

漂砂による砂粒子の摩耗と鉛直方向粒度分布に関する実験的研究

EXPERIMENTAL STUDY ON ABRASION OF SAND PARTICLES AND VERTICAL DISTRIBUTION OF GRAIN SIZE DUE TO DRIFT SAND

山下俊彦¹・松本光矢²・坪田幸雄³・新山雅紀⁴

Toshihiko YAMASHITA, Teruya MATSUMOTO, Yukio TSUBOTA,
and Masaki NIIYAMA

¹正会員 工博 北海道大学大学院助教授 工学研究科 (〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目)

²学生会員 工学 北海道大学大学院 工学研究科 (〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目)

³正会員 工修 北海道開発土木研究所 (〒062-8602 札幌市豊平区平岸1条3丁目)

⁴正会員 工修 (株) アイ・エヌ・エー (〒112-8668 東京都文京区関口1-44-10)

Abrasion of sand particles due to littoral drift was studied experimentally by large scale oscillatory flow apparatus. Abrasion of sand of 1.5mm in median diameter generates fine-grained sand with a wide range ($2\mu\text{m}\sim 1000\mu\text{m}$) diameter. Fine-grained sand accumulates below the layer of sheet-flow sediment motion. The characteristics of vertical distribution of grain size are studied.

Key Words : abrasion, littoral drift, sediment budget, grain size distribution

1. はじめに

流域・沿岸域の水系一貫の土砂管理を実施するには、河川からの供給土砂の河口・沿岸域での粒径別土砂収支を知る必要がある。浅海域の海底砂は、波浪などにより互いに衝突したり、擦れ合ったりしながら移動している。この砂移動により砂粒子自身が破碎・摩耗し細粒化が発生することが考えられる。もし、細粒化作用が量的に多ければ、粒径別土砂収支を考える際に考慮する必要がある。染矢ら(1993)¹⁾は、粒径約3mmの砂は流速振幅3m/sの振動流による漂砂でかなり破碎・摩耗し、1mm程度の小さい粒子やシルト分以下の非常に細かい粒子になること、また、大きい粒子は上層へ、小さい粒子は下層へ移動することを明らかにしている。しかし、漂砂による砂粒子の摩耗に関する研究は、染矢ら(1993)¹⁾以外行なわれておらず、ほとんど実態がわかっていないのが現状である。最近、漂砂を取り扱う際には混合砂を対象にすることが多く、混合砂の鉛直方向の分級作用や粒度分布も重要である。後藤ら(1996)²⁾は2粒径混合砂の実験と数値シミュレーションにより、大粒子の上層への移動機構を明らかにしている。しかし、種々の粒径を含む混合砂の鉛直分級化機構については十分に把握されてい

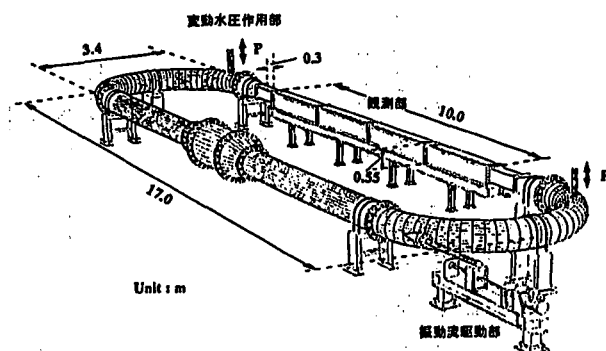


図-1 実験装置

い。

そこで本研究では、大型振動流装置を用いて暴浪時の漂砂現象を再現し、漂砂による砂粒子の破碎・摩耗・細粒化特性を明らかにする。次に、摩耗実験で発生する細粒成分による混合砂の鉛直方向粒度分布を調べた。さらに、石狩湾の水深21mでの鉛直方向粒度分布を調べ、実験結果と比較検討した。

2. 実験装置及び研究方法

実験は図-1に示す大型振動流装置を用いて行なった。流れの条件は、流速振幅3.0m/s、周期7.0秒でこの流れを全体で170時間(約7日間)作用させた。底質としては、細粒成分を水で洗い流してなるべく均一に近くした中央粒径 $d_{50}=1.50\text{mm}$ の砂を用いた。測定項目は、流れを作用させて80時間後と170時間後に砂地盤を柱状採泥し、鉛直方向に1.5cmごとにスライスし、ふるいを用いて各層の粒度分布を求めた。また、約10時間ごとに振動流装置内の砂質底面から20cm上方の水を採水し、懸濁物の濃度SSとレーザー回折式粒度分布測定器を用いて粒度分布を調べた。

