

津波による離岸堤周辺の沿岸漂砂環境の変化*

東北大学 大学院工学研究科 森 文章
 東北大学 大学院工学研究科 三戸部 佑太
 東北大学 大学院工学研究科 田中 仁

1. はじめに

2011年3月11日に発生した東日本大震災は東北地方を中心に甚大な被害を及ぼした。特に東日本大震災により発生した津波は砂浜海岸が多い仙台海岸において大きな地形変化をもたらした。2015年1月現在、このような地形変化は回復傾向を示している地域もある一方で地形変化が残存している地域もある。同海岸における津波発生前の漂砂環境に関する研究は行われているが、この大規模かつ急激な地形変化により漂砂環境は津波発生前後において異なっていると考えられる¹⁾。このことは海岸堤防の海岸保全施設を整える上で問題となるため、津波発生前後における土砂収支を定量的に評価する必要がある。東日本大震災津波による家屋の被害状況調査等の研究は数多く行われているが、長期的な漂砂環境の変化を検討した研究は少ない²⁾。本研究では津波発生前後の地形変化回復過程を土砂遮断効果のある離岸堤周辺の地域に着目し、空中写真を用いた研究を行った。

2. 研究対象

本研究の研究対象領域は宮城県仙台市に位置する荒浜海岸であり、全長約4.5kmの範囲を研究対象とした(図-1参照)。荒浜海岸は砂浜海岸であり、6基の離岸堤が設置されている。離岸堤背後では土砂が堆積し、トンボロが形成されている。また、仙台海岸全域において沿岸漂砂の卓越方向は北向きである。津波発生以前の同海岸における研究により、離岸堤より南側で土砂が堆積し、北側で浸食される傾向にあることがわかっている³⁾。この離岸堤周辺の沿岸漂砂は名取川から流出する土砂によって堆積している。

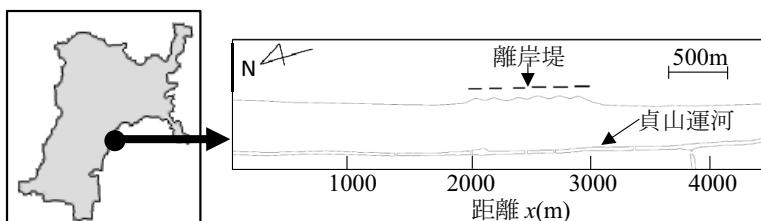


図-1 対象領域

* Change in Longshore Sediment Transport behind Detached Breakwaters due to Tsunami by Fumiaki Mori, Yuta Mitobe, and Hitoshi Tanaka

3. 使用データ

本研究では、津波発生以前から約1~2ヶ月に1度の頻度で撮影されている空中写真を用いて解析を行った。ただし、津波発生後の2011年3月12日は国土地理院が撮影した空中写真を用いた。2009年3月から2014年9月までの空中写真より汀線を抽出し、抽出した汀線位置の解析を通して地形変化回復過程を定量的に評価した。尚、抽出した汀線位置の補正是潮位とwave run-upを考慮した。潮位については標高0mを基準とし、各空中写真の撮影時刻における潮位に基づいて潮位補正を行った。補正における海岸の勾配は一様とし、その勾配は0.11とした⁴⁾。尚、津波発生以前は鮎川港における観測潮位を用いたが、津波直後は観測潮位が存在しないため、2011年1月から現在までの潮位は鮎川港における天文潮位を用いた。Wave run-upの補正については次式で求め、勾配を乗じることにより波の遡上距離を求め補正を行った。ただし、波高データが存在しない期間については波高データが存在する期間における遡上距離の平均値を用いた。

$$\frac{R}{H_0} = \xi_0 \quad (1)$$

ここで、Rは遡上高、 H_0 は沖波波高（有義波高）、 ξ_0 はsurf similarity parameterである。

4. 解析結果

4.1 津波前後の汀線

図-2に津波発生直前(2011年3月6日)と津波発生直後(2011年3月12日)の空中写真から抽出した汀線を示す。津波発生前に比べ津波発生後の汀線は後退しており、離岸堤背後に存在していたトンボロが消失している。また、離岸堤以外の領域では汀線が約10m程度後退しており、 $x=1300\text{m}$ 及び $x=2100\text{m}$ 付近においては砂浜が浸食され貞山運河まで海水が流入している。このように短期間で急激な地形変化により津波発生後の沿岸漂砂環境に影響を与えていると考えられる。

