

鉄道一般

車両

軌道

構造物

防災

電力

信号通信  
情報

材料

環境

人間科学

浮上式鉄道

# 既設高架橋の耐震性を向上する

兵庫県南部地震では、多くの鉄道高架橋が甚大な被害を受けました。その後、巨大な地震に対しても壊滅的な被害を受けることを防ぐために、鉄道高架橋の耐震補強が進められてきました。現在、多くの構造物の耐震補強が完了しましたが、駅部や高架下が店舗などに利用されている箇所など、施工上の制約がある高架橋では、未補強の部分も残されています。ここでは、このような場合にも適用可能な耐震補強工法について紹介します。

## 鉄道高架橋の耐震補強

平成7年1月に発生した兵庫県南部地震では、多くの鉄道構造物が甚大な被害を受けました。特に被害が大きかった地域には、鉄筋コンクリート（以下、RC）造のラーメン高架橋が多く存在していたこともあり、RCラーメン高架橋の柱の損壊が多数発生しました。このような状況を鑑みて、平成7年7月に「既存の鉄道構造物に係る耐震補強の緊急措置について」が提言され、新幹線構造物および輸送量の多い線区を中心に、大規模な地震に対しても構造物が崩壊しないことを目標とした耐震補強が行われてきました。また、平成23年3月には、東北地方太平洋沖地震が発生し、鉄道高架橋も被害を受けたことから、さらに耐震補強を進めていくことが求められています。

当初、RC高架橋柱の耐震補強工法としては、図1に示すような、柱を鋼板で巻立てた後に、柱と鋼板の間にモルタルを充填する鋼板巻立て補強工法が広く採用されてきました。その後、施工性や経済性などを考慮した多くの耐震補強工法が開発され、実施工に採用されています。最近では、駅部におい

て高架下が店舗や駅施設として利用されている場合や、クレーンなどの大型の建設機械が使用できない場合など、施工上の制約が厳しいケースが散見されています。そのため、これらのケースに適用可能な、鋼板巻立て補強に代わる工法が開発されてきています。

## 分割帯鉄筋を用いた新しい耐震補強工法の開発

鋼板巻立て補強など、大型の建設機械が必要となる工法が適用できない場合に、それに代わる耐震補強工法の一つとして組み合わせ鋼材巻立て補強工法（以下、CBフープ（Combination Hoop）工法）の概要を紹介します。CBフープ工法は、図2に示すように、既存の柱の周りに分割した帯鉄筋を配置し、これらを固定アングルと連結ピンおよび結束金具を用いて緊結した後、吹付けモルタルを施工して一体化する工法です。この工法は、

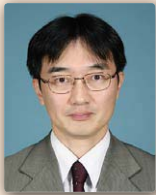
- ・特殊な材料を使用しないので材料費が安価であること
- ・分割した帯鉄筋を使用するため、鋼板巻立て工法に比べて施工性が向上すること



