

巻末資料-2 「既設橋梁の耐震補強工法の事例集」に関する Q&A 集

平成17年11月14日
 追加 平成18年 1月24日
 追加 平成18年 2月15日
 追加 平成18年 6月 7日
 追加 平成18年11月13日
 追加 平成18年12月19日
 追加 平成19年 3月 6日

「既設橋梁の耐震補強工法事例集」に関するQ A集

本Q A集は、「既設橋梁の耐震補強工法事例集」に関する技術的な事項に関する質問について現在の技術で考えられることを記述したものであります。実際の現場で適用する際には、こうした点も十分に踏まえて検討いただきたいと思います。

1章 目的および適用範囲

No.	質 問	回 答
1	国土交通省の橋梁耐震補強3箇年プログラム耐震補強マニュアル(案)では、陸上部施工などコスト縮減が図れる場合には鉄筋コンクリート巻立て工法等を、補強対策部位が常時水中など特殊な条件の場合には上部構造の慣性力の分散化(免震化を含む)を検討することとされている。これらの工法の設計は、道路橋示方書(平成14年)+既設橋梁の耐震補強に関する参考資料(平成9年)に準じるのか、それとも本事例集に準じて設計してもよいのか?	本事例集は、基本的に道路橋示方書に基づいて作成するとともに、耐震性評価や耐震補強等、既設橋梁特有の事項について参考になる考え方、事例等を示している。また、日本道路協会から出されている「既設橋梁の耐震補強に関する参考資料」に示される工法・設計法についても、これを参考に本事例集に取り込んでいる。 このため、本事例集は道路橋示方書や参考資料と内容的に整合したものとなっていることから、巻立て工法や上部構造の慣性力の分散化工法等についての設計に際しては、本事例集を参考にすることができると考えている。 なお、慣性力の下限値の照査方法など道路橋示方書の規定のうちいくつかについて、道路橋示方書に示される性能という観点からみた場合の別の評価方法を示しているので参考にさせていただきたい。
2	事例集の編集はどのような方針で行ったのか?また、どのような工法や事例を取り入れて、どのような工法や事例を除外したのか?	本事例集では、RC橋脚、鋼製橋脚、落橋防止構造、全体系の耐震補強工法について、実績や既往文献等を参考にするとともに、力学的に補強効果が見込めると考えられるものを独自に検討して掲載している。このため、様々な検討、提案が行われている工法全てを網羅的に調べて掲載したものではない。なお、本事例集の巻末に示した新工法・新技術の事例については、耐震補強に係る事例をNETISから調査し掲載している。

2章 既往地震による橋梁被害の特徴と耐震補強のポイント

No.	質 問	回 答
1	昭和55年以降の道路橋示方書を適用した橋梁でも耐震性能を照査して、必要に応じて補強をしていくべきと考えられるが、適用基準の違いによる被害の相違について傾向のようなものがあれば教えて欲しい。	本事例集2章において、平成7年兵庫県南部地震における適用基準毎の被災事例の分析を示しているので参考にさせていただきたい。被災事例を適用基準との関係で整理すると、鉄筋コンクリート橋脚、鋼製橋脚ともに、昭和55年より古い道路橋示方書を適用した橋脚において倒壊や変形などの甚大な被害が多く生じており、昭和55年以降の道示を適用した橋脚ではこのような致命的な被害を生じていない傾向となっている。

3章 既往地震による橋梁被害の特徴と耐震補強のポイント

No.	質 問	回 答
1	既設橋梁の耐震性能の評価において、許容値の超過の程度を考慮し、その超過が橋の部材としてどのような損傷状態になるか、その損傷状態が橋全体の耐震性能に対して致命的な影響を及ぼすかどうかを判断することが重要と記述されている。 要望であるが、実際の地震で生じた損傷の状況を解析により確認した例を示すなどして、既設橋梁の大規模地震時の性能評価を行うための事例のようなものがあるとさらに参考になると考えられる。	要望について承った。 参考事例等、機会を見つけて、様々な形で情報提供をできるようにしたいと考えている。
2	本事例集には、過度に橋脚の耐力を小さくしないことと、所要の変形性能を有していることを条件に、慣性力の下限值やひび割れ水平耐力による鉄筋量の規定を適用しなくてよいとしている。このため、道路橋示方書（平成14年）に完全に準拠していないと考えられるが、この事例集に準拠した耐震補強を恒久対策と考えてよいか？	本事例集は、基本的に道路橋示方書に基づいて作成している。慣性力の下限値の考え方やひびわれ水平耐力の評価方法は、道路橋示方書と全く同一の評価方法ではないが、道路橋示方書の基本的な考え方に基づき、性能という観点からみた場合の評価方法として参考となる事項を示している。したがって、この評価方法は、性能という観点ではほぼ同等レベルを確保することができる方法と考えており、本事例集に準拠した場合に、このような評価方法の違いによって、所定の性能が確保できず、将来耐震補強のやり直しが必要とされるというものではないと考えている。

