

# 底質の強熱減量に着目した人工海浜の代表粒径の 与え方に関する研究

辻本剛三\*・加地智彦\*\*・日下部重幸\*\*\*・原田紘一郎\*\*\*\*

## 1. はじめに

人工海浜（干潟）や養浜などの新たな海浜の建設に関しては、本来の目的である防災やレジャーの他に、海岸環境要素の多様化に伴い、それらに配慮した工夫が必要となってきた。特に自然海浜や干潟が本来有するところの水質浄化能の価値が再評価されており、そのために周辺海域の水質や生物生態に考慮する必要がある。

本研究では、このような立場から人為的に底質を新たに供給して、海浜や干潟の創造や養浜を行う際にどのような観点から海岸環境に配慮することができるかを検討するために、底質の特性に着目して現地調査・室内実験を通して海岸環境要素に関連して興味深い結果が得られたので報告するものである。

## 2. 何故、強熱減量か

水質浄化の作用には、汚濁物質の系外への除去やそれ自身の無害な物への転換などがある。浄化要因としては、①生物的な作用によるもの②物理化学的な作用によるものの2つに大別できる。しかしながら、物理化学的に捕獲された汚濁物質も最終的には生物的な作用を受けることが多く、これらは相互に作用し合うこともある。調査によれば自然の砂浜や干潟における1m幅当たりの浄化量を要因別に調べると、有機物の浄化量の80~90%が底生生物の消費によると言った調査結果もある。

底生生物は移動性が少なく、多種多様に富んで大量に発生しやすい特性を有し、食物連鎖に乗りやすいため系外への除去の割合が高い。そのため水質浄化には極めて重要でありかつ効果的な要因であるとされている。このような水質浄化の担い手である底生生物の生息条件には、水深、粘土・シルトの割合、強熱減量などが関係すると考えられており、木村（1997）は自然干潟や人工海浜で底生生物の種類数や現存量と底質の強熱減量との関係を調査し、図-1に示すような結果を得ている。強熱減量の2%前後にそれぞれのピークがあり、強熱減量の増

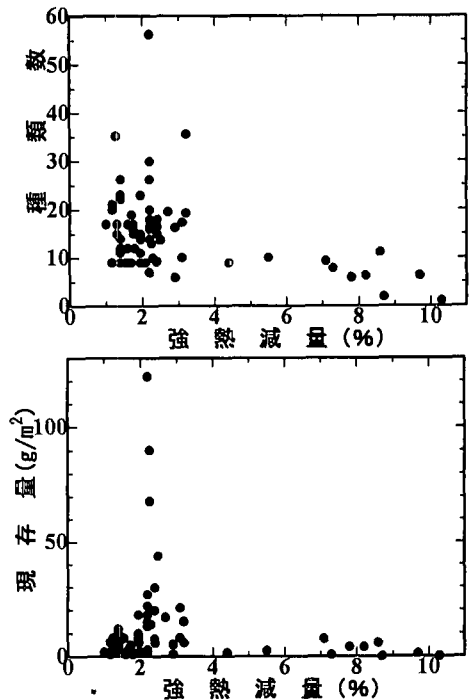


図-1 強熱減量と底生生物の種類数と現存量（木村, 1997）

加に伴い底生生物の種類数や現存量が共に減少していることがわかる。底生生物の種類数や現存量が底質の強熱減量だけで一義的に決定されるものではないが、少なくとも何らかの影響を与えていることは明らかである。また東京湾内での調査においても、底生生物の生息可能なレベルが強熱減量で約8%程度と言った観測例もある。このような結果から底質の強熱減量を底生生物の種類数や現存量に影響を与える要因の1つとした。

## 3. 現地調査

### 3.1 調査内容

辻本ら（1996, 1998）は底質の有機物に着目して、1995~1996（平成7~8）年にかけて図-2に示すように瀬戸内海側の須磨、塩屋、舞子、藤江、高砂の各海岸、日本海側の佐津、浜坂、弓ヶ浜の各海岸で調査を実施し

