論文・報告

後藤川大橋斜材システムの構築

～エクストラドーズド橋の斜材システム～

Design of Stay-cable System to GOTOHGAWA-OHHASHI

大谷　満
Mitsuru OOTANI
川田建設㈱北陸支店工事部
工事課工事長

今井　平佳
Hirayoshi IMAI
川田建設㈱東京支店技術部
設計課課長

狩野　兼義
Kaneyoshi KANOU
川田建設㈱東京支店工事部
工事課係長

田中　太郎
Tarou TANAKA
川田建設㈱東京支店工事部
工事課係長

春原　秀樹
Hideki SUNOHARA
川田建設㈱東京支店工事部
工事課

本橋は，県道十和田三戸線バイパスの一部であり，後藤川の治水ダム（仮称指久保ダム：建設中）のダム湖に計画された。構造形式は，2径間連続PCラーメン箱桁エクストラドーズド橋である。橋脚高は，湖底面より橋面まで50 m，2本の主塔は，橋面上22 mの高さとなる。上部工の施工は，橋脚上部4 mを含む上部工一式で㈱白石・川田建設㈱・上北建設㈱特定建設工事共同企業体で施工した。
当初設計を大幅に変更し新しい知見を全面的に取り入れ，厳冬期を含めた約21ヶ月（平成12年4月～平成13年12月）で完成させた。本報告は，斜材システムに関する設計施工両面からの一連の活動について報告する。

キーワード：突起定着，プレファブマルチケーブル，サドル，制振装置，斜材支保工

1．はじめに

エクストラドーズド橋は，桁橋と斜張橋の中間の構造形式と位置づけられる。すなわち，桁高以上に大きく偏心させた外ケーブル（斜張橋と同様にこの飛び出した鋼材を斜材ケーブルと呼ぶ）を用いた構造で，桁橋に比べ桁高を小さくでき，斜張橋に比べて主塔高を半分以下にできるため，経済的で景観に配慮できる構造といえる。

主桁断面は，ある程度の剛性を持ちそのたわみ挙動は斜張橋ほど敏感ではない。主塔サドル部は，通常桁橋のアウターケーブルで使用されるデビエーター（偏向部）の性格を合わせ持つ。ケーブルシステムに比較的安価な物を使用できること，主塔高があまり必要でないこと，斜張橋のように2次緊張3次緊張といった斜材間の張力調整が不要のため，より経済性の高い構造形式といわれている（**図1**エクストラドーズド橋の概念図参照）。

本橋は，張出し長が104.5 mと長く，桁高橋長比（h/L）約1/35，主塔高橋長比は，約1/10となっている。この値は，本橋が22 mの主塔高を持ちながら非常に長いスパンをもっていることを表している。

