崩壊・倒壊した橋脚。
- A : 柱全面にわたり鉄筋の座屈損傷が著しいもの。
- B₁ : 柱全周にわたり柱軸鉄筋のハラミ出しが認められ鉄筋を取替えたもの。
- B₂ : 柱軸鉄筋の取替えが全鉄筋の1/2程度のもの。
- B₃ : 柱軸鉄筋の取替えが全鉄筋の1/4程度のもの。
- C₁ : 柱軸鉄筋が一部露出しているが、柱鉄筋のハラミ出しがないもの。

- C₂ : 柱軸鉄筋の露出はないが、ひび割れの大きなもの。
- D : ひび割れの小さいもの、あるいは損傷のないもの。

2. 3. 判定手法の比較

3号神戸線におけるRC橋脚における構造形式を図-2に示す。ここでRC単柱形式が全体の約8割を占めることから、本論では構造形式の要因が耐震診断に影響しないように、単柱のみについて検討を行っている。そこで上記により、RC単柱における鉄筋座屈状況を定量的に評価した結果（RC橋脚443基（ピルツを含む）を対象）ごとに、震災直後の被災度判定基数を示したグラフを図-3に示した。詳細調査の結果では、震災直後Dランクに判定されていた橋脚の約2/3が、C₁もしくはC₂ランクに判定される結果となり、その一方で震災直後Bランクと判定された橋脚においても、C₁ランク程度に判定されたものが約1/4あった。震災直後の目視調査と復旧工事時の詳細調査の判定ランクの大小関係を被災部位により示したグラフが図-4である。なお、このグラフからは損傷のなかったもの15基を除いている。

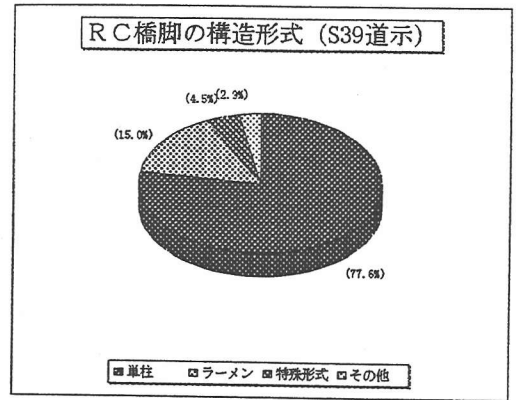


図-2 3号神戸線のRC橋脚

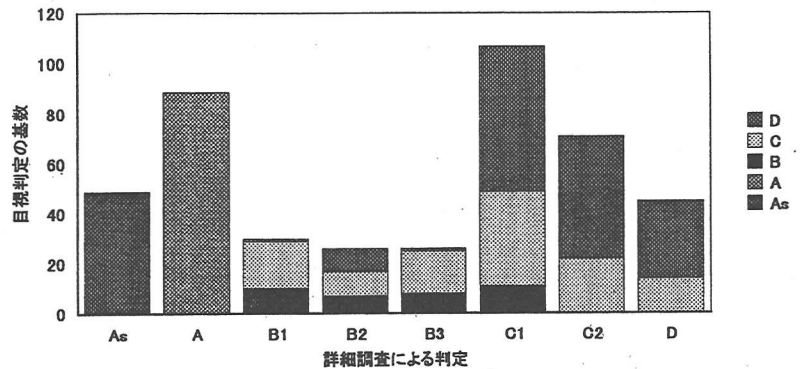


図-3 目視調査と詳細調査の判定比較

柱基部に損傷があった橋脚の約半分（全基数の約4割）については、基部を掘削した後に鉄筋座屈等が認められたものが多く、詳細調査では目視調査による判定より、被災度の大きな判定となっている。しかし、図-3よりこれらの多くはDランクだったものがCランクに分類されたものであり、復旧工事の方針には影響がなかった。また、柱中間部に損傷があった橋脚については、20基程度ずつ損傷ランクが上がったもの、下がったものがあった。ランクの上昇したものについては、下部工事においてひび割れた被りコンクリートを落とすと鉄筋の座屈状況が外観よりも悪かった場合を示し、ランクの下がったものについては、被りコンクリートのひび割れが甚大であったが中の鉄筋を確認すると、外観よりも座屈量が軽微であった場合を示す。目視調査は点検員の個人差によるところが大きいこともあるが、震災直後の状況では十分な接近調査が困難であることから、多少の精度のばら

