

# 【君津新橋】コンクリートローゼアーチ橋の吊材破断に伴う復旧事例について

千葉県 君津市 建設部

## 1. はじめに

君津新橋は、1973年に建設された支間長66.1mの下路式ローゼアーチ橋である。2008年10月23日、アーチ部材と下弦材を繋ぐ吊り材PC鋼棒が破断しているのが発見され、車両通行止めの措置をとり、緊急・詳細調査により原因究明を進めるとともに橋梁の安全性を確保しながら段階的に補修工事を実施した。

本橋は太鼓の形状に似ていることから市民の方々から「タイコ橋」の愛称で親しまれ、地域のランドマーク的な役割を果たしている橋梁でもあることからその保存に際しては落橋という最悪の事態を想定しながら復旧にあたった。

## 2. 概要

### 2.1 橋梁概要

本橋は、広域的な主要幹線道路として二級河川小糸川に1973年建設された国内初の下路式コンクリートローゼアーチ橋で、吊材破断時には建設後36年が経過していた。吊材は1組2本のPC鋼棒（φ32mm）で構成され、上下流各10箇所計40本で下弦材を吊っていた。

写真-1に建設時の全景を示す。

### 2.2 調査および復旧工事の概要

破断から復旧に至る全体工程を表-1に示す。

本橋では鋼棒破断が確認された直後に実施した緊急調査で、他の鋼棒にも腐食や減肉が顕著に認められたため車両通行止めの措置をとった。その後、鋼棒の破断原因を究明するために詳細調査を実施した。同時に、落橋の危険性を取り除くための応急復旧対策を実施し、さらに、橋梁の長寿命化を図るための恒久復旧対策を実施した。



写真-1 建設時の君津新橋

項目	2008年			2009年												2010年		
	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
調査・設計	緊急調査	■																
	詳細調査		■	■														
	応急復旧対策計画		■	■														
	吊部材の検討				■	■	■	■	■									
	橋梁耐震診断・補修計画						■	■	■	■	■							
応急復旧対策工事	ステップ1対策		■	■														
	ステップ2対策				■	■	■	■	■	■	■							
恒久復旧対策工事	吊材取替工							■	■	■	■	■	■					
	アーチリブ耐震補強工								■	■	■	■						
	橋梁健全確認試験											■	■	■				
	下弦材補強・補修工												■	■	■	■	■	■
交通止期間	・10/23破断事故発性												・9/11交通開放					

表-1 全体工程表

### 3. 応急対策

#### 3.1 緊急調査

PC 鋼棒破断事故直後の緊急調査では、破断 PC 鋼棒を採取し腐食状況や破断部の目視観察を行った。PC 鋼棒には防食塗装が施されステンレス製のシース管により覆われていたため、PC 鋼棒の腐食状況が直接目視できない状態であった。PC 鋼棒破断はシース管の接続部付近で生じ、写真-2 に示すように施工時に塗られた防食塗装が剥がれ、かなり腐食が進行しており、直径φ 32mm がφ 19mm に減肉していた。破断部の概要を図-1 に示す。



写真-2 鋼棒破断部

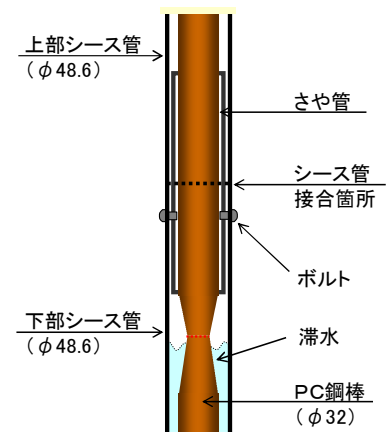


図-1 破断部概要図

その他の PC 鋼棒についてもシース管の一部を除去して観察したところ、腐食・減肉が確認された。

#### 3.2 PC 鋼棒の破断原因調査

PC 鋼棒の破断原因を究明するための詳細調査として、PC 鋼棒の材料試験を行った。化学成分、硬度、金属組織、引張強度に異常は見られず、材料面の欠陥はなかったと判断された。また、破断面の性状から延性破断ではなく、表面の腐食部を起点とした脆性破断と考えられた。

