

大規模バーム侵食時における汀線付近の波と侵食の進行過程

Progression of erosion and waves near the shoreline during a berm erosion

猪澤 悠¹・田方俊輔²・水口 優³

Yu IZAWA, Shunsuke TAGATA and Masaru MIZUGUCHI

Two extremely large events of berm erosion were observed during the field experiments carried out at Hasaki by employing twenty some ultrasonic gages near the shoreline between Jul. 12, 2002 - Jul. 21, 2006 and Jul. 24, 2008 - Oct. 29, 2008. One was caused by a Typhoon waves and the other by a winter storm. Both erosions show complete disappearance of berm profile within a few hours when large waves with significant long period waves attacked well-developed berm profile during rising tides. However one of them shows erosion advancing onshore-ward creating beach cliff like profile, while the other show almost instantaneous erosion of whole berm profile. Both erosions stopped when beach profiles become uniformly mild slope.

1. 研究背景

海岸侵食という問題を解決するためには汀線付近の地形変化のメカニズムを知ることが必要である。特に高波浪時のバーム侵食（大規模侵食）は重要なイベントである。内野ら（2004）は、2003年の台風15号による大規模侵食についてバーム頂を含む汀線付近での砂面変動のプロセスを明らかにすることを目的とし、上げ潮満潮時近くで遡上域がバーム頂に到達することで侵食が開始されることを明らかにした。本研究ではこの2003年の台風15号による大規模侵食と新たに最近観測された2009年の冬期波浪による大侵食を解析対象期間として追加し、発達したバームが短時間で消失する大規模なバーム侵食を大きな地形変化毎にステージ分けすることで短時間の侵食のプロセスを理解するとともに、波浪と地形変化の関係を解明することを目的とする。

2. 現地観測概要

解析には、茨城県波崎海岸にある（独法）港湾空港技術研究所（以下、港空研）の観測用棧橋に空中発射型超音波式水位計を設置し、サンプリング周波数5Hzで連続収録したデータを使用した。水位計は砂面露出時は砂面を、水面が存在する時には水面位置を計測する。岸沖方向座標は沖向きを正とし、原点は観測用棧橋の棧橋部岸側端である。なお、大侵食030922（解析対象期間の詳しい選定方法は次節を参照されたい）は中央大学における第2次観測（期間:2002/7/12-2006/7/21, 棧橋座標系にて-23.94m～79.99mに約20台設置）のデータであり、現地観測の詳しい内容は内野ら（2004）を、これまでの解

析のまとめはMizuguchi・Seki（2007）を参照されたい。また、大侵食090201は中央大学における第4次観測（期間:2008/7/24-2009/10/29, 棧橋座標系にて-52.70m～80.00mに約20台設置）のデータである。第4次観測は汀線近傍における地形変化をより詳細にとらえるため、棧橋座標系において-23～80mの区間を遡上域と想定し水位計を密に配置した。その際、岸側不動点を確保するため最も岸側のチャンネル（ch.0）を棧橋座標系において-52.70mに設置した。

3. 解析対象期間の選定

本研究では、解析対象期間として2003年の台風15号によって大規模なバーム侵食が発生する直前から地形変化がほぼなくなる2003年9月22日の07:57～12:17の4時間20分を大侵食030922として、また、2009年の冬期波浪によって大規模なバーム侵食が発生する直前から地形変化がほぼなくなる2009年2月1日の04:09～09:39の5時間30分を大侵食090201として選定した。なお、選定した各解析対象期間はそれぞれの観測期間の中で最大の侵食及び最大の波浪が観測された期間である。

各解析対象期間前後の砂面変動時系列と計算天文潮位、実測潮位、遡上域沖側のチャンネルの水位変動パワースペクトルから求めた長周期成分と短周期成分（境界周波数 $f_c=0.040\text{Hz}$ ）の0次モーメント（ m_0 , m_{01} ）の時系列、沖合の波（NOWPHASの波向き、有義波高 $H_{1/3}$ 、有義周期 $T_{1/3}$ ）を図-1に示す。図-1中、破線で区切られている時間帯が本研究の解析期間である。なお、NOWPHASの波向き、有義波高及び有義周期に関して大侵食030922は波崎海岸沖合である鹿島沖（水深:24.0m）のデータを用いた。しかし、大侵食090201については鹿島沖のNOWPHASが期間中欠損していたため、代替として常陸那珂沖（水深:30.3m）のNOWPHASを使用している。