\* 正会員 工博 神戸市立工業高等専門学校助教授 都市工学科  
\*\* 長岡技術科学大学環境建設系（元神戸高専学生）  
\*\*\* 正会員 工博 神戸市立工業高等専門学校助教授 都市工学科  
\*\*\*\* 正会員 神戸市立工業高等専門学校助教授 都市工学科

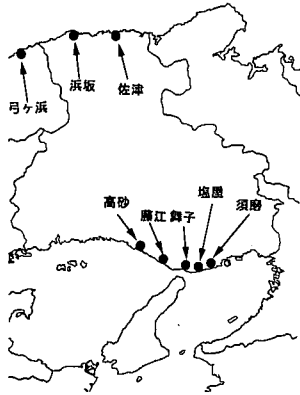


図-2 現地調査場所

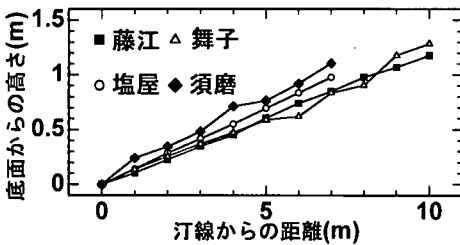


図-3 海浜断面形状

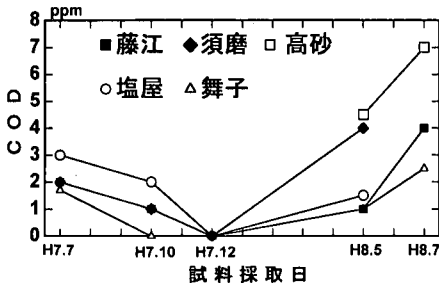


図-4 水質の季節変動

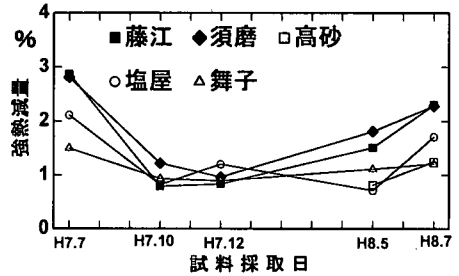


図-5 強熱減量の季節変動

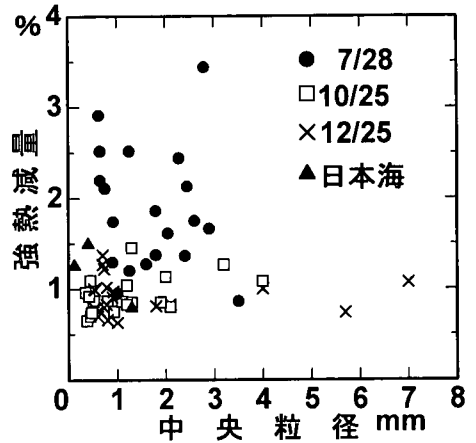


図-6 中央粒径と強熱減量の関係

た。ここで、須磨、藤江、高砂の各海岸は養浜された人工海浜であり、他はほぼ自然海岸である。調査項目は水質 (COD, DO, 大腸菌, PH), 底質 (粒径, 比重, 砂中の温度), 波浪 (波高, 周期, 波長), 海浜断面形状である。波の遡上高さを考慮して汀線より、岸側 4m 以内を 1m 間隔で底質の調査を行った。なお、日本海側は夏場に底質の調査のみ行った。

3.2 断面形状と水質の変化

図-3 に須磨、塩屋、舞子、藤江の各海岸における夏場の断面形状を示す。いずれの海岸も 1/10 勾配の急な断面であることがわかる。

図-4 には水質の季節変動を示す。パックテストによる測定であるために十分な精度は得られないが、およそ

の概略値を得ることはできる。COD が夏期に高い値を示し、秋期から冬期にかけて減少する傾向が見られる。夏期に高い値を示すのは酸素消費を伴う有機物の分解が活発になるためと推定される。しかしながら、環境基準の B 判定を満足している。

