

特殊条件下における橋脚の耐震補強

久保昌史¹・村上かおり¹・辻正邦¹

¹正会員 清水建設株式会社 土木技術本部 ライフサイクルエンジニアリング部
(〒105-8007 東京都港区芝浦1丁目2-3)

兵庫県南部地震以降、道路橋橋脚に対する耐震基準が改訂され、旧基準で建設された既設橋脚に対する耐震補強が現在まで行なわれている。しかし、港湾や河川中の水中橋脚、および特殊な形状や狭隘箇所における橋脚に対しては、設計や施工上の制約を受けることから、いまだ補強が進んでいない状況である。

著者らは、これまで、水中にある橋脚に対して締め切りを行わずに施工可能な、機械式継手を用いたかみ合わせ鋼板巻立て工法による耐震補強を実施してきた。また、特殊な形状の橋脚に対して炭素繊維シートを巻立てる際に、金属アンカーの代わりに炭素繊維ストランドアンカーを用いて炭素繊維シートを定着するCFアンカー工法についても実績がある。

本報では、これらの工法の特徴および実構造物に適用した施工事例を紹介する。

キーワード：耐震補強，かみ合わせ継手，水中施工，特殊形状，CFアンカー

1. はじめに

水中や狭隘箇所等の特殊な条件下にある橋脚については、施工上の制約条件から耐震補強対策が遅れている。本報では、水中施工が可能で河川内の仮締め切りが不要である「かみ合わせ鋼板巻立て工法」、および特殊な形状の橋脚に対して、金属アンカーの代わりに炭素繊維ストランドアンカーを用いて炭素繊維シートを定着する「CFアンカー工法」について、工法概要および施工事例を示す。

2. かみ合わせ鋼板巻立て工法

かみ合わせ継手とは、図-1 に示すように鋼板の接合方法として開発された鋸刃状の機械式継手で、凹凸の歯形を組み合わせることで力を伝達させる構造であるため現場での溶接の必要がない。本工法は、予め工場で補強鋼板の接続縁に本継手を溶接した成形鋼板を用いることで、現場では機械的な接合のみで一体化が可能となる工法である。また、一般的に使用する溶接継手に比べ以下の特徴を有する。

- ・雨天などの気象条件や溶接資格者の技能等に左右されず、品質確保が容易である。
- ・水中部の施工時に仮締め切りを必要としないことから、河積阻害率が小さい。
- ・現場溶接による補強鋼板のひずみが生じないこと

