

〈研究発表〉

下水管点検画像のブレ補正技術の開発

陰山 晃 治¹⁾, 崎村 茂 寿¹⁾, 畑山 正 美²⁾

¹⁾ (株)日立製作所 研究開発グループ
(〒319-1292 日立市大みか町7-1-1 E-mail: koji.kageyama.gf@hitachi.com)

²⁾ (株)日立製作所 水・環境ビジネスユニット
(〒101-0021 千代田区外神田1-5-1 E-mail: masayoshi.hatayama.uc@hitachi.com)

概 要

老朽化した下水管の更生や改築を効率的に進めるため、飛行体を使った点検技術が提案されている。下水管の内部は暗い環境であるため、飛行体が移動しながら撮影した画像にはブレが生じやすい。そこで、撮影した画像に含まれるブレを補正できる画像処理技術を開発した。実験セットアップで撮影した模擬画像のブレを補正した結果、飛行速度を1.5倍に高められる目途を得た。この技術を用いると飛行速度を高めてもブレが少ない画像を得られるため現地での点検効率を向上でき、マンホール間隔がより長い下水管も点検対象とすることができる。

キーワード：下水管、点検、画像、ブレ補正、画像処理
原稿受付 2020.6.24

EICA: 25(2・3) 8-11

1. はじめに

国内の下水管総延長は2018年度末で約48万kmに達している¹⁾。そのうち標準耐用年数50年を超過する下水管は、2017年度末の約1.9万kmが10年後には約6.9万km、20年後には約16万kmまで急増する見込みである¹⁾。下水管が老朽化すると、ひび割れ、破損、腐食などが発生しやすくなる。このような劣化が原因で下水管内に土砂が流入すると、機能低下のみならず地表面の陥没に繋がる場合がある。この予防のため下水管の維持管理や更生・改築が現在以上に重要になると見込まれる。維持管理や更生・改築の計画の策定にあたっては、まず下水管の状態を点検して把握する必要がある。現状の点検は作業員や車両型ロボットにより実施されることが一般的だが、飛行体を用いた点検方法も提案され始めている^{2,3)}。地上から導入でき地上で操縦可能な飛行体を用いることで作業員が下水管内に入る必要が無くなれば、酸欠・硫化水素中毒・転落・流されに加え、衛生面でのリスクも低減できるメリットがある。

下水管の内部は暗い環境であるため、飛行体が移動しながら撮影した画像にはブレが生じやすい。手振れ防止機能を有するカメラもあるが、それでも移動しながら撮影した画像にブレが加わることは避けられない。そこで、移動しながら撮影した画像に含まれるブレを補正できる画像処理技術を開発した。この技術を用いると点検時の飛行体の飛行速度を高めてもブレを低減した画像が得られ、点検効率の向上が可能となる。移

動速度を高めることができれば、一度の飛行での点検可能距離が長くなるため、マンホール間隔がより長い下水管も点検対象とすることができる。

2. 方 法

2.1 点検調査でのニーズのトレードオフ

飛行体を用いる点検調査の主なニーズとして、**Fig. 1**で示すように点検効率の向上、撮影画質の向上、一度の飛行での点検可能距離の長距離化がある。これらのニーズにはトレードオフの関係がある。たとえば点検効率を向上させるために移動速度を高めると、ブレのため撮影画質が低下する。撮影画質を向上するため照明光量高めると、電池の消費が増えるため点検可

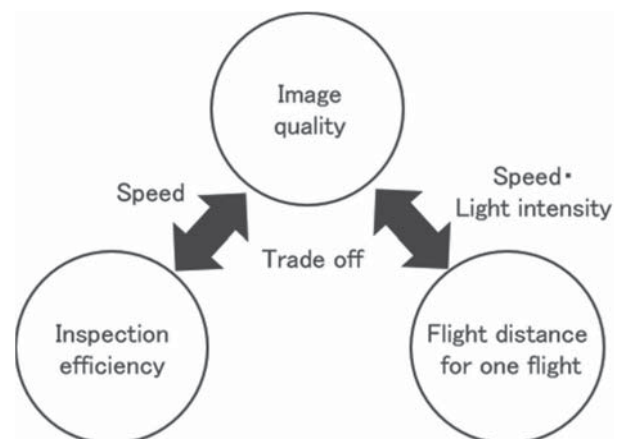


Fig. 1 Trade off on main requirements

能距離が減少する。これら3つのニーズを満足する方策として、本研究では画像処理技術に着目した。画像処理によって撮影後の画像を加工してブレを低減できればその分だけ飛行速度を高められ、点検効率の向上や一度の飛行での点検可能距離の長距離化を実現できると考えた。