3	<p>道路橋示方書では、可動橋脚の慣性力として、上部構造の死荷重反力の1/2に設計水平震度を乗じた力を考慮することとされているが、本事例集では考慮しなくてもよい場合が示されている。このような規定を考慮しなくてもよいとした根拠はなにか？</p>	<p>可動橋脚に作用する慣性力を支承の静摩擦力のみで設計すると耐力が極端に低い橋脚が設計されることもあり、地震時に可動支承が破壊して損傷した支承がかみあうなどして静摩擦力を超える慣性力が可動橋脚に作用して悪影響を及ぼすことも考えられる。このような点が配慮されて、道路橋示方書では上部構造の死荷重反力の1/2に設計水平震度を乗じた力を考慮することとされている。</p> <p>このような道路橋示方書の規定を性能という観点で考えると、可動橋脚の支承が壊れて支承がかみあうなどしても、可動橋脚が固定橋脚より先に破壊せず、また、橋脚の地震時慣性力に対して抵抗できるとともに、変形に伴うP-△効果による作用に対して十分余力を有していること、固定橋脚に対して負担を大きくすることがないことが検証できれば、道路橋示方書で規定している慣性力の下限値を確保する方法と性能という観点では同等の耐震性を確保できると考えられるものである。</p>
4	<p>可動橋脚において、上部構造の死荷重反力の1/2に設計水平震度を乗じた力を考慮しなくてもよい場合の例が示されているが、橋軸直角方向の地震動で支承が破壊される場合などは、上部構造の死荷重反力そのものを考慮することが必要な場合もあるのではないかな？</p>	<p>可動橋脚の慣性力の下限値に関する規定は、可動支承の可動方向に対する規定である。可動橋脚の橋軸直角方向については、通常は、固定条件となり、その方向には各下部構造が負担する上部構造重量を慣性力として考慮する必要がある。</p>
<p>H18.2. 15追加</p> <p>5</p>	<p>既設の鉄筋コンクリート橋脚の保有耐力を算定すると、軸方向鉄筋比が少ないため、ひびわれ水平耐力 P_c や初降伏水平耐力 P_{j0} が終局水平耐力 P_u より大きくなる場合がある。この場合の(1)破壊形態の判定、および、(2)動的解析に用いる履歴モデルの考え方、はどのようにすればよいか？</p>	<p>事例集3.2.2に示すように、壁式橋脚などの大断面で軸方向鉄筋比が小さい鉄筋コンクリート橋脚では、終局水平耐力 P_u よりもひびわれ水平耐力 P_c が大きくなる場合がある。新設橋では、コンクリートのひびわれの発生とともに耐力が急激に減じて破壊に至らないように $P_c < P_u$ となるように必要な軸方向鉄筋を配筋するが、既設橋ではこれを性能という観点で評価し、$P_c > P_u$ となるような場合でも当該橋脚がひびわれ後に不安定となる挙動をしないことを検討することによってこれを満足させなくてもよいことを事例集に示している。</p> <p>破壊形態の判定であるが、これは橋脚にひびわれが発生した後の挙動の評価になるため、通常の橋脚の場合と同様に、終局水平耐力とせん断耐力の比較により行うことができる。</p> <p>また、このような橋脚の曲げ破壊型の場合の耐力-変形関係の骨格曲線として、ひびわれ点、降伏点、終局点の3点を考慮すると、ひびわれ点が終局点よりも耐力値が大きくなる骨格曲線となる。このような橋脚に対する厳密な力学モデルについては十分明かにされていないことから、設計上の配慮としては、応答値が大きく評価されるようにモデル化することが考えられる。例えば、バイリニア型の力学モデルとすると、初降伏耐力 P_{j0} に対する剛性を初期剛性とし、最大耐力を P_u としてモデル化することが考えられる。</p>

<p>6 H19.3. 6追加</p>	<p>PI-30では、基礎の減衰定数について述べられており、直接基礎の場合10%、杭基礎の場合20%、ケーソン基礎の場合30%程度の減衰定数を一般に考慮することができる。”と示されている。この考えのもとになっている論文等があれば紹介して欲しい。</p>	<p>事例集では、既設橋梁の性能評価を目的として、下部構造の高さがあまり高くない壁式橋脚などの断面が大きい短周期構造の場合についての基礎の減衰性能について示したものである。また、既設橋梁のケーソン基礎については、採用された地盤条件は軟弱地盤等地盤条件が悪い場合が多いと想定し、地震時にはケーソン基礎周辺で地盤の非線形挙動も生じて逸散減衰や履歴減衰を含む基礎の減衰定数が他の基礎形式よりも大きくなるものと考えたものである。ケーソン基礎等の既往の振動実験データや強震記録の分析・検討例については、以下の文献等があるので参考にさせていただきたい。</p> <p>なお、基礎の減衰定数は、本来は基礎形式毎にその値が単純に決まるものではなく、地盤条件、基礎形状、基礎の変形量、地盤の非線形性の程度等で異なるものであり、より合理的な値を設定するためには、基礎部材の材料減衰、地盤の履歴減衰や逸散減衰等を適切に考慮できるように基礎と周辺地盤をモデル化して検討することが必要とされる。</p> <p>道路橋示方書V耐震設計編「7.3 解析モデル及び解析方法」によれば、基礎の等価減衰定数の参考値として、弾性域にある場合には0.1～0.3、非線形域に入る場合には0.2～0.4と示されている。新設の橋梁の耐震設計では、基礎の減衰定数として、直接基礎やI種地盤では10%、杭基礎やケーソン基礎では20%が一般に用いられる場合が多い。このため、既設橋梁であっても、下部構造の高さがあまり高くない壁式橋脚などの断面が大きい短周期構造以外の場合には、性能評価に用いる基礎の減衰定数としてはケーソン基礎の場合も含めて地盤条件や地震時の基礎の振動特性を十分考慮した上で設定することが必要と考えられる。</p> <p>参考文献</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 日本道路協会：道路橋示方書V耐震設計編、平成14年3月 2) 栗林栄一、岩崎敏男：橋梁の耐震設計に関する研究（Ⅲ）—橋梁の振動減衰に関する実測結果—、土木研究所報告、第139号、1970年6月 3) 岩崎敏男、川島一彦、高木義和：道路橋井筒ケーソン橋脚の地震応答に及ぼす周辺地盤の影響の解析、土木研究所報告、第154号、1980年3月 4) 土木学会：動的解析と耐震設計、第4巻：ライフライン施設、1989年7月 5) 若原敏裕、川島一彦：剛体基礎で支持される道路橋橋脚の地下逸散減衰、土木学会論文集I、432/I-16、1991年7月 6) 小倉裕介、岡田太賀雄、西田秀明、運上茂樹：相互作用を考慮した基礎地盤バネの減衰定数に関する考察、土木学会地震工学論文集、Vol.28、2005年8月
-----------------------------	--	--

