

既設道路橋の耐震補強優先度 —日本道路公団における事例—

窪田賢司¹・井ヶ瀬良則²

¹日本道路公団技術部構造技術課（〒194-8508 東京都千代田区霞が関1-4-1）

E-mail:kenji.kubota@jhnet.go.jp

²日本道路公団試験研究所道路研究部橋梁研究室（〒194-8508 東京都町田市忠生1-4-1）

E-mail:yoshinori.igase@jhnet.go.jp

平成7年に発生した阪神・淡路大震災では高速道路にも大きな被害をもたらし、幹線道路である高速道路が被災した場合の社会的影響も非常に大きいことが明らかとなった。日本道路公団が管理する橋梁は全国に約7,000橋あり、このような被害を未然に防ぐ必要から、橋梁の耐震性を向上させることが極めて重要である。

日本道路公団では阪神大震災以後に制定された道路橋示方書を満足するよう既設橋梁の耐震補強が進められているが、予算的な制約などにより、全ての橋梁の耐震補強を同時に行うことはできない。そこで、耐震性の劣る古い基準で建設された橋梁や、重要交差点所から実施するなど、補強の優先順位を決めて実施している。

本論文では、日本道路公団が管理する橋梁の、耐震補強優先度の考え方や補強方針等について報告する。

Key Words : principle and priority of seismic retrofitting, The Hyogo-ken Nanbu Earthquake, Japan Highway Public Corporation, expressway, pier, bearing support, unseating preventuin system

1. はじめに

平成7年1月の兵庫県南部地震では、日本道路公団が管理する名神高速道路や中国自動車道等の橋梁においても落橋や橋脚の倒壊など多くの被害が発生し、東西を結ぶ交通に大きな混乱を招いた。

このように、幹線道路である高速道路が被災した場合には経済的、社会的にも大きな影響を及ぼすため、このような被害を未然に防ぐためにも、緊急に橋梁の耐震性を向上させることが極めて重要となってきた。

これらの道路橋の被害を教訓として平成7年2月には「兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧に係る仕様¹⁾」（以下「復旧仕様」）が出され、平成8年11月には「道路橋示方書V耐震設計編²⁾」（以下「道示V」）が改訂された。

高速道路橋の耐震補強においては、これらの基準に準拠した設計方針により、道路の機能が失われるような落橋や段差の発生を防ぎ、地震後の早期復旧を容易にすることを目標に緊急に橋梁の耐震性向上対策を実施することとした。

本報文は、日本道路公団における耐震補強の方針と、補強優先度について報告するものである。

2. 耐震補強の基本方針

橋梁の耐震性を向上させるためには、致命的な被

害に結びつきやすい部材の脆性的な被害を防止するとともに、橋全体形としてねばり強い構造とすることが重要である。補強方法としては、表-1に示すように、橋梁全体の耐震性能を向上させるために、橋脚の補強を行うとともに、基礎構造の補強、ゴム支承や免震支承への改良、落橋防止システムの設置を行うことが必要となる。

道路橋では古くから経済性を考慮して主鉄筋の段落しが行われており、昭和53年の宮城県沖地震で段落し部の被害が発生したため、昭和55年の道路橋示方書では段落し部の定着長や帯鉄筋の規定が改定された。したがって、耐震補強においては昭和55年以前に設計された橋梁を優先的に実施する必要がある。昭和55年以降の橋梁については破壊形態がせん断破壊先行か否かを確認し、必要に応じ実施することとなる。

日本道路公団の管理する橋梁は全国で約7,000橋あり、橋脚の基数は約60,000基に達する。平成7年度から9年度の3か年において震災対策緊急補強事業として、橋脚の補強を主体に約7,000基の耐震補強を実施してきた。平成10年度以降においても順次補強を実施してきており、現在までに約13,400基の補強を実施してきている。

耐震補強設計は、基本的には道示Vを準用して実施しているが、耐震補強を緊急的に実施する必要があるため、平成8年11月に道示Vが出されるまでは、復旧仕様に準じて補強対策を実施した。