表1に現在までのエクストラドーズド橋の実績を記載する。

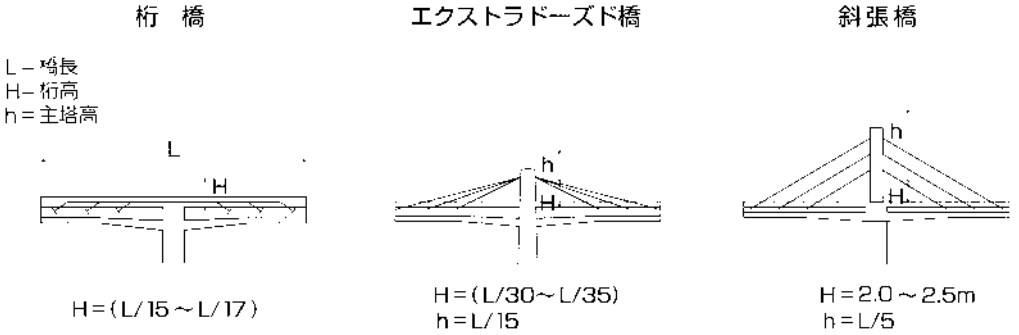


図1　構造形式の概略比較

表1　エクストラドーズド橋の主な実績

橋　名	橋長［m］	支 間 長［m］	張出し長［m］	塔橋脚高［m］	場　所	完成年
小田原ブルーウェイブリッジ	270.0	73.3＋122.3＋73.3	59.5	37.2	神奈川県	1995
つくはら橋	323.0	65.4＋180.0＋76.4	76.5	57.0	兵庫県	1997
蟹沢大橋	380.1	99.3＋180.0＋99.3	89.0	43.2	秋田県	1998
唐櫃新橋（西）	285.0	74.1＋140.0＋69.1	70.5	31.4	兵庫県	1998
第2マクタン橋	410.0	111.5＋185.0＋111.5	90.0	42.6	フィリピン	1999
三谷川第二橋	152.0	57.9＋92.9	86.0	48.3	徳島県	1999
士狩大橋	610.0	94.0＋140.0×3＋94.0	68.0	32.7	北海道	2000
またきな大橋	200.0	109.3＋89.3	103.0	59.4	沖縄県	2000
都田川橋	268.0	133.0＋133.0	96.5	83.0	静岡県	2001
木曽川橋	1 145.0	160.0＋275.0×3＋160.0	85.0	54.3	三重県	2001
揖斐川橋	1 397.0	154.0＋271.5×4＋157.0	85.8	54.8	三重県	2001
後藤川大橋	230.3	114.0＋114.0	104.5	73.0	青森県	2002

文献1）に加筆
木曽川橋・揖斐川橋はPC・鋼複合エクストラドーズド橋

写真1　全　景

表2 後藤川大橋の工事概要

路　線　名	県道　十和田三戸線		
橋　　長	230.3 m		
支　間　長	114.0 m＋114.0 m		
幅 員 構 成	車道 8.0 m　全幅 10.7 m		
平 面 線 形	R＝∞		
縦 断 線 形	↘ 2.000 %		
横 断 勾 配	車道部 2.0 % ↙　↘ 2.0 %		
設計活荷重	B活荷重		
雪　荷　重	10 N/mm²（活荷重同載）		
構 造 形 式	2径間連続ラーメンエクストラドーズドPC箱桁橋		
材　　料	コンクリート	主桁・主塔	σ_{ck}＝40 N/mm²
	PC鋼材	縦締め	12S12.7
		横締め	1S28.6
		鉛直締め	φ32
		斜材	27S15.2
	鉄筋	SD345	
工　　期	平成11年12月22日～平成14年3月20日		

近年，この形式の橋梁は全国で20件を超える実績を数えることができる。景観を配慮できること，とその経済性が評価されたと考える。

2．当初設計について

本橋の設計は，平成9年度に完了している。特徴は，以下のとおりとなる。

① 景観に配慮した橋脚，主塔，主桁の形状および斜材ケーブル配置
② 経済性を高めるための1室箱桁形式
③ 斜材定着部を張出し床版内に納めるための床版厚の確保
④ 斜材定着部は，張出し床版部に切欠き定着を設置し外観には現れない
⑤ 斜材ケーブルは，高密度PE外套管を使用した現場製作ケーブル

