

(63) 斜張橋桁橋複合形式PC斜張橋の計測工及び実橋載荷試験報告

大阪府 富田林土木事務所 武内 信義
 ピーシー橋梁(株)東京本社 正会員 堂前 満
 同 上 大阪支店 正会員 橋爪 博文
 同 上 大阪支店 正会員 ○城代 和行

1. はじめに

石川サイクル橋(PC斜張橋)の支間割は、石川の河川配置から橋脚位置に制約を受けたため62.0+84.0+42.0mと不等径間とした。さらに、景観性より斜張橋と桁橋を複合させた構造形式(斜張橋桁橋複合形式)を採用し斜張橋としての特徴を反映させている。(写真-1)

本橋は、固定式支保工によるPC斜張橋としては比較的規模が大きく、特に施工中の斜材張力導入が重要なファクターと考えられたため従来の管理手法に加えて計測工を通して施工中及び完成後の出来形の管理、安全性を確認した。本稿では施工管理の一環として実施した施工管理計測及び静的荷重による実橋載荷試験について報告する。

2. 工事概要

工事名: 石川サイクル橋上部工事
 工事場所: 大阪府富田林市新堂~北大判地先
 工期: 平成3年12月~平成5年8月
 施主: 大阪府
 本橋の設計条件・主要数量を表-1, 表-2に示す。位置図を図-1に、全体一般図を図-2に示す。

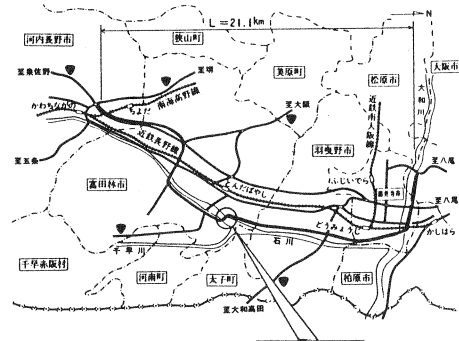


図-1 位置図

表-1 設計条件

橋種	プレストレストコンクリート橋
橋格	自転車 歩行者専用道
構造形式	3径間連続PC斜張橋
橋長	189.000m
桁長	188.900m
支間	62.000m+84.000m+42.000m
幅員	有効幅員 3.000m(全幅 5.500m)
横断勾配	1.5%∨ 1.5%∨
縦断勾配	3.0%∨ 2.9%∨ V.C.L=80.000m
斜角	A1側 85°10'00", A2側 90°00'00"
設計水平震度	Kh=1.0×1.0×0.8×1.25×0.2=0.2

表-2 主要数量

区分	単位	主桁	主塔	斜材
コンクリートσck=350kgf/cm ²	m ³	648.5	169.7	—
型枠	m ²	2597.8	476.2	—
鉄筋(SD295A)	t	102.1	45.3	—
PC鋼材	主方向 PC綱より線12φ12.4mm	t	21.5	—
	横方向 PC綱棒SBFRS30/1180	t	1.8	—
	斜材 PC綱より線19φ12.7, 12.4, 9.5mm	t	—	11.9

