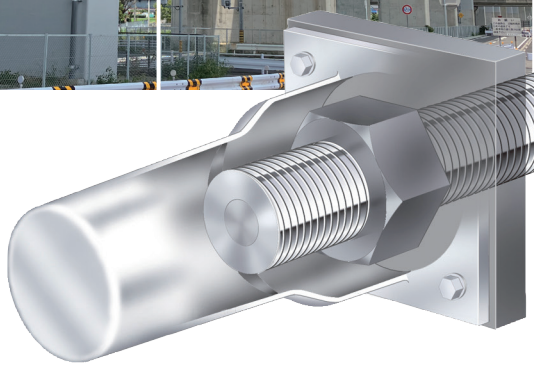
SEEE工法を用いた
外ケーブル方式による橋梁補強工法 補強事例集





2026年9月

SEC 株式会社 エスイー

目　次

1.　はじめに ・・・

1．はじめに

我が国では、高度経済成長期以降に集中的に整備された道路や鉄道などのインフラの老朽化が顕在化しており、安全かつ持続的に活用できるインフラの実現が求められている。

これに対し、国土交通省では平成 25 年を「メンテナンス元年」と位置づけ、インフラの長寿命化に向けた戦略的・計画的な取組を推進してきた。個別施設ごとの長寿命化計画を基盤として、点検・診断、修繕・更新、記録・活用からなるメンテナンスサイクルを構築するとともに、地方公共団体への技術的・財政的支援を実施してきた。近年では、予防保全への本格転換や新技術の導入など、持続可能なインフラメンテナンスの実現に向けた取組が進められている。

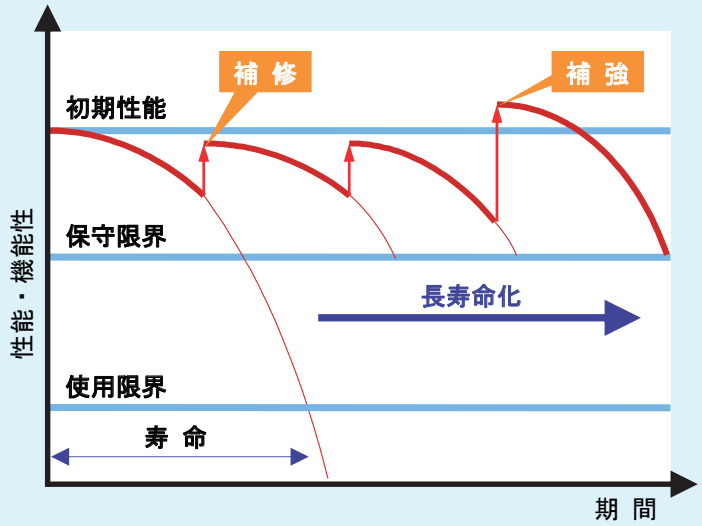
また、高速道路においては、大型車交通の増加や重量違反車両の通行に加え、沿岸部の塩害環境や積雪寒冷地における降雪・凍結防止剤の影響など、多様で厳しい使用環境のもとで構造物の劣化が進行している。さらに、点検・調査技術の高度化や詳細調査の進展により、従来の目視点検では確認できなかった構造物内部の変状も明らかとなっている。

これらの劣化や変状に対応するため、高速道路リニューアルプロジェクトとして、グラウト再注入、床版取替、桁架替などの大規模修繕・大規模更新が進められている。加えて、インフラの長寿命化のほか、建設事業における環境負荷の低減やカーボンニュートラルへの対応も求められており、既設構造を有効活用しながら必要な性能を回復・向上させる補強技術の重要性が高まっている。

以上のように、インフラの長寿命化を実現するためには、構造物の状態に応じた補修・補強の継続的な実施が重要であり、橋梁分野においては、既設橋梁に外部からプレストレスを導入することで、耐荷性能の回復や向上を図る“外ケーブル補強工法”が重要な役割を担っている。本工法は補強効果が力学的に明確で、維持管理性にも優れることから、今後も、幅広い活用が期待される。

本書は、外ケーブル補強工法に関する施工事例や技術的知見を広く共有し、本工法のさらなる発展と普及に資することを目的として取りまとめたものである。本書が、橋梁の長寿命化に取り組む技術者、施工者ならびに関係者の一助となれば幸いである。

＜長寿命化の概念＞



2．外ケーブル補強工法の適用例

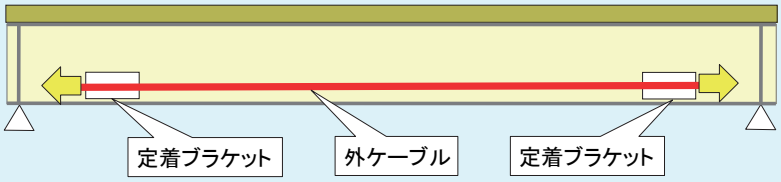
(1) 外ケーブル補強工法とは

外ケーブル補強工法は、緊張材を既設構造物の部材外部に配置し、定着部や偏向部を介して部材に緊張力を導入することにより、部材の応力状態を改善し、耐力を回復あるいは向上させる工法である。

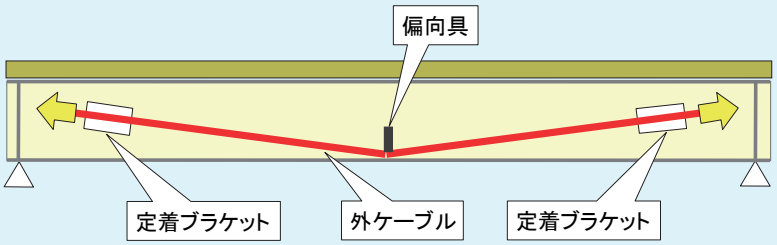
補強効果が力学的に明確であることに加え、外ケーブルの鉛直分力を考慮することで設計せん断力を軽減できる、路面高を変更する必要がない、交通規制を必要としない、ケーブルの再緊張・取替えや張力の計測・モニタリングが可能、といった長所がある反面、対象部材の強度不足や劣化に対する効果や部材剛性の向上は期待できないことに注意が必要である。

上部構造に対する一般的な外ケーブルの配置形状を以下に示す。

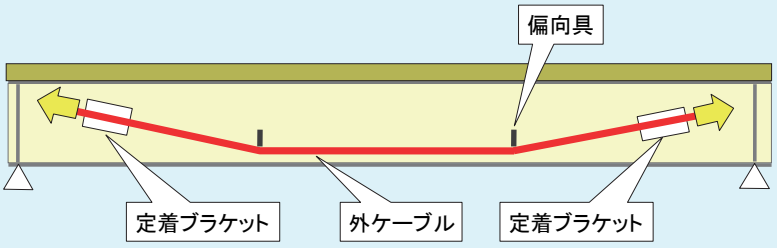
●直 線 配 置



●キングポスト配置



●クイーンポスト配置



(2) 外ケーブル補強工法の適用例

外ケーブル補強工法は、構造物の局部的な補強よりは、構造全体にわたる部材の応力状態を改善すること、主桁の連続化などの構造系を変化させることを目的として採用されることが多い。

橋梁（上下部構造）においては、以下の適用例が挙げられる。

■補強目的

① 塩害等により PC 鋼材が破断し耐荷力が低下した橋梁の耐荷力回復
② 設計活荷重（TL-20 荷重から B 活荷重）の変更にともなう耐荷力向上
③ 単純桁橋、有ヒンジ橋の連続化による走行性・耐震性・維持管理性の改善
④ 主桁増設による上部工幅員確保にともなう、下部工の新設梁・既設梁の一体化

① 塩害等により PC 鋼材が破断し耐荷力が低下した橋梁の耐荷力回復



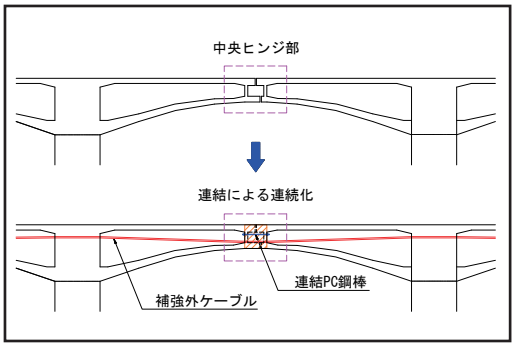


② 設計活荷重(TL-20 荷重から B 活荷重)の変更にともなう耐荷力向上





③ 単純桁橋、有ヒンジ橋の連続化による走行性・耐震性・維持管理性の改善





④ 主桁増設による上部工幅員確保にともなう、下部工の新設梁・既設梁の一体化



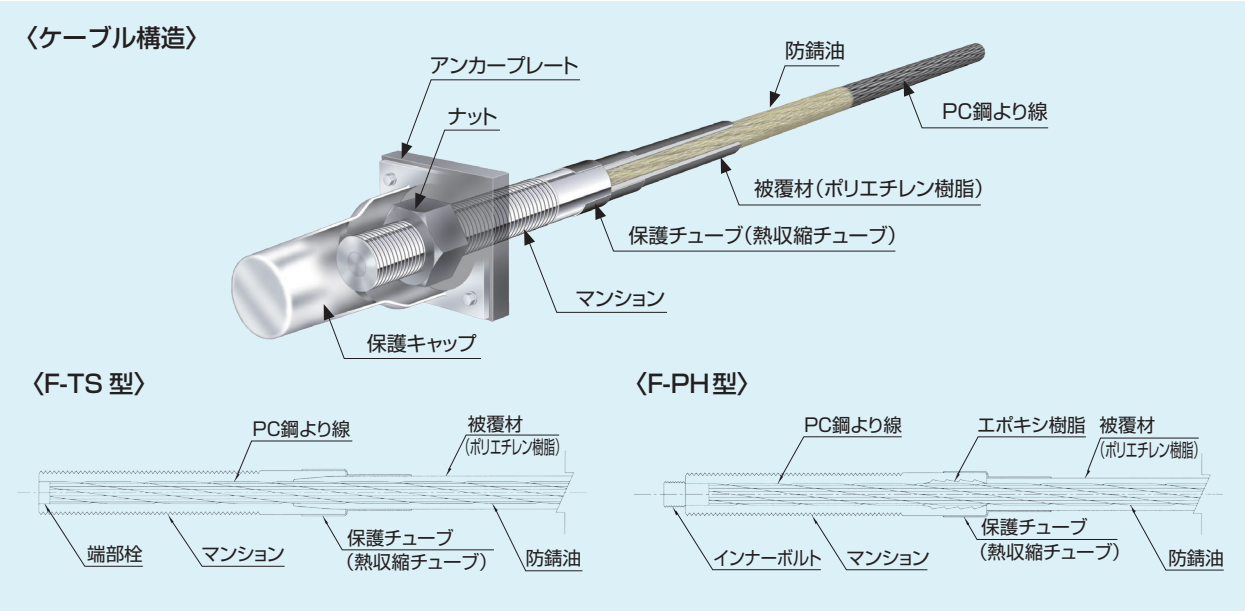


3. SEEE 工法補強用外ケーブル

(1) ケーブル構造および特徴

■ ケーブル構造

SEEE 工法の補強用外ケーブルは、防錆油を塗布した PC 鋼より線の周囲を耐候性・防食性の高いポリエチレン樹脂で被覆したケーブル端部に、ナットで定着するために鋼製スリーブをねじ加工したマンションを圧着する構造である。ケーブルの防錆処理、マンションの圧着までを工場にて行うプレファブ型の完全防錆ケーブルであることから、配線・グラウト注入などの現場作業の省力化や長期耐久性が求められる既設橋の補強工事に適したケーブルである。



■ 特徴

① 実績・ラインナップ

- これまでに 1100 件以上の補強工事で適用された豊富な実績を持つスタンダードなケーブルである
- F-TS 型で 200kN～5000kN タイプ(全 15 タイプ)、F-PH 型で 1000kN～5000kN タイプ(全 9 タイプ)の豊富なケーブルタイプを保有し、補強レベルに応じた経済的なケーブル選定ができる

② 定着性能・安全性・施工性

- ねじ式定着のため、ケーブルのセットロスが発生しない優れた定着性能を有し、短尺ケーブルに対しても必要なプレストレスを効率的かつ確実に導入できる
- 緊張作業におけるケーブルのスリップやゆるみの心配がなく、安全かつ確実に緊張作業が行える
- プレファブ型のため、現場でのケーブル配線や組立、グラウト注入など、作業の省力化が図れる

③ 耐久性・維持管理性

- マンション部への溶射処理(Zn-Al 溶射または Al-Mg 溶射)や定着部鋼製部材への使用環境に応じた防錆処理を行うことで、優れた長期耐久性を確保できる(完全防錆型ケーブル)
- 再緊張や取替えが容易かつ安全に行え、維持管理性に優れたケーブルである
- ケーブル張力を非破壊・非接触で直接計測できる EM センサーをケーブル製作時に組み込むセンサー付ケーブルとして納入できるため、長期的なケーブル張力のモニタリングにも適している

④ 耐疲労性能

- 外ケーブル構造のフレッティング疲労に対して、安全性が確認されたケーブルである
- F-PH 型は高疲労強度を有し、比較的応力振幅の大きい鋼橋に適したケーブルである

(2) 外ケーブル補強以外での用途

SEEE 工法の補強用外ケーブルは、ねじ式定着構造特有の定着性能や安全性、耐久性・維持管理性などが高く評価され、既設橋の外ケーブル補強以外でも、新設橋梁、建築物、架設材など、広範囲にわたって適用されている。

