

# 画像解析技術を用いた斜張橋ケーブルの振動計測

有井 賢次<sup>1</sup>・渡邊 学歩<sup>2</sup>・幸左 賢二<sup>3</sup>

<sup>1</sup>正会員 株式会社 長大 (〒730-0051 広島県広島市中区大手町二丁目 8 番 4 号)

E-mail: arii-k@chodai.co.jp

<sup>2</sup>正会員 山口大学大学院創成科学研究科 (〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-16-1)

E-mail: gakuho.w@yamaguchi-u.ac.jp

<sup>3</sup>正会員 Ph.D 九州工業大学名誉教授 (〒804-8550 北九州市戸畑区仙水町 1-1)

E-mail: kosakerji@yahoo.co.jp

道路橋における 5 年に一回の近接目視点検が義務化される中、国は点検の高度化・効率化を目的として、近接目視によらない点検・診断方法の確立・導入を推進している。筆者らは、近年の進展が目覚ましいデジタル画像解析技術に着目し、斜張橋ケーブルの振動計測へのデジタル画像相関法（以下、DIC）の適用を考えた。本研究では、実橋において 2K、4K カメラで撮影した動画に DIC を適用して変位時刻歴波形を求め、同時に計測した加速度計測結果との比較を行い、DIC がこれまで用いられてきた加速度計による振動数計測に比べ同等の精度が得られることを確認した。また、DIC 適用過程において、ケーブル画像とサブセットサイズ及び位置の適正範囲を求めるとともに、2K カメラと 4K カメラの比較において 4K カメラが高次振動数抽出への適応性が高いことを確認した。

**Key Words:** Bridge, Performance, Monitoring, Cable Vibration, Image Analysis, Digital Image Correlation

## 1. はじめに

我が国の橋梁点検においては、点検技術者による近接目視が基本となっており<sup>1)</sup>、これによりコンクリート構造物ではひび割れ幅、剥離・鉄筋露出及び漏水・遊離石灰、鋼構造物では腐食、塗膜劣化、ボルトのゆるみ及び疲労亀裂などの損傷の把握が行われている。点検手法としては目視及びハンマー打音が中心であるが、これらに加え、把握したい損傷の種類によって、放射線透過、サーモグラフィ、レーダー、超音波、衝撃波、AE 法などの非破壊検査方法も広く用いられている。しかし、これらの方法は構造物の局所的な性状を把握することに向いているものが多いことや、構造物や損傷が存在する環境によっては使用できないことなど課題も多い。そのような中、近年はコンピュータ処理性能の向上やデジタル画像処理技術の進展を背景として、デジタル画像のみを利用して簡便に計測が可能な光学的全視野計測法により構造物の変位や振動を把握し健全度診断に応用する研究が活発に行われている<sup>2)</sup>。

全視野計測法を代表する計測法として、サンプリングモアレ法及びデジタル画像相関法（以下、DIC）がある。サンプリングモアレ法は格子間隔が等しい 2 つの周期模

様を重ねたときに形成される干渉縞を用いて構造物の変形を把握する方法で、構造物の表面に周期模様を設置するか、もしくは構造物そのものに規則的に配置されている高欄などの模様を利用することにより、一般的には周期模様の 1/1000 の精度で変形が把握できる。しかし、この方法は構造物に周期模様を設置することが困難であったり、必ずしも周期模様が構造物に存在しないなど、計測可能な構造物は限定される。一方、DIC は 2 次元画像上のテクスチャ（模様）を利用する。変形前後の 2 つの画像を比較するパターンマッチング手法であり、サンプリングモアレ法のような周期模様を必要としない点で適用範囲が広いと考えられる。

DIC を用いて構造物の静的な変位や変形及び応力場を静止画像を用いて把握するための研究は数多く見られるが<sup>3)4)5)</sup>、ケーブル振動のような動画像に対して適用した研究は少ない。大貫、町田<sup>6)</sup>は、寸法 130mm×130mm×480mm のウレタンゴム試験片表面にスプレーを塗布して斑点模様を作り、振動試験機を用いて一軸の振動を加え、試験片全体を高速カメラを用いて 125fps で撮影した動画像をもとに、DIC を適用して着目点の時刻歴波形を抽出し、有限要素解析の結果と比較を行った結果、振

