

PC 構造物で用いられる支承の最近の動向と今後の展望

原田 孝志*1・今井 隆*2

1. はじめに

日本における橋梁用支承は、古くは、1870年（明治初期）頃から鋼橋に使用され始めたが、当時は、関連する技術基準も乏しく、現在の支承構造とはほど遠いものであった。当時の支承は、鋼板を1～2枚用い、すべりや鋼棒などで移動を拘束する構造やロッカーないしローラーを挿入することにより、桁の移動・回転に追随するといった構造であった。

コンクリート橋においては、1903（明治36）年に日本初の鉄筋コンクリート橋（橋長約7.3 m）が完成した。当時の支承としては、鋼橋で用いていた2枚のプレートを重ねてすべらせる支承が主流であった。1930（昭和5）年頃から施工された比較的支間の長いゲルバー橋などには、コンクリートロッカー支承も使用され、また、線支承も1950年代後半まで桁橋に多く使用されていた（図-1）。1955（昭和30）年頃から本格的に普及したプレストレストコンクリート橋では、鉄筋コンクリート橋と同様に線支承が主に使用されていた。

その後、伸縮量の比較的大きな橋梁に対して、その材料や機能なども多様化し、さまざまな橋梁形式に適用させるため、図-2に示すような多くの種類の支承が開発された。

ゴム支承は、1950年代にPC工法と一緒にフランスより輸入され、国内独自の規格によるゴム支承は1958年に大阪環状線天王寺駅舎で使用された。当時のゴム支承は、ゴム材料に、CR（合成ゴム）を用い、上沓や下沓をもたないパッド型ゴム支承であり、水平力は、アンカーバーと呼ばれる鋼棒でゴム支承本体とは別置きで対応するものであった。ゴム支承は構造の単純さ、施工の簡便さから主にコンクリート橋の固定可動形式に多く使用され始めた。

地震時水平力分散ゴム支承は、1974（昭和49）年に建設省近畿地方建設局宿院高架橋で1.5 kmのPC連続桁橋に天

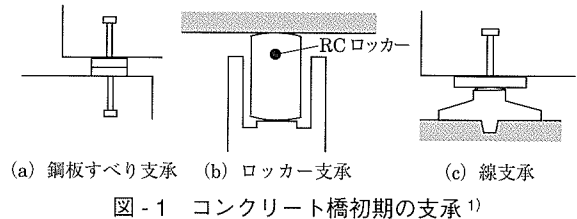
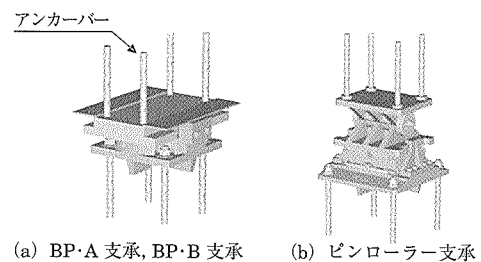
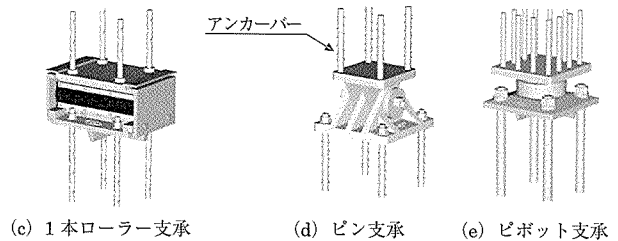


図-1 コンクリート橋初期の支承¹⁾



(a) BP・A 支承, BP・B 支承 (b) ピンローラー支承



(c) 1本ローラー支承 (d) ピン支承 (e) ピボット支承

図-2 鋼製支承の構造図

然ゴム（NR）積層ゴム支承が実用化されたが、その当時は、固定可動形式の鋼製支承が主流であり、地震時水平力分散型ゴム支承の適用は少なかった。免震ゴム支承は、1990（平成3）年に鉛プラグ入りゴム支承が静岡県宮川橋で、1993（平成5）年に高減衰ゴム支承が栃木県山あげ大橋に使用された。