① 新設橋梁

斜張橋やエクストラドーズド橋の斜材、ニールセン橋やアーチ橋の吊材、吊床版構造の一次ケーブル、支承部の負反力対策ケーブルなど。





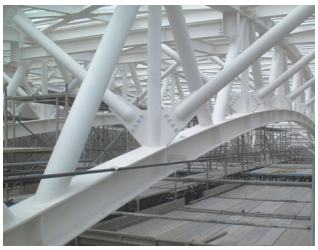
② 既設橋梁

外ケーブル補強工法以外では、ニールセン橋やアーチ橋吊材の取替えケーブル、吊橋のセンタースティ取替えケーブル、ゲルバー部支持桁吊材など。




③ 建築物

屋根材の耐荷力を向上させる部材、建造物の耐震補強材、将来的な維持管理に配慮したプレキャスト部材のアンボンド接合部材など。





④ 架設材

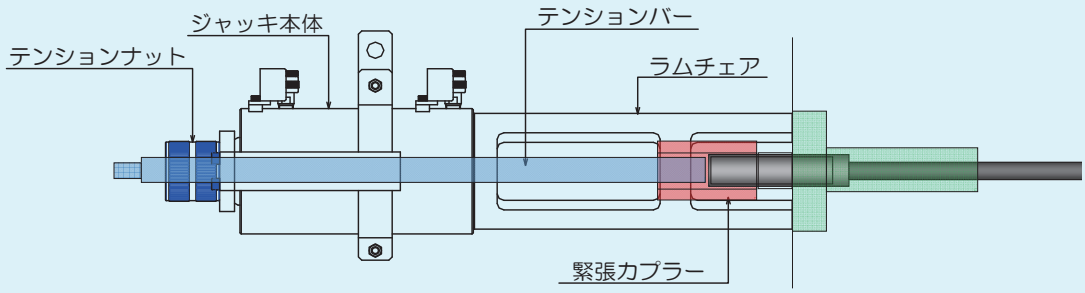
アーチ橋のアーチリブ架設用斜吊り材など。



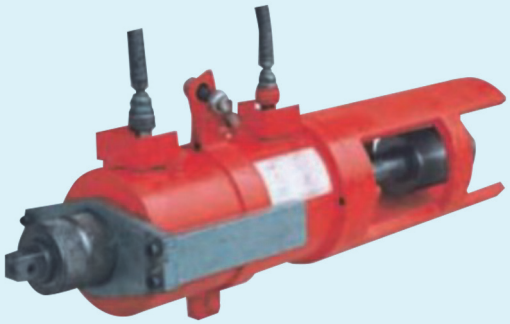
(3) 緊張機材

■ ケーブル定着部での緊張(片引き、両引き)

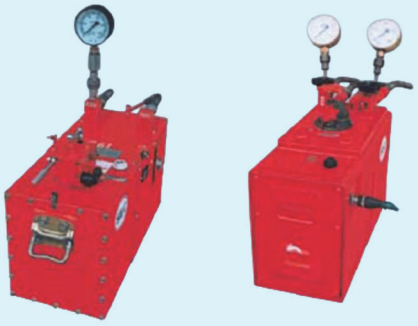
定着部での緊張には、センターホール型ジャッキを使用する。ケーブル余長部に緊張カプラーを介してテンションバーを接続し、ジャッキ後方にテンションナットを取り付けてケーブルを緊張する。



<センターホール型緊張ジャッキ>



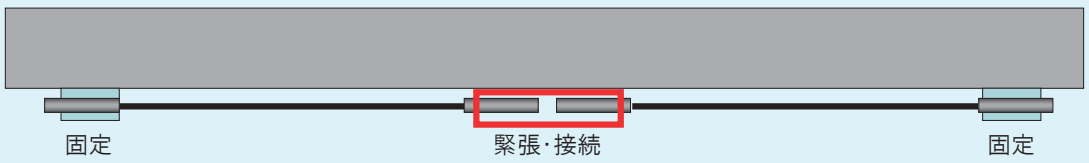
<緊張ポンプ>



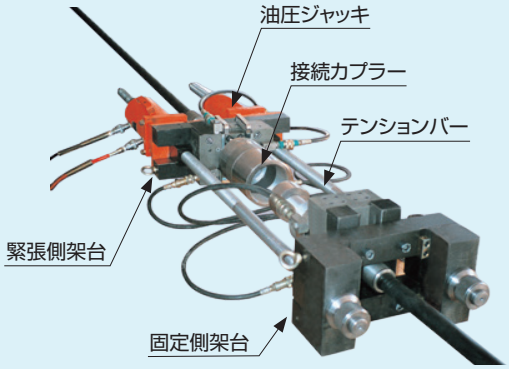
■ ケーブル中間部での引寄せ緊張

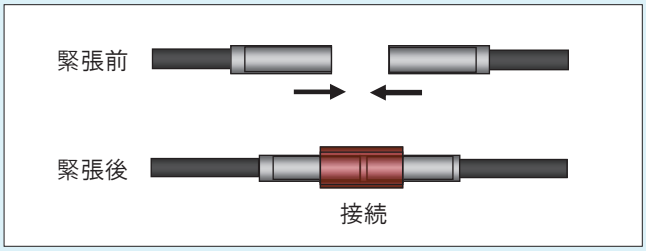
ケーブル定着部において、センターホール型ジャッキによる緊張に必要な作業空間の確保が困難な場合に、引寄せ型ジャッキを使用する。ケーブルを中間部で 2 本に分割して引寄せ型ジャッキで引寄せ緊張を行ったのち、接続カプラーで接続して 1 本のケーブルとする。

