ISSN 1346-7328
国総研資料 第700号
ISSN 0386-5878
土研資料 第4244号
平成２４年１１月

国土技術政策総合研究所資料 No. 700 既設橋の耐震補強設計に関する技術資料 November 2012

国土技術政策総合研究所資料

Technical Note of National Institute for Land and Infrastructure Management, No. 700

土木研究所資料

Technical Note of Public Works Research Institute, No. 4244

November 2012

既設橋の耐震補強設計に関する技術資料

Technical Note on Seismic Retrofit Design of Existing Bridges

国土交通省国土技術政策総合研究所
National Institute for Land and Infrastructure Management
Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, Japan

独立行政法人土木研究所
Incorporated Administrative Agency, Public Works Research Institute, Japan

国土技術政策総合研究所資料
第700号　　2012年11月
土木研究所資料
第4244号　　2012年11月

既設橋の耐震補強設計に関する技術資料

玉越　隆史*
白戸　真大**
星隈　順一***
堺　　淳一****

概　要

道路橋示方書を参考にして耐震補強を行う場合においては，既設橋に固有な構造的な与条件があるために道路橋示方書に示される計算方法の適用範囲外である場合や，既設構造を活用しながら補強対策を行う場合等，道路橋示方書に示される計算方法や考え方がそのままでは適用できない場合がある。これらの場合には，個別の橋の構造条件と橋に求められる耐震性能を踏まえて適切に耐震補強設計を行うことになる。本資料は，これらのような場合の耐震補強設計の考え方をとりまとめたものである。

キーワード：道路橋，耐震性能，耐震補強，落橋防止対策，支承部，鉄筋コンクリート橋脚

*　国土技術政策総合研究所道路研究部道路構造物管理研究室長
**　国土技術政策総合研究所道路研究部道路構造物管理研究室主任研究官
***　独立行政法人土木研究所構造物メンテナンス研究センター橋梁構造研究グループ上席研究員
****　独立行政法人土木研究所構造物メンテナンス研究センター橋梁構造研究グループ主任研究員

Technical Note of NILIM
No. 700 November 2012
Technical Note of PWRI
No. 4244 November 2012

Technical Note on Seismic Retrofit Design of Existing Bridges

Takashi TAMAKOSHI *
Masahiro SHIRATO **
Jun-ichi HOSHIKUMA ***
Junichi SAKAI ****

Synopsis

Seismic retrofit design should be conducted in consideration of structural conditions of each existing bridge and the target seismic performance in the seismic retrofit for the bridge. It should be therefore noted that some of evaluation methods specified in "Design Specifications for Highway Bridges" are inapplicable to the seismic retrofit design as they are. This technical note introduces the design approaches of the seismic retrofit for existing bridges.

Key Words: Road Bridge, Seismic Performance, Seismic Retrofit, Unseating Prevention Measures, Bearing Support, Reinforced Concrete Bridge Column

* Head, Bridge and Structures Division, Road Department, NILIM
** Senior Researcher, Bridge and Structures Division, Road Department, NILIM
*** Chief Researcher, Bridge and Structural Engineering Research Group, CAESAR, PWRI
**** Senior Researcher, Bridge and Structural Engineering Research Group, CAESAR, PWRI

目　　次

１．はじめに・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 1

２．耐震補強において目標とする橋の耐震性能の設定の考え方・・・・・・・・・ 2

３．耐震補強設計における留意事項・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 4

４．支承部の耐震補強対策及び落橋防止対策における考え方・・・・・・・・・・ 7

５．鉄筋コンクリート橋脚の耐震補強設計における考え方・・・・・・・・・・・ 12

６．おわりに・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 20

参考文献・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 21

１．はじめに

道路橋示方書[1]による耐震設計においては，まず設計地震動に対して橋に求める耐震性能を定め，次にその耐震性能を確保できるように橋を構成する個々の部材の限界状態を設定し，地震によって生じる個々の部材の状態がその限界状態を超えないことを照査する流れとなっており，道路橋示方書には，このような耐震性能の照査の考え方とともに，各部材の抵抗特性や許容値等の設定方法，さらには，設計，施工する上での配慮事項等が示されている。

旧基準で設計された既設橋に対する耐震補強においても，まず，当該橋の道路管理者が当該橋に対する耐震補強において目標とする橋の耐震性能を設定することからスタートし，その上で，その耐震性能が確保できるよう，耐震補強が必要な部材を適切に選定し，その部材の特性に応じた適切な補強工法を検討していくことになる。ここで，目標とする橋の耐震性能については，橋の重要度に応じて道路橋示方書に規定される耐震性能を求めることが基本となる。また，対策の基本的な考え方は、道路震災対策便覧（震前対策編）[2]に示されるとおりである。しかし，大地震の逼迫性が指摘される状況において対策を早期に完了することが求められること，予算の制約条件，既設橋であるがゆえの様々な条件等があることを踏まえると，耐震補強においては，新設橋とまったく同一の耐震性能を確保するよりも，落橋等の致命的な被害を防止して，他の構造物や施設に深刻な影響が生じたりしないようにするとともに，道路ネットワーク全体としての耐震性を向上させ，地震発生時には道路ネットワークとしての最大限の機能を発揮させることを目的として，これに必要とされる対策を優先的に実施するという考え方もあり得る。また，耐震補強設計においては，既設橋に固有な構造的な与条件があるために道路橋示方書に示される計算方法の適用範囲外である場合や，既設構造を活用しながら補強対策を行う場合等，新設する橋への適用を念頭に規定された道路橋示方書の考え方を全てそのまま適用するのが難しい場合がある。この場合には，個別の橋の構造条件と橋に求められる耐震性能を踏まえて適切に耐震補強設計を行うことになる。

本資料においては，既設橋に対する耐震補強であるがゆえの制約条件がある中で，既設橋の耐震補強で当面の目標とする橋の耐震性能の設定の考え方の例を示すとともに，耐震補強に特有な設計段階での基本的な留意事項について示す。また，平成 24 年 2 月の道路橋示方書の改定をうけて，平成 24 年 2 月の道路橋示方書に示される計算方法や考え方がそのまま適用できない場合のうち，支承部の補強対策及び落橋防止対策並びに鉄筋コンクリート橋脚の補強対策に関して，耐震補強設計の考え方を示す。

２．耐震補強において目標とする橋の耐震性能の設定の考え方

2.1　耐震補強において目標とする橋の耐震性能の考え方

１．に示したとおり，目標とする橋の耐震性能については，橋の重要度に応じて新設する橋と同じ耐震性能を求めることが基本となるが，既設橋に対する耐震補強において当面の目標とする橋の耐震性能は，最新の道路橋示方書に規定される地震動を設計地震動として考慮した上で，地震後の道路ネットワークとして当該橋を含む路線に求められる性能の観点，他の構造物や施設への深刻な影響を防止する観点，当該橋が被災した場合における構造条件や施工条件からの機能回復の難易度の観点等に基づき，道路管理者が個別に設定することになる。

例えば，緊急輸送道路に架かる橋については，大地震の逼迫性が指摘される状況を踏まえ，道路ネットワークとして最大限の機能を発揮できるようにするために，まず，大地震時にも落橋に至るような致命的な被害を防止できるようにすることを目標として耐震補強を進め，その次のステップとして，橋の重要度に応じて，最終目標とする耐震性能を確保できるようにさらなる耐震補強対策を計画的に実施していくという考え方もある。また，緊急輸送道路以外の路線に架かる橋については，被災した場合の代替路線の有無などの条件に応じ，また，将来的な架け替えの計画等も踏まえ，当該橋に対して目標とする耐震性能を個別に設定するという考え方もある。

2.2　耐震補強において目標とする橋の耐震性能の例

既設橋に対する耐震補強の場合には，前述したように様々な制約条件があるため，目標とする耐震性能レベルの設定においては様々な考え方があると考えられるが，ここでは，レベル２地震動に対する耐震補強の目標として設定する耐震性能の例を，参考として３つ示す。

- レベル２地震動による損傷が限定的なものに留まり，橋としての機能の回復が速やかに行い得る状態が確保されるとみなせる耐震性能レベル
- レベル２地震動により損傷が生じる部位があり，その恒久復旧は容易ではないが，橋としての機能の回復は速やかに行い得る状態が確保されるとみなせる耐震性能レベル
- レベル２地震動に対して落橋等の甚大な被害が防止されるとみなせる耐震性能レベル

