# (48) 下水道管きょの直視画像における深層学習を用いた損傷検出に関する基礎的研究

野澤　正裕[1]・山岸　洋明[2]・松平　正人[3]・福井　正博[4]
大西　秀典[5]・梅原　喜政[6]・肖　　智 葳[7]・松尾　龍平[7]
青木　大誠[7]・大上　航平[7]・今村　賢人[8]・野中　彩楓[8]

[1]正会員　株式会社日本インシーク（〒541-0054 大阪市中央区南本町 3-6-14）
E-mail: nozawa032@insiek.co.jp

[2]正会員　株式会社日本インシーク（〒541-0054 大阪市中央区南本町 3-6-14）
E-mail: yamagishi021@insiek.co.jp

[3]正会員　株式会社日本インシーク（〒541-0054 大阪市中央区南本町 3-6-14）
E-mail: matsudaira003@insiek.co.jp

[4]正会員　株式会社日本インシーク（〒541-0054 大阪市中央区南本町 3-6-14）
E-mail: fukui067@insiek.co.jp

[5]正会員　株式会社日本インシーク（〒541-0054 大阪市中央区南本町 3-6-14）
E-mail: oonishi092@insiek.co.jp

[6]正会員　摂南大学講師　経営学部（〒572-8508　大阪府寝屋川市池田中町 17-8）
E-mail: yoshimasa.umehara@setsunan.ac.jp

[7]学生会員　株式会社日本インシーク／関西大学大学院　総合情報学研究科

[8]学生会員　株式会社日本インシーク／関西大学大学院　総合情報学部

我が国では，下水道施設の老朽化が急速に進んでおり，効率的な下水道管きょの維持管理手法が求められている．この背景のもと，CCTV カメラを用いて撮影した管内画像を管軸方向で展開した展開画像から，深層学習により管きょの損傷を検出し，損傷度合いを自動的に判定する調査技術が開発されている．しかし，展開画像では管軸直角方向の損傷の特徴を取得できないため，取付管の突き出し，樹木根侵入と浸入水の検出が困難な課題がある．そこで，本研究では，管きょを撮影した直視画像から管軸直角方向の特徴を把握できることに着目し，深層学習を用いてこれらの変状がある箇所を検出する手法を提案する．

***Key Words:*** *sewer pipe, maintenance, error detection, deep learning, camera image*

## 1. はじめに

我が国では，高度経済成長期において集中的に施工されたインフラ設備の老朽化が進行している．下水道管きょに着目すると，全国で総延長約 49 万 km にも及び，20 年後にはその約 40%が標準耐用年数 50 年を経過すると予測されている．持続的な下水道管きょの機能を確保するため，国土交通省では，定期的な点検の実施等により管きょの維持管理[1)]を推進している．

従来の点検では，現場での作業日数を短縮するため，調査員が CCTV（Closed-Circuit Television）カメラで管きょの内部を撮影し，事務所で画像処理技術を用いて撮影した管きょ内部の画像を管軸方向に展開した画像（以下，展開画像）を目視により詳細な損傷を確認する「展開図化式」が普及[2)]している．さらに，維持管理の効率化を推進するため，昨今では，展開画像から深層学習を用いて損傷箇所を検出する研究[3),4)]が盛んに行われている．しかし，これらの研究では，日本下水道協会が策定した下水道維持管理指針[5)]で定義されている損傷の一部にしか対応できていない．また，その他既存研究においても，確認すべきすべての損傷を網羅できる技術は見受けられない．以上のことから，様々な手法が検討されているが，

点検業務における担い手不足や現場の調査員の安全性，業務の効率面に課題が残存している．

こうした背景のもと，著者らは，指針[5]で定められているすべての損傷に対応できるシステムの開発を目指して，深層学習を用いて展開画像から管壁上にある破損，クラック，継手ズレを自動的に検出し，損傷幅を算出[6,7]する手法を確立した．そこで，本研究では，展開画像から検出困難[3,4]な管軸直角方向の損傷を対象とした検出技術を開発する．具体的に，管きょ内を撮影した直視画像は，管軸直角方向を撮影できることに着目し，直視画像から深層学習を用いて取付管の突き出し，樹木根侵入と浸入水を検出する．

## 2. 既存研究の調査

本章では，管きょに関する既存の点検・調査手法とその課題について整理する．

### (1) 既存研究の整理

角田ら[8]は，画像分類モデルである ResNet や物体検出モデルである EffecientDet を使用することで，展開画像から継手と取付管を検出する手法を提案している．本手法では，継手 0.82，取付管 0.91 と高い再現率を実現しているが，取付管の突き出し，樹木根侵入と浸入水の検出には至っていない．