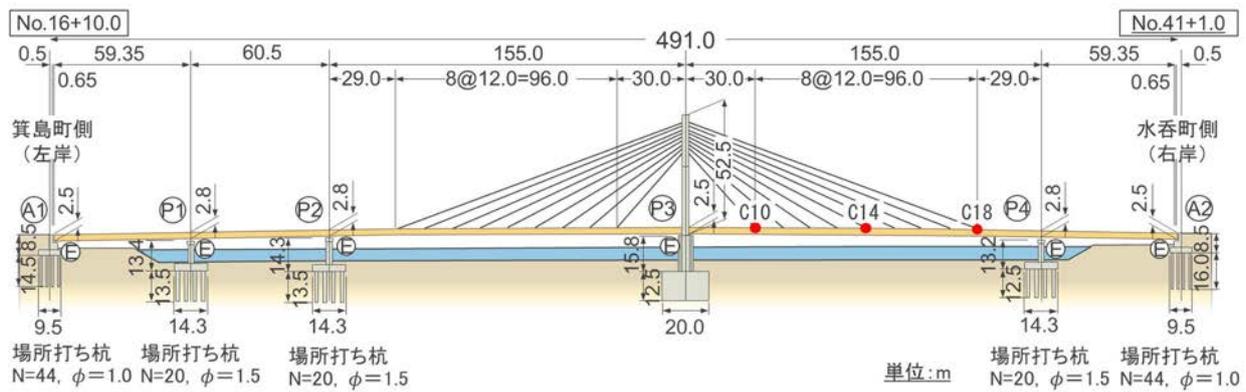


図-1 対象橋梁と計測ケーブルの位置

幅の最大誤差は約 6%，変形の最大誤差が 0.07pixel 以内であり，物体の振動現象が DICにより良い精度で解析可能であり，同時に DIC とフーリエ変換により固有振動数が推定可能であることを示した．また，損傷を模したスリットを有する試験片に同様に解析を実施した結果から，DIC を用いて構造物の健全性を評価できる可能性を示している．今井ら<sup>7)</sup>は，室内でコンクリート桁試験体の繰り返し載荷試験を実施し，DIC から算出したたわみ量やひび割れ開口変位の妥当性を確認するとともに，供用中の橋梁において，活荷重を利用したたわみ量の変化やひび割れ抽出への実橋での適用性を検証した．また，高速撮影動画を用いて重量車両通行時に生じる瞬間的な現象を捉え，ひび割れ開閉挙動をもとにしたひび割れ抽出の可能性を確認している．

筆者らは，この DIC を斜張橋ケーブルや吊橋ハンガーなどのケーブル構造の振動計測に適用することを考えた．ケーブル構造は振動数を計測することにより，そのケーブルに導入されている張力を推定することができる．一般的な方法は加速度計をケーブルに取り付けてケーブルを加振または風や通行車両により惹起されたケーブル振動を計測し，得られた時刻歴波形をフーリエ変換 (FFT) することにより卓越振動数を求めた後，推定式を用いてケーブル張力を算定する<sup>8)</sup>．

しかし，最も簡便な自然風や通行車両による常時微動から加速度計を用いて振動数を測定する場合，ケーブルは高次モードのスペクトルが強調されて低次モードのスペクトルが現れないことが多く，ケーブルに強制振動を与えて低次モードの振動数を測定する方法が多用されているが<sup>9)</sup>，この方法は，加振作業の可否の問題に加え，橋梁構造によっては加速度計設置作業時の安全性や，加振のために必要な足場の設置など，費用と計測期間の問題が生じる．

このような問題に対し，遠方からの動画像の撮影により非接触で加速度計測と同精度の振動数が計測できれば，作業の効率化と作業時間の短縮及び安全性の確保が期待できる．

本論では，DIC によるケーブル振動計測への適用を目的として，実橋による動画像撮影データに DIC を適用した解析結果と加速度計測結果の比較を行った．また，近年，デジタル画像の高精細化の進展が目覚ましいことから，画素数の増加による計測精度の向上が期待できるため，画素数の異なる 2K 及び 4K の 2 種類のカメラを用いて動画撮影を行い，解析結果を比較した．

## 2. 画像計測に基づくケーブルの振動計測

### (1) 対象橋梁

対象橋梁は，撮像内において計測対象ケーブル同士が重ならず，桁のねじり振動とケーブル振動との連成の影響が少なくなるようケーブルが道路幅員の中央に定着されている 1 面吊りで，活荷重によりケーブルが容易に振動する鋼斜張橋とした．計測対象としたケーブルは，卓越振動数が最も小さい C18，最も大きい C10 及びその中間の C14 の 3 点とした．対象橋梁の基本諸元を表-1，計測対象ケーブルの位置及びケーブル諸元をそれぞれ図-1 及び表-2 に示す．なお，本橋はケーブル番号 C1~4 及び C15~18 に制振ダンパーが設置されていることから，C18 の計測結果は本研究では参考値とする．

### (2) 加速度計計測

加速度計による計測は，現地の都合上，2 回に分けて実施した，1 回目は C18 ケーブルの制振ダンパーを取り外さずに計測し，ケーブルの強制加振は実施せず通行車両より惹起される常時微振動を用いた．2 回目は C18 ケーブルの制振ダンパーを取り外して計測し，人力による強制加振を行った．

加速度計設置位置は，手作業による設置が可能な範囲で路面から約 1.5~2m 程度の高さにテープにより緊結して設置した．ケーブルの基本振動モード形状と加速度計設置位置の関係を図-2 及び図-3 に示す．加速度計の取り付け位置は 3 次~5 次の振動モードの最大変位が発生する位置に近いとため，これらのモード次数の卓越振動数

表-1 対象橋梁の構造諸元

道路規格	第4種第1級
設計速度	50km/h
荷重種別	B活荷重
幅員	車道:7.25m×2 歩道:3.5m×2
主桁	3室箱桁 2室箱桁
主塔	逆Y字型柱 (塔高525m)
ケーブル	ファン形式 (1面9段マルチケーブル)

表-2 計測対象ケーブル諸元

ケーブル No.	C10	C14	C18
ストランド径	φ7mm	φ7mm	φ7mm
本数	301	283	163
ケーブル断面構成			
標準断面積 (mm <sup>2</sup> )	11600	10900	6720
破断荷重 (MN)	18.2	17.1	9.85
弾性係数 (GPa)	195	195	195
単位長さ重量 (kN/m)	0.956	0.899	0.520

