

文献調査委員会

海底の土の工学的性質について
Proc. of A.S.C.E., SM/国生 剛治
 防舷材に作用する衝撃エネルギーの測定
Dock & Harbour Authority/門司 剛至
 大河川における拡散実験
Geological Survey Water-Supply/馬場 洋二
 下水処理水の海洋処分
Jour. of Water Pollution Control Federation/藤田 昌一
 カリフォルニア, サンディエゴ市排水の海洋への影響
Jour. of Water Pollution Control Federation/藤田 昌一

海底の土の工学的性質について

“Engineering Properties of Submarine Soils: State-of-The-Art Review”

Noorany, I. and Gizienski, S. F.

Proc. of A.S.C.E., SM Vol. 96, No. 5 (1970)

(1) まえがき

本文は海底における土質調査法の概要と、土の工学的性質に関して現在まで発表されている資料をまとめたものである。

現在および将来の海洋土質工学の応用分野としては次のものがあげられる。

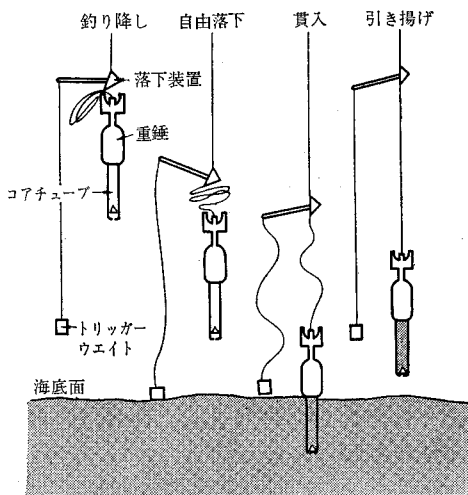
- ① 港湾設備の設計と施工, ② 海底油田探掘のプラットフォームや貯油タンクなどの設計と施工, ③ 海底斜面の安定の問題, ④ 海岸侵食, 漂砂, しゅんせつ, 基礎の洗掘, ⑤ 海底土にアンカーをとる問題, ⑥ 海底ケーブル, パイプライン, ⑦ サルベージ作業, ⑧ 人工島, ⑨ 海中建造物, ⑩ 海底鉱山の探掘

(2) 海底の土質調査

1) 音響探査 2つの船で行ない音波の土層による屈折を利用する方法と、1つの船で行ない音波の反射を利用する方法とがある。この方法で土質を探るには、土中における音波の速さをあらかじめ知らなければならない。多くの地点についての試験結果では、音波速度は普通の粘土で 1500 m/sec, 砂で 1800 m/sec 程度の値が得られている。土中の音波速度は一般に間げき率が大きくなるに従って減少するが、間げき率 0.55 以上の粘土では海水中の音波速度 1500 m/sec (29°C) よりも遅い。

2) 試料採取 今日試料採取用に各種のサンプラー

が使用されている。海底面近くのそれほど深くない土の乱されない試料を採取するサンプラーとしては、ピストンサンプラーとグラビティコーアラが代表的であり、図一1 に示すような方法で試料を採取する。そのほかに



図一1 海底土のサンプリング法

火薬の推進力を利用した比較的深部の土を採取できるもの、引揚げ用の装置を必要とせず、試料を取ったあと、自分の浮力で回収されるようなものも実用化されている。

海底深部の土の採取は海底油田探掘や、モホール計画をはじめとする各種のプロジェクトによるボーリングにより行なわれている。

陸上でのサンプリングと同様にサンプリングの際の試料の乱れが問題となるが、ことに深海におけるサンプリングについては、3000 m の水深について 1.4% の間げき水の体積変化があり、また、間げき水の中に溶けていた気体が気泡となって出てくることも考えられるが、それらが土の組織に与える影響についての解明はまだ進んでいない。

3) 現位置試験 陸上におけると同様にベーンせん断装置や円錐貫入装置が使用されている。そのほかに貫入時の装置の加速度変化を計測して貫入抵抗を知る装置も考案されている。

