

# 三河湾での覆砂による底質浄化の環境に及ぼす効果の 現地実験

堀江 毅<sup>1</sup>・井上聰史<sup>2</sup>・村上和男<sup>3</sup>・細川恭史<sup>3</sup>

<sup>1</sup>正会員 工博 運輸省港湾技術研究所 次長 (〒239 横須賀市長瀬3丁目1-1)

<sup>2</sup>正会員 工博 運輸省港湾局 環境整備課長 (〒100 東京都千代田区霞ヶ関2-1-3)

<sup>3</sup>正会員 工修 運輸省港湾技術研究所 海洋水理部 (〒239 横須賀市長瀬3丁目1-1)

海底に堆積している汚染された底泥から多量の栄養塩が溶出する。このため、海底の底泥が汚染されたままではその海域の水質は依然として悪い状態にある。本研究において、覆砂による底質改善を行って底泥からの栄養塩の溶出量を削減するとともに、覆砂がもたらす周辺環境への影響についての検討を行った。三河湾を調査対象にして、底泥からの栄養塩の溶出の特性、覆砂域での水質、底質、底生生物の追跡調査を実施し、覆砂による海域環境への影響を調査した。この結果から、内湾域の水質環境の改善に覆砂による栄養塩の溶出の削減は大きな効果を持つことがわかった。

**Key Words :** sand covering, polluted sediments, water quality, nutrient salts, benthos

## 1. はじめに

内湾域の水質汚染の問題が叫ばれてから久しい。特に、周辺からの多量の栄養塩の負荷による富栄養化汚染は、赤潮、青潮の原因となり、この問題を解決するのが内湾域の水質環境問題の最重要課題である。

近年、多くの水質規制により徐々にあるが水質が改善されてきている。これは、周辺からの汚染物質の流入負荷量の減少が最も大きな要因である。しかし、毎年のように赤潮や青潮が発生する現状は、とても水質が満足できる状態に改善されたものとは言いがたい。この原因として、汚染された底泥からの栄養塩の溶出による内部負荷が考えられる。長年海底に堆積した堆積物は有機物を多く含んでおり、非常に汚染されている。この汚染された底泥から多量の栄養塩が溶出し、海域の大きな汚染源となっている。

この底泥からの栄養塩の溶出を削減する方法として、①底泥の浚渫、②磷の不溶化、③曝気による酸素供給、及び④底泥の被覆などの方法が検討されている<sup>1)</sup>。

底泥の浚渫は、汚染源としての底泥を海域から取り除くもので、汚染された浚渫汚泥が少なく、かつその最終処分が容易な場合には効果的な方法であると思われる。しかし、浚渫時の二次汚染や浚渫汚泥の処分方法等解決すべき課題は多いようである。

磷の不溶化とは、底泥上に薬剤を散布して溶出してくる磷と反応して安定化させる方法で、散布剤としてアルミニウム塩、石灰、フライアッシュ等が検討されている。

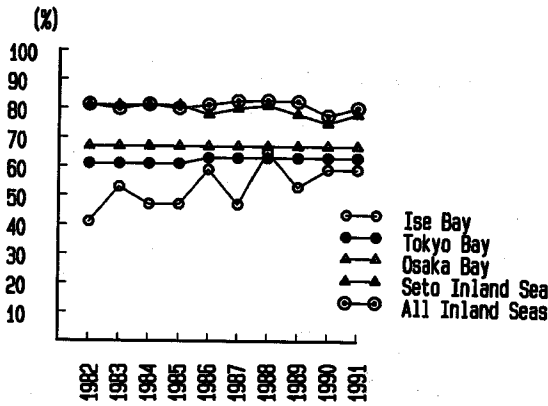
曝気による酸素供給とは、嫌気状態の時に栄養塩の溶出が多いことから底層に酸素を供給して好気状態にして栄養塩の溶出を低下させる方法である。

底泥の被覆による方法は、汚染された底泥をきれいな砂や粘土によって被覆し、底泥からの栄養塩の溶出を抑制するものであり、覆砂と呼ばれる。良質な覆砂材が容易に手に入る場合には有効な方法であると考えられる。

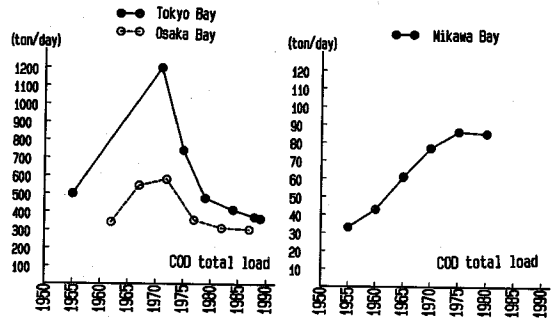
本論文は、これらの底質浄化の方法の中から、港湾や航路等から浚渫時に発生する良質な砂を被覆材に用いての覆砂による栄養塩の抑制について、特に三河湾で行った現場実験の結果を紹介するものである。また、覆砂による底質浄化の周辺環境に及ぼす影響を調査・検討したのものについても紹介する。

## 2. 閉鎖性内湾域の水質汚染機構

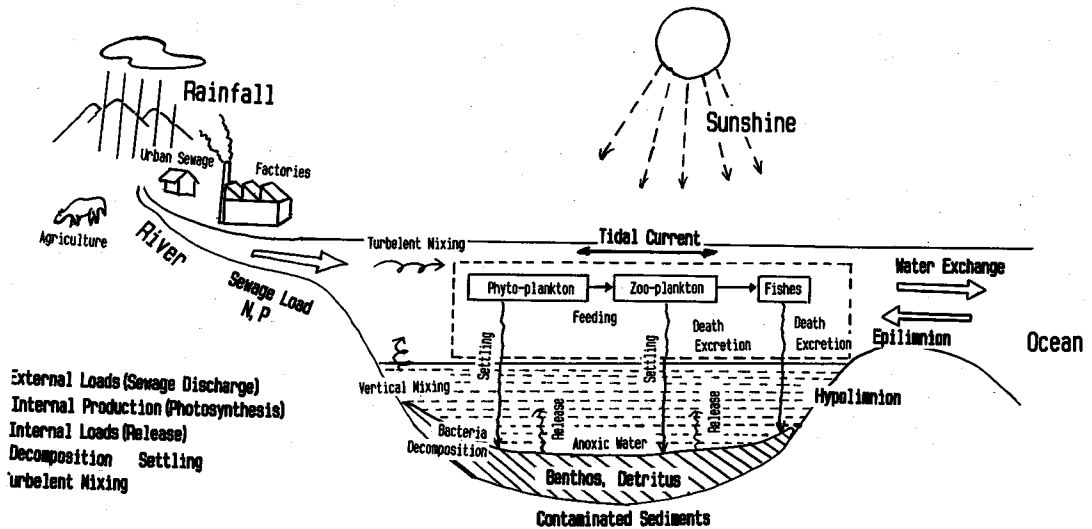
図-1は、我国の代表的な内湾である東京湾、大阪湾、伊勢湾および瀬戸内海での環境基準の達成率の推移<sup>2)</sup>を示したものである。上記の三大湾での環境基準の達成率は60%前後となっている。また、図-2には東京湾、大阪湾、及び本研究の調査対象としての三河湾に流入するCOD(化学的酸素要求量)の汚染負荷量の推移<sup>3)-5)</sup>を示す。東京湾、大阪湾の汚染負荷量は、1960年代後半から70年代前半にかけての高度経済成長期にピークを示し、それ以後は徐々に減少傾向にある。しかし、内湾域の水質は若干改善気味ではあるが、環境基準達成率が60%前後であることより、依然として汚染された状