3.3 底質特性の変動

図-5 に底質の強熱減量の季節変動を示す。夏場に相対的にその値は高くなり、冬期にかけて減少しており、図-4 に示した水質の COD の変化に対応している。有機物の供給源である海側の負荷は COD に相当するが、塩屋海岸では夏場の COD 値が相対的に高いにも関わらず強熱減量が低くなっている。この要因を検討するために底質特性との関連で図-6 に中央粒径と強熱減量の関係を整理した。粒径の減少に伴い強熱減量が減少し、特に夏場にその傾向が顕著である。冬期は相対的に COD 値が低下するために粒径の影響を見出すことができない。

図-7 に (1) 式で示される淘汰係数  $S_0$  と強熱減量の関係を自然海岸と人工海岸別に示した。

$$S_0 = \sqrt{d_{75}/d_{25}} \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 $d_{75}$ 、 $d_{25}$ は粒径加積曲線の75、25%に対応する粒径である。この値が1に近いほど底質の淘汰がよく行なわれていることを表している。淘汰係数が増大するに連れて、つまり粒径の分布に幅があるほど強熱減量値が低下することがより明らかとなった。また、人工海浜は淘汰係数の分布の広がりが自然海浜と比較して狭く、強熱減量も高いことがわかった。

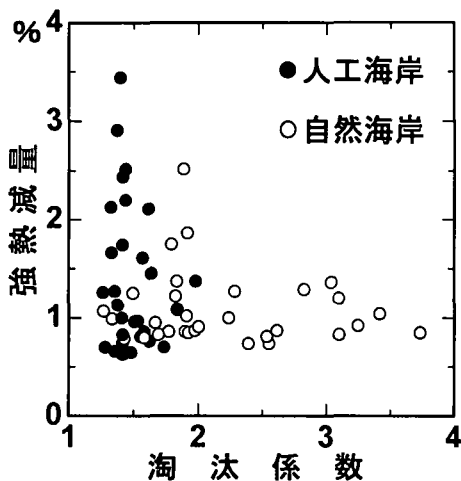


図-7 海浜別の淘汰係数と強熱減量の関係

#### 4. 室内実験

##### 4.1 実験方法と結果

現地調査より底質の強熱減量は中央粒径よりも淘汰係数に依存していることが明らかになったので、図-8に示すようなアクリル製の縦型円筒水槽を用いた室内実験を行った。底質の中央粒径  $d_{50}$  を一定にし、淘汰係数を変化させた試料を3種類作成した。図-9に用いた人工試