表-1 橋梁の耐震補強法の分類³⁾

補強目的	要求耐震性能	耐震補強法
下部躯体の耐震性向上	<ul style="list-style-type: none"> ・躯体の曲げ耐力、せん断耐力の向上 ・変形性能の向上 ・剛性の向上(変形の拘束) 	<ul style="list-style-type: none"> ・鉄筋コンクリート巻立て ・鋼板巻立て ・連続繊維巻立て ・耐震壁増設 ・補剛材の増設
基礎の耐震性向上	<ul style="list-style-type: none"> ・地盤の液化化抵抗の向上 ・支持力の向上 ・基礎本体の耐震性向上 ・洗掘対策 	<ul style="list-style-type: none"> ・地盤改良 ・増し杭 ・フーチング拡大 ・地中壁の設置 ・根固め
支承の耐震性向上	<ul style="list-style-type: none"> ・水平耐力の向上 ・変形性能の向上 	<ul style="list-style-type: none"> ・ゴム支承への交換 ・変位制限構造の設置
橋全体系の耐震性向上	<ul style="list-style-type: none"> ・地震時慣性力の低減 ・全体系の変位の制限 	<ul style="list-style-type: none"> ・免震構造、制震構造 ・全体系の中で慣性力分担の調整 ・全体系の中で変位の制限
フェイルセーフ機構	<ul style="list-style-type: none"> ・落橋防止システムの設置 	<ul style="list-style-type: none"> ・桁かかり長 ・落橋防止構造 ・変位制限構造 ・段差防止構造

3. 橋脚の補強工法

既設橋脚の補強方法としては RC 巻立て工法、鋼板巻立て工法、連続繊維巻立て工法が採用されてお

り、設計・施工上の制約条件や補強効果・経済性・施工性を考慮して選定される。図-1 に各工法の概略図と特徴を示す。

補強効果については、RC巻立て工法と鋼板巻立て工法ともに耐力の向上（フーチングにアンカー一定着した場合）やじん性向上効果が期待できる。連続繊維巻立て工法については段落し部の補強やせん断補強として用いられることが多い。

経済性については、一般的にはRC巻立てが有利になる場合が多く、次いで鋼板巻立て工法または連続繊維巻立て工法の順となる。また、RC巻立て工法は、将来的な維持管理面で他の工法に比べ有利であると考えられる。

しかし、RC巻立て工法は、施工性等から25cmの断面増加が必要となり、交差道路等の側方余裕から採用できない場合もある。

鋼板巻立て工法については、補強厚さが薄いため、交差道路等の側方余裕が小さい場合に有効であり、都市内の高架橋で多く採用されている。また、現場での作業も比較的短期間で行うこともできるが、長期的には腐食などの問題があるため、防錆には十分配慮しなければならない。

連続繊維巻立て工法については、軽量な材料を使用するため施工が容易であり、狭小な個所での作業が可能であるうえ、橋脚位置までの進入路の整備の必要がない。しかし、連続繊維巻立て工法は、下地処理やシートの貼付け作業の良否が補強効果に大きく影響を及ぼすため、特に入念な施工が必要である。また、樹脂材料の機能が補強効果を左右するので、施工時の気温や湿度に十分配慮しなければならない。⁴⁾

壁式橋脚のような躯体幅の広い橋脚においては、

工法	RC巻立法	鋼板巻立法	連続繊維巻立法
概略図			
補強厚	25cm	4cm前後	1~2cm
特徴	<ul style="list-style-type: none"> ・経済性に優れる ・維持管理が容易 ・重量増による基部負担増 ・補強厚さが厚い 	<ul style="list-style-type: none"> ・補強厚さが薄い ・補強効果が高い ・重機作業が必要 ・塗装の塗り替えが必要 	<ul style="list-style-type: none"> ・軽量で施工性に優れる ・補強厚さが薄い ・品質管理に留意を要する ・曲げ耐力の向上に不向き

