報告　ＰＣ３径間連続有ヒンジ箱桁橋の連続化について（東北自動車道八幡平橋）

渡辺　将之[*1]・上杉　泰右[*2]・東田　学[*3]

要旨：東北自動車道八幡平橋（安代ＩＣ～鹿角八幡平ＩＣ）は,秋田県の東側に位置し景観が美しい湯瀬渓谷を跨ぐＰＣ３径間有ヒンジ箱桁橋である。本橋は供用後２５年が経過し,また冬期間に散布する凍結防止剤の影響でヒンジ部の損傷が進行してきたことから,橋脚の耐震補強工事に合わせてヒンジ部を廃止して連続化する工事を実施した。連続化に当っては,PC 外ケーブルによる補強方法や定着部の位置などについて検討するとともに外ケーブルによる桁への影響についても検討し,設計・施工を行った。また，本橋の連続化工事は供用中の高速道路上で行うことから工事中の安全性や品質向上を考えた交通車線規制を実施した。

キーワード：PC 橋,有ヒンジ,連続化,外ケーブル,補強

1．はじめに

東北自動車道八幡平橋は東北自動車道安代 IC～鹿角八幡平 IC に位置する PC３径間連続有ヒンジ箱桁橋である（**写真－１**）。「有ヒンジ」とは，中央径間部の支間中央において上部工桁の回転を許容するヒンジ支承で結合されている構造をいい，**写真－２**に示すような構造をしている。

写真－１　八幡平橋（中央径間部）

本橋は昭和５９年に完成し，供用後約２５年が経過しており経年劣化が進んでいるが，特にヒンジ部では凍結防止剤が含まれている雨水等が伸縮装置部からの漏水により浸入し，劣化を進行させている状況であった（**写真－３**）。そこで，本橋の橋脚の耐震補強工事に合わせてヒンジ部を連続化することにより，道路維持管理上の課題である伸縮装置を廃止し，耐久性の改善と車両走行性の向上を図った。本文では，連続化にあたって実施した PC 外ケーブルの配置方法検討結果や施工上の工夫事項などについて報告する。

写真－２　ヒンジ部の構造（ウエブ部分）

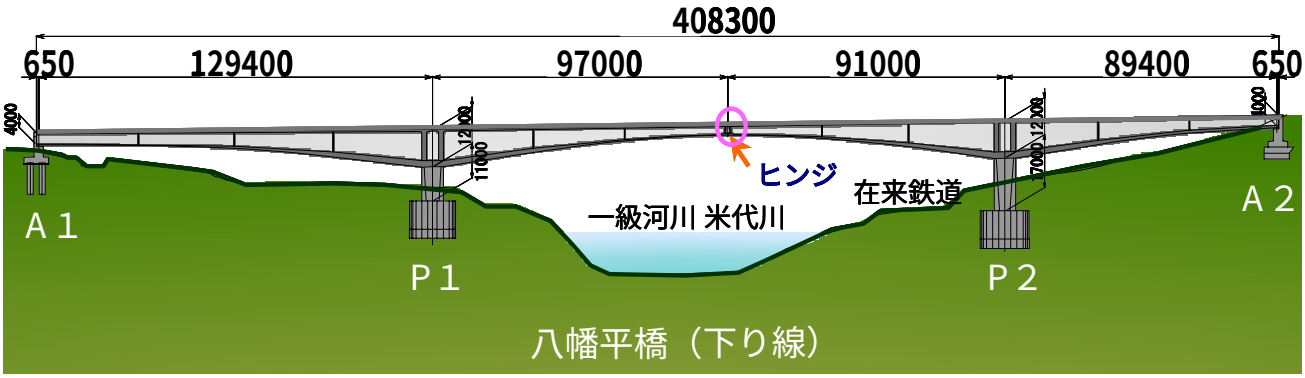
写真－３　ヒンジ部の損傷状況（箱桁外面）

２．八幡平橋の概要

本橋は秋田県鹿角市湯瀬地区を流れる一級河川米代川が形成する通称『湯瀬渓谷』と東北自動車道が交差する箇所に建設された橋梁で，他の４橋と合わせて「湯瀬五橋」と称している。八幡平橋は「湯瀬五橋」の中で最も北側に位置し，**写真－１**に示すように美しい景観を呈している。

本橋の側面図を**図－１**に，橋梁諸元を**表－１**に示す。

*1 東日本高速道路（株）　東北支社　管理事業部　改良チームリーダー　(正会員)
*2 八千代エンジニヤリング（株）　総合事業本部　構造・橋梁部　副部長　工博　(非会員)
*3 三井住友建設（株）　東北支店　土木部　(非会員)



