

# 支承部の地震損傷が橋に及ぼす影響の観点での被災度判定 ～桁橋の支承板支承を例に～

小林 巧・浅子卓也・大住道生

## 1. はじめに

支承部には、地震動による慣性力を受けた場合でも、荷重伝達機能及び変位追従機能、鉛直方向の高さを保持する機能等を有することが要求されている。地震後に支承部がこれら機能を確保した状態に留まっていれば、支承部の状態が橋の耐荷力や走行性等に影響を及ぼさないと診断できる。

一方、過去の大規模地震で、支承部は損傷した事例が多い。その場合、支承部を構成する個々の部品の損傷が、支承部の機能に及ぼす影響について必ずしも体系的に整理されているとは言えず、支承部の耐荷力の診断や橋の被災度判定は現場技術者の判断に依ることが多い。ここで「被災度」は橋の耐荷力・走行性・復旧性の観点から、応急復旧工法、本復旧計画及び本復旧工法の決定のための判断例として道路震災対策便覧<sup>1)</sup>に示されている。

本稿では、被災現場における道路橋支承部の被災度判定の一助とするため、橋の被災度判定を行うまでの一連の流れやその考え方について、桁橋を支持する支承板支承を題材に整理を試みた例を報告する。本来橋の被災度は、支承部だけに限らず、橋全体の損傷程度から判断されるものであるが、少なくとも支承部の状態から橋全体としての被災度を推定できる場合もあることから、本稿では対象を支承部に絞り、支承部の損傷が橋の耐荷力や復旧性に及ぼす観点から被災度判定について述べる。なお、本稿では支承板支承の中で、密閉ゴム支承板支承（以下「BP・B支承」という。）を主な検討対象とする。

## 2. 支承板支承の構造及び機能について

支承部には、荷重伝達機能や変位追従機能、鉛直方向の高さを保持する機能、減衰機能、アイソレート機能、騒音振動制御機能、フェールセーフ

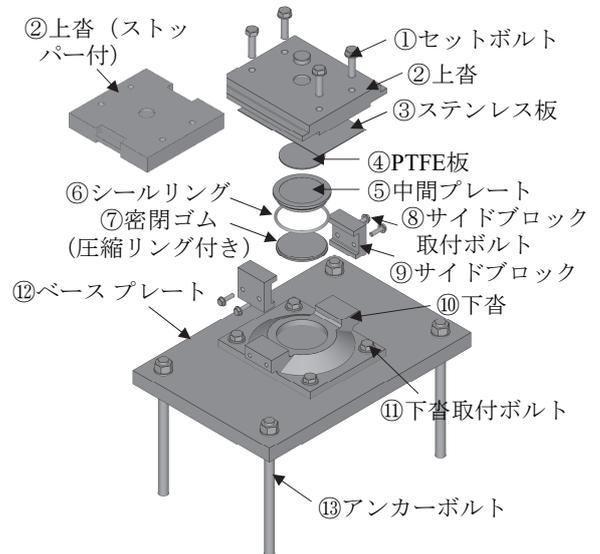


図-1 密閉ゴム支承板支承（BP・B支承）の構造例

機能等が求められている<sup>2)</sup>。図-1に密閉版ゴム支承板支承（BP・B支承）の構造例を示す。支承部は、様々な部品が機械的に組み合わせり、それら部品が協働して支承部に要求された機能を発揮する構造が多い。

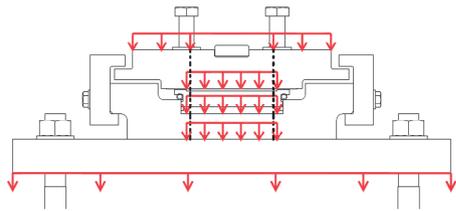
図-2にBP・B支承の荷重伝達機能及び変位追従機能を発揮する際の機構を示す。

図-2(a)の鉛直方向下向きの荷重伝達機能では、BP・B支承は鉛直力を②上沓→③ステンレス板→④PTFE板→⑤中間プレート→⑦密閉ゴム→⑩下沓→⑫ベースプレートの順番で荷重伝達を行う。

