

津波戻り流れによる砂浜海岸の決壊*

東北大学大学院工学研究科土木工学専攻
東北大学災害科学国際研究所
東北大学災害科学国際研究所

田中 仁
真野 明
有働恵子

1. はじめに

2011年東日本大震災津波の被災を受け、海岸域に建設される海岸構造物はレベル1の外力に対して機能を発揮するように設計される。一方、レベル2の津波に対しては多重防御の考え方にに基づき、様々なハード施設ならびにソフトを組み合わせた対策を講じることとなっている。この多重防御として具体的に用いられる対策工としては、二線堤として道路盛土の建設、地盤かさ上げ、海岸林の活用などが考えられている。これらについては、従来のシミュレーション手法に組み込むことが容易であり、その効果を定量的に評価することが出来る。一方、宮城県仙台平野を対象とした既往の研究によれば、低平地に存在する水路網による集水効果や、さらには集水された水路内の流れが海岸近くにおいて砂浜を決壊させ、効果的に海域への排水を行ったことが報告されている^{1), 2)}。また、海岸線にほぼ平行に位置する貞山堀などの水路において津波エネルギーが吸収され、内陸部への津波到達の遅延をもたらした可能性も指摘されている。これらは上述の対策工に比べ、その減災効果の定量的評価が困難であり、そのため防災計画に位置づけることの困難さを伴っている一方で、将来、甚大な津波被害が予想されている他の地域における減災対策としての一つの選択肢となる可能性も有している。

そこで、本稿においては津波の戻り流れが砂浜を決壊させた事例を収集し、当該箇所において決壊が生じた機構を、古地図の分析により過去の地形との関連から解釈しようとするものである。なお、低平地に位置する水路での津波エネルギー吸収の効果に関しては、本論文集の別稿において数値シミュレーションに基づく検討を行っている³⁾。

2. 研究の概要

2012年3月11日に発生した東日本大震災津波による大規模な海浜・河口地形の変化については著者ら^{1), 2)}がすでに詳細な報告を行っている。その特徴的な地形変動の一つは、津波の戻り流れによる大規模な砂浜の決壊である。また、その様な侵食箇所が比較的早期に回復した点も大きな特徴である⁴⁾。そこで、大規模な砂浜決壊が生じた箇所として、著者ら^{1), 2)}によりすでに報告がなされている仙台市荒浜海岸および岩沼市赤井江を対象として選んだ(図-1)。これらの箇所においては、海域に注ぐ河口開口部が存在していたことが指摘されている。そこで、過去の古地図の収集を行った。なお、田中ら⁵⁾は長期的な海浜変形の検討に際して古地図の使用が有効であることを指摘しており、場合によっては200年程度の長期にわたる海浜の変形を論じることの出来る資料としての活用が可能である。また、津波被災後の資料としては、国土地理院による空中写真を使用した。

* Breaching of sandy coast due to the 2011 tsunami, Hitoshi Tanaka, Akira Mano and Keiko Udo



図-1 研究対象地域 (Google Earth, 2012)



図-2 御分領中海岸筋村々里数等調並海岸図 (1853年, 嘉永6年) (仙台市博物館)

