

UAV を用いた高頻度海浜モニタリング*

東北大学工学部土木工学専攻 鈴木彰容
東北大学大学院土木工学専攻 三戸部佑太
東北大学大学院土木工学専攻 田中仁

1. はじめに

海浜形状データは海岸部における土砂輸送や地形変化を把握するための基礎的なデータとして必要不可欠である。空中写真は広域の地形情報を一度に捉えることができ、海岸を対象とした研究にも大いに活用されてきている。一方河口地形は複雑な外力のもと絶えず変化し続けるため、この変形過程を分析するには、高頻度にデータを取得することが必要になる。しかし従来の空中写真測量は高価であることから、高頻度を実施することには難しさが伴う。一方で近年、小型の UAV (Unmanned Aerial Vehicle) の普及が進み、その簡便さから海岸部のモニタリングにも適用され始めている (例えば、松原ら, 2016)。そこで本研究では、一週間に一度という高い頻度での UAV を用いた空撮及び空中写真解析を実施し、河口の変形過程について分析を行った。

2. 対象地域

本研究では仙台市の二級河川・七北田川河口付近を対象とした (図-1)。七北田川は、仙台市北西部の泉ヶ岳に源を発し、仙台市蒲生地先で仙台湾にそそぐ二級河川であり、幹川流路延長は 45km、流域面積は 229.1km² であり (澤本ら, 2010)、これまでも数多くの研究がなされてきた (例えば田中ら, 2004)。川はもともと現河口近くで約 1km 北上してから仙台湾にそそいでいた。これは仙台海岸において北上する漂砂が卓越することを示している。1965 年の仙台港建設を受け、導流堤によって現位置に固定された。近年においては、河口砂州の形状は沿岸漂砂の影響により右岸が伸長する傾向にあるが、波向等の波浪条件により絶えず細かい変形を繰り返している。最近では 2016 年 8 月末に東北に上陸した台風 10 号及び 11 月 22 日の福島県沖地震に伴って発生した津波により、河口砂州の形状が明瞭に変化した。

3. 使用器具

本研究では、SwellPro 社製の Splash Drone を用いた。内蔵 GPS による完全自律飛行が可能である。また自律飛行に際して、同社が提供しているソフトウェアを使用した。飛行時間は 10 分から 15 分程度で飛行速度は約 5km/s (自律飛行時) であり、完全防水仕様なので雨天時での航行や水面への離着陸が可能となっている。カメラには GoPro 社製の GoProHERO4 を適用した。解像度は 12Mp (3000×4000) であり、広角レンズが適用されているため、撮影された画像には樽状の歪みが発生する。

* High-frequency UAV monitoring of beach and wave by Akihiro Suzuki, Yuta Mitobe and Hitoshi Tanaka

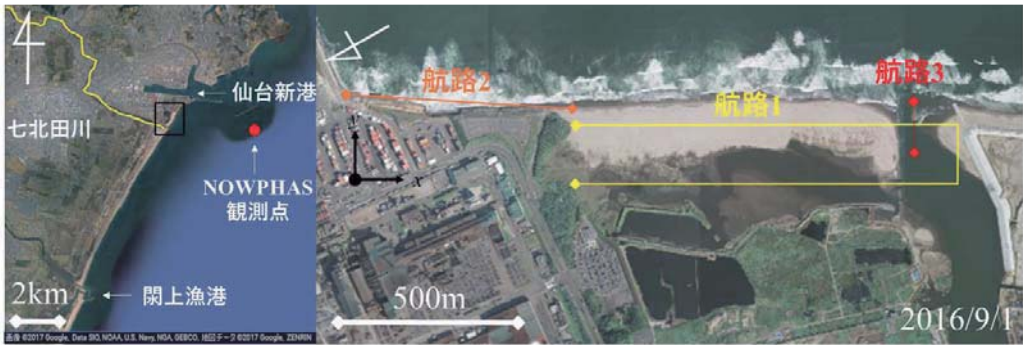


図-1：対象地域及び撮影航路

表-1：航路ごとの撮影日時

| | 9月17日 | 9月25日 | 10月1日 | 10月7日 | 10月22日 | 10月28日 | 11月4日 | 11月11日 | 11月18日 | 11月22日 | 11月23日 | 11月25日 | 11月27日 | 12月3日 |
|-----|-------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| 航路1 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 航路2 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | 津波 | ○ | ○ | ○ | ○ |
| 航路3 | | | | | | | ○ | | | | ○ | ○ | ○ | ○ |