これらを耐震性能の観点からまとめたものが**表-2.1**である。ここで，１つめの耐震性能レベルは，道路橋示方書Ⅴ耐震設計編[1)]に示される耐震性能２と同等の性能レベルに相当する。２つめは，機能の回復が速やかに行い得るという観点では１つめの性能レベルと同じではあるが，機能の回復が速やかに行い得る範囲で，一部の構造部材に対して，限定的な損傷のレベルを超える損傷が生じることは許容し，その結果，恒久復旧を容易には行えない場合があるという点で異なる。３つめは，地震後に橋として機能を回復できることや，地震によって生じた損傷に対する修復の容易さは求めず，落橋等の甚大な被害を防止することを目標とした

性能レベルである。なお，１つめと２つめの性能レベルについては，恒久復旧の容易さ等に違いはあるものの，橋としての機能の回復が速やかに行えるという観点では，これらの耐震性能レベルは同等とみなすことができる。

既設橋に対する耐震補強では，橋を構成する部材の損傷が橋の耐震性能に及ぼす影響等を評価した上で，耐震補強において目標として設定した橋の耐震性能に応じて，補強対象となる部材を適切に選定し，当該部材に対する具体的な補強対策を検討していく必要がある。我が国における道路橋の震災経験から，落橋等のような甚大な被害に至った橋の被害形態としては，橋脚の倒壊や大きな傾斜に伴い落橋した形態，橋脚は倒壊していないが支承部が破壊した後に上部構造に大きな変位が生じて落橋した形態が多くを占めることがわかっている[2), 3)]。したがって，既設橋に対する耐震補強では，このような震災経験も踏まえて，目標とする橋の耐震性能が確保できるように，当該橋の構造条件に応じた具体的な対策を検討することが重要である。

表-2.1　耐震補強において目標とする橋の耐震性能のレベルの例とこれらに対する耐震性能の観点

耐震補強において目標とする橋の耐震性能	耐震設計上の安全性	耐震設計上の供用性	耐震設計上の修復性	
			短期的修復性	長期的修復性
レベル２地震動による損傷が限定的なものに留まり，橋としての機能の回復が速やかに行い得る状態が確保されるとみなせる耐震性能レベル	落橋に対する安全性を確保する	地震後，橋としての機能を速やかに回復できる	機能回復のための修復が応急復旧で対応できる	比較的容易に恒久復旧を行うことが可能である
レベル２地震動により損傷が生じる部位があり，その恒久復旧は容易ではないが，橋としての機能の回復は速やかに行い得る状態が確保されるとみなせる耐震性能レベル	落橋に対する安全性を確保する	地震後，橋としての機能を速やかに回復できる	機能回復のための修復が応急復旧で対応できる	恒久復旧を行うことは可能である
レベル２地震動に対して落橋等の甚大な被害が防止されるとみなせる耐震性能レベル	落橋に対する安全性を確保する	－－－－	－－－－	－－－－

３．耐震補強設計における留意事項

3.1　現況の把握と維持管理の確実性及び容易さへの配慮

既設橋の耐震性能の評価においては，既設橋の現況を踏まえることが重要である。その際には，当該橋に対する橋梁点検結果を活用するとともに，必要に応じて現況調査を実施する必要がある。特に，地震の影響を支配的に受ける部材の中でも支承部などは経年劣化等によりその機能に支障が生じている場合もあるため，留意して現況把握をする必要がある。

また，耐震補強の構造計画を検討する際には，維持管理の確実性及び容易さに配慮することも重要である。既設橋の場合には，調査によりその橋の劣化特性や耐久性の観点での架橋条件等に関する情報を十分に得ることができる。このため，新設橋の場合よりもこうした条件を補強設計の際に確実に考慮したり，今後の劣化の推移を考慮した設計を行ったり，適切な維持管理の計画をたてることもできる。このような配慮が，補強により期待される耐震性能を確実に発揮できるようにするためにも必要である。

なお，既存の部材に損傷がある場合等には，それらに対する補修の検討も含めて耐震補強の構造計画を検討することも重要な留意点である。これは，耐震補強の実施によって，部材や装置が追加設置された結果，既に生じていた別の損傷が点検しにくくなったり，耐震補強後ではその損傷を補修することが困難となったりする可能性も考えられるためである。

3.2　橋全体系の挙動を踏まえた耐震補強の考え方

合理的な耐震補強設計を行うためには，橋の構造特性を考慮して，レベル２地震動を受けた場合に，対象とする橋が橋全体系としてどのように挙動するのか，どの部材がどのような順序で損傷を受けるのかを把握することも重要である。その上で，その損傷が橋の耐震性能に対してどのような影響を及ぼすかを検討し，目標とする耐震性能に照らして必要な耐震補強対策を検討することになる。

3.3　耐震補強における橋の耐震性能の照査方法，部材等の抵抗特性及び許容値の設定

耐震補強においては，橋の耐震性能の照査方法の選定，部材等の許容値の設定及び抵抗特性のモデル化等は，目標とする橋の耐震性能の観点から適切に行う必要がある。道路橋示方書に規定される照査方法や部材の許容値の設定方法や抵抗特性のモデル化の方法は，基本的には新設する橋の構造条件を対象としたものであるため，特に，道路橋示方書Ⅴ耐震設計編に示される部材の許容値を既設橋の耐震性能評価や耐震補強設計に対して適用する場合には，目標とする耐震性能レベルの観点からその許容値の設定の考え方が適当であるか等を吟味する必要がある。

また，平成 24 年の道路橋示方書Ⅴ耐震設計編の改定では，「**5 章　耐震性能の照査**」において，「**5.5　地**

震の影響を支配的に受ける部材の基本」が新たに節を設けて規定された。これは，材料，部材，装置，構造等の既存の技術だけでなく新しい技術を「地震の影響を支配的に受ける部材」として道路橋に適用する場合に要求される事項を示しているものである。耐震補強に関する技術については，例えば，鉄筋コンクリート橋脚に対する耐震補強工法だけでも様々な工法技術が提案されており，また，橋全体としての減衰特性を高めることを目的とした制震装置についても様々な装置が開発されている。耐震補強に適用されることを目的としたこれらの工法や装置等については，当然のことながら地震の影響を支配的に受ける部材に該当するものであり，道路橋示方書Ⅴ耐震設計編の5.5の規定を満たすことが求められる。このため，こうした工法技術や装置の適用に際しては,実験等により検証された適用範囲や設計手法の前提条件等をよく把握した上で,耐震補強の対象橋に対して目標としている耐震性能が確保できるよう，適切に検討を行う必要がある。

3.4　取付部の設計

耐震補強において追加設置された部材や装置等の取付部が確実に機能を確保できるように配慮する必要がある。耐震補強では，後施工として既設橋に新たな部材や装置等を取り付けることが多いが，その際，このような新たに設置する部材や装置自体だけでなく，それらが取り付けられる部位側に対しても適切な検討が必要である。これは，取り付けられる側の部位に損傷が生じると，設計の前提条件が成立しなくなるためである。このため，これらの新たに設置する部材や装置等から伝達される力に対して，取り付けられる側の部位が確実に抵抗できるよう，耐力の階層化に配慮することや，必要に応じて取付部側の方にも補強を施す等について検討する。

また，支承部が破壊した後に機能することを期待する落橋防止対策として追加で設置された縁端拡幅のためのブラケットや落橋防止構造等については，支承部等のレベル２地震動に対して機能を確保する部材又は装置及びそれらの取付部に仮に損傷が生じてもこれらの取付部等にはその影響が及ばず，縁端拡幅部や落橋防止構造等に期待する機能が確実に発揮される箇所に設置することが重要である。

3.5　施工性への配慮

既設橋に対する耐震補強においては，施工上の制約条件に大きく支配されることが多いため，設計段階において施工性，施工手順等に十分に配慮した上で補強工法の検討を行うことが重要である。例えば，耐震補強を目的として支承交換をする場合，一般に上部構造をジャッキアップして施工することになると考えられるが，その場合には，ジャッキアップの支点部となる上部構造側及び下部構造側の部位に対して検討が必要となる。そして，仮に，当該部位の耐力が不足しているという理由で補強を検討する場合には，ジャッキアップという施工時の状況だけでなく，補強後の構造が常時に対する設計や耐久性の観点から影響を及ぼすことはないかも含めて留意して検討する必要がある。

3.6　設計図等に記載すべき事項

平成 24 年の改定では，道路橋示方書Ⅴ耐震設計編に新たに「**1.5　設計図等に記載すべき事項**」が規定された。支承部周辺に設置された構造や装置については，設置の目的や設計地震力を明示することが地震後の緊急点検等の際に有用であるが，これは耐震補強の場合も同じである。