から大板による施工が可能となり、現場の工期短縮が可能である。

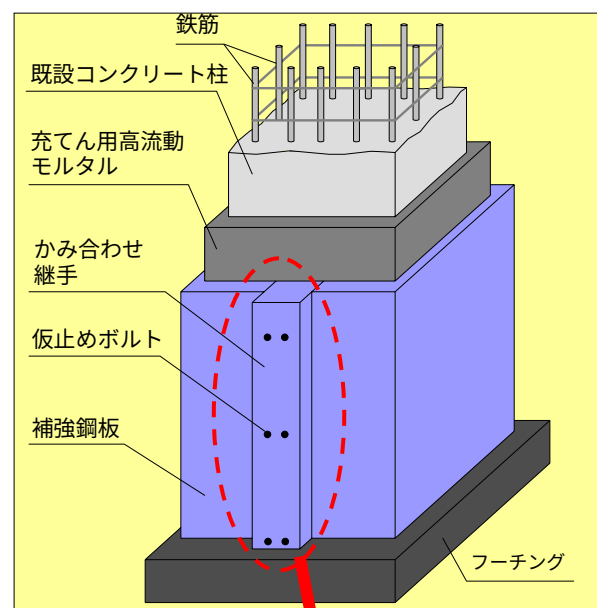


図-1 かみ合わせ継手概要

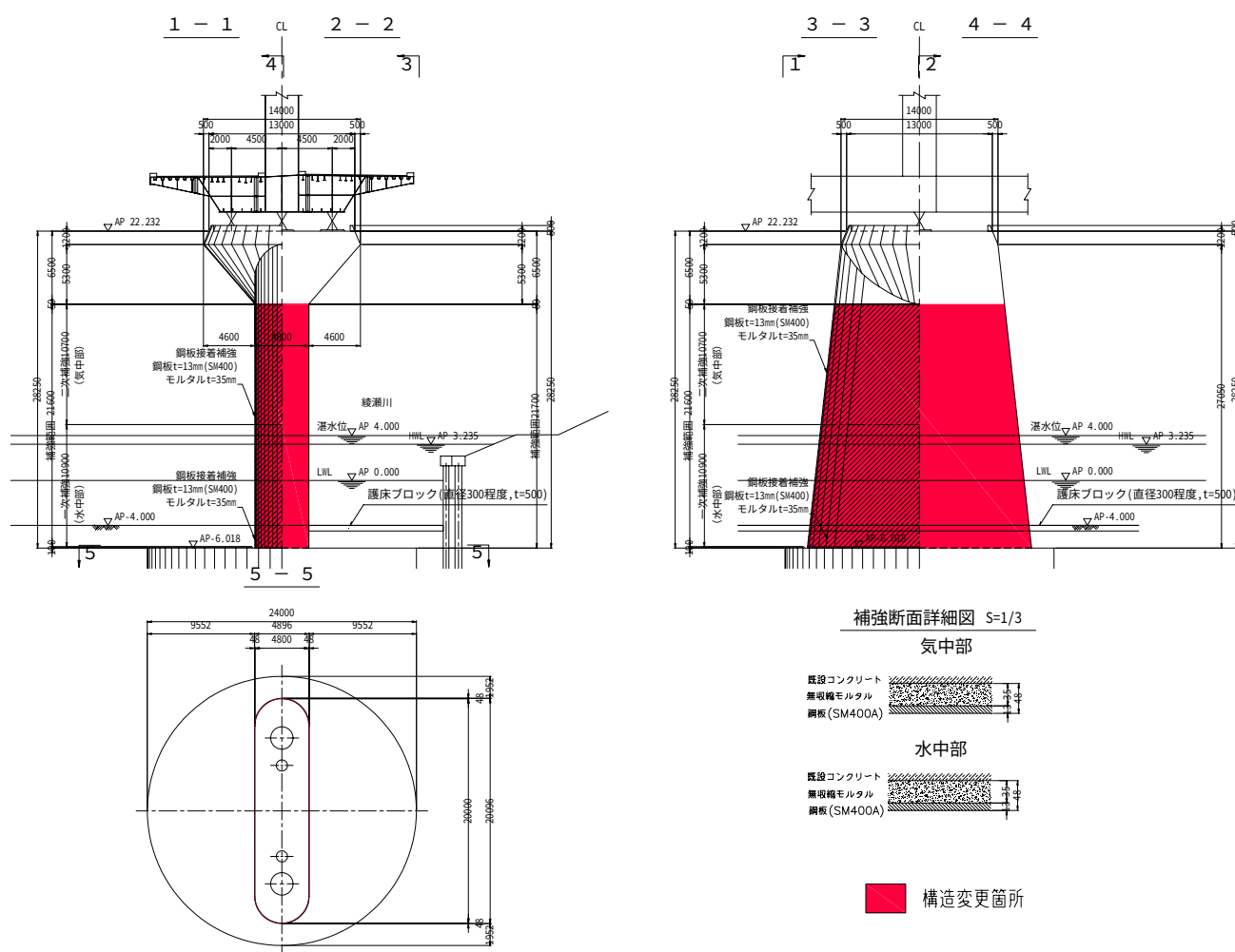


図-2 補強構造概要

(1) 施工事例

本工法を適用したRC橋脚の補強概要を図-2に示す。

橋脚の断面形状は小判型であり橋軸直角方向の幅は約5.0mであるが、橋軸方向の幅は台形状に変化している。(下端20m, 上端14m)。

橋脚の補強は厚さ13mmの鋼板を全周に巻立てによりることにより行い、補強高さはフーチング天端より21.6mである。

補強工事は、水中部(高さ10.9m)および気中部(高さ10.7m)について、それぞれ6分割したパネルを上流側から順次設置し、6枚のパネルを閉合後、裏込めモルタルを充填するもので、平成17年度渇水期に水中部を、平成18年度渇水期に気中部の施工を実施した。

