

阪神・淡路大震災における支承・伸縮継手・ 桁間連結装置の被害と今後の設計のあり方

大阪市立大学 北田俊行¹⁾、ショボント建設(株) 加藤正晴²⁾、川口金属工業(株) 小塚 均³⁾
名古屋工業大学 後藤芳顯⁴⁾、駒井鉄工(株) 鮫島能章⁵⁾、日本鋼管(株) 塚本睦浩⁶⁾
(株)エスエ 安井 亨⁷⁾、オビス工業(株) 牧口 豊⁸⁾

本論文は、土木学会鋼構造委員会・鋼構造震災調査特別小委員会の中の支承・伸縮継手等分科会の調査・研究活動の概要と、その成果の1つである支承の代表的な被害状況を簡単にまとめると共に、日本道路協会の「兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧に係る仕様」をも踏まえて、支承の今後の設計法を議論する上で参考となる資料を提供している。支承の今後の設計法については、上部構造、落橋防止構造、および橋脚基礎などとの関連で、弾性設計レベルの地震力(レベルⅠ)、および地震時保有水平耐力に相当する地震力(レベルⅡ～Ⅲ)に対して、どのような設計法があるのかについて言及している。

1. はじめに

本論文は、土木学会鋼構造委員会・鋼構造震災調査特別小委員会の中の支承・伸縮継手等分科会の平成7年10月までの調査・研究活動の概要とその成果である支承の代表的な被害状況の概要を簡単にまとめると共に、支承の今後の設計のあり方について、日本道路協会の「兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧に係る仕様」^{1)、2)}(以下、復旧仕様という)をも踏まえて、支承・伸縮継手等分科会で討議した結果をとりまとめたものである。

また、本分科会の活動成果は、来年度に土木学会から出版される予定の阪神・淡路大震災報告書の「第4編 土木構造物の被害原因の検討、第5章 鋼

構造物」の中にも反映されることになっている。

本分科会において、被害状況の調査は、アンケート用紙を関連機関に送付し、回答していただく方法により実施した。しかし、支承・伸縮継手・桁間連結装置については、①橋梁の下からほとんど見えない被害であること、②関連機関が復旧工事で多忙であること、および、③確かに技術的には大切であるが一般に見えない大きな被害をあえて公表し、人々にあらぬ動揺・混乱を与えることに対する方針が関連機関において明確にされていないことなどのために、現時点においては、特に大きな被害を受けた構造物を数多く管理する機関からのアンケートの回収率が良くなかった。そこで、支承・伸縮継手・桁間連結装置全般の被害の状況や統計については、アンケートの回答がもう少し集まった後に、別途に報告させていただくとして、本論文においては、現時点までに入手したデータの中から支承の代表的な損傷のみを、通常の点検で用いられている損傷の分類に従って、整理して紹介するにとどめることとした。

さらに、現在、復旧仕様に基づいて、被災構造物の復旧が活発に行われている。そこで、ここでは、復旧方法のコンセプトを簡単に整理するとともに、支承の今後の設計のあり方について、上部構造、落橋防止構造(落橋防止壁、および桁間連結装置)、橋脚柱、および橋脚基礎(アッカーボルト、アッカーフレーム、および基礎杭・ケソ)などとの関連で、弾性設計レベルの地

キーワード：阪神・淡路大震災、支承・伸縮継手・桁間連結装置、被害・設計法

1) 大阪市立大学工学部・土木工学科、06-605-2765

2) ショボント建設(株) 03-3292-8107

3) 川口金属工業(株)大阪支店・設計部 06-374-3350

4) 名古屋工業大学工学部・社会開発工学科

(土木系) 052-735-5486

5) 駒井鉄工(株)橋梁設計部・設計二課 06-475-2112

6) 日本鋼管(株)大阪支社・橋梁・鉄構部設計室

06-223-7586

7) (株)エスエ・大阪支社技術部・技術1課 06-943-1486

8) オビス工業(株)第二事業部 03-3433-1395

震力（レベルⅠ）、および地震時保有水平耐力に相当する水平地震力（レベルⅡ～Ⅲ）に対して、どのような設計法があるのかについても言及している。

2. 被害調査

（１）アンケート調査

アンケートは、表-1に示す調査項目をもとに作成した表形式のアンケート用紙にて各管理団体に依頼した。その際、支承の損傷度区分は、原則として、道路橋震災対策便覧（震災復旧編）³⁾に示されている方法に従うこととした。しかし、既に膨大な調査を終わっている団体もある事を勘案し、各団体独自の損傷度区分でも良いこととした。また、桁間連結装置は、連結のタイプ図と損傷度との簡単な定義を、さらに伸縮装置にも簡単な損傷度の定義を提案し、添付した。

