

(14) 青森ベイブリッジ(PC斜張橋)における開発事項

J R 東日本 東北工事事務所

スエヒロ クモツ
○ 末弘 保

〃 藤森伸一

〃 大庭光尚

〃 正会員 石橋忠良

1. まえがき

青森ベイブリッジの主橋部は中央径間 240m、橋長 498m、幅員25mの3径間連続一面吊りPC斜張橋である。本橋の主塔は自重軽減と景観を考慮してスレンダーにするために設計基準強度 600kgf/cm²の高強度コンクリートを用いたRC構造としている。主桁は3室箱桁断面のPC構造で、桁高は3.5～2.5mとなっている。斜材はファン型配置とし、PC鋼より線φ15.2mmが61～73本で構成している。

本文では、青森ベイブリッジにおける開発事項として、主塔に使用した高強度コンクリート、張力調整用ジャッキ、斜材定着体弾性支承およびFRP斜材外套管について述べる。

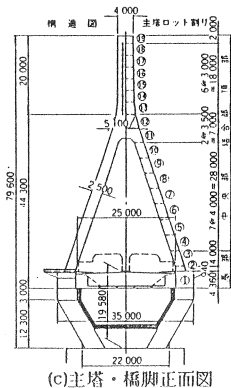
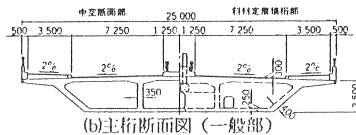
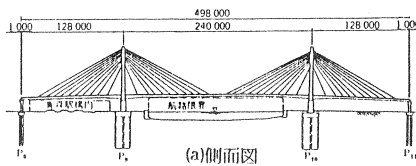


図-1 青森ベイブリッジPC斜張橋部一般図

2. 高強度コンクリートの使用

主塔コンクリートには $\sigma_{ck} = 600 \text{ kgf/cm}^2$ の高強度コンクリートを採用し、地上約80mの主塔最頂部までポンプ圧送により打設している。このような高強度コンクリートを高所圧送した例はなく、施工性等に不明な点が多かったため、数多くの試験練りや試験圧送を実施した上で実施の配合を決定した。また、実施においてもポンプ圧送時の圧送管管内圧力測定を実施した。ここでは、実施における高強度コンクリートの配合と品質、およびポンプ圧送時の管内圧力測定結果について述べる。

2. 1 高強度コンクリートの配合と品質

高強度コンクリートの配合を表-1に示す。高性能AE減水剤を添加することにより単位水量を135kg/m³に抑えつつ、所要のワーカビリティを得ている。単位セメント量は圧

表-1 高強度コンクリートの配合

配合	粗骨材の最大寸法 (mm)	W/C (%)	S/a (%)	単位量 (kg/m ³)			高性能AE減水剤		打設ロット	
				C	W	G	S	種類		添加量 (%)
①	2.5	31.4	39.0	430	135	1105	693	A	2.20~2.50	P10 1~5
②	2.5	35.0	40.3	386	135	1105	729	A	2.30~2.80	P10 6~8
③	2.5	33.8	39.9	400	135	1105	718	A'	2.60~2.90	P10 9~10
④	2.5	33.8	42.2	400	135	1063	760	A'	2.10~3.00	P10 11~19
⑤	2.5	35.0	42.6	386	135	1063	771	B	2.90~3.30	P9 1~3
⑥	2.5	33.8	42.2	400	135	1063	760	B	2.20~3.20	P9 3~14

※混和剤の種類A'は高性能AE減水剤Aの改良型である。

表-2 高性能AE減水剤の成分

種類	主成分	比重 (20℃)	塩素付ノ量	7%別量
△	アニオン型特殊減水剤 / 反応性高分子	1.18~1.22	0.01%	0.3%
13	変性ポリマリン酸塩及び活性特殊種7-複合物	1.16~1.20	0.01%	0.3%