(2) 工法採用の経緯

対象のRC橋脚は、二つの川の合流部の河川内に設置されている橋脚であり、現況の橋脚断面においても、河積阻害率が約8%と高かった。したがって、

本橋脚の補強工法を選定する場合、大幅な河積阻害率の増加や、施工時の河積阻害率に配慮する必要があった。また、RC橋脚は、橋軸方向から作用する地震時慣性力の全てを支持する構造となっているため、レベル2地震動が作用するとせん断損傷が生じると予想された。

RC橋脚のせん断補強工法としては、一般に、RC巻立て工法、鋼板巻立て工法、連続繊維巻立て工法等が挙げられる。3工法の比較表を表-1に示す。

対象橋脚においては、施工時と補強後の河積阻害率の影響、補強後の耐久性および経済性等を考慮した結果、以下の理由によりかみ合わせ鋼板巻立て工法が採用されることとなった。

- ① 鋼板巻き立て工法により補強後の河積阻害率を可能な限り低くするとともに、かみ合わせ継手を採用して水中施工を行うことによって施工時の河積阻害率も低くできる。
- ② 防食対策を施すことによって水中部に存在するRC橋脚の補強効果を長期にわたって確実に期待できる。

表-1 工法比較表

	RC 巻立て工法	鋼板巻立て工法	炭素繊維巻立て工法
巻立て厚	巻立て厚 700mm 橋脚としての増厚幅 1400mm	巻立て厚 48mm 橋脚としての増厚幅 96mm	巻立て厚 3mm, 表面保護 10mm, 防舷材 100mm 橋脚としての増厚幅 226mm
耐久性	特に問題なし	鋼材の錆（腐食）に対する 対処が必要となる.	不明（施工後 10 数年の実 績なし）
表面保護	特に必要なし	鋼材の錆（腐食）対策とし て、湛水位と L W L 間は、 重防食塗装による表面保護 を、L W L 以下は、電気防 食による表面保護を行う.	流木等の衝突により損傷し やすいため、表面保護が必 要となる. 本橋脚近傍は船舶の運航路 となっており、防舷材によ る保護が別途必要となる.
施工性	完全締切によるドライアッ プ工法が必要となるため、 施工時の阻害率が大きく なる	施工時の阻害率を小さくす るために水中施工が可能 なみ合せ継手を採用する.	完全締切によるドライアッ プ工法が必要となるため、 施工時の阻害率が大きく なる
河積阻害率 (幅)	H W L 補強後：10. 16% 湛水位 補強後： 9. 43%	H W L 補強後： 8. 43% 湛水位 補強後： 7. 82%	H W L 補強後： 8. 66% 湛水位 補強後： 8. 03%

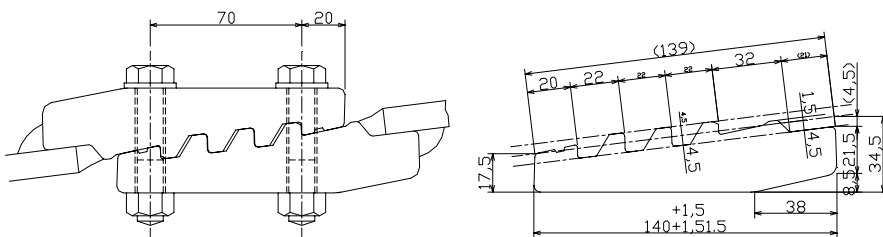


図-3 かみ合せ継手概要図



写真-1 接合状況



図-4 補強後の RC 橋脚



写真-2 補強材取付状況 (工場仮組)

(3)主な仕様

a)かみ合わせ継手

本工事で使用したかみ合わせ継手の概要を図-3 および写真-1 に示す。

b)補強鋼板の分割

補強鋼板は台船輸送により搬入した。補強鋼板の

分割は、構造的、施工性および景観性の観点から、曲線部と直線部を 4 分割し、更に直線部を 2 分割した 6 分割とした。また、6 分割した補強鋼板は 1 枚あたり最大約 15t の重量があるため、厚さ 13mm の鋼板は吊込時に自重による変形が生じてしまう。これを防ぐために、仮設用の補強材（H 鋼）を予め補強鋼板に設置して施工を行なった。

表-2 充填材の目標性能

種別	設計強度 (材齢 28 日)	モルタルフロー	モルタルフロー 経時変化 (練り上がり90分後)	ブリーディング 率(%)	用 途
水中配合	5N/mm ² 以上	300mm±30mm	250mm以上	24時間後 0.01%以下	せん断補強

