

斜張橋斜ケーブルの張力測定による健全性の評価

中日本高速道路 (株) 正会員 工修 ○ 若林 大
 中日本高速道路 (株) 工修 服部 雅史
 中日本高速技術マーケティング (株) 正会員 野島 昭二
 中日本高速技術マーケティング (株) 立松 秀之

キーワード：斜ケーブル，健全度評価，高次振動法，張力推定

1. はじめに

斜張橋やエクストラードード橋の点検において斜ケーブルの劣化状況を評価することは、橋梁全体の安全性を評価するうえで重要である。一方で、斜ケーブルは防食や耐久性の向上を目的として、保護管の中に配置されているのが一般的であり、外観の目視点検から斜ケーブル本体の状態を把握することは容易でない。そこで、斜ケーブル本体に腐食などの異常が生じ、素線の破断が発生すると斜ケーブルの張力が変化することに着目し、斜ケーブルの張力測定による健全性評価の適用性を検討した。本稿では、実橋で行った張力測定の方法と高次振動法により張力を推定した結果について報告する。

2. 斜ケーブルの振動測定方法

2.1 調査対象とした斜ケーブルの概要

調査の対象とした橋梁は、図-1に示すように鋼3径間連続斜張橋（伊勢湾岸道路名港西大橋II期線）であり、斜ケーブルは2面吊りのファン形式である。張力測定の対象とした斜ケーブルは、活荷重や温度変化の影響を把握するために、もっとも外側と内側に配置されたC1, C12, C13, およびC24の4本の斜ケーブルを選定した。選定したケーブルの仕様を表-1に示す。

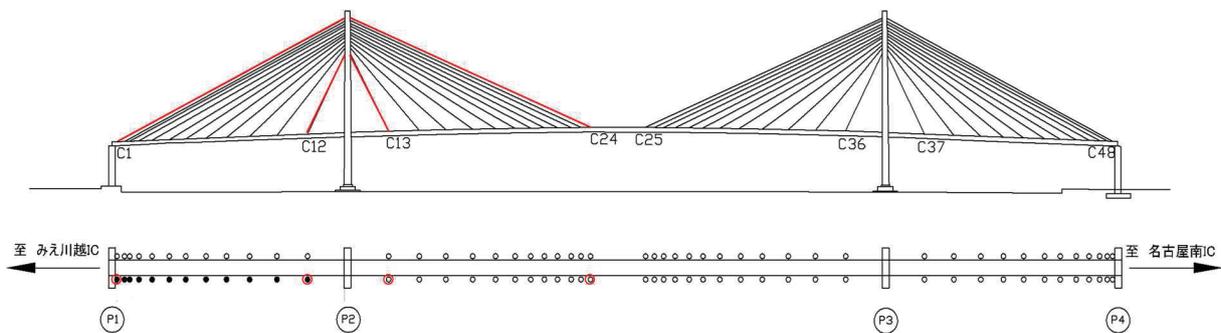


図-1 調査対象橋梁の一般図および調査対象の斜ケーブルの配置図

表-1 ケーブルの仕様

ケーブル No.	ケーブルの仕様	標準断面積 (cm ²)	標準質量 (kg/m)	ケーブル定着長 (m)	設計張力 D+PS (kN)
C1	φ 7mm×223	85.31	70.9	195.6606	2974.1
C12	φ 7mm×121	46.56	38.3	66.6548	1906.7
C13	φ 7mm×121	46.56	38.3	65.1719	1863.3
C24	φ 7mm×199	76.58	62.4	201.3107	2892.4



