

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 10 月 5 日現在

機関番号：82707

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2014

課題番号：23760453

研究課題名(和文) 混合粒径海浜の安定性に関する実証的研究

研究課題名(英文) An experimental research of the stability of sand-gravel mixed beaches

研究代表者

高川 智博 (Takagawa, Tomohiro)

独立行政法人港湾空港技術研究所・海洋情報・津波研究領域・研究官

研究者番号：30451785

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：砂礫混合海浜の安定性を適切に評価あるいは向上させることは、海岸の保全に資するばかりでなく、複数の粒径土砂の相互作用が海浜地形に及ぼす効果を解明する学術的にも重要かつ興味深い課題である。本研究では海岸の礫に非接触で個体識別が可能なRFID(Radio Frequency Identification)タグを埋め込み、個々の粒子レベルで長期間移動経路を追跡することにより、均一粒径海浜とは異なる砂礫海岸特有の海浜変形現象をとらえることに成功した。また、その現象が分級作用によって地形を規定する粒径が波浪条件によって変化することに起因することを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：On gravel beaches, measuring the displacement of individual grains is essential in order to understand sediment transport processes and beach morphology. Radio Frequency Identification (RFID) technique makes us possible to detect and trace individual gravels marked by passive integrated transponders (PIT). Field test was conducted on a sand-gravel mixed beach. 190 painted gravels with PIT tags were released on the foreshore and traced for one month. The traceability of the RFID technique was roughly four times more efficient than the visual search. During some high wave events, gravels tend to accumulate on foreshore. On the contrary, in moderate wave conditions, foreshore tended to be regressive. The result is not consistent with a general understanding of beach morphology of uniform sediments. Based on the result of field survey, we conclude that effective sediment components changes due to sediment segregation by waves.

研究分野：海岸工学

キーワード：混合粒径 砂礫混合海浜 海岸地形 漂砂 RFID

1. 研究開始当初の背景

海岸侵食の対策として、養浜工の実施や突堤や人工リーフなどの建設が図られている。これらの海岸侵食対策の実施に際しては、事前に対象海岸の土砂の動きを知る必要があり、それを踏まえた対策の実施が求められる。堀川ら(1975)は沖波波高、沖波周期、底層粒径、海浜勾配などに基づく砂浜の断面予測を検討した。砂礫混合海浜に対しては、田島ら(2010)は着色砂礫の追跡調査による砂礫移動特性の検証を行い、斐川ら(2011)は3Dレーザースキャナを用い砂礫混合海浜の地形変化を高頻度に追った。更に、Kulkarniら(2004)は短期的な潮位の変動が砂礫海岸の礫の動きに与える影響を考え、礫の動きをフェーズ毎に分けて詳細に考察している。

2. 研究の目的

砂礫混合海浜の地形変化については、研究が進められているものの、実際の海岸において、礫が潮位変動に加えて高波浪を経験して長期的にどのような動きをするのか、砂礫海岸の浜がどのようにして形成されていくのかなどについては知見の蓄積が十分とは言えない。また、礫の移動に関する調査方法についても、着色砂礫を用いた砂礫の追跡には、個々の砂礫を特定できない、大きな労力を要する、回収率が低い、長い調査期間や広い調査範囲を対象とできないといった課題がある。そこで、本研究では VRS 方式の RTK-GPS (数 cm の誤差) による地形測量と併せて RFID システムを用いて個々の礫を特定・追跡することにより砂礫海岸における浜漂砂機構及び浜変形機構を明らかにすることを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 対象地域

神奈川県小田原市の御幸の浜東部及び酒匂川河口西部は海底地形が急勾配な砂礫海岸である、海浜の砂は沖に移動すると斜面下の深海部に落ち込みやすい、波高が高いまま海浜に打ち寄せられやすいといった特徴があり、海岸侵食の問題に悩まされてきた。酒匂川河口の海浜地形は近年安定しているが、御幸の浜では人工リーフや突堤を設置するなどして海岸侵食対策が実施されてきた。本論文では、それぞれの海浜に平行な座標系を設けて議論を進めるため、御幸の浜東部においては平面直角座標第 9 系上で $(Y, X) = (-15785, -101500)$ の点を原点とし 45 度傾け、酒匂川河口西部においては平面直角座標第 9 系上で $(Y, X) = (-53930, -85975)$ の点を原点とし 22 度傾けるような $x' - y'$ 座標系を用いた (図 1)。