図-1 鉄筋コンクリート橋脚の耐震補強工法の特徴

橋軸方向のコンクリートのはらみ出しに対する拘束力が小さく、じん性が確保できない場合があるため、躯体を削孔して中間貫通鋼材を配置することとしている。設計においては、この中間貫通鋼材を横拘束筋として取扱い、コンクリートの応力度-ひずみ曲線に考慮することとしている。³⁾⁴⁾

4. 補強優先度

(1) 橋脚の補強

日本道路公団が管理する橋梁の耐震補強は上でも述べたように、兵庫県南部地震以後順次実施されている。しかし、予算的な制約などにより、全ての橋梁の耐震補強を同時に行うことはできないため、耐震補強の優先度を定める必要がある。

日本道路公団が管理する橋梁は、ほとんどが高速道路または高規格の自動車専用道路であり、重要な路線として位置付けられることから、基本的には全ての橋梁が耐震補強の対象となる。そこで、優先度の考え方としては、①耐震性に劣る橋梁、すなわち古い規準によって設計された橋梁を優先的に補強す

る。②将来の地震の切迫度が高い地域の橋梁を優先する。③地震により被害が生じた場合に社会的な影響度が高い路線の橋梁を優先とする。といった基本方針のもと、平成7年～平成9年の震災対策緊急補強事業では下記に示す方針により耐震補強計画が策定された。

- 1) 昭和46年道路橋耐震設計指針⁵⁾（以下「昭和46年指針」）より前の設計基準による橋梁を対象とし以下の優先順位によって実施する。
- 2) 交通量が多く被災後の影響度が大きい重要路線（東海・南関東・阪神地区および東名・名神高速道路）に位置する橋梁。
- 3) 重要交差箇所（高架橋等で他の道路と並行区間、鉄道あるいは道路を跨ぐ立体交差区間等）の橋梁。
- 4) 代替路線が確保されていない路線や、断層が確認されている個所に位置する橋梁。

