

長大連続トラス橋の耐震補強工事の施工～境水道大橋～

Seismic Retrofit Work for Long-span Continuous Truss Bridge: Sakaisuido Bridge



辻 文 彰 Tomoaki Tsuji ①
山下 直 樹 Naoki Yamashita ②

あ ら ま し

境水道大橋は1972年に建造された連続トラス橋である。建設後40年が経過し、老朽化が進むことや設計基準の更新に対応するために耐震補強工事を実施した。耐震補強工事は、既存の部材において不足する断面の増厚、座屈拘束ブレースや粘性ダンパーといった制震デバイスの設置、支点条件の変更等の工種を含むものであったが、長大橋への施工という点において、その規模や実施工程の長さから、特に施工計画や施工手順に多くの工夫を行い、工期内に無事完工することが出来た。本稿はこのような耐震補強工事の概要について報告するものである。

Abstract

We have undertaken seismic retrofit work on Sakaisuido Bridge, a long-span continuous truss bridge built in 1972, in response to deterioration of the bridge 40 years after construction and updates to bridge design standards. The project included thickening of existing materials lacking in cross-sectional area, installation of seismic protection systems such as buckling-restrained braces and fluid viscous dampers, and changing of bearing types. Although application to a long-span bridge required many improvements in the construction plan and procedure due to the scale of the structure and large number of steps involved in the process, we successfully finished the work within the set construction period. This paper provides an overview of this seismic retrofit project.

1. 緒 言

境水道は鳥取県境港市と島根県松江市美保関町の間を流れる幅600mを有する一級河川であり、中海から日本海の美保湾に臨む斐伊川の河口部として位置付けられる。この境水道を横断する境水道大橋は、その独特で美しい姿で地域のシンボリック役割を担っている。主橋部は全長433.9m、幅員8.5mの3径間連続トラス橋であり、支間中央へ向かうに連れてトラスが上路式から中路、下路式へと変化する「上下路式連続トラス橋」という形式が構造的な特徴である。

本橋は日本道路公団により建造され1972年7月に開通した。高度経済成長期に架けられた橋梁は、老朽化

が進んでいることや設計基準が更新されたことに伴い、現在では補修や補強を行うべき時期を迎えている。本橋も鳥取県・島根県にまたがる地域防災計画において緊急輸送道路の第1次ルート指定を受けていることから、耐震補強の実施が急務とされていた。このような中、耐震補強と設計活荷重への対応を目的とする補強工事が発注され、当社を含む共同企業体が受注し、施工を完了した。本稿は、本橋の耐震補強工事の概要について報告するものである。

2. 橋梁概要

橋梁の概要を以下に示し、全体一般図を図1に示す。

工事名 : 国道431号(境水道大橋)耐震補強工事(上部工)

発注者 : 鳥取県

① 社会インフラ事業本部 鉄構・防災ビジネスユニット 鉄構・橋梁部
② 社会インフラ事業本部 鉄構・防災ビジネスユニット

施工者	: 日立・瀧上特定建設工事共同企業体
工事場所	: 島根県松江市美保関町森山～ 鳥取県境港市岬町
工期	: 2012年10月16日～2014年12月24日
橋梁形式	: 鋼3径間上下路式連続トラス橋
橋長	: 433.9m
支間長	: 96.0m+240.0m+96.0m
主構高	: 支間中央部 13.0m, 中間支点部 26.0m
幅員	: 8.500m (有効幅員6.500m)
総鋼重	: 建設時鋼重 約2,200t, 補強材鋼重 約820t
補強設計会社	: セントラルコンサルタント株式会社

3. 耐震補強設計の概要

3.1 現況の照査 境水道大橋は、前述したとおり1972年に完成した橋梁であり、橋梁自体の設計は1964年発行の道路橋設計示方書に基づいたものであった。補強設計の適用基準は2002年3月の道路橋示方書であるが、建設時の示方書からの改正点として、1993年の道路構造令の改正による設計自動車荷重の変更と、1995年に発生した阪神淡路大震災を契機に見直しされた耐震設計の変更が挙げられる。詳細設計業務で

