

5. 支承部の損傷と対策事例

－ 経年劣化から地震による被害まで －

保全委員会 保全技術小委員会

湯本 大祐 柿沼 努

村井 向一 吉田 昌由

1. はじめに

橋梁の支承は、上下部構造の接点で上部構造の荷重を円滑に下部構造に伝え、構造物全体の機能を発揮させ、安全性を確保する上で重要な役割を果たす。東北地方太平洋沖地震においては、昨今の耐震補強の効果もあり、地震動による落橋はほとんどなかった。しかしながら、支承は常時、移動・回転を繰り返す過酷な部材である上に桁端の狭隘な箇所位置し、また地震の影響を大きく受けるため、最も損傷例が多い箇所である。

本報告では、橋梁の安全性の鍵を握る支承について、経年劣化から地震による被害まで、その損傷および対策事例について報告する。

2. なぜ支承部に損傷が多いのか？

事例を紹介する前に、なぜ支承部に損傷が多いのか。支承は、特殊橋梁を除き上部工と下部工（地面）をつないでいる唯一の点（箇所）である。図-1 に示す通り、常時においては全ての死荷重を支えながら、活荷重や温度変化による移動・回転を繰り返すという非常に過酷な部材となる。また、一般的に狭隘で閉鎖的な空間に位置しており、メンテナンスが困難なため、土砂の堆積や雨水溜まりなどが原因で、発錆・腐食が多く見られ、機能劣化につながっている。

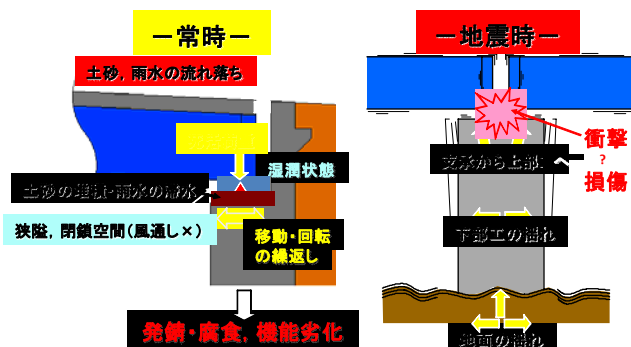


図-1 支承損傷のメカニズム

一方、地震時においては、地面の揺れは、ほぼ支承を介して上部工に伝えられるため、橋梁の部材の中でも最も衝撃を受ける部分となる。地震の揺れ、衝撃を

衝撃を吸収しながら上部工に伝えるのも支承部の重要な役割でもあるため、地震による上部工の損傷のほとんどが支承部で生じていると考えられる。

3. 支承の基本事項

経年劣化や地震による損傷に対し、その対策を検討する上で、一番重要になるのが「支承の機能を知る」ことになる。支承の機能を知らずに対策をとると、時として再劣化や再損傷のきっかけになる可能性がある。

本章では支承機能と代表的な損傷事例について報告する。

3. 1 支承の機能と分類

支承のさまざまな機能に対する分類を示す(表-1)。

表-1 支承の機能と分類

項目	支承機能	支承分類
主要材料	鋼製材料	鋼製支承
	ゴム材料	ゴム支承
水平力機能	無し	可動支承
	有り	固定支承
地震時機能	分散	地震時水平力分散支承
	減衰	免震支承
震度レベル	レベル1地震動	タイプA支承
	レベル2地震動	タイプB支承
機能構成	一体	機能一体型支承
	分離	機能分離型支承

3. 2 鋼製支承の種類

(1) 線支承 (LB 支承 ; Line Bearing) (図-2)

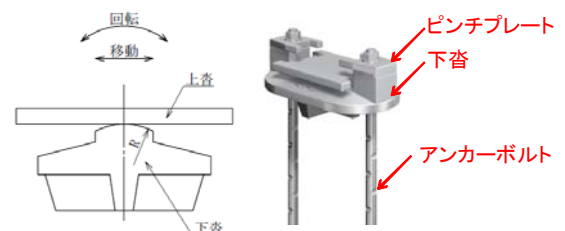


図-2 線支承

線支承は、主に橋長が30m以下の小規模橋梁に使用される。また、比較的鉄道橋に多く見られる。

特徴としては、下記の通り。

- ・ 平面と円筒面の接触により鉛直荷重を伝達。
- ・ 小規模の鉸桁橋用として多くの実績。
- ・ 支承高さを低くできる。
- ・ 大きな荷重を維持するのは不向き。
- ・ 塵埃（じんあい）等の影響を受けやすい。
- ・ 移動と回転の方向が異なる斜橋には不向き。