上記は主に路線ごとの優先度を示したが、各路線には多くの橋梁が存在するため、さらにその中の優先度として、図-2に示すように、構造形式別の優先度を設定した。

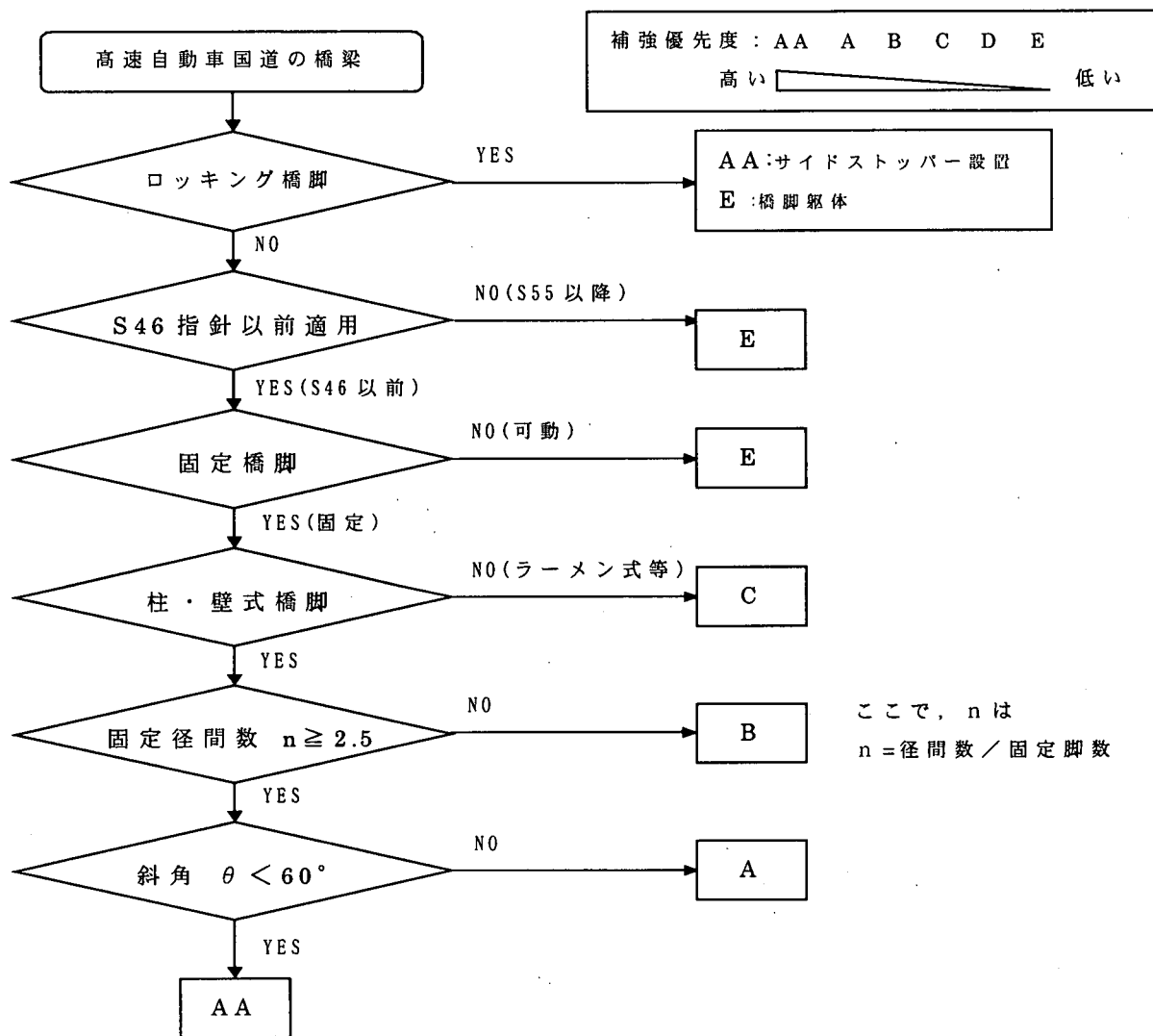


図-2 構造形式別優先度

ロッキング橋脚を有する場合には、水平方向の耐力が不足するため、橋脚躯体の補強が必要となるが、まずはサイドストッパーにより落橋を防止することを優先した。さらに、上部工の慣性力をより多く受ける固定橋脚を優先し、斜角が小さい橋梁については特に優先度を高くすることとした。

平成10年度以降についても、昭和46年指針より前の設計基準による橋梁を対象として、下記の優先度に従って補強計画が策定された。

- 1) 震災対策緊急事業の対策方針に該当する橋梁のうち、未施工の橋脚
- 2) 上記の重要路線以外の日本列島の縦貫道に位置する橋梁
- 3) 縦貫道を補完する路線
- 4) 緊急輸送路を確保し、孤立化を防止する路線

このような方針の基、現在道路公団においては、16,500基を対象に13,400基の橋脚の補強が完了している。

(2) 支承部および落橋防止システムの強化

既設橋の支承部および落橋防止システムの対策は、「既設橋の支承部および落橋防止システムの設計指針」（日本道路公団）により、①供用期間中に発生する確率は低いが大きな強度をもつ地震動に対し、支承に損傷が生じて上部構造が下部構造から落下することを防止する、②供用期間中に発生する確率は低いが大きな強度をもつ地震動に対し、路面に生じる段差を回避し、緊急避難や緊急車両の通行など緊急輸送路として機能を確保することを基本に、計画的に実施することとした。