5章 部材の耐震補強工法

No.	質 問	回 答
1	中空橋脚の段落し部の耐震補強について、橋脚外面の巻立て補強を行う予定であるが、中空断面の内側はどうすればよいのか？	<p>本事例集では、このような場合の対策例については示していないので個別に検討いただきたい。なお、段落し部の対策としては、地震時に橋脚基部に先行して、段落し部で曲げ破壊、せん断破壊が生じないようにすることが重要であり、これは中空断面を有する橋脚でも同様である。したがって、本事例集に示すように、段落し部で曲げ損傷が先行しないように、例えば橋脚の外側を炭素繊維材等で巻き立てて曲げ耐力を基部よりも大きくすることにより段落し部の損傷を先行させないようにすることができる。外側での巻立てで段落し部で所要の曲げ耐力を確保できれば、必ずしも内側を巻き立てる必要はないと考えられる。</p> <p>なお、中空断面の場合、一般にコンクリート断面積が少なくなることからせん断耐力が小さくなりやすい。このため、段落し部で曲げ損傷のみならず、せん断損傷が生じないように、せん断力に対する照査を十分に行うのがよい。</p>
2	コンクリートの表面に石油系の樹脂を張る場合、材料としての膨張係数等が異なることから、問題となるようなことは無いのか？	炭素繊維等を用いた繊維材巻立て工法では、繊維材に樹脂を含浸させてコンクリートに貼り付け、一体化を図ることになる。このような樹脂材については防水材等としての実績も多く、また暴露試験などで30年程度の実績もあり、適切かつ確実に施工されて固化すれば、一般には線膨張係数の相違が耐久性に大きく影響を及ぼすものではないと考えられる。
3	アルカリ骨材反応等により損傷を受けた橋梁に対しては、どのような耐震補強を行うのがよいのか？	本事例集では、このような場合の対策例については示していないので個別に検討いただきたい。なお、一般論としては、現状の損傷程度によると考えられるが、現損傷の補修、アルカリ骨材反応の進展を抑止する対策、そして、耐震補強対策と、それぞれの要求性能を満足できるような方策を検討する必要があると考えられる。また、アルカリ骨材反応の進展の可能性がある場合には、ある程度継続的な点検、モニタリングできるようにすることに注意する必要があると考えられる。
4	繊維材巻立てによる補強工法において、横梁やフーチングに干渉するために繊維材の定着長が確保できない場合は、どうすればよいのか？	繊維材の定着長が不足する場合には、繊維材に所定の性能を確保できないことになるため、他の工法等の検討が必要と考えられる。なお、一般には繊維シートの巻立て数が多くなるほど定着長が長く必要になるので、橋脚に対する対策として繊維シートの巻立て数が本当に必要な量となっているかどうかを十分確認するのがよい。
5	河川内の橋脚の段落し部がハイウォーターレベルより下になる場合、繊維材巻立てによる補強工法を採用すると、コンクリート防護工が必要となり、河積断面を阻害することになってしまう。このような場合はどうすればよいのか？	繊維材巻立て工法については河川内施工の実績もあり、この場合、表面の防護としては、ポリマーモルタル処理等が一般に実施される。巻立て補強部への流木等の衝突が想定されるが、例えばエポキシ系の樹脂の圧縮強度は一般に60～80N/mm ² 程度であり、圧縮方向の強度としてはコンクリートよりも強い材料である。なお、先端が鋭利なものが衝突すると損傷することが想定されるが、巻立て部全体がはぎとられる可能性は低いと考えられる。また、損傷した場合には、損傷部に対して繊維材の定着分を確保して部分貼り付けでの補修も可能である。コンクリート防護工をすれば流木対策等はより確実になると考えられるが、特に増水時の点検やメンテナンスを行うことによって、表面防護を選定することも考えられる。なお、このような対策でも困難な場合は、橋脚の補強をしない工法として、本事例集に示す橋全体系の補強工法を検討していただきたい。