はこれらの基準に準じた照査が行われた。その結果、上部工についてはトラス主部材の多くの部材で耐力が確保できないことが明らかとなった。さらに、レベル2地震時の橋軸方向加振時には固定支承であるA1橋台の支承耐力が満足しないほか、可動支承であるP1橋脚、P2橋脚の支承移動量も許容値を超過することが判明した。また、橋軸直角方向加振時には水平力や上揚力に対して全ての支承の耐力が満足しない結果であった。

3.2 補強設計と施工への配慮

3.2.1 補強方針 耐震補強の方針としては道路橋示方書の基準を満足させることとし、長大トラス橋という特徴と社会的な重要度を考慮して要求する耐震性能と各部材の限界状態が決定された。トラス橋においては、上弦材、下弦材、斜材、垂直材といった主構トラス部材の降伏による座屈が構造の成立性に大きく影響を与えるため、主構トラス部材はレベル2地震によって応力が弾性範囲内に留まる限界状態が設定された。補強工法の選定の際には、部材の補強が広範囲に及び、補強に必要な断面が大きくなることが懸念されたため、地震エネルギーを吸収して減衰効果が図れる制震デバイスである座屈拘束ブレースや粘性ダンパーが採用され、補強設計の最適化が図られた。図2に補強の概要を示し、各部材の具体的な設計について以降に述べる。