縮強度と温度ひびわれを考慮して途中2回変更した。

高性能AE減水剤は表-2に示す2種類を使用している。なお、以下に示すデータは混和剤A(A')を使用したコンクリートのデータである。

コンクリートの品質管理はスランブ試験に代えてスランブフローを採用し、管理目標値を40~55cmとしている。これは、施工当初スランブはバラツキが大きく、また25cmに及ぶケースが見られ、スランブ試験によるコンシステンシーの評価が困難であると判断したため

である。図-2にP10主塔1ロットにおけるスランブフローの経時変化を示す。練り上がり後20分まではやや大きくなり、その後60分程度まではほぼ一定となっている。

空気量の管理目標値は $4.5 \pm 2\%$ としている。施工当初のP10主塔1ロットにおける空気量の経時変化を図-3に示す。練り上がり直後は比較的大きな値を示しかつバラツキも大きい。20分後までには小さくなり安定して $3.5 \pm 1\%$ 程度となった。

その後の改良型高性能AE減水剤A'を使用した場合の空気量の経時変化を図-4に示す。練り上がり時のバラツキはやや小さくなり、20分後の空気量は $5.0 \pm 1\%$ 程度となっている。

図-5に高強度コンクリートのロット別の圧縮強度試験結果を示す。施工初期には一日のうちでもバラツキが大きい。その後は安定してきている。また、途中で配合(W/C)を変更しているが、圧縮強度が必ずしもW/Cに対応しない結果となっている。

2.2 高強度コンクリートのポンプ圧送性

本橋で用いた高強度コンクリートは流動性はよいが粘性が高いという性状を示している。そのため圧送抵抗が大きく高所圧送の可否が懸念されたため、圧送性の把握を目的としてポンプ圧送時の圧送管管内圧力測定を図-6に示す6ロットで実施した。ポンプ車はピストン前面圧最大 80 kgf/cm^2 、吐出量 $15 \sim 110 \text{ ml/hr}$ の高圧仕様車を用いた。圧送管は6B管を使用した。各ロット打設時の配管長と圧送高さを表-3に示す。測定項目は図-6に示

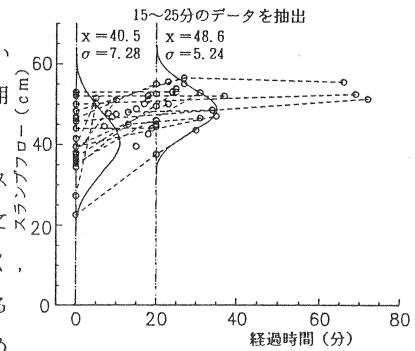


図-2 スランブフローの経時変化

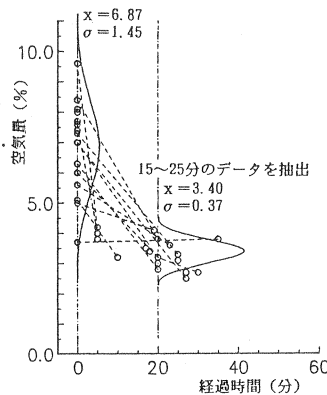


図-3 当初の空気量の経時変化

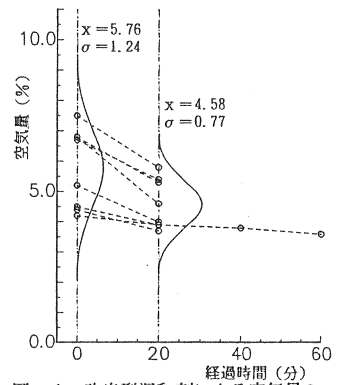


図-4 改良型混和剤による空気量の経時変化

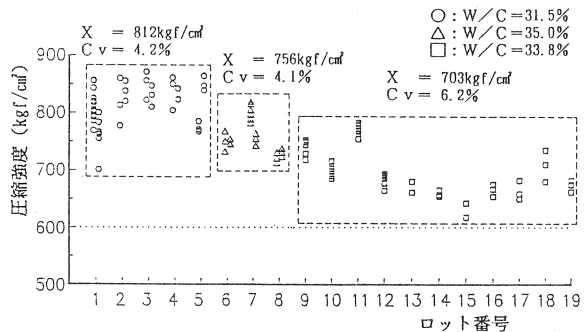


図-5 P10主塔コンクリートロット別圧縮強度

す管内圧力 (P1~P5), ポンプ車の主油圧 (P0) およびコンクリートの品質 (スランプフロー, 空気量) である。以下に測定結果について述べる。

コンクリートの圧送効率と設定吐出量との関係は, 図-7 に示すように吐出量を大きく設定すると圧送効率は低下する傾向がうかがえる。また, 設定吐出量を $20 \sim 40 \text{ m}^3/\text{hr}$ とすれば80%以上の圧送効率が得られやすい。

