

(14) PC斜張橋の上越し管理について

東日本旅客鉄道(株)東北工事事務所 ○大庭光商
 東日本旅客鉄道(株)東北工事事務所 津吉 毅
 東日本旅客鉄道(株)東京工事事務所 正会員 石橋忠良

1. はじめに

青森ベイブリッジは中央径間240m, 橋長498m, 幅員25mの3径間連続PC斜張橋である(図-1)。

一般に, PC斜張橋は柔構造でたわみ易く, 張出し施工中は斜材張力, 主桁応力, たわみの設計値からの変動をバランス良く管理しなければならない。しかしながら, 現在のところその合理的な施工管理方法が必ずしも確立されているとは言えない。

本橋では, 斜材の緊張管理において2種類の異なる管理方法を試み, 比較的精度の良い上越し管理結果を得ることができた。

本文では, 主に主桁の上越し管理に影響が大きい斜材の緊張管理方法と最終斜材張力調整の結果について述べる。

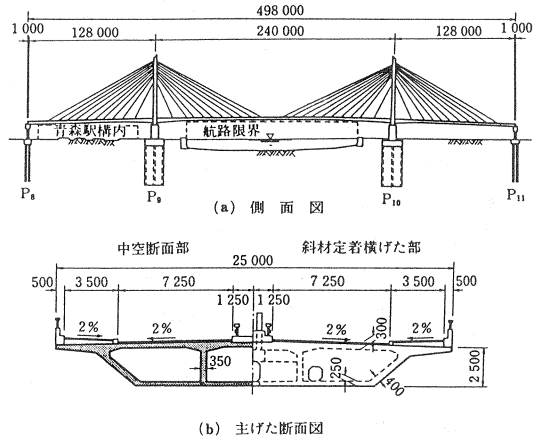


図-1 斜張橋一般図

2. 上部工の施工概要

(1) 主桁の施工

主桁は桁高2.5~3.5m, 幅員25mの3室箱形断面のPC構造である。主桁の施工は柱頭部を支保工にて施工後, 大型フォルパウワゲンにより標準ブロック長5mで張出し施工する。張出し部は斜材が定着される斜材定着ブロックとそうでない一般ブロックとを交互に施工する。側径間と中央径間の閉合部は, 吊り支保工により施工した後, 柱頭部と橋脚の仮固定を開放し, 斜材の最終張力調整を行い橋体が完成する。

図-2に主桁の施工ブロック割りを示す。

(2) 斜材の施工

斜材ケーブルはPC鋼より線(SWPR7Bφ15.2mm)61~73本にて構成され, ケーブルの定着具にはフレシネーHシステムを採用している。また, 斜材外套管の架設, ケーブルの挿入, 斜材グラウト等, 斜材の架設はすべて現場にて行った。

①斜材外套管の架設

斜材外套管には金色に着色した標準長6.0mの外ソケット方式のFRP管(ガラス繊維補強プラスチック)を用いた。架設要領を図-3に示す。なお, FRP管の接着には2液混合型のエポキシ樹脂接着剤を用いた。

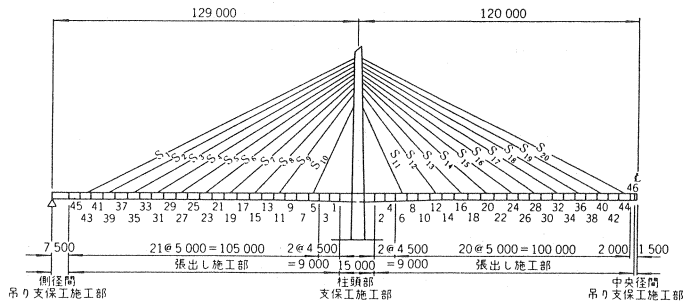


図-2 主桁の施工区分

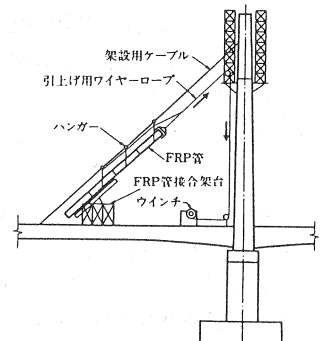


図-3 FRP管の架設要領

②ストランドの挿入・一次緊張

ストランドはあらかじめ工場にて所定の長さに検尺、マーキング(切断・緊張)を施した後、ドラムに巻き取り現場に搬入する。その後、橋面からプッシングマシンにて主塔側定着体から主桁側定着体にストランドを挿入、クサビを打込んだ後主塔側で切断し、シングルストランドジャッキにより緊張を所定本数繰返し、一次緊張作業を終了する。