(2) RTK-GPS を用いた地形測量

RTK-GPS (日立造船株式会社製) を用いてそ



図1 御幸の浜東部及び酒匂川河口西部の位置関係

れぞれの浜において測量を行った。本研究では潮位として気象庁の気象統計情報における神奈川県小田原市の毎時潮位を用いた。また波に関する情報は神奈川県平塚市虹ヶ浜の沖合 1km (水深 20m) にある平塚沖波浪等観測データから得ている。その波の情報から Saville (1958) に従って遡上高を求め、それに潮位を足し合わせることで 2012 年 1 月 1 日から 2012 年 2 月 5 日までの間の潮位変動を考慮した遡上高を決定した。図 2 上段がそれぞれの対象地域の打上高に潮位を足したものと潮位の変動を示したもので、中段が堀川ら (1974) による C 値の変動 ($\tan \beta_f = 1/10$ (β_f は海浜勾配)、現地海浜の粒径分布が砂礫成分からなる二峰性を示すことから、それぞれの代表粒径毎に値を求めた)、下段(a)が御幸の浜東部の前浜断面、下段(b)が酒匂川河口西部の前浜断面である。なお、御幸の浜東部においては全国海岸協会(2004)に従い人工リーフの波高伝達率 0.65 を考慮している。

高波浪直後の前浜断面と高波浪から時間が経つ静穏期の前浜断面を比べると、高波浪直後は汀線付近に堆積性のバーム地形が発達し、前浜勾配が急になっている。測量時の観察から、このバームが現地海浜の粒径分布のうち粗粒な礫成分から構成されていることが観察された。また図からは、高波浪から時間が経てば経つほど前浜勾配は緩やかになり、侵食傾向にあることがわかる。一方、中段の図の C 値は、前浜が高波浪来襲時に汀線前進の傾向が弱まることを示しており、観測結果と異なる傾向を示している。そこで図 3 に、波形勾配 H_0/L_0 と前浜勾配 $\tan \beta_f$ の関係を示す。ここでは、各測量時間の直近 30 時間のうち、最大の打上高+潮位を記録したときの H_0/L_0 を示した。砂村 (1984) は波高が高くなるにつれて砂浜の前浜勾配は緩やかになると説明したが、本研究で対象とした砂礫混合海浜の前浜勾配に関しては、高波浪によって前浜が崖のように急勾配になる傾向があることが確認された。一方、静穏期が続くと前浜勾配は緩やかになり、前浜が侵食傾向になる。以上のように、広い粒径分布をもつ現地海岸では、均一粒径の実験によって得られた地形変化の傾向と異なる結果が得ら