4. 研究手法

今回対象地域において、UAVの空撮は図-1(右)に示した3航路で実施した。航路1では対象地域北部にある駐車場及び港湾施設のある盛り土の法面部を撮影、航路2は航路1の末端から七北田川河口部までの海浜及び手前の干潟地形をそれぞれ往路・復路で撮影、航路3では七北田川河口部を撮影した。また撮影期日を表1に示した。9月17日より基本的に一週間間隔で12月3日までとしたが、11月22日に太平洋沖で発生した地震に伴い対象地域を越流する津波が発生したことから、この期間においては詳細な変化を見るために2日間隔で空撮を実施した。航路3については11月4日及び津波後からの実施となっている。また撮影高度は航路1及び2では80m、航路3では145mとして行い、地上解像度はそれぞれおよそ4.1cmと7.4cmとなっている。本研究では特に河口部の変形過程を分析することを目的としたので、航路3から得られた画像群及び航路2から得られた画像群から河口部のみを抽出し解析を実施した。解析に際しては、今回使用したGoPro社製カメラには広角レンズが適用されているため、画像に樽状の歪みを生じたが、これは同社が提供しているソフトウェアを用いて除去した。次に画像の幾何補正を行ったが、海浜の様な特徴的なものが少ない場所においてUAVを用いた空撮を行うときは、後の幾何補正等のために地上基準点を人工的に設置し、GPS機器等を用いて事前に任意の座標系での緯度経度を測定しておくことが一般的であるが(例えばComcalvesら, 2015)、今回の測定では測定コスト低減のために、地上基準点を設置せずに空撮を行った。このため、別途航空機により撮影し、事前に幾何補正された写真(図-1右)を用いることで、幾何補正を行った。アルゴリズムとしては二つの画像両方に写っている特徴物を選択し、関連付けることで幾何補正を行うというものである(HOANGら, 2016)。ここで画像の原点及び座標軸は図-1(右)に示した通りである。その後画像の輝度を参照することで汀線を抽出し、最後に砂浜勾配に代

表値として 0.11 を与えることで潮位補正を行った（黒澤ら，2001）。

5. 結果

上記期間において撮影した 13 日間の汀線データに，9 月 1 日に撮影された航空写真から抽出した汀線データを加えた計 14 日間を，9/1~10/22，10/22~11/18，11/18~12/3 というように区切った。これは一つ目の期間では砂州が後退傾向，二つ目の期間では砂州が前進傾向にあり，三つ目の期間においては 11/22 に発生した津波前後での変化の傾向を，それぞれ分析するためである。以下それぞれの期間における汀線変化を波浪情報等と合わせて分析していく。

5-1. 9/1~10/22

8 月 30 日に東北に上陸した台風 10 号の影響で，対象地域において明瞭な侵食が観測された。この汀線変化も分析するために，UAV で撮影した写真とは別に 9 月 1 日に撮影された航空写真からも汀線を抽出し，これを加えたものが図-2 となっている。また NOWPHAS による有義波高、周期及び波向を図-3 として示した。図-2 の x 軸が北から 210° の方向を向いているので波向が 120° より大きければ波は図-2 の右上から入射してくることになり，逆に 120° より小さければ左上から入射してくることとなる。

