PC斜張橋上部工の設計と施工

—青森ベイブリッジ—

石橋 忠良*¹・藤森 伸一*²・大庭 光商*³・津吉 毅*⁴

概要 青森ベイブリッジは、青森港の東西の港湾施設の一体化を目的とした臨港道路であり、その主橋部は、中央径間 240 m、橋長 498 m の日本最大級の 3 径間連続 PC 斜張橋である。本斜張橋は、逆 Y 形主塔による広幅員一面吊り構造であり、斜材には、規格引張強度 1 942 t の大容量現場製作斜材を採用し、その外套管には、FRP 管を使用した。本文では、PC 斜張橋の上部工の設計、施工のうち、主げた、斜材の施工、および張出し架設中の施工管理について報告する。

キーワード：PC 斜張橋、現場製作斜材、FRP 管、張出し架設、施工管理

1. はじめに

青森港は、開港以来、JR 青森駅を挟み東西に拡大発展してきた。この港湾施設の一体化と、物流の円滑化を図るため、青森駅をまたぐ総延長 1 993 m の臨港道路 2 号線が計画された¹⁾。そのうち全長 1 219 m が、高架橋りょうであり、その名称は、青森県民からの公募により『青森ベイブリッジ』と命名されている。青森ベイブリッジのうち、青森駅と海上部を跨ぐ主橋部には、施工性、経済性に加えて景観をも考慮し、中央径間 240 m、橋長 498 m の 3 径間連続 PC 斜張橋が計画され、平成 3 年 11 月に中央径間の閉合を終了し、平成 4 年夏の併用開始を目指している。表-1、表-2 に上部工の工事概要と主要工事数量を、図-1 に一般図を示す。本橋では、主塔部の基礎に 6 室箱形断面の大規模地中連続壁剛体基礎を採用したこと²⁾、逆 Y 形主塔による広幅員橋げたの一面吊り構造であること、主塔に設計基準強度 600 kgf/cm² の高強度コンクリートを使用し、約 80 m の高所まで地上からのポンプ圧送により施工を行ったこと³⁾、斜材に規格引張強度 1 942 t の大容量現場製作ケーブルを用い、その外套管に FRP 管（ガラス繊維補

強プラスチック管）を用いたこと、などがその特徴として挙げられる。

表-1 上部工工事概要

工 事 名	青森ベイブリッジ建設工事
工 事 場 所	青森市柳川 1 丁目青森駅～安方 1 丁目 1 番地
橋 種	コンクリート道路橋
橋 格	4 種 1 級 (1 等橋, TL-20)
橋 り ょ う 式	3 径間連続 PC 斜張橋
橋 長 (支間割り)	498 m (128 m+240 m+128 m)
幅 員	全幅 25 m, 車道 2 @ 7.25 m, 歩道 2 @ 3.5 m
勾 配	縦断 4 % 以下, 横断 2 %
平面線形	R=∞～800 m
けた 下 空 頭	青森駅構内上 H=12.5 m 以上 (レールレベル) 海上部 H=17.8 m 以上 (青森港湾基準面)
主 げ た	PC 構造, けた高: 柱頭部 3.5 m, 一般部 2.5 m, 3 室箱形断面
主 塔	逆 Y 形 RC 構造, 橋脚・主塔全高 81.6 m
斜 材	配置形状: ファン形, 一面吊り

表-2 上部工主要工事数量

区分	種 別	仕 様	数 量	備 考
主 げ た	コ ン ク リ ー ト	$\sigma_{ck}=400$ kgf/cm ²	10 800 m ³	橋体工
		$\sigma_{ck}=240$ kgf/cm ²	1 590 m ³	橋面工
	PC 鋼材	SBPR 95/120 ほか	580 t	
主 塔	鉄 筋	SD 35	2 030 t	
	コ ン ク リ ー ト	$\sigma_{ck}=600$ kgf/cm ²	3 100 m ³	
斜 材	鉄 筋	SD 35	520 t	
	PC 鋼材	SWPR 7 B ϕ 15.2 mm	526 t	

