

## 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、地震や温暖化に伴う台風の大型化に伴い電柱の倒壊する事例が増加している。電柱倒壊の増加に伴い、電柱の定期的な検査が必要となるが、国内に約 3600 万本あると言われる電柱を定期的に全て検査する事は困難である。そこで、本研究では、現在人が現地で行っている電柱の劣化診断を自動化する装置を開発することを目的としている。

前年度の研究において、RC 構造のヒューム管と超音波センサ（共振周波数 50kHz の P 波センサ）を使用した深層学習による劣化判定を行い、深層学習による劣化判定が可能ということを確認したが、本年は昨年度に引き続き、劣化状態でのデータを得るため、RC コンクリート柱構造のヒューム管を用いた実験を行い、コンクリート内の鉄筋の劣化判定を実施した。

今年度は、ソレノイドを駆動する回路を作成し、ソレノイドの打撃力を一定にすることに成功した。次年度は、超音波振動子と PC 構造の小型電柱共試体を使用した実験を主として行う。また実際の電柱を使った実験も行い、小型電柱共試体で得られるデータと違いがあれば、その違いについても研究を行う。

### 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で構成されている。コンクリートは、圧縮力には強いが、引張力に弱い。その為、コンクリート内部に鋼材を入れる鉄筋コンクリートを新たに開発し、コンクリートの欠点を補った。鉄筋コンクリート柱には、ヒューム管が採用する Reinforced Concrete (RC) コンクリート柱構造と、電柱が採用する Prestressed Concrete (PC) コンクリート柱構造がある。

PC 構造の電柱は、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コンクリートの品質が良い。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、台風などの強風や地震で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元に戻る為、外観からは確認するのが難しい。しかし、

表面からは小さく見える空隙やひび割れは、コンクリート内の鉄筋まで届く。その為、このわずかなひび割れから塩化物イオンが電柱内に浸透し鉄筋を腐食させたり、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、電柱内の鉄筋を腐食させると考えられる。

現在、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の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、電柱の劣化診断の自動化が可能となると考え研究を開始した。

## 2. 研究の目的

2018年に「無電柱化推進計画」が策定された。しかし、変圧器などの地上機器を設置する用地の買収が難航した事により予定通り無電柱化が進まず、実際は毎年約7万本のペースで新たな電柱が設置されている。これらの電柱は、住宅の新築や太陽光発電などによるニーズの増加が原因とされている。また、今までに設置した電柱は、近年の地震や温暖化に伴う台風の大型化に伴い電柱の倒壊する事例が増加している。電柱倒壊の増加に伴い、電柱の定期的な検査が必要となるが、国内に約3600万本あると言われる電柱を定期的に全て検査する事は困難である。そこで本研究の目的は、現在人が現地で行っている電柱の劣化診断を自動化する装置を開発することである。

## 3. 研究の方法

前年度の研究では、RC構造のヒューム管と超音波センサ（共振周波数50kHzのP波センサ）を使用し、深層学習による劣化判定の研究を行い、深層学習による劣化判定が可能ということを示した。この劣化判定ではヒューム管に劣化の有無があるかどうかを判定した。本年は昨年度に引き続き、以下の2つの実験を行った。

1つ目は、RCコンクリート柱構造のヒューム管を用いた実験を昨年に引き続き行うことである。この実験は、RCコンクリート柱に塩水を噴霧し、劣化を進行させ、データを随時取得し、それぞれの劣化状態でのデータを取得することである。その為、ヒューム管に超音波振動子を直接接触させ、傷の大きさで超音波が変化するかについて調べた。また、昨年までは、ハンマーを用いて電柱に打音を加えていたが、打撃力を安定させるため、ソレノイドを使用して電柱に打音を加え、取得した波形の比較を行った。

2つ目は、コンクリート内の鉄筋の劣化判定について研究を行う事である。実際に電柱が倒壊する事例は、以下の3つに分類する事が出来ると考えている。

(1) 電柱は全く正常な状態であるが、想定以上の大地震や地球温暖化に伴う海水温の上昇に伴い、日本に上陸する台風が大型化した事と高層ビル等の影響により、想定以上の強風が吹き電柱が倒壊する事がある。この事例に対して、現在の電柱で規定されている強度を増す事で、強風による倒壊を防ぐ事が検討されている。

