

(59) 十勝大橋 (PC斜張橋) の施工

北海道開発局 帯広開発建設部	桜田 昌之
同 上	神山 繁
鹿島・日本高圧・ドービーJV 正会員	池田 隆
同 上	正会員 ○佐藤 忠宏

1. はじめに

現十勝大橋は、昭和16年に架けられた橋長369m、幅員18.0mの9径間連続コンクリートゲルバー桁橋であり、同形式の橋架では我が国最大の支間を誇る名橋として、完成以来半世紀にわたって十勝のシンボルとして人々に親しまれてきた。しかし、昭和55年に策定された十勝川改修事業計画に基づく計画高水量の変更に伴って引堤を行なうことになったこと、また近年交通量が激増し、将来さらに利用度が高まることが予想されることから、これらに対応するために現十勝大橋の架け換えが計画された。

現在施工中の新しい十勝大橋は、走行性、経済性、景観性に優れた、橋長501m、幅員32.8mの3径間連続PC斜張橋であり、一等橋のPC斜張橋としては国内最大支間(251m)を有するほか、一面吊り構造としては初めて4室箱桁が採用され、センターウェブをはさんで両側に斜材が定着されること、大容量現場製作ケーブルを採用し、130mを越える長さの斜材ケーブルを現場で製作、架設すること、また5フレームを有する広幅員フォルバウワゲンを使用していること等に特徴がある。

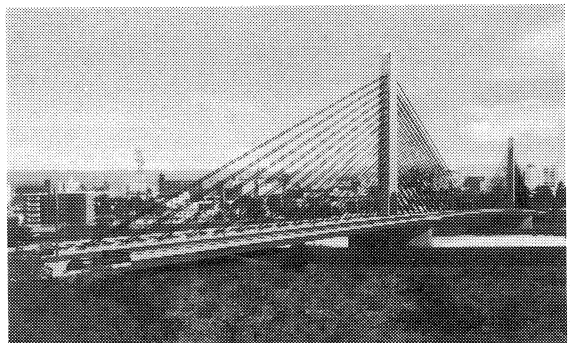


写真-1 完成予想写真

本論文は、本橋上部工の施工法、及び施工管理の概要について報告するものである。

2. 橋架概要

本橋の橋架諸元は以下のとおりである。また、表-1に主要工事数量、図-1に全体一般図を示す。

企業者：北海道開発局 帯広開発建設部	支間割：124.1m + 251m + 124.1m
工事名：十勝大橋上部架換工事	幅員：32.8m
工事場所：北海道帯広市 音更町	有効幅員：26.0m
橋種：プレストレストコンクリート道路橋	勾配：縦断2.5% 横断2.0%
橋格：第4種1級B(1等橋 TL-20)	主塔：独立一本柱形式RC構造
構造形式：3径間連続PC斜張橋	主桁：4室箱桁断面PC構造
橋長：501m	斜材：一面吊り準ハープ型パラレル配置

区分	種別	仕様	単位	数量	備考
主桁	コンクリート	$\sigma_{ck} = 400 \text{ kgf/cm}^2$	m ³	14,080	橋体工のみ
	鉄筋	SD345	t	820	
	PC鋼材	SBPR930/1180他	t	2,950	
主塔	コンクリート	$\sigma_{ck} = 500 \text{ kgf/cm}^2$	m ³	3,520	
	鉄筋	SD345	t	1,030	
斜材	PC鋼材	SWPR7B	t	690	フレクネ-ヒシステム