図－１　八幡平橋側面図

表－１　　橋　梁　諸　元

道路規格	第1種3級B規格
構造型式	PC3径間連続有ヒンジ箱桁橋
橋　長	408.3m(下り線)
支間長	129.4m+97.0m+91.0m+89.4m(下り線)
幅　員	11.150m(全幅)、9.75m(有効幅員)
平面線形	A=450、R=750
縦断勾配	i=下り2.42%～上り2.11%
横断勾配	i=2.005%～4.000%(片勾配)
斜　角	90°
設計荷重	TL－20、TT－43

３．ヒンジ部の検討

本橋は平成１８年度に耐震補強設計を実施し，平成２０年度に耐震補強工事を実施したが，耐震補強設計時の課題の一つはヒンジ部への対策であった。

そこで，ヒンジ部を大規模地震時にも耐えられる構造に取替えるのか，連続化することによりヒンジ部を連続化し構造系を変えるのかを検討した。

その結果，ヒンジ部を大規模地震時にも耐えられるよう補強する案は，ヒンジ部の撤去・敷設が大工事となること，ヒンジ部の維持管理が将来に渡り必要となること，及び伸縮装置部の存在により車両走行性が劣ることなどからデメリットが多いと判断した。特に，**写真－３**に示すように，ヒンジ部は伸縮装置部からの漏水により劣化が進行しており，特に本橋が立地する地域は，豪雪地域であり凍結防止剤（塩化ナトリウム）の散布量も多いことから，将来に渡り塩害への補修も必要な状況である。

一方，ヒンジ部を連続化する案は PC 外ケーブルによる補強が必要となるが，構造上及び維持管理上の弱点となるヒンジ部を廃止するメリットが大きく，交通車両の走行性も向上することから利点が多いと判断した。

よって，本橋では連続化案を採用することとした。

４．上部工連続化の検討

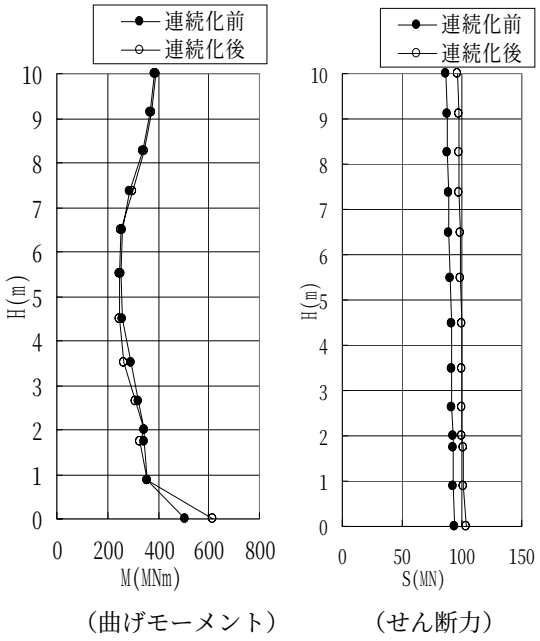
上部工を連続化するにあたり以下の課題があり，それぞれについて検討を行った。

（課題１）上部工連続化に伴い橋脚の耐震性に与える影響について照査する必要がある。

（課題２）　上部工の構造系が PC３径間連続有ヒンジ箱桁橋から PC３径間連続ラーメン箱桁橋に変わることから，新たな構造系で上部工の応力状態を照査し，応力超過箇所に対し補強設計を実施する必要がある。

４．１　上部工連続化による橋脚への影響

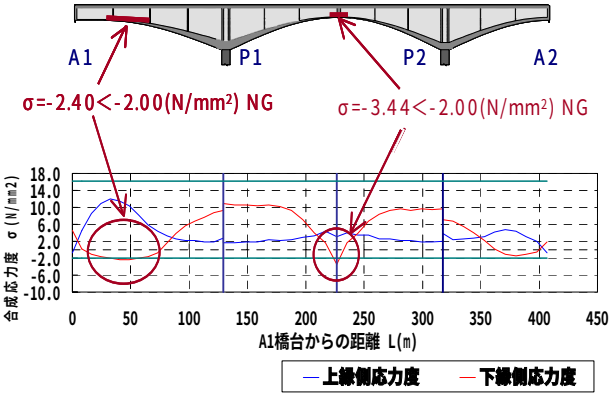
上部工を連続化する前と連続化した後で，Ｐ１橋脚に働く「死荷重状態に地震時（レベル２地震動）の影響を考慮」した応力状態を**図－２**に示す。この結果から連続化前と後では Ｐ１橋脚に働く曲げモーメントの差はほとんど無いことがわかった。また，せん断力は，連続化後に僅かに増加しているものの，耐震補強の鉄筋量には影響しない結果であった。



