

越波による海浜変形の現地観測と数値計算

Beach Morphology Change Caused by Overwash on Yokosuka Coast

Nguyen Xuan Tinh¹・田中 仁²

Xuan Tinh NGUYEN and Hitoshi TANAKA

At the beginning of October 2006, an extreme Typhoon 18th hit Yokosuka coast of Japan. There is a big amount of sediment transported and deposited inland after the typhoon. This study is to evaluate of this overwashed sediment volume and the prediction of overwash occurrence. These estimation are significant for coastal authorities and local managers to give evacuation warnings to people who live near the coast, it is useful for planners and engineers to mobilise equipment for cleaning up sediment after a storm. Profile change estimations are useful for planners creating "buffer zones" indicating where it is safe to build houses. And this calculation is also important for evaluating sediment budgets of sand beach or barrier islands, especially where these sand beach or islands are migrating due to overwash.

1. はじめに

通常、海浜変形の研究対象となるのは、顕著な地形変化が生じる沖浜から遡上帯までとすることが多い。ただし、砂浜背後にラグーンを控える場合には、一般に海浜（バリアー）頂部の比高が低く、高波浪時には越波による土砂移動が生じる可能性がある。今後、地球温暖化に伴う水面上昇により、バリアー上の越波が顕在化し顕著な地形変化を来す可能性がある。また、海面上昇によらずとも、ラグーン前面海浜の汀線が後退しバリアー自体がやせることによって同様な事態が発生すると危惧され、ラグーン内への土砂の堆積が水域の面積を減少させることが考えられる。ラグーン内には干潮時に干潟が現れ、豊かな生物環境が形成されている場合が多い。このような環境の保全のためには、バリアー上の越波による砂移動に関して、土砂移動のダイナミックスに立脚した検討が必要である。

これまで、越波に伴う土砂移動・海浜地形変化に関して、Williams (1978), Sallenger (2000), Morton ら (2000), Donnelly ら (2005a), Donnelly ら (2005b), Nguyen (2005) などの研究がある。また、永澤・田中 (1999) は仙台海岸北部を対象に、越波流量や土砂移動量に関する検討を行っている。

2007 年秋から冬季にかけて、我が国には多くのいわゆる「爆弾低気圧」が来襲し、各地に海岸災害をもたらした。宮城県横須賀海岸では大規模な海岸侵食が生じるとともに、越波により陸域内へ大量の土砂堆積が見られた。そこで、本研究においては同海岸を対象として調査を行い、現地での土砂堆積現象を明らかにするとともに、

堆積量を推定するための手法として、二つのモデルについて検討を行った。

2. 研究対象海浜と調査内容

本研究の対象である宮城県横須賀海岸の位置を図-1 に示す。北端は北上川河口部に接し、一方、南端には長面浦と呼ばれる海跡湖と海域をつないでいる感潮狭水路が存在し、その延長は 2 km ほどである。近年、同海岸においては侵食傾向が著しく、現在、海岸線の一部は捨石による消波堤により覆われている。2006 年 10 月上旬に三陸沖を北上した低気圧による高波浪は、横須賀海岸

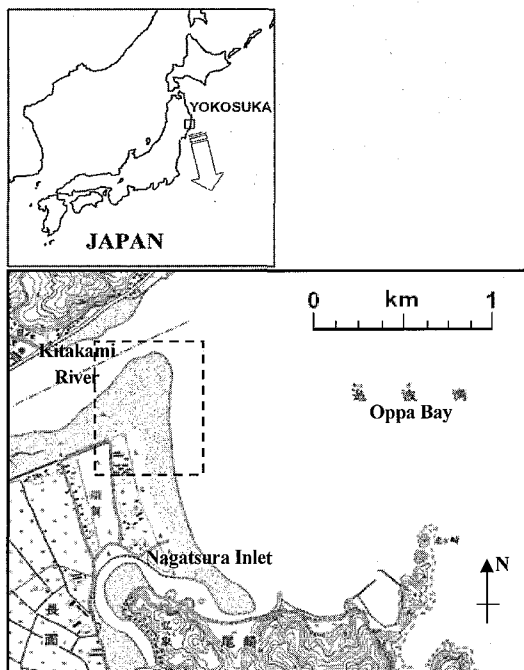


図-1 宮城県横須賀海岸の位置

1 学生会員 M.Eng. 東北大学大学院 工学研究科土木工学専攻
2 フェロー 工博 東北大学教授 工学研究科土木工学専攻

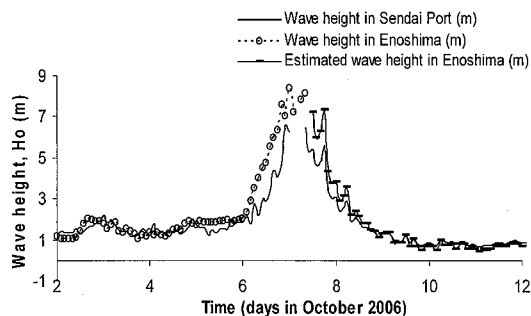


図-2 波高の変化 (2006年10月)