(2) PC構造の電柱は、強風によって曲がった時に表面にひびが生じたとしても、強風が収まると、PC鋼線の効果で、ひびは表面から無くなる。しかしながら、ひびは電柱表面に目視できなくても、内部鉄筋まで届いており、その後の塩害や風雨の影響により、内部の鉄筋が腐食し電柱表面にひびを発生させる。この症状は、電柱への打撃や超音波を印可する事で、状態診断が可能である。

(3) 電柱の地面との境界付近で、鉄筋の錆が進行し、外観は問題無いのに、突然電柱が倒壊する事例で、水素脆化が原因とも言われたりするが、倒壊のプロセスは現在の所、良く分かっていない。外部から鉄筋の劣化を診断する必要があり、診断が困難な事例とされている。

(2)や(3)の倒壊を防ぐためには、実際の電柱を使った実験が必要だが、コロナの影響で、電柱製造会社に行きたくても出来なかった。電柱は、PC構造で遠心成形製造の為、大学では作成できない。そこで、電柱製造会社の協力のもと、長さ2mの試験用の小型電柱を実際の電柱と同じ製法で作成し、学内に納入した。この電柱は、現在表面にひび（縦ひび2本・横ひび1本）を入れ、塩水を噴霧する事で劣化を進行させている。小型電柱供試体を図1aに示す。また、コンクリート柱内部の鉄筋に問題があった場合の供試体として、RC構造の角柱供試体（無筋供試体含む）と円柱供試体をそれぞれ作成した。角柱供試体を図1bに円柱供試体を図1cに示す。



図1a 作成した小型電柱供試体（PC構造）  
（手前側4本）



図 1b 作成した角柱供試体 (RC 構造)



図 1c 作成した円柱供試体 (RC 構造)

#### 4. 研究成果

##### (1) ヒューム管の打音実験の実験結果について

RC 構造のヒューム管には、実験と同時進行で約 1 年前から劣化を進行させる為、塩水を噴霧しており、塩水噴霧を行う前と後で健全管に変化が現れたか比較した。実験装置の配置を図 2 に示す。ソレノイドは治具で固定した。塩水噴霧する前(2020 年 8 月時点) の打撃信号を FFT した結果を図 3a に、塩水噴霧後(2021 年 8 月時点、1 年後)の打撃信号を FFT した結果を図 3b に示す。

図より塩水噴霧前には出力されていた 50kHz 付近の波形が、噴霧後には減衰して小さくなっているのが確認できた。これは、コンクリートが塩水噴霧により劣化し、もろくなった結果、低周波数側にシフトと考えられ、ヒューム管は塩水噴霧の影響で劣化していることが確認できた。



図 2 ソレノイドを用いた劣化診断実験装置配置図

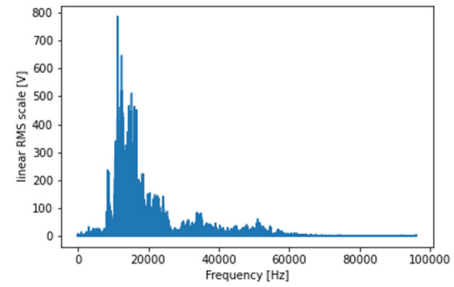


図 3a 塩水噴霧前のヒューム管の周波数特性

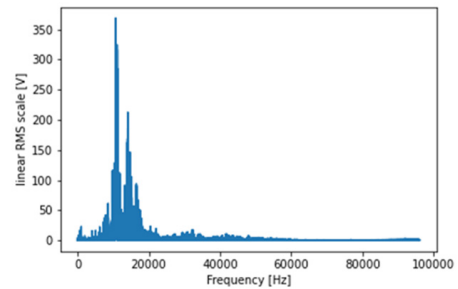


図 3b 塩水噴霧後のヒューム管の周波数特性

##### (2) ソレノイドを用いた内部鉄筋周波数特定

コンクリート内の鉄筋の劣化のみ調べる為の基礎研究を行った。まず鉄筋を伝搬する周波数を特定する為、角柱供試体を使って実験を行った。角柱供試体上にソレノイドと超音波振動子をバンドで固定し、ソレノイドの打撃から発生した弾性波を超音波振動子で受信した。実験装置の配置を図 4 に示す。この実験では、ソレノイドと振動子の距離を 10cm に固定して実験を行った。その結果を図 5a、図 5b に示す。図より、鉄筋が健全な角柱供試体 (RC 構造) と鉄筋の表面を削った角柱供試体 (RC 構造) 共に 15kHz から 20kHz において高い反応を示した。また、ソレノイドの代わりに超音波振動子を用いて実験を行った。図 6 に実験装置の配置を図 7a に鉄筋が健全の場合の FFT の結果を、図 7b に鉄筋が劣化した場合の結果を示す。

