

施工が困難な鉄筋コンクリート橋脚に対する 段階的耐震補強工法に関する実験的研究

張 広鋒* 杉本 健** 運上茂樹***

1. はじめに

平成7年の兵庫県南部地震による甚大な被害の経験を踏まえ、既設橋梁の耐震補強対策が順次進められてきている。耐震補強では、主として落橋等甚大な被害に結びつく可能性のある被害を防止するために、鉄筋コンクリート橋脚に対する巻立て対策や支承破壊に伴う上部構造の大変位を防止する落橋防止構造の設置などが実施されている。耐震補強は、既設の橋梁条件、交通条件下での施工が求められるために、例えば、河川橋などでは大規模な仮締切を必要とするなど、施工が困難となる現場も少なくない。

土木研究所では、このような現場状況に合理的に対応していくことを目的に、現場の状況に応じて既設橋梁の耐震性能を段階的にグレードアップさせていくことができるような段階的な耐震補強工法について研究を実施している。例えば、鉄筋コンクリート橋脚（以下、RC橋脚）では、落橋のような致命的な被害に結びつく可能性のある段落し部の対策をまず実施し、その後時間をおいて、実施した対策を活かしつつ、基部に対する対策を追加して、全体の性能を段階的にグレードアップするというものである。

本文は、段階的耐震補強工法の1つとして繊維材巻立て工法を用いた場合を対象とし、橋脚段落し部の対策から橋脚全体の対策へと、段階的に耐震性能をグレードアップさせる工法を考案し、RC橋脚模型を用いた正負交番載荷実験によりその補強効果を実験的に検証した結果を報告するものである。

2. RC橋脚の段階的耐震補強工法の提案

図-1 は、提案する段階的耐震補強工法の一例を示したものである。第1段階は、段落し部における損傷を防止し、落橋等の致命的な被害に結び

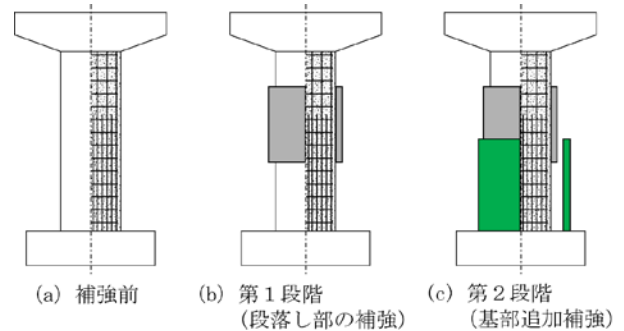


図-1 段階的耐震補強工法のイメージ図

つく可能性を防止するものである。段落し部の対策としては、鋼板巻立て工法や繊維材巻立て工法が一般的である。第1段階の対策により、段落し部での致命的な損傷は防止できたが、大地震時には損傷は基部に移行するため、第2段階では基部においてねばり強く抵抗できるようにすることが必要とされる。基部についても、鋼板やコンクリート巻立て工法により拘束を高めてねばり強くする工法が一般的である。柱全体の耐力が不足する場合には、フーチングにアンカーをとって耐力の増強も行う場合がある。

本研究では、第1段階として段落し部の炭素繊維（CFRP）巻立て工法を実施し、その後に、第2段階として基部に鋼板巻立て工法を追加する場合を対象とした。このようにした場合には、繊維材巻立て工法と鋼板巻立て工法の併用となるため、これらの接合部等の設計方法や構造ディテールが重要となる。

図-2 は、検討した基部鋼板巻立てとCFRP巻立て併用工法を示したものである。橋脚躯体部は、CFRPシートを軸方向および周方向に貼付し、躯体部の曲げ耐力やせん断耐力、あるいはその両方を向上させる。橋脚基部付近では、基部から一定の高さまで鋼板を巻立て、かつ、アンカーを用いて鋼板をフーチングに定着させることによって橋脚全体の曲げ耐力と変形性能を向上させる。