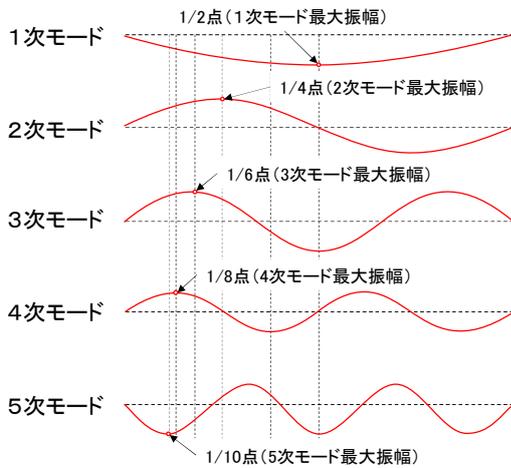


図-2 ケーブルの基本振動モード形状

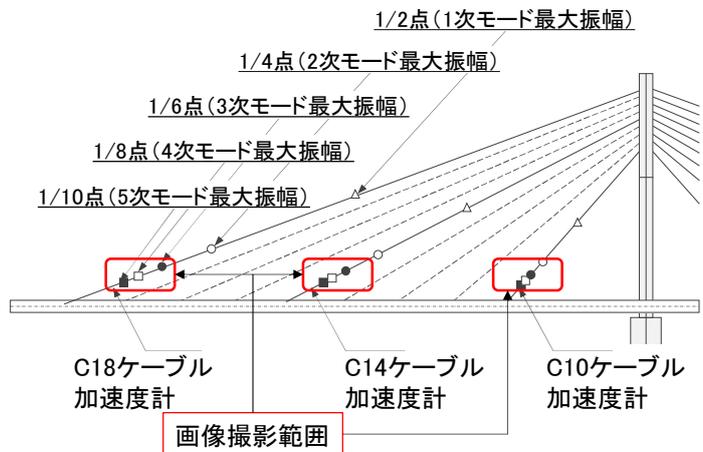


図-3 振動モード最大変位位置と加速度計位置

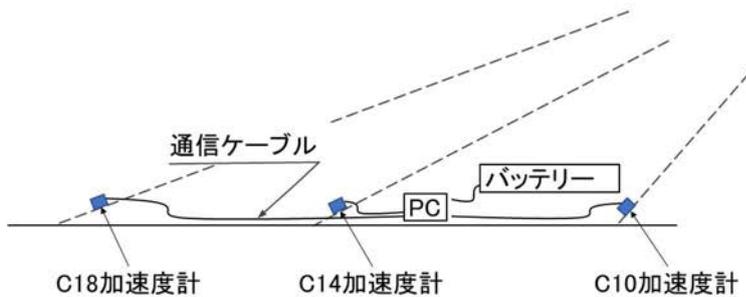


図-4 加速度計の設置状況



スペクトルは容易に捉えることができるが、1次及び2次モードの最大変位位置からは離れているため、常時微振動を利用した計測では、多くのノイズに埋もれてスペクトルを判別できなくなることもあり、この対応として強制加振が必要となる。

加速度計はセイコーエプソン株式会社製加速度センサ(M-A550AC2(±1G))を使用し、サンプリング周波数は100Hzとした。加速度計の設置状況を図-4に示す。

### (3) 画像計測

画像計測は、C18ケーブルの制振ダンパーを取り外さない状態で1回の計測を実施した。図-3にカメラによりケーブルを撮影した範囲を着色して示している。画像撮影範囲は加速度計設置位置を含んでおり、かつケーブル長の1/6点、1/8点、1/10点に近く加速度計と同様、3次～5次モードの振動を捉えやすい位置となっている。

対象ケーブルとカメラの位置関係を図-5、現地撮影状況を図-6に示す。撮影用カメラを三脚上に固定して歩

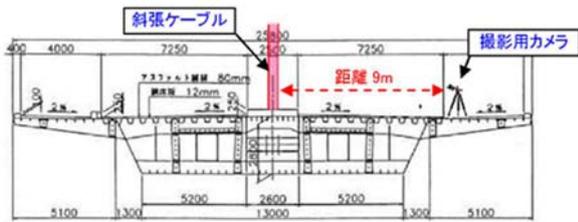


図-5 対象ケーブルとカメラの位置



図-6 現地撮影状況

道路面上に設置し、ケーブルの鉛直方向の振動を捉えやすいように斜ケーブルの真横から撮影を行った。ケーブルとカメラの距離は約9mである。

撮影カメラの仕様を表-3に示す。2Kカメラの画角は1920×1200、1秒間における撮影枚数を示すフレームレートは40fps (frame per second)、4Kカメラの場合は、画角3840×2400、30fpsである。

#### (4) 計測ケースと計測時間

加速度計測及び画像計測の計測ケースと計測時間を表-4に示す。加速度計測は1回あたり10分を各3ケース、画像計測は1回あたり1分間の撮影を各6ケース、2K、4Kのそれぞれで実施した。

### 3. デジタル画像相関法による解析

DICの解析原理は、デジタル画像が一般的に256濃度階調で表現される画素から構成された濃淡のある画像であることを利用したものである。得られたデジタル画像の輝度値分布から試料表面の変形量と方向を求める。変形後の画像における微小領域（以下、サブセット）を考え、変形後のどこかに移動後のサブセットが存在することから、変形後の画像における任意のサブセットを対象に、変形前のサブセットの輝度値分布と高い相関性を示すサブセットを数値解析で探索する（図-7）。変形前後におけるサブセットが高い相関が得られれば、移動後の点として同定できることから、点の移動量と移動方向を算出できる。なお、DICでは、粗探査と精密探査を組み

表-3 撮影カメラの仕様

カメラ種別	2Kカメラ 【GS3-U3-23S6M-C】	4Kカメラ 【GS3-U3-89S6M-C】
メーカー	FLIP Japan	FLIP Japan
イメージセンサ	1/1.2型[2K]	1型[4K]
画角	1920×1200	3840×2400
fps	40	30

