

長目の浜の洋上ウバメガシ林内礫浜構造について

INNER STRUCTURE OF A GRAVEL BEACH UNDER COASTAL FOREST ON
NAGAMENOHAMA, KAMIKOSHIKI IS., KAGOSHIMA

西 隆一郎¹・塩谷克典²・稲留陽尉³・日高正康⁴

Ryuichiro Nishi, Katsunori Shioya, Takayasu Inadome, Masayasu Hidaka

¹正会員 鹿児島大学教授 水産学部水産学科 (〒890-0056 鹿児島市下荒田4丁目50-20)

² (財) 鹿児島県環境技術協会調査部環境生物課課長代理 (〒891-0132 鹿児島市七ツ島1丁目1番地5)

³ (財) 鹿児島県環境技術協会調査部環境生物課課長代理 (〒891-0132 鹿児島市七ツ島1丁目1番地5)

⁴鹿児島大学講師 水産学部水産学科 (〒890-0065 鹿児島市下荒田四丁目50-20)

Natural coastal forest composed by Uamegashi (*Quercus phillyraeoides*) has been developed on a barrier island which mainly consists from gravels on Nagameno-hama beach in Koshikijima Island, Kagoshima Prefecture. This coastal forest is isolated from the mainland and surrounded by salty water environment. Porosity and permeability inside a bed material of coastal forest seems to be high compared to ordinal sandy beach, because the barrier island is consist from mainly gravel. Therefore, generation mechanism of this unique coastal forest which needs fresh water is still unknown. In addition, a few part of coastal forest on the barrier island had been washed over and destroyed by the Ruth Typhoon in 1951. Then, the damaged area of forest have never recovered. Thus field observations, sediment sampling, permeability experiments were conducted to reveal the generation mechanism of the coastal forest to discuss a restoration project.

Key Words : Generation of coastal forest, barrier island, Gravel, permeability, Water holding capacity

1. まえがき

鹿児島県薩摩川内市沖合の東シナ海洋上に上甕島, 中甕島, 下甕島からなる甕島列島がある。この中の上甕島には, 海岸工学および海岸地形学から見ても非常に興味深い海岸地形と水理現象が存在している。海岸地形に関しては, 礫で構成された里地区のトンボロ地形がある。比較的に大型のトンボロ地形で, その上に集落や港湾施設が発達している。加えて, 長目の浜と言う礫で構成されたバリアーアイランド状の砂州と, その背後の海跡湖群がある。そして, 一般に冬季から春にかけて発生する副振動で有名な浦内湾がある。それぞれの形成機構や流体力学的な水理現象の解明は, 工学的にも学術的にも重要であるが, 本論文では, バリアーアイランド状の長目の浜の形成機構と, 長目の浜の上に形成された洋上ウバメガシ林内の礫浜構造に関する調査結果について述べる。

鹿児島県の薩摩半島沖合の上甕島には, 写真-1に示されるように海跡湖群が存在している。この海跡湖群は, 東西方向に並んでおり, 東から須口池 (すぐちいけ), 鍛冶池 (くわさきいけ), 貝池, 海鼠池 (なまこいけ) と呼ばれている。これらの海跡湖と海との間には, 東西方向に細長い「長目の浜」と呼ばれる砂州 (バリアーアイランド) が存在している。類似の海岸地形としては,

京都府の日本海側にある「天橋立」と呼ばれる景勝地や,

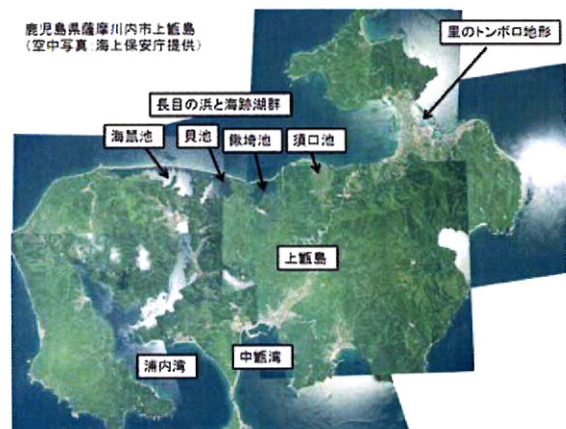


写真-1 上甕島の海岸の様子

北海道のオホーツク海に面する能取湖, サロマ湖, コムケ湖などの海跡湖地形がある。しかし, 我が国の多くの海跡湖群およびその海側前面砂州は, 基本的に砂質材料で構成されており, 長目の浜のように礫質材料で構成された砂州は珍しい。また, 長目の浜の西端に位置する岬