現在問い合わせ団体の4割ほどから回答を入手している状況であるが、主として被害の大きかった団体からの回答率が低い状況にある。

（２）支承の代表的な被害事例およびその原因

今回の地震において、震度5以上の広い地域におけるほぼ全ての橋梁の支承に何らかの損傷が発生したものと考えられる。しかし、ここでは、それらの中から典型的な損傷事例のみを、その原因を推定しながら示している。

a) 沓座モルタルの損傷

写真-1には、線支承（固定）の沓座モルタルの破壊事例を示している。設計年度の古い橋脚は、一般に桁かかり長が不足しており、モルタル部の損傷が下部構造におよぶ事例も多く、ひどい場合には下部構造の欠落など大きな損壊が見られる事例もあった。

b) アンカーボルトの被害

写真-2は、複数ローラー支承においてアンカーボルトが抜け出した事例である。支承高さが高く、セトボルトや支承本体に損傷が少なかった支承は、水平地震力による曲げモーメントにより、アンカーボルトに引張力が作用し伸びが発生するものと考えられる。高架橋における大部分の支承は、アンカーボルトより先に、セトボルトが伸びたり破断している事例が多かった。

c) サイドブロック部の損傷

写真-3は、支承板支承のサイドブロックの破断事例である。大きな水平地震力（一部には大きな上揚力も考えられる）により、脆性的にサイドブロックが破断され

ている。本事例の支承は、比較的古く、サイドブロックが下沓と一体化されている。しかし、ボルトで止められた新しい形式のサイドブロックの場合は、ボルトの伸び、および破断などの損傷が見られた。この場合、個々の部品自体にはそれ程損傷はなく、ボルトの破断により、支承が分解したような損傷形態が多く見られた。また、サイドブロックが壊れなかった場合、上沓突起部に変形、あるいは亀裂が発生する事例が見受けられた。

d) 荷重支持機能の損失

荷重支持機能の損失被害は、前述の沓座モルタルの被害のほかに、すべり支承のベアリソングプレート、ころがり支承のローラー、およびピソンの抜け出しなどである。

写真-4は、支承板支承のベアリソングプレートが抜け出した事例である。激しい地震動による桁の過大な横移動や、たたきつけなどにより支承が分解し、ベアリソングプレートに大きな損傷、および脱落が起こったと考えられる。

写真-5は、一見普通のピソソ支承に見えるが、可動ピソソロー支承のローラー部分が枠と一緒に全て脱落してしまった例である。ローラー支承やピソソロー支承は、ピソソやローラーの抜け出し、および破断による損傷が数多く発生した。

今回は地震発生時刻が早く、交通量がほとんど無かったため、これらの損壊部品による大きな2次災害は報告されていないようである。しかし、今後、市街地の高架道路などでは、損壊した部品の飛散による2次災害の防止対策についても検討する必要があるものと考えられる。

e) 支承損壊による主構造の被害

写真-6に示すよう、箱桁に多く用いられていたピソソ支承やローラー支承は、その損傷が、上部構造の桁端部に大きな損傷をもたらす結果となった。この種の損傷は、従来それ程問題視されていなかったが、今回の地震では箱桁が連続する区間に数多く発生し、早期復旧を困難にする原因となった。

図-1には、これらの損傷が発生するメカニズムの例の概念図を示している。激しい地震動による橋脚のたわみや桁の上下動により、損傷した支承は一転して桁端部を傷つける凶器となった事例が多かった。支承が破壊しても桁端部に損傷を与えないような構造としたり、あるいは、復旧仕様の解説^{1)、2)}に示されるように、桁を弾性的に支持すると共に、支承面積