フーチングにアンカーをとって基部の耐力を増加させた場合には、段落し部やCFRPと鋼板の接

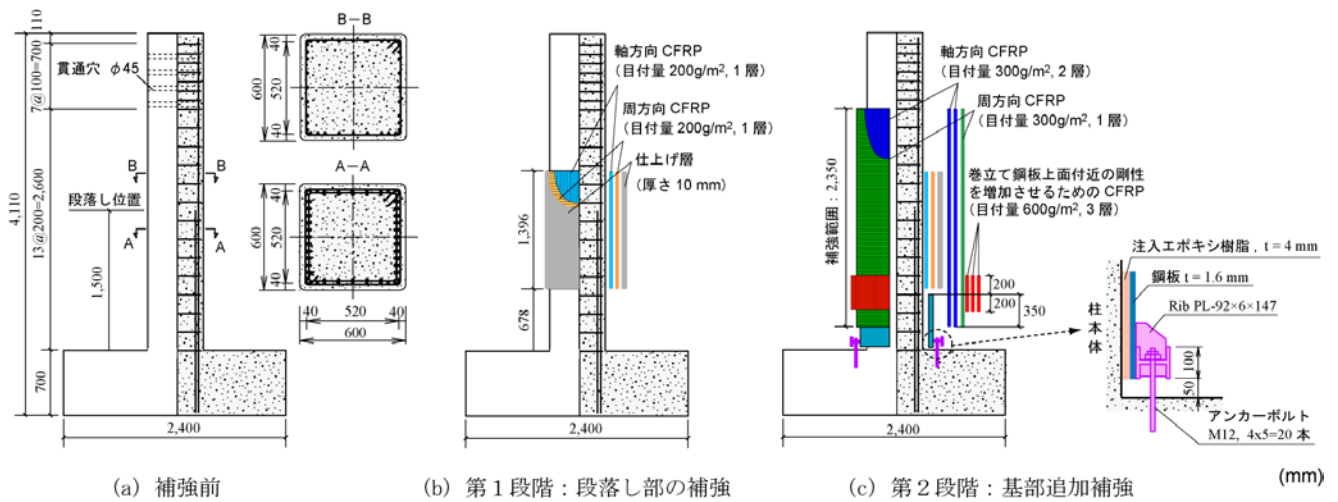


図-2 供試体の詳細

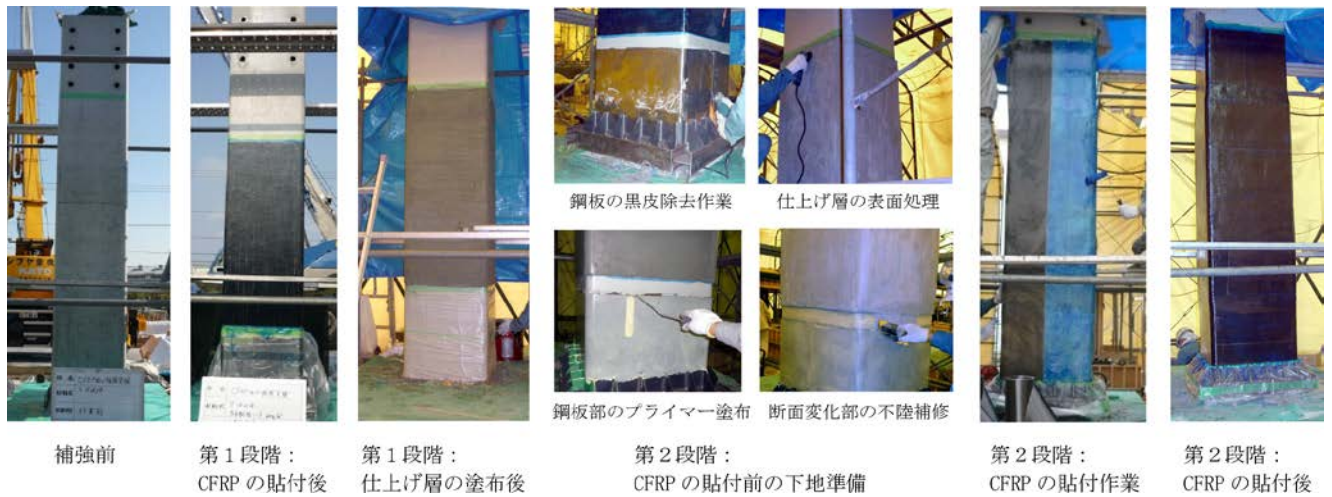


写真-1 供試体の製作写真

着部などの躯体部の断面変化部において相対的に断面耐力が基部よりも低下し、そこに損傷が先行、集中してしまうことも想定されるので、これを適切に照査し、所要の耐力を付与する必要がある。断面変化部は、既存の段落し部の他、鋼板巻立部上面、第1段階での段落し部補強の上下部が断面変化となる。ここでは、式(1)により全ての断面変化部を照査することとし、これを満足する必要補強量を躯体部の追加補強量とした。

$$\frac{M_{Tc0}/h_t}{M_{Bu0}/h_B} \geq 1.0 \quad (1)$$

ここに、

M_{Tc0} : 断面変化部の設計曲げモーメント(kN・m)

M_{Bu0} : 基部断面の終局曲げモーメント(kN・m)

h_t : 断面変化部から上部構造の慣性力作用位置までの高さ(m)

h_B : 基部断面から上部構造の慣性力作用位置までの高さ(m)

