

供用後の斜張橋ケーブルの張力測定 ～十勝中央大橋の維持管理について～

Tension Measurement of Cable-Stayed Bridge Cable:
Maintenance of the Tokachi Cyuou-Hashi Bridge

齋藤 剛* 杉原尚志** 高松 潤** 田中正明***
Takeshi Saito, Hisashi Sugihara, Jun Takamatsu, Masaaki Tanaka

十勝中央大橋は北海道十勝川を横断し、音更町と幕別町を結ぶ幹線橋梁であり、温泉保養地と隣接する観光スポットに位置する中央支間長250m、側径間は両側100mの3径間連続斜張橋である¹⁾。

斜張橋の耐荷力にケーブル張力が及ぼす影響は非常に大きい。従って維持管理においては、供用開始時からのケーブル張力の推移を追跡し続け、ケーブルのクリープやリラクセーション、あるいは不測の事態による張力の変化がないことを確認することが重要である。本橋の斜張橋ケーブルの張力測定は、1988年に供用を開始してから1年後、および5年後と、これまで2度実施しており、特に異常がないことを確認している²⁾。

本稿では、供用開始後18年目となる3度目のケーブル張力の測定結果を報告する。そして、ケーブルそれぞれの張力に大きな変動や異常が認められなかったため、斜張橋としての機能に問題が生じていないことを確認できたので、併せて報告する。

なお、今回の張力測定では、当社が開発したCCD非接触振動測定器「ユレトール」^{3),4)}を適用し、加速度計による従来の測定法に比して、作業の省力化を実現できることを確認している。

The Tokachi Chuo-Ohashi Bridge is a three-span cable-stayed continuous steel bridge with a center span of 250m and side span of 100m¹⁾. It crosses the Tokachi River and completes the main line between Makubetsucho and Otofukecho, linking the hot spring resort area with nearby tourist attractions.

The influence that the cable tension has on the load carrying capacity of cable-stayed bridges is very large. Therefore, in bridge maintenance, we have continually tracked changes in cable tension from the start of service; it is important to verify that there are no tensile changes caused by cable creeping or relaxing, or unexpected situations. Cable tension was measured twice once each 1 year and 5 years after opening in 1988 and no peculiar abnormalities were confirmed²⁾.

This paper reports on the third series of cable tension measurements done in 18th year of service. Since no serious changes in tension or other problems were confirmed, the functioning of the cable-stayed bridge was judged sound.

In these tension measurements, we used a CCD non-contact vibration measuring instrument nicknamed "Yuretool"^{3), 4)}, which we developed. This approach proved labor-saving compared to the conventional measurement method of using an accelerometer.

1. はじめに

十勝中央大橋は、1988年(昭和63年)11月に供用を開始して以来18年が経過する。本橋は建設時に詳細な維持管理計画を立てており、それに基づきこれまで数回にわたり各部位について詳細点検を実施してきている。その中にはケーブル張力の測定も含まれている。

本橋のケーブルの張力測定は、供用開始1年後と5年後と、過去に2度実施してきた。その結果、張力バランスに問題はなかったため、供用開始した初期段階では特に異常がないことを確認している。

一般的に鋼床版を有する橋梁は、死荷重の中に舗装荷重の占める割合は比較的大きく、本橋も例外ではない。今回ケーブル張力の測定を行ったのは、同年に供用以来初となる車道部の舗装全面打替え工事が施工されたから

である。舗装打替え工事が終了した数ヶ月後にケーブル張力測定を行い、何らかの要因により張力バランスに大きな変化がないことを確認することを目的とした。

また、過去の測定ではケーブル全数の約半分程度を測定してきたが、供用開始18年後となる今回の測定では、歩道側・車道側のすべてのケーブル張力を測定した。これは、今後の経年変化を把握する上で必要なデータを得るためである。

なお、今回は本橋の施工者である当社の自主点検として実施した。ケーブルの張力測定以外にも、主要部位を中心とした目視点検を行ったが、本稿ではケーブル張力について報告するものとする。

