

## 底層水域環境改善のための覆砂工の効果に関する検討

木村 賢史 安藤 晴夫 山崎 正夫  
齊藤 愛\* 齊藤 聖美\*\*  
(\*非常勤研究員 \*\*埼玉工業大学)

### 要 旨

浜離宮水域で施工された覆砂事業の効果とその持続性を検討した結果、(1)全般的には、覆砂水域の底質は未覆砂水域や辰巳水域と比べて強熱減量、底質COD、硫化物、粒度組成が改善されており、覆砂の効果が認められるが、地点によっては汚泥の堆積が進みつつある。このことは、底泥の鉛直的性状調査結果からも推測された。(2)生物的側面からも覆砂の効果が認められるが、底生動物の生息に適した環境条件(概ねDO濃度3mg/l以上、強熱減量3%前後、硫化物0.5mg/g未満、シルト・粘土分20%以下)と比べると、浜離宮水域では平成7年覆砂のst.1、平成8年覆砂のst.5、平成9年覆砂のst.7は底生動物の生息しにくい底層水域環境となっていることが推測された。

キーワード：覆砂事業、浜離宮、底質、底生動物、溶存酸素

### 1 はじめに

東京湾の水環境を改善するためには、流入する汚濁物質の削減とともに、底質の改善が重要となる。東京湾の底質は流入汚濁物質や土砂、湾内で発生したプランクトン等が長い年月の間に堆積しヘドロ化しており、底層水域環境(底泥と直上水を含めた環境を示す。)の悪化を招いている。特に、東京湾奥の中央部では汚泥が1mを上回る厚さで堆積しているため、夏季には底層水域環境が貧酸素化して無生物域となり底質改善が強く求められている。底質改善には浚渫、耕運、作濡、底土攪拌、覆砂等の手法があるが、その効果および持続性について検討した事例は少ない<sup>1)4)</sup>。そこで、港湾局が浜離宮公園周辺水域で実施した覆砂事業について、物理化学的、生物的側面から、その効果と持続性について検討を行った。その結果、若干の知見を得たので報告する。

### 2 水域の概要及び調査方法等

#### (1) 水域の概要

覆砂水域の水深は最大でも4m程度である。水域の断面は図1に示すように隅田川の護岸と浜離宮公園の護岸で囲まれ、護岸から約1/10の勾配で急に深度を増すが、中央部付近から徐々に浅くなり全体としてすり鉢状の

形状を成している。覆砂水域の面積は約4.1haである。隅田川とは2カ所の水門でつながり潮の干満で水交換が行われる。地形的には閉鎖性が強く水が滞留し易いため懸濁物質も沈降しやすい。しかも、水域内には下水道の雨水吐があるため豪雨時には雨水とともに汚濁物質が流入し底質の悪化を加速している。

#### (2) 調査方法等

調査は、浜離宮公園周辺水域について覆砂工区を4つに仕切り4カ年(1995~1998年度)にわたって覆砂した水域(1995年度覆砂3地点、1996年度覆砂2地点、1997年度覆砂2地点、1998年度覆砂2地点)と当該水域で未覆砂水域の1地点、および比較対照として未覆砂で底質が泥質化している辰巳水域8地点について年4回面的な調査を実施した(図1)。また、底質については、鉛直的な性状を把握するために覆砂水域6地点、未覆砂水域1地点、辰巳水域3地点において柱状コアを年1回採取した。調査項目及び測定方法は表1に示す。なお、柱状コアについては、強熱減量、硫化物、粒度組成を5~10cm間隔で分析し鉛直的な性状を調べた。

### 3 結果と考察

- (1) 物理化学的因子
  - ア 水質の状況

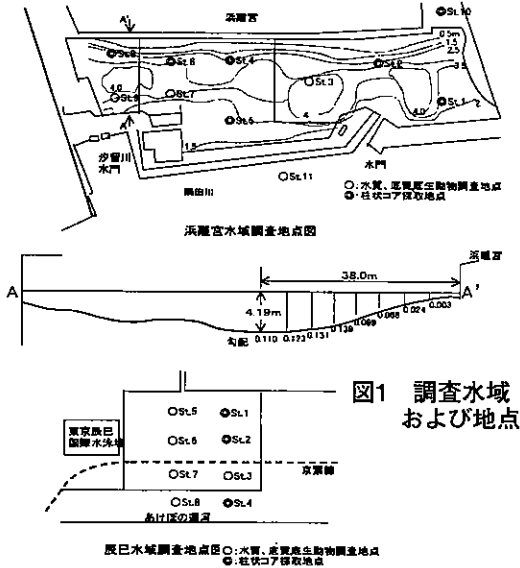


図1 調査水域および地点

表1 調査項目と測定方法

項目	測定方法
水	水温、pH、DO、ORP、塩分 YSI3800
質	COD JISK0102
底質	強熱減量(1L)、底質COD、底質調査方法 <sup>3)</sup>
	硫化物(AVS) 検知管法
	粒度組成 ふりい法
底生動物	プランクトン採泥器(0.15 × 0.15m)で5回採泥し、1mm目の篩で回収した。