写真-1 加速度計の設置状況

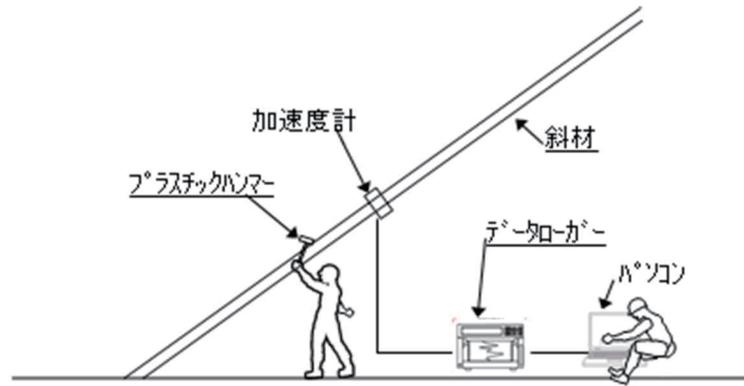


図-2 振動計測の概要図

2.2 斜ケーブルの振動測定の方法

斜ケーブルの振動測定は、写真-1に示すように加速度計を接着したケーブルバンドを斜ケーブルに固定して、図-2に示すように測定した振動データをデータロガーで記録した。この際、調査の汎用性を考慮して、加速度計の設置高さは人の手が届く範囲とした。振動測定は、通行車両により発生する「常時振動」を測定する方法と、図-2に示すように人力でプラスチックハンマーを用いて打撃を与えることにより発生する「強制振動」を測定する方法の2種類として、測定結果の比較を行うこととした。ここで、斜ケーブルの制振装置は取り付けられている状態のまま測定を行った。

常時振動については、24時間をとおして連続的に振動データを測定、記録することを基本とした。強制振動については、常時振動を測定している時間内において、1ケーブルあたり2回実施した。

3. 斜ケーブルの張力の推定方法

振動データの測定結果を用いて、斜ケーブルの張力の推定を行った。張力推定には、ケーブルの曲げ振動の振動方程式を用いることとし、両端単純支持の場合には、固有振動数 f_i とモード次数 i の間には式-1の関係式が成り立つ^{1),2)}。

$$f_i^2 = \frac{\pi^2 EI}{4\rho A l^4} i^4 + \frac{T}{4\rho A L^2} i^2 \quad \text{式-1}$$

ここに、 f_i : 固有振動数 (Hz) i : 次数
 T : 張力 (N) EI : 曲げ剛性 (N・m²)
 L : ケーブル長 (m) ρA : 単位長さあたり質量 (kg/m)

式-1はモード次数 i に関する多項式となっており、測定した振動データより低次から高次までの複数の固有振動数とモード次数の関係より最小二乗法で係数を同定し、張力 T を算出することができる(高次振動法)。今回の測定では、1次の固有振動数が判別しづらかったため、2次～7次の固有振動数を用いて張力を推定した。

連続測定した常時振動のデータについては、30分おきに10分間の計測データを抜き出して、さらに2分おきに25.6秒間のデータを高速フーリエ変換 (FFT) 分析して固有振動数を算出した。

4. 斜ケーブルの張力の推定結果

連続測定した常時振動データを用いて推定した斜ケーブルの張力変化を図-3に示す。C1ケーブルについては、データロガーの不具合がありデータの欠測時間が生じたが、その他のケーブルについては

