東日本大震災津波による石巻海岸での海浜地形変化

Morphology Changes on Ishinomaki Coast due to The Great East Japan Tsunami

Nguyen Xuan Dao¹・田中 仁²・Mohammad Bagus Adityawan³・有働恵子⁴・真野 明⁵

Xuan Dao NGUYEN, Hitoshi TANAKA, Mohammad Bagus ADITYAWAN
Keiko UDO and Akira MANO

Changes in shoreline through process of accretion and erosion can be analyzed by applying historical maps along with aerial photographs to measure differences in past and present shoreline locations. In addition, it might be used for determining the long-term changes of coastal geographic features in the past. However, researches on morphology changes on short-term impact of tsunami have not been widely carried out. Therefore, the present study aims to investigate the extensive short-term changes on morphology due to The Great East Japan Tsunami in 2011 along Ishinomaki Coast using historical maps and pre- and post-aerial photographs together with bathymetric surveyed cross-sectional data.

1. はじめに

一般に、津波は大規模な土砂移動を発生させることが多い。地層に残された歴史津波の堆積物は過去の津波の規模を推定するための有力な情報となり得る。このため、2004年インド洋大津波や2011年東日本大震災津波の後、陸上部津波堆積物について多くの調査研究がなされている。一方、海域に生じた土砂移動・地形変化については、現地資料がきわめて限られており、風波による海浜変形などに比べて知見が少ない。

高橋ら(1999)は1960年チリ地震津波により気仙沼湾において生じた地形変化の再現モデルを提案している。2004年インド洋大津波を対象とした検討としては、スリランカ・キリンダ港での土砂移動について高橋ら(2008)が研究を行っている。また、今次津波については、原口ら(2012)、有働ら(2013)がそれぞれ気仙沼湾および仙台海岸における研究を実施している。

本論文では、東日本大震災の前後での深浅測量データとして石巻海岸における資料を解析し、津波による海浜変形の特徴、ならびにその後の地形の回復過程について検討を行った。特に、石巻地方では陸域において大規模な地盤沈下が発生したことが知られており、海底での地盤沈下量に関する検討も行った。

2. 現地調査および使用したデータ

石巻海岸の概要を図-1に示す。同海岸においては西向

きの沿岸漂砂が卓越している(望月ら, 1990; 井上ら, 2002)。ただし、石巻工業港(現仙台塩釜港石巻港区)における防波堤の建設後、連続的な漂砂移動が阻害され、海岸侵食が問題となっている。海岸管理者である宮城県は1980年から海岸侵食防止のため離岸堤7基、突堤8基を設置し、2000年に現在の形で概成している(佐藤ら, 1998)。高橋ら(2005)はこれら海岸構造物による海浜変形への影響を把握することを目的とし、雲雀野防波堤から宮戸島までの範囲において経験的固有関数法による解析を実施し、海浜変形を引き起こす原因について考察をおこなっている。

本研究においては、高橋ら(2005)と同様に宮城県において測量がなされた津波来襲前後の深浅データを使用している。深浅測量は2010年12月および2011年8月に実施されている。図-2には測線の位置を示しており、沿岸方向約12kmにわたり平均380mの不等間隔で測量がなされている。望月ら(1990)によると当海域での地形変化移動限界水深は8mであり、それを越える深さまでの沖合まで測量がなされている。

図-1 研究対象海岸

1 学生会員	M.Sc.	東北大学工学研究科博士課程 土木工学専攻
2 フェロー	工博	東北大学工学研究科教授 土木工学専攻
3 正会員	Ph.D	東北大学工学研究科PD 土木工学専攻
4 正会員	博(工)	東北大学災害科学国際研究所准教授
5 フェロー	工博	東北大学災害科学国際研究所教授

図-2 石巻海岸における深浅測量の測線位置

図-3 津波前後での海浜断面の変化

また、過去の汀線変動を調べるために、当地における海図、古地図などを収集し、長期的な地形変化と津波による短期的なインパクトの双方を検討した。

3. 結果と考察

(1) 海浜断面変化の特徴

図-2に示した全測線のうち、代表的な海浜断面の変化を図-3に示す。このうち、測線26のように変化の大きいところも見られるが、ほとんど変化の無い断面が多く見られる点に大きな特徴がある。また、沖の断面がほぼ平行な形状を保って、地震後に低下していることが分かる。また、測線6、測線26などのように陸上部の海岸堤防や道路面についても同様に平行移動が認められる。研究対象に近い石巻市周辺では大きな地盤沈下が生じていることが知られており、図-3に見られる沖側および陸上部での地盤の平行移動は地盤沈下によるものと推定される。