表-3 充填材の基本配合

配合 No	W/P	単位量 (kg/m ³)						
		W	C	S	S2	Ad1 ^{※1}	Ad2 ^{※1}	Ad3 ^{※1}
水中配合	45.0	300	667	731	494	1.668	14.0	1.30

表-4 補強鋼板防食対策

範囲	防食対策	仕様	補強鋼板のおかれている環境
AP4.50より上	一般塗装	塗装	常に気中
AP4.50～AP0.0	重防食塗装	超厚膜型樹脂塗装 2400μm以上	水位が変化するため、気中状態と 水中状態が交互に生じる。
AP0.0以下	電気防食	アルミニウム合金陽極 0.24A×50年型×154個	常に水中

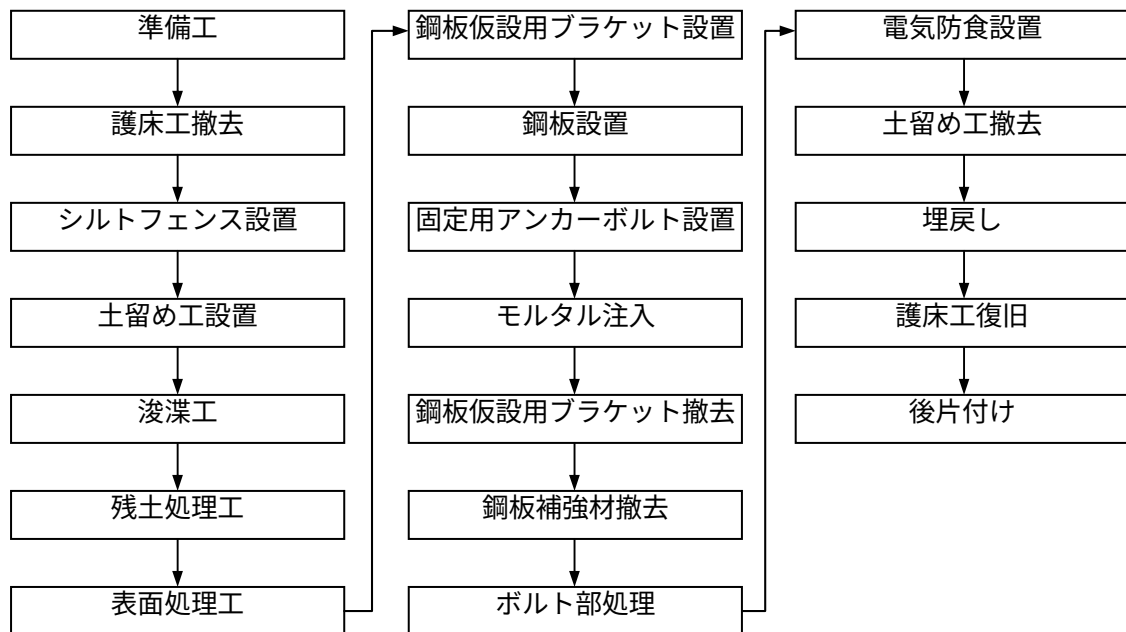


図-5 施工フロー

c) 充填材

既設橋脚と補強鋼板の隙間に充填する充填材は、橋脚が変形する際にその挙動を確実に鋼板に伝達する必要がある。さらに、今回は水中での材料分離抵抗性が要求される。注入材の目標性能と、基本配合を表-2、表-3に示す。

d) 防食対策

補強鋼板は、腐食によって断面欠損が生じることにより、所要の補強効果が得られなくなる懸念があ

る。そのため、設置される補強鋼板の環境によって防食対策を実施した。補強鋼板の防食対策とその仕様を表-4に示す。

(4) 補強工事

a) 施工フロー

本工事の施工フローを図-5に示す。このうち、本工事の特色である鋼板設置方法について、以下に紹介する。



写真-3 据付用ガイド（左：鋼板設置前，右：鋼板設置後）



写真-4 据付用治具



写真-5 閉合完了後状況



写真-6 施工状況

にパネル位置を微調整することが困難であったため、前述のように各パネルを一枚ずつ仮固定してから順次設置を行なった。この手順により最後の下流側曲線部パネルの併合精度が懸念されたが、予め工場にて仮組立を実施し、鋼板の据付精度を確保していたこと、最初の上流側曲線パネル設置時に橋脚に据付用ガイドを設置していたこと（写真-3）、および補強材に据付用治具を設置したこと（写真-4）等の工夫を行なうことにより、精度良く閉合することができた（写真-5）。