6	<p>小判型の橋脚に対して、RC巻立ての補強を行った結果、慣性力が大きくなってフーチングで耐震性を満足しない結果となった。このような場合に、フーチングの補強事例等はないか？</p>	<p>本事例集では、このような場合の対策例については示していないので個別に検討いただきたい。なお、基礎の補強に関しては、日本道路協会から「既設道路橋基礎の補強に関する参考資料、平成12年2月」が出版されているので参考にいただきたい。</p> <p>地震時にフーチングが破壊してしまい橋脚の安定が保てなくなるような場合に対する対策方法としては、フーチング上面部を鉄筋コンクリートで増厚する工法やフーチングをPC材により緊張する工法等があるが、対策事例は少ないと考えられる。このため、基本的にはできるだけ基礎の負担を大きくしないように橋脚に対する対策工法を選定するのがよいと考えられる。例えば、橋全体系の補強工法を採用あるいは併用することにより橋脚の巻立てをしなないあるいは最小限のせん断補強に留めるような工法も考えられるので、検討していただきたい。</p>
7	<p>直径約70cmの円型橋脚の鋼板巻立て補強を検討しているが、鋼板巻立て工法の鋼材の断面方向分割数は4分割を標準とするとされているが、4分割にしなければならないのか？</p>	<p>4分割は、あくまで一般的な規模の橋脚に対して、運搬や橋脚への固定作業などの施工性を考慮した場合の標準的な分割例と考えることができる。施工に問題がなければ、分割数は少ないほどよいと考えられるので、現場の条件を考慮して検討していただきたい。</p>
8	<p>講習会では、河川内等で繊維補強する場合、吊り足場が有効との説明があったが、補強範囲が広い場合、吊り足場を上下に移動させる必要がある。繊維巻立てでは、下地処理から仕上げまでいくつかの作業工程が必要になり、その都度足場を上下させると逆に施工が煩雑になるのではないかと考えられるがどうか？</p>	<p>一般には、河川内で橋脚の周囲の締切を行う補強工事と比較すると、吊り足場を用いた工法の方がより容易と考えられる。個々の現場の条件に応じて、適切な工法を選定いただきたい。</p>
9	<p>連続橋（多点固定方式）において、固定橋脚については既にRC巻立て工法により橋脚補強が実施されている。今回、可動橋脚の段落し部に対する補強を行うことにした場合、以下のうちどのような対策が適切と考えればよいか？ 今回の検討した橋では、経済性ではRC巻立て工法より繊維材巻立て工法の方が経済的となった。</p> <p>①1連の橋に2つの異なる補強対策を採用することになるが、経済性を考慮し、可動橋脚に対しては繊維材巻立て工法を採用する。</p> <p>②補強後の橋脚の剛性を考慮して、可動橋脚についてもRC巻立て工法を採用する。</p>	<p>本事例集にはこのような場合の対策例については示していないので、個別に検討いただきたい。なお、基本的な考え方としては、当該橋に対して所要の耐震性能を確保できる耐震補強工法を選定することが必要とされることから、所要の性能を満足できれば、RC巻立て工法、繊維材巻立て工法いずれの工法も採用することもできると考えられる。このため、現場条件や経済性を考慮して工法を選定すればよいと考えられる。</p> <p>一連の連続橋において異なる工法を用いる場合の留意点としては、単純に同一の工法を採用することが必要条件ではなく、対策を行った結果としての橋脚の剛性や耐力の変化を評価した上で、橋全体、または、各橋脚が所要の性能を確保できるように対策できれば同一の工法を用いることは必要条件にはならないと考えられる。なお、現場の条件で橋脚の景観性等に留意する必要がある場合も考えられるので個別に十分に検討していただきたい。</p>

1 0	<p>多柱式橋脚で部分的に鉄筋コンクリート巻立てにより補強が行われている（例えば、4脚中2脚のみ補強済み）場合に、補強されていない橋脚に段落し補強が必要となった場合については、どのような補強が適当か？</p>	<p>本事例集にはこのような場合の対策例については示していないので、個別に検討いただきたい。なお、基本的な考え方としては、当該橋脚に対して所要の耐震性能を確保できる耐震補強工法を選定することが必要とされることから、橋脚全体としての性能という観点で、十分検討いただきたい。</p>
H18. 2. 15追加	<p>事例集 I -56に段落し部に対する最小補強範囲が示されているが、ここで、橋脚の断面形状や補強の向きによって補強範囲が異なっているのは、曲げ補強以外に何らかの補強効果（例えば、せん断補強等）を期待しているためか？</p>	<p>段落し部の補強は、段落し部における曲げモーメントとせん断力による損傷の防止を目的としているため、鋼板に対して曲げ耐力とせん断耐力の向上の両者の効果を期待している。</p> <p>橋脚の断面形状によって最小補強範囲が異なっているが、これはそれぞれ実験結果に基づくものである。一般に、矩形断面の辺長が長くなるほど鋼板が剥離を起し易くなり、拘束効果が低下しやすいため、その分補強範囲が広がっている。また、壁式橋脚のような場合は、さらに長辺側で鋼板が剥離を起し易くなるため、その補強効果に十分な確認が必要とされ、補強範囲を示していないところである。</p>
H18. 2. 15追加	<p>繊維材補強での補強範囲は、繊維材とコンクリートの付着強度で設計することとされているが、設計の考え方が鋼板巻立ての場合と異なるのはなぜか？</p>	<p>段落し部の補強は、脆性的な破壊に至る可能性のある段落し部における損傷を防止し、一般に変形性能が大きい基部の損傷モードに移行させることを目的としている。このため、段落し部の曲げ耐力を基部よりも大きくするために、段落し部において軸方向に対する補強が必要とされる。</p> <p>繊維材巻立て補強は、既設橋脚表面の軸方向に繊維材を樹脂により接着して段落し部の曲げ耐力の向上を図るとともに、横方向にも接着してせん断耐力の向上を図る。このため、補強設計に際しては、段落し部周辺において所要の繊維材の厚さ分の曲げ耐力の向上を確保できるように、段落し部を中心としてそこから所要の定着長を確保することとしている。</p> <p>鋼板巻立てについても、基本的には同様の考え方である。しかしながら、一般に繊維材のような鋼板と既設橋脚間の完全な接着は期待できないこと、鋼板は繊維材よりも厚くなり、その分巻立て範囲全体の剛性の向上効果が高いことが考えられる。これらのことを考慮して、事例集では、鋼板巻立て工法については、実験に基づき設定された最小補強範囲の事例を示している。</p>
H18. 2. 15追加	<p>鋼板巻立ての補強範囲を、繊維材補強の補強範囲のように付着強度から決める方法はないのか？</p>	<p>上記2の通り、一般に鋼板巻き立て工法の場合は、鋼板と既設橋脚間の完全な接着は期待できないため、現状では付着強度から定める方法は提案されていない。</p> <p>なお、スタッドジベルやアンカーボルトを用いて鋼板を機械的に橋脚表面に定着する方法が考えられるが、この場合も設計上は付着強度ではなく、アンカーのせん断と鋼板間での力の伝達を評価することになると考えられる。</p>
H18. 2. 15追加	<p>鋼製橋脚の補強について、事例集5.2.4の縦リブ補強や計算例1.2.3の短冊鋼板補強など現場溶接を伴う補強工法があるが、採用について注意すべき点は何か？</p>	<p>現場溶接は一般に施工管理が難しく、品質確保が困難な場合が多い。現場溶接の品質が悪い場合、地震時だけでなく常時の疲労損傷などの問題も引き起こす可能性もあるため、添接部近傍などでボルト等溶接以外の接合方法が検討できない場合などで、品質について十分な検討ができる場合以外は、現場溶接の採用は一般に望ましくない。</p>

