

一般報文

# トレンチ調査による砂礫混合海岸の形成過程の多面的な解析

野口賢二・加藤史訓

## 1. はじめに

海岸侵食対策で、その海岸が如何なる材料を基盤として如何に形成されたかを把握することは、海浜変形計算で対象とする底質粒径の設定の検討や、養浜材料選定において養浜後の海岸の安定性や粒度や色の変化による利用・環境への影響等の検討を行う上で不可欠である。しかし、砂と礫で構成されている海岸では、表面に砂が多い状態と礫が多い状態との間で時々刻々変化し、海浜表面層の調査では海岸の形成過程が明らかにならない。

従来、海浜形成過程の把握には、ボーリング、ツボ掘り、ジオスライサー、地中レーダー探査が用いられてきた。これらでは、局所的な観察や間接的な反射強度の画像から、形成過程の情報である地層の連続性や礫の分布等を推定せざるを得なかった。そこで、波の遡上範囲を網羅するトレンチを掘削して得た情報を、定期断面測量や海象観測データ等を用いて多面的に解析するトレンチ調査手法を開発した。

本報では、静岡県浜松篠原海岸で実施したトレンチ調査を事例として、手法の有効性を示す。

## 2. トレンチ調査の概要

トレンチ調査は、写真-1のように掘削壁面に現れる縞模様を観察・解析する直接的な方法で、砂礫の堆積状態を俯瞰から詳細まで観察できる。この結果から、堆積過程や個々の礫の粒径や形状を知ることができる。また、堆積した層の形状（厚さの岸沖方向変化）や個々の礫の粒径、形状（扁平度）や向き（長手方向）等の堆積過程を把握する情報を得ることができる。

さらに、トレンチ壁面の高精度なオルソ画像を作成することで、測量結果との重ね合わせを可能にした。その上で、図-1に示すように、海象観測や気象情報（天気図や台風経路）、定期断面測量や粒度分析等の結果も組み合わせて、堆積した層

