

超音波センサによる既設送電用鉄塔の余寿命診断技術の開発

○東京電機大学 工学部 電気電子工学科*

講師 鎌田 憲嗣

宮崎大学 教育学部

教授 湯地 敏史

宮崎大学 教育学部

非常勤講師 房野 俊夫

概要

本研究では、送電鉄塔の構造部材に3個のアコースティック・エミッション（AE）センサを取り付けて特定の音波を測定した。そして、実験にあたっては模擬した送電鉄塔の基礎や構造部材の変形部分、および海水から飛散した塩分による錆や腐食が発生した部材やボルトから発生する超音波信号を収集した。さらに、これらの信号に高速フーリエ変換（FFT）を適用し、波形を解析することで、部材の劣化が生じている箇所を特定する手法を確立した。また、部材の修理や送電鉄塔の建て替え時期を予測するための残存寿命評価手法を提案した。

キーワード AEセンサ、高速フーリエ変換、超音波、送電鉄塔、残存寿命

1. はじめに

日本では100年以上前から約25万基の送電鉄塔が建設されてきた。設計基準調査研究委員会の報告によると、これらの送電鉄塔は山間部や沿岸地域に設置されており、特に築50年以上のものでは老朽化による設備異常の兆候が見られます。その原因として、海水や風、洪水による基礎の変形、部材の錆や腐食が挙げられる。

現在、異常の兆候を診断する方法としては、人による巡視・目視点検や、ドローンによる映像診断が行われている。しかし、これらの方法はコストや時間がかかるため、簡単にオンライン化された残存寿命評価手法の開発が求められている。^{1),2)}

金属の疲労が進行すると、微弱な超音波が金属表面を伝搬することが知られているが³⁾、本研究では、AEセンサを用いてこの超音波を観測し、送電鉄塔の残存寿命を予測する新たな手法を提案する。

2. 実験準備と実験装置

実験装置は、図1のように構成した。図1の実験装置図では、送電鉄塔の部材を縮小モデルで再現し、鉄塔の頂部は閉鎖型（フランジブラインドタイプ）で蓋をして、配管どうしは、ねじ込み式のフランジ継手を使用して4本のボルトナットで結合した。そして、異常が発生した部材やボルト部分をフランジ継手の部分で調整して模擬した。実験装置として、長さ1,000mm(1.0m)、呼び口径40Aの鋼管2本をフランジ継手で接続し、3個のAEセンサを鋼管に取り付けた。A点に鋼球を振り子運動で衝突させることで特定の音波を発生し、その微弱な超音波をAEセンサで測定した。この測定信号は、AEセンサ（NF CORPORATION, モデル AE-

900S-WB) を使用して収集し、前置増幅器 (モデル 9917) で増幅した。さらに、オシロスコープ (IWATSU ELECTRIC CO., LTD. DS-5624A) を用いてデータをコンピュータに取り込み、FFT 解析を行った。

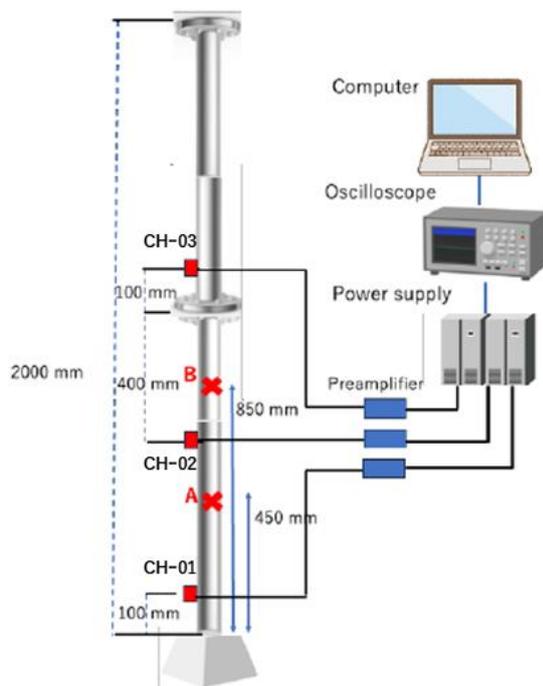


Fig. 1. Experimental equipments.