2. 橋梁概要

十勝中央大橋は無塗装耐候性鋼材を使用しており、主塔には鉄筋コンクリート構造を採用している。本橋の概要を以下に示す。

* 鉄構事業部 製造部

** 鉄構事業部 橋梁エンジニアリング部

*** 技術開発本部 研究開発部

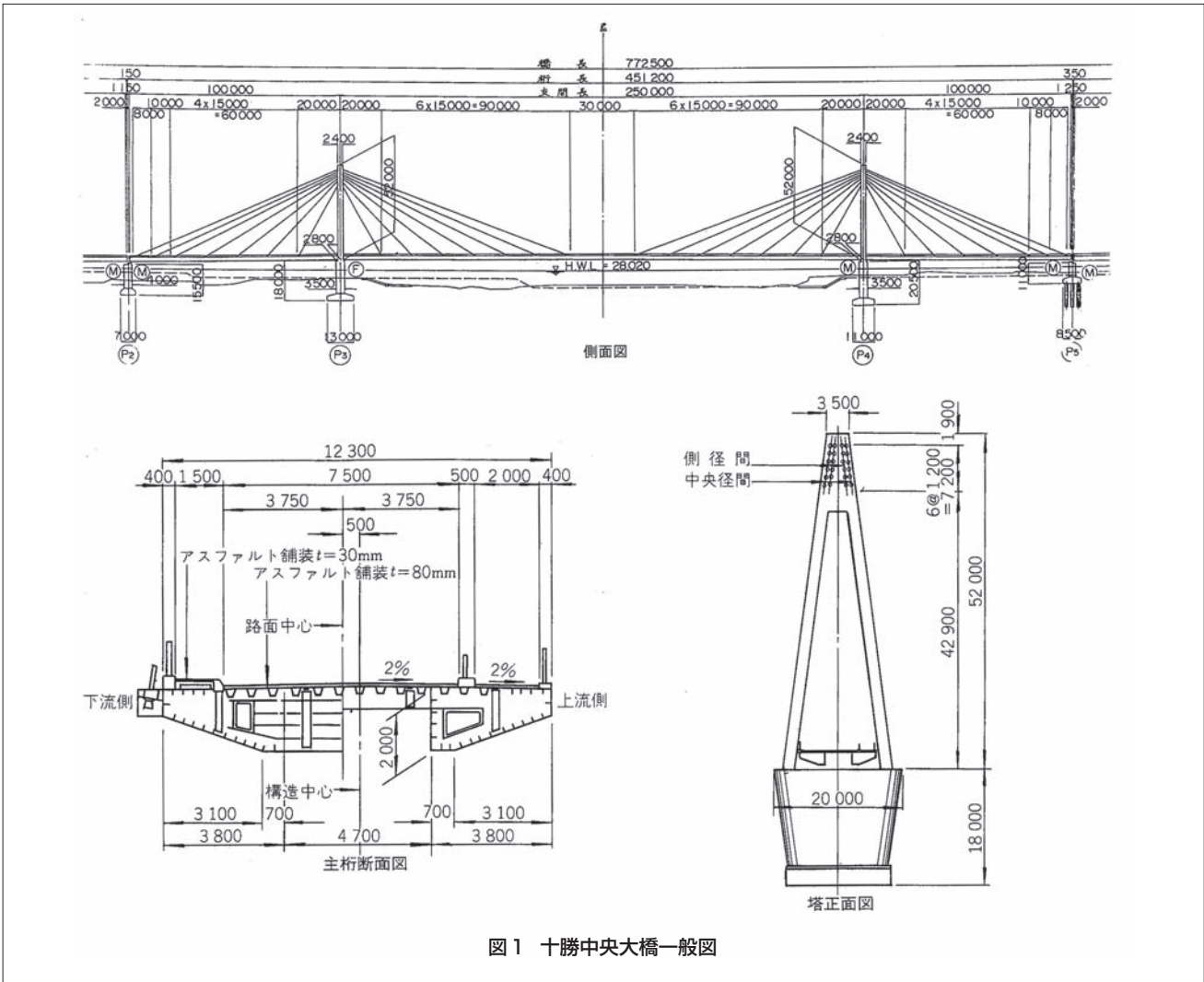


図1 十勝中央大橋一般図



図2 全景

概要

橋梁形式：3径間連続斜張橋
 橋長：451.2m(772.5m：側橋を含む)
 支間長：100.0m+250.0m+100.0m
 幅員：車道7.5m 歩道1.5m 自転車道2.0m
 床版形式：鋼床版

鋼重

主桁：2,464.5ton
 ケーブル：248.4ton
 杓：43.7ton
 その他：20.9ton

合計：2,777.5ton

3. ケーブル張力の測定

3.1 測定手法

従来、斜張橋やニールセンサーゼ橋などのケーブル張力の測定には、いわゆる振動法⁵⁾という手法が広く採用されている。この手法はケーブルの振動測定により固有振動数を検出し、ケーブルの曲げ剛性やサグの影響を考慮した換算式を用いて張力を算出するものである。振動測定にはケーブルに直接加速度計を貼付け、得られた加速度の時刻歴変化にスペクトル解析を適用し、卓越振動数を検出する方法が一般的に用いられている。