澤野ら[9]は，浮流型魚眼カメラを用いて撮影した下水管の広域画像から，再現率 1.00 でひび割れ箇所の検出に成功している．しかし，マンホール縁や塩化ビニル管のつなぎ目を損傷と誤検出する事例が多く，適合率は 0.64 と改善の余地を残している．

鈴木ら[10]は，物体検出手法 YOLOv5 を用いて下水管における損傷の詳細を確認する側視画像からの損傷検出手法を提案している．下水道管のたるみや油脂付着では検出精度 0.85 以上であるが，浸入水の検出正解率は 50%と低い課題がある．

### (2) 研究方針の検討

既存研究の調査結果から，既存研究には，取付管の突き出し，樹木根侵入，浸入水といった管軸直角方向に特徴が生じる損傷の検出に着手した事例が少なく，その精度も低い課題が明らかになった．

そこで，展開画像では，取付管の突き出し，樹木根侵入と浸入水を捉えることができない一方で，直視画像では，それらの損傷が視認できることに着眼した手法を開発する．

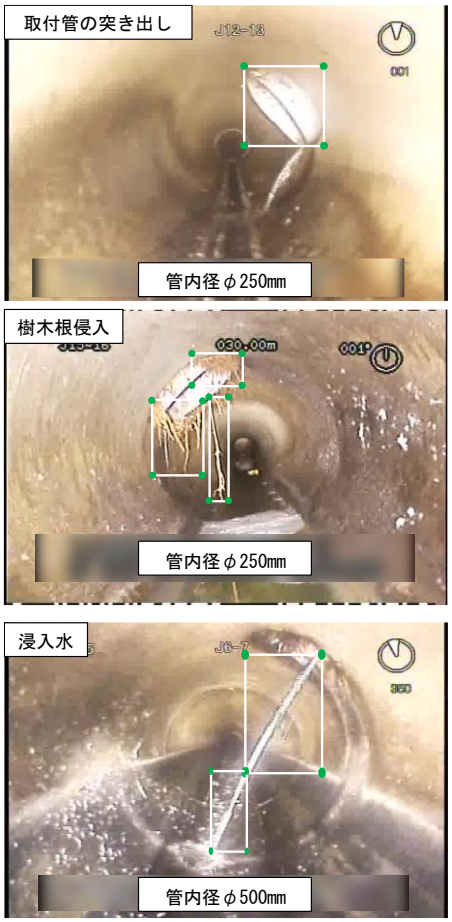



図-1 学習データ生成例

## 3. 損傷検出手法

本研究では，深層学習を用いて直視画像から損傷を検出する技術を開発する．本章では，既存研究では対応できない取付管の突き出しと樹木根進入の損傷への対応と検出精度の低い浸入水における精度向上を図るため，本研究で使用する深層学習の種類や直視画像に着眼した学習データのクラス設定の観点から詳述する．

### (1) 損傷検出モデル

本研究では，深層学習を用いて損傷を検出するモデル（以下，損傷検出モデル）を構築する．深層学習は，ロバストな物体検出能力を有する畳み込みニューラルネットワーク（CNN : Convolutional Neural Network）である YOLOv4 を採用する．

### (2) クラス設定

本研究では，膨大な直視画像から損傷の発生が認められる画像を抽出し，調査員に提示することで点検の効率化や精度の向上を目的としている．一方で，本研究の検出対象である取付管の突き出し，樹木根侵入と浸入水といった検出が困難な損傷を検出する可能性を示すため，

本研究では，これらの損傷を 1 つのクラスとして学習する．

学習データは，直視画像に対して，アノテーションツールの 1 つである labelImg を用いて，**図-1** のように取付管の突き出し，樹木根侵入と浸入水にラベルを付与して作成する．

## 4. 実証実験

本実験では，3 章で詳述した深層学習の種類や学習データのクラス設定に基づいて構築した損傷検出モデルを用いて，直視画像から取付管の突き出し，樹木根侵入と浸入水といった損傷箇所を検出し，その精度を確認することで有用性を明らかにする．

### (1) 実験概要

本実験では，内径 250mm，400mm と 500mm の鉄筋コンクリート管を CCTV カメラで撮影した直視画像を検証用画像とする．損傷検出モデルを検証用画像に適用し，検出結果と正解データを比較することで損傷箇所の検出精度を確認する．検証用画像には，損傷がある画像と損傷がない画像をそれぞれ用意する．