図 1 実験装置図

3. 結果と考察

A 点に鋼球の付いた振り子を鋼管に対して、鉛直方向 60 度の角度から振り下ろして衝突させた際の超音波信号波形を解析した。また、AE センサごとに信号の振幅閾値を設定し、波形の時間を決定した。その結果、A 点に最も近いセンサでは、約 0.3 秒以上の AE 信号が確認された。一方、フランジ継手の影響を受ける遠方のセンサでは、0.15 秒の短い波形しか観測されなかった。図 2 は、AE 波形の実験結果(a)(b)(c)を示した。図 2 は、AE 波形を示す。FFT 解析を実施して、AE センサ CH-01 および CH-02 では 90Hz, 170Hz, 240Hz の周波数成分が観測された。一方、CH-03 では 240Hz のスペクトルが特に強調されていた。さらに、AE センサの位置を評価するため、170Hz および 240Hz のスペクトル比率を比較した結果、鋼球の振り降ろし角度によってスペクトル比率が変化することが確認された。

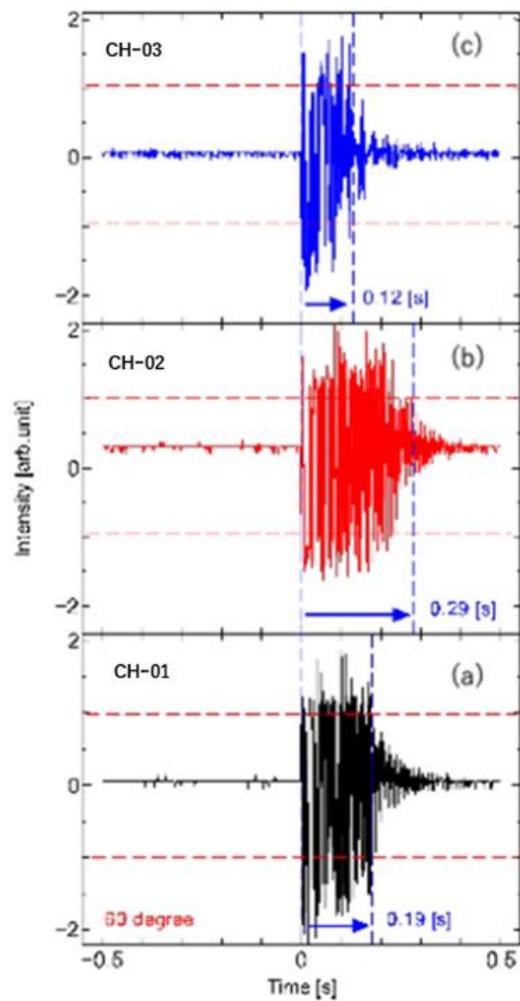


Fig. 2. AE waveforms

図2 AE信号

図3は、図2で得られたAE信号にFFT解析を適用した結果得られたFFTスペクトルを示している。横軸は、周波数であり、縦軸は、振幅である。この図では、A、B、C各点でのAEセンサのFFTスペクトルが表示されている。AEセンサCH-01およびCH-02では、90Hz、170Hz、240Hzにおいてスペクトルが観測された。同様に、AEセンサCH-03では240Hzでスペクトルが観測された。これにより240Hzのスペクトルをさらに解析することで、AEセンサの位置を評価できる可能性が確認できた。

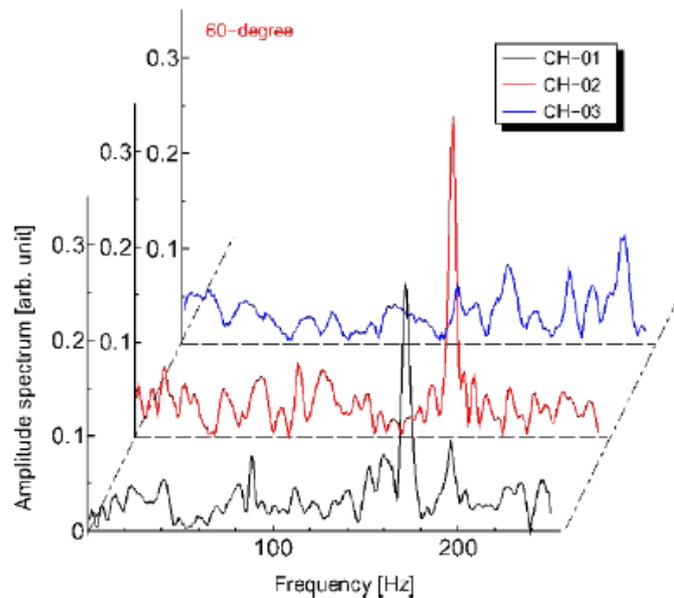


Fig. 3. Effects of angle change on the Fourier spectrum diagrams.