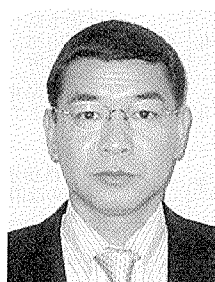
また、日本における支承の変遷は、度重なる大地震の被災経験（1923年関東大震災、1948年福井地震、1964年新潟地震、1978年宮城沖地震、1995年兵庫県南部地震）にも大きく起因している。大地震の被災経験を教訓とし、支承の研究・開発が進められてきた。

日本支承協会、ゴム支承協会の両協会は、支承関連技術の向上および発展を目的に活動し、今日まで、橋梁を支える支承技術の改良をつねに考えてきた組織である。設計基準の改訂などの時代のニーズを考慮し、また、道路橋を管理する構造技術者の要求を的確に反映させて、新しい支承の開発や、設計・製品の標準化などを積極的に行ってきた^{2, 3)}。また、個々の支承メーカー単独では実施が困難な大がかりな性能検証試験なども数多く実施し、技術データの蓄積にも携わってきた。



*1 Takashi HARADA

(社) 日本支承協会 技術委員



*2 Takashi IMAI

ゴム支承協会 技術委員長

改めて支承の変遷を考えた場合、大きな転換期として、日本の大都市圏をおそった内陸直下型の兵庫県南部地震があげられる。この巨大地震は、橋梁のみならず、多くの構造物に甚大な被害を与えた。そして、この震災以後、支承に対する要求性能、とくに耐震性能に関して重要視されるようになった。また、その耐震性能に加えて橋梁の多径間化、建設コストの抑制や長期間の供用を見据えた維持管理面への配慮などさまざまな要求が求められている。

本文では、支承の転換期となった兵庫県南部地震前後の支承の変遷について記述し、現在の支承技術の動向や今後の支承技術の課題を整理し、橋梁用支承の将来展望について記述する。

2. 設計基準の改訂

日本における道路橋の支承設計に関しては、道路橋示方書および道路橋支承便覧が基本となる設計基準である。道路橋示方書を支承の観点から具体的に、詳細に解説したのが道路橋支承便覧である。

2.1 道路橋示方書の改訂と支承

日本における道路橋の耐震設計に関する示方書は、1923(大正12)年関東大震災の後、1926(大正15)年内務省道路法で初めて道路橋のための設計震度が示された。支承に関する規定は、1940(昭和15)年鋼道路橋設計示方書案、第7章構造細目、第70～73条に初めて規定され、その後、1956(昭和31)年、鋼道路橋示方書、第67～70条にほぼ同じ内容で規定された。その後、さまざまな地震の発生に応じて、示方書や設計震度などの改訂がされてきた。1995(平成7)年兵庫県南部地震では、各種構造物に最大の被害を引き起こした。橋梁においても、橋脚の倒壊、橋桁の落下を始め、多数の橋梁で大きな被害が発生した。翌年の1996(平成8)年に改訂された道路橋示方書は、①震度法による設計に加えて地震時保有耐力の照査 ②兵庫県南部地震により観測された最大の地震動レベルの照査 ③免震橋、地震時水平力分散構造を有する橋の動的解析照査 ④支承部を構造部材への格上げなど、歴史的な改訂となった。2002(平成14)年道路橋示方書は技術基準の更新や新たな規定を盛り込み、改訂された。

2.2 道路橋支承便覧の改訂

道路橋支承便覧は1973(昭和48)年に支承の設計体系や設計指針の確立を目的に初版が刊行された。1991(平成3)年に技術の進歩に即応する形で改訂が行われた。しかし、兵庫県南部地震の被災を踏まえ、1996(平成8)年、2002(平成14)年の2回にわたって道路橋示方書が改訂されるに至り、2004(平成16)年に改訂版が刊行された。

2004年の改訂では、ゴム支承の需要増加、技術の進歩、耐震設計に対する考え方の変化、維持管理、耐久性重視に対応したもので、ゴム支承を中心に記述されている。また、道路橋示方書の内容を補完する形で支承部の機能分類、支承部への要求性能、設計法が示されている。

鋼製支承については、終局水平挙動実験⁴⁾により耐震性能が確認されたことから、新しい構造の鋼製支承がタイプB支承として提案された。また、機能面から、可動支承と

して、線支承や1本ローラー支承の使用を避けることや、回転性能の観点からBP・A支承よりBP・B支承の使用がよいと記述されている。

さらに、機能分離型支承に関して、支承部に要求される性能を満足させるために、1つの支承でさまざまな機能を満足させるのではなく、機能を分離させた方がよい場合があることが明記されている。