(2) 地盤沈下量の推定

図-4 (a) には、測線6における津波前後の測量結果の比較を×印で示す。ここで、 z_1 , z_2 はそれぞれ津波前後の測量で得られた砂面の高さ (T.P.) を表しており、一部は陸上の構造物も含んでいる。図-4 (a) では、上述のとおり沖合において津波後に1.20m程度の砂面の平行移動が見られる。また、陸上部においても同程度の高さの変化が見られる。この高さ分だけ平行移動を行うと、○印で示された様に沖合および陸上部での高さが一致する。また、図-4 (b) に示された測線23についても同様な傾向を示しており、地盤沈下量は1.22mと評価される。このようにして、各測線における海域での地盤沈下量 Δz を推定した。

図-5はこの様にして得られた地盤沈下量の沿岸分布である。国土地理院の報告によれば、石巻市陸上部での地盤沈下量は最大で1.2mであり、西に向かって漸減し、図-2の右端付近の東松島市においては50cm程度であるこ

(a) 測線 6

(b) 測線 23

図-4 津波前後での測量結果の比較

図-5 推定された地盤沈下量

とが知られている（国土地理院，2011）。深浅測量から得られた図-2上段青線の結果は，このような陸上部地盤沈下に関する知見ときわめて良好な一致を示している。

以下では，この地盤沈下補正を行った上で，津波による断面変化の検討を行った。

(3) 津波による地形変化

図-6は，津波前後での砂面高さの変化量 $\Delta z = z_2 - z_1$ を求め，それぞれの測線について示したものである。このうち，測線 2，3，4a では横軸の離岸距離が 250m の付近に侵食が見られる。図-2に見られるようにこれらの測線は離岸堤前面に位置しており，その影響が現れているものと考えられる。これを除くと，測線 2 から測線 24 まで目立った変化は見られない。測線 26 は鳴瀬川河口前面に位置しており，最大で 4.9m の高さに及ぶ侵食が見られる。さらに，漂砂下手に向かうと，測線 30 においても顕著な侵食が見られる。この箇所での侵食については，海岸堤防の形式の相違による被災の違いが反映されているとの考察がなされており，その詳細は別報を参照されたい（Nguyen ら，2013）。

次に，図-7は次式により求めた測線毎の海底面高さ変

図-6 津波前後の海底高さ変化量

図-7 海底高さ変化量 Δz_{rms}

図-8 漂砂系末端での汀線変化

図-9 漂砂系末端での汀線位置の変化 (A-A')

化の二乗平均値である。

$$\Delta z_{rms} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (z_{1i} - z_{2i})^2}{N}} \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 i ：岸沖方向の測点番号、 N ：その総数である。ただし、岸沖方向については、図-6に示す区間にわたって式(1)による総和を求めている。すでに図-7から明らかなように、鳴瀬川河口より左岸側(測線1から24)では Δz_{rms} の値もきわめて小さく、今次津波の規模に基づく予想に反して、津波による海底面高さの変化は驚くほど過小である。

鳴瀬川河口部(測線25、26)においては、図-3右中段に示したように河口前面堆積砂が大きく侵食されており、ここでのみ局所的に大きな Δz_{rms} の値を示す。鳴瀬川河口については津波による左岸河口砂州が消滅した(田中ら、2011；Tanakaら、2012)が、それ以降、河口砂州

の回復が見られない(平尾ら、2012)。この測線より右側では漂砂系末端の測線30に向けて、 Δz_{rms} 値が漸増している。

(4) 津波による汀線変化とその後の回復過程

図-8は漂砂系末端に位置する測線26から30に至る箇所の汀線変化である。北側汀線の津波による変動は小さく、上記の深浅データによる知見と一致している。図-8の南側の漂砂系端部1km区間のみにおいて、最大で140m程度の汀線後退が生じている。

図-8に示す海浜は石巻海岸の漂砂系末端に位置するために、海岸線の前進がきわめて顕著であることが知られている。田中ら(2005)は、伊能図を含む古地図や野蒜築港の時期に作成された海図などをもとに、この200年の間に1kmにも及ぶことを示している。このような特性を有する海浜において、津波による侵食後の回復過程を検討することはきわめて興味深い。そこで、津波被災前後の空中写真を入手し、汀線変化を調べた。

図-8中の測線A-A'における汀線位置の変化を図-9に示している。この箇所は漂砂系の最下手に位置するため、200年の間で1kmにも及ぶ大きな汀線の前進が見られている。漂砂系末端に位置するため、2012年12月には沿岸漂砂による汀線の回復傾向が確認される。