表-1 主要工事数量

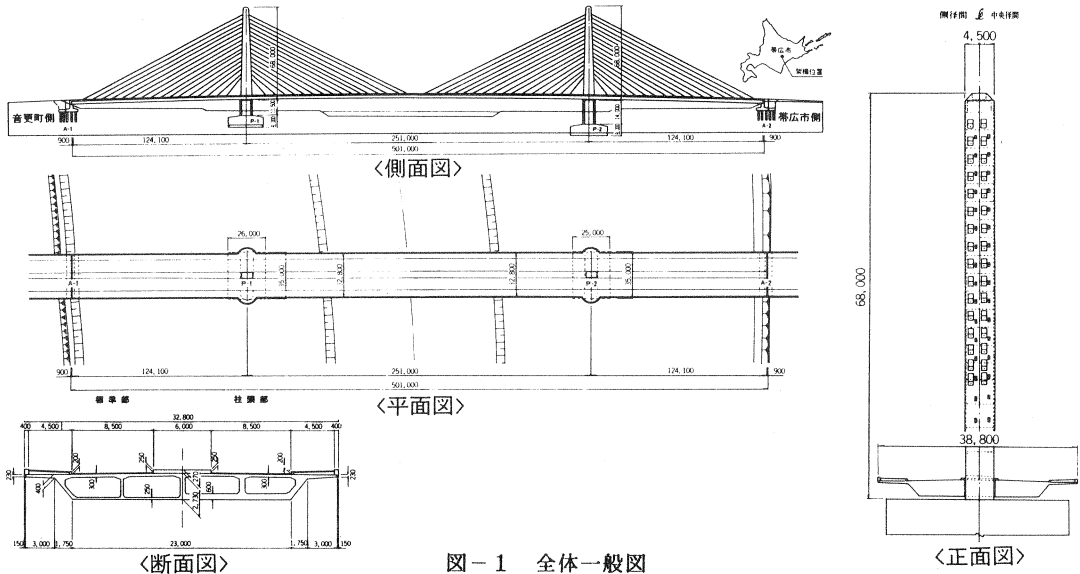


図-1 全体一般図

3. 主塔の施工

主塔は塔高6.8mの独立1本柱形式で、断面形状は側面に意匠を考慮したスリットを有する充実矩形断面(8~4m×4.5m)である。なお、主塔内部には管理用通路として外径32inchの配管が塔頂まで連続して埋設されている。施工は1ロットあたり2~4mに分割(計21ロット)し、総足場工法で施工している。仮設足場はビディ枠8段毎にブラケット支保工を設けており、側面には通年施工を考慮して全面防災シートで取り囲んだ。型枠には大型のステンレスフォームを使用し、脱型~組立の合理化を図った。

コンクリートは500kgf/cm²の高強度コンクリートであり、高性能AE減水剤を使用し、単位セメント量を低減(380kgf/m³)するとともに、必要なワーカビリティ(スランプ20cm)を確保している。コンクリートの打設はコンクリートポンプ車により塔頂まで圧送した。打設量は約20m³/hrであった。

品質管理方法については、コンクリートの流動性が高く、スランプ管理が不相当であるため、フロー管理を行なっている。主塔の各ロットはマッシュな構造であり、また富配合コンクリートであることから、設計当初から、セメントの水和熱による温度ひび割れの発生が指摘されており、これに対して施工性を考慮して必要最小限のひび割れ制御鉄筋を決定することを目的に、実構造における温度、及び応力履歴を測定し、温度解析パラメータを逆解析により求めることで、次施工ロットからの温度ひび割れ制御鉄筋量を決定した。これまでに冬期、夏期を通じた施工を経験したが、耐久性上有害と考えられる幅0.2mmを越えるひび割れは発生しておらず、よく制御されていると考えている。

4. 主桁の施工

張出架設部は側径間、及び中央径間にそれぞれ32BL、33BLをワーゲンにより施工する。本橋の主桁は一面吊り構造としては非常に広幅員であり、5ウェブを有する4室箱桁断面PC構造となっており、ワーゲンは一般型フレームを5基連結した広幅員ワーゲンとなっている。また、本橋は通年施工が計画されており、厳寒期には気温が氷点下20℃を越える地域特性を考慮して、ワーゲン全体を断熱材を挟みこんだ二重シートで覆い、寒中コンクリートへの対策、及び作業性を確保している。

側径間の連結については、PC斜張橋の場合、主桁の剛性が低く温度変化や風等により主桁のたわみ変動が大きい、型枠設置等の施工上の理由、コンクリートの出来形、品質面から地盤上に設置した仮支柱、及び主桁内に重りとして注水する水バラストにより主桁を固定する計画である。中央径間の連結については、P2系張出しのワーゲンにより施工することとなっている。本橋の主桁施工ブロック図を図-2に示す。

主桁型枠は、外型枠については形状が一定であり、転用回数、美観を考慮してステンレス型枠を大パネルとして使用した。内型枠は、標準ブロック部については、メタルフォームをパネル化し使用している。斜材定着ブロックについては、横桁が介在するため木製型枠により対応した。な