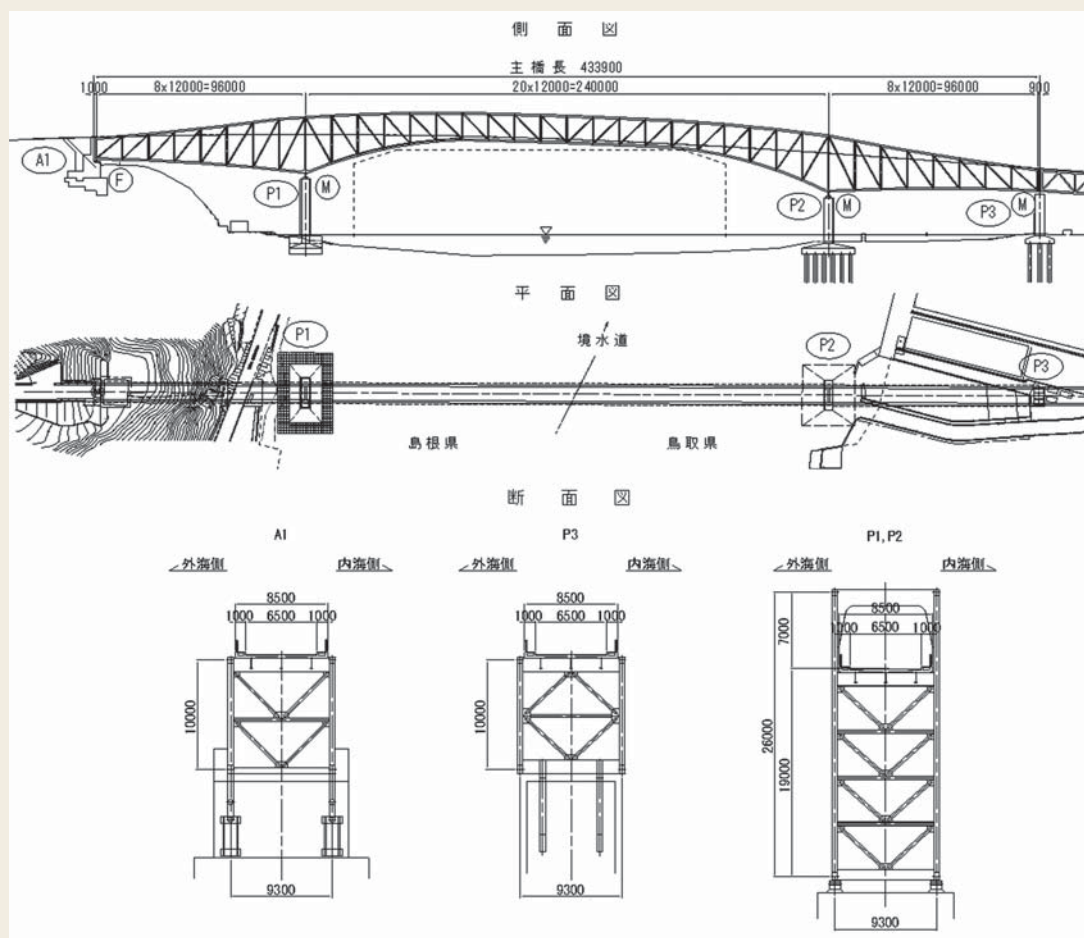


図1 全体一般図

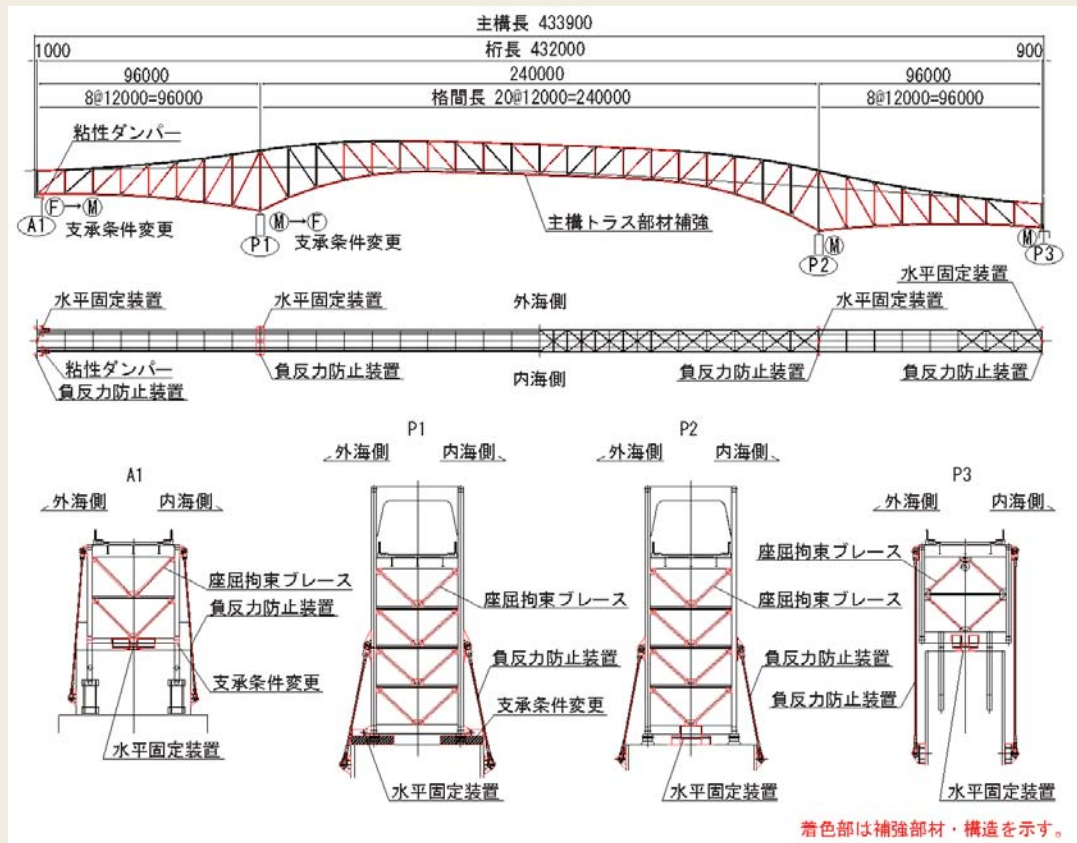


図2 耐震補強概要図

3.2.2 主構トラス部材 レベル2地震時およびB活荷重載荷状態に対する断面剛性の確保と局部座屈を防止することを目的とし、主として図3のようなL形鋼を使用した当て板補強を行った。既設橋の部材は断面寸法が小さい箱型の形状であるため、L形鋼による補強材は片側からの施工でボルトの締め付けが可能な高力ワンサイドボルトにより既設部材に接合した。引張力が卓越するトラス斜材はプレート材による当て板補強であり、斜材両端部のガセットプレートを含めた範囲で断面増厚を必要としたため、図4のようにガセットプレートにも補強材を設置するとともに既設のリベットを高力ボルトに取替えるリベット取替え工も実施した。

トラスの弦材には1格点間に1箇所、部材の継手があり、既設の添接板とリベットが存在する。L型鋼による当て板補強では、補強が不連続にならないよう、図5のように継手部を跨ぐような補強部材とし、構造の工夫を行った。

