

桜島流下土砂の養浜材への適用に関する研究

APPLICABILITY OF SAKURAJIMA DRAINED SAND TO BEACH NOURISHMENT MATERIALS

長山昭夫¹・浅野敏之²
Akio NAGAYAMA, Toshiyuki ASANO

¹正会員 工修 鹿児島大学理工学研究科博士後期課程 (〒890-0065 鹿児島市郡元1-21-40)

²正会員 工博 鹿児島大学教授 工学部海洋土木工学科 (〒890-0065 鹿児島市郡元1-21-40)

Under an aim for recycling of Sakurajima drained sand composed by volcanic ash/sand and gully-bed materials, this study investigates the applicability of the abundant deposited stuff to beach nourishment materials. At first, this study examined the particle and aggregation properties on the drained sand. Second, movable bed experiments were conducted under erosional and accretional wave conditions. In the experiments, the drained sand was placed in the foreshore area on a ground slope made of usual sand. The beach profile changes and shoreline movements were measured. The results suggest the good applicability of Sakurajima drained sand to beach nourishment materials, although its practical application might need some provisions against water cloud because it contains fine particles.

Key Words : Sakurajima drained sand , recycle, beach nourishment material

1. はじめに

養浜工法は2000年4月に施行された海岸法で海岸保全工法のひとつとして認められ, 近い将来海岸保全工法の主流になると考えられている. しかし, 日本国内においては養浜材不足等のハード面の問題と法的整備不足等のソフト面の問題が挙げられており, 頻繁には養浜工法が採用されていないのが現状である.

現在, 桜島流下土砂は人工島への埋め立て材料や導流堤等の盛土材として使われているが, 突発的な豪雨や台風により発生した桜島流下土砂は量が多く長期間河口部に堆積したままとなっている. このように大量に発生した桜島流下土砂を有効利用できる研究の確立は現在なされていない. また粒子形状が海浜変形にどのような影響を与えるかを検討した研究^{1), 2)}はあるが, 養浜材をある特定の土砂に絞った研究もなされていない. 本研究は, 有効利用が確立していない大量に発生した桜島流下土砂のリサイクルを目的とし, 養浜材としての応用の可能性を調べたものである.

2. 桜島流下土砂の特性

(1) 土砂集合体としての特性

桜島流下土砂は野尻川河口付近に堆積しているものを採取した(図-1).

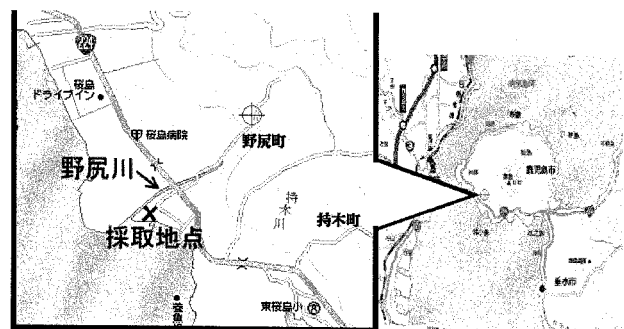


図-1 野尻川河口付近地図

ここで対象とした桜島流下土砂の粒径は2.36mmふるい通過のものとした. 図-2に桜島流下土砂と豊浦砂の粒度分布を示す. 振るい分け試験はJIS A 1204に従った. この図より桜島流下土砂は, 豊浦砂に比べて粒度分布が広いことが分かる. 表-1に桜島流下土砂と豊浦砂の均等係数・中央粒径・微粒分量・比重を示す. 均等係数は異なった粒子がどの程度含まれているかを示す指標として重量通過百分率60%の粒径と10%の粒径の比で表される.