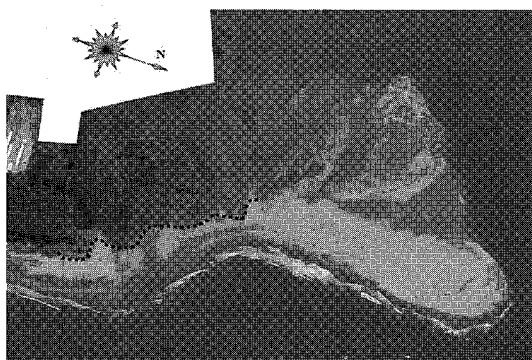


図-3 越波が生じる前の海岸地形 (2006年9月8日)

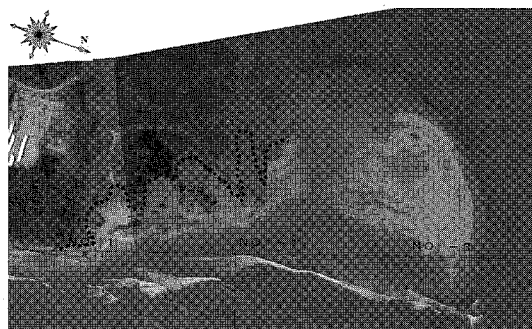


図-4 越波の後の海岸地形 (2006年10月10日)



図-5 現地調査風景

域の北端は河口砂嘴であり、頻繁に地形変化が生じているが、南側は砂浜背後に木本類を含む植生が繁茂しており、安定した地形となっている。実際、河川高水敷内には風向風速計の観測施設が設置されており、以前から長い期間にわたって安定した地形を保って来たことを物語っている。

現地調査は高波浪来襲直後の2006年10月30日に実施し、堆積厚などを調べた。また、GPSを用いることにより、汀線形状ならびに陸域に新たに堆積した砂域の陸側前縁部を測量した。

図-3、図-4は越波発生前後の地形を示した空中写真である。図中に示した破線は堆積砂の前縁部の位置を表している。図-3に比べて、図-4において砂の堆積域が拡大したことが明らかである。特に、図-4の越波発生後には陸側に向かう数列の舌状の堆積地形が認められる。これは、海浜地形のわずかな凹凸や、植生密度の多寡に応じて、越流の集中しやすい箇所が沿岸方向にある間隔を持って存在するために、このような複数列の舌状堆積地形が生じる。

3. 現地調査結果

越波発生の直後に現地調査を行い、堆積砂層の厚さを調べた。実際に現地調査を行っている様子を図-5に示す。写真には散在する松が見られる。ただし、砂面上に現れているのはその先端部のみであり、以前の地表近くにあった根本付近の幹部は完全に砂面に埋もれている。このため、その形状が不自然である。また、砂の表面には植生が全く見られず、このことから大規模な土砂堆積があったことを予想させた。

砂面をスコップで掘ると、その表層から数十cmの深さに、越波前に繁茂していた草本類が陸側に倒伏した状態で残存していることが確認された。これが新旧堆積層の境界高さに対応している。その一例を図-6に示して

の消波工に被害をもたらすとともに、消波工が施されていない海浜部に大規模な越波・土砂堆積が生じた。

図-2には、横須賀海岸から南東に約20km離れた宮城県江の島で観測された波高の変化を○で示した。ただし、10月7日10:00時以降は同所での波浪データが欠測である。そのため、仙台港での波浪との相関関係を求め、それより推定した値(■)を示した。なお、江の島と仙台港の波浪の相関はきわめて高く、決定係数は0.92であった。図-2によれば、7日0:00時には波高8mを越える波が出現している。

今回の研究において調査対象とした範囲は、図-1に破線で示した通りに北上川河口部に位置している。調査



図-6 新旧砂層境界面に残る植生

いる。このような植生の深さを見つけることにより、今回の高波浪イベントによって堆積した砂層の厚さを正確に測定することが可能であった。

新旧砂面高さを実測した結果を図-7に示す。図中で右側が海域である。左端の点は堆積砂の陸側先端部に対応している。図に見られるように、堆積層厚は最大で1 mにも達していることが分かった。5測線全体での平均堆積層厚は27 cmであった。