b) 鋼板設置方法

鋼板の据付は、台船とダイバーを併用した水中施工で実施した。

6分割した鋼板は、水流の影響を受けないように、まず上流側曲線部パネルの設置・仮固定を行い、続いて上流直線部パネル、下流側直線部パネル、下流側曲線部パネルの順に上流側より下流側へ向かって設置した。

本橋脚は台形状で規模も大きく、全パネル閉合後

2. CFアンカー工法

CFアンカーとは、炭素繊維シートの原材料である炭素繊維ストランドを必要量束ねたもので、束ねた炭素繊維ストランドの端部を扇状に広げて炭素繊維シートに接着するものである。CFアンカーには、「埋込型CFアンカー」と「貫通型CFアンカー」がある。

埋込型CFアンカーは、棒状に束ねた埋込部を既設コンクリートに定着させ、扇状に広げた面を炭素繊維シートに接着する工法である（図-6参照）。

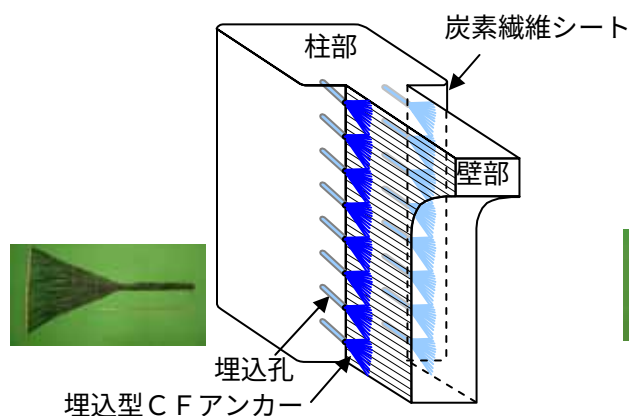


図-6 埋込型 CF アンカー

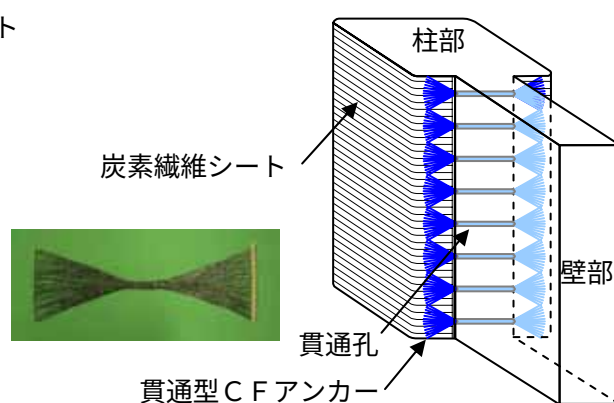


図-7 貫通型 CF アンカー

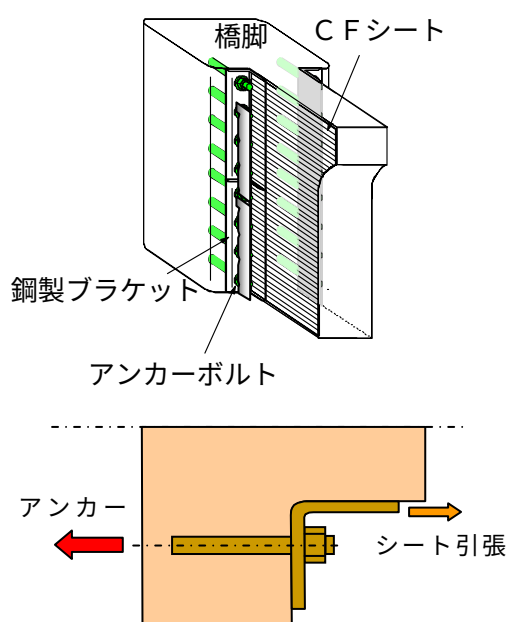


図-8 鋼製ブラケット工法



写真-7 トラス橋全景

一方、貫通型CFアンカーは、壁付き柱等の補強において、壁に貫通孔を削孔し、CFアンカーを貫通させ、両端を扇状に広げて炭素繊維シートに接着することでフープを完結させる工法である。