図一 主要な内湾での水質の環境基準達成率<sup>2)</sup>



図二 東京湾、大阪湾、三河湾でのCOD負荷量の変化



図三 内湾域での汚染物質の循環の概念図

態が続いている。この状態は、数々の水質規制により周辺からの汚染負荷量は減少しているものの、その成果がまだ海域の水質を完全に改善するまでには至っていないことによるものと思われる。

図一三に汚染物質の循環機構の概念図を示す。内湾域の水質汚染は、基本的には周辺からの負荷（外部負荷：External Load）に対して、海水交換や自浄作用等の浄化能力の方が小さいために海域に汚染物質が蓄積した結果によるものと考えられる。その蓄積したものが海底に沈降（Settling）・堆積して、汚染された底泥を形成する。このサイクルにおいて周辺から海域に流出した栄養塩は潮流による移流、乱れによる拡散等によって輸送され、光合成による植物プランクトンの生成（内部生産：Internal Production）に利用される。植物プランクトンは、動物プランクトン、ネクトン等の餌となることなど食物連鎖、溶存酸素による分解（Decomposition）等が絡まっ

て複雑な栄養塩サイクルを呈す。海底では有機物を多く含んだ底泥が水中の酸素を消費する。したがって、上下混合の少ない夏期には底層の水塊は溶存酸素が消費されて貧酸素の水塊となる。底層が貧酸素水塊の還元状態となると底泥から多量の栄養塩が溶出（内部負荷：Internal Load）するようになる。

このような海域において富栄養化の原因物質である栄養塩濃度を削減するためには、周辺からの負荷量を削減することが最も重要であることはいうまでもない。しかし、生活廃水や農業用水から生活に必要な窒素・リン等の栄養塩の流出量を削減することはそう簡単なことではない。表一に示すのは、我が国の代表的な内湾域の諸元と外部負荷量、内部負荷量等の算定結果である<sup>6)</sup>。この表の内部負荷量は、現地での代表的な数点での生産速度及び溶出速度の算定結果を湾全域に拡張して概算したもので、精度に若干の問題点は残るが、オーダー的には合っ

表-1 主要な内湾の諸元と汚染物質の負荷量・溶出量<sup>6)</sup>

No	内湾の名前	東京湾	三河湾	大阪湾	広島湾	
1	面積 (km <sup>2</sup> )	1000	510	1400	1000	
2	容積 (10 <sup>9</sup> m <sup>3</sup> )	18	4.6	38	25	
3	平均水深 (m)	18	9.2	27	25	
4	河川流量 (10 <sup>9</sup> m <sup>3</sup> /day)	26	12	60	11	
5	流出負荷 (外部負荷) (ton/day)	COD	285	50	285	70
		TP	22	3.8	30	3
6	溶出量 (内部負荷) (ton/day)	COD	96	70	131	42
		PO <sub>4</sub> P	6.3	5.5	13.7	13
7	容積/流量 (No.2/No.4)	692 (day)	383	633	2270	
8	COD : 比率 (No.6/No.5)	0.34	1.40	0.46	0.60	
9	PO <sub>4</sub> P : 比率 (No.6/No.5)	0.29	1.45	0.46	4.3	

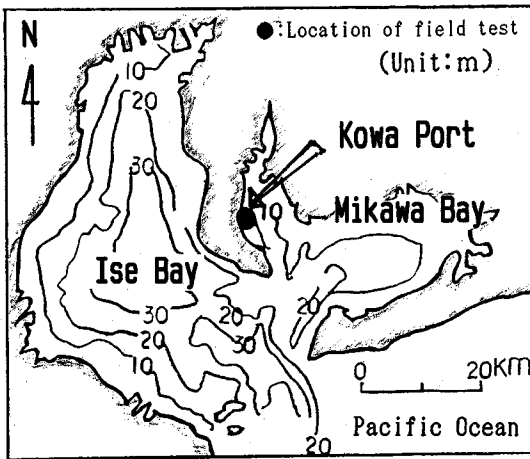


図-4 三河湾の地形と覆砂実験区域

ているものと判断される。この表からみると、東京湾・大阪湾では底泥からの栄養塩の溶出量の大きさは周辺からの外部負荷の30%~40%程度に相当する。また、三河湾、広島湾では底泥からの溶出量の方が周辺からの負荷量に比べて大きくなっている。このように、底泥からの栄養塩の溶出は海域における汚染負荷の大きな原因の一つであり、これを取り除くことは海域の水質浄化工法の有力な一つであることを示している。

### 3. 三河湾の水質・底質と栄養塩の溶出

水質改善のための底質浄化工法の検討を三河湾において実施した。三河湾は図-4に示すように東西約30km、南北約20km、表面積510km<sup>2</sup>の内湾で、伊良湖を通して伊勢湾に通じている。平均水深は9.2mと非常に浅く、典型的な閉鎖性内湾域である。図-5に示すのは三河湾内の数点で測定されている海水のCODの年平均値の経年変化である。2.5ppm~3.5ppmの範囲の値を

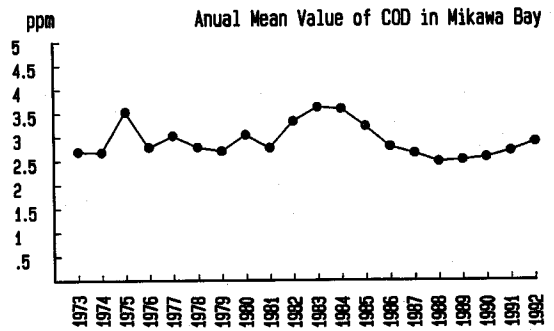


図-5 三河湾のCOD濃度(年平均値)の変遷

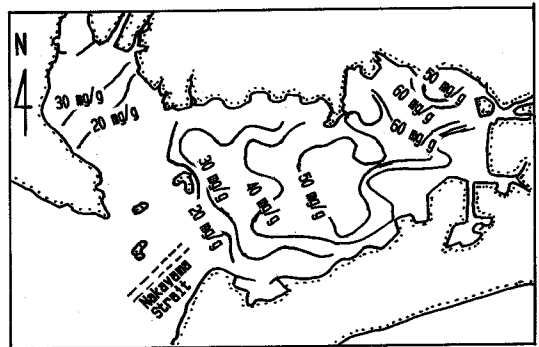


図-6 三河湾の底質CODの分布(mg/g乾泥, 1985年1月)

