

## 第3章 支承部の損傷

### 3.1 常時における支承部の損傷

橋梁構造物には、死荷重や活荷重などの鉛直荷重、風荷重や地震の影響による水平荷重が作用しており、支承部は、これらの荷重を絶えず繰り返し支持している。支承部が担う常時の機能には、橋梁の上部構造に作用する死荷重や活荷重などの鉛直方向の力を支持する鉛直力支持機能が挙げられ、活荷重による桁のたわみやねじれによる回転に追随する機能も求められる。さらに、可動支承の場合には、回転機能に加え、温度変化やコンクリートのクリープなどによる桁の水平移動に追随する機能も求められる。このように、支承部にはさまざまな機能が求められており、橋梁構造物が安全にかつ十分な機能を発揮するため、支承部は大きな役割を担っている。

しかし、支承部の設置されている環境は、維持管理上よいとはいえない。昭和50年代以前に建設された橋梁には単純桁が多く、そのため、支承部の設置されている箇所は、桁端部あるいは桁の架け違い部となることから、伸縮装置からの漏水の影響を受けやすく支承部の腐食原因となっている。また、維持管理が考慮されていない橋梁構造では、橋梁端部が狭あい部となっていることが多く、支承部に近づくことができないこともあって、十分な点検が行われず損傷に気付かない場合もある。しかし、支承部に求められる機能が、何らかの原因によって支障をきたすと、支承部の損傷のみならず、橋梁全体に不具合を生じることとなるため、支承部の点検は特に重要である。管理機関によっては、支承部の点検を定期点検の頻度より多く設定している場合もある。

ここでは、常時における支承部の損傷について着目し、公表されている文献および点検データの分析から、支承部の損傷形態や要因について考察する。なお、ここで取り扱う損傷には、施工時の不具合や支承の機能低下なども含めている。

#### 3.1.1 支承部の損傷形態

支承部の設置箇所における環境条件は非常に厳しく、支承部の損傷形態は図3.1に示すように多岐にわたっている。鋼製支承の場合には、支承本体の損傷（き裂、破断）やローラーのずれや落下、移動制限装置や浮き上がり防止装置の損傷、およびボルト類の損傷などが挙げられる。支承周りまで考えれば、台座コンクリートや沓座モルタルの損傷も挙げられる。ゴム支承の損傷項目としては、ゴムの劣化や逸脱、ゴムのひび割れ、めくれ、はらみなどの損傷のほか、鋼製支承と同様に移動制限装置やボルト類、沓座モルタルの損傷といった損傷形態がある。また、可動支承と固定支承とを比較すると、可動支承に多くの損傷が見られる。代表的な損傷事例を写真3.1～写真3.4に示す。

支承は、機械製品のように精密な構造になっているため、定期的な維持管理や必要に応じて部品交換を行いながら長寿命化を図る必要がある。また、補修しやすいように支承部周辺を下部構造天端より一段高くしたり、点検が安全かつ容易にできるように点検施設の設置や手すりなどの設備を充実させたりすることが必要である。さらに、支承部の延命を図る上では溶融亜鉛めっきなどの防食対策も重要となる。

損傷の形態としては、鋼製支承もゴム支承も同じような傾向になるが、損傷の絶対的な数は古くより用いられている鋼製支承の方が多い。しかし、必ずしも“絶対数が多い＝悪い”とはいえず、鋼製支承においても日々の技術開発や地震の経験などから、耐力の増加や材料の変更など、さまざまな改良がなされてきている。一方、ゴム支承を使用した橋梁の耐震設計の歴史はまだ浅

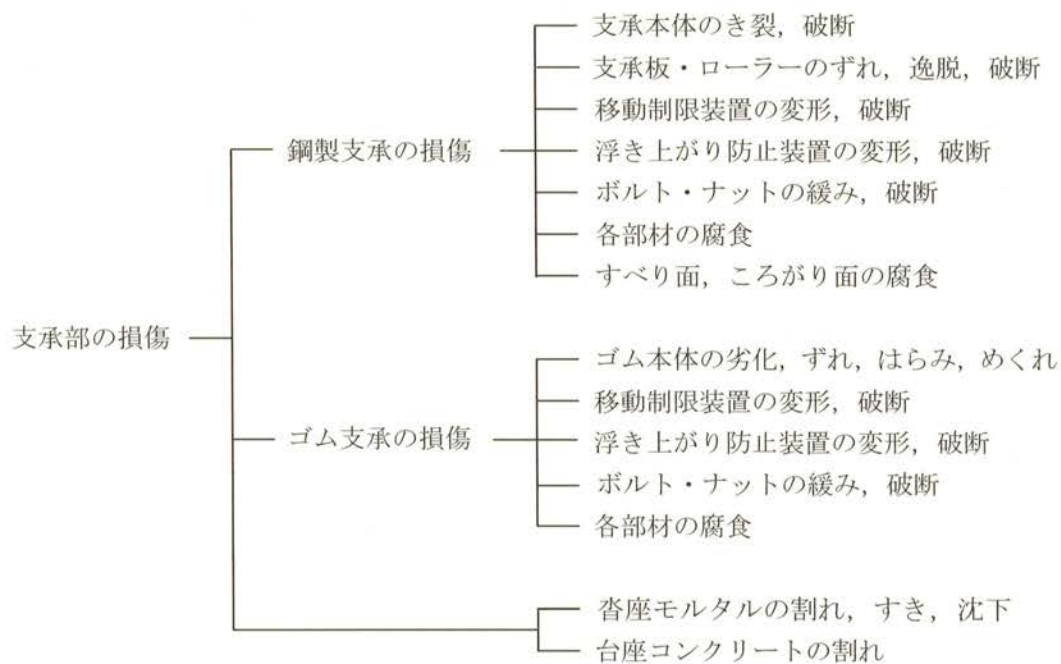


図 3.1 常時における支承部の損傷形態



写真3.1 ピニオンの破断



写真3.2 支承本体の腐食



写真3.3 セットボルトの破断



写真3.4 沓座の沈下

く、せん断剛性や変形性能のばらつきとその影響、疲労耐久性、引張状態での耐久性、ゴム材料と鋼板との接着耐久性、被覆ゴムの耐久性など、必ずしも十分に検証されていない点もある。このため、十分な安全性が確認された範囲で使用する必要があることから、以下に示す各支承の損傷傾向とその要因を的確に把握するとともに、おのこの橋梁形式や周囲の環境に適した支承を選定することが必要となる。

### 3.1.2 支承部の損傷形態と要因

支承部は、図 3.1 に示したように、さまざまな損傷が生じている。これらの損傷が発生した要因としては、①設計時に起因するもの、②上・下部構造の建設時や支承据え付け時に起因するもの、③供用後の維持管理に起因するもの、などに大別できる。

設計時に起因するものとしては、曲線橋や斜橋などの橋梁形式に不適合な支承を選定する事例が挙げられる。この場合、支承部の機能が十分に発揮できず、支承部にずれや変形を生じさせる恐れもある。また、負反力の照査不足などにより、アンカーボルト・ナットに緩みや破断した事象も見られている。このほか、橋脚天端における支承縁端距離の確保、支承の位置や台座部の配筋などにも配慮が必要である。

橋梁建設時では、上部構造と下部構造の施工時期や施工業者が異なるために、連絡調整が不十分なことによる不具合が発生している。例えば、下部構造におけるアンカーボルトの箱抜き位置が不正確なために、アンカーボルトの埋込み長さが不足する場合や移動可能量が確保されないなどの不具合が生じ、これに起因する損傷事例も多く見られる。また、下沓の水平度や上・下沓の平行度の精度が低いまま据え付けられることで、支承本来の機能が十分に発揮できないばかりか、支承部にずれや割れが発生した事象も見られる。

供用後の維持管理の段階においては、伸縮装置部の取替え工事などに伴うコンクリート片や土砂等が支承部付近に堆積したり、雨水や漏水などにより支承部周辺が常に湿潤状態となったことで、腐食等の損傷が促進される劣悪な環境となっている事例も見られる。

ここでは、図 3.1 に示した支承部の損傷形態に基づき、鋼製支承とゴム支承における、損傷事例と要因について述べる。

#### (1) 鋼製支承の損傷形態と要因

##### a) 支承本体のき裂、破断

支承本体のき裂や破断は、下沓突起やサイドブロック付け根に発生する場合と下沓中央付近に発生する場合がある。前者は、橋軸直角方向に過大な力が作用したことによるものと考えられる。後者は、写真 3.5 に示すように下沓中央付近の沓座モルタルが部分的に空隙となっていたことで、曲げあるいはせん断力の作用により破断したものと考えられる。

材料的にみると、昭和 55 (1980) 年以前の支承では、主要部材に鋳鉄を用いた場合があり、その後も強度との兼ね合いから SCMn1A 材などが用いられていた。鋳鉄および SCMn1A 材のじん性は乏しく、想定されていない外力の作用により脆性的な破壊となったことも考えられる。しかし、現在では、そのような観点から支承の主要部材には SCW480N 材や SM490A 材等が用いられ、



写真 3.5 下沓本体の破断

さらに、兵庫県南部地震以降、支承の設計荷重も変更され、支承本体の耐荷力は大幅に増加していることから、支承本体が破断するような損傷は報告されていない。

#### b) 支承板・ローラーのずれ、逸脱、破断

損傷の形態としては、ローラーや支承板などのずれ、落下、逸脱や破断などが挙げられる。その要因として、伸縮装置部からの漏水等により発生したさびによる摩擦抵抗力の増加が考えられる。また、支承設置時における上沓と下沓の平行度の不具合により、ピニオンが破断したり、カバープレートが損傷したりする可能性もある。さらに、上部構造や下部構造の施工誤差や負反力の作用により、ローラーがずれたり、逸脱したりすることも考えられる。

定期的な目視点検により、外観の損傷は容易に発見できるが、内部の損傷を発見することは非常に難しい。しかしながら、外観の損傷や異常から内部の部位の損傷を予測することは可能であり、例えば、ギーギーといった異常音は、ローラーが潤滑に可動していないと想定する一手法である。このことから、ローラー部の腐食を推測することができ、写真3.6に示すカバープレートの変形や欠落は、ローラー本体の変形により上沓の沈下によって、カバープレートが押し出されたと推測できる。また、ローラーに変形が生じると、写真3.7に示すように、伸縮装置部には段差が生じるため、路面上からの点検によりローラーの変形を推測できる。伸縮装置部の段差は、走行性を損なうばかりでなく、橋梁床版に衝撃を与えひび割れの発生要因ともなり、床版の劣化速度を早めることになる。さらに、雨水などがカバープレートの欠落箇所から支承内部に浸入し、ローラーやピニオンなど内部の部材の腐食を促進させ機能低下につながることになる。



写真3.6 ローラーカバーの変形



写真3.7 伸縮装置部の段差

写真3.8は、一本ローラー支承においてローラーの逸脱を示したものである。この主な要因としては、可動支承と桁の移動・回転方向の不一致による摩耗により、逸脱ものと考えられる。

平成3（1991）年の道路橋支承便覧では、一本ローラー支承の使用に際し、移動方向と回転方向が一致する直橋のみの使用を原則としており、平成16（2004）年に改定された道路橋支承便覧では、特殊用途外への使用を控えるよう記述されている。また、ローラー部



写真3.8 一本ローラー支承のローラーの逸脱

で橋軸直角方向の水平力を支持する構造は、水平力支持を不確実にする恐れのあることから、水平力に対しローラー部で抵抗させない構造が望ましい（写真 3.9 参照）。なお、ローラーの格納部は、ゴミや水の浸入を防ぐ構造にするなど、維持管理しやすい環境の整備が必要である。

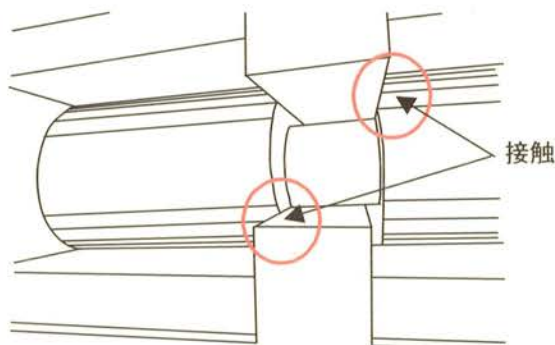


写真 3.9 ピボットローラー支承の損傷例（橋軸直角方向へのずれ）

#### c) 移動制限装置の変形、破断

常時における移動制限装置の損傷には、上沓ストッパー部や下沓立ち上がり部の変形、破断などが挙げられる。可動支承における全移動可能量は、温度条件等より定まる設計移動量と、施工上の誤差などによる変位を吸収するための余裕量を合算しているが、このような損傷が生じる要因としては、下沓の橋軸方向据え付け時の精度によるもの、橋台や橋脚の移動によるものなどが考えられる。

写真 3.10 は、BP・A 支承の遊間異常を示しており、サイドブロックが上沓ストッパーに接触している。この状態が放置されると、上沓ストッパー部の変形や破断に至ることも考えられる。

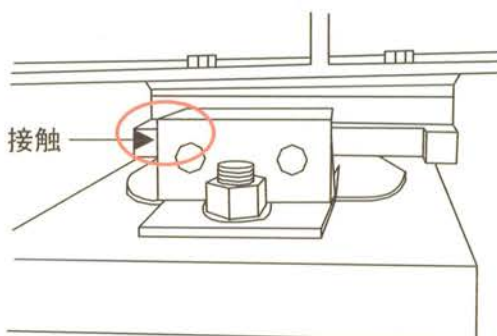


写真 3.10 BP・A 支承の遊間異常

#### d) 浮き上がり防止装置の変形、破断

浮き上がり防止装置の損傷の形態としては、変形、破断等のほか、線支承に用いられるピンチプレートが橋軸方向に回転するなどの事例もある。損傷要因としては、支承の沈下、橋台や橋脚の不等沈下や移動などが挙げられるほか、負反力を受ける支承の検討不足も考えられる。

写真 3.11 は、浮き上がり防止装置が橋軸直角方向に変形した事例を示している。

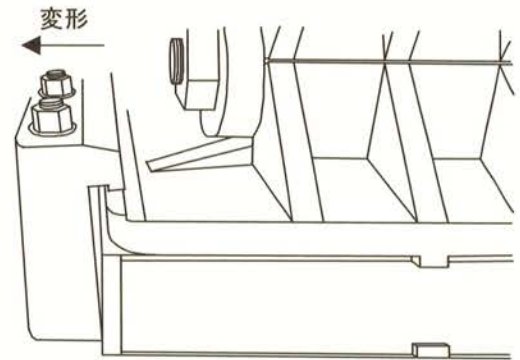
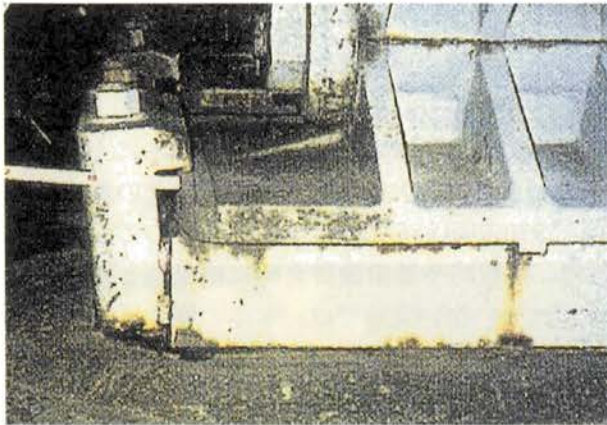