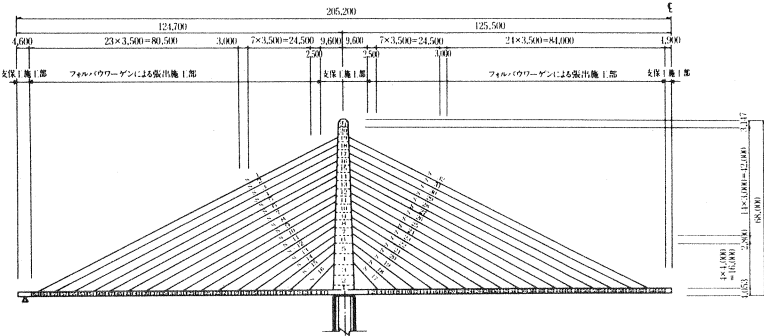


図-2 主桁ブロック図

お、斜材定着ブロック施工時における標準ブロックの内型枠は、ワーゲンに設置したトロリーによりワーゲン前方に引き出し、足場として利用した。PC斜張橋の、特に一面吊り構造の斜材定着部の補強には非常に多量な鋼材、鉄筋が複雑に配置されるが、本橋では、あらかじめ3次元CADを用いた立体視による組立手順の検討、鋼材及び鉄筋の干渉について検討し施工の円滑化を図った。しかし、鋼材の組立はもとよりコンクリートの締め固め等、施工上手間を要し、今後設計施工上、合理化の望まれる部位のひとつである。本橋の主桁の張出し架設で特徴的なものに、斜材の張力調整作業がある。一般的にPC斜張橋の場合、主桁ブロックの張出しに合わせて斜材ケーブルを架設、緊張し主桁完成後、斜材ケーブル全段の張力調整作業を行なう例が多いが、本橋の場合は斜材ケーブルの架設、緊張後に更にカンチレバー中の張力調整作業を行なう方式を採用している。この方式によれば、施工中の主桁の応力変動を小さくすることが可能となるため、主桁に配置する仮設のPC鋼材量を少なくすることができる。施工性については、斜材ケーブルの緊張回数が増えるので工程を圧迫する要因となり不利であるが、反面、主桁の上げ越し管理、或いは斜材の張力管理において、補正の機会が多く得られるのできめ細かい管理が可能となり品質管理上有利といえる。

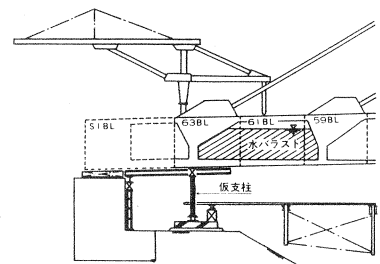


図-3 主桁の固定工

本橋は張出し架設長が中央径間で1ブロック分長く、アンバランスとなっており、通常これについては側径間を閉合した後に施工することが一般的であるが、本橋の場合は、側径間閉合部施工時における主桁固定用の仮支柱を仮支点として、アンバランスモーメントにより発生する負反力を主桁内に配置する水バラストに負担させ、中央径間のBL施工を先行させる工法を採用している。(図-3) これにより、主桁の張出し工程サイクルを乱さず施工することができ、P1系、及びP2系の施工工程の時間差を短縮することができる。また、主桁に重りを設置することにより、主桁の緊結方式等にある主桁下地盤上に設置するカウンターコンクリートが不要であるので、これの解体に要する手間が省け、施工性も良好である。

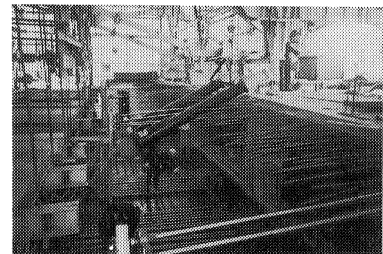


写真-2 主桁側斜材定着体取付

なお、主桁内には防水工として塩化ビニル樹脂系のシートを施工した。その他、施工法の工夫等として、斜材定着体のセットの高精度化、合理化を考慮し、伸縮、角度可変形の治具を製作して活用した。(写真-2) また、横桁横締PC鋼材には、モノグループシステムが採用されており、ジャッキが大型(約800kgf)であり、鋼材配置上アンカーには仰角が付いているため、ジャッキリフターを製作し作業性の向上を図った。(写真-3)