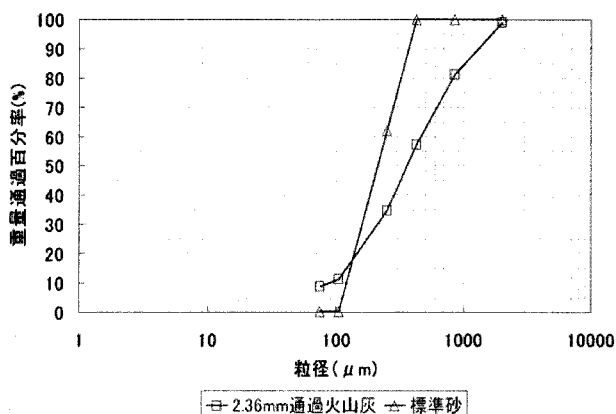


図-2 桜島流下土砂と豊浦砂の粒度分布

表-1 桜島流下土砂と豊浦砂の特性量の比較

	桜島流下土砂	豊浦砂
均等係数	4.9	1.9
中央粒径[mm]	0.37	0.19
微粒分量[%]	10	0
比重	2.56	2.60

桜島流下土砂は、さまざまな大きさの粒子の集合体ということがわかる。微粒分量とは、粒径 $75\mu\text{m}$ 以下の割合である。桜島流下土砂は豊浦砂と比較して微粒分量が多い。

既存研究^{3),4)}によると、桜島流下土砂は非常に粒度分布が広く、微粒分を多く含むことが指摘されている。そのため、桜島流下土砂を養浜材として利用することを想定した場合、長期間にゴリが発生してしまうことが考えられる。

(2) 粒子としての特性

ここで考察の対象とした桜島流下土砂の粒径は $250\sim 600\mu\text{m}$ とした。均斉度を求めるために、桜島流下土砂粒子の短径・長径・厚みを測定した。図-3は、短径・長径・厚みの三軸径の概念図である。三軸径の決定方法は、不規則形状粒子を直方体に還元する方法をとった。⁵⁾

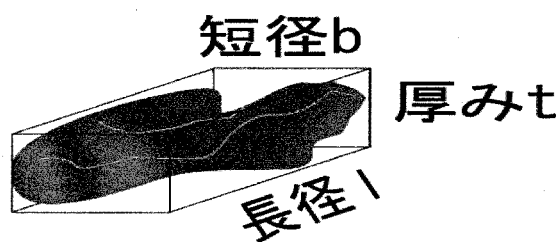


図-3 短径・長径・厚みの三軸径の概念図

三軸径の測定にはデジタルマイクロスコープを使用した。観測個数は100個とした。表-2に、桜島流下土砂の平均三軸径・長短度・扁平率を示す。

表-2 桜島流下土砂の粒子としての特性

平均短径[mm]	0.44
平均長径[mm]	0.59
平均厚み[mm]	0.2
長短度	1.35
扁平率	2.20

表-2の長短度と扁平率は、平均短径を100と仮定した場合、平均長径が135となり平均厚みが45となることを意味している。次に地質学で古くから使われているWilliamsの形状指数 W を次式から求めた。⁵⁾

$$W = 1 - \left(\frac{lt}{b^2}\right) \quad (b^2 > lt) \quad (1)$$

$$W = \left(\frac{b^2}{lt}\right) - 1 \quad (b^2 < lt) \quad (2)$$

ここに b は短径、 l は長径、 t は厚みを示す。本研究で採取した桜島流下土砂の W は0.58となった。図-4にWilliamsの形状指数で表示したZinggの図表を示す。海岸の小石(pebble)が波の作用によって円板状あるいはoblate(楕円を短軸について回転させてできる扁平楕円体)になるのに対し、河川的作用ではローラー状あるいはprolate(楕円を長軸について回転してできる長楕円体)になる。

桜島流下土砂と豊浦砂の静止摩擦角及び、平均沈降速度の測定を行った(表-3)。静止摩擦角については桜島流下土砂が豊浦砂に比べて大きい値になる。これは桜島流下土砂の粒子は豊浦砂の粒子に比べてかみ合わせ効果が大きいことが影響している。平均沈降速度についても桜島流下土砂が豊浦砂に比べて大きい値になる。これは桜島流下土砂の中央粒径が大きいことが主要な要因であると考えられる。