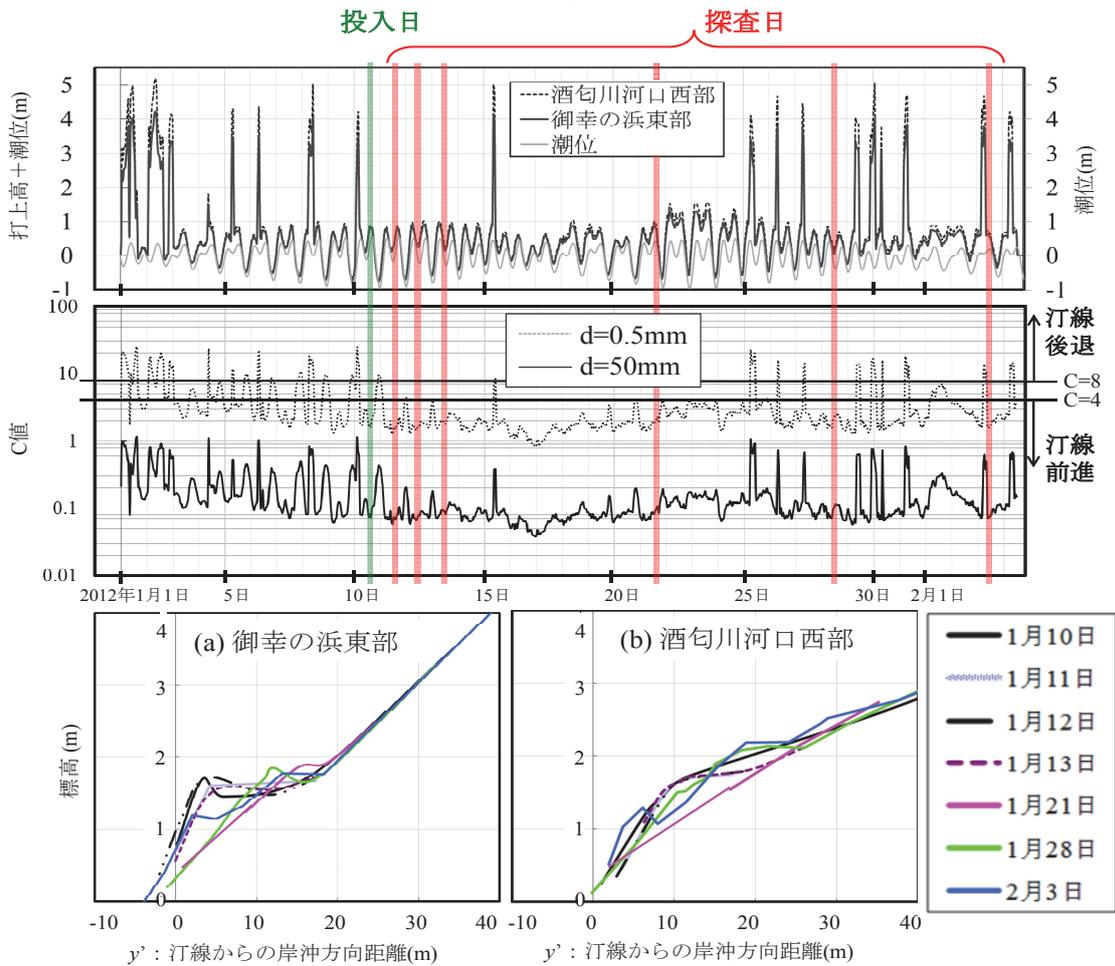


図2 上段:各浜における潮位+打上高および潮位の変動、中段:酒匂川河口西部における粒径別のC値(堀川ら(1975)の変動)、下段:(a)御幸の浜東部、(b)酒匂川河口西部の断面変化

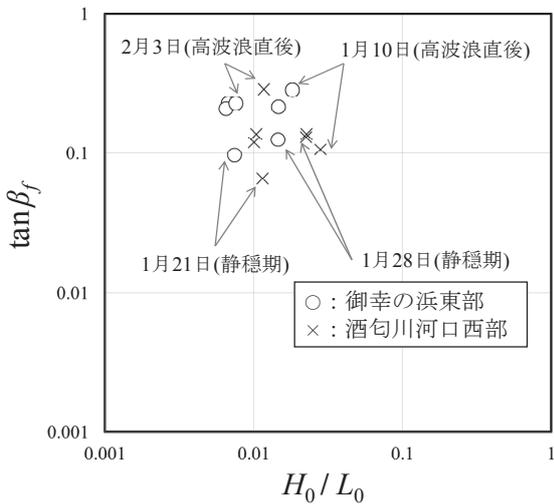


図3 H_0/L_0 と前浜勾配 $\tan \beta_f$ の関係

れた。そこで、粒径分布の影響を考察するため、中段の図には砂成分と礫成分の2種類の代表粒径に基づくC値を示した。C値が粒径に大きく依存し、広い粒度分布を持つ現地海浜では、地形変化に寄与する粒度を適切に評価する必要があることがわかる。低波浪時には礫成分の動きが限られ、地形変動が比較的小さな粒度で代表されるのに対し、高波浪時にはより礫成分も活発に移動し、より粗い粒

径で地形変動が代表されることが考えられる。観測結果が既往の均一粒径の実験結果と異なる傾向を示したのは、この代表粒径の変動が影響している可能性があり、均一粒径場で得られた知見を混合粒径場に応用する際には、こうした代表粒径の遷移効果を適切に評価することが必要であるといえる。

(3) RFIDを用いた礫の追跡

RFIDの概要

RFID (Radio Frequency Identification) は無線通信を用いて IC タグと情報の交換を行う技術を指す。非接触で個体識別が可能であり、小型・軽量・安価、受動型タグは電源が不要で半永久的に利用可能という特徴がある。

RFIDの室内実験

本研究では、IC タグとして長期間の検出が可能な 3.2cm ガラス封入受動型 IC タグ (RI-TRP-WR2B: Texas Instruments 社製) を、タグ探知用アンテナとして 71.5cm × 27.0cm × 2.5cm サイズのもの (RI-ANT-G01E: Texas Instruments 社製) を使い、タグリーダはコントロールモジュール (RI-CTL-MB2B: Texas Instruments 社製) と RF モジュール (RI-RFM-007B: Texas