1 修(工) 五洋建設(株)
2 中央大学大学院理工学研究科土木工学専攻
3 正会員 工博 中央大学教授理工学部都市環境学科

4. 地形変化のステージ

水位計から得られた砂面変動データの中から最も岸側のch.0から解析期間中で最も沖側で砂面を感知したch.12までのうち代表的なものの時系列を図-2 (a), (b) に示す。なお、図-2においては砂面や水面の特徴を見やすくするために全チャンネルにおいて片側4点ずつ合計9点の三

角ウインドーを用いた平滑化をしてある。

この期間内で大きな地形変化を引き起こした波に着目しながら、図-2 (a), (b) 中に示すように地形変化の特徴ごとに各解析期間をステージ分けした。大侵食030922はSt.0~St.5の6つのステージに、大侵食090201についてはSt.0~St.4の5つのステージに分けられた。各ステージの地形変化の特徴を表-1にまとめる。

表-1 各ステージの地形変化の特徴

大規模侵食030922			大侵食090201		
ステージ	初期バーム頂部分	初期バーム前面部分	ステージ	初期バーム頂部分	初期バーム前面部分
St.0 (28分)	ほとんど変化がない (ch.04:ステージ中の変化が1cm程度)	ほとんど変化がない (ch.05:ステージ中の変化は1cm未満)	St.0 (26分)	ほとんど変化がない (ch.04:ステージ中の変化が1cm程度)	ほとんど変化がない
St.1 (72分)	同上	緩やかに一定割合で砂面低下が進む (ch.05:5分間での変化が1.5cm程度)	St.1 (19分)	バーム頂部分に急激な砂面低下が起こりバーム頂は後退する (ch.04:最初の5分間の変化が32cm程度)	バーム頂以外、ほとんど変化がない
St.2 (22分)	同上	急激な砂面低下が起こる (ch.05:5分間での変化が10cm程度)	St.2 (45分)	後退したバーム頂部分に砂面低下が起こる (ch.03:ステージ全体の変化が15cm程度)	緩やかに一定割合で砂面低下が進む (ch.04:ステージ全体の変化が5cm程度)
St.3 (50分)	バーム頂直下に急激な砂面低下が起こる (ch.04:5分間での変化が3cm程度)	砂面の露出が少なくなる	St.3 (68分)	バーム頂全体で急激な砂面低下が起こる (ch.04:5分間での変化が10cm程度)	沖側ではほとんど変化なし
St.4 (32分)	ステージ終了間際に急激な砂面低下が起こる (ch.03:5分間での変化が5cm程度)	ほぼ砂面の露出がない	St.4 (172分)	ほとんど変化がない (ch.04:ステージ全体の変化が1cm程度)	初期バーム前面部に砂面上昇が起こる (ch.6A:ステージ全体の変化が10cm程度)
St.5 (56分)	ほとんど変化がない (ch.04:ステージ中の変化が1cm程度)	ほとんど砂面の露出はない			

