



新材料を用いた道路構造物の耐震補強

長田 光司

高速道路は震災後の復旧時に広域的な緊急運搬路として使用されることとなっており、大規模地震後も供用性を維持することが求められている。高速道路は流出入箇所がインターチェンジに限定されるため路線としての耐震性が重要であり、耐震補強は路線全体の耐震性向上を目指して進められている。路線としての耐震性向上のためには耐震上の弱点箇所を克服しておく必要があるが、周辺の利用状況等により制約条件が厳しいため、従来行われてきた工法では耐震補強の着手が困難な箇所も少なくなかった。そこで、日本道路公団では「連続繊維巻立て工法」を標準的な工法として採用し、制約条件の厳しい箇所でも比較的容易に耐震補強を行うことが可能となった。本報文は日本道路公団で採用されている耐震補強工法の概要を概説し、連続繊維巻立て工法の適用事例として高さ 60 m を超える橋脚で炭素繊維シートを用いて補強した事例を紹介する。

キーワード：耐震補強，連続繊維，高橋脚，ゴンドラ施工

1. はじめに

道路は地震後の被災地域への生活物資及び復興資材の運搬に不可欠であり、高速道路は震災後の広域的な緊急運搬路として周辺自治体の復旧計画の中にも組み込まれている。

高速道路はインターチェンジからしか流入流出が出来ないため、1箇所でも通行不能な箇所があるとインターチェンジ間を通行止めにしなければならない。したがって、路線としての耐震性が特に重要である。この中で橋梁は致命的な損傷を受けた場合、復旧に時間が掛かるため、路線全体の復旧性において特に優先順位の高い構造物として位置付けられる。

本報文では日本道路公団で採用されている耐震補強工法の概要とその中で新素材として連続繊維シートを用いた耐震補強工法（以下、連続繊維巻立て工法と記す）の位置付けを概説し、適用事例を紹介する。

2. 日本道路公団における橋脚の耐震補強

日本道路公団の管理する橋梁は全国で約 13,000 橋あり、橋脚の基数は約 60,000 基に達する。これらの橋梁は過去約 40 年にわたり設計施工されてきた構造物であり、設計された時期により設計基準が異なるため、耐震性能が異なる。

この中で剪断及び定着に関する改定が行われた昭和 55 年の道路橋示方書以前の設計基準で設計された橋梁は、弾性範囲内を超える地震動に対して脆性的な破壊の危険性が懸念され、最優先で耐震補強を推進することが決定された。

日本道路公団は平成 7 年度から 9 年度の 3 カ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。また、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た。

今後も路線としての耐震性向上を考慮して定めた優先順位に基づき、引続き耐震補強を行う予定である。

3. 日本道路公団で採用している耐震補強工法の概要

耐震補強を必要とする橋脚の中には、周辺の利用状況や構築されている環境等により補強後の断面や施工方法に大幅な制約が付けられる箇所も少なくない。しかしながら、路線としての耐震性を向上させるためには、優先順位に従った工事着手が必要であり、施工が大変だからといって工事着手を遅らせていたのではいつまでたっても路線としての耐震性は向上しない。このため、制約条件を克服できる工法の選定を行っている。

日本道路公団で現在標準的に採用されている耐震補

工 法	RC 巻立て工法	鋼板巻立て工法	連続繊維巻立て工法
概略図	<p>上部工 橋脚柱 基礎部</p> <p>補強鉄筋</p> <p>巻立てコンクリート</p>	<p>充填料 (無収縮モルタル)</p> <p>補強鋼板</p> <p>根巻コンクリート</p>	<p>縦方向 横方向</p> <p>表面仕上げ</p>
補強厚	25 cm	4 cm 前後	1~2 cm
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