<p>15 H18.2. 15追加</p>	<p>炭素繊維巻補強工法において繊維材の巻立て数が多くなる時、目付量600g/m²等の高強度シートを使用した方が経済的となる場合がある。事例集5.1.5(4)では、炭素繊維シートの目付量として200g/m²、300g/m²を標準的な値としているが、目付量600g/m²を使用する場合の問題点・注意点は何か？</p>	<p>本事例集では、このような場合の対策例については示していないので個別に検討いただきたい。なお、炭素繊維補強工法の基本的な考え方としては、繊維材にエポキシ系樹脂を含浸させてコンクリートに貼り付け、一体化を図る工法であるので、目付量が多くなった場合でも繊維材を確実に橋脚に接着することができれば所定の性能を確保できると考えられる。目付量600g/m²の炭素繊維を用いた巻立て工法については、これまでいくつかの実績もあり、繊維材本体の強度やコンクリートとの接着効果などについても検討されている事例もあるので参考にしていただきたい。なお、一般に繊維材の目付量が多くなると、樹脂の繊維材への含浸が十分でなくなったり、繊維材の貼り付け時に気泡が入ることなども考えられるので、施工時には繊維材の接着が確実にできるように十分注意するのがよいと考えられる。</p>
<p>16 H18.6. 7追加</p>	<p>PI-55に示される鉄筋コンクリートと円形鋼板を併用した下端拘束工法の設計において、中詰めコンクリート内に帯鉄筋を配置することとされているが、この帯鉄筋の役割は何か？</p>	<p>中詰めコンクリートは、地震時に橋脚に曲げ変形が生じた場合には、下端拘束円形鋼板との共同作用として拘束効果を発揮するとともに、補強鋼板の応力をフーチング定着アンカーに伝達する役割を有する。このため、地震時に中詰めコンクリートに割れが発生し、これらの機能の低下を招くことがないように配筋するものである。帯鉄筋の配筋としては、例えば図-5.15のように根巻きコンクリートと同様の配筋が考えられる。なお、詳細については、参考文献8)、10)によらるたい。</p>

6章 橋全体系の耐震補強工法

No.	質 問	回 答
1	<p>橋台による変位拘束工法の中で、ケーブル設置工法があるが、このケーブルと落橋防止構造や変位制限構造等は兼用することが可能か？</p>	<p>道路橋示方書では、例えば、落橋防止構造と変位制限構造という異なる機能を有する構造の場合には一方の機能の喪失が他方の機能の喪失に結びつくため、原則として兼用してはならないこと、ただし、両者の機能を独立して確保できる場合は兼用してもよいとされている。</p> <p>このため、このような道路橋示方書の考え方に基づくと、本構造で兼用する場合には一方の破壊が他方の機能も喪失する可能性があるので注意する必要があると考えられる。なお、両者の機能を独立して確保できる構造の場合は、兼用が可能と考えられる。</p>
2	<p>免震工法のうち、免震支承とダンパーを併用した工法の例が示されているが、もともと免震支承はダンパー機能を有しているため、さらにダンパーを設置するというのは構造的に合理的ではないのではないか？</p>	<p>本事例集では、長周期化して慣性力は低減できたが変位応答が大きくなった場合を想定し、免震支承の減衰性能だけでなく変位をさらに低減するためにダンパーを追加するという工法を例として示したものである。個別の橋梁の条件に応じて効果的な対策は異なってくると考えられるので、合理的な組み合わせを検討いただきたい。</p>
3	<p>橋台による変位拘束工法で、橋台背面土の地盤改良を行う場合の改良範囲について参考出来る考え方はないか？</p>	<p>本事例集では、具体的な改良範囲の設計法については示していないので個別に検討いただきたい。なお、橋台背面土の押し込み方向の抵抗については受動土圧効果として期待できるので、背面土の受動土圧が確実に期待できる範囲を改良するということが基本的な考え方となると考えられる。このような考え方をもとに個別の橋台条件によって改良範囲を検討していただきたい。</p>