各地点における汀線変動の時間変化を図-3に、各汀線位置から津波発生以前の汀線位置の平均を差し引いた汀線変動量と時間の関係を図-4に示す。図-4より汀線の前進・後退傾向は離岸堤北側、背後、南側の3つに分けることができる。離岸堤より北側(図-3(a))において、津波発生前は汀線が長期的に安定していたが、津波発生後では汀線が後退傾向に変化している。離岸堤背後(図-3(b))において、津波発生前の汀線は緩やかな前進傾向にあり、トンボロが成長し

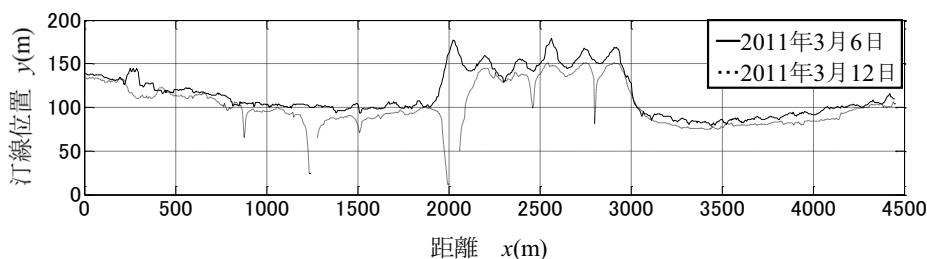


図-2 津波発生直後の汀線変化

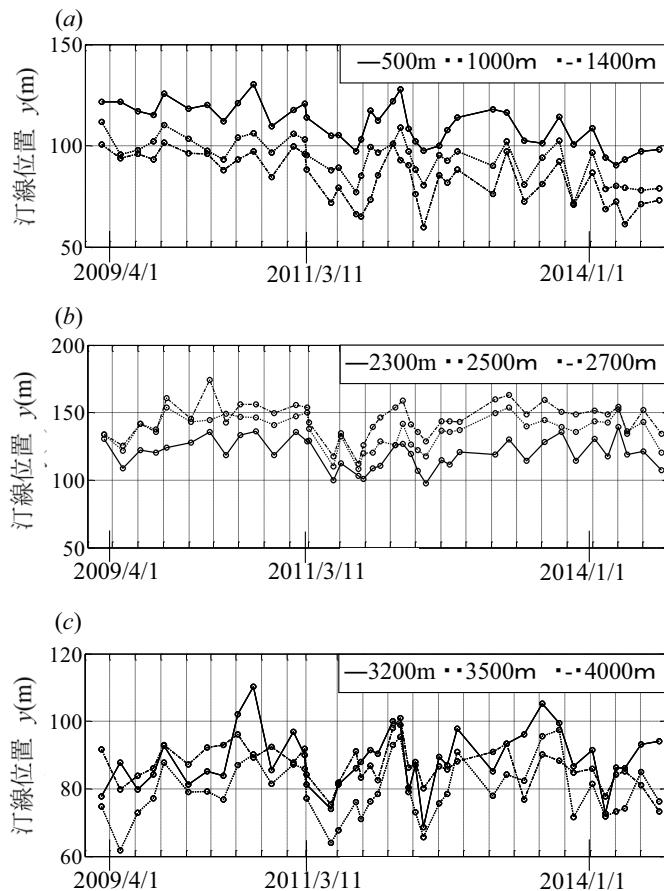


図-3 汀線位置の時間変化. (a)離岸堤北側, (b)離岸堤背後, (c)離岸堤南側

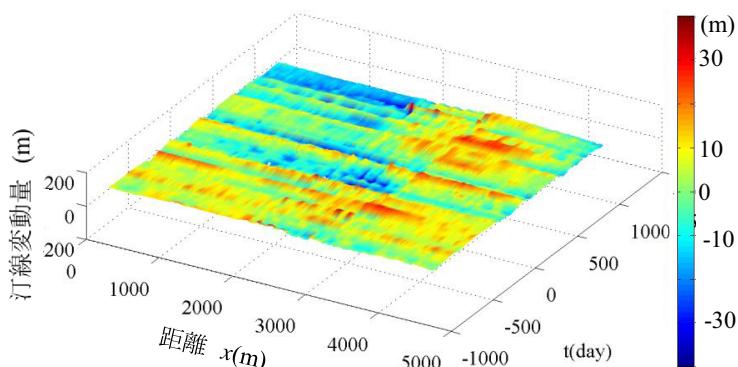


図-4 平均汀線位置からの汀線距離

ていることを示している。津波発生以後の汀線は津波の影響により一時的に後退したものの、2011年10月以降の汀線は回復傾向にあり、2015年現在では汀線が安定していると考えられる。離岸堤南側(図-3(c))において、沿岸漂砂により汀線は前進傾向にあり、津波発生後も汀線が緩やかに前進している。

4.2 汀線変化速度

津波前後の汀線変動を $y=ax+b$ とし最小自乗法を用い、汀線変化速度 $a(\text{m/year})$ を求めた（図-5 参照）。津波発生以前の汀線変化速度は 2000~4500mにおいてほぼ全域で正の値を示しており、汀線は前進傾向を示している。500~2000mにおいて汀線変化速度は負値であるものの、ほぼ 0 であることから汀線は安定していると考えられる。離岸堤南側と北側で汀線変化速度が異なることは南東からの波向により南側で沿岸漂砂が捕捉され、北側で土砂の供給が減少しているためである。