

異なる振動方法による PC 斜張橋ケーブルの推定張力比較

(株)ネクスコ東日本エンジニアリング 正会員 〇西澤 大和

(株)ネクスコ東日本エンジニアリング 正会員 東田 典雅

(株)ネクスコ東日本エンジニアリング 非会員 柴田 信宏

(株)ネクスコ東日本エンジニアリング 非会員 佐々木 裕貴

(株)ネクスコ東日本エンジニアリング 正会員 赤木 琢也

リテックエンジニアリング株式会社 非会員 栗原 陵

1. はじめに

上信越自動車に位置する碓氷橋（斜張橋部）は、橋長 222.0m、主塔高さ 61m の 2 径間連続 PC 斜張橋である。本橋では、策定した維持管理マニュアルに準じて 5 年毎にケーブルの振動数を測定して張力を求め、設計張力と比較または経時変化から安全性を確認している。斜張橋ケーブルの振動数の計測手法には、常時微動による手法やロープによる人力加振、起振器による強制加振などがあり、いずれの計測手法でも精度良くケーブル張力の算定が可能ながことが報告されている²⁾。

本報では、PC 斜張橋においても同様に精度が良く効率的な張力計測手法を確認する目的で、常時微動と人力加振による振動測定を行い、算出した張力の比較結果について報告する。



写真 1 碓氷橋（斜張橋部）

2. 測定方法および張力算定方法

本報で比較したケーブルの断面諸元を表 1 に示す。測定は全ケーブル（36 本）で行ったが、比較に用いるケーブルは、定着間距離が最大（ケーブル S-1, S-18）と最小（ケーブル S-9, S-10）のそれぞれ上流側と下流側で計 8 本とした（図 1）。振動方法は、風や車両通過による常時微動とロープによる人力加振の計 2 種類である。

振動測定では加速度計をケーブル長 1/4～1/3 を目標に取付け、振動計を介してデータロガーに収録した。人力加振では加速度計の下側にロープを設置し、地上で作業員が加振し、自由振動を測定した。測定時間は振動数を十分な精度で得られるよう常時微動、人力加振共に 100Hz で 82 秒×3 回とした。

斜材ケーブルの張力は、これまでの維持管理において用いてきた張力算定方法（振動法）に基づき、1 次振動数により求められる張力（式 1）と 2 次振動数により求められる張力（式 2）の平均値に温度補正張力を加算して算出し、評価した¹⁾。

表 1 ケーブル諸元

No.	ケーブル仕様	断面二次モーメント (m ⁴)	弾性係数 (kN/m ²)	単位長さ辺り重量 (kN/m)	定着間距離 (m)	設計張力 (kN)
S-1	下流 L φ 7 _{mm} × 199 本	4.67. E-06	1.96. E+08	0.612	113.5	3658
	上流 R φ 7 _{mm} × 199 本	4.67. E-06	1.96. E+08	0.612	111.25	3658
S-9	下流 L φ 7 _{mm} × 241 本	6.85. E-06	1.96. E+08	0.749	37.85	4668
	上流 R φ 7 _{mm} × 241 本	6.85. E-06	1.96. E+08	0.749	38.25	4668
S-10	下流 L φ 7 _{mm} × 241 本	6.85. E-06	1.96. E+08	0.749	39.4	4786
	上流 R φ 7 _{mm} × 241 本	6.85. E-06	1.96. E+08	0.749	38.7	4786
S-18	下流 L φ 7 _{mm} × 199 本	4.67. E-06	1.96. E+08	0.612	116.06	3903
	上流 R φ 7 _{mm} × 199 本	4.67. E-06	1.96. E+08	0.612	116.05	3903

$$T_1 = \frac{4(f_1^2 - 2.2f_1C - 2C^2)wL^2}{9.8}$$
 式 1

$$T_2 = \frac{1.02wL^2}{8} \left(f_2^2 - \frac{6.26}{1.02} Cf^2 \right)$$
 式 2

ここで、 $C = \sqrt{\frac{Elg}{wL^4}}$

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/s²)，El：ケーブルの曲げ剛性(kN・m²)，f₁：1 次振動数(1/S)，f₂：2 次振動数(1/S)

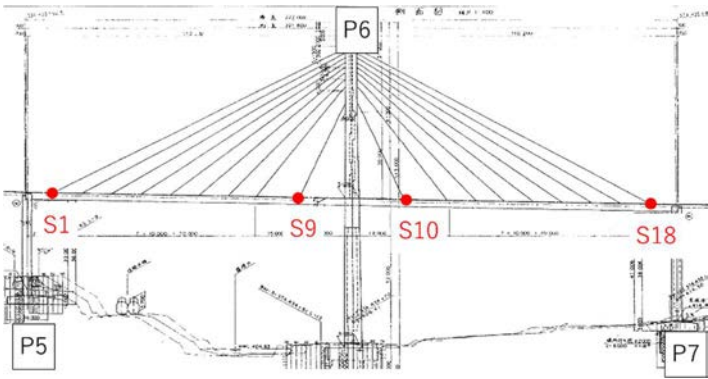


図 1 対象ケーブル位置図

キーワード PC 斜張橋，ケーブル，張力推定，振動法，常時微動，人力加振

連絡先 〒116-0014 東京都荒川区東日暮里 5-7-18 (株)ネクスコ東日本エンジニアリング TEL 03-3805-7926

3. 測定結果

3. 1 加速度応答波形と卓越周波数

各振動方法によるケーブル S-1:L の加速度応答波形を図 2 に示す．常時微動では，人力加振と比べて加速度は小さく，車両通過の影響がみられる．人力加振では，加振時における加速度が常時微動よりも大きいことが確認できる．