次に、線支承の主な損傷事例を示す（写真-1）。



写真-1 線支承の主な損傷例

上2枚の写真は地震による損傷で、共に過移動に伴いサイドブロックやピンチプレートが破断した例で、今回の震災でも多く報告されている損傷である。一方、下の写真は支承が見えないくらい土砂が堆積し、機能不全になった例である。

(2) 支承板支承 (BP 支承 ; Bearing Plate)

① BP-A 支承 : 高力黄銅支承板支承 (図-3)

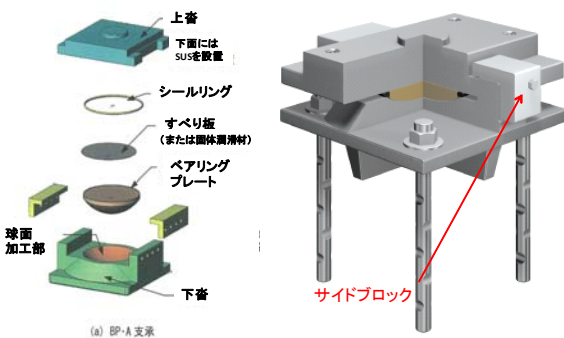


図-3 BP-A 支承

通常BP沓と呼ばれており、BP-AとBP-Bがある。まず、BP-Aの特徴は下記の通り。

- ・ ベアリングプレートで水平移動と回転に追随。
- ・ 経年劣化によって摩擦特性が変動して、水

平移動機能や回転機能を阻害することがある。

- ・ 近年は使用されない。

② BP-B 支承 : 密閉ゴム支承板支承 (図-4)

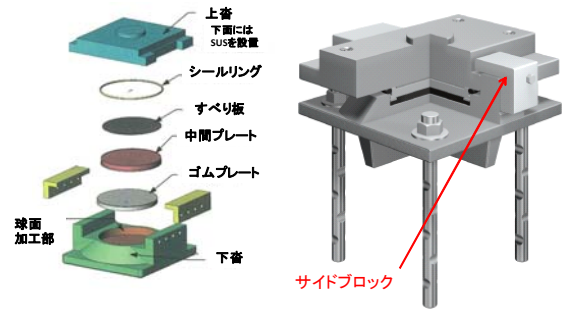


図-4 BP-B 支承

現在では、このBP-B 支承が主流となっている。特徴としては下記の通り。

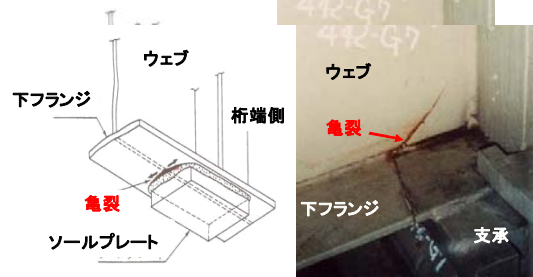
- ・ テフロン板とステンレス板で水平移動に追随。
- ・ ゴムプレートで回転に追随。
- ・ テフロン板は酸や薬品に強く、摩擦係数も長期的に安定。

次に、BP 支承の主な損傷事例を示す（写真-2）。



写真-2 BP 支承の主な損傷例

上2枚の写真は地震による損傷で、過移動により支承のセットボルト、サイドブロックおよびサイドストッパーが損傷した例である。ボルト先端が残存する例について、後ほど撤去方法を紹介する。一方、下の写真は、経年劣化による支承の機能不全により、主桁下フランジと支承のソールプレート前面に亀裂が発生するもので、対応が遅れると写真の通り亀裂が主桁方向に進展することが確認されている。



(3) ピン支承 (PN 支承 ; Pin Bearing) (図-5)

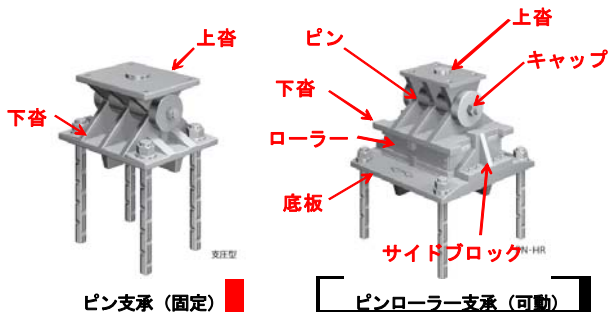


図-5 ピン支承

ピン支承は、ピンにて一方向の回転のみに追従する支承で、大規模橋梁やアーチ橋に実績がある。構造としては「支圧型ピン支承」と「せん断型ピン支承」に区分され、可動はローラー支承と組み合わせて使用される。