4	橋台による変位拘束工法で、橋台背面の踏掛版については橋台の抵抗を向上させる部材として考慮できないか？	踏掛版の構造や背面土の条件などで異なることやどの程度抵抗を期待できるかを評価する方法が不明確であるので、本事例集では一様な地盤がある場合を想定して示している。しかしながら、踏掛版の抵抗が確実に期待できる場合にこれを考慮することも可能と考えられるので、個別に検討していただきたい。
5	橋全体系の補強工法はレベル2地震動に対して耐震性能2を目指すのか？	本事例集の計算例では耐震性能2を目標として照査した設計例を示しているが、実際の耐震補強においては必要となる耐震性能を設定して照査することとなる。
6	変位拘束工法が適する条件について、落橋防止構造の要不要の根拠となっている橋長 25m とか 50m のような具体的な条件はないのか？	変位拘束工法の効果については参考資料に示している。定性的には、上部構造の重量が小さい、すなわち、支間数が少ない橋に対して補強効果が高いことがわかっているが、橋長で一概には設定し難いため、橋梁ごとに個別に検討していただきたい。
7	橋台によりけたの変位を拘束する工法は、新設橋梁の設計では本来見込めるにもかかわらず考慮されていないということは、設計では考慮していない安全代とも考えることができる。このような効果を既設橋梁の耐震補強で見込んでもよいのか？	<p>新設橋梁においては、橋台背面土の拘束効果については不確定性等があること、設計法として必ずしも確立していなかったことから設計ではこの効果を具体的には考慮せず、本体部のみで性能を確保することとされている。ただし、過去の震災事例を見てみると、桁と橋台の衝突により橋台パラペット部が損傷したが、結果として変位が拘束されたために橋本体の方が大きく損傷しなかった事例は比較的多く見られ、橋台部が上部構造の変位を拘束する効果があることは事実と考えられる。</p> <p>このような点を考慮して、本事例集では、既設橋の現況の耐震性能をより適切に評価するために、橋台部の抵抗特性を考慮した手法を提案したものである。この方法は、既設橋に限ったものではなく、本来は新設橋に対しても適用できる方法と考えているところであり、今後検討事例が増えて、検証データが増えれば新設橋の設計にも取り入れることが可能な設計方法と考えているところである。</p>
8	変位拘束工法において、上部構造の軸圧縮応力に対して補強が必要となる場合があると思うが、このような場合の補強方法等についてはどのように考えればよいか？	一般には、橋台の反力特性に比較すると、床版や橋桁からなる上部構造の軸方向剛性や耐力は大きいと考えられるため、上部構造の軸方向耐力の補強が必要になるとは考えていない。ただし、例えば、非常に剛性の高い橋台を有する橋で、上部構造重量が重く、支間数が多い場合には、上部構造と橋台との衝突により上部構造端部に生じる軸力が過大になったり、上部構造端部の局所的な損傷が生じることが想定される。このような場合には、分散構造や免震化等の別の工法あるいは別の工法との併用を検討していただきたい。
9	免震化工法を適用する場合に、機能分離型支承は有効ではないとの指摘もあるが、理由は何か？	本事例集では、上部構造慣性力の分散化や免震化といった工法について示している。既存支承を交換して分散化や免震化を図る場合には、交換する支承の設置スペースが制約を受ける場合が多い。このため、このような場合には鉛直支持性能、水平支持性能、変位追従性能、あるいは減衰性能といった機能を分離した支承が有効と考えられる。なお、摩擦型の支承を用いた場合などには、解析モデルの設定などを適切に行う必要があるなど注意すべき点があり、このような点についても本事例集に示しているので参考にしていただきたい。

1 0	<p>ゴム支承に使用されるゴムは経年劣化があると考えられるが、このような点に関する情報はないか？</p>	<p>ゴム支承に用いられているゴム材等の耐久性については、日本道路協会から出版されている「道路橋支承便覧（平成16年4月）」を参照いただきたい。一般に、経年劣化によりゴムの伸びの低下や弾性係数の上昇が生じることが知られていることから、通常は、ゴムの劣化進行を低下させるために、ゴム支承の周囲に被覆材が設けられる。実際に10年間橋梁に使用したゴム支承の試験データによると、外観には異常が認められず、また、せん断剛性が数%上昇したというデータも得られており、概ね材料の促進試験等で推定される劣化の範囲内であることが検討、確認されている。</p>
1 1	<p>変位拘束工法の設計で橋台背面土の抵抗を地盤バネとして考慮しているが、例えば、河川に架かる橋で堤防道路へのアクセスのみの場合、橋台の背面土は堤防盛土になり、横断面的に見ると台形状となる。このように橋台背面の土が橋軸方向に広がっていない場合の地盤バネの評価はどのように考えればよいか？例えば、上部構造、橋台の規模および背面土の定数がこれ位ならば、あるいは、橋台背面に土が何m程度あれば見込めるかというような検証は行っていないか？</p>	<p>本事例集では、河川の堤防に橋台が位置する場合に、堤防の幅と変位拘束工法の適用性に対する具体的な検討例は示していないので個別に検討していただきたい。基本的な考え方としては、橋台背面土の抵抗特性については受動土圧として考慮しているので、受動土圧として確実に効果を見込める範囲を考慮して、バネ値や地盤反力の上限值について個別に検討していただきたい。</p>
<p>1 2 H18. 2. 13追加</p>	<p>事例集6.4.4①に示される上部構造の桁下にブラケットを設置し橋台躯体に上部構造の慣性力を伝達させて、橋脚の耐震補強を不要とする変位拘束工法について、ダンパー等を設置せず単にブラケットを用いたもので実施例はあるか？</p>	<p>桁下にブラケット構造を設置した落橋防止構造はあるが、本事例のような構造で慣性力を橋台に負担させた事例はないと考えられる。なお、事例集P I -95に示すようなダンパーストッパーや鋼角ストッパーを設置した事例や、P I -101に示すような桁端部に緩衝材としてハニカムダンパーを設置した事例はある。</p> <p>ブラケットが確実に設置され、地震時に確実に上部構造の慣性力を伝達できる構造とすることができれば、地震時慣性力分散構造としては同等と考えられる。なお、衝撃的な作用でブラケットが個別に損傷することなどがなく、全体として慣性力を負担できるように、その適用や構造細目に関しては十分検討する必要があると考えられる。</p>
<p>1 3 H18. 11 .13追加</p>	<p>橋全体系の耐震補強工法のうち変位拘束工法では、橋台背面土の抵抗を受働抵抗バネとして考慮しているが、動的照査法により耐震性能の照査を行う場合には、背面土へのエネルギー逸散としてここに地盤・基礎系の減衰を考慮することはできるか。</p>	<p>本事例集では、橋台の背面土は引張抵抗としては寄与せず、橋台が一度背面側に押し込まれると、押し込まれた背面土の変位はそのまま残留し、その残留変位よりも大きい変位が生じない限り新たに抵抗しない履歴特性を有するバネとしてモデル化した例を示している。このため、本事例集では、背面土については、橋台の背面方向の変形に対して抵抗する地盤反力及び履歴に伴う履歴減衰を期待するが、逸散減衰の効果は考慮していない。</p> <p>一般に、橋台背面土からのエネルギー逸散等の減衰効果はかなり大きいと推定されるが、地震時の橋台による変位拘束効果に関する実挙動の評価の蓄積は十分ではない。このため、このような減衰効果を評価する方法については、橋台の挙動特性を含めて個別に十分な検討を行っていただきたい。</p>