写真-2 長目の浜の拡大空中写真（1977年）

状地形の田ノ尻からの礫浜延長は約4kmである。そして、砂州背後の海跡湖群は海水交換の程度が異なるために、生物的な多様性の高い海岸環境を呈している。例えば、長目の浜背後の海跡湖群の中では、海鼠池が最も大きい内水面積をもっており、この海鼠池ではナマコ・アコヤガイなどが獲れる¹⁾。

1977年撮影の写真-2に示すように、この長目の浜には海浜植生が繁茂し、その代表的なものとしてウバメガシ林が発達している。現地踏査によればこのウバメガシ林は、横断方向（海陸方向）、つまり砂州の頂部付近から内水面境界部まで発達している。しかし、沿岸方向では、ウバメガシ群落の一部途切れている。写真-2の丸印で示されるウバメガシ群落の顕著な途切れ個所は、写真-2の28年後に撮影された2005年の航空写真で確認しても、回復が進行していない（写真-3参照）。この森林が途切れた個所は、1951年10月14日に鹿児島県枕崎市付近に上陸したルース台風により砂州が完全に切れて湖口が形成され、海とつながった個所と言われている。本調査地に被災を及ぼしたルース台風は、最大風速が69.3m/sの大型台風で上陸時の勢力も935hPaであったために、死者は全国で572名となった災害史上顕著な大意思風でもあった。

いったん砂州が切れて湖口が形成されたときに、長い時間をかけて自然に形成されたウバメガシ林、養土、保水・透水層が完全にはぎとられたと考えられる。さらに、ルース台風により形成された湖口を人工的に塞ぐ時にも、自然に形成されていた礫浜の養土および保水・透水層構造と類似した修復を行わなかったために、海浜植生や森林の回復が進行しなかったのではないかと考えられた。一般的には、砂質の砂丘や砂州上に形成された海浜植生群落では、台風被災後60年以上経過するとある程度の回復がなされる。しかし、水持ちの非常に悪い、言い換えれば透水が非常に速い礫で構成された長目の浜では、礫浜表層および内部の保水・透水層構造が自然あるいは人為的な外力で破壊されたために、現状のままでは、今後数十年かけてもウバメガシ群落が回復すると予想するこ

とは困難であり、現存のウバメガシ林を適切に保全しなければならない必然性も高くなる。

そこで、本調査ではわが国でも非常にユニークな礫で構成された砂州および海跡湖群である「長目の浜」に関して、地形特性、形成機構、構成材料特性、そして、透水・保水特性という物理的な観点から調査を行い、今後の保全の一助とするものである。なお、海水交換を行う湖口（インレット）断面積と海跡湖の海水交換量には、A-P関係式²⁾と呼ばれる一般的な関係があるが、この関係に対応する湖口断面積がなければ湖口が自然に閉じる場合もあることが知られているが、本調査地の湖口は、地元住民により人為的に閉じられたものである。

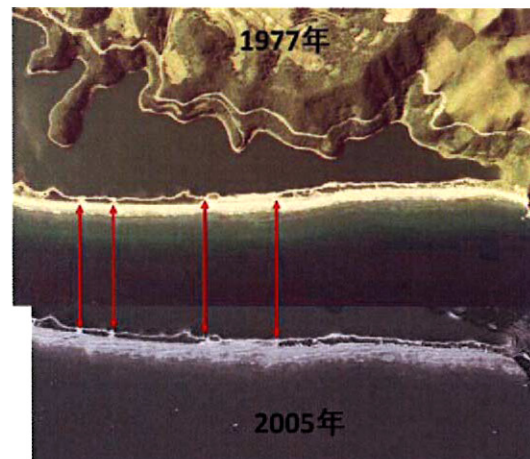


写真-3 ルース台風時に被災を受けたウバメガシ林

2. 現地調査

長目の浜は上甕島の北側に位置している。また、写真-1に示すように、浜の東側は里村のあるトンボロ地形およびその前に接続した島状地形により海域が遮蔽され、北西から北東に渡る方向だけが開口している。したがっ