補強部材取付けのためには高力ワンサイドボルトの孔明けが必要となるが、一時的に孔引きの断面欠損が生じた状態となる。このため、活荷重載荷状態での施工を条件に断面欠損を考慮した部材の応力照査を行った。この結果により、活荷重を考慮した場合は部材に作用する応力度が許容値を満足しないことが明らかとなり、活荷重を低減する必要が生じた。このため、施工時の交通規制の計画にこの照査結果をフィードバックした。

3.2.3 支点上対傾構 支点上には斜め材として対傾構が設置されていたが、橋軸直角方向の地震

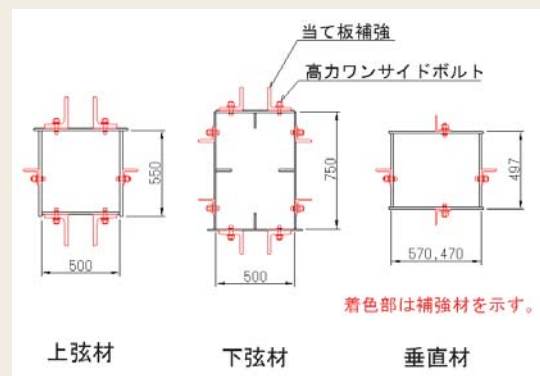


図3 主構トラス部材の当て板補強

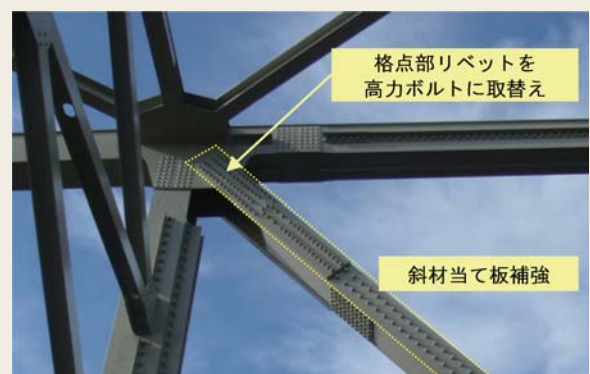


図4 トラス部材の当て板補強

力作用時に耐力が不足すること、全体の補強部材数の低減を目的としてエネルギー吸収部材である座屈拘束ブレースへの取替えを実施した(図6)。取替え時には、風荷重といった横荷重に抵抗する対傾構が一時的に機能しない状態となるため、架設時の風荷重強度と施工順序を踏まえた応力照査を実施した。この結果、施工手順を管理する必要が生じたため、施工計画に反映した。