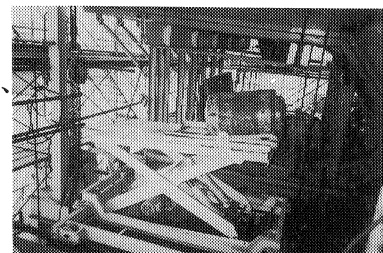


写真-3 ジャッキリフター

5. 斜材の施工

本橋の斜材ケーブルには、現場製作型の斜材を使用しており、15.2mmのPC鋼より線を61本(一部55本)束ねたものをPE管内に設置し内部をグラウトして防錆被覆する。PE管の一部(全16段中、上段の3段)については、景観を考慮して、現場製作型の斜材ケーブルに使用するPE管としては初めて着色したものを使用した。

(1) PE管の架設、及びケーブルの組立

PE管は定尺10mのものを現場で溶着して組立てた。(写真-4)また、後に行なう斜材グラウト時におけるストランドのかぶりを確保する目的で、PE管の内面に張り付くようにスパイラル筋を設置している。このPE管をタワークレーンで吊り上げ主塔側定着具に近付けると共に、中間部を滑車を介したワイヤーによりたるみをとる程度に吊り上げる。(写真-5)この状態で、本設のストランド(架設ストランド)を数本PE管の中に主塔側より挿入し、主塔定着部においてシングルストランドジャッキにより所定の圧力、及び伸び量で緊張し(写真-6)PE管を保持させた。この後、残りのストランドを順次挿入し、ケーブルを組立てた。架設ストランドの緊張本数は残りのストランドの重量を負担した場合のサグの量に応じて決定した。

ストランドはロール状で搬入され、挿入は橋面上に設置したストランドドラムからプッシングマシンにより行ない、1本のストランドが挿入し終わる毎に切断しウェッジングの後、次の挿入へと順次1本ずつ行なった。

(2) 一次緊張

一次緊張には800tセンターホールジャッキを使用し、ジャッキ背面に設置したテンポラリーブロックにストランドを直接ウェッジングしてストランドを直接緊張する方式とした。(写真-7)緊張後は定着ブロックに設置した本設のウェッジで定着される。緊張は先に緊張済みの架設ストランドを除くストランドで行ない、斜材緊張による構造変形等を考慮して全てのストランドが同じ張力を負担するように緊張計算を実施した。また緊張作業にはジャッキ2台を使用し、まず平行配置されている斜材の片側について、主塔をはさんで相対するケーブルを同時に緊張し、次にもう一方の斜材について緊張を行なった。これについても、後に緊張されるケーブルにより、先行緊張されたケーブルの張力が緩むのでこの影響も考慮し緊張計算を実施した。

(3) 二次調整、及び三次調整

本橋の場合、施工段階に応じて、主桁の応力緩和を目的に斜材の張力調整が計画されている。主に二次調整は緊張調整、三次調整は緩め調整である。調整には一次緊張と同じセンターホールジャッキを使用し、ストランドの余長を切断した定着ブロックをカップラーにより接続し、テンションロッドを介して定着ブロックを直接緊張した。(写真-8)緊張後は調整リングにセットしてあるリングナットにより定着させた。また、主桁完成後の最終斜材調整も同方式で実施する。