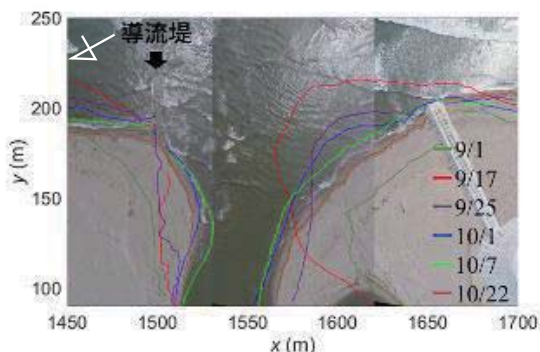


図-2：9/1~10/22 の汀線変動

9 月 1 日~9 月 17 日の間に，兩岸とも砂州

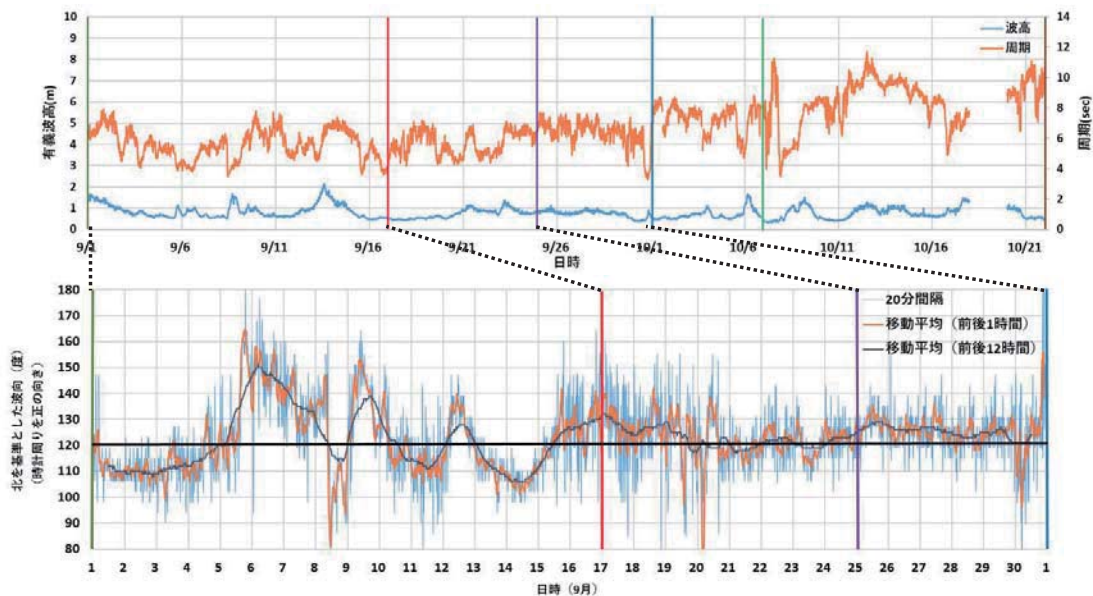


図-3：9/1~10/22 の波浪情報（上）、9 月の波向変化（下）

が急激に前進していることが見て取れる。これは台風によって浸食された部分に、沿岸漂砂によって砂が堆積したことが原因の一つだと考えられる。そして9月17日からは左岸導流堤 ($x=1500\text{m}$) より左側は後退、右側は前進する傾向がみられ、一方右岸では回復した汀線が河口奥へ押し込まれていることが分かる。ここで、図-4 を見てみるとこの期間は波向きが基本的に 120° 以上であることが分かり、結果として砂州が奥に押し込まれたと考えられる。

5-2. 10/22~11/18

図-4 から、この期間においては9/17~10/22の期間とは逆に、兩岸とも堆積傾向を示していることが読み取れる。右岸に関して、まず10/22~11/4の期間に右岸導流堤先端部 ($x=1650\text{m}$) より右側に砂が堆積し、その後導流堤の左側が堆積していることがわかる。これは河川の流れによって沿岸漂砂が遮られ、その上手側に砂が堆積したからだと考えられる。一方左岸に関して、右岸が堆積傾向を見せていた10/22~11/4の期間では特徴的な変化は見られないが、砂州が右岸導流堤より左側に張り出してきた11/4~11/18の期間で堆積傾向がみられるが、この変化も沿岸漂砂によって堆積したものと考えられる。

5-3. 11/18~12/3

先述の通り、11月22日に福島県沖で発生した地震に伴い対象地域を越流する流れが発生したことを受け、この期間においては津波発生1日後、3日後、5日後、11日後と撮影間隔を短くした。興味深い点は津波そのものによる汀線変動がほとんど見られないことである。続いて図-6 から読み取れることとして、河口左岸は時間の経過とともに砂が河口奥に押し込まれている一方、河口右岸ではほとんど変化がないことであ