3. 結果および考察

(1) 概要

1853年(嘉永6年)に作成された御分領中海岸筋村々里数等調並海岸図のうち、**図-1**にほぼ対応する領域を示したものが**図-2**であり、一部の地名を加筆している。**図-1**の地形は河口導流堤や河口港の防波堤の影響を大きく受けたものである。特に、人工的な海岸・河川構造物により北上する沿岸漂砂が阻止され、漂砂上手である南側での汀線の前進、漂砂下手である北側での汀線の後退が顕著である。このような現在の地形に比べて、**図-2**において名取川河口部の汀線が大きく海側に張り出すという興味深い特徴を示しているものの、田中ら⁵⁾は地形測量の精度に疑問を投げかけている。また、現河口部には、右岸・左岸にそれぞれ広浦・井戸浦がある。このことから、かつて導流堤による河口固定がなされていない時期には河口部が安定せずに大きく移動していたと推測されている。**図-2**においてもすでに広浦・井戸浦の存在が確認され、名取川河口開口部は現在のものと同様位置である。**図-2**において名取川右岸には、海岸線に対してほぼ平行に貞山堀の存在が確認される。この周辺の貞山堀は木曳堀と呼ばれ、1597年から1601年に掘削された⁶⁾ものであり、地図が作成された1853年にはすでに貞山堀が存在していることが年代からも確認される。一方、名取川左岸には現在も存在する井戸浦は認められるものの、それより北に延びる貞山堀は見られない。この区間の運河は新堀と呼ばれ、明治時代の1870年から1872年に掘削された⁶⁾ため、**図-2**にはそれが描かれていない。

以下では、**図-2**のうち、荒浜海岸周辺および赤井江周辺に焦点を当て、津波により生じた海浜の決壊との関連について考察を行う。

(2) 荒浜海岸における旧川と砂浜の決壊

図-3には現在の地形図を表す。一方、図-4は、図-2に示した古地図のうち、荒浜地区を拡大したものである。古地図にも「荒浜」との集落名が確認される。荒浜の北側において海に注ぐ小河川は「赤渋堀」と呼ばれ、後述する明治16年に作成された地図にもそれが示されている⁶⁾。現在、このような河口は存在せず仙台台平野の低平地から集水された排水は貞山堀に合流した後に名取川河口より仙台湾に注いでいる。田中ら⁵⁾は、古地図の使用により現在では見られない往時の地形情報が得られることを指摘している。

図-5は1820年代に作成された宮城郡国分荒浜全図を示す。なお、同図はTanaka et al.²⁾の論文にも引用されている。基本的な地形は図-4と同様であるが、より詳細な流路の位置を読み取ることが出来る。

図-6は遠藤⁶⁾の著書に示されている明治十六年起県営貞山堀改修用地質収計計画図である。明治初めに新堀が掘られた後も、このような局所的な貞山運河の改修が行われたことを示している。この改修により、そ

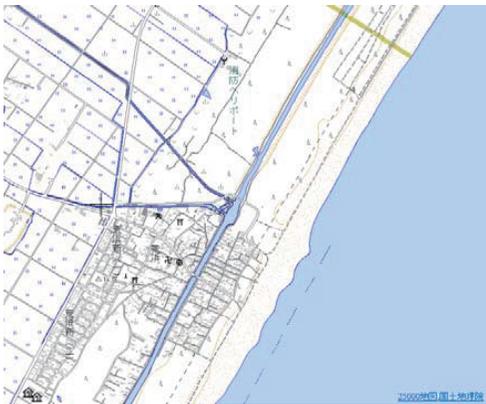


図-3 最新の地形図 (国土地理院)



図-4 御分領中海岸筋村々里数等調並海岸図 (荒浜付近、部分、仙台市博物館)

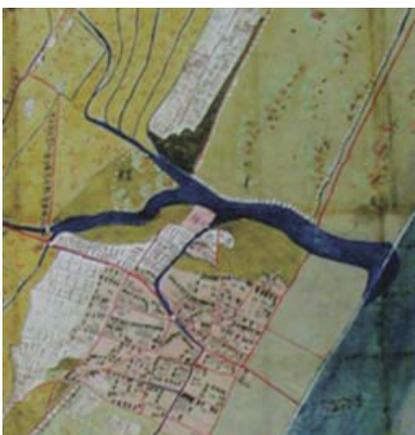


図-5 宮城郡国分荒浜全図 (部分、宮城県公文書館)