③斜材張力調整

斜材の一次緊張後、主桁応力のバランスを整えるため、新しく架設した斜材の一段下の斜材張力を調整する。調整作業は特殊台車と一体となった新開発の1100t ジャッキにより主桁内でケーブル全体を一括緊張しながらリングナット位置を調整することにより行う。

④斜材グラウト

斜材グラウトは、ストランドの防錆を考慮し、斜材の最終調整緊張前に実施した。FRP管はグラウト後の張力増加により軸剛性比分の引張力を負担することになる。このため、FRP管継手部に所要の安全率を確保するため数段の斜材については、グラウト直前に斜材の調整緊張によりあらかじめストランドを余分に緊張し、グラウト硬化後に張力を元に戻すことによりFRP管の引張力を低減することとした。

また、斜材のグラウトは2段階施工とし、一次グラウトは橋面上の継ぎパイプから1m上方で排出し、硬化後に2次グラウトを主塔側定着体まで一気に行う。なお、グラウトに要した時間は、最上段斜材($l=130m$, $h=58m$, $V=2.8m^3$)で2.5時間程度であった。

3. 施工管理

長大PC斜張橋の張出し架設では、従来の橋桁に比べてスパンに対し桁高が小さく柔構造となるため、施工中の各種荷重によりたわみ、応力度が鋭敏に変化し、設計値に対する誤差が生じやすく、これらをバランス良く管理することが重要となる。このため、斜張橋では施工管理項目が増大し、それらをリアルタイムに評価のできる計測システムを装備する等、管理が複雑なものとなっている。

以下に本橋にて行った施工管理の概要を記す。

(1) 事前検討

上部工の施工に先立ち、施工中、および完成時の橋梁形状、ならびに各部材の応力に影響を及ぼす各種誤差要因のうちで、解析的にアプローチできるものについて事前検討を行い、主要な管理項目を定めることとした。

検討の結果、斜材張力の変動と温度変化が、主桁のたわみと応力に比較的大きな影響を及ぼすことがわかり、これらを管理上の主要項目とした⁽¹⁾。表-1に設計諸定数を示す。

(2) 斜材の緊張管理

本橋では完成時に主桁の角折れを避けるために、型枠セット高さによる上越しの補正は行わないことを管理上の基本とした。このため、各主桁ブロックの施工時に上越し誤差が生じた場合には、その誤差は累積する。その場合は斜材の補正緊張により対処することとした。施工時管理目標値を表-2に示す。

当初、先行するP10系では以下に述べるA法による斜材の緊張管理を試みたが、主桁のたわみが計画値に対して低めに推移し、斜材5段目の架設時に斜材の補正緊張を施した。このため、P9系では斜材の緊張管理を途中4段目以降B法に変更した。以下、斜材の緊張管理について記す。

表-1 設計諸定数

	主桁	主塔
設計基準強度 σ_{ck} (kgf/cm ²)	400	600
弾性係数 E_c (kgf/cm ²)	3.1×10^5	3.5×10^5

表-2 施工時管理目標値

管理項目		管理目標値
斜材張力	一次	$\pm 5\%$ 伸び $\pm 2mm$
	調整	$\pm 5\%$
上げ越し		L/2000 L:張出し長

ジャッキの受圧面積
一次: 26.9cm²
調整: 1606.9cm²

〔A法〕設計斜材張力を導入する方法

主桁応力度に主眼を置いた管理方法で、主桁応力度が設計値となるように設計張力を導入する。一次緊張時のストランドの調整量は次式を基本とし、ストランド一本毎の緊張マーキング位置を揃えることにより張力のばらつきを防止した（写真1）。

$$\delta_d = \delta_p + \delta_e$$

ここに、 δ_d ：設計調整量

δ_p ：設計斜材長 L_0 に設計張力 T_0 を導入するときのストランドの伸び
($T_0 \cdot L_0 / EA$)

δ_e ：設計張力 T_0 による弾性変形量

施工中は温度、作業荷重、雪荷重等の一時的な荷重により斜材定着点間距離が変動する。この場合、一時的な荷重や部材間の温度差を考慮し、定着点間距離の補正を行い調整量（マーク点の引き止め位置）を定める。さらに、施工誤差に起因する斜材定着点間距離の設計値との誤差 Δ に対しては、主桁応力度に影響を及ぼさないように、緊張マーク点の引き止め位置を Δ の分だけ移動する。