て、現状では礫浜を形成し維持するのに必要な漂砂を引き起こす主要な波（卓越波浪）は、この開口方向からの波に限定されている。この開口方向から入射し、かつ礫を移動開始させ、そして、輸送することが可能なエネルギーを持つ波は、台風時の継続時間が比較的短い波か、冬季季節風により発生する継続時間の比較的長い波であると考えられる。長目の浜では、入射波方向が限定されていることが、本地形の形成機構として重要である。



図-2 長目の浜の開口特性と入射波浪の卓越方向

現状の地形図だけを見れば、北側（開口方向）からの卓越波浪による波食で田ノ尻岬周辺の海食崖が崩落することで供給された礫を含む多量の土砂が、南東向きの沿岸漂砂により牛瀬側に徐々に輸送され堆積した結果形成されたのが、長目の浜と考えられる。つまり、長目の浜は北西端の田ノ尻岬から南東に向かい徐々に延伸し、最終的に牛瀬に接続した結果形成されたのが、現在の海跡湖群であると推測される。したがって、長目の浜は田ノ尻岬が主な沿岸漂砂供給源となり形成された礫浜である。

本海域においては、長目の浜前面が急深地形であるために沖からの入射波浪が十分に屈折せず礫浜に作用するために、写真-4に示すように汀線に対する波の入射角が非常に大きいことも、他の砂質性の砂州に比較して特有な現象である。

砂州を構成する底質は、当然ながら入射波浪が大きい時に移動量が大きい。ただし、高波浪の条件では、細かい底質は沖に移動するが、礫のように粒径の大きなものは質量輸送および遡上波の打ち上げ効果で陸側に堆積する。つまり、礫は砂と異なり高波浪時に浜を発達させるような作用を持つ。そして、礫浜の高さは高波浪時の遡上波の高さに応じて堆積高さが定まる。したがって、一般的には現況の海水面上数mの高さを維持しながら、卓越漂砂方向に本礫浜が伸張したと思われる。

このような自然条件下で、現在の長目の浜がいつ形成されたかを考えると、現状とほぼ同じ海水準になった縄文海進より後の時代と推測される。ただし、縄文海進以前も、その時代の海水準に応じて長目の浜は存在していたものと考えられる。加えて、上甕島北部の卓越波条件

と地質条件は長期間にわたりほぼ同一と考えられるために、里村のトンボロ地形がやや先に形成され、その結果、長目の浜付近では波の卓越方向が北西側の単一方向に限定されるようになり、長目の浜の元地形である砂州の発達が進んだものと考えられる。仮説であるが、長目の浜の成長過程は、大まかに二段階に分けられ、(i) 里村地域のトンボロが完全に形成される以前は、長目の浜では季節的に北西側と南東側の卓越波向があり田ノ尻および牛瀬両方からの土砂の供給があったが、(ii) 里村地域のトンボロが完全に形成されてからは、南東側からの波浪が長目の浜には作用しなくなり、結果として田ノ尻岬の波蝕により供給された礫を含む土砂が牛瀬方向に沿岸漂砂で移動したものと推測される。ただし、長目の浜は、急勾配の海岸であるので、田ノ尻の波蝕で供給された砂やシルト成分は牛瀬側に移動する過程で沖側に輸送され、基本的に粒径の大きい礫成分だけが牛瀬側に輸送され堆積したのと考えられる。