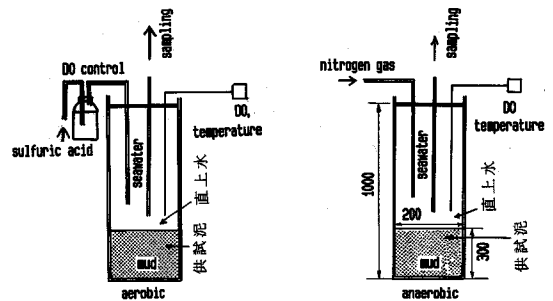


図-7 室内溶出試験の方法

示し、ほぼ横ばいの傾向でまだ汚染された状態である。また夏期には、赤潮も恒常的に発生し、底層のDOもかなり低い値を示しており、富栄養化がかなり進行した湾であると考えることができる。

三河湾の海底に堆積している底泥の底質測定を湾全域において実施した。その結果を図-6に示す。この値は底質CODで、乾泥1g中に含まれる有機物を化学的に酸化するのに必要な酸素量で示し、20mg/gを超えると汚染された底泥であるとみなされる。このことから、三河湾の底質は湾口部の伊良湖水道近傍を除いて湾全体にわたって汚染されているものと考えられる。

このように汚染された底泥からどの程度の汚染負荷、

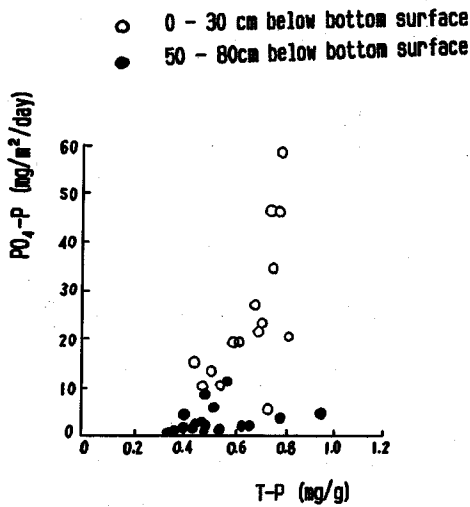


図-8 磷の溶出速度と底質との関係<sup>7)</sup>

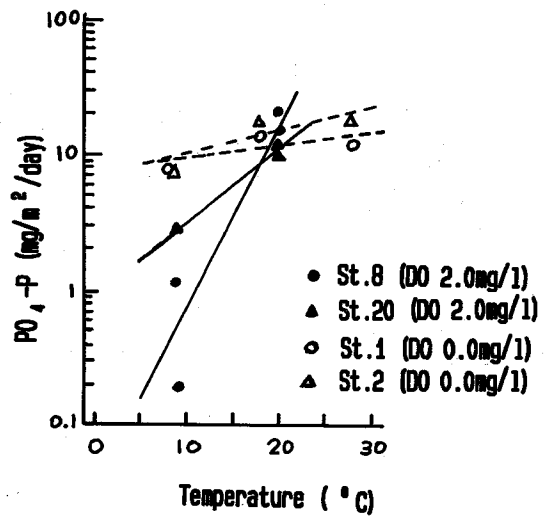


図-10 磷の溶出速度と水温との関係<sup>7)</sup>

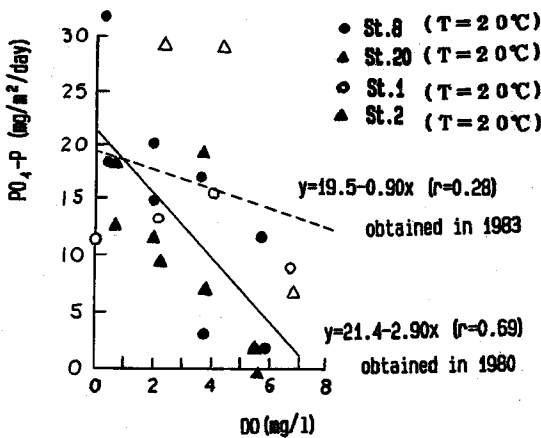


図-9 磷の溶出速度と直上水の DO との関係<sup>7)</sup>

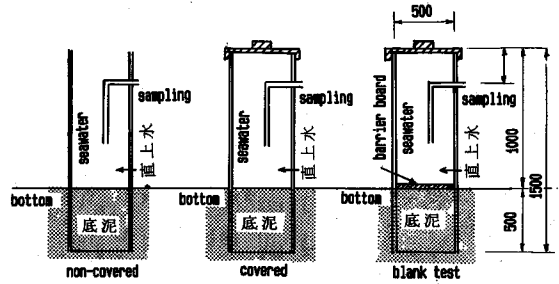


図-11 現場型溶出試験の方法

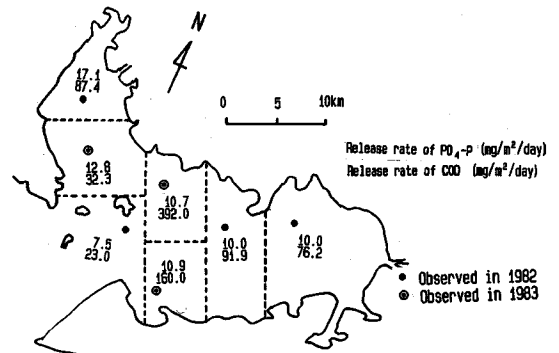


図-12 三河湾での磷と COD の溶出速度 (現場試験)

栄養塩の溶出があるかの算定を室内試験によって行った。現地から採取された底泥を図-7に示す試験器の底部に敷き詰め、直上水の水温、DO等の条件をいろいろ変えて底泥からの溶出量を算定することにより、底泥からの溶出速度と種々の条件での直上水との関係を算定した。その結果を、東京湾の底泥についてのT-P(総磷)の含有量と磷の溶出速度でまとめたものを図-8に、また同一の底質に対する直上水のDO濃度と磷の溶出速度の関係を図-9、水温との関係を図-10に示す<sup>7)</sup>。これらの結果から、汚染された底泥からの栄養塩の溶出速度は、DO濃度が低いほうが、水温は高いほうが、また底質は汚染されているほうが大きいという傾向が読み取れる。ここに示した結果は東京湾の底泥に対するものであるが、三河湾の底泥についても同様の傾向を示すと考えられる。