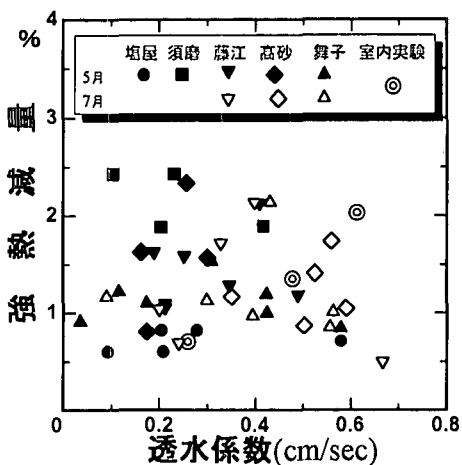


図-10 透水係数と強熱減量の関係

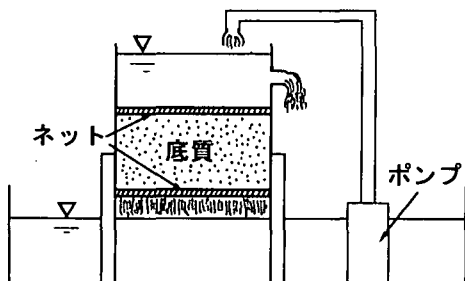


図-8 循環実験水槽

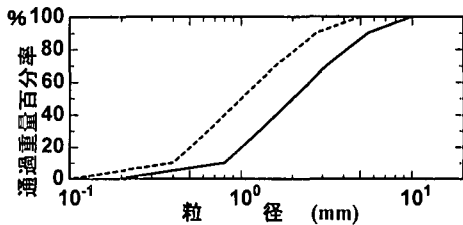


図-11 淘汰係数が同じ場合の粒度分布

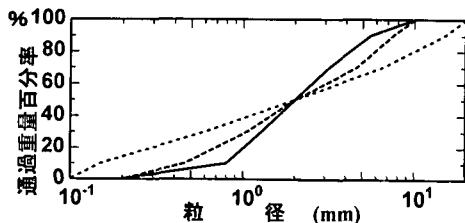


図-9 人工試料の粒度分布

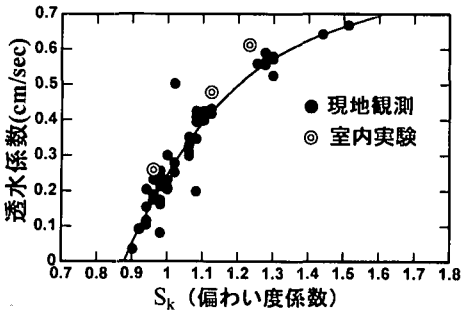


図-12 偏わい度係数と透水係数の関係

料の粒径加積曲線を示す。なお図中の曲線の分布範囲は現地の粒径加積曲線の範囲に入るよう定めた。この人工試料を電気炉であらかじめ焼却することにより付着した有機物を取り除き、夏場の海水のCOD値に近い現地河川水を6時間循環させて強熱減量を測定した。

強熱減量は底質層内を通過する有機物のフラックスに関係し、速度スケールとしては透水係数が関連すると考えられる。そこで、図-10に透水係数と強熱減量との関係を示す。データのばらつきが見うけられるが、観測場所・室内実験別に見ると透水係数の増大に伴い強熱減量が増大しており、これは底質中を通過する負荷のフラックスの増加によるものと解釈できる。

4.2 底質特性と透水係数

透水係数は砂子ら(1996)によれば中央粒径との関係において一義的に決定されているが、図-10に示すように循環水槽実験において、同じ中央粒径でも透水係数が2~3倍程度異なることがある。又、底質の粒度分布程度を表示する指標として、前述の淘汰係数があるが、図-11に示すように中央粒径が異なるにも関わらず、見かけ上の淘汰係数が同じとなる可能性がある。そこで、中央粒径と淘汰係数の影響が入ったTraskが提案している偏わり度係数  $S_k$  で透水係数を算定する。

$$S_k = \frac{d_{75} \cdot d_{25}}{d_{50}^2} \dots\dots\dots (2)$$

表-1 実験条件

ケース	波高 (m)	周期 (秒)	水深 (m)	勾配	タイプ
1	0.15	1.05	0.4	1/10	侵食
2	0.075	2.02	0.4	1/10	堆積
3	0.15	1.05	0.4	1/20	侵食
4	0.075	2.02	0.4	1/20	堆積

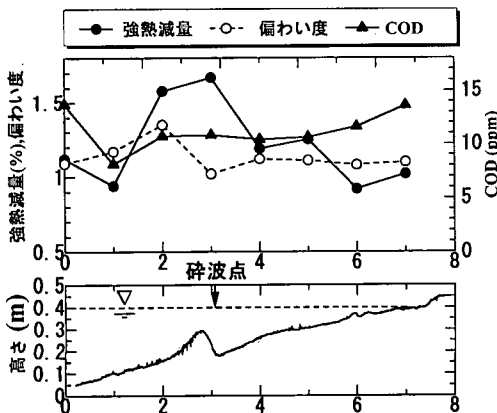


図-13 強熱減量の岸沖分布 (侵食型地形)