昭和46年指針より前の設計基準により設計が行われているものを基本に、支承部および落橋防止システムの強化を図ることとした。

a) 支承部

支承部の補強対策の方針を下記に示す。また、支承の強化に関する優先度を図-3に示す。

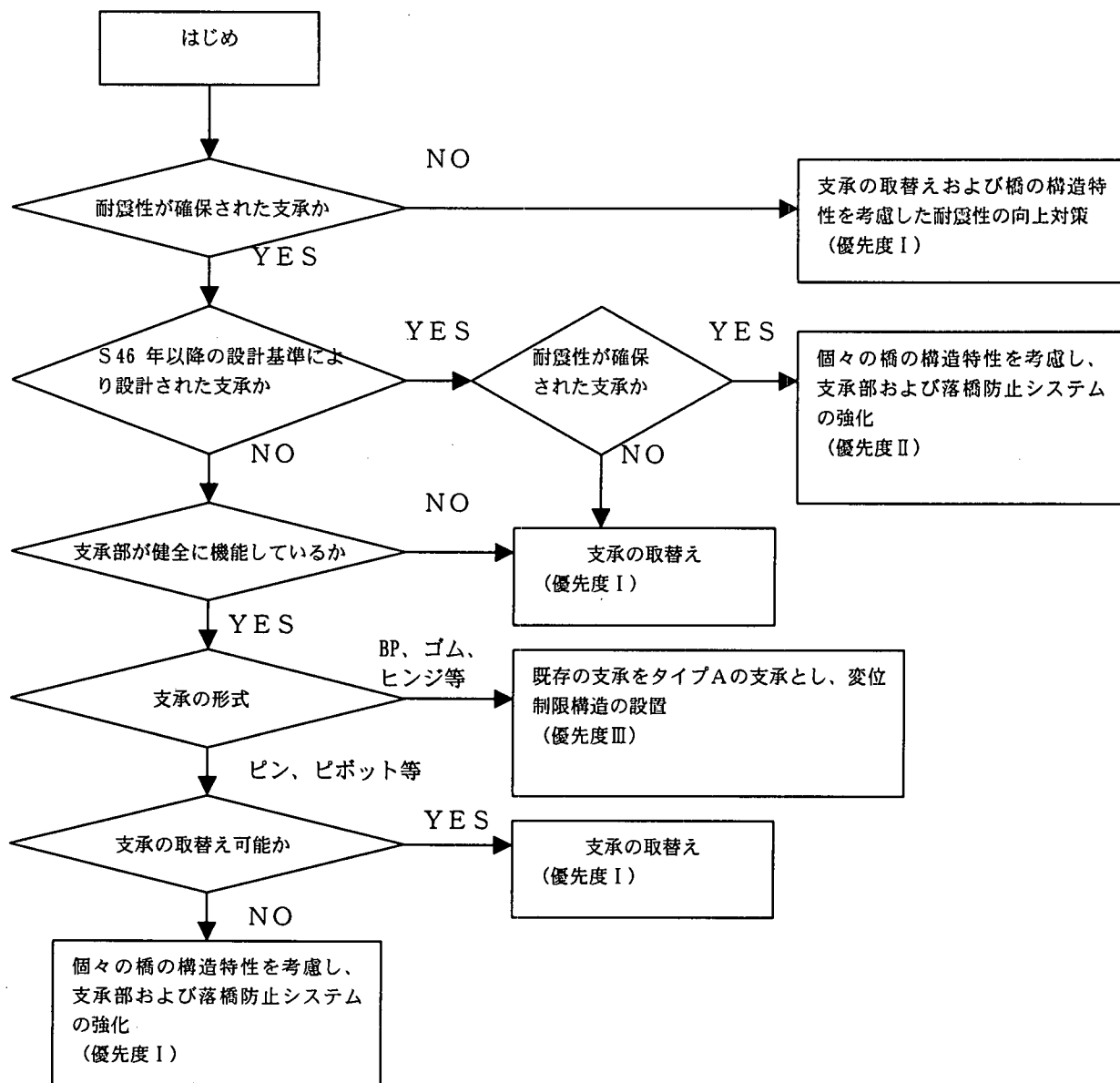


図-3 支承部の優先度

- ① 承部が震度法による設計水平震度を用いて算出される慣性力に対して耐震性が確保されていない場合、および力の伝達が不明確で構造的に好ましくない場合は、設計時期にかかわらず、支承の取替えおよび橋の構造特性を考慮した耐震性向上を図る。
- ② 支承部が震度法による設計水平震度を用いて算出される慣性力に対して耐震性が確保され、かつ健全に機能しているものは、既設の支承をタイプAとして活用する。
- ③ 支承部の老朽化等により取替えが計画されているものは、タイプBの支承に取替えることを基本とするが、現地条件により困難な場合はタイプAの支承に変位制限構造を設置する。
- ④ 1本ローラー支承については、支承としての耐震性を含めた構造的な特性および耐用年数より、設計時期にかかわらず取替えを行う。

b) 落橋防止システム

① けたかかり長

けたかかり長は、下部構造や支承部が破損して上下部構造に予期しない大きな相対変位が生じた場合においても落橋を防止するもので、落橋防止システムの強化の中で最も有効な対策である。そのため、けたかかり長が確保されていない場合は優先的に縁端拡幅を実施する。

② 落橋防止構造

落橋防止構造は、けたかかり長を補完するもので、下部構造や支承が破損し、上下部構造間に予期し得ない大きな相対変位が生じた場合に、これがけたかかり長に達する前に機能するものである。そのため、端支点・かけ違い部に設置する。なお、けたが下部構造より落下する可能性が低いと考えられるラーメン橋、複数のメナーゼヒンジを有する橋、剛性の高い橋台に挟まれた1連の橋など、これ以外の橋について優先的に対策を実施する。

③ 変位制限構造