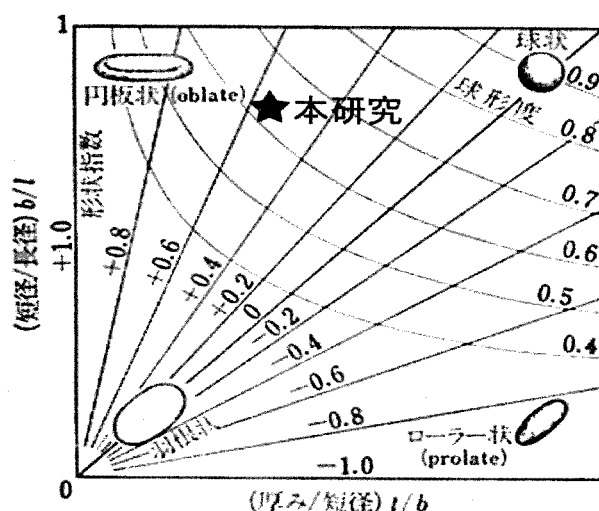


図-4 Williamsの形状指数を記入したZinggの図表⁵⁾

表-3 静止摩擦角・平均沈降速度

	桜島流下土砂	豊浦砂
静止摩擦角[°]	44.1	41.9
平均沈降速度[cm/s]	4.38	3.05

3. 海浜断面変化の実験

(1) 実験条件

桜島流下土砂の養浜材としての適用性を検討するために造波水路を使い移動床実験を行った。幅40cm、深さ30cm、長さ20mの造波水路に中央粒径 $190\mu\text{m}$ の豊浦砂で勾配0.125の砂面を作り、前浜部分には汀線を33cm前進させる形で粒径 $250\sim 600\mu\text{m}$ (中央粒径 $425\mu\text{m}$)の桜島流下土砂を前浜前面勾配0.67で造成した(写真-1)。



写真-1 初期地形

今回の実験では造成した海浜に侵食型波浪・堆積型波浪を作用させ、地形変化・汀線変化量などの基礎的な特性量を調べた。

Sunamura・Horikawa⁶⁾は長時間波作用後の海浜形状を侵食・中間・堆積型に分類した。また次式で定義される C 値を用いて整理した。

$$C = \left(\frac{H_o}{L_o}\right)(\tan \beta)^{0.27} \left(\frac{d_{50}}{L_o}\right)^{-0.67} \quad (3)$$

ここで L_o は沖波波長、 H_o は沖波波高、 $\tan \beta$ は海底勾配、 d_{50} は底質の中央粒径である。室内実験においては $C > 8$ で侵食型、 $8 > C > 4$ で中間型、 $C < 4$ で堆積型と分類した。表-4に侵食型と堆積型の波浪条件を示す。また造波時間は20時間とした。

表-4 波浪条件

	CASE-1 侵食型	CASE-2 堆積型
沖波波高 H_o [cm]	8.0	2.0
周期 T [s]	0.56	1.1
C 値: 桜島流下土砂	12	2.5
C 値: 豊浦砂	17	4.2

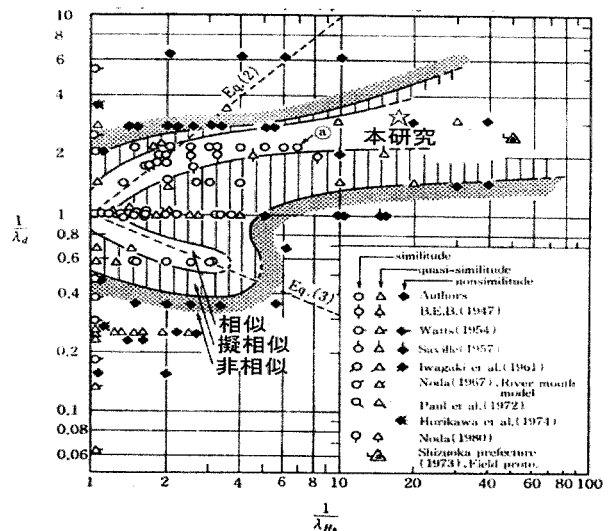
(2) 相似則の検討

海浜変形に関する現地と模型の相似性を確保することは、掃流砂、浮遊砂等の移動形態、海浜断面の初期状態から平衡状態に至る移行過程、地形変化とともに変化する碎波・遡上波の特性などのすべての力学課程を満足させる必要があり厳密には困難である。

本研究では模型実験で得られた海浜断面形状と現地の断面形状の相似性を検討するために、土屋・伊藤⁷⁾による海浜変形の相似性が成立する領域(図-5)を使用した。今回の実験は侵食型波浪・堆積型波浪による海浜断面変化を調べることであり、特定の現地や特定の気象条件を想定していない。図-5は、縦軸に模型と原型の底質砂粒径比の逆数 $1/\lambda_d$ を、横軸にFroudeの相似則による実験縮尺の逆数 $1/\lambda_{ho}$ を取って整理したものである。

