

[共通セッション] 土木教育一般

📅 2024年9月5日(木) 11:10 ~ 12:30 📍 C406(川内北キャンパス講義棟C棟)

## 土木教育一般(2)

座長：先村 律雄（木更津工業高等専門学校）

12:00 ~ 12:10

### [CS1-12] 斜張橋ケーブルの張力推定と振動現象調査の学生演習

\*蘇 迪<sup>1</sup>、北原 優<sup>1</sup>、長山 智則<sup>1</sup> (1. 東京大学)

キーワード：ケーブル張力推定、振動現象分析、学生演習、実践的教育

東京大学工学部社会基盤学科では、学部3年生を対象に「基礎プロジェクトIII」を開講している。このうち、構造工学に関する演習では、歩道斜張橋を対象に、橋梁の計画と設計を設計図書類から学ぶとともに、振動法に基づく斜張橋ケーブルの張力推定や振動使用性の現地調査を通じて、データに基づく定量的評価を経験する。さらに、身の回りの振動現象を自由に選び、振動計測アプリを用いた計測と時間領域および周波数領域の分析手法による定量評価と考察を実践している。本稿では、2012年から12年間にわたって実施した本演習について報告する。

## 斜張橋ケーブルの張力推定と振動現象調査の学生演習

東京大学 正会員 ○ 蘇 迪  
 東京大学 正会員 北原 優  
 東京大学 正会員 長山 智則

### 1. はじめに

教室で得た知識を能動的に現実の問題に応用するトレーニングとして、東京大学工学部社会基盤学科では、学部3年生を対象に「基礎プロジェクト III」を開講している。本科目は、地盤工学および構造工学を対象にした演習で、屋内外の様々な測定・試験を通じて、現場の客観的なデータを取得する方法論を学び、正しい情報に基づいて技術的判断を行う姿勢を身につけることを目的としている。このうち、構造工学に関する演習では、歩道斜張橋を対象に、橋梁の計画と設計を設計図書類から学ぶとともに、振動法に基づく斜張橋ケーブルの張力推定や振動使用性の現地調査を通じて、データに基づく定量的評価を経験する。さらに、身の回りの振動現象を自由に選び、振動計測アプリを用いた計測と時間領域および周波数領域の分析手法による定量評価と考察を実践している。本稿では、2012年から12年間にわたって実施した本演習について報告する。

### 2. 斜張橋における実践的演習の展開

#### 2.1 演習の目的

斜張橋においては、力を伝える主要な機構であるケーブルの張力を管理することが構造上重要である。張力にばらつきが大きい場合には、何らかの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たりすることが考えられる。しかし、供用中ケーブルの張力は観察から推定することは難しい上、直接計測するためには特殊な機材を必要とする。そこで、ケーブル振動数は張力から推定可能という力学的な知見を利用して、振動計測と設計諸元をもとに張力を算定し、対象とする斜張橋の力学的な状態を推測する。また、推定に伴う誤差の要因やその程度を検討する。一方で、張力変動が生じたとしても、構造上許容される範囲内の変動か、措置を要するかの判断は対象橋梁の設計に依存するため、設計計算図書を読み解き、構造上の特徴や設計張力算出の根拠を理解した上で、現在の張力値について考える。さらに、過去を含め張力推定値の推移に基づいて張力変化の進行性について考察する。

加えて、対象物のデータを取得し、現象に対する仮説を設け、データ分析により評価・検証する一連のプロセスを、近年普及する ICT 技術を活用して、身近な現象に適用する。自主的な学びにより、客観的なデータに基づいた技術的判断の基礎を学ぶ。

#### 2.2 演習の対象橋梁

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、昭和55年度の道路橋示方書に基づき、昭和60年に建設された3径間連続人道斜張橋である。新しい町の玄関口としてモダンなデザインが採用され、しながわ百景にも選ばれている。約40年が経過した現在でも、主ケーブルの被覆材には経年劣化による毛羽立ちや定着部のゴム材の割れなどが見られるものの、全体として健全な状態を保っている。

#### 2.3 演習の内容

構造工学に関する演習では、105分の授業時間を連続で2枠用いた210分の演習を計2回実施している。本演習では、MEMS振動センサ、IoTノード、スマートフォン振動計測アプリ、MATLABによる時間領域周波数領域解析プログラム、クラウド解析などのツールを利用している。以下、具体的な演習内容について述べる。

1回目の演習では、かもめ橋の設計概要を設計図面や設計計算書に基づいて紹介し、力学的観点のみならず、景観性、経済性、施工性、維持管理など多様な観点を考慮する必要性を説明する。また、受講者は弦理論を利用した張力推定の講義と室内模型実験を通して、ケーブルの振動特性とモード形状、張力推定の概念を体得する。

