

## 北陸新幹線黒部川橋梁における季節変動に伴う外ケーブルの挙動

(独) 鉄道・運輸機構 ○横山 秀喜  
 (独) 鉄道・運輸機構 正会員 井上 翔  
 (独) 鉄道・運輸機構 牧山 重友  
 ジェイアール東日本コンサルタンツ(株) 羽矢 洋

### 1. はじめに

北陸新幹線の黒部川橋梁（以下、「黒部川B」と呼ぶ）は、日本の鉄道橋において唯一の波形鋼板ウェブPC橋であり、橋長344 mの6径間連続ラーメン箱桁橋（2×50m+2×72m+2×50m）である（図-1）。

本橋の外ケーブルは、横桁およびディビーターを介して偏向するため、定着部および偏向部の間隔ならびに張力に応じて、外ケーブルの固有振動数が異なる。筆者らは、竣工から12年経過した本橋梁の外ケーブルの振動特性および張力の把握を目的として、外ケーブルの固有振動数および列車通過時の外ケーブルの実振動数の計測を冬季に実施した<sup>1)</sup>。その後も、外ケーブルの振動特性について継続計測（夏季、冬季）を実施した。本稿は、その計測結果について報告し、考察を行うものである。

### 2. 黒部川Bの構造概要

黒部川Bで使用した外ケーブルは19S15.2を用いており、定着方法にはフレシナー工法を採用している。外ケーブルの固定長は最長区間のP6～P8間で約147mであり、10本のケーブルを横桁およびディビーターを介して偏向させている。標準断面図を図-2、箱内外ケーブルの状況を写真-1に示す。

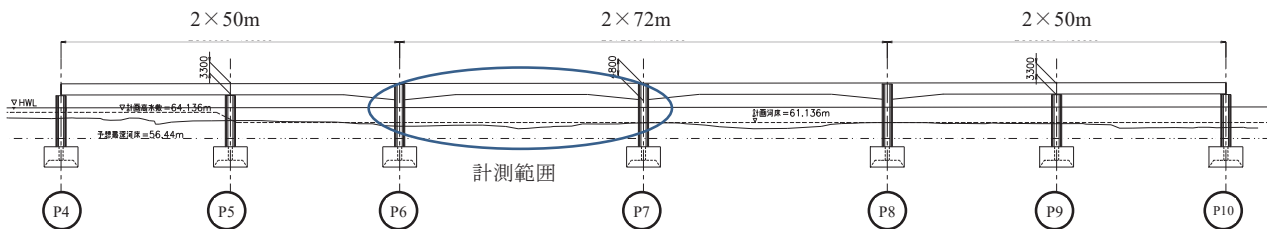


図-1 黒部川B全体図

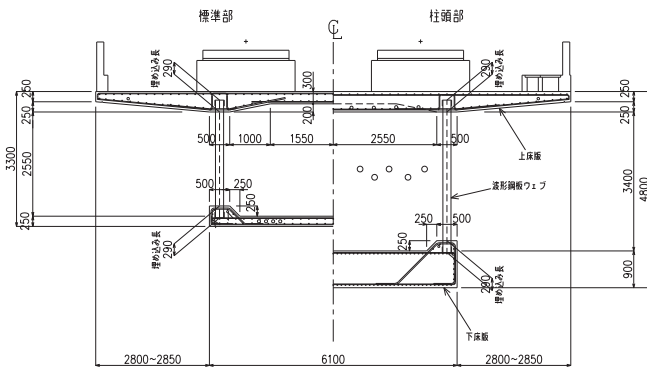


図-2 黒部川B標準断面図



写真-1 黒部川B外ケーブル

### 3. 測定内容

#### 3.1 衝撃振動試験

外ケーブル固有振動数の特定は、手ハンマー打撃による衝撃振動試験により実施した(写真-2)。本試験は、重さ 800g 程度の手ハンマーでケーブルを軽く打撃し、これによりケーブルが弦の形で振動するときの状況を 3 軸加速度無線センサ(写真-3)を用い、加速度波形として収録した。弦の固有振動数は、収録した波形に対し FFT 解析を行うことで特定した。なお、試験では弦スパン中央を打撃することで弦の 1 次と 3 次の固有振動を、さらに弦スパン 1/4 の位置を打撃することで 2 次の固有振動を特定した。なお、測定位置は外ケーブルの定着部および偏向部の間隔に着目し設定した(図-3)。また測定時期は、季節変動に伴う固有振動数の変化を把握するため、冬季①⇒夏季①⇒冬季②の 1 年間に亘って実施した。