特に，既設橋に新たな装置や構造を追加設置する場合には，これら装置や部材自体の維持管理だけでなく，桁端部等における排水処理との関係を踏まえ，それらの取付け部位に対する維持管理に配慮が必要となる場合もある。したがって，対象橋の特性と適用する耐震補強工法に応じて，耐震補強により取り付けた装置や部材，またこれらの取付け部位の維持管理，さらには地震後の緊急点検をする際に有用となる情報について，補強設計の段階から十分に検討し，それらの事項が適切に維持管理に引き継がれ，活用できるように記録しておくことが重要である。また，地震後の緊急点検の際に必要となる情報については，すぐに取り出せる資料に記録する等の配慮も必要である。

４．支承部の耐震補強対策及び落橋防止対策における考え方

4.1　平成 24 年の道路橋示方書における支承部の規定の改定のねらい

平成 14 年の道路橋示方書Ⅴ耐震設計編 [4]（以下，「H14 道示Ⅴ」という。）においては，レベル２地震動に対して支承部の機能を確保できる支承をタイプ B の支承部と定義し，これを基本とすることが規定され，レベル１地震動により生じる水平力及び鉛直力に対しては支承部の機能を確保できるが，レベル２地震動により生じる水平力に対しては，変位制限構造と補完し合って抵抗する構造をタイプ A の支承部と定義し，橋台の拘束により上部構造に大きな振動が生じにくい場合や支承部の構造上やむを得ない場合にはタイプ A の支承部を用いてもよいことが規定されていた。タイプ A の支承部とタイプ B の支承部の特徴をまとめたものが**表-4.1** である。

平成 24 年の道路橋示方書Ⅴ耐震設計編 [1]（以下，「H24 道示Ⅴ」という。）の改定においては，次の２点に配慮し，タイプ A の支承部の規定を削除している。

1) 点検・維持管理を考えたときには支承部を複雑な構造としない方が望ましい。
2) レベル１地震動を超える地震動により支承部が損傷した場合に，その部材や破片の落下による第三者被害が生じないような配慮が必要。

表-4.1　H14 道示Ⅴと H24 道示Ⅴによる支承部の規定の違い

	H14 道示Ⅴの規定による支承部		H24 道示Ⅴの規定による支承部
	タイプ A の支承部	タイプ B の支承部	
レベル１地震動まで	・支承部の機能を確保	・支承部の機能を確保	・支承部の機能を確保
レベル１地震動以上，レベル２地震動まで	・支承部は損傷する可能性 ・変位制限構造と補完し合って機能を確保	・支承部の機能を確保	・支承部の機能を確保

4.2　既設橋の支承部の耐震補強対策及び落橋防止対策

支承部に対する耐震設計に関して H24 道示Ⅴの改定において配慮された事項については，新設する橋に対してはその設計段階において一般には容易に考慮できる事項であるが，既設橋に対する耐震補強においては，レベル１地震動に対してまでは抵抗するように設計された支承部が既に設置されているという，既設橋に固有な構造的な与条件があるため注意が必要である。これは，改定された H24 道示Ⅴの考え方を全てそのまま適用しようとすると，設計・施工の面でその対応が難しい場合もあり，また，結果として，支承部の周辺が煩雑な構造という本来避けるべき構造を生み出す可能性もあり得るためである。

表-4.2 は，**表-2.1** に示した耐震補強において目標とする橋の耐震性能のレベルの３つの例を対象に，耐震補強において目標とする性能レベルに対して，支承部及び上部構造に生じる状態，ならびに，その状態を具現化するための対応のとり方について，橋軸方向を対象とした検討の例を整理して示したものである。

まず,「レベル２地震動による損傷が限定的なものに留まり，橋としての機能の回復が速やかに行い得る状態が確保されるとみなせる耐震性能レベル」を目標とする場合には，支承部においては，レベル１地震動及びレベル２地震動のそれぞれに対して支承部として求められる機能を確保できるように補強することになる。既設の支承部がこの機能を確保できない場合には,支承部を取り替える等の対策をとるという考え方となる。

次に,「レベル２地震動により損傷が生じる部位があり，その恒久復旧は容易ではないが，橋としての機能の回復は速やかに行い得る状態が確保されるとみなせる耐震性能レベル」を目標とする場合には，支承部においては，レベル１地震動に対して機能確保されるように設計された既設の支承部はそのまま用いつつ，レベル２地震動により生じる水平力にも支承部が機能するように補強を行うことになる。具体的には，レベル２地震動によって生じる水平力を分担する構造を新たに追加で設置するという対策を行うことになる。

このような対策が施された橋に，レベル１地震動を超える地震動が作用すると，既設の支承部は常時やレベル１地震動に対する機能を失う可能性があるため，上述した「レベル２地震動による損傷が限定的なものに留まり，橋としての機能の回復が速やかに行い得る状態が確保されるとみなせる耐震性能レベル」に対する対策に比べて，地震後の恒久復旧がより困難になる可能性があるという点で異なる。また，既設の支承部に損傷が生じることにより，路面に数百 mm の段差が生じる可能性があり，上部構造の支持機能に影響が生じることが懸念される場合もある。この場合には，地震後の道路ネットワークとして当該橋を含む路線に求められる性能を踏まえて，段差防止構造の設置等についても検討することになる。なお，このような対策を行った場合には，恒久復旧の容易さに違いはあるものの，橋としての機能の回復が速やかに行えるという観点では，本対策により１つめの耐震性能レベルと同等の性能レベルが確保されたとみなすことができる。すなわち，耐震性能２が求められる橋の耐震補強において，支承部の交換が必ず求められるというわけではない。

また，上記のいずれの耐震性能レベルを目標とする場合において，レベル２地震動により生じる水平力にも支承部が機能することに加え，さらに，その支承部に破壊が生じても上部構造の落下を防止できるように対策を講じることが求められる場合には，支承部をレベル２地震動に抵抗できるように設計した上で，支承部が破壊した後にも上部構造の落下を防止できるように対策を講じることになる。

一方,「レベル２地震動に対して落橋等の甚大な被害が防止されるとみなせる耐震性能レベル」を目標とする場合には，支承部がレベル２地震動に対して変状や損傷が生じて機能を喪失することは許容するが，上部構造の落下を防止できるように対策を講じることになる。すなわち，具体的には，レベル２地震動によって生じる水平力を分担する構造を追加で設置する必要はなく，上部構造の落下防止対策を講じればよいことになる。

上部構造の落下防止対策については，H24 道示Ⅴの 5.7 の(1)の規定に基づき，橋の構造条件を踏まえた上で，支承部の破壊に起因する上部構造の落下を防止できるように適切な対策を講じることになる。ここで，H24 道示Ⅴの 5.7 の(2)の規定のとおり，**16 章**に規定される落橋防止システムを設ければ，適切な上部構造の

落下防止対策を講じたとみなすことができるが，既設橋では様々な制約条件があるため，H24 道示Ⅴの 16.2 から 16.5 による構造の詳細の検討においては当該橋梁固有の制約条件を適切に考慮するのがよい。

表-4.2 に示したのは，一般的な構造条件の既設橋に対する対策の考え方の例であり，既設橋の構造条件に応じた落橋防止対策の考え方については 4.4 に詳述する。なお，**表-4.2** には橋軸直角方向への対応の考え方については示していないが，H24 道示Ⅴの 16.1 の(4)に規定する上部構造の橋軸直角方向への移動により落橋する可能性のある橋に該当する場合には，H24 道示Ⅴの 16.4 に規定する横変位拘束構造を設置することになる。

表-4.2 既設橋の耐震補強における目標性能レベルに応じた支承部・落橋防止システムへの対応の考え方の例（橋軸方向の場合）

耐震補強において目標とする橋の耐震性能レベル	耐震補強において考慮する支承部及び上部構造に生じている状態			既設橋の耐震補強における支承部・落橋防止システムへの対応
	レベル１地震動まで	レベル１～レベル２地震動まで	支承部の破壊後	
レベル２地震動による損傷が限定的なものに留まり，橋としての機能の回復が速やかに行い得る状態が確保されるとみなせる耐震性能レベル	支承部（支承本体，取付用鋼板，ボルト等の取付部材等）に変状や損傷が生じない。	支承部（支承本体，取付用鋼板，ボルト等の取付部材等）に変状や損傷が生じない。	支承部は破壊するため，機能を喪失する※)。 桁かかり長と落橋防止構造により上部構造が下部構造頂部から逸脱しない。	支承部： レベル２地震動に対して機能確保できる支承部（必要に応じて，段差防止構造を設置） 落橋防止システム： 桁かかり長の確保 落橋防止構造の設置
レベル２地震動により損傷が生じる部位があり，その恒久復旧は容易ではないが，橋としての機能の回復は速やかに行い得る状態が確保されるとみなせる耐震性能レベル	支承部（支承本体，取付用鋼板，ボルト等の取付部材等）に変状や損傷が生じない。	既設の支承部（支承本体，取付用鋼板，ボルト等の取付部材等）に損傷又は変状が生じるため，支承部の恒久復旧は容易には行えないが，供用性に影響を及ぼす段差は生じない※)。また，水平力を分担する構造により水平力の伝達機能は確保されている。	支承部（水平力を分担する構造）は破壊するため，機能を喪失する。 桁かかり長と落橋防止構造により上部構造が下部構造頂部から逸脱しない。	支承部： 既設の支承部をそのまま使用 レベル２地震動による水平力を分担する構造の追加設置（必要に応じて，段差防止構造を設置） 落橋防止システム： 桁かかり長の確保 落橋防止構造の設置
レベル２地震動に対して落橋等の甚大な被害が防止されるとみなせる耐震性能レベル	支承部（支承本体，取付用鋼板，ボルト等の取付部材等）に変状や損傷が生じない。	既設の支承部（支承本体，取付用鋼板，ボルト等の取付部材等）に損傷又は変状が生じるため，支承部は機能を喪失する。	桁かかり長と落橋防止構造により上部構造が下部構造頂部から逸脱しない。	支承部： 既設の支承部をそのまま使用 落橋防止システム： 桁かかり長の確保 落橋防止構造の設置