今回の実験では、台風が鹿児島湾に襲来した場合を想定したCASE-1での原型の波高は1.5mと仮定した。また静穏時の海浜を想定したCASE-2での原型の波高は0.38mと設定した。すなわち $1/\lambda_{ho}$ は19と設定したことになる。

一方、原型の底質砂の粒径を1.4mmと仮定し $1/\lambda_d$ を3.3とした。図-5からこの $1/\lambda_{ho}$ と $1/\lambda_d$ の値では土屋・伊藤(1981)の分類した相似領域に入る。今回の移動床実験では想定した原型と模型は相似ということになる。また時間縮尺は実験縮尺を平方根することにより求められる。移動床実験では波を20時間作用させたので、原型では86時間波を作用させたことになる。

図-5 海浜変形の相似性が成立する領域⁷⁾

(3) 実験結果

(a) CASE-1(侵食型)での地形変化

図-6にCASE-1(侵食型)の地形変化を示す。初期汀線位置・初期水深を基準として図を作成した。写真-2～写真-5は、図-6に対応する時間の地形変化を示したものである。侵食型のCASE-1において、前浜に養浜した桜島流下土砂は、造波開始直後に沿岸砂州と汀線付近を被覆する部分に素早く広がった(写

真-2) . また戻り流れにより桜島流下土砂の細粒分が沖まで流出していた. この細粒分の流出は時間の経過とともに減少した. 造波開始10分後から沿岸砂州が成長し始め, その後沿岸砂州高は3~3.5cmの範囲で安定した. 砕波位置については, 造波開始10分以前の沿岸砂州が発達するまでは養浜材の前浜前面斜面で起こり, 沿岸砂州の発達に伴い, 砕波位置は沿岸砂州岸側の斜面にずれ, 大きな渦を形成する. 汀線付近を被覆している養浜材の桜島流下土砂は, 砕波の影響を受け, 時間とともに沖へ流出する. その結果, 汀線付近は8時間後には完全に基盤材の豊浦砂がむき出しの状態となった. また, 砂漣は時間の経過とともに徐々に発生し, 20時間後には沿岸砂州を取り込む形で発達した.

