

君津新橋のリニューアル — アーチ橋の吊材取替え工事 —

林 俊弥*1・藤原 保久*2・熊谷 裕司*3・浅井 洋*4

君津新橋は、RC 構造のアーチリブと PC 構造の下弦材から構成されている下路式ローゼアーチ橋である。2008 年 10 月 23 日、アーチリブと下弦材を繋ぐ吊材 40 本のうち 1 本が破断しているのが発見され、車両通行止めの措置がとられた。緊急・詳細調査を行い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。

本稿では、吊材の取替えに至った経緯や新たに開発した緊張力解放装置を用いた吊材取替え工事について報告する。

キーワード：PC 鋼材破断，ガルバニック腐食，緊張力解放装置，吊材取替え

1. はじめに

君津新橋は、千葉県君津市に位置し 1973 年に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ある。橋長は 68.3 m，アーチ支間は 66.0 m である。幅員構成は車道 11.0 m の両側に歩道 1.5 m があり全幅は 18.2 m である。吊材は 1 組 2 本の PC 鋼棒（φ 32 mm）で構成され、上下流各 10 箇所計 40 本で下弦材を支持する構造である。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。写真 - 1 に全景写真を示す。



写真 - 1 橋梁全景

2. 工事概要

2008 年 10 月 23 日、吊材 40 本のうち 1 本が破断しているのが発見された。この破断事故発生後、車両通行止めの措置をとり、落橋を防ぐための応急復旧対策工事および吊材取替えや耐震補強等の恒久復旧対策工事を行い、約 11 ヶ月後の 2009 年 9 月 11 日、交通開放することができた。

表 - 1 に全体工程を示す。

表 - 2 全体工程表

項目	年月	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	橋梁耐震診断・補修計画				■														
	ステップ1対策			■															
応急復旧対策工事	ステップ2対策				■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	吊材取替え工																		
恒久復旧対策工事	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																			



*1 Toshiya HAYASHI

君津市 建設部 土木課



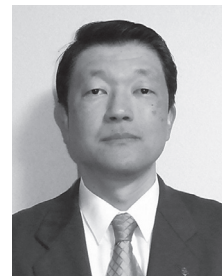
*2 Yasuhisa FUJIWARA

三井住友建設(株) 土木技術部



*3 Yuji KUMAGAI

三井住友建設(株) 土木技術部



*4 Hiroshi ASAI

三井住友建設(株)
技術開発センター

3. 破断原因の調査

3.1 緊急調査

吊材破断事故直後に行った緊急調査では、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 鋼棒破断はシーす管の接続部付近で生じていた。写真 - 2 に示すように施工時に塗られた防食塗装がはがれ、かなり腐食が進行しており、直径φ 32 mm がφ 19 mm に減肉していた。そのほかの吊材についてもシーす管の一部を除去して観察したところ、PC 鋼棒の腐食減肉が確認されたため、車両通行止めの措置をとった。

3.2 詳細調査

PC 鋼棒の破断原因を究明するために実施した詳細調査の項目と結果の一覧を表 - 2 に示す。PC 鋼棒材料試験の結果から、化学成分、金属組織、硬度、引張強度に異常は見られず、材料面の欠陥はないと判断した。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。

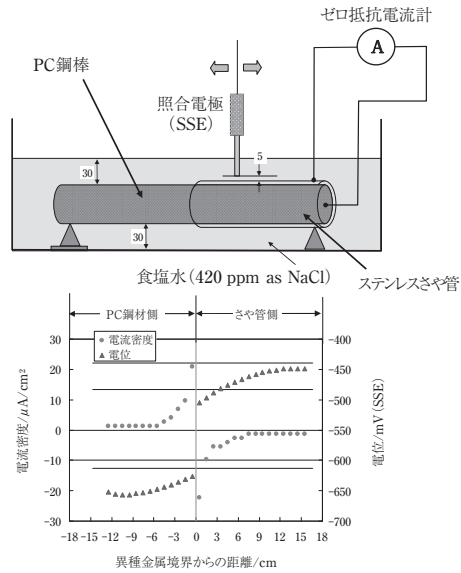


図 - 1 鋼材腐食試験

表 - 2 PC 鋼棒の詳細調査項目

	調査項目	調査結果
材料試験	外観観察	破断部は 35% 程度に断面欠損
	化学成分分析	JIS 規格を満足
	金属組織観察	異常なし
	硬度測定	異常なし
	引張試験	JIS 規格を満足
異種金属接触腐食試験	ガルバニック腐食試験	腐食傾向あり (腐食電流密度 20 μA/cm²)