次に、破断 PC 鋼棒の腐食・減肉が著しいことから、現地で PC 鋼棒とステンレスシース管の導通試験を実施した結果、PC 鋼棒の塗装が残っている箇所では導通がないが、塗装を除去すると導通が確認された。撤去した PC 鋼棒を持ち帰り、シース管を繋ぎ止めているステンレス製のさや管との異種金属接触腐食試験（ガルバニック腐食試験）を行ったところ、PC 鋼棒とステンレスさや管のガルバニック電流により境界部付近で PC 鋼棒の腐食がかなり促進されることが解った。図-2 にガルバニック腐食試験の概要図と結果を示す。

これらの調査結果より PC 鋼棒の破断原因は、PC 鋼棒を保護しているシース管の継手部が劣化や振動によって外れ、管内に浸透水や結露による腐食環境が生じたことに加えて、ステンレス鋼のシース管・さ

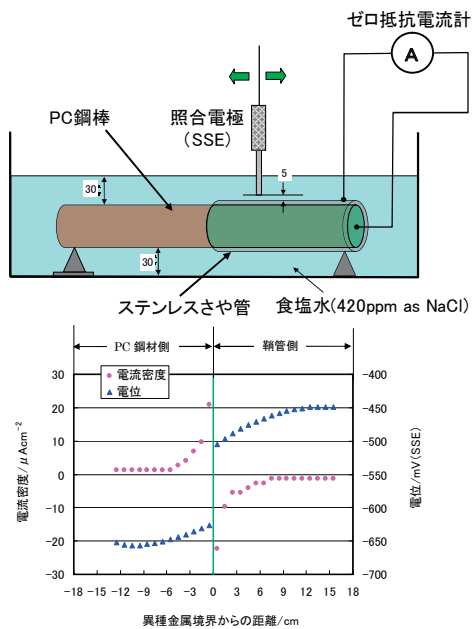


図-2 ガルバニック腐食試験

や管とPC鋼棒との間に部分的に電気的接触による「異種金属接触腐食」が生じ、断面が著しく欠損したPC鋼棒が抵抗力を失い破断に至ったものと推定された。図-3に腐食メカニズムのイメージを示す。

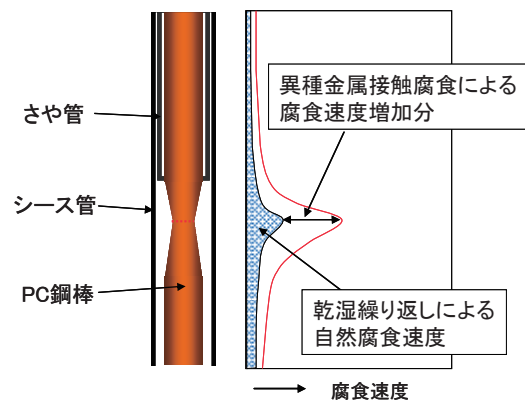


図-3 腐食のイメージ

### 3.3 応急復旧対策工事の施工

#### 3.3.1 応急復旧対策工事の概要

本橋はアーチリブから40本のPC鋼棒で下弦材を支持する構造であるため、PC鋼棒の破断により他のPC鋼棒に過大な負荷がかかるとともに構造物全体の構造安全性が低下する。そこで、他のPC鋼棒が破断した場合でも落橋等の重大な事態に至らず簡易な補修程度で再利用可能な状態に復旧することを目的に2段階の応急復旧対策を行った。応急復旧対策の概要図を図-4に示す。

#### 3.3.2 応急復旧対策ステップ1

ステップ1として、破断箇所の隣接PC鋼棒が破断することを想定し、破断箇所の直下に下弦材を支持する仮ベント材を設置し、破断PC鋼棒を取り替えた。PC鋼棒の取替えは下弦材内部に埋設された既設のカップラーに腐食がなかったことから、耐荷力試験を行った後、これを再利用して新たなPC鋼棒を接続した。仮ベント材は河川内で大型土のうによる仮締切りを行い、コンクリート基礎の上に鋼製ベント材を組み立てた。仮ベント材による河積阻害率を3.9%とし、増水時には締切内に水を流入させ通水を妨げないことを条件に河川管理者と協議した。