表-1 アンケート依頼先、および調査事項

<調査依頼先>

建設省、日本道路公団、本州四国連絡橋公団、阪神高速道路公団、
兵庫県、神戸市、大阪市、東海・西日本旅客鉄道、阪急電鉄、阪神電鉄

土木学会鋼構造委員会
鋼構造震災調査特別小委員会
支承・伸縮継手等分科会

鋼橋の支承・耐震連結装置・伸縮継手の被害についての調査事項

1. 路線、場所等

- 1) xxx 道路xx 線 橋脚 Pxxx 場所 xx 市 xx 区(町)・・・
- 2) 竣工年 19xx年(昭和、平成)xx年)
- 3) 適用示方書

2. 被害橋梁の特性

- 1) 支承のタイプ(線、BP、ピン、ローラー、ピボット、ピボットローラー)(可動、固定)
- 2) スパン(xx m+ xx m+xx m)
- 3) 上部構造形式(I桁、箱桁、その他) (非合成、合成、鋼床版)
- 4) 支持形式(連続、単純、ゲルバー)
- 5) 橋脚の種類(RC、鋼製)(T型、門型)
- 6) 支承の移動制限装置の種類(サイドブロック形式、下沓一体形式、無)
- 7) 耐震連結装置の種類(ピン・ピン型、ピン+固定型、3ピン型、連結板固定型・・・)
- 8) 伸縮装置の形式(鋼製フィンガー、ゴム製、・・・)
- 9) その他特記すべき事項(ダンパー有、曲線桁、特殊移動制限装置・・・)

3. 支承、桁間連結装置、および伸縮装置の被害の状況

- 1) 橋脚の破壊状況
- 2) 桁の移動(有、無、落橋防止装置の破壊のみ、桁破壊まで、落橋)
- 3) 桁の移動量(橋軸方向 xx mm、橋軸直角方向 xx mm)
- 4) 支承の破壊状況
 例えば下記のような状況とそれが判る代表的な写真、および橋脚上被災度の割合など
 設置位置 (外桁、内桁、その他)
 セットボルト等 (正常、緩み、破断、ボス変形、その他)
 上沓、ストップ (正常、亀裂、欠損、破壊、その他)
 ローラー、ピン (正常、当たり傷、抜け出し、破壊、その他)
 下沓 (正常、変形、破壊、その他)
 移動制限装置 (正常、亀裂、変形、ボルト破断、破壊、その他)
 アンカーボルト (正常、緩み、抜け、曲がり、破断、その他)
 沓座 (正常、モルタル亀裂、モルタル破壊、溶接破断、その他)
 その他特記すべき事項()

5) 桁間連結装置の破壊状況

- 例えば下記のような状況とそれが判る代表的な写真、および橋脚上被災度の割合など
- | | |
|------------|---------------------------|
| 設置位置 | (外桁、内桁、桁と控え材、その他) |
| 腹板等の母材 | (正常、曲がり、亀裂、破断、抜け、その他) |
| 補強板 | (正常、曲がり、亀裂、圧潰、破断、その他) |
| 連結板 | (正常、遊間異常、曲がり、圧潰、破断、その他) |
| ピン | (正常、当たり傷、曲がり、抜け出し、破壊、その他) |
| その他部位 | (正常、当たり傷、曲がり、飛び出し、破壊、その他) |
| その他特記すべき事項 | () |

6) 伸縮装置の破壊状況

- 例えば下記のような状況とそれが判る代表的な写真、地域別被害状況(被災度の割合など)、および取付け部の橋面の破壊状況
- | | |
|------|-------------------|
| 伸縮装置 | (段差の有無、遊間閉じ、遊間開き) |
| 走行性 | (通行不可、通行注意、被害無し) |