津波発生後の汀線変化速度は津波発生前と比べ全体的に減少しており、このことは土砂の供給量が少なくなっているためであると考えられる。離岸堤北側では汀線変化速度は負の値を示しており、汀線は後退傾向を示している。離岸堤背後の変化速度は他の領域に比べ大きくなっており、トンボロは回復傾向にあると考えられる。

4.3 経験的固有関数解析

汀線位置について経験的固有関数(EOF)解析を行うことにより津波発生前後における汀線変動の違いを抽出した。この解析方法は汀線位置 $y(x,t)$ を地形データ等の時空間分布を空間の固有関数 $e_n(x)$ と時間の固有関数 $c_n(t)$ の積で表す、主成分分析の一種であり、これらの固有関数はデータを基に経験的に決定される⁵⁾⁶⁾。本研究では平均汀線位置からの距離とし次式のように表す。

$$y^*(x,t) = y(x,t) - \bar{y}(x) = \sum_{n=1}^k c_n(t) e_n(x) \quad (2)$$

ここで、 $y^*(x,t)$ は平均汀線からの変動量、 $y(x,t)$ は汀線位置、 $\bar{y}(x)$ は平均汀線、 $c_n(t)$ は各モードにおける時間関数、 $e_n(x)$ は各モードにおける空間関数、 n はモード数である。また各モードの寄与率 R_n は対応する固有値 λ_i から次式のように計算できる。

$$R_n = \frac{\lambda_n}{\sum_{i=1}^k \lambda_i} \quad (3)$$

固有関数 $c_n(t)$ と $e_n(x)$ は寄与率 R_n の大きい順にモード 1 : c_1, e_1 、モード 2 : c_2, e_2, \dots と呼ぶこととする。

図-6 に津波発生前の空間関数と時間関数を、図-7 に津波発生後の空間関数と時間関数を示す。津波発生前について、モード 1 の寄与率は 50.0% である。モード 1 の空間関数 $e_1(x)$ は全領域で

