

# 清水海岸北端部の土砂動態と前浜掘削後の埋め戻し観測

## Sand Transport around North End of Shimizu Coast and Field Observation of Refilling Process after Foreshore Excavation

宇多高明<sup>1</sup>・西谷 誠<sup>2</sup>・大橋則和<sup>2</sup>・三波俊郎<sup>3</sup>・石川仁憲<sup>4</sup>

Takaaki UDA, Makoto NISHITANI, Norikazu OHASHI,  
Toshiro SAN-NAMI and Toshinori ISHIKAWA

A submarine canyon develops around the north end of the Shimizu coast, and offshore sand loss into the submarine canyon through the steep slope has occurred. The bathymetric survey data were analyzed, and the rate of offshore sand transport was evaluated to be 160 m<sup>3</sup>/m/yr on the 0.4-km-long coastline. The foreshore excavation was experimentally carried out to investigate the capability of sand recycling from the tip of the sand spit. The rate of refilling was found to be 35m<sup>3</sup>/day in the test area.

### 1. まえがき

清水海岸では、静岡海岸方面からの沿岸漂砂の減少により侵食が進んだことから、2基の離岸堤を組み合わせたヘッドランド (HL) が5箇所で、また三保松原地先では景観防護のためにL字突堤が設置され、これに加えて養浜を行うことによって漸く海岸保全が図られている (宇多ら, 2007)。一方、L字突堤の北側区域についてもL字突堤の北側直近で侵食が進み始め、また三保松原砂嘴の先端部では深海への土砂損失 (宇多, 1997) が起き、大量の土砂が失われつつある。深海へと落ち込む土砂は、上手側から沿岸漂砂によって運ばれてきた土砂であり養浜砂も含まれる。このためそれらの損失防止を図ることが必要とされている。このことから、本研究ではまず砂嘴先端部における深海への土砂損失状況について深浅測量データをもとに分析する。一方、深海への土砂損失を防止するには、砂嘴先端部の前浜から土砂を採取し、それをサンドリサイクルの材料として用いればよいと考えられるが、その場合には土砂採取が周辺海岸にいかなる影響を及ぼすか予め検討する必要がある。すなわちサンドリサイクルのための土砂掘削を同一地点で行った場合、波の作用によってバームの復元が進むと同時に、掘削穴の規模が大きければ周辺から沿岸漂砂による土砂の吸い込みも起こる可能性があるが、このような点は未解明であった。このことから、今回砂嘴先端部の前浜で試験掘

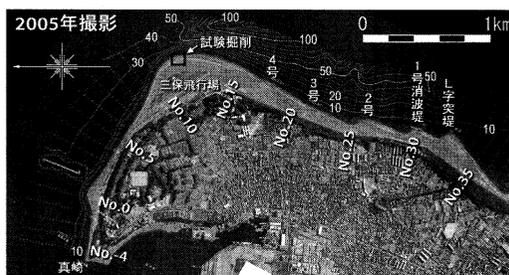


図-1 清水海岸北端部の海底地形と測線配置

削を行い、掘削直後にレーザースキャナ測量によって掘削後の地形変化を調べた。

### 2. 清水海岸北端部の海底地形と測線配置

清水海岸北端部では、図-1に示すように三保松原砂嘴として海岸線の方向が南北方向から東西方向へとほぼ直角に曲がる。この曲がり点 (三保飛行場) 付近では海岸線が円弧状であるが、そのすぐ沖には水深が100m以上に及ぶ非常に深い海底谷が海岸線近傍まで迫っている。また南部にはL字突堤と1, 2号消波堤が設置され、それぞれの場所で海岸線が階段状となり、北側の汀線が後退している。これらは北向きの沿岸漂砂が卓越していることを示す。また海岸線の曲がり点と真崎の間にはもう一箇所舌状の汀線突出部があるが、これは清水港の沖防波堤の建設に起因する。この防波堤は海岸線の曲がり点沖から清水港方面へと回折しつつ侵入する波に対して造られたが、海岸線が波の入射方向とほぼ平行なため防波堤の西側直近で舌状砂州のピークが形成された。

### 3. 汀線変化

図-2は、ヘッドランド (HL) と4基の消波堤の位置と

1 正 会 員 工博 (財)土木研究センター理事なぎさ総合研究室長  
兼日本大学客員教授理工学部海洋建築工学科  
2 静岡県土木部静岡土木事務所清水支所  
3 海岸研究室(有)  
4 正 会 員 工修 (財)土木研究センターなぎさ総合研究室