この方法では、温度や一時荷重の補正精度が重要となり、かつ施工手順等が計画と異なる場合に対しても適切な補正が求められる。特に張出し長が大きくなると、これら一時荷重の影響が大きくなるため、その評価の重要性は増す。このため、施工管理上の管理項目が増大し、管理は一般に煩雑なものとなる。また、補正時、ならびに施工時において発生した誤差は、そのまま上越し誤差となり累積する。

調整緊張時においても、温度、作業荷重、雪荷重等の設計上考慮されていない一時的な荷重による導入張力の補正を行い、1100t ジャッキのマノメータの読み値により管理を行う。

〔B法〕設計調整量を確保する方法

主桁の形状管理に主眼を置いた方法で、一時的な荷重や施工誤差により斜材定着点間距離が設計値から変動しても、ストランドのマーク点の引き止め位置は設計どおりとする。

この方法ではA法と異なり、温度、作業荷重、雪荷重等の一時的な荷重の補正が不要なため現場での緊張管理は非常に簡便なものとなる。その反面、斜材張力が一時的に設計値に対して変動し、この張力変動が主桁応力度に影響を及ぼすため、事前に主桁応力度の照査を行い、張力変動量の許容範囲を設定し管理する必要がある。この時の張力増分 ΔT は、設計斜材長に対する誤差を Δ とすると $\Delta T = \Delta / \delta_d$ となる。また、実荷重と設計荷重の違い等により生じた張力の設計値との差は残留する。

調整緊張時においても同様に、調整量を設計値どおり確保する。

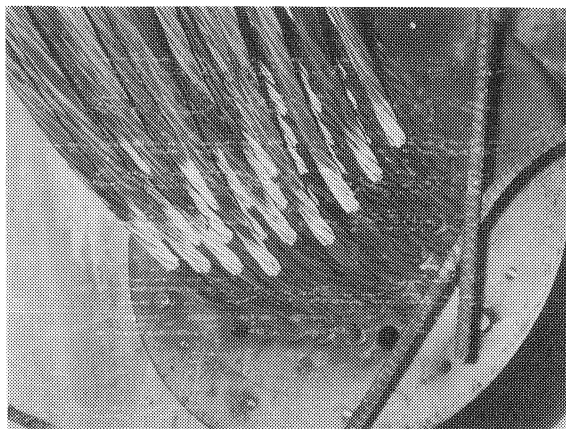


写真1 ストランドのマーキング

4. 施工管理結果

(1) P10系

P10系では主桁のたわみが計画値に対して低めに推移し、斜材5段目の架設時に上3段の斜材による補正緊張を実施した。この時、各種誤差要因の分析を試みたが、特定の傾向は認められなかった。また、当初から主要管理項目として定めた斜材張力は、一次緊張後に行われる調整緊張時に調整ジャッキを装着することにより確認がなされるが、設計斜材張力を導入する手法にて行ったこともあり測定の結果、管理目標値の

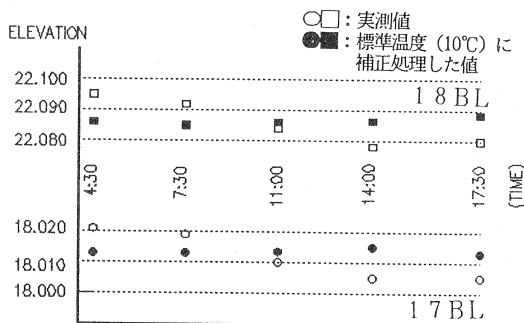


図-4 温度補正前後の主桁たわみ

±5%に収まった。また、温度の影響は、橋面上に設置したダミー斜材と主桁内に埋設した熱電対等により適切な補正ができた(図-4)。

(2) P9系

施工時の主要荷重であるコンクリート打設、斜材緊張時のたわみ変動の設計値と実測値の比較を以下に記す。

なお、コンクリート打設時のたわみ測定は、当該打設ブロックの1ブロック前の値を示し、斜材緊張時は当該打設ブロック先端の値を用いた。

①コンクリート打設時のたわみ

コンクリート打設による増分たわみの設計値と実測値の比を図-5に示す。本橋では、側径間、および中央径間のコンクリート打設を同日施工していない。このため、図には左右のブロック打設毎の増分たわみ量の比較を示した。なお、コンクリート打設時には、鉄筋等の鋼材が既に載荷されているため、設計値に対してはこれらの補正を行った後の値を示している。