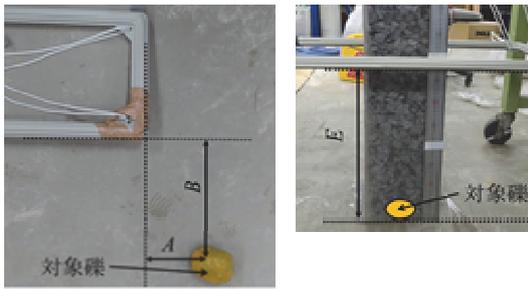


図4 探査範囲に関する諸元

表1 礫が孤立している場合の探査可能範囲

礫ID	A(cm)	B(cm)	E(cm)
a	24.8	20.9	49.5
b	22.7	22.1	52.6
c	21.0	19.0	77.5
d	25.8	27.2	56.5
e	34.7	41.3	59.0
f	17.0	17.0	54.5
g	20.4	32.8	61.7
h	12.5	42.3	43.5
i	26.5	16.0	35.7
j	31.0	28.0	17.5
標準偏差	6.1	9.0	15.3
平均	23.5	27.3	50.9

表2 礫が密集している場合の探査可能範囲

礫ID	水平探査範囲		鉛直探査範囲	砂礫層下	水面下
	A(cm)	B(cm)	E(cm)	E(cm)	E(cm)
k	2.8	23.8	17.8	49.0	37.8
l	16.0	30.5	25.0	34.0	26.0
m	21.0	29.5	31.5	41.0	37.5
k,l,m混在	21.0	30.5	17.8	-	-

Instruments 社製) から構成したものを利用した。識別用の礫として 2011 年 12 月 1 日に御幸の浜西部において 5~15cm 径の礫を 190 個採取し、直径 1cm、深さ 4cm 程度の穴加工を施し、RFID を挿入した。隙間はエポキシ樹脂で固め、パテで穴を塞ぎ、視認性を高めるため、表面を黄色に着色した。なお、IC タグの取り付けによる質量の減少は 1 割以下である。RFID システムの探知能力を確認するために、実際に礫が海岸にある場合を想定し、礫が孤立している場合、複数の礫が密集している場合、砂礫層下また水面下にある場合の 4 ケースの探知実験を行った(図4)。礫が孤立している場合の探査実験では、IC タグの探知性能に強い異方性があることを考慮し、10 個の礫をランダムに転がして配置し、それらに対してアンテナがどの範囲まで探知できるかを確認した。水平方向には礫からおよそ 25cm 四方離れた範囲までは探知でき、鉛直方向には 50cm まで探知できるといったことがわかった(表1)。礫が密集した場合の探査実験は 3 つの礫を密集させると同じ方法で実施した。複数の礫が混在することによって鉛直方向の探知範囲は狭くなるが、水平方向の探知範囲に関しては影響が生じないということがわかった(表2)。砂礫層下及び水面下に礫が存在する場合は、鉛直方向の探査可能範囲のみ確認し、空气中に礫がある場合と比べそれ

ぞれ 8 割、4 割程度増大した。

RFID を用いた礫の現地投入試験の概要

御幸の浜東部には 60 個、酒匂川河口西部には 100 個の礫を 2012 年 1 月 10 日 11 時にそれぞれ投入した(図1)。なお、昼間で最も潮位が低いときに汀線付近に 10 個単位で計 16 ヶ所に投入している。また、時間単位の短期的な礫の動きを見るため、1 月 28 日の満潮時刻 9 時に 30 個の礫を御幸の浜東部に追加的に投入した。礫の探査に関しては、上で述べたアンテナを使って沿岸方向 200m、岸沖方向 60m 程度の海浜陸上部を基本的には隙間なく探査し、それぞれの位置情報を RTK-GPS により記録した。探査は、2012 年 1 月 11, 12, 13, 21, 28 日、2 月 3 日の計 6 回行った。なお、1 月 11, 12, 13, 28 日、2 月 3 日は昼間のうち最も潮位が低くなる時間帯、1 月 21 日はその 1 日を通して最も潮位が低くなる夜間の時間帯を選び、探査を実施した。1 月 28 日の追加投入分に関しては、投入から 3 時間後に探査を行った。

RFID を用いた礫の追跡結果

投入位置及び各調査日における礫の位置を図5に示す。着色により視認できたものに加え、砂礫層に埋没したものの探知や、夜間の探査が可能となり、RFID システムによる個別礫探査の有効性が確認された。追跡探査された礫の約 75% が RFID システムの探知によるものであったことから、着色礫の視認探査に比べて RFID システムにより回収率を大幅に向上させられることが確認できた。