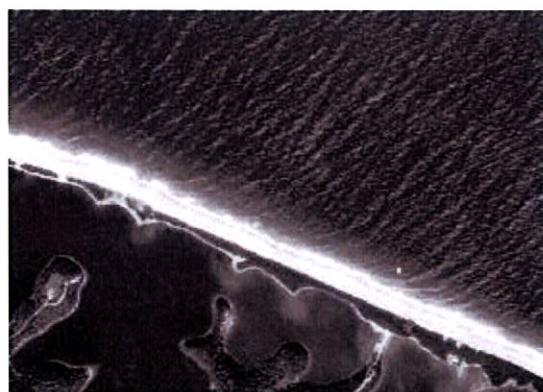


写真-4 入射角が大きく浜に沿うように進行する波

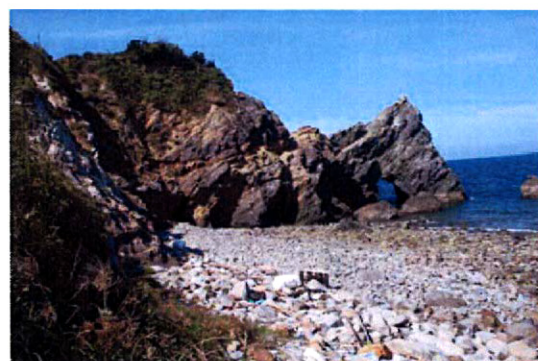


写真-5 沿岸漂砂（礫）供給源と推測される田ノ尻岬

3. 長目の浜の構成材料特性

長目の浜は、わが国では珍しい礫で構成されたバリア

アイランド状の砂州である。また、透水性の高い礫浜で淡水よりも海水の影響を受けやすいと思われるにも関わらず、海水に非常に近い位置にウバメガシ森林が形成されると言う希少価値の高い自然地形でもある。そこで、なぜこの礫浜上に淡水を必要とするウバメガシ森林が形成されたのかを考察するために、長目の浜の底質（礫）特性を調べることにした。

3.1 底質（礫）の粒度特性

ウバメガシ森林内および外縁部で礫浜を構成する礫材の粒度分布および中央粒径を、ふるいわけ試験により調べた。また、以下に代表的な5つのサンプルの粒度分析結果と中央粒径をそれぞれ示す。

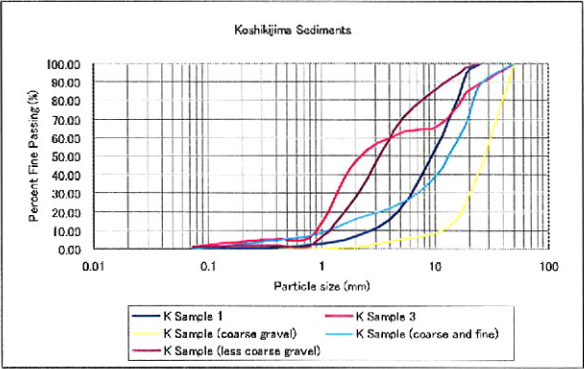


図-3 粒度分布および中央粒径のまとめ

3.2 礫材の形状特性

本浜は、礫で構成されている。ただし、本浜の礫は完全な球体ではなく、平板状のものも多数存在する。そして、その形状によって外力に対する移動しやすさも異なるはずである。そこで、浜を構成する礫の形状特性を調べるために、長目の浜中央部に図-4に示すような測線を設け、ウバメガシ森林前面の浜堤部（No. 1）とバーム先端部（No. 2）において、それぞれ100個および110個の礫材を採取し、図-5に示すように、長径、短径、厚みをそれぞれメジャーで計測した。

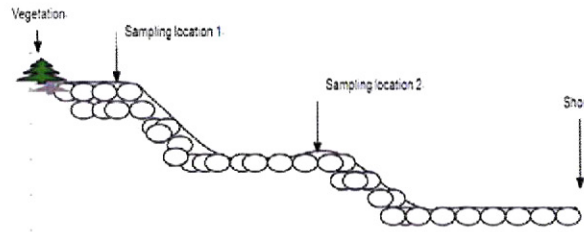


図-4 形状測定用礫材採取地点

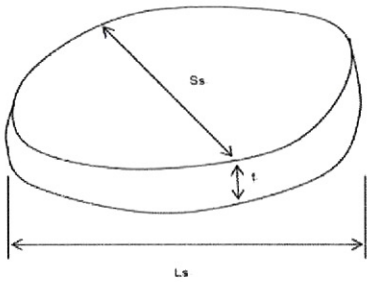


図-5 形状特性の指標値の定義図

表-1に測定結果を示す。表中の平均値から分かるように、それぞれのサンプリング位置は岸沖方向で異なるが、長径、短径、厚みの平均値はほぼ同一である。また、長径と短径の比は0.68と0.69、そして、長径と厚みの比は0.32と0.32であるので、球状と言うよりは平板状の形状である。また、一般的に砂質海浜では砂丘に相当する測点1で粒径が細くなるが、本礫浜ではそのような構造が見られなかった。なお、波打ち際と、内水面側の個所での計測、および沿岸方向に沿っての計測は時間の関係で行っていないので、今後の調査が必要と思われる。

表-1 形状特性のまとめ（平均値）

Sample location	No. of samples	Range			Mean		
		Ls (cm)	Ss (cm)	t (cm)	Ls (cm)	Ss (cm)	t (cm)
1	110	6.2-29	2.5-16.9	1.4-12	11.7	8.0	3.7
2	100	4.5-25	2.8-20	1-10.5	11.4	7.9	3.7