※) 支承部に破壊が生じた場合にも，橋の速やかな機能の回復が求められる場合には，当該支承部の構造条件等によってはその破壊により路面に数百 mm の段差が生じる可能性がある場合もあるため，段差防止構造の設置等についても検討する。

4.3 支承部の設計地震力の考え方

H24 道示Ⅴでは，タイプＡの支承部の規定を削除し，支承部に対する設計地震力を一本化したことを踏まえ，耐震補強において追加で設置するレベル２地震動によって生じる水平力を分担する構造の設計地震力としては，変位制限構造の設計地震力として用いられていた $3k_hR_d$（ここで，k_h はレベル１地震動に相当する設計水平震度，R_d は死荷重反力）ではなく，H24 道示Ⅴの 15.4 の規定によることが基本となる。ただし，既

設橋の耐震補強においては，ひとつの固定支点において大きな地震力を負担する構造を設置するよりも，固定支点だけでなく既設橋において可動支点として設計されている支点もレベル２地震動によって生じる水平力を協働で負担できるようにする方が設計上も合理的であり，かつ，固定支点の支承部周辺の維持管理の確実性及び容易さ等の面で有利な場合もある。このため，こうした点も踏まえ，例えば，可動支承を有する橋脚にもその耐力の範囲内で水平力を分担させるなど，個々の橋の構造条件に応じて橋全体系として必要十分な耐震補強となるように検討することが重要である。

また，H24 道示Ⅴでは，鉛直上向きの地震力に対する安全性を十分に確保するために，15.5 の(2)に$-0.3R_D$（ここで，R_Dは上部構造の死荷重により支承に生じる反力）の設計鉛直地震力が作用した際に，支承部に生じる断面力が当該部材の耐力以下となることを照査することを標準とすることを規定している。これは，新設する橋に対してはその設計段階において一般には容易に対応できる事項であるが，既設橋に対する耐震補強では既設橋に固有な構造的な与条件があるため，対応が困難となる場合もある。したがって，耐震補強においてはレベル２地震動に対して H24 道示Ⅴの式（15.4.2）により算出されるR_Uが負ではない，すなわち上揚力が生じないことの条件を満たせば，レベル２地震動に対して設計された支承部により上部構造が支持されるという条件を満たすとみなすことができる。すなわち，レベル２地震動に対して R_U が負とならない場合であれば，既設橋の耐震補強においては上揚力対策は不要とすることができる。一方，レベル２地震動に対して H24 道示Ⅴの式（15.4.2）により算出されるR_Uが負となる場合には，上揚力により支承部が上下に分離して支承部の機能が失われることがないように，既設橋の耐震補強においても上揚力に対して適切な対策を施す必要がある。

4.4　構造条件に応じた落橋防止対策の考え方

既設橋の耐震補強における落橋防止対策についても，新設の橋と同様に，H24 道示Ⅴの 5.7 の(1)の規定に基づき，橋の構造条件を踏まえた上で，上部構造の落下を防止できるように適切な対策を講じればよいが，既設構造に関する様々な制約条件があるため，H24 道示Ⅴに規定する「**16 章　落橋防止システム**」の規定をそのまま適用することのみが必ずしも合理的とはならない場合もある。例えば，既設橋の場合には支承部周辺の構造上の制約条件により，落橋防止構造の後施工による設置が難しい場合には，桁かかり長を大きく確保すること（例えば，H24 道示Ⅴの 16.2 の規定により設定される必要桁かかり長の 1.5 倍以上を確保する等）により，上部構造の落下防止対策とするという考え方もある。

既設橋の耐震補強においても，H24 道示Ⅴの 16.1 の(3)に規定する橋軸方向に大きな変位が生じにくい構造特性を有する橋又は端支点の鉛直支持が失われても上部構造が落下しない構造特性を有する橋に該当する場合においては，落橋防止構造の設置を省略することができる。H24 道示Ⅴにおいては，橋軸方向に大きな変位が生じにくい構造特性を有する橋とは，16.1 の(3)の解説においてレベル２地震動に対して設計された支承部により上部構造が支持され，かつ，16.2 に規定する桁かかり長が確保されていることを前提とした上で，落橋に至るような大きな相対変位が上下部構造間に生じにくい構造特性を有する橋としている。ここで，支承部の耐震補強対策としてレベル２地震動によって生じる水平力を分担する構造を追加で設置する場合にお

いては，一連の上部構造を有する橋としてレベル２地震動によって生じる水平力に対して水平力の伝達機能が確保されていること及びそれぞれの支点において R_U が負ではない，すなわち上揚力が生じないことの条件を満たせば，レベル２地震動に対して設計された支承部により上部構造が支持されるという前提条件を満たすとみなすことができる。

また，H14 道示Ⅴにおいては，構造特性により橋軸方向の変位が生じにくい橋として，両端が剛性の高い橋台に支持された橋のうち，桁の長さが 25m 以下（Ⅰ種地盤の場合は桁の長さが 50m 以下）の一連の上部構造を有する橋で，上部構造が回転できる幾何学的な条件に該当しない場合には，落橋防止構造の設置を省略できるとされていた。H24 道示Ⅴの改定では，落橋防止構造の設置を省略できる条件として，レベル２地震動に対して設計された支承部により上部構造が支持されること，及び，H24 道示Ⅴの 16.2 に規定する桁かかり長を確保していることが前提となっているが，構造特性により橋軸方向の変位が生じにくい橋として H14 道示Ⅴに示されていた条件に該当する場合には，H24 道示Ⅴにおける落橋防止構造の設置を省略できる前提条件を満たさない場合であっても，落橋防止構造の設置を省略することができる。また，この省略の可否の判断は橋台が地震時に不安定となる地盤上にあるかどうかに影響を受けない。これは，両端が橋台に支持される一連の上部構造を有する橋では，地震時に地盤が不安定となっても，橋台には背面土圧により前面に移動する方向の力が作用し，その結果として橋台間の距離が狭まる方向に挙動をするため，上部構造の落下が生じにくい構造特性を有する橋と考えられることから，H24 道示Ⅴの改定において，地震時に不安定となる地盤があることと落橋防止構造の省略の可否は関係しないとしたためである。

なお，このような落橋防止構造の設置を省略できる条件は，支承部の破壊という損傷が生じても，単純な構造系であるがゆえに支承部の破壊後の上部構造の挙動が定性的には予測できると判断して定められているものである。一方，これが複数連の上部構造になる場合には，複数の上部構造やかけ違い部の橋脚の挙動が互いに複雑に影響し合うために支承部の破壊後の挙動の予測は定性的にも困難であることから，落橋防止構造の設置を省略できる対象とはしていない。仮に，静的解析や動的解析等からその挙動を予測しようとしても，その場合に想定すべき地震力が与えられていないこと，支承部の破壊後の挙動を十分な精度で再現できる解析モデルもないこと等から，上部構造が下部構造の頂部から逸脱する挙動を所要の精度で再現することは難しい。このため，落橋防止構造の設置を省略できるかどうかの判断は，このような地震応答解析結果に基づいて行うという性格のものではない点には留意が必要である。

５．鉄筋コンクリート橋脚の耐震補強設計における考え方

5.1　平成 24 年の道路橋示方書における鉄筋コンクリート橋脚に関する規定の改定のねらい

H24 道示Ⅴの改定においては，橋の耐震性能と部材に求められる限界状態の関係をより明確にすることによる耐震設計の説明性の向上を図るとともに，次の２点に対応するために，耐震性能に応じた限界状態に相当する変位を直接的に算出する方法に見直した。