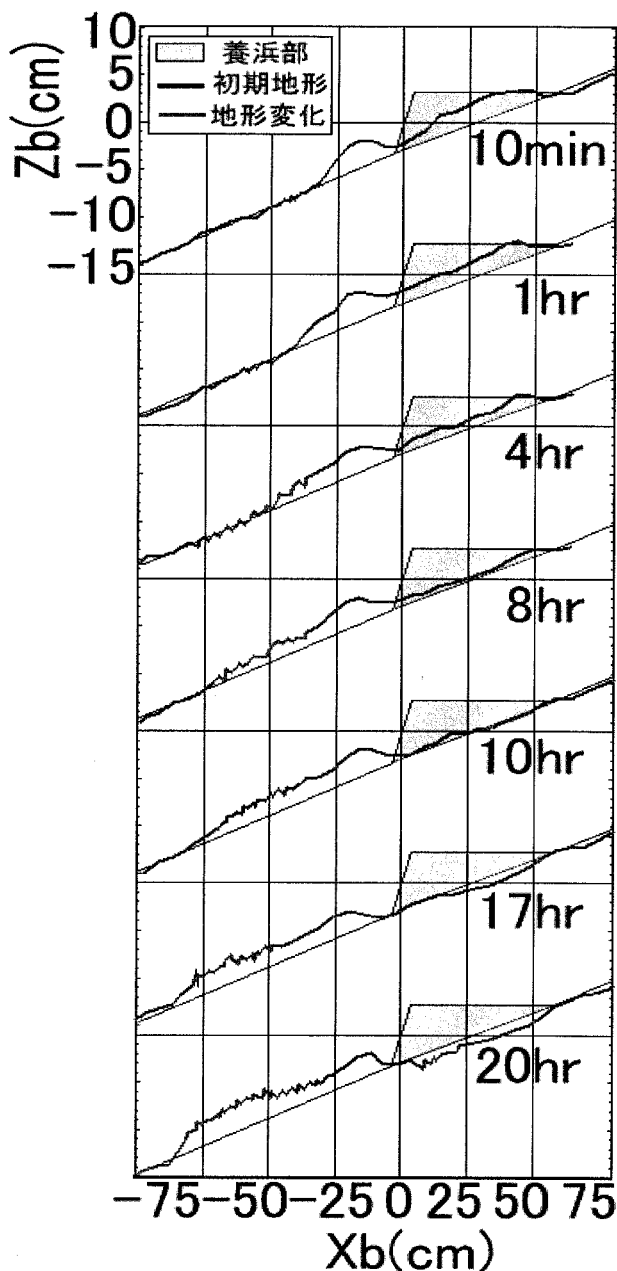


図-6 CASE-1 (侵食型) での地形変化

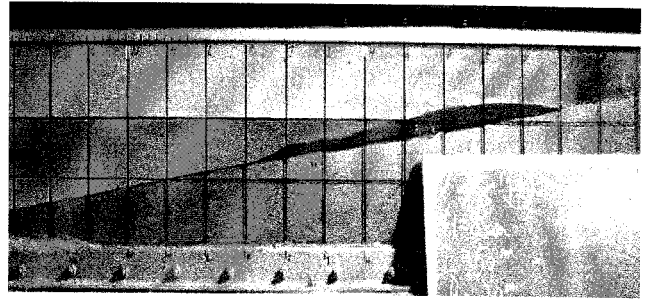


写真-2 造波10分後の地形変化



写真-3 造波1時間後の地形変化

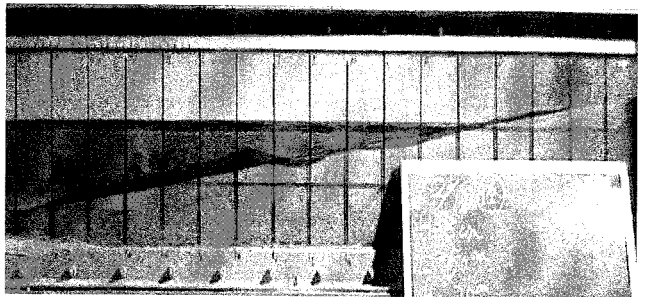


写真-4 造波8時間後の地形変化



写真-5 造波20時間後の地形変化

(b) CASE-2 (堆積型) での地形変化

図-7にCASE-2 (堆積型) の地形変化を示す. 初期汀線位置・初期水深を基準として図を作成した. 写真-6~写真-9は, 図-7に対応する時間の地形変化を示したものである. 堆積型のCASE-2において養浜材の桜島流下土砂は前浜に留まる量が多く, 前浜高は高くなるが, 汀線自体は前進しないので初期地形に比べて前浜勾配が大きくなる傾向がある. 堆積性波浪が前浜前面斜面に衝突することにより汀線自体は前進も後退もせず平衡状態を保つ. また衝突した波

は遡上波となり前浜後部まで遡上する。この遡上波により前浜高さが発達し時間とともに前浜勾配は急になるが、ある程度時間が経つと前浜高さはそれ以上発達しなくなり、前浜勾配も平衡状態に移行する。砂漣は造波時間が20分頃から発生するが造波時間が1時間になるまでは、桜島流下土砂が岸からほとんど流出しないで、豊浦砂のみで砂漣を形成した。造波時間が1時間以降は桜島流下土砂と豊浦砂が混合された形で砂漣が形成された。中村ら⁸⁾によれば混合砂を使用した場合の海浜変形は細・粗砂の堆積は層状になると報告されているが今回の実験では層状の堆積状態は観測できなかった。中村ら⁸⁾の実験では振るい分けされた細砂と荒砂を利用したのに対して、今回の実験では、桜島流下土砂と豊浦砂という異質な材料を使用したことが考えられる。