<引寄せ緊張概要図>



<引寄せ型緊張ジャッキ>



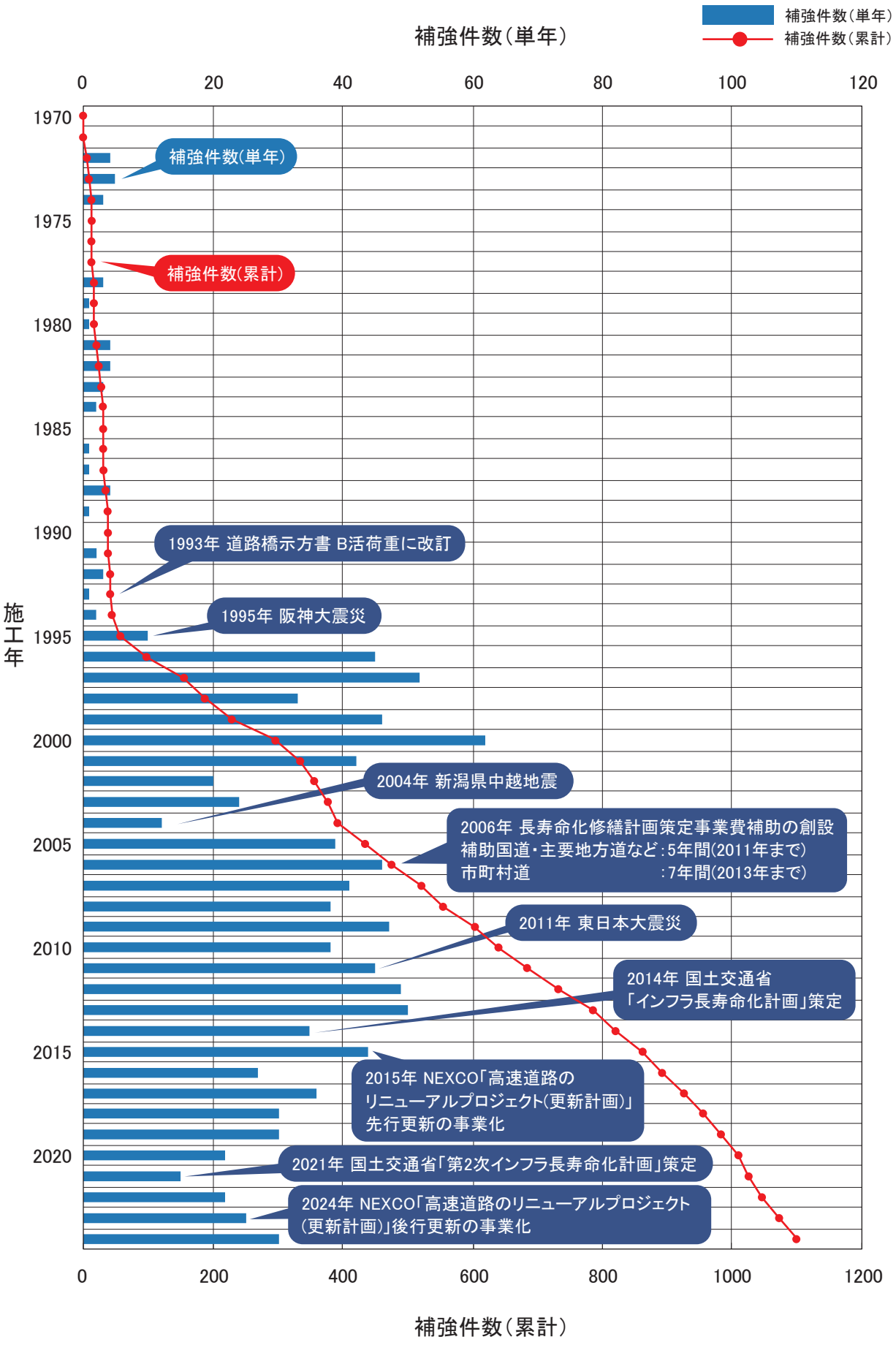


<ケーブル接続>

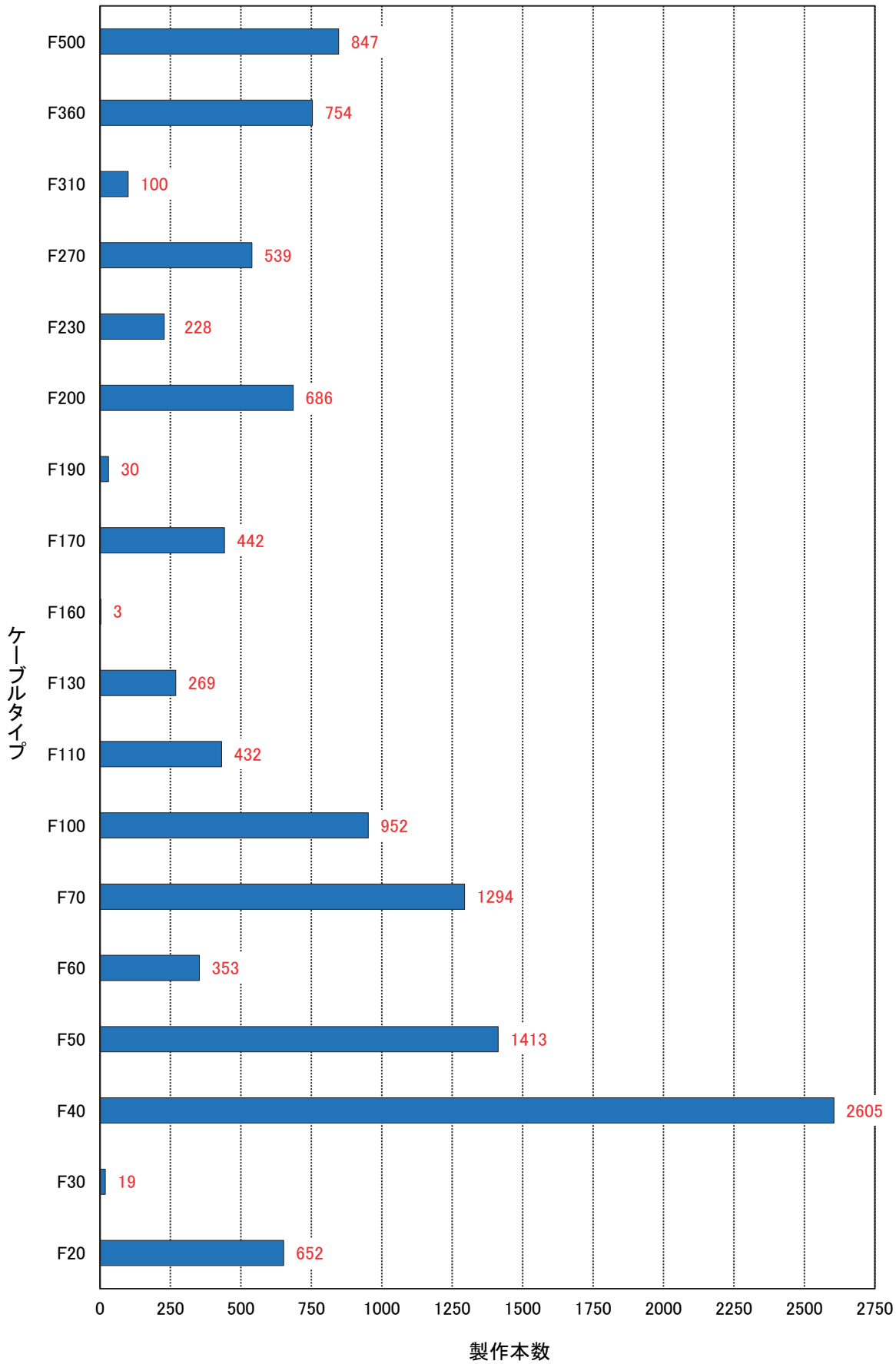


4．採用実績

(1) 施工年別分類



(2) ケーブルタイプ別分類



５．施工事例

No.	構造物名	区　分		構　造	使用用途および特徴		使用タイプ
外ケーブル補強							
1-1	小柳津高架橋	上部工	RC	3径間連続中空床版	B活荷重対応	連続ケーブルの引寄せ緊張	F100TS
1-2	市川橋			ゲルバー桁（11径間）	B活荷重対応 耐荷力向上	引寄せ緊張	F170TS,F70TS, F40TS
1-3	愛知川高架橋			4径間連続T桁	塩害劣化	補強ケーブルの撤去・再利用	F100TS,F70TS, F50TS
1-4	大井埠頭第1～3バース			桟橋	耐荷力向上	潮位変動・塩害対策	F130TS,F110TS, F50TS
1-5	首都高速道路 PCゲルバー箱桁橋		PC	ゲルバー箱桁	耐久性・耐震性向上	ゲルバー連続化 ケーブル接続	F270TS,F200TS
1-6	沢底川橋			3径間連続合成桁	塩害劣化 耐荷力向上	PC合成桁床版打換	F190TS
1-7	館山大橋			単純ポステンT桁 （4径間）	塩害劣化	ケーブル張力のモニタリング 限定主桁補強	F100TS,F50TS
1-8	涼徳橋			5径間連続ラーメン箱桁	走行性・耐震性・ 維持管理性向上	ゲルバー連続化 ケーブル接続 径間毎の分割施工	F200TS
1-9	楢山橋			3径間連続合成桁	ASR劣化	床版更新 PC連続合成桁	F170TS
1-10	揖斐川橋		鋼	5径間連続合成鈑桁	B活荷重対応	ゲルバー連続化	F200TS,F170TS
1-11	新中川橋			4径間連続非合成鈑桁	B活荷重対応 歩道増設	ケーブル分割配置	F200TS,F100TS
1-12	高橋こ線橋			3径間連続非合成鈑桁	B活荷重対応	連続ケーブル分割 ケーブル接続	F100TS
1-13	弓振川橋			単純合成鈑桁	塩害劣化 耐荷力向上	外ケーブル併用	F200TS
1-14	早川大橋			下路式鋼トラス橋	耐荷力向上	鋼トラス橋	F230PH
1-15	4号湾岸線・6号大和川線 三宝JCT	下部工	RC+鋼	ラーメン橋脚	新旧一体化 曲げ補強	中間定着体 ケーブル接続	F500TS,F360TS, F310TS
1-16	弥富高架橋		RC	張出し式橋脚	新旧梁一体化	主桁増設	F500TS他
その他用途							
2-1	下郷大橋	上部工	PC	RC固定アーチ橋	アーチ橋斜吊り材	張力調整	F500TS,F270TS他
2-2	君津新橋			下路式ローゼアーチ橋	吊材取替え 高耐久化	高疲労型ケーブル	F130PH
2-3	妙高大橋			4径間連続箱桁	プレキャストセグメント橋撤去対策		F270TS,F100TS, F320F-FUT
2-4	広野大橋		鋼	単純複合トラス橋	吊床版1次ケーブル	高疲労型ケーブル	F500PH
2-5	由利橋			2径間連続斜張橋	ケーブルペンデル	高疲労型ケーブル	F360PH
2-6	平戸大橋			ストレートバックステー 2ヒンジ補剛吊橋	センターステイ交換	エネルギー吸収型ケーブル	F70TE
2-7	首都高速道路 PC箱桁橋	下部工	RC	V形橋脚	既設鉄筋への干渉をさけたPCケーブル定着ブラケット		F200TS,F60TS
2-8	ガランドヤ古墳 1号古墳保存施設	建築物	RC+PC	PcaPC造	プレキャスト 圧接接合	円周方向配置	F130TS,F70TS

外ケーブル補強（施工事例）

No.1-1	B 活荷重対応・連続ケーブル引寄せ緊張			
橋　梁　名	小柳津高架橋		施 工 場 所	静岡県
構 造 形 式	RC3 径間連続中空床版橋		竣　工　年	1969 年
構 造 寸 法	橋　長:51.9m	最大支間:17.3m	施　工　年	1996 年
発　注　者	日本道路公団		使 用 タイプ	F100TS

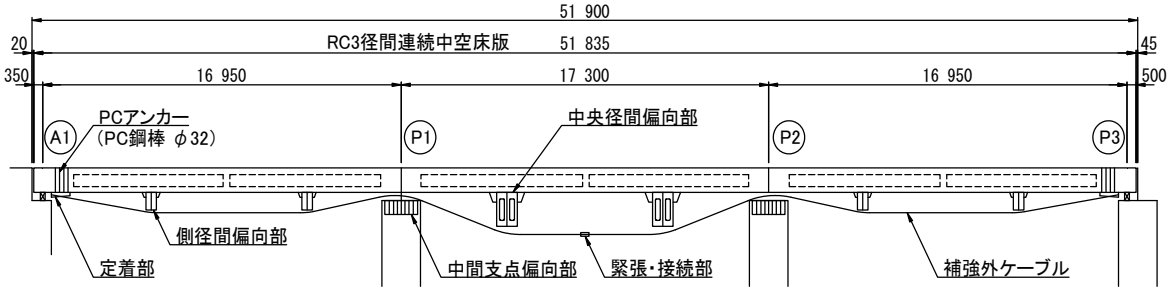
概要

RC3 径間連続中空床板橋の B 活荷重対応として、外ケーブル補強が実施された。径間部の主版下面と橋脚の側面に偏向装置(鋼製)を設置し、第 2 径間中央部で補強ケーブルをカプラー接続して連続ケーブルとする構造が採用され、専用の引寄せジャッキを使用して緊張・接続が行われた。

全景

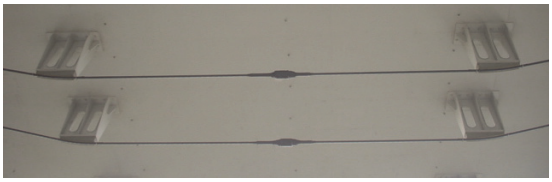


ケーブル配置・構造詳細









備考

西　浩嗣, 久保　真一, 長田　光司, 服部　政昭:外ケーブルによる RC 中空床板橋の補強(東名高速道路小柳津高架橋), 第 6 回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, 1996.10

No.1-2	B 活荷重対応・耐荷力向上・引寄せ緊張			
橋　梁　名	市川橋		施 工 場 所	兵庫県
構 造 形 式	RC ゲルバー桁（11径間）		竣　工　年	1941 年
構 造 寸 法	橋　長：246.0m	最大支間：—	施　工　年	2002 年
発　注　者	兵庫県		使 用 タイプ	F170TS、F70TS、F40TS

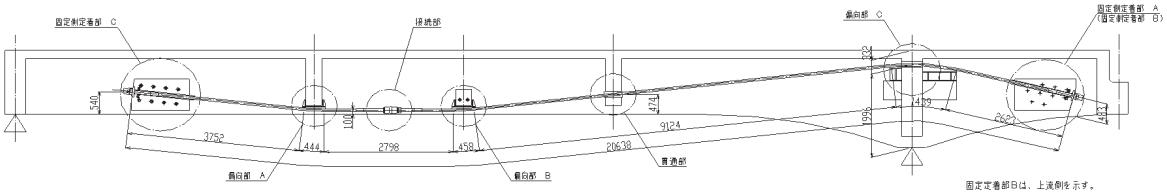
概要

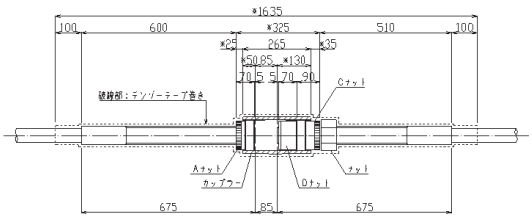
11 径間の RC ゲルバー橋の耐荷重を B 活荷重に対応させるため、床版の増厚補強とともに、外ケーブル補強が実施された。主桁に効率的な補強が行えるケーブル配置としたことより、桁端部での緊張ジャッキの設置スペースを十分に確保できなかったことから、専用の引寄せジャッキを用いて緊張力を導入した。

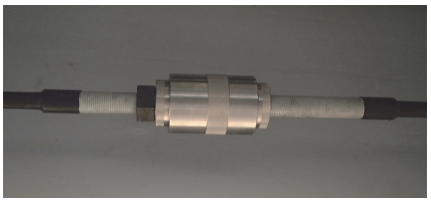
全景



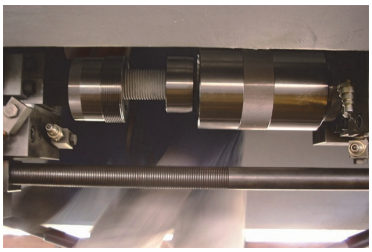
ケーブル配置・構造詳細













・緊張時に生じたケーブル同士の芯ずれを、引寄せジャッキ内蔵の微調整用ジャッキで調整し接続した。
・コンクリート製定着体の緊結用 PC 鋼材には、中空 PC 鋼棒が使用された。
・主桁の形状が定着桁・複定着桁・吊り桁と 3 タイプあり、さらに耳桁と中桁で導入張力が異なることから、3 タイプのケーブルが使用された。

備考

No.1-3	塩害劣化・補強ケーブル撤去・再利用			
橋　梁　名	愛知川高架橋（上下線）		施 工 場 所	滋賀県
構 造 形 式	4 径間連続 RCT 桁橋		竣　工　年	1962 年（供用年）
構 造 寸 法	橋　長：62.0m	最大支間：61.9m	施　工　年	2012 年
発　注　者	中日本高速道路株式会社		使 用 タイプ	F100TS、F70TS、F50TS

概要

B 活荷重対応として 1998 年に外ケーブル補強が行われていたが、塩害による劣化が顕在化し、主桁補修を行うこととなったことから、既設の補強ケーブルを一旦撤去した。補修完了後の補強ケーブル再設置においては、既設ケーブルの再利用が計画されていたため、外観調査および現地で組立てた反力台で引張試験を実施して健全性を確認の上、再利用した。

全景

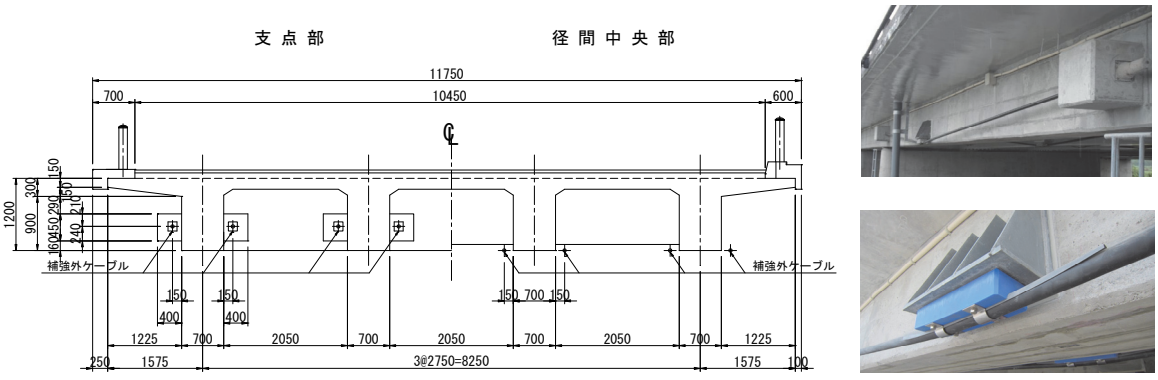


ケーブル配置・構造詳細

定着部鋼管内には防錆材（ウレタン樹脂）が注入されていたため、定着部に溝形鋼と PC 鋼棒によって井型フレームを組み立て、油圧ジャッキで定着体を押し出して撤去した。







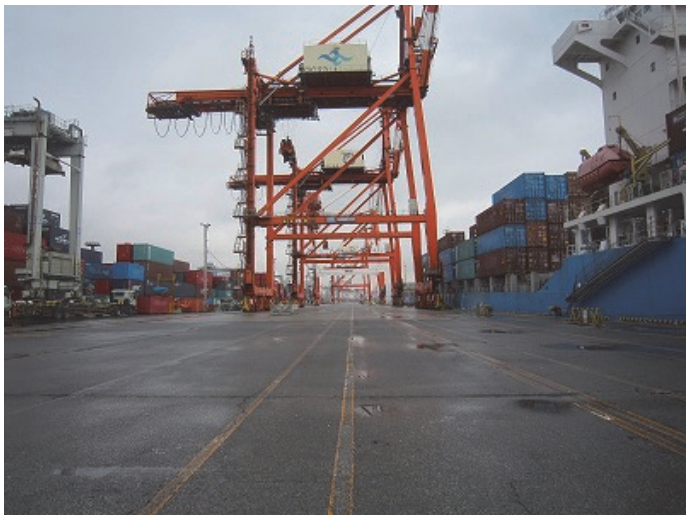
備考

No.1−4	耐荷力向上・潮位変動・塩害対策			
橋　梁　名	大井埠頭第 1〜3 バース		施 工 場 所	東京都
構 造 形 式	RC 桟橋		竣　工　年	2003 年
構 造 寸 法	橋　長:50m	最大支間:4.7m	施　工　年	2016 年
発　注　者	東京港埠頭株式会社		使 用 タイプ	F130TS・F110TS・F50TS