表-4 計測ケースと計測時間

	C18	C14	C10	計測時間
加速度計	3ケース	3ケース	3ケース	10分
画像計測	2K	6ケース	6ケース	1分
	4K	6ケース	6ケース	1分

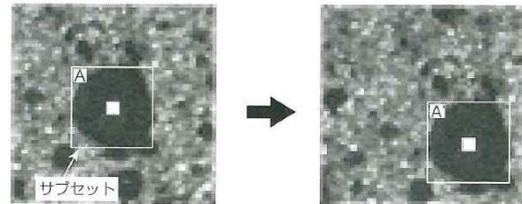


図-7 サブセットの移動<sup>2)</sup>

合わせることで、サブピクセルオーダーの高い精度でサブセットの移動位置を特定することができる<sup>2)</sup>。この原理を用いて撮影された動画像におけるケーブルの特定箇所に着目し、サブセットの位置を連続的に追跡することにより、変位時刻歴波形を得ることができ、得られた時刻歴波形にFFTを実施することによりケーブルの卓越振動数を得ることが可能となる。なお、本研究におけるDICによる解析は、パナソニック・システムソリューションズ・ジャパン社製「微小変位検出ソフトウェア」を使用した。

本研究では、DICによる振動数計測が一般的に用いられている加速度計測と比較してどの程度の精度の違いが生じるかを確認することに加え、2K及び4K画像それぞれにおいて、着目するサブセットの大きさとその位置が解析結果である振動数抽出精度にどの程度の影響を与えるかについて検討することが目的である。2K及び4K画像と設定したサブセットの関係をそれぞれ図-8及び図-9に示す。

2K及び4Kの画像はそれぞれケーブル長約5.5m及び約7.8mの範囲を撮影しているため、画像中における1pixelに相当する実際の長さは2K、4Kそれぞれで約2.86mm/pixel及び約2.03mm/pixelとなる。

解析はC10、C14およびC18ケーブルのそれぞれにおいて、サブセットの大きさを64×64pixelとして時刻歴波形を抽出し、FFTにより卓越振動数を求めた。また、サブセットによる影響を見るため、サブセットの大きさを2Kで4種類、4Kで5種類に変化させ、各サブセットの大きさにおいて、サブセットの図心位置をケーブル中央またはケーブル上部にセットするなど、表-5に示す合計18ケースの解析を実施した。

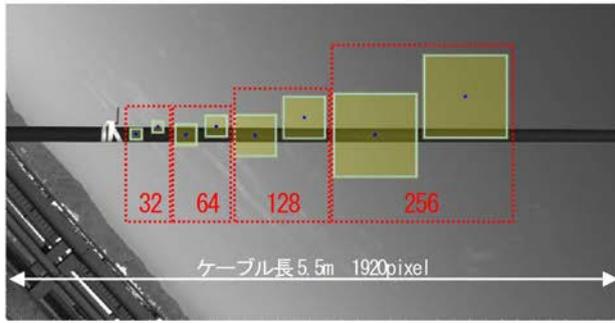


図-8 2K 画像におけるサブセット

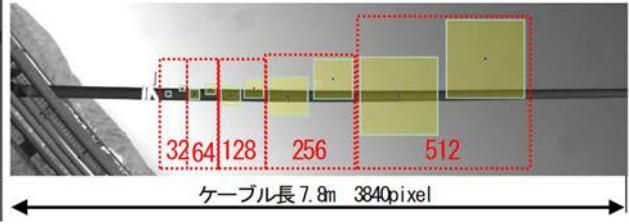
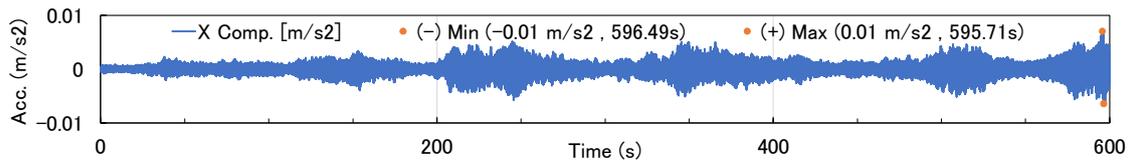


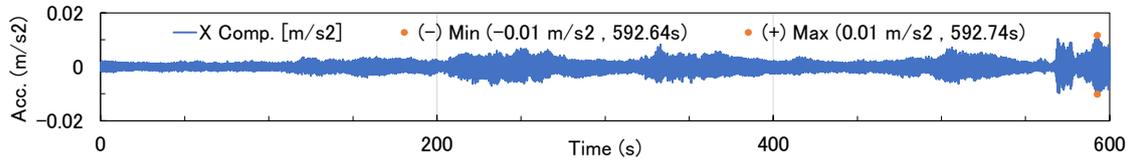
図-9 4K 画像におけるサブセット

表-5 解析ケース

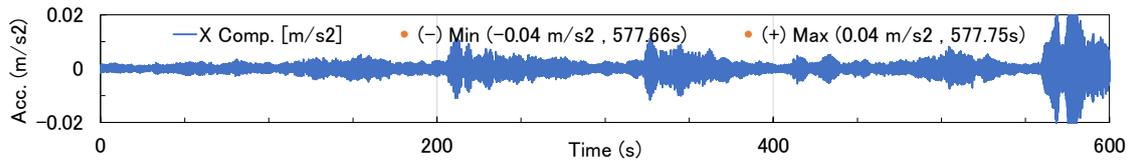
CASE	カメラ種別	サンプリング周波数 (Hz)	サブセットの大きさ (N×N)	サブセット位置	CASE	カメラ種別	サンプリング周波数 (Hz)	サブセットの大きさ (N×N)	サブセット位置
1	2K	40	32×32	中央	9	4K	30	32×32	中央
2				上部	10				上部
3			64×64	中央	11			中央	
4				上部	12			上部	
5			128×128	中央	13			中央	
6				上部	14			上部	
7			256×256	中央	15			中央	
8				上部	16			上部	
					17				
					18			512×512	上部