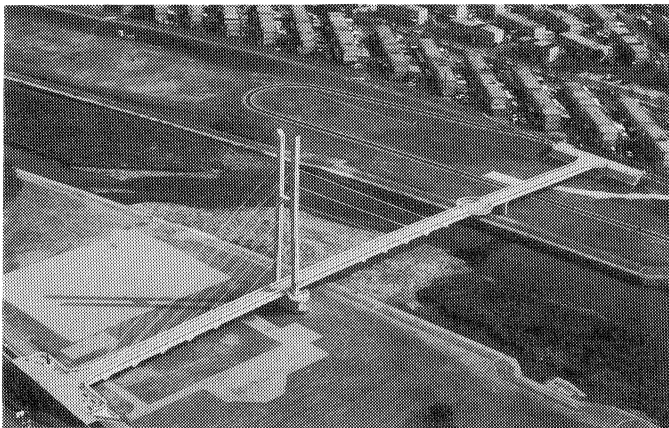


写真-1 石川サイクル橋全景

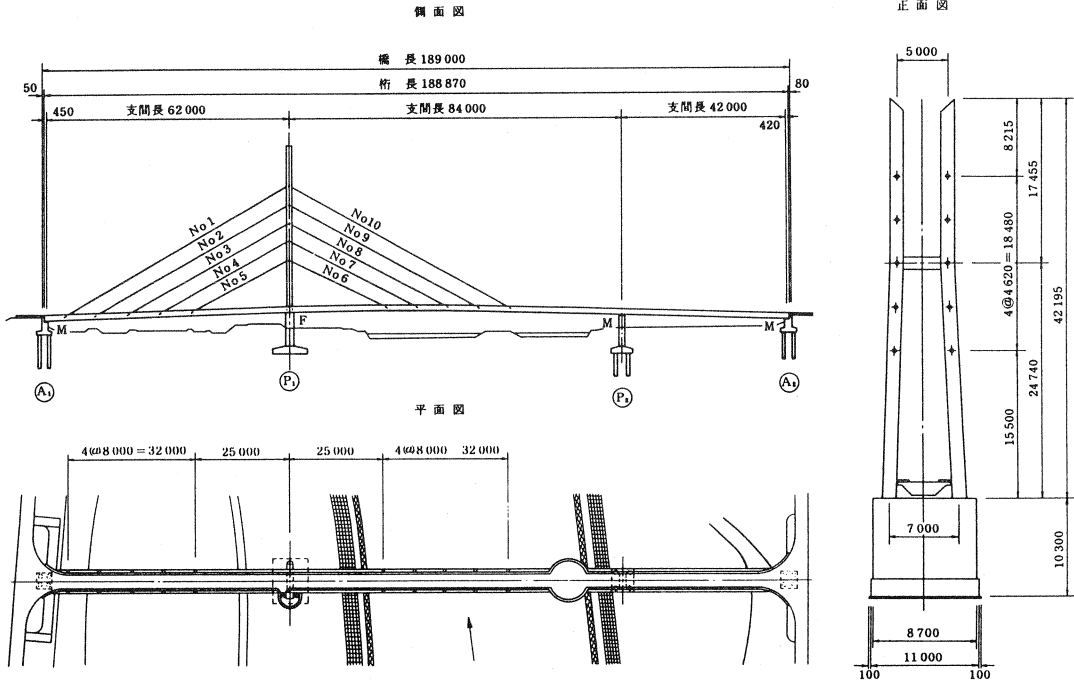


図-2 全体一般図

主桁断面図
定着部 標準部

3. 施工管理計測

3-1 概要

事前に設計内容に沿った施工順序を詳細に決めて施工した。施工では、斜材を含めた橋体各部(主塔・主桁)の応力管理および出来形管理を行う際に斜材張力や主桁・主塔の変位、各部材の温度等の膨大な量の情報を各施工段階毎に常に計測し把握した上で次の施工に反映する必要があった。本橋で採用した施工管理計測一覧表を表-3に示す。施工管理上の計測時期は表-4に示す様に主桁緊張直前から斜材緊張終了時までとした。これらをさらに細かく44ステップに分けて計測した。又、各緊張力の導入に着目して大きく次の4施工時期を主なステップと考えた。

- ①主桁緊張 - 主桁プレストレス導入
- ②斜材1次緊張 - 最終斜材調整力の40%を導入。
- ③斜材2次緊張 - 最終斜材調整力の80%を導入。主桁が底版型枠より浮上がる程度。
- ④斜材3次緊張 - 最終調整力を導入。