2.2 ブレを含む画像の撮影に用いた実験セットアップと撮影条件

下水管内において、飛行体は水平飛行しながら壁面に向けたカメラで壁面を撮影することを想定した。これと同等の模擬画像を撮影するため、Fig. 2で示す実験セットアップを準備した。

設定した一定の移動速度でカメラを水平移動するため、レールに置いたカメラを可変速のモータ軸につながった紐で水平方向に牽引する構成とした。移動速度は0.3 m/s および 0.45 m/s と設定した。レールとしてはコの字型のアルミ製チャンネル（長さ 2000 mm × 幅 36 mm × 高さ 18 mm）を用い、2つの三脚で両側を固定した。カメラとしてはGoPro社のアクションカム HERO7 を用い、撮影条件は動画 60 fps (frame per second)、手振れ防止機能 ON、撮影画質は4K と設定した。点検対象としては下水管の周方向クラックと軸方向クラックを想定し、Fig. 3で示すよ

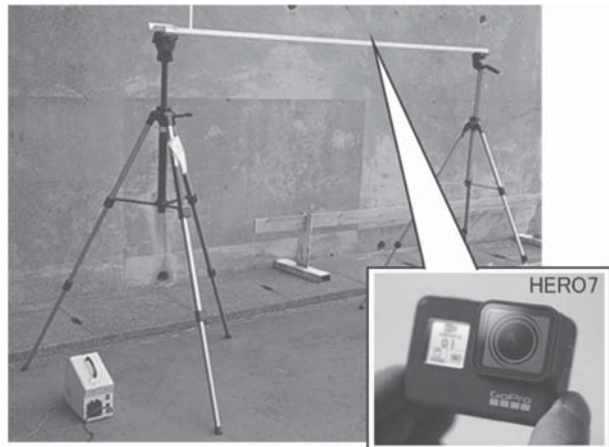


Fig. 2 Experimental setup

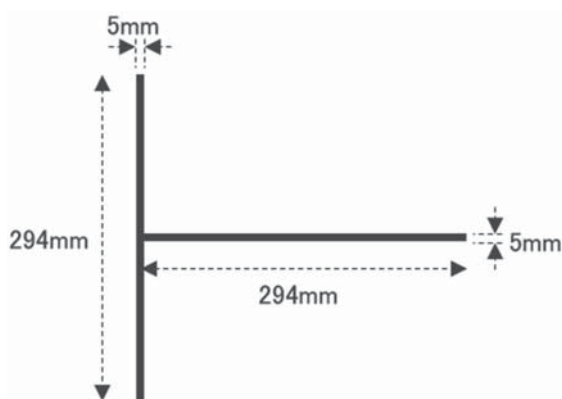


Fig. 3 Simulated crack

うに垂直のコンクリート壁面に模擬クラックとして幅 5 mm 長さ 294 mm の黒色紙テープを鉛直方向および水平方向に貼付した。壁面と上記のレールとの離隔は 1000 mm と設置した。壁面の明るさを一定とするため画像撮影は夜間とし、光源としてLEDテープライトを準備し、壁面での照度が 60 ルクスとなるよう壁面との距離を調整した。

2.3 ブレ補正技術

今回用いたカメラ HERO7 で手振れ補正機能を ON に設定しても、高速で水平移動しながら撮影するとブレが生じる。撮影後の画像のブレを補正するため、次の2段階の要素で構成されるブレ補正技術を開発した。

(1) 非ブレフレーム抽出

動画を構成するフレームの中からできるだけブレが少ないフレームを自動的に選び出す機能である。具体的には、それぞれのフレームに映っている画像の情報を統計処理してブレの指標を算出し、詳細確認したい所望の画像の前後で指標の値が最大となる（＝ブレが少ない）フレームを選び出す。

(2) 点広がり関数によるブレ補正

(1) で抽出したブレの少ないフレームからさらに点広がり関数でブレを補正する。点広がり関数とは、ブレ前の特定画素がブレ後の周辺画素に散らばる「散らばり方」を示すものである。原画像、点広がり関数、ブレ画像の関係を Fig. 4 に示す。図中の「*」は畳み込み演算を意味する。この点広がり関数を適切に推定できれば、逆演算によってブレ画像を補正して原画像に近づけることができる⁴⁾。ただし、点広がり関数はブレの向きやブレの量によって異なり、この決定方法が課題であった。そこで本研究では対象とするフレーム前後の画像を活用してブレの向きを求め、点広がり関数を推定できる機能を新たに開発した。