7) 提供して頂く資料について

損傷や被害の状況は、道路協会の震災マニュアルのものに限らず独自で作成されたデータや資料(地域別、路線別、形式別で集計された被害状況、判定など)があれば頂きたい。

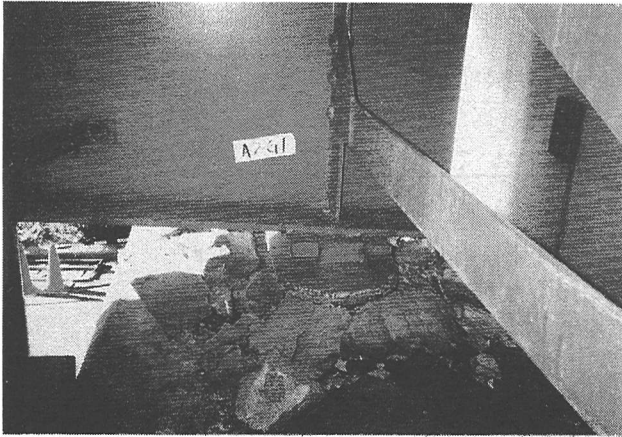


写真-1 沓座モルタルの損傷

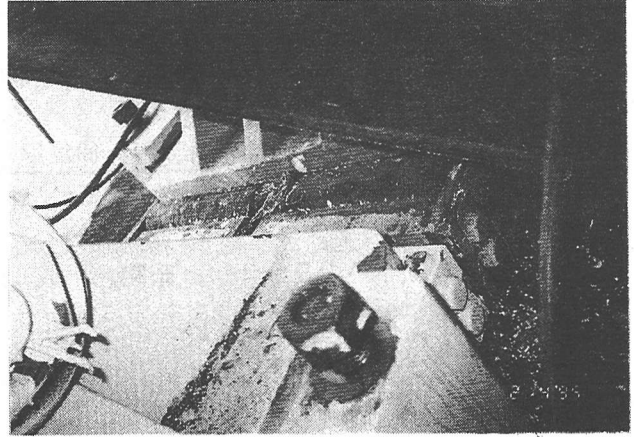


写真-2 アンカーボルトの被害

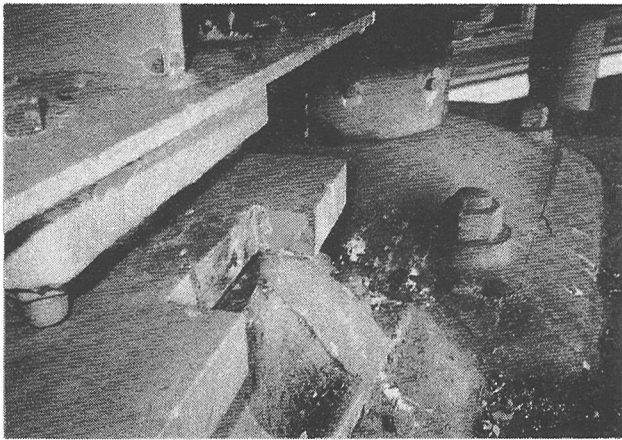


写真-3 サイドブロック部の損傷



写真-4 ベアリングプレートの抜け出し

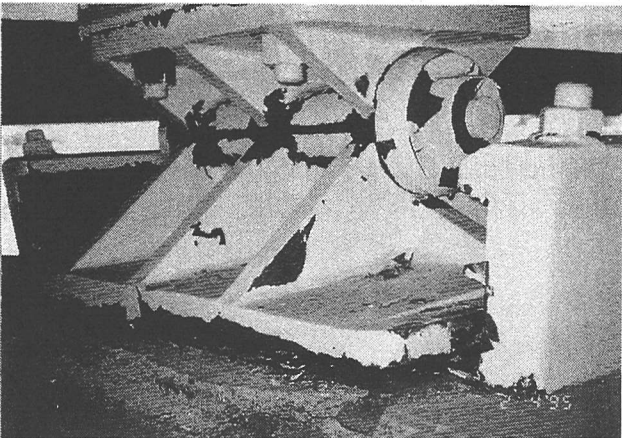


写真-5 ローラーの抜け出し



写真-6 支承による上部構造の被害

を大きくし上部構造を逸脱しにくくしたり、万一逸脱しても支承高さを低くし、段差・衝撃が少なくなるようなゴム支承の採用などについて検討することが必要である。

f) 橋全体における支承の強度について

橋全体における支承の役割を考える上での興味深い写真を、写真-7と写真-8とに示す。

これら2枚の写真には、同一路線の非常に近接した所に位置している橋梁の桁端部の被害状況を示している。写真-7の桁は上沓が横を向くほど上部構造の桁端部に大きな損傷を受けている。しかし、写真-8の桁は、大きな損傷がなく桁全体が横移動している。すなわち、地震動の早期に支承がヒューズメカニ的に抜け落ちてしまった桁は大きな損傷をまぬがれ、

逆に支承が損傷しなかった桁は、端部に大きな損傷を被っている。復旧という面から考えた場合、写真-8の事例は写真-7の事例よりはるかに容易であると考えられる。

この事例は、今後の支承の合理的で経済的な耐震・免震設計のあり方について検討する上で、重要な意味を持っていると考えられる。すなわち、基礎から上部構造までを1つの構造物として耐震設計あるいは免震設計していく上で、復旧仕様¹⁾・²⁾のように支承をさらに強固にするのがいいのか、あるいはヒューズメカニクとして計画的に壊すように設計するのがいいのかを議論する上で、有用な参考資料になると考えられる。