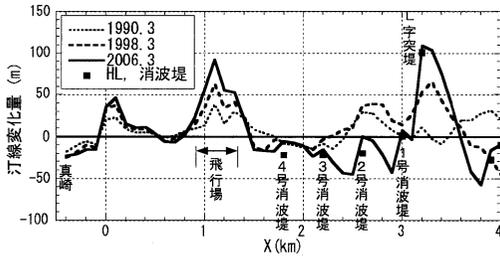


図-2 1983~2006年の汀線変化

ともに、1983年の汀線位置を基準とした1990、1998、2006年までの汀線変化を示す。三保松原のL字突堤より南(右)側の汀線変化については既に宇多ら(2007)で述べたので省略し、これより左側区域の汀線変化に着目する。まず1~3号消波堤の間では1998年までは汀線が前進していたが、L字突堤の建設後汀線が最大62m後退した。これは主にL字突堤が北向きに沿岸漂砂を阻止したことによる。また3、4号消波堤付近の汀線はほぼ安定しているが、4号消波堤の北側直近では1990年から最大23m汀線が後退している。このようにL字突堤から飛行場の間はほぼ全域で侵食傾向であるのに対し、飛行場前面では汀線が経年的に前進してきている。さらにX=0km付近では局所的な汀線前進が見られるが、これは清水港の沖防波堤の遮蔽効果により舌状砂州が発達し

たことによる。またL字突堤建設後の1998年から2006年までにおいて、L字突堤以北での前浜面積の増加量は $1.2 \times 10^4 \text{m}^2$ であるのに対し、侵食面積は $4.1 \times 10^4 \text{m}^2$ と、侵食面積のほうが大きい。この理由は、次節で述べるように深海への土砂落ち込みがあるためである。

#### 4. 海浜縦断形変化

##### (1) 2~4号消波堤間の測線 No. 25, 21, 19における縦断形変化

図-1に示したように、2~4号消波堤間に位置する測線 No. 25, 21, 19における縦断形変化を図-3に示す。これらの3測線周辺ではNo. 25からNo. 19へと次第に海底勾配が急となり、またNo. 25とNo. 21はそれぞれ2、3号消波堤の下手側直近に位置し、沿岸漂砂阻止による侵食が出やすい位置にある。これに対してNo. 19は4号消波堤の上手側直近の汀線が安定しやすい位置にある。まずNo. 25では、1989年から1995年までは沿岸漂砂が水深15mまでの区域で堆積し縦断形が冲向きに張り出していたが、1996年に2号消波堤が設置された後一転して侵食傾向に変わり、汀線が80mも後退した。この結果凸状の縦断形は一様勾配の縦断形へと変わった。侵食時における波による地形変化の限界水深( $h_c$ )はほぼ12mにある。測線No. 21でも当初は堆積傾向にあったが、2007年までには侵食傾向に変わった。またこの位置での $h_c$