次に、ピン支承の主な損傷事例を示す (写真-3)。



写真-3 ピン支承の主な損傷事例

上2枚の写真は地震による損傷で、左はアンカーボルトが抜け出し、上沓も逸脱している例で、右はローラーが押し出された例である。一方、下の写真は、土砂堆積等により腐食が進行しだしているものである。

(4) ピボット支承 (PV 支承 ; Pivot Bearing) (図-6)

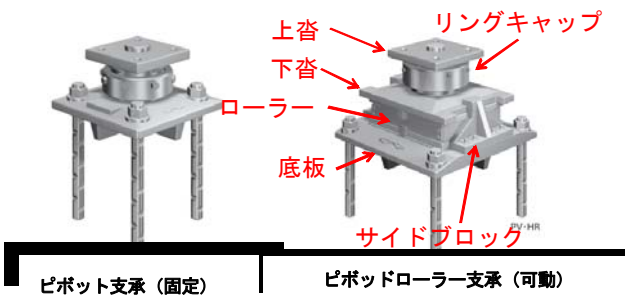


図-6 ピボット支承

ピボット支承は、大きな反力を支持することができる支承で、上下の沓の隙間がない状態で回転する機構なので構造は複雑になる。特徴としては下記の通り。

- ・ 上沓は凹面状、下沓を凸面状にそれぞれを球面仕上げして組み合わせ、全ての方向に回転可能にしている固定支承。
- ・ 斜張橋、大型のトラス橋や曲線橋など比較的大反力を支持することが可能。
- ・ 可動支承としては、ローラーを組み合わせたピボットローラー支承がある。

次に、ピボット支承の主な損傷事例を示す (写真-4)。

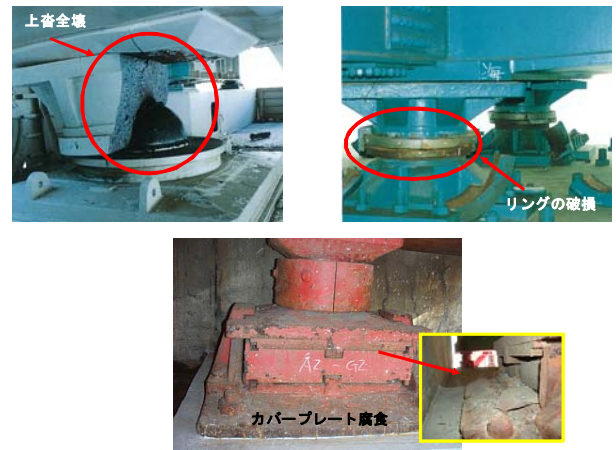


写真-4 ピボット支承の主な損傷事例

上2枚の写真は地震による損傷で、左は上沓の破壊で、右はリングキャップの破損である。一方、下の写真は、経年劣化によるもので、腐食による事例が多くなってきている。

3. 3 ゴム支承の種類

(1) ゴム支承

鋼橋にゴム支承が本格的に使用されてきたのは、阪神大震災以降である。以降、鋼橋に使用される支承の大部分はゴム支承になっている。

① タイプA支承

タイプA支承はレベル1地震動に対応するもので、特徴としては下記の通り。

- ・ ゴム本体は、一般的に、上沓・下沓に連結されない。
- ・ 滑動防止のため、滑り止め板などを設置。

② タイプB支承

タイプB支承はレベル2地震動に対応するもので、特徴としては下記の通り。

- ・ ゴム本体が上下沓にボルトで結合されている。
- ・ 可動側ゴム支承は、桁の水平移動に対して、下記2タイプがある。
 - a) ゴムのせん断変形で追従するタイプ。
 - b) ゴム本体の上面滑り面で滑らせるタイプ。

(2) 地震時水平分散ゴム支承 (図-7)

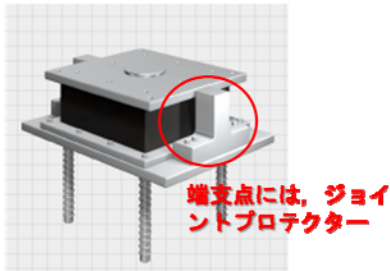


図-7 地震時水平力分散ゴム支承

見た目には、前述のゴム支承と大きな違いがない。特徴としては下記の通り。

- ・ ゴム本体のせん断剛性を利用して、地震力を複数の下部構造に分散させる。
- ・ ゴム材料は、一般的に天然ゴム
- ・ 端支点部には、ジョイントプロテクターを橋軸直角方向に取付ける