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す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。腐食原因を究明するため PC 鋼棒の防食塗装を除去しシーす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分かった。図 - 1 にガルバニック腐食試験の概要図と結果を示す。PC 鋼棒とさや管の境界において 20 μA/cm² の電流密度が発生している。

これらの調査結果より、PC 鋼棒を保護しているシーす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す管・さや管と PC 鋼棒との間に部分的に電氣的接触による「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 - 2 に腐食メカニズムのイメージを示す。

4. 復旧対策工事の概要

4.1 応急復旧対策

破断事故直後から応急復旧対策を行った。最初に破断箇所の下に仮バントを設置して支持した後、破断した PC 鋼

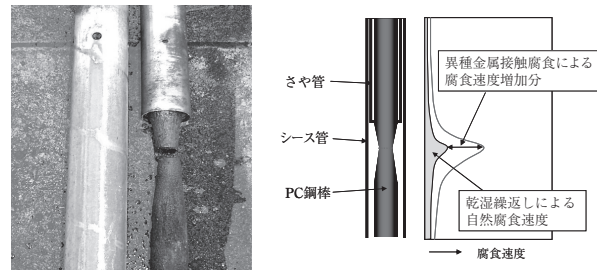


写真 - 2 破断 PC 鋼棒

図 - 2 腐食メカニズムのイメージ

棒を新しい PC 鋼棒に取り替えた。

次のステップとして、緊急調査により他の PC 鋼棒にも腐食が確認されたため、恒久的な復旧対策が完了するまでの構造安全性を確保する目的で 12 本の仮吊材を設置した。図 - 3 に仮吊材の構造図を示す。仮吊材はアーチリブ上

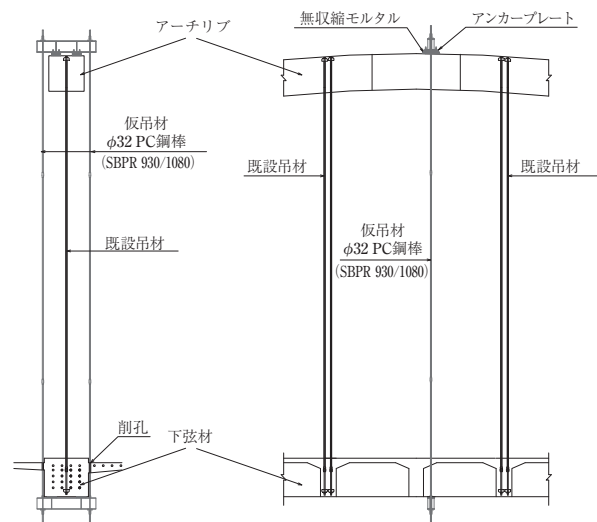


図 - 3 仮吊材構造図

面と下弦材下面に鋼製の支持梁を設置し、PC鋼棒で連結する構造である。これらの対策により、河川内の支保工が不要で、出水期の施工が可能となったため、工期、工費ともに大幅に削減できた。

4.2 恒久復旧対策

(1) 全体概要

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-4に示す。

(2) 吊材取替え工

既設吊材の破断原因が腐食であったため、新たな吊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ケーブルに取り替えることとした。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合金溶射を施し、雨水等の浸入が考えられる定着部カバー内にはウレタン樹脂を充てんした。

吊材の取替えは、もっとも腐食が激しく、断面欠損が大きい支間中央部の吊材から端部に向けて1箇所2本ずつ行った。吊材取替えの施工は、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既設吊材の設計張力となるよう緊張した。図-5に吊材取替え工概要図を示す。

