

バケット型採泥器で採取された海底泥の泥質特性

広島大学 学生会員 ○今川昌孝

広島大学 正会員 駒井克昭, 日比野忠史

国交省中国地整広島港湾空港技術調査事務所 正会員 松永康司

1. はじめに

広島湾海底表層には、栄養塩を多く含んだ含水比 250～600%程度の底泥が堆積（あるいは浮遊）している。特に、湾奥部の海底、数cmの表層では、有機懸濁物質が海水中で分解されずに比較的新鮮な有機物が土粒子に付着した有機泥が非常に緩い堆積状態で浮遊泥層を形成している。海底に形成される浮遊泥層は地耐力を持たない微細粒子からなる高濁度層（550%以上の含水比状態の浮遊泥¹⁾）や浮泥層からなり、有機物の分解が進むと同時に有機泥の保水能力が低下し、圧密が促進されることで堆積状態へと変化していく。含水比状態は数cmの層で数 100%変化しており、堆積（膨潤）状態を把握するためには不攪乱で堆積泥を採取し、数cm層毎に泥質を分析することが必要であるが、行政機関等が通常業務の中で不攪乱採泥を実施することは技術、費用の面から極めて困難である。国交省港湾局が実施している瀬戸内海総合水質調査ではバケット型の採泥器であるスミスマッキンタイヤによる採泥が行われている。本報告では総合水質調査での測定点において不攪乱採泥され、数cm毎に分析された海底泥とバケット型採泥器で採取、分析された海底泥の泥質を比較することで、バケット型採泥器で採取された海底泥の泥質データの特性（採取方法による採泥特性）について検討した。

2. 広島湾に分布する堆積泥の性状

2.1 堆積泥採取調査の概要

図1に広島湾地形図と調査地点を示した。図中に表記した HS は総合水質調査、ST は著者らの採泥地点である。瀬戸内海総合水質調査では 2000 年から毎年 10 月に海底泥の採取調査（含水率、全窒素、全リン、硫化物、有機物量、COD、pH を測定、pH は水 25g に対して泥 10g を溶解し上澄み液を測定）が行われている。HS09 は著者等が継続的に不攪乱採泥を行ってきた点（呉湾、ST.2）と同一地点であり、HS04 は ST.1（太田川河口）近傍の地点である（図1）。本研究では、先ず上記 2 地点での総合水質調査結果（スミスマッキンタイヤによる採泥）と不攪乱採泥結果を比較した。さらに、2001 年と 2007 年に総合水質調査が行われている測点でバケット型採泥と不攪乱採泥結果の比較を行った（2001 年；HS01, 04, 09, 2007 年；HS04, 09）。2007 年には季節的な変動を検討するため 8 月と 10 月に不攪乱採泥とバケット型採泥（エクマンバージ）、10 月には HS04 での採取泥（総合水質調査）のクロスチェックを行った。

2001 年はダイバーによって採泥され、0-2cm, 2-4cm, 6-8cm の栄養塩分析を行っている。2002 年以降は、大口径パイプ(内径 110mm, 長さ 500mm のアクリル製円筒)を自重で海底面に貫入することによって、不攪乱状態で採泥が行われている。各地点において採取された 3 本の柱状泥を同様に分割し、それらを混合した試料(0～8cm の 4 層, 10～12cm, 20～22cm, 30～32cm の計 7 層)について分析(含水比, 強熱減量(IL), 粒度分布, 有機懸濁態炭素(POC), 有機懸濁態窒素(PON), 酸化還元電位等)を行っている。なお、不攪乱採取された柱状泥はいずれの場合もパイプ内に採取された底層水をサイフ

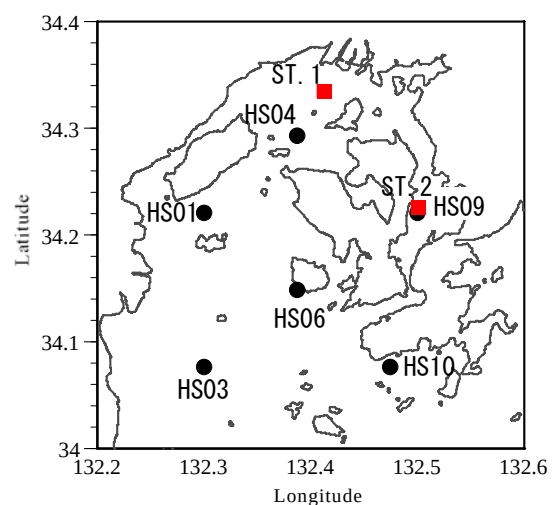


図1 広島湾地形図と調査地点
(HS no.は総合水質調査の観測点)