CFアンカーの特徴を以下に示す。

- ・ CFアンカーは炭素繊維シートと同じ材料を用いて製作しているため、炭素繊維シートとの接着性能が高く、シートに作用する引張力を確実にCFアンカーに伝達し、定着することができる。
- ・ 炭素繊維シートの引張力を直線的に定着するため、鋼製ブラケットを介して定着する従来方式（図-8参照）と比較してアンカーが小径となり、定着長も短い。
- ・ 軽量で可搬性に優れているため、重機が不要であり、取り扱いが容易で施工性もよい。

- ・ 既設躯体コンクリートの鉄筋によりアンカー削孔が阻害された場合でも、削孔角度を変えることにより鉄筋を避けることができる。
- ・ 削孔位置が確定してから鋼製ブラケットを工場加工する従来工法に比べて工期が短い。
- ・ 壁付き柱の補強においては、壁を撤去・復旧する必要が無く、騒音や振動が少ない。

(1) 施工事例

高速自動車のトラス橋（写真-7参照）において、橋脚の耐震補強を炭素繊維シート巻立て工法により実施した例を以下に示す。対象橋脚は高さ約30mのI型断面であり、炭素繊維巻立て面積は1,650㎡、うちCFアンカーによるシート定着対象面積は300㎡であった。

表-5 工法比較表

	CF アンカー	鋼製ブラケット
品質	炭素繊維シートの引張力をCF アンカーにより直接コンクリート躯体に定着するため、力の伝達機構は施工精度の影響を受けにくい。	炭素繊維シートの引張力を、鋼製ブラケットを介してアンカーボルトによりコンクリート躯体に定着する。炭素繊維シートとアンカーボルトが偏心しているため、力の伝達機構は施工精度の影響を受けやすい。
	既設柱主鉄筋に削孔位置が阻害された場合、削孔角度を変えることにより鉄筋を避けやすい。	既設柱主鉄筋に阻害されて削孔位置を水平方向に移動させた場合、引拔力が増加し、アンカーの仕様を見直す必要がある。
	コンクリート表面の不陸に対応した施工が可能であるため、アンカーの引張力にバラつきが生じにくい。	コンクリート表面の不陸により、アンカーボルトに均一に引張力が作用しない場合がある。
施工性	重量物が無いため、人力で施工できる。	鋼製ブラケットが重量物となるため、クレーン等が必要となる。
	アンカー削孔位置の変更に対し、CF アンカーの仕様変更が容易である。	アンカー削孔位置に応じて鋼製ブラケットを設計する必要があり、削孔位置が決まるまで鋼製ブラケットの加工ができない。
	炭素繊維シートと同様、コンクリートの不陸になじみが良い。	コンクリート面に不陸がある場合、鋼製ブラケットと炭素繊維シートの間に樹脂注入が必要である。

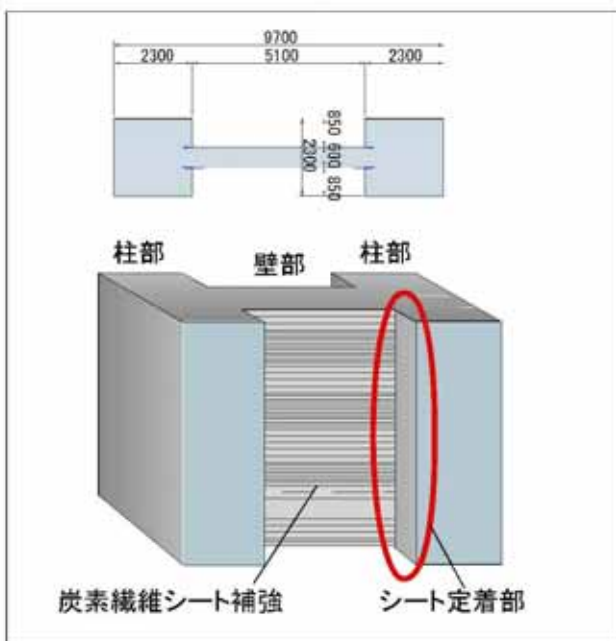


図-9 橋脚断面概要

(2)工法採用の経緯

本工事では、炭素繊維シートの端部定着を、当初設計の鋼製ブラケット工法からCFアンカー工法に変更した。各工法の比較表を表-5に示す。

また、変更の主な理由を以下に示す。

- ① CFアンカー工法は鋼製ブラケットなどの重量物の使用がなく、高所作業に適している。
- ② 鋼製ブラケット工法は、削孔が終わるまで材料製作にかかれず、工期が長くなる。