水質を年4回の平均値でみると、pHは上層7.6~8.5、下層7.6~8.1、DO濃度上層3.1~11.0mg/l、下層2.0~9.1mg/l、COD3.4~8.4mg/l、塩分上層6.9~31.0、下層10.7~32.4の範囲にあり、特に下層DOと塩分の変動が大きく底生生物への影響が推測される。夏季のDO濃度(図2)は、覆砂水域と未覆砂水域、或いは1995年度覆砂水域と新しい1997~1998年度覆砂水域とで差が大きく、覆砂水域でも年月の経た水域ではDO消費物質が増加していると考えられる。また、夏季(8月)は豪雨直後に調査したため塩分は河川水の流入により10未満まで低下している(図2)。アサリ等の二枚貝類の生息環境はDO<sub>2</sub>~3mg/l以上<sup>6)</sup>、塩分20~25<sup>7)</sup>であることから、夏季の浜離宮水域の一部は覆砂水域であっても二枚貝類の生息に支障が生じる可能性が示唆された。一方、比較対照の辰巳水域では、平均値でpHは上層7.5~8.7、下層7.4~8.5、DO濃度上層2.8~9.7mg/l、下層1.4~8.5mg/l、塩分上層6.5~22.0、下層13.4~32.5と浜離宮水域と同程度の値を示しており、夏季のDO低下、豪雨時の塩分の急激な低下という現象も同様である。

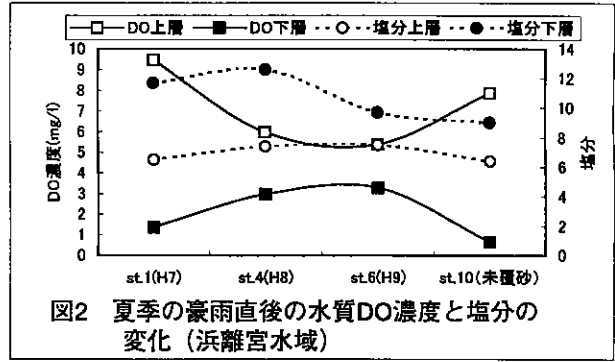
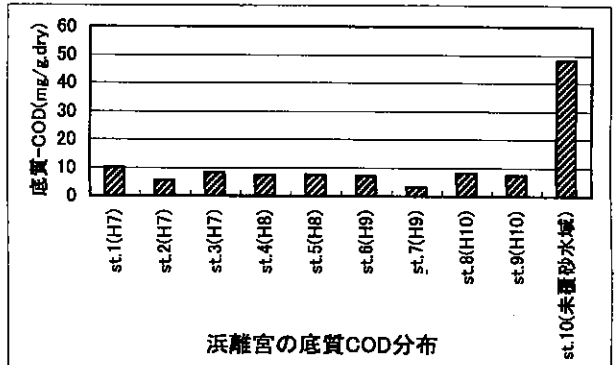


図2 夏季の豪雨直後の水質DO濃度と塩分の変化(浜離宮水域)

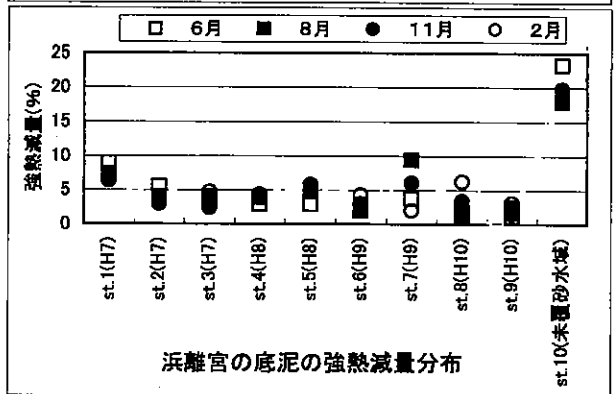
以上のことから、浜離宮水域では、底層水のDO濃度の低下と河川水の流入による塩分低下により生物の生息に支障が生じる時期のあることが推察された。

イ 底質の状況

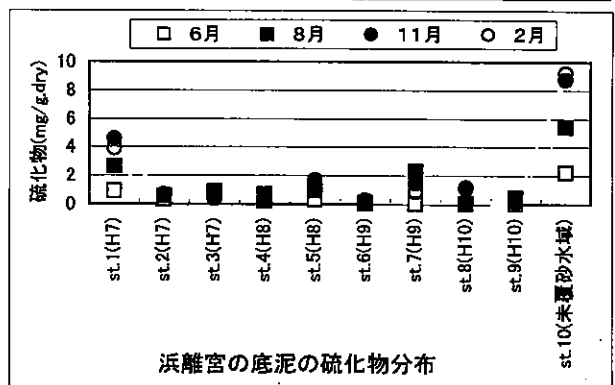
有機汚濁の指標である強熱減量、底質COD、硫化物について図3に示した。図3から水平分布状況を見ると、



浜離宮の底質COD分布



浜離宮の底泥の強熱減量分布



浜離宮の底泥の硫化物分布

図3 浜離宮水域における強熱減量、底質COD、硫化物の水平分布

強熱減量は覆砂していないst.10が20%前後と極めて高いのに対して、覆砂水域はいずれも10%未満、平均で未覆砂水域の約1/4(5%前後)の値を示しており、強熱減量の面では覆砂の効果が持続していることを示している。st.1は未覆砂水域との境目に近く、未覆砂水域の汚泥が水上バスのスクリュ-等による巻き上げが原因して高めの値を示しているものと考えられる。底質CODについても同様の傾向を示しており、覆砂水域は平均で7.1mg/gと未覆砂水域の約1/4以下である。一方、比較対照の辰巳水域(図4)では強熱減量が平均9.0%(5.9~12.1%)、