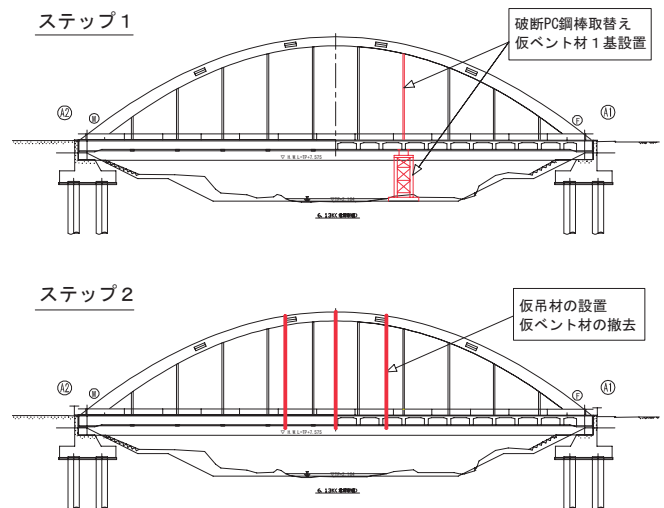


図-4 応急復旧対策

#### 3.3.3 応急復旧対策ステップ2

ステップ2としては、全吊材の60%に相当する24本のPC鋼棒が破断した場合でも落橋に至らず構造安全性を確保することを目的に12本の仮吊材を新たに設置した。仮吊材の構造はアーチリブ上面および下弦材下面に鋼製支持梁を取り付け、これらを新たなPC鋼棒により連結する構造とした。設置位

置は構造全体のバランスや恒久復旧対策での吊材取替え作業を考慮して既設吊材の中間部に設定した。追加 PC 鋼棒を配置するには床版を削孔する必要があるが、削孔部近傍には主方向 PC ケーブルや鉄筋が配置され削孔作業による損傷の危険性があることから、作業前には X 線透過法と RC レーダーで鋼材探査を行い、傷つけないよう慎重に削孔作業を行った。これらの対策実施により河川内の仮ベント材の撤去が可能となり、出水期における安全性が確保された。

## 4. 恒久復旧対策

### 4.1 恒久復旧対策工事の概要

恒久復旧対策の検討にあたって、新設橋梁への架替えも含めてアセットマネジメントの観点から検討した。その結果、吊材以外の部材は比較的健全であり、適切な補修を実施することで橋梁の長寿命化を図ることが可能でライフサイクルコストも有利であることから補修を選定した。

恒久復旧対策として、吊材を既設 PC 鋼棒から疲労性能と防食性能に優れた PC ケーブルへの取替えと現行道路橋示方書に準じた耐荷性能・耐震性能および耐久性の向上対策を実施した。