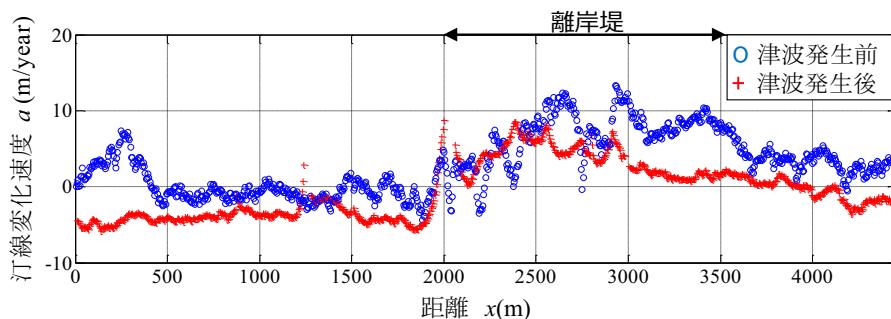


図-5 汀線変化速度

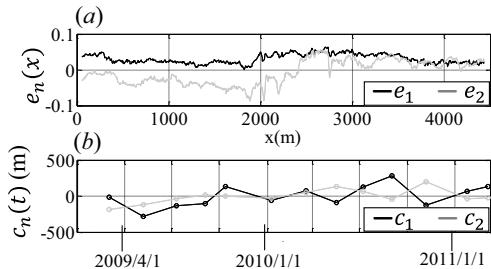


図-6 津波発生前 (a)空間関数, (b)時間関数

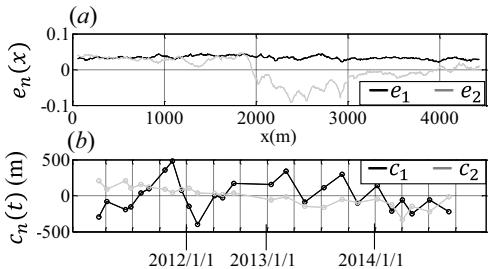


図-7 津波発生後 (a)空間関数, (b)時間関数

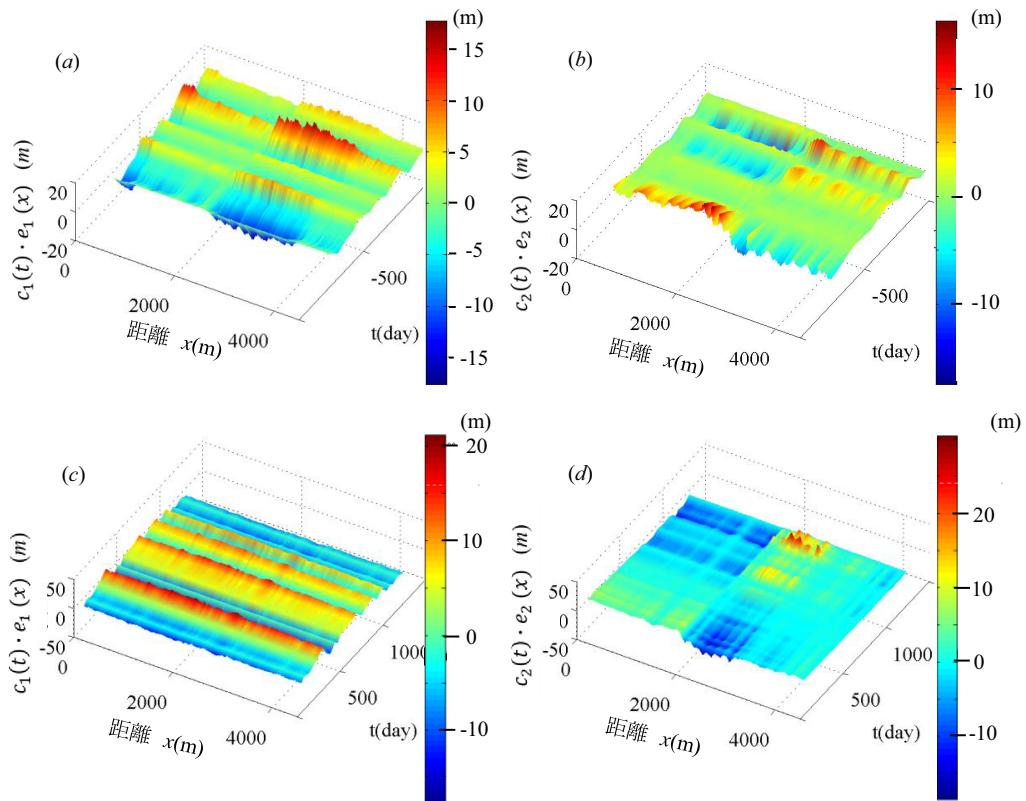


図-8 各モードによる汀線位置の変動量.

(a)津波発生前 モード1, (b)津波発生前 モード2,
(c)津波発生後 モード1, (d)津波発生後 モード2

正值である。このことは時間関数 $c_1(t)$ の変化に応じて全領域内の汀線が前進・後退することを意味する（図-8 参照）。モード 1 は高波浪時に汀線が前進、低波浪時に汀線が後退することを説明することができる。モード 2 の寄与率は 21.2% である。空間関数 $e_2(x)$ は離岸堤南側で正値、離岸堤北側で負値であり、離岸堤背後の中央で正負が入れ替わっている。また、時間関数 $c_2(t)$ は減少傾向である。離岸堤は沿岸漂砂を遮断する機能を持つため、離岸堤の左右で汀線の前進・

後退が異なる。したがって、モード2は沿岸漂砂により離岸堤南側で汀線が前進、北側で汀線が後退することを表している。

津波発生後について、モード1の寄与率は57.4%である。モード1の空間関数 $e_1(x)$ は全領域で正値である。このことは、津波発生前のモード1と同様に時間関数 $c_1(t)$ の変化に応じて汀線が前進・後退することを意味する。モード2の寄与率は21.5%である。空間関数 $e_2(x)$ は離岸堤背後で負値が大きく、北側では正値である。このことは離岸堤背後で沿岸漂砂が捕捉され、北側への土砂の供給が少ないことを説明できる。したがって、モード2は沿岸漂砂を捕捉することで消失したトンボロの回復過程を表している。