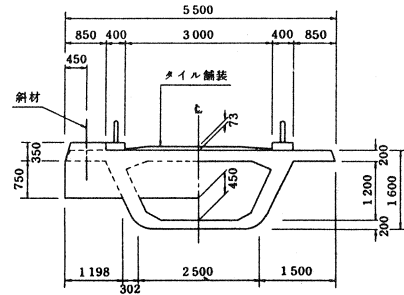


表-3 施工管理計測一覧表

	①応力管理				②出来形管理			③張力管理
	主 桁		主 塔		主 桁	主 塔	斜 材	
	コンクリート	鉄 筋	コンクリート	鉄 筋				
測定・管理内容	- 応力 (ひずみ)	応 力 (ひずみ)	応 力 (ひずみ)	応 力 (ひずみ)	前後変位 (たわみ)	水平変位 (傾れ)	導入力及び伸び量	
測定方法	有効応力計 熱電対	鉄筋計 熱電対	有効応力計 熱電対	鉄筋計 熱電対	レベル 熱電対	縦斜計 トランシット 熱電対 ひずみ計	フックの圧力ロードセル 加速度計 熱電対	
目 的	- 主桁コンクリートの応力測定 - 温度補正	- 主桁鉄筋の応力測定 - 温度補正	- 主塔コンクリートの応力測定 - 温度補正	- 主塔鉄筋の応力測定 - 温度補正	- 主桁の上げ - 温度補正	- 主塔の傾れ - 温度補正	- フックを 用いて温度 管理 - 圧力ロードセルによる応力管理 - ホットは 直接測定 - 加速度計は 間接測定 - 温度補正	
時 期	- 斜材張力 導入時 - その他必要に応じて	- 斜材張力 導入時 - その他必要に応じて	- 斜材張力 導入時 - その他必要に応じて	- 斜材張力 導入時 - その他必要に応じて	- 斜材張力 導入時 - その他必要に応じて	- 斜材張力 導入時 - その他必要に応じて	- 斜材張力 導入時 - その他必要に応じて	
単 位	kgf/cm ² σ...350	SD295A	kgf/cm ² σ...350	SD295A			P.C鋼より SEEケーブル	

3-2 計測結果

最大支間 (P1~P2) の斜張橋部中央付近の断面 (4-4 断面) 位置の計測結果のうち、主桁上縁、下縁のコンクリート応力度変化図、鉄筋応力度変化図をそれぞれ図-3、図-4に示す。この計測結果は主桁の挙動を的確に捉えている。即ち、この断面での主桁内のPC鋼材配置は、ほぼ図心配置で軸圧縮力が発生するのがステップ5~9の計測値からわかる。さらに斜材の張力導入によりさら軸圧縮力が主桁に導入されていく様子をステップ13~31の計測値が示している。施工上重要な支保工解体時期の判断は、全ての断面の計測値を参照に判断した結果、設計で考えたステップ33で解体した。支保工解体以降の計測値は主桁が完全に底版から離れたため斜材張力が軸力と曲げモーメントとして断面に作用している様子を表している。また、主桁のコンクリート応力度と鉄筋応力度変化とが同じ傾向を示しているのは両者が同じ挙動をしていることを示し、コンクリートと鉄筋の付着状態が良好であることを示している。

以下に施工管理計測結果の総括を示す。

(1) 主桁応力度

コンクリート、鉄筋応力度は全ての計測位置で圧縮応力状態となり、主桁緊張および斜材緊張による応力変動を確認した。この結果主桁応力度は許容値を満足しており安全性を確認できた。

(2) 主塔応力度

主塔付根は圧縮状態にあり斜材緊張による応力変動を確認した。また、主塔付根の応力状態を推定した結果橋軸方向および橋軸直角方向とも大きな応力差は認められなかった。これにより斜材緊張等により主塔に過大な曲げモーメントが発生していないことが確認できた。

(3) 主桁変位

主桁変位は斜材緊張終了後ほぼ計画値の通りとなったことを確認できた。

(4) 主塔変位

主塔変位は主塔上部においてA1側へ最大7mm傾斜したが最終的にはA2側へ戻り主塔の倒れがほとんど無いことを確認した。

表-4 施工管理計測時期

ステップ	計測内容	
1	初期計測	
2		直前
3	主桁プレストレス導入 (P ₁ -A ₁ 張間 50%)	直後
4	*	直前
5	(P ₁ -P ₁ 張間 50%)	直後
6	*	直前
7	(A ₁ -P ₁ 張間 100%)	直後
8	*	直前
9	(P ₁ -P ₁ 張間 100%)	直後
10		直前
11	*	直後
12		直前
13	斜材ケーブル1次緊張-T5, T6	直後
14		直前
15	*	直後
16		直前
17	*	直後
18		直前
19	*	直後
20		直前
21	*	直後
22		直前
23	斜材ケーブル2次緊張-T1, T10	直後
24		直前
25	*	直後
26		直前
27	*	直後
28		直前
29	*	直後
30		直前
31	*	直後
32		直前
33	支保工解体	直後
34		直前
35	斜材ケーブル3次緊張-T5, T6	直後
36		直前
37	*	直後
38		直前
39	*	直後
40		直前
41	*	直後
42		直前
43	*	直後
44	計測終了	