また、支承部の性能は、設計されたものが確実に施工され、かつ完成後は適切に維持管理がされることにより保持されることから、施工・維持管理についても記述内容の充実を図っている。特筆すべき点として、大規模プレストレストコンクリート橋に見られる予変形および除変形に関するゴム支承の施工方法が詳しく記述されたことである。

3. 兵庫県南部地震以降の支承

1995年1月に発生したマグニチュード7.3の大地震は日本の構造物に多くの倒壊や損傷の被害を与え、日本国内に大きな衝撃を与えた。橋梁も例外ではなく上部構造と下部

表-1 道路橋、支承関連基準の変遷

1926年	大正15年	内務省道路法(道路橋設計のための設計震度の提示)	1923年関東大地震
1939年	昭和14年	内務省道路橋示方書の制定(設計震度を与える)	
1945年	昭和20年	AASHTO示方書(暫定的)	1940年エルセントロ地震 1946年南海地震
1956年	昭和31年	鋼道路橋示方書(設計震度を与える)	1948年福井地震
1972年	昭和47年	道路橋耐震設計指針の発行	1964年新潟地震 1971年サンフェルナンド地震
1973年	昭和48年	道路橋支承便覧の発行	鋼製支承が主体、ゴム支承はパッド型の解説
1974年	昭和49年	建設省近畿地方建設局で1.5kmの高架橋全線に国内で初めて地震時水平力分散型ゴム支承を採用	
1980年	昭和55年	道路橋示方書耐震設計編の発行	1968年十勝沖地震 1978年宮城県沖地震
1986年	昭和61年	(社)日本支承協会の設立(民間団体としては1970年)	
1990年	平成2年	道路橋示方書耐震設計編の改訂	1983年秋田沖地震 1989年ロマブリュータ地震
1991年	平成3年	静岡県 国道362号線 宮川橋 3径間連続鋼非合成板桁橋で国内初となる免震支承(LRB)を採用	
1991年	平成3年	道路橋支承便覧の改訂	ゴム支承の設計方法を詳しく記述
1991年	平成3年	ゴム支承協会の設立	
1992年	平成4年	道路橋の免震設計法マニュアル(案)の発行	免震支承を含む免震橋の設計方法を解説
1992年	平成4年	栃木県 やまあげ大橋 6径間連続PC箱鋼橋で国内初となる高減衰ゴムを用いた免震支承(HDR)を採用	
1995年	平成7年	兵庫県南部地震により被災した道路橋に係る仕様	1995年兵庫県南部地震
1996年	平成8年	道路橋示方書耐震設計編の改訂	地震時保有耐力法・免震橋の規定(ゴム支承の採用)など
2002年	平成14年	道路橋示方書耐震設計編の改訂	動的照査法の規定など
2004年	平成16年	道路橋支承便覧の改訂	地震時水平力分散ゴム支承・免震支承の設計方法の解説などゴム支承を中心とした改正

