

# 上信越自動車道碓氷橋（2 径間連続 PC 斜張橋） の点検および診断

東田 典雅\*1・後藤 哲也\*2・柵木 正男\*3・服部 昇司\*4

平成 5 年に供用された上信越自動車道の碓氷橋は、全長 1.3 km の PC 橋で、このうち旧 JR 信越本線および一級河川霧積川を跨ぐ部分が橋長 222 m の 2 径間連続 PC 斜張橋である。碓氷橋維持管理要領に基づいて実施した PC 斜張橋特有の点検方法・点検結果および診断について紹介する。

キーワード：PC 斜張橋，点検，維持管理，斜材ケーブル張力，主桁のたわみ，主塔倒れ

## 1. はじめに

碓氷橋が供用された平成 5 年 3 月当時は、PC 斜張橋がわが国で建設され始めたところで、PC 斜張橋の維持管理について点検要領としてまとまっているものは無かった。このため、将来の維持管理のために、建設にあたって設置された「上信越自動車道碓氷橋（PC 斜張橋）上部施工検討委員会」において、点検項目、頻度、方法ならびに点検結果の判定等を定めた「碓氷橋維持管理要領」が策定された。本稿では、「碓氷橋維持管理要領」に基づいて実施した点検方法、点検結果および診断について紹介する。

## 2. 碓氷橋の概要

碓氷橋は上信越自動車道の松井田妙義 IC・碓氷軽井沢 IC 間に位置し、旧 JR 信越本線、一級河川霧積川、一般国道 18 号および一級河川碓氷川を横過する橋梁で全橋長は約 1.3 km である。このうち旧 JR 信越本線および一級河川霧積川を跨ぐ部分が橋長 222 m の 2 径間連続 PC 斜張橋である。碓氷橋は平成 5 年 3 月に供用して以来、18 年が経過しているが、供用当時一面吊りの PC 斜張橋としては日本で最大規模を誇っていた。

碓氷橋の構造形式は以下のとおりである。

橋 梁 形 式 2 径間連続 PC 斜張橋



図 - 1 碓氷橋位置図

支間割・橋長 2 × 111.0 = 222.0 m  
 基礎形式 ニューマチックケーソン基礎  
 橋 脚 2 室中空断面壁式橋脚（SRC 構造） $H = 52$  m  
 主 塔 逆 Y 型（SRC 構造） $H = 61$  m  
 主 桁 3 室箱桁断面  $H = 2.5$  m  
 斜材ケーブル 1 面吊ファン型配置（ダブルケーブル方式）  
 工場製作ケーブル（New PWS）  
 $7 \phi \times (163 \sim 241)$   
 主桁支持形式 中間橋脚：剛結  
 端部橋脚：可動



\*1 Norimasa HIGASHIDA

東日本高速道路(株) 関東支社  
技術部 構造物指導役



\*2 Tetsuya GOTO

東日本高速道路(株) 関東支社  
佐久管理事務所



\*3 Masao MASEKI

(株)ネクスコ東日本エンジニア  
リング 土木技術部 調査役



\*4 Shoji HATTORI

(株)ネクスコ東日本エンジニ  
アリング 土木技術部構造技  
術課 課長

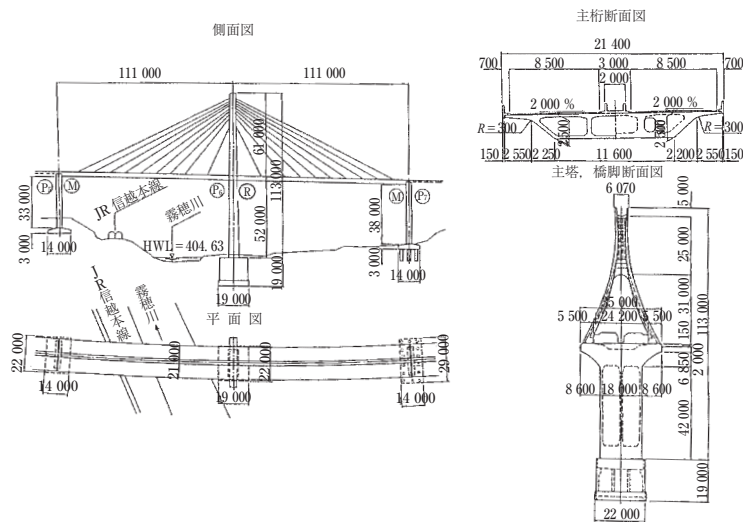


図 - 2 碓氷橋一般図 (2 径間連続 PC 斜張橋部)