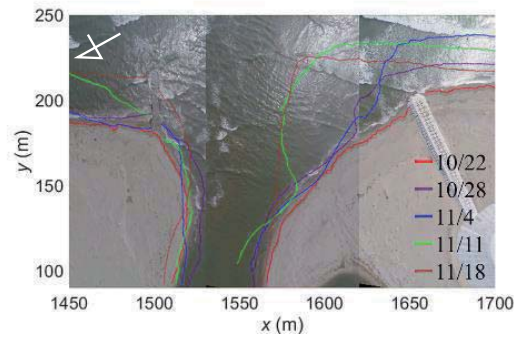


図-4 : 10/22~11/18 の汀線変動

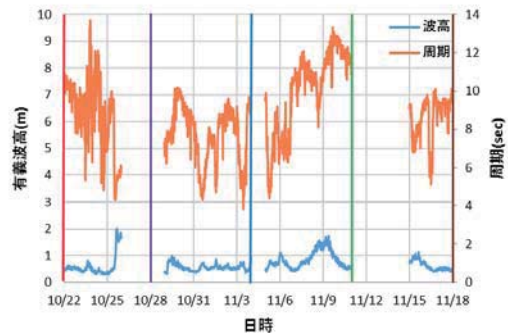


図-5 : 10/22~11/18 の波浪情報

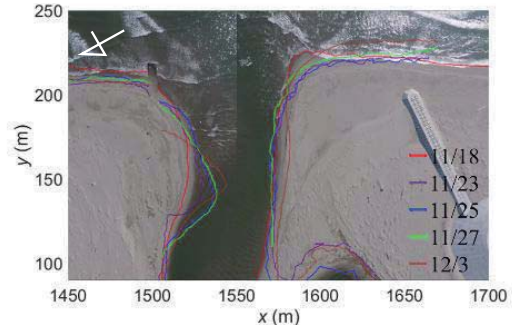


図-6 : 11/18~12/3 の汀線変動

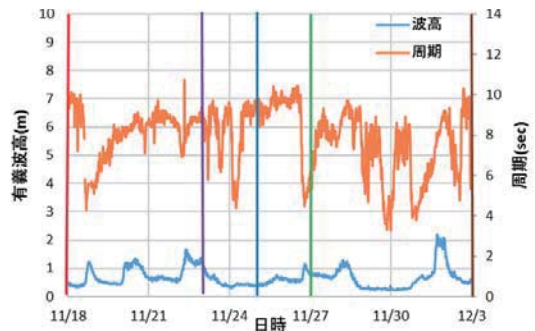


図-7 : 11/18~12/3 の波浪情報

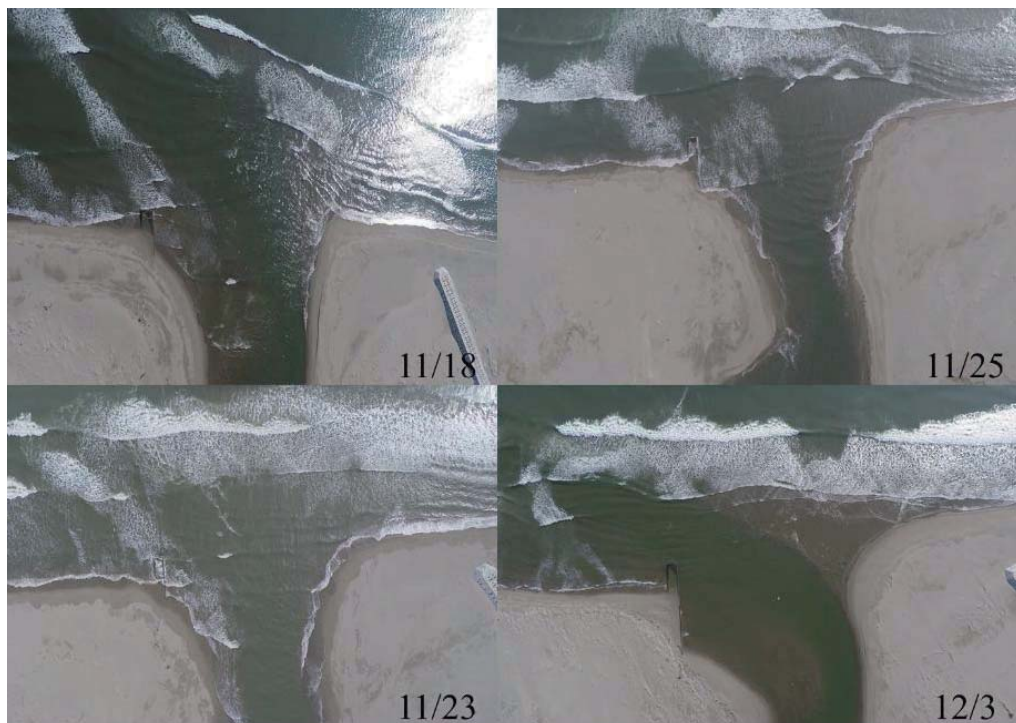


図-8：津波前後の河口への入射波向の変化

る。河口付近での波向の変化を図-8 に示した。津波襲来前後の 11/18 と 11/23 の画像を比較してみると、波の入り方が大きく変わっていることが分かる。津波襲来以前は河口前面に砂が堆積し、水深が浅く、河口周辺において大きく波が屈折していたが、津波後はこのような屈折が見られないことから、津波により河口前面の砂が削られたと推察できる。その結果、津波襲来後は波が河口に対して垂直に、かつ比較的大きなエネルギーを保持して入射してきたため、左岸が河口奥に押し込まれたと考えられる。一方右岸に関しては、18 日の段階で砂州が図の x 軸と平行になっていることが分かり、津波後の波向と垂直になったため、ほとんど汀線に変化が見られなかったと考えられる。またこの期間において 11/27~12/3 における変化が比較的大きいのは、12/2 頃に波高が 2m を超える有義波が発生していたことが要因の一つであると考えられる。以上より津波襲来後の河口地形の変形過程には、河口への入射波向の変化が大きく関わっていると結論付ける。

6. 終わりに