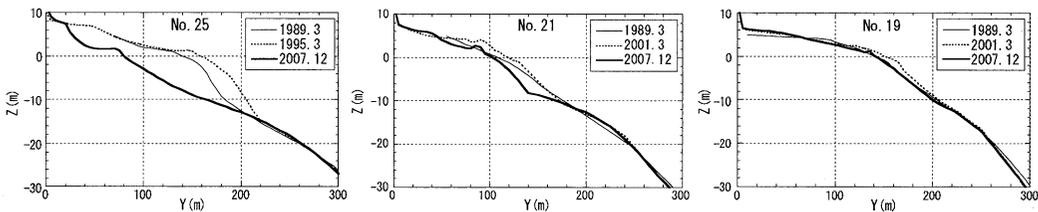


図-3 2~4号消波堤間に位置する測線 No. 25, 21, 19における縦断形変化

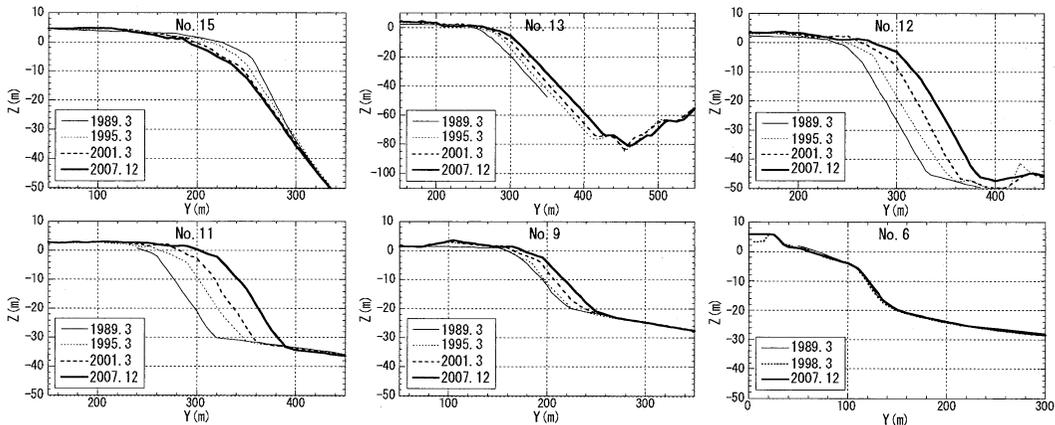


図-4 円弧状砂州周辺に位置する6測線の縦断形

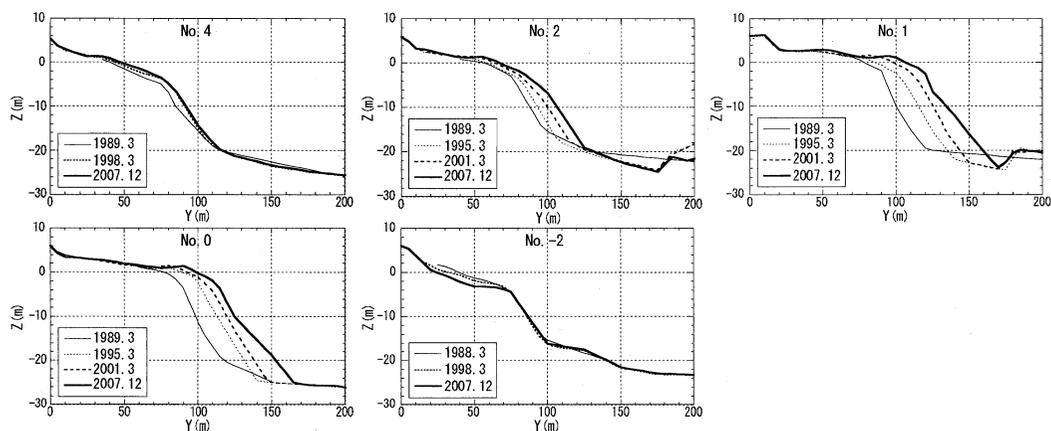


図-5 沖防波堤の南側に位置する測線 No. 4～No. -2の縦断形変化

はほぼ11mにあり、水深12～19m間では一部沖への土砂落ち込みと見られる変化も起きている。4号消波堤の南側直近のNo. 19では、2001年までにわずかな堆積が生じた後、2007年まで有意な地形変化は見られず安定している。この測線では沿岸漂砂が通過しつつも動的平衡状態にあることを示唆する。

## (2) 飛行場前面の張り出し部における縦断形変化

図-1に示したように三保松原砂嘴の北東端には大きく張り出した円弧状砂州がある。この砂州は北向きに運ばれてきた砂礫が堆積して経年的に張り出してきたことが分かっている(宇多, 1997)。本研究では、この円弧状砂州周辺から6測線を選んで砂州周辺の詳細な縦断形変化を調べた。図-4には6測線の縦断形を示す。この付近では砂州沖に海底谷が迫っており海底勾配は非常に急である。まず砂州の南側の測線No. 15では、1989年には海底勾配が1/1.5と非常に急で砂礫が堆積した縦断形であったが、以降時間経過とともに侵食が進み、勾配が次第に緩やかになった。この場合、地形変化は水深30m付近までと、清水海岸南部での $h_c=7m$ よりはるかに深いところまで生じている。張り出した砂州の東側のNo. 13では非常に深い場所まで土砂が堆積していることから、他の図面より鉛直座標のスケールを縮小している。No. 13では、汀線付近から水深75mまで海底勾配1/2の一樣勾配で縦断形が平行移動しつつ前進している。大量の土砂が水深の大きな場所へと落ち込んでいることが明らかである。別途行った粒径調査によれば、No. 13の南100mに位置する測線No. 14における底質は、前浜から水深22mまで $d_{50}=3mm$ 以上の礫で構成され、L字突堤近傍の前浜付近を構成する材料と同様、粗粒な底質であった。No. 13の北100mに位置するNo. 12でもNo. 13と同様海底勾配1/2の一樣勾配で水深45mまで土砂が落ち込んでおり、縦断形は平行に前進したことが明らかである。No. 11では、No. 12と比較して海底の遷急点の水深がほ