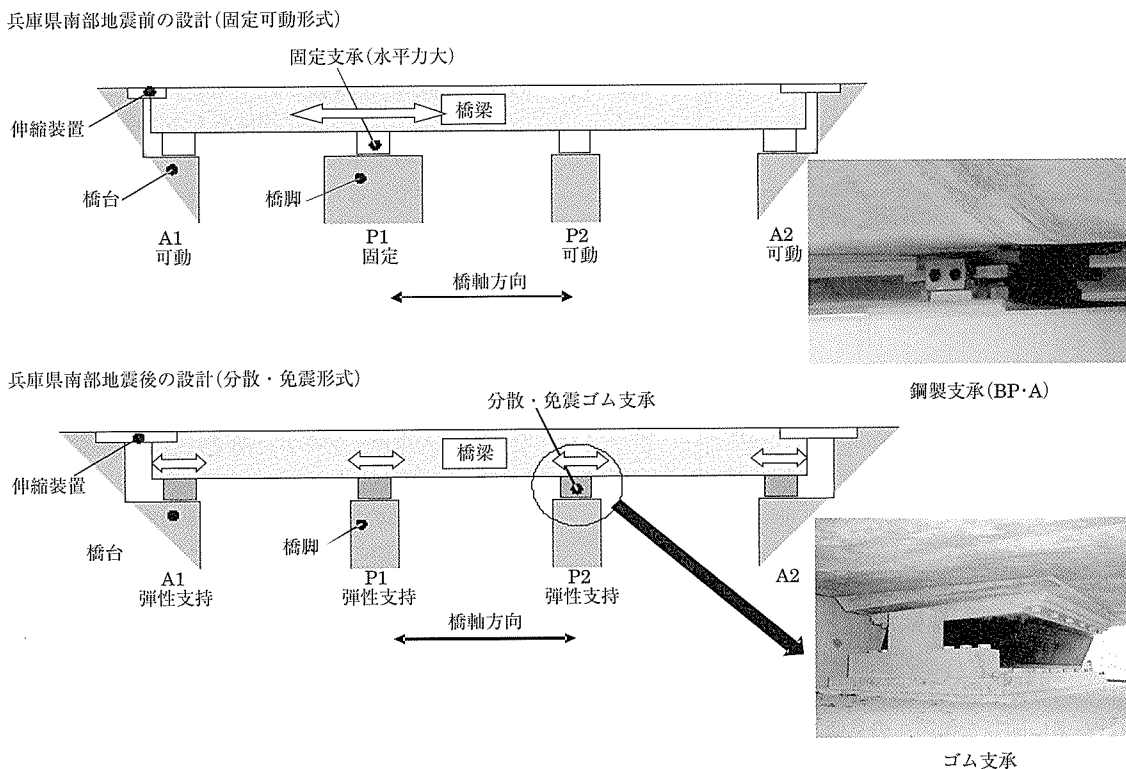


図 - 3. 支承部の構造の変遷

構造とを連結する支承部についても甚大な被害を与え、落橋という大きな被害を受ける橋梁も見られた。兵庫県南部地震以前の橋梁には、鋼製支承が多く使用されており、固定可動形式の橋梁が数多く供用されていた。

当時の鋼製支承は、鋳鋼材料を主部材とした構造で、地震力に対しては、部材の断面力により抵抗させる『耐震』によるものであった。当時の設計基準では、水平応答加速度を $200 \sim 300 \text{ cm/s}^2$ 程度（設計水平震度 $0.2 \sim 0.3$ 程度）の地震力を想定していた。その設計基準により設計された鋼製支承に、 $1500 \sim 2000 \text{ cm/s}^2$ 程度の非常に大きな地震力が作用したものもあり、支承部を構成していた各部材は、その終局強度を超え、破壊に至ったケースが多かったことが明らかにされている。また、支承部材の構造上、応力集中の起点となった箇所が存在や、鋼製支承のローラー支承については、ローラーの飛出しなどの被害が数多く発生し、ローラー支承の大地震に関する問題などを浮き彫りにした。主要材料である鋳鋼品についてはじん性が比較的低い材料であったことも甚大な被害に至った要因として考えられている。また、固定可動形式の橋梁形式は、一つの橋脚、橋台に大きな地震時水平力を載荷させることになり、下部構造に甚大な被害を与えることになった橋梁も数多く見られた。

一方、使用実績も少ないながら、積層ゴム支承を使用した橋梁も阪神地区に建設されていた。これらの支承を用いた橋梁では機能を損失するような破壊は見受けられず、支承部はもちろん橋梁そのもの、とくに下部構造の破壊も少ないことが注目された。積層ゴム支承の水平方向の低い剛性をうまく利用すると、橋梁を地震から守れることが現実

に証明され、これ以後積層ゴムの普及が加速されてきた。

積層ゴム支承の保有する剛性は支承の大きさ、厚みによって容易に設定でき、この剛性を適正に設定することで、地震が橋梁に及ぼす影響をある程度コントロールすることが可能になる。さらに積層ゴム支承を用いた橋梁では支承部の変形が鋼製支承に比べて大きくなるため、この部分にエネルギー吸収を行う減衰機構を付加することも可能で、この減衰機構を利用した免震と呼ばれる工法の使用もこの後拍車がかかることとなった。

