

3.1 補強対策が困難な既設道路橋に対する耐震設計法の開発

研究予算：運営費交付金（道路整備勘定）

研究期間：平 18～平 21

担当チーム：耐震研究グループ（耐震）

研究担当者：運上茂樹（上席）、杉本健、
張広鋒

【要旨】

平成 17 年度から平成 19 年度まで緊急輸送道路の橋梁耐震補強 3 箇年プログラムが実施されたが、今後の効率的な震災対策事業に資するためには、本 3 箇年プログラムの技術的なフォローアップを行うとともに、現場の個別条件を加味した性能評価の高度化、耐震水準を考慮した段階的対策方策、対策が困難となる橋に対する新しい工法の開発が必要とされている。平成 19 年度は、鉄筋コンクリート（RC）橋脚に対して耐震水準を考慮した段階的な補強工法を提案し、その妥当性を実験的に検証した。また、対策が困難となる既設特殊橋梁・長大橋梁を対象に、現況の耐震性能の評価方法、耐震対策の必要性の評価方法、対策が必要とされる橋に対する耐震補強法の選定の考え方を検討した。

キーワード：既設道路橋、耐震補強、段階的補強工法、特殊橋梁

1. はじめに

被災時の円滑な救急・救援活動や緊急物資の輸送、復旧活動の支援等において重要な役割を果たす緊急輸送道路のうち落橋等の甚大な被害を受ける可能性のある橋を対象に、橋脚補強と落橋防止対策を優先的かつ限定的に実施する緊急輸送道路の橋梁耐震補強 3 箇年プログラムが平成 17 年度～平成 19 年度まで実施された。この 3 箇年プログラムでは、対象路線にある昭和 55 年道路橋示方書よりも古い基準を適用した橋梁において、段落し部のある鉄筋コンクリート（RC）製単柱橋脚、鋼製単柱橋脚および連続橋の段落し部のある RC 製固定橋脚に対しては橋脚の補強、両端が橋台でない単純桁、ゲルバー桁および流動化の影響を受ける可能性のある連続桁に対しては落橋防止システムの設置が行われている。また、対象路線にあるトラス橋、アーチ橋、斜張橋、吊橋等の特殊橋梁および道路橋示方書の適用範囲外となる長大橋梁も 3 箇年プログラムの補強対象とされた。

一方、今後の効率的な震災対策事業に資するためには、同 3 箇年プログラムの技術的なフォローアップを行うとともに、現場の個別条件を加味した性能評価の高度化、耐震水準を考慮した段階的対策方策、対策が困難となる橋に対する新しい工法の開発が必要とされている。

以上のことを踏まえ、平成 19 年度は以下の研究を実施した。

- 1) 3 箇年プログラムにより段落し部の耐震補強が実施された RC 橋脚を対象として、現行（平成 8 年道路橋示方書以降）耐震水準にグレードアップさせる段階的な耐震補強工法の提案を行った。また、提案の補強工法の妥当性を検討するために、2 体の RC 橋脚模型を製作し、正負交番載荷実験により補強効果について実験的に検証を行った。
- 2) 対策が困難となる既設特殊橋梁や道路橋示方書の適用範囲外となる長大橋梁を対象に、現況の耐震性能の評価方法、耐震対策の必要性の評価方法、対策が必要とされる橋に対する耐震補強法の選定の考え方を検討し、評価検討例や設計検討例としてとりまとめた。

2. RC 橋脚の段階的な補強工法

2.1 補強工法の概要

RC 橋脚の耐震補強の段階的な補強工法としては、現行（平成 8 年道路橋示方書以降）基準レベルまでグレードアップさせ、橋としての機能回復を速やかに行い得る信頼性の高い耐震性能を確保することが考えられる。図 1-1 はそのために作成した対策工法の選定フロー案を示すものである。本研究では、選定案の中にせん断・じん性・曲げ耐力補強が必要となる場合の対策として、3 箇

