

斜張橋における斜ケーブルの高次振動法による張力推定と健全度評価

中日本高速道路(株)

正会員 ○若林大,

正会員 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,

正会員 立松秀之

1. 目的

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。しかし、斜ケーブルは保護管に挿入されているのが一般的で、外観の目視点検から斜ケーブル本体の健全性を確認することは容易でない。そこで、斜ケーブルの素線が破断すると張力が変化することに着目し、実橋において斜ケーブルの張力測定を試行した。本稿では、その調査方法と推定張力の精度確認を行った結果について報告する。

2. 調査概要

張力測定の対象とした斜ケーブルの仕様を表1に、配置図を図1に示す。本調査では、実橋での適用性を検討することを目的とし、活荷重や温度変化の影響を把握するために、最も外側と内側に配置されたケーブルを選定した。

表1 ケーブル仕様

ケーブル No.	ケーブル 仕様	標準断面積 [cm ²]	標準 重量 [kg/m]	ケーブル 支圧面間距離 [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

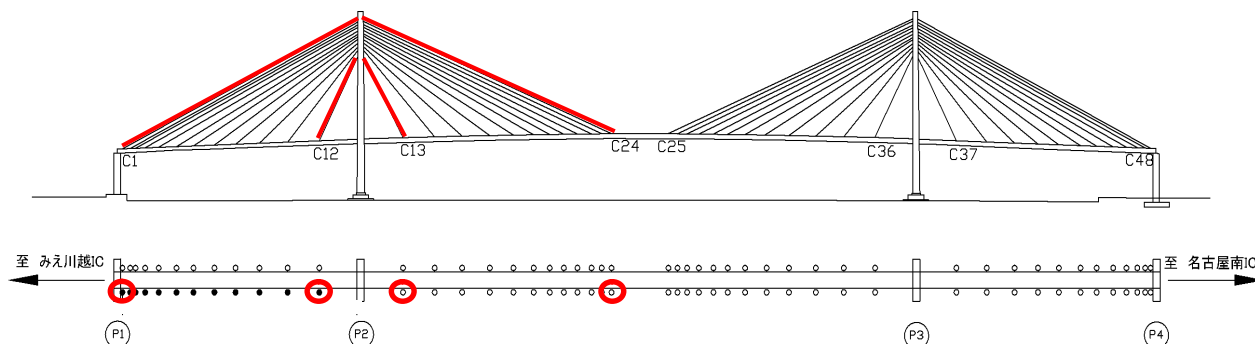


図1 ケーブル配置図

調査時間は、昼夜の温度変化による張力変動を確認するため、同一ケーブルにおいて約24時間の間に複数回の測定を実施した。ケーブル張力は、加速度計を用いてケーブルの振動測定を行い、ケーブルの固有振動数と張力の関係から間接的に推定した。

現場計測状況のイメージを図2に示す。測定は、車両通行などによる「常時振動」と人力（プラスチックハンマーによる打撃）による「強制振動」の2パターンを行い、記録計にて計測し、測定値の比較を行った。

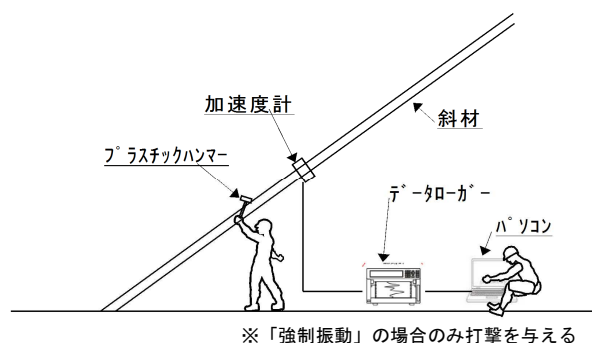


図2 現場計測状況イメージ

キーワード 斜ケーブル, 張力推定, 振動測定, 健全度評価, 高次振動法, 実橋振動計測

連絡先 〒460-0003 愛知県名古屋市中区錦2-18-19 中日本高速道路(株) TEL 052-222-1243

3. 評価方法

データ収録後、計測結果を用いてケーブルの曲げ振動の振動方程式から張力推定を行った。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 との間に式 1 の関係が得られる^{1), 2)}。