本研究では、UAV を用いることで従来よりも高頻度に空撮を実施することで、河口地形の変形過程を明らかにすることを目的とした。一週間に一度という頻度で実施することで、波向など波浪条件の変化に応じて刻々と変化する河口地形の様子が観察された。しかし津波後を例に挙げると、津波によってどの程度海底が削られ、それがどの程度波向の変化に寄与しているの

かなど、まだわからない点が多い。また津波後、右岸では汀線こそ明瞭な変化は見られなかったが、越流により砂浜の三次元的な形状は大きく変化していることが推察される。今後は波向の変化をより定量的に分析していくとともに、砂浜の三次元形状の復元も実施していくことで、河口地形の変形過程を明らかにしていく。

参考文献

- 1) 黒澤辰昭，田中仁：空中写真による海浜汀線形状の判読に関する研究，海岸工学論文集，第48巻，pp.586-590，2001.
- 2) 田中仁：第11章 七北田川，日本の河口（澤本正樹・真野明・田中仁編著），古今書院，pp.104-114，2010.
- 3) 松葉義直，佐藤慎司，波多野景治：静岡県福田浅羽海岸サンドパイパス吐出口周辺における UAV を用いた地形変化監視手法の適用，土木学会論文集 B2（海岸工学），Vol.72，No.2，PP.I_851-I_858，2016.
- 4) Concalves J.A., Heriques R. : UAV photogrammetry for topographic monitoring of coastal areas, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing , Vol.104, pp.101-111, 2015.
- 5) Patchanok Srivihok, 田中仁：高頻度空中写真撮影による七北田川河口砂州の動態の検討，海岸工学論文集，Vol.51，pp.531-535，2004.
- 6) Vo Cong HOANG, 田中仁，三戸部佑太：東日本大震災後の仙台海岸広域漂砂系の回復状況，土木学会論文集 B2（海岸工学），Vol.72，No.2，pp.I_769-I_774，2016.