1) SD390 及び SD490 を軸方向鉄筋として使用する鉄筋コンクリート橋脚に適用するために算出方法の適用性の拡張
2) 帯鉄筋の高さ方向間隔の規定の緩和による施工性の改善 （水平方向の配置間隔は従来どおり）

5.2　破壊メカニズムを踏まえた単柱式鉄筋コンクリート橋脚の限界状態の設定

図-5.1 は，柱基部で曲げ破壊するタイプの単柱式鉄筋コンクリート橋脚に対して，正負交番繰返し荷重下における典型的な水平力－水平変位の履歴曲線と載荷変位の増加に伴う損傷の進展を示したものである。単柱式鉄筋コンクリート橋脚では，軸方向鉄筋が降伏する段階になると水平力－水平変位関係の剛性が低下する。この段階（図中①）では，橋脚は水平曲げひび割れが生じる程度の損傷状態である。その後は水平変位が増加しても水平力はおおむね一定となるが，載荷変位が増加するに伴い，水平ひび割れの数が増え，柱基部に縦方向のひび割れが生じ始める（図中②）。この後，かぶりコンクリートが剥がれ，軸方向鉄筋のはらみ出しが生じ（図中③），最終的には軸方向鉄筋の破断や内部コンクリートの圧縮破壊が生じる（図中④）。水平力は，軸方向鉄筋のはらみ出しが生じる段階になると徐々に低下し始め，軸方向鉄筋の破断に伴い急激に低下する。なお，横拘束鉄筋には，かぶりコンクリートの剥落が生じたあとに，軸方向鉄筋がはらみ出そうとする挙動を抑制する効果もある。このため，横拘束鉄筋によって適切に軸方向鉄筋及び内部コンクリートが拘束されている場合などには，かぶりコンクリートが剥落した後も，軸方向鉄筋のはらみ出しがすぐには顕著にならない場合もある。

表-5.1 は，耐震性能２に対する許容変位の算出方法の考え方を H14 道示Ⅴと H24 道示Ⅴで比較したものである。H14 道示Ⅴでは，最大水平力付近で安定していた水平力が低下し始める点を設計上の終局変位とみなすこととし，これに安全係数（=1.5：タイプⅡの地震動の場合）を考慮することによって耐震性能２の許容変位を算出していた。しかし，これらの限界状態の点は，上記のように終局変位に相当する点から安全係数によって割り戻された点として与えられていたため，限界状態の変位が橋脚の損傷状態や抵抗特性の関係と直接的に関係づけられていなかった。このため，H24 道示Ⅴの改定では，**表-5.2** のように橋の各耐震性能に対する橋の限界状態と鉄筋コンクリート橋脚の損傷状態や抵抗特性を関連づけて，橋の耐震性能に応じた鉄筋コンクリート橋脚としての限界状態を明確にすることとし，その限界状態に相当する変位を直接的に算出する方法に見直している。その上で，許容変位を算出する際には計算方法の推定精度等を考慮するために

安全係数を考慮している。

なお，H14 道示Ⅴにおいては，鉄筋コンクリート橋脚に対する正負交番繰返し載荷実験における一定振幅の繰返し回数にタイプⅠの地震動に対しては 10 回，タイプⅡの地震動に対しては 3 回を考慮し，地震動のタイプに応じた安全係数及びコンクリートの終局ひずみを用いることにより，地震動のタイプに応じた許容塑性率が設定されていた。一方，H24 道示Ⅴでは，繰返し回数の影響が顕著とはならない範囲に限界状態を設定することを前提に，タイプⅠの地震動とタイプⅡの地震動の両方に対して同じ許容塑性率を設定することとなっている。ここで，許容塑性率は載荷繰返し回数を 3 回とした実験結果をもとに設定している。これは，H24 道示Ⅴの 10.2 の(3)の解説に示されるように，近年の研究[5)]により，一般的な鉄筋コンクリート橋脚において最大応答変形が生じるまでに経験する塑性応答変形の繰返し回数は，実験における一定振幅の繰返し回数としてはタイプⅠの地震動に対しては 2～3 回とした場合に，タイプⅡの地震動に対しては 1 回とした場合にそれぞれ相当することが明らかになったこと，また，繰返し回数が 1～3 回の範囲では地震時保有水平耐力や損傷の進展過程に及ぼす載荷繰返しの影響が顕著でないことが明らかになったことを踏まえたためである。

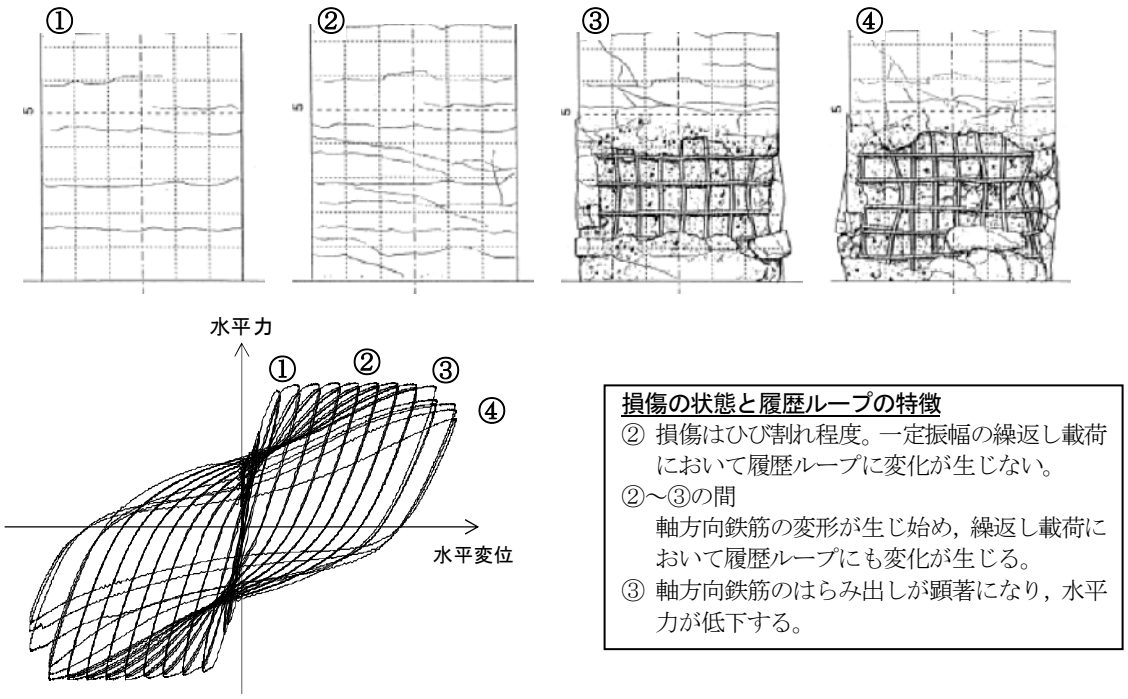


図-5.1　柱基部で曲げ破壊するタイプの鉄筋コンクリート橋脚の水平力－水平変位関係と損傷の進展

表-5.1　H14 道示Ⅴと H24 道示Ⅴによる鉄筋コンクリート橋脚の許容変位の算出方法の違い

（耐震性能２の例）

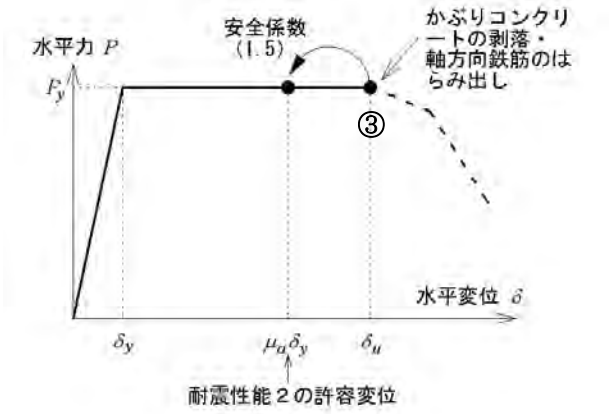
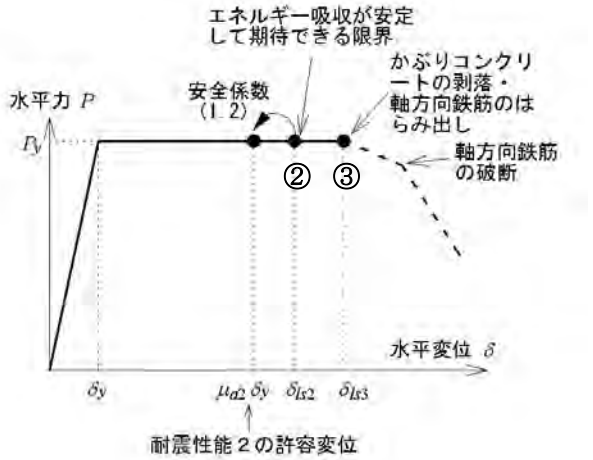
	Ｈ１４道示Ⅴの考え方	Ｈ２４道示Ⅴの考え方
許容変位の算出方法		