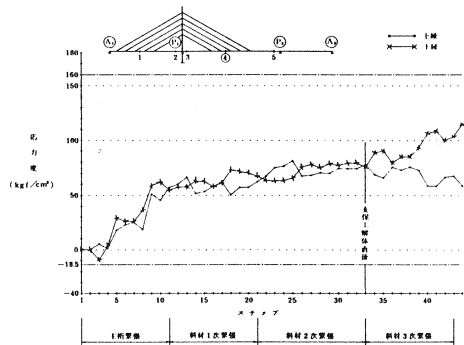


図-3 主桁コンクリート応力度変化図

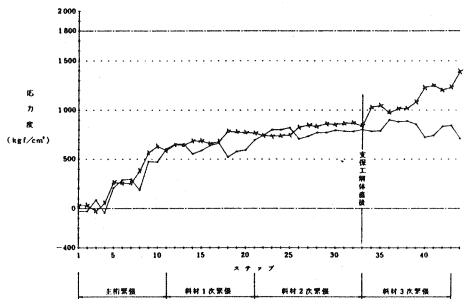


図-4 主桁鉄筋応力度変化図

(5) 斜材張力

斜材張力は所定の導入力に対し張力管理を行った。その結果、斜材張力がほぼ設計値通りに導入されたことを確認した。また、現状の張力に後死荷重および活荷重を見込んだ場合、斜材張力は許容値を満足しており安全性が確認できた。

4. 実橋載荷試験

4-1 概要

静的荷重(H型鋼)を用いて実橋載荷試験を実施した。(写真-2)試験の目的は施工完了後、静的荷重を載荷することにより高次の不静定構造としての各部材(主桁、主塔、斜材)の挙動を把握し設計値と比較検討の上その安全性を確認することであった。計測機器は施工管理計測のものに加えて主桁の鉛直変位を計測する目的でダイヤルゲージ式変位計、高感度変位計を使用した。(表-5参照)これらの設置位置は試験目的から図-5に示すようにA1~P1, P1~P2それぞれの斜材配置の中央位置とした。さらに、この試験時期が供用前であることより橋体になじみをもたせる目的で橋面上をユニボ(重量4.2tf)で何往復かさせた。

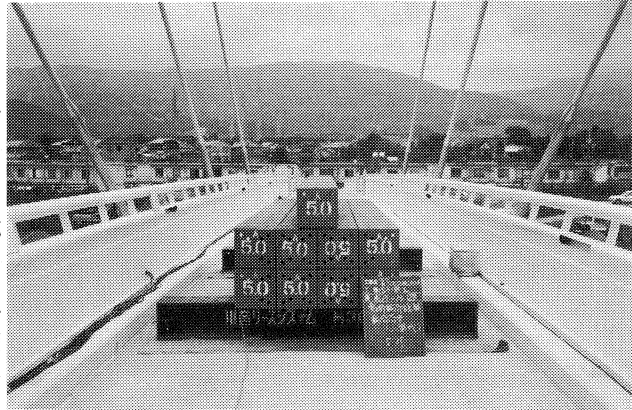


写真-2 実橋載荷試験状況

表-5 計測機器一覧表

部材	計測事項	計測項目	計測機器
主桁	○たわみ挙動	鉛直変位	・レベル ●ダイヤルゲージ式変位計 ◎高感度変位計
	○応力変動	コンクリート応力度 鉄筋応力度	◎有効応力計 ◎鉄筋計
	温度変動	温度	◎熱電対
主塔	○橋軸方向の傾斜挙動	水平変位	・トランシット ◎傾斜計
	温度変動	温度	◎熱電対
斜材	○張力変動	張力	・加速度計 ◎ロードセル
	温度変動	温度	◎熱電対

本試験では計測事項のうち○印について着目し、温度変動は補助的計測事項とした。又、計測機器については◎印について使用した。

4-2 予備試験

重機(クレーン)設置位置、載荷荷重強度の決定と各計測器のキャリブレーションの目的で本試験前に予備試験を実施した。これは、8断面載荷(A1~P1)(予備試験(2))、24断面載荷(P1~P2)(予備試験(1))の2回の試験で結果を本試験に反映できた。即ち最大載荷荷重強度を予備試験(1)で10.0tf、予備試験(2)で14.0tfとした結果、変位計で計測できる範囲のオーダーのため本試験では最大載荷荷重強度を10.0tfと決定した。

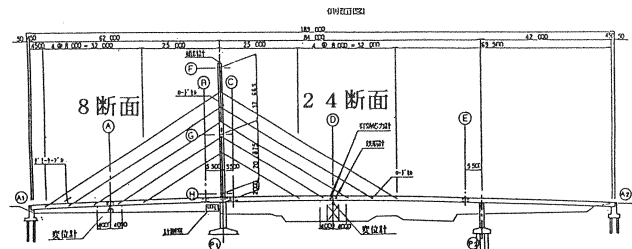


図-5 計測器配置図(変位計)