3. 実験結果及び考察

図-2に、80時間後と170時間後の中央粒径 d_{50} の鉛直分布を示す。Zは底質上面から考えている層の中央までの距離である。Z=3~5cmの層の d_{50} が実験時間とともに減少し、漂砂により摩耗が発生していることがわかる。初期の粒径 $d_{50}=1.50\text{mm}$ の砂が、Z=4cm付近で80時間後 $d_{50}=1.35\text{mm}$ 、170時間後 $d_{50}=1.28\text{mm}$ となっている。一方、Z=0~3cmの層は、80時間後、170時間後とも $d_{50}=1.52\sim 1.53\text{mm}$ と初期の粒径よりも少し大きくなっていることがわかった。またZ>5cmの層の中央粒径 d_{50} は1.50mmで初期の中央粒径とかわっていない。流速振幅3.0m/sの振動流で1.5mmの砂はシートフロー状態で多量に移動し、移動層厚を振動流装置のガラス窓から測定すると約4cm程度であった。このことから、シートフロー状の砂移動が発生している上層4cmは粒径が少し大きくなり、そのすぐ下に砕波・摩耗等によって発生した細粒成分が厚さ2cm程度の層にたまり、それより下の中央粒径はあまりかわっていないことがわかる。

図-3に、170時間後の各深さ毎の11層の粒度分布と初期の砂の粒度分布を示す。横軸の数字はふるいのメッシュと対応している。~5000 μm のところの棒グラフは、2000 μm のふるいを通して5000 μm のふるいに残った砂の重量%であり、~2000 μm 以下は同様であるが、~53 μm は53 μm のふるいを通して砂の重量%である。これらの図よりわかることを列挙すると以下ようになる。①上層Z=1と2.75cmでは500 μm 以下の細粒成分がなくなり、図-2でも説明したように d_{50} が初期よりも大きくなっていること