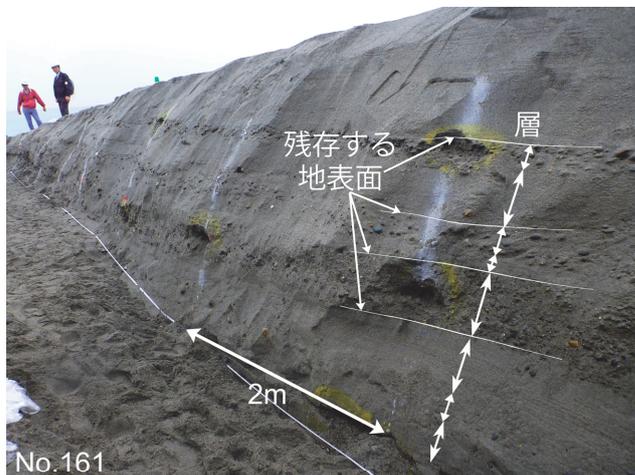


写真-1 トレンチ壁面の縞模様（浜松篠原海岸No.161）

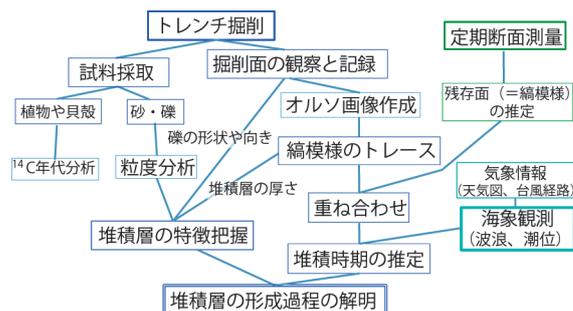


図-1 トレンチ調査と多面的なデータ解析

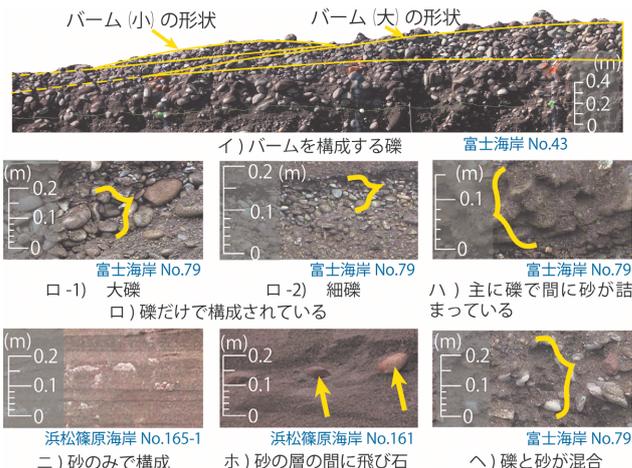


図-2 トレンチ壁面で観察できる砂と礫の堆積状況

の形成時期やその時の外力を把握し、形成過程を明らかにする。

図-2に、トレンチ壁面で観察された砂と礫の堆積状況の主なものを示す。イ）のバームは波打ち際（汀線）付近に形成される高まりで、砂礫混合

Multifaceted Analysis on the Sediment Deposition Process of a Sand and Gravel Mixed Beach by Trench Survey

海岸で波で分級された礫で形成される微地形である。ロ)に示された礫層は、高波浪時の遡上波によりバームが背後に均されたと考えられている。ハ)やホ)では、層の中に存在する礫の長手方向が波の遡上方向に揃っており、礫が打ち上がる波とともに遡上して堆積したと推察できる。へ)は、礫の長手方向の向きが不揃いであることや礫同士が離れていて間に砂が充填されていることから、砂と礫が混合した状態で堆積したと推察される。

### 3. 浜松篠原海岸でのトレンチ調査

#### 3.1 浜松篠原海岸の状況

浜松篠原海岸でのトレンチ調査は、2015年11月17日～19日に実施された。浜松篠原海岸は、図-3に示すように、天竜川河口西側の22基の離岸堤群と消波堤が設置された浜松五島海岸の西側にあり、馬込川河口右岸の中田島砂丘前面に位置する。これらの施設は、天竜川が供給する土砂を捕捉し、浜松篠原海岸の侵食の一因となっている。

静岡県は、供給された土砂量を補うために浜松篠原海岸の東端に2005年から天竜川の掘削土砂を投入している。さらに、養浜の効果を高めるため、3基の離岸堤を設置した。

2005年を基準とした2011年から4年間の汀線変化量を図-4に示す。3基の離岸堤の効果により、沿岸漂砂上手側（東側）で汀線が前進している。

#### 3.2 トレンチ掘削測線の選定

トレンチの測線を、養浜投入地点と離岸堤による地形変化の特性から、図-4に示すように定期断面測量の測線No.161、No.163、No.165-1に選定した。

No.161は、養浜投入地点と1号離岸堤の間に位置し、堆積傾向である。No.163は、1号離岸堤と2号離岸堤の間である。2007年に沿岸漂砂下手側の2号離岸堤が設置され、2008年に上手側の1号離岸堤が設置された。このため、沿岸漂砂が抑えられている状態である。No.165-1は、養浜材料が到達する以前に2号離岸堤が完成しているので、養浜材がほとんど到達していない。

#### 3.3 トレンチ調査で見られる縞模様の推定

トレンチ壁面で観察できる縞模様は、堆積により生じた層の集まりであり、堆積した材料の粒径や色の差から不連続面として現れる海浜形成過程の痕跡である。縞模様は、堆積が生じればこれ以