オンによって除去し、実験室において堆積泥を 2cm 毎に分割した後に分析している。

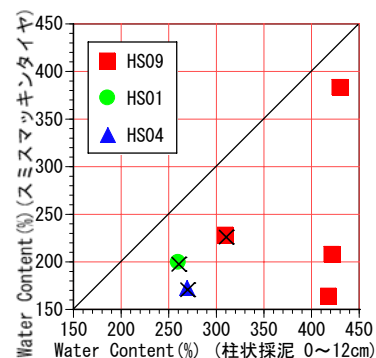
2.2 バケット型採泥器によって採泥された底泥の特性

図 2 には 2001 年と 2002, 05, 06 年の 10 月に採取されたスミスマッキンタイヤおよび不攪乱採泥の(a) 含水比と(b) 栄養塩が比較されている。スミスマッキンタイヤ採泥器で攪乱採取された底泥の含水比は不攪乱採取された底泥の含水比よりも 50% 以上低い値を示している (HS09 での含水比が 200%以上の差があるのは 2002 と 05 年の表層 (浮泥層) 含水比が 550%以上の高含水状態であったためである。線形関係を示す 4 回 (2001 年と 2006 年) の結果ではスミスマッキンタイヤ採泥器で採取された底泥の含水比は柱状採取された底泥の 15cm 程度, 2002 と 05 年では 30cm 以深の堆積泥の含水状態と一致している。栄養塩の値もスミスマッキンタイヤ採泥器で採取された底泥で小さい値をとる傾向にある。栄養塩は表層で大きな値をとることから、深い層の栄養塩を測定しており (項目毎にばらつくが、2~8cm 層と値が一致している)、表層にある高含水の浮泥を採取できないことがわかる。

2.3 広島湾全域での堆積泥性状の季節変動

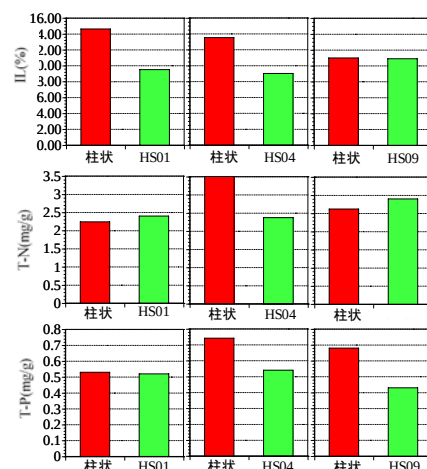
総合水質調査では 10 月に 1 回の調査であるため、季節的な変動を知ることはできない。ここでは 2007 年 7 月と 10 月に不攪乱採取された海底泥の性状の変動傾向について検討する。図 3 は 2007 年 8 月と 10 月に採取された柱状泥の含水比, IL, C/N 比, ORP の鉛直プロファイルの約 3 ヶ月間の変化を示している。

含水状態は観測点毎に異なっており、HS01 と 09 で高く (表層で 500%以上)、HS10 で低く (表層で 200%以下) なっている。有機物量 (IL) は含水比が高い海域で多く含み、有機物の分解状態 (C/N 比) は含水比の変化に伴って、変動していること、特に、河口に近い HS04 で含水状態の変動が大きく、C/N 比が大きい (有機物の分解が進んでいる) ことがわかる。さらに、HS04 では IL と C/N 比の増加とともに還元化が進んでおり、有機懸濁物質の沈降、分解が起こっていることが考えられる。また、高含水比状態が保



(a) 同一地点での含水状態の比較

(×は 2001 年の結果)



(b) 栄養塩の比較 (2001 年 10 月の結果)

(柱状採泥は 0-8cm の平均値)