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

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 : 単位長さあたり重量[kg/m]

式 1 はモード次数 i に関する多項式となっており、計測した波形より得られた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、張力を算出した（高次振動法）^{1), 2)}。本調査では、1 次の固有振動数の判別が困難であったため 2 次から 7 次の固有振動数を用いて張力を算出した。

常時振動のデータは、30 分おきに 10 分間の波形データを抜き取り、2 分おきに 25.6 秒分のデータを F F T 分析して固有振動数を算出した。また、強制振動の測定は、1 ケーブルあたり 2 回ずつ実施した。

4. 測定結果

測定結果による推定張力と設計張力との比較を表 2 に示す。張力の初期値は明確でないものの、現状が健全であり設計値と同等であると仮定すれば、概ね妥当な張力を振動測定により推定できることがわかる。また、「常時振動」と「強制振動」の測定結果を表 3 に比較して示す。この結果より、「常時振動」の計測で張力推定が可能であることがわかる。

表 2 設計張力と推定張力

ケーブル No.	設計張力 [kN]	推定張力 [kN]	割合 [%]
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 設計張力と推定張力の割合

ケーブル No.	測定 時間	常時振動 [kN]	強制振動 [kN]	常時/強制 [%]
C1	12:30	2827.6	2849.3	99.2
	13:30	2870.5	2934.0	97.8
C12	11:00	1986.8	2008.9	98.9
	13:00	1984.1	2023.3	98.1
C13	11:00	1881.4	1876.9	100.2
	13:00	1886.2	1891.8	99.7
C24	11:00	2723.8	2745.5	99.2
	13:00	2709.5	2672.3	101.4

次に、C13 ケーブルを例にとり、気温と推定張力の関係を図 3 に、交通量と推定張力の関係を図 4 に示す。この結果より、今回測定した気温や交通量の範囲では明確な関係性は確認できなかったが、推定張力のデータのバラつきは 5%以内となっており、当該橋梁では少々の条件差であればその影響は考慮せずに、一定の誤差範囲で張力を推定できると考えられる。

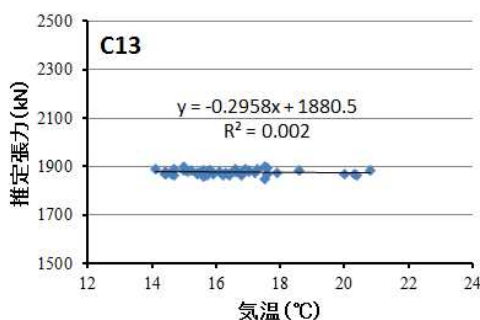


図 3 気温と推定張力の関係

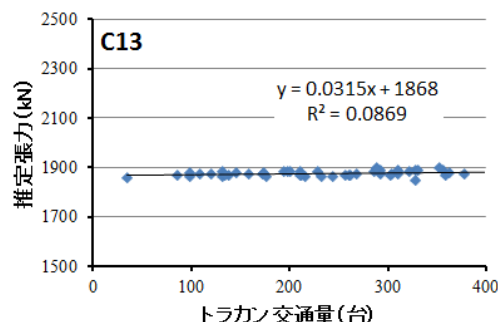


図 4 交通量と推定張力の関係

5. まとめと今後の予定

今回実橋で実施した斜ケーブルの振動計測から、高次振動法により張力を精度よく推定できることがわかった。今後、他の橋梁での計測を実施して傾向を確認することや、温度変化や交通量の影響について更に検討を進め、斜ケーブルの健全度評価に適用する仕組みを構築していきたい。

参考文献

- 河村睦・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
- 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