水平管圧力損失と管内圧力との関係を図-8に, 実吐出量との関係を図-9に示す。水平管の圧力損失は管内圧力が增大すると大きくなり, 吐出量の増加によっても大きくなる傾向がある。また, 普通コンクリートの値よりもはるかに大きく, コンクリートの粘性による管壁との摩擦が大きいことを示している。図-10に垂直管圧力損失と管内圧力との関係を示す。ロット毎に正の相関関係が見られる。

図-11にポンプ前面圧と圧送高さとの関係を示す。

圧送高さが高くなると圧送抵抗が増大してポンプ前面圧も増加している。が, 本配合のコンクリートでは地上80mの主塔最頂部においてもポンプ車の能力 ($80 \text{ kgf}/\text{cm}^2$) に対して余裕のある圧送ができた。

3. 斜材張力調整用ジャッキ・台車の開発

張り出し施工を行う斜張橋では施工の進展に伴って, また最終段階において斜材張力の調整が必要となる。本橋では, ①主桁が3室箱桁である, ②斜材は一面吊りであり主桁の中央部に定着する, ③主塔側定着点はかなり高い, ④海上及び線路上空を横断するため作業の安全を確保しなければならない, ⑤斜材張力が大きくジャッキも大型化する, 等の理由により張力調整作業を主桁内で行うこととした。そのため, この作業に用いるジャッキとこれと一体化したジャッキの方向等を操作可能な特殊台車を開発した。斜材張力

表-3 配管長と圧送高さ (m)

測定ロット	水平管 (P1~P2)	垂直管 (P3~P4)	P4~P5	合計	圧送高さ
1	14.9	11.7	---	11.7	20.0
7	12.2	19.0	20.9	30.9	41.0
10	17.8	19.0	32.8	51.8	53.0
13	15.8	19.0	42.3	61.3	63.0
16	19.8	19.0	50.3	69.3	72.0
19	15.8	19.0	59.1	78.1	80.0

