

京都大学	博士 (工学)	氏名	伊藤陽
論文題目	機械学習を用いた通信地下管路の地震被害推定手法の構築		
(論文内容の要旨)			
<p>通信管路の地震対策を効率的に行うには、どの管路が被害を受けやすいかを推定することが重要となる。本論文は、過去の複数地震における通信管路の被害データを用いた機械学習により、地震被害推定手法の構築を行ったものである。通信管路の多くは 1960 年代から 70 年代にかけて建設されており、腐食等による劣化も地震被害を予測する上で重要な要素となる。そこで、過去の点検データを用いた機械学習により通信管路の劣化予測手法も構築し、劣化予測手法と地震被害予測手法を組み合わせることで、劣化を加味した地震被害予測手法を構築した。本論文は 6 章からなる。</p> <p>第 1 章では、過去の地震における通信管路の被害状況や地震対策技術について述べ、通信用地下管路の地震被災予測を行うことの重要性を論じた。また、通信以外の管路の地震被害予測に関する既往研究、管路劣化に関する既往の研究をまとめた。</p> <p>第 2 章では、通信管路の地震被害予測のために構築した地震の被害のデータベースについて述べ、被害予測に利用する変数と、各変数に対する被害の傾向を分析した。地盤の剛性に関する指標である AVS30 は新潟県中越沖地震や熊本地震に対して値が低いほど被害を受けやすい傾向が得られた。地震動指標に関して、PGV は 40cm/s を超えると被害が生じ始め、80cm/s で被害率が 5% を超えることが明らかとなった。PGV、計測震度、換算変位など PGA 以外の地震動指標については指標に対して被害率が単調に増加していることを確認した。</p> <p>第 3 章では、第 2 章で述べたデータベースに機械学習を適用して地震被災予測モデルを構築し、構築したモデルの分析を行った。1995 年兵庫県南部地震、2004 年新潟県中越地震、2007 年新潟県中越沖地震、2011 年東北地方太平洋沖地震の 4 地震を対象に、データベースの内 80% のデータを用いて予測モデルを作成し、残りの 20% のデータで予測モデルの検証を行った。その結果、ROC-AUC は 0.928 で精度 87%、再現率 88%、適合率 24.5%、F 値 0.383 となり汎用性のある予測モデルとなっていることが示唆された。このモデルを分析すると、PGV が最も予測モデルに寄与しており、他には AVS30、等価卓越周期、換算変位、経過年数が寄与していることが判った。AVS30、等価卓越周期、換算変位はそれぞれ PGA にかかわる指標であることから、PGA が予測に活用できる可能性が得られた。4 地震で得られたモデルを用いて、モデルにとって全く未知の熊本地震を予測すると精度 79.8%、再現率 41%、適合率 6% と予測性能は低下したが、この予測性能は 4 地震の評価用データを用いた予測結果の内、中越地震への適用結果と同程度の性能であった。構築したモデルで被害を予測できなかったデータを分析した結</p>			

京都大学	博士 (工学)	氏名	伊藤陽
------	---------	----	-----

果, PGV, PGA 等の算出に用いた微地形区分が, 山地と低地が入り組む地形などでは予測が困難である可能性が示唆された. また, 予測に利用していない設備面の敷設形態の特徴などを変数として利用することで被災予測精度向上が図れる可能性を論じた. さらに, 硬質塩化ビニル管については断層変位のような局所的な変位の影響を鋼管よりも強く受ける可能性が示唆された. 硬質塩化ビニル管の被害については断層変位が強く影響することで鋼管の予測以上に事前に想定することが難しいことが示唆された.