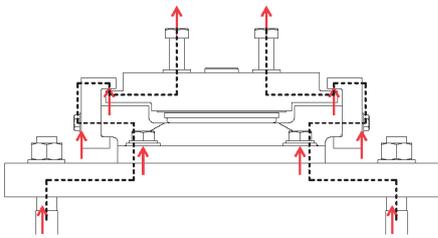
図-2(b)の鉛直方向上向きの荷重伝達機能では、⑬アンカーボルト→⑫ベースプレート→⑪下沓取付ボルト→⑩下沓→⑧サイドブロック取付ボルト→⑨サイドブロック→②上沓→①セットボルトの順番で荷重伝達を行う。

図-2(c)の水平方向の荷重伝達機能（固定、橋軸直角）では、①セットボルト↔②上沓↔⑩下沓↔⑪下沓取付ボルト↔⑫ベースプレート↔⑬アンカーボルトの順番で荷重伝達を行う。

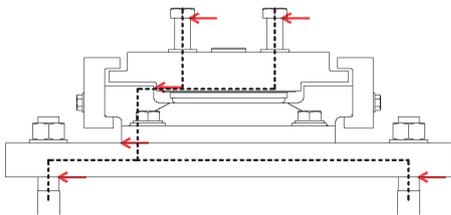
図-2(d)の水平方向の荷重伝達機能及び水平変位追従機能（可動、橋軸）では、①セットボルト↔②上沓↔③ステンレス鋼板↔④PTFE板の順



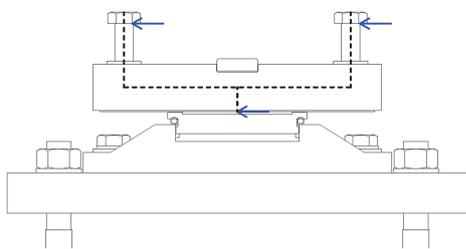
(a) 鉛直方向下向きの荷重伝達機能



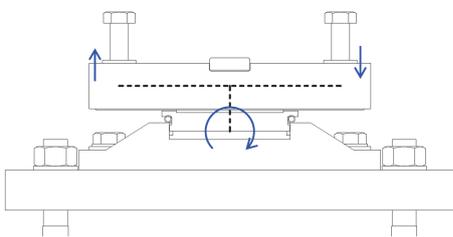
(b) 鉛直方向上向きの荷重伝達機能



(c) 水平方向の荷重伝達機能（固定、橋軸直角）



(d) 水平変位追従機能（可動、橋軸）



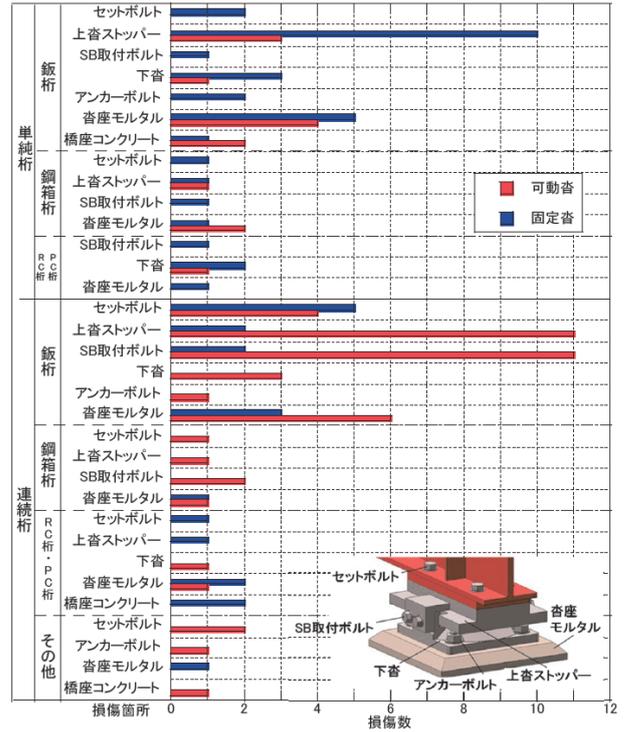
(e) 回転変位追従機能

図-2 BP・B支承の荷重伝達機能及び変位追従機能を発揮する際の機構

(赤矢印：荷重の伝達、青矢印：変位)