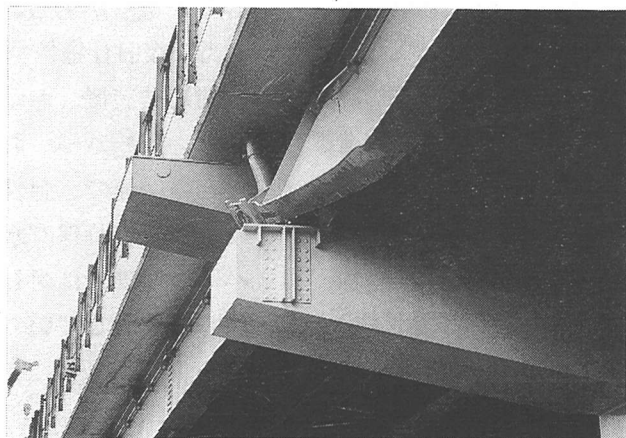


写真-7 支承と上部構造との被害（桁端部の損傷）

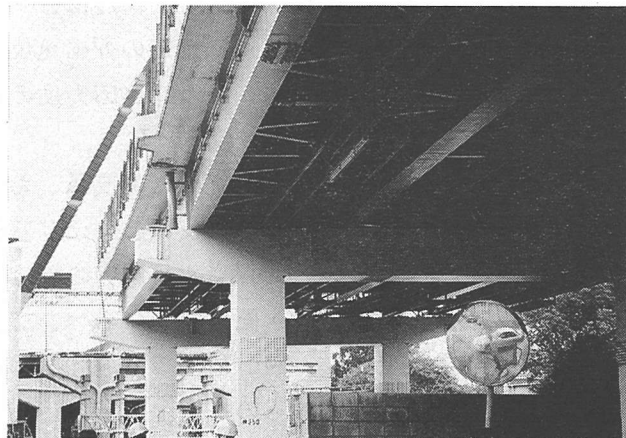
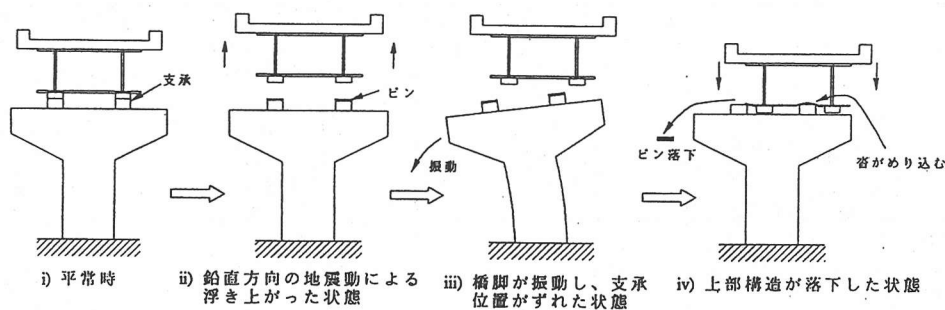
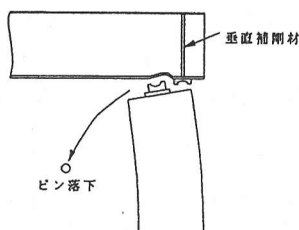


写真-8 支承と上部構造との被害（支承の被害）



(a) 支承位置における横断面（橋軸直角方向にずれた場合）



(b) 側面図（橋軸方向にずれた場合）

図-1 支承の破損による上部構造損傷発生メカニズムの例⁴⁾

3. 復旧仕様における支承・桁間連結装置の設計の考え方

表-2、および図-2には、地震の規模を1～3の3つのレベル、橋脚区分をI～IVの4つの区分に分類した鋼製橋脚の種々のレベルの耐震設計法のコンセプトをまとめている⁴⁾。図-2には、復旧仕様における橋脚、支承、落橋防止構造（落橋防止壁、および桁間連結装置）、および橋脚基礎（アカー・ボルト、アカー・フレーム、および基礎杭・ケツ）の設計レベルをも示している。復旧仕様において、橋脚基礎、および支承は、橋脚の地震時保有水平耐力に相当する地震力に対して耐える構造とすることとしている。ただし、橋脚基礎については、地震時保有水平耐力に相当する地震力が作用地震力に対して大きく上回る場合には不経済な設計となるため、設計地震力の最大値を作用地震力の1.5としている。また、落橋防止構造は、桁の落下を確実に防止するため、上部構造の死荷重反力に等しい水平力を用いて、1.5倍の許容応力度の割増しは行わずに設計するものとしている。