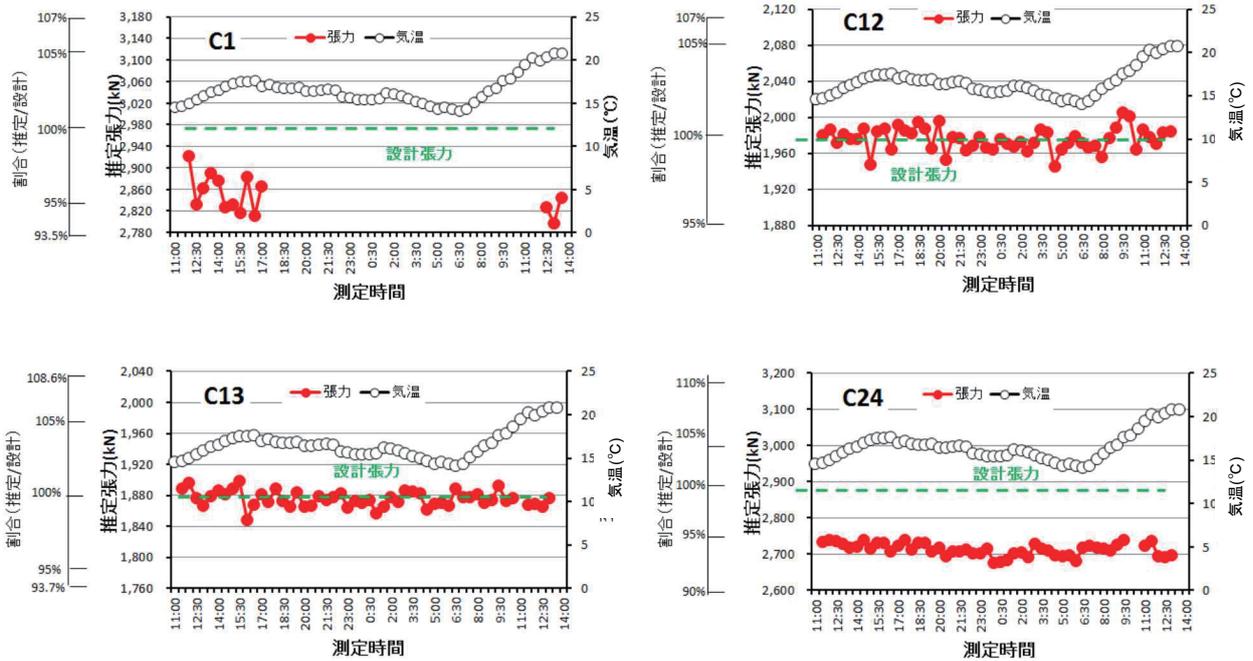


図-3 常時振動計測から推定した斜ケーブルの張力の経時変化

24時間余りの張力変動をとらえることができた。気温の変化も合わせてプロットしているが、張力の変化が同調している傾向はないようである。測定時間内の推定張力を平均したものと設計張力の比較を表-2に示す。建設時の初期張力が明確ではないため評価が困難ではあるが、推定張力は設計上の張力とおおむね一致しており、高次振動法により妥当な張力の推定が行えると判断できる。常時振動と強制振動の測定データからそれぞれ推定した斜ケーブルの張力を比較した結果を表-3に示す。常時振動と強制振動で推定される張力に差はほとんど見られず、強制振動を伴わずとも斜ケーブルの張力を推定することが可能であることが判明した。

表-2 設計張力と推定張力の比較

ケーブル No.	設計張力 (kN)	推定張力 (kN)	比率 (%)
C1	2974.1	2849.0	95.8
C12	1906.7	1975.9	103.6
C13	1863.3	1875.6	100.7
C24	2892.4	2712.9	93.8

表-3 常時振動と強制振動の推定張力の比較

ケーブル No.	回数	常時振動 (kN)	強制振動 (kN)	比率 (%)
C1	1回目	2827.6	2849.3	99.2
	2回目	2870.5	2934.0	97.8
C12	1回目	1986.8	2008.9	98.9
	2回目	1984.1	2023.3	98.1
C13	1回目	1881.4	1876.9	100.2
	2回目	1886.2	1891.8	99.7
C24	1回目	2723.8	2745.5	99.2
	2回目	2709.5	2672.3	101.4

推定張力と気温との関係を示すと図-4のようになる。今回の測定時間内での気温の変化は7℃程度であり、図-4からは張力と気温の間には明確な相関関係はみられなかった。

活荷重が張力の推定に与える影響を考察するために、張力と交通量の関係を示すと図-5のようになる。ここで、交通量は測定地点から1kmほど離れたトラフィックカウンタのデータを用いており、測定地点での交通量を計数したものではない。図-5からは、20から400(台/10分)程度の交通量の変化に対して張力はほぼ一定であり、両者に相関があるとはいえない。