コンクリート打設による主桁の増分たわみの実測値は、設計値に対して全体的に小さく、設計値に対する実測値の比は0.8~1.0程度の範囲で変動している。この誤差要因としては、主に主塔の剛性が設計値に対して大きいことによるものと思われる。

②斜材緊張時のたわみ

P9系では斜材定着点間距離の設計値からの変動があったとしても、設計調整量を確保する手法により管理を行ったが、一次緊張時の張力は各斜材とも5~10%高めに推移した。また、この傾向は調整緊張時(張力を緩める)においても同様で、設計調整量に対して導入張力は高めに推移した。

図-6に斜材緊張時の増分たわみの設計値に対する実測値の比を示す。

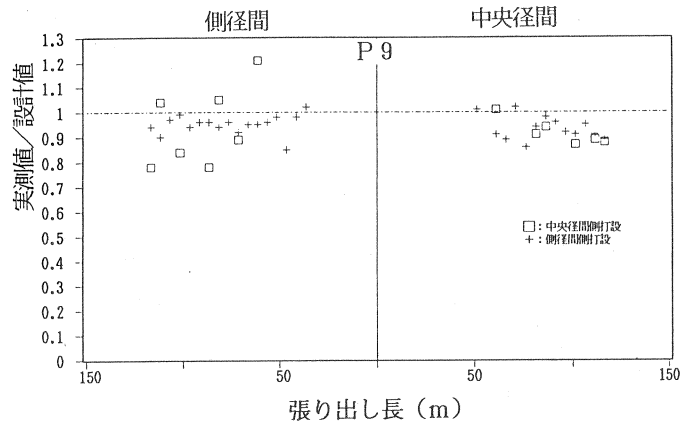


図-5 コンクリート打設時の増分たわみの比較

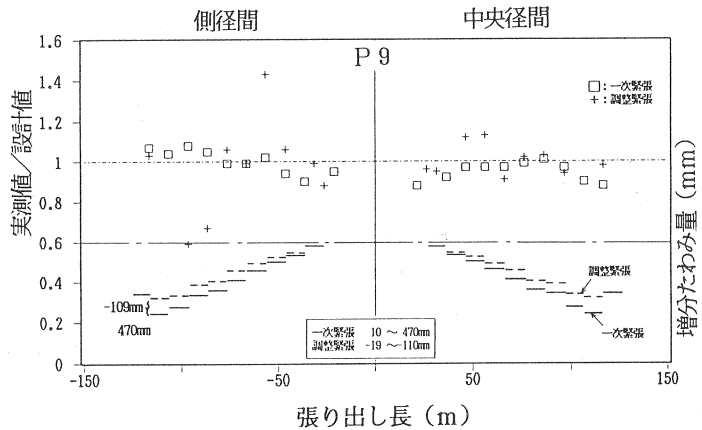


図-6 斜材緊張時の増分たわみの比較

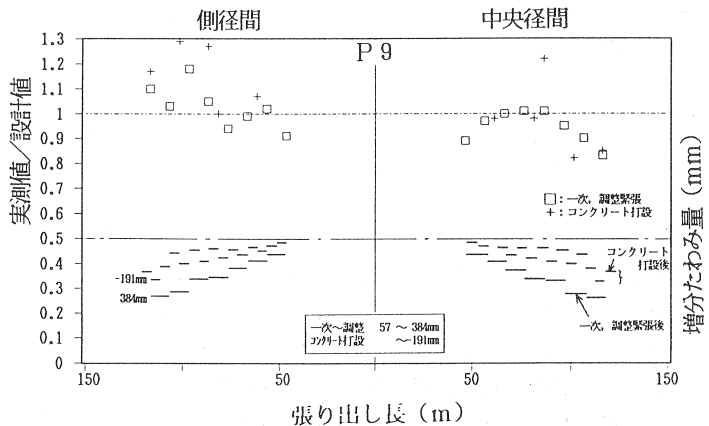


図-7 コンクリート打設・斜材緊張後の増分たわみ

また、図には張出し先端位置における増分たわみの設計値も合わせて示す。一次緊張時の設計値に対する実測値の比は0.9～1.1程度の範囲内にある。また、調整緊張時の増分たわみは、若干ばらつきが大きいが増分たわみ量は-20～-110mmと小さく、その影響は一次緊張時の増分たわみ量に比べると小さい。