このように兵庫県南部地震で多くの教訓が積層ゴム支承への普及へと繋がる結果となった（図 - 3）。

4. 最近の支承

4.1 ゴム支承

兵庫県南部地震以降、ゴム支承は、ゴム本体で鉛直力の支持機能と移動・回転機能を有していることからシンプルな構造となり、小規模橋梁から大規模橋梁まで広く普及した。ゴム支承は、パッド型ゴム支承、固定可動ゴム支承、地震時水平力分散ゴム支承および免震ゴム支承に大別できる。なかでも、大規模橋梁における大地震に対して地震力を分散させる地震時水平力分散型ゴム支承やさらに減衰を付加した免震支承の普及が一般化してきた。免震支承には、ゴム支承本体内部に鉛プラグを挿入し、鉛の弾塑性変形により地震時エネルギーを吸収する鉛プラグ入りゴム支承と高いエネルギー吸収性能をもつように配合された高減衰ゴム支承の2種類がある（図 - 4）。

4.2 鋼製支承

鋼製支承は、先に述べたように兵庫県南部地震で甚大な

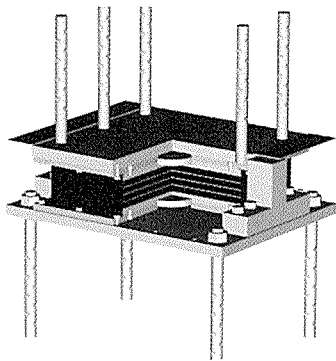


図-4 ゴム支承の構造例

被害を受けたこととゴム支承の急激な発展に押され、急激に需要が減少した。しかし、近年では、被災時の教訓を踏まえ、数々の改良を行ったこと、また、固定可動形式であれば、ゴム支承も鋼材でのストッパーを別途設置することになるため、鋼製支承も機能的には同等となり、鋼製支承の使用も増えている。

主な改良の内容を下記に記述する。

(1) 設計基準に即した構造への見直し

兵庫県南部地震前までは、レベル1の地震力で設計されていた鋼製支承は、現行の基準に従い、レベル2での構造の見直しを行った。構造の見直しにあたっては、応力集中の発生を避けるべく改良も行われている。

(2) 材料の見直し

一般に鋼材の破壊形態は、まず、応力超過部位から亀裂が発生し、その亀裂が鋼材内部に伝搬して最終的な破壊へと進展していくものであるが、この伝搬の過程において、材料に伸びが生じにくく、いわゆるじん性の乏しい材料の場合、脆性的な破壊が生じることとなる。実際に、兵庫県南部地震で見られた大型ピボット支承などの破壊形態は、脆性破壊現象であった。このような破壊形態を回避するため、じん性の高い材料の開発を行うこととなった。震災前の設計は、強度を優先するために低マンガン鋼品（SCMn材）を主に用いていたが、この材料は、じん性に乏しい材料であったため、シャルピー衝撃値試験によるエネルギー量が規定されている溶接構造用鋼品（SCW材）を使用することにより、じん性を高めることを標準とした。

4.3 機能分離型支承

従来の支承部の基本思想は、支承部への要求性能を一体化させた単一の装置で、鉛直力や水平力を支持する機能、水平移動や回転への追従、および地震時上揚力の負担などを負担してきた。このような構造は、合理的である一方で、一つの機能に問題が生じた場合、同時にそのほかの機能にも影響を与えることになる。この点を改良したのが、2002（平成14）年道路橋示方書に記述された個々の機能を分離する機能分離型支承と呼ばれる形式である。主に鉛直力を支持し、回転などの常時機能と、水平力支持や上揚力支持などの地震時の機能を個別に必要なデバイスで対応する形式である。

機能を分離させる利点としては、

(1) 支承部の機能を一つに集約させず、複数の支承に分散させることで、それぞれの特徴を生かすことが容易となり、設計の自由度が向上する。

(2) 仮に一方の支承に損傷あるいは機能不全が生じても、もう一方の支承により、ある程度の期間は、支承部を補うことができるため、橋梁全体の安全性をある程度確保できる。