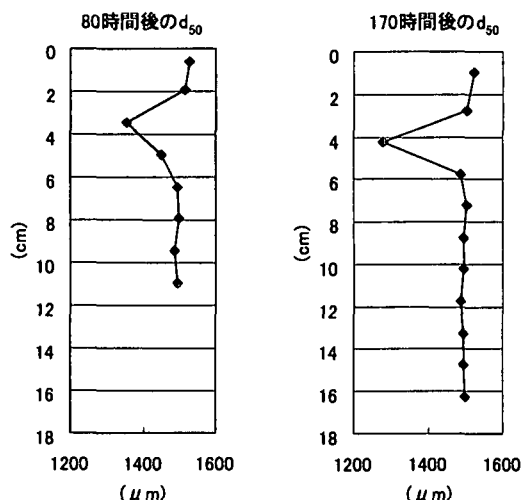


図-2 d_{50} の鉛直方向分布

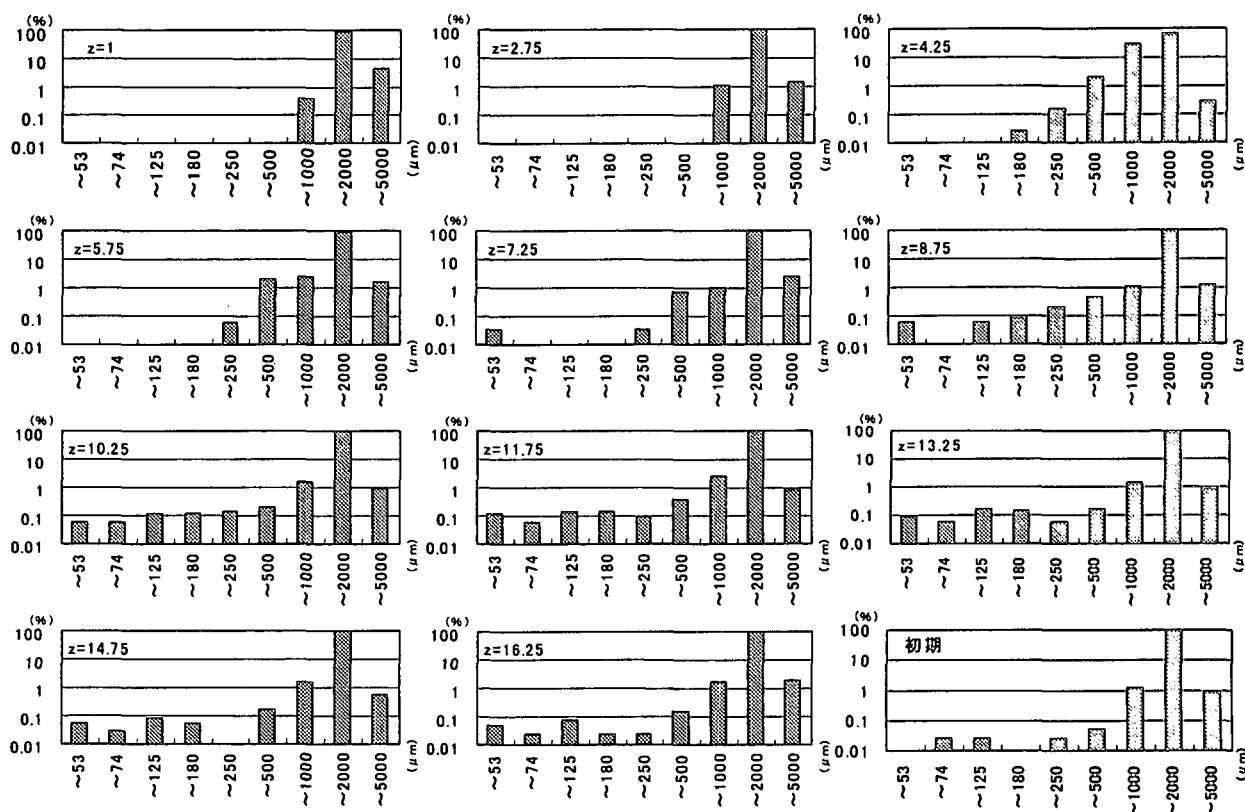


図-3 粒度分布

がわかる。Z=1cmと2.75cmの粒度分布を比較すると上層であるZ=1cmの方が1000 μ m以下の粒径が少なく、2000～5000 μ mの粒径が多く、 d_{50} が少し大きくなっていることもわかる。これらの上層の2つの層は、シートフロー状態の激しい砂移動により摩耗が最も発生する層であるにもかかわらず、粒径が初期よりも上層ほど少し大きくなっている。これは、染矢ら(1993)¹⁾、後藤ら(1996)²⁾が指摘しているように、土石流の先端部に巨礫が集まる逆グレイディング現象と同様な現象が、シートフロー状砂移動でも発生しているためと考えられる。また、初期にあった500 μ m以下の細粒成分は大部分は下層へ移動したものと考えられる。②Z=4.25cmの層は1000 μ m以下の細粒成分が多くなり、図-2でも述べたように d_{50} =1.28mmと中央粒径が初期に比べて0.22mm小さくなっている。これは、主に上層で砂の破碎・磨耗によって発生した細粒成分がここに集まったものと考えられる。この層は細粒成分が増えたことにより粒度分布が広くなり、密度が大きくなり、主に250 μ m以下の粒径の砂はこの層より下層へは移動できなくなっていると考えられる。③Z=5.75cmと7.25cmの層には180～250 μ mの砂が少し増加している。Z=8.75cm以上の層には初期の砂には存在しなかった、摩耗等により発生した、250 μ m以下の細粒成分が重量%で0.05～0.1%程度あることがわかる。

図-4に約10時間ごとに採水した水の懸濁物の濃度SSと中央粒径 d_{50} の時間変化を示す。この図よりSSは実験開始後少なくとも26時間後までに急激に増加し、約60mg/lに達し、その後、徐々に増加し170時間後には約120mg/lとなっている。また、 d_{50} は実験開始後26時間後が6 μ mと少し大きく、それ以後は2 μ mとほぼ一定である。以上より、開始後26時間までのSSの急激な増加はもともと初期の砂に含まれていた細粒成分が洗い出されて浮遊していると考えられる。懸濁物の内、摩耗により発生したと考えられる