*1 いしばし・ただよし／東日本旅客鉄道㈱東京工事事務所
工事管理室長 (正会員)

*2 ふじもり・しんいち／ 同上 東北工事事務所
青森工事区長

*3 おおば・みつあき／ 同上 同上
青森工事区 助役 (正会員)

*4 つよし・たけし／ 同上 同上
青森工事区 (正会員)

図-1 PC斜張橋一般図

本文では、上部工のうち、主げた、斜材の設計、施工、および施工管理について報告する。

2. 上部工の設計概要⁴⁾

部材の断面力は、橋脚下端を固定とし、橋軸方向、橋軸直角方向とも任意平面骨組解析により算定し、施工時断面力については、逐次構造系を変化させて解析を行った。

本橋の架設地点は、地下100m以上まで岩盤が存在しない軟弱地盤であるため、耐震性の検討は、修正震度法による静的解析のほか、橋脚下端をばね支持した上部

工モデルと、基礎および周辺地盤を含めてモデル化した全体系モデルの2種類の動的解析を行った。上部工モデルで用いた耐震設計用スペクトル曲線は、過去の地震記録から推定される期待値スペクトルや、建設地点近傍で得られた地震記録をもとに設定し(図-2)、全体系モデルでは、耐震設計上の基盤面に最大入力加速度160galの地震波を入力し、時刻歴応答を求めた。なお、基盤面は、 N 値50以上、弾性波速度 $V_s=400$ m/sの洪積砂層上面GL-104.5 mに設定した。

また、耐風安定性については、多雪地帯に建設されることも考慮に入れた部分模型実験により検討を加えた。

Design and Construction of Superstructure in Prestressed Concrete Cable-Stayed Bridge —Aomori Bay Bridge—

By T. Ishibashi, S. Fujimori, M. Ohba and T. Tsuyoshi

Concrete Journal, Vol. 29, No. 12, pp. 33~42, Dec. 1991

Synopsis Aomori Bay Bridge is a coastal road bridge for the purpose of integrating port facilities. Its main portion is a three-span continuous prestressed concrete cable-stayed bridge. The cable-stayed bridge measures 240 m in main span and 498 m in total length, and is one of the largest bridges of this type in Japan. This bridge is characterized by inverted Y-shaped pylons and single cable system. Stay cables are all erected in site, and for its covering tubes. FRP (fiber reinforced plastics) tubes are adopted. In design and construction of superstructure in this cable-stayed bridge, this paper reports construction of main girder and stay cables, and construction control.

Keywords : prestressed concrete cable-stayed bridge, cables erected on site, FRP tubes, cantilever erection, construction control

図-2 設計用スペクトル曲線

図-3 斜材定着部の構造

主げた断面は、①駅上空、海上での張力調整作業を主げた内で安全に行えるようにすること、②一面吊りであるため、ねじり剛性を高くする必要があること、を考慮して、3室の箱形げたとした。斜材の吊り点間隔は、工程、経済性等を考慮して10 mを基本とした。主げたの斜材定着部には横げたを設けて、斜材張力を4主げたに分散させている。なお、斜材ケーブルの許容応力度は、完成系 $0.4 \sigma_{pu}$ 、施工時 $0.55 \sigma_{pu}$ (σ_{pu} : 引張強度) とした。本橋では、主げた内での緊張作業にともない、主げた上床版付近に大きな集中荷重が作用するため、上床版

の押抜きせん断に対して 1/3, 1/6 縮小模型実験を行い、施工時最大荷重がひびわれ発生荷重以下であること、および押抜きせん断破壊強度が、斜材の引張強度以上であることを確認した⁴⁾。定着部の構造を図-3に示す。

支承構造は、ゴムシューとダンパー式ストッパーを併用した構造とした。ダンパー式ストッパーは、温度変化や、クリープ等による、けたと下部構造の緩やかな変化には抵抗せず、急激な相対変位（地震時）が生じたとき、ストッパー中に充填されている粘性体の流動抵抗を利用して、けたに作用する水平力を各下部構造に分散あるいは減衰させるものである。