写真 3.11 浮き上がり防止装置の変形

## e) ボルト・ナットの緩み、破断

支承に用いられるボルトには、アンカーボルトや桁取付けボルト（セットボルト）、サイドブロックの取付けボルトなどがあり、その損傷形態としては、ナットの緩みや欠損、およびボルトの破断などがある。また、アンカーボルトの埋め込み長さの不足や、埋め込み過ぎによる締め込み長さの不足などもある。これらの原因としては、締め忘れ等の締め付け不良、長年の使用に伴う桁あるいは橋脚の振動作用、支承の沈下（特に、沓座が普通モルタルで施工されている場合）、橋台や橋脚の不等沈下、アンカーボルトの箱抜き深さが足りないにもかかわらず、当初の長さで施工してしまうなどが考えられる。また、ナットについては、振動による緩み、施工段階での締め付け不良などが挙げられる。

ボルト・ナットの損傷例を写真 3.12 および写真 3.13 に示しているが、繰り返し振動によりナットが緩むと、支承本体にがたつきが生じ、支承本体に損傷を与えるばかりではなく、支承の機能低下に繋がる場合がある。また、アンカーボルトの突き出しは、大きな負反力により発生した可能性があり、引抜き抵抗力が低下し、支承や橋梁本体への損傷が懸念されることから、詳細な調査が必要となる。なお、施工時の不具合によるアンカーボルトの突き出しは、規定の埋め込み長が不足していると想定され、早急に補修を行う必要がある。なお、欠落したナットは、直ちに設置する。



写真 3.12 沈下によるアンカーボルトの緩み



写真 3.13 ナットの欠落

#### f) 各部材の腐食

支承の損傷は、腐食に起因したものがもっとも多く、支承部の延命を図るうえで、支承の防食対策が重要となる。支承本体が腐食する要因として、雨や霧、および土砂などの堆積により、支承付近が常に湿潤状態となること、また、桁端部においては、伸縮装置部からの漏水による影響なども考えられる。支承本体の腐食は、環境条件により影響を大きく受けやすく、その環境は必ずしも防食塗装にとって良好な箇所とはいえない。1970年頃からは、支承の防食として亜鉛めっきを施工するケースが多くなっているが、それ以前は、建設時や橋梁塗替え時に橋梁部と同じ塗装系で施工されることが多く、維持管理のあまり行われていない支承では、本体の腐食も多く見られる。写真3.14にBP・A支承の腐食状況を、写真3.15には、一本ローラー支承本体の腐食状況を示しており、支承の機能低下が懸念される。



写真 3.14 BP・A 支承の腐食



写真 3.15 一本ローラー支承の腐食

桁端部においては、伸縮装置部からの漏水が大きな問題となる。排水装置の破損などにより、雨水などが支承部に降りかかり、周囲のじん埃などとともに支承部の腐食を助長することになる(写真3.16参照)。特に、積雪寒冷地においては、冬期に凍結防止剤(主にNaCl)を散布することから、伸縮装置部から塩化物イオンを多量に含んだ漏水が、腐食の進行を促進することになる。そのため、凍結防止剤の散布期間が終了したあとは、支承部の水洗浄を行い支持機能の低下を防止することも大切である。伸縮装置部からの漏水防止策として、伸縮装置の非排水化が広く普及しているが、バックアップ材や充填材の劣化によって漏水するケースがあるので、点検時に劣化が発見された場合には、取替えなど早期な補修を行う必要がある。また、下部構造施工時には台座に勾配を設け、台座周辺に滞水しないようにすることも重要である。伸縮装置部からの漏水に対して、写真3.17に示すように支承をカバーで覆うなどの対策を行う場合もあるが、支承の状況が把握できない上、風通しが悪くなることで、カバー内部が湿潤状態となり腐食などを進行させる恐れのあることから、適用に当たっては十分な検討が必要である。

写真3.18に示す土砂やゴミの堆積、また舗装改良工事などによるアスファルト合材、および伸縮装置取替え工事などにおけるコンクリートはつり片が落下して堆積すると、支承部付近を常に湿潤状態とさせるため、腐食を助長させる。特に、都市部においては、堆積物が交差道路等に落下して第三者被害を発生させる可能性もあり、定期的な清掃によって堆積物を除去する必要がある。



写真 3.16 伸縮装置部からの漏水による腐食



写真 3.17 支承の保護カバー



写真 3.18 支承付近の土砂堆積

## g) すべり面、ころがり面の腐食

すべり面やころがり面の腐食要因は、支承本体の腐食要因と同様であるが、すべり面やころがり面にさびが生じ、支承の滑動機能が低下すると、沓座の破壊や支承本体のき裂、破断へと進む可能性がある。昭和30年代頃から45年頃にかけて多く用いられた線支承は、可動支承の機能低下が起こると、場合によっては桁の水平移動を拘束し、支承周辺のコンクリートのひびわれを引き起こす要因となっていた。これは、上沓と下沓が無潤滑で線接触をしながらすべりを伴うことにより接触部が増大し、写真3.19に示すように、すべり面にさびが生じ、摩擦抵抗力が所定の値よりも大きくなるためである。このことから、線支承の適用は、支間の小さな直橋の固定支承に限定されるようになったが、近年では、使用されるケースは少なくなっている。

写真3.20は、複数ローラー支承において、ローラーおよび支圧板に摩耗の生じた例を示している。以前のローラー支承のローラーおよび支圧板には、S35C等が使われており、長年の使用に伴うさびなどの影響により、摩耗



写真 3.19 線支承の腐食

を生じたものと考えられる（写真 3.20(b), (c)参照）。なお、昭和 54（1979）年の道路橋支承標準設計以降、ローラーおよび支圧板には C-13B が使用され、耐食性の改善が図られている。



(a) ピンローラー支承



(b) ローラーの腐食



(c) 支圧板の摩耗

写真 3.20 ピンローラー支承の損傷例

## (2) ゴム支承の損傷形態と要因

### a) ゴム支承本体の劣化、ずれ、はらみ、めくれ

ゴム支承本体の損傷形態としては、環境条件による劣化、活荷重などによるずれやはらみ、めくれなどが挙げられる。損傷要因として、ゴム材料は、高分子化合物であり、その性質として、経年的な変化のあることなどが考えられる。また、桁の水平移動や回転、下部構造の変形などによる影響、支承に負荷される荷重状態（負反力の作用）なども考えられる。

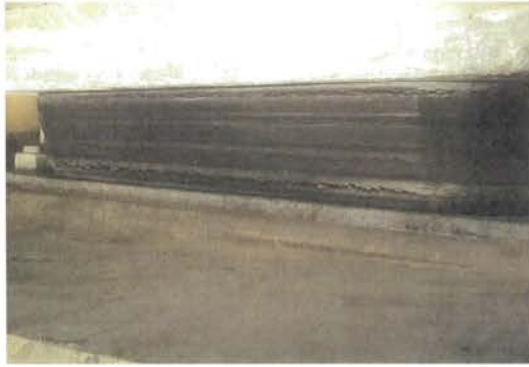
写真 3.21 は、オゾンによって被覆ゴムが劣化した事例である。ゴムは、オゾン劣化により高分子鎖が切断されき裂の発生しやすい状態となる場合もある。一般に、老化防止剤を配合し、表面皮膜を形成して防止しているが、外部に傷、くぼみ等の欠陥がある場合には、特に顕著となることもある。

写真 3.22 には、ゴム本体が破断した事例を示している。本写真は、コンクリート橋での一例であるが、コンクリート橋の場合には、コンクリートのクリープや乾燥収縮による影響も考えられる。

写真 3.23 は、すべりタイプの可動型ゴム支承において、ゴム支承本体上面に接着されている

PTFE板が逸脱した事例である。この原因としては、ゴムとPTFE板間の接着不良と考えられる。

写真3.24は、パッド型ゴム支承の回転事例を示している。パッド型の支承は、コンクリート橋で多用されており、上下に固定する部分がないため、橋梁の振動などにより、設置位置より逸脱する場合がある。また、斜角のある橋梁では、写真のように回転する場合もある。



(a) 全景



(b) き裂部分の拡大

写真3.21 被覆ゴムのき裂

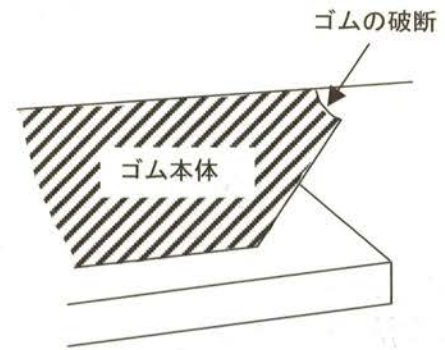


写真3.22 ゴム支承の破断

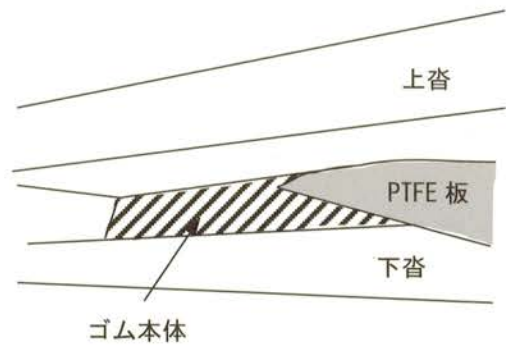


写真3.23 ゴム支承におけるPTFE板（テフロン板）の逸脱



写真 3.24 パッド型ゴム支承の回転

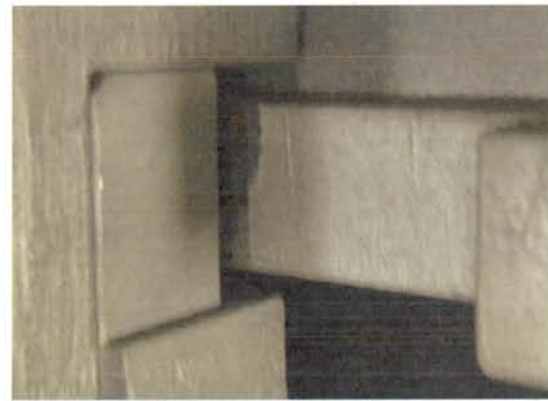
#### b) 移動制限装置の変形、破断

移動制限装置の損傷には、上沓ストッパー部の変形や破断、サイドブロックが上沓ストッパー部に接触している場合や接触寸前で移動量に余裕のない場合などがある。損傷要因として、下沓の橋軸方向据え付け時の精度によるもの、また、橋台や橋脚の移動によるものなどが考えられるほか、ゴム支承は、鋼製支承に比べ、全方向に動きが生じやすいことから、想定外の変形を生じた可能性も考えられる。

写真 3.25 は、サイドブロックが上沓に接触している事例であり、上沓には接触した痕（塗装のはく離）が認められる。これは、想定外の変形や施工誤差などが考えられる。



(a) 上沓とサイドブロックの接触



(b) 接触による塗装のはく離

写真 3.25 上沓とサイドブロックの接触

#### c) 浮き上がり防止装置の変形、破断

浮き上がり防止装置の損傷形態としては、浮き上がり防止装置の変形、破断などが挙げられる。損傷要因としては、鋼製支承の場合と同様に、支承の沈下、橋台や橋脚の不等沈下や移動などが挙げられる。

写真 3.26 は、ゴム支承において、浮き上がり防止装置が変形した事例である。

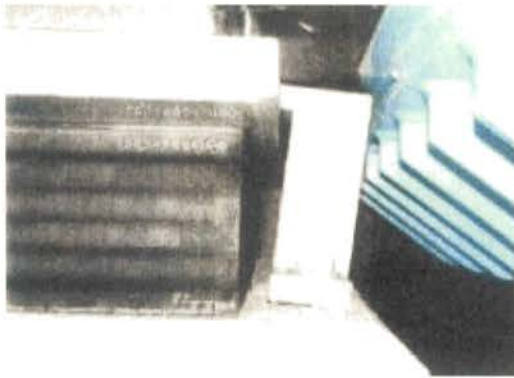


写真 3.26 浮き上がり防止装置の変形

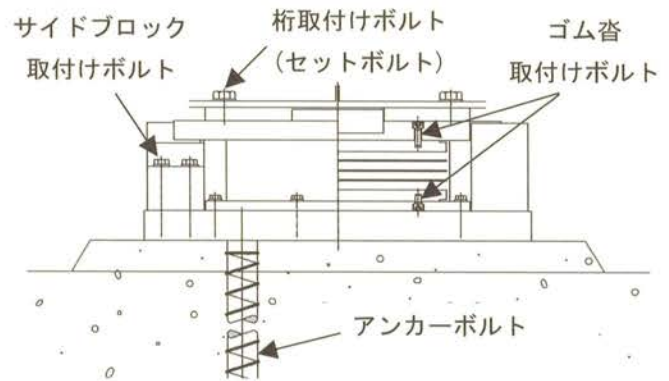


図 3.2 ゴム支承に用いられるボルト

#### d) ボルト・ナットの緩み、破断

ゴム支承に用いられるボルトには、図 3.2 に示すように、桁取付けボルト（セットボルト）やアンカーボルト、サイドブロック取付けボルトのほか、ゴム本体を上沓や下沓に取付ける場合には、ゴム沓取付けボルトが追加される。損傷形態として、ナットの緩みや欠損、およびボルトの破断などがあり、これらの要因としては、鋼製支承と同様に、締め忘れ等の締め付け不良や橋脚の振動作用、支承の沈下や橋台、橋脚の不等沈下などが考えられる。また、ナットについては、振動による緩み、施工段階での締め付け不良などが考えられる。

写真 3.3 に示した桁取付けボルトの破断は、防食との関係から、左右上下面のすべてが被覆ゴムで覆われていたゴム支承における事例である。桁取付けボルトは、ゴム支承と桁とを結んでおり、この間に被覆ゴムが存在すること、また、桁および橋脚の振動の影響により、桁取付けボルトがせん断疲労したと考えられる。

#### e) 腐食

上沓や下沓、およびベースプレートなどの鋼部材には腐食が見られ、鋼製支承と同様に、支承付近が常に湿潤状態となること、また、桁端部における伸縮装置部からの漏水などが、その要因と考えられる。よって、土砂などの堆積、周囲の環境等を踏まえ、防食対策は重要となる。写真 3.27 は、桁端部において伸縮装置部からの漏水によるゴム支承鋼材部の腐食を示している。



写真 3.27 漏水による鋼材部の腐食

### (3) 沓座モルタルの割れ、すき、沈下および台座コンクリートの割れ

損傷形態としては、沓座モルタルや台座コンクリートの割れなどが挙げられる。沓座が損傷することにより、付加的に下沓と沓座モルタルとの間にすき間が生じたり、支承が沈下したりする恐れもある（写真 3.12 参照）。沓座の損傷は、支承本体のき裂や破断、ローラーの落下、移動制限装置や浮き上がり防止装置、アンカーボルトの損傷など他の損傷を伴うことが多い。

沓座の損傷事例を写真 3.28 に示す。沓座モルタルが破壊しており、支承の沈下やそれに伴う伸縮装置部の段差も懸念される。アンカーボルトや下沓下面の突起などは、水平力や上揚力に抵抗するために設けられるが、アンカーボルトの箱抜き部分にコンクリートを打設する際や沓座モルタル施工に不具合があると、年月の経過とともに桁および脚の振動などから損傷が起これり、耐力不足をきたしてくる場合もある。このような場合は、下沓下面のモルタル充填不足が考えられ、腐食したり、隙間が生じたりしていることもある（写真 3.29 参照）。モルタルにひびわれが発生すると、その箇所から漏水や雨水の侵入により、下沓などに腐食を生じさせる原因となる。また、沓座や台座が割れてしまうと、支承が設計上の荷重を支持できなくなる可能性もあり、他の支承や関連部材に大きな影響を与えかねないことから、沓座や台座の損傷を補修する場合には、損傷状況を詳細に観察することが必要である。