今回の張力測定では、張力の算出は振動法を採用したが、振動測定は従来からの加速度計による手法ではなく、当社が入江(株)およびテクノス(株)と共同開発したCCD非接触振動測定器「ユレトール」を用いた。

本振動測定器は画像処理の原理を応用したもので、CCDカメラにより測定対象物を視準し、背景と対象物の輝度の差を利用して変位の時刻歴変化を記録するものである。「ユレトール」本体でスペクトル解析が実施でき



図3 振動測定ユニット

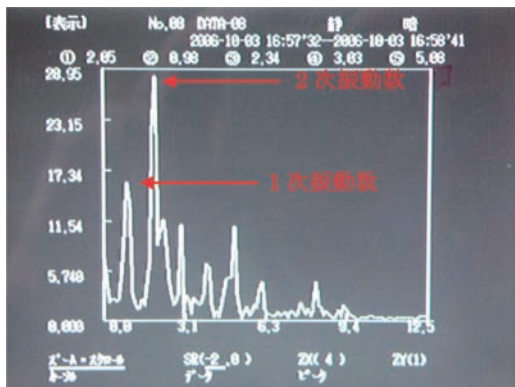


図4 ユレトールによるスペクトル解析結果の一例

るため、固有振動数の検出結果をリアルタイムに確認することができる。さらに、対象物へのセンサ類やターゲットなどの貼付けが不要であり、配線作業も必要ないため、測定作業の大幅な省力化、安全性の確保が可能となる。

今回用いた振動測定ユニットを図3に示す。本ユニットは屋外点検調査での操作性を向上させるべく、CCDカメラを電動制御式、電源をバッテリー供給型としたものである⁶⁾。

3.2 測定要領

本橋における振動測定の要領を図5に示す。測定に要する人員は、測定機器の操作、ケーブルの加振、交通安全のための監視をそれぞれ1名ずつで担当し、3人体制とした。

測定は歩道および自転車道から出ることなく実施できるため、当日の車両通行制限は不要であったが、大型車両の通過時には橋梁本体の振動による悪影響が心配されたため、測定するタイミングには注意を払った。

ケーブルを視準する箇所は、振動法による張力算出で必要となる1次および2次の固有振動の振幅が大きくなる、ケーブル長の1/4点付近とした。

なお、振動測定のサンプリング周波数を200Hz、サンプル数を2,048個として約10秒間ずつのデータ採取とした。

3.3 測定結果

ケーブル張力の測定結果を表1に示す。また、ケーブル張力の経年変化を調べるため、過去の2回、および今回(18年後)の張力をそれぞれ完成時の張力と比較したものを表2に示す。なお、今回の測定時の気温は平均約15.4℃であったので、完成時(7℃)の張力と単純比較するため、温度変化による各ケーブルの張力変化を解析により算出し、補正を行っている。

まず、過去2回とともに測定していたケーブルに着目する。今回の測定結果と比較したとき、今までの点検履歴から大きく逸脱するような変動や異常は認められない。次に、完成時との比較では、自転車道側ケーブルK'8Bのみ張力変動が大きい結果となった。しかし、供用開始1年後、および5年後の値と今回をそれぞれ比較すると、それほど大差がないことから、完成時の測定値に何らかの影響による測定誤差が含まれていたと推測される。

次に、完成時以後では今回初めて張力測定を行ったケーブルについても、完成時からの大きな変化は認められず、供用後18年経過した現在においても、斜張橋としての機能には全く問題はないと思われる。

なお、今回は全56本のケーブルの張力測定を1日で完了することができた。測定の準備や片付けを含めても、ケーブル1本当たり10分以内での測定を実施できたことから、「ユレトール」の測定効率の良さを実証できたと考えている。