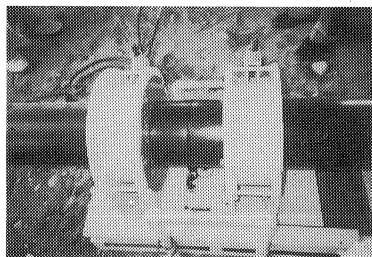


写真-4 PE管溶着



写真-5 PE管吊上げ

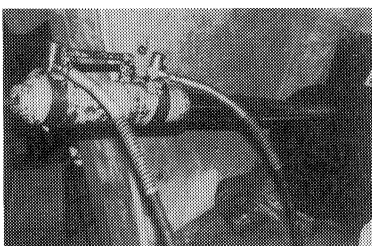


写真-6 架設ストランド緊張

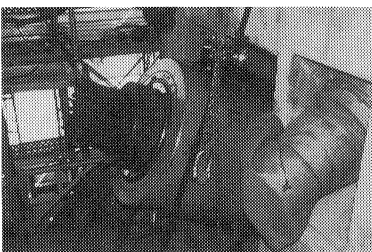


写真-7 一次緊張

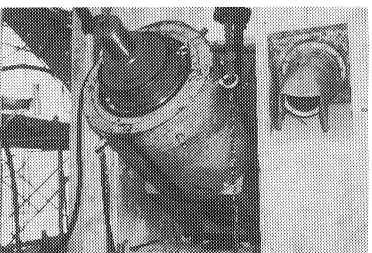


写真-8 張力調整

(4) 緊張管理

緊張管理は、緊張計算に準じ、伸び～圧力管理を行なった。圧力の監視はポンプにプレッシャーゲージを設置し、デジタルひずみ計により行ない、伸び量はスケールにて計測した。また、張力調整時は、増分管理を主眼としたため、既に緊張されている斜材ケーブルの張力を正確に把握することが重要であるため、支圧板と定着ブロック間にデジタル変位計を設置し、定着ブロックの挙動を監視しながら加圧する方法を採った。また、斜材張力の経時的な変化を追跡する目的でつけたロードセル(ストランド1本に設置)も緊張管理に併用した。本橋における斜材の緊張は、ストランドを1本ずつ緊張する逐次緊張方式を採用しておらず、ストランド間の張力のバラツキが懸念されたが、これまでの実績によるとそのバラツキは3～5%であり、斜材ケーブルの設計が施工時0.6Pu、設計荷重時0.4Puであることを考慮すれば十分許容できる範囲であると考えられる。また、伸び～圧力管理については、架設ストランドの1本目で若干のバラツキがあるものの(PE管の重量を初めて負担する非線形性の影響、風等によるPE管の振動と予想される)、その他の緊張についてはほとんどが3～5%程度の誤差範囲内にあり実用上問題ないレベルであった。また、現場製作型の斜材ケーブルとしてはあまり例のない強制振動法による張力測定を不定期に実施したが、施工上問題ない精度の測定結果が得られた。

6. 施工時管理計測

本橋は張出し架設長が123.6m(中央径間)と非常に長い反面、主桁の桁高は2.730mと薄く、主桁の剛性が比較的小さいため、温度変化や荷重の変化、また風等の影響による主桁のたわみ変動が大きい。このような場合においても、施工が設計計算で設定された条件の通りになれば、たわみや応力は所定の許容範囲内に収まる。しかし、実際にはコンクリートの単位体積重量や弾性係数等の材料のバラツキ、施工条件、環境条件、設計の際のモデル化、施工誤差等さまざまな不確定要因や仮定要素が存在する。そのため、あらかじめ各施工段階に応じた主桁のたわみ、応力、斜材の張力を設定し、かつ温度や載荷重等の不確定要因についての影響などを種々影響線として把握しておき、施工中、常にこれらを監視することが重要となる。そこで必要な各種項目について計測を行ない施工に反映させた。このとき、斜張橋の場合、構造が内的に高次不静定となりデータ量も膨大となるので、これらの作業をパーソナルコンピュータを用いた施工管理システムにより迅速に行なった。このシステムは大型電算機によって計算された単位荷重や温度変化、斜材の単位緊張量などによる影響線をデータベースとして蓄積し、これを基に実測値の補正や予測計算を行なうものである。図-4に施工管理システムの概念図を示す。

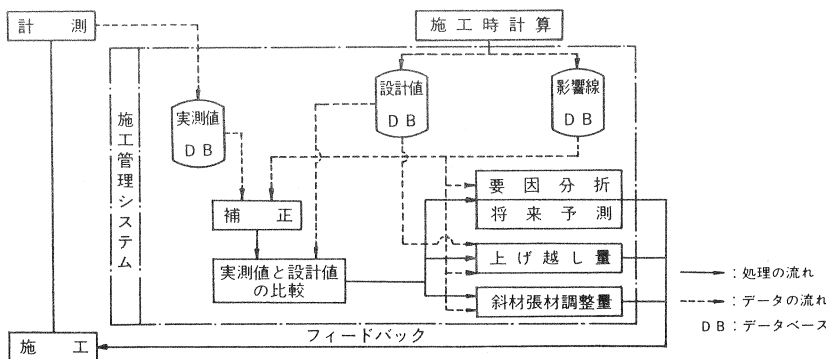
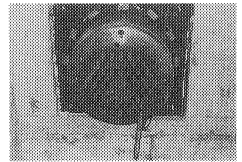
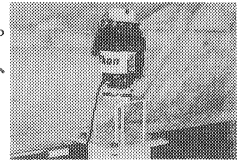