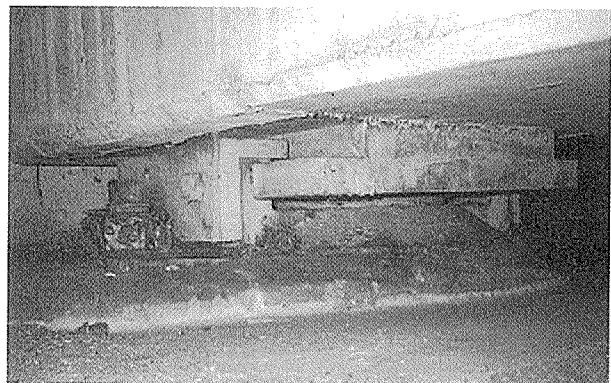
(3) 鉛直支持の支承にすべり機構を有した場合、地震時には支承部の相対変位に伴い、摩擦力が発生するため、熱エネルギーの変換に伴う減衰効果が期待できる。などがあげられる。

上記のうち、とくにすべり機構による減衰効果を積極的に活用した免震システムに関する設計法を紹介したマニュアル（案）⁵⁾が発刊されている。

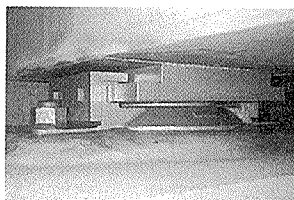
4.4 支承部の補修および交換用の支承

橋梁の長期間の供用期間の間には、上部構造からの土砂や雨水などの漏水で支承の鋼材部が著しく腐食し、機能障害を起こしたり、下部構造の倒れなどの要因で支承部に過大な変位が生じたりすることで、支承を交換した事例も多くなっている。

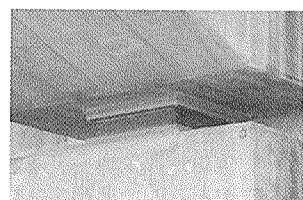
鋼製支承の場合は、錆や腐食への対策が重要な課題であり、その対策方法として、鋼製支承の若返り工法と称するリフレッシュ工事を推奨している。この工法の概要は、(1) ブラストによる支承表面の清掃、(2) 亜鉛または亜鉛アルミ合金を支承表面に溶射し、また、封孔処理による防錆処理を実施、(3) 潤滑剤およびグリスなどを注入し、移動機能の回復を図る、の3ステップからなるものである。同様に、既設支承が、腐食などにより機能不全が生じた場合に、耐震補強や単に機能回復の目的でゴム支承に交換する補修も近年多く行われており、写真-1はその一例を示す。



支承部の腐食



若返り工法後（鋼製支承）



支承交換（ゴム支承）

写真-1 若返り工法および支承交換の施工例

5. これからの支承

橋梁の中では、震災を契機に支承の役割がますます高まっている。そのため、これからの支承としては、使用性、耐震性、耐久性、経済性の観点から総合的に優れた支承の開発が必要と考えられる。下記にこれからの支承に必要と考えられるキーワードについて記述する。

5.1 メンテナンスを考慮した支承

現在では支承部分の耐久性が増すような改良、研究がなされている。しかしながら、橋梁は長期間の使用の間に、下部構造の倒れなどのような要因で支承部分に大きな変位を生じたり、上部構造からの雨水などにより流された土砂などで支承部が埋まり鋼材部分が著しく腐食したといったケースも少なくなく、支承を交換せざるをえないケースもある。大きな荷重を支えつつ移動する支承部はある意味重要な機械的要素であり、むしろつねに点検、交換を行うべき部位であるともいえる。この観点から支承部はつねに点検を行う環境を整え、支承そのものも、より交換可能な構造に工夫されたものが必要と思われる。

とくにコンクリートとの取付けではアンカーでしっかり固定されており、ほとんど交換不可能な構造が多いため、これらについても交換可能なものへ移行する必要がある。

また、機能保全や機能回復に関して支承部全体をメンテナンスまたは修復、交換するのではなく、機能不全を起こした要部（ゴム支承では、ゴム沓本体部を示し、鋼製支承では、すべり板など）のみ取替え可能にした構造が必要となる。ゴム支承では、これまで点検、補修などのメンテナンスを行っていない現実があるが、ゴム材料は塩や水、埃など鋼材一般に知られている錆などによる機能不全は無い。しかし、免震支承などゴム支承本体以外に鋼板やアンカーボルトなど鋼材との組合せであることから、鋼材部は鋼製支承と同じ問題を抱えている。そのため、ゴム支承であっても点検、補修などのメンテナンスは必要であると考えている。また、ゴム材料は施工中や供用後に外的要因により傷を付けられることや、オゾン、紫外線、日光、さらに漏水などによる表面劣化やオゾンなどによるクラックが生じる場合がある。このような表面のクラックが耐久性や要求性能にどのような影響を及ぼすかの適切な判断が必要である。これら、点検要領およびメンテナンス要領の構築が必要と考える。