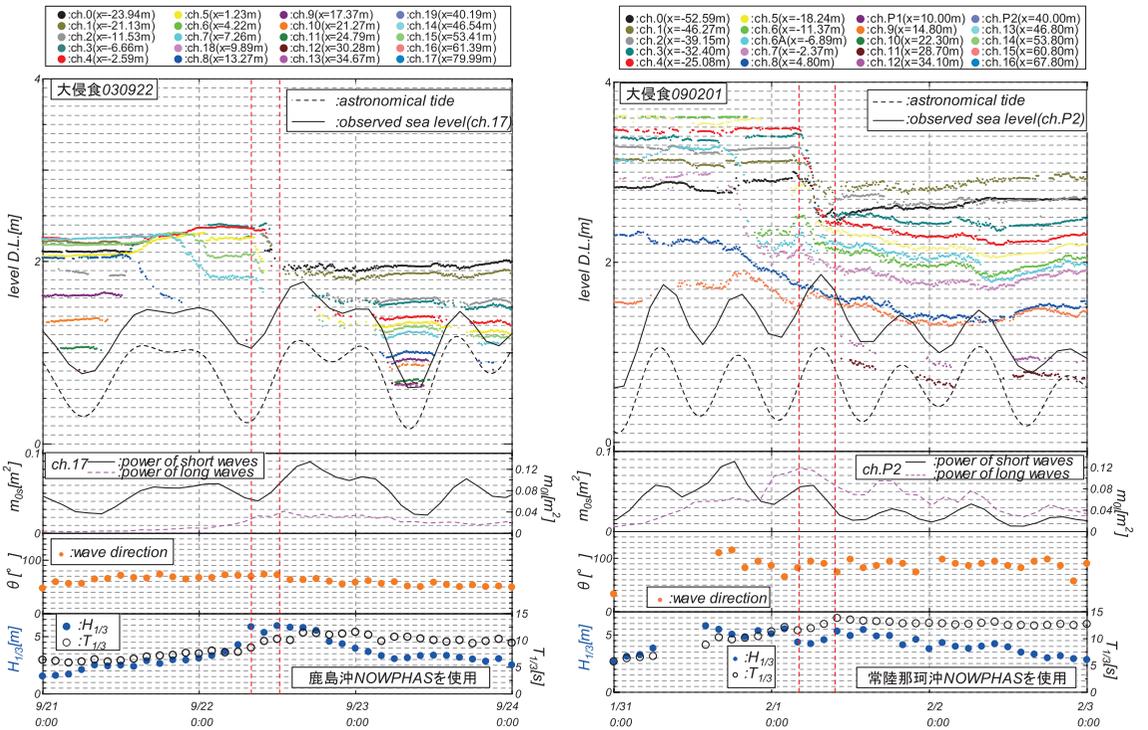


図-1 解析対象期間の砂面変動時系列と計算潮位・実測潮位（上段）、碎波帯内汀線付近の水位変動パワー（中段）および沖合の波の波向き、有義波高と有義周期（下段）

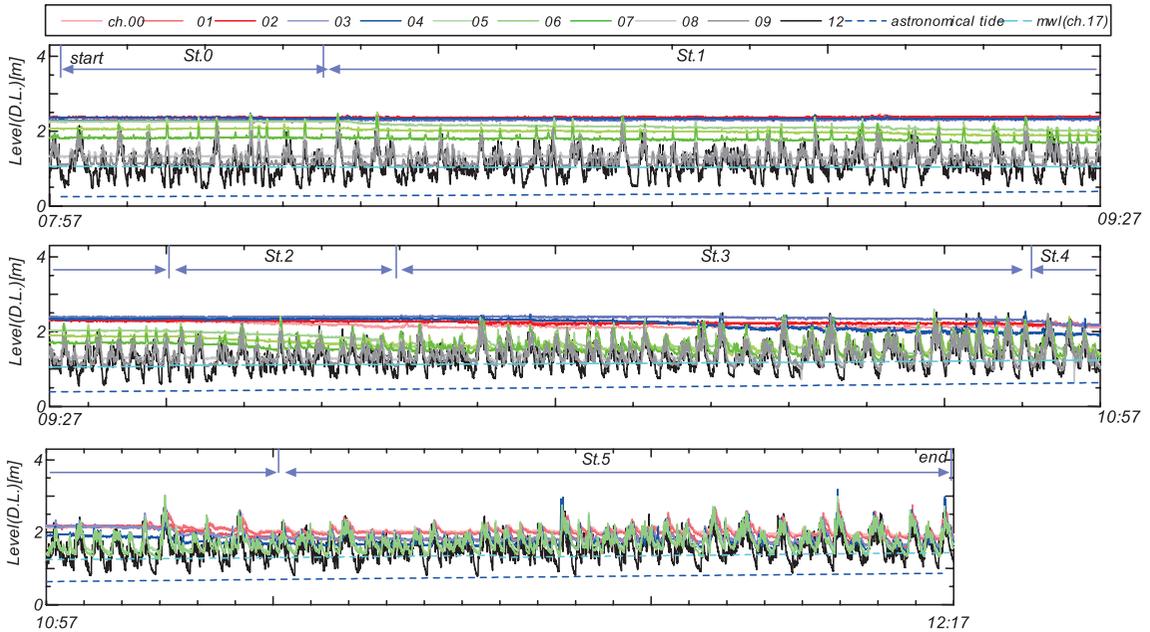


図-2 (a) 大侵食030922の砂面、水面変動データの時系列・計算潮位及び実測潮位・ステージ区分

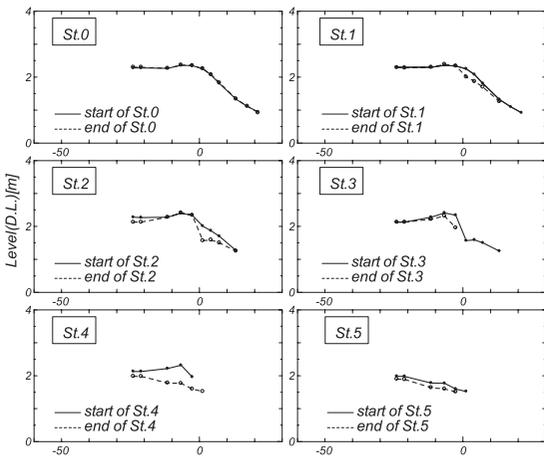


図-3 (a) 大侵食030922の各ステージの始まりと終わりの断面地形図 (横軸は沖向き座標)