写真 - 1 碓氷橋全景

### 3. PC 斜張橋の維持管理要領

碓氷橋の PC 斜張橋部分の点検は、NEXCO 東日本の保全点検要領<sup>2)</sup>のほか、碓氷橋維持管理要領<sup>1)</sup>(以下、「維持管理要領」という)にしたがって実施した。

「維持管理要領」は、点検編と判定編からなり、点検編には点検の種別、頻度、項目、方法等が、判定編には判定の区分および判定の標準が記載されている。

#### 3.1 点検項目および点検区分

「維持管理要領」の定期点検区分と点検項目を表 - 1 に示す。表中の定期点検区分は以下のとおりである。

定期点検 A : 1 回 / 年の頻度で管理区間全体の構造物の状

表 - 1 定期点検項目一覧

点検箇所	点検項目	定期点検 A	定期点検 B	定期点検 C
斜材ケーブル	張力	-	-	○
	PE 管	○	-	-
	定着体とその付属物	-	○	-
	ケーブルの付属物	○	-	-
主桁	たわみ	-	-	○
	斜材定着部	-	○	-
主塔	コンクリート	○	○	-
	倒れ	-	-	○
	斜材定着部	-	○	-
橋脚 主塔 受梁部	コンクリート	○	-	-
	倒れ	-	-	○

況を全体的に点検するもの

定期点検 B : 1 回 / 年の頻度で碓氷橋 (PC 斜張橋) の状況を細部にわたって点検するもの

定期点検 C : 碓氷橋 (PC 斜張橋) の斜張橋特有の項目を主として測定器具を用いて定量的に点検するもの

定期点検 C の点検頻度は、点検項目がコンクリートのクリープ・乾燥収縮などにより、完成後早期に変動し、異常および損傷のない場合にはその後安定した値となることから、供用後 1, 3 年目とその後 10 年ごとと定められて

いる。

定期点検 C に関する項目は下記のとおりである。

#### (1) 斜材ケーブルの張力

斜材ケーブルの張力は、斜材ケーブル自体あるいは橋梁本体のいずれかの部位に何らかの構造上の異常が発生していないかを検知する目的で測定するものである。

斜材ケーブル、主桁、主塔は相互に関連した挙動を示すことから斜材ケーブルの張力測定は、斜張橋の構造全体を把握する上で重要である。

#### (2) 主桁のたわみ

主桁のたわみは、主桁に設計で予測された以上の過大なたわみが発生していないかを観測する目的で測定するものである。

過大なたわみが発生した場合は、ひび割れによる主桁の剛性低下のほか、ケーブルの損傷、主塔・橋脚の倒れ等に起因していることもある。

#### (3) 主塔の倒れ

主塔の倒れは、基礎の沈下や回転、ケーブル張力の異常等による変状が発生していないかを観測する目的で測定するものである。

なお、本橋は対称の 2 径間斜張橋であるため、主塔は死荷重状態では鉛直となる。

#### 3.2 判定の標準

「維持管理要領」では総合的管理を行うため、点検により確認された損傷の程度と補修の必要性を表 - 2 の判定の区分に基づいて区分している。判定の区分に用いる点検項目ごとの判定の標準を表 - 3 に示す。

表 - 2 判定の区分

判定区分	一般的状況
AA	損傷が著しく、交通の安全確保、または第三者に対し、支障となっているか、もしくはそのおそれがあり、緊急補修の必要のある場合。
A	損傷が大きく、補修するかどうかの検討が必要な場合。
B	損傷は小さいが補修するかどうかの検討が必要な場合。