次に三河湾の底泥からの栄養塩の溶出について述べ

る。底泥からの溶出速度の測定法には、図-7に示す室内試験の他に、図-11に示す方法による現地溶出試験法があり、両方の方法での溶出試験を実施した。室内溶出試験の場合、種々の直上水の条件での溶出速度を測定できるという利点を持つが、試料採取の際に底質の条件が変化する可能性がある。これに対し現場法は、その地点での溶出量が直接測定できるという利点を持つ。ただ

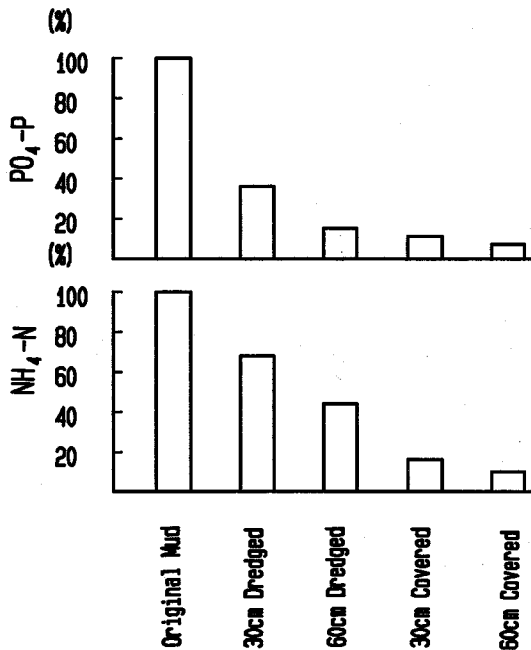


図-13 浚渫、覆砂による窒素・磷の溶出削減（室内試験）

し、現場法は測定条件の変化により結果が変化し、その条件をコントロールすることが非常に難しいという欠点を有する。三河湾の現場溶出試験を図-12に示す7つの測点で実施した。図中、黒丸は1982年の夏期の、また二重丸は1983年の夏期の結果であることを示す。その結果から、CODと磷の溶出速度の結果を同図に示す。磷の溶出速度は7~17 mg/m<sup>2</sup>/dayと測点による差はそう大きくなかったが、CODの溶出速度は23~392 mg/m<sup>2</sup>/dayと測点によって大きな差となった。この結果をもとに、図に示すような区分で三河湾全域に対する汚染物質の溶出負荷量を算定すると、CODが70 ton/day、磷が5.5 ton/dayとなる。

#### 4. 三河湾における底質浄化の検討

底泥からの栄養塩の溶出を削減する方法としては、底泥を取り除く浚渫工法と底泥に蓋をする覆砂工法とがある。まず、室内溶出試験により浚渫と覆砂による栄養塩溶出削減効果の検討を行った。図-13に示すのは、室内溶出試験から求めた三河湾の底質に対する浚渫と覆砂による溶出量の削減効果である。三河湾中央部の海底から採取した底泥を表層から30 cm、60 cm取り除いたもの、および底泥上にきれいな砂を30 cm、60 cm覆砂したものの供試体を作り、それから溶出する窒素と磷の溶出速度と現場状態の底泥からの溶出速度との比較を行ったものである。浚渫の場合の溶出削減効果は汚染された

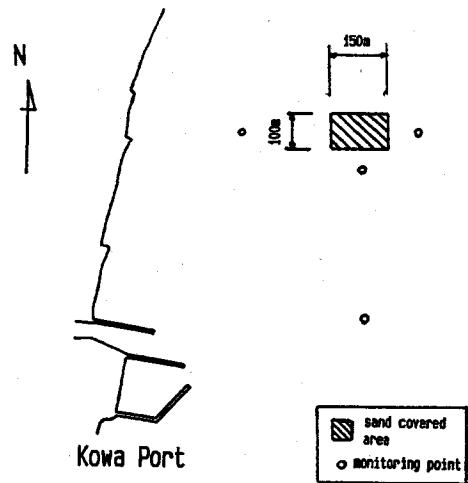


図-14 覆砂実験区域（三河湾河和港沖）

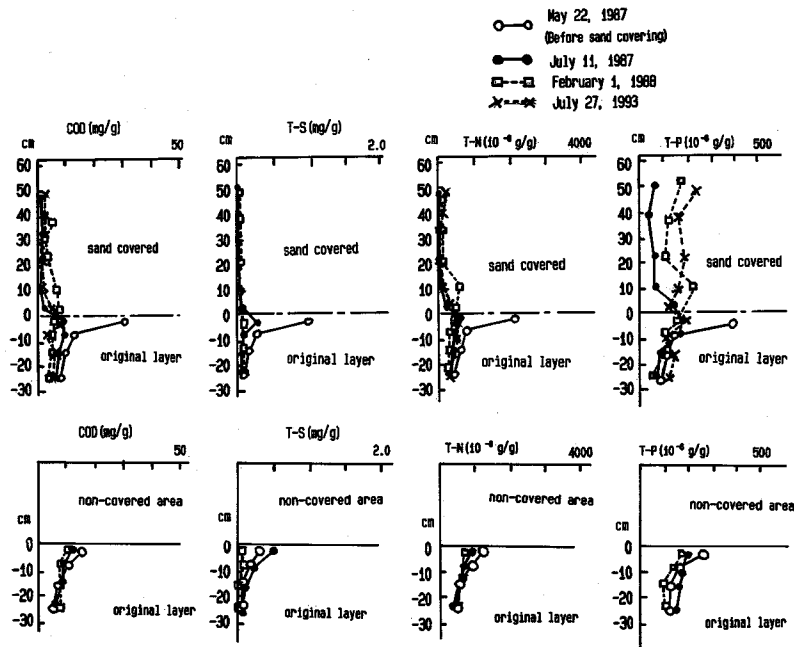
表-2 覆砂試験工事の概要

海域	三河湾
覆砂試験地点	河和港沖 (図-14)
水深 (試験工事地点)	5 m (基本水準面より)
覆砂工事時期	1987年6月
覆砂工事範囲	1.5 ha (100m x 150m)
覆砂の厚さ	50 cm
覆砂材料	中山水道の浚渫砂
覆砂材の粒度組成	礫1%, 砂98%, シルト1%
覆砂工法	アンローダーバージ

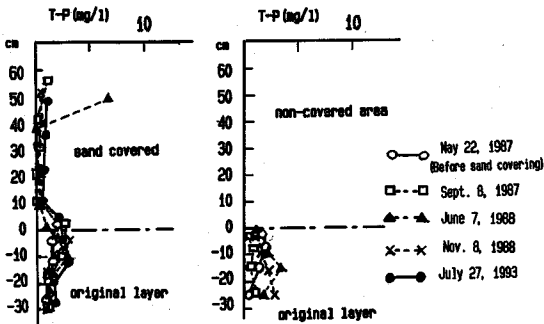
底泥の堆積厚により変化するので一概に比較できないが、三河湾の場合は覆砂の方が削減効果は大きく、30 cm~60 cm厚さの覆砂で窒素・磷とも僅か10%~20%程度の栄養塩の溶出速度となっている。もちろん覆砂の場合にはどんな底質の砂で覆砂するのが重要な要素となるが、ここでは表-2に示すように、汚染されていない海砂を用いている。