写真 3.28 沓座の損傷



写真 3.29 沓座の割れ、すき

### 3.1.3 都市内高速道路における損傷傾向

鋼製支承とゴム支承の損傷傾向や、各部位の損傷程度を把握するために、比較的データの蓄積されている都市内高速道路に着目し、首都高速道路および阪神高速道路における支承の点検結果について調査・分析を行った。点検時期や点検方法、データの集計方法が両者で異なることから、同レベルで比較を行うことは難しいものの、都市内高速道路における支承の概略的な損傷傾向を把握することができた。

#### (1) 点検の概要

対象とした点検データは、都市内高速道路で実施されている点検のうち、5年間隔程度で点検員が構造物に接近し、目視を主体として実施された定期点検のデータである。なお、点検が実施された時期は、首都高速道路は平成 13（2001）年～平成 17（2005）年、阪神高速道路は平成 7（1995）～平成 16（2004）年である。

具体的な点検方法や頻度、またその判定基準については、それぞれの要領で定められており、そのうち支承に関する点検の判定基準を、それぞれ表 3.1 および表 3.2 に示す。

表 3.1 に示す首都高速道路の判定区分では、点検の対象部位を①ベアリングプレート、②下沓、

③ピン、④ローラー、⑤ソールプレート、⑥ピンチプレート、⑦サイドブロック、⑧セットボルト、および⑨アンカーボルト・ナットの支承本体と沓座モルタル・コンクリート部と定め、損傷内容ごとにその程度に応じA、B、C、Dの4ランクに区分されている。さらに、交通や第三者への影響を未然に防止し、緊急対応が必要なAランクに位置付けられる損傷は、構造物全体の安全性に影響のある損傷（A0ランク）と構造物全体の安全性には直接影響はないが第三者被害を起こす可能性がある損傷（A1ランク）の二つに区分している。

一方、表3.2の阪神高速道路の場合、点検項目を①本体の損傷、②ボルト類の損傷、③さびおよび腐食、④沈下、⑤沓座コンクリートの損傷、⑥移動量の良否、⑦異常音、⑧支承縁端部の損傷、および⑨その他の損傷の9項目を定めており、それぞれの損傷程度に応じて、**(A)**、A、B、Cの4ランクに区分されている。

なお、今回調査したデータは、取得したデータの関係上、首都高速道路では表3.1に示すBランク以上と判定されたデータを、一方、阪神高速道路では、表3.2に示すAランクに判定されたデータを収集し、以下に分析した。

表 3.1 首都高速道路における支承の点検判定区分

損傷ランク		A	B	C	D	備考	
対応		要緊急対応	要対応	対応不要	異常なし		
基本理念		交通や第三者への影響を防止するために、緊急の対応を必要とする損傷	緊急度は高くないが、補修補強や追加調査等の対応を必要とする損傷	次回点検時まで対応を必要としない損傷	点検実施の事実を記録	附属物のAランク損傷には、構造物全体の安全性に影響のある損傷(A0ランク)と、構造物全体の影響には直接影響はないが第三者被害を起こす可能性がある損傷(A1ランク)がある	
支承	支承本体	外れ, ずれ, がたつき	①破断, 圧壊, もしくはそれらにつながる著しい損傷や, 支承全体が動くなど不安定な状態で, 構造物の安全性が短期間に失われる可能性がある場合(A0ランク)  ②部材落下により第三者被害を起こす可能性がある場合(A1ランク損傷)	①ソールプレートが浮いている状態で車両通過時に上下する場合, ②ローラーにずれがある場合, ③サイドブロックにずれがある場合		損傷等がない場合	支承には, 鋼製支承, ゴム支承, 免震支承, 及びそれらに対して行われた点検塗装を含み, 接近点検を主な点検とする  支承点検は, 桁・橋脚(コンクリート, 鋼)接近点検と同時に  支承点検の対象部位は, ①ベアリングプレート, ②下沓, ③ピン, ④ローラー, ⑤ソールプレート, ⑥ピンチプレート, ⑦サイドブロック, ⑧セットボルト, ⑨アンカーボルト・ナットの支承本体と沓座モルタル・コンクリート部がある (※1) 支承の桁下フランジ取付け箇所の溶接に疲労クラックが生じた事例があり併せて注意が必要である.  (※2) 空洞音はたたき点検で確認する
		われ, きず(※1)		①われがある場合, ②支承溶接部に割れがある場合, ③ピンチプレートが破断している場合	きずがある場合		
		変形		①ゴム支承が全体的にはらんでいる場合, ②支承の鋼製部品が大きく変形している場合, ③アンカーボルトが傾いている場合	①ゴム支承が一部はらんでいる場合, ②支承の鋼製部品が変形している場合		
		発錆腐食		①支承の一部に断面欠損を伴う発錆腐食がある場合, ②支承全体に発錆がある場合	支承の一部(ゴム支承補強板を含む)に発錆がある場合		
		塗膜劣化		①劣化(フクレ, ワレ, ハガレ)が相当範囲に広がっている場合, ②変退色や汚れが目立ち不快感を与える場合	①劣化(フクレ, ワレ, ハガレ)がある場合, ②変退色や汚れがある場合		
		材料劣化		ゴム支承の全体が材料劣化をおこしている場合	ゴム支承の一部が材料劣化をおこしている場合		
		移動, 回転拘束		①部品のすべり面・ころがり面が発錆等により移動拘束や回転拘束をおこしている場合, ②ソールプレートの移動余裕量が少ない場合, ③ピンチプレートの移動余裕量がない場合	①ピンチプレートの移動余裕が少ない場合, ②泥つまりがある場合		
		緩み, 脱落(ボルト・ナット)		①アンカーボルトの座金・ナット, ピンのナット, ピンチプレートのボルト, セットボルトに緩み, 脱落, 欠損がある場合, ②アンカーボルトの余裕長が少ない場合			
異常音	異常音がある場合(異常音に関しては, 遅滞なく追加調査を行い, 原因を確定すること)						
沓座 コンクリート/モルタル	コンクリートモルタルひびわれ	①圧壊, もしくは圧壊につながる著しい損傷があり, 構造物の安全性が短期間に失われる可能性がある場合(A0ランク損傷) ②コンクリートやモルタルの欠落やはく離により第三者被害を起こす可能性がある場合(A1ランク)	著しいひびわれがある場合	Aランク・Bランクに該当しないひびわれがある場合	損傷等がない場合		
	コンクリートモルタル欠落, 剥離		コンクリートやモルタルの欠落やはく離により, 鉄筋が露出している場合	コンクリートやモルタルの欠落やはく離があるが, 鉄筋が露出していない場合			
	空洞(※2)		モルタルグラウトの不良により空洞がある場合	モルタルグラウトの不良			

表 3.2 阪神高速道路における支承の点検判定区分

点検項目		判定区分			
		S	A	B	C
本体の損傷	鋼製部品の損傷	損傷が著しく、車両の通行に重大な支障をきたしている。また、そのようになる危険性がある ローラーの脱落 B P板の脱落 ピンの切断、とび出し 上沓または下沓の破断 上沓ボス部の破断 ピニオンラックの欠損、折損(ローラー止めなし)	本体部材にわれ・変形などが発生し、機能的に支障がある ローラーのとび出し B P板のとび出し B P板のわれ ローラーの破損 ピニオンラックの脱落 ピニオンラックの欠損、折損 上沓または下沓のきれつ サイドブロックの変形、きれつ 上沓ストッパーの変形、きれつ ソールプレート溶接部のわれ 中間プレートおよびゴムのとび出し ピンチプレート欠損 ライナー材溶接部のわれ	本体部材にわれ・変形などが発生しているが機能的に大きな支障はない B P板のとび出し(軽微) B P板のわれ(微小) ローラーの破損(微小) サイドブロックの変形 上沓ストッパーの変形	ソールプレート溶接部に塗膜われがある
	ゴムの損傷	損傷が著しく荷重支持能力が著しく低下し、支承として機能しない ゴム側面の全体に走るきれつ	ゴム本体に異常な変形が発生し、機能的に支障がある ゴム側面に走るきれつ ゴム側面に生じる異常な膨れ ゴムと上下沓の取付け部ボルトの破損(せん断変形に伴うゴムと上下沓との肌隙が2mm以上の場合にはボルト破損の可能性がある)	傷、変形などが発生しているが機能的に大きな支障はない 部分的な切り傷 不均一なゴムの鉛直変形(ソールプレート、上沓の曲がり)	ゴム表面の劣化によるひびわれ ゴムのせん断変形(変形角度が50度以下)
ボルト類の損傷		①アンカーボルトの切断(全数) ②上沓取付けボルトの切断(負反力防止構造)	①ボルトの欠損、折損がある アンカーボルト 上沓取付けボルト サイドブロック取付けボルト ピンチプレート取付けボルト キャップ取付けボルトなど ②アンカーボルト抜け出し	ボルト、ナットのゆるみがある アンカーボルト 上沓取付けボルト サイドブロック取付けボルト ピンチプレート取付けボルト	それ自身が損傷しても、沓本来の機能に特に影響をおよぼさないボルト類の欠損、ゆるみ
サイドブロックなどの接触				部材相互の接触があり、発音している	部材相互の接触がある
さび腐食	内部		断面欠損を伴う腐食が発生している	さびが全面に発生し、機能障害がある	点さび、浮さびが発生している
	外部		腐食、断面欠損が著しく、部材本来の機能を果たし得ない	①さびが全面にある ②一部腐食を伴ったさびがある	さびが発生している
沈下		沈下が著しく、車両の通行に重大な支障をきたしている。また、他の部材に与える影響が著しい	沈下がある		
沓座コンクリートの損傷		沓座コンクリートに著しい欠け落ち、またはきれつが発生し、沓落下の危険性が大きい	沓座コンクリートに0.3mm以上の著しいひび割れが発生している	①沓座コンクリートに空洞がある ②沓座コンクリートに0.2mm～0.3mmのひび割れが発生している	①沓座コンクリートにひび割れがある ②化粧モルタルはく離している
移動量の良否				①常時接触している ②温度変化により接触し、ストッパーなどに変形の恐れがある	温度変化により接触するが、損傷の恐れはない
異常音				異常音がある	
支承縁端部の損傷		縁端部コンクリートが破壊し、落橋の恐れがある	縁端部コンクリートに、支承作用によると思われる損傷が発生している		
その他			①ベースプレートに異常なずれまたは挙動が見られる ②異物などにより支承本来の機能が阻害されている		

## (2) 損傷の概況

首都高速道路における支承形式別の点検結果について、表 3.1 に示す損傷ランク別に集計した結果を表 3.3 に示す。この表によると、長年使用されている線支承や BP・A 支承において損傷が多く発生しており、その多くはさび・腐食であり、それに伴う機能不全（滑動不良）なども見られる。

表 3.3 首都高速道路における支承形式別の損傷内訳ランク状況

支承種類	支承個数	A0	A1	B	合計
線支承	1,188	2	0	707	709
BP・A 支承	21,418	1	29	2,487	2,517
BP・B 支承	1,915	0	0	69	69
ピン支承	68	0	0	3	3
ローラー支承	258	0	0	8	8
ピボット支承	1,096	0	0	17	17
ピボットローラー支承	129	0	0	8	8
パッド支承	11,356	0	0	518	518
積層ゴム支承	32,405	0	0	11	11
高減衰ゴム支承	1,278	0	0	0	0
鉛プラグ入りゴム支承	80	0	0	0	0
その他	3,274	0	0	247	247
合計	74,465	3	29	4,075	4,107

阪神高速道路の点検結果については、損傷項目別かつ支承形式別に集計した結果を表 3.4 に示す。本体の損傷としては、BP・A 支承のベアリングプレートにおいて 44 箇所、ローラー支承のピニオンラックにおいて、190 箇所などとなっている。ベアリングプレートの損傷は、はみ出し、ピニオンラックの損傷は、一本ローラー支承における転がり止めあるいはラックの損傷やローラーの偏心などとなっており、いずれもさびやじん埃などによる機能不全が認められる。

本体の損傷のうち、もっとも多い割合を占めているのが「その他」であるが、「その他」の内容としては、沓座の沈下による下沓の割れ、じん性値の乏しい材料の適用による本体のき裂や割れ、サイドブロックやストッパーの損傷などと思われる。ボルト類の損傷としては、桁や脚の振動作用や締め付け不良による緩み、支承本体の沈下に伴う破断などであり、さび・腐食については、首都高速道路と同様に供用年数の長い線支承や BP・A 支承に目立つ傾向であった。

表 3.4 阪神高速道路における損傷の詳細内訳

(箇所数)

(箇所数) 損傷項目		支承の種類												合計	
		鋼製支承							ゴム支承						
		線	B P ・ A	B P ・ B	ピン	ロー ラー	ピン ロー ラー	ピ ボ ット	ピ ボ ット ロー ラー	パ ッド	積 層 ゴ ム	高 減 衰 ゴ ム	鉛 プ ラ グ 入 り		そ の 他
本体の 損傷	ベアリングプレート	0	44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	44
	ピニオン・ラック	0	0	0	0	190	0	0	3	0	0	0	0	0	193
	ローラー	0	0	0	0	2	3	0	3	0	0	0	0	0	8
	その他	32	132	4	11	47	6	26	9	0	0	0	0	58	325
ボルトの 損傷	ピンチプレート	5	32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	37
	サイトブロック	1	44	0	0	30	0	0	0	0	11	4	0	1	91
	キャップ取付ボルト	0	0	0	3	0	0	29	5	0	0	0	0	0	37
	上沓取付ボルト	6	29	4	2	4	10	0	0	0	0	0	24	0	79
	アンカーボルト	6	23	0	7	2	0	2	0	0	0	0	0	0	40
サイトブロック等の接触		0	1	0	0	0	0	0	0	0	4	4	0	0	9
さび, 腐食 (内部)		0	0	0	0	3	3	0	0	0	0	0	0	0	6
さび, 腐食 (外部)		54	46	0	1	3	0	1	0	0	0	0	0	6	111
沈下		41	20	0	4	5	0	0	0	2	2	0	0	0	74
沓座コンクリートの損傷		17	39	0	21	5	0	0	1	0	0	0	0	0	83
移動量の良否		0	2	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	6
異常音		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
支承縁端部の損傷		18	5	0	2	2	1	3	0	0	0	0	0	0	31
その他		9	22	0	3	0	0	0	0	0	7	0	0	4	45
全体		189	439	8	54	297	23	61	21	2	24	8	24	69	1,219

(3) 損傷の分析

首都高速道路と阪神高速道路の点検データを、表3.5に示す損傷種別ごとに集計した結果を図3.3に示す。図3.3によると、損傷はさび・腐食によるものももっとも多く、次いで、本体の損傷、ボルトの損傷の順となっている。これらの損傷については内容を詳細に分析する必要があるが、損傷には、支承本体の材料や構造に起因するものと支承の設置環境などの外的要因による損傷とがあり、今回集計した損傷は、後者、すなわち外的要因による損傷によるものが比較的多いと考えられる。つまり、損傷の発生原因が、必ずしも支承本体や構造そのものにあるのではなく、例えば、伸縮装置部からの漏水が原因となる腐食あるいは支承が設置された沓座モルタルの不良による沈下など、その設置環境に影響される損傷も少なくない。このことから、表3.5では、損傷形態と損傷部位に分類している。

支承本体の損傷では、ベアリングプレート、ピニオンラック、ローラー等における機能不全を伴う損傷が多く、ボルトの損傷は、支承形式によってボルトの使用形態は異なるが、主なものと