この、ジョイントプロテクターは、レベル2地震動で壊れるロックオフ機能で設計されている。

(3) 免震支承

免震支承には、高減衰ゴム支承 (図-8)、鉛プラグ入りゴム支承 (図-9) がある。

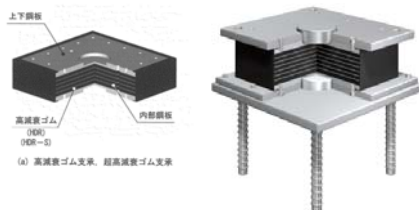


図-8 高減衰ゴム支承

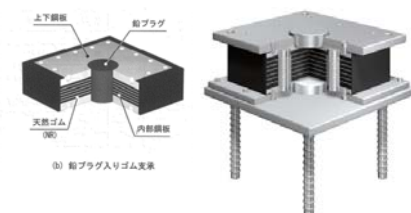


図-9 鉛プラグ入りゴム支承

特徴は下記の通り。

- ・ ゴム支承にアイソレータ機能とダンパー機能を付加させた支承。
- ・ ゴム本体のせん断剛性を利用して、橋梁の固有周期を適度に長くし、減衰機能より地震力を低減する。

次に、ゴム支承の主な損傷事例を示す (写真-5)。



写真-5 ゴム支承の損傷事例

左は、ジョイントプロテクターが破損したもので、右はゴム沓がせん断変形したまま残留した事例である。

一方、ゴム沓自体が採用され始めてから年数も浅く、経年劣化による損傷については、あまり報告されていない。

4. 損傷と対策事例

4. 1 地震時における損傷と対策事例

地震時において、応急復旧方法を選定するに際し、重要になってくるのが各構造部位の被災度判定である。今回は、日本道路協会の「道路震災対策便覧 (震災復旧編)」を参考に、支承部分の被災度判定毎にその損傷と対策事例を報告する。

(1) 被災度区分

応急復旧のための被災度判定には、「耐荷力」「走行性」「復旧性」が挙げられる。そこで、支承が直接関係する事項は「耐荷力」になるため、ここでは、「耐荷力」の被災度区分が5段階ある中、「As:落橋」「D:被害なし」を除く区分について説明する。

① 被災度A (大被害)

耐荷力の低下に影響がある損傷を生じており、落橋等の致命的な被害の可能性がある場合。

② 被災度B (中被害)

耐荷力の低下に影響のある損傷であり、余震や活荷重による被害の進行が無ければ、当面の利用が可能な場合。

③ 被災度C (小被害)

短期的には耐荷力の低下に影響しない場合。

(2) 被災度A (大被害) の事例

被災度Aは、具体的事例として、セットボルトやアンカーボルトの破断、ソールプレート、せん断キーに被害があるもの、沓座コンクリートが破壊したものなど落橋等の致命的な被害の可能性があるものとされている。

① 支承部の機能喪失と応急対策

実例として、支点部の機能が喪失した事例を示す(写真-6)。



写真-6 支承部機能喪失

左上の写真は、支承が完全に破壊され、主桁が沓から逸脱した事例、右上の写真は、ピンローラー支承のローラーが大きく逸脱した事例、下の写真は、支点上ウェブが座屈した事例である。いずれも支承として水平力に抵抗できなくなる損傷で、余震等により落橋につながる可能性がある。これらの応急対策としては写真-7の仮受けが必要になる。



写真-7 仮受け方法

支承前面に仮受けスペースがある場合、右の写真の通りサンドル材を使用して仮受けする。また、仮受けスペースが無い場合、左の写真の通り、ベントを使用した大がかりな設備が必要になる。

② 桁移動の事例と応急対策

次は、写真-6の左上の桁移動についての応急対策事例を示す(写真-8)。



写真-8 桁の横戻し

この事例は、今回の地震により支承が破壊し、主桁が横方向に移動したもので、橋脚から落橋しかかっていた。応急対策として写真-9の通り、テンション

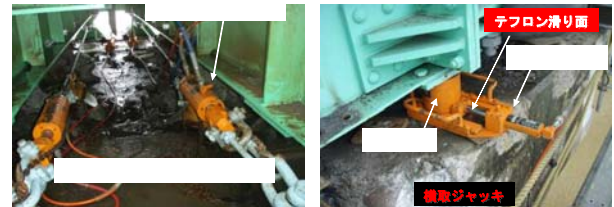


写真-9 桁の横戻し

ジャッキを使用して落橋防止を図りながら、所定の位置に桁を横戻した。この横戻し設備は、特殊加工した滑り面上を鉛直ジャッキを滑らせるもので、今回の地震の応急対策で活躍したもののひとつである。