概要

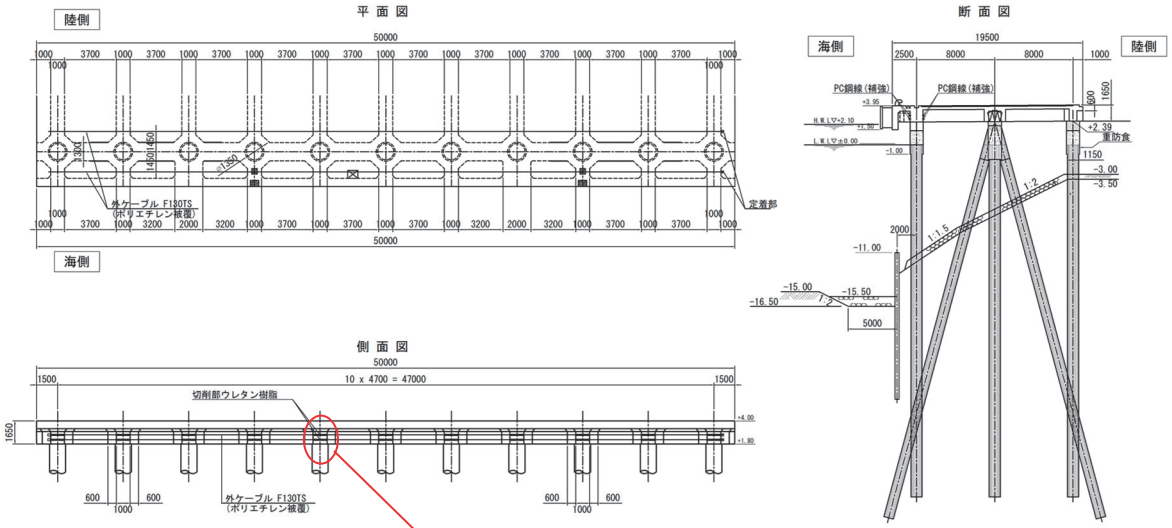
大井埠頭第 1〜3 バースは、大型コンテナ船に対応する大規模コンテナバースとして建設されたRC桟橋である。使用予定のガントリークレーンの高規格化に伴い、既設RC梁において耐力不足が確認されたことから、外ケーブル補強工事が実施された。施工箇所は供用中の桟橋下であり、潮位変動や波浪の影響を受ける厳しい環境条件下にあることから、高い防錆性能に加え、浮遊物に対する耐衝撃性を有するケーブルが採用された。

全景





ケーブル配置・構造詳細





定着部



切削部ウレタン注入



耐衝撃（落石）試験（S50 年）

備考

No.1-5	耐久性・耐震性・ゲルバー連続化・ケーブル接続		
橋　梁　名	首都高速道路　PC ゲルバー箱桁橋	施 工 場 所	東京都
構 造 形 式	PC ゲルバー箱桁橋	竣　工　年	1963 年
構 造 寸 法	橋　長(連続化後):225m、150m、143.8m	施　工　年	2019 年
発　注　者	首都高速道路株式会社	使用タイプ	F270TS、F200TS

概要

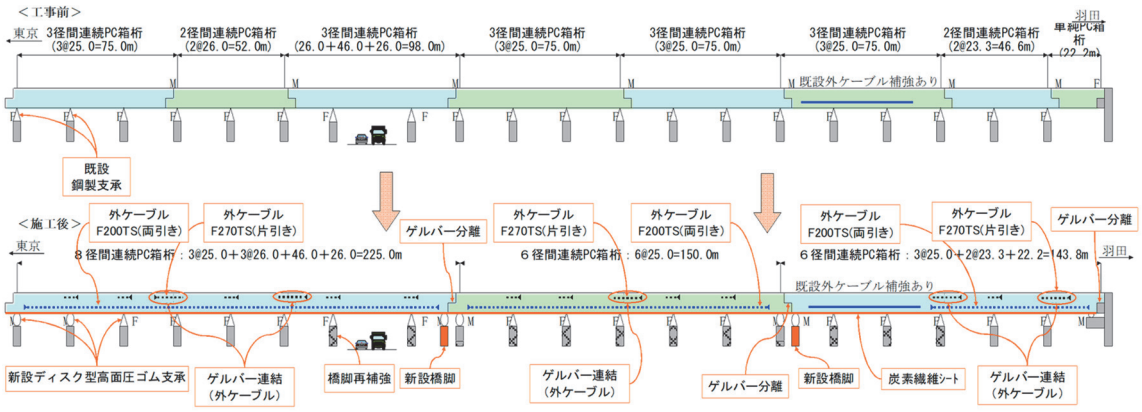
本橋は 1963 年の供用開始から 50 年以上が経過しており、2007 年の定期点検では PC 桁ゲルバー部に経年劣化による局部的な大きなひび割れや支承の腐食が多数確認された。これらの損傷により支承機能の低下やゲルバー部のコンクリート劣化が懸念されたため、耐久性・耐震性の向上を目的とした抜本的対策として、外ケーブル補強によるゲルバー部の連続化を実施した。本補強では、支点上に上縁補強ケーブルおよびゲルバー連結ケーブルを配置するとともに、下縁補強として全橋にわたる連続ケーブルを配置した。特に延長 210m に及ぶ連続ケーブルは、箱桁内への一括引込みが困難であったため、分割ケーブルを箱内に引き込んだ後、カプラーにより接続して施工した。

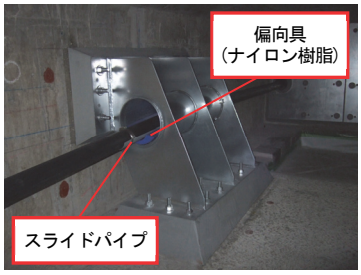
全景



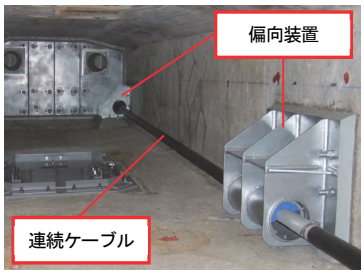


ケーブル配置・構造詳細





偏向装置



連続ケーブル配線状況



カップラー接続
（応力計測状況）

備考

川田技報　Vol.37　2018　「都市高速におけるPCゲルバー橋連続化工事の設計・施工」

No.1-6	塩害劣化・耐荷力向上・PC合成桁床版打換			
橋　梁　名	沢底川橋		施 工 場 所	長野県
構 造 形 式	PC3 径間連続合成桁橋		竣　工　年	1981 年
構 造 寸 法	橋　長:70m	最大支間:27m	施　工　年	2016 年
発　注　者	中日本高速道路株式会社		使用タイプ	F190TS

概要

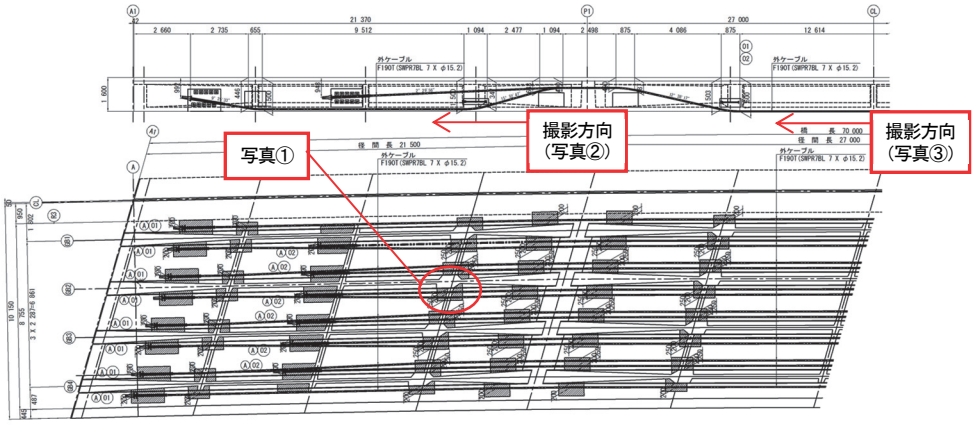
1981 年の供用開始から約 35 年が経過し、建設当時からの交通量の増加に加えて、冬期に散布される凍結防止剤による塩害および凍害の影響を受け、コンクリート床版の劣化が著しく進行していた。このため、本橋ではPC合成桁の中間支点付近の床版及び床版連結ケーブルを全面的に撤去し、新たにコンクリートの打換えを実施するとともに、外ケーブルによって補強を行った。本手法は国内初の施工事例である。

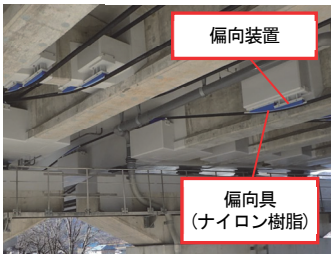
外ケーブルについては、定着装置背面の主桁コンクリートにひび割れが生じる可能性を考慮し、1 本あたりの容量を低減してケーブル本数を増やして施工した。また、外ケーブルには耐久性に優れたポリエチレン被覆鋼材を採用し、将来的な再緊張および取替作業を容易にするため、ねじ式定着を採用した。

全景

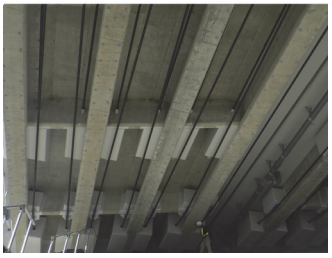


ケーブル配置・構造詳細





写真①



写真②



写真③

備考

田尻丈晴ら:中央自動車道　沢底川橋の補強工事－外ケーブルを用いた PC 連続合成桁橋の補強－
プレストレスコンクリート Vol. 59,No.2,Mar.2017

No.1-7	塩害劣化・ケーブル張力モニタリング・限定主桁補強			
橋　梁　名	館山大橋		施 工 場 所	千葉県
構 造 形 式	PC 単純ポステン T 桁橋(5 径間)		竣　工　年	1960 年
構 造 寸 法	橋　長：97.5m	最大支間：18.8m	施　工　年	2015 年
発　注　者	館山市		使 用 タイプ	F100TS、F50TS

概要

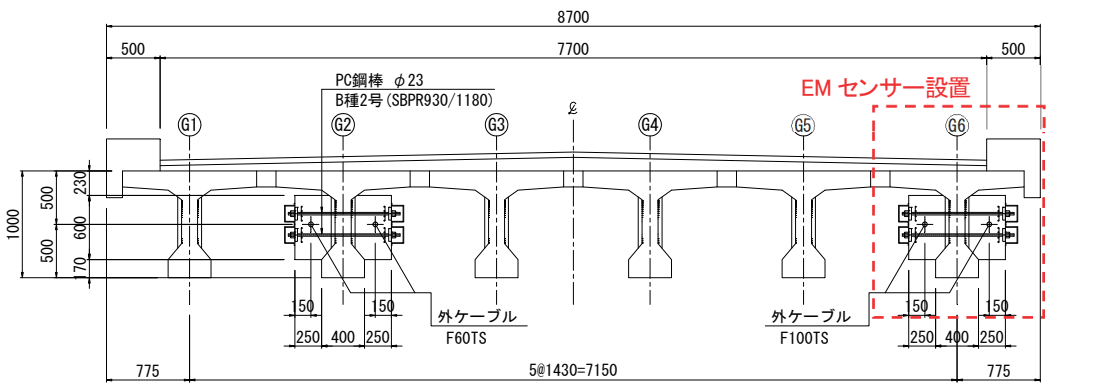
館山湾に面した塩害環境下に建設された PC 橋において、PC 鋼材の破断が確認された P2-P3 径間の G2 主桁、G6 主桁に対し、耐荷力の改善を目的とした外ケーブル補強が行われた。損傷が著しい G6 主桁の補強ケーブルには試験的に EM センサーを設置(補強ケーブル製作時に組込み)し、補強後のケーブル張力を定期的に計測している。

全景

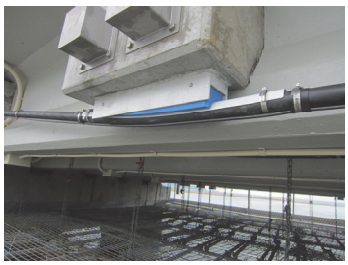




ケーブル配置・構造詳細













備考

No.1-8	走行性・耐震性・維持管理性向上・ゲルバー連続化・ケーブル接続			
橋　梁　名	涼徳橋		施 工 場 所	静岡県
構 造 形 式	PC5 径間連続ラーメン箱桁橋		竣　工　年	1980 年
構 造 寸 法	橋　長:243.0m	最大支間:54.0m	施　工　年	2014 年
発　注　者	静岡県		使 用 タイプ	F200TS