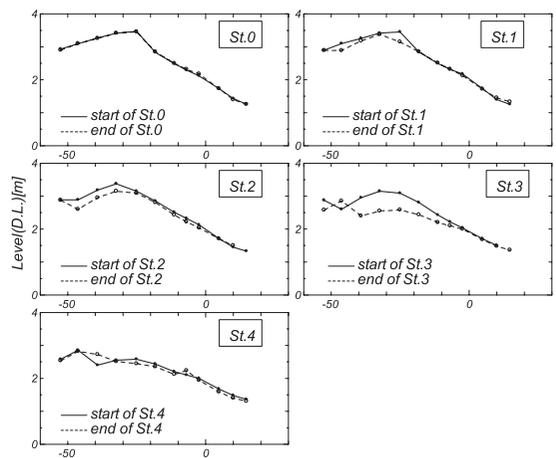


図-3 (b) 大侵食090201の各ステージの始まりと終わりの断面地形図 (横軸は沖向き座標)

5. 断面地形図から見た各ステージの侵食過程

砂面変動の時系列データより各ステージの始まりと終わりの断面地形を求め、侵食の進行過程を調べたものが図-3 (a), (b) である。なお、図-4 (a), (b) に解析対象期間の始めと終わりの断面地形と解析期間に最も近い前後の時間帯の港空研による lead 測定の結果を示している。各ステージ毎の侵食の様子を見てみると表-1 と同様の傾向を示していることがわかる。

大侵食030922において、St.1では、大きなバームが存在し前面が急勾配となっている状態に波が遡上し始め、

バーム前面の侵食が始まる。St.2でさらにバーム前面が侵食されるが、侵食がバーム頂部に達することはない。St.3でバーム頂直下の侵食が始まる。なお、これよりあとは水位の上昇によって砂面が露出するチャンネルが極端に少なくなる。St.4でバーム頂そのものの侵食が始まり、St.5で地形がきれいな緩勾配になって侵食終了となる。

一方、大侵食090201においては、St.1にてバーム頂そのものが侵食され、バーム頂は後退する。St.2でバーム頂付近が広く侵食され、岸側のチャンネルでも砂面低下がみられる。ただし、これには3次元性の影響があるものと考えられる。St.3ではバーム全体で一気に侵食が進行し、