(3) 被災度B (中被害) の事例

被災度Bは、耐荷力の低下に影響のある損傷であり、余震や活荷重による被害の進行が無ければ、当面の利用が可能な場合で、具体的には、アンカーボルトの抜け出しや、上沓ストッパーやサイドブロックの破断等が挙げられる。

① アンカーボルトの抜け出しと応急対策

地震によりピン支承のアンカーボルトが抜け出した事例を示す(写真-10)。



写真-10 アンカーボルトの抜け出し

アンカーボルトが完全に抜け出ていないことより、水平力には抵抗できる可能性を残しつつも、余震や活荷重などによりアンカーボルトが完全に抜け出さないよう応急対策する必要がある。この事例の場合、固定支承であったことと、数年後に架け替えも計画されていることより**写真-11**の通り、下沓をコンクリートで巻立て応急復旧を行った。



写真-11 下沓コンクリート巻立て

② 上沓ストッパーの破断と応急対策（その1）

ピボット支承のサイドストッパーが破断した事例を示す（**写真-12**左）。



写真-12 サイドストッパーの破断と応急対策

本事例は、片側のサイドストッパーが健全でしたので、**写真-12**の右の写真の通り、サドル材を利用して簡易ストッパー（変位制限装置）を設置した。

③ 上沓ストッパーの破断と応急対策（その2）

線支承のサイドストッパーが破断した事例を示す（**写真-13**左）。

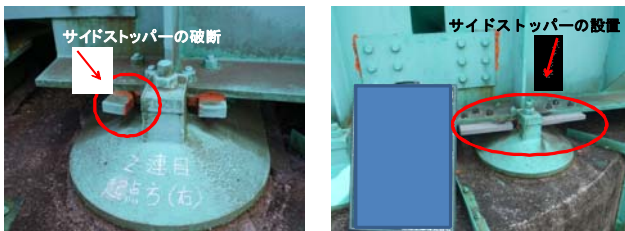


写真-13 サイドストッパーの破断と応急対策

本事例は、損傷したサイドストッパーを切断し、その代替策として主桁下フランジに代用プレートをボルト添接した。

④ サイドブロックの損傷と応急対策

ゴム沓のサイドブロックの止めボルトが破断した事例を示す（**写真-14**左）。



写真-14 サイドストッパーの破断と応急対策

この支承は水平力分散支承で、サイドブロックはロックオフ機能でボルト破断するように設計されているが、余震対策として既設サイドブロックを再利用し現場溶接にて応急対策した事例である。

次に、残存したボルトを撤去する方法を紹介する。

1つ目はボルトエキストラクター（**図-10**）で、残存ボルトの中心を穿孔し、その中にボルトエキストラクターを挿入し、反時計回りに回すことで撤去する。逆タップとも呼ばれている。

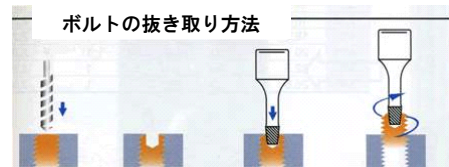


図-10 ボルトエキストラクター

2つ目はナット溶接（**写真-15**）で、残存ボルトに直接ナットを溶接して撤去する。



写真-15 ナット溶接

(4) 被災度C（小被害）の事例

被災度Cについては、短期的には耐荷力の低下に影響の無い場合で、ゴム支承本体の残留変形、沓座モルタルの亀裂、セットボルトの緩みなどが挙げられる。

① ゴム沓残留変形の対策例

地震により橋台が変位し、ゴム沓の変形が残留した事例を示す（写真-16）。



写真-16 ゴム沓残留変形開放

ゴム沓自体は大きな変形があったものの、ゴムの破断等は認められなかったため再利用可能と判断した。以降、概略の手順を示す。

- 主桁の拘束設備を橋軸方向、橋軸直角方向に設置（図-11）。
- 橋台パラペットを撤去。
- 鉛直方向ジャッキを設置し、桁を3mm程度ジャッキアップ。
- 下沓の後方（パラペット側）に橋軸水平方向のジャッキを設置し下沓を拘束。
- 沓座モルタルをはつり、アンカーボルトを切断。
- 橋軸水平方向ジャッキのストロークを徐々に戻しながらゴム支承のせん断変形を開放。
- 沓座モルタルを復旧し、ジャッキダウン。
- 最後に、橋台パラペットを復旧して完了。