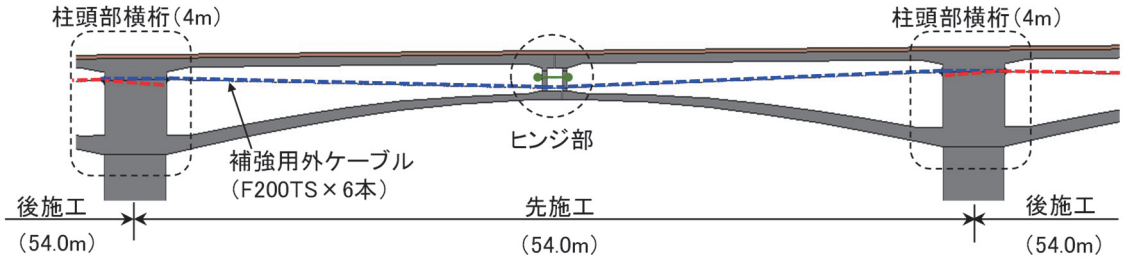
概要

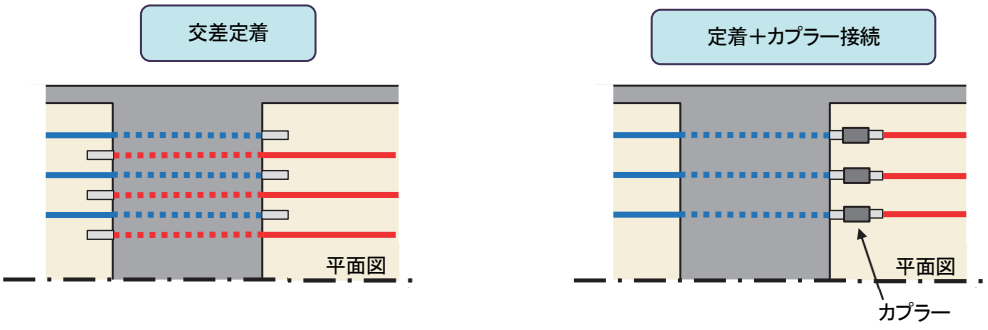
PC5 径間連続有ヒンジラーメン箱桁橋として 1980 年に竣工したが、建設後 33 年が経過し、走行性・耐震性・維持管理性の改善が必要となり、主桁の補強および 3 箇所の中央ヒンジの連続化工事が行われた。F-TS 型ケーブルの特徴（ねじ式定着）を活かし、先施工で定着されたケーブルの後方に後施工ケーブルをカプラー接続する構造が採用された。

全景

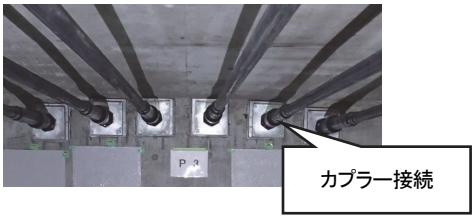


ケーブル配置・構造詳細





・F-TS型ケーブルの特長であるカプラー接続を活用して合理的なケーブル配置が可能となったことで、横桁の削孔を半減できた。
・交差定着構造と同様に、連続ケーブルでは不可能な各径間毎での分割施工が可能となった。



備考

加藤　就一，近藤　克己，安藤　直文，柴田　直紀:外ケーブルを合理化配置した有ヒンジ橋の連続化（涼徳橋），第 23 回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集，2014.10

No.1-9	ASR 劣化･床版更新･PC 連続合成桁			
橋　梁　名	八戸自動車道 楢山橋		施 工 場 所	岩手県
構 造 形 式	PC3 径間連続合成桁		竣　工　年	1986 年
構 造 寸 法	橋 長:105m	最大支間:35.3m	施　工　年	2019 年
発　注　者	東日本高速道路株式会社 東北支社		使用ﾀｲﾌﾟ	F170TS

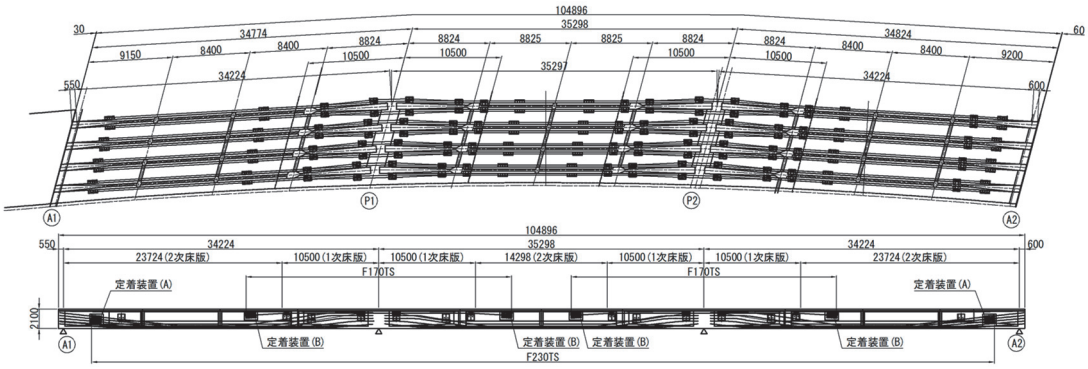
概要

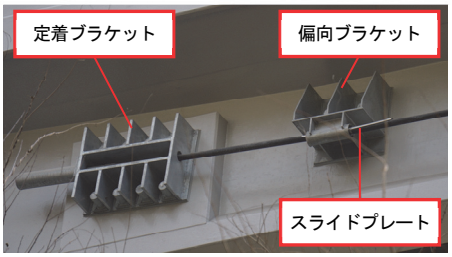
本橋は、中間支点部の一次床版コンクリートに ASR によるひび割れなどの変状が橋梁調査で確認され、さらに各種試験結果からコンクリートの物性低下が判明した。このため、一次床版の更新を主とする補修･補強工事が計画･施工された。一次床版の更新では、更新床版と既設主桁のコンクリート材齢差により、中間支点上の更新床版上縁に大きな引張応力が発生する。この引張応力に対して有効なプレストレスを導入するため、床版内に配置する中空 PC 鋼棒と併用して外ケーブル補強工法が採用された。外ケーブルの配置検討では、連続ケーブルを基本としたが、連続ケーブルのみでは容量が大きくなる。このため、連続外ケーブルの他に中間支点上ケーブルを配置することで、2 次力に対して合理的な配置とすると同時に、分散配置とすることで 1 本あたりの外ケーブル容量を抑え、定着による既設主桁への影響を少なくした。

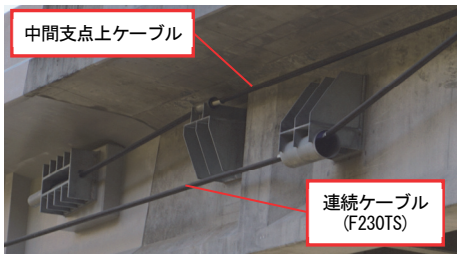
全景



ケーブル配置・構造詳細







備考

プレストレスコンクリート工学会　第 27 回シンポジウム論文集(2018 年 11 月)

土木学会　第 73 回年次学術講演会(2018 年 8 月)

(一社)セメント協会　セメント･コンクリート No.872(2019 年 10 月)

㈱建設図書　橋梁と基礎(2019 年 9 月号)

No.1-10	B 活荷重対応・ゲルバー連続化			
橋　梁　名	揖斐川橋(上下線)		施 工 場 所	岐阜県
構 造 形 式	鋼 5 径間連続合成鈑桁橋		竣　工　年	1964 年
構 造 寸 法	橋　長:349.2m	最大支間:69.6m	施　工　年	2012 年
発　注　者	中日本高速道路株式会社		使 用 タイプ	F200TS、F170TS

概要

ゲルバーヒンジを有する合成鈑桁橋のゲルバー部補強のため、上部工の連続化が実施され、構造系が変化した状態で B 活荷重に対応させる対策として、外ケーブル補強工法が採用された。緊張力による橋体への悪影響を避けるため、桁断面に均等な緊張力が導入されるよう、各径間に配置された 8 本の補強ケーブルに対し、8 台の緊張ジャッキ(4 台の緊張ポンプ)で同時に緊張を行った。

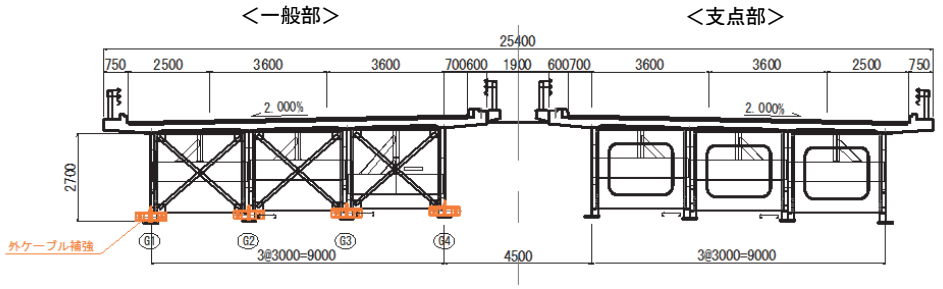
全景



ケーブル配置・構造詳細

・定着体は主桁下フランジ近傍の主桁側面に設置され、補強ケーブルは対傾構、横桁の下に直線で配置された。

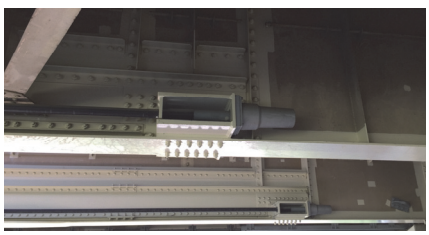
・触れ止め装置は 7～11m間隔で、1 径間当たり 4 箇所に設置された。

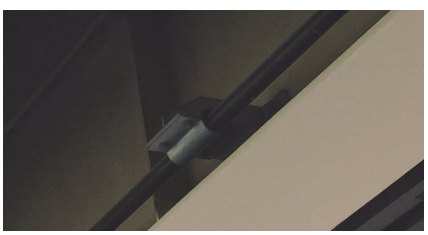












備考

No.1-11	B 活荷重対応・歩道増設・ケーブル分割配置			
橋　梁　名	新中川橋		施 工 場 所	兵庫県
構 造 形 式	鋼 4 径間連続非合成鈑桁橋		竣　工　年	1962 年
構 造 寸 法	橋　長:160.2m	最大支間:　45.1m	施　工　年	2014 年
発　注　者	兵庫県		使 用 タイプ	F200TS、F100TS

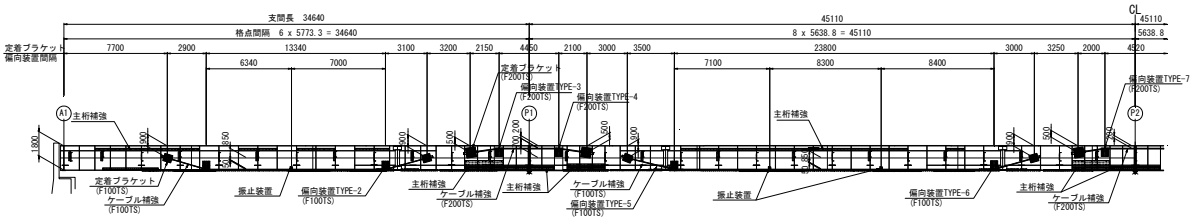
概要

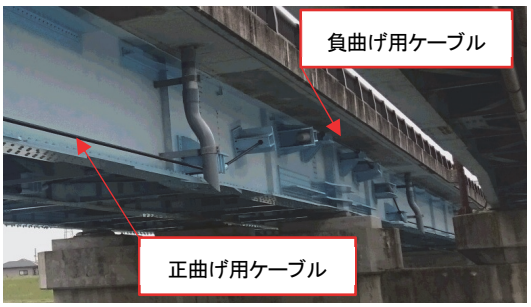
1996 年に床版補強工事が行われており、2014 年の歩道設置と併せて橋全体が B 活荷重に対応できるよう既設主桁の補強が実施された。補強工法は「外ケーブル補強＋あて板補強」が採用されたが、外ケーブル補強においては、連続桁の支点上での負曲げ、支間中央部での正曲げに対して連続ケーブルを配置する形式ではなく、最も応力改善効果が高いと考えられた、各曲げに対してケーブルを分割して配置する形式が選定された。

全景



ケーブル配置・構造詳細











備考

No.1-12	B 活荷重対応・連続ケーブル分割・ケーブル接続			
橋　梁　名	高橋こ線橋		施 工 場 所	宮城県
構 造 形 式	鋼 3 径間連続非合成鋼鈑桁橋		竣　工　年	1971 年
構 造 寸 法	橋　長:154.0m	最大支間:29.5m	施　工　年	2012 年
発　注　者	多賀城市		使 用 タイプ	F100TS

概要

東北本線を横断するこ線橋のうち、3 径間連続非合成桁部に対して B 活荷重に対応させるための外ケーブル補強を実施した事例である。偏向装置は偏向管が一体化された構造であり、施工上の制約から 3 径間に渡り連続で配置されるケーブルを順次偏向管に通過させて配線することが困難であると考えられたため、ねじ定着式ケーブルの特徴を活かして、2 本に分割したケーブルを配線後に第 2 径間中央部でカプラー接続する構造とすることで、配線時の施工性改善を図った。

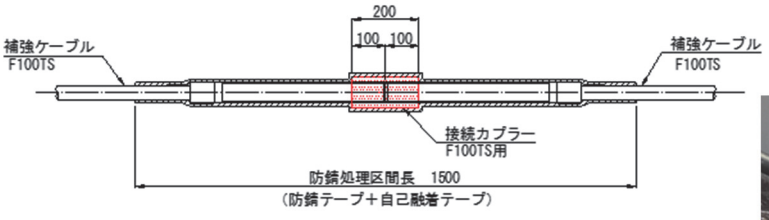
全景



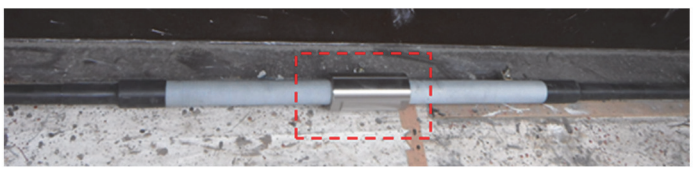
ケーブル配置・構造詳細











備考

嘉藤　成人，新銀　武:塗装工事と一体化した鋼橋の大規模補強工事，第 25 回構造物の診断と補強に関する技術・研究発表会論文集

No.1-13	塩害劣化・耐荷力向上・外ケーブル併用			
橋　梁　名	弓振川橋（鋼桁部）		施 工 場 所	長野県
構 造 形 式	鋼単純合成鈑桁		竣　工　年	1973 年
構 造 寸 法	橋　長：39.25m	支　間：38.4m	施　工　年	2016 年
発　注　者	中日本高速道路株式会社		使用タイプ	F200TS