表 - 3 の判定の標準 A のうち、定期点検 C の項目については次のとおり設定されている。

表 - 3 判定の標準

種別	項目	判定の標準		
		AA	A	B
斜材ケーブル	張力	ケーブルの素線が部分的に破断しており、交通の確保、または第三者に対し支障となっているか、そのおそれがある。	一段の斜材に10%程度以上の張力(死荷重張力)誤差がある。	---
	PE管	---	広範囲に大きな損傷、亀裂、膨らみがある。	局所的な損傷、亀裂、膨らみおよび光沢の変化がある。
	定着体とその付属物	---	主桁定着体、シース管に大きな錆、損傷、変形が認められる。	主桁定着体、シース管に局所的な錆、損傷、変形が認められる。
	ケーブルの付属物	---	角折れ緩衝装置に大きな変形、脱落、損傷や防火構造に大きな損傷、亀裂がある。	角折れ緩衝装置に局所的な変形、脱落、損傷や防火構造に局所的な損傷、亀裂がある。
	振動	---	風による振動で定着部位置の曲げ角度が $\pm 0.3^\circ$ となっていることが認められる。	---
主桁	たわみ	---	$\pm 30$ mm程度以上(たわみ変化量の誤差)	---
主塔	倒れ	---	$\pm 60$ mm程度以上(主塔頂部の水平変位量)	---

(1) 斜材ケーブルの張力

一段の斜材に死荷重張力の10%以上の張力誤差があった場合、設計荷重作用時において主桁コンクリートの引張応力度が設計引張強度を超えることから、標準Aの値が設定されている。

(2) 主桁のたわみ

主桁に30mm以上のたわみ変化量誤差があった場合、設計荷重作用時において主桁コンクリートの引張応力度が設計引張強度を超えることから、標準Aの値が設定されている。

(3) 主塔の倒れ

主塔が橋軸方向の曲げを受け塔頂部に60mm以上の水平変位があった場合、設計荷重作用時に鉄筋の応力度が許容値180N/mm<sup>2</sup>を超えることから、標準Aの値が設定されている。

4. 点検方法

4.1 斜材ケーブルの張力測定

(1) 測定概要

斜材ケーブル張力は斜材ケーブルの固有振動数との関係より求めた。具体的には、斜材に加速度計を設置しその収録値の周波数分析結果から卓越振動数を求め、張力を算出した。斜材ケーブルの張力は温度の影響を受けることから、張力算出時に補正を行うため温度測定も併せて行った。

斜材ケーブルの張力測定に使用した主要機器は表-4のとおりである。

表 - 4 使用機器一覧

名称	型式	仕様	摘要
加速度計	AS-5 GB	5 G	
動ひずみ計	MCC	$\pm 5$ V 出力	
熱電対	T(CC)	-200℃~350℃	
コネクタブロック	BNC-2090	16 ch	
A/D変換カード	PCMCLA-6036 E	16 bit/200 kHz	
コンピュータ	Latitude		
周波数分析ソフト	TSCFFT_Peak		
高所作業車		20 m	
発電機	EU9 i	900 VA	

(2) 測定方法

測定の流れを図-3に示す(破線内は調査結果解析)。

加速度計の設置箇所は橋面から高さ15mに設置されている防火カバーを避けた位置とし、固定テープを用いて設置した。測定は手でケーブルを加振する強制振動測定で行うこととし、過去の点検結果から予想された二次の固有振動数の値を参考に、斜材ケーブルを加振し共振させた。測定要領を図-4に示す。