図 2 バケット型と不攪乱採泥との比較

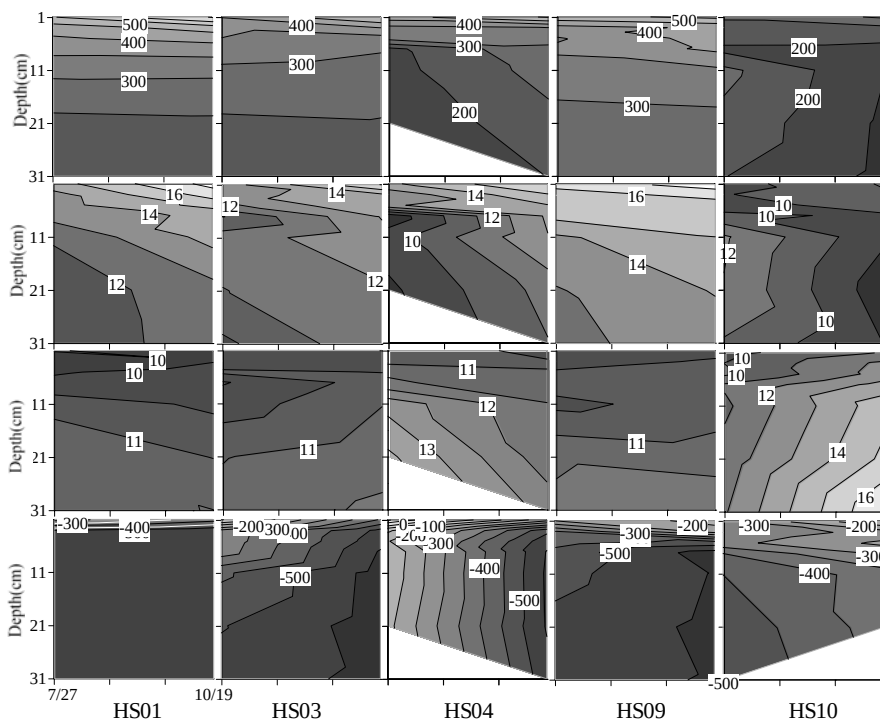


図 3 堆積泥性状の鉛直プロファイル (上段から含水比 %, IL %, C/N 比, ORP mV)

たれている HS01 と 09 で 8 月、10 月とも還元状態にあるが、他の海域は 10 月に向かって還元化している。また、HS10 では 8 月と 10 月の結果が大きく変化しているが、含水比、IL が低下していることから、季節的変動による変化ではなく、地点による違いが現れていると考えられる。

広島湾の全域で含水状態が季節的に変動しており、数 10cm の泥深で有機物の変動が大きくなっている。さらに、海域によって有機物の量と分解状態が異なる。特に河口域では海底泥の泥質変動は大きいため、年に 1 回の測定結果をそのまま代表値として扱う

ことには問題が残る。しかし、有機懸濁物質の沈降、堆積過程で起こる有機物の分解を考慮することによって、海底堆積泥の季節変動を捉えることは可能であり、年に 1 回の測定とはいえども、モデルの検証や経年変動を捉えるための有効なデータとして活用することが可能である。

2.4 スミスマッキンタイヤによって採取された底泥の土質、栄養塩特性 図 4 には、スミスマッキンタイヤによって採泥された底泥の土質特性、栄養塩特性が示されている。栄養塩状態は海域毎に異なっているが、有機物の量と性状に依存している（T-N、COD は IL、T-P は COD との相関が高い硫化物は IL が 7 以上で多くなる）こと、有機物を多く含む底泥の含水量が多いことがわかる。なお、含水比の高い HS09、01、03 で IL との相関が悪くなるのは前節で述べたようにバケット型採泥器の特性（浮泥層を採取できていない）のためである。これらの結果はスミスマッキンタイヤで採取された底泥では浮遊泥層の特性ではなく、各観測点の特性（堆積泥の土質特性）を捉えていることを示している。したがって、海底泥の巻き上がりの条件となる含水比は IL から、有機物の分解度は IL～COD 関係から判断することが必要である（図 6 参照、C/N 比を COD、栄養塩から推定）。なお、HS06 の水深は 45m（他観測点は 20～25m）あり、水圧による有機泥が圧縮されることで他の観測点に比較して圧密が進み、酸素の供給が多いために有機物量も少ないため低含水比であると推定できる。ちなみに、海水の水素イオン濃度（pH）は 8 程度、間隙水の pH は 8 以下である¹⁾が、どの海域においても海水よりも高い値を示している（測定法のため）こと、pH は硫酸還元菌が増殖すると、硫酸還元反応によって理論上は pH が上昇するケースが多いが、pH と硫化物には負の相関があることから、pH と硫化物量との関係は堆積する有機物の状態ではなく、各海域での土質の違いを表していると考えられる。