これら (1) (2) を組み合わせ、2.2 で撮影した画像のブレの補正を試みた。

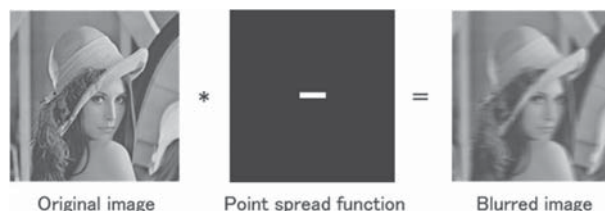


Fig. 4 Original image, point spread function and blurred image

3. 結果および考察

撮影した動画から取り出した原画像の一例を Fig. 5 に示す。左側の原画像内に示す点線内の拡大画像を右側に示す。移動速度が 0.45 m/s の場合、0.3 m/s の場

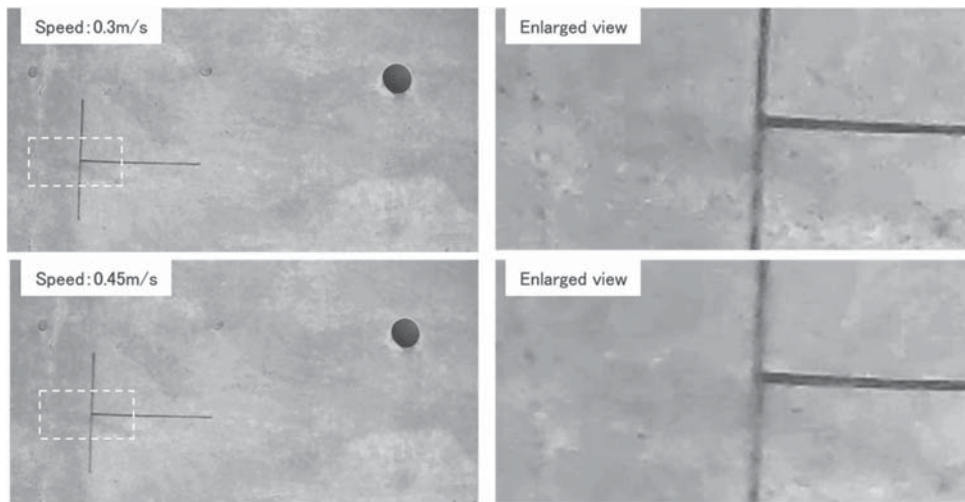


Fig. 5 Wall image (original)

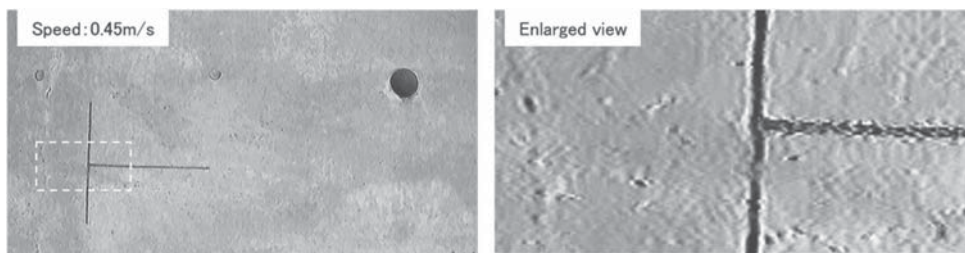


Fig. 6 Wall image (deblurred)

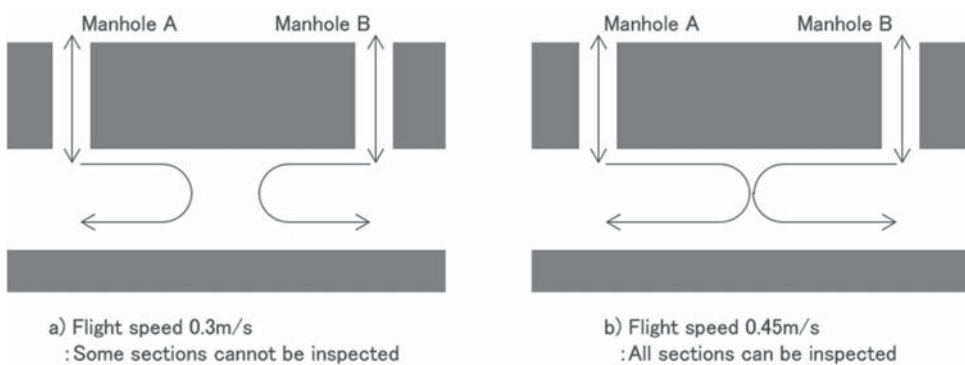


Fig. 7 Image of flight path from both manhole (Interval : 200 m)