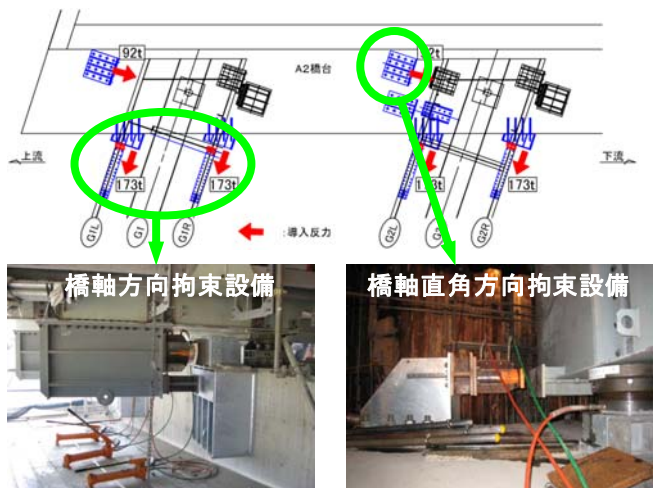


図-11 桁拘束設備

(5) 地震における対策のまとめ

一般に、十分に調査ができない応急復旧段階において、的確な被災度判定は困難と思われる。そこで、図-12のような判断で被災度を即時決定することも必要となる。

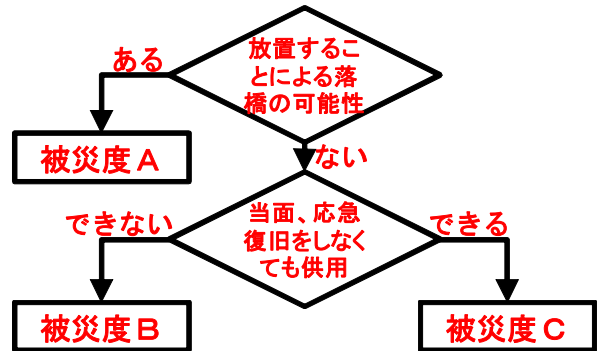


図-12 簡易的な被災度判定

また、それぞれの被災度区分に対する「交通規制」や「対策の実施時期」等については、表-2を参考にできる。

表-2 被災度判定と規制、復旧工事

被災度	規制	損傷進行防止のための 応急復旧工事
A	通行止め	落橋防止対策実施
B	通行規制	必要に応じて実施
C	注意走行	必要なし

ただし、状況により必ずしも一律に規定できない面もあるため、被害の状況に応じて総合的に判断することが重要になる。

4.2 経年劣化における損傷と対策事例

支承の経年劣化による損傷は「発錆・腐食」および「可動部の摩耗」による機能劣化がほとんどである。支承取替の事例は多くある中、今回は「機能回復」に着目した、比較的特異なものを3例紹介する。

(1) 発錆・腐食による損傷

写真-4.17は、ピボットローラー支承の事例で、カバープレートが損失しローラーも腐食していた。



写真-17 発錆・腐食状況

ローラー部の機能回復を図るため、サイドブロックをはずし、ローラー部をケレン清掃したのち潤滑剤を塗布した(写真-18)。ちなみに、この作業は桁の仮受けせず実施された。



写真-18 清掃・潤滑剤塗布

(2) 摩耗による損傷

供用後約80年ほど経過しているアメリカンタイプのワーレンピントラス形式の橋梁で、ローラー支承の形状も特徴的なものである。ローラーは、雨水による腐食・摩耗が進行していた(写真-19)。