3. 柱状採泥データを用いたバケット型採泥器の評価

図 5 に柱状採泥器で採取した 0～12cm までの底泥の含水比の平均値とエクマンバージ採取泥の含水比を比較している。スミスマッキンタイヤと同様にエクマンバージ採泥器の含水比は柱状採泥のものと比

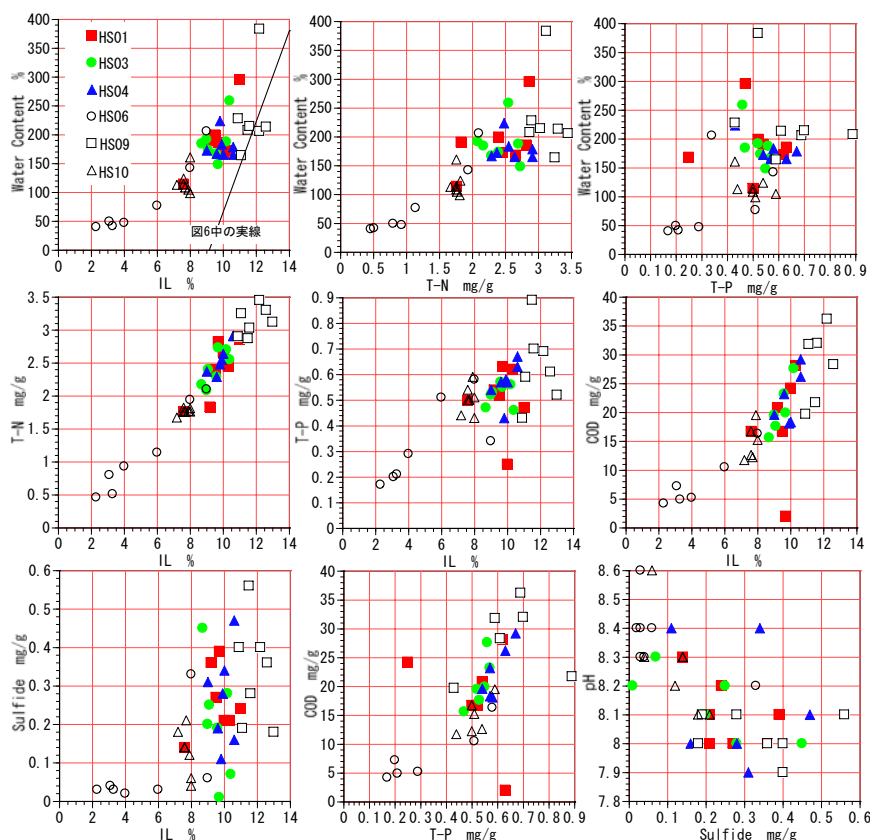


図 4 スミスマッキンタイヤによって採泥された底泥の土質、栄養塩特性

べ含水比は低い値を示している。バケット型採泥器では、採泥直後の本体引き揚げ時に海水とともに浮泥が流れ落ちることや採取時に海水と浮遊泥を区別できないことのために、浮泥を採取することができないと考えられる。スミスマッキンタイヤ（本体重量 18.5kg）とエクマンバージ（全体重量 8.5kg）で採泥した底泥（HS04）では含水比は 274%、296%、IL は 13%、11%であった。両採泥器ともバケット高さは約 15cm であるが（構造上エクマンバージは 20cm 程度まで採泥）、スミスマッキンタイヤの重量が数倍重い。柱状採泥された底泥（図 3）と比較すると、両採泥器とも 15~20cm 深の底泥の値に対応しているが、スミスマッキンタイヤでの IL 値が高いことがわかる。この結果はスミスマッキンタイヤ型採泥（総合水質調査）の特性（図 4 に実線で示した低含水比、高 IL）と同様の傾向を示している。