4-3 実橋載荷試験(本試験)

先の子備試験を反映し、8断面載荷(

A1~P1) (本試験(1)), 24断面載荷(P1~P2) (本試験(2))の2回実施した。以下の表-6に本試験での荷重載荷ステップを、表-7に実橋載荷試験で行った試験の概要を表す。

表-6 荷重載荷ステップ

荷重載荷			荷重撤去		
載荷スパン NO	荷重W (tf)	測定回数	載荷スパン NO	荷重W (tf)	測定回数
0	—	—	0	0.0	3
1	初期値 0.5	3	1	0.5	3
2	1.5	3	2	1.5	3
3	2.5	3	3	2.5	3
4	3.5	3	4	3.5	3
5	4.5	3	5	4.5	3
6	5.0	3	6	5.0	3
7	5.5	3	7	5.5	3
8	6.5	3	8	6.5	3
9	7.5	3	9	7.5	3
10	8.5	3	10	8.5	3
11	9.0	3	11	9.0	3
12	9.5	3	12	9.5	3
13	10.0	3			

表-7 実橋載荷試験概要

	予備試験(1)	予備試験(2)	本試験(1)	本試験(2)
荷重載荷位置	24断面	8断面	8断面	24断面
作業概要	載荷、除去の作業を連続して行った。	載荷荷重の途中で静置状態を設けた除去は、連続して行った。	連続して載荷作業を行い、最大荷重10tfで静置状態を設けた。除去は、連続して行った。	本試験(1)に同じ
載荷及び除去	載荷荷重	0.0''→10.0''	0.0''→14.0''	0.5''→10.0''
	載荷スパン	10スパン	18スパン	13スパン
	除去荷重	10.0''→0.5''	14.0''→0.5''	10.0''→0.0''
	除去スパン	6スパン	18スパン	13スパン
載荷、除去それぞれのスパンで載荷荷重強度を変えた。	載荷、除去それぞれのスパンで載荷荷重強度は同じとした。	予備試験(2)に同じ	予備試験(2)本試験(1)に同じ	
載荷、静置、除去所要時間	載荷	0.0''→10.0'' 約120分	載荷	0.5''→10.0'' 約90分
	静置	10.0''	静置	10.0''
	除去	10.0''→0.5'' 約30分	除去	14.0''→0.5'' 約90分
	除去	14.0''→0.5'' 約30分	除去	10.0''→0.0'' 約40分

図-6に本試験(1)の結果を、図-7に本試験(2)の結果を表す。まず本試験(1)の結果に着目すれば載荷位置(8断面)での荷重載荷、除去の荷重-変位曲線は直線をなしている。さらに直線の勾配は、設計値の勾配よりゆるやかで剛性が設計で仮定したものより大きいと考えられる。その要因として①地覆・高欄が主桁のたわみに抵抗している。②鋼材が主桁のたわみに抵抗している点が考えられる。

一方、載荷位置以外(24断面)は、載荷時ではやや設計値よりゆるやかな直線をなした荷重-変位直線であるが、静置状態で約1mm下方向に変化した後に除去時に順次下方向に変位していく。除去時は、ほぼ設計と同じ直線勾配となる。ここに、静置状態で約1mm下方向に変位する理由として、第1径間目(A1~P1)の8断面に載荷した荷重は載荷後には斜張橋部(A1~P1~P2)の主桁変位に直接作用