5. おわりに

津波発生により汀線は後退しており、離岸堤背後のトンボロは消失した。津波発生以後、離岸堤北側では汀線が後退傾向にあるものの、離岸堤背後のトンボロは回復傾向にある。EOF解析によりモード1は岸沖漂砂に起因し、モード2は沿岸漂砂に起因すると考えられる。モード1において津波発生前後での空間関数の変化はほとんどみられなかつたが、モード2において津波発生前後での沿岸漂砂による汀線変動の変化がみられた。津波発生後のモード2は沿岸漂砂が捕捉されることでトンボロの回復過程を表していることが確認された。

参考文献

- 1) 永澤豪, 田中仁: 等深線距離を用いた三次元経験的固有関数展開による仙台海岸海浜変形解析, 海岸工学論文集, Vol.47, pp.621-625, 2000.
- 2) 鶩見浩一, 山清太郎, 大淵啓介, 朝香智仁, 落合実: 千葉県旭市における2011年東北地方太平洋沖地震による津波被害調査, 土木学会論文集B2(海岸工学), Vol.68, No.2, pp. I_1411-I_1415, 2012.
- 3) 姜炫宇, 田中仁, 坂上毅: 長期現地観測資料に基づく仙台海岸汀線変動特性・土砂収支の検討, 海岸工学論文集, Vol.51, pp. 536-540, 2004.
- 4) 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, Vol.48, pp. 586-590, 2001.
- 5) 加藤一正, 吉松晃: 三次元の経験的固有関数による深浅図解析法, 港湾技術研究所報告, 第23巻, 第2号, pp.27-47, 1984.
- 6) 栗山善昭, 伴野雅之, 岸 弘之, 佐藤敏文, 水内邦夫: 汀線変動モデルと経験的固有関数を用いた潜堤背後の地形変化の検討, 土木学会論文集B2(海岸工学), Vol. 68, pp.561-I_565, 2012.