

## 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

(独) 鉄道・運輸機構 ○横山 秀喜  
 (独) 鉄道・運輸機構 正会員 下津 達也  
 (独) 鉄道・運輸機構 舟竹 弘次  
 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、日本の鉄道橋では唯一の波形鋼板ウェブPC橋であり、橋長344mの連続ラーメン箱桁橋である。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。一方、桁の振動は、列車の高速走行に伴う強制振動、列車通過後の自由振動があり、外ケーブルの固有周期によっては共振が生じることが考えられる。

そこで、外ケーブルの挙動を把握するため、張力、固有振動数、加速度などについて計測を実施した。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の全体一般図を図-1、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。

構造形式：波形鋼板ウェブPC橋 (橋長L=344m (2×50m+2×72m+2×50m))

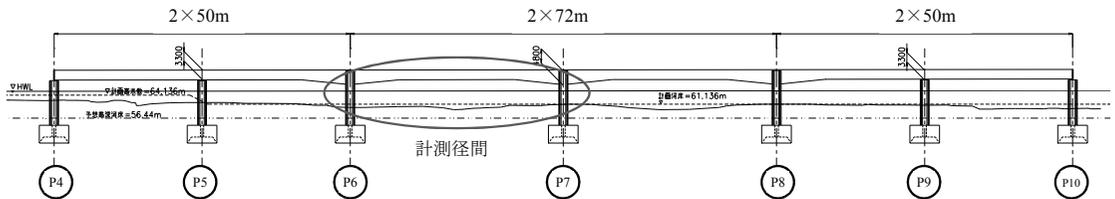


図-1 黒部川B全体図

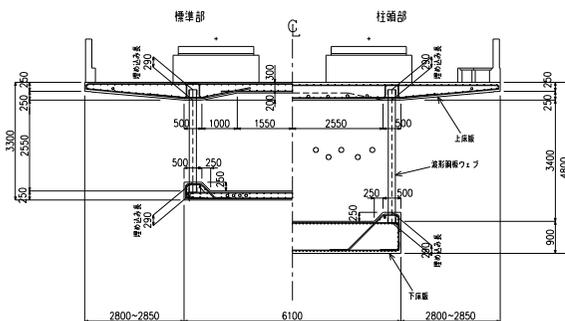


図-2 黒部川B標準断面図

使用外ケーブル：19S15.2 (フレシネー工法)

外ケーブル固定長：約147m (P6-P8径間)

外ケーブル本数：10本 (P6-P8径間)

### 3. 測定内容

本調査では、外ケーブルの振動特性を把握するため、以下の計測および解析を実施した。



写真-1 黒部川B外ケーブル

(1) 衝撃振動試験による外ケーブルの固有振動数の把握

ケーブルを対象に手ハンマー打撃による衝撃振動試験を実施し、外ケーブルの固有振動数を特定し、この値に基づき算出されるケーブル張力を把握する。

(2) 新幹線列車通過時における外ケーブルの動的挙動

新幹線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、ビデオ撮影および3軸加速度センサーシステム(写真-2)を用いた振動計測を行った。測定位置を図-3に示す。また、その結果および衝撃振動試験結果を踏まえ、共振現象発生の可能性について予測する。