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鋼棒端部に必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に新設PC鋼材の設置状況を写真-4に示す。

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、吊材取替え作業に先立って施工ステップごとに吊材張力、各部材応力および下弦材のたわみを計算し、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のたわみを確認しながら作業した。既設

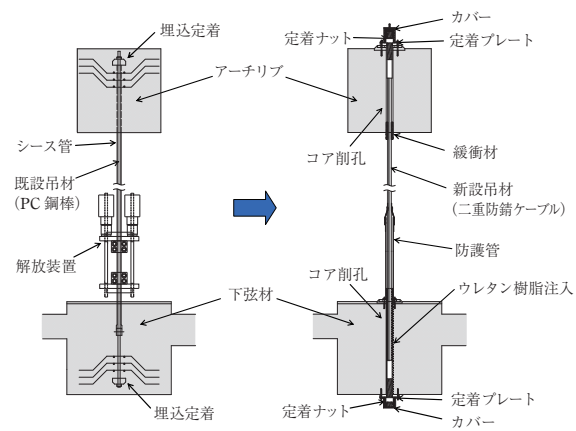


図-5 吊材取替えの概要図



写真-3 PC鋼棒切断状況



写真-4 PC鋼材設置状況

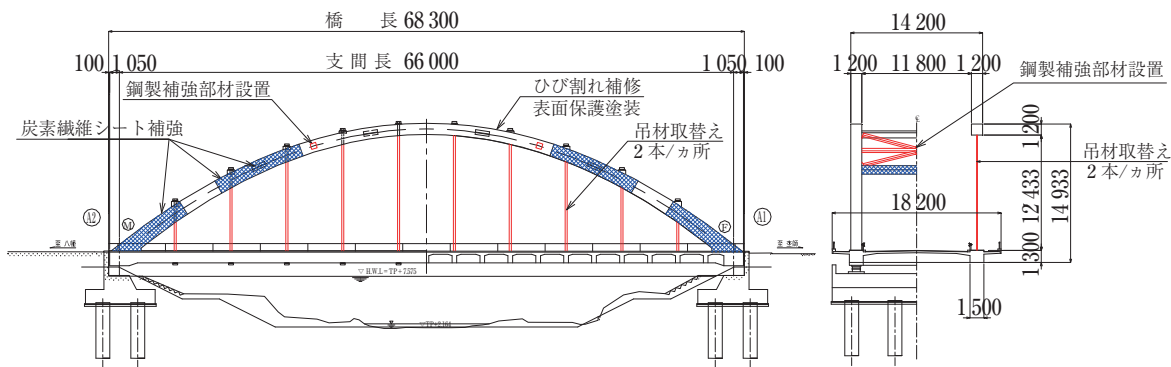


図-4 恒久復旧対策概要図

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。

5. 緊張力解放装置の開発

5.1 緊張力解放装置の概要

既設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鋼棒を切断して解放する方法を採用することにした。これまでに、主桁内のPC鋼材を途中定着する工法として、マルチ配置PC鋼線を鋼製スリーブ内部に膨張材を充てんして定着する工法がある。しかしながら、PC鋼棒表面は平滑で表面積が小さく定着長が長くなる点、膨張圧を管理しなければならない点、膨張圧が発揮されるまで時間を要する点などの課題があるため、短時間で定着でき転用が可能なくさび定着方式を採用した。

PC鋼棒解放装置および解放手順を図-6に示す。

吊材張力はくさび定着具で仮受けする構造である(図-6(a))。くさび定着具は二つ割りくさびと雌コーンから構成されている。吊材の側方から装置を設置できるように雌コーンも二つ割り構造になっている(写真-5)。支圧プレートおよび解放用PC鋼棒を介してセンターホールジャッキを取り付け、荷重計で張力管理を行う。解放用PC鋼棒を緊張すると支圧プレートを介してくさび定着具間の吊材が押し縮められ張力が減少する(図-6(b))。一方、くさび定着具外側の吊材は張力増加(ΔP)することになる。くさび定着具間の吊材張力が解放されれば、定着ナットBを締め付けて仮定着し、PC鋼棒をガス切断する(図-6(c))。次に、定着ナットBが緩むまで加力してナットを解放した後、徐々にジャッキ荷重を低下させPC鋼棒張力を解放する(図-6(d))。