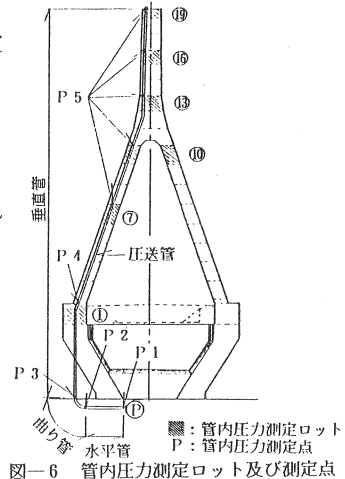


図-6 管内圧力測定ロット及び測定点

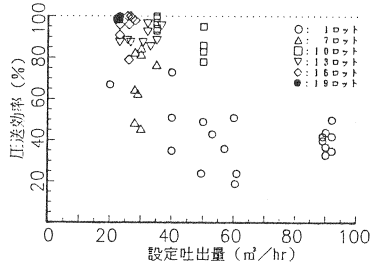


図-7 圧送効率と設定吐出量の関係

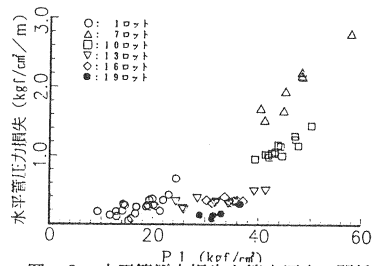


図-8 水平管圧力損失と管内圧力の関係

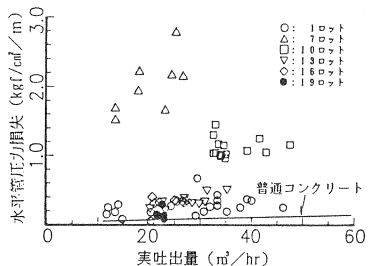


図-9 水平管圧力損失と実吐出量の関係

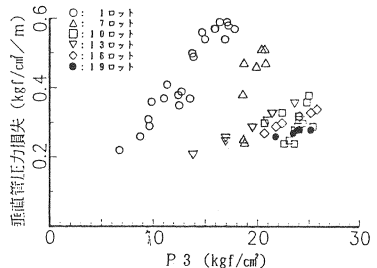


図-10 垂直管圧力損失と管内圧力の関係

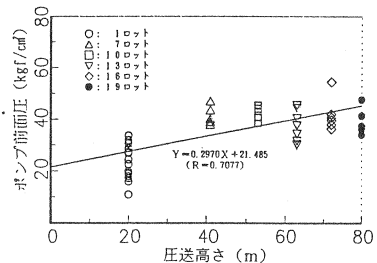


図-11 ポンプ前面圧と圧送高さの関係

調整用ジャッキ・台車の開発にあたり次のような条件を考慮した。

- 1) 1本当たりの最大張力は約 930tfにもなり、ジャッキの能力として1100tf必要であること。
- 2) 桁内の狭隘な空間での作業であること。
- 3) 重量の大きなジャッキを下側から定着具に装着しなければならないこと。
- 4) 1段ごとに異なる斜材定着体の据付角度に対応しなければならないこと。
- 5) 同一ジャッキで各段の斜材の調整作業を行うので、桁内を移動できること。

まず、ジャッキの張力を斜材に伝達する方法を検討した。本橋では定着ブロックごとと緊張することとしており、その方法として、

- ① テンションロッドと定着ブロックとに対応するネジを切り、直接これらを結合してネジのせん断により張力を伝達する方法
- ② テンションロッドと定着ブロックに連続したネジを切り、カプラーを介してネジのせん断により張力を伝達する方法
- ③ カプラーを介して支圧により張力を伝達する方法
- ④ 仮設ストランドを用いて張力を伝達する方法

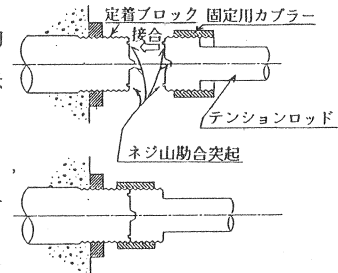


図-12 テンションロッド・定着ブロック
接合機構

などがあるが、緊張スペースや作業性を考慮して②の方法を採用した。図-12にテンションロッドと定着ブロックの接合機構を示す。この方法では現場において定着ブロックとテンションロッドとの軸心とネジを如何に一致させるかが問題となる。そこで定着ブロックとテンションロッドとの接合面に円錐状の突起を設け、双方を押し当てると軸心が一致するような構造とした。

つぎに、このジャッキを重力に逆らって上向きに装着する機構を検討し、ジャッキの位置や角度を調整する機能を持つ特殊台車を開発した。この台車ではジャッキを、①水平に持ち上げる、②角度を起こす、③全体を押し上げる、④テンションロッドのみを押し上げる、という操作が可能である。またジャッキを台車ごと移動できるように移動用の車輪を設けた。なお特殊台車の大きさは、緊張時の作業空間や移動時に通過する横桁のマンホールの大きさにより制限された。図-13にジャッキの装着状況写真を示す。