図一1 鉄筋コンクリート橋脚の耐震補強工法の特徴

強工法の特徴を図一1 に示す。

(1) RC 巻立て工法

RC 巻立て工法は既設の橋脚の外側に補強鉄筋を配置してコンクリートを打設する補強工法で、^{せん断}剪断補強、^{じん}段落し部補強、^{じん}靱性補強に有効であり、フーチングに補強鉄筋をアンカー定着することにより曲げ耐力補強も可能である。

RC 巻立て工法は経済性に優れ、補強後の維持管理が容易である。したがって3工法のうち、どの工法でも採用可能な場合、RC 巻立て工法が採用されることが多い。しかし、確実にコンクリートを打設するためには被り、鉄筋径および既設橋脚との空きを考慮して最低 25 cm 程度の厚さで補強する必要があり、この結果断面が両側合計 50 cm 増加する。また、現場でのコンクリート打設に伴い一定期間の足場および型枠の存置が必要となる。

このため、橋脚周辺に供用中の交差道路がある場合などでは RC 巻立て工法の採用が困難な場合がある。

(2) 鋼板巻立て工法

鋼板巻立て工法は既設橋脚に沿って鋼板を配置し、鋼板と既設橋脚との間を無収縮モルタルで充填し、一体化を図る工法である。

RC 巻立て工法と同様に剪断補強、段落し部補強、靱性補強に有効であり、基部周辺にフーチングにアンカー定着した RC 構造を構築し、この RC 構造を介することにより曲げ耐力を補強することも可能である。

鋼板巻立て工法は、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。

(3) 連続繊維巻立て工法

連続繊維巻立て工法は橋脚コンクリートの表面に樹脂を含浸させた連続繊維を貼付ける工法で、段落し部の曲げ補強や剪断補強、橋脚基部の靱性補強に有効な工法である。耐震補強を目的とした連続繊維には炭素繊維シートやアラミド繊維シートが使用されている。

連続繊維巻立て工法に必要な資材は連続繊維、ローラ、エポキシ樹脂等であり、これらはすべて人力で容易に搬入できる。したがって、橋脚位置までの進入路の整備の必要がない。また、河川内の高橋脚でもゴンドラ足場を使用することにより1年間を通して作業が可能である。

4. 東名高速道路酒匂川橋における連続繊維シートを用いた耐震補強

(1) 施工対象橋脚の概要

連続繊維シートを用いた耐震補強の事例として東名高速道路酒匂川橋の事例を紹介する。

東名酒匂川橋の一般図は図一2 に示すとおりである。本橋は、下り線専用で東名高速道路の神奈川県と静岡県の県境付近に位置し、右ルートと左ルートとがある。施工対象橋脚はこのうち図一2 に示された右ルート及び左ルートの P₁~P₄ の合計 8 橋脚であり、橋脚の一部は酒匂川の河川内に構築されている。本橋脚は