図－２　Ｐ１橋脚の応力状態

４．２　連続化による上部工への影響

上部工を連続化し，構造型式を PC３径間連続ラーメン箱桁橋とした場合の上部工の応力状態を**図－３**に示す。この結果から，中央径間の支間中央部及び Ａ１～Ｐ１の側径間部において桁下縁側で許容応力を超過することが判った。なお，許容値とした－２．００N／mm^2 は道路橋示方書・同解説Ⅲコンクリート橋編ｐ121 表－3.2.4 より定めた。



図－３　上部工の応力状態（補強前）

５．上部工補強検討

図－３より上部工の連続化に伴い中央径間部などにおいて応力超過箇所（負符号は引張を表す）が発生することから，上部工の補強方法について検討を行った。補強方法としては，PC 外ケーブルを用いることとし，まず中央径間部に着目し検討を進めた。

５．１　外ケーブルの配置検討

中央径間部を PC 外ケーブルにより補強する方法について比較検討した結果を**表－２**に示す。

第１案は中央ヒンジ部に最も近い中間横桁部に定着部を設ける案であり，PC 外ケーブル（19S15.2B）が１４本必要となる。この配置方法は，許容値を満足しない箇所に効率的な補強が可能であるが，中間横桁部の補強による橋面の鉛直たわみに対する影響が懸念されることや，中間横桁に横締め PC 鋼材が必要となることから実施工的でない。

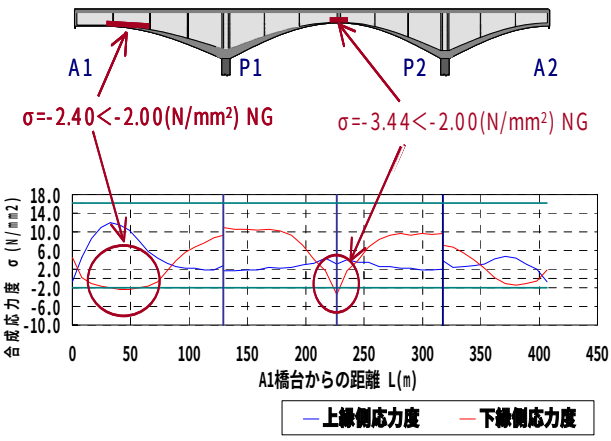
第２案は中央ヒンジ部付近のウエブに定着突起を設けて PC 外ケーブルを分散配置した案であり，PC ケーブル（19S15.2B）が８本必要となる。この配置方法は突起定着することで定着部補強重量を軽減することが可能であるが，ウエブへの削孔箇所が多くなり，既設せん断鋼棒や鉄筋との干渉を避ける必要があり，実施工には不向きである。

第３案～第５案は中間横桁部を偏向部とし，支点横桁部を定着部として配置した案である。これらの案は支点横桁部まで鋼材を配置することから鋼材延長が長くなるが，剛な支点横桁部で定着することができ，構造的に好ましいといえる。この３案の中で，PC 外ケーブルが最も少なくてすむのは第４案であり，PC 外ケーブル（19S15.2B）が８本必要となっている。

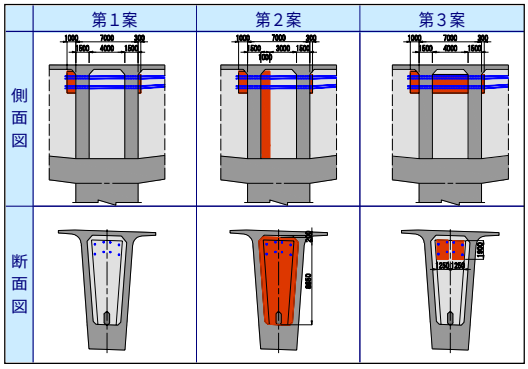
以上より，PC 外ケーブルの配置本数が最も少なく，また構造性，施工性に優れる第４案を採用することとした。なお，Ａ１～Ｐ１間（側径間）の桁下縁側に発生していた応力不足については，中央径間部に外ケーブルを配置することにより，上部工にプレストレスによる２次不静定力が作用し，側径間部に負の曲げモーメントが作用し，応力度が改善され，**図－４**に示すように許容応力度内に収まる結果となった。なお、図中の負符号は引張，正符号は圧縮を表す。