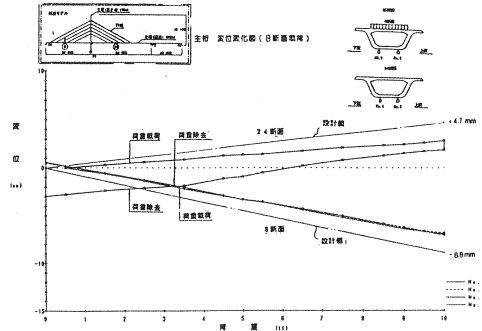


図-6 本試験(1)試験結果

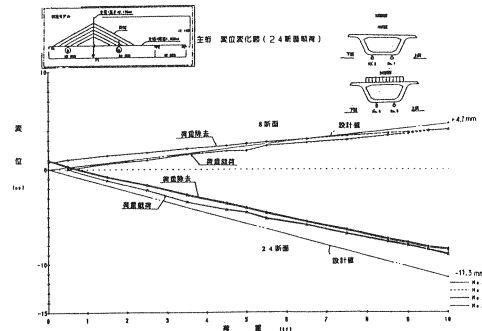


図-7 本試験(2)試験結果

するが、第3径間目(P2~A2)への影響はほとんどない。さらに時間が経過するに従いその影響がP2上の反力として現れこれが24断面位置に作用すると考えられる。本試験(2)の結果にも同様の傾向が現れている。また、以下にその他の計測項目である主桁・主塔応力度、斜材張力の設計値との比較表を表す。(表-8, 表-9, 表-10, 表-11)いずれの場合も本試験(1), (2)では同じような傾向を示しているため、ここでは本試験(1)の場合のみとするが、全てにおいて実測値と設計値は同じような傾向を示しておりこれは、主桁、主塔、斜材の各部材が本試験の載荷荷重の範囲では設計で仮定した構造モデルと同様な挙動を示したと考えられる。

表-8 主桁コンクリート応力度比較表 (kgf/cm²)

		①実測値		②設計値(-5tf)	
		0→5tf	5→10tf	0→5tf	5→10tf
8断面	上床版	0→5tf	-2.6		-3.1
		5→10tf	-2.8		
	下床版	0→5tf	3.3		4.9
		5→10tf	4.2		
24断面	上床版	0→5tf	0.5		0.5
		5→10tf	1.1		
	下床版	0→5tf	-1.9		-1.0
		5→10tf	-0.8		

表-9 主桁鉄筋応力度比較表 (kgf/cm²)

		①実測値		②設計値(-5tf)	
		0→5tf	5→10tf	0→5tf	5→10tf
8断面	上床版	0→5tf	-19.3/-16.7*		-22.8
		5→10tf	-18.1/-20.5*		
	下床版	0→5tf	24.7		34.9
		5→10tf	30.4		
24断面	上床版	0→5tf	8.9		4.3
		5→10tf	12.1		
	下床版	0→5tf	-10.3		-7.1
		5→10tf	-5.1		

表-10 主塔コンクリート応力度比較表 (kgf/cm²)

		①実測値		②設計値(-5tf)	
		0→5tf	5→10tf	0→5tf	5→10tf
下流側 主塔	A1側	0→5tf	-1.2		-2.4
		5→10tf	-0.9		
	A2側	0→5tf	0.5		2.3
		5→10tf	0.8		
上流側 主塔	A1側	0→5tf	-1.3		-2.4
		5→10tf	-1.1		
	A2側	0→5tf	0.5		2.3
		5→10tf	0.8		

注) *は2mものの鉄筋計の値を示す。

5. あとがき

本橋は、平成5年11月に無事供用を開始し地域住民の憩いの場としての役割を果たしている。さらに夜間のライトアップによりランドマーク性、シンボル性が演出されている。今後、地域住民ニーズの多様化から景観性の優れた橋

梁形式としてPC斜張橋が増加すると予想されるが架橋地点種々の制約により高度な技術的配慮が必要と思われる。本橋では施工管理計測の採用と静的荷重による載荷試験の実施で種々の技術的検証を得た。このことが同様な工事の今後の参考になれば幸いです。最後に当該工事の施工にあたり、ご助言、ご協力いただいた各関係各位に厚く感謝の意を表します。

表-11 主塔鉄筋応力度比較表 (kgf/cm²)

		①実測値		②設計値(-5tf)	
		0→5tf	5→10tf	0→5tf	5→10tf
下流側 主塔	A1側	0→5tf	-7.2		-16.7
		5→10tf	-5.9		
	A2側	0→5tf	10.0		16.0
		5→10tf	10.0		
上流側 主塔	A1側	0→5tf	-8.0		-16.7
		5→10tf	-7.4		
	A2側	0→5tf	9.8		16.0
		5→10tf	10.4		

表-12 斜材張力比較表 (tf)

		①実測値		②設計値(-5tf)	
		0→5tf	5→10tf	0→5tf	5→10tf
本試験 (1)	主塔側	0→5tf	-0.3		-0.1
		5→10tf	0.0		
	主桁側	0→5tf	-0.2		-0.1
		5→10tf	-0.2		
本試験 (2)	主塔側	0→5tf	-0.5		-0.6
		5→10tf	-0.3		
	主桁側	0→5tf	-0.4		-0.5
		5→10tf	-0.3		