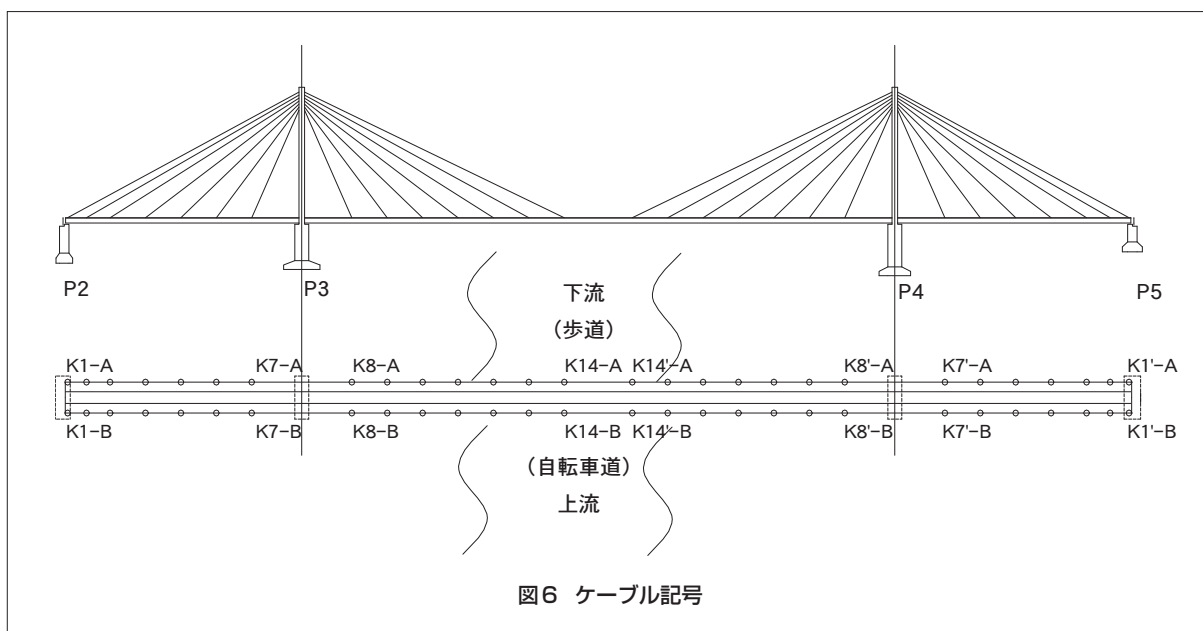
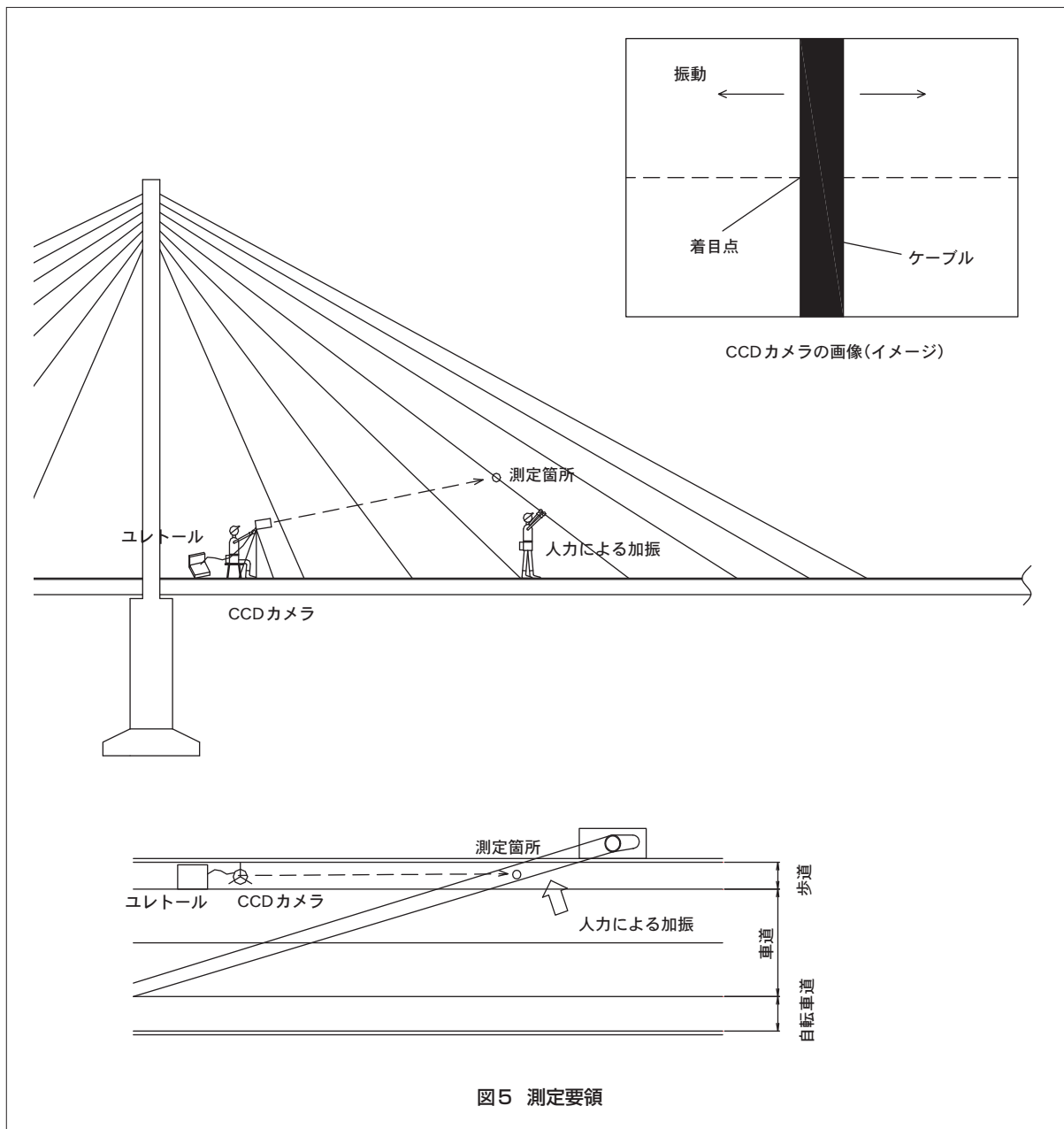