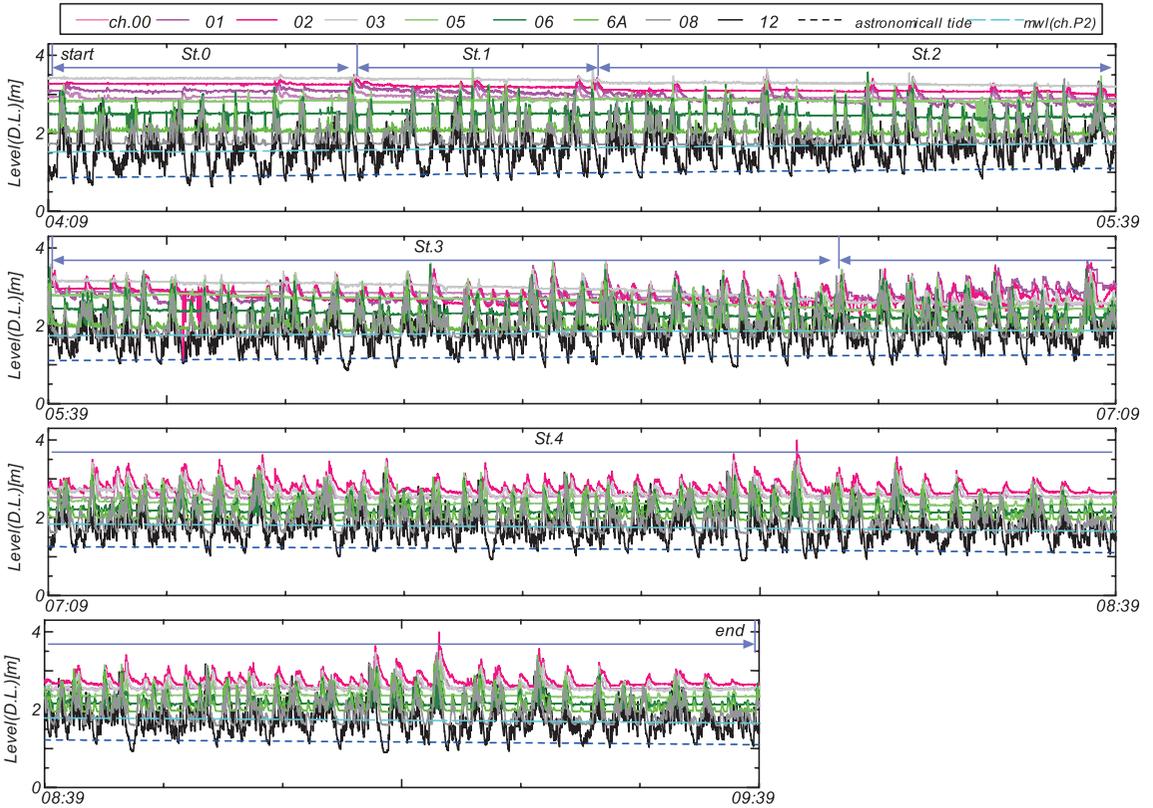


図-2 (b) 大侵食090201の砂面、水面変動データの時系列・計算潮位及び実測潮位・ステージ区分

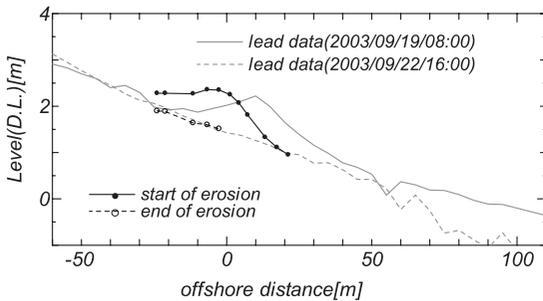


図-4 (a) 大侵食030922の始まりと終わりの断面地形図, Leadデータ

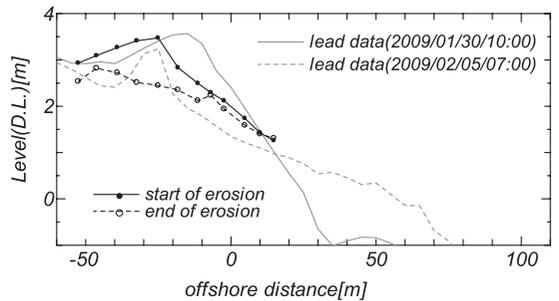


図-4 (b) 大侵食090201の始まりと終わりの断面地形図, Leadデータ

バーム頂付近で大きく砂面が低下するが、沖側ではあまり変化がない。St.4で侵食は落ち着き、岸側に砂が堆積し、地形がきれいな緩勾配になって侵食が終了する。

6. ステージ毎の波の特性

ステージ毎の波浪特性の違いを調べるために、大侵食030922において比較的時間の長いSt.1, St.3及びSt.5の水面変動データを用いてクロススペクトル解析を行った。なお、使用したのはch.14 (x=48.54m)とch.17 (x=79.99m)である。同様に、大侵食090201については比較的時間の長いSt.3及びSt.4、また、急勾配の斜面上での波の特性

を知るためにSt.0の開始時刻から時間を60分週り、その時刻を始めとして新たにSt.0'を設け、St.0', St.3及びSt.4の水面変動データよりクロススペクトル解析を行った。なお、使用したのはch.14 (x=53.80m)とch.16 (x=67.80m)である。それぞれのクロススペクトル解析の結果を図-5 (a), (b) に示す。

図-5 (a) より、大侵食030922において、バーム頂が侵食される前のSt.1ではパワースペクトルの値の大きい領域で位相差が $0-\pi$ で変動しており、重複波浪場となる。St.3においても、やや弱まるものの同様の傾向が見てとれる。一方St.5では、侵食がバーム頂におよび地形が緩