1 月 10 日に投入した礫のうち御幸の浜東部、酒匂川河口西部においてそれぞれ 100%、88% が 11 日には探査できなかった。投入は大潮時の昼間で最も潮位が低いときで、翌 11 日までに高波浪は来襲していない。探査実験から礫の堆積層に関しては探査範囲に特段の影響はないことがわかっており、沿岸方向も十分広く探査範囲を取ったにも関わらず礫が発見されなかったことを考慮すると、11 日に発見されなかった礫の多くが沖に流されたものと考えられる。また、投入直後の観察から多くの礫が沖に流されるのを確認している。一方、大潮時の昼間で最も潮位が高くなる 1 月 28 日に投入した礫 30 個は 3 時間後に探査すると 21 個がより岸側に打ち上げられながら残留していることがわかった。これら潮位の違いによる礫の動きの違いから、前浜にある礫は満潮時にはより打ち上げられる傾向があり、干潮時には沖に流される傾向があることがわかった。同様の傾向は Kulkarni ら (2004) によっても報告されている。

次に高波浪及び静穏期を経た礫の動きをみる。御幸の浜東部においては同一礫が異なる観測日に発見されるということはなかった一方、酒匂川河口西部においてはいくつかの礫が連続して発見されている。すなわち、両海浜で新しく沖から礫が供給されているということである。高波浪の作用を受けな

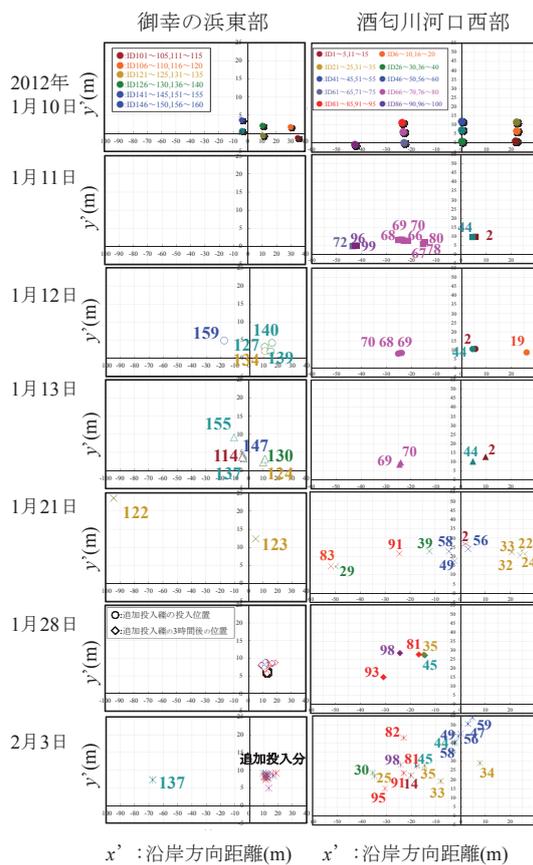


図5 RFIDを用いた礫の追跡結果

った1月11日、12日、13日も同じように岸の礫が交換されているということは、静穏期においてもわずかな数の礫が新たに岸に打ち上げられているということになる。つまり、静穏期の全体の傾向としては前浜にある礫は沖に流れ前浜勾配が緩やかになるが、いくつかの礫は岸に上がってくるということである。静穏期に礫が沖に流される理由としては、御幸の浜東部及び酒匂川河口西部特有の急な浜勾配の地形上に、高波浪によって打ち上げられた礫がさらに急勾配で堆積し、遡上波の引き波の作用で、沖方向に移動しやすくなっているためだと考えられる。静穏期に御幸の浜東部では連日同じ礫が一切発見されなかったこと、酒匂川河口西部では5%程度が連日確認されたことを踏まえると、御幸の浜東部は酒匂川河口西部と比べ、礫が動きやすい環境にあると考えられる。図2下段から前浜断面変動も御幸の浜東部のほうが敏感である様子がわかる。

最後に、探知された礫の質量をみってみる。高波浪後(1月21日、28日、2月3日)のRFID探査で発見された礫質量に関して、御幸の浜

表3 探知された礫の個数および質量

	探査された礫の個数		探査された礫の平均質量 (標準偏差) [g]	
	酒匂川河口西部	御幸の浜東部	酒匂川河口西部	御幸の浜東部
2012年1月10日	100	60	450 (197)	383 (122)
2012年1月11日	12	0	338 (245)	-
2012年1月12日	6	5	386 (245)	387 (64.8)
2012年1月13日	4	6	263 (57.5)	359 (79.1)
2012年1月21日	12	2	430 (201)	359 (97.0)
2012年1月28日	5	21	412 (157)	437 (164)
2012年2月3日	18	18	422 (176)	429 (159)

