

かもめ橋におけるケーブル振動計測及び張力同定

東京大学 正会員 ○ 蘇 迪
 東京大学 正会員 長山 智則
 東京大学 正会員 水谷 司

1. 計測目的

斜張橋のケーブル張力は、既設構造物を評価し、適切な補修や補強を実施する上での重要な指標である。特に、PC 斜張橋ではクリープ等により経年変化が想定される。鋼斜張橋においても設計通りの張力が導入されていることを確認することは重要である。設計値から大きく乖離する場合には、損傷が原因となっていたり、特定部材に大きな負担がかかっていたりすることと考えられる。ケーブル張力は直接計測することが難しいものの、近年計測技術の進歩の共に、小型センサによる簡易推定が可能となってきた。東京大学社会基盤学科の基礎プロジェクト演習では、測定・試験を通じて対象物のデータを取得し客観的に実態を把握する方法論を学ぶことを目的としているが、その中で斜張橋ケーブルの簡易張力推定に取り組んでいる。小型 MEMS 型加速度計を利用して全ケーブルの振動を測定するものである、近年進捗の著しい計測技術をインフラ維持管理に活用する方法を考える場にもなっている。

2. 計測橋梁と計測方法

東京都品川区八潮五丁目にある京浜運河にかかるかもめ橋は長さ 168.5 m 幅 4.2 m の 3 径間連続人道斜張橋である(図-1)。この橋は 1978 年宮城県沖地震後に改定された昭和 55 年度の道路橋示方書に基づいて、昭和 60 年に建設された。約 30 年過ぎた現在、主ケーブル被覆材には、経年劣化による毛羽たちや定着部ゴム材の割れ等が見つかったものの健全な状態である。ケーブルに MEMS 型加速度計を両面テープで貼り付け、1 本ずつ、全ケーブルを計測した。計測対象ケーブルを図-1 に示す。ケーブル番号における u は上流側、 d は下流側をそれぞれ表す。正確にケーブルの振動特性を同定できるよう、ケーブル定着部付近を手動加振した後の自由振動を計測した。



図-1 かもめ橋^[1]



図-2 MEMS 型加速度計

3. ケーブル張力同定手順

ケーブルの振動から導いた張力の推定式がよく利用されており、測定が簡便であることから、斜張橋ケーブルの張力測定に振動法の適用が定着しつつある。振動法によるケーブル張力の算定は、大別して、新家らの研究^[2]による実用算定式法と、宇津野ら^[3]によるカーブフィッティング法がある。前者は、ケーブル諸元と計測した固有振動数から直ちに張力 T を求めることができる簡便な方法であるが、事前試験によりケーブルの曲げ剛性 EI を測定しておく必要がある。後者は、計測した固有振動数の 2 乗プロット図のカーブフィッティングから、ケーブル張力 T と曲げ剛性 EI を同時に算定できる方法であるが、高次モードの固有振動数を計測から同定する必要がある。

本計測では、曲げ剛性に関する計測データがなく、且つ、高次モードの振動数まで同定できたため、カーブフィッティング法により曲げ剛性 EI と張力を算定するとともに、同定した剛性 EI を用いて実用算定式による張力推定も行った。ケーブル張力の算定手順は図-3 のように示す。両端の境界条件は完全固定に近いと考えられる。

キーワード 斜張橋, ケーブル振動計測, 張力同定

連絡先 〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1 東京大学社会基盤学専攻 TEL 03-5841-4739

4. 2012～2015 年計測結果

本演習は 2012 年以来、4 年間にわたり実施してきた。4-5 月の 3 日間、各 1 時間程で全ケーブルの振動計測をしてきた。各ケーブルにつき 2 分程計測している。4 年間のケーブル振動数及び張力算定結果を図-4、図-5、表-1 に示す。ここでは、誤差が小さい実用算定式法より推定された張力 T_2 を用いた。

(1) ケーブル 1 次と 2 次振動数の結果より、ほとんどケーブルの振動数変化は微小で、変動係数は 1% 以下の範囲内を収まる。ただ、中央径間 1d、4u は、1% 程度の変動係数を観測された。4 年間ほぼ同一時期に計測されたので、外部環境の影響は軽微と推定する。

(2) ケーブル張力について、中央径間 1d、4u、4d、5d ケーブルは 1% 以上の変動係数を観測された。4u ケーブルは増加の一方に、5d ケーブルの張力は減少の傾向を示している。

(3) 側径間では見られないが、中央径間上流側のケーブルは下流側より、張力が大きい傾向が見られており、張力が若干異なることを確認した。また、上流側のケーブル張力合計は下流側より 100 kN 以上大きい。

