

大阪大学大学院工学研究科 学生会員 ○内海 輝昭
 大阪大学大学院工学研究科 フェロー 青木 伸一
 西日本旅客鉄道株式会社 正会員 濱野 智紀

1. 研究の背景と目的

近年、海岸線を走る鉄道の護岸前面の砂浜が侵食され、それが原因で護岸が損傷したり軌道内に陥没が生じるなどの事例が見られる。このような場合、事故防止のために砂浜の地形モニタリングがまず必要となるが、対象海岸の全域を高頻度に把握することは難しい。本研究で対象とする紀伊半島の海岸でも、台風等の影響により鉄道の護岸が被災する事例が報告されている¹⁾。

海岸地形の 3 次元モデル生成によるモニタリング手法には、小型 UAV(small Unmanned Aerial Vehicle)と Structure from motion (以下 SfM) を用いた手法がある。この手法は、高精度で海岸地形の 3 次元復元が可能であるが、現地での作業が必要であるため継続的なモニタリングには適さない。本研究では、このような背景を踏まえ、鉄道車上カメラの映像(図-1, 表-1 参照)を利用し、海岸地形を 3 次元に復元する新たなモニタリング手法の提案を試みた。



図-1 鉄道車上カメラの映像

表-1 鉄道車上カメラの仕様

解像度	640×480 画素
記録速度	30 fps

2. 提案手法の概要

鉄道車上カメラは、対象物体に対する撮影方向が限定されるため、復元された 3 次元地形は大きく歪みを伴う。前述した SfM を用いた場合、復元された 3 次元地形は形状のみが復元されており、実際のスケールに調整する必要があるが、歪みの大きい復元結果ではこの段階で困難を伴う。そこで本研究では、現地で基準

点を設置し、その基準点の 3 次元座標と画像上の座標の対応から実際のスケールで 3 次元復元ができる DLT(Direct Linear Transformation)法を用いた。

3 次元復元には 2 枚の画像間で同一点の対応組を得る必要があるが、これに本研究では、連続する画像間での物体の動きを画像平面上に表したベクトルである オプティカルフロー(図-2 参照)を用いた²⁾。連続画像列で随時これを推定し、画像上の同一点を追跡することで 2 枚の画像の対応組を得た。さらに図-2 で示すようにオプティカルフローは、カメラが並進運動のみの場合、FOE(Focus of Expansion)と呼ばれる点から放射状に動く性質を持つ。この性質を利用し、図-3 のように各追跡点と目測で推定した FOE とを結ぶ直線を基準にして許容角度 α を設定し、推定したオプティカルフローとなす角度 β が、

$$-\frac{\alpha}{2} < \beta < \frac{\alpha}{2}$$

を満たすオプティカルフローのみを採用し、満たさないものを除外した。

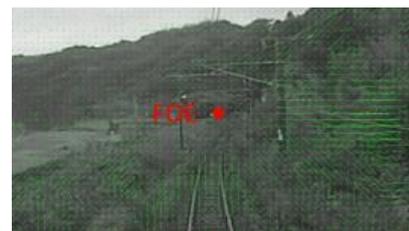


図-2 オプティカルフローと FOE

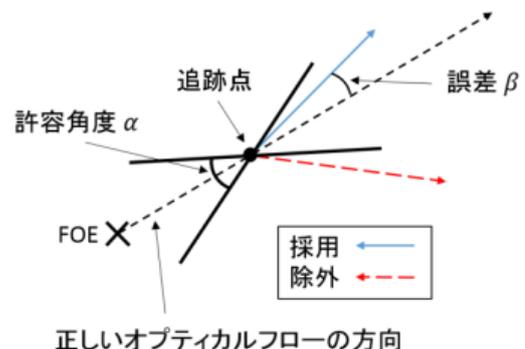


図-3 誤ったオプティカルフローの除外手法

3. 復元結果の一例

対象地域の3次元地形の生成を行った。図-4が対象地域の航空写真であり、区間1、区間2、区間3での連続画像列を用いて、赤枠内の対象部分を復元した。基準点には、画像上で特定できる護岸や線路沿いの電柱の特徴点に設定し、1枚の画像に9点ずつ設けた。