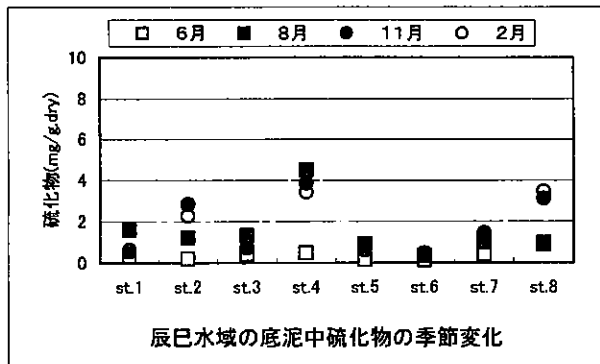
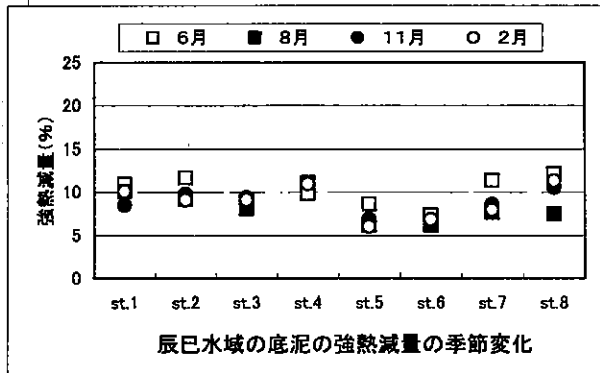
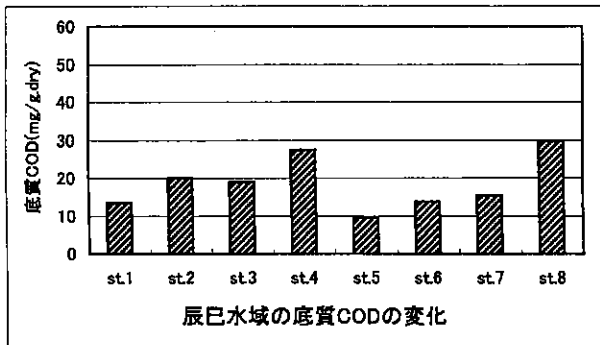


図4 辰巳水域における強熱減量、底質COD、硫化物の水平分布

底質COD平均18.5mg/g(9.6~29.7mg/g)の値を示しており、覆砂水域の平均値と比べて強熱減量で1.4倍、底質CODで2.6倍高い値である。硫化物も同様の傾向であり、覆砂の効果が認められる。また、一般に底質の有機汚染が進むと粒子の微小(<0.074φmm)なシルト・粘土

分の比率が高まる。そこで、粒度組成の分布について図5に示した。図5から未覆砂水域のst.10や対照の辰巳

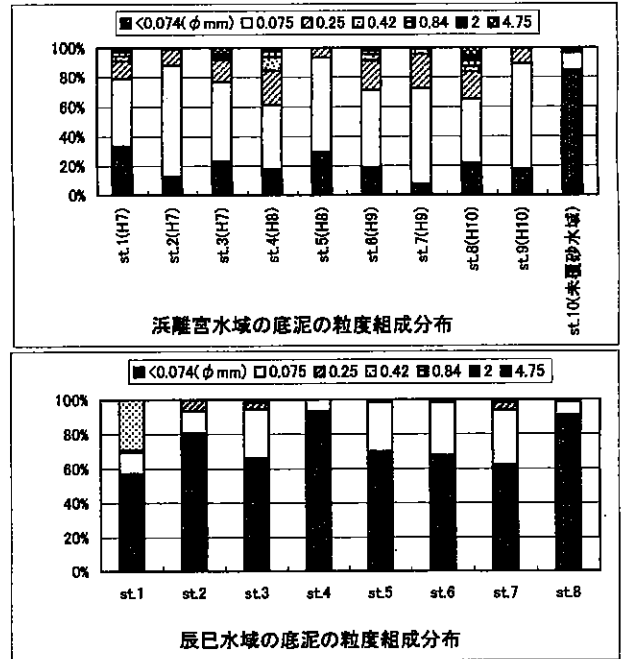


図5 粒度組成の水平分布(底泥表層)

水域ではシルト・粘土分が70~80%以上を占めるのに対して、覆砂水域は10~30%と低い比率で止まっている。

しかし、未覆砂水域と近接しているst.10や1996年度に覆砂した水域で最深部に位置するst.5では比較的高い値を示している。覆砂に使用した砂の性状は、粒度組成が概ねシルト・粘土分10%未満、細砂分50~80%、粗砂分10~40%、礫分1~2%未満、強熱減量2%未満、硫化物は不検出と考えられることから、この値と比べると覆砂水域では、地点によって徐々にではあるが汚泥の堆積の進行が推測された。そこで、汚泥の堆積状況を調べるために底泥の柱状コアを採取し性状を分析した。その結果を図6に示した。覆砂水域で調査した6地点のうち平成10年度に覆砂したst.8を除いた全ての地点でコア表層(0~5cm層)の強熱減量、硫化物がそれぞれ5.9~12.4%、0.4~3.7mg/g 検出されており、コアの下層に進むに伴い低下していく傾向がみられることから、覆砂表層では汚泥の堆積が進みつつあると判断された。特に、st.5は0-10cm層までシルト・粘土分が90%前後を占め、強熱減量・硫化物は0-10~15cm層まで5~12%、1.1~5.1mg/gと高いが、それ以深は良好な状態が維持されていた。また、st.1は強熱減量が0-5cm層6%から2%、同様に硫化物も2mg/gから0.5mg/gと鉛直方向に減少しているが、硫化物は0-20~25cm層までも検出されており、これらの地点は潮流等により汚泥