図-3 浜松篠原海岸の位置

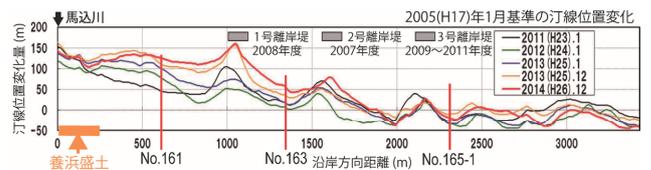


図-4 汀線変化量

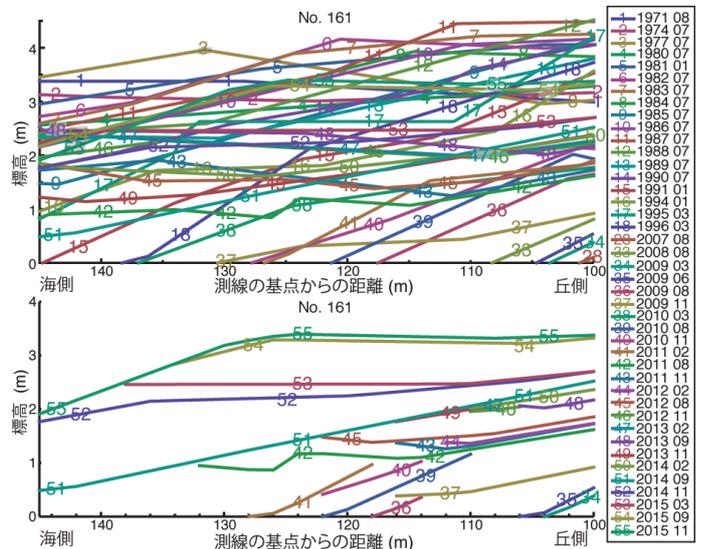


図-5 定期断面測量によるトレンチ壁面の縞模様の推定

前の地表面が層の境界面として残り、侵食が生じればその時点より以前に形成されていた層が削り取られることで作られる。

また、定期断面測量は、測量時点の地表面の記録である。これを経年で重ね合わせて、実際の縞模様の形成過程と同様に、新しい地表面が古い地表面より高ければ堆積として加筆し、低ければ侵食として上側の部分を消去することで、観察される縞模様を推定できる。

No.161の定期断面測量結果を全て重ね合わせたものが図-5上段であるが、測量結果を単純に重ね合わせても変化の順序や残存している地表面の判読は困難である。そこで、前述の方法で堆積・侵食過程を再現してトレンチ壁面に残存していると推定される地表面を残し図-5下段に示した。こ

の断面では、2009年3月以降の堆積状況を観察でき、その線より下は最も古い測量時期の1971年8月より以前に堆積したものと推定される。

### 3.4 トレンチ壁面の縞模様の形成時期の推定

トレンチの壁面をオーバーラップさせて撮影してオルソ画像を作成したのが、図-6 (No.161) である。上段はオルソ画像のみで、縞模様が確認できる。下段は定期断面測量結果から推定した縞模様を重ね合わせた図である。下段図より、重ね合わせから層が形成された時期を推定できる。

他の測線も同様にオルソ画像と測量結果から得た推定線を重ね合わせて層の形成時期を推定するとともに、オルソ画像から層の表面をトレースして、層を構成する材料の状態を色分けして図-7に示した。堆積状態の分類は図-2に合わせてある。

沿岸漂砂下手側のNo.165-1では礫がほとんど見られず、他の2測線では礫を多く含んでいるのが分かる。

No.163では、海側にある近年の層には礫のみの層が多くみられる。これは、離岸堤の離岸距離に対し堤長が小さいため漂砂の抑制効果が限定的となり、堆積した土砂のうち移動しやすい砂分は沿岸漂砂下手側 (No.165-1側) へ流出したことで結果として礫が多く残存していると考えられる。

また、内部は層の重なりが複雑になっており、現状の海浜表層からの外見だけでは海浜内部の構成を断定できないことが分かる。

### 3.5 定期測量間の層の形成時期の推定

#### 3.5.1 バームに着目した形成時期の推定方法

バームは、汀線近くに形成される、比高がせいぜい1mの尾根状に高まった微地形である。礫はバームに選択的に堆積してバームを形成するとともに、バームの背後の地表面にも散乱する。その後、表面上に堆積が生じて、地表面下に礫を含む層が形成されると考えられる。