図5 補強部材の連続化

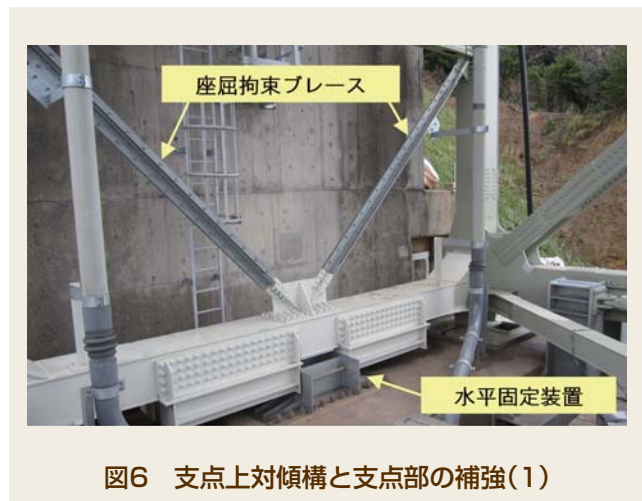


図6 支点上対傾構と支点部の補強(1)

3.2.4 支点部 支承条件が固定であったA1橋台では、橋軸方向地震時に支承および下部工の耐力が不足するため、他の下部工に水平力を分担させる目的で、支承条件を可動に変更した上で粘性ダンパーを設置した。一方、橋台より比較的補強が容易なP1橋脚は、別工事で下部工が補強された後、本工事で可動から固定への支承条件の変更を実施した。

橋軸直角方向の地震力に対しても現況の支承で水平力に対して耐力を満足しないため、全支点において上部工の変位を固定する水平固定装置を設置した(図6)。水平固定装置は上下部の両方に鋼製のブラケットを設置して地震時に衝突させる構造であり、下部工への定着にはアンカーボルトとしてD51の異形棒鋼を使用した。さらに橋軸直角方向の地震力により生じる負反力に対しても支承の耐力が不足するため、PCケーブルによる負反力防止装置を設置した(図7)。PCケーブルは7φの素線を最大で349本束ねた外径165mmのケーブルを使用し、上下部構造に定着した鋼製ブラケットにより固定した。

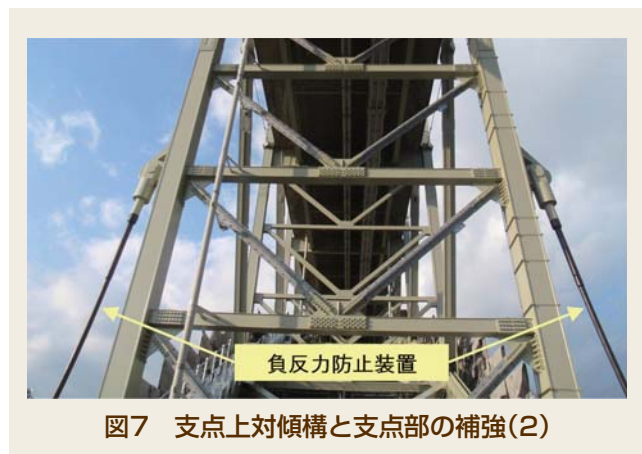


図7 支点上対傾構と支点部の補強(2)

4. 施工

4.1 施工計画 本工事は、2012年10月から2014年12月までの2年3カ月にわたる長期間の契約工期であった。日本海側で冬季の悪天候が続く中ででの作業を避けるため、現地工事の開始として足場の組立作業を2013年3月より行った。また、2009年から進められている「国道431号耐震補強工事」事業を2015年3月で完了させるため、2014年6月までに後工程である塗替え塗装工事に足場を引き継いだ。以上より、現地での施工期間は2013年3月から2014年4月までの1年2カ月とした。