構造概略を**図2**に表す。

1室箱桁としては，上床版支間が道路橋示方書適用範囲を超えたものとなっている。

本工事受注後，照査設計を開始した。

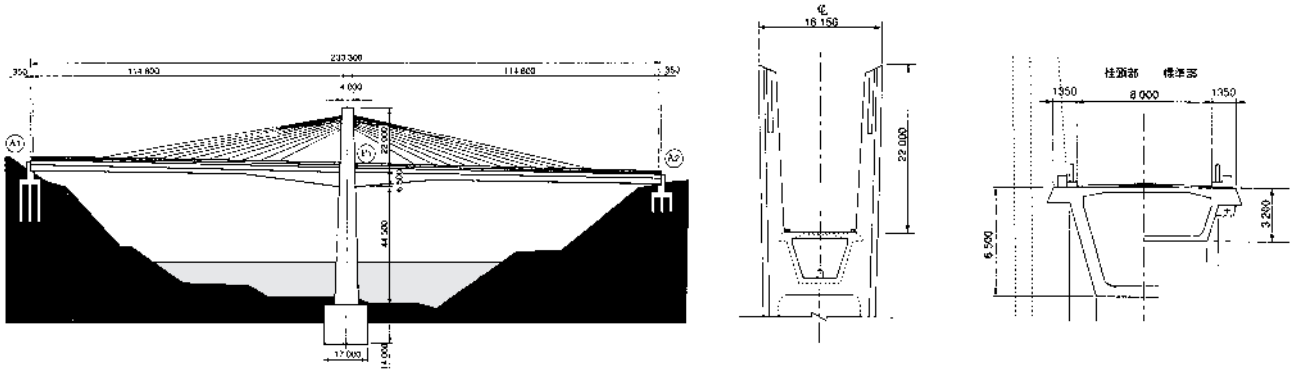


図2　橋梁一般図

3．照査設計

照査設計は，以下の方向性で行った。

① 当初設計の設計計算を再現する

② 当初設計の弱い部分を補強する

③ 当初設計の懸案事項を確定する

①は完成系を中心に合成応力度など当初設計を再現するものである。

②は実際の作業車荷重，架設時荷重を架設系に作用させることにより，架設系でも部材が安全なことを確認するために行った。この際，施工管理の指標となる計測計画も同時に進行させた。また，ここ数年の技術革新により得られた知見をもとに，部材の詳細な検討を行った。

③はケーブル制振装置の取り付けなど当初設計でペンディング事項であった項目に関して，景観に配慮して詳細を決定する作業である。

4．主桁斜材定着部の構造

定着部の照査は，当初設計条件で，FEM解析を行い，部材に発生する局部応力を検証した。

この結果，局部の引張応力が10 N/mm²を超えている部分があり，ひび割れの発生する引張応力域は，上床版にまで及んでいることが判明した。

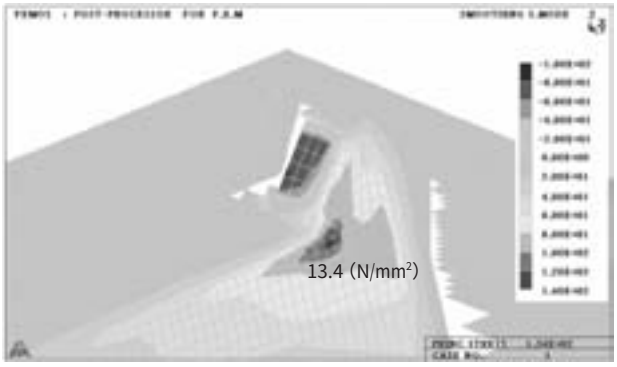


図3　FEM解析結果（当初設計）

ここで，切欠き定着（当初設計）の張出し床版厚をそのままに突起定着に変更した場合のFEM解析を行い，その比較を発注者に示し，突起定着への変更を前提とした検討作業の方向性を確認した。

突起定着最終形状は，**図4**のようになった。景観に配慮し，基本的な構造寸法を統一し，斜材角度の変化を定着取り付け面（端板）のみの角度変化で対応している。突起定着形状は，角度が最小（約11度）となる斜材ケーブルにより決定された。

最終形状での局部引張応力度の最大値は，ウェッブ付け根にハンチを設けたことなどにより低減し，4.3 N/mm²となった。

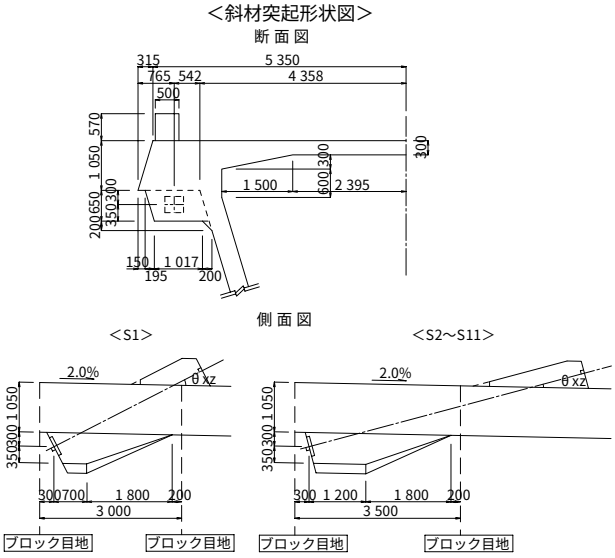


図4　定着突起形状

5．斜材ケーブルの変更

当初設計における斜材ケーブルの架設作業は，以下のようになる（現場製作ケーブル）。

・定尺のポリエチレン外套管を橋面上で加温接着し，所定の長さの外套管を製作する。

・この外套管をケーブル架設形状にあわせて設置する。斜材支保工を組む場合と，架設ケーブルを使用し架設する方法が一般的である。

・架設した外套管内にPC鋼材を1本ずつ挿入する。PC鋼材同士が絡まないように特殊な先端金具および間隔材を数ヶ所設置する。挿入には，PC鋼材挿入機（ストランドプッシャー）を使用する。