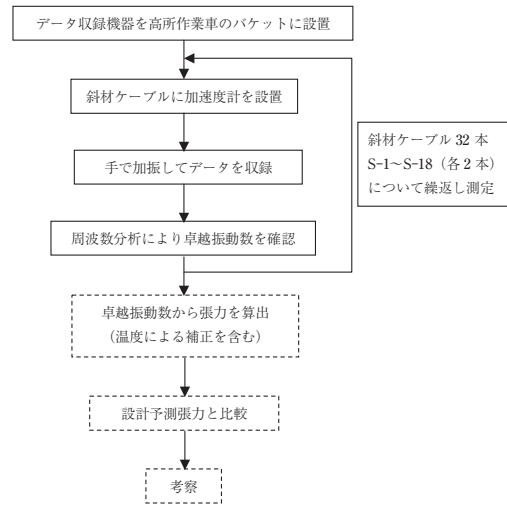


図 - 3 斜材ケーブル張力測定の流れ

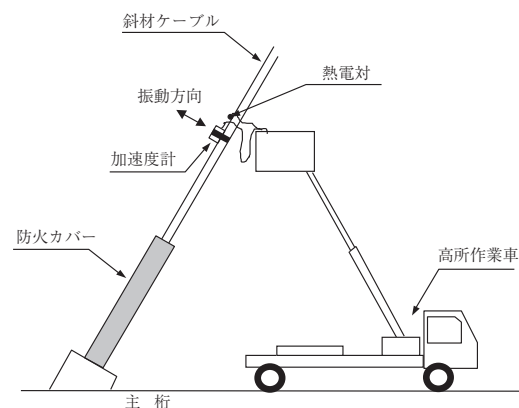


図 - 4 測定要領図

4.2 主桁のたわみ測定

主桁のたわみは図-5に示す測定ポイント(下り線地覆に設置してある測量鉞)のレベル測量を行うことにより測定した。測定は、斜材ケーブルの温度上昇が少ない時間帯(午前9時まで)に完了させた。測定状況を写真-2に示す。

4.3 主塔の倒れ測定

主塔の倒れは主塔頂部の橋軸方向の水平変位量として測定した。水平変位量は、主塔頂部に設置した傾斜計により主塔天端の傾斜角を測定し、主塔が剛体変形するものと仮定して図-6のとおり算定した。

図-7に傾斜計設置詳細図を示す。調節つまみを回し、傾斜計を水平にしたときの表示窓の数値が傾斜角 $\theta$ (rad)になる。

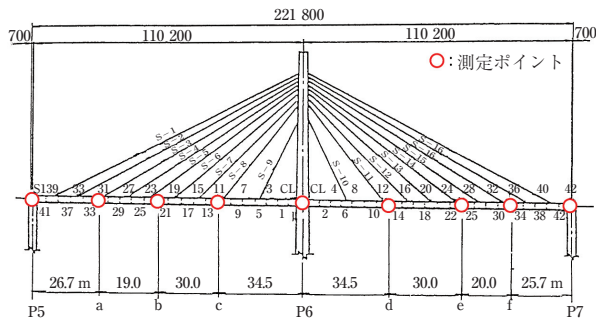


図 - 5 たわみ測定位置



写真 - 2 たわみ測定状況



写真 - 3 斜材ケーブルの張力測定状況

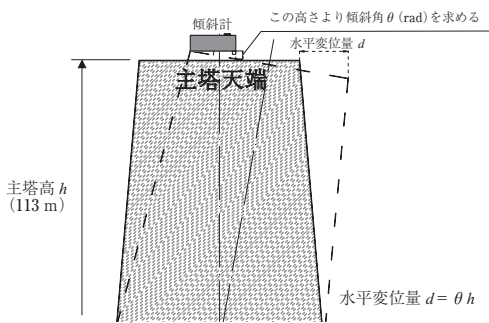


図 - 6 傾斜計設置図

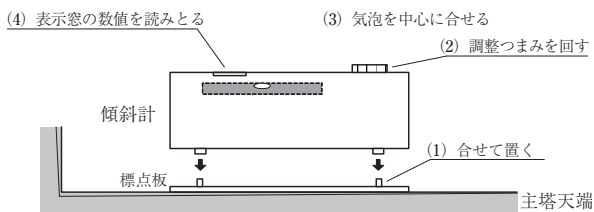


図 - 7 傾斜計設置詳細図

## 5. 点検結果および診断

### 5.1 斜材ケーブルの張力

斜材ケーブルの張力は前述のとおり振動法により測定した。測定状況を写真 - 3 に示す。対象とした振動数は測定が比較的容易な 1 次、2 次振動数とした。

斜材ケーブルの張力と振動数の関係は、次式のとおりである。なお、ケーブル長さ  $L$  は、主桁完成後に角折れ緩衝装置・ケーブルダンパーが取り付けられていることから、これらの効果を換算した長さを用いた。