ここで、断面変化部の設計曲げモーメント M_{Tc0} の算定は、引張側CFRPの引張ひずみが $3,000 \mu$ に達する時と、圧縮側最外縁コンクリートの圧縮ひずみが ϵ_{cc} (最大圧縮応力に達する時のひずみ³⁾) に達する時の先に発生する時点とした。曲げモーメントの算定は、平面保持に基づく断面計算法により行うこととした。また、 h_t の計算に用いる断面位置は、主鉄筋の段落し部は計算上の主鉄筋段落し位置とし、他の断面変化部はその断面の実高さとした。

表-1 材料物性の一覧

供試体名	コンクリートの圧縮強度 (N/mm ²)	鉄筋の降伏強度		
		軸方向鉄筋 (N/mm ²)	帯鉄筋 (N/mm ²)	アンカーボルト (N/mm ²)
併用工法	35.3	349.5	346.9	383.3
鋼板巻立て	32.6	392.7	337.8	383.8
無補強	37.6			

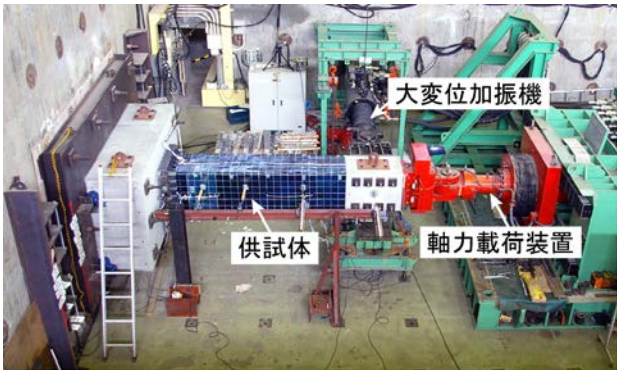


写真-2 実験設置状況

基部における巻立て鋼板部の設計は、鋼板厚さは文献1)により決定し、巻立て高さは1.0Dとした。ここで、Dは、矩形断面の場合は橋軸方向と橋軸直角方向の幅の小さい方、円形断面の場合は直径とした。

3. 検証実験

3.1 供試体の概要

提案する段階的耐震補強工法の有効性を確認するため、2.に示した設計方法を用いてRC橋脚模型1体を設計し、正負交番繰返載荷実験によってその補強効果を検討した。供試体の寸法、補強概要および補強量等を図-2に示す。

供試体の補強は、2段階に分けて行った。第1段階では、段落し部に対して、文献1)に準拠して補強を行った。表面仕上げ層（モルタル）の厚さは、実構造と同様に10mmとした。第2段階では、必要補強量を求め、第1段階の仕上げ層に表面処理（ディスクサンダーによる目荒し）を施した後に追加補強を行った。写真-1は、各補強段階の状況を示したものである。

一方、CFRPシートと巻立て鋼板部の接合部における破壊を防ぐために、目付量600g/m²のCFRPシートを3枚で巻立て部上面より上下

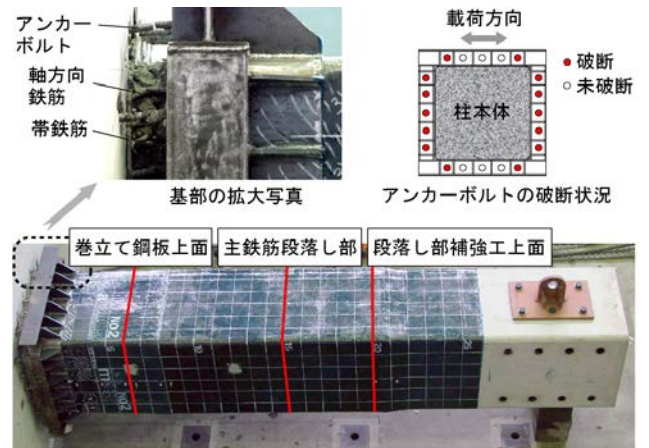


写真-3 実験終了後の状況写真

200mmの範囲に貼り付けた。これは、接合部の耐力を基部断面の終局耐力より十分大きくなるようにしたものである。

補強効果を検証するために、過去に実施した鋼板巻立て供試体と無補強供試体の正負交番載荷結果と比較することとした。鋼板巻立て供試体は、柱全高さに鋼板で巻立て、アンカーは今回の供試体と同一方法（アンカーボルト本数、呼び径および材質）で設置されている。また、無補強供試体は、基部での曲げ破壊になるように、軸方向鉄筋の段落しを行っていない。