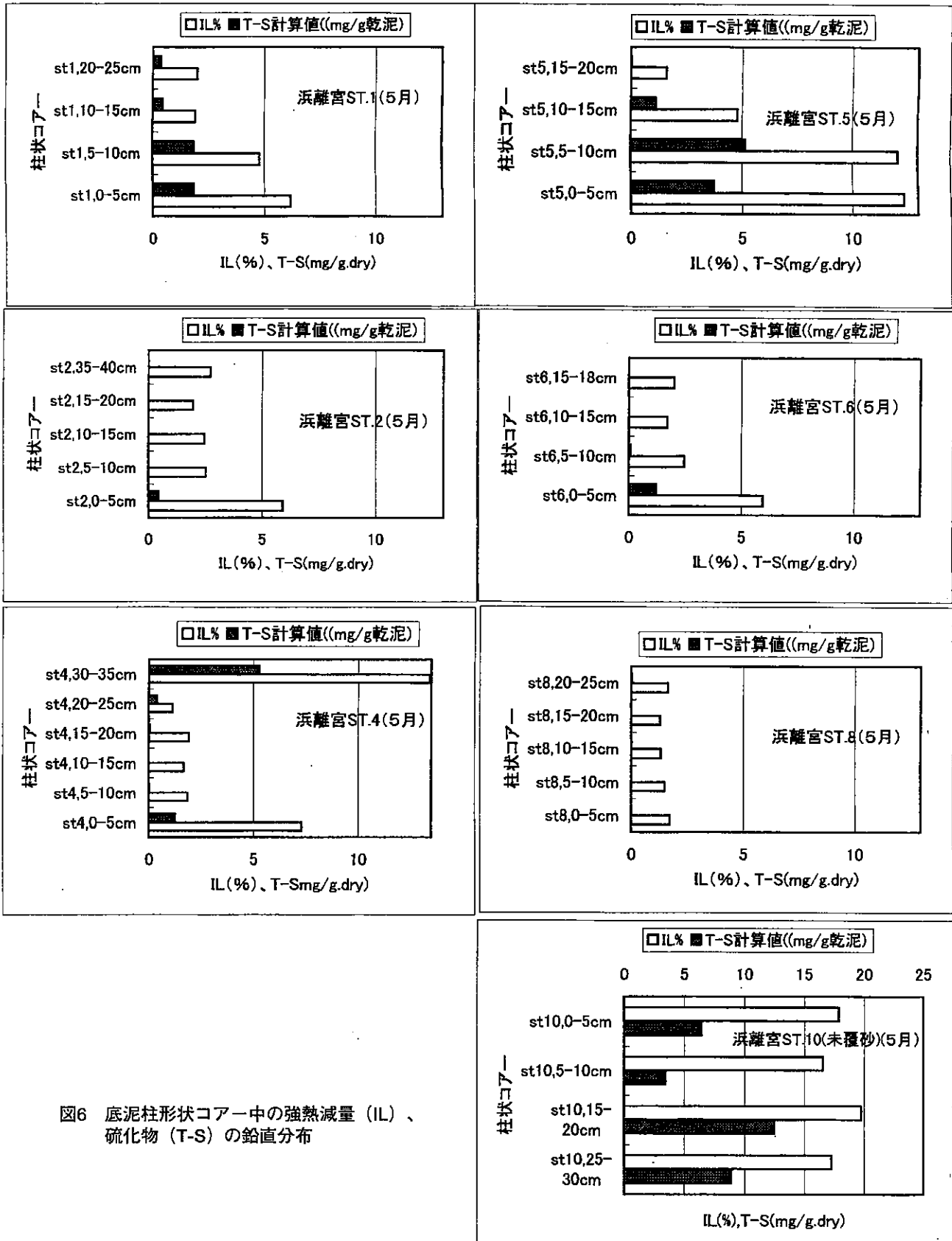


図6 底泥柱形状コア中の強熱減量 (IL)、硫化物 (T-S) の鉛直分布

が堆積しやすい地点と推測された。なお、水平分布調査(図3、5)のst.5の値は、シルト・粘土分30%弱、強熱減量2.8~5.7%、硫化物0.3~1.65mg/gと柱状コアの値と比べると全般的に低い。このことから、st.5付近は底質の性状の変化の大きい水域と推測された。未覆砂水域のst.10では、採取した30cm層のコアの全層で強熱減量16~19%、硫化物3~12mg/gと著しく有機汚染の進んでいる底泥となっている。

一方、対照の辰巳水域の柱状コアは、コアの全層(32~44cm厚)でシルト・粘土分が87~98%、強熱減量8.7~12.6%、硫化物0~3.8mg/gとst.10(未覆砂水域)と比べると有機性汚濁物質の大きな供給源がないためか強熱減量、硫化物の値はやや低めである。港湾局が浜離宮水域で実施した覆砂からのCOD、H<sub>2</sub>S、NH<sub>4</sub>-N、PO<sub>4</sub>-Pの溶出試験<sup>8)</sup>の結果をみると、1995年に覆砂したst.3では、PO<sub>4</sub>-Pを除き表層(0~15cm)、下層(15~30cm)いずれも造成直後の1996年2月には一時上昇するが、その後は急激に低下、或いは不検出となり2000年2月に再び上昇している。

以上のことから、全般的には、覆砂水域の底質は未覆砂水域や辰巳水域と比べて強熱減量、底質COD、粒度組成の面では改善されており、覆砂の効果が認められるが、地点によっては汚泥の堆積が進みつつあると考えられる。このことは、底泥の鉛直的性状調査結果からも推測された。