概要

供用開始から約 40 年が経過した鋼単純合成桁橋において、疲労および凍結防止剤散布に起因する塩害劣化により、床版の損傷が著しく進行した。このため床版取替工事を実施したが、床版更新に伴い構造形式が合成桁から非合成桁へ移行し、床版との合成作用が期待できなくなった結果、主桁の耐荷力不足が顕在化した。

このため本橋では、鋼材補強のみでは補強部材の大型化や維持管理性の低下、さらに集中工事における施工制約が懸念されたことから、外ケーブル補強工法を併用した主桁補強策を採用した。

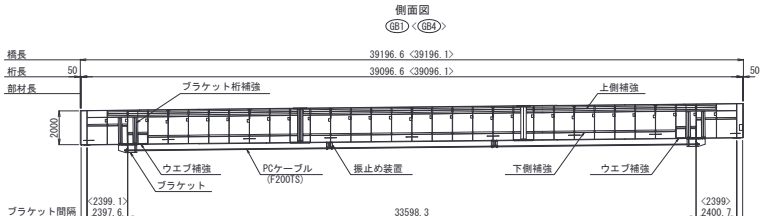
施工においては、補強鋼材をあらかじめ配置した上で外ケーブルを緊張し、その後にボルト締結を行う手順とすることで、既設部材の応力状態を改善するとともに補強効率の向上を図った。

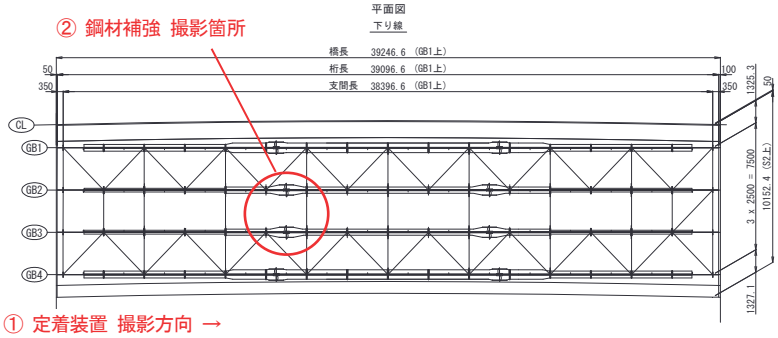
その結果、外ケーブルの小容量化および補強部材の小型化が可能となり、施工性及び維持管理性の向上を実現した。

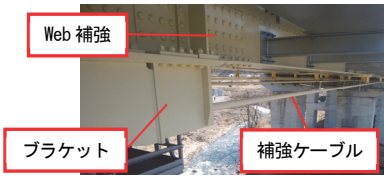
全景



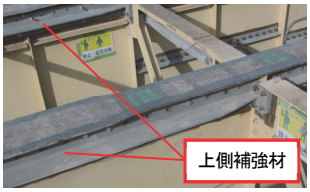
ケーブル配置・構造詳細







①定着装置



②鋼材補強



桁下全景

備考

No.1-14	耐荷力向上・鋼トラス橋			
橋　梁　名	早川大橋		施 工 場 所	山梨県
構 造 形 式	下路式鋼トラス橋		竣　工　年	1956 年
構 造 寸 法	橋　長:111.6 m	最大支間:55 m	施　工　年	2019 年
発　注　者	山梨県		使用タイプ	F230PH

概要

早川大橋は、1956 年に当時の設計基準(TL-14)に基づいて建設され、供用されてきた。しかし、近年の通行車両の増加および車両の大型化に伴い、既設橋の耐荷力不足が顕在化したことから、本橋では外ケーブル工法による補強を実施した。

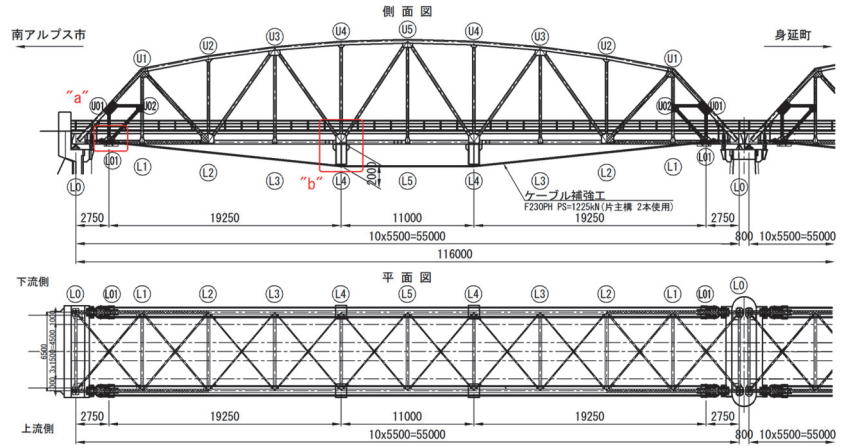
鋼トラス橋に外ケーブルを適用した補強事例は少なく、補強構造の妥当性を事前に検証する必要があった。このため、格子解析による橋梁全体系の応力および変位特性の検討を行うとともに、定着部については FEM 解析を用いて局部応力の評価を実施した。

施工時には、外ケーブルの緊張作業に合わせて部材応力の測定およびキャンバーの計測を行い、緊張力が適切に伝達されていること、ならびに外ケーブル導入による橋梁全体の剛性向上を確認した。

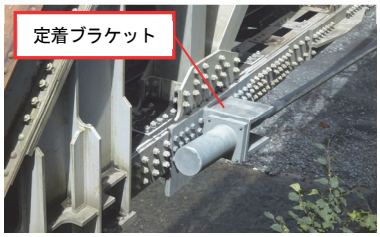
全景



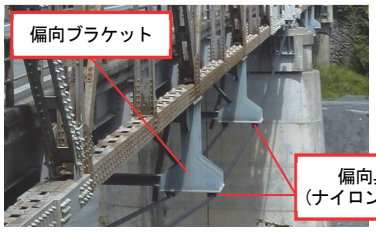
ケーブル配置・構造詳細



a 部



b 部



備考

横河ブリッジホールディングスグループ技報　No49　2020 年 1 月

No.1-15	橋脚新旧横梁一体化における曲げ補強・中間仮定着体・ケーブル接続		
橋　梁　名	4 号湾岸線・6 号大和川線　三宝 JCT	施 工 場 所	大阪府
構 造 形 式	ラーメン橋脚（横梁：新設 RC＋既設 PC＋新設鋼）	竣　工　年	2015 年（部分供用）
構 造 寸 法	ケーブル長：26.6m～31.7m（完成時）	施　工　年	2013 年
発　注　者	阪神高速道路株式会社	使 用 タイプ	F500TS、F360TS、F310TS

概要

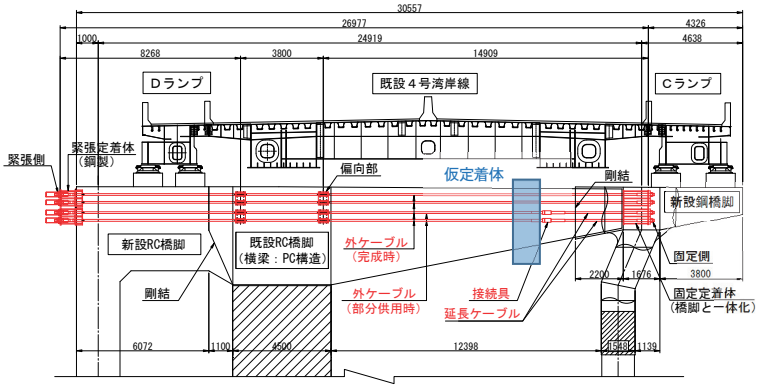
既設 4 号湾岸線への接続箇所において、上部構造の拡幅に合わせて既設 T 形橋脚の両側に橋脚が新設され、新旧横梁の一体化によりラーメン橋脚へと構造形式が変化することで、新旧接合部に新たな断面力（曲げ、せん断）が生じる。この曲げ補強として、両端の新設橋脚横梁間に補強外ケーブルを配置する構造が採用された。

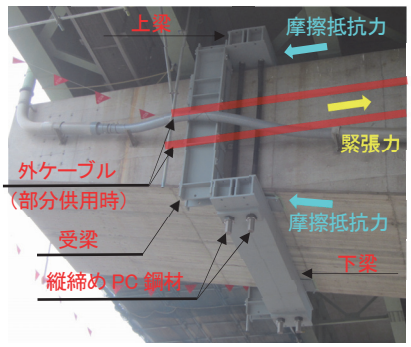
全景



ケーブル配置・構造詳細

・大和川線から合流する C ランプ橋脚施工前に三宝出口に向かう D ランプを部分供用させるため、部分供用中の活荷重および L1・L2 地震に対して外ケーブル補強を行う必要があったことから、C ランプ側の既設梁に鋼製の仮定着体を設置して外ケーブル補強を行い、C ランプ橋脚施工後にケーブルを接続延長して本設の定着体に盛り替えた。





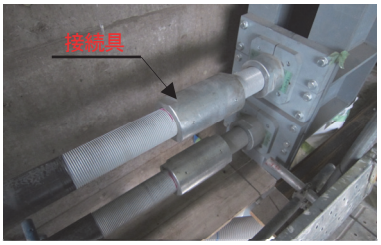
仮定着体設置状況



緊張側定着部



固定側定着部



ケーブル接続状況

・仮定着体は外ケーブル盛り替え後に撤去できるよう、縦締め PC 鋼材で橋脚横梁を上下梁で挟んで緊張し、既設横梁との摩擦力によって緊張力に抵抗する構造を考案した。（阪神高速道路㈱、鹿島建設㈱、㈱エスイーによる共同開発）

備考

茂呂　拓実，杉山　裕樹，田島　祐介，金澤　宏明，南　浩郎，内村　祥史：三宝ジャンクションの桁再利用および新旧橋脚一体構造，橋梁と基礎，vol.49，No.6，2015.6

No.1-16	新旧梁一体化・主桁増設		
橋　梁　名	弥富高架橋（下り線）	施 工 場 所	愛知県
構 造 形 式	鋼連続鈑桁橋（下部工：張出し式橋脚）	竣　工　年	1975 年
構 造 寸 法	幅　員：11.87m～14.45m	施　工　年	2024 年
発　注　者	中日本高速道路株式会社	使用タイプ	F500TS 他

概要

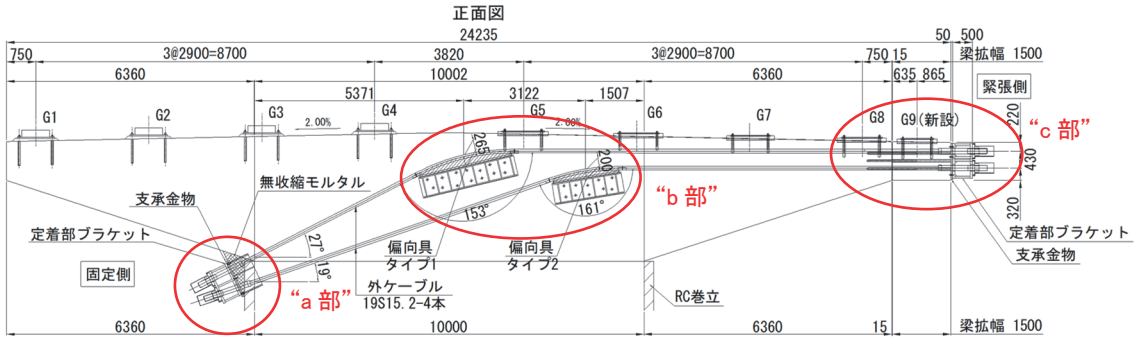
本橋梁は、1975 年の供用開始以降、大型車交通量の増加および凍結防止剤散布の影響により床版の損傷が進展したため、抜本的な対策として延長約 1.6km にわたり、下り線の床版取替えを幅員方向分割施工にて実施した。床版取替えにあたっては、下り線施工時だけでなく、将来上り線の全幅員一括施工による対面交通規制時の通行帯確保に向けて拡幅を行う必要があることから、橋脚梁の拡幅ならびに主桁の増設による下り線の床版拡幅を行って幅員を確保した。

橋脚梁の拡幅には主にプレキャストコンクリート部材を採用し、あと施工アンカーによる鉄筋定着および外ケーブルによるプレストレス導入により、橋脚梁の補強と新旧部材の一体化を行った。外ケーブルの定着については、標準的な上下線分離の橋脚では、橋脚梁の両端に鋼製ブラケットを用いて定着する構造とした。上下線一体構造の橋脚では、定着位置が並行する供用中の県道直上とならないように、偏向部を介して梁の付根に定着する構造とした。

全景

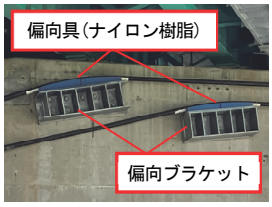


ケーブル配置・構造詳細

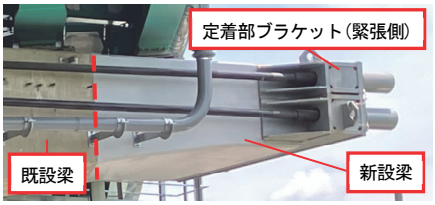




a 部(固定側定着部)



b 部(偏向具)



c 部(緊張側定着部)