しては、サイドブロック部、ピンチプレート部、キャップ取付けボルト、上沓取付けボルト（セットボルト）、そして、アンカーボルトである。支承本体の損傷やボルトの損傷は、さびや腐食によるものが多いと思われ、その内容によっては、支承本来の機能を損なうことになる。例えば、腐食などにより可動支承が固定化されると、設計を上回る水平力が作用し、やがて沓座の破壊や支承本体の損傷へと進んでいく。さらに、この状態が放置されると、沓座の破壊のみならず、アンカーボルトの破断、桁本体の損傷、沈下および座屈へと損傷が進行する事例もある。

表 3.5 損傷種別の分類

損傷の分類項目	さび・腐食
	本体の損傷
	ボルトの損傷
	移動量の異常
	沈下
	沓座の損傷
	その他

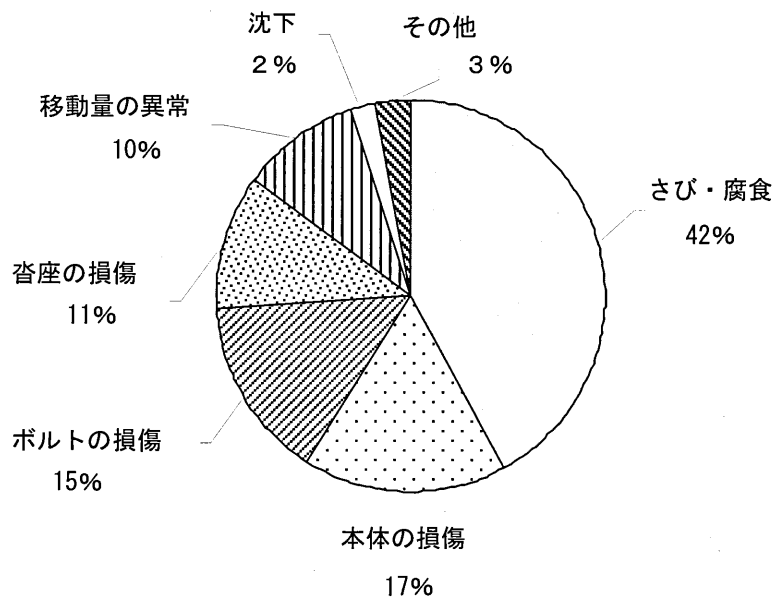


図 3.3 都市内高速道路における支承損傷の発生内訳

図 3.3 に示した都市内高速道路における点検結果について、支承形式別に損傷発生状況を分析した。図 3.4 は、点検の対象となった支承形式別の内訳である。兵庫県南部地震以降、橋梁の耐震補強が行われることで、従来の鋼製支承からゴム支承へ取替えられる傾向が見られたが、この図からも、全体の 60% がゴム系の支承となっていることが分かる。元々コンクリート橋の支承は、ゴム系の支承が使われる傾向であったため、兵庫県南部地震以降に、ゴム支承がどの程度増えたか不明であるが、このデータが、2005 年度のデータに基づいているため、現在、支承の三分の二程度がゴム系支承であることが分かる。

次に、これらの支承形式について、形式毎での損傷発生状況を集計したものを、点検対象支承数と併せて図3.5に示す。図中の線支承において、損傷発生数が対象支承数量を上回っているのは、点検が実施された時期の中で重複しているためと思われる。この図から、対象となる形式の支承数の大小と、その損傷発生数の大小との傾向がおおむね一致していることがうかがえる。しかし、その傾向が異なる形式もあり、支承板支承や線支承が多少他の形式に比べて損傷が多くなっているのに対し、積層ゴム支承は対象の支承数に対して損傷数は少ない。これは、これらの支

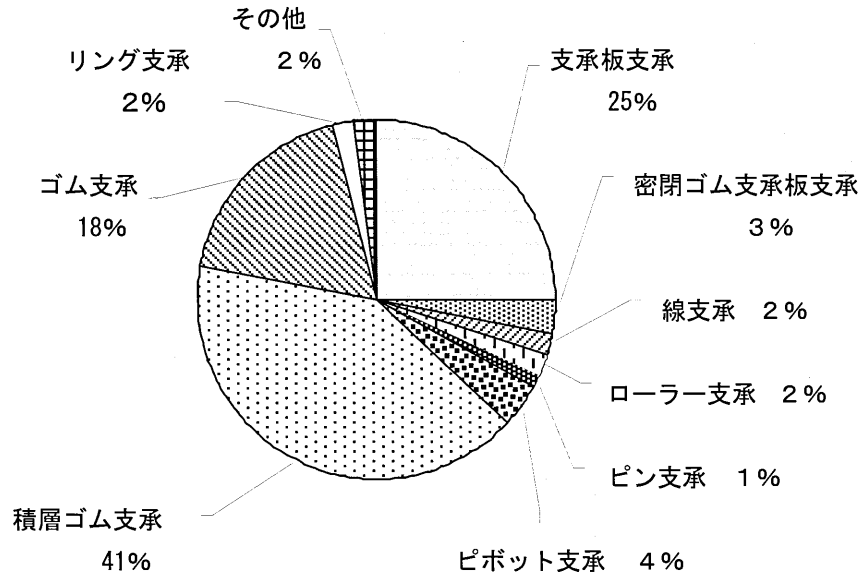


図 3.4 都市内高速道路における支承形式別の内訳

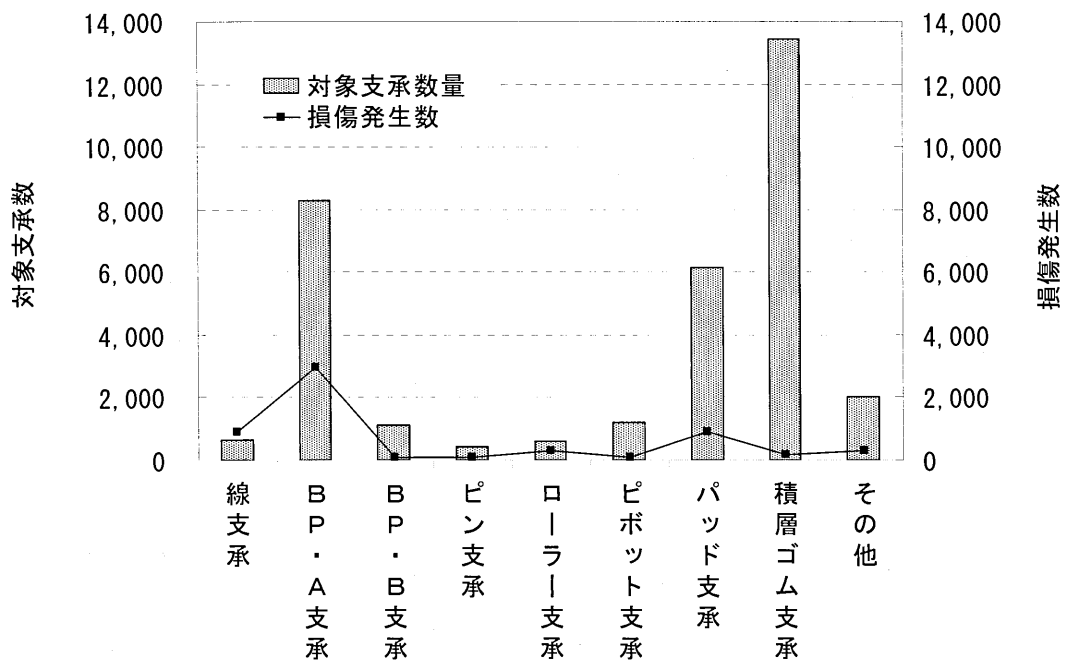


図 3.5 都市内高速道路における対象支承形式の内訳

承の設置時期が異なり、それぞれ供用年数が異なっていることが大きな理由である。特にゴム系の支承は、前記のとおり、兵庫県南部地震以降の耐震補強を契機として大量に採用されているため、比較的新しいものとなっている。一方、線支承や支承板支承は、古くから採用されている形式であり、設置からの供用年数も長く、それだけ損傷数の絶対数量は、多くなる傾向にあるが、全体の平均損傷率（損傷数／対象の支承数）は、17%程度であり、最近では、良好な維持管理が行われていると推測できる。

次に、鋼製支承の中でも設置数量がもっとも多い支承板支承の損傷内訳を図3.6に示す。図に示すとおり、支承板支承に限らず鋼製支承の共通な傾向としては、さび・腐食がもっとも多く、次いで移動量の異常、ボルトの損傷となっており、これらの損傷を合わせて、全体の8割を占めている。支承の腐食は、伸縮装置部などからの漏水が原因で発生するものであることから、この原因を取り除くことで、さび・腐食の半数以上の損傷を減らすことができる。

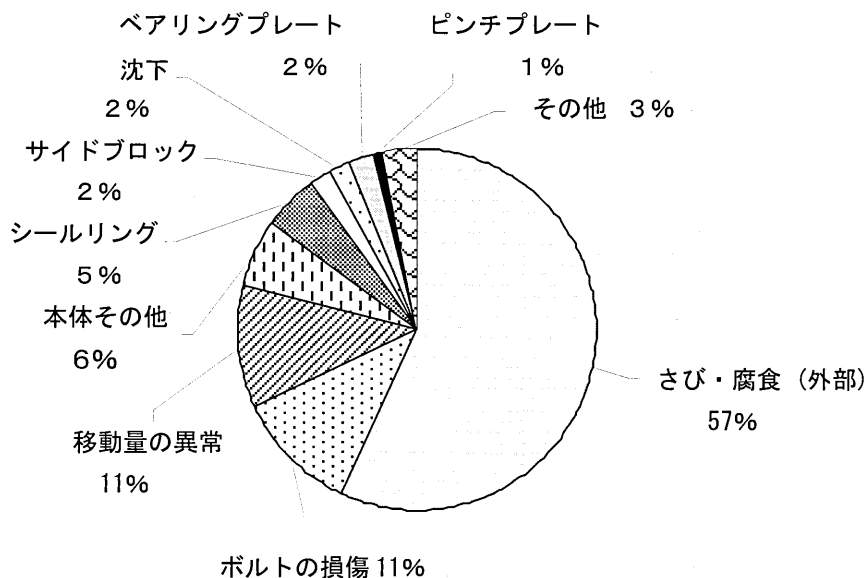


図3.6 都市内高速道路における支承板支承の損傷内訳

### 3.1.4 東名および名神高速道路における損傷傾向

#### (1) 点検・調査の概要

昭和56～57年度において、東名および名神高速道路を対象にして行われた支承の点検結果について、分析を行った。図3.7は、当時調査対象となり点検を行った支承形式別の内訳を示している。この点検では、当時発見されていた支承の損傷から損傷の全体像を把握することが困難であったことから、東名・名神高速道路および中央自動車道において予備調査を実施し、損傷の内容を①発錆、②機能異常、③破損（本体）、④破損（沓座）の4つに大別している。本調査においては、予備調査の結果から①どのような損傷が多く発生しているか、②支承はどのような条件（損傷の要因）下におかれているか、の2つを視点に、予備調査で大別した損傷内容について、さびを“発錆”に、機能異常を“移動性能”に、そして破損を“支承本体”と“取付け部”に区分し、損傷内容とその程度に応じて表3.6のように区別した。

調査は、東名および名神高速道路 536km の橋梁（681 橋）を対象として実施している。当時の支承の設置数は約 41,600 基であり、1 橋当たり平均約 60 基であった。このうち、鋼製支承が 75%

を占めており、中でも、図3.7に示したように、支承板支承が37%（うちBP・A支承が34%）と最も多く、以下ローラー支承（16%）、線支承（10%）、ピン支承（4%）の順となっていた。一方、ゴム支承は23%程度しか用いられておらず、最近の点検結果を示した都市内高速道路の状況とはかなり異なっている。

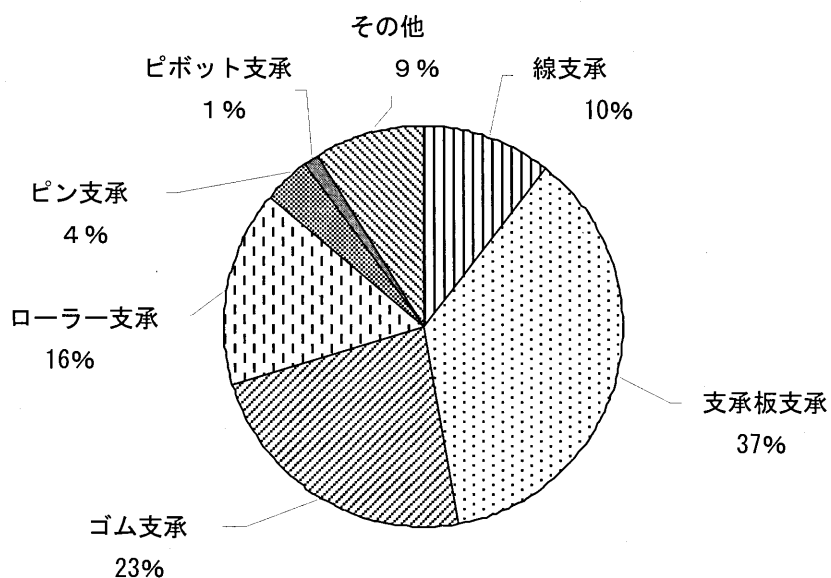


図 3.7 東名および名神高速道路における支承形式別の内訳

表 3.6 旧日本道路公団における損傷箇所と程度の区分

	支承本体	取付け部	発錆	移動性能
鋼製支承	上沓本体	アンカーボルト・ナット	点錆 小	可動支承の遊間異常
	下沓本体	化粧モルタル	点錆 大	移動不能
	ベアリングプレート	充填モルタル	全面発錆	回転不能
	ピン	橋座モルタル	全面発錆 (1~2mm)	その他
	ローラー	上部工取付け部	原形をとどめない	
	ロッカー	その他		
	浮き上がり防止装置			
	移動制限装置			
	各種ボルト・ナット			
	シーリング等の部品			
	その他			
ゴム支承	ゴムのはらみ出し	沓座モルタル		
	ゴムの劣化・ひび割れ	橋座モルタル		
	鋼板の発錆	アンカーバーキャップ		
	その他	その他		

(2) 損傷の概況

支承の設置数のうち、支承形式別の損傷発生状況を図 3.8 に示す。図中、対象支承数としているのは、点検を行ったすべての支承のうち、分析の精度を保証できる最低数を抽出し、集計および分析を行っているためである。対象支承数は、鋼製支承が 3,077 基（線支承 1,023 基、支承板支承 1,027 基、ピン支承 528 基、ローラー支承 499 基）、ゴム支承が 1,036 基である。対象支承中の損傷率は、鋼製支承で 72%程度（線支承 73%程度、支承板支承 74%程度、ピン支承 62%程度、ローラー支承 74%程度）、ゴム支承では 18%程度となっており、鋼製支承の損傷率が大きい傾向であった。当時の維持管理状態は不明であるが、都市内高速道路と同様に、鋼製支承は古くより用いられており、供用年数が長いため損傷率は、高くなるものと思われる。