写真-19 ローラー部の腐食・摩耗

支承形状から、ローラーを取り出す必要があり図-13の設備により、ジャッキアップしローラーを取り出した。

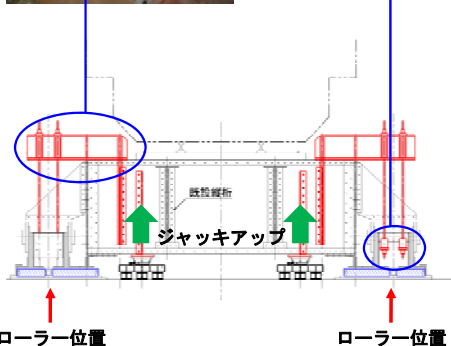


図-13 桁仮受け方法

ジャッキアップ後、ローラーを抜き取り、1本づつケレン清掃した(写真-20)。



写真-20 ローラー撤去・清掃

次にローラー設置面の不陸を調整しローラーを戻し、ジャッキダウンして完了となる。

(3) 支点沈下による損傷

古い鉄道橋の沓座が損傷し、支点沈下により主桁下フランジに亀裂が発生した事例を示す(写真-21)。



写真-21 支点沈下による桁損傷

桁端部を利用してブラケットにより桁を仮受けし、支承を撤去する(写真-22)。



写真-22 桁仮受け・支承撤去

次に、亀裂損傷部分を撤去し、新規部材を設置する(写真-23)。



写真-23 亀裂損傷部撤去・新規部材設置

最後に、既設支承を設置してモルタル打設して完了(写真-24)。



写真-24 既設支承設置・モルタル打設

4.3 経年劣化対策のまとめ

経年劣化による対策の留意点としては、言うまでもなく、日常の維持管理や定期的な点検、異常時の早期調査が重要になる。これらの点検・調査を怠ると、被害が拡大することになる。特に、地震時、経年劣化の損傷事例とも、支承部は、他の部位と比較して明らかに損傷数が多く、かつ、仮受け等大がかりな工事につながる恐れがある。

5. 支承仮受け方法の事例

地震時の応急復旧方法から経年劣化による損傷事例まで、支承に関する具体的な復旧方法を紹介した。特に、今回の震災により、今後、数多くの支承について本復旧を実施することがあると思われるため、最後に、支承の仮受け方法について紹介する。

5.1 仮受け方法の選定

仮受け方法の選定は、下部工天端にジャッキを設置するスペースが有るか無いかに分けられる。

(1) 下部工天端にジャッキスペースがある

下部工天端にジャッキを設置するスペースがある場合、図-14の通り、主桁支持工法、主桁付きブラケット工法、横桁支持方法に分かれる。

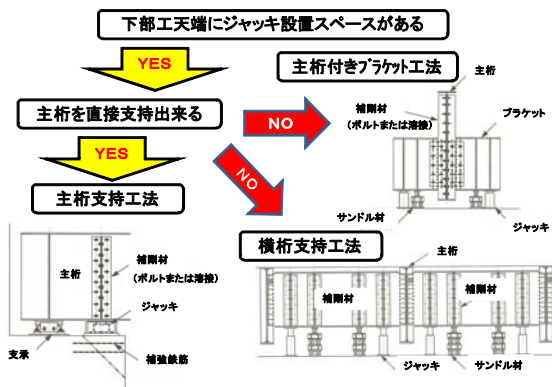


図-14 仮受け方法の選定①

(2) 下部工天端にジャッキスペースがない

下部工天端にジャッキを設置するスペースがない場合、図-15の通り、下部工付きブラケット工法、ベント工法に分かれる。

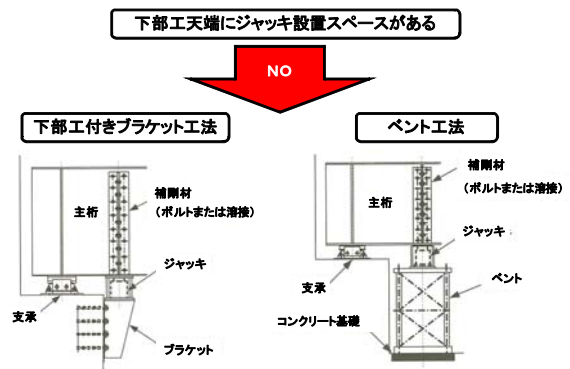


図-15 仮受け方法の選定②

5.2 桁橋の仮受け

(1) 箱桁のダイヤフラムや横桁を補強して仮受け

箱桁を直接仮受けする際、写真-25の通り、桁内のダイヤフラム等を補強してジャッキアップする。留意点としては、桁内搬入可能寸法と桁内補強部材の大きさの関係で、状況により、補強部材搬入用の部材取込口をあらためて設置する必要がある。



写真-25 箱桁の仮受け

(2) 箱桁にブラケットを設置して仮受け

支承前面にジャッキスペースがない場合、写真-26の通り、主桁にブラケットを設置して仮受けする。その際の留意点として、ブラケット位置に添加物が無いか等現地調査することが重要となる。

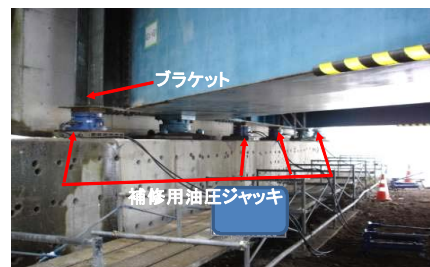


写真-26 主桁にブラケットを設置して仮受け

(3) 下部工付きブラケットを設置して仮受け

下部工天端でジャッキスペースが無い場合、多くの場合、写真-27の通り、下部工にブラケットを設置して桁を仮受けする。留意点としては、アンカー穿孔の際に既設鉄筋を切断しないことが挙げられる。