3. 主げたの施工

3.1 施工概要

主げたは、けた高 3.5~2.5 m、幅員 25 m の3室箱形げたである。図-4に主げたの施工ブロック割りを示す。柱頭部を支保工にて施工を行った後、施工時の主げたの回転を拘束するため、仮締めケーブルにて主げたと橋脚を仮固定し、カンチレバー工法にて、大型フォルバウワゲンを用いた張出し施工を行う。側径間と、中央径間の連結部は、吊り支保工にて施工し、橋体連結後、仮固定を開放し、斜材張力の最終調整を行い、主げたの施工を完了する。

3.2 張出し部の施工

張出し部の標準施工サイクルを図-5に示す。標準施工ブロック長は 5.0 m であり、斜材定着体のある定着ブロックと、そうでない一般ブロックを交互に施工する。定着ブロック施工時には、斜材定着体を所定の位置に精度よく取り付ける必要があり、本橋においては、定着体のセットは、既設ブロック上に配した鋼製フレーム

図-4 主げたの施工ブロック割り

A: 主げた斜材定着部
B: 主げた一般部
S: 斜材

図-5 標準施工サイクル

表-3 主げたコンクリートの配合

配合	粗骨材 最大寸法 (mm)	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)					AE 減水剤
				C	W	G	S		
夏期	25	39.3	39.4	400	157	1 079	687		6.143
冬期	25	38.0	37.8	432	164	1 079	641		4.739

を用いて行った。1ブロック当りのコンクリート打設量は、定着ブロックで110～140 m³、一般ブロックで80～100 m³であり、ポンプ圧送により1回で打設した。なお、厳冬期、夏期を通しての施工であったことから、温度ひびわれを考慮して、夏期、冬期でコンクリートの配合を表-3に示すよう変更した。

4. 斜材の施工

4.1 施工概要

斜材ケーブルの定着工法は、フレッシュ H システムであり、PC 鋼より線 (SWPR 7 B φ 15.2 mm) を 61 本、67 本、または 73 本平行に束ねて構成され、1 段につき 2 本のケーブルから成っている。

斜張橋においては、風雨による斜材の振動が問題となることも多く、制振対策を施した例も多く報告されている⁶⁾。本橋の場合、その振動については予測が困難であったため、特別な制振対策は施していないが、現在までは、問題となる振動は観測されていない。なお、本稿の定着システムは、くさび定着であり、定着部での曲げ疲労に関しては十分な確認がなされていないため、定着体内に 2 か所、ゴムによる支承点を設けて (図-6)、斜材の微振動による定着部での曲げ応力の発生を防止した⁷⁾。

斜材の施工は、図-5にも示したように、定着ブロックコンクリート打設終了後、次の一般ブロックコンクリート打設までに行う。

4.2 FRP 管の架設

(1) FRP 管の諸性能

既設の斜張橋では、斜材の外套管に PE 管 (ポリエチレン管) が使用された例が多い。しかしながら、PE 管は表面色が黒に限定され色彩感に欠けることから、本橋では、表面に自由に着色でき、剛性も高い FRP 管を用いた。最初に、本橋で用いた FRP 管の諸性能についてその試験結果を報告する。なお、表面色については、景観を考慮してメタリックゴールドとし、塗料は、耐候製に優れたフッ素系塗料を用いた。

本橋の斜材で用いた FRP 管断面は、内径 200 mm、肉厚 6 mm である。表-4に、本橋で用いた FRP 管の材料強度試験結果を示す。なお、試験材料の形状は、軸方向については JIS K 6911 により、周方向については、管をそのまま用いた。軸方向強度は 40 kgf/mm²

図-6 定着体の構造

表-4 FRP 管母材の材料強度試験結果

試験項目		規格値	試験結果					
			No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	平均
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)	1 200	1 500	1 700	1 400	1 400	1 600	1 520
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	6.5

表-5 アルカリ溶液浸漬後の引張強度保持率（ひずみなし）

浸漬期間（週）	0	2	4	8	16	24
強度保持率（％）	100	94	91	91	91	90

程度とかなり大きい強度を有しているが、その周方向強度は 6 kgf/mm² 程度であり、軸方向強度に比べかなり低く、耐水圧は 25 kgf/cm² 程度であった。