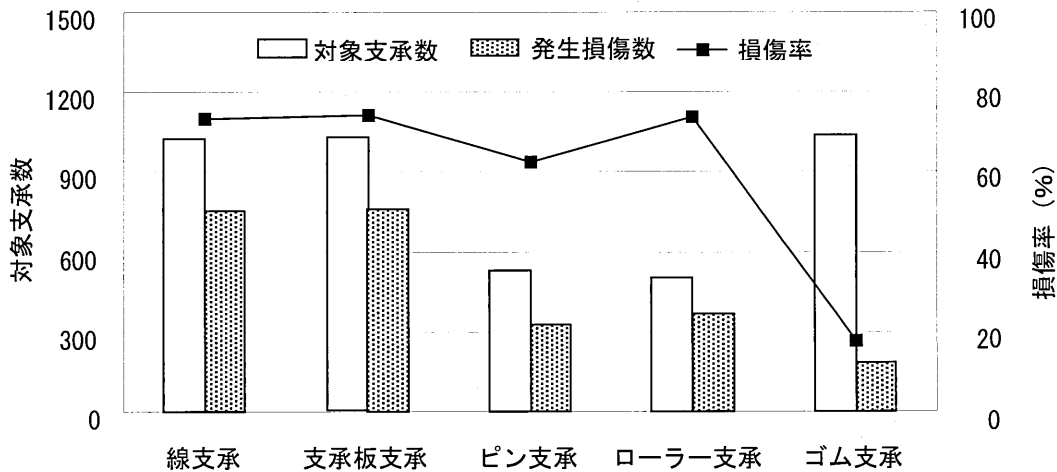


図 3.8 東名および名神高速道路における支承形式別の損傷発生状況

(3) 損傷の分析

図 3.8 に示した対象支承数のうち、鋼製支承の損傷発生状況を図 3.9 に示す。ここで示す損傷率とは、鋼製支承の標本数 (3,077 基) に対する各部位の損傷比率である。図 3.9 によると、鋼製支承の損傷率は、さび・腐食（支承本体に加え、ボルト・ナットなども含んでいると思われる）が 56%ともっとも高く、次いで、アンカーボルトや沓座部分（台座コンクリート、化粧モルタルなども含む）、支承本体（上沓、下沓のき裂・変形など）、移動性能（遊間異常、移動不能など）の順となっており、それぞれ、損傷の傾向を列記すると、表 3.7 のようになる。

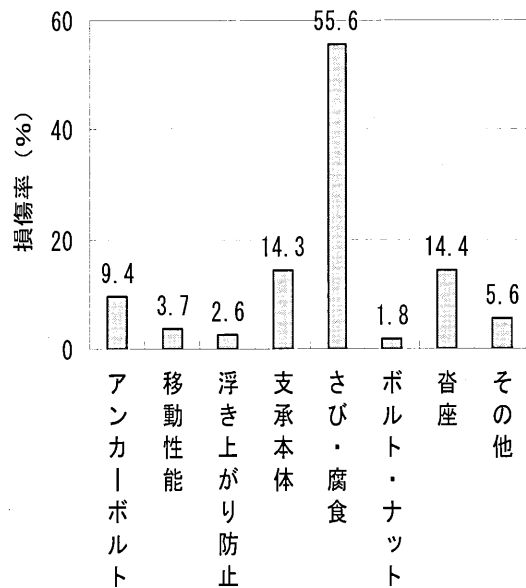


図 3.9 鋼製支承における損傷発生状況  
(東名および名神高速道路)

表 3.7 東名および名神高速道路における鋼製支承の損傷箇所と損傷傾向

分類	損傷の傾向
さび・腐食	<ul style="list-style-type: none"> <li>・線支承（固定）とBP・A支承では70%程度と高い傾向を示している</li> <li>・ピン支承を除く線支承や支承板支承，ローラー支承では50%を超えている</li> <li>・全面発錆より損傷が進行している支承は，線支承が約30%と高率である</li> </ul>
アンカーボルト・ 沓座部分	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ピン支承が44.5%と他の支承に比べて高い</li> <li>・化粧モルタルと上部構造取付け部に多く見られる</li> </ul>
支承本体	<ul style="list-style-type: none"> <li>・線支承（可動）25%，支承板支承（BP・A，可動）27.7%と高率である</li> <li>・BP・A支承では，シールゴムの損傷が目立つ</li> </ul>
移動性能	<ul style="list-style-type: none"> <li>・BP・A支承の可動が11.9%，ローラー支承が10.2%と高率である</li> </ul>

ゴム支承の損傷発生状況を、図 3.10 に示す。ここでの損傷率は、ゴム支承の標本数 (1,036 基) に対する各損傷の比率である。ゴム支承の損傷率は、ゴム支承本体の損傷として、ゴムのはらみ出し 3.9%、ひび割れ 3.6%、また、取付け部（沓座モルタル、橋座コンクリートなど）7.2%となっていた。中でも、可動支承が多く、ゴムのひび割れ、はらみ出しおよびゴム支承鋼材部の発錆が主体であった。

なお、図 3.9 および図 3.10 において、各損傷率の総和が前記の損傷率（鋼製支承 72%程度、ゴム支承 18%程度）と異なるのは、損傷の重複している支承があるためである。

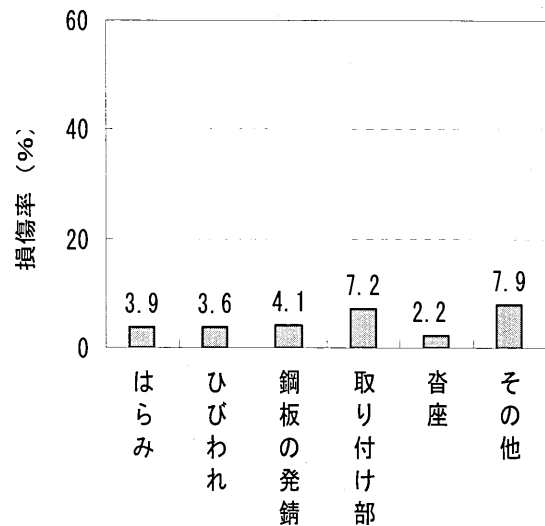


図 3.10 ゴム支承における損傷発生状況 (東名および名神高速道路)

### 3.1.5 常時における支承部の損傷と対策

3.1.3 や 3.1.4 に示したとおり、常時における支承部の損傷は、各機関とも、さびや腐食によるものが、過半数を占めており、今後の維持管理を行う上で、重要な手がかりとなった。さびや腐食を防止するには、支承部周辺の環境条件の改善や支承本体の防食対策が重要となる。

環境条件としては、支承部が湿潤状態とならないための配慮が必要であり、伸縮装置部からの漏水や土砂などの堆積に対しては、伸縮装置部の非排水化などにより防止することが望ましい。

支承本体の防食対策の一例としては、溶融亜鉛めっきが挙げられる。溶融亜鉛めっきの施された支承は、1970 年頃に登場し、以降、数多く製作されている。ここでは、供用十数年を経過し、溶融亜鉛めっきの施されている支承について、その効果を検証した結果について紹介する。

写真 3.30 に示す支承は、1970 年代に市街地の高架橋に設置され、溶融亜鉛めっきが施された BP・A 支承である。この調査結果によると溶着亜鉛の表面は、ほぼ全面安定した酸化物の皮膜に覆われ、一部亜鉛めっきの欠陥部に多少の発錆が見られたものの、周囲の亜鉛の犠牲防食

作用により、大きな腐食の進行は見られず、十数年間の亜鉛消費量からみても、今後 20～30 年は防食の効果が期待できると報告されている。



写真 3.30 供用十数年経過した BP・A 支承の外観

また、溶融亜鉛めっきされた支承が、設置した地域の環境条件によってどのように変わるのか、1987 年、日本海に面した谷間に架設された北陸自動車道の橋梁と、1988 年、市街地に架設された近畿自動車道の 2 橋梁について、10 年間、追跡調査が行われた。

調査結果によると、市街地にある近畿自動車道の橋梁では、主桁をはじめ二次部材などすべてに少しの白錆の発生もなく、良好な状態であった。

一方、日本海に面した北陸自動車道の橋梁では、海岸部からの飛来塩分量が多く、腐食を促進させる原因となるが、降雨などにより、塩分が洗い流された外桁では、錆の発生も少なく比較的良好的な状態であった。しかし、内桁においては、多くの腐食が確認された。

このように、海岸部や霧の発生し易い山岳部の橋梁、また、冬季に大量の凍結防止剤を散布する積雪寒冷地域などにおいては、溶融亜鉛めっきの上に更に塗装を施工する重防食システムなどの対策が必要となる。

また、第 7 章で詳しく述べるが、支承部の周辺は、ゴミや堆積土砂により、常に湿潤状態となり、腐食しやすい環境にさらされることから、1 年に 1 回程度の定期的な維持管理を行うことで、支承部の損傷発生を遅らせることが十分可能である。

### 3.2 地震時における支承部の損傷

日本列島における地震の種類は、海溝型地震と内陸型地震の二つに大別される。海溝型地震は、プレート間で発生する地震である。海側のプレートは、海溝部から沈み込む場合に陸側のプレートを巻き込んでいる。この陸側のプレートが、あるひずみに達し反発することで地震を引き起こしている。また、内陸型地震は、陸地内における活断層のずれによって発生する地震であり、陸地内直下の浅いところで発生すると、局部的に大きな被害をもたらすことがある。

ここでは、地震時における支承部の損傷形態について着目し、その事例について記述する。まず、支承部に大きな損傷をもたらした近年の地震について、その概要を以下に示す。

#### (1) 兵庫県南部地震（平成7（1995）年1月17日午前5時46分発生）

淡路島付近の深さ約16kmを震源とする兵庫県南部地震の規模は、マグニチュード7.3であり、福井地震を上回る地震であった。神戸や洲本などでは、震度6を記録し、淡路島の北部をはじめ、神戸市街地などでは震度7を記録した。昭和24（1949）年、気象庁により震度7の震度階級が設定されたのち震度7を記録したのは初めてのことである。この地震は、淡路島や兵庫県を中心に大きな被害をもたらした。

#### (2) 新潟県中越地震（平成16（2004）年10月23日午後5時56分発生）

新潟県中越地方の深さ約13kmを震源とする新潟県中越地震の規模は、マグニチュード6.8であり、新潟県の川口町では、震度7を記録しており、兵庫県南部地震に続き2回目の震度7の記録となった。本震発生直後1時間以内に震度6強の余震が2回発生するなど活発的な余震活動が特徴的であった。

#### (3) 能登半島地震（平成19（2007）年3月25日午前9時41分発生）

能登半島沖深さ約11kmを震源とする能登半島地震の規模は、マグニチュード6.9であった。この地震では、石川県の七尾市や輪島市で6強を観測し、石川県の珠州市では小さな津波も観測された。

#### (4) 新潟県中越沖地震（平成19（2007）年7月16日午前10時13分発生）

新潟県上中越沖の深さ約17kmを震源とする新潟県中越沖地震の規模は、マグニチュード6.8であった。この地震では、新潟県長岡市や柏崎市などで震度6強を記録し、新潟県を中心として秋田県から石川県の沿岸で小さな津波が観測された。

#### 3.2.1 支承部の損傷形態

地震時における支承部の損傷形態を図3.11に示す。鋼製支承の使用の歴史は古く、またゴム支承に比べて多用されていることから、損傷事例数は必然的に多くなっている。

地震時における鋼製支承の損傷形態には、支承本体の割れ・破断やローラーやピンの破断や抜け出し、移動制限装置や浮き上がり防止装置の破断およびボルト類の破断などが考えられるほか、支承周りまで考えれば、常時における損傷形態と同様に、台座コンクリートや沓座モルタルの損傷も挙げられる。特に、支承高の高いピン支承やピンローラー支承においては、ピンの乗り越えといった損傷が多く、ストッパー部の破断なども見られる。ストッパーの破断については、BP沓などにも見られる損傷である。

ゴム支承の損傷形態としては、ゴム本体のき裂や層間はく離、ゴムのずれ、落下などのほか、鋼製支承と同様に移動制限装置や浮き上がり防止装置、またはボルト類の破断や損傷、さらには沓座モルタル、台座コンクリートの破壊といった損傷形態がある。また、下部構造が移動したことにより、ゴム支承に残留ひずみが生じた例も見られている。

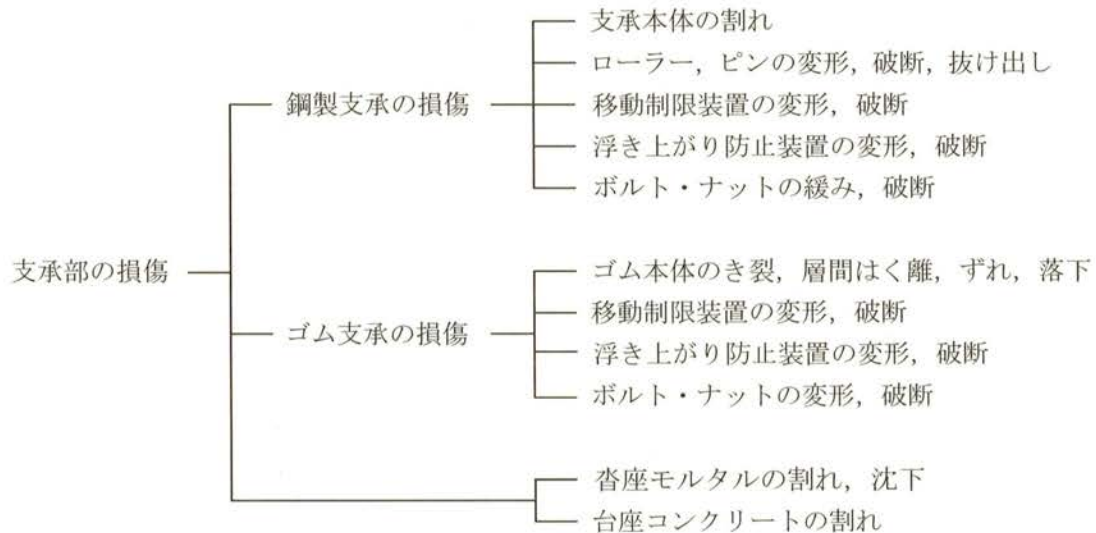


図 3.11 地震時における支承部の損傷形態

### 3.2.2 支承部の損傷事例

支承部は、図 3.11 に示したように、さまざまな損傷が生じる。これらの損傷が発生する要因は、設計で想定する外力をはるかに上回る地震力の作用や移動量によるものが多い。

ここでは、図 3.11 に示した支承部の損傷形態に基づき、鋼製支承とゴム支承における、損傷事例について述べる。

#### (1) 鋼製支承の損傷事例

##### a) 支承本体の割れ

支承本体の割れとしては、上沓および下沓の割れなどが挙げられる。本体の損傷要因としては、設計で想定する外力を上回る地震力や移動量によるものや、沓座モルタルおよび台座コンクリートの破壊による付加的な損傷などが考えられる。

写真 3.31 は、兵庫県南部地震において、上沓の割れたピボット支承を示している。この支承が用いられていた橋梁は、ニールセンローゼ桁であり、隣接する支間長 52m の単純合成鋼箱桁は落橋している。橋脚上には、2 基のピボット支承が設置されていたが、上沓の割れが生じたのは、1 基のみであり、もう 1 基は、セットボルトの破断にとどまった。この橋梁の設置付近は、埋立地であり、地震による液状化と、それに伴う地盤流動が生じており、護岸近くの浜では、1~2m の流動量が観測された。

この事例については、被災メカニズムの推定として動的解析が行われている。このピボット支承の水平方向の終局耐力は約 1,100kN と推定されていたが、これに対してニールセンローゼ桁に作用した慣性力は約 1,200kN と推定された。損傷のメカニズムは、種々考えられるが、衝撃的な上下方向荷重が、上沓を脆性破壊させた可能性は十分考えられる。また、設計時の水平力を上回る力がピボット支承に作用していると推