(1) ケーブル 10



(2) ケーブル 14



(3) ケーブル 18

図-10 加速度計による計測結果 (加速度の時刻歴波形)

#### 4. サブセットの設定や画像解像度が画像計測の精度に及ぼす影響

##### (1) 加速度計測結果

加速度計を用いて計測した時刻歴波形と FFT 結果を図-10 及び図-11 に、ケーブル理論振動数を表-6 に示す。

ケーブル理論振動数は式(1)により算出した。

$$f_n = \frac{n^2 \pi}{2L^2} \sqrt{\frac{EIg}{w} + \frac{TL^2 g}{n^2 \pi^2 w}}$$

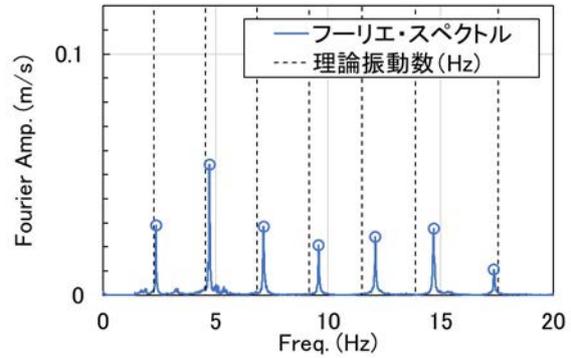
$$f_n = \frac{n}{2L} \sqrt{\frac{Tg}{w} \left( 1 + \frac{n^2 \pi^2 EI}{L^2 T} \right)} \quad (1)$$

ここで、 $T$  : ケーブル張力 (tf),  $n$  : 振動次数,  $f_n$  :  $n$  次の卓越振動数 (Hz),  $L$  : ケーブル長 (m),  $w$  : ケーブルの単位重量 (tf/m),  $g$  : 重力加速度  $9.8 \text{ m/s}^2$  である。

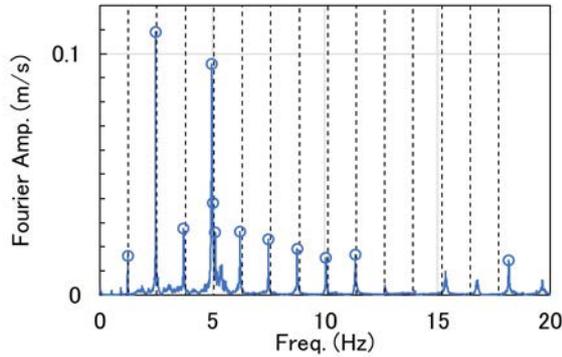
加速度計測結果と理論値の比較では、その差は最大 6% で一般的な計測誤差内に収まっている。

表-6 ケーブル理論振動数

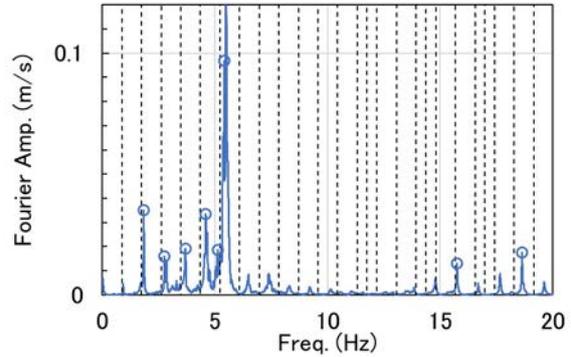
	ケーブル 番号	振動次数					
		n	1	2	3	4	5
ケーブル理論 振動数 (Hz)	C10	(Hz)	2.27	4.55	6.84	9.16	11.50
	C14	(Hz)	1.27	2.53	3.80	5.06	6.33
	C18	(Hz)	0.87	1.74	2.61	3.48	4.36



(a) ケーブル 10

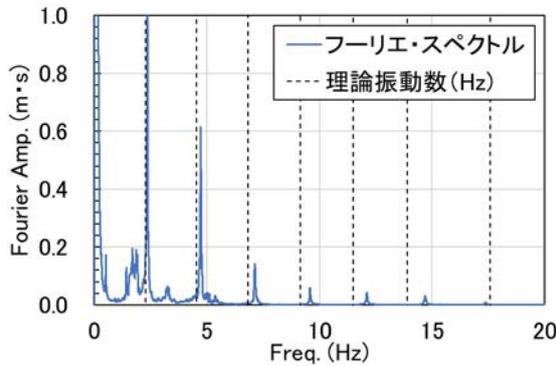


(b) ケーブル 14

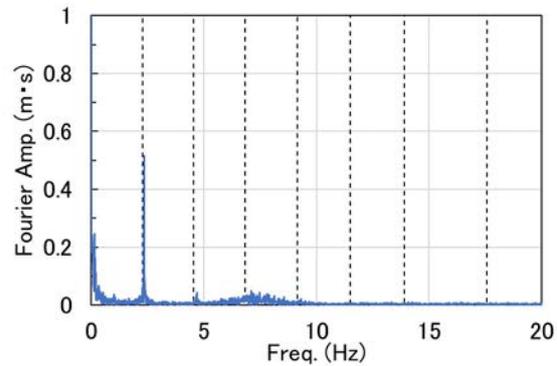


(c) ケーブル 18

図-11 加速度波形のフーリエスペクトル



(a) 加速度計計測



(b) 画像計測結果

図-12 加速度計測と画像計測の比較 (変位のフーリエスペクトル, ケーブル 10)