写真-2 衝撃振動試状況

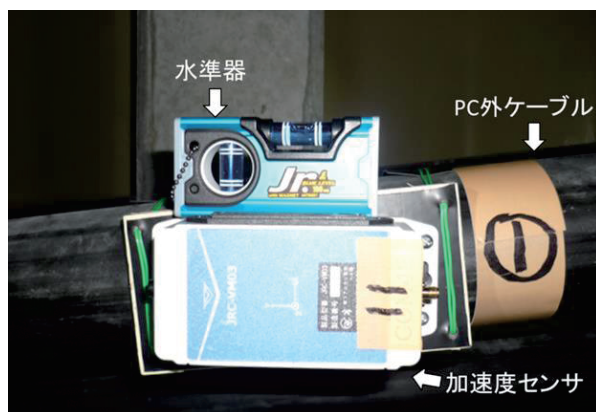


写真-3 3軸加速度無線センサ

#### 3.2 新幹線列車通過時の振動計測

新幹線列車が橋梁上を通過する際に生じる外ケーブルの振動特性を把握するため、3軸加速度センサシステムを用いて水平2方向(線路方向および線路直角方向)と鉛直方向の振動計測を行った。振動計測の収録条件としては、サンプリング周波数が 200Hz、収録時間は列車が進來し、走り去るまでの間継続的に波形収録を行っている。測定位置は、衝撃振動試験と同位置で実施した(図-3)。