FRP 管は製造過程において、軸方向と周方向の繊維補強度を自由に変えることができるので、今後、FRP 管を同種の工事に用いる場合には、周方向の補強レベルを上げることが必要であると思われる。

表-5、表-6 は、斜材グラウトをセメントミルクで行うことを想定した FRP 管の材料強度の耐アルカリ性試験結果である。試験には、pH 12 の常温のアルカリ溶液を用いた。表-5 は、FRP 管にひずみを発生させない状態で、アルカリ溶液に浸漬し、浸漬期間 0～24 週間後の、強度保持率の試験結果である。表-6 は、グラウトによる FRP 管の周方向ひずみ増加を考慮して、1 400 μ のひずみを発生させた状態で約 1 か月アルカリ溶液に浸漬した後の強度保持率である。

本橋の FRP 管長は、約 35～120 m であり、一体物として現場搬入が不可能なため、長さ 6 m の標準管を現場にて接着、組立てを行った。そこで、接着部が弱点とならないことをあらかじめ確認するために、接合部の強度試験を行った。接合部は、外ソケット方式とし、つなぎパイプ、標準管端部をテーパ加工した構造となっており、接着には、2 液混合型エポキシ樹脂系接着剤を用いた。

表-7 は、接合部の引張試験結果、および耐水圧試験結果である。試験の結果、軸方向の引張強度に関しては、耐力としてほぼ十分な強度が確認できたが、耐圧力については、母材強度よりもさらに低めであった。

(2) FRP 管の施工

FRP 管の架設要領を図-7 に示す。FRP 管の接着作業は、橋面上に設置した作業架台上で、FRP 管を一直

表-6 アルカリ溶液浸漬後の引張強度保持率（ひずみあり）

	No. 1	No. 2	No. 3	平均
浸漬なし (kgf/mm ²)	6.1	5.5	5.2	5.6
浸漬後 (kgf/mm ²)	4.8	5.6	5.3	5.2
強度保持率（％）	79	102	102	93

表-7 FRP 管接合部の強度試験結果

	No.1	No.2	No.3	備考
軸方向引張強度 (t)	44.0	46.0 以上	44.5	No. 2 は破断せず
耐水圧 (kgf/mm ²)	18.0	22.0	—	水漏れ発生

線になるよう治具で固定後、接着面をアセトンにて清掃、2 液混合型エポキシ樹脂系接着剤を用いて行う。その際、接着剤の硬化を促進させるため、夏期約 15 分、冬期約 18 分の加温養生を行った。接着作業が終了すると、順次 FRP 管を引き上げ、所定の長さの外套管を作製する。

4.3 ストランドの挿入および一次緊張

FRP 管の架設が終了すると、斜材ストランドを挿入、一次緊張作業を行う。斜材ストランドは、あらかじめ工場にて指定した長さに検尺後、切断位置と引き止め位置を示す 2 種類のマーキングを施したうえで、ドラムに巻き取った状態で現場に搬入される。ストランドの挿入は、主塔側から行い、挿入終了後、同じく主塔側から、ストランドを 1 本ごとに緊張してゆく。ストランドの挿入および緊張作業は、2 本の並列する斜材を左右半数程度ずつ行い、中央径間、側径間で同時に作業を行った。以下、作業の詳細について述べる。

① ストランドの押し上げ

図-7 FRP 管の架設要領

写真-1 引き止めマーキング

橋面上にセットしたドラムからストランドを引き出し、プッシングマシンにより主塔側定着体まで、主塔に沿って配管したガイドチューブを通して押し上げる。

② ストランドの挿入

押し上げられたストランドを主塔側定着体の定着ブロックの所定の孔に差し入れ、定着体出口で外套管内面を保護するためにストランド先端に丸みを帯びた先端キャップを取り付け、外套管内に挿入、送り込む。次に橋面上の外套管主げた側出口においてストランドの先端キャップを取り外し、ストランドを定着体の所定の孔に誘導、一定の突出量を確保しながらくさびを打ち込んで定着する。