表-1には実測から得られた堆積砂体積（単位幅）を

表-1 実測された砂の堆積量と式(1)による計算結果

測 線	実測結果 $Q(\text{m}^3/\text{m})$	計算結果 $Q(\text{m}^3/\text{m})$
Profile 1	15.65	12.35
Profile 2	54.39	15.51
Profile 3	34.65	21.81
Profile 4	18.73	14.18
Profile 5	11.40	13.66

示した。堆積量は測線によって大きな違いが見られる。高波浪来襲前の海浜の高さは凹状をしており、中央部の高さが幾分低いものであった。表-1の実測結果はこの様な初期海浜地形の影響を反映したものになっている。

このような越波による海浜での堆積現象を再現するために、以下では二つのモデルを用いて計算を行った。

4. 越波による堆積砂量評価式の適用

既存の越波による堆積砂量の算定式として、計算から得られる波の最大遡上高さ R と砂丘最頂部高さ H_c との差の二乗に比例すると仮定する次式、

$$Q = 0.0011 \frac{H_c}{R} \frac{t_b}{T} (R - H_c)^2 (\text{m}^3/\text{m}) \dots\dots\dots (1)$$

を用いた。ここで、 Q : 単位幅当たりの堆積砂量、 t_b : $R > H_c$ となる時間の長さ、 T : 波の周期であり、また、

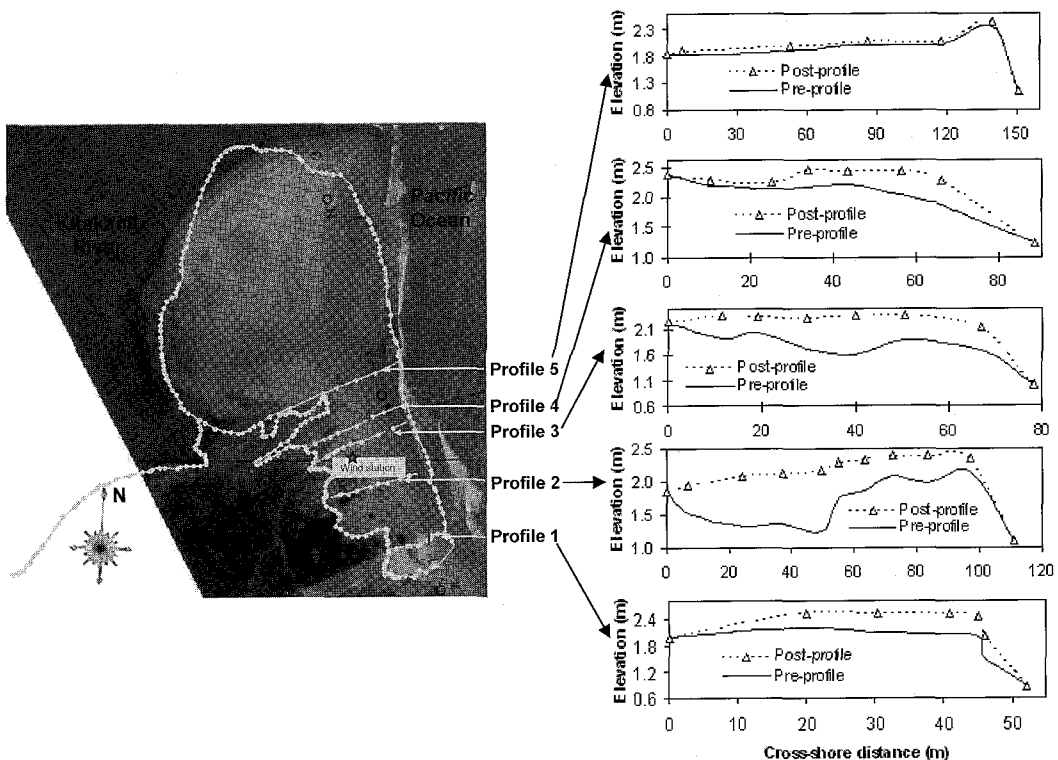


図-7 測線位置と各測線での新旧断面

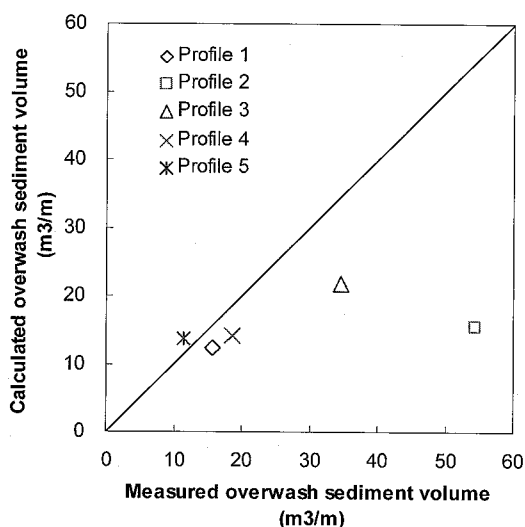


図-8 各測線における堆積土砂量の比較

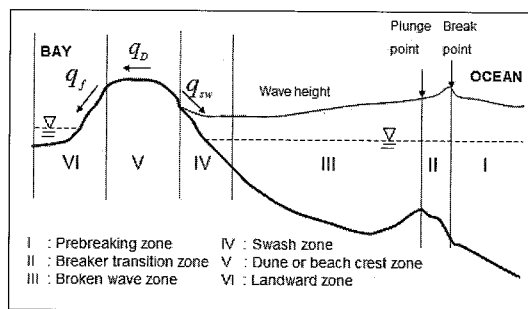


図-9 SBEACH モデルの概要

式(1)中の物理量はすべて m-s 単位系に従う。また、式(1)右辺の係数は、米国における実測値をもとに著者の一人により定められたキャリブレーション値である (Nguyen, 2005)。また、波の遡上高さ R については、Hedges・Mase (2004) による次式を使用した。

$$\frac{R}{H_0} = 0.25 + 1.1\xi_0 \quad (2)$$

ここで、 H_0 ：沖波波高 (有義波) であり、右辺のイリバーレン数は次式で定義される。

$$\xi_0 = \tan \alpha / \sqrt{H_0/L_0} \quad (3)$$