そこで、礫を含む層の上面の最高点を形成時のバームの頂点と仮定して、層同士の位置関係、来襲外力とバームの形成条件の関係から各層の形成時期を推定する。

バームの形成条件とバームの高さは、武田・砂村<sup>2)</sup>が提案している式(1)と式(2)により推定した。バームの形成条件：

$$3.5D \leq (H_b)^2 / gT^2 \leq 10D \quad \text{----- (1)}$$

D：平均粒径、T：波の周期、g：重力加速度、

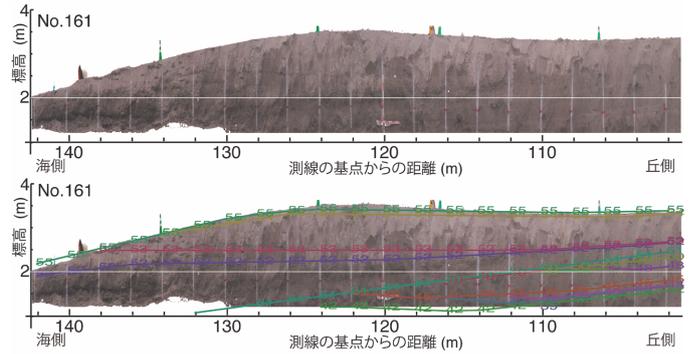


図-6 トレンチ壁面のオルソ画像と推定線の重ね合わせ

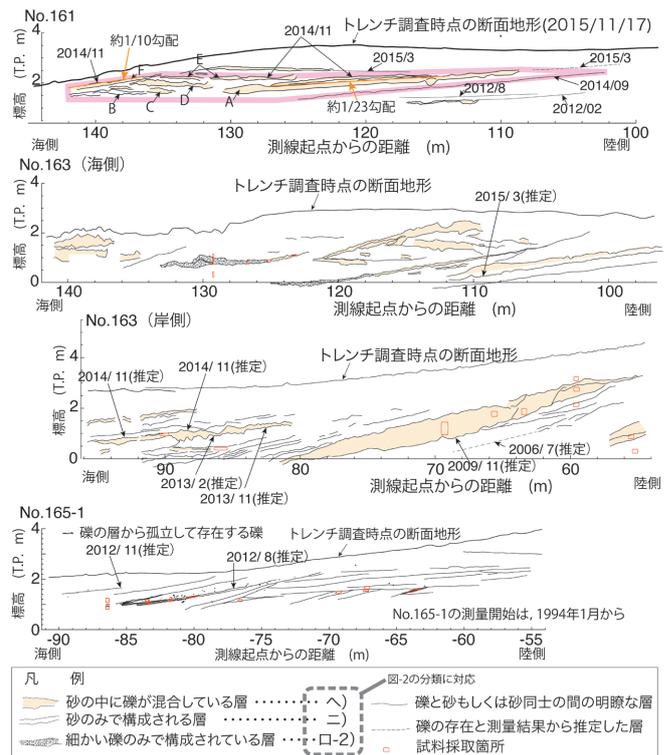


図-7 トレンチによる3測線の堆積状態の比較

$H_b$ ：碎波波高

バームの高さ( $B_h$ )：

$$B_h = 0.125 H_b^{5/8} (g T^2)^{3/8} \quad \text{----- (2)}$$

碎波波高には、次式(3)を用いた。

$$H_b/H_0 = (\tan \alpha)^{1/5} (H_0 / L_0)^{-1/4} \quad \text{----- (3)}$$

$H_0$ ：沖波波高、 $L_0$ ：沖波波長

海底勾配 $\tan \alpha$ は、深淺測量から得られる汀線付近の海中の勾配とした。

#### 3.5.2 各層の形成時期の推定結果

前述の図-7最上段のNo.161で、2014年9月と11月の測量の間となる桃色の線で囲まれた範囲AからFの礫を含む層の形成時期を推定する。測量の間の2014年9月から11月の海象の時系列を図-8下2段に示す。波浪は天竜川河口左岸側の竜洋海岸の竜洋観測所 (水深40m、沖合2 km)、潮位は浜

名湖内の舞阪験潮場の毎正時のデータである。

この期間の波浪・潮位の観測値と台風の来襲時期を図-8の下側2段に示した。また、図-8最上段には観測値から式(1)による粒度毎のバーム形成の可能性を、図-8上2段目には式(2)によるバームの推定高さを示した。礫でバームが形成される時期が各台風と対応している。これらを考慮して、図-9に示すようにNo.161のA~Dの層の形成に寄与した台風を推定した。主要な2つの層の形成過程の推定を以下に示す。

B層は、最も下にあるので時期が早く、礫が大部分を占めつつ陸側への広がりが小さいことから、バーム高さ推定値が比較的小さい台風17号(T1417)による波浪で形成されたと解釈できる。