岡本 大  
Masaru Okamoto  
構造物技術研究部  
コンクリート構造研究室  
主任研究員  
[専門分野] コンクリート工学



堀 慎一  
Shinichi Hori  
構造物技術研究部  
コンクリート構造研究室  
研究員  
[専門分野] コンクリート工学



谷村 幸裕  
Yukihiro Tanimura  
構造物技術研究部  
コンクリート構造研究室  
室長  
[専門分野] コンクリート工学

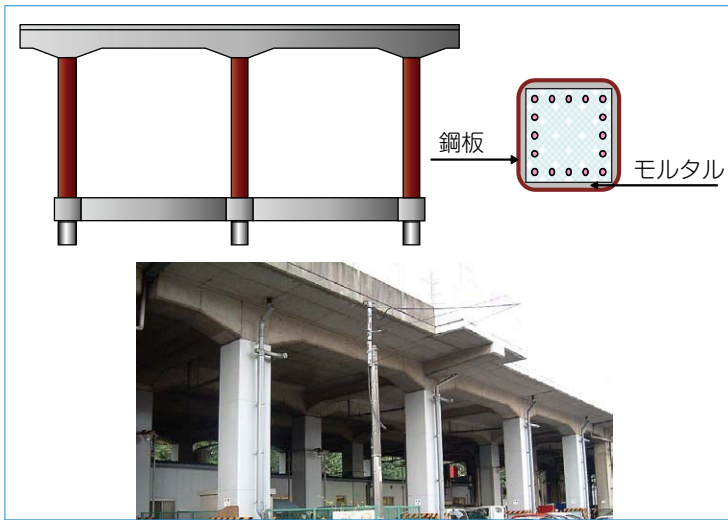


図1 ラーメン高架橋柱の鋼板巻立て工法と施工例

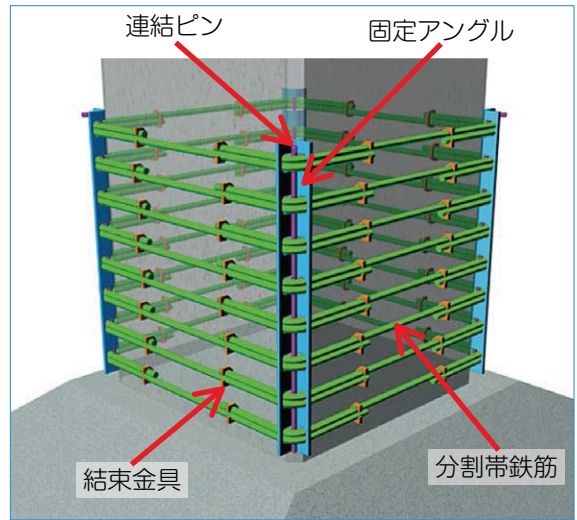


図2 組み合わせ鋼材巻立て工法(CB フープ工法)の概要

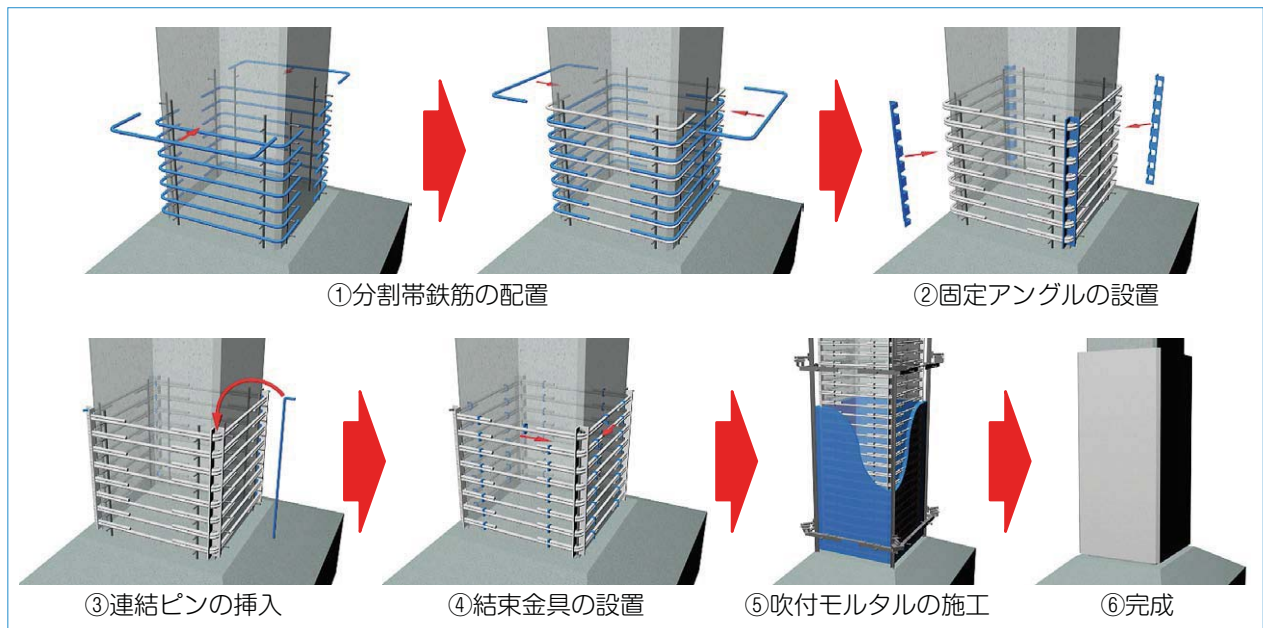


図3 CB フープ工法の施工手順

・吹付けモルタルの施工により型枠を省略できるため工期を短縮できることが特徴であり、経済性と施工性の両面で優れています。

CBフープ工法の施工手順を図3に示します。

①既設柱の汚れなどを除去し、周囲

に組み立て用の治具を使用して分割帯鉄筋を配置

②柱の四隅に分割帯鉄筋を固定するためのアングルを設置

③連結ピンを用いて緊結

④帯鉄筋の重ね継手部に結束金具を設置して分割帯鉄筋をより強固に緊結

⑤吹付けモルタルの吹付け厚を管理するための定規を設置した後に吹き付けモルタルを施工

⑥吹付けモルタルの施工が完了した後に金ゴテで表面仕上げを行い、吹き付けモルタル施工用の定規を撤去して完成



図4 実大試験体の荷重実験

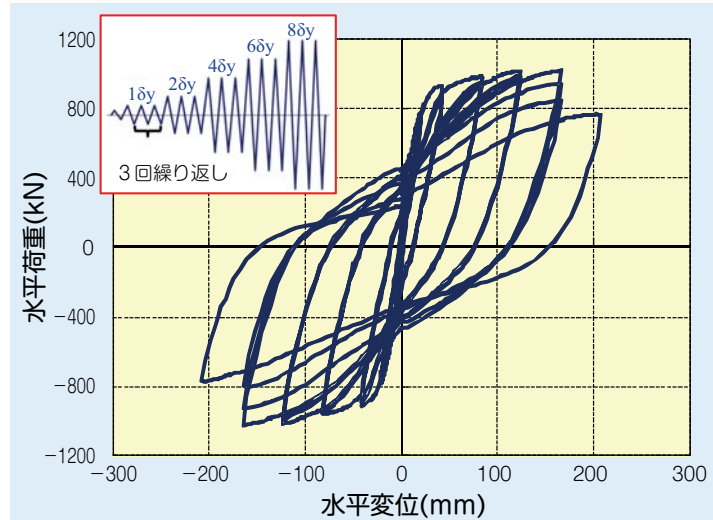


図5 荷重—変位関係

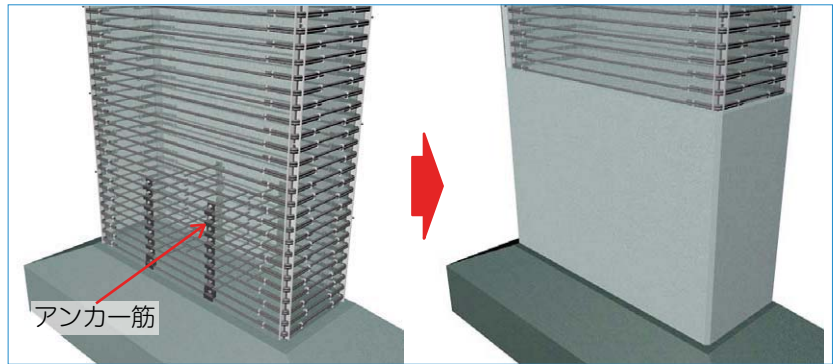


図6 橋脚へのCBフープ工法の適用