ここで、 $d_{50}$ は粒径加積曲線の50%に対応する粒径である。この指標は底質の粒度組成分布が中央粒径に対して粗粒化、細粒化をしているかを示すものであり、 $S_k=1$ は中央粒径を中心として粗粒子、細粒子ともに同程度分布し、 $S_k>1$ は粗粒化、 $S_k<1$ は細粒化していることを示している。図-12は偏わり度係数と透水係数との関係を示す。図中の曲線は最小自乗法により定めた3次曲線である。現地ならびに室内実験の透水係数が偏わり度係数と良好に対応していることがわかる。

5. 造波水槽実験

5.1 実験方法・条件

断面地形形状と強熱減量の岸沖分布を調べるために、2次元造波水槽に中央粒径0.564mm、偏わり度1.17の砂粒子で1/10、1/10勾配の移動床を設置した。初期海浜

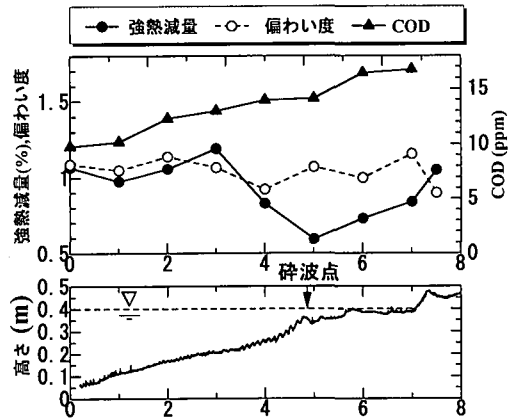


図-14 強熱減量の岸沖分布 (堆積型地形)

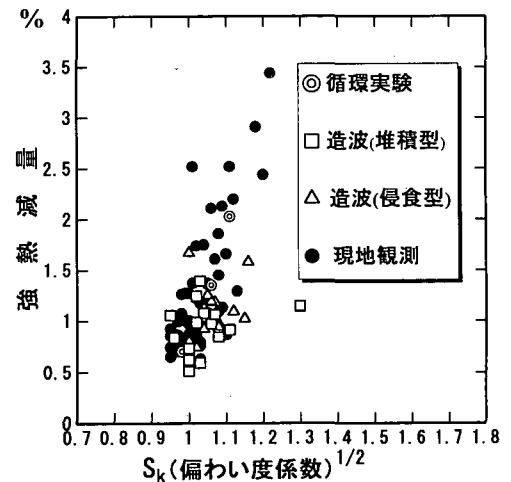


図-15 強熱減量と偏わり度係数の関係

形状の平衡地形が侵食型及び堆積型地形となるような波浪条件を砂村 (1985) の指標に基づいて定めた。実験条件を表-1 に示す。

底質に有機物を付着させるために、COD が 10 ppm 程度の人工汚水を用いて波を発生させ、ほぼ平衡地形に達するまで約 10 時間波を作用させた。断面形状、底質の強熱減量や粒度分布を岸沖方向に 1 m 間隔で測定した。なお COD は比色法により求めた。

## 5.2 実験結果

図-13 は侵食型地形であるケース 3 の測定結果である。強熱減量、偏わい度、COD、底面形状の岸沖分布を示している。沖から岸に向かって偏わい度及び強熱減量が低下している。特に碎波帯付近に形成されているパー前後にピークが見られる。偏わい度と強熱減量のピーク的位置はズレている。碎波点近傍では、碎波に伴う乱れの影響により底質の擾乱が著しいため、粒径の大きな粒子が残ったものと考えられる。汀線近傍は碎波後の波であるために、乱れ等も減衰しており底質の擾乱が小さい。一方、COD の値は岸に向かうに連れて増加している。

図-14 はケース 2 の測定結果であり、底質が前浜に打ち上げられバームが形成された堆積型地形である。傾向的には侵食型に類似しているが、COD 値が高いにも関わらず全般的に強熱減量値が小さくなっている。