備考

その他用途（施工事例）

No.2-1	アーチ橋斜吊り材・張力調整			
橋　梁　名	下郷大橋		施 工 場 所	福島県
構 造 形 式	RC 固定アーチ橋		竣　工　年	2023 年
構 造 寸 法	橋　長：342.5m	最大支間：200m	施　工　年	ー
発　注　者	福島県南会津建設事務所		使用タイプ	F500TS・F270TS 他

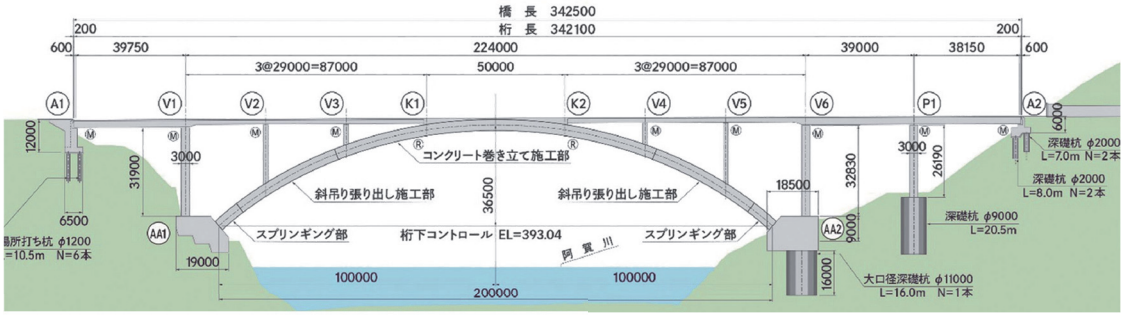
概要

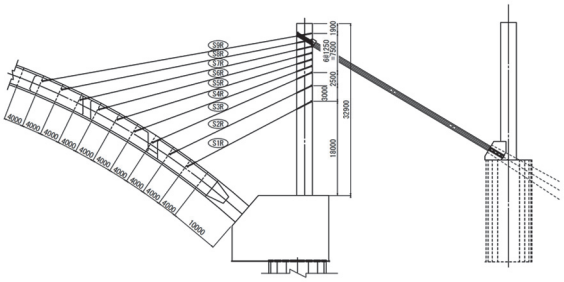
会津若松市と南会津町を結ぶ全長 50km の会津縦貫南道路に位置する下郷大橋は、急峻な渓谷地形を渡河するアーチ支間長 200mの上路式 RC 固定アーチ橋である。本橋のアーチリブ架設時の斜吊り鋼材としてケーブルが採用された。アーチリブは両アーチアバットからスプリンキングを固定式支保工により構築した後、コンクリートアーチ部分を片側 10 分割し、ピロン工法により斜吊り張出施工を行った。その後、コンクリートアーチ上に鋼製ピロンを設置し、片側 7 分割した鋼メラン材をピロン工法で架設する「ダブル斜吊り工法」を適用してアーチリブ全体を完成させた。ケーブルは、施工中の反力増加によるメランの変位を管理しながら施工する必要があったため、張力調整・張力開放をケーブル定着後も繰り返し行えるねじ定着式のケーブルを採用した。

全景

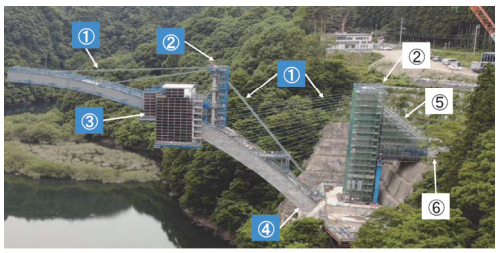


ケーブル配置・構造詳細





エンドポスト側　斜吊り鋼材



①斜吊り鋼材(前方・後方)　②ピロン(鋼製・エンドポスト)
③鋼メラン材(1BL)　④アーチスプリンキング
⑤バックステイ　⑥アンカーブロック

備考

No.2-2	アーチ橋吊材の取替え・高耐久化・高疲労型ケーブル			
橋　梁　名	君津新橋		施 工 場 所	千葉県
構 造 形 式	下路式PCローゼアーチ橋		竣　工　年	1973 年
構 造 寸 法	橋　長：68.1m	最大支間：66.1m	施　工　年	2010 年
発　注　者	君津市		使 用 タイプ	F130PH

概要

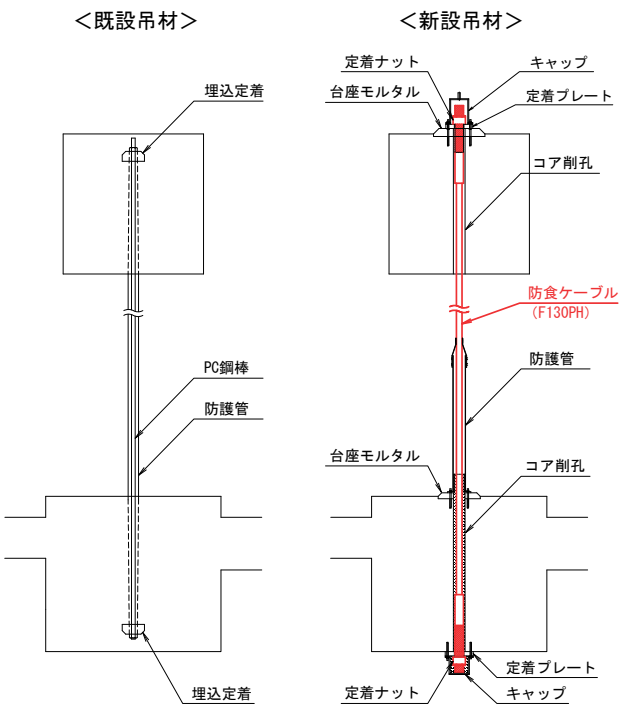
国内初の下路式 PC ローゼアーチ橋において、2008 年にアーチリブと下弦材をつなぐ吊材(PC 鋼棒)が破断しているのが発見され、詳細調査の結果、その他の吊材でも腐食・減肉が確認された。吊材の復旧に際し、橋梁の長寿命化を図るための恒久対策として、吊材は PC 鋼棒から疲労性能と防錆防食性能に優れる F-PH 型ケーブルに取り替えられた。

全景



ケーブル配置・構造詳細

定着プレートは、既設吊材の配置間隔に合わせる必要があったため、PC ケーブル 2 本を定着させる特殊なプレートが採用された。







備考

林　俊弥, 熊谷　裕司, 渡辺　昭三, 大石　眞也:君津新橋のリニューアル工事, 第 19 回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, 2010.10

No.2-3	プレキャストセグメント橋撤去対策			
橋　梁　名	妙高大橋		施 工 場 所	新潟県
構 造 形 式	PC4 径間連続箱桁		竣　工　年	1972 年
構 造 寸 法	橋　長:300m	最大支間:85m	施　工　年	2025 年
発　注　者	国土交通省　北陸地方整備局		使用タイプ	F100TS、F270TS、F320F-FUT

概要

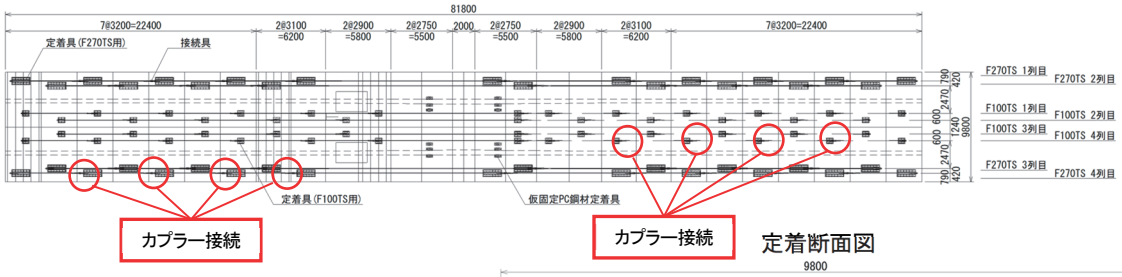
2009 年に PC ケーブルの損傷が発見され、応急対策として補強ケーブルを設置した。しかし、恒久的な安全性を確保するため、妙高大橋の架替が事業化され、2021 年には新橋への交通切り替えが完了したことから、旧橋の上部撤去に着手することとなった。旧橋はプレキャストセグメント工法による橋梁であり、セグメント間の接合面には連続する鉄筋が存在しない構造であった。このため、撤去時の主桁応力変化に伴ってPC鋼材が破断するおそれがあったことから、撤去作業中に上縁へ引張応力を生じさせないための補強材として、F-TS 型ケーブルを採用した。なお、補強ケーブルは、撤去対象ブロックの緊張力を解放しても、他のブロックの緊張力に影響が及ばないよう順次撤去できるように、各ブロックをカプラー接続とした。

全景

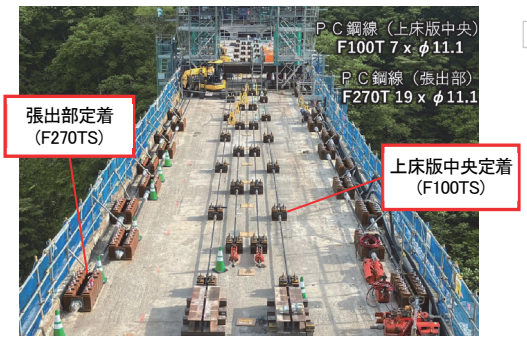


ケーブル配置・構造詳細

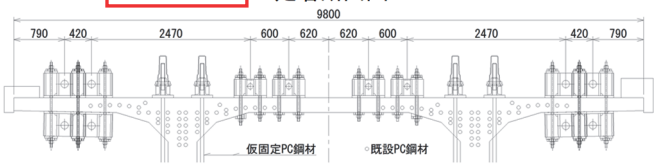
定着位置図



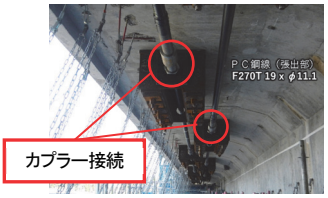
橋面定着配置状況



定着断面図



張出部下面定着(F270TS)



仮固定定着(F320F-FUT)



備考

No.2-4	複合トラス橋 1 次ケーブル・高疲労型ケーブル			
橋　梁　名	広野大橋		施 工 場 所	京都府
構 造 形 式	PC 単純複合トラス橋		竣　工　年	2011 年
構 造 寸 法	橋　長：111.0m	最大支間：107.5m	施　工　年	2010 年
発　注　者	京都府		使 用 タイプ	F500PH

概要

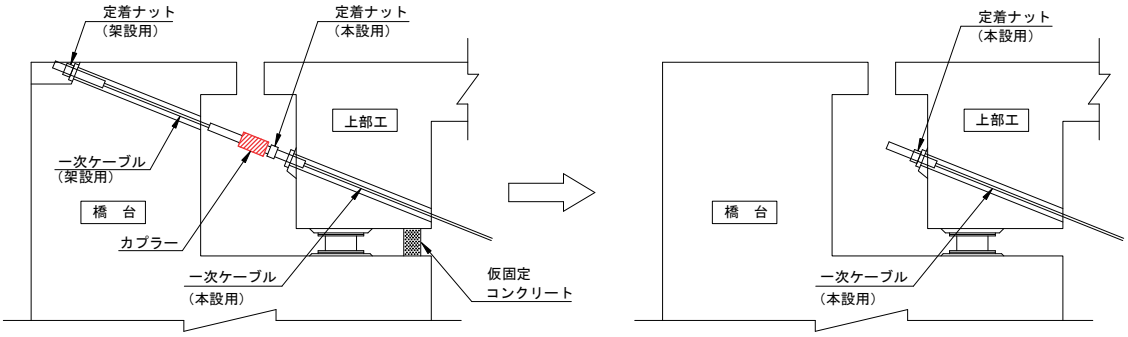
吊床版工法を応用した自碇式の複合トラス橋における吊床版構造を構築する吊材（1 次ケーブル）に、高い防食性能と疲労強度を有する F-PH 型ケーブルが採用された。

全景



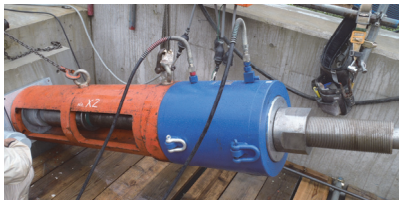
ケーブル配置・構造詳細

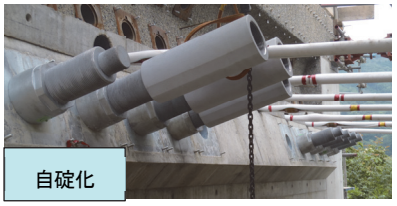
吊床版、ウェブとなる鋼斜材、上床版を施工することで自立可能な構造系となった後、架設時に両橋台に定着した 1 次ケーブル（他碇構造）の張力を解放して上部構造に定着（自碇化）させる構造系変換を行うため、上部構造と橋台の遊間部で 1 次ケーブルの架設用と本設用をカプラー接続する、ねじ定着式ケーブルの特長を活かした構造となっている。











備考

桑野　昌晴，林　龍夫，杉谷　和弘，河野　信介：吊構造を利用した架設方法による複合トラス橋　大簾川橋の施工，第 20 回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム，2011.10