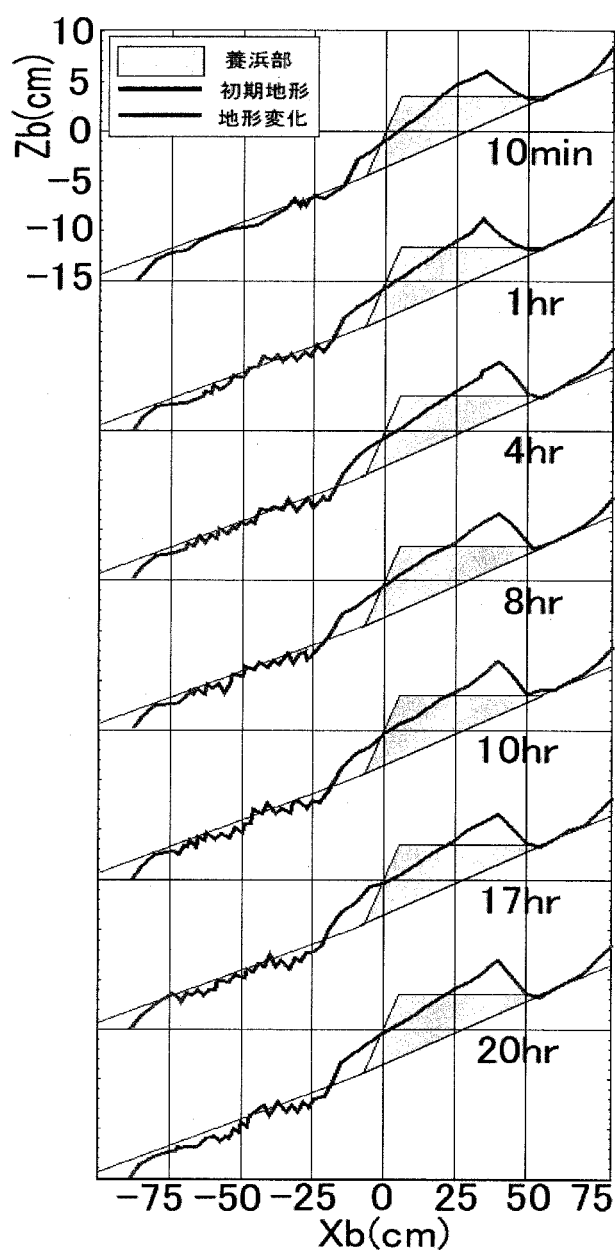


図-7 CASE-2(堆積型)での地形変化

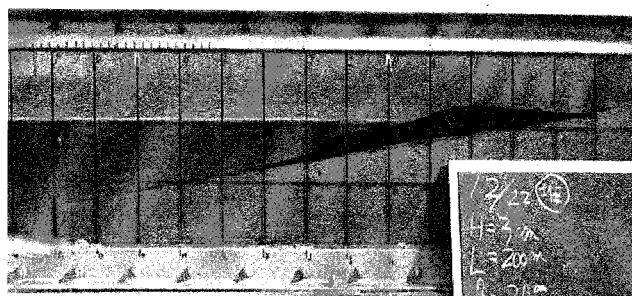


写真-6 造波10分後の地形変化

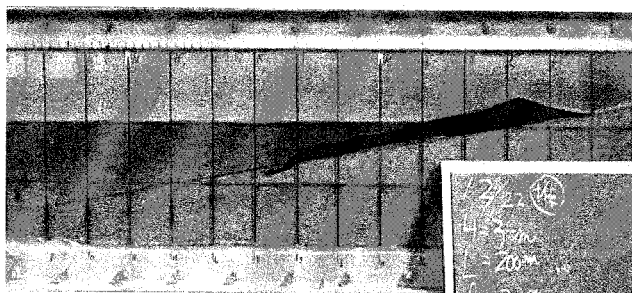


写真-7 造波1時間後の地形変化

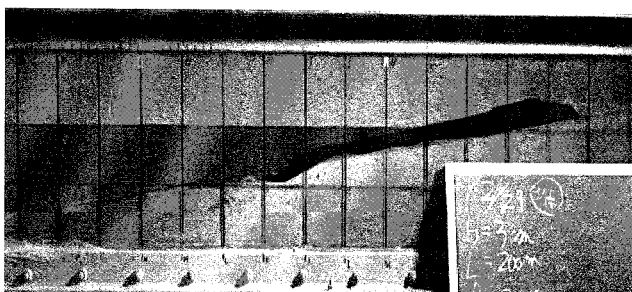


写真-8 造波8時間後の地形変化



写真-9 造波17時間後の地形変化

(c) 汀線変化量について

図-8にCASE-1(侵食型)とCASE-2(堆積型)の汀線位置の時間変化を示す。侵食型のCASE-1では、造波開始8時間以前の汀線変化量は造波開始後が最も大きく、造波時間6～8時間では汀線変化量がほぼ変化しないことから平衡状態になったと考えられる。しかし養浜材の桜島流下土砂の量が少ないことからこれ以後汀線付近では基盤材の豊浦砂がむき出しになり汀線変化量は増加した。これより養浜を行う場合、養浜材の投入量が汀線変化を支配する重要な要因と確認できた。堆積型のCASE-2では造波時間が20時間経過し