表1 ケーブル諸元および張力算定結果

	ケーブル No.	ケーブル諸元						測定結果			
		断面積	断面2次モーメント	ヤング係数	単位重量	ケーブル長	傾斜角	固有振動数		張力(tf)	
		A(m ²)	Ic(m ⁴)	E(tf/m ²)	w(tf/m)	Lo(m)	θ(deg)	1次(Hz)	2次(Hz)		
下流側 (歩道側)	K1-A	0.01158	1.0660E-05	2.050E+07	0.1210	114.100	26.0356	0.68	1.46	334.5	
	K2-A	0.00327	8.5000E-07	2.050E+07	0.0409	103.923	27.5156	0.78	1.66	123.9	
	K3-A	0.00419	1.3900E-06	2.050E+07	0.0463	94.567	30.0159	0.98	1.86	159.1	
	K4-A	0.00419	1.3900E-06	2.050E+07	0.0463	81.202	34.3704	0.98	2.05	128.8	
	K5-A	0.00419	1.3900E-06	2.050E+07	0.0463	68.596	41.0106	1.17	2.34	117.9	
	K6-A	0.00327	8.5000E-07	2.050E+07	0.0409	57.447	50.1656	1.27	2.64	85.8	
	K7-A	0.00327	8.5000E-07	2.050E+07	0.0409	45.745	63.5300	1.66	3.32	92.3	
	K8-A	0.00327	8.5000E-07	2.050E+07	0.0409	45.392	63.4120	1.66	3.22	90.8	
	K9-A	0.00327	8.5000E-07	2.050E+07	0.0409	56.939	49.5321	1.37	2.73	98.3	
	K10-A	0.00419	1.3900E-06	2.050E+07	0.0463	68.002	40.2826	1.17	2.44	115.8	
	K11-A	0.00419	1.3900E-06	2.050E+07	0.0463	80.549	33.5757	1.07	2.15	136.9	
	K12-A	0.00466	1.7300E-06	2.050E+07	0.0557	93.870	29.1851	0.88	1.76	153.3	
	K13-A	0.0035	9.8000E-07	2.050E+07	0.0421	107.650	25.5205	0.78	1.46	105.6	
	K14-A	0.0102	8.2900E-06	2.050E+07	0.1050	122.225	23.1405	0.68	1.46	335.7	
	K14'-A	0.0102	8.2900E-06	2.050E+07	0.1050	122.358	23.1405	0.68	1.46	336.4	
	K13'-A	0.0035	9.8000E-07	2.050E+07	0.0421	107.775	25.5205	0.78	1.46	105.8	
	K12'-A	0.00466	1.7300E-06	2.050E+07	0.0557	93.989	29.1851	0.88	1.76	153.7	
	K11'-A	0.00419	1.3900E-06	2.050E+07	0.0463	80.659	33.5757	1.07	2.05	137.3	
	K10'-A	0.00419	1.3900E-06	2.050E+07	0.0463	68.101	40.2826	1.17	2.44	116.1	
	K9'-A	0.00327	8.5000E-07	2.050E+07	0.0409	57.021	49.5321	1.37	2.73	98.6	
	K8'-A	0.00327	8.5000E-07	2.050E+07	0.0409	45.447	63.4120	1.56	3.13	80.1	
	K7'-A	0.00327	8.5000E-07	2.050E+07	0.0409	45.690	63.5300	1.66	3.32	92.0	
	K6'-A	0.00327	8.5000E-07	2.050E+07	0.0409	57.366	50.1656	1.37	2.73	99.8	
	K5'-A	0.00419	1.3900E-06	2.050E+07	0.0463	68.496	41.0106	1.17	2.44	117.5	
	K4'-A	0.00419	1.3900E-06	2.050E+07	0.0463	81.092	34.3704	1.07	2.15	138.8	
	K3'-A	0.00419	1.3900E-06	2.050E+07	0.0463	94.446	30.0159	0.98	1.86	158.7	
	K2'-A	0.00327	8.5000E-07	2.050E+07	0.0409	103.797	27.5156	0.78	1.56	109.0	