③ 主塔側の定着および一次緊張

けた側で固定されたストランドをプッシングマシンを逆回転させ引き戻し、主塔側定着ブロックにくさびを打ち込み仮固定する。次にストランドを所定の切断マーキング位置で切断、シングルストランドジャッキにて緊張定着する。なお、このとき引き止めマーキング位置を合わせる（写真-1）ことにより、斜材ストランド1本ごとの張力のばらつきを防止した

4.4 調整緊張

一次緊張終了後、標準的には、1段下の斜材の張力を緩める作業を行う。張力調整は、1100tジャッキにより斜材ケーブル1本ずつを主げた内にて行う。約4tの重量のジャッキを主げた内の狭い作業空間で装着する必要があるので、定着角度の異なる各段の斜材に対応できるように、前後左右、上下の移動および仰角の調整ができるような作業台車を特別に開発した。ジャッキの装着状況を写真-2に示す。

斜材定着体の定着ブロックとジャッキのテンションロッドとの接合は、外ねじ方式のカブラーにより行った。このねじの軸心を容易に一致させるため、定着ブロックとテンションロッドとの接合面には、円錐形の突起を設けた。張力の調整は、リングナットの位置を調整

写真-2 1100tジャッキ装着状況

表-8 斜材グラウトの配合（ミキサー1バッチ当り）

配合 A	W/C (%)	C (kg)	W (kg)	混和剤 (kg)
	31.5	80.0	24.2	1.2 (高性能 AE 減水剤)
	目標練上り温度 (°C)			目標フロー値 (s)
	25~30			4
配合 B	W/C (%)	C (kg)	W (kg)	混和剤 (kg)
	45.0	80.0	36.0	0.96 (PC グラウト用混和剤)

することにより行い、調整作業は、中央径間、側径間で同時作業とした。この特殊台車を有する張力調整ジャッキを使用することにより、斜材張力調整作業は安全かつ容易に行えた。

4.5 斜材グラウト

斜材ストランドの防錆のため、定着体内管および外套管内を、中央径間閉合までにセメントミルクにてグラウトを行った。1本の斜材グラウトには、2~3時間程度の時間を要することから、ブリージングが発生しないことを前提に流動性の保持性能、施工性、経済性を考慮して配合試験を行った結果、表-8に示す配合Aを基準とした。しかしながら、本配合によるセメントミルクは、温度条件の相違（水温、気温、セメント温度）により性状の変動が大きく、現場での管理が非常に煩雑となった。また、実験時のストランドがない状態では発生しなかったブリージングが、実施工におけるストランドのある状態では発生した。そこで、途中から配合を変更し、表-8に示す配合Bにより施工を行った結果、施工性も良好となり、ブリージングの発生も認められなかった。

グラウトは、まず主げた側定着ブロック側から、橋面上2~3mの位置まで注入し、硬化後、橋面上から主塔側定着ブロック位置まで1回で行った。なお、前述したように、FRP管の母材、接合部とも耐水圧に若干問題があったため、グラウト注入時には常に注入口にてグラウト圧を測定し設定限界値との比較を行い安全性を確認しながら施工を行った。

5. 張出し施工中における施工管理

PC 斜張橋は、一般の PC げた橋と比較してけた高、スパン比が非常に小さく（本橋の場合 1/96）、柔構造でたわみやすく、張出し施工中においては、斜材張力、たわみ、応力度が鋭敏に反応し、設計値からの変動が起きやすい。したがって、施工管理を効率的に行うためにはこれらをバランスよく管理していく必要がある。

また、たわみは、温度の変化により比較的大きな影響を受けるため、その影響を適切に評価することが、たわみ管理上重要となってくる。

ここでは、本橋の施工で行った緊張管理方法と、主げたのたわみ変動について報告する。

5.1 施工時の温度変化によるけたの変動

施工時に想定される温度変化が、たわみに及ぼす影響を影響線解析により検討した。解析時の構造系は、斜材 3 段、6 段、9 段の 3 ケースであり、以下の温度要因を想定した。