・ 1 次振動数と張力の関係式 ( $T_1$ : 1 次張力)

$$T_1 = \frac{4(f_1^2 - 2.2f_1C - 2C^2)wL^2}{9.8} \text{ (kN)}$$

・ 2 次振動数と張力の関係式 ( $T_2$ : 2 次張力)

$$T_2 = \frac{1.02wL^2}{g} \left( f_2^2 - \frac{6.26}{1.02}Cf_2 \right) \text{ (kN)}$$

$$\text{ここで } C = \sqrt{\frac{EIg}{wL^4}}$$

$L$  : ケーブルの長さ (m)

$w$  : ケーブルの単位体積重量 (kN/m)

$g$  : 重力加速度 (m/s<sup>2</sup>)

$EI$  : ケーブルの曲げ剛性 (kN・m<sup>2</sup>)

$f_1$  : 1 次振動数 (1/s)

$f_2$  : 2 次振動数 (1/s)

設計張力と測定張力の比較を表 - 5 に示す。平成 20 年 7 月時点の設計張力は、15.5 年経過時のクリープ・乾燥収縮を考慮して求めた。また、測定張力は、1 次張力と 2 次張力の平均値に温度補正張力を加算して算出した。温度補正張力は、主桁と斜材の温度差 ( $\pm 15^\circ\text{C}$ ) の張力変化量の計算値を基に、主桁と斜材の温度差から算定した。平成 20 年 7 月の斜材張力測定の結果、設計張力に対する張力誤差は、全ケーブルの平均で 2.6% であり、最大の張力誤差は 7.4% であった。

これらの数値は、「維持管理要領」に示されている判定 A の標準値である 10% 誤差以内ということを満たしていること、および前回の測定 (平成 9 年度) からの増大も認められないことから、とくに問題ないと判断できる。

### 5.2 主桁のたわみ測定

平成 20 年 7 月の主桁たわみ測定結果を表 - 6 に示す。設計値は竣工後 15.5 年経過時のクリープ、乾燥収縮を考慮した値である。主桁のたわみ測定結果は、P7 位置を不動点と見なして整理した。

次に、主桁たわみ測定結果の推移を表 - 7 および図 - 8 ~ 10 に示す。平成 20 年の測定結果は平成 7 年および 9 年の測定結果と同様に、クリープ・乾燥収縮の進行によるたわみ実測値は設計値と比較して全体的に小さく、また、設計値との差の時間的変化に大きな違いは認められなかった。実測値は、全体的に設計値に比べクリープによるたわみ量が少ない結果となったが、この要因としては設計上考



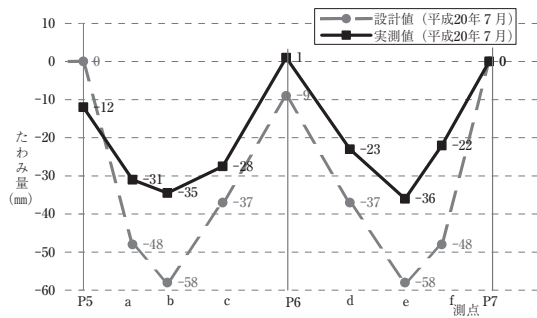


図 - 10 主桁たわみ測定結果 (平成 20 年 7 月)

表 - 8 主塔の倒れ測定結果

(a) 定期点検時の測定 (傾斜計)

	平成5年3月	平成7年7月	平成9年7月	平成20年8月	摘要
測定時間	-	-	-	11:00	
天気	-	晴れ	晴れ	晴れ	
外気温 (°C)	-	-	-	30.0	
測定箇所 (°C)	-	-	-	-	
傾斜角度 $\theta$ (rad)	0.0000	-0.0003	-0.0001	0.0004	
水平変位量 $d$ (mm)	0	-34	-11	45	
傾斜方向	-	碓氷軽井沢	碓氷軽井沢	松井田妙義	

(b) 温度変化に伴う挙動確認のための追加測定 (傾斜計)