表－２　　PC 外ケーブル配置検討比較

	補強外ケーブル配置図	構造概要	
第１案		▪19S15.2B×14本 ▪中間横桁定着部 ▪補強部材が大きくなり、死荷重増	×
第２案		▪19S15.2B×8本 ▪ウエブ突起・中間横桁定着部 ▪実施工には不向きである。	△
第３案		▪19S15.2B×12本 ▪ 支点横桁定着部 ▪第４案に比べて鋼材が多くなる。	×
第４案		▪19S15.2B×8本 ▪支点横桁定着部、中間横桁偏向部 ▪比較案中最も鋼材本数が少ない。	◎
第５案		▪19S15.2B×10本 ▪支点横桁定着部、中間横桁偏向部 ▪第４案に比べて鋼材が多くなる。	○



図－４　上部工の応力状態（補強後）



図－５　定着部の構造比較

５．２　支点横桁における定着部の検討

本橋の支点横桁部は２枚壁構造となっており，１枚の壁厚は 1.5mとなっている。この支点横桁部に PC 外ケーブルを定着することから，定着部補強方法について比較検討を行った。**図－５**に比較した表を示す。

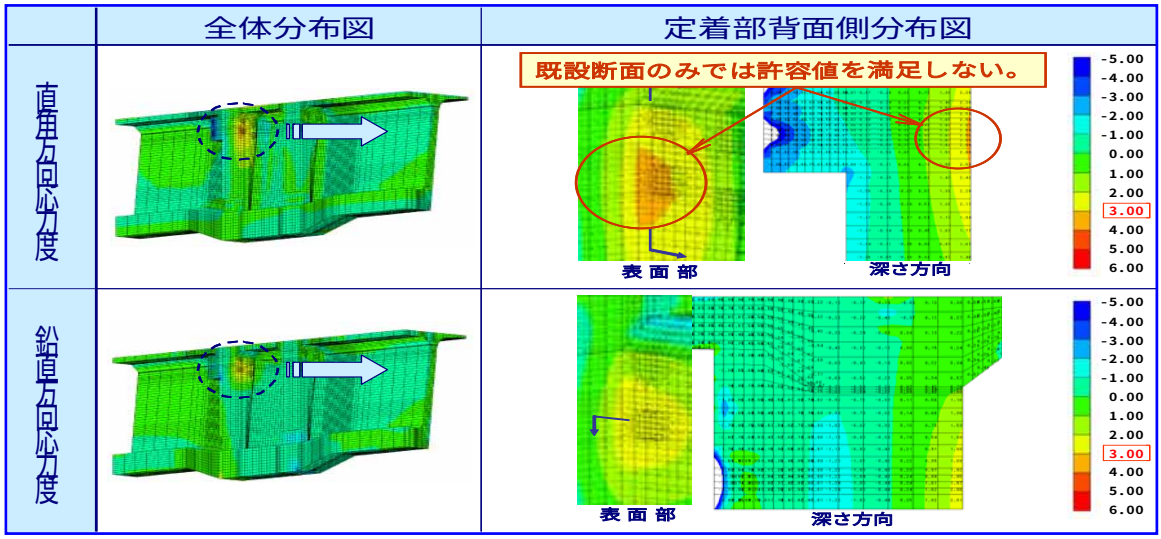
また，各構造に働く応力解析については３次元ソリッド要素を用いた FEM 解析を実施している。解析モデルは構造中心を対称境界とした３次元立体２分の１モデルとし，設計荷重はプレストレス力導入時，設計荷重時及び終局荷重時の中で，最も応力状態の厳しくなるプレストレス導入時（0.9σpy＝1440N/mm^2）とした。また，コンクリートの許容引張応力度の目安はσca＝3.0N/mm^2，コンクリートの引張領域に配置する引張鉄筋の許容応力度はσsa＝120N/mm^2 とした。これら許容応力度の目安は，『外ケーブル構造・プレキャストセグメント工法設計施工規準（社）プレストレストコンクリート技術協会編』より定めた。

比較表の第１案は定着部のみ補強した案であるが，定着部背面側の支点横桁に許容値を超えるσc＝4.5N/mm^2 程度の引張応力が生じる結果となった（**図－６**）。