(4) 側径間ケーブル張力合計は中央径間大きい。これは側径間ケーブルの傾斜角は中央径間より大きいが原因である。水平方向の張力合計は中央径間が若干大きいものの、概ね一致している。ケーブル張力の合計は年度ごと増減し、わずかな変化だが、経年変化を追跡が必要である。

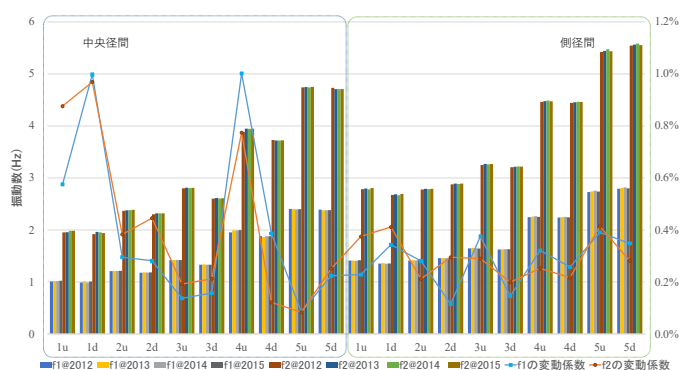


図-4 ケーブル計測振動数同定結果との比較

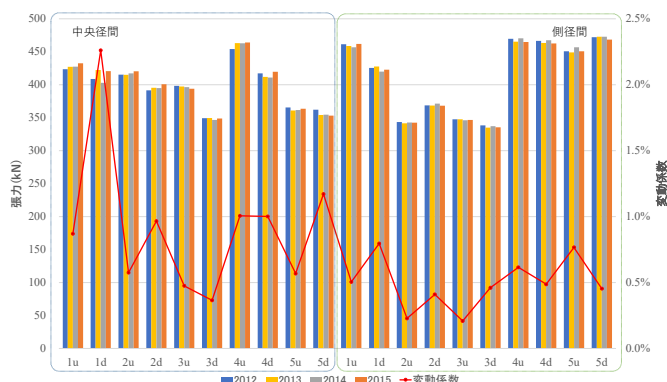


図-5 ケーブル計測張力算定結果との比較

5. 結論

4 年間の演習で、計測技術を活用して、効率的にかつ精密的にケーブル張力を計測できた。変化が大きいケーブルも抽出可能である。引き続き計測を行ない、変動係数が大きいケーブルについてはその原因を検討するなど維持管理上の活用方法が考えられる。

謝辞

品川区役所道路課の谷津様には貴重なご意見を賜りました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- [1] Google Maps, <https://maps.google.com/>.
- [2] 頭井ら：振動法によるケーブル張力実用算定式の補正，土木学会論文集，No.525/I-33，pp351-354，1995。
- [3] 宇津ら：振動伝達関数法によるケーブル張力と曲げ剛性の同時推定法，構造工学論文集 44A，pp.853-860，1998。

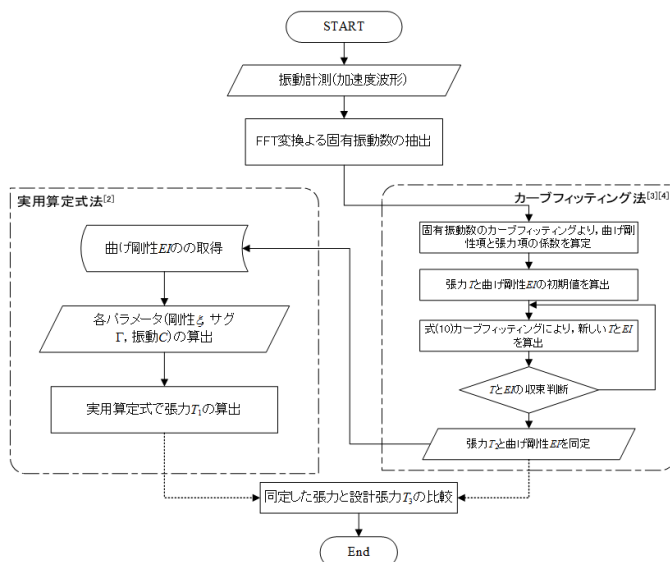


図-3 ケーブル張力算定手順

表-1 ケーブル張力経年変化比較 (kN)				
考察項目	2012	2013	2014	2015
中央径間合計	3985	3997	3976	4017
側径間合計	4144	4130	4142	4124
中央径間水平合計	3350	3362	3343	3380
側径間水平合計	3327	3316	3325	3311
上流側合計	4129	4125	4138	4141
下流側合計	4000	4001	3979	4000
総計	8129	8126	8117	8141