

深層学習を用いた電柱の劣化診断

[研究代表者] 津田紀生 (工学部電気学科)
 [共同研究者] 小塚晃透 (工学部電気学科)
 岩月栄治 (工学部土木工学科)

研究成果の概要

近年地球温暖化に伴い、日本近海で発生した台風が勢力を保ったまま本土に上陸するようになり、電柱の倒壊が問題となっている。電柱は、全国に約 3,600 万本あると言われ、毎年 7 万本のペースで増加しており、今後検査員の不足が予想される。本来なら、電柱を用いて実験を行う予定であったが、コロナ禍の為、急遽ヒューム管を用いて劣化診断を行った。ヒューム管をソレノイドで打撃し、ヒューム管を伝播する Primary Wave を調べた。その結果、健全管とひび割れが入った管のスペクトログラム像に対して、Neural Network と Convolutional Neural Network を利用した結果、Convolutional Neural Network を用いた方がヒューム管表面のひび割れの判定率が高い事を解明した。

研究分野：計測

キーワード：電柱、劣化診断、超音波振動子、深層学習

1. 研究開始当初の背景

国内のコンクリート柱(電柱)は、厳格な規格に基づき、コンクリートと鋼材(PC 鋼棒・PC 鋼線)で構成される。コンクリートは、引張荷重に弱い為、内部の鋼材が引張荷重を分担する。また電柱は、工場において遠心成形製造されるため、現場でコンクリートを打設する土木構造物と比較すると品質が良い。この為、設置後の電柱は、中性化や塩化物イオンの浸透が遅くなると考えられてきた。

しかし、長年電柱を使用していると、強風により電柱が曲がった時に、空隙やひび割れなどの欠損が電柱表面に発生する。これらは、電柱が元の状態に戻ると、外観からは確認するのが難しい。しかし、この空隙やひび割れから塩化物イオンが電柱内部に浸透し、二酸化炭素などの影響によりコンクリートの中性化が進行し、電柱内の鋼材を腐食する。

電柱表面に生じた欠陥の検査方法は、空隙やひび割れの長さや大きさを目視によって検査し、空隙やひび割れがある程度の大きさになったらハンマーを用いた打音検査を行い、劣化度を判定するのが一般的である。しかしながら、

打音検査の場合、音を聞き分ける能力が作業者に求められる為、劣化の状態を判別出来るようになるのに、時間がかかる。

近年、深層学習を利用した劣化判断に関する研究が様々な分野で進んでおり、深層学習を利用する事により、電柱の劣化判断ができれば、作業者の熟練度に依存せず誰でも判別する事が可能となる。

2. 研究の目的

研究の目的は、打撃時にコンクリート内を伝搬する超音波の信号波形や周波数を深層学習し、技術者の熟練度や周囲の環境に影響されず、誰でも現場で劣化を判別できる学習モデルを作成し、超音波を利用した、電柱組込み型の安価な装置を開発する事である。また、この研究を進める事により、Sustainable Development Goals (SDGs: 持続可能な開発目標)の「7.エネルギーをみんなにそしてクリーンに」「9.産業と技術革新の基盤をつくろう」の実現を目指す。

一般的に、コンクリートは不均一な材質の為、超音波の伝搬信号には多くのノイズが含まれる。その為受信信号の

中から求める信号を選択するには、数千回に及ぶ平均化処理等が必要な巨視的超音波法を利用する。そこで、深層学習を用いて、目的の信号を求める。また、今回の研究を通じて、様々な学習データを集め、深層学習が何に注目して判断しているのかが分かれば、深層学習に頼らなくても、電柱自身が定期的に劣化を判断するような、スマート電柱の実現につながると考えられる。

3. 研究の方法

令和2年度の研究は、新型コロナウイルスの影響により、移動が制限されたため、当初予定していた、コンクリート柱製造会社における実験は行えなかった。そこで、大学内でヒューム管を使い実験を行った。

ヒューム管と電柱は、同じような形状をしているが、電柱は Prestressed Concrete (PC) 柱であり、ヒューム管は Reinforced Concrete (RC) 柱なので、鋼材だけでなくコンクリートも異なる。

○実験対象：

図1に実験に使用したヒューム管を示す。学内では、ヒューム管4種類(健全管、縦ひび(2本)クラック幅0.05mm・0.25mm、横ひび(1本)クラック幅0.25mm)を使い実験を行った。



図1. 実験に使用したヒューム管

コンクリート柱倒壊のメカニズムを精査すると、以下に示す3つのメカニズムにより倒壊していることが分かっ

てきた。

(1) 地上数メートルの部分でコンクリート柱が折れている場合。

この場合、コンクリート柱内の鋼材は、腐食で切れておらず、折れた電柱内で繋がっている。主に、台風などの強風時や震度5以上の地震により倒壊した場合に発生する現象であり、コンクリート柱設計時の安全係数を増加させる事により、コンクリート柱の強度を増加させ、倒壊を防ぐ。

(2) コンクリート柱の地中部において、コンクリート柱内部の鋼材の腐食が進んだ場合。

この場合、地中部の鋼材の錆が、地上部まで進行している場合が多く、地上部のコンクリート損壊の目視検査から、コンクリート柱の折損事故を防止できる。

しかし、コンクリート柱を固定する根元にひび割れが存在すると、地上から見えない地中部で鋼材の錆とコンクリートの損壊が急激に進行する。このような場合、地中の状況を目視により確認するには、コンクリート柱の根本周辺の掘削を行わないといけない為、多額の費用がかかる。また、この部分は、地中部に溜まった水分によって、錆が進行する為、例えば地上部のコンクリートが乾いていても、地中部のコンクリートは常に濡れている可能性が高く、コンクリート柱自体が含んでいる水分量が場所によって異なり、コンクリート柱自体の音波の伝搬速度や周波数が、コンクリート柱上部と異なると考えられる。