### 荷重試験による補強効果の検証

CBフープ工法の耐震補強効果を検証するため、ラーメン高架橋の柱を模擬した実大規模の試験体を用いて、図4に示す荷重実験を行いました。この実験では、構造物の自重などを考慮して鉛直方向に一定の軸力を荷重しながら、水平力を交番荷重しました。なお、図5に示すように、柱の軸方向の鉄筋が水平力を降伏する変位を $1\delta y$ として、 $2\delta y$ 、 $4\delta y$ ・・・と変位を増加させながら、各変位で荷重を3回繰り返しました。この繰り返しは、地震動が多数回繰り返すことの影響を考慮したものです。

実験の結果、無補強ではせん断破壊(☞参照)を生じてしまう柱をCBフープ工法で耐震補強することによって、

せん断破壊を防止できることが確認できました。また、図5に示すように、補強することで、従来の鋼板巻立て補強と同様に地震時に大きく変形する性能を付与できることが確認できました。

### 橋脚の耐震補強へのCBフープ工法の適用

当初、鉄道高架橋の耐震補強は主に図1に示すようなRCラーメン高架橋の柱を対象に行われてきましたが、現在では、河川を横断するRC橋脚についても必要に応じて耐震補強が実施さ

れています。橋脚は、断面形状が長方形の場合があることや、多くの場合大断面である点がラーメン高架橋の柱と異なります。そのため、ラーメン高架橋柱のように、柱の外周に帯鉄筋を配置するだけでは補強効果が小さいことがわかっています。橋脚に対して効果的な耐震補強を実施するためには、水平力による橋脚の軸方向鉄筋の変形を抑える必要があります。そこで、図6に示すように、柱の長手方向の面にアンカー筋を施工することで、橋脚の軸方向鉄筋の変形を抑制する方法を提案しました。なお、ラーメン高架橋と同様の荷重試験を実施し、橋脚の耐震補強法として効果的であることも確認しました。また、この方法は、駅部のラーメン高架橋の柱など、断面寸法が大きな柱に対しても有効です。