さらに、復旧仕様のコンセプトに従って、支承、および橋脚基礎を壊さないためには、支承、および基礎の設計に用いる橋脚の地震時保有水平耐力の計算には、橋脚材料の実測の強度・剛性を用いるべきであると考えられる。しかし、設計段階で実測強度・剛性は不明であるため、これらの推定上限値を用いる

ことになるが、その際、コンクリートの材料強度・剛性は、鋼に比較して、ばらつきが大きいいため、RC橋脚では、支承、および基礎の設計に際し、この点を十分に配慮する必要があると考えられる。

4. 今後の支承の耐震設計について

図-2、および表-2に示した鋼製橋脚のように、①支承をヒューズ・メンバー的に設計したり、また、②死荷重を支持する機能と水平地震力（あるいは風荷重）に対処する機能とを分離し、それぞれの機能ごとに異なる支承を設けるなど、支承にも、種々の設計法が考えられる。支承の種々の設計法の概念図を、作用地震加速度と変形性能との関係で示したのが図-3である。横方向の地震力に対しては、図中に示すように、レベルIの地震に対しては、伸縮継手を防護するため、ストップを設けることも必要となるかもしれない。今後は、この図や図-2、および復旧仕様^{1)・2)}を参考に、支承、落橋防止壁、桁間連結装置、および伸縮継手を、上部構造、アカー・ボルト、アカー・フレーム、および基礎杭（あるいはケツ）などとの関連で、弾性設計レベルの地震力（レベルI）、および地震時保有水平耐力に相当する水平地震力（レベルII～III）に対して、どのように設計すべきなのかを、検討していくことが必要である。

表-2 橋脚の区分と損傷の程度^{4)・5)}

橋脚区分	対象地震		耐用年限中に発生する確率の高い中程度の地震	耐用年限中に稀にしか起こらない大地震（関東大震災クラス）	耐用年限中に発生する可能性がほとんどない超大地震（兵庫県南部地震クラス）
	想定加速度	水平動	(レベルI)	(レベルII)	(レベルIII)
		地盤面構造物上	150 - 200 gal	300 - 400 gal	400 - 800 gal
	上下動	250 - 300 gal	1,000 gal	2,000 gal	
想定水平変位	100 gal	200 gal	400 gal		
		5 cm	20 cm	50 cm	
I	大地震の発生の可能性があり、補修のための迂回路の設置が可能な地域の橋脚		損傷を受けない	機能を失うが、崩壊しない	崩壊してもよいが、他の構造物や道路の機能を妨害しない。
II	大地震の発生の可能性があり、物理的、経済的、あるいは政治的に迂回路を設置するのが不可能な地域の橋脚		損傷を受けない	機能を失わず、使用中に補修できる程度の損傷を受ける。	機能を失うが、崩壊しない
III	大地震の発生の可能性があり、社会的に極めて重要な地域にある橋脚		損傷を受けない	損傷を受けない	機能を失わず、使用中に補修できる程度の損傷を受ける。
IV	大地震の発生の可能性があり、社会的に極めて重要な地域内の特に重要な地点にある橋脚		損傷を受けない	損傷を受けない	損傷を受けない