表-2 目視調査と詳細調査の判定比較

	As	A	B	C	D	合計
As	49					49
A		89				89
B1			10	19	1	30
B2			7	10	9	26
B3			8	17	1	26
C1			11	38	58	107
C2				22	49	71
D				14	31	45
合計	49	89	36	120	149	443

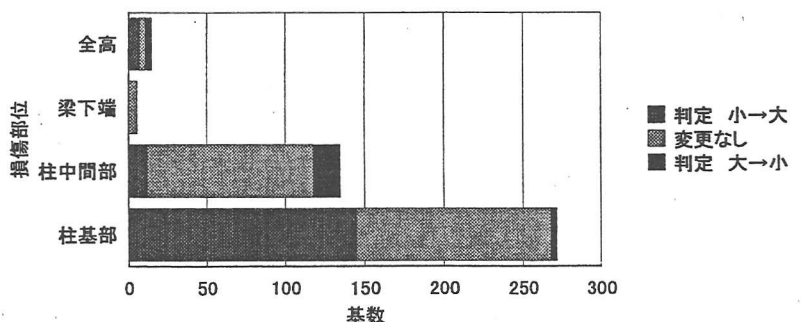


図-4 被災部位と判定の精度

つきは認められたものの、震災直後の被災度の把握を行うには適当な精度を有したデータであったと考えられた。

また一方で、こうした目視点検には調査範囲が接近可能な地上部のみと制約があることから、今後は目視調査で判定できなかった地中部（基部）の損傷についても、耐震点検の手法を開発することが必要と考えられた。

3. 既設橋脚の耐震診断

3. 1. 既往の研究

神戸線の本線RC単柱橋脚を対象に道示（平成2年度版）を用いた地震時保有水平耐力照査に基づく橋脚耐力を用いて、既設橋脚の有していた耐震性能と被災状況について、考察を加える。ここで、橋脚の耐力算出方法について述べる。

(1) せん断耐力 (S_u) の算定は平成2年度の道示を基本とした。

(2) せん断耐力指標 (αsu) は、部材のせん断耐力を構造物重量で除したもので、せん断耐力相当の加速度 (gal) を示す。

既往の研究では、終局曲げ耐力（材料定数は通常、設計値の2～3割高いことから、終局曲げ耐力は2割増しで評価している）とせん断耐力について比較を行い、損傷の傾向を考察している。これによると、せん断破壊はせん断曲げ耐力比が1を下回ると損傷が顕著であり、1付近では曲げせん断破壊によるAランク損傷が多く認められたことから、地震の繰返し荷重によりせん断耐力が低下し、曲げせん断に移行することで大きな損傷を被ったと考えられた。

3. 2. せん断曲げ耐力比による分析

既設橋脚のせん断・曲げ耐力比と、詳細調査判定による損傷ランクの関係を考察するため、横軸にせん断曲げ耐力比 ($S_u \cdot I_a / M_u$) を、縦軸にせん断耐力指標 (αsu) をとって、損傷形態別にグラフにプロットしたものを図-5に示す。ここでは、曲げ耐力が確実に発揮された橋脚について評価する必要があることから、鉄筋の段落しを有する橋脚データを除き、損傷した橋脚の278基について検討を行っている。また耐力には基本的に橋軸直角方向の値を用いることとしたが、せん断破壊に多くみられたように、損傷方向が明らかに橋軸方向と考えられる橋脚の耐力等については、橋軸方向の計算値を用いて傾向を検討した。