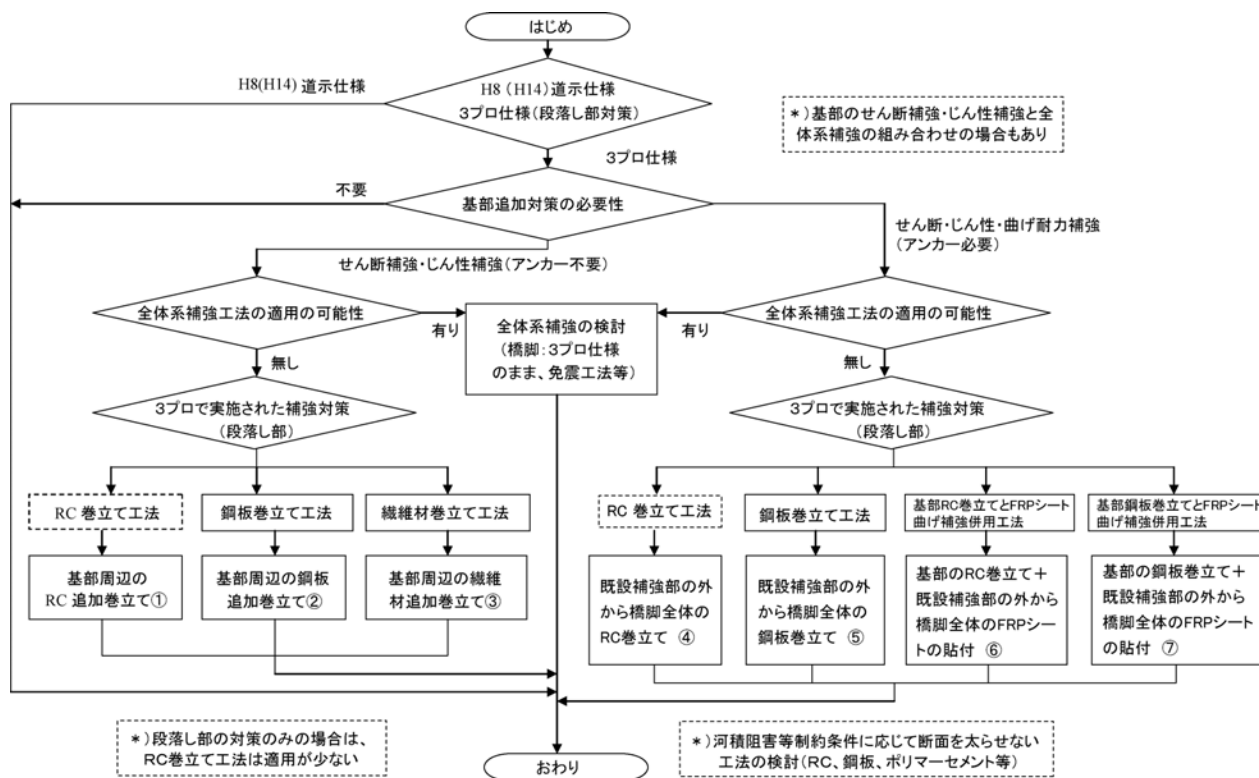


図-1 RC橋脚の耐震補強におけるグレードアップ工法の選定フロー案

年プログラムで、例えば、炭素繊維 (CFRP) シートによって段落し部の耐震補強が既に実施された RC 橋脚を対象にこのグレードアップのための耐震補強工法を検討した。これに対する工法として、(1) RC 巻き立て工法、(2) 鋼板巻き立て工法、(3) 基部 RC 巻き立てと FRP シート曲げ補強併用法、および (4) 基部鋼板巻き立てと FRP シート曲げ補強併用法の 4 工法を提案した。各工法の概要は以下の通りである。

(1) RC 巻き立て工法

本工法は、RC 橋脚躯体の周囲を鉄筋コンクリートで巻き立て、新旧コンクリートの付着を確保するとともに、軸方向鉄筋をフーチングに定着することによって耐力を増加させる工法である。