外套管とPC鋼材の空間は，橋体完成時まで裸のまま長い期間防錆処理（セメントグラウト）が行われない。このため，単線PC鋼材に防錆処理を行うことが多くなってきた。

本橋では，厳冬期の自然条件が強風，低温と厳しいため，現場製作ケーブルの採用は断念した。

このため，工場製作スープロストランドプレファブマルチケーブルを採用した。単線（1S15.2）にスープロストランド（高密度PE被覆ケーブル）を使用し，27本束ねて整形，その全体を高密度PEでさらに被覆，この間の空隙を同じ材料で充填した工場製作ケーブルである（**図5**参照）。

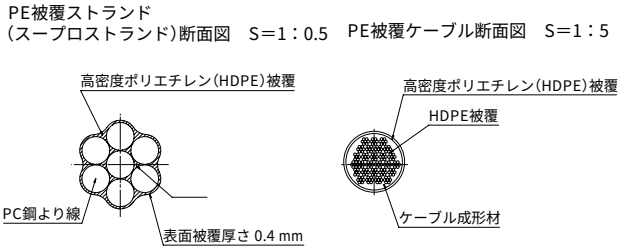
この特徴は，以下のようになる。

① 斜材ケーブル自体のグラウト作業不要

② 工場製作品の高い品質

③ 挿入作業をクリティカルパスとせず，急速施工が可能

④ 材料コストは，高価だがトータルな経済性



ケーブル仕様	寸法	ケーブル外径（mm）	≦110	
		被覆厚さ（mm）	≧4	
		ケーブル長さ（mm）	指定長さ　L＋300 −0 mm（L＝62〜146 mm）	
	機械的性質	引張荷重（kN）	≧7 047	
		降伏荷重（kN）	≧5 994	
		伸び（%）	≧3.5	
	鋼材断面積（mm²）		3 744.9	
	単位重量（kg/m）		裸PC鋼より線	1.101
			スープロPC鋼より線	1.153
			マルチスープロケーブル	33
	被覆材		材質	高密度ポリエチレン
			色	黒
	ケーブルのねじりピッチ（m）		3〜6	

図5　ケーブル仕様

実際，グラウト工の有無を考慮した積算比較では，プレファブマルチケーブルの採用はコスト高になる。しかしその施工性はスパンが長くなるほど，斜材ケーブル長が長くなればなるほど，その優位性を発揮すると考える。本橋の場合，主塔を山越しして連続したケーブルが使用されるため，最長のものは209 mに達する。