合に比べて鉛直方向の模擬クラックやコンクリート壁面のテクスチャが不明瞭であることが分かる。

移動速度 0.45 m/s の画像をブレ補正技術で処理した結果を Fig. 6 に示す。左側の全体の画像を Fig. 5 下段の画像と比べると、鉛直方向の模擬クラックが細くなり、色も濃くなっていることが分かる。さらに、コンクリート壁面のテクスチャや細かいクラックも視認しやすくなったことが分かる。このように、開発したブレ補正技術を用いることにより、原画像で不明瞭な箇所についても目視確認しやすくなることが分かった。Fig. 5 上段の移動速度 0.3 m/s の原画像に比べ、Fig. 6 では壁面の状態をより明瞭に把握できると考えられる。その場合 Fig. 1 で示した移動速度を 1.5 倍 (= $0.45 \div 0.3$) に高めることができると言える。これは、

点検効率が 1.5 倍、一度の飛行での点検可能距離も 1.5 倍にできることを意味する。

一般的な径 60 cm のマンホールから導入できるサイズの飛行体の最大飛行可能時間は、多くの場合 10 分程度である。最大飛行可能時間を仮に 10 分とすると、0.3 m/s の飛行速度で飛行できる最大距離は 180 m、0.45 m/s で飛行できる距離は 270 m となる。設置環境に応じてマンホールとマンホールの間隔は様々であるが、たとえば間隔が 200 m とすると、Fig. 7 のように両側のマンホールから飛行体を導入しても飛行速度 0.3 m/s では点検できない区間が生じるが、飛行速度 0.45 m/s であれば余裕をもって全区間を点検できる。最大飛行可能時間や元の飛行速度が異なっても、同様にマンホール間隔が 1.5 倍長い下水管も点検

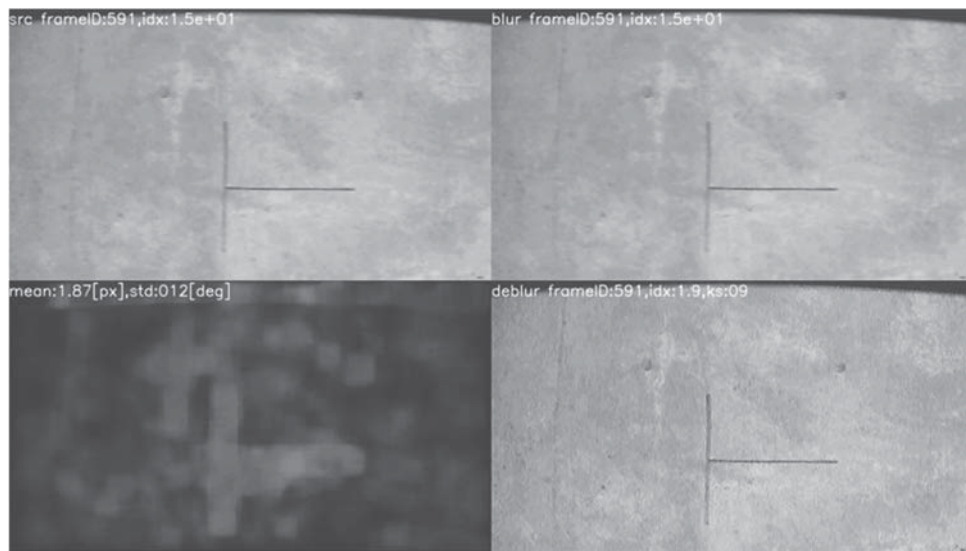


Fig. 8 An image example of image management system

対象とすることができる。

この画像処理技術を動画ファイルに対して適用できる画像管理システムを開発した。画面の一例を Fig. 8 に示す。左上が原画像，右上が中間画像，左下がブレの向きを求めたカウンター図，右下がブレ補正処理後の画像である。左上と右下の画像を同時に見ることができるため，ブレ補正した結果を含めて総合的に劣化状況を確認できる。

4. 結 論

標準耐用年数 50 年を超過した下水管路の増加にともない，下水管の点検工事の増加が見込まれる。点検方法として飛行体を用いる場合には撮影した画像にブレが生じる可能性があるため，画像処理によるブレの補正技術を開発した。実験データで評価した結果，ブレを補正してより明確な画像を得られることが確認で

きた。この技術により，飛行体の移動速度を 1.5 倍に高めることが可能となる見込みである。今後，さらなる検証を進めていくとともに，本研究で述べたブレ補正技術以外のメニューも加えた画像管理システムを構築していきたい。

参 考 文 献

- 1) 国土交通省，下水道の維持管理，http://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sewerage/crd_sewerage_tk_000135.html
- 2) 日水コン・雲田商会・横浜国立大，無人小型飛行体を活用した管きょ点検調査技術の実用化に関する取組み，第 56 回下水道研究発表会
- 3) NJS・高杉商事・横須賀市，UAV を用いた下水道管きょの点検調査の有効性検討，第 56 回下水道研究発表会
- 4) 名古屋工業大学，ボケ・ブレ画像の復元技術，<https://sds.web.nitech.ac.jp/?p=3161>