### (2) 実験条件

本実験では，学習データは，検証用画像から損傷箇所を撮影した画像を選定し，人手でアノテーションすることで作成する．検証データは，検証用画像から学習データと重複しないように選定する．学習と検証に用いた画像枚数とアノテーション数をそれぞれ**表-1** に示す．学習回数は 60,000 回とし，バッチサイズは 64 とする．

### (3) 評価方法

本研究では，対象の損傷を 1 つの損傷クラスとして検出する．そこで，本実験の評価では損傷ありと損傷なしの検出精度で評価する．「損傷あり」は提案手法により損傷箇所が画像内に 1 箇所以上検出した場合とし，「損傷なし」は 0 箇所の場合とする．これは，本研究では膨大な直視画像から損傷の発生が認められる画像を検出することで実務における作業の効率化を目的としていることから，取付管の突き出し，樹木根侵入と浸入水といった各損傷を個別に識別する必要がないためである．

検出精度は，検出結果と人手で作成した正解データを比較することで，適合率，再現率，F 値を算出して評価する．適合率とは，検出数に対する検出の成功数の割合，再現率とは，実際の正解の数に対する検出の成功数の割合，F 値とは適合率と再現率の調和平均である．これは，情報処理分野においてシステムの検出精度を評価する一般的な評価指標であり，値が 1 に近づくほどそのシステムの精度が良いことを表している．

**表-1** 実験に使用したデータの内訳

| データ | 対象 | 画像枚数（枚） | アノテーション数（枠） |
|---|---|---|---|
| 学習データ | 損傷あり | 1,968 | 3,630 |
| 評価データ | 損傷あり | 50 | 50 |
| | 損傷なし | 50 | — |

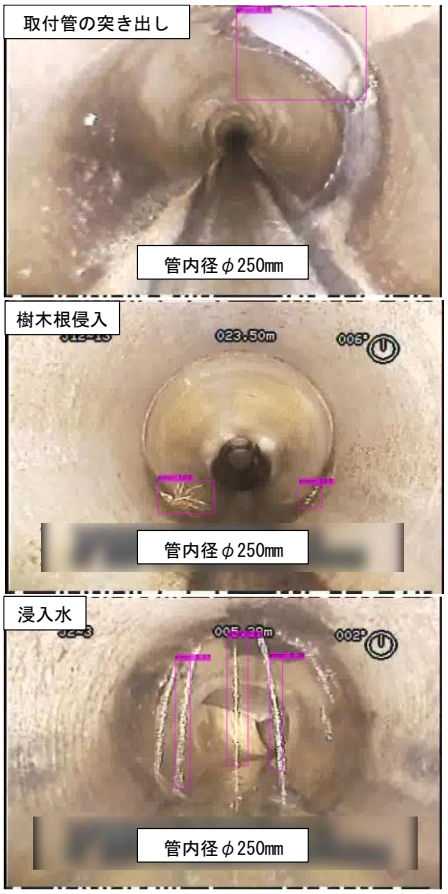



**図-2** 検出成功例

### (4) 結果と考察

提案手法の検出精度を**表-2**，取付管の突き出し，樹木根侵入と浸入水の検出に成功した例を**図-2** に示す．また，それぞれ検出に失敗した例を**図-3** に示す．**表-2** を確認すると，全体精度の F 値は 0.75 と高精度に検出できることがわかった．これは，**図-2** に示すように，取付管の突き出し，樹木根侵入と浸入水といった管軸直角方向に特徴が生じる損傷箇所は直視画像を用いることで，その特徴を確認しやすくなるためであると考える．加えて，「損傷なし」の直視画像に対する再現率が 0.98 と誤検出を抑えることが可能であることがわかった．しかし，「損傷あり」の直視画像に対する再現率が 0.54 と未検出が多く発生していることがわかった．これは，**図-3** に示すよう

表-2　提案手法の検出精度

| | 判定基準 | 対象件数（枚） | 判定結果 | | 適合率 | 再現率 | F値 | 全体精度（平均） | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 損傷あり | 損傷なし | | | | 適合率 | 再現率 | F値 |
| 提案手法 | 損傷あり | 50 | 27 | 23 | 0.96 | 0.54 | 0.69 | 0.82 | 0.76 | 0.75 |
| | 損傷なし | 50 | 1 | 49 | 0.68 | 0.98 | 0.80 | | | |