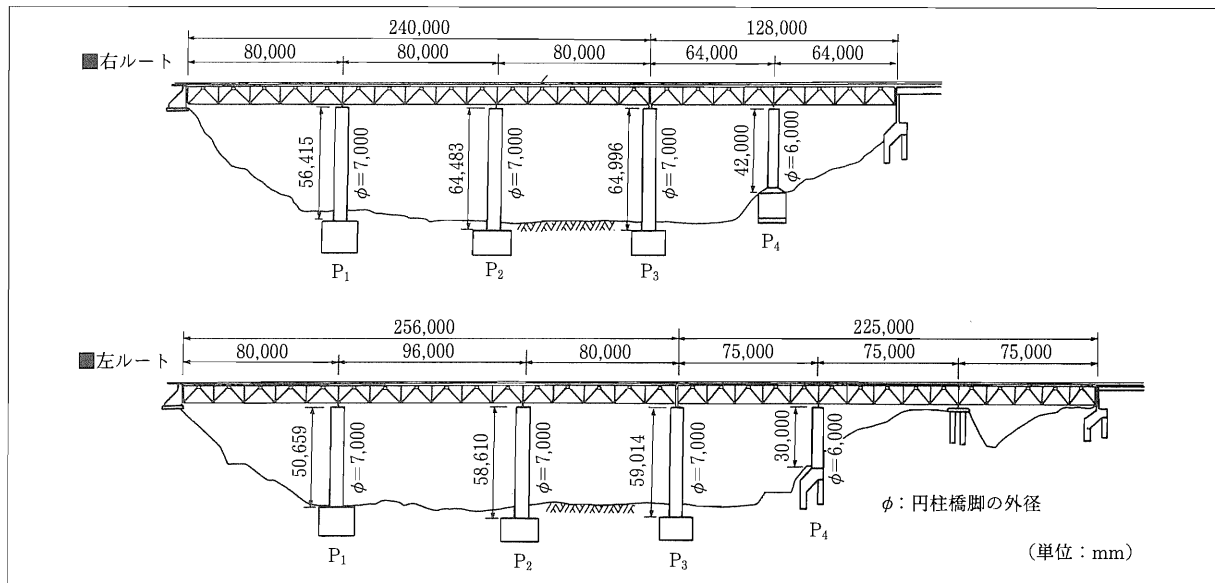


図-2 東名高速道路路酒匂川橋一般図

高さ 30 m～65 m の円柱式橋脚であり、外径は全高にわたり均一で直径 7 m または 6 m である。橋脚内部は中空になっていて 3～4 箇所断面変化しており、最も薄い橋脚天端付近の肉厚はすべての橋脚で 0.6 m である。また、全橋脚のすべての断面変化位置で段落しされている。

本橋は昭和 55 年以前の道路橋示方書に基づき設計されており、橋脚の終局状態に対する照査は行われていない。したがって当初想定していた地震力を大幅に上回る地震力に対しては脆性的な破壊をする可能性があり、緊急に耐震補強を行う必要があった。

(2) 補強工法の決定

本橋脚は河川内に構築されており、洪水時の氾濫等に対する河川管理上の理由から橋脚断面の増加には制約があった。また、出水期には上流のダムが放水するため、この期間の型枠及び足場設置は不可能であり、RC 巻立て工法は採用できなかった。

鋼板巻立て工法を行うためには鋼板搬入のための重機の使用と足場設置が必要となる。出水期の河川断面内での足場の設置や重機作業は不可能であり、重量物を河川外から搬入及び架設するための大規模な仮設構造物が必要であるが、この場合荷役設備費だけでも工費が 20% 程度増加し、施工効率も低下する。

一方、連続繊維巻立て工法では補強に使用する主材料を人力により河川外から搬入すれば、出水期中の作業はゴンドラを使用することにより可能であり、この場合 1 年間を通して施工が可能である。

以上のことから、河川内の高橋脚の耐震補強には連続繊維巻立て工法が有利であり、本橋では炭素繊維シ

ートを用いた連続繊維巻立て工法が採用されることとなった。

(3) 炭素繊維シート

現在土木分野で使用されている炭素繊維シートは、炭素繊維フィラメントを 12,000～24,000 本程度集めたストランドをシート状に引揃え、薄層の粘着樹脂により網目状に固定するか、ガラス繊維を横糸に織込んで固定し製品として出荷されている。

弾性係数は 230～640 GPa、引張強度は 1,900～3,400 MPa のものが生産されているが、橋脚の耐震補強には弾性係数 230 GPa 程度、引張強度 3,400 MPa 程度のものが使用されている。

単位面積当たりの炭素繊維量は目付量により表現され、橋脚の耐震補強に使用されている炭素繊維シート 1 枚当たりの目付量は 200～300 g/m² 程度であり、実際の工事では設計上必要な炭素繊維シート量に応じて積層状にエポキシ樹脂を含浸させながら必要枚数を躯体に貼付けることとなる。

炭素繊維シートは幅 250～500 mm 程度、長さ 50～100 m のシートをロール状に巻いたものが一般的に流通しており、現場ではこれを一定の長さに切断して貼付け作業を行う。