以上のような検討を踏まえて、三河湾において実際の海域での覆砂に関する現場実験を実施した。覆砂の実施地点は図-4の黒丸で示した三河湾西部の河和沖である。覆砂域は東西150 m、南北100 mの面積1.5 haの範囲である。その概略図を図-14に、また覆砂工事の内容を表-2に示す。覆砂工事は、海底に砂を撒く際に発生する濁りを抑えるためにアンローダーバージを用いて50 cmの覆砂厚にした。

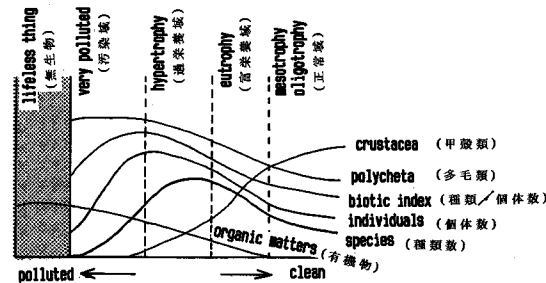
覆砂を行った後、覆砂の周辺環境に及ぼす効果の確認を行うために水質、底質、底生物、間隙水の水質等の種々の追跡調査を行った。水質改善効果に関しては、覆砂域の面積は三河湾の面積に対して微小であり、また海水は潮流によって流動するために確認不可能であるので



図—15 原地盤域と覆砂域の底質の比較 (上：覆砂域, 下：原地盤域)



図—16 原地盤域と覆砂域の間隙水の水質の比較



図—17 底生生物の多様性と底質の汚染度<sup>8)</sup>

ここでは省略する。まず、覆砂域内の底質の測定結果を図—15に示す。覆砂実施前の底泥表層での高い栄養塩濃度および底質 COD は、覆砂直後から1~6年後の結果では、T-Pは徐々に増加気味ではあるが、その他の

項目では覆砂前の表層泥に比べてかなり小さい値を示している。これは覆砂した砂の底質がそのままの底質を保持しており、汚染された底泥との攪乱、あるいは新生堆積物の新たな堆積による底質悪化は少ないことを示している。図—16に示すのは、覆砂域内の間隙水の T-P 濃度の結果である。この図より、覆砂層内の間隙水の T-P 濃度は、1988年7月の覆砂域の表層泥を除いて、原地盤層の間隙水の T-P 濃度よりも低く、栄養塩の海水への溶出はこの間隙水と海水との交換を通して海水中に拡散して行くことを考えると、覆砂による栄養塩の溶出量削減の効果の持続性を示している。しかし、図—15における底質の T-P の増加、あるいは図—16の表層泥の間隙水の T-P の高い濃度が一時的ではあるが得られているのは、若干ではあるが新生堆積物が覆砂域に堆積していることの徴候を示しているものと考えられる。

このような底質改善が海底の生物環境にどのような影響を及ぼすかを調べるために底生生物調査を行った。海底に棲息するベントスの種類、特にベントスの個体数および種類数は、底質の汚染度によって図—17のように変化するといわれている<sup>8)</sup>。この図によると、汚染に弱い甲殻類は汚染の進行とともに減少し、逆に汚染に強い多毛類が増加する。しかし、さらに汚染が進むと多毛類も棲息できなくなり無生物域となる。また、底泥の栄養塩が過度になるとベントスの種類数/個体数が減少して均質的な生物相となる、といった傾向を示している。した

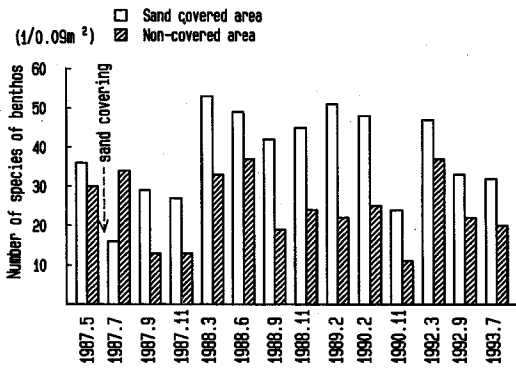


図-18 (a) 原地盤域と覆砂域の底生生物の種類数

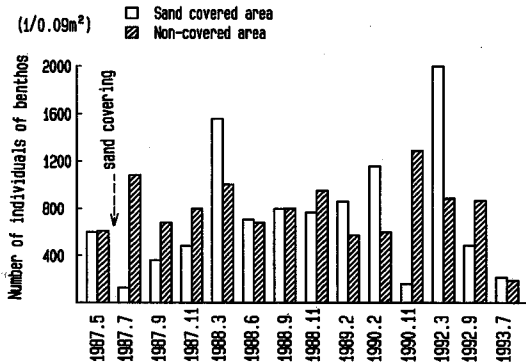


図-18 (b) 原地盤域と覆砂域の底生生物の個体数

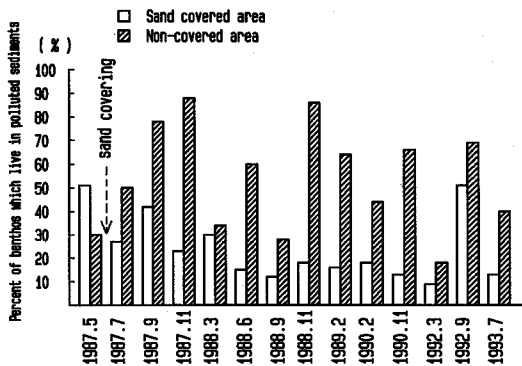


図-19 原地盤域と覆砂域の底生生物の汚染種の割合 (%)

がって、底生生物の種類数/個体数の増加は生物の多様性を増し、底生生物の棲息環境の改善を意味しており、これは海域環境の改善につながる。覆砂工事後の覆砂域と原地盤での底生生物調査の結果<sup>9)</sup>から、種類数を図-18 (a)、個体数を図-18 (b) に示す。覆砂域内の底生生物は原地盤域と比べて個体数は明確でないが、種類数は増加している。また図-19 には、覆砂域と原地盤域に棲息する底生生物の内、汚染に強い種類の生物 (ヨツパネスピオ、シズクガイ、ハナオカカギゴカイ、ホト