第 4 章では, 鋼管を中心に管路の劣化が性能にどのように影響を与えるかを検証した. 実際に埋設されていた管路の継手を収集し, 引張方向に静的に荷重をかける試験を行い, 鋼管ねじ継手の耐荷重が低減する原因としては管路内面の腐食による減肉が考えられることを確認した. また管路内面の腐食速度を, 実際の管路をマンホール環境下に置き, 長期間にわたり腐食させ減肉量を重量減少量から計測することで特定した. 管路内面の腐食速度については時間の $1/2$ 乗に比例するとして式を立案し, 性能低下曲線を検討した. 管路内面の腐食と継手性能の関係を踏まえて, 管路内面の腐食状況と地震被害に関係があるかを熊本地震のデータで確認した. 結果として内面に劣化が確認された管路のほうが統計上は有意に被害を受けやすく, 腐食と地震被害に関係があることが示唆された.

第 5 章では, 第 4 章の内容を踏まえて, 点検データと機械学習を用いて管路の劣化予測モデルを構築した. 構築した劣化予測モデルを評価すると, 再現率が 67%, 適合率が 51%, F 値が 0.57 のモデルを作成できていることが判った. この予測モデルは経過年数を中心に予測しており, これ以外に雨量や気温, 河川流域単位での腐食率で予測を行っていることが判り, 汎用性が示唆されるモデルとなった. この劣化予測モデルを地震被害データベースに適用し, 劣化を考慮することで地震被災予測モデルの性能に差が生じるか確認をした. 結果として劣化予測を踏まえた地震被災予測モデルとすることで, 劣化予測を行わないモデルと比較し, 再現率が 8%, 適合率が 3% 上昇した. この結果から劣化予測モデルおよび被災予測モデルの双方に改善の余地はあるものの, 劣化予測を行うことで地震被害予測モデルの性能向上が図れる可能性が確認できた.

第 6 章は結論であり, 本論文で得られた成果について要約している.

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、過去の複数地震における通信管路の被害データを用いた機械学習により、地震被害推定手法の構築を行ったものである。通信管路の多くは1960年代から70年代にかけて建設されており、腐食等による劣化も地震被害を予測する上で重要な要素となる。そこで、鋼管については過去の点検データを用いた機械学習により鋼管の劣化予測手法も構築し、劣化予測手法と地震被害予測手法を組み合わせることで、劣化を加味した地震被害予測手法を構築した。

本研究で行ったこと、および得られた成果を以下に示す。

1. 1995年兵庫県南部地震、2004年新潟県中越地震、2007年新潟県中越沖地震、2011年東北地方太平洋沖地震の4つの地震被害データを基に機械学習により地震予測モデルを構築した。機械学習のアルゴリズムには、決定木を用いた勾配ブースティング法の一つであるXGboostを用いた。地震被害データの80%を用いて予測モデルを構築し、残りの20%のデータを用いて予測モデルの評価を行った結果、予測性能を表すROC-AUCは0.928、精度87%、再現率88%、適合率24.5%、F値0.383となり、汎用性のある予測モデルとなっていることが示唆された。予測モデルの分析により、PGVとPGAが予測に活用できる可能性が得られた。
2. 鋼管の劣化が性能に及ぼす影響を検証するため、埋設管の継手を収集し、引張試験を行った。その結果、鋼管ねじ継手の耐荷重が低減する原因としては管路内面の腐食による減肉が考えられることが確認できた。また、熊本地震のデータ分析から、内面に劣化が確認された管路のほうが統計上は有意に被害を受けやすく、腐食と地震被害に関係があることを明らかとした。
3. 2の内容を踏まえ、管路の点検データを元に機械学習により管路内面の劣化予測モデルを構築した。その結果、再現率が67%、適合率が51%、F値が0.57の予測モデルを作成することができた。さらに、管路の劣化予測を踏まえた地震被災予測モデルを構築したところ、劣化予測を行わない地震被害予測モデルと比べて、再現率が8%、適合率が3%上昇していることを確認した。この結果から、劣化予測を行うことで地震被害予測モデルの性能向上が図れる可能性を得ることができた。

以上のように、本論文は、機械学習を用いて通信管路の地震被害を予測するモデルを構築するだけでなく、鋼管については劣化予測モデルを構築し、さらに劣化を加味した地震被害予測モデルを構築している。劣化を加味することで、被害予測の精度向上に成功しており、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。また、令和4年8月8日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。