第２案及び第３案は，定着部背面側の支点横桁をコンクリート増厚することにより補強した案である。両案とも定着部背面の許容応力度は満足する結果となったが，第３案では，コンクリート梁施工時に支保工が必要となるなど，コンクリート施工上の課題があることから第２案を採用することとした。

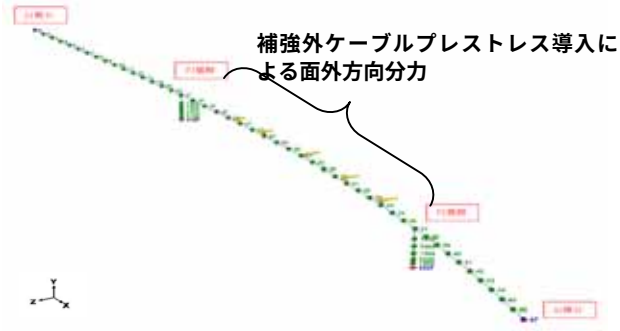
５．３　外ケーブル緊張による面外方向の検討

本橋は，R＝750～A＝450mの平面線形を有している。そのためヒンジ部連続化により中央支間部に配置した PC 外ケーブル緊張力の影響が主桁面外方向に曲げモーメントとなって現れる。そこで，この影響について**図－７**に示す立体骨組モデルにより解析を実施した。解析は，主桁面内方向，面外方向の曲げモーメントがそれぞれ作用している二軸曲げの状態で行い，主桁の応力度を照査した。



図－６　第１案定着部背面応力ＦＥＭ解析結果

照査の結果，設計荷重作用時（温度時）に下床版において引張応力度1.56N/㎜^{2}が発生していることが判った。そこで，この応力度に対して有害なひび割れ幅が発生しないように追加鉄筋（D16×10 本）を配置し，ひび割れ幅を制御した。



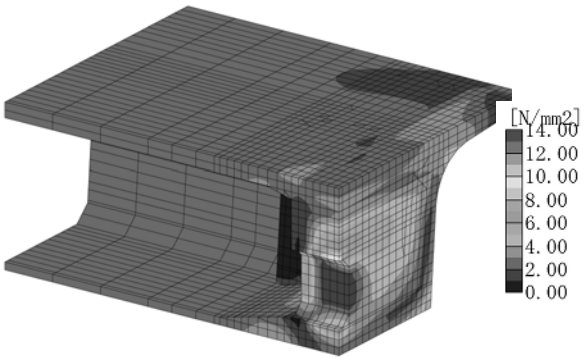
図－７　立体骨組解析モデル

５．４　連続部の温度解析

上部工連続化工事は，既設伸縮装置及びコンクリート（橋軸方向にそれぞれ 50cm 程度）を撤去した後に，型枠設置及び鉄筋設置を行い，下床版・ウエブには早強コンクリートを，上床版には超速硬コンクリートを打設した。上床版に超速硬コンクリートを使用した理由は養生期間の短縮を図るためである。

連続部に打設したコンクリートの両側面には既設のコンクリートがあることから，新設したコンクリートには外部拘束による温度応力が懸念される。そのため，３次元温度応力解析を実施し，新設コンクリートへの影響を確認した。

解析結果を**図－８**に示す。この結果から，主桁外面（張出し床版付け根付近と下床版隅角部近傍）に引張応力度を確認した。これらに対しては，引張応力度に対して有害なひびわれが発生しないよう補強鉄筋を配置し，ひび割れ幅を制御した。例えば，上床版橋軸直角方向引張応力度は 3.3N/㎜^{2}となり，これに対し，補強鉄筋 D22 を 125 ㎜間隔で配置した。



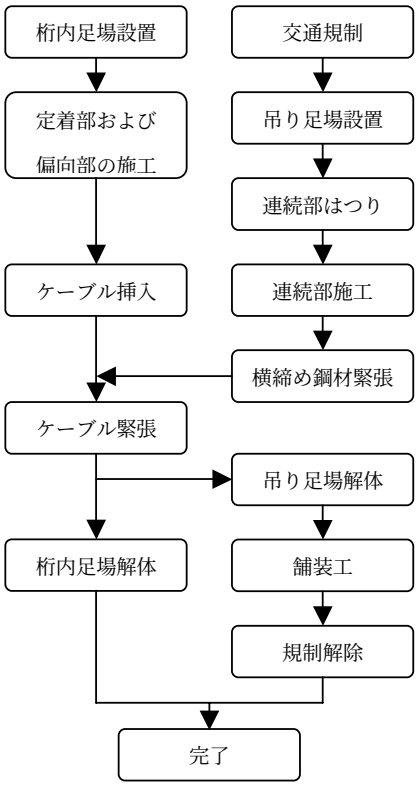
図－８　温度応力解析結果

また，点検用マンホール近傍に発生する局部的な引張応力度については，型枠存置期間を長くし，温度差を小さくすることで対応した。さらに，発生する引張応力度を低減するために，早強コンクリートに膨張材を添加し，プレストレスを導入するまでの初期段階でのひび割れの発生を抑制した。