以上のように斜材の緊張では導入張力が全体的に高いにもかかわらず、増分たわみは設計値に比較的良く対応する結果となった。

③主桁の上越し

図-7に主桁側径間、中央径間の左右各々のコンクリート打設後、および斜材の一次緊張から調整緊張後までにおける増分たわみの設計値に対する実測値の比を示す。

図よりコンクリート打設時はたわみ変動量が小さいこともあり、斜材緊張時に比べるとたわみのばらつきが大きくなっている。また、コンクリート打設のたわみに及ぼす影響は、側径間側が設計値に対して下がり気味、逆に中央径間側が上がり気味となっている。斜材の緊張のたわみに及ぼす影響は、側径間側が上がり気味、中央径間側が下がり気味となっている。したがって、主桁の上越しの傾向としては、どちらかという中央径間側がやや下がり気味に推移したことがわかる。

主桁46BLの打設が終了し、側径間閉合前における上越し量の設計値と実測値の比較を図-8に示す。P9系は施工ステップ毎の検討結果と同様、中央径間側で若干下がり気味で、設計値に対して-46mmとなっている。しかしながら、張出し長の大きさを考えると良好な結果が得られた。

以上のように、設計調整量を確保するB法は、主桁応力度に対する影響範囲をあらかじめ検討しておくことにより施工は簡易で、かつ形状管理の面では優位な手法である。

5. 最終斜材張力調整

斜材張力の最終調整は、主桁応力、斜材張力のバランスを整え、かつ主桁形状を計画値とするために調整量、緊張順序の検討が行われる。

本橋では、斜材最終調整時に既に斜材ゲラウトが施工されていたこと、およびP9

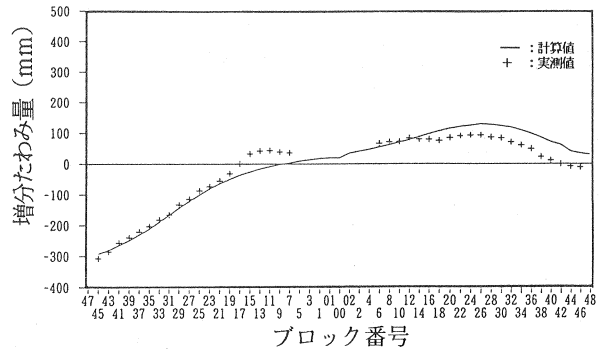


図-8 張出し終了時の上越し

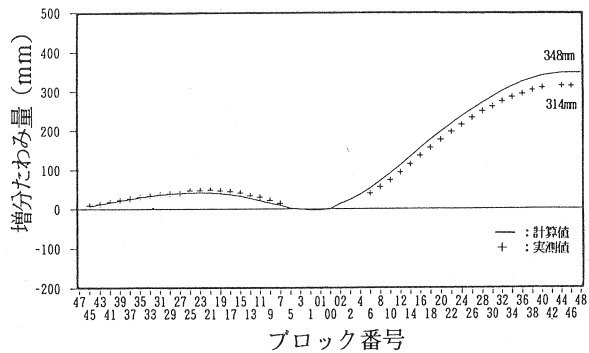


図-9 最終斜材調整前後の増分たわみ (P9系)

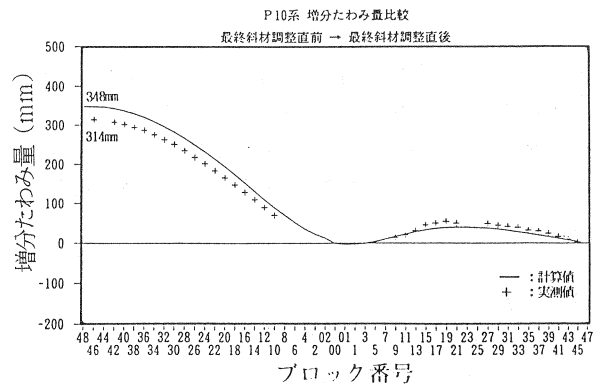


図-10 最終斜材調整前後の増分たわみ (P10系)