図より、超音波振動子を使った実験では、ソレノイドを使った実験のように、特徴を得る事が出来なかった。これは、超音波振動子の共振周波数 50kHz に比べて実験で使用した周波数が低く、その為ソレノイドのような特徴を得ることはできなかったと考えられる。

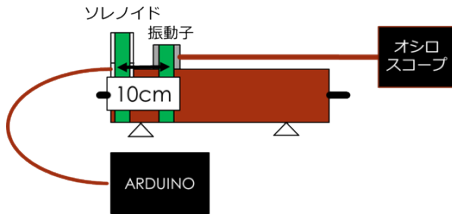


図4 ソレノイドを用いた  
内部鉄筋劣化診断実験の装置配置図

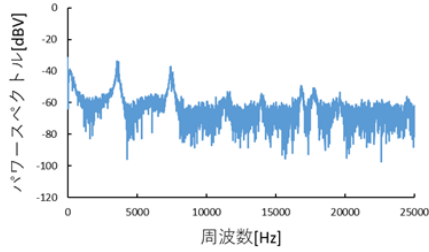


図5a 鉄筋が健全な角柱供試体の FFT 結果

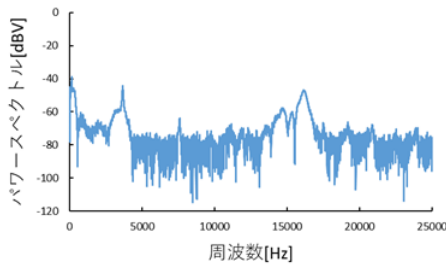


図5b 鉄筋が劣化した角柱供試体の FFT 結果

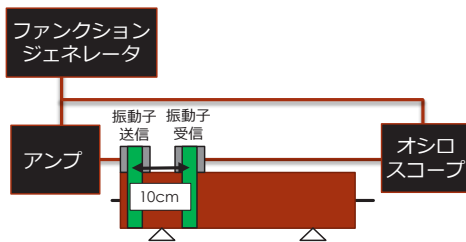


図6 ソレノイドを用いた  
内部鉄筋劣化診断実験装置配置図

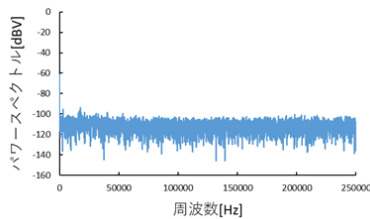


図7a 鉄筋が健全な角柱供試体の  
FFT 結果 (超音波振動子)

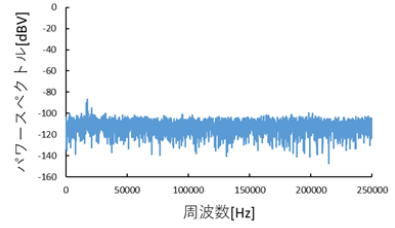


図7b 鉄筋が劣化した角柱供試体の  
FFT 結果 (超音波振動子)

5. 本研究に関する発表

- (1) 荒井翔太・岩月栄治・小塚晃透・津田紀生・佐藤正典、  
深層学習のパラメータ変化によるヒューム管の劣化判定  
における基礎研究、電気・電子・情報関係学会東海支部連  
合大会、F3-6、愛知工業大学 (オンライン)、2021年9月  
7日
- (2) 荒井翔太・岩月栄治・小塚晃透・津田紀生・疋田智美、  
超音波によるコンクリート内鉄筋の劣化判定に関する研  
究、令和4年電気学会全国大会、1-043、岡山大学 津島  
キャンパス (オンライン)、2022年3月21日