4. おわりに

宮城県石巻海岸における津波前後の深浅測量データの分析を行い、津波による海浜変形の特徴に関する検討を行った。以下に主要な結論を示す。

(1) 津波前後の深浅測量結果より、地盤沈下によるものと考えられる海底面高さの変化が見られた。陸上部においても同程度の沈下が見られることを確認した。推定された沖合の地盤沈下量は、陸上部で報告されている沈下量と良い一致を示しており、最大で1.2mに至る。この値は陸上部での観測値と調和的である。

(2) 地盤沈下量を差し引いた海底面高さの変化量は多くの箇所でも20cm程度であり、甚大な被害を及ぼした津波の規模から予想されるものに比べてきわめて小さいものであった。

(3) 一方、河口前面の堆積地形、および漂砂系末端部の海浜においてのみ、顕著な地形変化が見られている。その値は最大で4.9m程度の深さである。

(4) 津波で生じた侵食地形について、その後の回復過程を空中写真・現地調査などから明らかにした。

謝辞：本研究を行うにあたり、宮城県土木部河川課より貴重な現地資料の提供を受けた。さらに、本研究に対して日本学術振興会科学研究費(No.2301367)、(財)河川環境管理財団河川整備基金、東北大学災害科学国際研究

所特定研究助成，および東北建設協会建設事業に関する技術開発支援の助成を受けている．ここに記して関係各位に深甚なる謝意を表する．

参 考 文 献

- 井上かおり・田中 仁・泉 典洋 (2002)：野蒜海岸を中心とする石巻湾西部沿岸の長期土砂移動量の評価，海岸工学論文集，第49巻，pp.516-520.
- 有働恵子・田中 仁・真野 明・武田百合子：東北地方太平洋沖地震津波による宮城県仙台湾南部海岸の海浜変形特性，土木学会論文集B2 (海岸工学)，Vol. 69. (印刷中)
- 国土地理院 (2011)：平成23年 (2011年) 東北地方太平洋沖地震に伴う地盤沈下調査結果について，<http://www.gsi.go.jp/sokuchikijun/sokuchikijun60008.html>
- Nguyen Xuan Dao・Mohammad Bagus Adityawan・田中 仁 (2013)：海岸堤防の構造に依存した津波被害と数値モデルによる検証，土木学会論文集B2 (海岸工学)，Vol. 69. (印刷中)
- 佐藤慎司・山本幸次・和田一範・伊澤武二・大谷靖朗・橋本新 (1998)：大曲海岸におけるヘッドランド周辺の漂砂観測と海浜地形変化予測，海岸工学論文集，第45巻，pp.556-560.
- 高橋智幸・首藤伸夫・今村文彦・浅井大輔 (1999)：掃流砂層・浮遊砂層間の交換砂量を考慮した津波移動床モデルの開発，海岸工学論文集，第46巻，pp.606-610.
- 高橋 潤・後藤和久・大家隆行・柳澤英明・今村文彦 (2008)：スリランカ・キリンダ漁港を対象とした2004年インド洋大津波による土砂移動過程の解析，海岸工学論文集，第55巻，pp.251-255.
- 高橋 徹・田中 仁 (2005)：石巻湾におけるヘッドランド施工による漂砂制御効果，海岸工学論文集，第52巻，pp.471-475.
- 田中 仁・松富英夫・泉 典洋 (2005)：古地図を用いた仙台湾・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.
- 田中 仁・真野 明・有働恵子 (2011)：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.
- 原口 強・高橋智幸・久松力人・森下 祐・佐々木いたる (2012)：2010年チリ中部地震津波および2011年東北地方太平洋沖地震津波による気仙沼湾での地形変化に関する現地調査，土木学会論文集B2 (海岸工学)，第68巻，pp.231-235.
- 平尾隆太郎・田中 仁・梅田 信・Nguyen Xuan Tinh・Eko Pradjoko・真野 明・有働恵子 (2012)：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.
- 望月倫也・宇田高明・大類光男・大谷靖朗 (1990)：仙台湾北部の海浜変形の実態，海岸工学論文集，第37巻，pp.369-373.
- Tanaka, H., X. T. Nguyen, M. Umeda, R. Hirao, E. Pradjoko, A. Mano and K. Udo (2012): Coastal and estuarine morphology changes induced the 2011 Great East Japan Earthquake Tsunami, Coastal Engineering Journal, Vol.54, No.1. doi: 10.1142/S0578563412500106