上式で、 $\tan \alpha$ ：海浜勾配、 L_0 ：沖波波長である。

式(1)による計算値と実測より得られた堆積砂体積について、その比較を図-8に示す。観測を行った側線のうち、Profile 1, 4, 5の3断面については良好な一致が見られるが、これ以外の2断面で計算は過小評価となった。上記のモデルにおいては海浜頂部の高さは考慮するものの、式(1)から明らかなように、各測線毎に異なる微地形や前面海浜形状の相違などを加味することが

出来ない。図-8に見られる結果は、このような単純なモデルの限界を示しているものと考えられる。

5. SBEACH モデルによる数値計算

海浜における波浪変形過程・遡上過程ならびにこれに伴う土砂移動過程を考慮するために SBEACH (Storm-induced BEACH CHange) モデル (Larson・Kraus, 1989; Larson ら, 2004) によるシミュレーションを実施した。本研究の数値計算においては、旧来のモデルに対し、Donnelly ら (2005b) の手法により、越波時の流れ場・砂移動評価に改良を加えている新しいバージョンのモデルを使用している。

SBEACH モデルにおいては波浪モデルとして Dally ら (1985) のモデルを使用し、沖側から碎波後の波を含む計算を実施する。さらに、Larson・Kraus (1989), Larson ら (2004) のオリジナルモデルでは、岸沖方向に沖浜から遡上域までを3分割し、それぞれに対して異なる漂砂量式を使用している。図-9はDonnelly ら (2005b) により提案された越波部 (Zone V, Zone VI) を加味した領域の分割を示している。まず、Zone V における越流流量 q_{DI} は次式の越流公式より求める。

$$q_{DI} = 2K_B \sqrt{2gh}^{3/2} \quad (4)$$

ここで、 K_B ：越流係数、 g ：重力加速度、 h ：越流水深である。このうち、越流水深は式(1)右辺と同様に考え、式(2)により得られる遡上高さ R と砂丘頂部高さ H_c との差に等しいものとする。

さらに、Zone V および Zone VI における砂移動量 q_D , q_f は次式により計算する。

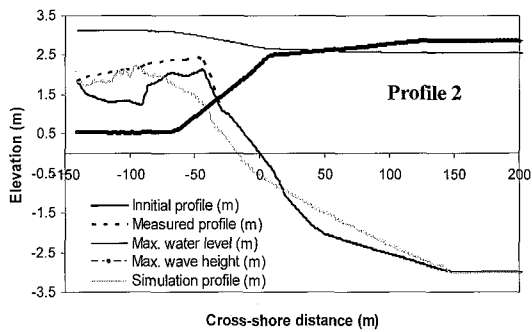
$$\text{Zone V : } q_D = K_B 2 \sqrt{\frac{2g}{R}} (R - H_c)^2 \quad (5)$$