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。事前試験で確認すべきことは次の2点である。

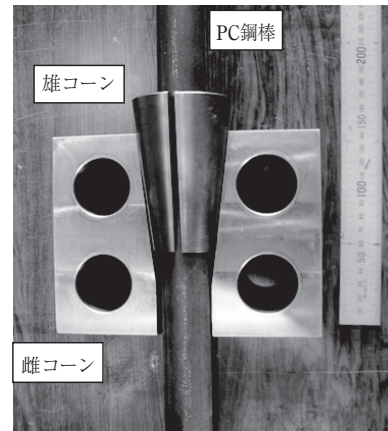


写真-5 くさび定着具

第1点は、切断時に張力が残存している場合でも安全に解放できることを確認することである。吊材の張力が正確に分からないため、解放に必要なセンターホールジャッキの荷重が不明である。設計荷重を参考に解放荷重を設定するが、切断時に張力が残存していることも考えられる。

第2点は、ガス切断により発生する熱の影響である。くさび定着位置の吊材が高温にさらされて機械的性質が低下することが懸念された。

性能確認試験では、反力フレームに吊材を想定したPC鋼棒(定着間隔4.33m)を設置し、400kNの緊張力を導入した。導入張力はPC鋼棒定着部に荷重計を設置して測定した。なお、吊材には新品のPC鋼棒を使用している。解放試験は2ケースを実施した。ケース1は解放時の残存張力が40kNの場合である。ケース2は解放時の残存張力が140kNで、2枚のくさび相互に1mmの設置ずれを生じさせて試験を行った。また、ケース2では、上側のくさび定着具の上下で吊材の温度を測定した。