表-5.2　橋の耐震性能と鉄筋コンクリート橋脚の限界状態（H24 道示Ⅴで明確にした点を**ゴシック**で示す）

	耐震性能２	耐震性能３
橋の耐震性能	地震による損傷が限定的なものに留まり，橋としての機能の回復が速やかに行い得る性能	地震による損傷が橋として致命的とならない性能
橋の限界状態	塑性化を考慮する部材にのみ塑性変形が生じ，その塑性変形が当該部材の修復が容易に行い得る範囲内で適切に定める	塑性化を考慮する部材にのみ塑性変形が生じ，その塑性変形が当該部材の保有する塑性変形能を超えない範囲内で適切に定める
鉄筋コンクリート橋脚の限界状態	損傷の修復を容易に行い得る限界の状態。 **具体的には，水平力ー水平変位関係において，水平力の低下がほとんどなく，安定したエネルギー吸収能が確保できる状態**（図-5.1 の②に対応）	橋脚の水平耐力を保持できる限界の状態 （図-5.1 の③に対応）
鉄筋コンクリート橋脚の損傷状況	**曲げひび割れが残留する程度あるいはかぶりコンクリートが軽微に剥離する程度**	かぶりコンクリートが剥落した後，軸方向鉄筋のはらみ出しが顕著になる直前の段階

5.3　既設橋の鉄筋コンクリート橋脚の耐震補強設計に用いる地震時保有水平耐力及び許容塑性率の算出方法

H24 道示Ⅴに規定した鉄筋コンクリート橋脚の地震時保有水平耐力及び許容塑性率の算出方法は，曲げ塑性変形を受けた鉄筋コンクリート橋脚の塑性ヒンジ領域の軸方向鉄筋が引張りを受けた後に橋脚に作用する水平力が反転して軸方向鉄筋が圧縮される段階に軸方向鉄筋のはらみ出しが生じるという塑性ヒンジの形成メカニズムを鉄筋の配筋条件に応じて合理的に評価できる方法となっている。この算出方法については，鉄筋コンクリート橋脚が地震の影響を支配的に受ける部材であることから，H24 道示Ⅴの「**5.5　地震の影響を支配的に受ける部材の基本**」の趣旨を踏まえ，その適用範囲を H24 道示Ⅴの 10.3 において明確にしている。また，本算出方法の適用に際しては，H24 道示Ⅴの「**10.8　鉄筋コンクリート橋脚の塑性変形能を確保するための構造細目**」に規定される構造細目を満たすことも前提となっている。

本算出方法の特徴のひとつは，帯鉄筋や中間帯鉄筋の軸方向鉄筋のはらみ出しに対する拘束効果をより厳密に評価できることにあるが，既設橋や鉄筋コンクリート巻立て工法により補強された鉄筋コンクリート橋脚は，一般に，横拘束筋の水平方向の配置間隔の構造細目を満たさないなど，上記の適用範囲や構造細目を満たさないことから，本算出方法をそのまま外挿的に適用すると許容変位を過小評価することが実験結果との比較から確認されており，許容塑性率の算出において合理的な推定精度を確保できない場合がある。また，曲げ耐力制御式鋼板巻立て工法により補強された鉄筋コンクリート橋脚の場合には，柱基部周辺が鋼板で巻立てられた上に H 型鋼により拘束されることから，鉄筋コンクリート橋脚において軸方向鉄筋のはらみ出しが生じるという破壊メカニズムを直接的に取り入れた H24 道示Ⅴに規定される算出方法はそもそも適用範囲外である。

既設橋の鉄筋コンクリート橋脚や鉄筋コンクリート巻立て工法又は曲げ耐力制御式鋼板巻立て工法により補強された橋脚の地震時保有水平耐力及び許容塑性率の算出方法については，「既設道路橋の耐震補強に関する参考資料」[6]（以下，「H9 参考資料」という。）に示されており，これが用いられてきている。この算出方法は，基本的な考え方は平成 8 年の道路橋示方書Ⅴ耐震設計編及び H14 道示Ⅴに規定される鉄筋コンクリート橋脚の地震時保有水平耐力及び許容塑性率の算出方法と同様となっているが，既設橋の耐震補強設計に適用する際には，補強された橋脚の構造特性を踏まえ，これらの道示Ⅴの規定による鉄筋コンクリート橋脚と同等の限界状態の変位を推定するために，次の条件が追加されている。

・ 塑性ヒンジ長に補正係数（$c_{Lp} = 0.8$）を乗じる。

表-5.3 及び**表-5.4** は，鉄筋コンクリート巻立て工法又は曲げ耐力制御式鋼板巻立て工法で補強された橋脚模型に対する正負交番繰返し載荷実験の結果と，当該橋脚模型に対して，H9 参考資料の算出方法に基づいて水平力－水平変位関係の計算を行った結果を比較して示したものである。ここでは，一定振幅の繰返し回数が３回の正負交番繰返し載荷実験を対象として，実験結果とその橋脚模型に対して求めたタイプⅡの地震動に対する耐震性能２の許容変位の計算値を併せて示している。**表-5.3** 及び**表-5.4** より，H9 参考資料の方法に基づいて算出されるタイプⅡの地震動に対する耐震性能２の許容変位は，H24 道示Ⅴの考え方に基づく耐震性能２の限界状態を超えないことが実験結果との比較から確認される。

以上より，本算出方法に基づいて算出されるタイプⅡの地震動に対する許容変位を用いて耐震補強設計を行えば，タイプⅡの地震動が作用したときにもH24道示Ⅴの考え方に基づく耐震性能２の限界状態を超えないように設計できることになり，すなわち，H24道示Ⅴにおいて求めている耐震性能２と同等の耐震性能が確保されるとみなすことができる。

また，タイプⅠの地震動に対する許容塑性率としては，H9参考資料の方法に基づいて算出する場合にも，タイプⅡの地震動に対する許容塑性率の値を用いてよい。鉄筋コンクリート巻立て工法又は曲げ耐力制御式鋼板巻立て工法で補強された橋脚模型に対する正負交番繰返し載荷実験のデータは，新設の鉄筋コンクリート橋脚に対する実験に比べてその数が限られており，載荷の繰返し回数の影響については未解明な点もあるが，**表-5.3**及び**表-5.4**に示した繰返し回数が３回の正負交番繰返し載荷実験に基づく検討結果，ならびに，5.2に示した繰返し回数が許容変位に与える影響に関するH24道示Ⅴでの改定の背景を踏まえ，現状の知見で明らかになっている範囲内で工学的な判断をしたものである。このため，今後も最新の知見に基づいて適切に対応していくことが重要である。

表-5.3　鉄筋コンクリート巻立て工法により補強された鉄筋コンクリート橋脚模型に対する実験結果と H9 参考資料の算出方法に基づく耐震性能２の許容変位の評価の比較