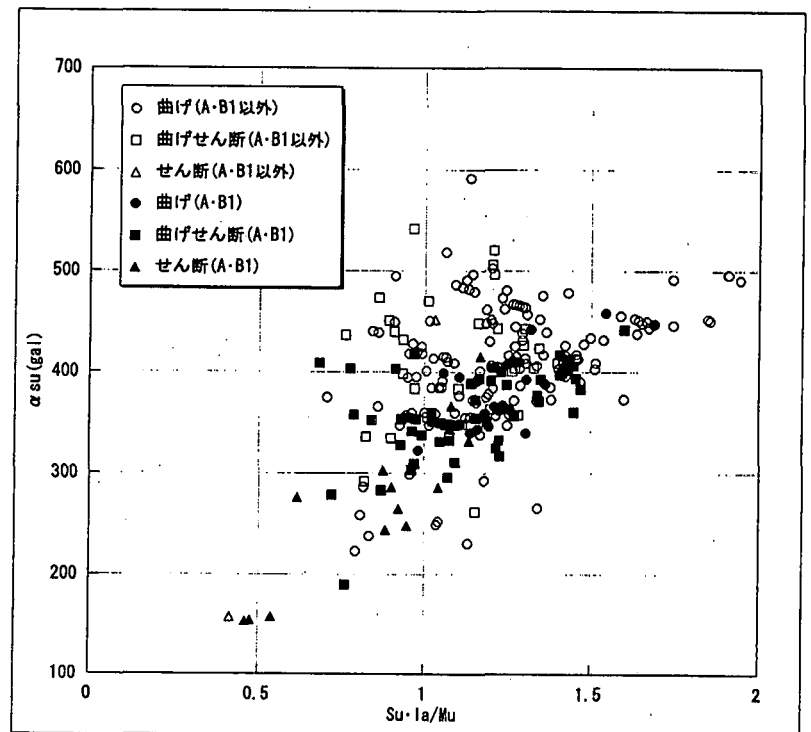


図-5 橋脚耐力と損傷の傾向

図-4よりせん断耐力指標 (αsu) > 400gal の領域で損傷度の高いB₁以上の損傷が極端に少なくなっていることがうかがわれる。また、曲げせん断損傷の橋脚は ($S_u \cdot I_a / M_u$) = 1 の両側に大きくばらつくが、曲げ損傷の橋脚は ($S_u \cdot I_a / M_u$) > 1 の領域に、せん断損傷の橋脚は ($S_u \cdot I_a / M_u$) < 1 に分布する傾向がみられ、せん断曲げ耐力比=約1.2を境にせん断損傷の橋脚はみられなくなる結果となった。

4. 支承損傷との比較

詳細調査による8段階の分類について、 B_1 、 B_2 、 B_3 ランクをBとし、 C_1 、 C_2 ランクをCランクとして、As～Dの5段階に再分類した損傷ランクについて、支承の損傷との関係を考察した。

支承は1橋脚上に2～16個あることから、判定には支承線ごとに目視による総合的な評価を行い、大阪側・神戸側の判定のうち被災度の高い方を用いて、その橋脚上の支承の被災度とした。また支承の損傷調査においては、損傷の方向（橋軸方向橋軸直角方向の種別）の調査がされていない。

そこで損傷方向に関わりなく、橋脚の損傷と支承の損傷を比較したものを図-6に示す。ただし、支承が損傷することにより橋脚の損傷が軽減されると仮定した場合、橋脚の破壊モードが曲げ破壊である過程において有効であると考えられたことから、橋脚の損傷形態がせん断破壊であったものを除外し、合計356基を対象としてグラフ化している。

As、Aランクについては、橋脚の傾斜等の影響により支承が破損する場合が考えられることから、Bランク以下についてグラフを読むと、橋脚の損傷が軽微なものほど支承の損傷が大きくなっている傾向が明確な結果となった。さらに、前述のとおり支承の損傷調査結果からは損傷方向が不明であるものの、橋脚が橋軸直角方向に損傷を受けたもののデータを除いたもの（合計215基を対象）が図-7となり、傾向が顕著となる。これらは、支承が破損することにより地震エネルギーを吸収し、橋脚の靱性を確保する上で好影響を与えたと考えられた。