切断時の既設PC鋼棒と解放用PC鋼棒の張力変化を図-7に示す。吊材張力は、解放用PC鋼棒の緊張により400kNから10kN程度増加している。ケース1(図-7

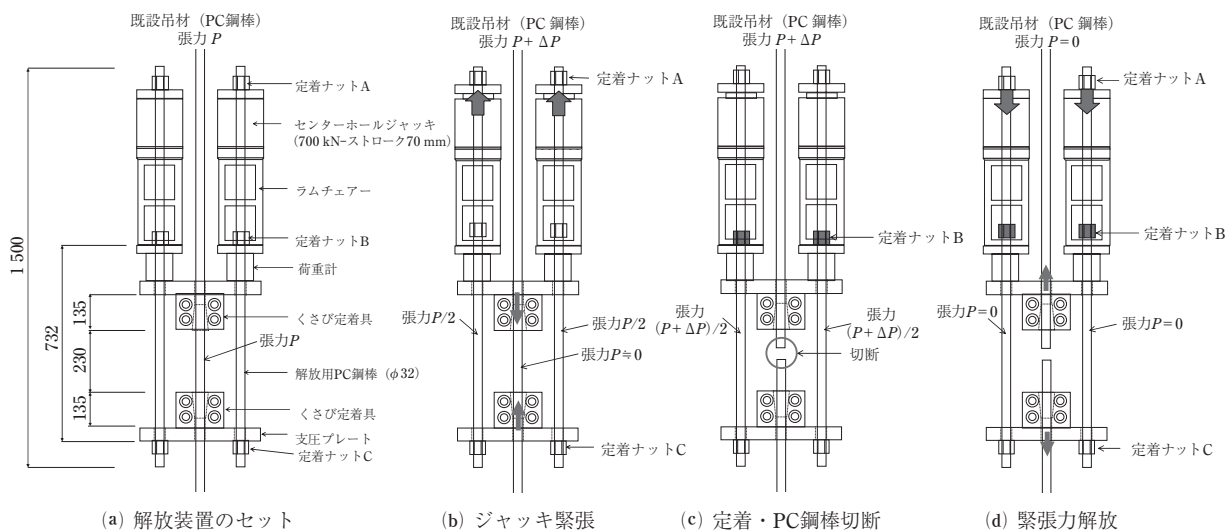


図-6 PC鋼棒解放装置および解放手順

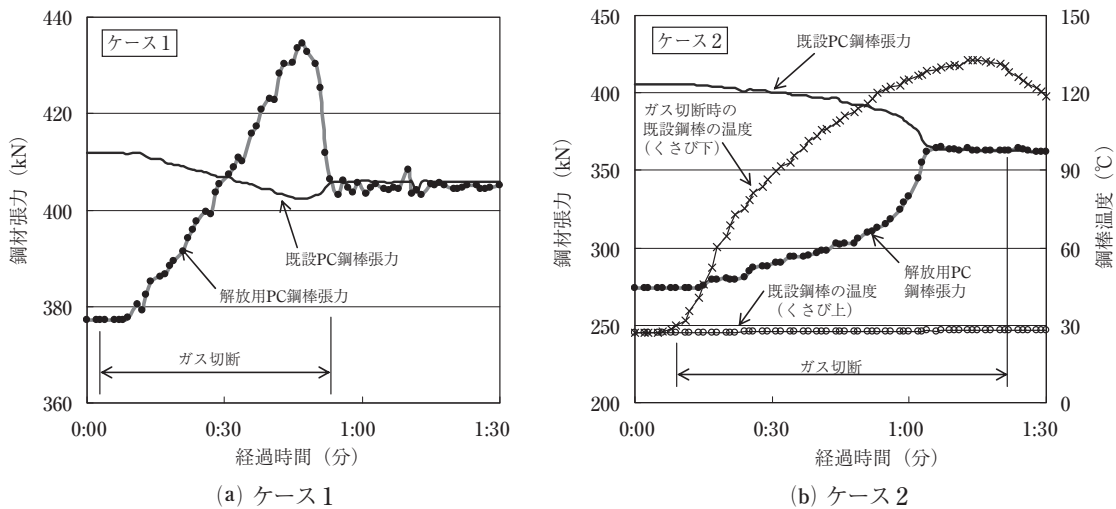


図 - 7 PC 鋼棒の張力変化

(a) は、切断前の吊材と解放用 PC 鋼棒との張力差は約 40 kN である。くさび定着間でガス切断を開始すると吊材の熱膨張で張力が解放され、解放用 PC 鋼棒の張力が増加する。さらに加熱を継続すると圧縮力が作用する。この変化した張力はすべて解放用 PC 鋼棒が受けもつため吊材の張力と逆転が生じる。吊材が切断されると圧縮力が解放され、吊材と解放用 PC 鋼棒との張力が釣り合う。この結果、40 kN 程度残存する場合でも安全に切断できることが確認できた。

ケース 2 (図 - 7 (b)) は、切断位置の残存張力を約 140 kN とした場合である。切断を開始すると解放用 PC 鋼棒張力が上昇し、既設 PC 鋼棒張力が移行していることが確認できる。この結果より、張力が残存する場合でも解放装置への張力移行が徐々に行われ、安全に切断できることが確認できた。また、定着くさびに 1 mm 程度のずれがある場合でも確実に定着できることも確認できた。

切断位置のくさび定着具下側と上側で吊材温度を測定した結果、切断までにくさび定着具下側の温度は 132 °C に達した。PC 鋼棒は 300 °C に達してもほとんど張力低下を示

さないことから PC 鋼棒の機械的性質を損なうことなく切断作業が行えることが確認された。

5.3 実橋への適用

実橋における解放装置の設置状況を写真 - 6 に示す。くさび定着具の設置位置は断面減少がほとんど認められない位置を選定して表面の錆を除去した。解放時には、くさび定着具間 (装置内) と外側 (装置外) の吊材のひずみを測定し、公称断面積およびヤング係数を用いて荷重に換算した。