(4) 躯体コンクリートの補修

段落し部の曲げ補強では、炭素繊維シートとコンクリートと一体化による荷重伝達を期待しているため、一体化を確保することが重要となる。

炭素繊維シートとコンクリートとの一体化とは厳密には炭素繊維シートとエポキシ樹脂及びエポキシ樹脂

と躯体コンクリートとの一体化のことであり、通常のコンクリート強度では後者の方が小さな値となるため支配的となる。躯体コンクリートが損傷していると一体化性状が悪化し、設計時に期待している補強効果が発揮できない可能性があるため、適切な補修を実施する必要があった。

本橋では、型枠固定金具の発錆に伴う周辺コンクリートの剥離箇所や建設時に使用した仮設材撤去後の後打ちコンクリートの剥離箇所^{はく}で一体化不良の認められたコンクリートをすべて除去し、ポリマー系モルタルで断面修復した。また、0.2mm以上の幅のひび割れおよび漏水の認められたひび割れは、シール後低粘性のエポキシ樹脂を低圧注入した。

(5) 炭素繊維シート巻立ての品質管理

施工後、設計時に想定した所定の品質を供用期間中持続して確保するためには、施工欠陥に対する品質管理が重要となる。

炭素繊維シート巻立てで頻繁に見られる施工欠陥としては気泡の発生及び白化現象を挙げることができる。気泡の発生とは施工中にエポキシ樹脂に空気が混入することであり、白化現象とは水とエポキシ樹脂が反応し、エポキシ樹脂が当初想定している化合物とは別の化合物になることである。これらの発生は入念な管理下で施工を実施しても発生確率をゼロとすることは困難であり、発生原因を整理し発生確率を抑制することが大切となる。

本工事で実施した品質管理とその効果をまとめると表一のとおりとなる。

表一 施工時に生じる欠陥とその主な対策

施工欠陥の種類	欠陥により生じる不具合	主な原因	主な対策方法	対策の効果
気泡発生	炭素繊維シートの付着強度の低下・耐久性の低下	下地の凹凸	下地の平滑化の徹底	気泡の発生確率を面積比で1/50まで低減した
		炭素繊維シート貼付け時の空気巻き込み	脱泡作業時間を管理	
		含浸材攪拌時の空気混入	樹脂の初期硬化後の補修	
		炭素繊維シートへの含浸不足	含浸材の下塗り及び上塗り量の管理	
		エポキシ硬化中の温度上昇	直射日光を受けない箇所 ^{はく} で施工する	
白化		施工時の降雨・高湿度	作業着手の判断の徹底	発生確率をほぼゼロに低減
		養生中の結露	大型エアコンディショナにより現場内の温度及び湿度を管理	白化発生箇所を限定させた

(6) 炭素繊維シート貼付け

本橋脚は高さ60mを超える中空の高橋脚であり炭素繊維シート補強量はその特殊性を考慮して実験により検証^{1),2)}して最終決定された。

表一2に各橋脚の炭素繊維シート補強量の最大値を示す。各橋脚での最大補強量は剪断補強で3層、曲げ補強量は6~10層となった。本工事で使用した炭素繊維シート量は延べ面積約50,000m²、その量は約15tであった。

表一2 各橋脚の炭素繊維シート補強量の最大値

橋脚名	曲げ補強量*	剪断補強量*
P1	右ルート 9層	3層
	左ルート 6層	3層
P2	右ルート 8層	3層
	左ルート 9層	3層
P3	右ルート 10層	3層
	左ルート 7層	3層
P4	右ルート 9層	3層
	左ルート 6層	3層

*最大層数補強箇所の一層あたりの炭素繊維シート目付け量はすべて300g/m²

グラビヤに円形大型 Gondra 足場および一般ビル用 Gondra を使用した炭素繊維シート貼付け状況をそれぞれ示す。写真一1、写真一2に示したとおり、円形大型 Gondra でも一般ビル用 Gondra でも施工は可能であった。