(2) 鋼板巻き立て工法

本工法は、RC 橋脚躯体を鋼板で巻き立て、その間隙を充填材により密実させるとともに、アンカー筋を通じて鋼板をフーチングに定着させる工法である。

(3) 基部 RC 巻き立てと FRP シート曲げ補強併用法

本工法は、基部から塑性領域までの範囲を鉄筋コンクリートで巻き立て、その上から頂部までの範囲に FRP シートで貼り付けることによって、橋脚の耐力を増加させる工法である。

(4) 基部鋼板巻き立てと FRP シート曲げ補強併用法

表-1 供試体の一覧

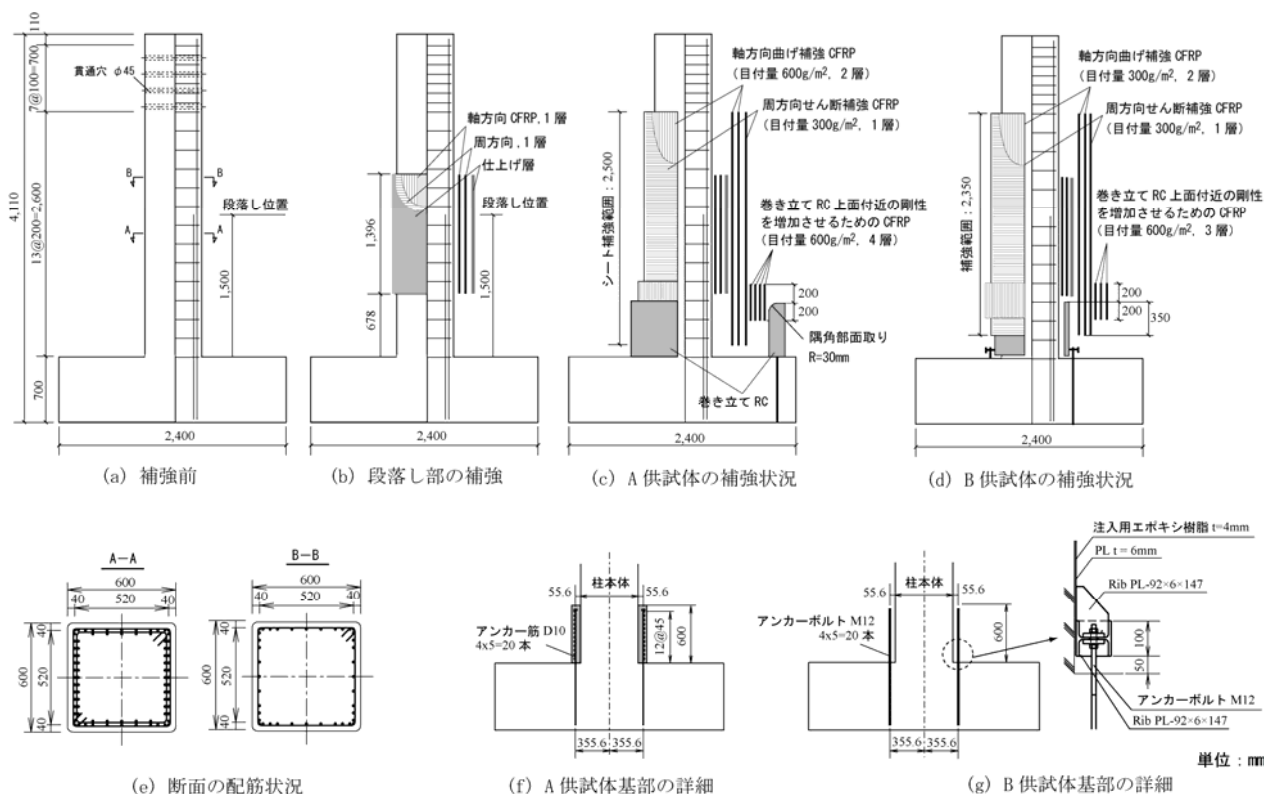
供試体名	補強工法	基部巻き立て部詳細	曲げ補強 CFRP シート量
A	基部 RC 巻き立てと CFRP シート曲げ補強併用法	RC 厚さ : 85mm 巻き立て高さ : 1D	600g/m ² 2 層
B	基部鋼板巻き立てと CFRP シート曲げ補強併用法	鋼板厚さ : 1.6mm 巻き立て高さ : 1D	300g/m ² 2 層
鋼板巻き立て	鋼板巻き立て工法	鋼板厚さ : 1.6mm 巻き立て高さ : 全高	—
無補強	—	—	—