(2) 生物学的因子

覆砂水域等において底生動物の生息状況を調査した結果(図7)、種類数は覆砂水域では環境の悪化する夏季に17種に減少するものの、他の季節は35~37種を確認している。一方、未覆砂水域のst.10は6月2種、2月3種確認されるのみで、8、11月は無生物域となり覆砂水域との差は歴然としている。辰巳水域では8月に4種、他が16~34種とst.10と比べて無生物域になる季節はないが、出現種は年平均値で覆砂水域の6割程度と少なく辰巳水域と比べても覆砂の効果が認められる。しかし、各地点での出現種の季節変化(図8)をみると、1995年度に覆砂したst.1、2、3及び1996年度に覆砂したst.5は未覆砂水域のst.10と同様に夏季に無生物域となっている。特に、1996年度に覆砂したst.5が水深3.5~3.7mと比較的浅いにもかかわらず、無生物域となっているのは汚泥が堆積し易かつ水が滞留する水域であるため貧酸素化したことが原因と推測される。辰巳水域

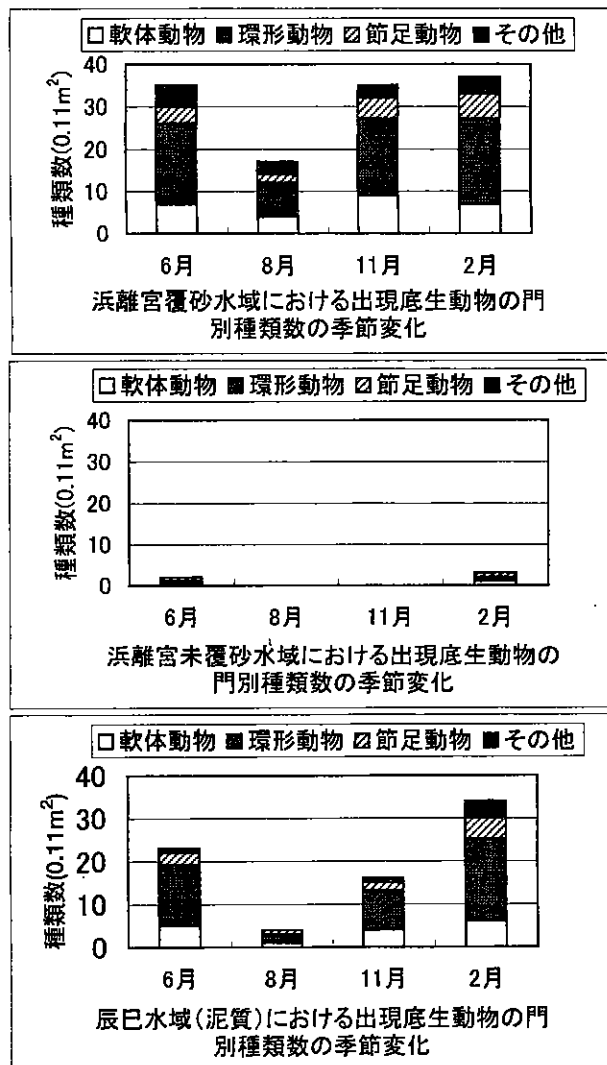


図7 浜離宮水域及び辰巳水域における底生動物の種類数の季節変化

でも、夏季には8地点のうち7地点で無生物域となっており、夏季には生物にとって厳しい環境であることがわかる。

以上のことから、生物学的側面からも全般的には覆砂の効果が認められるが、地点によっては覆砂水域であっても水温の上昇する季節には生物の生息を難しくしていることが明らかとなった。

次に、物理化学的因子と底生動物との関係を検討した。硫化物と底生動物との関係(図9)をみると、貧酸素化し底泥中から硫化物の溶出が推測される夏季には、軟体動物は硫化物が0.5mg/g前後を上回ると全く確認できなくなるのに対して、環形動物は2mg/g前後まで生息しており、環境の悪化に強い耐性を有していることがわかる。しかし、水温が低下し、DO濃度が3mg/l以上になると底泥中の硫化物が8mg/g以上を存在しても軟体動物、環形動物いずれも生息している。すなわち、

