同期カメラを活用した送電鉄塔の維持管理システムの精度検証

東電設計㈱　正会員　○栗原　幸也
金沢大学　正会員　辻　徳生
東電設計㈱　フェロー会員　中村　秀治　正会員　山崎　智之

１．はじめに

高度成長期に集中的に整備された社会基盤構造物の経年による劣化，老朽化が進行しており，適切な維持管理，更新が求められている．しかしながら，経年構造物の増加に伴う維持管理費用の増大，更新のための投資余力の減少，熟練技術者・作業者の減少など，維持管理問題に関する課題は山積している状況にある．

図１に示す塔状トラス構造物の代表例として挙げられる送電鉄塔においては，部材腐食，ボルト緩み，基礎変位，部材変形，疲労亀裂などの経年劣化事象が発生する．このような劣化事象を詳細に診断するためには，作業者が昇塔して診断せざるを得ず，作業時間や手間が多大であることに加えて，作業者による診断レベルのばらつきが生じる可能性がある．

図１　送電用鉄塔

そこで著者等は，客観的かつ定量的に劣化程度をクラス分けできる簡易な方法として，時刻同期可能なフルハイビジョン高解像度カメラ（以下、同期カメラ）を用いた振動モード計算手法を提案している．本論文では，著者等が提案する手法を片持ち梁および送電用鉄塔に適用し，同期カメラによる精度検証を行った．

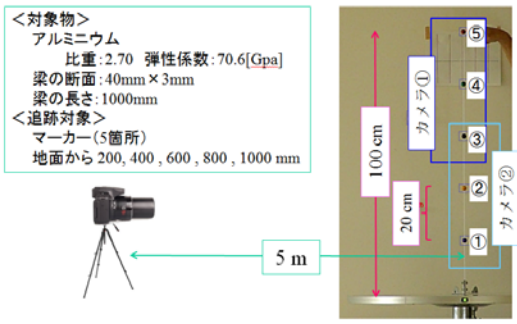

図２　試験概要図

２．計測原理について

通常のカメラの光学系は透視投影モデルで近似できる．画像座標を(X,Y)とすると，実空間の座標(x,y,z)との対応は以下の式(1)で表現できる．

$$X = f\frac{x}{z} \quad , \quad Y = f\frac{y}{z} \tag{1}$$

従って，光軸方向の距離 z がわかっていれば，画像上でのX, Y 方向の移動量は，実空間の x, y 方向の移動量に変換できる．また，焦点距離 f は仮想投影面と視点との距離を意味し，光軸方向は視点から仮想投影面に垂直な方向で z 軸にとる．

表1 計測精度確認に用いた片持ち梁の固有振動数

固有振動モード	固有振動数 (Hz)			
	理論値	FULLHDカメラ	4Kカメラ	同期カメラ
1次	2.48	2.41	2.43	2.41

鉄塔の振動は水平方向が主である．そこで，カメラを鉛直上方向に向ければ，その計測対象の高さを z とし，画像上での移動量から水平方向の変位を求めることができる．また，空間方向の計測精度は，画像の1画素幅が実空間での対応する距離でおおよそ見積もることができる．カメラとの距離が近いほど画像上での大きさは大きくなるため，精度が高くなる．また焦点距離が長いほど，撮影した物体が大きく映り精度が高くなる．したがって計測対象とカメラとの距離および画素数により精度は異なるため，FULLHDカメラ，4Kカメラ，同期カメラで計測を実施し，その比較を行った．

３．精度検証

3.1試験概要

固有周期と固有モードに関する精度確認を目的として，片持ち梁でインパルス応答計測を行った． 試験概要は図2に示す通り，計測器具の高解像度カメラを対象物の片持ち梁から5m離れた地点に正対するように設置し，1分間計測を実施した．測定対象となる長さ100cmの片持ち梁に追跡対象となるマーカを床から20cm間隔に合計5箇所設置した．片持ち梁の概要は，材料はアルミニウム(弾性係数E: 70.6GPa，比重: 2.70)，梁の断面積A = 40 mm×3 mmである．また，測定対象の片持ち梁の運動方程式の理論解は式(2)であり，1次固有振動数は表1に示す通りである

$$\sqrt[4]{\frac{\rho A\omega^2}{EI}}\cdot L = 1.8751 \quad (1次) \quad , \quad 4.6941 \quad (2次) \quad , \quad \cdots\cdots \tag{2}$$

キーワード　送電鉄塔，高解像度カメラ，固有振動モード，維持管理，部材交換
連絡先　〒135-0062　東京都江東区東雲 1-7-12　東電設計株式会社電気本部　Tel. 03-6372-5510
E-mail: t.kurihara@tepsco.co.jp

3.2　計測結果および考察

FULLHDカメラ，4Kカメラ，同期カメラ２台を用いて片持ち梁の固有振動数および振動モードの計測を実施した．固有振動数を表1，振動モード形状を図3に示す．また，計測で用いたカメラの動画性能は表2の通りである．

表1より，どのカメラを用いても固有振動数は理論値とほぼ一致することを確認した．なお，2次モードの固有振動数は15.54Hzのため，今回の計測では確認できなかった．