表-3 橋脚と支承の損傷

		支 承				合計
		A	B	C	D	
橋 脚	AS	0	4	2	17	23
	A	19	13	16	28	76
	B	7	10	13	41	71
	C	39	29	37	59	164
	D	13	2	2	5	22
合計		78	58	70	150	356

(橋軸方向+橋軸直角方向)

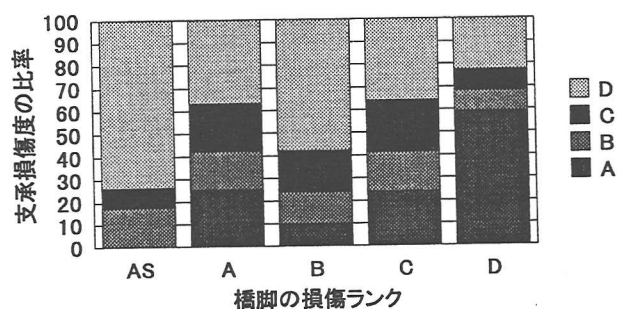


図-6 橋脚損傷と支承損傷
(橋軸方向+橋軸直角方向)

表-4 橋脚と支承の損傷

		支 承				合計
		A	B	C	D	
橋 脚	AS	0	4	2	17	23
	A	10	8	11	21	50
	B	1	9	5	15	30
	C	26	22	26	22	96
	D	11	1	2	2	16
合計		48	44	46	77	215

(橋軸直角方向除く)

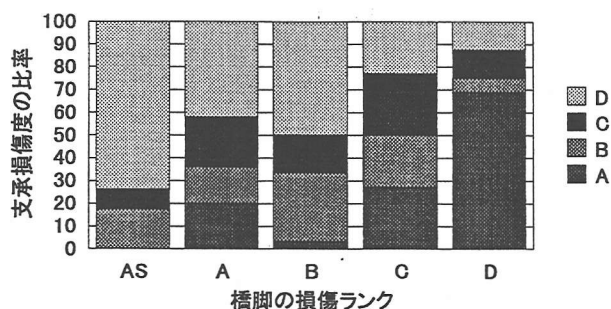


図-7 橋脚損傷と支承損傷
(橋軸直角方向除く)

5. まとめ

- (1) 橋脚の被災度について、震災直後の目視点検判定と鉄筋取替え量による詳細判定を比較した結果、目視点検によって被災度の概略を把握するには十分な判定が得られたと考えられたが、目視点検だけでは柱基部（地中部）の損傷判定が困難であったことが明らかとなった。
- (2) 鉄筋の取替え量で被災度を評価した場合、コンクリートのひび割れ状況等により目視点検の判定とは、被災度判定が異なる場合が地上部における判定基数の約1割について生じることが判明したが、それらの被災度は軽微なものがほとんどであり、震災直後の被災度把握には問題ないと考えられた。
- (3) 損傷度と損傷形態を、既設橋脚の耐震性能にて評価した結果、せん断曲げ耐力比が約1.2以上確保されていた橋脚については、せん断破壊が認められなかった。ただし、曲げせん断破壊は、せん断曲げ耐力比が大きい橋脚についても生じていた。
- (4) せん断耐力指標において約400gal以上が確保されていた橋脚については、甚大な被災が極端に減少する傾向が認められた。
- (5) Bランク以下の（傾斜の少ない）曲げ・曲げせん断破壊を生じた橋脚については、支承と橋脚の損傷度の傾向に相関関係が認められた。この傾向から、支承が損傷を受けたことにより橋脚に作用するエネルギーが低減されたと考えられる。

（参考文献）

- 1) (社)日本道路協会：道路震災対策便覧－震災復旧編、昭和63年
- 2) (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委員会報告書、1997.4
- 3) 林、幸左、安田「RC橋脚損傷度の定量的評価」（阪神高速道路公団第29回技術研究発表会論文集、平成8年度）
- 4) 田中、林、幸左、安田「RC橋脚損傷度の定量的評価」（第19回コンクリート工学年次論文報告集、1997.6）