2回目の演習では、かもめ橋を訪れ、対象橋梁を詳細



図-1 かもめ橋



図-2 人力加振によるケーブルの振動応答測定

キーワード ケーブル張力推定, 振動現象分析, 学生演習, 実践的教育

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

に観察しながら人力加振によるケーブル振動や全体系振動を測定する。ケーブルの曲げ剛性、サグ、傾斜など、張力推定精度に影響を与える要因について実構造物を観察しながら弦理論式を修正した実用的な算定式<sup>[1]</sup>を紹介する。主桁の共振現象や、ケーブルと主桁の連成振動を観察、体感するとともに、近年実施された耐震補強について観察、解説する。

2020年に新型コロナウイルス感染症の流行に伴い教育方法に変革が求められた際には、ICT技術も活用して教育効果の高い遠隔型演習を模索した。受講生は自らスマートフォンの振動センサを利用して様々な身近な振動現象を対象に計測し、時間領域・周波数領域の分析ツールを利用して分析を行った。例えば、歩行時や運動時の体の動き、家電製品や公共施設構造物・附属施設の振動といった、身近で多様な現象を調査対象とし、自らたてた仮説をデータに基づいて考察した。

### 3. 演習の成果

#### 3.1 受講生による演習結果

受講生はケーブルの振動数が張力に依存するという力学的原理を用いて、振動計測データと設計諸元を基に張力を推定し、対象橋の力学的状態を推定する。また、張力推定に伴う誤差の要因及びその程度についても検討した。さらに、張力変動が生じた場合、それが構造上許容される範囲内のものか、または対処が必要なものを判断するため、受講生は設計計算図書を参照し、対象橋の構造的特徴や設計時の張力算出の根拠を理解し、現在の張力値について考察した。なお、本演習は2012年から継続して実施され、ほぼ同じ時期(5月頃)に計測が行われたことから、温度等の外部環境の影響は軽微であると推測される。このことから、経年変化に着目してデータを分析した(図-3)。

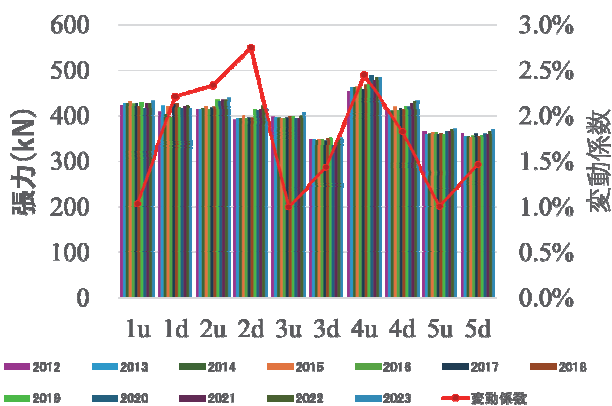


図-3 ケーブルの推定張力の経年変化(中央径間)

#### 3.2 演習による教育効果

この演習を通じて、受講生は多様な振動センサやICT技術を活用して、定量的な情報に基づいて構造物の状

態を理解する体験をした。12年間にわたる演習では、合成開口レーダーやIoTノード、カメラの映像分析など、様々な先進的なセンサ技術を取り入れている(図-4)。さらに、実際の構造物に触れ、現場でデータを収集し分析することは、単なる理論学習を超えた重要な経験となった。ICT技術を利用して、そのデータを基に構造物の挙動を理解する能力を養った。

受講生が自ら調査する振動現象は、教員からの提示事例にとどまらず、多様である。標識柱のような基本的な自立構造の振動から、風に影響される樹木の振動特性、電車や乗用車やオートバイなど交通車両の振動と乗り心地の相関分析、さらには浴槽の水波から隅田川沿いの河川敷の形状と波の影響に至るまで、対象とする現象は極めて多岐にわたる。既存の理論で説明できる現象がある一方で、論理的に分析できない現象に対しても、自らの興味に基づいて現象を直接観察し、スマートフォンアプリを用いて調査を行っている。この自主調査のアプローチは受講生から高く評価され、新型コロナウイルス感染症が収束した後も、この教育方法を継続している。受講生の積極的な参加が演習の質を高め、内容を充実させていると考えている。



(a) 合成開口レーダー (b) IoTノードとMEMSセンサ  
図-4 計測における多様なセンサの利用

### 4. まとめ

本稿では、振動センサを使用した斜張橋のケーブル張力推定と振動現象調査に関する演習について報告した。専門知識の能動的な習得機会となっているだけでなく、構造工学や振動を題材にして、データと理論に基づいて論理的に判断する機会を提供していると自負している。

**謝辞** 品川区防災まちづくり部道路課様には貴重なご意見を賜りました。深く御礼申し上げます。

#### 参考文献

[1] 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.