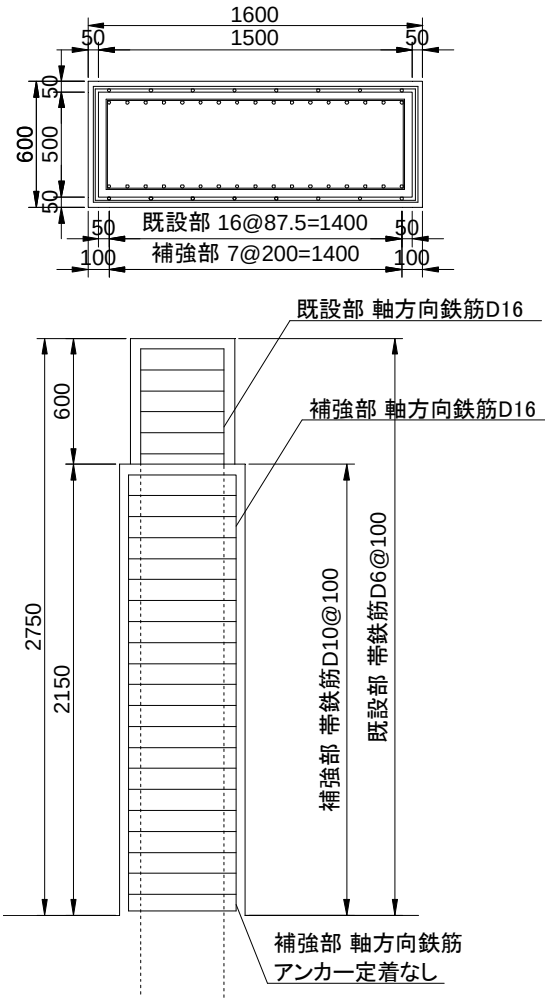
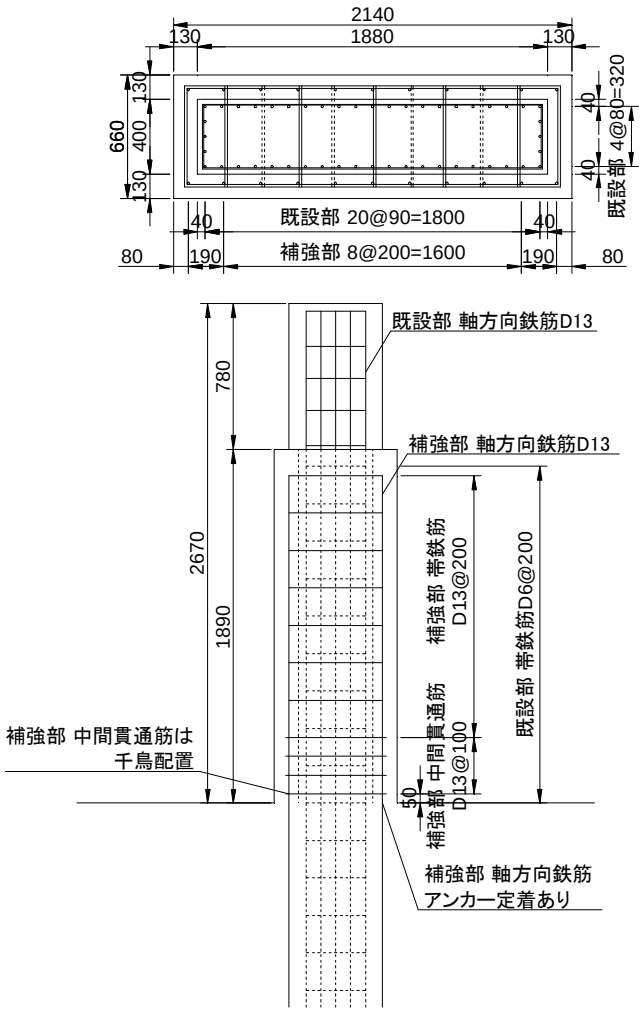
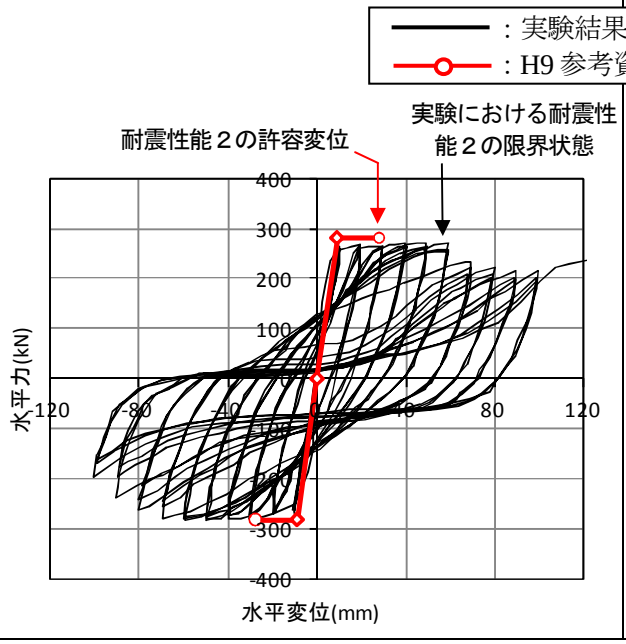
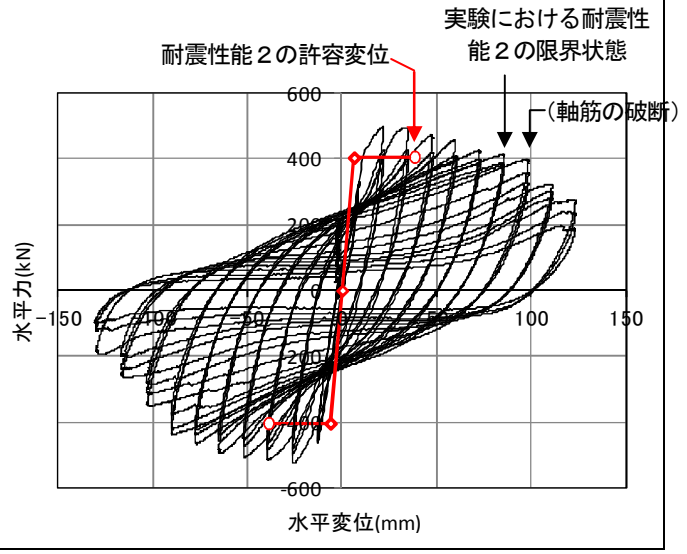
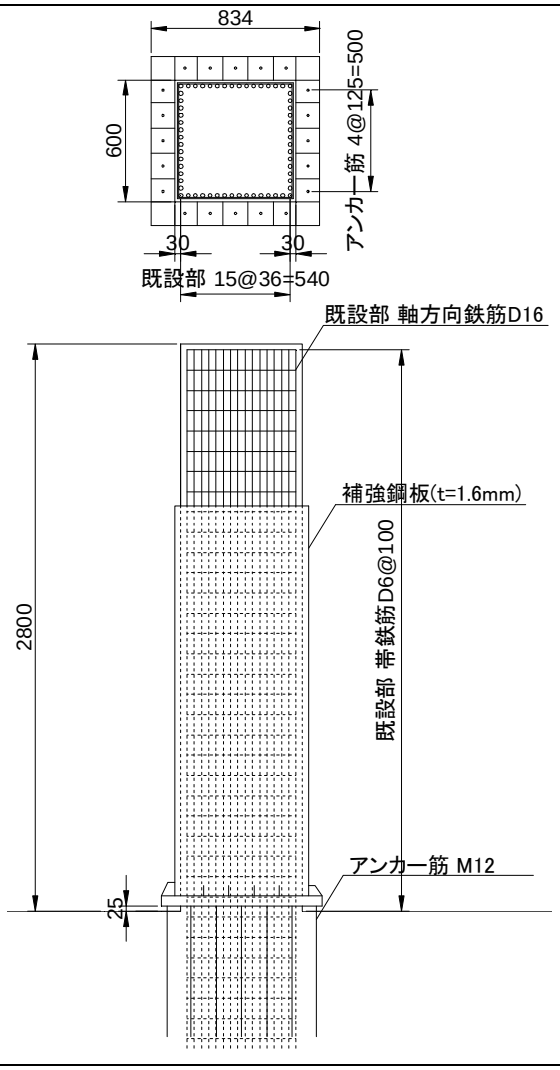
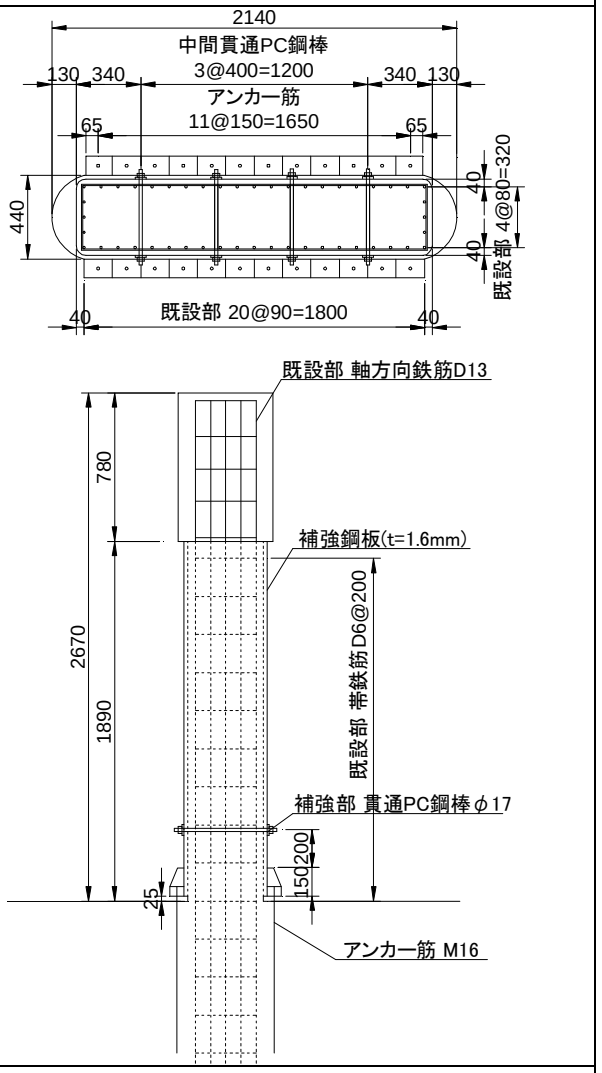
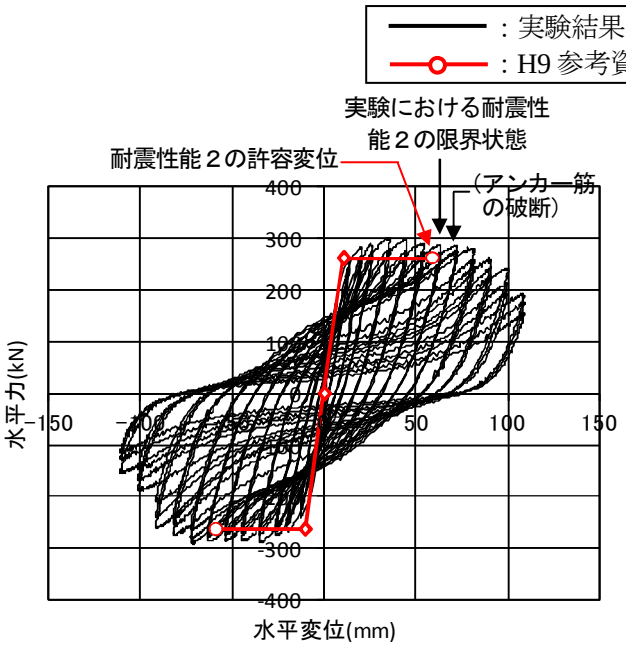
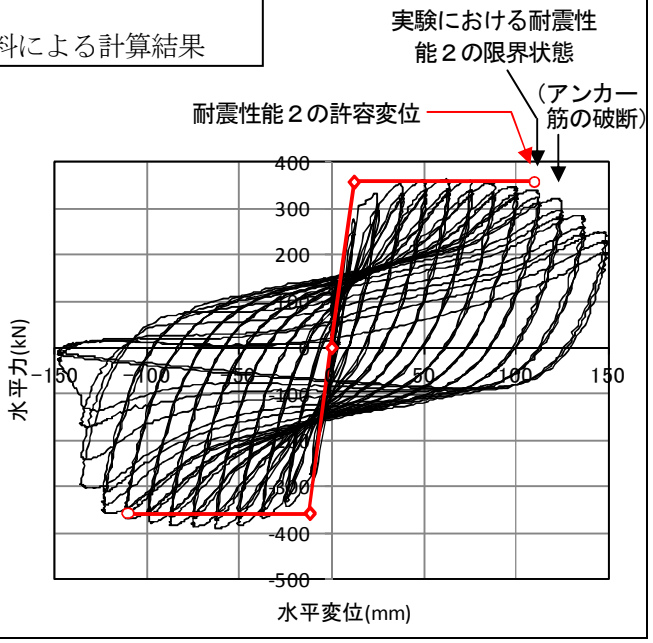
中間貫通鋼棒無し アンカー定着無し [7]	中間貫通鋼棒を配置（ただし，H24 道示Ⅴの構造細目は満たさない）；アンカー定着あり [8]
	