図3 角度の変化がフーリエスペクトルに与える影響

図4は、横軸がAEセンサの位置、縦軸がFFT振幅スペクトルを示す。図4は、鋼管に対して、鉛直方向に30°,45°,60°の3パターンの角度で振り子運動に鋼球を振り降ろして、A点衝突した際に、3個のAEセンサで測定された超音波信号を170Hzおよび240Hzのスペクトル比率を示している。

次に、鋼球をB点の位置に同様に、鋼管に対して、鉛直方向に30°,45°,60°の3パターンの角度で次の振り子運動に鋼球を振り降ろして、使用突させた際の3個のAEセンサで測定された超音波信号を170Hzおよび240Hzのスペクトル比率を示している。

A点では、鋼球の衝突角度が増加するにつれて、170Hzおよび240Hzのスペクトル比率が増加した。

一方、B点では170Hzおよび240Hzのスペクトル比率が減少した。

さらに、A点とB点の比較では、B点での170Hzおよび240Hzのスペクトル比率の増減率が大きいことが確認できた。この結果は、B点がAEセンサCH-03に近く、また異常部や劣化が模擬されたフランジ継手に近いことを示している。

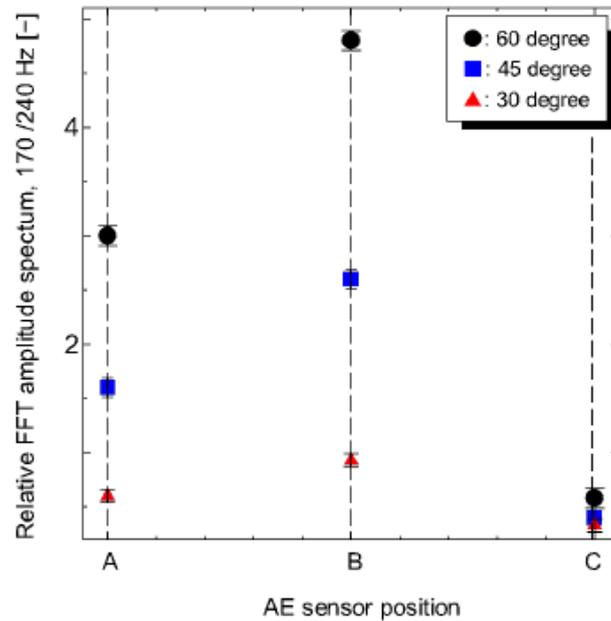


Fig. 4. Effects of the variation in angle change on relative the FFT amplitude spectrum of 170/ 240 Hz.

図4 角度の変化が 170/240Hz の FFT 振幅スペクトルに及ぼす影響

4. 結論

本研究では，送電鉄塔の残存寿命を評価する新たな手法を提案した。具体的には，AE センサを用いて送電鉄塔の鋼材や接合部に発生する超音波を測定し，FFT 解析によって錆や腐食の影響を受けた部材を特定することができた。

実験では，送電鉄塔の部材を縮小モデルで再現し，フランジ継手を用いて異常部位を模擬し，FFT 解析により，フランジ継手に近いセンサと遠いセンサを識別できることが確認され，送電鉄塔の劣化診断に有用であることが示された。

謝 辞

本研究を遂行するにあたり，益財団法人天野工業技術研究所研究助成により研究助成を頂きこの研究に多大なご支援を頂きました。ここに記して謝意を示します。

参考文献

- 1) T. Anezaki, "Automatic Transmission Line Imaging Technology Using Autonomous Drone," J. IEIE Jpn., vol.40, No.4, pp. 242–245, April 2020. in Japanese.
- 2) K. Nakaya, Y. Oishi and J. Suzuki, "Applicability of small unmanned aerial vehicles on evaluation of tree-wire distance for transmission instruments." CRIEPI, V15004, Feb. April 2016. in Japanese.
- 3) K. Kawashima, "Automatic Transmission Line Imaging Technology Using Autonomous Drone," J. Vac. Soc. Jpn., vol.54, No.1, pp. 4–12,2011. in Japanese.