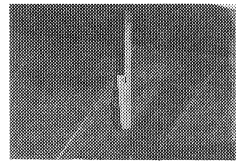
図-4 施工管理システム概念図



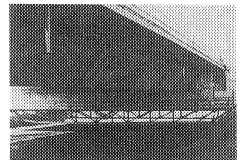
斜材張力測定 ロードセル



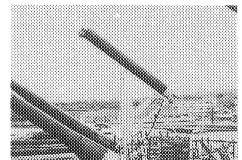
主桁線形自動計測 電子レベル



主桁線形自動計測 電子スタッフ



主桁線形自動計測



斜材温度計測 タミーケーブル

写真-9 各種計測

7. 研究開発

本橋の架設地点は、1993年の釧路沖地震に見られるように、地震活動度が比較的高い地域であり、設計上も地震に関しては2段階耐震設計法が採り入れられるなど、慎重かつ最先端の検討が行なわれている。このような背景を踏まえて、本橋においては地盤中、及び橋体各部13点に強震計(32ch)を設置し地震観測を行なっている。(写真-10) 現在までに、数回の中小規模の地震を経験しており、張出し施工中の振動波形が収録でき、非常に貴重な観測データが得られている。また、最近では多くの斜張橋において、風による斜材ケーブルの振動が報告されているが、斜材ケーブルの振動は使用者に心理的に不安感を与えるだけでなく、定着位置において曲げ疲労を蓄積させるなど、耐久性上問題となる。風による斜材ケーブルの振動の発生メカニズムについては、風向、風速だけでなく、風の乱れ、ケーブルの表面形状、また雨による影響、或いは並列ケーブルの場合はその間隔など多くの要因に依存しており、現段階では未だ研究段階であり、個々の斜張橋について架設前に振動の発生を正確に予測することは困難である。従って、本橋においては、施工中から風観測と斜材ケーブルの振動観測を行ない、風のデータと実際のケーブルの振動に対して調査し、斜材制振対策の可否、及び最適な斜材制振装置の開発を行なっている。(写真-11) なお、完成後の斜材ケーブルの振動を把握するために、本橋においては架設中の斜材ケーブルの内、比較的張力変動の小さいものを2段階選定しグラウトを施している。

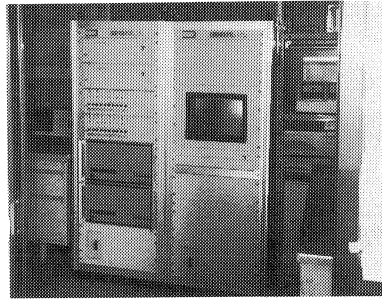


写真-10 強震計自動観測システム

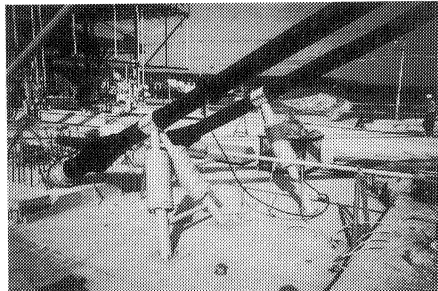


写真-11 制振装置性能確認実験

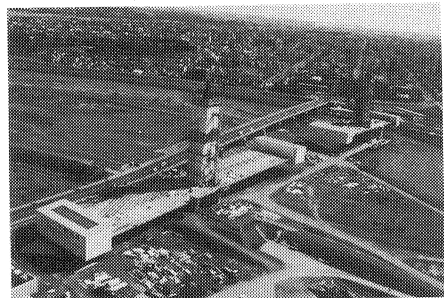


写真-12 施工中全景(平成6年4月)

8. おわりに

本橋は平成7年度の開通をめざして、平成6年8月現在、P1系で側径間閉合部、P2系で斜材14段目の施工を行なっているところである。本論文では現時点における施工及び施工管理の概要について報告したが、各種計測結果、また情報化施工の詳細等についてはまた別の機会に報告したいと考えている。本報告が今後の長大PC斜張橋の施工技術の一助となれば幸いである。

参考文献

- 1) 中田・関根・太田：十勝大橋(PC斜張橋)の構造特性について
：プレストレストコンクリート技術協会 第3回シンポジウム論文集 平成4年11月
- 2) 中村・花田・井上：十勝大橋(PC斜張橋)斜材定着部実験
：プレストレストコンクリート技術協会 第3回シンポジウム論文集 平成4年11月
- 3) 神山・葛西・山口：十勝大橋主塔部の温度応力対策について
：第37回(平成5年度)北海道開発局 技術研究発表会発表概要集
- 4) 高橋・葛西・山口：十勝大橋斜材ケーブルの風応答観測と制振対策について
：第37回(平成5年度)北海道開発局 技術研究発表会発表概要集