以上によりこれからの支承は、初期費用のほか、補修や維持管理費についても考慮してLCCを最小化することが求められる。

5.2 修復性に優れた支承

過去の支承は、経済性（初期投資）を優先するため部品数を少なくし、支承高さを極力小さく設計していた。最近、震災による修復作業のため鋼製支承からゴム支承への支承交換や、先に述べたような腐食による機能不全のための支承交換が多くなってきた。このことから、取替えを容易にする支承構造の必要性と考える。

過去のコンクリート橋の支承交換の場合、作業スペースのせまさや、支承が、アンカーバーでしっかりと上部構造

に定着されていることで支承交換は困難なものとなっている。最近の取替え事例としては、既設の上沓を残したまま新しい支承を設置する工法が採用されている。この場合、既設の上沓を流用する関係でタイプAの支承となることが多く、別途、変位制限構造の設置が必要となる。

これからの支承を考えた場合、機能不全となった支承を容易に取替えができる構造を保有した支承が必要と考える。たとえば、支承交換を容易にするため、図-5のゴム支承（鋼製支承も同じ）に示すようにアンカーバーを定着したプレートと上沓は分離構造とし、また、支承交換のための橋桁のジャッキアップ量を最小にするため、支承とベースプレートの間にせん断キーのはめ合い分を考慮した一枚鋼板を設置することなどが考えられる。

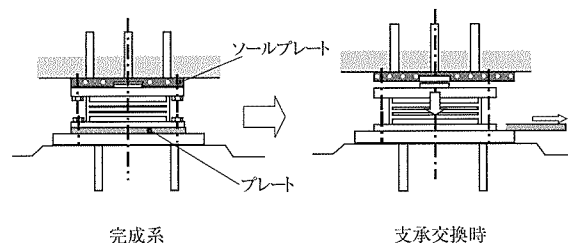


図-5 修復性に優れた支承構造例

5.3 損傷制御設計をした支承

兵庫県南部地震では地震力による多くの支承の破損が観測された。また、支承に損傷は観測されないが、上部構造や下部構造に大きな被害が観測されたものも多くあった。これらは、地震力に対して橋梁の最弱点部が破損することでエネルギーを消費または変位で逃がすことにより、他の部分の破損やダメージを少なくした現象であった。このことから、橋梁の機能を根本からなくしてしまう破壊形態を避け、一部分を適切に破壊させ、橋梁全体を守るという考え方ができる。当然破壊させるべき部分は、容易に修復可能な構造とすることが望ましく、できればその部品などは、常時、保有していることが望ましい。これらの観点から考えると、支承は、この構造を適用できる部材の一つであると考えられる。支承の損傷部位を特定することにより、それ以外の箇所の塑性化を抑制した耐震設計もこれからの支承の一つの方向を示すと考えられる。このためには、支承材料の終局強度を明確にし、その破壊形態も見極める必要がある。今後これらの知見が明確になることで、損傷を制御した支承が橋梁の地震対策として有効な方法になりえることと考える。たとえば、支承本体の連結部のボルトやせん断キー、ストッパー部材などが地震時に対して他の橋梁部材より先に破壊する方法が考えられる。

たとえば、段差防止装置のように、フェイルセーフ的なすべり支承を橋軸前方に配置し、過大な地震力により支承および取付け部などにダメージを受けた場合に桁を一時すべり支承で受け、その後発生する余震などの地震力を受け流すような構造。このすべり支承は震災後修復するまでの短期間は充分支承としての機能をもつことで、復旧資材搬送などで橋梁として利用することが可能となる構造が考え

られる。

5.4 機能制御型支承

現在、鋼製支承に代表されるような固定可動形式の支承を用いる橋梁では、地震力が固定橋脚に集中してしまい、可動橋脚では脚の大きな振幅で想定以上の変位が発生する可能性がある。また、ゴム支承を用いた免震橋では、固有周期を長周期化させるため変位が大きくなり、桁端遊間の確保や、桁どうしの衝突などの問題が生じる。固定可動形式や免震工法は優れたシステムである反面それぞれに弱点がある。これらの弱点を補うために支承部の機能が単純なものではなく複数あるいはそれ以上の相反する機能を保有する必要がある。