表-1は、各供試体に用いたコンクリートおよび鉄筋の材料物性を示したものであるが、いずれもほぼ同程度の特性を有している。

3.2 実験方法

写真-2に実験状況を示す。実験では、供試体を横にした状態で死荷重反力に相当する軸力を作用させながら、加振機によって変位制御で載荷した。軸力は539kNとし、1.5MPaの圧縮応力度に相当する。載荷変位は正弦波とし、載荷速度は10mm/secとした。載荷基本変位 δ_y は降伏変位相当とし、各載荷ステップの繰返し回数は3回を基本とした。

3.3 実験結果

実験では、基準変位 δ_y を12.7mmとし、 $9\delta_y$ まで繰返し載荷を行った。 $3\delta_y$ までは基部にひび割れが発生し、 $6\delta_y$ まではアンカーボルトが9本破断した。実験終了時の $9\delta_y$ では主鉄筋が23

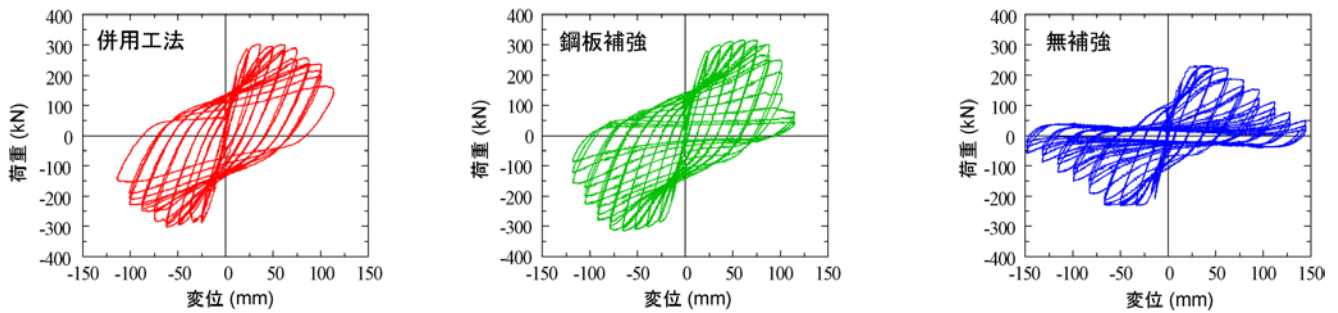


図-3 水平荷重－水平変位の履歴曲線

本破断し、コアコンクリートの損傷も顕著となった。写真-3に実験終了後の供試体の状況写真を示す。基部におけるアンカーボルトや主鉄筋の破断、コアコンクリートの破壊状況が確認できる。なお、巻立て鋼板の上面や既存の段落し部等の断面変化部では変状は認められなかった。

図-3、4に水平荷重－水平変位の履歴曲線および履歴曲線の包絡線の比較を示す。併用工法供試体は、無補強供試体より高い荷重や変形性能を発揮しており、鋼板巻立て供試体とおおむね同程度の耐力～変形性能を示すことが確認された。

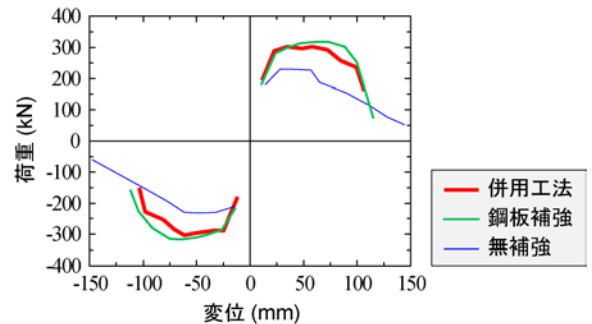


図-4 履歴曲線の包絡線

4. まとめ

本研究では、RC橋脚の段階的耐震補強工法の一工法として、CFRPシートと鋼板巻立て工法を併用した補強方法を考案し、その補強効果を実験的に検証した。検討の結果、本補強工法を適用する場合は、従来の柱全体に対する鋼板巻立て工法を適用する場合と同程度の耐震性能を発揮できることが確認できた。

なお、本工法を適用することにより、断面変化部が形成され、全ての断面変化部に対して性能照査を行う必要があるとともに、鋼板とCFRPシ-

ト間の確実な接着方法や構造ディテール、段落し部の既存補強と新たに追加するCFRPシート間の接着性能等の確実性などについて確認が必要とされる。

参考文献

- 1) (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
- 2) 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
- 3) 社団法人日本道路協会：道路橋示方書・同解説、V耐震設計編

張 広鋒*



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 任期付研究員、博 (工)
Dr. Guangfeng ZHANG

杉本 健**



本州四国連絡高速道路(株)長大橋技術センター技術調整グループ サブリーダー
(前独立行政法人土木研究所耐震研究グループ耐震チーム主任研究員)
Takeshi SUGIMOTO

連上茂樹***



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、工博
Dr. Shigeki UNJOH