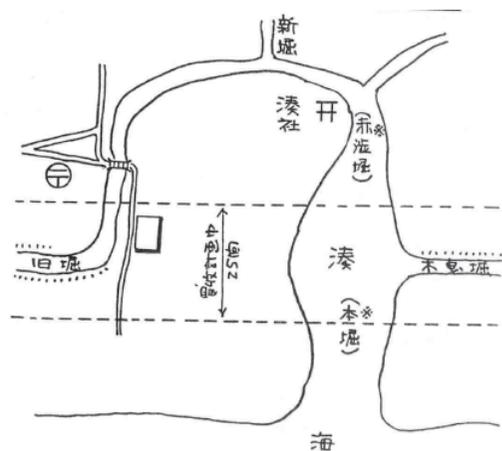


図-6 赤渋堀⁶⁾



図-7 荒浜海岸の砂浜決壊 (2011年3月13日, 国土地理院)

れまで赤渋堀から海域に排水されていた水は、貞山運河を通じて名取川に流れることとなった。図-6を図-5と比べると、湾曲する水路の形状や、流れ込む水路や道路の位置などが極めて良好に一致しており、当時の新堀の位置と現在の貞山堀との関係を明確に理解することが可能である。

図-7は津波の発生直後に国土地理院により撮影された空中写真であり、図-4、図-5、図-6に見られる旧川跡において砂浜の決壊が見られている。

(3) 赤井江における旧川と砂浜の決壊

図-8には赤井江付近を示す最新の国土地理院地形図を示す。また、図-9は、図-2に示した古地図のうち、赤井江付近を拡大したものである。古地図には藤曾根の集落が描かれ、東側は赤井江の水域に接していた。その後、その水域は干拓され、現在は県南浄化センターとなっている(図-8参照)。図-10に示す国土地理院の空中写真(1947年10月2日)において、県南浄化センター建設前の状況が明かである。田中ら⁵⁾が指



図-8 最新の地形図 (国土地理院)



図-9 御分領中海岸筋村々里数等調並海岸図 (赤井江付近, 部分, 仙台市博物館)



図-10 空中写真（1947年10月2日，国土地理院）



図-11 仙台領国絵図（部分，宮城県図書館）

摘するとおり，**図-9**に示した御分領中海岸筋村々里数等調並海岸図に描かれた地形は，海岸線の位置などの議論を行うには十分の精度を有していないが，少なくとも当時，赤井江が開口して海に連結していたことが確認される。なお，貞山運河事典⁷⁾によれば，1701年（元禄14年）に描かれた仙台領国絵図においても赤井江の開口が確認されるとの記述がある。そこで，仙台領国絵図を入手し，**図-11**にそれを示した。描かれた地形は現実のものに比べて大きくデフォルメされたものではあるものの，赤井江や名取川の開口部や貞山運河（木曳堀）の存在が明らかに認められる。**図-9**，**図-11**のいずれにおいても右岸河口砂州の発達が見られ，当該沿岸における沿岸漂砂の卓越方向に対応した地形であることが確認される。



図-12 赤井江地先の砂浜決壊（2011年3月13日，国土地理院）

図-12は赤井江地先における津波後の地形を表している。明らかに，以前の河道の位置において砂丘が決壊していることが分かる。この様に，旧川箇所は戻り流れの集中を生みやすい箇所であり，戻り流れの適切な処理の機能を評価することにより，津波防災・減災計画に位置づけることが期待される。