本工事の全体工程表を表1に示す。風の通り道となる境水道上での作業となるA1からP3の下弦材吊足場の設置は、慎重な作業が必要となり約4カ月の施工期間

表1 工事工程表

工期: 2012年10月16日~2014年12月24日

工種	2012年			2013年												2014年												
	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
設計照査・検討	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■													
工場製作																												
準備工・後片付け工																												
現地計測工																												
下弦材吊足場工																												
側面足場工																												
主構トラス部材補強工																												
支承条件変更工																												
座屈拘束ブレース設置工																												
粘性ダンパー設置工																												
水平固定装置取付工																												
負反力防止装置工																												
現場塗装工																												
検査路補修工																												

を要した。下弦材吊足場の設置が完了した箇所から下弦材の既設部材の現地計測、補強部材の工場製作を開始した。下弦材の補強部材を取付けながら、側面足場を組立て、既設部材の現地計測と工場製作を垂直材、斜材、上弦材の順序で進捗させた。主構トラス部材補強工は全体重量が約600tもあるため、工程短縮を目的として補強部材取付け班を2班体制とし、鳥取県側、島根県側の両支点付近から中央径間へ向かって取付け作業を行うことで、約10カ月で現地計測から補強部材取付けまでを完了できた。負反力防止装置工、水平固定装置工及び粘性ダンパー装置工では、夜間の通行止め規制を行う必要があったが、境港漁業関係者への影響を避けるため、漁期となる11月までに夜間通行止めを伴う作業を完了させた。そのため、980本に及ぶアンカーボルト削孔を6月から開始し、削孔の詳細計測、設計・製作への反映を正確に行うことで手戻り作業をなくし、ブラケット及びPCケーブルの取付けを完了させた。

4.2 現地施工

4.2.1 足場組立工

本工事の足場組立作業は、航路上で海面から高さ40m以上の高所での作業となるため、飛来落下災害や墜落災害について細心の注意が必要であった。既設部材には足場用吊金具が設置されておらず、中間支点部から支間中央部に向かって下弦材が急勾配を有しているため、足場吊チェーンを弦材に大回しして足場を組立てる方式では吊チェーンが滑り足場の安全性を低下させる恐れがあった。

また、下弦材の上面にも補強材が設置されるため、大回しによる足場チェーンの設置は不可であった。このため、まず格点位置で弦材に固定した単管設備を下弦材の上面に設置して、その単管から足場用吊チェーンを配置して吊足場を構築した(図8)。その後、足場用吊金具を配置した補強材を下弦材ウェブにボルト接合にて取付け、吊チェーンをこの吊金具に盛替えた後、単管設備を解体して下弦材上面の補強材を設置する手順とした。足場組立時には、先行ネットを展張したネット内で作業を行い、船舶へ影響を与えず、足場組立作業を完了させた(図9)。



図8 下弦材吊足場組立状況



図9 下弦材吊足場組立完了

これらの足場組立時の工夫により、足場の安全性を低下させることなく足場の設置を完了することができた。

4.2.2 主構トラス部材補強工

主構トラス部材補強工は、設計照査により活荷重を低減した状態で補強材の取付けを行う必要があったため、補強材を取付ける主構側の車線を通行規制し、通行規制の下で既設部材への孔明け、補強材取付け及び高力ワンサイドボルト締付までを行った(図10)。P1橋脚やP2橋脚の支点付近の補強材は、L型鋼では断面が不足することから、図11のように部材断面の全幅に接合するビルトアップ構造となり、補強材を取付ける前に既設部材への孔明けを完了



図10 補強部材取付け状況

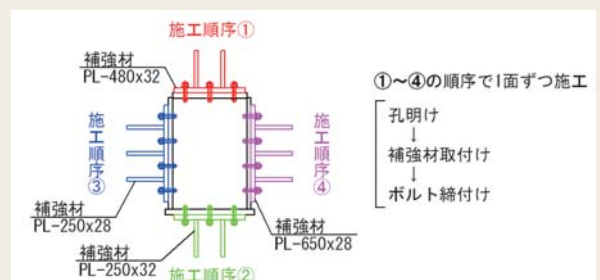


図11 支点付近の補強材断面

させる必要があった。設計照査により、片側の通行規制を行う条件でも一度に孔明けできる孔数は上下フランジ、ウェブのいずれか1面のみまでであったことから、孔明け、部材の取付け、高力ワンサイドボルト締付けを行う1面のサイクルを4面に繰り返す施工手順とした。