(3) コンクリート柱の連鎖倒壊により倒れた場合。

この現象は、強風によって飛ばされてきた看板、瓦などの建物の一部、倒木等がコンクリート柱やケーブルに引っかかり、コンクリート柱が1本倒壊した場合、ケーブルで繋がれた周囲のコンクリート柱が相次いで倒れる現象である。この現象を防止する為、強度の高いコンクリート柱を数本間隔で設置し、連鎖倒壊を防ぐ事が考えられている。

以上のように、コンクリート柱の倒壊には様々なメカニズムが存在する。そこで、コンクリート柱倒壊の原因として、コンクリート柱の安全係数を増加させれば倒壊を防げるものは、我々の研究対象から除き、既設のコンクリート柱の劣化を外部から超音波信号を入力し、判断する研究を行う事とした。そこで、令和2年度は、コンクリート柱内部を伝搬する信号のシミュレーション、コンクリートに印可した信号を用いて健全管とクラックの入ったコンクリ

ート柱の判別、ヒューム管の塩害劣化の研究を行った。

4. 研究成果

コンクリート柱を伝搬する波は、過去に行われてきた多くの研究から、物体内部を伝搬する実体波である Primary Wave (P 波：縦波)・Secondary Wave (S 波：横波) と物体表面を伝搬する波であるレイリー波・ラブ波があることが分かっており、P 波が最も伝搬速度が速く、次に S 波、ラブ波、最後にレイリー波と伝搬する。

ラブ波・レイリー波は表面波でありコンクリート柱の表面を伝搬する。一方、S 波・P 波は弾性波として、コンクリート柱内部を伝搬する。

電柱をゴムハンマーで叩き、P 波センサで伝搬信号を測定した波形データと fast Fourier transform (FFT) 処理した結果を図 4 に、同じくヒューム管をゴムハンマーで叩き、P 波センサで測定した伝搬信号と FFT 処理した結果を図 5 に示す。

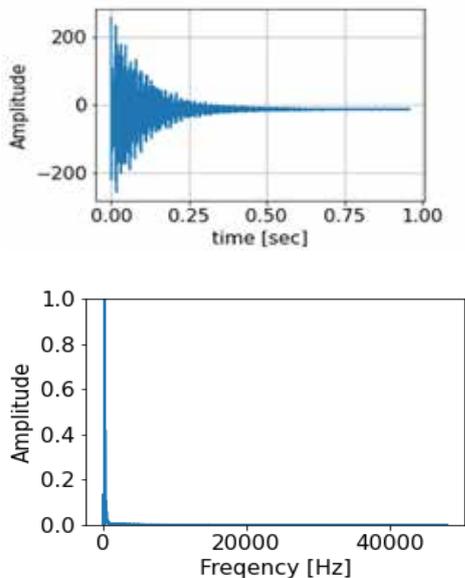


図 4. 電柱：

P 波センサで測定した波形と FFT 結果

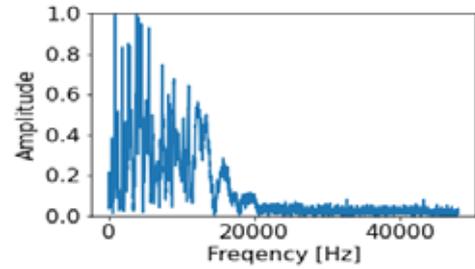
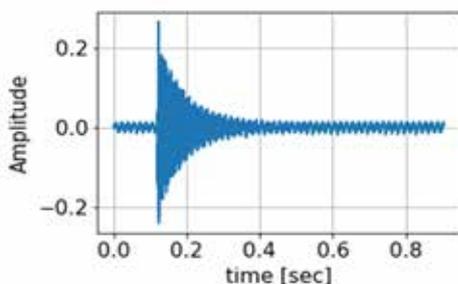


図 5. ヒューム管：

P 波センサで測定した波形と FFT 結果

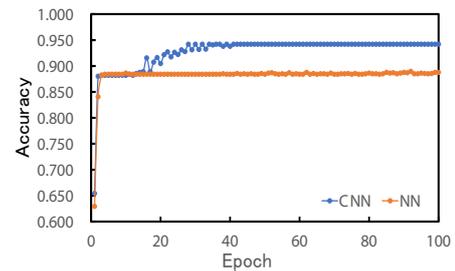


図 6. Epoch に対する正解率の変化の様子

図 4、5 より、電柱とヒューム管で P 波の周波数成分が異なることが分かった。これは、コンクリート柱を構成する成分の配分が異なる為であると考えられる。

また、ゴムハンマーでコンクリート柱を打撃する事で、コンクリート内を伝搬する P 波信号を測定でき、P 波信号の周波数は、低周波成分が多いことが分かった。

次に、ヒューム管をソレノイドで打撃した場合、健全管とひび割れが入った管のスペクトログラム像を利用し判別した。この時、Neural Network (NN) と Convolutional Neural Network (CNN) を利用し、どちらがより判別に向いているのか調べた。図 6 に Epoch に対する正解率の変化を示す。図より、CNN を用いた方がコンクリート柱表面のひび割れの判定率が高い事が分かった。

現在、ヒューム管は、鋼材の劣化によるコンクリートの劣化を調べる為、毎週 1 回塩水噴霧し、ヒューム管表面のひび割れの状態の観測を続けており、今後もひびの状態による伝播信号の変化を観測する。