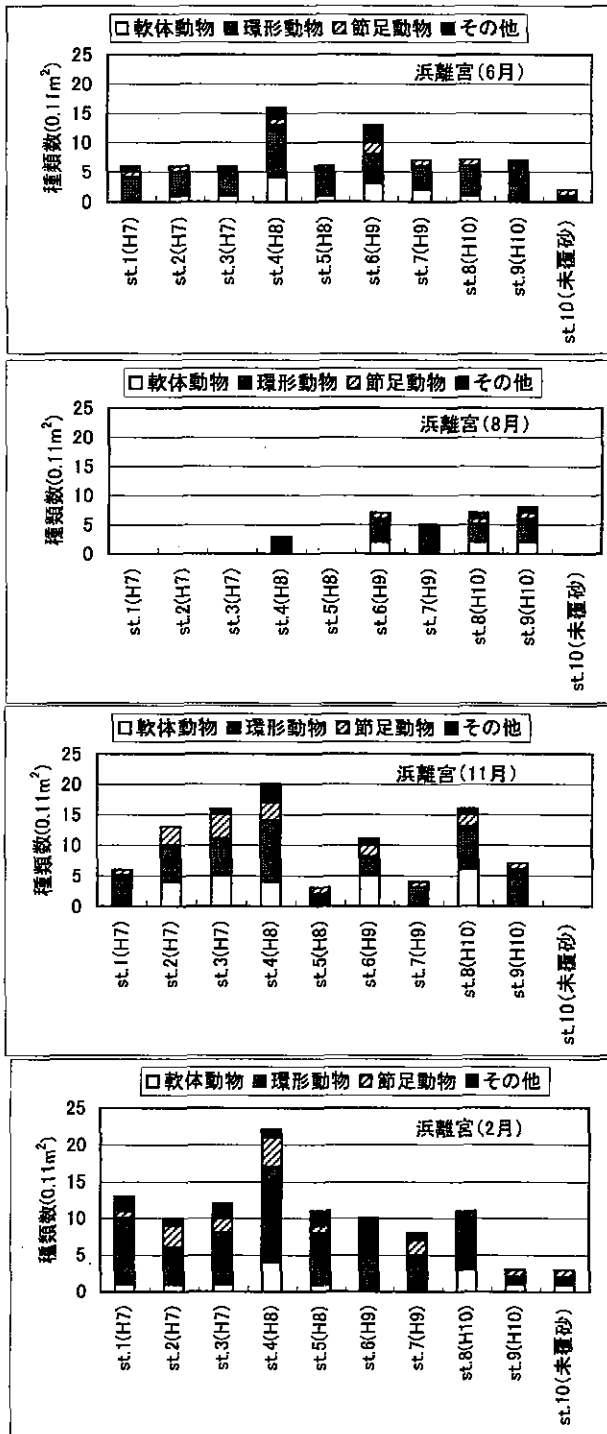


図8 浜離宮水域に出現する底生動物の地点別・季節別変化

底層水のDO濃度が生物の生息に必要な3mg/l以上確保されるならば、底泥中に硫化物が存在しても溶出することはなく底泥の表層付近で生息する底生動物には大きな障害とはならないようである。ただし、ろ過摂餌者の二枚貝類は底泥中のシルト・粘土分が多いと鰓詰まり等が発生するため生息しにくい環境ともいえる。浜離宮水域でアサリが確認できたのは、浜離宮護岸寄り水深が浅くDO濃度が3mg/l以上、シルト・粘土分

20%以下の水域(st.6、8)であることから推測できる。

強熱減量と底生動物との関係では、強熱減量で3~4%付近に種類数のピークがみられる。門別にみると、軟体動物は強熱減量3%をピークに2~6%付近に集中しているのに対して、環形動物は4%をピークに1~9%付近と軟体動物と比べると集中する範囲が広く、硫化物と同様に適用能力が強いことを示している。東京湾の干潟や人工海浜の場合、底生動物の種類数は強熱減量が2~3%付近にピークがあり、3%を超えると減少する傾向がみられる<sup>9)</sup>。同様に、東京都内湾域では強熱減量は3~9%の範囲、硫化物は0.5mg/g未滿にピークがあり、これらの値を超えると急速に減少し、強熱減量14%、硫化物2mg/gを超えると激減する<sup>10)</sup>。

このことから、底生動物の生息環境は概ねDO濃度3mg/l以上、強熱減量3%前後、硫化物0.5mg/g未滿、シルト・粘土分20%以下が適していると考えられる。これらの値と比べると、浜離宮水域では覆砂水域でもst.1、5、7は底生動物の生息しにくい底層水域環境となっていることが推測された。

### (3) 底層水域環境の評価

浜離宮水域の底層水域環境を底生動物の種類数と個体数のバランスから評価する多様性指数と生物的側面及び化学的側面から判定する七都県市作成の評価基準<sup>11)</sup>により評価した(図10)。その結果、6月は多様性指数ではst.1、2、3、4、6、7、8はいずれも2以上と高く良好な値を示しているのに対して、評価基準では最高でも環境保全度Ⅱ(底質の有機汚染が進んでおり、貧酸素水域になる場合がある。底生生物は汚濁に耐える種が優占する)、st.3、5、10は環境保全度Ⅰ(一時的に無酸素水域になり、底質の多くは黒色のヘドロ状である。底生生物は汚濁に耐える種が中心で種数、個体数ともに少ない)に評価されており、多様性指数と比べると低い評価となっている。これは出現種類数が少なくても、それに対応して個体数も減少すれば両者のバランスが良くなるため多様性指数としては高く計算されるという欠点によるものと考えられる。ただし、6月の双方の全体的な評価傾向は概ね同じ変化を示している。

しかし、底層水域環境が貧酸素化する8月になると、双方の評価レベルに対応はみられなくなる。特に、st.6とst.8は多様性指数では低く評価されるが、評価基準では上位の環境保全度Ⅲ(環境は概ね良好に保全されているが、夏季に底層水のDO濃度が減少するなど、生息環