番で荷重伝達が為され、PTFE板のすべりにより水平変位追従機能を有する。

図-2(e)の回転変位追従機能では、②上沓↔③ステンレス板↔④ PTFE 板↔⑤中間プレート↔



※セットボルトには、破断によって上沓が脱落している損傷も含む

図-3 支承板支承の地震による損傷数 (文献<sup>3)</sup>より引用、支承の図は文献<sup>4)</sup>に加筆)

⑦密閉ゴムの順番で荷重伝達が為され、密閉ゴムの接触面平行方向軸周りの回転により、回転変位に追従する。

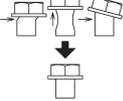
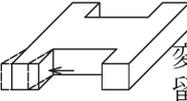
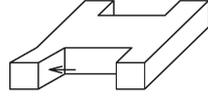
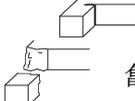
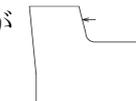
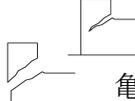
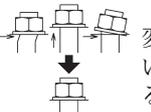
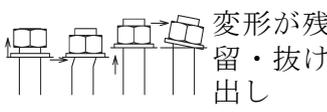
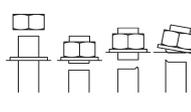
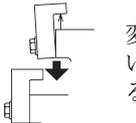
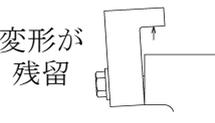
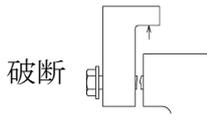
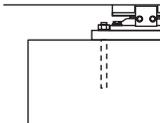
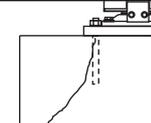
このような部品の組合せで機能を担っていることから、各機能を担う部品に損傷が生じた場合にはその機能の低下、あるいは機能の喪失に繋がる。

### 3. 支承板支承の損傷傾向

図-3に支承板支承の地震による損傷数を示す。図-3は、土研・国総研が地震被害調査で撮影した写真等の資料や、既往の調査報告書（土研資料や国総研資料等）を基に整理したものであり、文献<sup>3)</sup>より引用している。なお、このデータには津波や地盤変状で被害を受けた道路橋は含まれておらず、地震動による慣性力のみで被害を受けた道路橋を調査対象としている。また、支承板支承には、回転方向の支持機能を支承板により確保するBP・A支承と、回転方向の支持機能を弾性体（密閉ゴム）により確保するBP・B支承が存在するが、外観からは支承種の判読が困難な場合が多いため、ここでは、それらを合わせた支承板支承として整理している。

図-3より、支承板支承は地震動による慣性力に

表-1 部品の損傷と耐荷力の状態

状態の判別例 部品	A：挙動が可逆性を有し、耐荷力の低下が生じていない	B：挙動が可逆性を失っているが、耐荷力を完全には失わない	C：耐荷力は期待できない
1：セットボルト	 変形が残留しない・ボルトのゆるみが無い	 変形が残留	 破断
2：上沓(突起)	 変形が残留しない	 変形が残留	 亀裂・破断
3：下沓(突起)	 変形が残留しない	 変形が残留	 亀裂・破断
4：アンカーボルト	 変形が残留しない・ボルトのゆるみが無い	 変形が残留・抜け出し	 破断
5：SB取付ボルト	 変形が残留しない・ボルトのゆるみが無い	 変形が残留	 破断
6：沓座モルタル		 ひび割れ	 破砕・割れ
7：橋座		—	 割れ

より、セットボルト、上沓ストッパー、サイドブロック取付ボルト、沓座モルタルに、特に損傷が生じやすい傾向があることがわかる。なお、支承板支承は鋼鈑桁橋に採用されることが多い支承形式であることから、損傷数は母数（調査対象数）が多い、鋼鈑桁橋が多くなる。

#### 4. BP・B支承の機能及び被災度の判定

##### 4.1 部品に残存する耐荷力と状態の関係

表-1に、部品の損傷と耐荷力の状態を示す。これらは、実際に地震動で被災した事例を基に破壊モードを模写しており、地震後の点検ではこのような変状が無いかを確認する。

点検で確認された鋼部品に見た目の変化や、ボルト類のゆるみが無い場合は、可逆性を有しているとみなせ、耐荷力に関する性能の低下が生じていないことが多い。ただし、部品によっては見た目だけでは判断できない場合もある。例えばセッ