その品質に対する信頼性は，工場製作であるため現場作業に過大な負担を要求しない。単線に被覆ケーブルを用いることで，PC鋼材同士の接触疲労も軽減できている。

現場施工での全体のバランスについては，斜材支保工の項で後述する。

6．サドル

斜材ケーブルの左右の張力変動を主塔に伝達する部分をサドルと呼ぶ。

本橋のように左右対称の構造でも架設系，完成系で左右の張力の不一致は発生する。

架設時ではブロック施工時の片側コンクリート打設完了時であり，完成系では活荷重の偏載荷により発生する。

サドルは，この不均等な荷重を斜材ケーブル右左に均等化（斜材ケーブルがサドル部分で滑ることを意味する）させることなく，主塔に吸収させる役目を持つ。

現在まで施工された，または施工中のエクストラドーズド橋では，様々な形式のサドルが検討され，各種実験の後採用されている。

本橋では，前述のプレファブマルチケーブルでの実績

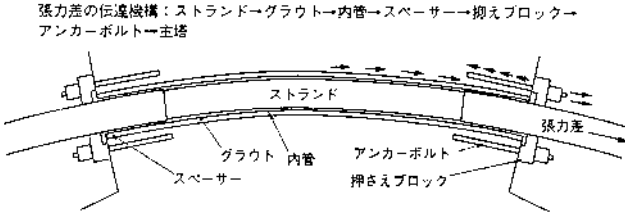


図6　サドル機構（抑えブロック方式）

がある神鋼・川田タイプ（日本道路公団三谷川第二橋）を採用した。サドル機構を**図6**に示す。

この構造は，ケーブルを中に納める鋼管と，前述の不均等荷重に対処するための支圧板部分にわかれており，全体は化粧板に覆われ外部から見えない構造になっている。また，サドル管は斜材を交換可能にするため，内管外管の二重構造になっており，交換時には内管ともに交換する構造となっている。

不均等張力が発生すると，斜材ケーブルは張力の大きい側に移動しようとする。内管内はセメントグラウトされており，この斜材が移動しようとする力は，ケーブルとグラウトの付着力，グラウトと内管の付着力により内管へ伝達される。この内管の移動を抑えプレートで拘束し主塔へ伝達する。主塔への伝達は，主塔に定着されたPC鋼棒により行う。

本方式の優れているところは，張力増が発生した側で固定しているため，内管の伸びによるずれが発生しないところである。また，構造全体，特に抑えプレート部分の構造が非常にシンプルであることであり，これは現場における施工性を向上させる。

三谷川第二橋の斜材メンバーは，19S15.2であったため，27S15.2の必要グラウト長（内管長さ）のデータを得るために，水平内管による引抜き試験を当社技術研究所内で行い，この知見をサドル設計に反映させた。

7．主桁部定着体

主桁部に使用する定着体は，アンダーソン工法（ASM27S15.2）のものを使用した。この定着体は，スープロストランドを被覆の付いたまま定着できるくさびをもつアンカーディスクタイプの定着体である。日本道路公団の興津川橋で定着実験を行い，大容量ケーブルの定着実績を有している。ケーブル交換を可能にするために二重管構造とし，内管内に通常のセメントグラウトを施工することとした。その構造を**図7**に示す。

定着体の決定時には，後述の制振装置の取り付けが必要かどうか決定していなかった。このため，後付け可能な制振装置の取付け形状に合わせて，外管先端の形状を決定した。

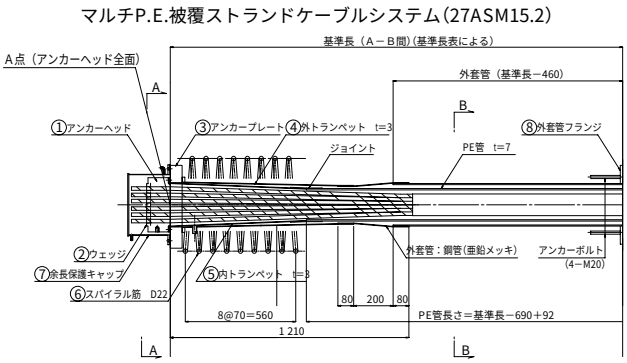


図7　主桁定着体

施工にあたって，S1（最短ケーブル）からS4ケーブルは，1ブロックの躯体長の中に定着体が収まるため組立完成品で納入し，セットした。斜材角度が小さくなってくると2ブロック，最長ケーブルでは3ブロックにまたがるため，前ブロックを孔抜きして定着ブロック施工時に定着体をセットする方法で施工した。このため，定着体も現場組立の半完成品で納入し，移動作業車型枠内で組み立てた。内管の接続部分は，熱硬化ゴムシート（LVシート）を使用した。前ブロックの孔抜きは，鋼製ワインディングパイプを使用し，空隙は無収縮モルタルで充填した。この定着体の外管先端は，そのまま制振装置のアンカー部分となる。定着体セットがそのまま制振装置の取り付け精度に密接に関わるため，ケーブルと外管の相互位置をケーブルサグなどを考慮しセットした。