恒久復旧対策の概要図を図-5 に示す。

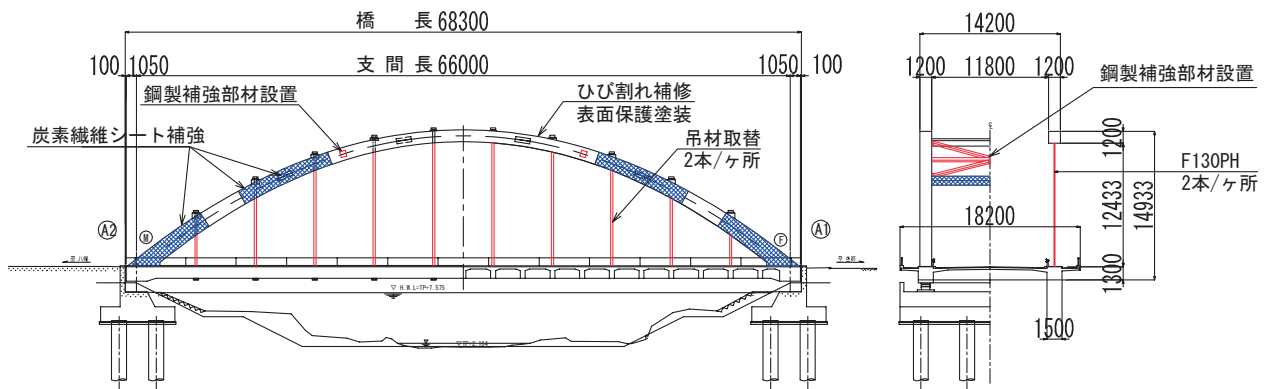


図-5 恒久復旧全体図

### 4.2 吊材取替工

吊材の破断原因が腐食であったため、取り替える PC 鋼材は防食性能が高く、かつ現行基準を満足する二重防錆タイプの PC 鋼より線を選定した。選定した鋼材は、PC 鋼より線を数本より合わせた多重 PC 鋼より線の外周にポリエチレン被覆を施し、ケーブル端部にネジ定着体を圧着加工により一体化させたもので、耐久性および耐疲労性に優れている。さらに、防食性能のさらなる向上を図るため、定着体には亜鉛アルミ擬合金溶射を施し、雨水等の浸入が考えられる箇所（空間）にはウレタン樹脂を充填する仕様とした。

吊材取替えは支間中央部から端部に向けて1箇所2本ずつ行った。吊材取替えの施工は、1箇所毎に既設 PC 鋼棒の緊張力を解放し、PC 鋼棒を撤去した後にアーチリブおよび下弦材をコア削孔し、新設 PC ケーブルを設置して緊張した。図-6 に吊材取替工概要図を示す。

通常、PC 鋼棒の緊張力解放は定着部の PC 鋼棒端部にジャッキを装着して行うが、本工事では PC 鋼棒端部で必

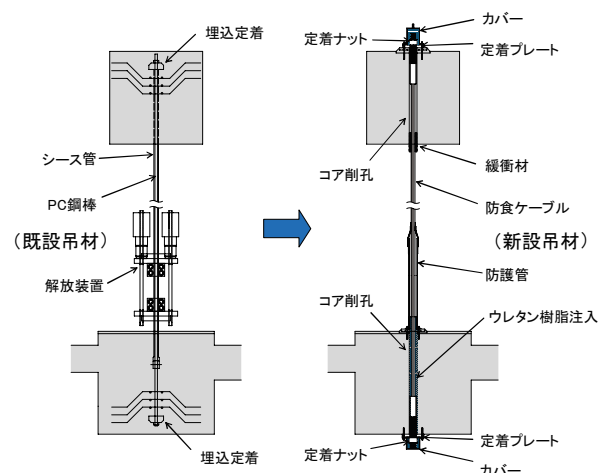


図-6 吊材取替工概要図

要なネジ切り長が確保できなかったため、中間部に新たに開発した緊張力解放装置を取り付けて行った。緊張力解放装置は、実施工前に性能確認実験を行い施工性や安全性を確認した。PC 鋼棒の切断状況を写真-3に示す。

吊材の緊張および全吊材架設後の張力調整はアーチリブ上の定着部にて行った（写真-4）。



写真-3 PC 鋼棒の切断状況



写真-4 張力調整の状況

#### 4.3 耐震補強工

耐震補強対策としては、アーチリブを結ぶ鋼製補強部材の設置と炭素繊維巻立てによるアーチ部材の曲げ補強およびせん断補強を行った。鋼製補強部材は既設構造物に取り付けるため、既設構造物の寸法を詳細に計測した後に工場製作した。補強部材は運搬・架設を考慮して5分割して製作し、工場にて仮組検査した後、現場に搬入しトラッククレーン架設を行った。補強部材の架設は、まず受け金具をケミカルアンカーにてアーチリブに取り付け、分割した部材を順次架設しボルト接合して組み立てた（写真-5）。