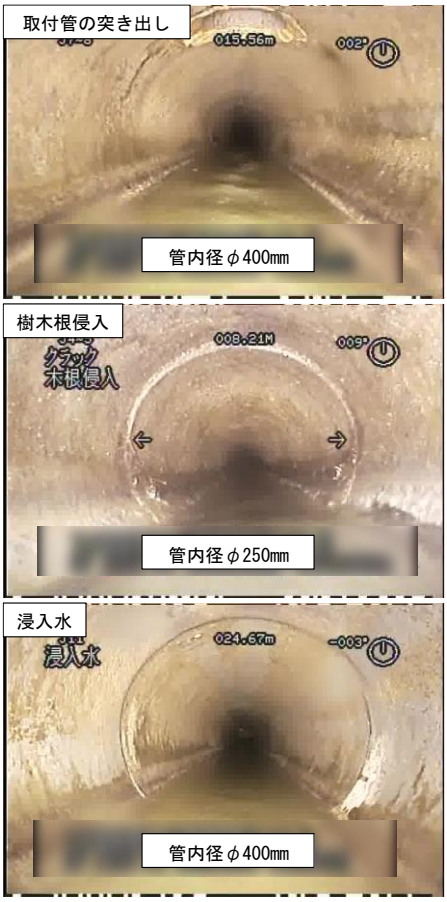



図-3　検出失敗例

に，損傷度合いが少なく，僅かしか直視画像上に損傷が現れていないためであると考えられる．これは，学習データを追加し，別の損傷クラスとして学習することで対応できると考えられる．

以上の結果より，CCTV カメラで撮影した直視画像から取付管の突き出し，樹木根侵入と浸入水を含む画像を高精度に検出できることを確認し，直視画像から管軸直角方向の損傷検出に対する有用性を確認した．

## 5. おわりに

本研究では，管きょの維持管理の効率化に貢献することを目的とし，深層学習を用いて直視画像から取付管の突き出し，樹木根侵入と浸入水を含む画像を検出する手法を試行した．そして，実証実験を通じて，本手法の F 値の平均は 0.75 と高精度な検出が可能であることを確認し，その有用性を明らかにした．しかし，実運用を想定すると，「損傷あり」の画像を「損傷なし」の画像と誤判定し，検出漏れが生じることで，道路陥没等の深刻な被害に繋がる危険性がある．そのため，再現率の更なる精度向上を図る必要がある．今後は，YOLOv4 以外の様々な物体検出手法を試行することで精度向上を図るとともに，再現率向上のために，損傷度合いの少ない損傷箇所の学習データを追加する予定である．

## 参考文献


1) 国土交通省：下水道の維持管理，<https://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sewerage/crd_sewerage_tk_000135.html>，（入手 2023.6.4）．
2) 岩下将也，山口治：ディープラーニングを用いた下水道管渠の情報検出システムの開発，土木情報学シンポジウム講演集，46 巻，pp.33-36，2021.
3) 岩下将也，山口治：ディープラーニングを用いた下水道管渠の点検情報検出システムの開発，土木情報学うシンポジウム講演集，46 巻，pp.33-36，2021.
4) 角田賢明，鎌形勇樹，岡田一哉，杉山登：下水管渠調査を効率化するソフトウェアの開発，インフラメンテナンス実践研究論文集，1 巻，1 号，pp.356-362，2022.
5) 公益社団法人日本下水道協会：下水道維持管理指針（実務編）2014 年版，p.96，公益社団法人日本下水道協会，2014.
6) 竹内大輔，吉田惠勝，野澤正裕，山岸洋明，梅原喜政，肖智葳，中畑光貴，松尾龍平，川﨑悠史，矢野有希子，青木大誠：深層学習を用いた下水道管きょの継手ズレの判定技術に関する研究，写真測量とリモートセンシング，61 巻，3 号，pp.140-151，2022.
7) 竹内大輔，野澤正裕，山岸洋明，梅原喜政，肖智葳，中畑光貴，松尾龍平，川﨑悠史，青木大誠，大上航平：深層学習を用いた下水道管きょにおける損傷度合いの判定技術に関する研究，土木学会論文集，79 巻，22 号，ID.22-22015，2023.
8) 角田賢明，鎌形勇樹，岡田一哉，杉山登：下水管渠を効率化するソフトウェアの開発，インフラメンテナンス実践研究論文集，1 巻，1 号，pp.356-362.
9) 澤野孔明，清水竣太，國保有香，石原進：下水道スクリーニング検査のための浮流型カメラと映像処理に関するプラクティスの報告，情報処理学会論文誌，3 巻，2 号，pp.22-31，2022.
10) 鈴木昌弘，小河誠巳，松本浩樹：物体検出を用いた下水道管画像の自動損傷検知，第 84 回全国大会講演論文集，84 巻，4 号，pp.791-792，2021.