4.2.3 座屈拘束ブレース設置工 既設の対傾構をガス切断・撤去し、座屈拘束ブレースへの取替えを行うことから、一時的に対傾構が機能しない状態となる。このため、設計照査による検討結果を踏まえて、施工は各支点部を同時に行わずに1橋脚ごとに行うこととし、対傾構が配置される1パネルごとに既設対傾構の撤去、座屈拘束ブレースの取付けおよび高力ボルト締付けを行い、次のパネルへ進捗する施工手順とした(図12)。また、対傾構が機能していない状態を最小限とするため、作業員の配置、作業時間の延長により1日で1パネルの作業を完了させることとした。



図12 座屈拘束ブレース設置状況

4.2.4 支承条件変更工 A1橋台を可動とし、P1橋脚を固定とする支承条件の変更においては、施工に先立ち、設置から42年が経過したローラー支承の可動状況、支承位置を厳密に把握する必要があった。また、P1橋脚の支点反力は約25,000kNあることから、既設支承の仮固定、支承位置の調整について慎重な検討が求められた。

支承条件変更の施工ステップを図13に示す。まず現況の計測として、A1-P1径間の支間長、支承移動量及び中心位置のずれ量について、天候や気温による影響を把握する目的で1週間にわたり計測した。この計測により既設支承の挙動が設計値通りであることを確認し、固定時の支承位置を決定した。

次に、P1橋脚のローラー支承を仮固定するため、図14に示すように仮固定ブラケットと仮固定装置としてのジャッキを設置した。仮固定ブラケットは下部工へアンカーボルトで固定するため、橋脚天端の状況をよく調査した上で、仮固定ブラケット及びジャッキの配置を決定した。P1橋脚を仮固定した後、A1橋台のペンデル支承の水平方向部材を撤去し、A1橋台を可動化した。最後にP1橋脚のローラー支承に固定材を注入し、支承部全体をコンクリートで巻立ててP1橋脚を固定化させた。

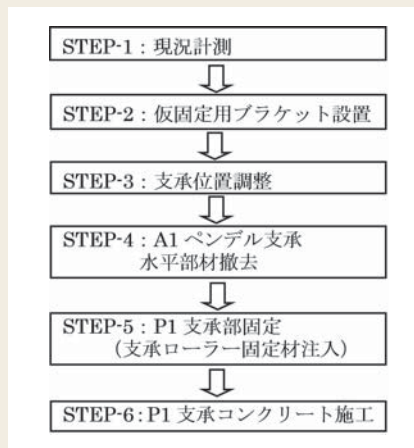


図13 支承条件変更工施工ステップ

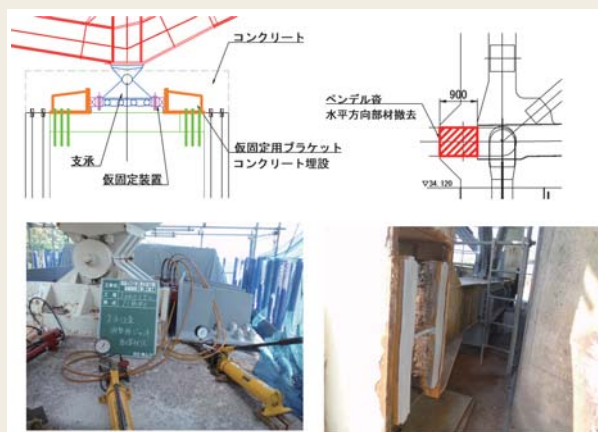


図14 支承条件変更工施工状況

4.2.5 負反力防止装置工 負反力防止装置として使用したPCケーブルは、P3橋脚のケーブル長が最長で21.9m、重量はP1橋脚で最大6.1tonとなり、標準的に使用されるPCケーブルと比較して非常に規模の大きいものであった。特に、ケーブル長が最長となったP3橋脚では、ケーブルがリールに巻かれた状態で搬入されるため、ケーブルの架設方法を詳細に検討する必要があった。また、P3橋脚付近は漁港の荷揚げ場となっているため、漁期となる11月中旬までに施工を完了させる必要があり、さらに施工時間についても漁業関係者との調整を行いながら施工を実施した。