- 1) 部材全体の一様な温度変化 15℃（設計温度 10℃ に対して）
- 2) 斜材とコンクリート部材間の温度差 10℃（斜材温度が高い）
- 3) 主げた床版の温度差 5℃（上床版温度が高い）
- 4) 主塔断面の温度差 5℃（塔の左右で）

解析結果を表-9 に示す。この解析結果を基準として、斜材は、中心部の温度、主げたは、主げた平均と上床版温度差の実測値を用いて、施工中の温度補正を行い、たわみの管理を行った。

図-8 は、P 10 側径間連結前の 45 ブロック先端の温度変化によるたわみの実測値と、計算による予測値との比較である。このように、若干のずれはあるものの、温度による影響は、比較的精度よく評価できていることが分かる。

5.2 振動法による斜材張力の推定

図-9 S-34 斜材振動数測定結果

表-9 温度変化のたわみに及ぼす影響 (mm)

	斜材 3 段	斜材 6 段	斜材 9 段
部材全体 +15℃	0.2	-2.8	-5.6
斜材 +10℃	-9.1	-20.9	-31.2
上床版 +5℃	-15.2	-18.7	-20.4
主塔断面 +5℃	-4.3	-11.4	-19.1

図-8 45 ブロック先端の温度によるたわみ変動

本橋では、張出し施工時において、斜材張力の測定は、1 100 t ジャッキのマノメータの読み値による方法のほかに、振動法による推定を試み、張出しの進捗とともに変動する斜材張力の設計値との対比に用いた。最初に、斜材張力と、振動数との関係を把握するため、1 100 t ジャッキにより斜材張力を変動させながらキャリブレーションを行った。斜材張力は、ジャッキのマノメータの読み値から換算し、振動数は、FRP 管表面に加速度センサーを取り付け、自由振動時の信号をフーリエ変換し、ピーク値を抽出、両端固定の弦の振動式にあてはめ、仮想スパン長 L_m を算定した。図-9 に S-34 の測定結果を示す。仮想スパン長 L_m は、設計斜材長 L_d よりも短く、FRP 管長 L_p よりも長い、という結果となった。これは、斜材ストランドと FRP 管の接触や、定着体内に設けたゴム支承の影響などによるものと

(1 次固有振動数 f_1)

$$f_1 = \frac{2.2}{2} C + \sqrt{\frac{T \cdot g}{4 \cdot w \cdot L^2} + \left(\frac{2.2}{2} C\right)^2 + 2C^2}$$

(2 次固有振動数 f_2)

$$f_2 = \frac{6.26}{2 \times 1.02} C + \sqrt{\frac{T \cdot g}{1.02 \cdot w \cdot L^2} + \left(\frac{6.26}{2 \times 1.02} C\right)^2}$$

$$C = \sqrt{\frac{EI \cdot g}{w \cdot L^4}}$$

L : ケーブルの長さ (m)

w : ケーブルの単位長さの重量 (tf/m)

g : 重力加速度 (m/sec²)

EI : ケーブルの曲げ剛性 (tfm²)

T : 張力 (t)

思われるが、その影響を定量化することはできなかった。しかし、各斜材ごとにキャリブレーションを行えば、図-9に示すとおり、張力と振動数の実測値との関係には、ばらつきは小さく、振動法により、比較的精度よく斜材張力を推定することができた、と考えている。

5.3 斜材の緊張管理

本橋の張出し施工中においては、P 10 側斜材全段、および、P 9 側斜材 3 段目架設までは、以下に述べる〔方法 1〕による管理とし、P 9 側斜材 4 段目架設以後は、〔方法 2〕による管理とした。

〔方法 1〕

主げた応力度の管理に主眼を置いた方法である。一次緊張時においては、ストランド 1 本ごとの張力のばらつきを防止するため、緊張マーキング位置を揃える長さ管理としている。マーキングの引き止め位置は、次に示す補正を行ったうえで決定する。