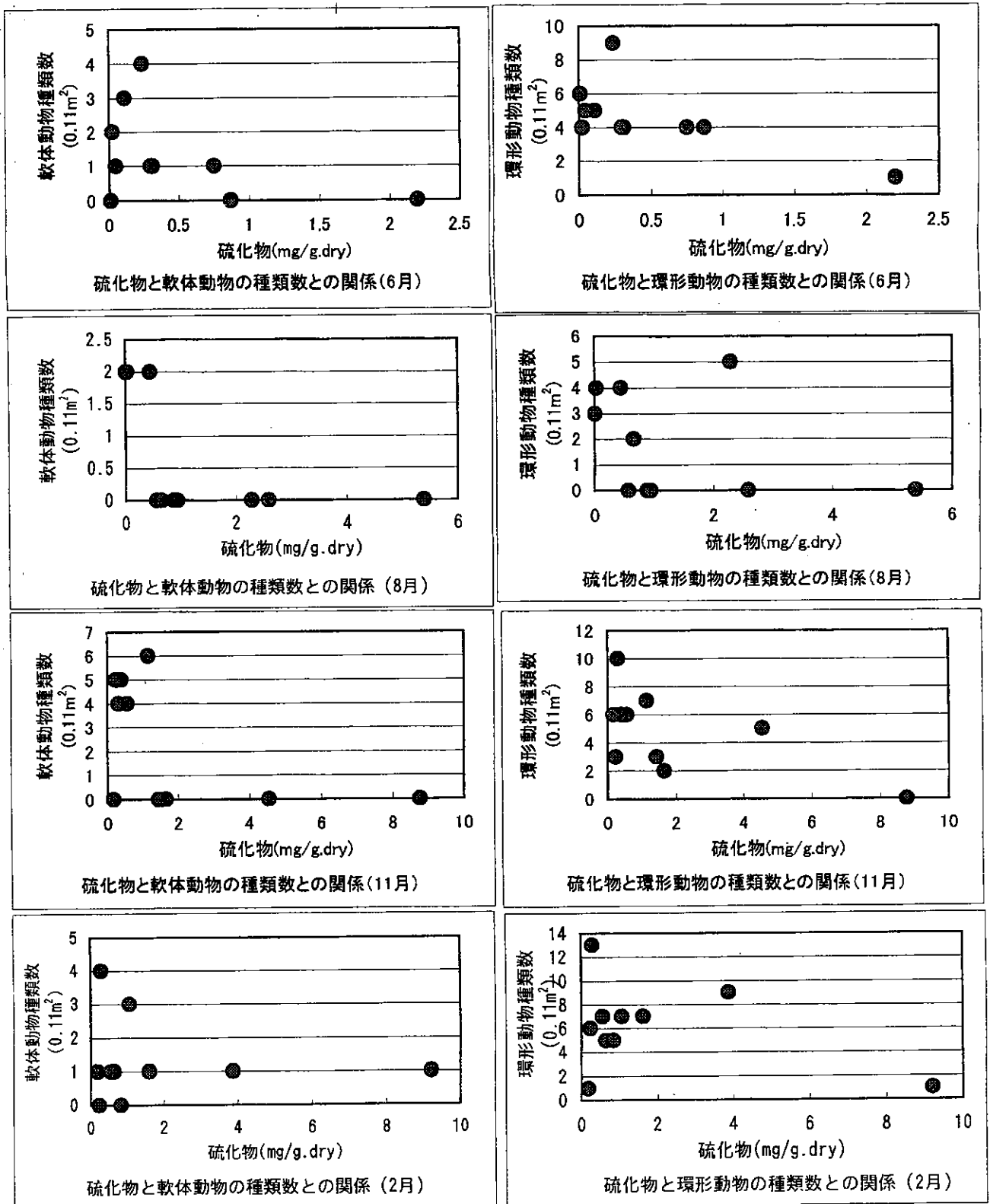
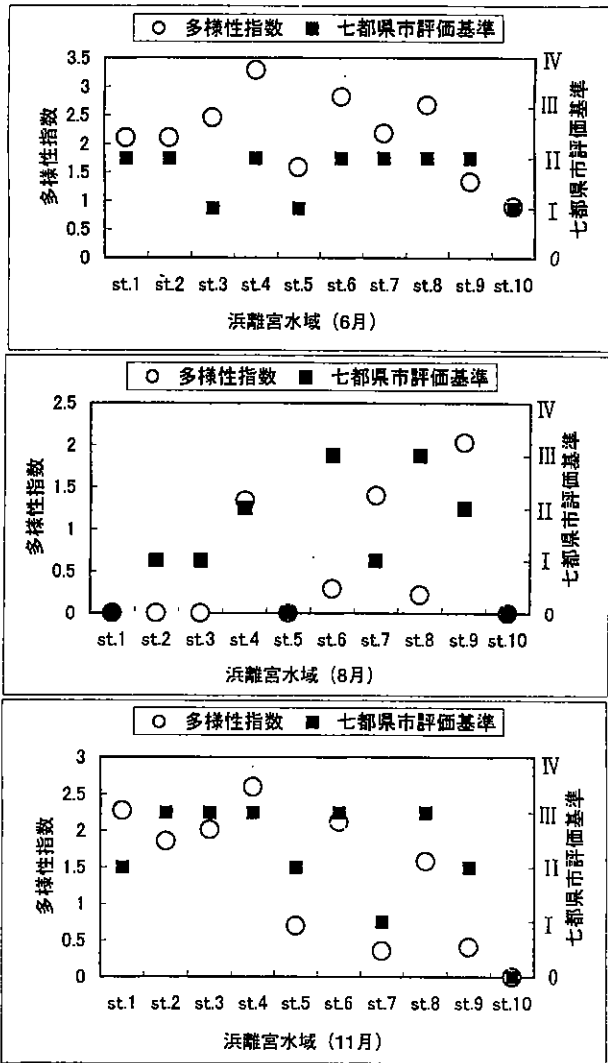


図9 硫化物と底生動物との関係



多様性指数(H'):底生動物の種類数と個体数のバランスの程度から評価する。  
七都県市評価基準:底生動物の構成や底質の状況をランク付けし、その総合評点から評価する。

図10 浜離宮水域の底層水域環境の評価

境が一時的に悪化する場合もみられる)と正反対の評価を示している。この原因として、多様性指数は底生動物のみの評価のため種類数と個体数のバランスが崩れれば低くなるが、評価基準では底質の強熱減量や優占種指標種の有無も評価に加えるなど、環境の実態をより詳細に反映したことによるものと推測される。st.6、st.8は(2)で述べているように唯一アサリの出現する水域である。11月になると水温も低下し、底層水域環境も比較的安定するため双方の評価はほぼ同じ傾向を示すようになる。双方の評価が共通して低く評価したのはst.5とst.10である。