写真-5 鋼製補強部材の架設状況

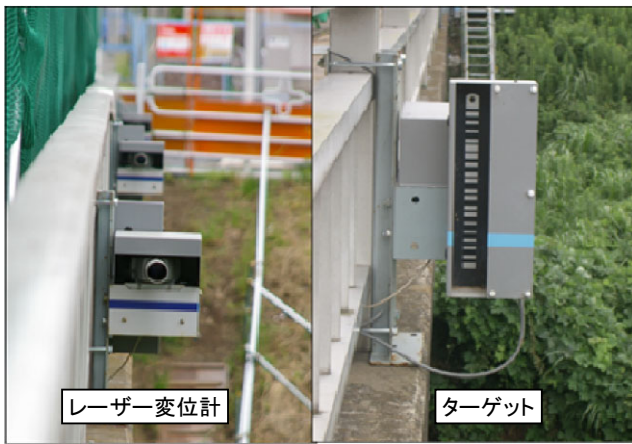
#### 4.4 耐久性向上工

本橋では一般的なコンクリート表面の経年劣化に加えて、アルカリ骨材反応によるコンクリートひび割れが観察された。これらの劣化対策として、ひび割れ注入と防水性・水蒸気透過性に優れた表面保護工法を行い対応した。

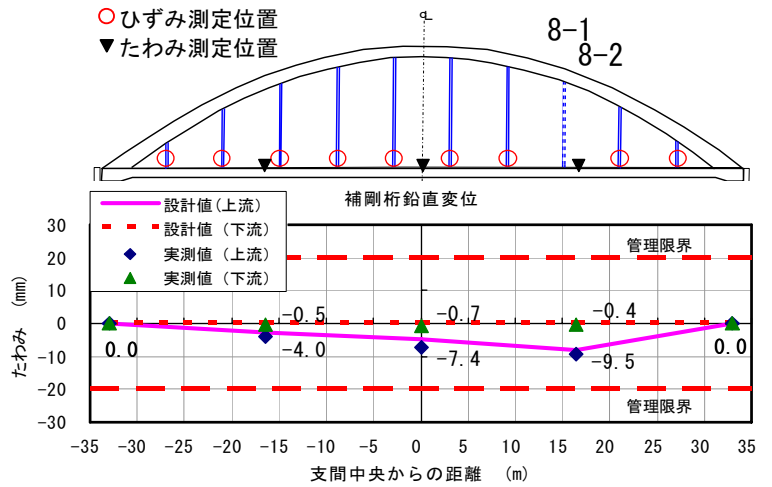
#### 4.5 施工時の計測

吊材の取替えを安全に施工するために、吊材の張力や下弦材のたわみの大幅な変化や時間とともに漸増する現象がないことを常時モニタリングしながら作業を行った。既設の吊材を切断撤去すると構造系が変化し、残りの吊材が荷重を負担し各部材の応力状態は変化する。このため、吊材取替作業に先立って施工ステップ毎に吊材張力、各部材応力および下弦材たわみを計算し、施工中の構造安全性を確保できるよう

に施工管理限界を設け、各吊材の荷重増加や下弦材たわみを確認しながら作業した。既設吊材の張力の変化は、すべての吊材表面にひずみゲージを取り付け、ひずみ変化から算出した。たわみの測定にはレーザー変位計（写真－6）を用い、上流側と下流側の高欄側面に取り付けて測定した。測定結果の例を図－7に示す。