トボルトは外観ではボルトの破断が確認できないため、打音等で確認する必要がある。

図-2の荷重伝達機能及び変位追従機能を発揮する際の機構と表-1の部品の状態を比較することで、残存する機能についての診断が可能である。

例えば図-3において支承板支承で被災事例が多い、セットボルトが破断している場合（表-1の列C、行1）では、鉛直方向上向きの荷重伝達機能、水平方向の荷重伝達機能及び水平追従機能の喪失や低下に繋がる。また、SB取付ボルトが破断している場合（表-1の列C、行5）は、鉛直方向上向きの荷重伝達機能が喪失している。上沓（突起）の耐荷力が期待できない場合（表-1の列C、行2）は、図-2(c)の水平方向の荷重伝達機能が喪失する。沓座モルタルや沓座コンクリートが損傷を受けている場合（表-1の列C、行6）は、下部構造として支承部を支える機能が低下していないか、あるいは、アンカーボルトを支える機能の低

下に繋がっていないかを確認する必要がある。

また、地震後の点検時にはその中間の状態として、部品が変形等をしており、挙動が可逆性を失っているが、耐荷力を完全に失わないような状態に留まっているものが存在する。この場合は、変形等により各部品間の遊間が大きくなる等の影響が生じることが多いので、荷重伝達経路に照らして、機能に影響が無いかを判断する必要がある。例えば、下沓突起が表-1（列B、行3）のように変形している場合は、図-2(c)の水平方向の荷重伝達機能や、下沓突起に取り付けられるサイドブロックが担う機能（図-2(b)鉛直方向上向き荷重伝達機能）に影響を及ぼす可能性がある。

#### 4.2 支承部の損傷状態と橋の耐荷力

4.1節までは支承部としての機能と損傷の関係に着目して整理を行ってきたが、それが橋に及ぼす影響の観点から診断を行い、被災度判定を行う必要がある。そのためにも支承部の機能低下と橋の耐荷力の関係についての理解が必要である。

本稿では、地震動による慣性力も含めたあらゆる外的環境に関わる作用が生じる状況において、論理ステップとして、1) 全体系として荷重伝達機能が損なわれていないかを確認し、その上で、2) 一部の部品の損傷が上下部構造の部材を含めた荷重分担や内力に変化を生じさせていないかを判断することにより、支承部の機能の低下が橋の耐荷力に及ぼす影響の有無を判断する。2)を補足すると、荷重分担や内力の変化が生じた場合には、結果として落橋や損傷が進展する状態に至っていかなくとも、活荷重や地震荷重等の作用や作用組合せを想定した場合に、必要な耐荷力が確保出来ないおそれがあることに配慮する必要があるということである。耐荷力の推定には不確実性があるため、詳細な判断は、詳細調査や専門家の助言が必要な場合もあるが、この2つの論理ステップを経ることで、少なくとも支承部の損傷が橋にとって致命的であるか否かが判断できる場合が多い。なお、ここでの「致命的」とは落橋に至る可能性がある損傷が生じている、又は、落橋に至る可能性がある損傷の存在が疑われる状態を意味する。

また、本稿では桁橋を支持する支承板支承を対象とし、さらに、論点を支承部の状態と橋の耐荷力の関係に絞っている。地震時には支承部以外にも損傷が生じることが多いため、実際の被災現場

セットボルトの破断による水平方向の荷重伝達機能の喪失



写真-1 水平方向の荷重伝達機能の喪失による不安定な状態の例<sup>5), 6)</sup>

では、損傷した部材の組合せから構造や橋としての状態を診断する必要がある。そのような場合でも、部材単位での機能の評価が基本であり、その機能の低下や喪失が、構造や橋に及ぼす影響の観点で、橋に残存する耐荷力を判断する必要がある。