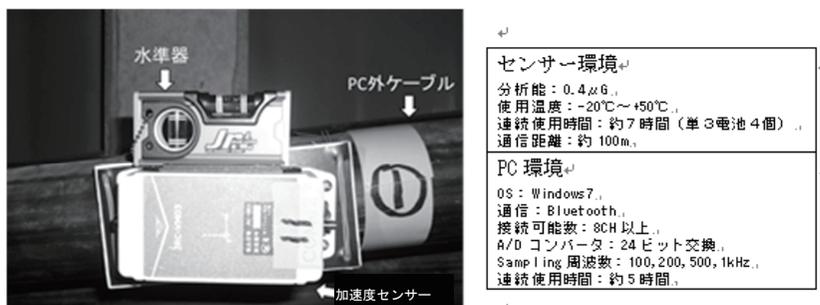


写真-2 加速度センサー

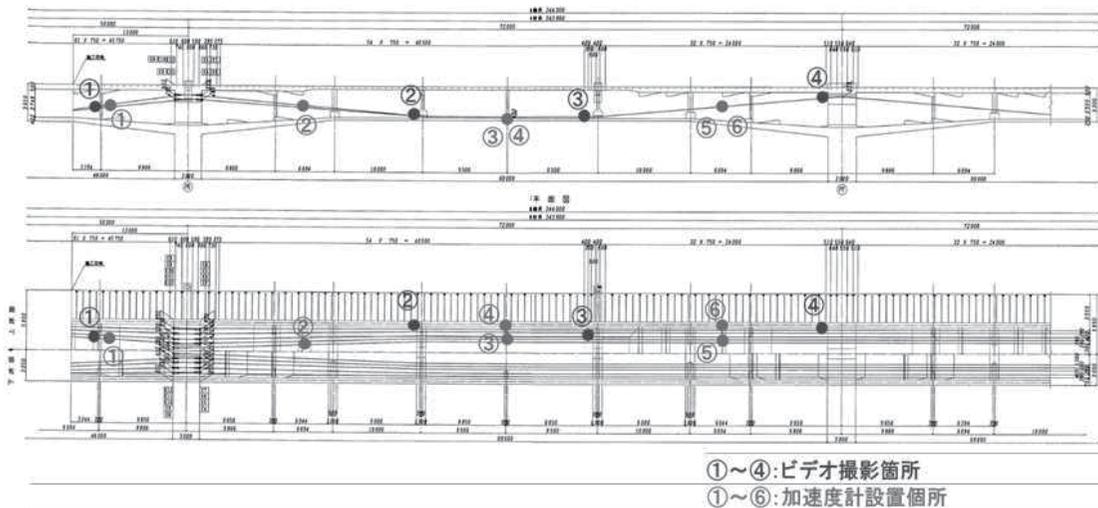


図-3 測定位置図

4. 測定結果

4.1 衝撃振動試験による外ケーブルの固有振動数の把握

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、これによってケーブルが弦の形で振動するときの加速度波形を収録した。弦の固有振動数は、収録した波形に対しFFT解析を行うことで同定した。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、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。表-1に衝撃振動試験で得られた実測固有振動数を示す。この結果をみると、1次の固有振動数から3次の固有振動数はいずれの測点の結果も、2倍・3倍の関係となっており、これによりケーブルは偏向部を両端とする境界条件のもと振動を発生していると考えられる。

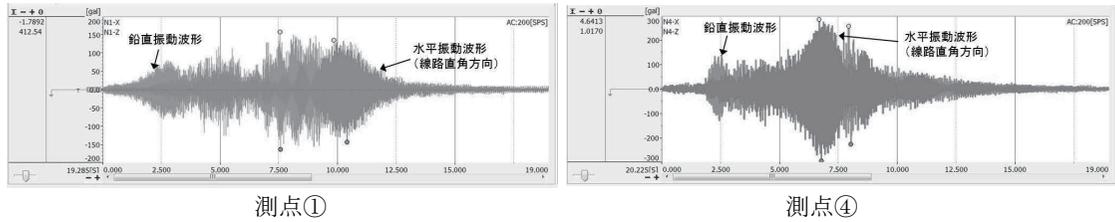
表－1 衝撃振動試験結果

振動数(Hz)	測点①	測点②	測点③	測点④	測点⑤	測点⑥
1次モード	12.27	7.39	9.77	9.46	7.32	7.02
2次モード	24.35	14.83	19.53	18.98	14.65	14.04
3次モード	36.62	22.22	29.42	28.56	22.03	21.12

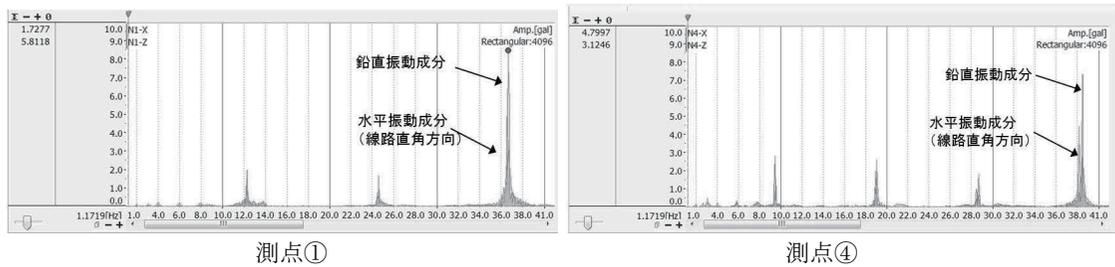
4.2 新幹線列車通過時における外ケーブルの動的挙動

ビデオ撮影は、ケーブルの軸方向（線路方向）の動きに着目することとした。結果、測点③で0.4mm程度の振幅があるものの動きはほぼ認められなかった。

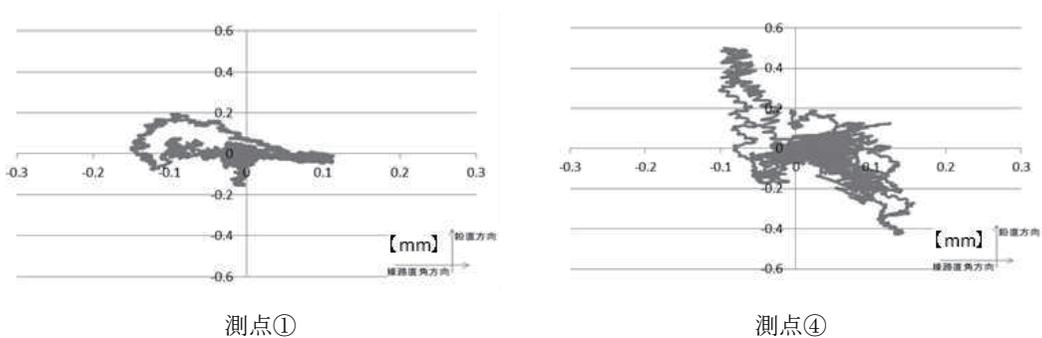
加速度センサーは、サンプリング周波数が200Hz、収録時間は列車が進入し走り去るまでの波形を継続的に収録した。測定結果のうち、列車通過時の水平（線路直角方向）～鉛直方向についての加速度波形を図－4、加速度フーリエスペクトルを図－5、変位リサージュを図－6、フーリエスペクトル解析結果により算出した1次モードの卓越振動数を表－2に示す。列車通過時の卓越振動数は、表－1に示す衝撃振動試験の固有振動数と一致した（2，3次も一致）。またリサージュは、測点④（測定時の最大変位）においても、列車通過時の鉛直方向で-0.4～0.5mm程度の変形振幅であった。