写真 3.31 ピボット支承上沓の割れ

定されることから、複合的な作用により、上沓の破壊やセットボルトの破断に結びついたとも考えられる。

#### b) ローラーおよびピンの変形、破断および抜け出し

ローラーやピンの損傷としては、ローラーおよびピンの破断や抜け出しのほか、カバープレートの変形などが挙げられる。

写真 3.32 は、兵庫県南部地震において被災したピン支承の損傷事例である。橋軸直角方向に設計力を超える大きな水平力が作用したことにより、ピン中央部のくびれ部が引張破断して、ピンが抜け出したものと考えられる。ピンが抜け出したことにより、上沓が落下し、上沓と下沓の間にはずれが生じている。

同じく兵庫県南部地震により、ローラーの抜け出した一本ローラー支承を写真 3.33 に示す。当時の設計法には適合した設計が行われていたものの、橋軸直角方向の水平力により、サイドブロックが、面外方向に変形し、ローラーが逸脱したものと考えられる。



写真 3.32 ピンの破断



写真 3.33 ローラーの抜け出し

#### c) 移動制限装置および浮き上がり防止装置の変形、破断

移動制限装置および浮き上がり防止装置の損傷としては、上沓ストッパー部やサイドブロック、ピンチプレートなどの変形や破断などが挙げられる。

写真 3.34 および写真 3.35 は、平成 16 (2004) 年の新潟県中越地震で見られた損傷事例である。写真 3.34 は、主桁の大移動に伴い BP・A 支承の上沓ストッパー部に、橋軸方向に水平力が作用し破断したものである。設計で考慮した以上の慣性力の作用が考えられるほか、固定支承側橋台の移動や、固定支承側において何らかの損傷が生じ、可動支承に大きな変位量が付与されたとも考えられる。

写真 3.35 は、ピンローラー支承において、サイドブロックが損傷した事例である。サイドブロックは、鋳物で作られていたものが多く、橋軸方向に大きな水平力が作用したことにより、脆的な破壊をしたものと考えられる。



写真 3.34 上沓ストッパーの破断



写真 3.35 サイドブロックの破断

#### d) ボルト・ナットの変形, 破断

アンカーボルト・ナット, セットボルトやサイドブロック取付けボルトの損傷としては, 緩みや破断などが挙げられる。

写真 3.36 は, 平成 19 (2007) 年に能登半島地震の際に見られた損傷事例である。衝撃的な鉛直荷重や水平荷重の作用により, アンカーボルトの付着が切れてしまい, 浮き上がったものと考えられる。また, 沓座モルタルにも割れが見られる。

セットボルトの破断を示しているのが, 写真 3.37 である。セットボルトは, あらゆる方向から作用する水平力を負担し, また, 上部構造の浮き上がりを防止している。兵庫県南部地震が発生するまで, 地震時に支承に生じる上揚力はあまり重視されておらず, 設計上揚力は, 実用上最低値である  $0.1 \times$  死荷重が用いられていた。このため, 設計をはるかに上回る上揚力の作用によりボルトが引張破断したものと考えられる。また, 固定支承に損傷が起きることで, 同橋脚に作用する力は低減されるが, 写真 3.34 に示したように, 可動支承側において損傷の起こる可能性もある。



写真 3.36 アンカーボルトの損傷



写真 3.37 セットボルトの破断

#### (2) ゴム支承の損傷事例

##### a) ゴムのき裂や層間はく離, ずれおよび落下

ゴム支承本体の損傷事例としては, ゴムのき裂や層間はく離, ずれや落下などが挙げられる。想定外の移動量や上揚力 (負反力) の作用などにより生じるものと考えられる。

写真 3.38 は、能登半島地震において、上査とゴム本体との間にずれが確認された事例である。これは、せん断変形中に上揚力が生じ、鉛直反力が一時的に小さくなった瞬間に、ゴム本体が自身のせん断バネにより復元したため、本来の位置からずれてしまったものと考えられる。

b) 移動制限装置および浮き上がり防止装置の変形、破断

移動制限装置および浮き上がり防止装置の損傷事例としては、変形や破断などが挙げられる。

写真 3.39 は、新潟県中越沖地震で見られたサイドブロックの変形事例である。上査側面に傷が見られることから、橋軸直角方向に水平力が作用し、サイドブロックの設計耐力を上回ったため、変形したと思われる。



写真 3.38 ゴム本体のずれ



写真 3.39 サイドブロックの変形

c) ボルト・ナットの変形、破断

損傷事例としては、桁取付けボルトやアンカーボルト、サイドブロック取付けボルトの変形や破断などが挙げられる。

写真 3.40 は、固定型ゴム支承における能登半島地震での損傷事例である。過大な上揚力あるいは橋軸直角方向に大きな水平力が作用し、セットボルトやサイドブロック取付けボルトが破断したものと考えられる。サイドブロック本体に大きな損傷は見られないものの、サイドブロック取付けボルトの破断により、サイドブロックは移動している。



写真 3.40 ボルトの損傷

## d) その他

図 3.11 に分類した損傷形態のほか、ゴム支承において見られた損傷事例を写真 3.41 および写真 3.42 に示す。いずれの写真も新潟県中越沖地震において見られた損傷事例であり、大きな変形が残っている。写真 3.42 に示すように、橋台部にひび割れの生じる事例も確認された。これは、橋台が移動したために、桁と橋台が衝突し、残留変位が生じたか、地震による移動量が設計量を大きく上回ったことで、桁が橋台部に衝突したものと思われる。



写真 3.41 ゴム支承の変形



写真 3.42 橋台部への衝突

## (3) 沓座モルタルの割れ、沈下および台座コンクリートの割れ

損傷形態としては、沓座モルタルの割れ、沈下および台座コンクリートの割れなどが挙げられる。

写真 3.43 (兵庫県南部地震での事例) および写真 3.44 (新潟県中越地震での事例) は、沓座モルタルおよび沓座コンクリートの損傷事例である。支承本体に大きな損傷が見られないが、沓座が破壊したことで、上部構造を支持できない状態になっており、支承部としての機能が損なわれている。



写真 3.43 沓座モルタルの破壊



写真 3.44 沓座コンクリートの破壊

### 3.2.3 地震時における上部構造の損傷事例

ここでは、地震時における支承部付近の上部構造の損傷事例を震災別にいくつか示す。

#### (1) 兵庫県南部地震における事例

兵庫県南部地震における上部構造の損傷事例を以下に示す。写真3.45は、架け違い部における主桁の変形事例であるが、これは、上部構造の剛性が低く、橋軸直角方向の水平力により変形したものと考えられる。写真3.46は、支承部の損傷により、端対傾構および下フランジが変形したと考えられ、写真3.47は、支承の上沓に作用する偏心曲げモーメントにより、ウェブ鉛直方向に偶力が作用し、主桁ウェブに局部座屈が生じたものと思われる。また、写真3.48は、橋軸方向の水平力による支点部付近の主桁の損傷を示しており、これは、桁取付けボルトの破断によって、主桁が支点位置からずれたためと考えられる。写真3.49は、支点部の曲げ変形を示している。支承の下沓突起部は、残存していることから、過大な上揚力の作用により、主桁が支点部から外れたものと思われる。



写真 3.45 桁端部における主桁の変形



写真 3.46 下フランジの変形



写真 3.47 支点上ウェブの局部座屈



写真 3.48 支点部付近の主桁の損傷



写真 3.49 主桁の曲げ変形

## (2) 新潟県中越地震における事例

## a) 小千谷大橋

国道17号線小千谷大橋は、昭和57（1982）年にしゅん工した信濃川を渡河する橋長585mの橋梁である。渡河部の上部構造は、起点側（右岸側）の4径間と3径間の連続鋼箱桁、下部構造は円形RC橋脚、支承部はピンローラー支承である。支承部および上部構造に関する損傷としては、写真3.50に示す支承部の移動制限装置や写真3.51に示すサイドブロック等の損傷、写真3.52に示す3径間連続桁固定支承部の箱桁下フランジの変形、写真3.53に示す支点上補剛材にき裂が生じているなどが確認された。地震発生3日後から応急復旧が行われ、固定支承上で上部構造が損傷した部位を取り除き、新たに補強鋼板を設置して補修された。さらに、支承については震災前と同形式の支承に取替えられた。



写真 3.50 可動支承の損傷



写真3.51 支承サイドブロックの損傷



写真 3.52 箱桁下フランジの変形



写真 3.53 補剛材の溶接部の破断

## b) 堀之内橋

国道17号線堀之内橋は、昭和39(1964)年にしゅん工した魚野川を渡河する橋長218mの橋梁である。上部構造は、2径間連続および3径間連続の鋼箱桁、支承部は、ピンローラー支承である。P1橋脚の固定支承において、サイドブロックの変形・脱落および支承ピンの橋軸直角方向へのずれ、ピンカバーの脱落が見られ、写真3.54に示すように、支点上の主桁ウェブ面にはらみが生じた。これは、地震時の鉛直力により支点上のウェブにはらみが生じたと考えられる。また、コンクリート橋脚の中間部と地表面付近に水平ひび割れが生じた。



写真3.54 支点上の主桁ウェブ面のはらみ

## c) 和南津橋

国道17号和南津橋は、昭和29(1954)年にしゅん工した魚野川を渡河する橋長190mの7径間鋼ゲルバー・鋼桁橋である。本橋では、写真3.55に示すように、小出側A1橋台上ではパラペットのひび割れ、主桁端部に発生していた著しい腐食部分が、橋軸方向の水平力により、上巻取付け部分の下フランジやウェブが、破断したと考えられる。また、P1、P2間のゲルバー部において、桁間連結部の固定ボルトの損傷やサイドブロックの損傷が見られていた。さらに、小千谷側A2橋台においても、上部構造の衝突により、橋台パラペット部下端のひび割れやはく離が生じた。



写真3.55 A1橋台上主桁の損傷

## d) 西倉橋

県道川口塩殿線西倉橋は、昭和49(1974)年にしゅん工した橋長310mの3径間連続(2連)鋼桁橋である。本橋では、2連のかけ違い部の伸縮装置部に段差が生じており、その差は、車道部の下流側で45mm程度、上流側で5mm程度となっていた。写真3.56に示すように、かけ違い部橋脚上の右岸側連続桁下流側主桁における支承部で、ボルト破断によるサイドブロックの損傷や支点上垂直補剛材の座屈が見られた。



写真3.56 支点上垂直補剛材の座屈

### 3.2.4 兵庫県南部地震における被害調査結果

平成7年1月17日（月）午前5時46分に発生した兵庫県南部地震は、神戸市を中心としたマグニチュードM7.2の直下型地震（深度14.3km）で、広い範囲に被害をもたらした。この地震では、これまで設計で想定した地震力を大きく上回る地震力が作用したことが主因となって支承部に大きな被害が生じた。

一般国道（直轄）、高速自動車国道および阪神高速道路で、被災度が調査できた支承線は5,741支承線であったが、支承の材料種別では、鋼製支承が4,773支承線、ゴム支承が244支承線であり、そのほかはメナーゼ支承、剛結支承などの特殊なタイプの支承であった。このうち、表3.8に定義された被災度の区分において、B以上と判定された支承は1,604支承線（全体の28%）であった。表3.8に示した被災度の区分は、構造部材の残留耐力や変形性能に基づいて求められたものであり、同じ構造部材の中では、相対的な損傷の程度を表すものであるが、異なる構造部材間では、同じ被災度であっても、損傷の程度は必ずしも対応するものではない。

表 3.8 被災度の区分

被災度	定義
A	セットボルト、アンカーボルトの破断やソールプレート、ボス部の被害のあるもの 沓座コンクリートが破壊したもの
B	ピンの切断、上沓ストッパーの破断があるもの ローラー、アンカーボルトの抜け出しがあるもの 移動制限装置が破損したもの 沓座モルタルが破壊したもの
C	上沓、下沓が変形したもの セットボルトがゆるんだもの 移動制限装置に変形もしくはき裂が生じたもの 沓座コンクリート・沓座モルタルにき裂が生じたもの わずかな層間剥離、層間ずれ、変形を生じたもの
D	損傷がないか、あっても耐力に影響のないきわめて軽微なもの

表3.9に鋼製支承、ゴム支承および免震支承の被災状況を示す。表3.9によると、設置数の多い鋼製支承での被害が顕著であったが、震災近年に取り換えられたBP・B支承における被害は比較的少なかったと報告されている。鋼製支承の被害の内訳としては、上下部構造の接合部に生じる被害と支承本体に生じる被害に大別でき、前者の損傷にはセットボルトやアンカーボルトの破断や損傷、ソールプレートのせん断キー部の損傷、沓座コンクリートや沓座モルタルの破壊や損傷などがあり、後者の損傷としてはピンの破断やローラーの抜け出しなどであった。一方、ゴム支承では、層間はく離やずれ、ゴムにき裂が生じるなど、ゴム支承本体に生じる被害が見られた。このほか、支承部構造に関する被害としては、支承に取り付く上下部構造の損傷も認められた。

表3.8に示した被災度の区分により、鋼製支承とゴム支承との被災率を単純に比較したものが表3.10である。ここで示している支承の数は、支承線の数であり、括弧で示す割合は、各支承形式の合計②に対する比率である。表3.10より、被災度Aランクと判定された鋼製支承が全体の21%、ゴム支承は0%であり、被災度がBランクおよびCランクについては、鋼製支承が

13%および14%に対して、ゴム支承が2%および8%となっている。当時のゴム支承は、パッド型ゴム支承やリング支承（開口部のある内部鋼板を用いた積層ゴム支承）であり、比較的供用年数の少ないものも多く、鋼製支承に対するゴム支承の設置支承線割合は5%程度に留まっていた。一方、鋼製支承は設置数も多く、また、古くより供用されている。支承本体にじん性値の低い材料が使用されていたことや、想定を上回る地震力の作用も相まって、ゴム支承に比べて高い被災度を示したものと思われる。

表 3.9 支承の被災状況

種類	被災状況
鋼製支承	① 各鋼製支承に損傷が認められ、ローラー支承においてはローラーの逸脱が顕著であった。 ② ピン支承は、セットボルト、せん断キーの強度不足による損傷およびピンの逸脱が多かった。 ③ 震災近年に取り換えられたBP・B支承については、比較的被害が少なかった。
ゴム支承	① 損傷は少なく、地震時水平力分散ゴム支承に用いられたゴム支承でゴムにき裂の入った事例が1つあった。 ② 積層ゴム支承では、層間にはく離やずれなどが確認されたが、これによる上下部構造への影響は軽微であった。
免震支承	① 免震支承に損傷は見られなかった。ただし、地震動の激しかった地域に免震支承は設置されていない。

表 3.10 支承材料と被災度の関係（支承線数）

支承形式	被災度				合計②
	A	B	C	D	
鋼製支承	986 (20.7%)	603 (12.6%)	681 (14.3%)	2,503 (52.4%)	4,773 (100%)
ゴム支承	0 (0%)	6 (2.5%)	19 (7.8%)	219 (89.8%)	244 (100%)
合計①	986 (19.7%)	609 (12.1%)	700 (14.0%)	2,722 (54.3%)	5,017 (100%)

※：（）内の％は、合計欄は全数に対する％を、その他は支承形式に対する％を示す。

一般国道（以下、直轄国道）、阪神高速道路（以下、阪神高速）および高速自動車国道（以下、高速道路）における支承の被害状況を表 3.8 の定義により分類し、結果を表 3.11 に示す。ここで示している支承線数も支承線であり、括弧で示す割合は、合計②に対する比率である。路線別に被災度を見ると、直轄国道では、国道2号線の被災度が高い。また、阪神高速では、3号神戸線の被災度が高く、高速道路においては、名神高速の被災度が高い傾向にあった。