#### ☞ せん断破壊

兵庫県南部地震で高架橋に甚大な被害をもたらしたのは柱のせん断破壊です。せん断破壊は、地震の影響などで横方向(水平方向)に力を受けた時に柱の斜め方向にひび割れが発生し、帯鉄筋が少ない場合には斜めひび割れのずれが拡大して、高架橋の崩壊に至ってしまうものです。せん断破壊は、斜めひび割れが拡大すると急激に耐荷力が低下し、脆い破壊となるのが特徴です。

表1 対象とした耐震補強工法の概要

耐震補強工法	工法の概要
鋼板巻立て補強	既設 RC 柱全長を鋼板で取り囲み、既設 RC 断面と鋼板の隙間に充填材を注入して一体化する工法。
鋼製パネル組み立て補強	小型の鋼製パネルを組み合わせて既設柱断面を取り囲み、鋼製パネルと既設 RC 断面との隙間に充填材を注入して一体化する工法。
波形分割鋼板巻立て補強	部材軸方向全長に、波形に切断加工した鋼板（波形分割鋼板）で既設柱断面を取り囲み、既設 RC 断面と鋼板の隙間に充填材を注入して一体化する工法。
スパイラル筋巻立て補強	部材軸方向全長に、既設柱断面をスパイラル筋で取り囲み、モルタルにより既設 RC 部材とスパイラル筋を一体化する工法。
吹付けモルタル補強	補強帯鉄筋を水平工法に必要な本数配置し、吹付けモルタルで補強帯鉄筋を固着および被覆する工法。
組み合わせ鋼材巻立て補強（CB フープ工法）	既設柱の周りに分割した帯鉄筋を配置し、これらを緊結後に吹付けモルタルを施工して一体化する工法。
RC プレキャスト型枠工法	プレキャストパネルを既設柱断面の周辺に取り付け、継手鋼材によって閉合したのち、柱とプレキャストパネルの空隙をグラウト材にて注入して一体化する工法。
外部スパイラル巻立て補強	分割したプレキャストコンクリートブロックを柱部材に取り付け、鋼より線を巻きつけることによって補強を行う工法。

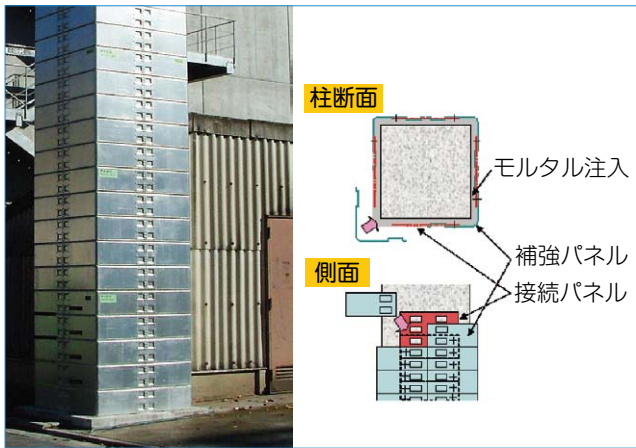


図7 鋼製パネル組み立て補強



図8 波型分割鋼板巻立て補強

CBフープ工法は、(公財)鉄道総合技術研究所と東急建設(株)の共同研究の成果です。

### 耐震補強指針の改訂

(公財)鉄道総合技術研究所では、これまでに多くの耐震補強工法に関する設計・施工指針を取りまとめました。この度、前述のCBフープ工法と併せて、これまでに発刊されてきた耐震補強指針を統合・改訂しました。新しい指針で対象とした工法の概要を表1に示します。対象とした工法は、鋼板やコンクリートで柱を巻き立てる耐震補強工法のうち、補強効果が実大規模の載荷実験によって確認されていること、および地震の繰り返しの

影響を考慮して、図5に示すような同一変位で3回繰り返す交番載荷実験が実施されていることを条件に選定しています。指針に示した耐震補強工法は、補強材料として鋼板を用いているもの、モルタル吹付けによるもの、プレキャストコンクリートを用いたものの3種類に分類されます。従来のように、鋼板を補強材料として使用した場合についても、図7および図8に示すように、分割した鋼板を用いることで人力で施工できる工法が示されています。

### おわりに

現在、駅部など高架下を店舗や駅施設として利用している箇所については耐震補強が未実施の高架橋の柱が残っ

ています。その原因は、施工上の制約が厳しいことや補強工事期間中の営業補償の問題などが挙げられます。今後、このような高架橋の耐震補強を推進していく上で、今回ご紹介した耐震補強工法が少しでも寄与できればと考えています。RRR