P3橋脚の施工は、図15に示すように搬入した部材をアンリーラーにセットし、PCケーブルを引き出しながら架設を行った。アンリーラーにセットすることでリールの回転を制御しながらケーブルを引き出せるため、ケーブル引き出し時の安全性も向上させることができた。なお、PCケーブルの架設は、50tラフタークレーンを橋面上に据付ける必要があったため、境水道大橋の夜間通行止め規制を伴う施工であった。架設当日は、昼間にP3橋脚付近にアンリーラーの組立、PCケーブルの鋼製リール搬入・アンリーラーへのセット、フォークナット・フォークボルトの取付けを行い、夜間にPCケーブルの引き出し、取付け、

さらにアンリーラーの撤去まで行う工程で施工を実施した。1日でアンリーラーのセットからPCケーブル取付け、アンリーラー解体まで行うことで、漁業関係者への影響を最小限に抑えることができた。

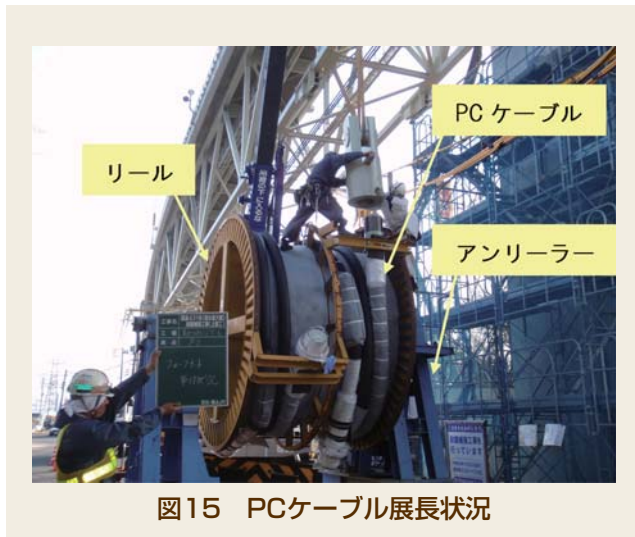


図15 PCケーブル展長状況

5. 結 言

本工事は、国内有数の長大トラス橋の耐震補強工事であるとともに、日本海側の厳しい気象条件下の中での施工となるため、多くの工夫や検討が求められた。また、施工期間が長期にわたり、長期の交通規制が伴ったが、鳥取県西部総合事務所、島根県松江県土整備事務所をはじめ、港湾管理者、漁業関係者、関係各所のご協力のもと、無事故・無災害で工事を完了することができた。ここに感謝の意を表する次第である。

本報告で紹介した工事内容が、今後の同種の橋梁の施工において参考になれば幸いである。

【文責者連絡先】

Hitz日立造船(株) 社会インフラ事業本部
鉄構・防災ビジネスユニット 鉄構・橋梁部
辻 丈彰
Tel : 06-6569-0261 Fax : 06-6569-0257
e-mail : tsuji_to@hitachizosen.co.jp

Hitachi Zosen Corporation
Infrastructure Business Headquarters
Steel Structure & Disaster Prevention
Business Unit
Steel Structure & Bridge Planning Department
Tomoaki Tsuji
Tel : +81-6-6569-0261 Fax : +81-6-6569-0257
e-mail : tsuji_to@hitachizosen.co.jp



辻 丈 彰



山 下 直 樹