図 6 にエクマンバージ採取泥の IL~含水比、IL~C/N 関係を柱状採泥器で採取した 0~12cm までの各層での分析結果と比較している。エクマンバージ採泥はスミスマッキンタイヤ採泥と同様の特性（図 4 の IL~WC 関係）があり、柱状採泥によって得られる広島湾全体での底泥特性を概ね表していることがわかる。エクマンバージ採泥と柱状採泥結果の細部を比較すると、エクマンバージ採泥は IL が小さく、C/N 比が大きくなっている。

有機物量が小さく、C/N 比が大きい底泥は分解の進んだ有機泥であり、数 10cm 程度の深い層の堆積泥である。これらの結果はバケット型の採泥器は海水と浮遊泥が混合するために、浮遊泥層にある有機泥を採取することは困難であり、深い層にある堆積泥を採取する傾向にある。なお、エクマンバージ採泥では浮遊泥を採取するため海水を捕集してしまうことにより含水比が高くなる。

4. おわりに スミスマッキンタイヤによる採取泥の特性について以下にまとめた。

- (1) スミスマッキンタイヤによる採泥では表層にある高含水の浮遊泥を採取できないため、採取泥の含水比は不攪乱採取された底泥よりも 50%以上低く、栄養塩の値も低い値をとる傾向にある。採取泥は栄養塩は表層で大きな値をとることから、数 10cm 深に堆積した有機泥であることが推定された。
- (2) 海水交換量や有機物の沈降形態等によって海底に到達する有機物の量と分解状態が異なるため、海底泥の含水状態が季節的に変動し、数 10cm の泥深で有機物の変動が大きい。特に河口域では底泥の泥質変動は大きく年に 1 回のデータによって季節変動は捉えられない。さらにバケット型採泥器は泥深 10cm 程度の堆積泥の値を代表していることが明らかにされ、沈降、堆積過程の有機物分解をモデル化することで泥質の季節変動の推定が可能であると示唆された。
- (3) 総合水質調査によって測定された底泥データによって海底泥の巻き上がりの条件となる含水比、有機物の量と性状（分解度）を推定することは可能である。含水比は IL から、有機物の分解度は IL~COD 関係（C/N 比を COD、栄養塩から推定）から判断することができる。

参考文献 1) 日比野忠史，松本英雄：広島湾に分布する浮泥の特性と季節的な性状変化，土木学会論文集，Vol.62，No.4，pp.348-359，2006。

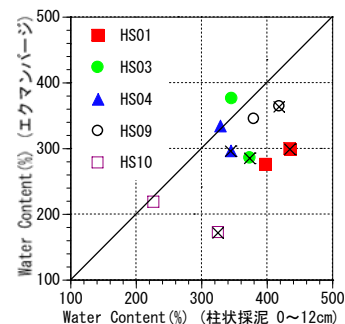


図 5 柱状採泥(0-12cm 層の平均)とエクマン採泥の含水比 (×は 10 月調査)

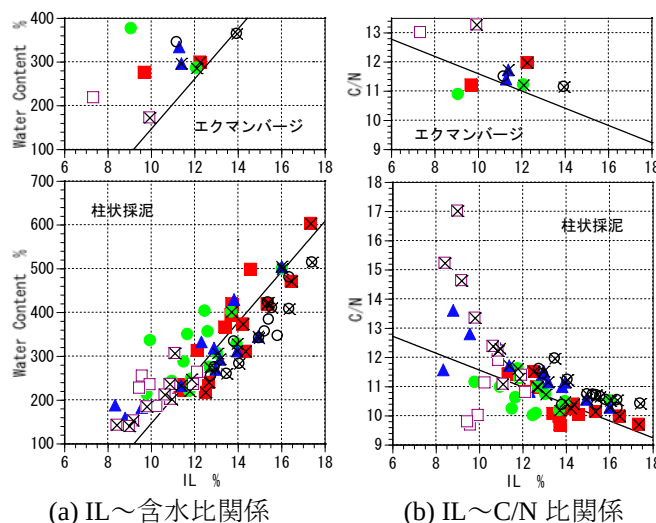


図 6 エクマンバージで採泥された堆積泥（上段）の泥質特性 (凡例は図 5 と同様、実線は柱状採泥結果との比較のため)