でも汀線変化量はほとんど変わらなかった。これは波が堆積型であったことに加え、桜島流下土砂が豊浦砂と比べて平均沈降速度が大きいので沖に流出しにくく、汀線変化量が変わらなかったと考えられる。

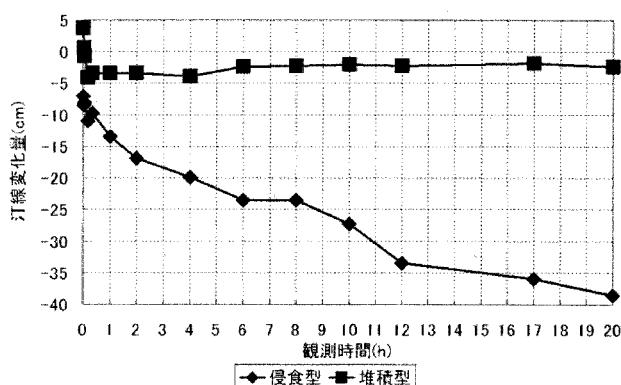


図-8 CASE-1とCASE-2の汀線変化量の比較

4. おわりに

桜島流下土砂の特性を調べたところ、比重は豊浦砂と同程度となった。粒度分布が広く、振るい分けを上手く行えば養浜材として利用できる。しかし微粒分量が10%と比較的多く、にごりが長期間発生する可能性があるため、実際に養浜する場合は、内海よりも外洋に面している海岸が適していると考えられる。

移動床実験では以下の知見を得た。侵食型波浪の場合、養浜材の投入量が汀線変化を支配する重要な要因と確認できた。養浜材が少ない場合、顕著な汀線後退は2段階に分かれて発生する。堆積型波浪の場合、汀線変化量が小さく、前浜高を維持できる。また前浜前面の斜面に衝突した波は遡上波となり前浜後部まで到達する。これが前浜高さを上げる要因となる。

本研究では大量に存在する桜島流下土砂のリサイクル活用を目的として養浜材への応用を検討した。

今後は初期地形条件と波浪条件を系統的に変えた場合の地形変化の特性を明らかにし、海浜形状の時間的変化を説明する数値解析モデルの開発を行いたい。

謝辞： 移動床実験では鹿児島大学工学部海洋土木工学科の中村和夫技術職員、デジタルマイクロスコープの使用では鹿児島工業高等専門学校技術室の山田孝行技術職員に御協力を頂いた。また本研究は科学研究費補助金（課題番号：18919011）の一部として行ったことを付記する。

参考文献

- 1) 本田隆英・藤原弘和・佐藤慎司・磯部雅彦：粒子形状による海浜断面変形の差異に関する実験的研究, 海岸工学論文集, 第52巻, pp516-520, 2005
- 2) 中村昭男・依田眞・橘川正男・早瀬松一：粗砂投入による海浜変形に関する二次元実験, 海岸工学論文集, 第49巻, pp611-615, 2002
- 3) 野村康裕・小杉賢一朗・水山高久：三宅島・有珠山・桜島の火山灰の物理特性の比較検討, 火山灰の物理特性が泥流発生に与える影響に関する一考察, 砂防学会誌, 第55(6), pp3-12, 2003
- 4) 大庭昇・富田克利・山本温彦・大迫暢光・井上幸造：桜島火山灰の鉱物組成, 化学組成および形成機構, 岩石鉱物硯床學會誌, 25巻1號, pp329-336, 1980
- 5) 三輪茂雄：粉粒体工学, pp66-79, 朝倉書店, 1972
- 6) Sunamura, T. and K. Horikawa: Two dimensional shore transformation due to waves Proc. 14th Coastal Eng. Conf., ASCE, pp. 920-938, 1974
- 7) 土屋義人・伊藤政博：海浜変形の相似則に関する実験的研究, 海岸工学講演会論文集, 28巻, pp315-319, 1981
- 8) 中村昭男・依田眞・橘川正男・早瀬松一：不規則波による混合砂海浜変形についての2次元水路実験, 海岸工学論文集, 第48巻, pp571-575, 2001