図－4 新幹線列車通過時の加速度波形



図－5 加速度波形のフーリエスペクトル解析結果



図－6 変位リサージュ（鉛直～水平（線路直角）成分）

表－2 列車通過時の卓越振動数（1次の卓越振動数）

振動数(Hz)	測点①	測点②	測点③	測点④	測点⑤	測点⑥
鉛直	12.27	7.39	9.77	9.46	7.32	7.02
水平(直角方向)	鉛直成分で確認できる卓越振動数と概ね一致					

5. 考察

5.1 衝撃振動試験結果に基づく張力の算定結果

衝撃振動試験の結果、各計測箇所において実測した1次の固有振動数から3次の固有振動数は2倍、3倍の関係であったことから、両端はばねを介さない固定条件になっているものと考えられる。

$$v_1 = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{T}{\rho}} \quad \Rightarrow \quad T = 4L^2 v_1^2 \rho$$

$v_1$  : ケーブルの1次の固有振動数  
 $T$  : ケーブル張力  
 $L$  : ケーブル長  
 $\rho$  : ケーブルの密度

したがって、発生している張力Tは右に示す理論式で算定可能と考えられ、その理論式にて計算した張力を表-3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た。

表-3 理論式による外ケーブルの張力算定結果と設計値

	測点①	測点②	測点③	測点④	測点⑤	測点⑥
ケーブル長L (mm)	15,573	26,053	18,776	18,776	25,782	25,782
計算張力Tm (kN)	3,506	3,559	3,231	3,029	3,420	3,145
設計張力Td (kN)	3,228					

5.2 列車通過時の外ケーブルの共振について

設計計算上のケーブル固有振動数fについては外ケーブルを用いたPC橋設計マニュアル<sup>1)</sup>により以下に示す式にて算出した。設計計算上の固有振動数と列車通過時の実測固有振動数を比較すると概ね同様の値が得られた(表-4)。衝撃振動試験によるケーブルの固有振動数および列車通過時に卓越するケーブルの固有振動数も同様であったため、列車通過時のケーブルは偏向部間で1次振動していると考えられる。

$$f = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{T \cdot g}{W}}$$

L: ケーブル自由長(m)  
 T: 緊張材張力(tf)  
 W: 単位長さ当り重量(t)  
 gは重力加速度(m/sec<sup>2</sup>)

表-4 設計上の固有振動数と実測値の比較 (Hz)

	測点②	測点③	測点④
計算値	7.53	10.45	10.45
実測値	7.39	9.77	9.46

列車が走行することでその車両が構造物を加振する現象においては、加振振動数は列車速度と1車両長、ボギー台車間隔、軸距の関係から算定可能であり、その中でも1車両長(25m)と列車の速度の関係からとまる加振振動数が最も構造物への影響が大きい。

260km/hで走行する新幹線車両の場合は、約2.9Hzの加振振動数となって影響してくるが、表-1に示す外ケーブルの固有振動数はいずれもその値より大きい固有振動数となっている。さらに、列車通過時の卓越固有振動数と衝撃振動試験の振動数が同様であるのは、列車通過に伴う振動が、ケーブルを共振させていないものと判断できる。なおボギー台車間隔、軸距に関してはその影響は些少であり、問題とならないと判断している。

6. まとめ

新幹線通過時において黒部川Bの外ケーブルが共振に陥ることの可能性を把握するため、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。その結果、衝撃振動試験によりケーブルの1次から3次までの固有振動数が特定され、外ケーブルの固有振動数は定着部および偏向部をスパンとする弦としての1次振動であることが確認できた。

また黒部川Bの外ケーブルは、走行列車が有する優勢な加振振動数とケーブルの持つ固有振動数の開きが大きかったことおよび衝撃振動試験で得られた固有振動数と列車通過時における弦の振動の卓越振動数とは一致していることを踏まえ、現状においてケーブルの共振を心配する要因はないと判断した。

参考文献: 1) 外ケーブルを用いたPC橋設計マニュアル(平成8年8月)(財)高速道路技術センター