系での施工管理結果等を考慮し、斜材の緊張管理はP 9, P 10系とも設計調整量を確保するB法にて行った。調整量の検討では、斜材の緊張管理手法の相違に係わらずP 9, P 10系とも当初設計時の最終斜材調整量(増分)を基本に荷重, 施工手順, 部材材令を精査し, 主桁応力, 斜材張力が許容値内に収まり, かつ主桁の最終形状が計画値を満足するように調整量の照査を行った。検討の結果, 一部の斜材(S1, 22, 39, 40)で設計荷重時の許容値(0.4Pu)を越えるため, 若干の補正を要したが, 主桁応力度は許容値内に収まった。また, 調整順序は作業性, およびFRP管継手部の負担張力を考慮して表-3の手順にて行った。

図-9, 10に最終斜材調整前後の増分たわみ量を示す。最終斜材調整による中央径間側の跳ね上がりが若干小さいものの, その誤差は中央径間部で3.4mmと設計値の1.0%程度であった。

斜材最終調整後の斜材張力の設計値と実測値を図-11, 12に示す。なお, 図中の実測値には, ジャッキのマノメータの読み値の他に, 振動法による推定値を示した。振

動法による推定は, 各斜材毎に斜材張力と振動数の関係を把握するために, 調整ジャッキにより張力を変動させキャリブレーションを行ったもので, 両端固定の弦の振動式におけるケーブル長を斜材定着体内に設けたゴムの弾性支承間の距離として算出した値である²⁾。斜材最終調整の結果, 斜材張力は下段ケーブルでのばらつきが大きく, また全体的に設計値に対して高く導入されており, 全斜材張力に対しては, 1ケーブル当たり平均4%の張力増となった。

6. まとめ

本橋で行った2種類の斜材の緊張管理と最終斜材張力の調整結果について述べた。PC斜張橋の施工管理において, 本橋で採用した設計調整量を確保する緊張管理は, 主桁応力度に対する影響をあらかじめ検討しておくことで, 各種の補正は施工上は不要であるため簡易で, かつ形状管理においても良好な結果が得られることがわかった。

[参考文献]

- 1) 津吉, 大庭, 石橋: PC斜張橋の設計および施工について, JCIシンポジウム「プレストレス原理・技術の有効利用」論文集, 1991
- 2) 津吉, 大庭: 斜張橋ケーブルの張力測定について, 土木学会第47回年次学術講演会, 1991

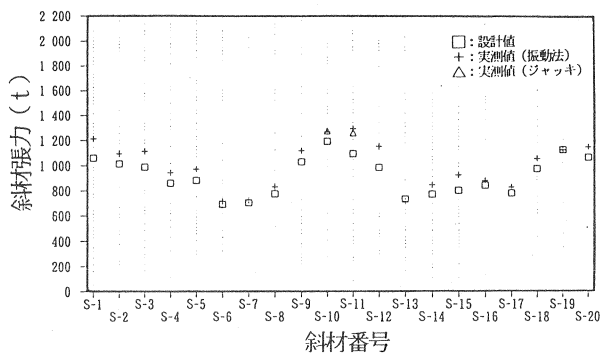


図-1 1 最終調整後の斜材張力 (P 9系)

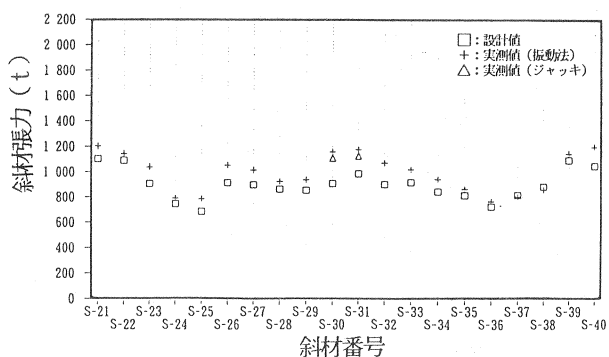


図-1 2 最終調整後の斜材張力 (P 10系)

表-3 斜材調整順序

緊張順序	斜材番号
1	S 2. 39
	S 19. 22
2	S 20. 40
	S 21. 21
3	S 18. 38
	S 23. 23
4	S 14. 37
	S 17. 24
5	S 5. 36
	S 16. 25
6	S 6. 35
	S 15. 26
7	S 17. 34
	S 14. 27
8	S 8. 33
	S 13. 28
9	S 9. 32
	S 12. 29
10	S 10. 31
	S 11. 30