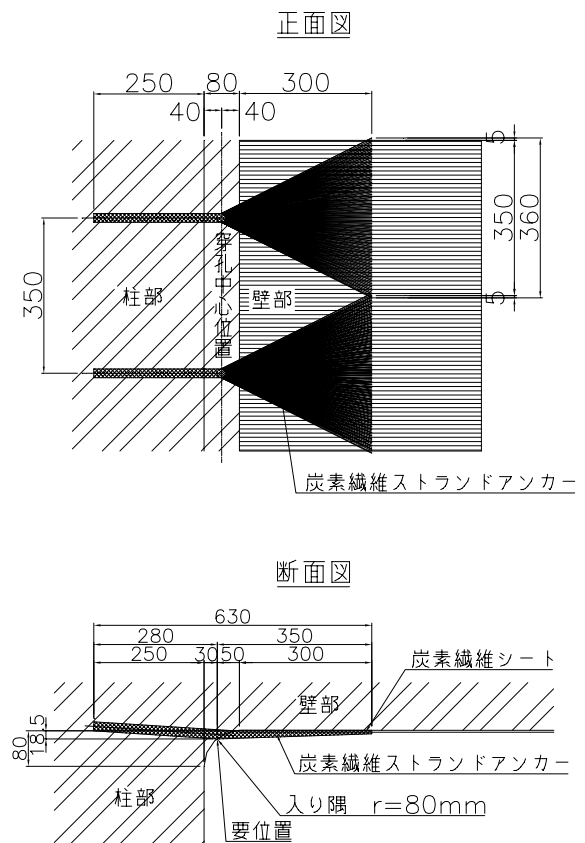


図-10 CF アンカー仕様

(3)主な仕様

対象橋脚の断面概要を図-9に、CFアンカーの仕様を図-10に示す。CFアンカーは壁に接着した横方向炭素繊維シートの左右両端部の固定に用いた。

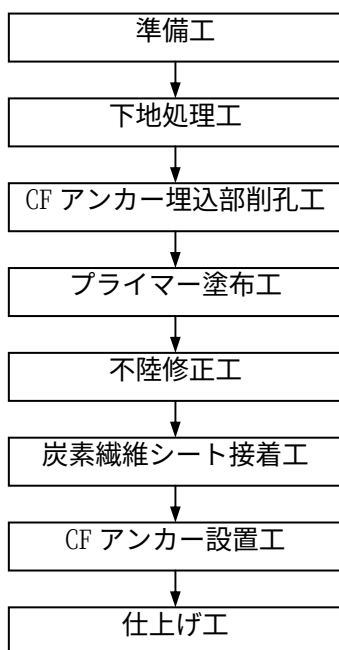


図-11 施工フロー



写真-8 CFアンカー埋込部削孔工



写真-9 CFアンカー設置工



写真-10 CFアンカー設置工完了



写真-11 施工後全景

(4)補強工事

施工フローを図-11に、施工状況を写真8～11に示す。CFアンカーの設置間隔は、350mmの設計であるが、設置位置に既設鉄筋が存在した場合は、削孔ピッチを狭めて再削孔を行う、または削孔角度を変更して、現設計どおりの形状のCFアンカーを設置した。また、一部既設鉄筋を避けられず埋込長が浅くなった箇所についても設置間隔を細かくして対応した。

3. おわりに

現在、河川内等で耐震補強が必要ではあるが未対策の橋脚において、施工条件や河積阻害率の問題をかかえている箇所や、I型断面橋脚の補強に限らず、せん断補強の端部定着や隅角部が存在する断面における補強の方法などで課題がある橋梁は多いと考えられる。本報が、それらの橋脚の耐震補強を実施する場合の一方法として参考になれば幸いである。