仙台湾を対象とした津波後の地形変化と土砂収支の分析

東北大学大学院工学研究科　学生会員　○三枝　信太郎
東北大学大学院工学研究科　フェロー会員　田中　仁
東北学院大学工学部　正会員　三戸部　佑太

１．はじめに

2011 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震津波の来襲により仙台湾南部海岸の海浜・河口部では大規模な地形変化が生じた．これら仙台湾南部海岸の被災地の内一部では急速な地形回復を示しているが，震災から 6 年経過した現在も一部は津波による大規模な地形変化を残存している．このことは震災以前の同海岸における土砂収支のバランスが崩れたままであることを意味する．本研究ではこれまで震災後 5 年間の深浅測量データに基づき，仙台湾南部海岸における海浜地形の回復状況を確認すると共に経験的固有関数解析により海浜地形の回復過程と起因する現象の特定を行なった [1]. 本報告では沿岸漂砂に起因する海浜変形を抽出，沿岸漂砂量の変容を算出し既往研究との比較により土砂収支の評価を行なった．

２．研究対象地域の概要

本報告では北端を閖上漁港，南端を鳥の海の導流堤とする領域 B を対象とした（**図−1** 参照）．今回用いた深浅測量データは国土交通省東北地方整備局仙台河川国道事務所より提供を受けた．解析は津波来襲以前の 2010 年 8-9 月から 2015 年 12 月まで概ね夏季と冬季に年 2 回測量された計 11 回のデータを用いて行った．測量結果の解析を行う上で沿岸方向を x，岸沖方向を y とし 100m メッシュでの補間を行い，平面水深データ $h_s(x,y,t)$を作成した．また本研究の解析を行う上での解析の定義域は$-3\mathrm{m} < h_s(x,y,t) < 8\mathrm{m}$ とした．これは対象海岸におけるバーム高さと限界水深を考慮したためである．また，対象領域の沿岸漂砂の卓越方向は北向きである．

３．経験的固有関数法展開

領域 B で使用したデータの解析期間は震災後の測量データである．この解析方法では次式のように平均水深からの変動量 $h(\mathrm{x,y,t})$の時空間分布を空間方向の固有関数 $e_n(\mathrm{x,y})$と時間方向の固有関数 $c_n(\mathrm{t})$の積で表す．主成分分析の一種で，これらの固有関数はデータを基に経験的に決定される．

$$h(\mathrm{x,y,t}) = h_s(\mathrm{x,y,t}) - \bar{h}(\mathrm{x,y}) = \sum_{n=1}^{k} c_n(\mathrm{t}) e_n(\mathrm{x,y}) \qquad (1)$$

ここで，$\bar{h}(\mathrm{x,y})$は各地点(x,y)の平均水深である．固有関数 $c_n(\mathrm{t})$と $e_n(\mathrm{x,y})$は寄与率の大きい順に第一成分 c_1, e_1, 第二成分 c_2, e_2,…と呼ぶこととする．今回の解析により得られた領域 B の第一成分，第二成分の寄与率と対応する物理過程を**表−1** にまとめる．

表−1 各成分の寄与率と対応物理過程

解析領域	各成分の寄与率	対応物理過程
領域B	1st : 29% 2nd : 19% 3rd : 16%	沿岸漂砂 岸沖漂砂 岸沖漂砂

図−1　対象領域

キーワード　仙台湾，東日本大震災，回復過程，経験的固有関数法，沿岸漂砂
連絡先　〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06 環境水理学研究室　Tel 022-795-7453

４．沿岸漂砂量の評価

経験的固有関数による解析を行い沿岸漂砂に起因する成分と岸沖漂砂に起因する成分に分離すことができた．したがって次に沿岸漂砂成分のみによる海浜地形を抽出し，津波後の土砂収支の変容の算出を行う．**図−2** に示すように座標をとり単位幅単位時間当たりの沿岸漂砂量を q_x，汀線に垂直な岸沖漂砂量を q_y とする．海浜地形の水深変動量の変化速度と漂砂量の間には次式のような関係が成り立つ．

$$\frac{\partial h}{\partial t} = \frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} \tag{2}$$