図-3および表-1から明らかであるが、形状特性を調べた海浜部の礫材の中央粒径と、ウバメガシ森林内および湖水側外縁部での中央粒径を比較すると、概略10倍程度海浜部の礫材の方が中央粒径は大きい。したがって、ウバメガシ森林を造成するには、適切な径の礫材を用いる必要がある。

4. 長目の浜の構成材料特性

4.1 礫材料の透水特性

礫浜の透水特性は、礫浜を通しての海水浄化および水質保全、間隙生物の生息条件、礫浜内部の保水特性、養分の保持機能、海浜植生の成長具合などに大きな影響を持つ。本研究の対象である長目の浜上に形成されたウバメガシ森林の成長及び海浜侵食被害からの回復過程に対しても重要な指標であると考えられる。そこで、長目の浜の透水特性（透水係数）に関して、実験式に基づいた手法と、数値計算に基づいた手法により推定する。なお、実験式は、マリオラ³⁾により提唱された下記の式であり、数値計算は北村ら⁴⁾による粒状体モデルに基づくものである。

(1) 透水係数 k_{20} と中央粒径 D_{50} の相関

$$k_{20} = 0.0303 \ln(D_{50}) + 0.054$$

両手法による数値計算結果は、それぞれの礫材サンプルに対して以下ようになった。また、多様な粒径の海浜材料に対する透水係数の水理実験結果を図-6に示すが、中央粒径が0.数mm程度の砂質海浜の透水係数に比べて、概略で一桁ウバメガシ林内の透水係数が大きい。言い換えれば、保水特性が非常に悪いことになる。したがって、礫材以外に何らかの保水性能を発揮する機能を持つ機構が存在することが、推測される。

表-2 透水係数の推定値

	実験式 (1)	数値計算
資料 1	0.122cm/s	0.979cm/s
資料 2	0.081cm/s	0.656cm/s
資料 3	0.155c/ms	1.241cm/s
資料 4	0.132cm/s	1.061cm/s
資料 5	0.092cm/s	0.741cm/s

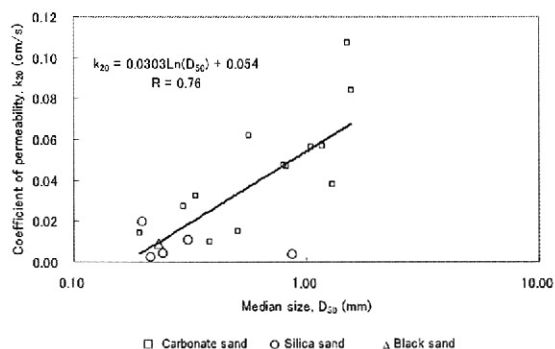


図-6 中央粒径と透水係数（水理実験結果）

4.2 保水層マットおよび湖水面側の内部粘土層

長目の浜は、写真-6に示すように浜表層が礫で構成された砂州（砂州）である。前述したように、礫で構成された砂州は透水性（水はけ性能）が、砂質性の砂州と比べて一桁以上高い。したがって、水分を必要とする植生が成長するのに恵まれた環境とはいえず、ウバメガシ林が発達した何らかの特殊な保水機構が礫浜の内部構造として存在するのではないかと考えた。そこで、ウバメガシ林内および境界部で、浜の内部構造を調べるために礫浜を掘り下げ、保水機構の存在を確かめてみた。なお、植生への被害を極力減らし、かつ内部構造を破壊しないために、礫浜の掘り下げ作業はバールと人力で注意深く行った。

まず、ウバメガシ林の内水面側で掘り下げ作業を行った。掘り下げ作業は二人一組で2チームをくみ、交替で掘り下げた。写真-7に示すポイントでは、約70cm掘り下げた。表層付近では樹根と有機物を含む層が見えた。写真-7には、掘り下げた穴の最も深い部分で内水面水位とほぼ同じ標高の礫浜内部の状況を示す。下層に透水性の低い粘土層があり、その上部に保水性の高い有機物を含む層があることが分かる。

次いで、ウバメガシ林の中央部で、ウバメガシの成長が良好な箇所を選び掘り下げた。その結果、厚さが約10cm程度のマット状の構造が浜表層にあることが分かった。マット状の構造を目視で観察すると、細かい根状のものが、密接に絡まった層になってい。