	K1'-A	0.01158	1.0660E-05	2.050E+07	0.1210	113.968	26.0356	0.68	1.46	333.7	
上流側 (自転車道側)	K1-B	0.01158	1.0660E-05	2.050E+07	0.1210	114.100	26.0356	0.68	1.46	334.5	
	K2-B	0.00327	8.5000E-07	2.050E+07	0.0409	103.921	27.5156	0.78	1.56	109.2	
	K3-B	0.00419	1.3900E-06	2.050E+07	0.0463	94.562	30.0159	0.88	1.86	144.8	
	K4-B	0.00419	1.3900E-06	2.050E+07	0.0463	81.195	34.3704	0.98	2.05	128.8	
	K5-B	0.00419	1.3900E-06	2.050E+07	0.0463	68.587	41.0106	1.07	2.15	99.9	
	K6-B	0.00327	8.5000E-07	2.050E+07	0.0409	57.439	50.1656	1.27	2.54	85.8	
	K7-B	0.00327	8.5000E-07	2.050E+07	0.0409	45.739	63.5300	1.46	2.93	70.9	
	K8-B	0.00327	8.5000E-07	2.050E+07	0.0409	45.385	63.4120	1.56	3.13	79.9	
	K9-B	0.00327	8.5000E-07	2.050E+07	0.0409	56.927	49.5321	1.17	2.34	71.2	
	K10-B	0.00419	1.3900E-06	2.050E+07	0.0463	67.988	40.2826	1.07	2.25	107.6	
	K11-B	0.00419	1.3900E-06	2.050E+07	0.0463	80.534	33.5757	0.98	1.95	114.4	
	K12-B	0.00466	1.7300E-06	2.050E+07	0.0557	93.852	29.1851	0.78	1.66	136.0	
	K13-B	0.0035	9.8000E-07	2.050E+07	0.0421	107.632	25.5205	0.78	1.46	105.5	
	K14-B	0.0102	8.2900E-06	2.050E+07	0.1050	122.208	23.1405	0.68	1.37	294.8	
	K14'-B	0.0102	8.2900E-06	2.050E+07	0.1050	122.341	23.1405	0.68	1.46	336.3	
	K13'-B	0.0035	9.8000E-07	2.050E+07	0.0421	107.757	25.5205	0.78	1.46	105.8	
	K12'-B	0.00466	1.7300E-06	2.050E+07	0.0557	93.971	29.1851	0.88	1.76	153.6	
	K11'-B	0.00419	1.3900E-06	2.050E+07	0.0463	80.643	33.5757	0.98	1.95	114.7	
	K10'-B	0.00419	1.3900E-06	2.050E+07	0.0463	68.087	40.2826	1.07	2.25	107.9	
	K9'-B	0.00327	8.5000E-07	2.050E+07	0.0409	57.009	49.5321	1.27	2.54	84.5	
	K8'-B	0.00327	8.5000E-07	2.050E+07	0.0409	45.440	63.4120	1.46	2.93	69.9	
	K7'-B	0.00327	8.5000E-07	2.050E+07	0.0409	45.684	63.5300	1.56	3.13	81.0	
	K6'-B	0.00327	8.5000E-07	2.050E+07	0.0409	57.358	50.1656	1.27	2.54	85.5	
	K5'-B	0.00419	1.3900E-06	2.050E+07	0.0463	68.487	41.0106	1.07	2.15	99.5	
	K4'-B	0.00419	1.3900E-06	2.050E+07	0.0463	81.085	34.3704	0.98	2.05	128.4	
	K3'-B	0.00419	1.3900E-06	2.050E+07	0.0463	94.441	30.0159	0.88	1.86	144.4	
	K2'-B	0.00327	8.5000E-07	2.050E+07	0.0409	103.794	27.5156	0.78	1.56	109.0	
	K1'-B	0.01158	1.0660E-05	2.050E+07	0.1210	113.968	26.0356	0.68	1.46	333.7	