図 - 8 に下流側の中央付近の吊材を撤去した際の張力の推移を示す。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 403 kN であり、解放用 PC 鋼材張力は事前実験結果を考慮して 40 kN 少ない 363 kN 緊張している。これと同時に、吊材荷重 (装置内) では、340 kN 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、5.3 kN であり、計算値 (5.6 kN) とよく一致しており、ひ

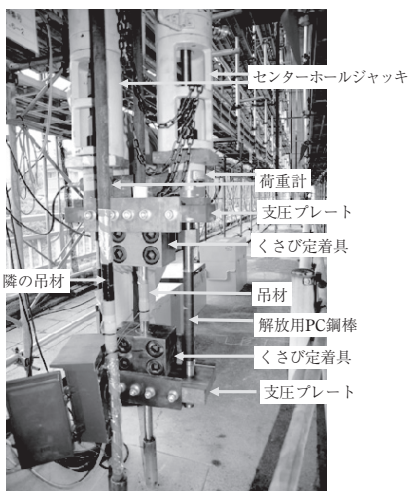


写真 - 6 解放装置設置状況

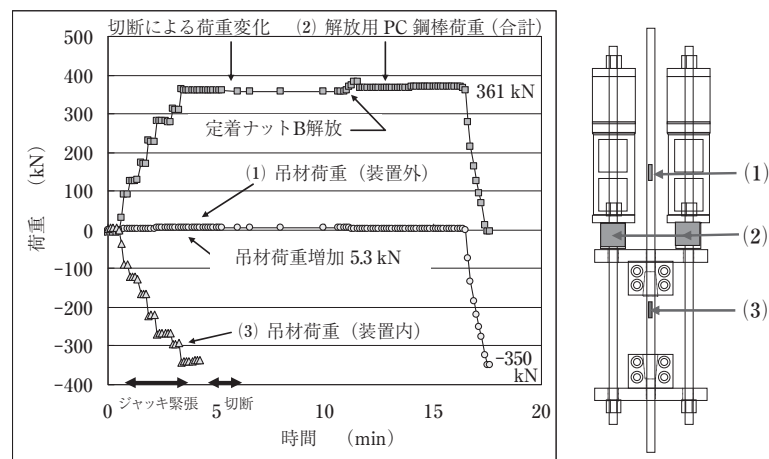


図 - 8 解放時の吊材張力推移

ずみゲージによる測定値は比較的精度よ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 鋼棒荷重の変化は 1.0 kN 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、0 kN を示しているのに対して、解放後は -350 kN であることから、吊材張力は 350 kN であったと推定される。

6. 維持管理の方策

6.1 吊材張力の測定

本橋はコンクリートアーチから下弦材を PC 鋼材で支持する構造のため、補修完了後に本橋を維持管理する方策として、PC 鋼材の張力変化を把握することで橋梁の状態を的確に把握できると考えられた。そこで、振動法による吊材張力測定を実施することとした。

振動法では、吊材の下弦材から約 2 m の位置に加速度計を取り付け、少し離れた位置に軽微な衝撃を与えて加速度波形を測定した。推定値と実測値の差はわずかであり、吊材には、設計値どおりの張力が作用していることが確認できた。本測定結果は将来の詳細点検においての基準として活用できるデータである。

6.2 健全度確認試験

本橋の補修補強効果の確認および将来の詳細調査の基準値となる資料を得ることを目的として実橋載荷実験を実施した。載荷実験では、橋面に荷重車を載荷して、アーチリブ・下弦材のひずみ、下弦材のたわみおよび吊材張力の測定を行い、計算値と比較することによって橋梁補強後の耐荷性能を確認した。荷重車両は重量 196 kN を 3 台とし、6 ケース載荷を行った。計算値は 3 次元骨組解析により算出した。

1/4 支間点載荷ケースの測定結果を図 - 9 に示す。左のグラフは載荷時の下弦材のたわみを、右のグラフは各部材のひずみを示している。下弦材のたわみ、アーチリブおよび下弦材のひずみ測定値は計算結果とよく一致しており、所定の曲げ剛性と耐荷性能を有していることが確認でき