8．制振装置

制振装置は，現地の施工時計測工により取り付けの必要性の有無を決定することとなっていた。

振動が発生するかどうかを検討した結果，11本あるケーブルの内，すべてのケーブルで発生する確率が高いことが判明した。

現場付近は，谷自体が冬期季節風の方向に完全に一致しており，強風時には瞬間風速25 mを超える。常に10 m程度の風が冬季は吹き続ける。平成13年2月の冬季施工時に斜材が常に微弱ではあるが縦振動を発生していることが判明した。このため，全ケーブルに制振装置を取り付けることを決定した。

制振装置の構造は，次の2種類が考えられる。

① 油性ダンパー形式

② 高減衰ゴム形式

油性ダンパー方式は，ケーブルと橋体床版を油性ダンパーで接続し，このダンパーで振動を減衰する。この方式は，橋体に取り付けるアンカーを後施工アンカーなどで施工できるため，ケーブル定着体に左右されず取り付けることが可能である。反面，このダンパーは，露出構造であるため景観に対する配慮を欠く。

高減衰ゴム形式は，ケーブルに取り付けた支持部材と橋体に取り付けた部材の間を，高減衰ゴムを使用して接続し減衰させる。この方式は，制振装置全体をケーブル付属品のゴムブーツで覆うことが可能であり，景観に影響は与えない。

また，油性ダンパーは，ダンパー取り付け軸の振動に対して効果を発揮するが，直交する方向についてその構造上限界がある。この点高減衰ゴム形式は，全方向の振動に対して効果を発揮する。

以上の理由により，本橋では高減衰ゴム形式を採用した。斜材ケーブルの上床版進入部にケーブルを保護する突起を設置し，この突起コンクリートをアンカーとする制振装置を設置した。制振装置の部材は，後取り付けが可能なように全て分割部材とし，制振装置自体は，ゴムブーツ内に納めて外観からは，わからないようにした。

ゴムブーツの色は，高減衰ゴムを保護するために灰色を使用し内部の温度上昇をおさえた。**図8**にその構造を示す。

上床版突起のコンクリート部分にM20アンカーボルト（ステンレス）を埋め込み，ケーブルからの振動をコンクリートに伝える。

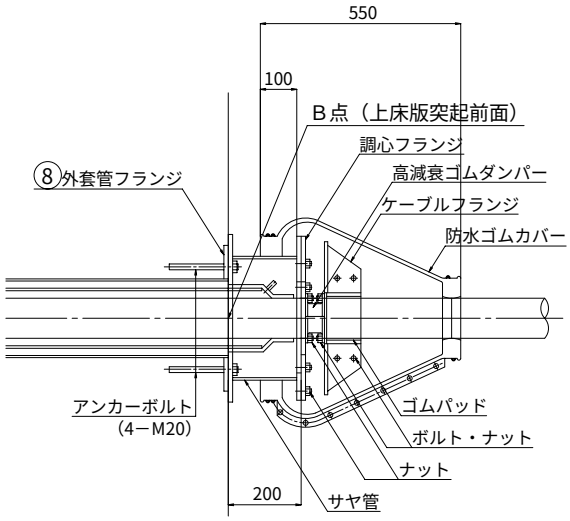


図8　制振装置構造図

さや管とケーブルフランジの間に高減衰ゴムを1ケーブル当たり2個設置する。さや管・ケーブルフランジは2分割になっており橋体工施工完了後に設置した。ケーブルとさや管のズレもある程度まで補正できる構造とした。

設置前に観察された縦振動も，平成14年の冬季間設置後は見られなくなった。

9．斜材架設計画

斜材システムを変更したために，斜材架設計画の再検討を行った。その際に考慮したファクターは，以下のとおりである。

・ケーブルの引込み方法
・緊張前の斜材サグの保持方法
・サグによるウィンチ能力の選定
・斜材展開時の安全対策
・強風時の対策

斜材を橋体より外側へ張り出して架設するため，斜材ケーブルの橋体外への落下が懸念された。また，車道幅員が8 mと狭いため，複数台数のクレーンを橋面上に配置することも不可能であった。斜材展開中に空中で何らかの不具合が発生した場合，足場のない状態での是正作業では安全性が確保できない。斜材サグを小さくするためには，支保工以外の有効な方法が考えられないなどの理由により，斜材支保工を全面的に施工することとした。