表 3.12 および表 3.13 には、鋼製支承の支承形式別被災度を示す。括弧で示す割合は、合計②に対する比率である。固定支承は、ピン支承、ピボット支承およびBP支承の被災度が高く、可動支承では、ローラー支承やBP支承の被災度が高い傾向である。また、固定支承より可動支承の被災度が高いこともうかがえる。

表 3.11 路線別の被災度

路線名		被災度				合計②
		A	B	C	D	
直轄国道	国道 2 号	63 (23.8%)	10 ( 3.8%)	2 ( 0.8%)	190 (71.7%)	265 (100%)
	国道 43 号	8 ( 2.6%)	13 ( 4.2%)	13 ( 4.2%)	272 (88.9%)	306 (100%)
	国道 171 号	6 ( 2.7%)	5 ( 2.3%)	16 ( 7.2%)	195 (87.8%)	222 (100%)
	国道 176 号	0 (0%)	0 (0%)	2 ( 4.3%)	45 (95.7%)	47 (100%)
	小計	77 ( 9.2%)	28 ( 3.3%)	33 ( 3.9%)	702 (83.6%)	840 (100%)
阪神高速道路	3号神戸線	371 (17.5%)	274 (12.9%)	383 (18.1%)	1,090 (51.5%)	2,118 (100%)
	5号湾岸線	30 ( 5.1%)	72 (12.3%)	196 (33.6%)	286 (49.0%)	584 (100%)
	小計	401 (14.8%)	346 (12.8%)	579 (21.4%)	1,376 (50.9%)	2,702 (100%)
高速道路	名神高速	401 (27.6%)	65 ( 4.5%)	11 ( 0.8%)	974 (67.1%)	1,451 (100%)
	中国道	112 (15.0%)	174 (23.3%)	85 (11.4%)	377 (50.4%)	748 (100%)
	小計	513 (23.3%)	239 (10.9%)	96 ( 4.4%)	1,351 (61.4%)	2,199 (100%)
合計①		991 (17.3%)	613 (10.7%)	708 (12.3%)	3,429 (59.7%)	5,741 (100%)

※：( ) 内の％は、合計欄は全数に対する％を、その他は各路線に対する％を示す。

表 3.12 鋼製支承（固定支承）の被災度（支承線数）

支承形式	被災度				合計②
	A	B	C	D	
BP 支承	133 (12.8%)	146 (14.1%)	126 (12.1%)	634 (61.0%)	1,039 (100%)
ピン支承	86 (34.0%)	28 (11.1%)	23 ( 9.1%)	116 (45.8%)	253 (100%)
ピボット支承	12 (11.8%)	9 ( 8.8%)	45 (44.1%)	36 (35.3%)	102 (100%)
線支承	32 ( 8.6%)	17 ( 4.6%)	55 (14.7%)	269 (72.1%)	373 (100%)
合計①	263 (14.9%)	200 (11.3%)	249 (14.1%)	1,055 (59.7%)	1,767 (100%)

※：( ) 内の％は、合計欄は全数に対する％を、その他は支承形式に対する％を示す。

表 3.13 鋼製支承（可動支承）の被災度（支承線数）

支承形式	被災度				合計②
	A	B	C	D	
BP 支承	479 (25.9%)	239 (12.9%)	224 (12.1%)	906 (49.1%)	1,851 (100%)
ローラー支承	238 (30.2%)	141 (17.9%)	152 (19.3%)	257 (32.6%)	788 (100%)
線支承	6 ( 1.6%)	23 ( 6.3%)	56 (15.3%)	282 (76.8%)	367 (100%)
合計①	723 (24.1%)	403 (13.4%)	432 (14.4%)	1,448 (48.2%)	3,006 (100%)

※：( ) 内の％は、合計欄は全数に対する％を、その他は支承形式に対する％を示す。



3号線の各支承において、表3.14の被災度の定義に基づき、区分された被災の状況を、表3.15に示す。なお、表3.15における各支承の単位は、支承の数であり、括弧で示す割合は、各支承形式における各判定ランクの小計に対する比率である。各判定ランクの小計に括弧で示されている割合は、合計①に対する比率である。3号線にて調査された支承は、6,608基であり、判定ランクAについてみると、BP・A支承やピン支承およびローラー支承や線支承において、セットボルトの破断による上沓のソールプレートからのずれや逸脱（判定ランク「A-1」）や、上沓の下沓からの脱落（判定ランク「A-2」）が多い。また、BP・A支承では、サイドブロックやストッパーの破断および遊間量の異常が多く、ピンローラー支承においては、上沓と下沓のずれやサイドブロックの破断などが多かった。線支承においては、上沓の下沓からの脱落、ストッパーの破断や沓座モルタルの損傷が多く、ゴム支承においては、設置数も少ないこともあり被害もほとんどなかった。

表3.15 阪神高速道路3号線の被災度

判定 ランク	支承形式							合計②
	BP・A	ピボット	ピン	ローラー	線	ゴム		
A	A-1	55 (18.2%)	0 (0%)	50 (31.1%)	46 (18.6%)	12 (4.0%)	0 (0%)	163 (16.1%)
	A-2	178 (58.7%)	0 (0%)	91 (56.5%)	185 (77.3%)	237 (79.0%)	0 (0%)	697 (68.9%)
	A-3	8 (2.6%)	0 (0%)	0 (0%)	4 (1.6%)	13 (4.3%)	0 (0%)	25 (2.5%)
	A-4	8 (2.6%)	0 (0%)	4 (2.5%)	2 (0.8%)	16 (5.3%)	0 (0%)	30 (3.0%)
	A-5	8 (2.6%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	8 (0.8%)
	不明	46 (15.2%)	0 (0%)	16 (9.9%)	4 (1.6%)	22 (7.3%)	0 (0%)	88 (8.7%)
	小計	303 (8.1%)	0 (0%)	161 (36.8%)	247 (48.9%)	300 (15.9%)	0 (0%)	1011 (15.3%)
B	B-1	83 (15.7%)	0 (0%)	20 (48.8%)	31 (25.8%)	45 (24.1%)	0 (0%)	179 (20.2%)
	B-2	41 (7.7%)	0 (0%)	0 (0%)	31 (25.8%)	0 (0%)	0 (0%)	72 (8.1%)
	B-3	106 (20.0%)	0 (0%)	0 (0%)	42 (35.0)	1 (0.5%)	0 (0%)	149 (16.9%)
	B-4	155 (29.2%)	0 (0%)	0 (0%)	6 (5.0%)	118 (63.1%)	0 (0%)	279 (31.6%)
	B-5	0 (0%)	6 (100%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	6 (0.7%)
	B-6	0 (0%)	0 (0%)	6 (14.6%)	7 (5.8%)	0 (0%)	0 (0%)	13 (1.5%)
	不明	145 (27.4%)	0 (0%)	15 (36.6%)	3 (2.5%)	23 (12.3%)	0 (0%)	186 (21.0%)
小計	530 (14.1%)	0 (0%)	41 (9.4%)	120 (23.8%)	187 (9.9%)	0 (0%)	884 (13.4%)	
C	C-1	5 (0.8%)	0 (0%)	21 (42.0%)	4 (6.3%)	0 (0%)	0 (0%)	30 (3.0%)
	C-2	94 (15.0%)	0 (0%)	5 (10.0%)	0 (0%)	14 (5.7%)	0 (0%)	113 (11.4%)
	C-3	1 (0.2%)	6 (0.1%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	1 (0.1%)
	C-4	112 (17.9%)	0 (0%)	17 (34.0%)	8 (12.5%)	50 (20.2%)	1 (100%)	188 (19.0%)
	C-5	198 (31.7%)	0 (0%)	0 (0%)	42 (65.6%)	21 (8.5%)	0 (0%)	261 (26.4%)
	C-6	47 (7.5%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	53 (21.5%)	0 (0%)	100 (10.1%)
	不明	168 (26.9%)	0 (0%)	7 (14.0%)	10 (15.6%)	109 (44.1%)	0 (0%)	294 (29.8%)
小計	625 (16.6%)	0 (0%)	50 (11.4%)	64 (12.7%)	247 (13.1%)	1 (10.0%)	987 (14.9%)	
D	2301 (61.2%)	0 (0%)	186 (42.5%)	74 (14.7%)	1156 (61.2%)	9 (90.0%)	3726 (56.4%)	
合計①	3759 (56.9%)	6 (0.1%)	438 (6.6%)	505 (7.6%)	1890 (28.6%)	10 (0.2%)	6608 (100%)	

表 3.14 に示した被災度について、各支承形式別に被害の割合を図 3.13 に示す。図 3.13 (a) に示す BP・A 支承では、大被害が 8%程度と比較的少なく、中被害および小被害が 15%程度となっており、無被害は 60%程度であった。また、図 3.13 (b) および (c) に示すピン支承やピンローラー支承では、大被害が 40~50%と多く、中・小被害が 30~40%程度であった。図 3.13 (d) に示した線支承では、大・中・小被害ともに 10~15%程度であり、無被害は BP・A 支承と同様に 60%程度であった。このことから、比較的支承高さの高いピン支承やピンローラー支承では、大被害が集中しており、BP・A 支承や線支承においては、半数以上が無被害であることがうかがえる。

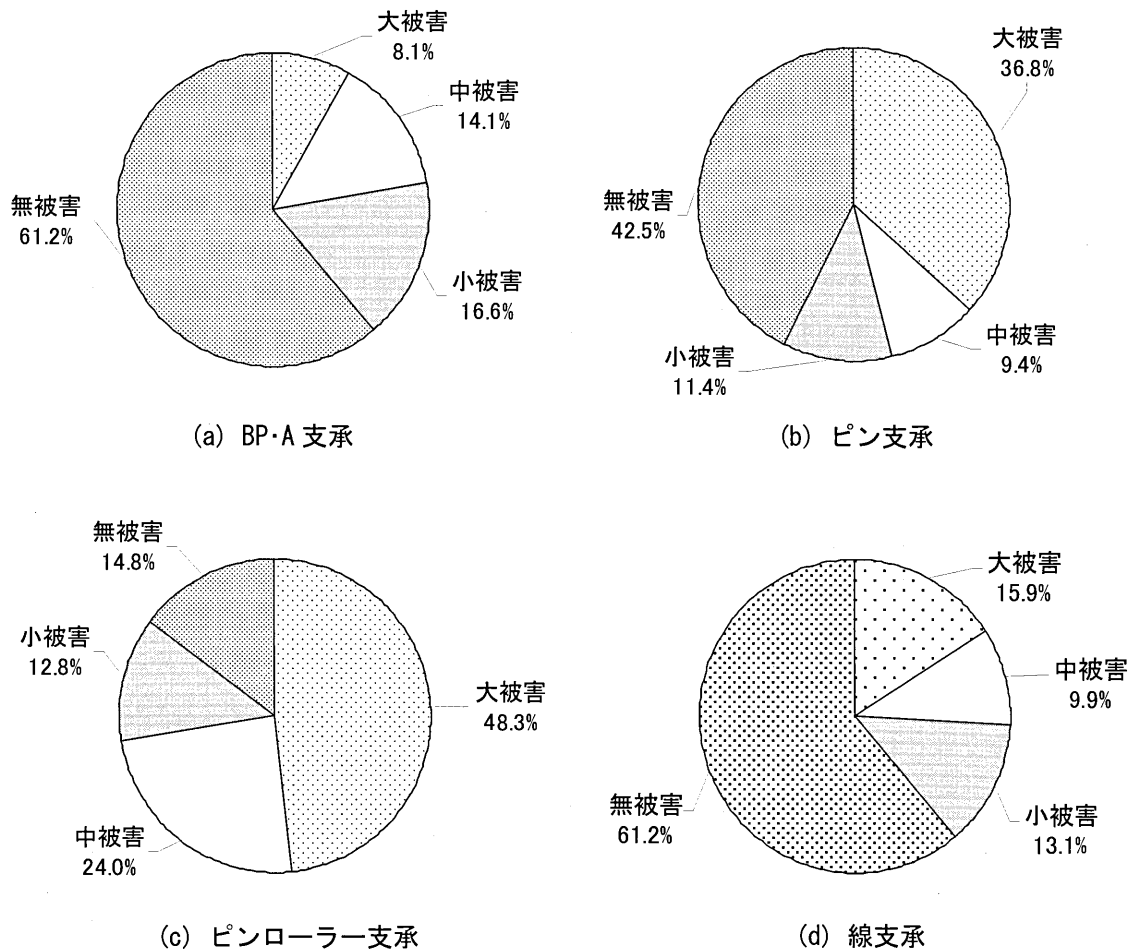


図 3.13 阪神高速道路 3 号線における支承形式別被災状況

次に、阪神高速道路 5 号湾岸線（以下、5 号線）について記述する。調査の対象となった支承は、1,388 基で、形式別の被災度を表 3.15 に示す。また、図 3.14 に当時の 5 号線において調査された支承の形式別内訳を示す。調査された支承うち、BP・A 支承は 78.4%であり、次いでピボット支承（9.3%）、ピボットローラー支承（7.2%）となっていた。

表 3.16 に、被害状況の調査対象となった 1,388 基における支承形式別の被災度を示している。ここで、表中に示す数は、支承線であり、括弧で示す割合は、各支承形式別の合計①に対する各判定ランクの比率である。また、「無破」とは「無被害」を意味していると思われる。表 3.16 によると、ピボット支承やピボットローラー支承で被災度が高いものの、3 号線と比較すると被災

度は低くなっている。損傷数量の多いBP・A 支承，ピボット支承やピボットローラー支承について見ると，BP・A 支承ではセットボルトの損傷がもっとも多く，次いで，上沓・下沓のずれ，沓座モルタルの損傷が多くなっている。ピボット支承およびピボットローラー支承においても，セットボルトの損傷事例がもっとも多く，上沓や下沓，ローラーやソールプレートの損傷も見られた。また，ゴム支承については，分散ゴム支承において，ゴム本体の損傷が1例認められ，その他の損傷は，鋼製支承と同様に，セットボルトや沓座モルタルに関係するものであった。

表 3.16 阪神高速道路5号線の被災度

判定 ランク	支承形式					合計②
	BP・A	ピボット	ピン	ピボットローラー	ゴム	
落下	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	8 (7.8%)	0 (0%)	8 (0.6%)
大破	24 (2.2%)	10 (7.6%)	0 (0%)	26 (25.5%)	1 (2.4%)	61 (4.3%)
中破	83 (7.5%)	15 (11.4%)	0 (0%)	10 (9.8%)	14 (33.3%)	122 (8.6%)
小破	193 (17.4%)	58 (43.9%)	2 (100%)	34 (33.3%)	23 (54.8%)	310 (21.9%)
無破	810 (73.0%)	49 (37.1%)	0 (0%)	24 (23.5%)	4 (9.5%)	887 (62.6%)
合計①	1110 (78.4%)	132 (9.3%)	2 (0.1%)	102 (7.2%)	42 (3.0%)	1416 (100%)