図3より，振動モード形状はどのカメラを使用しても，片持ち梁の1次モード形状を確認することができた．

基礎的検討では，固有振動数および振動モードともにカメラの性能による有意な差は確認できなかったが，対象物の変位が小さくなれば，カメラの性能差による影響があると考えている．

3.3　同期カメラの同期精度検証

同期撮影は，無線LANを経由したトリガーにより，タイミングずれ1/2000秒以下での同期を保証している．計測状況を図2に示す．試験体を上部と下部に分けて撮影している．カメラ①では上部の3点のマーカを計測し，カメラ②では下部3点のマーカを計測し，60cmの位置にある中央のマーカのみ両方のカメラに収めた．両方で計測したマーカの速度波形を図4に示す．図4より，位相にずれがないことから2台のカメラが同期して撮影できていることが確認できる．

４．実鉄塔の計測

4.1　試験概要

頂高39.0mの送電用鉄塔に対して，同期カメラ4台とFULLHDカメラでの計測波形の比較を行った．計測状況は図5の通りである．同期カメラは，対象鉄塔の1脚を4分割で撮影し，FULLHDカメラは1台で鉄塔全体の1脚を撮影した．

4.2　計測結果および考察

図6にFULLHDカメラの時刻歴応答波形を青線で，同期カメラ4台の時刻歴応答波形を赤色で示し，比較した．その結果，どの計測点でも同期カメラの方がFULLHDカメラよりも応答が大きかった．この結果より，同期カメラによって視野を広げることで，時刻歴応答波形をより精度良く捉えられることを確認した．また，同期カメラの時刻歴応答波形より，計測点が下部に行くにつれて応答が小さくなっていることも確認した．

以上より，対象物が鉄塔のように変位が小さい場合，同期カメラによって視野を広くすることで精度が向上することを確認した．

５．　むすび

基礎的検討より，どのカメラを使用しても固有振動数，振動モードともに理論値と同様の値を確認した．また，当該鉄塔においては，対象物の振幅が小さいため，画素数をあげることで精度が向上することを確認できた．

謝辞：　現場計測にあたり東京電力パワーグリット(株)に御協力いただきました．ここに深謝いたします．

表2　計測に用いたカメラの動画性能

撮影モード	画素数	フレームレート
FULLHD	1920X1080	30fps
4K	3840X2160	30fps
同期カメラ	1920X1080	30fps

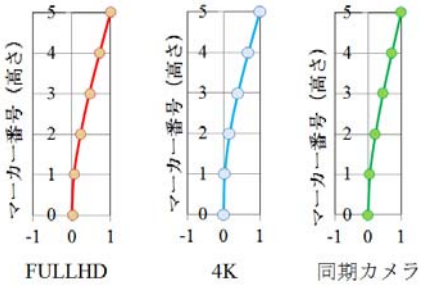

図３　振動モード

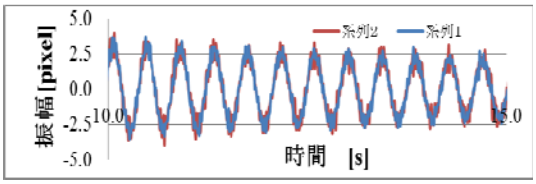

図４　同一マーカの波形

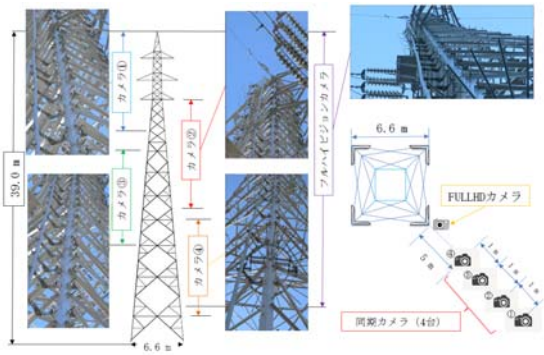

図５　試験概要図

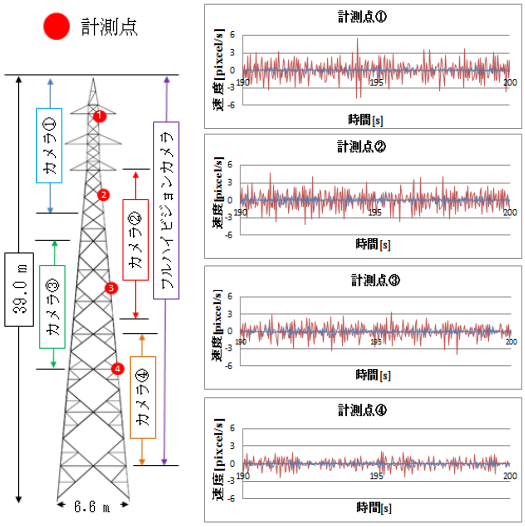

図６　送電鉄塔の時刻歴応答波形

参考文献1)　辻徳生，山崎智之，中村秀治，栗原幸也，関英俊，高解像度カメラを用いた経年送電鉄塔の劣化診断に関する検討，土木学会　構造工学論文集Vol.63A，9-0012，2017.