	

表-5.4　曲げ耐力制御式鋼板巻立て工法により補強された鉄筋コンクリート橋脚模型に対する実験結果と H9 参考資料の算出方法に基づく耐震性能２の許容変位の評価の比較

正方形断面 [9]	壁式断面
	
	

5.4　補強のためにフーチングに定着する軸方向鉄筋に SD390 又は SD490 を用いる場合の考え方

H24 道示Ⅴの改定では，従来の規定よりも降伏点の高い鉄筋（SD390 及び SD490）を鉄筋コンクリート橋脚の軸方向鉄筋として使用することができるようになった。しかし，既設橋の耐震補強における鉄筋コンクリート巻立て工法や曲げ耐力制御式鋼板巻立て工法の巻立て部の軸方向鉄筋のように，補強のためにフーチングに定着する軸方向鉄筋に SD390 又は SD490 を用いる場合については，軸方向鉄筋のフーチングへの定着方法や H9 参考資料の地震時保有水平耐力及び許容塑性率の算出方法の適用性等について実験データをもとに検証がなされていない。このため，補強のためにフーチングに定着する軸方向鉄筋に SD390 又は SD490 を用いる橋脚に対しては，H9 参考資料の算出方法の適用範囲外となる。

補強のためにフーチングに定着する軸方向鉄筋に SD390 又は SD490 を用いる場合には, 軸方向鉄筋のフーチングへの定着方法や地震時保有水平耐力及び許容塑性率の算出方法等について橋脚模型に対する正負交番繰返し載荷実験結果等に基づく個別の検証が必要である。

６．おわりに

本資料では，既設橋に対する耐震補強であるがゆえの制約条件がある中で，既設橋の耐震補強で当面の目標とする橋の耐震性能の設定の考え方の例を示すとともに，耐震補強に特有な設計段階での基本的な留意事項について示した。また，平成24年2月の道路橋示方書の改定をうけて，道路橋示方書に示される計算方法や考え方がそのまま適用できない場合のうち，支承部の補強対策及び落橋防止対策並びに鉄筋コンクリート橋脚の補強対策に関して，耐震補強設計の考え方を示した。

既設橋に対する耐震補強については，橋によって目標とする耐震性能レベルが異なる場合もあり，また，個々の橋の構造や周辺の条件によっても設計上の制約となる条件も変わってくる。既設橋に対する耐震補強に関する参考資料や事例集等の文献6)，10)～13) も出されているが，これらは既設橋の耐震性能評価や耐震補強設計の事例がとりまとめられたものである。このため，これらの文献に例示されている事項をそのまま画一的に適用するというのではなく，まずは，道路管理者が耐震補強において目標として設定している橋の耐震性能を踏まえて，当該橋に対する耐震補強計画を検討した上で，補強対象となる部材の構造条件に応じて，その適用性が妥当な補強工法を施工性と併せて検討することが重要である。

参考文献

1) （社）日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅴ耐震設計編，2012.
2) （社）日本道路協会：道路震災対策便覧（震前対策編），2006.
3) 運上茂樹，星隈順一，堺淳一，植田健介：過去の大規模地震における落橋事例とその分析，土木研究所資料第4158号，2009.
4) （社）日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅴ耐震設計編，2002.
5) 星隈順一, 運上茂樹 : 入力地震動の特性とRC橋脚に生じる塑性応答回数, コンクリート工学年次論文集, Vol. 23，No.3，pp.1243-1248，2001.
6) （社）日本道路協会：既設道路橋の耐震補強に関する参考資料，1997.
7) 井ヶ瀬良則, 緒方紀夫, 田村陽司 : 壁式橋脚の耐震補強工法に関する試験検討, 構造工学論文集, Vol. 43A, pp.1295-1300，1997.
8) 長屋和宏，大塚久哲，星隈順一：壁式橋脚の鉄筋コンクリート巻立て補強とその効果，土木学会第51回年次学術講演会講演概要集，pp.552-553，1996.
9) 建設省土木研究所，日本道路公団，首都高速道路公団，阪神高速道路公団：鉄筋コンクリート橋脚の耐震性に及ぼす寸法効果の影響に関する共同研究報告書，土木研究所共同研究報告書第234号，1999.
10) （社）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），1995.
11) （社）日本道路協会：既設道路橋基礎の補強に関する参考資料，2000.
12) （財）海洋架橋・橋梁調査会：既設橋梁の耐震補強工法事例集，2005.
13) 中谷昌一，星隈順一，白戸真大，西田秀明，谷本俊輔，横幕清，豊島孝之：既設道路橋基礎の耐震性能簡易評価手法に関する研究，土木研究所資料第4168号，2010.

国土技術政策総合研究所資料
TECHNICAL NOTE of NILIM, No. 700
土 木 研 究 所 資 料
TECHNICAL NOTE of PWRI, No. 4244
November 2012
編集・発行 ©国土技術政策総合研究所
©独立行政法人土木研究所

本資料の転載・複写の問い合わせは
国土技術政策総合研究所 企画部 研究評価・推進課
〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地 TEL 029-864-2675
独立行政法人 土木研究所 企画部 業務課
〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6 TEL 029-879-6754