変位制限構造は、主にタイプAの支承と補完しあって地震時慣性力に抵抗する落橋防止システムの構成要素の一つであるが、橋軸直角方向の落橋防止対策として実施する。特に斜橋、曲線橋においてタイプBの支承の場合は、支承を取替える際にあわせて、端支点、かけ違い部に設置する。またタイプAの支承の場合は、単純橋では端支点部に設置する。連続桁は、端支点、かけ違い部の橋軸直角方向に落橋防止構造を設置することにより、中間支点部の橋軸直角方向に変位制限構造の優先度を低くした。

④ 段差防止構造

段差防止構造は、地震時に支承が損傷した場合においても、路面に発生する段差を抑えるものであり、端支点、かけ違い部の支承が、ピン、ピボット支承などの鋼製支承で、桁下面と橋座面との離れが40cm程度以上の場合に設置する。

以上に示した優先方針に基づき、橋脚の補強、支承および落橋防止システムの強化を順次実施しているところであり、今後さらに、昭和55年道路橋示方書以後の基準で設計された橋梁についても、耐震性の照査を行い、補強を進めていく必要がある。

5. 今後の耐震補強の課題

今後、既設橋梁の耐震補強を実施していく上では、河川内の橋脚など施工が困難な個所や進入路が確保できない橋脚において、耐震補強が未実施のものが多く残されており、これらの施工が困難な個所での補強方法について検討して行く必要がある。

また、今までは橋脚の補強や落橋防止システムを優先的に実施してきているため、アーチ橋やPCラーメン橋などの特殊長大橋や基礎構造などについては対策が残されており、今後補強方法について検討が必要である。

このような補強が困難な橋梁の耐震補強を実施していくためには、必要な耐震性能を明確にし、合理的な耐震補強工法を開発するとともに、橋全体として耐震性を確保するトータルな耐震補強工法の開発や耐震補強効果の評価法を確立していく必要がある。

参考文献

- 1) 日本道路協会：「兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧に係る仕様」の準用に関する参考資料（案），平成7年6月
- 2) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V耐震設計編，平成8年12月
- 3) 日本道路協会：既設道路橋の耐震補強に関する参考資料，平成9年8月
- 4) 日本道路公団：設計要領第二集，橋梁保全編，平成9年11月
- 5) 日本道路協会：道路橋耐震設計指針，昭和46年3月