斜材の架設は，以下のようになる。

(1) 斜材運搬

片持移動作業車付近まで斜材を運搬するために，橋面自走台車を製作し，この台車上に斜材展開用のアンリーラーをセットする。この上に，工場製作斜材（ケーブルドラム巻き直径2 m）をセットし，片側の移動作業車直近まで運搬する。

(2) 引込みケーブルの架設

ウィンチワイヤーを斜材支保工上に展開した。このときワイヤーはサドル内を通過させる。使用したウィンチは，直引き2 tインバーター制御ウィンチを使用した。ウィンチワイヤーはφ16 mmを使用した。

(3) 5 tトラッククレーンによる斜材先端の引出し

橋面上の5 tトラッククレーンを利用し，斜材ケーブル先端を引き出し，ウィンチワイヤーと接続する。接続は，シングルストランドカプラと引出しフック金具を一体化したものを使用した。

(4) ウィンチによる架設

ウィンチを徐々に巻きあげ，斜材を架設する。この際5 tクレーンを斜材支保工に引き込む介錯として使用した。架設完了後，斜材仮固定のためにケーブルバンドをサドル両側各先端計4個設置し，仮固定した。工程は以降の定着具セット作業へと進行する。

10．斜材支保工

斜材支保工は，ケーブルを直接支える枠組足場とその下の鋼製基礎に分けられる。

鋼製基礎は，2-[380×4.5 mを張出し施工時の作業車アンカーを利用してφ32 PCネジコンで固定した。

ダブルのチャンネル上に山留め材H200を4列セットし，枠組足場の基礎とした。

枠組足場の固定は，H200の山留と直接スーパークランプ（許容耐力1 000 kg／ヶ）を利用し，緊結した。

図9に斜材支保工断面図を示す。

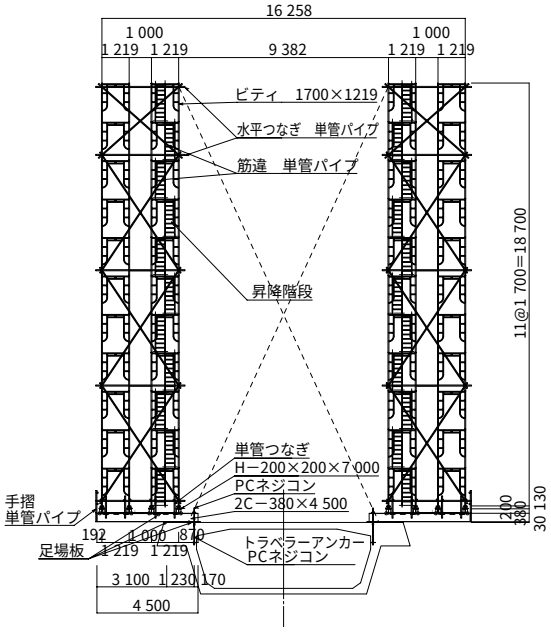


図9 斜材支保工断面図

11．まとめ

設計照査変更作業は，本契約直後の平成12年1月より開始し，平成12年10月終了した。斜材架設作業は，平成12年12月より開始し，平成13年7月25日の最終斜材緊張により終了した。

施工開始当初の工程遅れを引きずり，平成12年12月には約1.5ヶ月の遅れが発生していたが，平成13年度に入り工程は順調に推移し，当初の目標どおり工期を3ヶ月短縮して平成13年12月に工事を完成できた。これも，斜材支保工を含めたトータルな意味での斜材システムの効果だと考える。

最後に，本システムの採用にご理解を賜った青森県庁，十和田土木事務所の関係の方々に感謝し，この一連の活動の方向性が，これからの事業に参考になることを祈念し，報告を終わります。

参考文献

1）エクストラドーズド橋の実績表，PC斜張橋・エクストラドーズド橋設計施工規準（案），㈳プレストレストコンクリート技術協会，p.120，2000.12.
2）岡米男・春日昭夫・山崎淳：エクストラドーズド橋の構造特性に関する一考察，プレストレストコンクリート，Vol.39，No.2，pp.53-58，1997.5.
3）飯東義夫・秋山照義・西村勝：三谷川第二橋（エクストラドーズド橋）の施工とサドル構造の実物大実験，プレストレストコンクリート，Vol.41，No.1，pp.51-57，1999.1.