A層は、陸側の奥109m (T.P.2.5m)まで続く厚い層となっている。また、この層には砂の中に礫が混在していて、礫成分が移動する条件が必要である。礫によるバーム形成条件、バーム高さの推定値から、Aは台風18号(T1418)で形成されたと推定された。この台風は、10月6日0時頃に調査地域に最接近し、波浪とともに潮位も高くなった。このため、陸側に伸びる層が形成しやすい状態であったと考えられる。

また、A層は砂成分も多く含んでいるが、先に堆積した沖側のB層の礫で構成されるバームを残したまま岸側で堆積している。潮位が高い状態や遡上波の遡上距離が長い等の条件が揃い、バームよりも岸側に砂が堆積したと考えられる。

#### 4. まとめ

本報では、浜松篠原海岸での調査を通じて、トレンチ調査で得られる情報と海象情報、測量成果などを多面的に解析するというこれまでにない手法により、砂礫混合海岸の形成過程を把握できることを示した。この結果は、養浜の材料や時期などの検討に活用できるものである。

#### 謝辞

静岡県浜松土木事務所には、定期測量データの提供や海岸調査の手続き等で協力して頂きました。日本大学の宇多高明客員教授および中央大学の石川仁憲教授には、トレンチ調査において測線の選定や各層の解釈について助言を頂きました。高知工科大学の佐藤慎司教授には、トレンチ調査に加

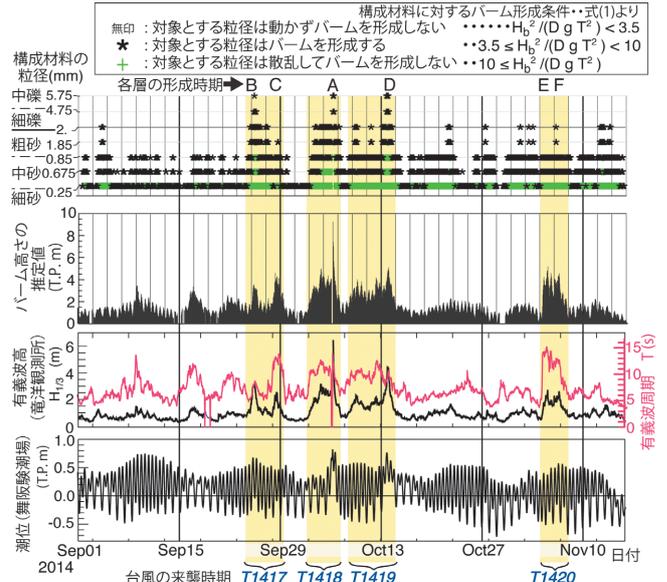


図-8 粒度別のバーム形成の状態と海象条件の対比

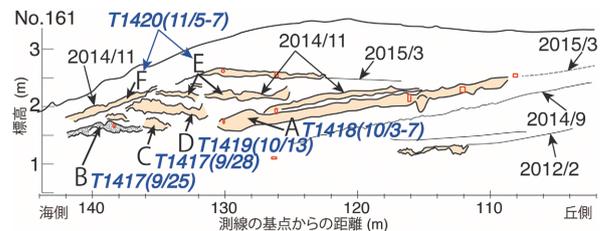


図-9 縞模様を形成した台風の特定

え解析手法についても助言を頂きました。ここに記して謝意を表します。

#### 参考文献

- 1) 石川仁憲、宇多高明、三波俊郎：粗粒材養浜時の海浜の質的变化と礫の移動特性、海洋開発論文集、第26巻、pp.1077~1082、2010
- 2) 武田一郎、砂村継夫：砂浜海岸の堆積過程における地形変化、第30回海岸工学講演会論文集、pp.254~258、1983
- 3) Sunamura, T.: A LABORATORY STUDY OF OFFSHORE TRANSPORT OF SEDIMENT AND A MODEL FOR ERODING BEACHES, Coastal Engineering, ASCE, pp.1051-1070, 1980

野口賢二



国土交通省国土技術政策総合研究所河川研究部海岸研究室 主任研究官、博士(工学)  
Dr.NOGUCHI Kenji

加藤史訓



国土交通省国土技術政策総合研究所河川研究部海岸研究室長、博士(工学)  
Dr.KATO Fuminori