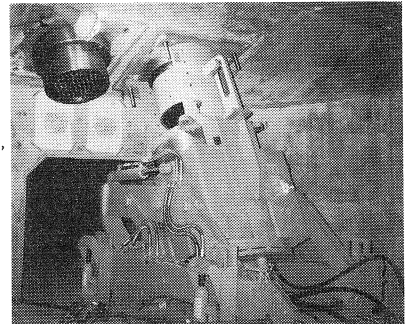


図-13 張力調整ジャッキ装着状況

このジャッキ及び台車の開発により、約60分という短時間で安全かつ容易にジャッキの装着が可能となった。

4. 斜材の振動対策

斜張橋では風による斜材の振動が問題となることが多い。本橋の場合、斜材ストランドがくさび定着であるが、

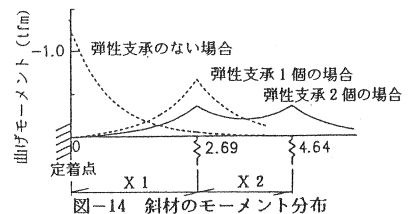


図-14 斜材のモーメント分布

くさび定着部での曲げ疲労強度は十分に確認されていない。そのため、本橋では定着部付近にいくつかの弾性支承を設けて、ストランドのくさび定着部には曲げを生じさせず母材部で曲げを受ける構造とし、適切な配置について検討した。

検討におけるパラメータは弾性支承の個数、配置、バネ定数および斜材張力である。まず張力を仮定し弾性支承を1及び2個として、その配置とバネ定数を適切に設定した場合の曲げモーメントを図-14に示す。弾性支承を設置することにより定着部の曲げモーメントをゼロにすることができ、母材に発生する曲げも設置しない場合の1/3以下に抑えることができる。図-15に第1、2弾性支承を適切に設定し、第3弾性支承の位置を変化させたときの曲げモーメントを示す。弾性支承3個では2個のときよりも最大曲げモーメントを3/4程度に低減させることができるが、絶対値はそれ程大きくはない。したがって本橋では弾性支承は2個とした。

このように定着部の曲げをなくすことは可能であるが、実際には斜材張力はケーブル毎に異なるため、弾性支承の位置とバネ定数をすべて変えなければならない。これは施工上煩雑となりまた不経済である。よって、すべてのケーブルについて同一の弾性支承の配置・バネ定数とした。このときの曲げモーメントを図-16に示す。実際の配置では定着部にも曲げが生じるが、曲げモーメントの低減効果は大きいと言える。

本橋における弾性支承の特徴は締めつけ・解放が可能な構造としたことである。これは、定着体を二重管構造とし、外管と内管のあいだに円筒形の合成ゴム製弾性支承を配置し、軸方向に圧縮力を与えて締め付けて外管と内管に密着させ、弾性支持点とするものである。図-17に弾性支承の締め付け機構を示す。このような構造とすることにより、張力調整の際にケーブルの動きを可能とし、また将来的にケーブルの取替が必要となったときにも対応が可能となった。