トギスガイ) が全体の生物に占める割合を示す。明らかに原地盤域における汚染種の底生生物の占める割合が覆砂域に比べて大きい。このことより、覆砂域の底生生物は多様性を増しており、底生生物に対する棲息環境は改善されていることがわかる。このような傾向は、覆砂工事6年後の追跡調査結果からもみられ、かなり長期にわたって覆砂の効果が持続していることが示されている。

## 5. 数値モデルによる水質改善効果の予測

覆砂工事の領域は1.5 haと三河湾の規模に比べると小さい。したがって、この調査によっては覆砂による水質改善効果を検証することは不可能である。そこで、覆砂による栄養塩の溶出削減効果を考慮した場合の水質に及ぼす影響を数値モデルによって予測した。数値モデルは、磷を制限因子とした栄養塩循環モデルである。

図-20 に海域および底泥層での磷の循環の概略を示す。三河湾を上・中・下の3層に分割し、有機磷、無機磷、溶存酸素、CODそれぞれの質量保存則による基本方程式の概略を以下に示す。ただし $t$ は時間を示す。有機磷 (1~3層)

$$\frac{\partial(OP)}{\partial t} = \pm(\text{移流}) \pm(\text{拡散}) \pm(\text{鉛直混合}) + (\text{沈降})^* - (\text{沈降}) - (\text{生産}) - (\text{分解}) + (\text{流入負荷量}) \quad (1)$$

無機磷 (1~3層)

$$\frac{\partial(IP)}{\partial t} = (\text{移流}) \pm(\text{拡散}) \pm(\text{鉛直混合}) - (\text{生産}) + (\text{分解}) + (\text{流入負荷}) + (\text{溶出})^{**} \quad (2)$$

COD (1~3層)

$$\frac{\partial(COD)}{\partial t} = \pm(\text{移流}) \pm(\text{拡散}) \pm(\text{鉛直混合}) + (\text{沈降})^* - (\text{沈降}) - (\text{生産}) - (\text{分解}) + (\text{流入負荷量}) + (\text{溶出})^{**} \quad (3)$$

DO (1~3層)

$$\frac{\partial(DO)}{\partial t} = \pm(\text{移流}) \pm(\text{拡散}) \pm(\text{鉛直混合}) + (\text{生産}) - (\text{分解}) \pm(\text{大気との交換})^{***} - (\text{底泥消費})^{**} \quad (4)$$

ここに、\*は表層では考慮しない項、\*\*は底層のみ考慮する項、\*\*\*は表層のみ考慮する項である。これらの式において、移流・拡散には水平流速と水平拡散係数を、鉛直混合には鉛直流速と鉛直拡散係数を、沈降には浮遊物の沈降速度を、生産には光合成による植物プランクトンの合成、それにとまう磷の無機態から有機態への移行、CODの上昇、DOの生成、有機物の分解にとまう磷の有機態から無機態への移行、CODの浄化、DOの消費、底泥によるDOの消費、底泥からの無機磷、CODの溶出等の大きさを現場実験や室内実験で求める必要がある。ここでは、富栄養化モデルの概略について

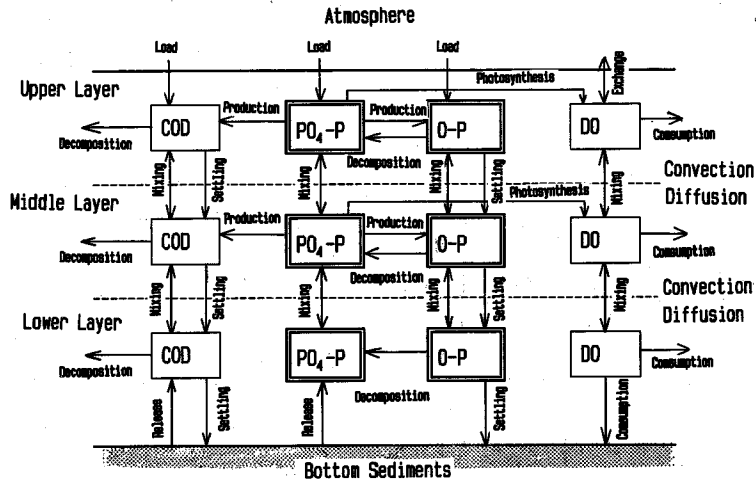


図-20 富栄養化モデルのモデル構成 (燐循環)

表-3 富栄養化モデルの計算条件 (諸係数)

諸元	計算条件
タイムステップ (秒)	流れ: 360 秒, 水質: 1080 秒
計算時間 (潮汐数)	120 潮汐
流入負荷量	図-21, 及び表-4 参照
境界条件	希釈係数 0.99, DO は 1.0
境界潮位 (振幅, 位相)	A 点: 55cm, 4° (図-21 参照) B 点: 53cm, 0°
初期値 (mg/l)	O-P: 0.03 - 0.036 mg/l PO <sub>4</sub> -P, DO, COD は 0.0 mg/l
沈降速度 (m/day)	O-P 0.49 - 0.71 COD 0.51 - 1.12
分解速度 (1/day)	O-P 0.092 - 0.125 COD 0.045 - 0.072
底泥の DO 消費	全域 2000 mg/m <sup>2</sup> /day
再曝気係数 (1/day)	0.5
生産速度定数: $\mu_0$ (1/day)	上層: 0.552 - 0.581 中層: 0.281 - 0.403 下層: 湾奥, 湾央 0.0, 湾口 0.187
溶出速度 (mg/m <sup>2</sup> /day)	COD, 燐とも図-12 参照
海水温	上層 24.9 °C 中層 23.3 °C 下層 21.9 °C

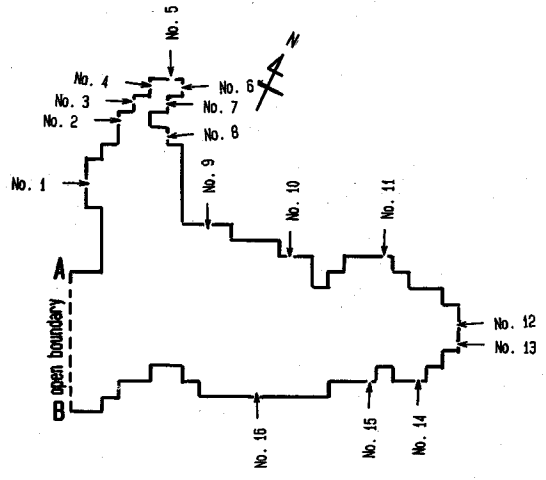


図-21 負荷点の位置 (表-4 参照)