以上の評価結果から、覆砂水域であっても地点によっては底層水域環境が悪化していることが推測された。また、双方の評価結果は、底層水域環境の安定する時期は概ね同じような傾向を示すが、底層水域環境の悪

化する時期にはバラツキが大きく多様性指数のみの評価では環境の実態を適切に評価できないことが示唆された。

#### 4 まとめ

浜離宮水域で施工された覆砂事業の効果とその持続性を検討した結果、次のことが明らかとなった。

- ①水質調査の結果、浜離宮水域では、底層水のDO濃度の低下や河川水の流入による塩分低下により生物の生息に支障の生じる時期のあることが推察された。
- ②全般的には、覆砂水域の底質は未覆砂水域や辰巳水域と比べて強熱減量、底質COD、硫化物、粒度組成が改善されており、覆砂の効果が認められるが、地点によっては汚泥の堆積が進みつつあると判断された。このことは、底泥の鉛直的性状調査結果からも推測された。
- ③生物的側面からも全般的には覆砂の効果が認められるが、地点によっては覆砂水域であっても水温の上昇する季節には生物の生息を難しくしていることが明らかとなった。
- ④底生動物の生息環境は概ねDO濃度3mg/l以上、強熱減量3%前後、硫化物0.5mg/g未満、シルト・粘土分20%以下が適していると考えられる。これらの値と比べると、浜離宮水域では覆砂水域でもst.1、5、7は底生動物の生息しにくい底層水域環境となっていることが推測された。
- ⑤多様性指数と七都県市の評価基準によると、覆砂水域であっても地点によっては底層水域環境が悪化していると評価された。また、双方の評価結果は底層水域環境の安定する時期は概ね同じような傾向を示すが、底層水域環境の悪化する時期にはバラツキが大きく多様性指数のみの評価では環境の実態を適切に評価できないことが示唆された。

#### 謝辞

調査やデータ解析で助言・ご指導を頂いた東京都港湾局海上公園課石塚達雄課長補佐、芳賀清貴様、(株)日本海洋生物研究所鋤崎課長、辻雅明様に心から感謝します。



### 参考文献

- 1) 安木茂、中村幹雄、三浦史絵、中尾繁：中海に施工した覆砂底におけるマクロベントス群集構造の遷移、水産増殖, Vol.47 o.2, pp.181-190(1999).
- 2) 金辻宏明、鈴木隆夫：赤野井湾漁場の水質、底質モニタリング調査、滋賀県水産試験場事業報告, Vol.1998, pp.110-111(1999).
- 3) 木村賢史、山田利治、市村康、木村尚：底層水域環境の変化に伴う微生物や底生動物の挙動について(その1), 土木学会年次学術講演会講演概要集第7部, Vol.54th, pp.90-91(1999).
- 4) 江藤拓也、中川浩一、佐藤博之：豊前海浅海域における覆砂による底質改善効果, 福岡県水産海洋技術センター研究報告 No.9, pp.61-65(1999).
- 5) 環境庁水質保全局：底質調査方法とその解説, 日本環境測定分析協会(1988).
- 6) 木村賢史、西村修、稲森悠平、須藤隆一：底生動物と生息環境との関係, 第1回日本水環境学会シンポジウム講演集, pp.43-44(1998).
- 7) 東京都環境科学研究所：東京都内湾に残る浅瀬が水環境の保全に果たす役割について, 東京都環境科学研究所ニュース, No.18(1998).
- 8) 東京都港湾局資料
- 9) 木村賢史、三好康彦、嶋津暉之、紺野良子、赤澤豊、大島奈緒子：人工海浜(干潟)の浄化能について(その5), 東京都環境科学研究所1992年報, pp.89-101(1992).
- 10) 木村賢史、川井利雄、三好康彦、嶋津暉之、曾田京三：東京都内湾全域の底生動物の現況と浄化量の検討, 東京都環境科学研究所1994年報, pp.173-182(1994).
- 11) 七都県市首脳会議環境問題対策委員会水質改善対策専門部会：東京湾における底生生物調査指針および底生生物等による底質評価方法, 全国公害研会誌, Vol.25, No.2(2000).

## Investigation of Efficiency of Sand Covering for Improving Sea Bottom Environments

Kensi Kimura, Haruo Ando, Masao Yamazaki, Ai Saito\* and Masami Saito\*\*

\*Associate researcher, \*\*Saitama Institute of Technology

### Summary

Effects of sand covering of a sea bottom were investigated at Hamarikyu, a seaside Japanese garden, water area, and its continuance. The following results were obtained:

(1) Where sand covering was completed in the Tatumi water area, sediment quality generally improved in ignition loss, sediment-COD, sulfide, and grain size distribution, compared with no sand covering. Accumulation of sediment however was evident at some investigation positions; this phenomenon was inferred from investigations of the perpendicular properties of the sea bottom sediment.

(2) The effect of sand covering works was also noted with regard to marine life. At investigation positions where sand covering works had been done: St.1 during FY1995; St.5 during FY1996; and St.7 during FY1997; the sea bottom became unsuitable for macrobenthos. An acceptable condition for same is considered to be: 3mg/l or more for dissolved oxygen; about 3% for ignition loss; sulfide <0.5mg/g; and silt · clay 20% or less.

**Keywords:** sand covering works, sediment quality, macrobenthos, dissolved oxygen, Hamarikyu