- 1) 温度差、雪荷重、作業荷重などの設計計算で考慮されていない一次的な要因の影響を考慮し、応力度に影響を与えないように導入張力の補正を行ったうえで、調整量（長さ）を定める。
- 2) さらに、斜材定着点間長さの実測値を、1) で考えた要因の影響を考慮して補正した値と、斜材定着点間長さの設計値に違いがある場合には、応力に影響を与えないように、引き止め位置をその違い分だけ下方に、または、上方に設定する。

また、調整緊張時には、温度差、雪荷重、作業荷重などの設計計算で考慮されていない要因を考慮して導入張力を補正したうえで、1 100 t ジャッキのマノメータの読み値による管理を行っている。

〔方法 2〕

主げたの高さ管理に主眼を置いた方法である。斜材定着点間長さの、一次的要因による変動や、施工誤差の補正は行わず、一次緊張時においては、緊張マーキングの引き止め位置を、調整緊張時においては、調整量（長

さ）を設計値どおりとした。

〔方法 1〕においては、主げたの応力度に問題が生じない。しかし、緊張管理の精度を高めるためには、導入張力の補正を正確に行う必要がある。すなわち、温度差、雪荷重、作業荷重などの設計計算で考慮されていない一次的な要因の影響を正確に把握する必要があり、施工管理が煩雑となる。また、たわみの管理上は、斜材定着点間長さの実測値を一次的な要因の影響を考慮して補正した値と、設計値に、違いが生じている場合には、その違い分をそのまま残した形で施工を進めていくため、たわみ誤差の累積を許してしまう。一方、〔方法 2〕においては、実際の緊張時には、温度差、雪荷重、作業荷重などの一次的な要因と、斜材定着点間長さの施工誤差の影響で、一次的に斜材張力に設計値からの変動が生じる。張力の変動は、主げたの応力度に影響を与えるため、この方法による場合、設計値からの張力の変動に対して、応力度に問題が生じないような許容範囲を設定し、変動量がその範囲内に収まるように施工を進めていく必要がある。しかし、一次的な要因の影響は、〔方法 1〕のように張力に着目して、補正を行うよりも、むしろ、長さで管理したほうが精度がよい、と言える。しかも、一次緊張、調整緊張とも、設計計算で得られた調整量（長さ）を確保するだけでよいので、施工が簡便である。

5.4 施工結果

図-10、図-11 にそれぞれ、P 10 側、P 9 側斜材 6 段目一次緊張時のけたの変動量の設計値と実測値との比較を示す。P 10 側においては、設計値よりやや下がりぎみ、P 9 側においては、ほぼ設計値どおりの結果となった。また、導入張力は、1 100 t ジャッキのマノメータの読みによる確認によると、P 10 側ではほぼ設計値どおり、P 9 側では、設計値よりも 5～10 % 弱高めの結果となった。この斜材施工によるたわみ変動、導入斜材張力の設計値と実測値の関係は、P 10 側、および、P 9 側と

図-10 P 10 側斜材 6 段目一次緊張時の主げたたわみ変動

図-11 P 9 側斜材 6 段目一次緊張時の主げたたわみ変動

写真-3 完成予想図

もほぼこの傾向にあった。なお、本橋の場合、主げたのたわみ誤差が増大した場合の補正は、斜材張力を調整することによる補正を行うこととし、けたの折れ角の発生を防止するため、型わくのセット高による補正は行わないことを基本方針として施工を行った。

6. おわりに

昭和 62 年 12 月に始まった斜張橋建設工事も、平成 3 年 11 月には、中央連結を終了し、平成 4 年夏の開業を目指し、工事は大詰めを迎えている。本橋には、青森港臨海部のランドマークとしての位置づけから、構造形式から、高欄などの付属物にいたるまで、景観への配慮がなされており、完成後は、青森港に心地よい空間を創造し、周辺環境と調和した構造美を現すことが期待されている(写真-3)。

最後に、本斜張橋の設計、施工にわたり貴重ご意

見、ご指導をいただいた青森ベイブリッジ技術検討委員会(委員長:樋口東京理科大学教授)の委員各位、運輸省、青森県の関係各位と、青森ベイブリッジ建設共同企業体(鹿島・鉄建・大林・住友)の皆様に感謝の意を表し、謝辞とする。