表2 ケーブル張力の経年比較

ケーブル No.	解析値	測定値					経年比較					
	①	②	③	④	⑤	⑥	②/③	②-③	②/④	②-④	②/⑤	②-⑤
	+1℃当りの 張力増加 T+1℃	完成時 【+7℃】 (tf)	供用1ヶ年 【+7℃】 (tf)	供用5ヶ年 【+7℃】 換算値 (tf)	供用18ヶ年(今回測定) (tf)		1ヶ年時		5ヶ年時		18ヶ年時	
					実測値 【+15.4℃】	⑤-(①×8.4℃) 【+7℃】換算値	完成時 供用1ヶ年	完成時 -供用1ヶ年 (tf)	完成時 供用5ヶ年	完成時 -供用5ヶ年 (tf)	完成時 供用18ヶ年	完成時 -供用18ヶ年 (tf)
K1-A	3.65	319.0	307.6	314.1	334.5	303.8	1.04	11.4	1.02	10.2	1.05	15.2
K2-A	-0.26	119.0			123.9	126.1					0.94	-7.1
K3-A	-1.33	149.9			159.1	170.3					0.88	-20.4
K4-A	-1.78	134.3	122.8	140.9	116.5	131.4	1.09	11.5	0.95	9.5	1.02	2.9
K5-A	-1.39	119.2			117.9	129.6					0.92	-10.4
K6-A	-0.53	93.7			85.8	90.3					1.04	3.4
K7-A	-0.08	94.1	94.1	94.2	92.3	92.9	1.00	0.0	1.00	1.3	1.01	1.2
K8-A	-0.13	95.0	95.4	90.3	90.8	91.9	1.00	-0.4	1.05	-1.5	1.03	3.2
K9-A	-0.12	106.7			98.3	99.3					1.07	7.4
K10-A	-0.10	127.4			115.8	116.6					1.09	10.8
K11-A	-0.03	138.5	138.5	144.3	136.9	137.1	1.00	0.0	0.96	7.1	1.01	1.4
K12-A	0.04	147.5			153.3	153.0					0.96	-5.4
K13-A	0.07	115.6			105.6	105.0					1.10	10.6
K14-A	0.17	355.7	355.7	352.6	335.7	334.2	1.00	0.0	1.01	18.3	1.06	21.5
K14'-A	0.17	332.7	344.5	341.4	336.4	335.0	0.97	-11.8	0.97	6.4	0.99	-2.3
K13'-A	0.07	112.1			105.8	105.2					1.06	6.8
K12'-A	0.04	152.3			153.7	153.4					0.99	-1.0
K11'-A	-0.03	132.4	135.1	134.8	137.3	137.5	0.98	-2.7	0.98	-2.8	0.96	-5.1
K10'-A	-0.10	127.8			116.1	117.0					1.09	10.8
K9'-A	-0.12	92.3			98.6	99.6					0.93	-7.3
K8'-A	-0.13	87.2	87.2	91.9	80.1	81.2	1.00	0.0	0.95	10.7	1.07	6.0
K7'-A	-0.08	88.2	88.2	94.0	92.0	92.7	1.00	0.0	0.94	1.3	0.95	-4.5
K6'-A	-0.53	100.8			99.8	104.3					0.97	-3.5
K5'-A	-1.39	129.3			117.5	129.2					1.00	0.1
K4'-A	-1.78	140.5	131.4	150.2	138.8	153.7	1.07	9.1	0.93	-3.5	0.91	-13.3
K3'-A	-1.33	149.5	153.6		158.7	169.9	0.97	-4.2			0.88	-20.4
K2'-A	-0.26	115.0			109.0	111.2					1.03	3.9
K1'-A	3.65	341.5	335.8	325.2	333.7	303.0	1.02	5.7	1.05	22.2	1.13	38.5
K 1-B	3.65	330.6	307.6	314.1	334.5	303.8	1.07	23.0	1.05	10.2	1.09	26.7
K 2-B	-0.26				109.2	111.4						
K 3-B	-1.33				144.8	156.0						
K 4-B	-1.78	121.6	121.6	147.3	128.8	143.8	1.00	0.0	0.83	3.6	0.85	-22.2
K 5-B	-1.39				99.9	111.5						
K 6-B	-0.53				85.8	90.2						
K 7-B	-0.08	77.6	62.8	80.3	70.9	71.6	1.24	14.9	0.97	8.7	1.08	6.0
K 8-B	-0.13	87.0	87.0	90.3	79.9	81.0	1.00	0.0	0.96	9.3	1.07	6.0
K 9-B	-0.12				71.2	72.2						
K 10-B	-0.10				96.5	97.3						
K 11-B	-0.03	120.7	118.2	124.8	114.4	114.6	1.02	2.5	0.97	10.2	1.05	6.1
K 12-B	0.04				136.0	135.7						
K 13-B	0.07				105.5	104.9						
K 14-B	0.17	320.2	322.6	328.8	294.8	293.3	0.99	-2.4	0.97	35.5	1.09	26.9
K 14'-B	0.17	332.6	323.0	341.3	336.3	334.9	1.03	9.6	0.97	6.4	0.99	-2.3
K 13'-B	0.07				105.8	105.2						
K 12'-B	0.04				153.6	153.3						
K 11'-B	-0.03	114.9	118.4	119.0	114.7	114.9	0.97	-3.5	0.97	4.0	1.00	0.0
K 10'-B	-0.10				107.9	108.8						
K 9'-B	-0.12				84.5	85.5						
K 8'-B	-0.13	110.6	76.6	82.3	69.9	71.0	1.44	34.1	1.34	11.3	1.56	39.6
K 7'-B	-0.08	88.2	88.2	91.1	81.0	81.7	1.00	0.0	0.97	9.4	1.08	6.5
K 6'-B	-0.53				85.5	90.0						
K 5'-B	-1.39				99.5	111.2						
K 4'-B	-1.78	127.5	123.5	143.7	128.4	143.4	1.03	4.0	0.89	0.3	0.89	-15.9
K 3'-B	-1.33		149.4		144.4	155.6						
K 2'-B	-0.26				109.0	111.2						
K 1'-B	3.65	329.8	329.8	313.3	333.7	303.0	1.00	0.0	1.05	10.2	1.09	26.7