示した。富栄養化モデルの詳細については参考文献 10) を参照されたい。本研究の数値モデルにおいて用いた種々の係数を表-3 に示す。周辺からの負荷量に関しては、図-21 に負荷点の位置を、表-4 にその大きさを示す。ここに示した値は、室内実験や現場での調査等によって求めたものである。海水の水温は溶出の大きい夏期に設定している。生産速度、分解速度等は夏期の水温・照度を考慮して設定している。また、底泥からの COD 及び栄養塩の溶出速度を図-12 に示した値の場合を現況ケースとして、三河湾全域を良質の砂で覆砂した場合の水質改善効果を想定したケースと周辺からの負荷量を削減した場合の水質改善を想定したケースの計算を行っている。ここでは底泥からの栄養塩の溶出削減の効果と周囲からの負荷量削減効果とを比較するために、想定ケースとしては、極端な仮定として三河湾全域の底質からの

栄養塩の溶出はないもの (溶出量カット) 及び周辺からの汚染負荷が何もないもの (負荷量カット) を仮定した計算を実行した。

図-22 に現況ケースの COD の平面分布の結果を示す。図-23 には現地の COD 濃度の測定結果を示す。どちらも、湾奥では 3~4 mg/l, 湾央では 2~3 mg/l, 湾口で 2 mg/l 前後の濃度を示しており、図-22 の計算結果は図-23 の測定結果の分布に近い値となっており、ほぼ現況の条件をモデルによって再現できたものと考えられる。次に非常に極端な仮定のケースの一例として湾全域から栄養塩の溶出が 100% カットされた場合の結果を図-24 に示す。このケースの COD 値は現況のケースと比較して上層で 2 ppm, 下層で 1~2 ppm とかなり減少しており、底泥からの栄養塩の溶出を完全に削減すればかなりの水質改善効果を示すことがわかる。



表-4 CODとT-Pの負荷量(図-21参照)

負荷点 (図-21)	淡水流入量 (1000m <sup>3</sup> /day)	COD (ton/day)	T-P (ton/day)
No.1	13	1.94	0.050
No.2	0	0.43	0.023
No.3	209	1.96	0.022
No.4	0	0.01	0.000
No.5	0	4.38	0.270
No.6	2596	12.74	1.141
No.7	0	0.13	0.006
No.8	4360	6.36	0.459
No.9	524	1.91	0.212
No.10	3	0.27	0.014
No.11	39	4.32	0.144
No.12	0	2.09	0.130
No.13	3325	5.66	0.411
No.14	302	5.18	0.560
No.15	2	0.03	0.002
No.16	29	2.48	0.268
合計	11402	49.89	3.712

注) O-P, I-Pの負荷はT-Pを0.61対0.39の割合で分けて行った。

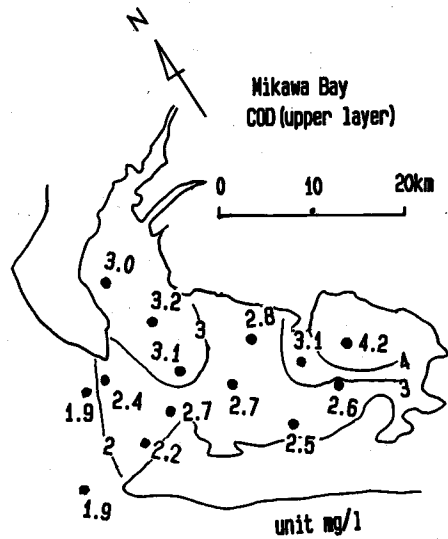


図-23 CODの観測結果(年平均値:表層)

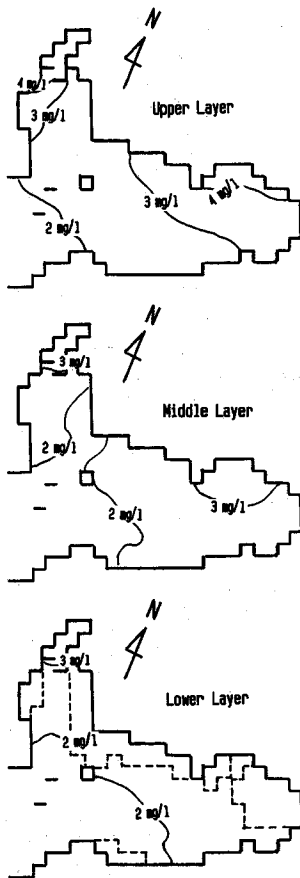


図-22 COD分布の計算結果(現況条件)

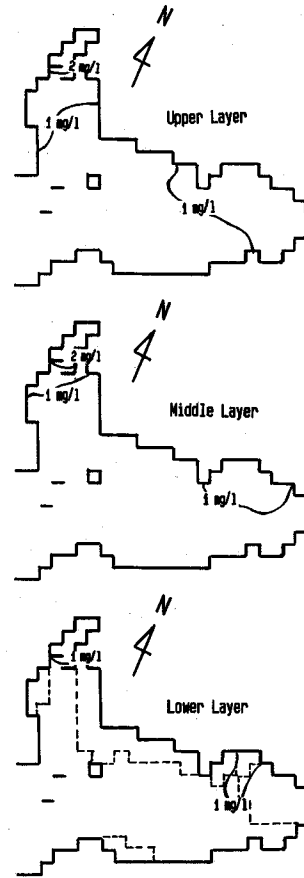
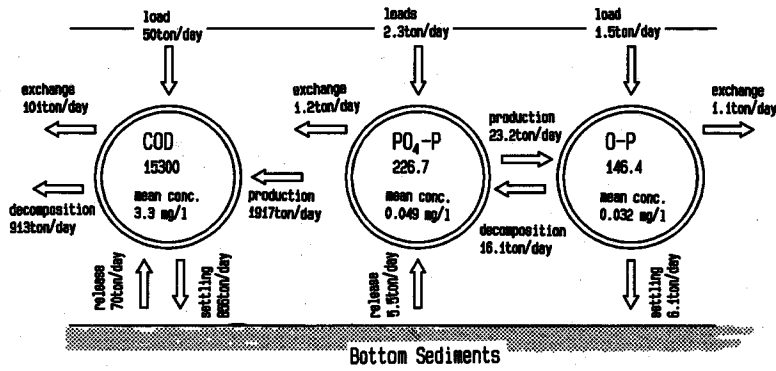
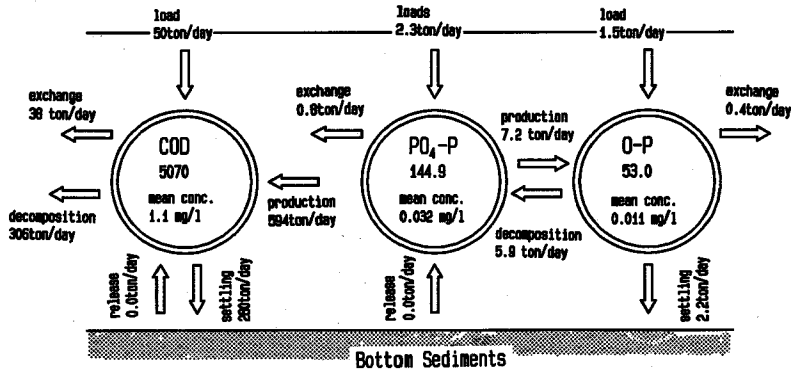