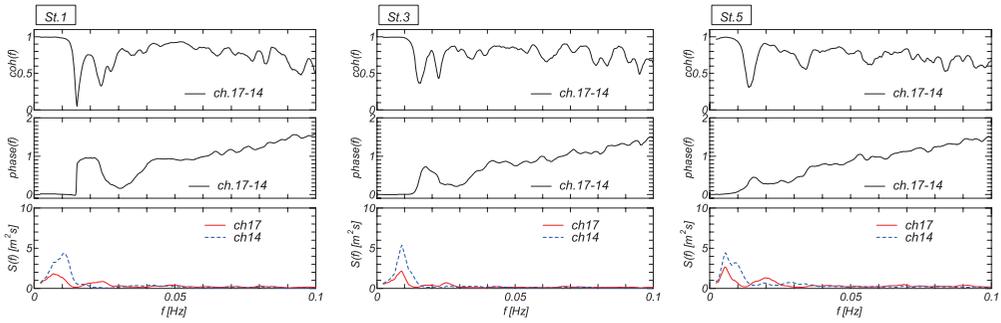


図-5 (a) 大侵食030922の各ステージのクロススペクトル

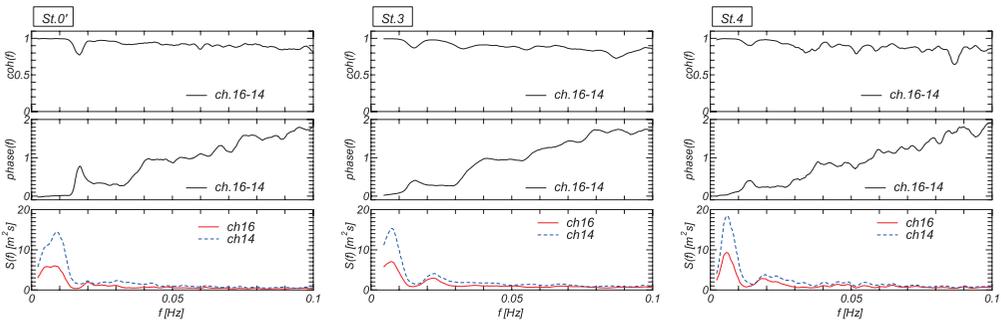


図-5 (b) 大侵食090201の各ステージのクロススペクトル

勾配化したため、全域で進行性の波が目立つようになってきている。また、図-5 (b) より St.0' は反射率が比較的高く重複波浪場になる傾向を示し、St.3 及び St.4 では地形がほぼ緩勾配化しているため、進行性の波となっている。

各解析期間において、長周期成分が大きい高波浪が潮位の上昇と共に発達したバームに作用することで侵食が始まり、数時間オーダーの急激な侵食が起こる。大侵食030922は潮位の上昇が最も速い時に侵食が生じており、遡上域が沖側から岸側に移動し、それに伴い地形変化が起きる場所も岸側に移動するため St.0~St.5 のような地形変化の特徴が現れたと考えられる。一方、大侵食090201では、バームの侵食そのものが満潮時と重なるため、各地点の水深が深くなっていることから一気にバームの侵食が進行したものと考えられる。両者の進行過程の違いは、バームの高さや一つ前の満潮における地形変化（初期地形）の差なども考えられる。

また、どちらのケースにおいても高波浪が続くにも関わらず遡上域が緩勾配化すると侵食が終了することからバームが存在するということが侵食が起こる必要条件であると考えられる。

7. 結論

本研究は、大規模なバーム侵食における地形変化と波

浪の関係を定性的に理解すべく、現地観測データの解析を行い、以下に示す結論を得た。

- ① 高波浪時に潮位が高くなるとバームの侵食が始まるが、その進行過程はバーム前面から徐々に侵食されていく場合も一気に侵食が進む場合も存在する。その違いは大きな長周期波を伴う高波浪と満潮の重なり方や直前の満潮による地形変化の違いなどによるものと考えられる。
- ② 波浪も水位も高い状態が続くにも関わらず遡上域全体が緩勾配になることで数時間で侵食が終了する。このことからバームが存在するなど地形が肥えていることも侵食が発生する必要条件であると考えられる。

謝辞：本研究では柳嶋慎一さんをはじめとする（独法）港湾空港技術研究所漂砂研究室の関係者の皆さんに多大な協力を頂いた。また、NOWPHASのデータを使用させて頂いた。ここに記して感謝の意を表す。

参考文献

- 内野敬太・山口隼人・関 克己・水口 優 (2004) : 大規模侵食時における汀線近傍の漂砂量・地形変化・波浪特性, 海岸工学論文集, 第51巻, pp.446-450.
- Mizuguchi, M.・K. Seki. (2007) : Field observation of waves and topographical change near the shoreline, Asian and Pacific Coasts 2007, CD-ROM