写真－6 レーザー変位計

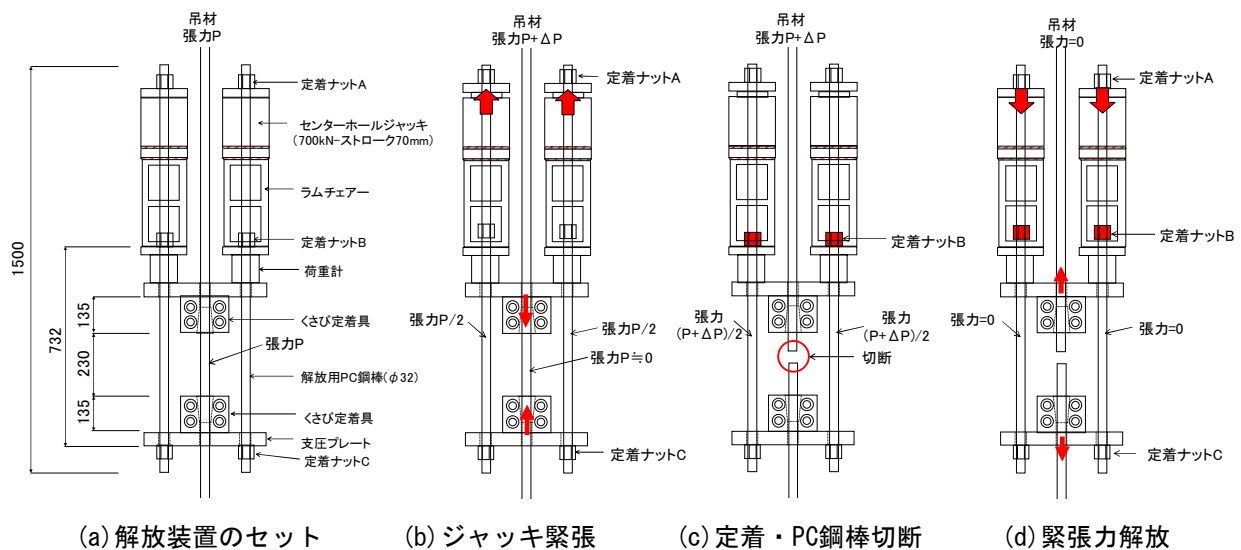


図－7 測定結果（上流側 8-1, 8-2 撤去時）

## 5. 緊張力解放装置の開発

### 5.1 解放装置概要

吊材の撤去方法として、吊材をアーチリブと下弦材の中間で仮定着し、張力を受け替えて PC 鋼棒をガス切断して解放する方法を採用することにした。PC 鋼棒解放手順を図－8に示す。



図－8 PC 鋼棒解放手順

2つ割構造のくさび定着具および解放装置をセットして解放用 PC 鋼棒をジャッキで緊張するとくさび定着具間の吊材が押し縮められ張力が減少する。吊材張力が抜けた状態で吊材をガス切断し、その後、解放用 PC 鋼棒の張力を解放する。こうすることで吊材張力が解放される。

### 5.2 性能確認試験

実橋での取替えに先立って解放システムの性能確認試験を実施した。

設計荷重を参考に解放用 PC 鋼棒の緊張力を設定するが、吊材の張力が正確に解らないため、切断時に張力が残存していることも考えられた。また、くさび定着位置の吊材がガス切断による高温にさらされて機械的性質が低下し、PC 鋼材が破断することが懸念された。

これらは、性能確認試験により問題がなく、安全に解放できることが確認された。

### 5.3 実橋への適用

解放装置を設置した状況を写真-7に示す。図-9は下流側の中央付近の吊材を撤去した際の張力の推移である。荷重は装置を設置した時を基準に正符号を引張として表示している。

本吊材の設計張力は 403kN であり、解放用 PC 鋼材張力は事前実験結果を考慮して 40kN 少ない 363kN 緊張している。これと同時に、吊材荷重（装置内）では、340kN の張力が解放されており、吊材張力が解放用 PC 鋼材に受け替えられたことが確認できる。吊材荷重（装置外）では、センターホールジャッキ緊張による吊材の張力増加は、5.3kN であり、計算値 (5.6kN) と良く一致しており、ひずみゲージによる測定値は比較的精度良く測定できることが確認できた。吊材をガス切断した際には、解放用 PC 鋼棒荷重（合計）の変化は 1.0kN 程度であり、ジャッキによる緊張荷重と吊材張力がほぼ同じ荷重であったことを示している。緊張力解放前の吊材荷重（装置外）の値は、0kN を示しているのに対して、解放後は -350kN であることから、吊材張力は 350kN であったと推定される。