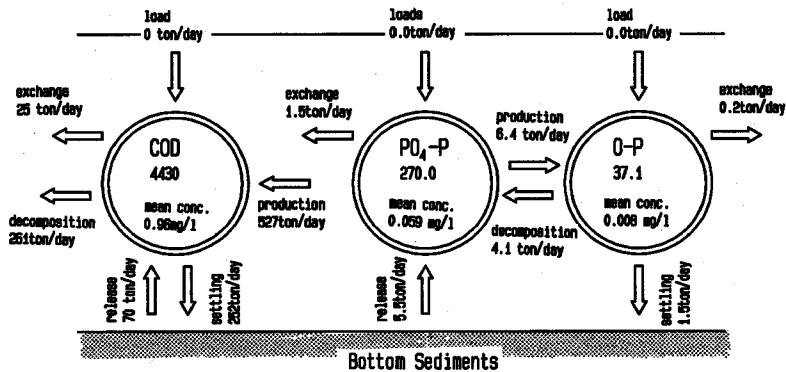
図-24 COD分布の計算結果(溶出量カットの条件)



図—25 CODと磷の流れ（現況条件）



図—26 CODと磷の流れ（溶出量カットの条件）



図—27 CODと磷の流れ（負荷量カットの条件）

以上の計算結果から栄養塩としての磷の流れを求めた結果を現況に対して図—25に、仮定の溶出量カットのケースに対して図—26に、負荷量カットのケースに対して図—27に示す。現況ケースの場合、底泥から海水に溶出するCODの量は70.0 ton/day、磷の量は5.5 ton/dayであり、これは周辺からのCODの負荷量50.0 ton/day、磷の負荷量の3.8 ton/dayに比べて約150%と大きい値となっている。この約150%に相当する量を

カットしたケースなので三河湾のCODの現存量は平均濃度で3.3 mg/lから1.1 mg/lに減少し、約70%の削減効果となった。また、負荷量をカットした場合の平均濃度は0.96 mg/lであり、溶出量カットの場合とほぼ同等の結果となった。以上のことから、底質改善による溶出量削減は周囲からの負荷量削減と同様、水質改善にとって重要な方策の一つであることが分かる。

しかし、図—13に示したように覆砂をした場合でも

原地盤の10%程度の溶出があること、また図—25, 26に示すように現状でも仮想のケースでも海域から海底へかなりの量の沈降が常に生じており、これが新生堆積物を形成する。この新生堆積物からの栄養塩の溶出も将来的には考慮する必要があり、図—24に示したような水質の改善効果は得られないかも知れない。しかし汚染されない砂で底質を改善することは、底生生物の種類数を増加させ、ベントスの生態系を多様性の豊かな生態系に改善するとともに、海域の水質を改善する効果がある。特に底質の改善は海底近傍での溶存酸素の消費量が減少し、底層での貧酸素水塊の形成を防止することにより、底生生物の棲息を助長するとともに、青潮等の漁業被害も減少するものと考えられる。

## 6. ま と め

内湾域の水質汚染の改善手法の一つとして、底泥からの汚染負荷を削減する覆砂工法についての検討を、三河湾を対象海域として行った。以上の検討から得られた結果を以下に示す。

- (1) 溶出の室内実験により底泥からの栄養塩の溶出速度の底質、水温、DO濃度との特性が示された。また、底泥の浚渫あるいは覆砂による溶出速度の削減効果が得られた。
- (2) 三河湾の覆砂の実験海域から、覆砂域での底生生物の生息環境の改善、底泥からの栄養塩の溶出量の削減効果が認められた。
- (3) 数値計算により、湾内の水質に対して、負荷量削減と溶出量削減が同程度の効果があることが確かめられた。この結果は、今後の三河湾の浄化対策を進めていく上で参考になるものと思われる。

本報告は、運輸省港湾局、港湾建設局、港湾技術研究所が共同で行った底質浄化に関するワーキンググループでの三河湾での覆砂による海域環境改善効果の検討結果の一部<sup>7)</sup>、およびその追跡調査の一部をまとめたものである。本調査に関する関係各位、特に運輸省第五港湾建設局海域整備課の皆様には感謝致します。

## 参考文献

- 1) 丸山俊朗, 鬼塚正光: 水域浄化法(主として直接的方法)の解説, 沿岸域および海洋の環境保全・改善利用と技術に関する調査研究報告書, 国際海洋科学技術協会, pp.109-125, 1993.
- 2) 環境庁編: 環境白書—平成5年度版一, 大蔵省印刷局, 1993.
- 3) 小倉紀雄編: 東京湾—100年の環境変遷—, 恒星社厚生閣, p.158, 1993.
- 4) 東京湾21世紀構想基礎調査ワーキンググループ報告書—豊かな東京湾をめざして—, (社)海洋産業研究会, 225 p., 1987.
- 5) 環境庁水質保全全局編: かけがえない東京湾を次世代に引き継ぐために, 東京湾水域環境懇談会, 70 p., 1990.
- 6) 堀江 毅: 海域の物質循環過程のモデル化と浄化効果の予測手法について, 港研報告, 第26巻4号, pp.57-123, 1987.
- 7) 運輸省港湾局: 底質浄化技術の開発ワーキンググループ報告書, pp.83-85, 1985.
- 8) 北森良之介: 環境指標としての底生生物(2)—指標生物を中心として—環境と生物指標2—水界編—共立出版, pp.265-273, 1975.
- 9) 運輸省港湾局環境整備課: 三河湾における覆砂による環境の変化について, 24 p., 1994.
- 10) Horie, T.: Modeling for the prediction of the effects of sea bed sediment treatment on the improvements of ecological condition and sea-water quality, *Report of PHRI*, Vol.26, No.5, pp.175-214, 1987.

(1995.1.31)

## STUDY ON IMPROVING OF BOTTOM SEDIMENTS QUALITY BY SAND COVERING IN MIKAWA BAY

Takeshi HORIE, Satoshi INOUE, Kazuo MURAKAMI  
and Yasushi HOSOKAWA

Nutrient salts (P,N) released from polluted sea bottom sediments cause eutrophication problems in coastal seas. The amount of released nutrient salts in Mikawa Bay is larger than the discharged loads from surrounding sources. In order to reduce the release rate of nutrient salts, field studies of sand covering, that is polluted sediments are covered with clean sands, were carried out in Mikawa Bay. By the experiments, it was shown that the sand covering has large effect on release rate reduction of nutrient salts from polluted bottom sediments, and improves the living environment for benthos. By numerical simulations, the effectiveness of sand covering on water quality improvement was investigated.