※ 不明28

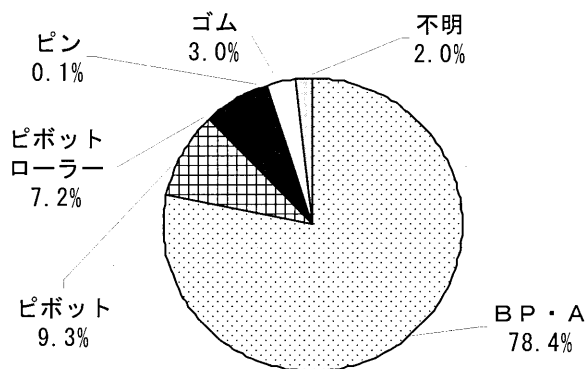


図 3.14 5号線における支承の形式別内訳

次に，上部構造の被災の特徴を整理してみる。表 3.17 は，3号線および5号線にある合計1,766 径間の上部構造について，その損傷形態を分類したものである。参考文献によると，表 3.17 に示す損傷は，支承本体や落橋防止装置本体の被害ではなく，それらを取付けている部位における桁の損傷を対象としている。同一の桁に複数の損傷がある場合には，重複計上しているため，総計は1,766 径間を上回っている。なお，落橋している場合には，落下により生じた損傷と落下以前に生じた損傷との区別ができないため集計には加えていない。また，括弧で示す割合は，各損傷位置の合計②に対する各被災度の比率である。これによれば，上部構造の被災としては，支承部の損傷が目立っており，被災度がAと判定されたものが支承部全体の7%となっている。また，落橋防止装置の取付け部においても損傷が生じており，支承部や落橋防止装置の取付け部など，荷重の集中する箇所に桁の損傷が現れる傾向であった。

表 3.17 桁の損傷位置（径間数）

損傷位置	被災度				合計②
	A	B	C	D	
支承の取付け部	112 (6.7%)	142 (8.5%)	62 (3.7%)	1364 (81.2%)	1680 (100%)
落橋防止装置の取付け部	4 (0.3%)	24 (1.7%)	38 (2.7%)	1317 (95.2%)	1383 (100%)
桁中央部	1 (0.1%)	5 (0.3%)	2 (0.1%)	1672 (99.5%)	1680 (100%)
鋼桁の切欠き部	26 (13.9%)	29 (15.5%)	12 (6.4%)	120 (64.2%)	187 (100%)
合計①	143 (2.9%)	200 (4.1%)	114 (2.3%)	4474 (90.7%)	4930 (100%)

※：( ) 内の％は、合計欄は全数に対する％を、その他は損傷箇所に対する％を示す。

### 3.2.5 地震時における支承部の損傷と対応

兵庫県南部地震では、支承に多数の損傷が生じ、支承部に起因すると考えられる橋梁の被害も多数見受けられた。この地震は、内陸直下型地震であり、内陸部におきた直下型の地震としては、昭和 23 (1948) 年に起きた福井地震以来の大きな地震である。また、わが国で本格的に強震観測が開始された昭和 39 (1964) 年の新潟地震以降、構造物に与えた影響としてはもっとも強い地震動であった。

道路橋においては、大正 12 (1923) 年の関東地震を機に耐震設計が取り入れられ、福井地震や新潟地震、宮城県沖地震などの被災経験を基に耐震性能の向上が図られてきている。例えば、関東地震以降では、各部位の機能や構造が見直され、アンカーボルトを下部構造へ定着させたり、上沓と下沓を連結させたりするようになり、宮城県沖地震では、支承のストッパー部に多くの損傷が報告されたことから、応力集中箇所では、丸み付けが行なわれることとなった。そのような中、この兵庫県南部地震は、昭和 53 (1978) 年の宮城県沖地震に次いで、支承に大きな転機をもたらした。支承部は、上部構造と下部構造との接点であることから、橋梁全体を見据え、常時に対する配慮のみならず、マグニチュード 7 級の内陸直下で発生する地震動に対しても、必要な耐震性を確保することが求められた。具体的には、当時の建設省から出された「復旧仕様」を基本として、従来の震度法による耐震設計に加え地震の影響が大きい橋脚、基礎、支承部、落橋防止システムなどの構造部材などは、地震時保有水平耐力法により、耐震設計を行うよう改訂され、特に、支承部は、橋梁を構成する主要構造部材のひとつとして明確に位置付けられることとなった。

### 3.3 支承部の不具合に起因した上部構造の損傷

支承部の不具合に起因した上部構造の損傷は、非常に多岐にわたっている。ここでは、支承部に着目し、支承部に何らかの不具合が発生した場合に、上部構造のどのような部材・部位に、どのような損傷が発生するのか、その事例と傾向について述べる。

支承部は、設置される橋台や橋脚の上部が狭あいである場合が多く、点検・調査、補修・補強工事が難しい部材である。また、機能不全が生じていても、外観だけでは機能不全の有無が判断しにくいものもあり、放置され、上部構造や下部構造に損傷を発生させている場合もある。

支承部の損傷を機能別に整理すると、支点沈下や沈下に伴う支承部の損傷などによる鉛直力支持機能の低下、支承部の腐食などによる水平移動や回転の機能低下などに分類される。このような、支承の機能不全が原因で発生する上部構造の損傷は、支承が設置されている桁端部に多く見られる。

#### 3.3.1 損傷形態

図 3.15 に、支承部の不具合に起因した上部構造の損傷形態を示す。沓座の割れなどによって支承が沈下した場合と水平移動や回転機能の低下による場合の損傷に大別して分類している。

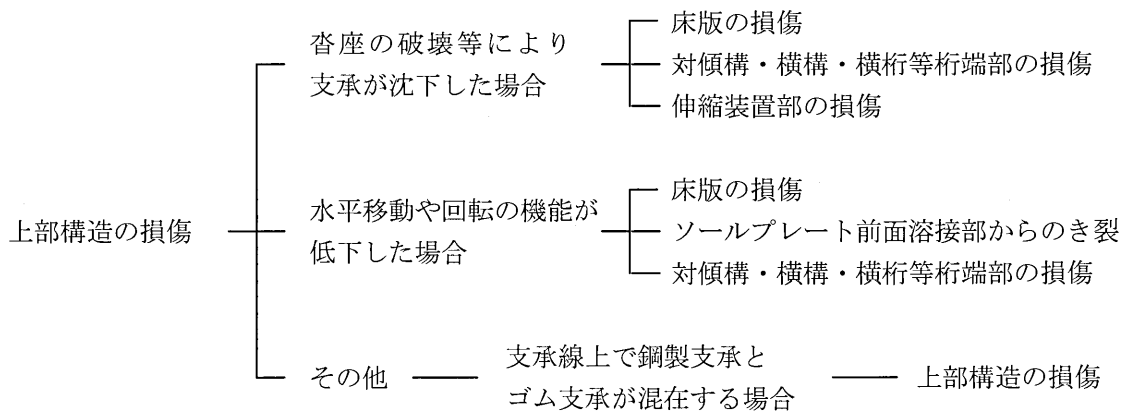


図 3.15 支承部の不具合に起因した上部構造の損傷形態

#### (1) 沓座の破壊等により支承が沈下した場合

ひとつの支承線で一支承だけが沈下すると、支点変位の影響で各支承の反力が変化する。沈下した支承の反力は低下し、その低下した分を他の支承が受け持つことになる。さらに、支点沈下により上部構造には想定外の付加応力が発生し、床版にひび割れなどの損傷が発生する可能性もある。また、対傾構・横構・横桁等桁端部にき裂や変形などの損傷が発生する場合もあり、加えて、活荷重の載荷状態で上下方向の変動が繰り返されることから、騒音の原因にもなる。さらには、伸縮装置部に段差が発生し、通行車両に被害を及ぼすこともある。

#### (2) 水平移動や回転の機能が低下した場合

変位が拘束され、水平移動や回転の機能が低下した場合は、上部構造の各部材・部位に、設計で想定していない応力が発生する。活荷重による変形は、動的に繰り返し生じるものであることから、床版にはひび割れ等の損傷が、対傾構・横構・横桁等桁端部には、き裂や変形等の損傷が発生する場合がある。特に、溶接で取付けられているソールプレートは、変位の拘束や断面の急変による影響で、ソールプレート前面溶接部から疲労き裂が発生しやすくなり、このき裂が、桁本

体のフランジやウェブに伸びて脆性的な破壊となる場合がある。また、支承に対しても、想定していない水平力や曲げモーメント等が作用することになり、支承本体の損傷や沓座の破壊へ発展する場合もある。

### (3) その他

近年、ゴム支承の採用が増えているが、上部構造が一体構造であるにもかかわらず、一支承線上で、鋼製支承とゴム支承を混在して使用している事例が見られる。一支承線上で、鋼製支承とゴム支承を混在して使用すると、支持機能の差（鉛直変位量の問題、回転時の支持機構の問題等）により、上部構造に損傷が発生する可能性が考えられる。

## 3.3.2 上部構造の損傷傾向と要因

### (1) 床版の損傷

床板桁端部のひび割れ等の損傷は、支点の沈下、水平移動および回転の拘束が原因で発生する場合がある。水平移動および回転が拘束された場合は、活荷重によって主桁などの動的挙動が繰り返され、その影響により、床版に損傷を発生させる可能性がある。

### (2) 対傾構・横構・横桁等桁端部の損傷

対傾構・横構・横桁等桁端部の損傷は、床版の損傷と同様に、支点の沈下、水平移動および回転の拘束が原因で発生する場合がある。特に、主桁と対傾構・横構・横桁等の連結部に変形や疲労き裂が発生する場合がある。写真 3.57 に、ガセットプレートに発生したき裂の事例を示す。

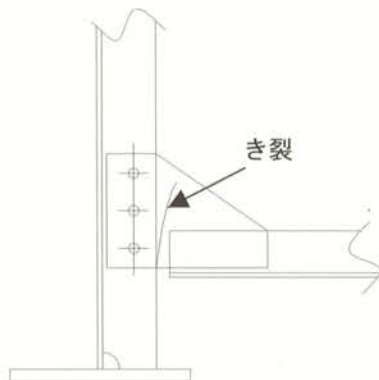


写真 3.57 ガセットプレートのき裂

### (3) ソールプレート前面溶接部からのき裂

ソールプレート前面溶接部からのき裂の発生要因は、支承の機能低下に伴う桁端の回転や水平移動の拘束による応力増加が考えられる。また、その他の要因として、大型車走行による発生応力とその頻度の増大、ソールプレート部分の断面急変に伴う応力集中等が考えられる。なお、製作上の要因として、下フランジとソールプレート間のすき間に伴う溶接部への応力集中、溶接に起因する応力集中（溶接止端部の形状、溶接欠陥等）や引張残留応力の影響も考えられている。代表的なき裂発生状況を、写真 3.58 に示す。

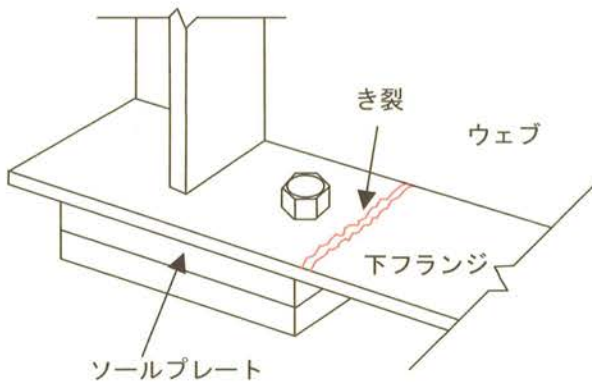


写真 3.58 ソールプレート前面溶接部からのき裂

#### (4) 伸縮装置部の損傷

伸縮装置部は、支承部と同じ端支点到に位置していることから、支承部の損傷が原因で、伸縮装置部に影響を及ぼす場合がある。特に、杓座モルタルの割れによって、支承部や主桁が沈下し、伸縮装置部に段差、異常音およびフィンガーの損傷等を発生させてしまうことがある。写真 3.59 および写真 3.60 に、支承部の沈下とそれに伴う伸縮装置部の段差が発生した事例を示す。



写真 3.59 支承の沈下



写真 3.60 伸縮装置の段差

#### (5) 一支承線上で鋼製支承とゴム支承が混在する場合

鋼製支承は、一般的に鉛直荷重による変位は極めて小さい。一方、ゴム支承は鉛直荷重に対して変形し、鋼製支承と比較するとその変形量は大きい。また、回転時の荷重支持機構として、上杓を介して面で受ける機構は同じでも、ゴム支承は、スパン中央側でやや片効き傾向となる場合がある。このように、材質の差、支承の圧縮変形および支持機構の差等により、活荷重の衝撃の受け方が異なったり、桁に微少なたわみ差が発生したりすることが考えられる。これらの要因で、上部構造に不具合が発生する可能性が否定できない。混在による損傷の発生事例については、採用からの供用年数が短いために現在のところ報告がないと考えられるが、今後、供用年数が増えるにつれて損傷の発生する可能性がある。

## 参考文献（第3章）

- 阪神高速道路株式会社：道路構造物の点検要領，平成17年10月
- 社団法人日本道路協会：道路橋支承便覧，平成3年7月
- 社団法人日本道路協会：道路橋支承便覧，平成16年4月
- 下村真弘，榎澤寛：特集：橋梁の见えない部分 ①支承 維持管理から見た支承の問題点，土木技術，35巻12号，pp.65-70，1980年12月
- 社団法人日本道路協会：道路橋支承標準設計（ピン支承，ころがり支承），昭和54年1月
- ゴム材料劣化・対策研究会：ゴムの劣化・老化・破壊とその防止対策，pp.250～257，1982年5月
- 牧添英康：付属物・支承の補修と補強 支承の補修，橋梁と基礎，pp.170～174，1983年3月
- 首都高速道路公団保全施設部：構造物点検要領（平成16年度），平成16年
- 阪神高速道路公団：道路構造物の点検標準（土木構造物編），昭和60年9月
- 阪神高速道路公団：道路構造物の点検要領（土木構造物編），平成14年5月
- 室井智文：日本道路公団における支承の現況－東名・名神高速道路の調査より－，橋梁と基礎，pp.165～169，1983年8月
- 社団法人日本支承協会：かなめ，昭和63年12月
- 和泉聡，藤原繁郎，原田廣美，大杉隆洋，高野嘉彦，多田恭大：北陸自動車道および近畿自動車道における溶融亜鉛めっき橋梁の追跡調査，橋梁と基礎，pp.13～19，2000年6月
- 社団法人土木学会関西支部：大震災に学ぶ－阪神・淡路大震災調査研究委員会報告書－，平成10年6月
- 消防庁：阪神・淡路大震災について（確定報），平成18年5月19日
- 気象庁：平成16年10月 地震・火山月報（防災編），平成16年10月
- 気象庁：災害時地震・津波速報 平成19年（2007年）能登半島地震，平成19年4月20日
- 気象庁：災害時地震・津波速報 平成19年（2007年）新潟県中越沖地震，平成19年8月20日
- 兵庫県南部地震道路橋震災対策委員会：兵庫県南部地震における道路橋の被災に関する調査報告書，平成7年12月
- 宮本文穂：橋梁支承および桁間連結装置の被災状況から想定される衝撃荷重特性と今後の対策，第3回落石等による衝撃問題に関するシンポジウム講演論文集，pp.121～125，1996年5月
- 阿部雅人，柳野和也，藤野陽三，橋本哲子：1995年兵庫県南部地震における3径間連続高架橋の被害分析，土木学会論文集，No.668/I-54，pp.83-101，2001年1月
- 阿部哲子，藤野陽三，阿部雅人：1995年兵庫県南部地震による阪神高速高架橋の被害と2，3の分析，土木学会論文集，No.612/I-46，pp.191-199，1999年1月
- 山平喜一郎，大塚久哲：兵庫県南部地震における鋼桁損傷要因の分析と耐震性向上策の検討，土木学会論文集，No.696/I-58，pp.31-43，2002年1月
- 阪神・淡路大震災調査報告編集委員会：阪神・淡路大震災調査報告 土木構造物の被害 橋梁，1996年12月
- 平成16（2004）年新潟県中越地震土木施設災害調査報告，国総研報告第27号，土研報告第203号，2006年1月
- 神田昌幸：道路橋における支承および落橋防止構造の被災の総括，橋梁と基礎，pp.156～162，1996年8月