7章 落橋防止対策

No.	質 問	回 答
1	道路橋示方書では、変位制限構造は落橋防止構造と類似した構造となる場合が多いが、その機能は異なるため、原則として兼用してはならないが、双方の機能を独立して確保できる構造を採用する場合には兼用も可能とされている。兼用できる構造の例とは、例えばどのような構造か？	事例集巻末の「新工法・新技術情報」において、変位制限構造と落橋防止構造の両者の機能を確保可能な製品の例を示している。その他にも考えられると思われるので性能という観点で検討いただきたい。
2	落橋防止構造の追加が困難な場合の対応として、けたかかり長について必要長の1.5倍以上を確保することが目安となるとされているが、1.5倍の根拠はなにか？	1.5倍という数字は解析的に決定したのではなく、1.5倍以上確保すればどのような地震に対しても落橋が起りえないということで設定したのではない。ただし、既往の地震被害例をみると、けたかかり長が確保されている橋では落橋まで至った橋が少ないこと、落橋が生じた事例においても、けたかかり長がさらにもう少し長ければ落橋を防止できた可能性があることと推定される事例があることから、けたかかり長の1.5倍程度以上を確保すれば、けたかかり長と落橋防止構造とを併用した構造と同等の落橋防止効果が見込めると考えられるものである。

補強設計計算例

No.	質 問	回 答
1	事例集のけたかかり長の拡幅の計算（PII-239～）では、『「兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧に係わる仕様」の準用に関する参考資料（案）』の同様な計算例において考慮されている「コンクリートの負担できるせん断応力度」を考慮していないのはなぜか？	本事例集では、縁端拡幅の施工時にチップングを十分できない場合を想定して、せん断力に対してコンクリートは負担しないものと仮定した事例を示した。しかしながら、指摘の通り、十分なチップング処理等を行うことによりコンクリートの負担を考慮できると考えられる。本件については、誤解を受けるため、本事例集の正誤表として追加したい。
H18.6. 7追加	PII-252に示されている落橋防止構造ブラケット取付部の設計において、摩擦接合に対する照査及びボルトの引張力の照査の事例が示されているが、引張接合としての照査を行う必要があるか？	<p>ブラケット取付部への作用力は一般にせん断力が卓越するため、ブラケットとウェブ間の接合方法としては高力ボルトを用いた摩擦接合が一般的と考えられる。事例集では、摩擦接合に対する照査に加え、偏心モーメントによる作用力分についてボルトの許容応力度で照査し、影響のないことを確認した事例を示したものである。</p> <p>なお、ブラケットの形状や偏心モーメントの大きさ、ベースプレートの平面寸法やボルト本数の制約などによって、ボルトに大きな引張力が作用すると考えられる場合には、道路橋示方書Ⅱ鋼橋編6.3に従い、引張接合としての照査も行うのがよいと考えられる。</p>

<p>3 H18. 12 19追加</p>	<p>鋼製ブラケットによる縁端幅の設計において、PⅡ-248に示される引張力に対するアンカーボルトの照査を単鉄筋矩形断面で行うように正誤表No.94で修正されたが、『「兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧に係わる仕様」の準用に関する参考資料(案)』に示された計算例の方法から修正された理由は何か？</p>	<p>『「兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧に係わる仕様」の準用に関する参考資料(案)』では、鋼製ブラケットによる縁端幅のアンカーボルトに作用する引張力を、縁端幅に作用する曲げモーメントに対して縁端幅下端が支点となって上側のアンカーボルトの引張力で抵抗すると仮定した計算例が示されており、本事例集もこれに基づいていた。その後、本事例集では、鋼製ブラケットによる縁端幅のアンカーボルトに作用する引張力について、鉄筋コンクリートによる縁端幅の計算例(PⅡ-243)と同様と考え、縁端幅に作用する曲げモーメントに対して単鉄筋矩形断面として抵抗すると仮定した計算例に修正したものである。</p> <p>縁端幅のアンカーボルトの照査においては、一般にアンカーボルトの引張力に対する照査が支配的とならず、照査方法としては上記のいずれの方法も適用可能な1つの設計方法と考えられる。</p> <p>本事例集では、上記のように鋼製ブラケットによる縁端幅のアンカーボルトの照査方法を、鉄筋コンクリートによる縁端幅の計算例と同様の方法にすることを考えて修正を加えたが、上記『「兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧に係わる仕様」の準用に関する参考資料(案)』の設計方法を否定するものではないことに注意いただきたい。</p>
-------------------------------	--	--