以下、支承部の部品の損傷による、図-2の機能の低下や喪失が橋の耐荷力に及ぼす影響について述べる。

##### (1) 水平方向の荷重伝達機能

水平方向の荷重伝達機能の喪失や低下は、支持条件として水平抵抗を失い、構造物として不安定な状態に至る場合がある。

写真-1に水平方向の荷重伝達機能の喪失による不安定な状態の例を示す。水平方向の荷重伝達機能が喪失した場合、実際は、摩擦や部材の引っ掛かりによる抵抗が存在するが、挙動を制御出来ず、特に地震動による水平力等に対して致命的な状態に至る可能性がある。

##### (2) 鉛直方向の荷重伝達機能

鉛直方向下向きの荷重伝達機能は、仮に喪失しても、上部構造が下部構造の上に安定してある場合は、鉛直方向に作用する自重に対して安定していると言える。

しかし、その状態であっても、鉛直方向下向きの荷重伝達機能が喪失している場合、先述の論理ステップ2)の一部の部品の損傷が各部材の荷重分担や内力に変化を生じさせていないかといった観点で、橋の耐荷力について確認する必要がある。

図-4に自重に対して安定している支持条件であるが、上部構造や支承部の耐荷力が不足していると考えられる例を示す。この例では自重に対して安定している支持条件であるが、それだけでは致命的な状態では無いと判断する条件としては不十分であり、実際には支点としての機能の喪失により、曲げモーメントの分布が変化し、上部構造内での荷重分担や、一支承線上の支承間の荷重分担

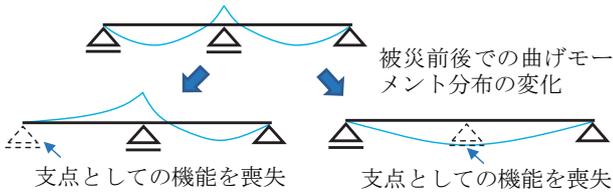


図-4 自重に対して安定している支持条件であるが、上部構造や支承部の耐荷力が不足していると考えられる例

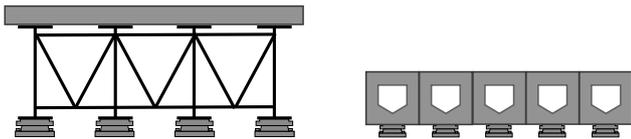


図-5 上部構造形式の違いにより転倒に対する安全性が異なる例

や、複数の支承線間の荷重分担が変化し、それらの耐荷力が不足していると考えられる例である。

一方、鉛直方向上向きの荷重伝達機能が喪失している場合、地震による慣性力が作用した際の回転モーメントにより上部構造が転倒するおそれがある。なお、上部構造形式毎に転倒に対する安全性は異なる。図-5に示すように、重心位置が高い構造では相対的に転倒のリスクが高い。一方、床版橋等は相対的に重心が低く、重量もあり転倒しにくい。このように鉛直方向の荷重伝達機能の喪失と落橋リスクの程度は構造により異なる。

### (3) 水平変位追従機能及び回転変位追従機能

水平変位追従機能や回転変位追従機能の喪失は、水平変位や回転変位に追従せず、反力が増加している状態であると言える。そのような観点から、これら機能の喪失は致命的な状態に直結することは少ない。

ただし、変位追従機能の喪失は、特に鋼桁の支承部取付け部周辺の疲労亀裂の進展等に影響を及ぼすことも想定されるため、耐疲労性の観点で望ましい状態では無いため、本復旧においては回復させる必要がある。

## 4.3 橋の被災度判定

表-2に支承部の損傷が橋の耐荷力に及ぼす観点での被災度判定表（支承板支承）を示す。この表は、文献1)に記載されている表を引用したものである。この表は、4.2節のような支承部の機能の低下や喪失が、橋の耐荷力等に及ぼす影響の程度の観点等から例示されている。

支承部の被災度判定の区分は、「支持機能（耐荷性能に関する機能がどれだけ残っているか）および復旧性（補修または補強で機能回復は可能か）の観点で分類」されているとした上で、被災度の判定基準として、例えば、「A：大被害」は、支承の破壊に伴い安定して鉛直方向の荷重伝達機能や、水平方向の荷重伝達機能が確保できない状態、応急復旧を行えない状態が該当し、「B：中被害」は応急復旧により水平方向の荷重伝達機能が確保できる状態、「C：小被害」は鉛直、水平ともに機能を保持していると判断できる状態が該当する。