	平成21年2月	平成21年5月	平成21年8月	平成21年11月	平成21年12月
測定時間	10:45~11:30	10:30~11:10	14:10~14:40	11:00~11:20	11:30~12:00
天気	晴れ	晴れ	晴れ	晴れ	晴れ
外気温 (°C)	11.0	20.0	26.0	14.0	3.0
測定箇所 (°C)	7.0	17.0	27.0	13.0	3.0
傾斜角度 $\theta$ (rad)	-0.0001	0.0001	0.0006	0.0001	-0.0001
水平変位量 $d$ (mm)	-11	11	68	11	-11
傾斜方向	碓氷軽井沢	松井田妙義	松井田妙義	松井田妙義	碓氷軽井沢

(c) トータルステーションによる追加測定

	平成21年12月	平成22年3月	平成22年7月	平成22年10月	摘要
測定時間	8:30~14:30	11:00~14:00	11:00~14:00	11:00~14:00	
天気	晴れ	晴れ	晴れ	晴れ	
外気温 (°C)	12.0	18.0	36.0	24.0	
測定箇所 (°C)	-	-	-	-	
水平変位量 $d$ (mm)	0	-5	4	3	
傾斜方向	-	碓氷軽井沢※	松井田妙義※	松井田妙義※	

※：トータルステーションの初回測定時の値を初期値とした場合の傾斜方向  
 水平変位量の符号について  
 -：碓氷軽井沢側に傾斜  
 +：松井田妙義側に傾斜

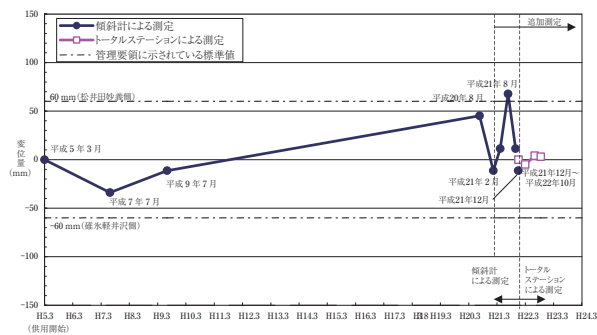


図 - 11 水平変位量の経時変化

しかし、主塔の実際の変位は弾性体としての変形であり、このような大きな水平変位は考えられないため、平成 21 年 12 月以降においては主塔の高さ方向に 4 箇所ターゲットを設け、トータルステーションにより変位測定を開始した (表 - 8 (c))。その結果においては、ここ 1 年間の変形は -5 ~ 4 mm と大きな挙動は認められず、主塔の倒れとしては問題ない結果が得られている。

#### 5.4 定期点検 B の結果

##### (1) 斜材ケーブル定着体とその付属物

一部に防食機能の劣化が認められたが、ボルトの損傷やオイル漏れ等重大な損傷は認められなかった。



写真 - 4 緩衝装置・ダンパー

##### (2) 主桁内斜材定着部

とくに変状は認められなかった (写真 - 5)。

##### (3) 主塔斜材定着部

路面および塔頂部から遠望目視にて点検した結果、とくに変状は認められなかった (写真 - 6)。



写真 - 5 主桁内斜材定着部 写真 - 6 主塔斜材定着部

## 6. おわりに

碓氷橋は供用後 18 年になるが、PC 斜張橋として建設時に策定された「維持管理要領」に基づいた点検を実施している。

斜材ケーブルの張力、主桁のたわみは設定された判定の標準以内に収まっており問題ないが、主塔の倒れについては傾斜計では実挙動より大きい値になってしまう傾向がみられた。弾性体としての変形をしている主塔の頂部水平変位量を傾斜計から求めるのは困難であることから、今後はトータルステーションによる測量で管理していくこととし、その測定結果は、斜材ケーブル張力、主桁たわみの測定結果と合わせて評価していくことが良いものとする。

これまでの測定において碓氷橋は PC 斜張橋として特段大きな問題は生じていないことが確認できた。今後も「維持管理要領」に基づいた点検を定期的に行い、碓氷橋の長寿命化を図っていきたいと考える。

#### 参考文献

- 1) 碓氷橋維持管理要領 (平成 5 年 3 月) 日本道路公団東京第二建設局
- 2) 保全点検要領 (平成 18 年 4 月) 東日本高速道路(株)

【2011 年 1 月 17 日受付】