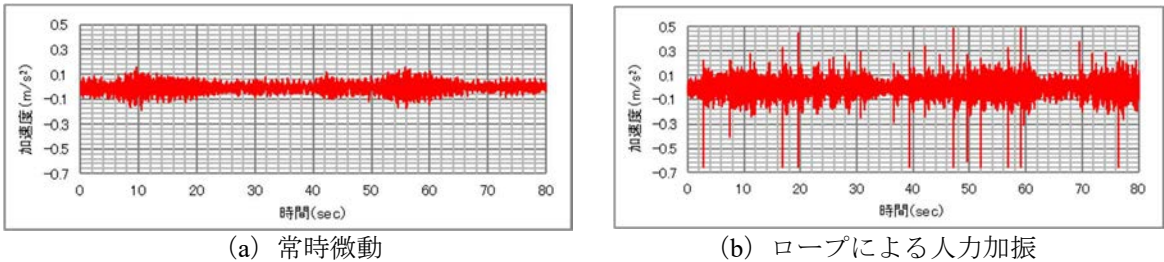


図 2 各振動方法の応答波形 ケーブル S-1:L

図 2 の加速度応答波形を FFT 処理したスペクトル図を図 3 に示す．図中の青囲みは，ケーブルの n 次の固有振動数を示している．スペクトル図から読み取った固有振動数の比較を表 2 に示す．1～5 次の各固有振動数の差は $\pm 2\%$ の範囲にあり，大きな違いは見られない．また，他のケーブルについても同様の傾向が見られた．

3. 2 張力算定結果の比較

各振動方法によるケーブル張力算定結果（振動法）を表 3 に示す．
全体的に常時微動と人力加振による計測結果に大きな違いはなく，人力加振による実測張力の $\pm 1\%$ 未満であった．また，本橋の全ケーブル（36 本）についても同様の結果が得られ，張力の差が最大のケーブルでも 1.3%であった．

4. まとめ

実橋で実施した振動法を用いたケーブルの張力計測結果の比較から，PC 斜張橋においても常時微動と人力加振による張力の差はほとんど見られなかった．各振動方法の作業性（計測人数，機材等）を考慮すると，より効率的に張力を推定可能である計測方法は常時微動であることが確認できた．

参考文献

- 1) 新家，広中，頭井ら：振動法によるケーブル張力の実用算定式，土木学会論文集，第 294 号，pp.25-32，1980.2.
- 2) 佐々木，東田，北ノ園ら：異なる振動方法による斜張橋ケーブルの推定張力比較，土木学会第 77 回年次学術講演会概要集，I-133，2022.9.

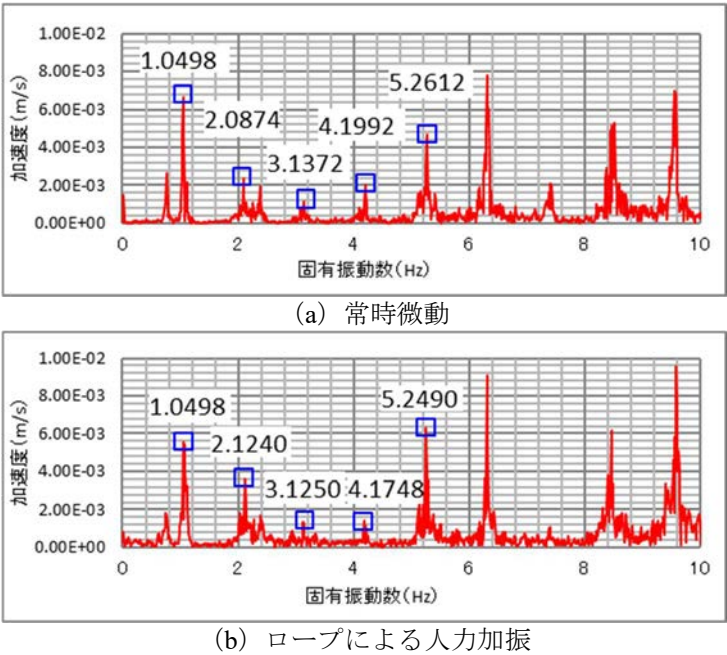


図 3 スペクトル図 ケーブル S-1:L
表 2 ケーブル張力算定結果

次数	固有振動数		B/A
	A: 人力加振	B: 常時微動	
1次	1.0498	1.0498	100%
2次	2.1240	2.0874	98%
3次	3.1250	3.1372	100%
4次	4.1748	4.1992	101%
5次	5.2490	5.2612	100%

表 3 ケーブル張力算定結果

ケーブル番号		設計張力 (kN)	A：人力加振による張力 (振動法)		B：常時微動による張力 (振動法)		比較 (B/A)	
			実測張力 (kN)	張力合計 (kN)	実測張力 (kN)	張力合計 (kN)	実測張力	張力合計
S-1	L	3658	3571	7308	3571	7288	100.00%	99.70%
	R	3658	3737		3717		99.50%	
S-9	L	4668	4505	9085	4514	9120	100.20%	100.40%
	R	4668	4580		4606		100.60%	
S-10	L	4786	4833	9584	4861	9612	100.60%	100.30%
	R	4786	4751		4751		100.00%	
S-18	L	3903	3805	7616	3805	7616	100.00%	100.00%
	R	3903	3810		3810		100.00%	