## (2) 加速度計と画像計測の比較

加速度計による振動数計測結果と画像計測による振動数解析結果 (フーリエスペクトル) をそれぞれ図-12 (a) 及び (b) に示す。なお、加速度計の結果は、画像計測結果と比較しやすくするために、加速度のフーリエスペクトルを振動数領域で2階積分して、変位のフーリエスペクトルに変換した結果を示した。画像解析では後述するサブセットサイズを64×64として分析を行ったCASE3を用いている。1次モードの卓越振動数を、加速度計測と画像計測で比較した際の差は0.5%以内となっており、画像計測による振動数抽出は加速度計とほぼ同等の精度でケーブル振動数を抽出できている。

ただし、周波数領域に於いて、2階積分はフーリエ振幅に $1/\omega^2$  ( $\omega$ : 角円振動数) を乗じることに等しい。この

ため、図-12 (a) に示した加速度のフーリエスペクトルと比較すると高振動数領域の振幅が小さくなり、高次モードほど卓越振動数が判別しにくくなり、固有振動数の検知が難しくなる。

図-12 (b) に示した通り、変位を計測する画像計測において5次 (11.5Hz) 以上の固有振動数成分が検知出来ない理由は、ケーブル振動は加速度応答に比べて変位応答は、高振動数領域において振幅が小さくなるためだと考えられる。

## (3) サブセットサイズとサブセット位置の影響

C10 ケーブルを2Kカメラで撮影したケースにおいて、サブセットサイズ ( $n \times n$  pixel) を32×32, 64×64, 128×128, 259×256 に変化させた4ケースの振動数抽出結果をそれ