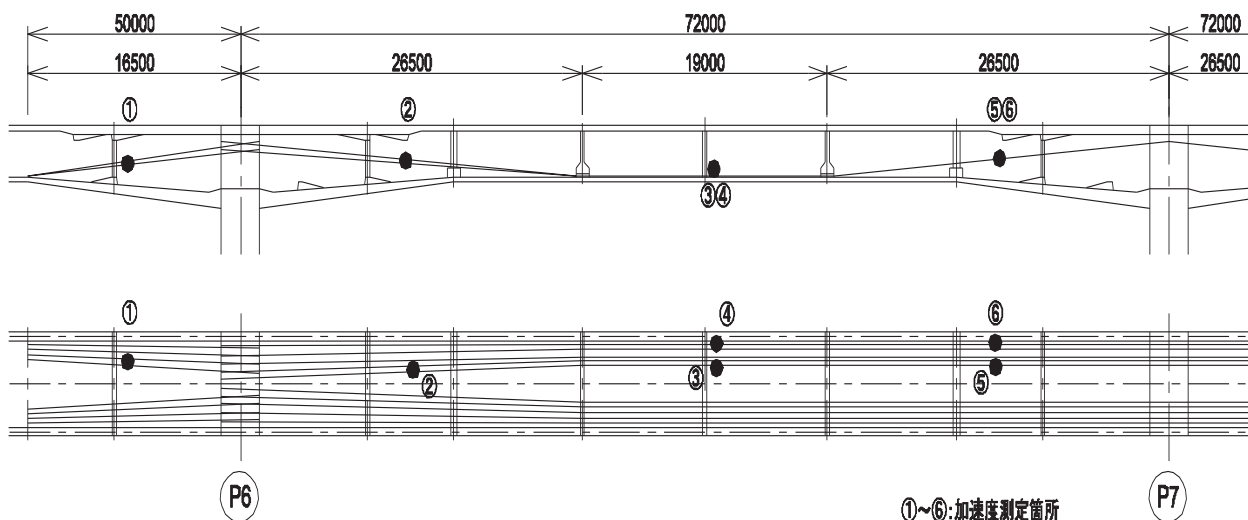


図-3 測定位置図

4. 計測結果および考察

4. 1 衝撃振動試験

(1) 外ケーブルの固有振動数

表-1に冬季①, 夏季①, 冬季②の衝撃振動試験結果を示す。

表-1 衝撃振動試験結果

測点			①	②	③	④	⑤	⑥		開始時	終了時	
冬季①	ケーブル 固有振動数 (Hz)	1次モード	12.27	7.39	9.77	9.46	7.32	7.02	外気温	8	11	
		2次モード	24.35	14.83	19.53	18.98	14.65	14.04	壁温度	10	12	
		3次モード	36.62	22.22	29.42	28.56	22.03	21.12	ケーブル温度	8.2	8.2	
2015/02/23	夏季①	ケーブル 固有振動数 (Hz)	1次モード	12.15	7.32	9.58	9.28	7.14	6.9	外気温	26	27
			2次モード	24.17	14.65	19.23	18.68	14.34	13.79	壁温度	28.2	29.6
			3次モード	36.13	21.91	28.87	28.02	21.55	20.63	ケーブル温度	27.9	27.4
2015/08/28	冬季②	ケーブル 固有振動数 (Hz)	1次モード	12.27	7.39	9.77	9.52	7.32	7.02	外気温	3.20	4.90
			2次モード	24.54	14.83	19.59	19.04	14.71	14.10	壁温度	5.60	7.30
			3次モード	36.62	22.22	29.54	28.69	22.03	21.12	ケーブル温度	4.90	5.90
2015/12/26	計算値	ケーブル 固有振動数 (Hz)	1次モード	12.60	7.53	10.45	10.45	7.61	7.61			
			2次モード	25.20	15.06	20.90	20.90	15.22	15.22			
			3次モード	37.80	22.59	31.35	31.35	22.83	22.83			

表-1に示すように、冬季①から夏季①では、わずかながら固有振動数の違いが見られた。これは、温度上昇に伴い、ケーブルが伸びた影響で固有振動数が低下したものと考えられる。その後、夏季①から冬季②では温度低下に伴い、固有振動数が上昇していた。なお、冬季①と冬季②を比べると固有振動数が同様であった。これは、竣工後12年が経過し、クリープや収縮は収束したものと考えられる。

(2) 衝撃振動試験結果に基づくケーブル張力の算定

黒部川橋梁の外ケーブルの固有振動数は、偏向部を固定端とする弦の振動理論通りに振動していることが明らかになっている<sup>1)</sup>。したがって、ケーブルに導入されている張力Tは式(1)に示す理論式で算定可能と考え、その理論式にて計算した張力を表-2に示す。なお計算に用いたケーブル長Lは、偏向部間の長さとし、ケーブル密度ρは使用材料カタログより24kg/mを用いた。

$$T = 4 \times L^2 \nu^2 \rho \tag{1}$$

ここに

T : ケーブル張力 (kN)

L : ケーブル長 (m)

ν : 固有振動数 (Hz)

ρ : ケーブル密度 (kg/m)

設計導入軸力は、2,835kNであるため、冬季および夏季においても設計導入軸力は些少なから大きめに担保されていることが確認できた。

表-2 固有振動数から求まるケーブル張力

測点	ケーブル	冬季②張力		夏季①張力	
	mm	Hz	kN	Hz	kN
①	15,573	12.27	3,505	12.15	3,437
②	26,053	7.39	3,559	7.32	3,491
③	18,776	9.77	3,230	9.58	3,106
④	18,776	9.52	3,067	9.28	2,915
⑤	25,782	7.32	3,419	7.14	3,253
⑥	25,782	7.02	3,145	6.90	3,038

4. 2 新幹線列車通過時の動的挙動

列車通過時の測点②(右下がりケーブル), 測点④(水平ケーブル), 測点⑤(右上がりケーブル)の冬季①と夏季①に実測したリサージュを図-4に示す。各々3列に並んだ図の左図は縦軸が線路方向, 横軸が鉛直方向の振動変位を軌跡として表現している。中図は縦軸が線路直角方向, 横軸が線路方向の軌跡を表し, 右図は縦軸が鉛直方向, 横軸が線路直角方向の軌跡を表している。結果, 列車通過時の各ケーブルの変位振幅は線路方向への振幅はほとんど生じず, 鉛直方向と線路直角方向には0.5mm程度の同等幅で振幅が生じていた。

なお、②のケーブル、⑤のケーブルをみると、左図および中図の軌跡は幾分傾斜を持っていることがわかる。これはケーブルが右下がり、あるいは右上がりの勾配を持っているのに対しセンサは水平となるよう水準器を用い設置したことに理由がある。つまり、ケーブルの軸心方向の動きのベクトルは水平方向に対し傾斜していることから、このような結果になったものと考えられる。