写真-27 下部工付きブラケットを設置して仮受け

(4) ベントによる仮受け

地震による損傷の中でも、「被災度A」に属する損傷については、速やかに写真-28の通り、ベントによる仮受けが必要になる。留意点としては、ベント基礎について沈下対策が必要で、最も安全な方法は、橋脚フーチングまで掘削し、フーチング上に基礎コンクリートを打設することである。



写真-28 ベントによる仮受け

5. 3 特殊橋の仮受け

(1) ガセットプレートを設置して仮受け

トラス橋の中間支点を仮受けする場合、写真-29の通り、ガセットプレートを広げて仮受けする。



写真-29 ガセットによる仮受け

(2) 斜材を追加して仮受け

トラス橋の端支点を仮受けする場合、写真-30の通り、斜材を追加して仮受けすることも可能である。



写真-30 追加斜材による仮受け

5. 4 仮受け設備

(1) 補修用油圧ジャッキ

供用下で実施される支承取替等によく使用されるジャッキで、特徴として、機高が低く油圧が抜けても下がらないように安全ロック（機械式）がついているものである（写真-31）。



写真-31 補修用油圧ジャッキ

(2) 送り台

特殊な滑り加工した送り台上に鉛直ジャッキを設置し、水平ジャッキにより鉛直ジャッキを押し、今回の震災時に上部工の横移動復旧に利用された（写真-32）。

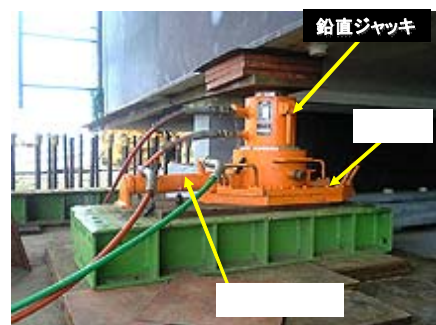


写真-32 送り台

(3) 仮受け機能付き油圧ジャッキ

本ジャッキは図-16の通り、くさびを横から油圧ジャッキにより挿入する方法で、わずかな隙間があればジャッキアップが可能である。また、ジャッキアップ後は高さ方向については機械的に固定することができる。

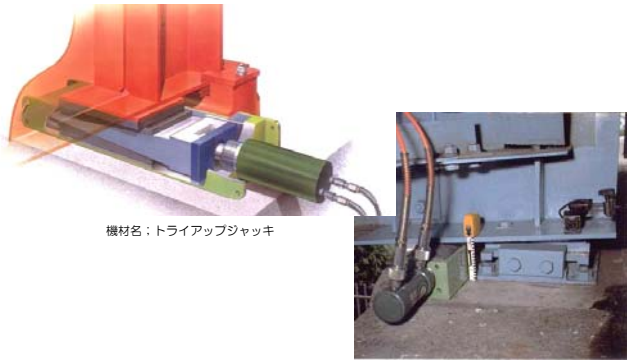


図-16 仮受け機能付き油圧ジャッキ

(4) 減速ギア式くさび型ジャッキ

このジャッキもくさびを横方向から押してジャッキアップするもので、押す力が油圧ではなく、トルク入力によるもので、電動レンチ等の工具でジャッキアップが可能となる(図-17)。

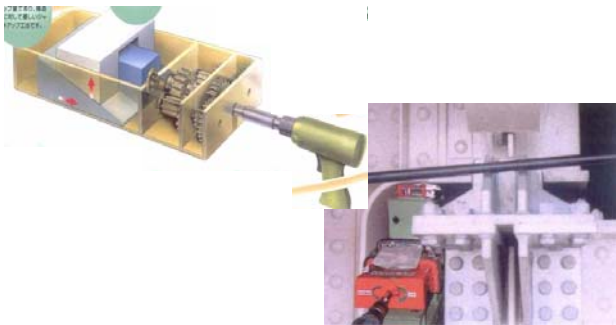


図-17 減速ギア式くさび型ジャッキ

6. おわりに

本報告は、地震および経年劣化に対し、最も損傷しやすい「支承」に着目し、被災度判定を通じて損傷と対策事例を紹介した。

最後に、

- ・ 損傷に対する的確な対処をするためには、支承の種類や機構を理解することが重要になる。
- ・ 損傷状況は同じでも、条件により補修・補強方法は異なる。

これを踏まえ、

- ・ 専門的な知識、技術による詳細な検討により施工する必要がある。
- ・ 鋼橋は、仮受け方法や補修方法も多様に対処でき、早急な復旧が可能になる。