4. おわりに

今回の点検では、供用開始後18年目となる3度目のケーブル張力を測定し、その結果をこれまでの値と比較した。その結果、斜張橋としてのケーブル機能に問題が生じていないことがわかった。また、ケーブルの張力測定と同時に、橋面から目視で確認できる範囲で1本ずつケーブルの外観を確認したところ、大きな外傷は見られなかった。ただし、定着部のゴムカバーなどが少しずつ劣化しているのが確認できたため、それら消耗品等については引き続き計画的に取替えができれば、耐久性は向上すると思われる。

近年、鋼橋の維持管理については様々な議論がなされ、既存社会資本ストックの有効活用という観点からも注目されている。特に本稿で着目した十勝中央大橋の周辺河川敷は、美観的にも優れた一大観光スポットであることから、観光立国の推進という意味でも、本橋は重要度の高い社会資本といえる。

今回のような点検も含め、今後も適切な維持管理を行うことが、構造物の長寿命化の一步となると考える。

謝辞

本稿の発表にあたり、計画、調査、データ収集などに全面的にご協力いただきました、管理者である音更町建設水道部土木課維持管理係の方々に、深く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 農業土木新聞社：十勝中央大橋 工事報告書：1989.11
- 2) 平田直道・福岡利之・串田守可・寺西功・村田広治：十勝中央大橋の維持管理について：栗本技報No.24、pp16-27、1991.1
- 3) CCD非接触振動測定器『ユレトール』、栗本技報No.44(2001.3)、pp.68-69
- 4) 田中正明、木村隆一、脇田良夫：CCD非接触振動測定器(ユレトール)の性能確認試験、栗本技報No.46(2002.3)、pp.27-35
- 5) 新家徹、広中邦汎、頭井洋、西村春久：振動法によるケーブル張力の实用算定式について、土木学会論文報告集第294号(1980.2)、pp25-32
- 6) 点検・調査での操作性を向上させた非接触振動測定器「ユレトール」の開発、クリモト技報No.50(2004.3)、pp.122-125

執筆者

齋藤 剛

Takeshi Saito

平成11年入社

鋼橋の設計、架設工事、生産管理に従事



杉原尚志

Hisashi Sugihara

平成16年入社

鋼橋の設計、生産管理に従事



高松 潤

Jun Takamatsu

平成11年入社

鋼橋の設計に従事

技術士(建設部門)



田中正明

Masaaki Tanaka

平成4年入社

鋼橋に関する研究・開発に従事

技術士(建設部門)