は標準偏差が酒匂川河口西部と比べ大きくなっており、平均質量も軽くなっている。つまり人工リーフにより波作用の変動幅が抑えられた御幸の浜東部では相対的に小さい礫が打ち上げられ、前浜部に堆積する傾向があることがわかった。礫の粒径が相対的に小さいため、相対的に穏やかな波浪条件においても礫の混合がより活発になるものと考えられる。

4. 研究成果

本研究では、小田原漁港海岸を対象に、RTK-GPSを用いた地形測量と併せて、RFIDを用いて礫の追跡を行うことで、砂礫混合海浜における浜変形機構及び礫の移動機構を検討した。主要な結論は以下の通りである。

- (1) RFIDを用いると目視探査と比べ探査率を約4倍向上させられたことから、礫追跡に際してRFIDが有効である。
- (2) 従来用いられてきた砂浜の断面予測及び前浜勾配予測を、そのまま砂礫混合海浜に適用することはできない。
- (3) 砂礫混合海浜においては高波浪が来襲する際に海浜に礫が大量に打ち上げられ、前浜勾配が急になる。
- (4) 静穏期には、前浜の礫が沖に流され、前浜勾配が徐々に緩やかになることが確認された。一方、いくつかの礫は沖から前浜に打ち上げられていることから、礫の交換が活発であるということがわかった。
- (5) 人工リーフの影響で、波作用の変動幅が抑えられた御幸の浜東部では相対的に小さい礫が打ち上げられるようになり、地形の変形も御幸の浜東部のほうが敏感であることが確認された。

<引用文献>

- ① 堀川清司・砂村継夫・近藤浩右・岡田滋 (1975): 波による二次元汀線変化に関する一考察, 第22回海岸工学講演会論文集, pp. 329-334.
- ② 田島芳満・岡崎円香・劉海江・高川智博・佐藤慎司 (2010): 天竜川河口部における砂礫の選択的移動特性と砂州の変形機構, 海岸工学論文集, Vol. 66, No. 1, pp. 586-590.
- ③ 袈川龍一・佐藤慎司・西嶋宏介・高川智博 (2011): 砂礫海浜の変形と袋詰め工による漂砂制御に関する現地観測, 海岸工学論文集, Vol. 67, No. 2, pp. 656-660.
- ④ Kulkarni, C.D., F. Levoy, O. Monfort and J. Miles (2004): Morphological variations of a mixed sediment beachface (Teignmouth, UK), Continental Shelf Research, 24, pp. 1203-1218.
- ⑤ Saville, T., Jr. (1958): Wave run-up on composite slopes, Proc. 6th Coastal Eng. Conf., ASCE, pp. 691-699.

- ⑥ 国土交通省河川局・国土交通省国土技術政策総合研究所 (2004) : 人工リーフの設計の手引き (改訂版), 全国海岸協会, 95 p.
- ⑦ 砂村継夫 (1984) : Swash zone における碎波帯の岸沖漂砂量に関する研究, 海岸工学講演会論文集, Vol. 31, pp. 316-320.

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 1 件)

- ① 袈川龍一、高川智博、佐藤慎司、長坂陽介、山中悠資、RFID を用いた砂礫混合海浜における礫の移動機構の解明、土木学会論文集B2(海岸工学)、査読有、Vol. 68、2012、pp. I_491-I_495.

[学会発表] (計 3 件)

- ① 袈川龍一、高川智博、佐藤慎司、長坂陽介、山中悠資、RFID を用いた砂礫混合海浜における礫の移動機構の解明、海岸工学講演会、2012.
- ② Takagawa, T., S. Sato, Y. Nagasaka, and Y. Yamanaka, Using Radio Frequency Identification tags to investigate gravel transport on a sand-gravel mixed beach, Ocean Science Meeting, 2014.
- ③ Takagawa, T. An application of Radio Frequency Identification (RFID) Technique to field investigation of gravel movement on a sand-gravel mixed beach, 19th International Sedimentological Congress, 2014.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

高川 智博 (TAKAGAWA, Tomohiro)
独立行政法人港湾空港技術研究所・海洋情報・津波研究領域・研究官
研究者番号 : 30451785