強熱減量と COD との関係では、現地観測で得た範囲 (5 ppm 程度) では両者との相関は見られるが、造波水槽実験 (10 ppm) では COD の増加が必ずしも強熱減量の飛躍的な増加にならない。

図-15 には強熱減量と偏わい度係数の 1/2 乗の関係を示している。図に現地観測、循環実験、造波実験の結果を示す。両者には明確な相関が見られ、これは図-12 示したように、偏わい度係数の増加に伴い砂粒子が粗粒化することにより透水係数が増加し、有機物フラックスが増加するためと考えられる。

造波水槽実験結果は他の結果と比較して多少のパラッキが見られる。その要因として、造波実験では水面の上下動に伴う圧力の変動が底面近傍で生じるため、底質層内の透水性が循環実験のように一定になっていない。また、地形の変動に伴い他の場所からの底質の移動の影響が考えられる。

## 6. まとめ

山本ら (1997) や宇多ら (1997) は、養浜等による海浜の造成において、養浜砂の流出の問題や河川から海岸への一貫した土砂管理の立場から底質の分布と分級機構に対する詳細な現地調査や室内実験を行っており、加藤

ら (1988) は底質粒度の分布特性から漂砂現象を理解することを試みている。このように底質の特性として、底質粒径だけでなく、近年は底質の分布特性まで考慮するようになっている。

本研究では、直接海岸の水質や海浜の浄化能を扱ったものではないが、底質特性が砂移動や漂砂現象だけでなく、海岸環境の別の側面に関連していることを示した。その結果以下のような結論を得た。

① 現地の海岸では人工海浜の方が自然海浜と比較して粒度分布の幅が狭く、強熱減量が多い。

② 堆積型地形では汀線付近で強熱減量が増加し、侵食型地形では碎波帯付近のパー地形の岸側で強熱減量が増加する。

③ 強熱減量は水質の負荷 (COD) よりも、透水係数の影響を強く受け、透水係数は偏わい度係数で精度よく算定できる。

④ 偏わい度係数と強熱減量の岸沖分布形状は類似し、両者には明確な相関が見られる。偏わい度係数が底質の中央粒径と同様に重要な要素であることがわかった。

今後は、水質と底質特性の関連を検討する予定である。

謝辞：本研究を行なうにあたり、元神戸市立工業高等専門学校学生、宇津賢代志、川上哲広、寺田博一、原田知弥の各学生諸君にご協力頂いた。

## 参考文献

- 宇多高明・小杉俊夫・平岡孝恵・加藤藤一・山形 宙 (1997): 波による粒径の淘汰を考慮した養浜時海浜変形モデル, 海岸工学論文集, 第 44 巻, pp. 516-520.
- 加藤一正・藤田 誠・柳嶋慎一・村上裕幸・末次広児 (1988): パー・トラフ地形変化と底質特性の変動, 第 35 回海岸工学講演会論文集, pp. 354-358.
- 木村賢史 (1994): 人工干潟 (海浜) の水質浄化機能 (1), 水, pp. 23-36.
- 砂子 浩・泉宮尊司・石橋邦彦 (1996): 現位置透水試験装置の開発および海浜の透水係数と海岸侵食との関係について, 海岸工学論文集, 第 43 巻, pp. 531-535.
- 砂村継夫 (1985): 海浜地形, 堀川清司編「海岸環境工学」, 東京大学出版, pp. 130-146.
- 辻本剛三・川上哲広・原田知弥 (1996): 海岸環境における砂浜の底質特性に現地調査, 土木学会第 51 回年次学術講演会, II, pp. 170-171.
- 辻本剛三・日下部重幸・宇津賢代志・寺田博一 (1998): 海浜における底質の透水係数と強熱減量の評価, 土木学会第 53 回年次学術講演会, II, pp. 204-205.
- 山本幸次・佐藤慎司・田中茂信 (1997): 海岸過程における底質の浮遊と分級に着目した実験的研究, 海岸工学論文集, 第 44 巻, pp. 471-475.