ここまで示した一連の思考プロセス例を経て被災度判定を行うことで、支承部がどのような損傷を受けた際に、橋が落橋等の致命的な状態に至る可能性があるか判断できる。ただし、今回示した例が全てでは無い。異なる支承種や上下部構造、基礎の損傷が生じている場合もある。また、同じ支承種であっても、橋によってその支承が担う耐荷力及びその安全余裕の程度は様々である。

構造条件は多様であることを念頭に置いた上で、現場条件に則した被災度判定等を行う必要がある。

## 5. まとめ

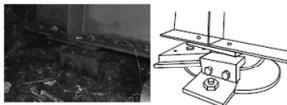
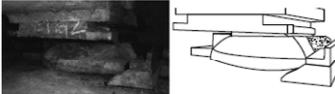
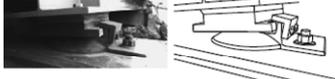
本稿では、被災現場における道路橋支承部の被災度判定の一助とするため、部品の損傷と支承部の機能の対応関係及び、その被災度判定を行うまでの一連の流れやその考え方について、BP・B支承を題材に整理を試みた例を報告した。

道路震災対策便覧（令和4年度改訂版）<sup>1)</sup>の被災度判定（表-2）では、このような思考プロセス例に基づき、例えば、橋座コンクリートの損傷が小被害の区分から大被害の区分になるなど、今回の改訂で見直されている。ただし、架橋環境や構造条件は多様であるため、現場の条件に則した被災度判定等を行うことが重要である。本稿が、地震により被災した道路橋の管理者や、震後点検等を実際に行う方々の一助になれば幸いである。

## 謝 辞

本稿の検討は、「支承部の損傷度判定方法及び早期復旧方法の提案に関する共同研究」（土木研究所、日本支承協会、ゴム支承協会、日本橋梁建設協会、プレストレスト・コンクリート建設業協

表-2 支承部の損傷が橋の耐荷力に及ぼす観点での被災度判定表（支承板支承）  
 （出典：日本道路協会 道路震災便覧（震災復旧編）令和4年改訂版 令和5年3月 pp.157～158、文献<sup>1)</sup>）

	A：大被害	B：中被害	C：小被害
セットボルト	 セットボルトの損傷		
上沓		 上沓ストッパーの損傷	 上沓ストッパーの変形
下沓		 下沓の損傷	
アンカーボルト	 アンカーボルトの損傷		 アンカーボルトの抜け出し
サイドブロック/ サイドブロック 取付ボルト		 サイドブロック取付ボルトの損傷	 サイドブロック取付ボルトの変形
沓座モルタル 橋座コンクリート	 橋座コンクリートの損傷	 橋座モルタルの損傷 (アンカーボルトから亀裂が発生)	

会）（令和3～4年度）の一環で行われたものである。  
 また、被災度判定については、日本道路協会 道路震災対策委員会（委員長：東北大学 運上茂樹教授）で審議頂いた。記して謝意を示す。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路震災対策便覧（震災復旧編）、令和4年度改訂版、令和5年3月。
- 2) 日本道路協会：道路橋支承便覧、平成30年12月。
- 3) 中尾尚史、菅原達也、江口康平、大住道生：地震により損傷した支承の損傷傾向、土木技術資料、

第65巻、第3号、pp.40～43、2023。

- 4) 土木学会：道路橋支承部の点検・診断・維持管理技術、鋼構造シリーズ25、2016。
- 5) 国土技術政策総合研究所：道路橋の定期点検に関する参考資料（2013年版）、一橋梁損傷事例写真集一、国総研資料、第748号、平成25年7月。
- 6) 国土技術政策総合研究所、土木研究所：平成28年（2016年）熊本地震土木施設被害調査報告、国総研資料、第967号、土研資料、第4359号、平成29年3月。

小林 巧



土木研究所 構造物メンテナンス  
 研究センター 研究員  
 KOBAYASHI Takumi

浅子卓也



土木研究所 構造物メンテナンス  
 研究センター 交流研究員  
 ASAKO Takuya

大住道生



土木研究所 構造物メンテナンス  
 研究センター 席研究員、博士  
 (工学)  
 Dr. OHSUMI Michio