注：想定加速度、および想定水平変位の大きさについては、今後十分に検討する必要がある。

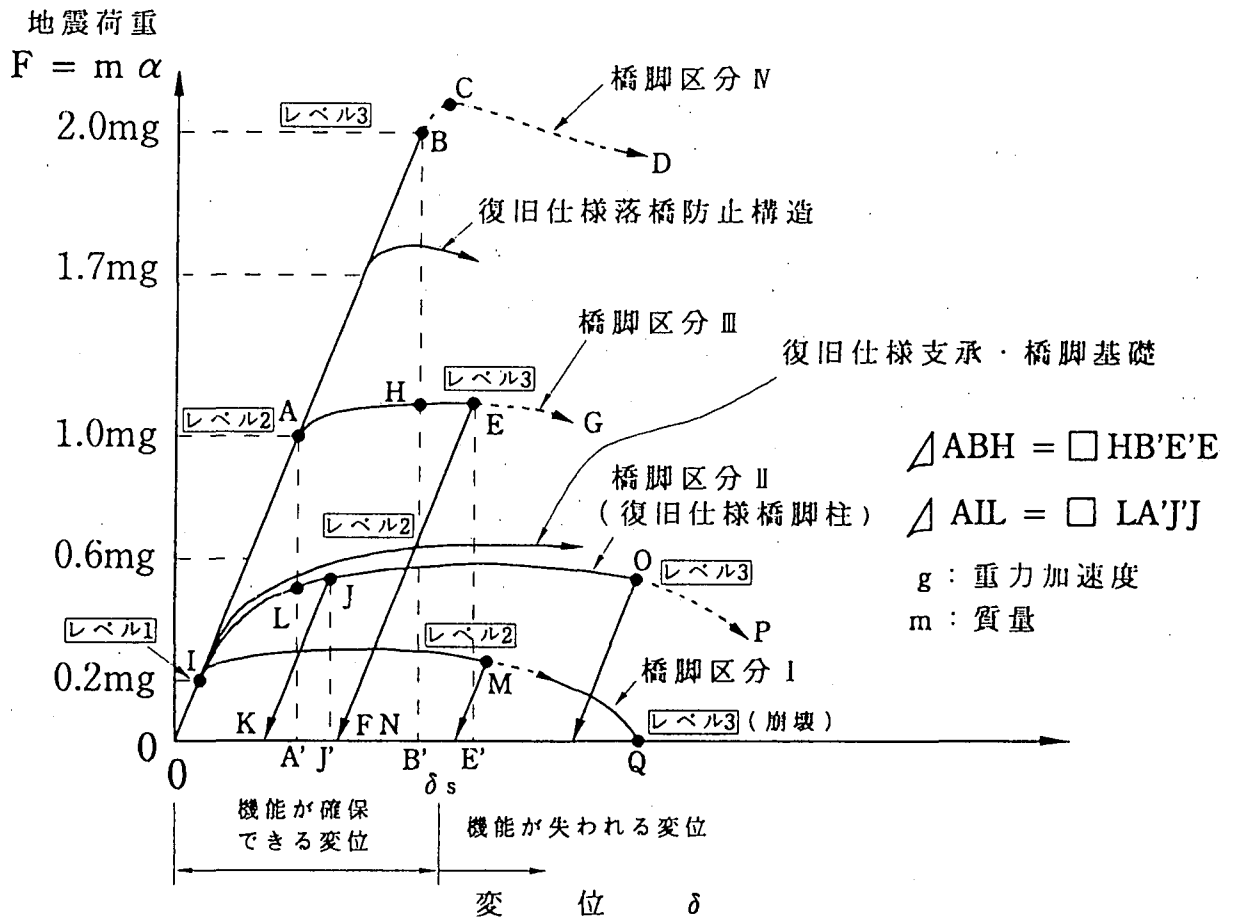


図-2 区分Ⅰ～Ⅳの橋脚にレベル1～3の地震が作用したときの挙動の違いを説明する概念図⁴⁾

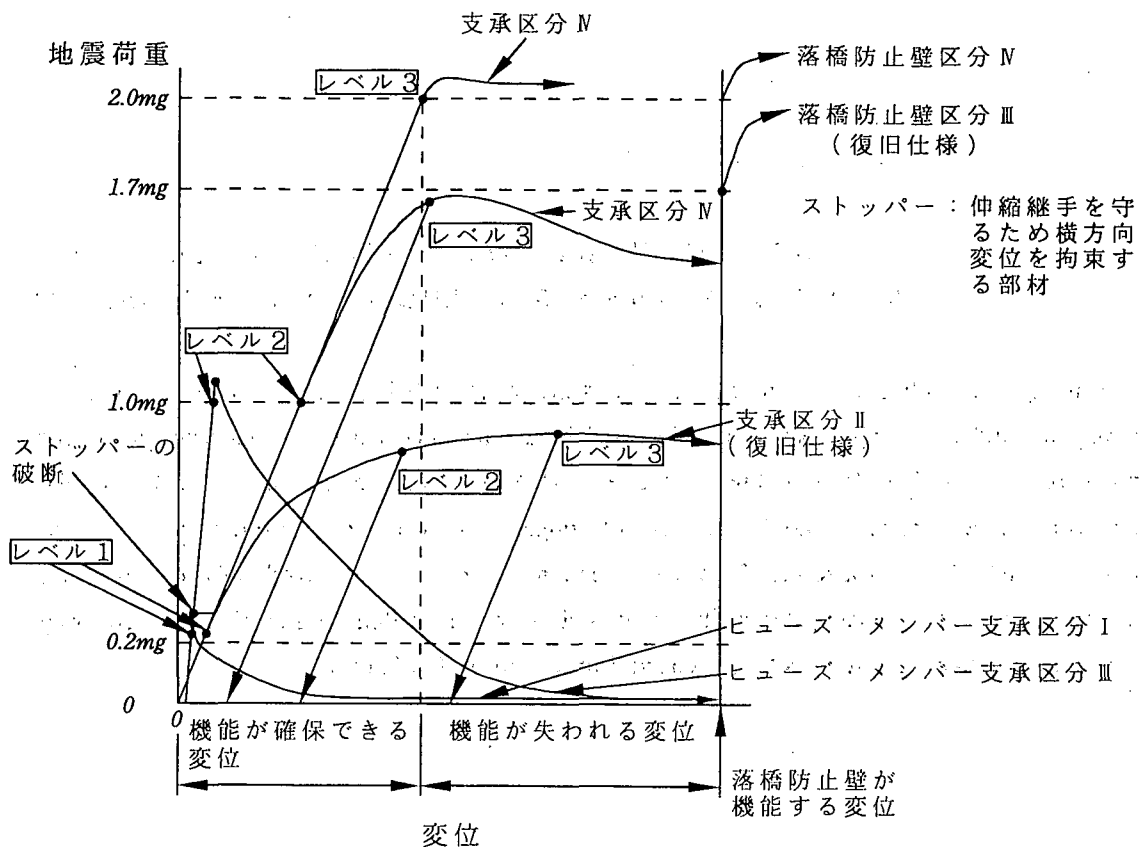


図-3 固定支承(ゴム支承も含む)、および水平横方向力を受ける可動支承の種々の設計法の概念図

5. まとめ

本論文は、土木学会鋼構造委員会・鋼構造震災調査特別小委員会の中の支承・伸縮継手等分科会の平成7年10月までの調査・研究活動の概要をまとめたものである。

被害データ収集の関係で、今回は、支承の被害の報告のみにとどめたが、支承・伸縮継手・桁間連結装置全般の被害の状況や統計については、阪神・淡路大震災報告書の「第4編 土木構造物の被害原因の検討、第5章 鋼構造物」、および鋼構造震災調査特別小委員会の報告書などで報告させていただく予定である。

また、アンケート調査やその他の方法で、種々の損傷データを提供いただいた関係機関に対して、感謝の意を表します。

さらに、本論文が、支承・伸縮継手・桁間連結装置の復旧、あるいは合理的で経済的な耐震・免震設計法を模索・検討していく上で、参考になれば、幸いである。

[参考文献]

- 1) 日本道路協会：兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧に係る仕様および復旧仕様の解説（案），平成7年2月
- 2) 日本道路協会：兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧に係る仕様」の準用に関する参考資料（案），平成7年6月
- 3) 日本道路協会：道路震災対策便覧（震災復旧編），4-3 橋梁の応急復旧，丸善（株），pp.61～93，昭和63年2月
- 4) 北田俊行：第1編 鋼製・合成橋脚のダクティリティを考慮した耐震設計法、阪神高速道路公団・日本鋼構造協会：鋼製橋脚の塑性時の変形性能に関する研究業務（報告書），pp.1～69，平成7年3月
- 5) 土木学会鋼構造委員会・鋼構造終局強度研究小委員会：鋼構造物の終局強度と設計，4.1 鋼構造物のダクティリティを考慮した設計法，pp.303～320，土木学会、平成6年7月

Damage of Bridge Bearings, Expansion Joints and Bridge Restrainers

by Great Hanshin-Awaji Earthquake
and Seismic Design Methods for Them

By Toshiyuki KITADA, Masaharu KATO, Hitoshi KOZUKA, Yoshiaki GOTO
Yoshiaki SAMEJIMA, Munehiro TSUKAMOTO, Toru YASUI and Yutaka MAKIGUCHI

This paper describes the outline of survey and investigation being carried out by the Working Group on bridge bearings, expansion joints and bridge restrainers between adjacent girders for preventing the bridges from falling in the Special Sub-Committee on Survey of Earthquake Disaster of Steel Bridges in JSCE. Damage of bridge bearings arranged according to its type of damage is introduced as a result of the survey. Future seismic design methods of bridge bearings are also discussed considering the method proposed by the Japan Road Association for recovering destroyed or damaged structures by the Great Hanshin-Awaji Earthquake.