ぼ45mから33mと浅くなったために、1/2勾配での土砂落ち込みは生じたものの、落ち込み土砂量は相対的に少なくなっている。No. 9も同様な傾向であり、ここでは水深21mまで土砂の落ち込みが見られる。しかし円弧状砂州の西端部に位置するNo. 6では縦断形に全く変化が生じていない。

## (3) 沖防波堤の南側海浜における縦断形変化

清水海岸の北端部における土砂の深海への落ち込み現象は、飛行場周辺に留まらない。清水港の入口にあって南北方向に310mの長さを有する沖防波堤の南側では、防波堤による波の遮蔽効果によって舌状砂州ができつつあるが、そこでも堆積が進んでいる。図-5にはこの付近を通る測線No. 4からNo. -2までの縦断形変化を示す。沖防波堤から東に170m離れたNo. 4では、1998年までに水深20mまで土砂が堆積したが、1998年から2007年の変化は少なく縦断形はほぼ保たれている。しかし防波堤のすぐ東側のNo. 2では深海への砂礫の堆積が著しい。土砂は水深10m付近においてほぼ1/2勾配を保ちつつ落ち込んでいるが、水深15m以深の海底面が沖向きに傾いているため、土砂の落ち込み水深も1989年の15mから2007年の20mまで次第に増加している。防波堤の西側を通るNo. 1では最も土砂の落ち込みが著しい。4時期の測量データと比較して1989年のみは深部の縦断形が一致しないことから、1989年の縦断形には測量誤差が含まれていると考えられる。しかしこの測線にあっても水深10m付近では1/2の一定勾配を保ちつつ水深20～23mまで土砂の落ち込みが生じている。同様な特徴はNo. 0でも見られ、水深25mまで土砂が堆積している。

測線No. 1とNo. 0の縦断形変化を注意深く調べると、水深15m付近における海底勾配が2001年以前は1/2.1 (No. 1), 1/1.9 (No. 0)であったが、2007年にはそれぞれ1/2.6, 1/2.6と緩くなっている。この付近は図-1に示したように、沖防波堤による波の遮蔽域内に入っており、

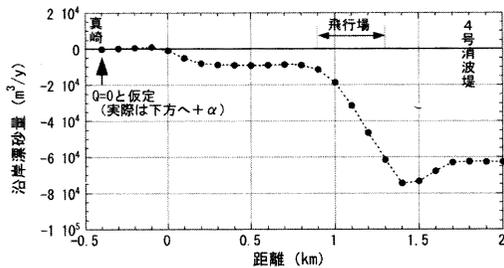


図-6 測線 No. -4 (真崎) から No. 20 (3号消波堤下手) までの区間における通過沿岸漂砂量

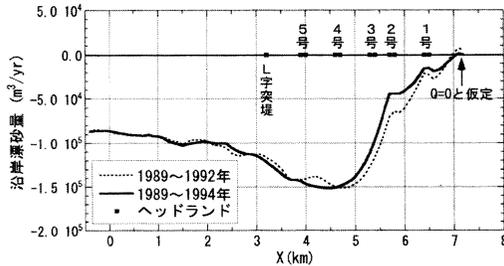


図-7 1, 2号 HL 建設直後の汀線変化量から算出した沿岸漂砂量分布 (宇多ら, 2007)

沿岸漂砂によって運ばれてきた相対的に粒径の小さな土砂が堆積したため、相対的に海底勾配が小さくなったと考えられる。しかしながら、真崎に近い No. -2 では水深 5m 以深における砂礫の堆積は見られず、逆に水深 3m 以浅で侵食が生じている。この侵食は真崎を回り込んで清水港へと運ばれる沿岸漂砂が起きたためである。