円形大型 Gondra は周方向の補強を連続して行える点で有利であったが、補強対象の橋脚の直径は7mであり縦方向の作業に差が生じた場合でも同じ高さでしか作業ができない点で不利であった。

一方、一般ビル用 Gondra は工程の進行に合わせてパーティー毎に微妙な高さ方向の調整が可能であり、縦方向の貼付けでは作業性が向上する点で有利であったが、フープ方向の連続的な作業や Gondra 自体の風に対する安定性で不利となった。

(7) 表面防護

供用期間中における炭素繊維シートの補強性能の低下防止を意図した表面保護は、外的衝撃作用による炭素繊維シートの破損を防止する目的のものと、マトリックスとして使用しているエポキシ樹脂の紫外線劣化を防止する目的のものとに大別できる。

本橋は河川内の橋脚も補強対象となっており、河川内の橋脚の計画水位までの範囲で転石、流木による炭素繊維シートの破損防止を目的として表面保護を行う必要があった。

河川内の橋脚を炭素繊維シート巻立て工法により補

強した事例は過去にほとんど無かったため本橋で使用する材料及び施工厚さは実橋脚が完成後過去30年間に受けた転石流木による損傷状況の調査結果を参考に決定した。

調査の結果、炭素繊維シート巻立て箇所周辺のコンクリートの損傷は数mmであったため、表面保護にはコンクリートと同等以上の付着強度及び耐衝撃性能を有する材料を用いて10mmの厚さで巻立てることとした。種々の材料の性能及び経済性を比較した結果、本橋ではポリマー系モルタルを用いることとした。

河川断面以外の範囲では、エポキシの紫外線劣化対策と景観上の配慮からフッ素樹脂塗料または2mm厚さのポリマー系モルタルを用いて表面保護を行った。表面保護後の完成状況はグラビヤに示したとおりである。

5. おわりに

高速道路は路線として機能しているため、路線の中で耐震上の弱点を作らないように耐震補強を進めていくことが大切である。このためには、制約条件の厳しい箇所での耐震補強を進める必要があり、日本道路公団では施工が困難な箇所においても比較的容易に耐震補強を行うことが出来るように連続繊維巻立て工法が標準工法の一つとして加えられた。

本報文では連続繊維巻立て工法の事例として高さ60mを超える橋脚で炭素繊維巻立て工法により耐震補強した事例を紹介した。本報文で紹介した橋脚の耐震補強は平成10年3月に完了している。兵庫県南部地震から約3年で本橋のような施工の困難な高さ60mを超える橋脚の耐震補強を行い、路線としての耐震性の底上げが図ることのできた意義は大きいと思われる。

本橋の耐震補強にあたっては、横浜国立大学名誉教授・池田尚治博士のご指導を賜った。ここに心から謝意を表します。

JCMA

《参考文献》

- 1) 長田光司・山口隆裕・池田尚治：軸方向鉄筋量と断面の肉厚が変化する中空断面RC橋脚の耐震性能とその耐震補強，コンクリート工学論文集，Vol.10，No.1，pp.13-24，1999.1
- 2) 長田光司・矢島尚彦・寺田光太郎・池田尚治：鉄筋コンクリート高橋脚の炭素繊維シートによる耐震補強，コンクリート工学論文集，Vol.11，No.3，pp.39-48，2000.9

【筆者紹介】

長田 光司（おさだ こうじ）
日本道路公団
試験研究所
橋梁研究室
主任



建設機械用語集

- ・建設機械関係業務者一人一冊必携の辞典。
- ・建設機械関係基本用語約2000語（和・英）を収録。
- ・建設機械の設計・製造・運転・整備・工事・営業等業務担当者用辞書として好適。

B5判 200頁 定価2,100円（消費税込）：送料600円
会員1,890円（消費税込）：送料600円

社団法人 日本建設機械化協会

〒105-0011 東京都港区芝公園 3-5-8（機械振興会館） Tel.03(3433)1501 Fax.03(3432)0289