図-4 航空写真³⁾

図-5(a)で示したのが復元した3次元地形の一例であり、図-5(b)は地形測量より得た実測値の3次元地形である。

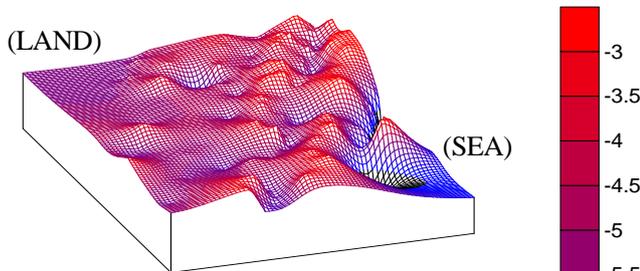


図-5(a) 推定値による3次元モデル

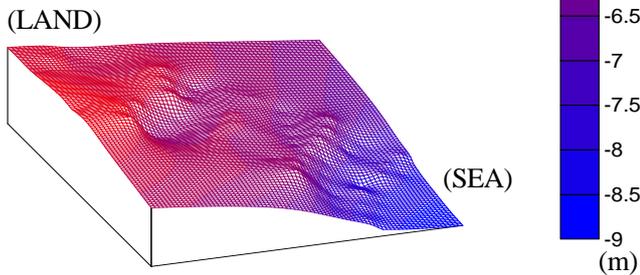


図-5(b) 実測値による3次元モデル

4. 精度の検討

表-2に示す条件で得られた3次元地形の断面図(図-6)を比較し、精度の検討を行った。

表-2 各ケースの条件

	区間	許容角度(deg)	総対応点数
Case1	区間1	60	1926
Case2	区間2	60	3077
Case3	区間3	60	66
Case4	区間1	64	2912
Case5	区間1	56	1088

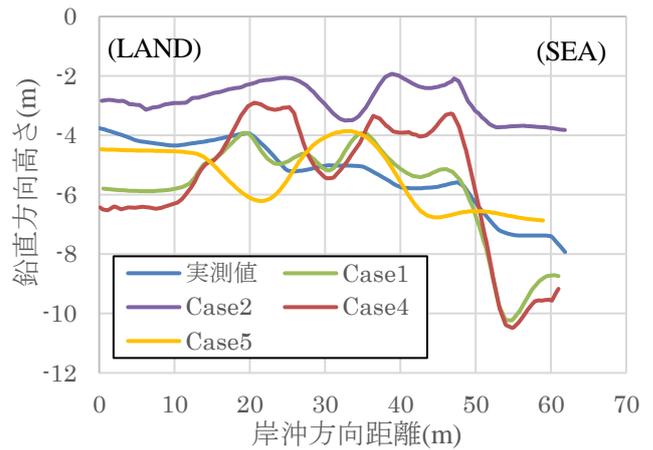


図-6 断面図

以下では、各条件が精度に与える影響について述べる。Case1~3では使用画像区間による比較を行ったが、Case3では総対応点数が少なく、復元ができなかった。またCase2では、復元はできたが図-6から分かるように、Case1と異なり全体的に誤差が生じた。このように、推定区間の対象からの距離が大きいほど、良好な復元が困難となった。

Case1, 4, 5では、許容角度のみを変化させた。許容角度は、小さいほど強固に画像間の誤対応点を除外でき、精度の向上が見込まれる。図-6でCase1とCase4に着目すれば、許容角度の制限によって、岸沖方向距離20~50m地点で顕著に精度の向上が確認できる。しかし、同様にCase1とCase5では、岸沖方向距離0~10m, 50~60m地点では精度が向上しているが、同10~50m地点では逆に精度の低下が確認される。このことから、誤対応点を本研究で提案した除外手法で完全に除外することは難しく、またCase1, 4, 5のように、推定値が実測値付近を振動するような値になる原因は、誤対応点を推定に用いているからと考えられる。

以上のように本手法では、最適な条件下でも約2m程度の誤差を伴う。精度の向上には、オプティカルフローとFOEによる一連の対応点取得方法を改善する必要があると考えられる。

参考文献・出典

- 1) 山田啓太, 海岸護岸の変状対策および維持管理について, 土木学会年次学術講演会講演概要集 Vol: 71, VI-099, 2016, .
- 2) Jan Eric Solem : 実践コンピュータビジョン, オライリー・ジャパン, pp.219~232, 2015.
- 3) Google マップ : <https://www.google.co.jp/maps/>