たとえば、免震橋では、積層ゴムを用いることにより長周期化が可能であり、橋梁を巨大地震から守ることができる。しかしながら、長周期化のため支点部の変位量も大きくなり、桁間衝突や桁端遊間の確保が困難となる場合がある。この変位量を小さくするため、減衰を大きくすることが有効であるが、あまり大きな減衰は、常時の変位や水平力に対して影響を及ぼすなどの問題点がある。このように、常時には、橋梁に対して悪影響を与えず、地震時において橋桁の変位を抑えるような複数の特性をもった支承もこれからの支承の一つと考える。複数の特性を与える一例としては、地震を何らかの方法でキャッチし、電気信号などにより支承部の特性を切り替えることが考えられる。

5.5 夢の支承

次に、可能性のある課題としてまったく新しい夢のような支承について考えてみた。

科学・技術の分野における専門家による未来予測がしばしば行われている。過去の例では東京湾横断道路や本四架橋、免震・制震など30年から50年程度で予測があたっているものや、空気で構造物を浮かすこと、地震を予測して制御する構造など現実時期がずれているものや的はずれなものもあるが、かなりの部分では将来のある程度の方向性を示していると考えられる。

そこで、近い将来開発または採用の可能性のある支承部構造についていくつかの例を示した。

(1) 地震時に抵抗力が変化するゴム支承

地震時に通電や圧力などにより、ゴムのせん断弾性係数を変えられるゴムが開発されれば、地震動の初動時（1波の立ち上がり時）には硬い剛性、地震時が繰り返す間は柔らかい剛性にコントロールできるゴム材料または支承構造により、変位と力を制御することで耐震・制震性能が向上する。

(2) 臨時免震システムー1

P波センサーなどの早期地震警報システムと併用して瞬間的に水平変位と揺れを制御する。長大橋に適用

することで耐震性が向上する。

複数の橋脚と桁の間にアクチュエーターを設置し、別に設置された地震観測システムとコンピュータにより瞬時に各アクチュエーターに適正な制御力を発生させ、橋梁を地震から守ることができる。このようなアクティブ制御は自動車や一部の建築物では実現している。

(3) 臨時免震システムー2

空気浮上により橋梁構造を瞬時に浮上させることで、地震力を完全に遮断させる。常時の荷重・変位は現行の支承構造を用い、地震時のみ機能する。

兵庫県南部地震後、地盤を対象とした地震観測システムは国レベルで整備されてきた。K-net, KIK-netや気象庁による強震記録がタイムリーに公開され、実務や研究に広く使われるようになった。この情報を利用して前記のシステムをもった支承構造により耐震性の高い橋梁構造を構築できることが考えられる。

しかし、このような支承構造を橋梁に適用するには、地震動のキャッチシステム、電力供給、メンテナンスなど機能制御技術には解決すべき課題が多い分野であるが20年、50年という時間で考える場合には可能性があると思われる。

6. おわりに

兵庫県南部地震以降、支承は急激な変革がなされてきた。これからの支承構造は、本文中に記載したキーワードを基本とし、橋梁に合った支承、適材適所の耐震設計にあった支承の開発が必要と考えられる。

現在、設計地震力の改訂に伴った支承の性能向上により支承のコストは上がっている。しかし、これからは、建設コストの抑制などの問題が大きくなってくると考えられる。当面は、メンテナンスを考慮した支承、修復性に優れた支承、損傷制御設計をした支承、を基本とし、現状の支承の性能を保持しコストを抑えた支承の開発が必須と考えられる。

参考文献

- 1) 鋼道路橋設計示方書案解説, 日本道路技術協会: 昭和15年(1940)
- 2) ゴム支承の鋼材部の設計標準(案): 平成17年10月
- 3) 道路橋支承便覧 ゴム支承ガイドブック: 平成17年8月
- 4) 金属支承の水平終局挙動, 土木学会論文集, No.773, I-69, pp.63-78: 2004.10
- 5) すべり系支承を用いた地震力遮断機構を有する橋梁の免震設計法マニュアル(案), (獨)土木研究所他: 平成18年10月

【2009年1月29日受付】