弾性支承が円筒形であるのでそのバネ定数の測定を行った。試験装置を図-18に、測定結果を表-4に示す。円筒形であっても満足する値が得られている。

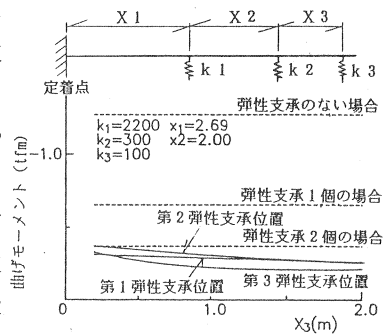


図-15 弾性支承3個のときの曲げモーメントとX3の関係

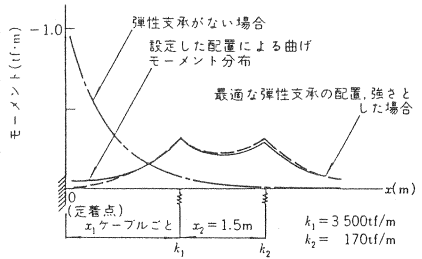


図-16 実際の斜材曲げモーメント分布

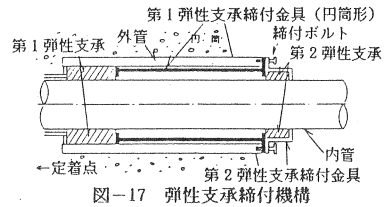


図-17 弾性支承締め付け機構

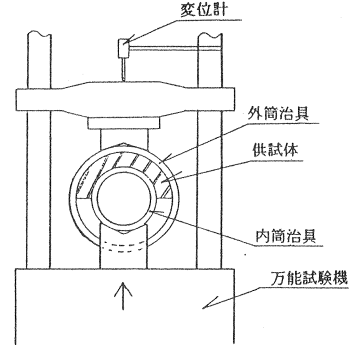


図-18 弾性支承バネ定数試験装置

表-4 バネ定数測定結果

(unit:tf/m)	設計値	測定値
第1弾性支承	1700	1600
第2弾性支承	350	320

5. FRP斜材外套管の採用

既設の斜張橋では斜材の外套管にはPE（ポリエチレン）管が使用された例が多い。しかし、PE管は黒色に限定され色彩に欠けること、防錆のためにグラウトした場合に変形が大きいなどの理由により、本橋では自由に着色でき剛性も大きいFRP（ガラス繊維補強プラスチック）管を斜材外套管に採用した。FRP管の形状は内径200mm、肉厚6mm、標準長さ6mで、各々を外ソケット方式でエポキシ樹脂系接着剤により接合している。また外周面は金色メタリック仕上げとし、フッ素樹脂塗料でコーティングして耐候性を向上させている。

本橋で採用したFRP管は連続成形品であり、軸方向と周方向の強度が異なっている。このFRP管の軸方向と周方向の機械的特性の試験結果を表-5に示す。周方向の強度は軸方向に比べてかなり小さく、従来使用されてきたPE管の引張強度 3 kgf/mm^2 の2倍程度である。また、接合部の耐水圧は試験の結果、 $18\sim 22\text{ kgf/cm}^2$ で水漏れを生じた。

表-5 FRP管の機械的特性

試験項目	規格値	試験値					平均	
		No.1	No.2	No.3	No.4	No.5		
軸方向	引張強度 (kgf/mm^2)	28.5	46.2	42.3	42.6	41.1	43.6	43.2
	曲げ強度 (kgf/mm^2)	25.0	41.4	42.1	39.7	46.1	48.9	43.6
	曲げ弾性率 (kgf/mm^2)	1200	1500	1700	1400	1400	1600	1520
周方向	耐水圧 (kgf/cm^2)	—	25	27	—	—	—	26
	引張強度 (kgf/mm^2)	—	6.7	7.8	6.0	5.7	6.3	6.50

本橋では斜材ストランドの防錆にグラウトすることにしており、橋面から主塔側定着部まで最大高さ約62mを1度に施工する計画である。このため、橋面付近で生じるグラウト圧力は、静圧のみと仮定しても約 12 kgf/cm^2 となる。FRP管接合部の耐水圧に対して安全率は1.50程度であり、実際のグラウト施工時には十分な配慮が必要である。

6. おわりに

本橋は日本最大規模のPC斜張橋であることから、計画・設計・施工の各段階において各種の検討や技術開発を行っている。本文ではその一部について紹介した。今後の工事の参考になれば幸いである。

<参考文献>

- 1) 土木学会；コンクリートのポンプ施工指針（案）；コンクリート・ライブラリー第57号，1985
- 2) 石橋，吉田，大庭，竹内；ポンプ圧送による高強度コンクリート（ $\sigma_{ck} = 600\text{ kgf/cm}^2$ ）の施工——青森大橋（仮称）主塔——；コンクリート工学Vol.28, No.5, 1990
- 3) 大庭，竹内，石橋；現場打設における高強度コンクリートの性状について；コンクリート工学年次論文報告集第12巻1号，1990
- 4) 竹内，石橋，大庭；高強度コンクリートの高所圧送性に関する研究；コンクリート工学年次論文報告集第12巻1号，1990
- 5) 舘石，石橋，斉藤，竹内；PC斜張橋斜材定着部の振動対策（ダンパー）について；コンクリート工学年次論文報告集第11巻1号，1989
- 6) 石橋，大庭，舘石，竹内；青森大橋（仮称）上部工の施工計画；橋梁と基礎Vol.24, No.6, 1990