## 5. 沿岸漂砂量の推定

測線 No. -4 (真崎) から No. 20 (3号消波堤下手) までの測線について、1989~2007年の約19年間の海浜縦断面形変化より断面積の変化量を求め、これを沿岸方向に積分することによって各断面を通過した沿岸漂砂量を算出した。結果を図-6に示す。算出に当たっては No. -4 (真崎) を通過した沿岸漂砂量を0と仮定した。また断面積変化量の積分範囲は、陸上部においては+2~+5m までとし、水中部は $h_c$ 以深への土砂の落ち込みを考慮して地形変化が収束する水深までとした。この水深は、例えば測線 No. 13では70m 以上に達する。

図-6によれば、沿岸漂砂量は4号消波堤下手 ( $X=1.4\text{km}$ )、測線 No. 14) で北向きに約  $7.5 \text{ m}^3/\text{yr}$  であるが、飛行場前面 ( $X=1.0\text{km}$ ) で急激に減少し約  $1 \text{ m}^3/\text{yr}$  となる。これより  $0.4\text{km}$  区間において北向きに運ばれてきた沿岸漂砂のうち  $6.5 \text{ m}^3/\text{yr}$  が海底谷へと落ち込むこと、従って約  $160 \text{ m}^3/\text{m}/\text{yr}$  の割合で土砂損失が起きていることが分かる。一方、宇多ら (2007) で示した1, 2号 HL 建設直後の汀線変化量から算出した沿岸漂砂量分布 (図-7) によ

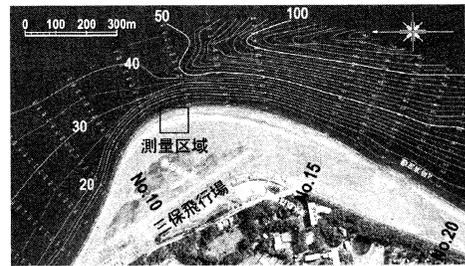


図-8 前浜掘削区域の平面図

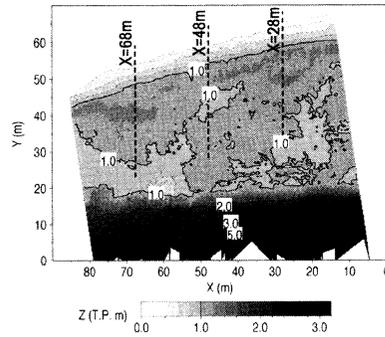


図-9 掘削直後 (1月22日) の平面形状

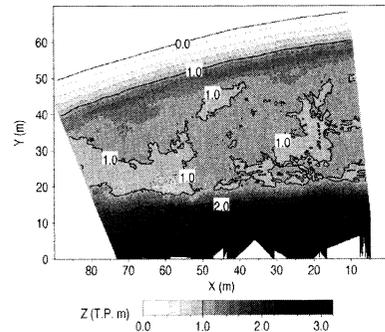


図-10 掘削後3日 (1月25日) の平面形状

れば、4号消波堤下手 ( $X=1.4\text{km}$ ) の漂砂量 (1989~1994年) は約  $10 \text{ m}^3/\text{yr}$  であり、上記の約  $7.5 \text{ m}^3/\text{yr}$  より  $2.5 \text{ m}^3/\text{yr}$  多い。この差は、No. 14~17付近での縦断面形変化としてカウントされなかった深部への土砂落ち込み、および真崎先端から流出する土砂量に由来するものと考えられる。

## 6. レーザースキャナ測量による前浜掘削後の地形変化調査

掘削は図-8の測線 No. 11と12間の汀線付近に形成されているバームについて、T.P.+1m 以上を削り取るという手法で2007年1月22日に行った。図-9は掘削直後の前浜平面形状である。掘削によって標高1m 付近が平坦になっている。図-10は掘削後3日の1月25日の同じ区域の平面形状である。陸側の盛土の海側にある平坦面の大