* 鋼板巻き立てと無補強の両供試体は過去に実施したものである¹⁾。

本工法は、基部から塑性領域までの範囲を鋼板で巻き立て、その上から頂部までの範囲には FRP シートで貼り付けることによって、橋脚の耐力を増加させる工法である。

2.3 検証実験

提案の 4 工法の中、(1) RC 巻き立て工法と (2) 鋼板巻き立て工法は、従来から実績のある工法であり、また、(3) 基部 RC 巻き立てと CFRP シート曲げ補強併用法および (4) 基部鋼板巻き立てと CFRP シート曲げ補強併用法の両工法は、補強によって新たな断面変化部が形成され、橋脚の



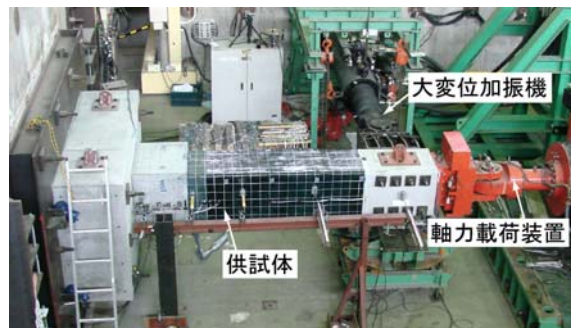
図ー2 供試体の詳細

耐荷挙動がより複雑になることから、本研究では、後者の2工法に対してその有効性を実験的に検証することとした。

2.3.1 実験供試体

表ー1に示すA, B 両供試体は、本研究で実験した両供試体であり、それぞれ、基部 RC 巻立てとCFRPシート曲げ補強併用工法および基部鋼板巻立てとCFRPシート曲げ補強併用工法を用いて補強を施したものである。なお、表に示す鋼板巻立てと無補強の両供試体は過去¹⁾に実施したものである。後述する実験結果の比較において、耐荷性状や補強効果を検討するために両供試体の実験結果も用いた。鋼板巻立て供試体は、柱全高さに鋼板で巻立て、基部アンカー部は B 供試体と同一の方法（アンカーボルト本数、呼び径および材質）である。無補強供試体は、図ー2(a), (e) に示す寸法と配筋状況と同一である。

両供試体の形状寸法は、図ー2(a) に示すように、断面が 600mm×600mm の正方形で、基部から荷点までの高さは 3.01m、せん断支間比は 5.0 である。これは、実橋脚を約 1/6 に縮小したものに相当する。軸方向鉄筋には SD295 D10 を 2 段配筋し、軸方向鉄筋比は1.58%である。基部から高さ 1.5m の位置で主鉄筋を段落している。横拘束筋には両試験体ともに SD295 D3 を用いている。



写真ー1 供試体設置状況

図ー2(b) には、両供試体の段落し部の補強状況を示す。ここで、補強枚数と補強範囲は文献2) に準拠して設定したものである。図ー2(c), (d), (f), (g) には、両供試体の基部、曲げ補強 CFRP シート、基部と CFRP シートの継ぎ部の詳細を示す。なお、曲げ補強シートと基部の継ぎ部における局所破壊を防ぐために、A, B 両供試体は、それぞれ目付量 600g/m² の CFRP シートを 4 枚と 3 枚で巻立て部上面より上下 200mm の範囲に貼り付けている。なお、B 供試体の鋼板下端とフーチング上面の間に設ける間隙長を 50mm とした。

2.3.2 実験方法

写真ー1 に載荷状況を示す。供試体を横にした状態で、



(a) A 供試体 (側面) (b) B 供試体 (載荷面)