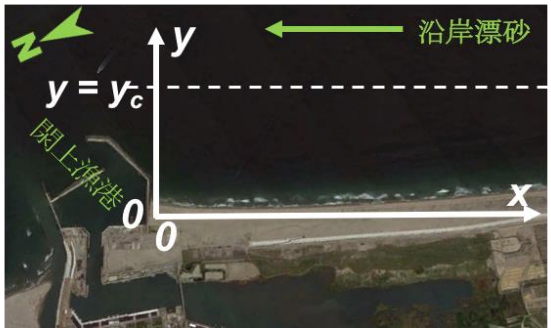
ここで，$\frac{\partial h}{\partial t}$ ：水深変化速度である．原点 に設定した閖上漁港防波堤ではx方向の沿岸漂砂量が0であるという仮定のもと次式のような式を用いることができる．

$$Q_x(x) = \int_0^x \int_0^{y_c} \frac{\partial h}{\partial t} dydx \tag{3}$$

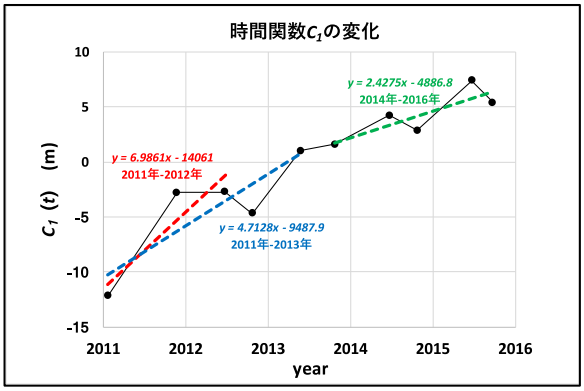
$Q_x(x)$は沿岸漂砂量である．

以下に具体的な沿岸漂砂量の算定手法を述べる．

(1) **図−3** のように EOF 解析の結果から得られた沿岸漂砂に起因する成分である第一成分の時間関数に最小二乗法による近似曲線を引き，時間関数の変化速度を算出する．ここで，近似曲線を引くうえで 2011 年-2012 年，2011 年-2013 年，2014 年-2016 年の 3 つの期間を設定した．



図−2 領域 B:座標の定義



図−3 領域 B:時間関数の変化速度

(2) (1)で算出された時間関数の変化速度に空間関数を乗じ各点における水深変化速度を算出する．

(3) 式 (3) に求めた水深変化速度を代入し沿岸漂砂量を求める．

５．結果

結果を**図−4** に示す．すべての期間で沿岸漂砂の卓越している北向きの沿岸漂砂が確認された．津波から時間がたつにつれ沿岸漂砂量が減少していることも分かった．特に津波直後の 2011 年-2012 年の沿岸漂砂量が最近の 2014 年-2016 年に比べ 3 倍ほど大きく津波直後は大きな沿岸漂砂が海浜地形の回復に影響を与えていたことが分かった．また 2014 年-2016 年の期間における沿岸漂砂量と既往研究 [2)]で報告されている同海岸の沿岸漂砂量が**図−4** 内赤線で示される 4.0×10^4 m^3/year であることから土砂収支は津波以前の状態へと回復していることが確認された．

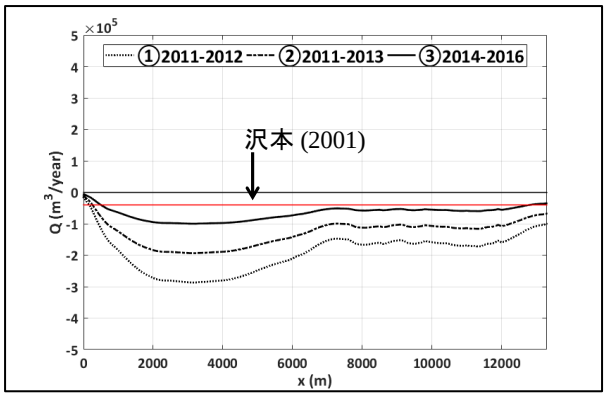
謝辞

本研究を行うにあたり，国土交通省東北地方整備局仙台河川国道事務所より貴重な資料の提供を受けた．また，JSPS科研費（16H04414），（財）河川環境管理財団河川整備基金，東北マリンサイエンス拠点形成事業の助成を受けた．ここに記して，関係機関に深甚なる謝意を表する．

参考文献

1) 三枝信太郎・田中　仁・三戸部佑太：仙台湾における津波後の海浜地形の回復過程，土木学会論文集 B2（海岸工学），第 73 巻，pp.I_817-I_822, 2017.

2) 沢本正樹： 海岸での土砂動態：仙台湾海岸を例として．土木学会第 37 回水工学に関する夏期研修会講義集, B-8, pp.1-20, 2001.



図−4 領域 B:沿岸漂砂量と既往研究の比較