これらの対策により，実施工において有害なひび割れが発生していないことを確認している。

６．施　工

施工のフローを**図－９**に示す。この中から，交通規制及び連続部の施工について報告する。



図－９　　施工フロー

６．１　交通規制

本橋は供用中の橋梁であるためヒンジ部連続化工事では交通規制が必要となる。交通規制方法としては，

（1）片ライン（上り線又は下り線）の全面通行止めを行い，反対側のラインにおいて対面交通規制を実施する。

（2）走行車線又は追越車線を昼夜連続交通規制を行う。

の２案が考えられた。この２案について比較した結果，

・交通規制期間を３ヶ月から２ヶ月に短縮可能。

・高速道路をご利用されるお客様や施工を行う作業員の安全性が高い。

・コンクリートの硬化時に悪影響を与える一般交通車両による振動がなく，品質向上が図れる。

などの点から総合的に判断し，(1) 片ライン全面通行止め案を採用し，施工を行うこととした。

また，供用路線の交通規制期間を極力短くする目的で，定着部及び偏向部の補強工事は供用しながら施工を行い，中央ヒンジ部分の施工時のみ交通規制を実施した。さらに，ヒンジ支承は当初撤去する予定であったが，撤去に２週間程度の工期が必要になること，コンクリートのハツリ及び復旧で工費が増加することから，ウエブ内部に埋設する構造としている。

６．２　連続部の施工

連続部施工用足場は，P1 橋脚付近で地組みした後に電動チェーンブロックにて吊り上げ，中央連続部までトレーラーに載せて移動した。

既設コンクリートのはつりにはＷＪを用いるため，周辺環境へ配慮して防音シートによる養生を行った。また，作業床は全面シート張りとして発生水をポンプアップして回収できる構造とした。連続部の足場状況を**写真－４**に示す。

写真－４　連結部の足場状況

連続部への PC 外ケーブルの挿入は，エポキシストランド１本ずつをプッシングマシンとウインチを併用して行った。桁下にターンテーブルおよびプッシングマシンを設置し，下床版に挿入孔を設けて，足場を組んでガイドパイプを固定しその中を通して桁内に挿入した（**写真－５**）。また，箱桁内足場には単管に塩ビパイプを取り付けた棚を設置し，被覆エポキシ樹脂に傷を付けないよう注意しケーブルを挿入した。

緊張ジャッキは，桁端部のマンホールを拡幅して桁内に搬入し，柱頭部の定着部まで運搬した。柱頭部の内空は 9m 程度あるため揚程 10mの 1t 吊りチェーンブロックおよびプレーントロリーを使用してジャッキをセットした。

緊張ポンプは P1 橋脚付近に配置し，排水管の箱抜き孔からホースを入れて接続して緊張作業を行った。

緊張作業はジャッキ２台を用いて，左右２本を同時に片引き緊張とした。鋼材長は 200m近くあったため，緊張による鋼材の伸びは 1m 以上あり，サグとりも含めて 7 回程の盛替え作業が必要であったため，緊張作業には 2～3 時間かかった。完成後の PC 外ケーブルの配置状況を**写真－６**に示す。

写真－５　PC ケーブル挿入状況

写真－６　PC 外ケーブル設置状況

７．おわりに

東北自動車道八幡平橋は，PC3 径間有ヒンジ箱桁橋であったが，橋脚の耐震補強工事と合わせてヒンジ部連続化工事を実施し，PC３径間連続ラーメン箱桁橋へ構造変更を行った。これにより維持管理上の弱点であるヒンジを無くすこととなり，維持管理面や舗装面の走行性が改善される結果となった。

本工事は平成 20 年 9 月から 10 月にかけて実施されたが，東北自動車道の約 2 ヶ月間に渡る対面通行規制期間も含め無事故で完工させることができ，また外ケーブル緊張による有害なひび割れ発生もなかった。

最後に，本橋の上部工連続化設計・施工を行うにあたり，ご指導を頂いた関係者の方々に深く感謝の意を表します。