冬季と夏季の比較では、両者に有意な差はないと判断できる。これは、季節変動の影響によるケーブル張力変化に差がないことから同様の結果となったことが想定される。

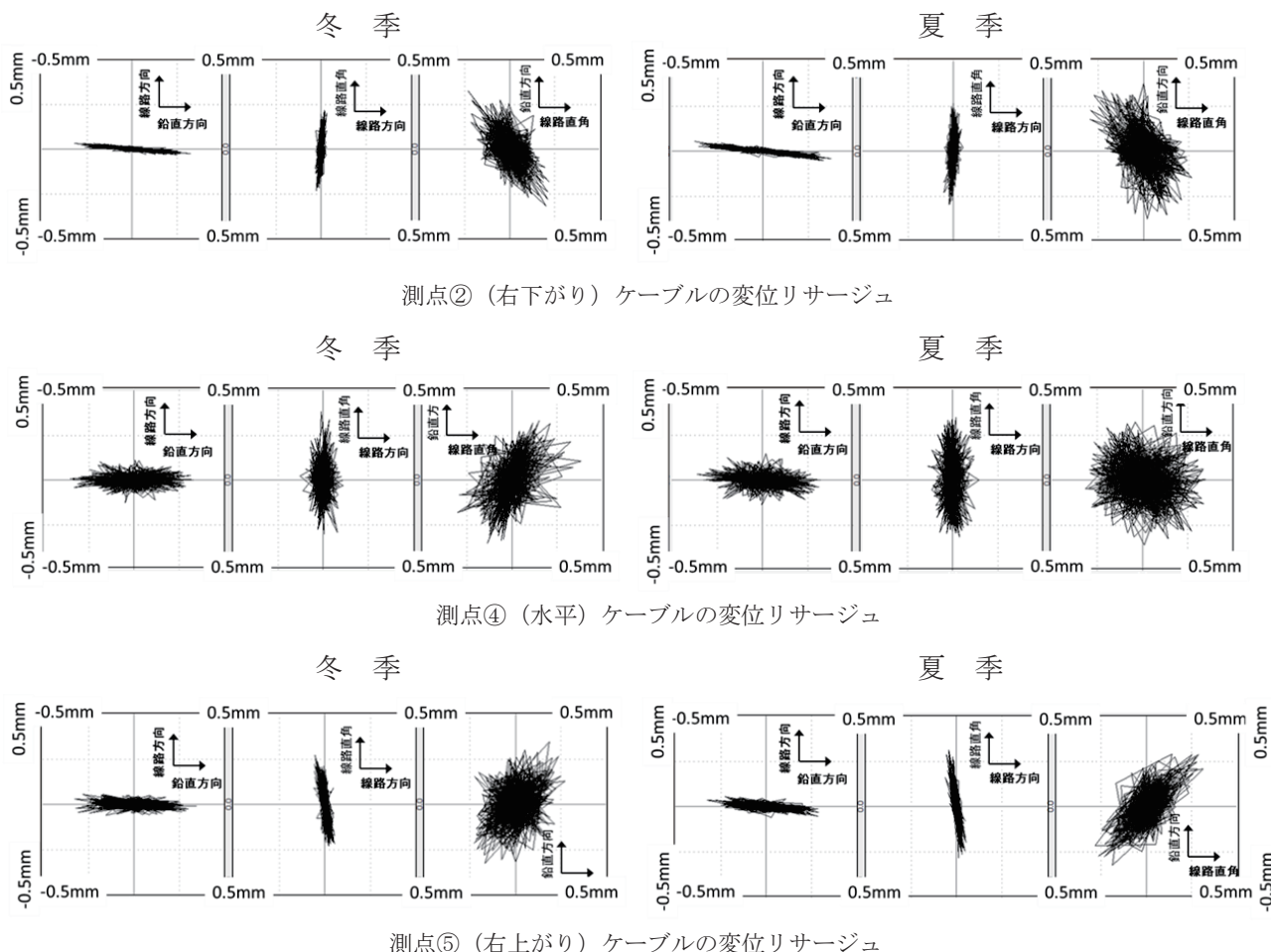


図-4 列車通過時の変位リサージ

## 5. まとめ

黒部川Bの外ケーブルの振動特性や張力の把握を目的として季節変動を考慮した衝撃振動試験によるケーブルの固有振動数の実測および列車通過時のケーブルの動的挙動を把握した。

季節毎の衝撃振動試験により、外ケーブルの固有振動数が特定できた。季節変動に伴う固有振動数およびケーブル張力の変化は些少で有意な張力の変化は認められなかった。それは、しゅん功後12年が経過した現在ではクリープや収縮は収束した影響であると考えられる。列車通過時のリサージに着目すると、季節変動によって大きく変位・方向が異なるものではなかった。これにより、黒部川橋梁の外ケーブルにおいては、季節変動による大きな振動の変化はないものと考えられる。

参考文献：1) 横山秀喜ら：北陸新幹線黒部川橋梁における列車走行時の外ケーブルの挙動について、プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム,H27.10