（4）河川規模に応じた津波戻り流れの特性

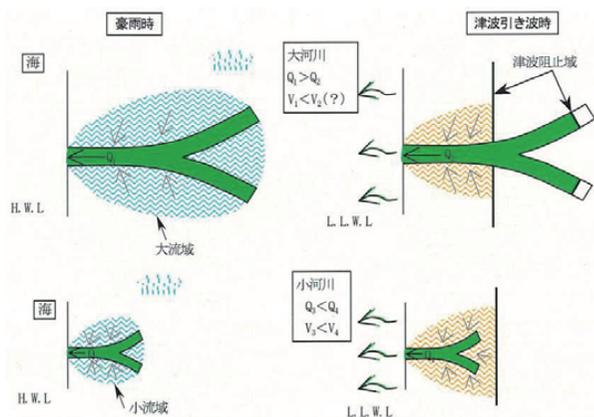
図-13は大河川と小河川における豪雨時と津波時の流量・流速の比較概念図を示している⁸⁾。大河川では集水面積が広く，河川流量も大きく，それに呼応して河口河積も大きい。小河川はそれと逆の関係にある。そのため，小河川では大規模津波発生時に流下能力を超える津波の戻り流量が発生する可能性が高い。石野ら⁸⁾は2004年インド洋大津波により被災を受けた橋梁調査を行い，津波時に大河川の橋梁の被害は少なく，小河川ほど橋梁被害が多くなることを報告し，その機構を上述のような洪水流下能力と津波戻り流れの大小関係に

より説明している。今後、低平地に位置する小河川・水路・運河などに津波時の排水効果を期待するためには、より高頻度で発生する洪水時の流下能力と低頻度ではあるものの大規模な津波引き波時の流量について定量的な評価が必要である。

4. おわりに

本稿においては、2011年東日本大震災津波の際に大規模な砂浜の決壊が生じた箇所について、旧川位置との関係について検討を行った。ただし、赤井江では海岸林が無く、荒浜地区においても決壊が生じた場所では海岸線の幅が他に比べて薄く、旧川位置とい

う要因の他に、植生の条件も影響しているものと考えられる。今後、数値シミュレーションなども含め、旧川箇所における戻り流れの効果についてより定量的な検討を行う必要がある。



図一 13 大川・小河川における洪水時および津波時の流速・流量の相違⁸⁾

謝辞: 本研究を行うに際して宮城県図書館、宮城県公文書館、仙台市博物館から貴重な資料の提供と、論文への登載許可を受けた。また、本研究に対して東北大学災害科学国際研究所 特定プロジェクト研究 (拠点研究) 「2011年津波による仙台海岸多重防御システムの破壊機構と減災効果」(代表: 真野 明教授) の補助を受けた。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 田中 仁・真野 明・有働恵子: 2011年東北地方太平洋沖地震津波による海浜地形変化, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol. 67, No.2, pp.I_571-I_575, 2011.
- 2) Tanaka, H., Nguyen, X. T., Umeda, M., Hirao, R., Pradjoko, E., Mano, A. and Udo, K.: Coastal and estuarine morphology changes induced the 2011 Great East Japan Earthquake Tsunami, Coastal Engineering Journal, Vol.54, No.1, pp.1250010-1-1250010-25, 2012.
- 3) Nguyen, X. D., Adityawan, M.B. and Tanaka, H.: Numerical model study on the effect of canal in reducing tsunami energy, 東北地域災害科学研究, 第49巻, 2013. (印刷中)
- 4) 平尾隆太郎・田中 仁・梅田 信・Nguyen Xuan Tinh・Eko Pradjoko・真野 明・有働恵子: 東日本大震災津波後の河口地形変化の特徴と問題点, 土木学会論文集 B1 (水工学), Vol.68, No.4, pp.I_1735-I_1740, 2012.
- 5) 田中 仁・松富英夫・泉 典洋: 古地図を用いた仙台海岸・石巻海岸の長期汀線変動に関する検討, 海岸工学論文集, 第52巻, pp.556-560, 2005.
- 6) 遠藤剛人: 貞山・北上運河沿革考, 仙台月急山叢舎, 263p., 1988.
- 7) 貞山運河事典編集委員会: 貞山運河事典, <http://www.teizanunga.com/Pages/default.aspx>, 2013年1月アクセス.
- 8) 石野和男・Bandara Nawarathna・矢野慎一郎・中川 一・田中 仁: スマトラ地震津波によるスリランカ南西部の橋梁被害調査解析と津波対策の今後の課題, 水工学論文集, 第51巻, pp.1457-1462, 2007.