写真-2 実験終了後の基部破壊状況

表-2 損傷の進展状況

供試体名	荷重変位	損傷状況
A	1 δy	基部から高さ 250mm 付近の巻立て部に横ひび割れが発生した。
	2 δy	巻立て部に縦ひび割れが発生した。
	3 δy	巻立て部に斜めひび割れが発生した。
	6 δy	巻立て部と柱間の間隙が大きく広がった。
	7 δy	巻立て上端部よりコンクリートの剥離が発生した。 巻立て部の縦ひび割れの幅が大きく増えた。
	10 δy	鉄筋破断音が確認された。
B	2 δy	アンカーボルトが数本緩んだ。鋼板と柱間の部分的な付着切れが確認できた。
	3 δy	柱基部にひび割れが発生した。
	5 δy	基部付近のかぶりコンクリートの剥離が確認できた。アンカーボルトの座屈が顕著になった。
	6 δy	載荷面のアンカーボルトが9本破断した。
	8 δy	基部のコアコンクリートの損傷が確認できた。主鉄筋が2本破断した。
	9 δy	コアコンクリートの損傷が顕著になった。主鉄筋が23本破断した。

死荷重反力に相当する軸力を与えながら、反力壁に取り付けた動的加振機により水平荷重を加えた。本実験では、軸力は 539kN とし、1.5MPa の圧縮応力度に相当する。荷重変位は正弦波とし、荷重速度は 10mm/sec で各荷重ステップの繰返し回数は3回を基本とした。なお、両供試体とも、基準変位 δy を 12.7mm とし、その整数倍の変位を正負交番に変位制御で荷重した。ここで、12.7mm は、前述の鋼板巻立て供試体¹⁾ の降伏変位である。本研究は、同一基準変位で荷重するために 12.7mm とすることとした。