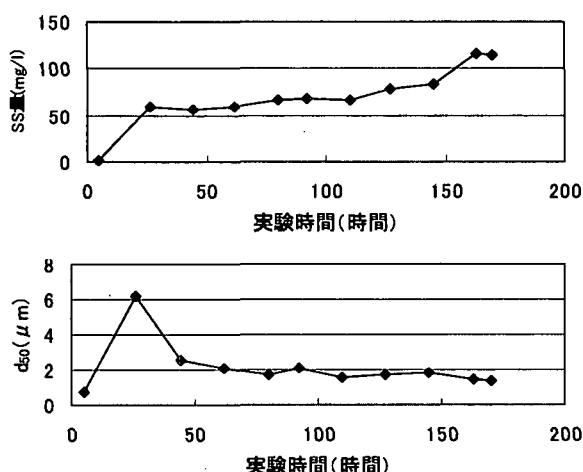


図-4 懸濁物質の濃度と粒径

ものは、170時間で約60mg/lで粒径は約2 μ mと推定できる。

次に、漂砂による破碎・摩耗量の推定を試みる。実験前と後の各粒径の重量を求めることはできなかったで、以下の様に概算する。170時間後のz=4.25cmの層を対象とする。初期は1000 μ m以下の細粒成分の割合は1.4%、170時間後は30.9%であり、その差約30%が破碎・摩耗で発生した細粒成分と考えられる。Z=4.25cmの層の層厚は1.5cmであるので、厚さにして1.5 $\times$ 0.3=0.45cm細粒成分が摩耗などにより発生したと推定できる。砂層は幅30cm、長さ約600cmであるので重量にして1.5 $\times$ 30 $\times$ 600 $\times$ 0.45=12,200gである。懸濁物量は60mg/l $\times$ 12m³=720gであり、12.2kgの約6%である。石狩浜は約30km、海底勾配1/100、激しい砂移動が発生する水深を1～6mとすると30km $\times$ 5m $\times$ 1/(1/100) $\times$ 0.45cm=6.8万m³となる。山下ら(2000)³⁾の研究によると、石狩川からの供給土砂の粗粒成分(75 μ m以上)66%の約20万m³/年が汀線変化に関係する水深12m以浅に堆積していると推定している。今回の摩耗実験は粒径が1.5mmと石狩より約10倍大きいので直接的な比較はできないが、漂砂による砂自身の摩耗も土砂収支を考える際に重要となる可能性があると考えられる。また、外洋に面した粒径1.5mm程度の海浜では、土砂収支を考える際に、漂砂による砂自身の摩耗の効果を無視できないものと考えられる。

図-5に、石狩湾の水深21mでの底質の d_{50} とふるい係数 S_0 の鉛直分布を示す。全体としては d_{50} は約80 μ mで S_0 は約1.4であるが、Z=4～6cmの層は d_{50} が45～55 μ mに減少し、 S_0 も3～4と大きくなっている。これと図-2、図-3を比較すると傾向がよくにていることがわかる。この水深帯では層厚4cmもの砂移動が発生することはないと考えられるので、推定ではあるが4cm程度の地形変化が発生し、その下の層に河川からの流出土砂の細粒成分や浅い海域で摩耗

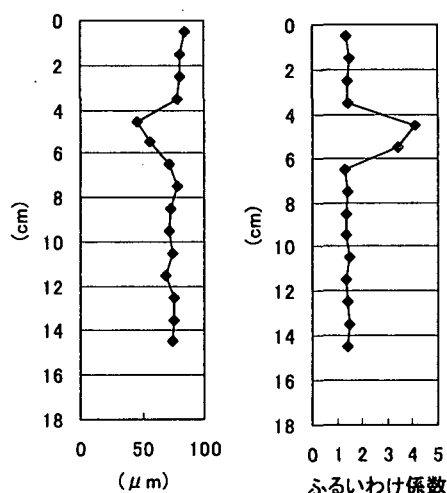


図-5 d_{50} と S_0 の鉛直分布

により発生した細粒成分が、この地点まで輸送され、 $Z=4\sim 6\text{cm}$ の層に多く堆積したものと推定される。

4 おわりに

本研究で得られた主な結果をまとめると次のようである。

- 1) 粒径 1.5mm の砂は、流速振幅 3m/s の振幅で発生するシートフロー状砂振動で、かなり摩耗が発生することが確認された。
- 2) 外洋に面した粒径 1.5mm 程度の海浜では、土砂収支を考える際に、漂砂のよる砂自身の摩耗を考慮しなければならない可能性がある。
- 3) 粒径 1.5mm の砂の破碎・摩耗により、 $2\mu\text{m}\sim 1000\mu\text{m}$ の広い範囲の粒子が発生することがわかった。
- 4) シートフロー状の砂移動が発生している層では大きい粒子は上層へ逆グレイディング現象で移動し、破碎・摩耗で発生した $1000\mu\text{m}$ 以下の細粒成分

は、主にシートフロー状砂移動が発生している層のすぐ下にたまることがわかった。

- 5) 摩耗実験で発生する細粒成分による混合砂の鉛直方向粒度分布を明らかにし、その分布は石狩湾の水深 21m での粒度の鉛直分布と傾向がよく似ていることがわかった。

参考文献

- 1) 染矢武彦，高木雄一郎，山下俊彦，佐伯 浩：漂砂による砂礫の摩耗と鉛直方向粒度分布に関する実験的研究，第48回年次学術講演会，pp. 962-963，1993.
- 2) 後藤仁志，酒井哲郎，豊田康晴，茅田哲也：振動流下の混合漂砂の鉛直分級機構，海岸工学論文集，第43巻 pp. 456-460，1996.
- 3) 山下俊彦，新山雅紀，菅沼 剛，早川哲也：石狩川から供給された粒径別土砂の河口沿岸域での堆積特性と土砂収支の試み，海岸工学論文集，第47巻pp676-680，2000