No.2-5	支承部負反力対策のケーブルペンデル・高疲労型ケーブル			
橋　梁　名	由利橋		施 工 場 所	秋田県
構 造 形 式	鋼 2 径間連続斜張橋（鋼床版 2 主箱桁）		竣　工　年	2013 年
構 造 寸 法	橋　長：190.5m	最大支間：134.8m	施　工　年	2012 年
発　注　者	由利本荘市		使 用 タイプ	F360PH

概要

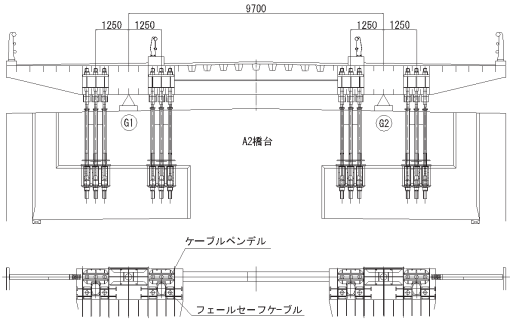
本橋は不等径間（134.75m＋54.75）を有する 2 径間連続鋼斜張橋であり、その構造的特徴から、A2 橋台には活荷重載荷時だけでなく、死荷重状態でも大きな負反力が発生する。その対策として、PC ケーブルでプレストレスを導入するケーブルペンデルとカウンターウェイトコンクリートが採用され、最大負反力作用時でも支点が浮き上がらない構造となっている。

全景



ケーブル配置・構造詳細

ケーブルペンデルが破断した場合、橋梁全体の崩壊に直結するため、フェールセーフとして死荷重反力相当の PC ケーブル（フェールセーフケーブル）が配置された。（ケーブルペンデルと同材料でプレストレスは導入しない）



ケーブルペンデル配置図



ケーブルペンデル緊張状況

（2000kN センターホールジャッキ使用）

下部定着部では高さ 820mm の鋼製ブラケットを設け、マンション部を確実に露出させて常時目視点検ができるよう、維持管理性に配慮されている。



上部定着部



上下部連結部



下部定着部

備考

近藤　俊行，松田　亘，石川　一平，三原　邦啓，関根　正之：由利橋工事報告－現場施工型ケーブルを使用した斜張橋の緊張管理及び架設－，IHI インフラ技報 2013 vol.2

No.2-6	吊橋センターステイ交換・エネルギー吸収型ケーブル			
橋　梁　名	平戸大橋		施 工 場 所	長崎県
構 造 形 式	ストレートバックステー2 ヒンジ補剛吊橋		竣　工　年	1977 年
構 造 寸 法	橋　長：665.1m	最大支間：465.4m	施　工　年	2011 年
発　注　者	長崎県		使 用 タイプ	F70TE

概要

本橋の中央部には、吊橋主ケーブルと桁を繋ぎ止め、強風による桁のゆれを抑制するためのセンターステイ(ワイヤーロープ)が設置されていたが、センターステイの破断荷重を超える断面力が作用する地震が発生した場合、破断したワイヤーが道路上に飛び出す等の第三者被害が懸念された。その対策として、センターステイの破断を回避できる材料への交換が検討され、地震時に生じるエネルギーを吸収できる落橋防止装置として使用実績のある「タイーブリッジ」が採用された。

全景



ケーブル配置・構造詳細

・センターステイ交換に際し、ロードセルを用いて風荷重と活荷重作用時の張力計測を行って既設センターステイの張力変動を把握し、過大な張力が作用しないことを確認して交換ケーブルの導入張力を決定した。
・コントロールパイプが変形することで地震時に生じるエネルギー（荷重－変位）を吸収することができる構造のため、ケーブルの破断を回避できる。

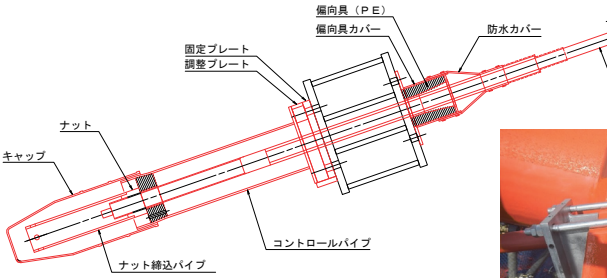


既設センターステイ張力確認

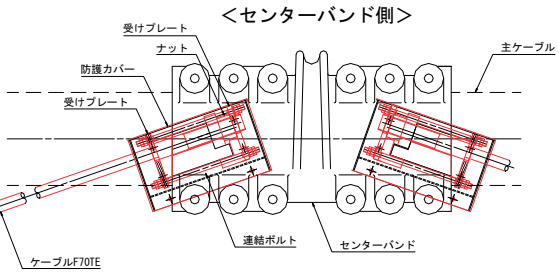


補剛トラス側交換完了

＜補剛トラス側＞



＜センターバンド側＞





センターバンド側固定状況



センターバンド側交換完了

備考

No.2-7	既設鉄筋への干渉を避けたPCケーブル定着ブラケット			
橋　梁　名	首都高速道路 PC 箱桁橋		施 工 場 所	東京都
構 造 形 式	3 径間連続 PC 箱桁橋(RCV 形橋脚)		竣　工　年	1966 年
構 造 寸 法	橋 長: 89m	最大支間: 30m	施　工　年	2023 年
発　注　者	首都高速道路株式会社		使用タイプ	F200TS・F60TS

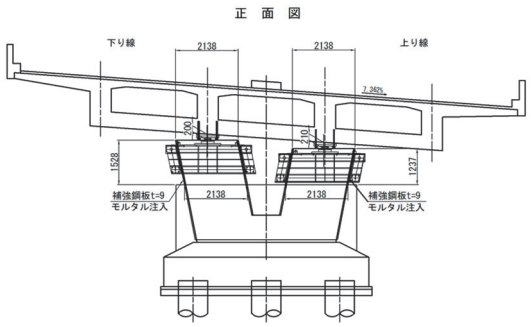
概要

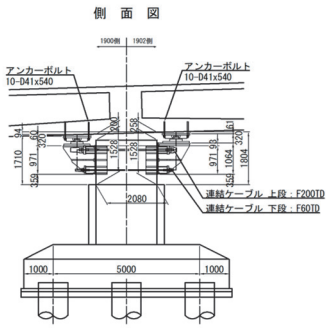
V 字形 RC 橋脚を有する 3 径間連続 PC 箱桁橋において、耐震性能を一層向上させることを目的として変位制限構造を設置した事例である。本橋は鉄筋が過密に配筋されており、さらに巻立て補強鋼板が設置されているため、ブラケットを固定するアンカーボルト位置の補強鋼板撤去やコア削孔では既設鉄筋に干渉が想定され、施工が遅延するおそれがあった。この課題に対し、ブラケットを PC ケーブルで橋脚柱部に緊結して挟み込み一体化させる構造を採用し、アンカーボルト方式による削孔を不要とした。また、PC ケーブルには、緊張定着時にセットロスが発生しないねじ定着式を採用した。

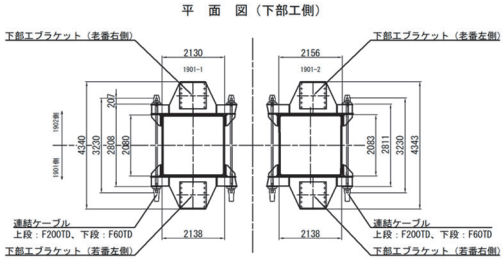
全景

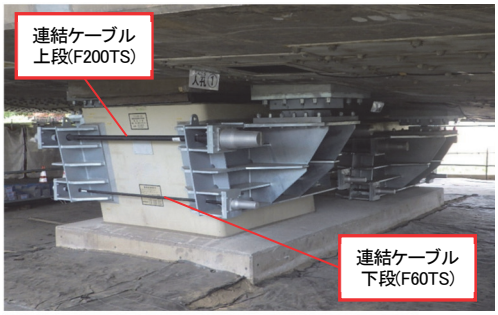


ケーブル配置・構造詳細









設置完了

備考

橋梁と基礎　2023.6　Vol57 参考

No.2-8	プレキャスト圧着接合・円周方向配置ケーブル			
施　設　名	ガランドヤ古墳　1 号墳保存施設		施 工 場 所	大分県
構 造 方 式	RC 造と PC 造を組み合わせた現場打ち一体式 PcaPC 造		竣　工　年	2014 年
構 造 寸 法	直　径：13.8m	高　さ：6.0m	施　工　年	2014 年
発　注　者	日田市		使 用 タイプ	F130TS、F70TS

概要

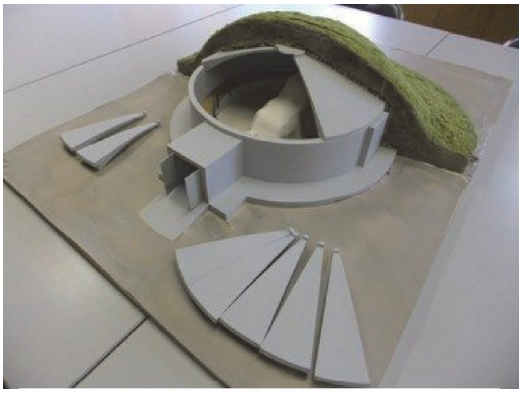
6 世紀中頃から後半の装飾壁画を有する横穴式石室「ガランドヤ古墳」では、墳丘が完全に失われ、石室の石組が露出していたため、装飾の劣化を防止する保存施設として石室を覆うドーム形状のコンクリート躯体と保護盛土が建設された。このコンクリート躯体を構築するに当たり、屋根部材（20 等分に分割されたプレキャスト版）の圧着接合用ケーブル、側壁（現場打ち PC 造）の横締めケーブルに F-TS 型ケーブルが使用された。

全景



ケーブル配置・構造詳細

・将来石室の修復等が生じた場合を想定し、必要範囲の部材を取外せる構造方式が採用されたことから、円周方向に配置するケーブルには、張力解放、再緊張に適した F-TS 型ケーブル（ねじ式定着、ノングラウトタイプ）が採用された。
（屋根材接合：F70TS、側壁横締め：F130TS、180 度方向に配置された定着部で交差定着）
・屋根部材と側壁を圧接接合する縦締め鋼材にはアンボンド PC 鋼棒が使用された。



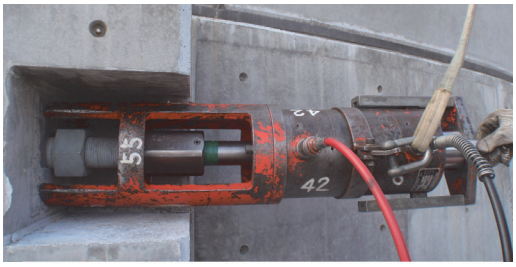
保存施設模型



屋根材接合用ケーブル挿入状況



保存施設（コンクリート躯体）完成



側壁横締めケーブル緊張状況

備考

前田　道孝，高原　正則，堀　英児，福田　顕議：史跡ガランドヤ古墳保存施設の施工，第 23 回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム，2014.10

６．参考図書

外ケーブル方式による橋梁補強の設計や施工を行う場合に参考となる図書は、大きく分けて“示方書および基準(規準)関係”と“その他指針類・参考図書”の二つである。

以下に、それぞれについての主要な図書を紹介する。

■ 示方書および基準(規準)関係

タ イ ト ル	発行元
コンクリート標準示方書　設計編	（公社）土木学会
コンクリート標準示方書　施工編	（公社）土木学会
コンクリート標準示方書　維持管理編	（公社）土木学会
道路橋示方書・同解説　Ⅰ共通編　Ⅱ鋼橋編	（社）日本道路協会
道路橋示方書・同解説　Ⅰ共通編　Ⅲコンクリート橋編	（社）日本道路協会
コンクリート道路橋設計便覧	（社）日本道路協会
コンクリート道路橋施工便覧	（社）日本道路協会
鋼道路橋設計便覧	（社）日本道路協会
鋼道路橋施工便覧	（公社）日本道路協会
鋼道路橋防食便覧	（公社）日本道路協会
国土交通省　土木工事積算基準	（一財）建設物価調査会
外ケーブル構造・プレキャストセグメント工法設計施工規準	（社）プレストレストコンクリート技術協会

■ その他指針類･参考図書

タ イ ト ル	発行元
コンクリートライブラリー95　コンクリート構造物の補強指針（案）	（社）土木学会
外ケーブル方式によるコンクリート橋の補強マニュアル（案）	（社）プレストレスト・コンクリート建設業協会
外ケーブル方式によるコンクリート橋の補強実例図集	（社）プレストレスト・コンクリート建設業協会
標準積算要領（PC 外ケーブル補強工法）	（社）プレストレスト・コンクリート建設業協会
PC グラウト&プレグラウト PC 鋼材　施工マニュアル	（社）プレストレスト・コンクリート建設業協会
PC グラウトの設計施工指針	（公社）プレストレストコンクリート工学会
PC 定着工法	（社）プレストレストコンクリート技術協会
デザインデータブック	（一社）日本橋梁建設協会
橋梁技術者のための塗装ガイドブック	（社）日本橋梁建設協会
橋梁架設工事の積算	（一社）日本建設機械施工協会
外ケーブルによる鋼橋の補強　設計と施工の手引き	森北出版（株）
SEEE 工法　外ケーブル方式による橋梁補強工法　設計･施工マニュアル	（株）エスイー

株式会社 エスイー

技術統括部 橋梁構造部 〒163-1342 東京都新宿区西新宿6-5-1 新宿アイランドタワー42階 TEL(03)5321-6514 FAX(03)5321-6519

ISO9001認証取得

橋梁構造
事業分野HP

●弊社の詳しい情報はインターネットでご覧いただけます。 https://www.se-corp.com