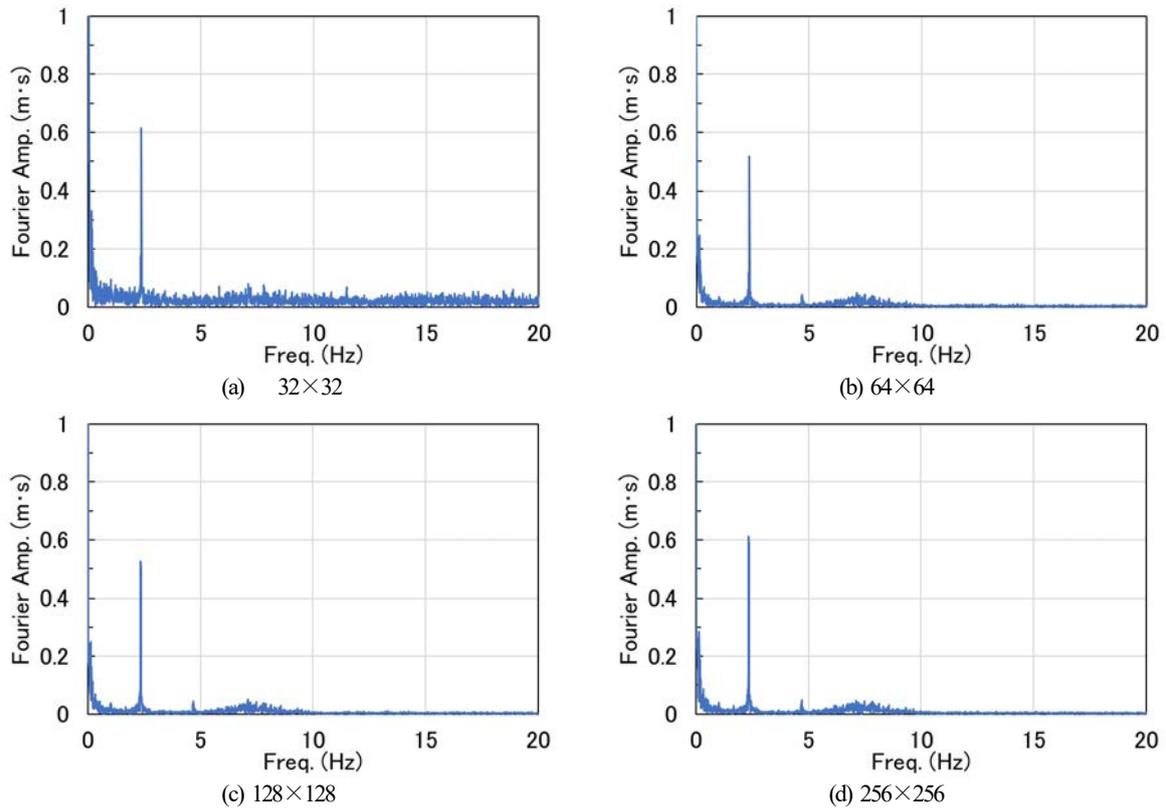


図-13 異なるサブセットサイズによる周波数分析結果（フーリエスペクトル）

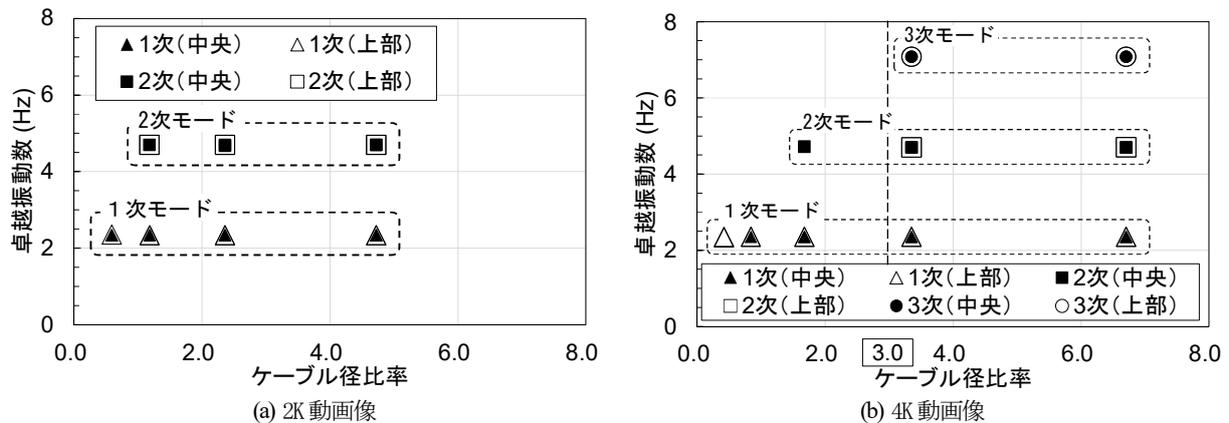


図-14 ケーブル径と卓越振動数抽出状況

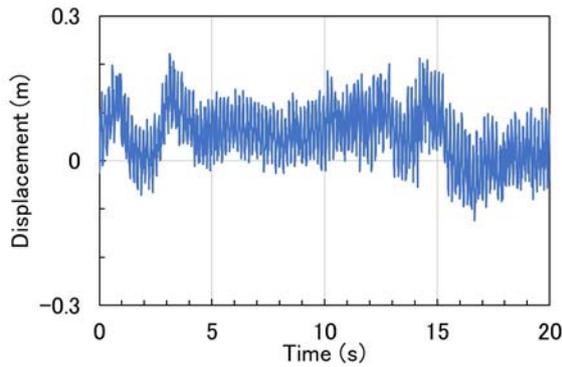
それ、図-13 の(a)から(d)に示す。デジタル画像相関法では、一般的にサブセットサイズが大きいくほど変位抽出精度が向上するが、本ケースにおいてもサブセットサイズが大きいくほど高次モードまで抽出ができており、一般的な傾向と一致する。これは後述の4Kカメラにおいても同様である。

サブセットサイズと振動数抽出状況との関係をすべての解析ケースにおいて整理した結果を図-14(a)及び(b)に示す。横軸のケーブル径比率はサブセット1辺の長さ（実際の長さに換算した値）のケーブル径に対する比率を表している。また、同図におけるサブセット位置は、サブセットの重心をケーブル中央に設定した場合とケーブル上部の背景に設定した場合を重ねて示している。同

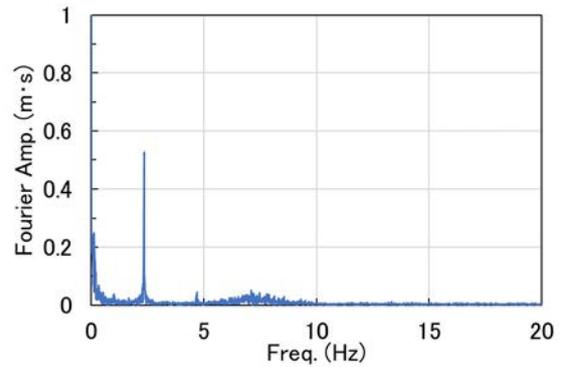
図の(a), (b)いずれのデータを見ても、サブセット位置及びケーブル径比率にかかわらず同じ振動数を抽出できていることが確認出来た。ただし、ケーブル径比率が1以下の場合には、2Kカメラ、4Kカメラのいずれの場合も1次モードしか抽出できていない。ケーブル径比率が2~3では2Kカメラ、4Kカメラのいずれも2次モードまで、3以上の場合は4Kカメラのみ3次モードまで抽出が可能であった。

#### (4) 2Kカメラと4Kカメラの抽出精度の比較

2Kカメラ及び4Kカメラにおいて、ケーブル径比率が同程度のCASE5及びCASE15における時刻歴変位波形とFFT結果を図-15及び図-16に示す。時刻歴波形の縦軸は