2.3.2 実験結果

写真-2には、実験終了後の両供試体の基部付近の破

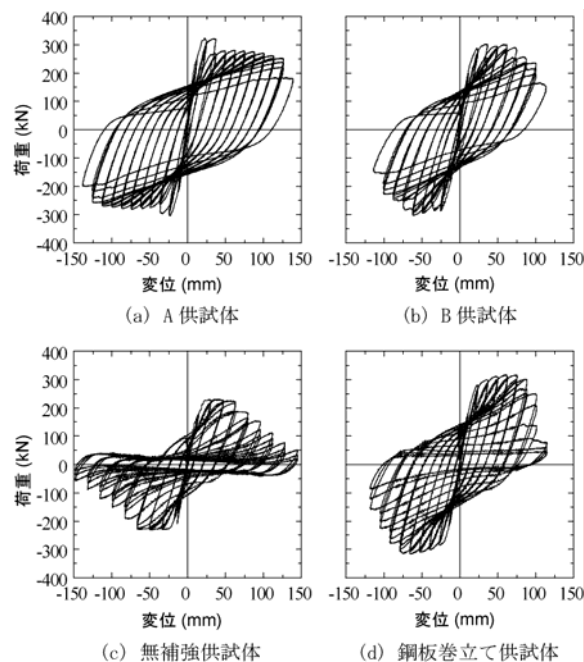


図-3 水平荷重-水平変位の履歴曲線

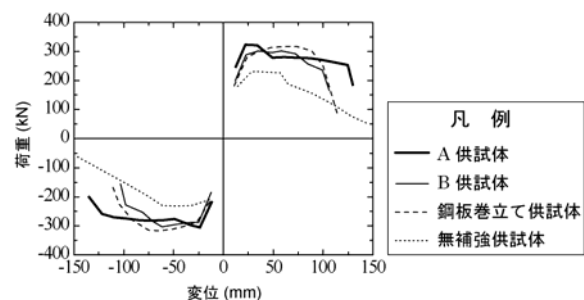


図-4 履歴曲線の包絡線

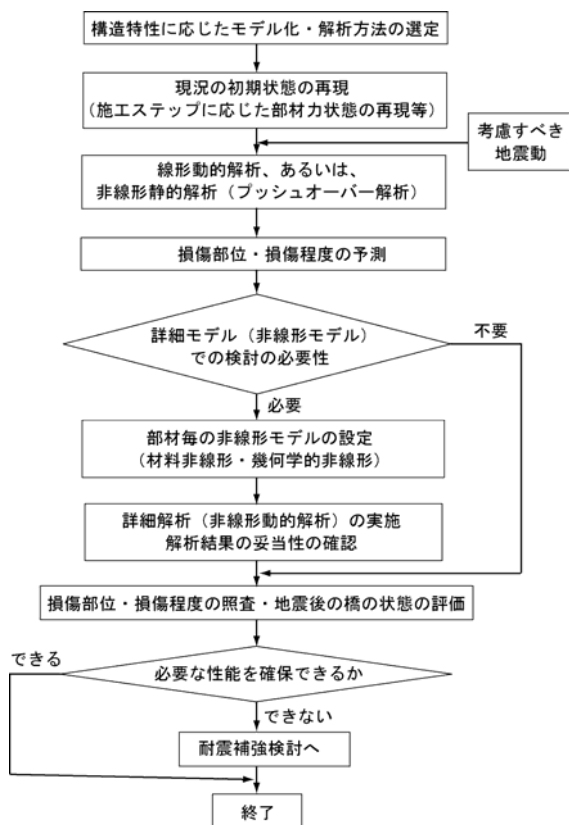
壊状況写真を示す。実験中の荷重ステップの損傷進展状況を表-2に示す。

図-3、4は、水平荷重-水平変位の履歴曲線と履歴曲線の包絡線の比較を示すものである。A 供試体は、3 δy 荷重では柱本体と巻立て RC 間の付着切れが発生したことによって耐力が 86% 低下した。その後、10 δy 荷重まで安定的な履歴曲線形状を示した。B 供試体は、鋼板巻立て供試体とおおむね同程度の耐荷性状を示した。

これより、本研究で提案した段階的な補強工法を適用した場合は、従来の鋼板巻立て工法を適用した場合とほぼ同程度の耐力・変形性能を有することが実験的に確認できた。

4. 既設特殊橋梁や長大橋梁の耐震補強

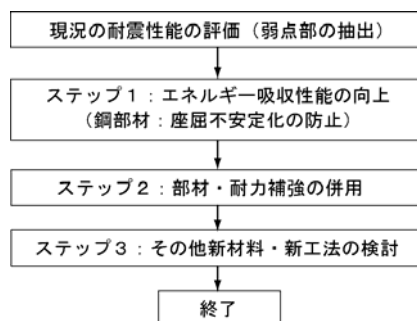
特殊橋梁や長大橋梁については、個々の現場条件を反映させて個別に設計がなされるのが一般的であり、様々



図一五 特殊橋梁・長大橋梁の耐震性能評価の流れ

1. まえがき
2. 特殊橋梁・長大橋梁の分類
3. 特殊橋梁・長大橋梁の地震被害例
 3. 1 1989年米国ロスマブリエータ地震
 3. 2 1995年兵庫県南部地震
 3. 3 1999年台湾集集地震
 3. 4 2001年芸予地震
 3. 5 2004年新潟県中越地震
 3. 6 2007年新潟県中越沖地震
 3. 7 地震被害から見た特殊橋梁・長大橋梁の耐震構造上の重要部位
4. 既設の特殊橋梁・長大橋梁の耐震性能評価と耐震補強検討
 4. 1 基本的な考え方
 4. 2 既設の特殊橋梁・長大橋梁が確保すべき耐震性能
 4. 3 既設の特殊橋梁・長大橋梁の耐震性能評価に関する基本方針
 - 4.3.1 全体構造系の耐震性能の評価
 - 4.3.2 性能評価の基本事項
 4. 4 既設の特殊橋梁・長大橋梁の耐震補強に関する基本方針
 - 4.4.1 基本的な考え方
 - 4.4.2 耐震補強工法の選定上の留意点
5. 耐震性能の検討事例・耐震補強の検討事例
 5. 1 鋼アーチ橋
 5. 2 鋼トラス橋
 5. 3 鋼斜張橋
 5. 4 鉄筋コンクリートアーチ橋
 5. 5 プレストレスコンクリート斜張橋