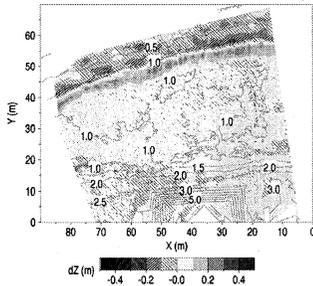


図-11 1月22～23日の地形変化量の平面分布

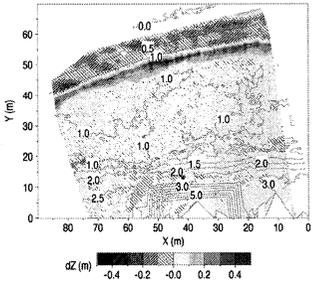


図-12 1月22～24日の地形変化量の平面分布

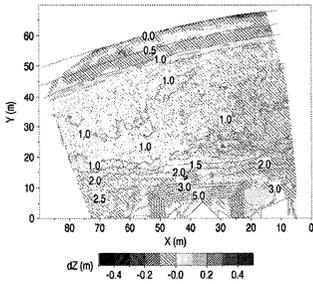


図-13 1月24～25日の地形変化量の平面分布

部分では掘削後の形状と同一であるが、汀線に沿って2次元的に細長いバームが形成された。

図-11は1月22日から23日の変化量の平面分布であるが、沿岸方向に多少の変動はあるものの、全域で土砂が岸向きに運ばれ堆積している。これに見合う土砂はそのすぐ沖から運び込まれた。図-12は1月22日から24日の変化量の平面分布である。1月23日までの地形変化がさらに強調されている。しかし24日以降バームの発達を終了したために図-13に示すように、1月24日と25日の比較では有意な地形変化は生じていない。このように前浜掘削に伴い岸向き漂砂による地形変化が起きたが、その応答は急速で、2日程度で完了したことが分かる。

図-14は、図-9に示す3測線における海浜縦断形の変化である。南側のX=28m断面では22日にはバームがなく平坦であったが、汀線から1.3mまでが侵食され、それが岸向きに移動して1.5mのバームを形成している。

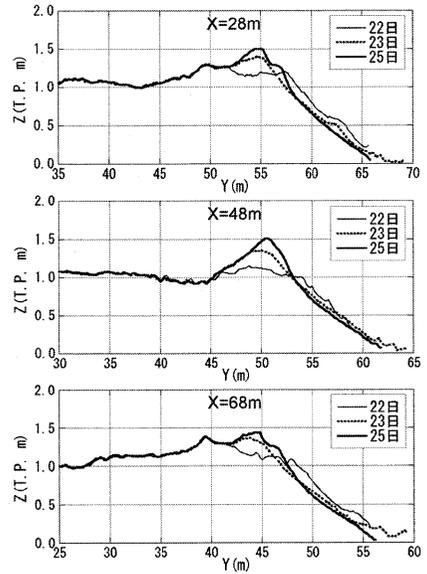


図-14 X=28, 48, 68m断面に沿った縦断形変化

X=48m断面でも同様にして高さ1.5mのバームが形成された。バーム形成に伴って土砂が堆積した範囲はY=47mから57mと長さ10mの区域である。X=68m断面でも前浜が削られバームが形成されたが、ここではバーム高が1.4mと南側の測線より低い。

サンドリサイクル時の砂礫採取可能量について検討するために、掘削区域内でのT.P.+1.0m以上のバーム形成域における土砂の増加量を求めると約70m<sup>3</sup>となる。バーム形成は2日で完了しているので、掘削区域内で約35m<sup>3</sup>/dayの土砂供給が可能である。また図-9における掘削区域の延長は約75mなので、観測期間内にほぼ0.5m<sup>3</sup>/m/dayの岸向き漂砂が起きたと推定される。

## 7. まとめ

清水海岸北端部における深海への土砂損失状況を深淺測量データに基づいて分析し、飛行場前面では海底勾配が1/2と急なため、約160m<sup>3</sup>/m/yrの土砂落ち込みがあることが分かった。また土砂損失防止のために砂嘴先端部の前浜から土砂を採取し、サンドリサイクルの材料として用いる手法を考え、その可能性を掘削調査とレーザースキャナを用いて調べた。この結果、データは限られるものの、掘削区域内では約35m<sup>3</sup>/dayの土砂供給が可能なが分かった。

## 参考文献

- 宇多高明 (1997) : 「日本の海岸侵食」, 山海堂, p.442.
- 宇多高明・吉添高兆・町井 靖・西谷 誠・芹沢真澄・三波俊郎・石川仁憲 (2007) : 清水海岸のL字突堤沖における細砂の移動帯の形成機構, 海岸工学論文集, 第54巻, pp.421-425.