長目の浜の掘り下げ作業の結果、ウバメガシ林の発達しているところでは、礫浜の鉛直構造として、表層付近には保水性のあるマット状構造が、そして、その下に有機物層がある。さらに、内水面水位近くの層には粘土層が存在し、ある種の浮島状構造になっていることが分かった。



写真-6 森林海側の礫浜表面の礫堆積状況



写真-7 内水面側の礫浜内部構造（湖水面水位付近の粘土層と上部の有機物層）



写真-8 ウバメガシ林中央部の礫浜表面の保水マット状構造

5. あとがき

以下に、本調査のまとめを行う。

- 1) 長目の浜は北西から北東側にかけて外洋からの波の作用を受けやすいために、これらの方向からの波の作用で、田ノ尻から牛瀬方向に礫が輸送され、堆積してできた砂州および海跡湖地形と考えられる。また、砂州の海跡湖側を見ると、遡上波などの作用でできた小さな堆積（デルタ状）地形が離散的に形成され、この堆積地形上でウバメガシ群落の発達（面積）が良いことも空中写真から判読できた。
- 2) 砂州上のウバメガシ群落面積は、田ノ尻側よりも牛瀬側の方が広い。また、1977年の写真や2000年以降の空中写真を見ても、ルース台風時に砂州が切れたと推定される箇所での、ウバメガシ群落の回復は進んでいない。
- 3) 現地踏査時に行った礫浜の掘削実験および土質材料実験結果などに基づけば、本長目の浜を構成する礫材料の透水性は高く、礫材だけでは海浜植生の成長に重要な保水性が確保されるとは言い難い、これは、砂州上に形成されていた保水層が自然あるいは人為的な外力で破壊されてしまった箇所では海浜植生が長期間回復していないことを示す下記の写真からも明らかである。したがって、いったん保水性能を持つ礫浜内部構造が破壊された箇所の植生回復には、保水層を人為的に設置などを行わない限り、今後も回復が進みにくいと推測される。
- 4) 長目の浜背後に存在する海跡湖群は汽水性の度合い

がそれぞれ異なる。これは、例えば海鼠池のように礫浜に透水層が形成され満潮時に礫浜を通して海水が内水面側に流入したり、海池のように人為的に築造された小さな水路を通して海鼠池と小規模の海水交換がなされたり、須口池のように海に通じる人工の水路が築造されたりと、海水交換の様子が異なるためである。ただし、それぞれの海水交換機能を発揮する自然地形あるいは水路などの人工構造物は、当該箇所が礫浜ということもあり、長期間安定したものと考えられる。したがって、ルース台風のような大型の台風が来襲しない限りは、現状維持のままであると考えられる。ただし、須口池は、目視によれば水深が数十cm程度と浅いので、人為的に適切な量の海水交換を行わなければ水質悪化が起きやすい条件にはある。

- 5) 自然環境として、特有な海岸地形を呈している。それは、国内ではほとんど類例のない礫で形成された大規模な砂州であり、その礫砂内部にはこれまで報告されたことのないような透水・保水構造が存在している。さらに、この礫浜内部構造のために砂州上にウバメガシ群落が形成されている可能性が高い。しかも背後には、水質条件あるいは海水交換度の異なる多様な海跡湖群が存在しているので、保全の重要度は高いと考えられる。

謝辞

本調査は、平成20年度薩摩川内市長目の浜調査業務委託において行われ、財団法人鹿児島県環境技術協会との合同調査によるものであり、現地調査の機会を与えていただいた薩摩川内市には紙面を借りて謝意を表させていただきます。

参考文献

- 1) 鹿児島地図紀行、鹿児島県高校地理部会編、142頁、（有）徳田屋書店、平成10年発行。
- 2) 西 隆一郎・Nicholas C. Kraus・川森 晃：インレットの形状特性に関する基礎的研究、海洋開発論文集 第22巻、pp. 927-932、2006年。
- 3) マリオ デ レオン・西 隆一郎・北村良介：海浜底質の粒度特性と透水係数について、海洋開発論文集、第24巻、pp. 1201-1206、2008年。
- 4) Kitamura, R., Fukuhara, S., Uemura, K., Kisanuki, G., and Seyama, N., A Numerical Model For Seepage Through Unsaturated Soil, Soils and Foundations, Vol. 38, No. 4, 261-265, 1998.