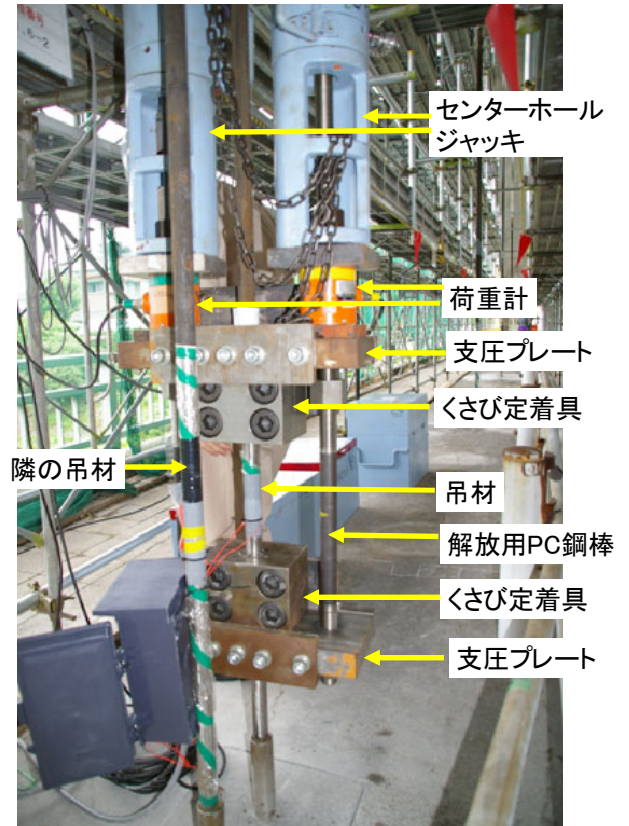


写真-7 解放装置設置状況

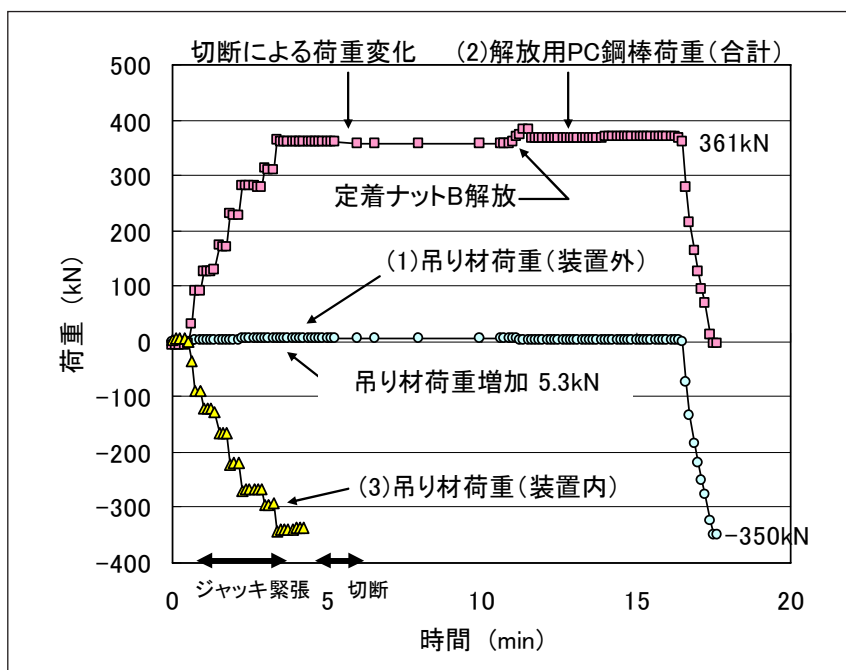


図-9 吊材切断時の張力変化

## 6. おわりに

本橋では、吊材 PC 鋼材破断という不測の事態により車両通行止めを行い利用者の方々には多大な迷惑をかけたが、落橋という最悪の事態は避けられ最終的に無事故で対応できた。

写真－8 にリニューアル後の全景を示す。



写真－8 リニューアル後の君津新橋

本工事における最大の特徴は以下の3点である。

- ① 既設 PC 吊鋼材の緊張力解放装置を新たに開発し、事前性能確認試験を踏まえて実橋に適用し、安全に吊材の取替え作業ができた。
- ② 既設吊材緊張力変動や橋体変位をリアルタイムに計測し、安全性を確認しながら施工できた。
- ③ 国土技術政策総合研究所および土木研究所の技術指導を受けて、橋全体の安全性を慎重に見極めながら復旧作業を実施できた。

我が国で初めて採用された本橋を近代的な土木遺産としてその復旧に携わっていただいた方々には深く感謝申し上げます。

本稿が、今後必要性が増加すると思われる橋梁の維持管理や長寿命化業務の一助となれば幸いである。