た。また、アーチリブおよび下弦材のひずみ分布はいずれも平面保持をなしており、おのおのの部材は弾性体として挙動していることが確認できた。

7. おわりに

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 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た。
- ② 既設吊材の張力変動や橋体の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した。
- ③ 維持管理の提案として、吊材張力測定や載荷試験を行い詳細調査時に基準となるデータを測定した。

本稿が、今後必要性が増加す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。

参考文献

- 1) 大浦, 高橋, 上月, 稲岡, 延命: 君津新橋の設計と施工について, 橋梁, Vol.9, No.11, pp.2-9, 1973.11
- 2) 小川健, 平野淳治, 中島規道: マルチ配線 PC 緊張材の中間定着法の研究, 土木学会第 49 回年次学術講演会, pp.782-783, 1994
- 3) 林, 藤原, 渡辺: ローゼアーチ橋の吊材破断に伴う復旧工事 (君津新橋緊急補修工事), 土木施工, 2010.5 月号, pp.35-38, 2010.5
- 4) 林, 石山, 渡辺, 藤原, 熊谷, 浅井: コンクリートローゼアーチ橋のリニューアル - 吊材破断により通行止めとなった橋の復旧 -, 橋梁と基礎, Vol.44, No.9, pp.49-55, 2010.9
- 5) 麻生, 林, 石山, 石井: 君津新橋の恒久対策設計, 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, pp.93-96, 2010.10
- 6) 林, 熊谷, 渡辺, 大石: 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, pp.97-100, 2010.10
- 7) 浅井, 林, 藤原, 竹之井: PC 鋼棒緊張力解放装置の開発と実用化 - アーチ橋吊材への適用 -, 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, pp.101-104, 2010.10

【2011 年 1 月 21 日受付】

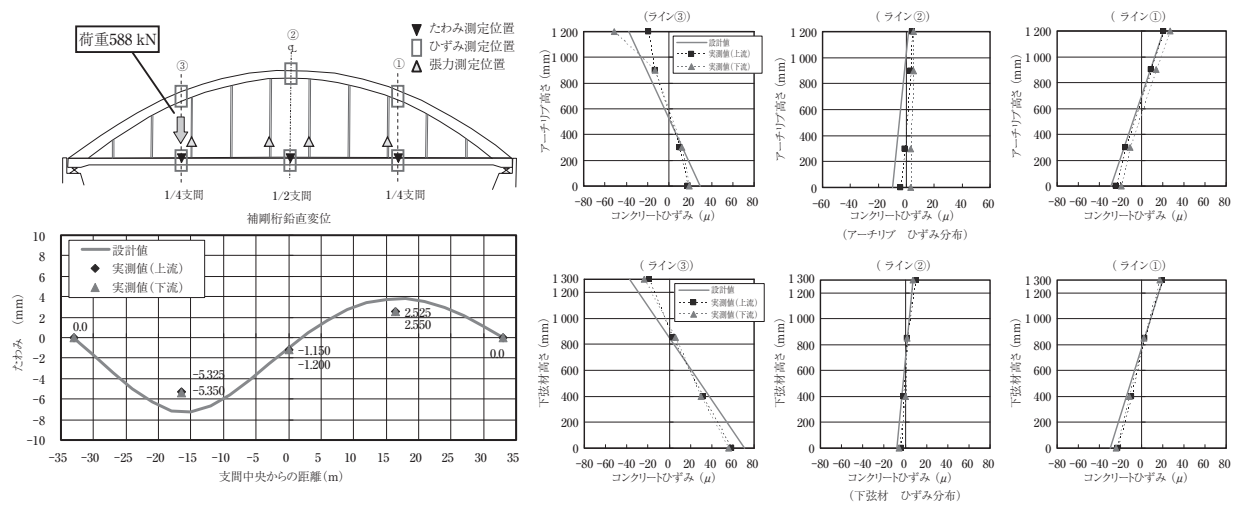


図 - 9 実橋載荷試験結果