図一七 作成した既設の特殊橋梁・長大橋梁の耐震性能評価および耐震補強に関する参考資料の内容



図一六 特殊橋梁・長大橋梁に対する耐震対策工法の選定の流れ

な構造形式が採用されるとともに、多くの特性の異なる部材から構成される構造となる場合も多い。このため、耐震性能の検証方法や耐震補強方法等は、従来の一般的な桁橋形式の橋梁とは異なるのが一般的である。本研究では、特殊橋梁や長大橋梁に対して、現況の耐震性能の評価方法、耐震対策の必要性の評価方法、対策が必要とされる橋に対する耐震補強法の選定の考え方、評価検討例、設計検討例等の情報をまとめた。

既設の特殊橋梁や長大橋梁の性能評価に関しては、橋全体としての耐震性を考慮することが重要である。性能評価の基本事項としては、耐震性能と限界状態の設定、

耐震性能の評価において考慮すべき地震動、橋の構造特性を考慮に入れた性能評価、地震後の橋の状態の評価等を考慮すべきである。図一五は本研究で整理した性能評価の流れを示すものである。

また、特殊橋梁や長大橋梁は、それぞれ特徴的な構造特性を有するため、一律の補強対策工法の適用が容易ではないのが一般的である。このため、1橋1橋の損傷部材の特定と耐震性能の検討、並びにこの結果に応じた耐震対策工法の選定が必要とされる。図一六は、特殊橋梁・長大橋梁に対する一般的な耐震対策工法の選定の流れを示したものである。

図一七は、本研究の成果として作成した既設の特殊橋梁・長大橋梁の耐震性能評価および耐震補強に関する参考資料の内容を示したものである。

5. まとめ

本研究では、平成17年度から平成19年度まで緊急輸送道路の橋梁耐震補強3箇年プログラムの技術的なフォローアップを行うとともに、現場の個別条件を加味した

3.1 補強対策が困難な既設道路橋に対する耐震設計法の開発

性能評価の高度化、耐震水準を考慮した段階的対策方策、対策が困難となる橋に対する新しい工法の検討を行った。本年度の成果をまとめると以下の通りである。

- 1) 3 箇年プログラムの対策として CFRP シートによって段落し部の耐震補強が既に実施された RC 橋脚を対象に、現行（平成 8 年道路橋示方書以降）耐震水準にグレードアップさせる段階的な耐震補強手法の提案を行った。
- 2) 提案した補強工法を適用した RC 橋脚模型に対して正負交番実験を実施し、提案の補強工法の有効性を確認した。
- 3) 対策が困難となる既設特殊橋梁や道路橋示方書の適用範囲外となる長大橋梁を対象に、現況の耐震性能の評価方法、耐震対策の必要性の評価方法、対策が必要

とされる橋に対する耐震補強法の選定の考え方を示した。

- 4) 今後、被災事例の分析をも含めて既設橋梁の性能評価法の高度化、段階的な補強工法の設計マニュアルの作成、対策が困難となる橋梁に対する補強工法の開発を進める。

参考文献

- 1) 川島一彦、大塚久哲、中野正則、星隈順一、長屋和宏：曲げ耐力制御式鋼板巻立て工法による鉄筋コンクリート橋脚の耐震補強、土木研究所資料第 3444 号、平成 8 年 5 月
- 2) (財) 海洋架橋・橋梁調査会：既設橋梁の耐震補強工法事例集、平成 17 年 4 月

SEISMIC RETROFIT STRATEGY FOR EXISTING HIGHWAY BRIDGES

Abstract : The objective of this project is to develop an effective seismic retrofit strategy for existing highway bridges. In FY2007, the follows were conducted:

- 1) four retrofit methods were proposed for upgrading the seismic performance of RC piers step by step according to the required seismic performance levels.
- 2) the effectiveness of the proposed retrofit methods was verified experimentally.
- 3) seismic vulnerability assessment and seismic retrofit methods for long-span bridges and truss/arch type bridges were also studied.

Key words : existing highway bridge, seismic retrofit, phased retrofit method, special bridge