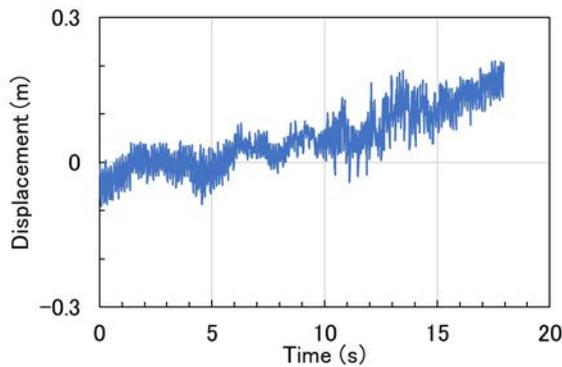


(a) 変位時刻歴波形

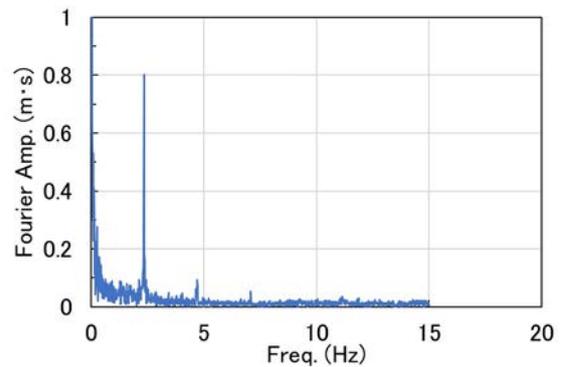


(b) フーリエスペクトル

図-15 2K動画をを用いた画像計測結果



(a) 変位時刻歴波形



(b) フーリエスペクトル

図-16 4K動画をを用いた画像計測結果

実際の長さに換算しており、また2Kと4Kでフレームレートはそれぞれ異なる。2Kカメラと4Kカメラは同時撮影ができなかったため、撮影時に通過した車両重量が異なり時刻歴波形はそれぞれ異なる形状を示している。

FFT 結果では、2K、4K ともに同じ周波数でスペクトルのピークを確認できる。また、2K は 2 次の振動数までしか確認できないのに対し、4K では 3 次の振動数まで確認することができる。この2Kと4Kの違いは他のケースでも同様に確認できた。このことより、2K カメラに比べ 4K カメラの方がより高次モードまでの計測が可能であることが分かった。

## 5. 考察

本研究では、DIC のケーブル振動計測への適用を目的として、実橋の斜張ケーブルの動画を撮影し、従来から用いられている加速度計による振動数計測結果と比較することにより、DIC を用いた計測精度の検証を行った。また、2Kカメラと4Kカメラで撮影した動画をもとに抽出した振動数抽出結果を比較し、画素数の違いによる振動数抽出精度への影響を検討した。本研究で得られた知見は以下のとおりである。

- 1) 斜張橋のケーブル振動計測において、DIC による方法においても、現在一般的に用いられている加速度計による振動計測と同等の精度で振動数計測が可能である。
- 2) DIC による振動数解析におけるサブセットサイズは、ケーブル径比率（ケーブル径に対するサブセットの1辺の長さ）が1以下では振動数抽出が不可能なケースがある。
- 3) 高次振動の計測を目的とした場合、ケーブル径比率を3以上に設定することが望ましい。
- 4) ケーブル画像に対するサブセットの位置は、振動数抽出精度に影響を及ぼさない。
- 5) 2K カメラに比べ 4K カメラの方が、高次振動抽出が行える可能性がある。

## 謝辞

本研究を遂行するにあたり、広島県東部建設事務所及び国土交通省福山河川国道事務所の関係者の皆様にご協力をいただきました。また、実橋計測作業にあたり、パナソニック・システムソリューションズ・ジャパン（株）天羽千佳氏にご協力をいただきました。ここに深くお礼を申し上げます。

## 参考文献

- 1) 国土交通省 道路局国道・技術課：「橋梁定期点検要領」，平成 31 年 3 月.
- 2) 吉田隆：「巨大構造物ヘルスマニタリング」，2015 年 3 月 12 日.
- 3) 吉田純司，阿部雅人，CHAMINDALAL Sujewa Lewangamage，藤野陽三：画像解析を利用した連続体の変形場の計測法，土木学会論文集 No.710/I-60,165-179,2002.7.
- 4) 出水亨，松田浩ら：デジタル画像相関法のひずみ計測向上に関する基礎的研究，土木学会論文集 A2 (応用力学)，Vol.68, No.2 (応用力学論文集 Vol.15) I\_683-I\_690,2012.
- 5) 米山聡，北側彰一ら：デジタル画像相関法を用いた橋梁の非接触たわみ分布測定，非破壊検査,第 55 巻 3 号(2006).
- 6) 大貫博崇，町田賢司：デジタル画像相関法による構造物の振動解析，実験力学 Vol.10, No.1 pp.57-62(2010 年 3 月).
- 7) 今井，太田ら：高速撮影動画を用いたデジタル画像相関法によるコンクリート構造物の動的挙動把握，土木学会論文集 A1 (構造・地震工学),Vol.72, No.1, 279-289, 2016.
- 8) 新家徹，広中邦汎，頭井洋，西村春久，：振動法によるケーブル張力の実用算定式について，土木学会論文報告集，第 294 号・1980 年 2 月.
- 9) 島田忠幸：ケーブルの高次振動モードの固有振動数測定値からの張力測定法について

(Received September 7, 2020)

## VIBRATION MEASUREMENT OF THE CABLES IN THE CABLE-STAYED BRIDGE BY THE DIGITAL IMAGE ANALYSIS AND THE EVALUATION OF THE ACCURACY OF THE MONITORING DATA

Kenji ARII, Gakuho WATANABE and Kenji KOSA

Since the bridge management engineers of local governments are required to carry out the close-range visual inspection every 5 years for the maintenance of bridge infrastructures, the burden of the bridge maintenance heavily weighs on the local government. Therefore in order to reduce the burden of bridge management, the national government is promoting the establishment and introduction of inspection/diagnosis methods that do not rely on close-range visual inspection.

In this study, we conducted research and development on the vibration measurement technology based on the digital image correlation method in order to improve the efficiency of cable inspection for the cable-stayed bridge. Through the test of the visual image measurement targeted toward the actual bridge, we confirmed that the vibration measurement based on the digital image correlation method has the same accuracy as the measurement by the accelerometer, which has been used so far. In this paper, we report that in addition to exploring the appropriate range of cable image and subset size and position, 4K cameras are very adaptable to higher order frequency extraction in comparison of 2K and 4K cameras.