参考資料

No.	質 問	回 答
1	<p>支承の強度評価と損傷モードの判定方法で、「橋脚を補強しても支承が損傷するため、橋脚の補強効果が見込めない可能性が生ずる」とあるが、このような場合は橋脚の補強をしなくてもよいということか？</p>	<p>支承の強度が明らかに低い場合は、橋脚の補強対策の検討だけではなく、橋脚に損傷が生じずに支承が先行して破壊する可能性が高くなるため、落橋防止対策が重要になるという注意喚起と考えていただきたい。なお、既往の地震被害例によると、支承についてはその形式によって破壊強度が明確ではない点もあるので支承の破壊部位等十分に検討をいただきたい。</p>
2	<p>支承の強度評価で、支承の損傷から橋脚の損傷に変化する時の支承と橋脚の耐力比の0.5については、どのような震災事例を根拠としているのか？また、このような閾値は支承の形式等によって変化するのではないのか？</p>	<p>支承と橋脚の耐力比が0.5になると、損傷部位が橋脚から支承に変化するということではなく、この程度の耐力比になると橋脚より支承が先に壊れる可能性が高くなるので、落橋防止対策等を検討することが重要となる目安と考えていただきたい。事例集では、1978年宮城県沖地震の被害例をもとに検討した例を示している。実際に支承と橋脚のどちらが先行して破壊するかは、支承の形式等によって破壊部位や破壊強度等が異なると考えられるため、具体的に個別に検討が必要と考えられる。</p>
3	<p>支承の強度評価と損傷モードの判定方法で、支承が破壊した後の挙動を解析するには支承のモデル化をどのようにすればよいのか？</p>	<p>本事例集での検討は、支承が橋脚に先行して破壊する場合は、落橋防止対策の検討が重要になるという注意喚起を目的としており、支承が破壊した後の挙動を解析することについては示していないので、支承のモデル化等個別に検討いただきたい。</p>
4	<p>動的解析を実施したところ、応答塑性率が1.5程度以下となった場合には、せん断支間比が小さい橋脚においてディープビームの効果を見込んだせん断耐力を用いて評価してよいのか？</p>	<p>動的解析を行った結果、応答塑性率が1.5程度以下となる場合には、せん断耐力はディープビームの効果を考慮した値で評価することができると考えられる。</p>

5	<p>せん断スパン比の小さい橋脚に対してディープビームの効果を考慮できることが示されている。ここで、壁式橋脚においてせん断耐力が不足する場合に、炭素繊維巻立て工法を適用する場合、炭素繊維が負担するせん断耐力はどのように設計上考慮すればよいか？斜め引張鉄筋と同様にせん断耐力の低減係数c_{dk}を乗じて評価する必要があるか？</p>	<p>せん断スパン比の小さい橋脚に対して繊維材補強を行なった場合に、コンクリート、帯鉄筋、繊維材がフルにその効果を発揮できるかについては十分な実験データがない。ただし、繊維材は基本的に帯鉄筋と同様のメカニズムでせん断効果を発揮すると考えられるため、せん断スパン比の小さい橋脚に対してせん断補強の目的で繊維材巻立てを行う場合には、繊維材は帯鉄筋と同様に評価するのがよいと考えられる。</p>
<p>H18.1.24追加</p>	<p>PⅡ-308には、道路橋示方書Ⅳ下部構造編に規定されるコンクリートの負担するせん断耐力に対する割増係数と、せん断補強筋に対する低減係数が示されているが、せん断スパン比が2.5以上ならびに0.5以下の場合係数をどのように設定すればよいか？</p>	<p>せん断スパン比が2.5以上の場合、せん断スパン比の影響を考慮しない通常の棒部材のせん断評価式を用いる。せん断スパン比が0.5以下については、実験データも少なく、また、力学的な挙動もいわゆるディープビーム効果によりせん断力を負担するメカニズムとは異なってくるのが想定される。このため、このような場合には、機械的に割増係数と低減係数を考慮した設計式を適用するのではなく、橋脚の構造条件に応じて個別に検討するのがよいと考えられる。</p> <p>なお、せん断スパン比0.5未満の場合について安全側に評価する1つの目安としては、コンクリートの負担についてはせん断スパン比0.5の時の値を用いそれ以上の割増を考慮しないと、せん断補強筋の負担についてはその効果が低減することからこれを0として考慮しないという方法が考えられる。</p>
<p>H18.1.24追加</p>	<p>ラーメン橋脚において、せん断耐力の評価を行う場合には、どの区間をせん断スパンとして算定すればよいか？例えば、梁部材や柱部材の中間点からの距離でよいか？</p>	<p>ラーメン橋脚のせん断スパンについては、機械的に部材の中間点から剛域点までの距離をとるのではなく、部材に作用する断面力分布を考慮して設定するのがよいと考えられる。支承位置や鉛直荷重の大きさにより異なると考えられるが、一般には曲げモーメント反転部から柱・梁の隅角部の剛域点や柱基部までをせん断スパンとしてよい。</p>
<p>H18.1.24追加</p>	<p>ラーメン橋脚の張り出し部のせん断耐力の評価を行う場合で、荷重作用点である支承位置が複数ある場合などには、どの区間をせん断スパンとして算定すればよいか？例えば、最も離れた支承位置を考慮すればよいか？</p>	<p>複数の荷重作用点がある場合には、これらの荷重の重心点でせん断スパン比を評価、あるいは、最も離れた位置としてせん断スパン比を大きめに評価することなどが考えられるが、支承の荷重値にも依存するため、機械的に最も離れた位置とすべきかどうかは一律に設定できない。このため、張り出し部のせん断力分布を考慮して安全側になるように設定するのがよいと考えられる。</p> <p>なお、せん断スパン比が1以下となる場合はコーベルとなるため、せん断力に対する照査においても、張り出し部の引張主鉄筋の定着性能や、張り出し部の高さが変化する場合には荷重支持点の有効高さについて注意して評価する必要がある。</p>