参考文献

- 1) 奈良豊規: 青森大橋(仮称)の全体計画, 橋梁, Vol. 23, No. 1, 1987.1
- 2) 石橋忠良・高木芳光: 青森大橋(仮称)の下部工(連壁剛体基礎), 橋梁と基礎, Vol. 22, No. 4, 1988.4
- 3) 石橋忠良・吉田彦三郎・大庭光商・竹内研一: 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)の施工—, コンクリート工学, Vol. 28, No. 5, 1990.5
- 4) 石橋忠良・高木芳光: PC 斜張橋・青森大橋(仮称)の設計, 橋梁, Vol. 23, No. 3~6, 1987.3~6
- 5) 石橋忠良・高木芳光・大庭光商・末弘 保: 青森大橋斜

材定着部のせん断設計法, 土木学会構造工学論文集,
Vol. 36 A, 1990.3

- 6) 横山功一・日下部毅明: 斜張橋ケーブルの風による振動と対策, 橋梁と基礎, Vol. 23, No. 8, 1989.8
- 7) 館石和雄・石橋忠良・斉藤俊樹・竹内研一: 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, Vol. 11, No. 1, 1989.6

訂 正

本誌 11 月号の記事中に下記のとおり誤りがありました。謹んで訂正させていただきますとともに、ご迷惑をおかけしました関係各位に深くお詫び申し上げます。

(誤)

(正)

・ p. 69 写真-22

鹿島建設提供

→大林組提供

・ 目次 表紙写真説明

写真提供: ○○建設……→運輸省, ○○建設
(脱落)

《図書案内》

〔コンクリート工学ブックス・6〕

コンクリート工事の施工技術

——良いコンクリート工事をするための施工技術の基本——

毛見・篠木・野尻・青景・笠原
清水・十河・寺井・戸祭・松岡
山下・万木・吉信・渡辺 共著

A 5 判・291 ページ／定価 5 000 円 (税込), 会員特価 4 500 円 (税込)／送料 360 円

良いコンクリート工事とは、品質・施工・経済性の三位一体であり、コンクリート・型わく・鉄筋の一体化でもあります。正しい示方書や仕様書があっても、また良いコンクリートが供給されても、施工が悪ければ、発注者や設計者の意図と異なり、大きな財産を失うことになります。

本書は、コンクリート工事の施工に必要な基礎知識の上に計画・準備・打込み・養生・管理の基本を大きな柱とし、さらに応用として高層ビルやダム工事でも対象としたほか、水中コンクリート工事や一部ロボット工法なども今後の施工法として取り上げているため、コンクリート工事の現場技術者ばかりでなく、スタッフ部門の技術者あるいは施工管理の方々の良き手引書となっています。もちろん、生コンメーカ、混和剤メーカ、さらには型わく・圧送技術者のほか、設計やコンサルタント関係の方々にも大いに参考となるものです。とくに施工の学習書として、各種の資格試験のテキストに好適といえます。

〔主要目次〕

序／Ⅰ. 施工に必要なコンクリートの性質(設計と施工／関連標準と施工／材料と施工／配合と施工／養生と管理)／Ⅱ. コンクリート工事の施工計画(土木関連施工計画／建築関連施工計画／施工機械器具／仮設・型枠支保工の計画)／Ⅲ. コンクリート工事の準備(生コンの注文／打込みの段取)

／Ⅳ. 運搬(運搬の基本／各種運搬方法)／Ⅴ. 打込み・締固め(打込み・締固めの原則／大型構造物への打込み・締固め／特殊部位への打込み・締固め／地中連統壁への打込み)／Ⅵ. 養生(一般／特殊な配慮を有する養生)／Ⅶ. 品質管理・検査(品質管理／検査)／索引

●申込先: (社) 日本コンクリート工学協会・管理課「書籍販売係」

〒102 千代田区麹町 5-7 TBR ビル 708 号／電話 (03) 3263-1571 (担当: 山口・吾子)

<申込方法> 書籍名・送付先を明記のうえ、前金(現金書留)にてお申込み下さい。