$$\text{Zone VI : } q_f = q_D \left(\frac{u}{u_D} \right)^3 \quad (6)$$

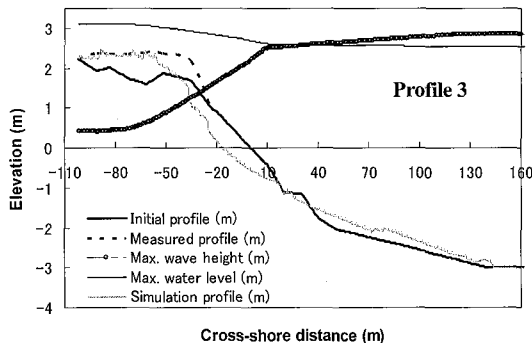
ここで、 K_B ：砂州頂部の漂砂量に対する係数、 u_D ：砂丘頂部における越流流速、 u ：越流後の砂丘背後斜面における任意地点での流速である。

以上の漂砂量式から得られる局所的な砂移動量を底質保存式に代入し、越波部を含む砂面の高さの時間発展を求めることが出来る。

断面2、断面3に対する計算結果と実測との比較を図-10に示す。堆積地形に関し良好な結果を得た。特に、堆積地形の最頂部の高さについては良好な結果である。ただし、その位置については差異が見られ、計算では陸側に押し込まれた形状となっている。今後、この点に関してさらにモデルの改善などが望まれる。



(a) 測線 2



(b) 測線 3

図-10 SBEACH による計算結果

6. おわりに

宮城県横須賀海岸において、暴浪時の越波により顕著な土砂堆積と海浜変化が生じた。本研究により得られた主要な結論を以下に示す。

- (1) 越波発生前後の空中写真により土砂堆積が生じた範囲を評価した。また、現地観測によれば、最大で1mほどの土砂堆積厚が見られた。
- (2) 既存の越波流量式を応用し、土砂堆積量を評価したところ、5断面のうち3断面で良好な一致を得た。
- (3) 周辺の微地形や波浪変形を考慮するために、SBEACHモデルによる数値計算を実施した。堆積地形に関し良好な結果を得た。

謝辞：本研究を実施するに当たり、国土交通省北上川下流河川事務所、宮城県石巻土木事務所より貴重な資料の

提供を受けた。また、本研究に対して日本学術振興会・科学研究費 (No. 17254002) の補助を受けた。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 永澤 豪・田中 仁(1999)：高波浪時の越波による海浜地形変化，海岸工学論文集，第46巻，pp. 561-565.
- Dally W.R., R.G. Dean, and R.A. Dalrymple (1985) : Wave height variation across beaches of arbitrary profile, Journal of Geophysical Research, Vol. 90(C6), pp. 11917-11927.
- Donnelly, C., N.C. Kraus and M. Larson (2005a) : State of knowledge on measurement and modelling of coastal overwash, Journal of Coastal Research, Vol. 22, pp. 965-991.
- Donnelly, C., R. Ranasinghe and M. Larson (2005b) : Numerical modelling of beach profile change caused by overwash, Proceedings of Coastal Dynamics 2005, 13p.
- Hedges T.S. and H. Mase (2004) : Modified Hunt's equation incorporating wave setup, Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, Vol. 130, No. 3, pp. 109-113.
- Larson, M. and N.C. Kraus (1989) : SBEACH. Numerical Model for Simulating Storm-induced Beach Change; Report 1: Empirical Foundation and Model Development, Technical Report CERC-89-9, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Coastal Engineering Research Center, Vicksburg, MS.
- Larson, M., R.A. Wise and N.C. Kraus (2004) : Coastal Overwash. Part 2: Upgrade to SBEACH, Regional Sediment Management Demonstration Technical Note, ERDC/RSM-TN-15, U.S. Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, MS.
- Morton, R.A., J.L. Gonzalez, G.I. Lopez and I.D. Correa (2000) : Frequent non-storm washover of barrier, Pacific Coast of Colombia, Journal of Coastal Research, Vol. 16 (1), pp. 82-87.
- Nguyen, X.T. (2005) : Modelling of Coastal Overwash, Master Thesis, Department of Water Resources Engineering, Lund University, 82p.
- Shallenger, A.H. Jr. (2000) : Storm impact scale for barrier islands, Journal of Coastal Research, Vol. 16 (3), pp. 890-895.
- Williams, P.L. (1978) : Laboratory development of a predictive relationship for washover volume on barrier island coastlines, Master Thesis, Department of Civil Engineering, University of Delaware, Newark, 154p.