以上により、今回測定した範囲においては、気温と交通量が張力の推定結果に大きな影響を及ぼさないといえる。

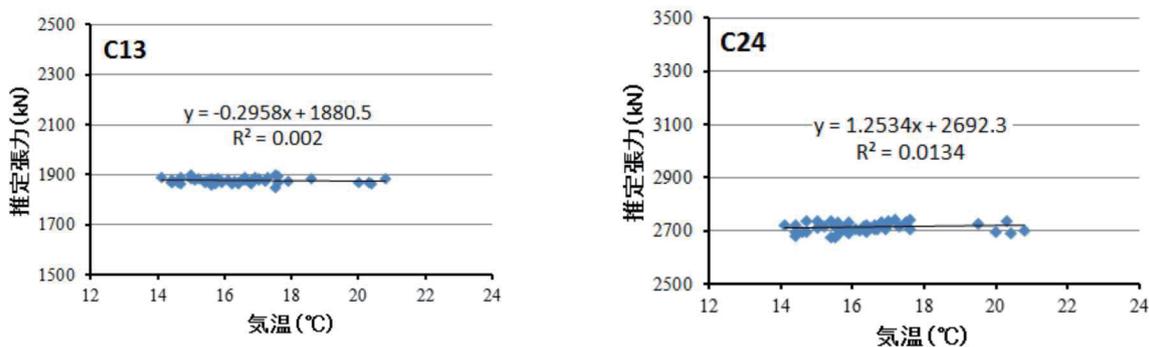


図-4 気温と推定張力の関係

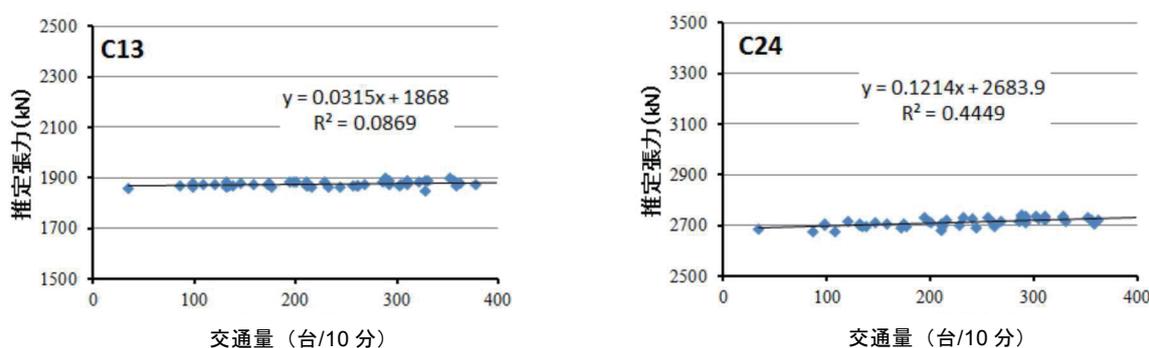


図-5 交通量と推定張力の関係

5. まとめと今後の課題

高次振動法を実橋で適用したところ、本検討の範囲内で次の事項が明らかとなった。

- ① 高次振動法により、実橋において精度良く斜ケーブルの張力を推定できる。
- ② 斜ケーブルの振動測定は、常時振動による方法で十分な精度を有しており、必ずしも人力による打撃で強制振動を計測しなくても必要な精度が得られる。
- ③ 振動測定のための加速度計は、手の届く範囲に設置しても十分な計測精度が得られる。
- ④ 温度と交通量の変化は、張力推定に有意な影響を及ぼさない。

今回実施した斜ケーブルの張力推定は、限られた時間内での測定データを使用したものであり、季節的な温度変化や交通量の変化の影響についてさらに検証を加える必要がある。実橋規模で張力が既知の斜ケーブルで高次振動法を適用し、張力の推定結果をキャリブレーションする必要もある。斜ケーブルの腐食により素線が破断した場合の張力変化の挙動についてもさらに研究を進める予定である。

参考文献

- 1) 川村睦・山家芳大・奥村敏弘・山極伊知郎：PC橋における張力測定への高次振動法の適用について、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論文集, Vol.22, pp.359-362, 2013.10
- 2) 山極伊知郎・宇津野秀夫・杉井謙一・本田祐嗣：ケーブル張力と曲げ剛性の同時推定法, 神戸製鋼技報, Vol.49, No.2, pp.12-15, 1999.9