(3) 海底の土の種類と性質

1) 海底面付近の土 大陸棚は陸地の地形との関係により、砂、シルト、粘土によっておおわれ陸上と差異がないのに対して、大洋の海底はおもに「石灰質沈泥」、「珪酸質沈泥」、「brown clay」によりおおわれていて、陸上とは異なっている。各海洋における海底の粘土鉱物の割合を表一1 に示す。赤道付近と極地方の海は海洋生物の生成が豊かで、この地域では深度 4200 m までの海底は石灰質沈泥が分布し、それより深いところは珪酸質

表-1 大洋における粘土鉱物の割合

海洋名	サンプル数	クロライト (%)	モンモリロナイト (%)	イライト (%)	カナオライト (%)
北大西洋	202~206	10	16	55	20
南大西洋	196~214	11	26	47	17
北太平洋	170	18	35	40	8
南太平洋	140~151	13	53	26	8
インド洋	127~129	12	41	33	17

沈泥が分布している。その他の地域では浅部に石灰沈泥が、深海に“brown clay”が分布している。

2) 海底面下の深部の土 大陸棚については特にメキシコ湾やアラスカ湾での石油採掘に伴って、また、深海については各種のプロジェクトにより調査されているが、発表されているデータも少なく、不明なところが多い。

(4) 海底の土の圧密特性とせん断強度

海底土はその圧密特性によって未圧密土、正規圧密土、過圧密土にわけられ、おのおののせん断特性も異なっている。

1) 未圧密土 (Under-consolidated clay) これについてのくわしい調査はミシシッピー河口付近のメキシコ湾で行なわれている。河からの流出粘土の堆積の速度がきわめて大きいため、上部の新しい層は未圧密状態にあり、せん断強度が 0.1~1.0 t/m² で、海底面下 76 m まで、ほとんど増加しない。未圧密土に関する解析は Terzaghi Olsson によってなされており、堆積層の深さ方向の平均の圧密達成度は堆積が進むにつれてむしろ減少すること、その結果、非排水せん断強度は深さ方向にほとんど一定であることが理論的に説明されている。

2) 正規圧密土 (Normally consolidated clay)

大西洋と太平洋の深さ 400~5100 m の海の7つの地点から採取された粘土の試料によると、非排水せん断強度は表層 15 cm の厚さにおいて 0.06~0.43 t/m² であり、深さ 90~180 cm の層では 0.54~2.34 t/m² で、鋭敏比は 2.0~4.5 くらいである。海底面下の深い部分の土についてはモホール計画によって得られたデータがあるが、土が乱されているために、現位置におけるせん断強度を推定することは困難であるけれども、正規圧密を受けていることは確かなようである。

しかし、正規圧密粘土が堆積速度の、きわめてゆっくりした静かな環境で長い時間を経るうちに“Delayed Consolidation”や“Cementation”によって一見過圧密粘土のような特性をもつ土に変化する可能性があることが明らかになっている。

3) 過圧密粘土 (Overconsolidated clay), 一見過圧密粘土 (Apparently overconsolidated clay) 氷河期に陸化していて侵食作用を受けたような海底土は、一

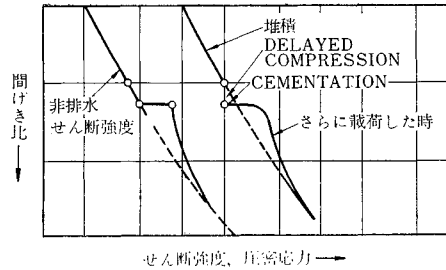


図-2 Delayed consolidation と Cementation の効果

般に過圧密を受けており、せん断強度も大きい。これとは別に比較的深い海で、過圧密の履歴を受けているとは思われない土が過圧密の性質を示すことがある。その裏づけとして、一次圧密が終ったのち、有効応力一定のまま長い時間を経過すると、土はさらに“Delayed consolidation”や“Cementation”のような作用を受けて、それ以後の荷重の増加に対して一見過圧密粘土のような性質を示すことが室内実験により明らかにされた。その一例を図-2に示す。海底土は長い年月のうちにこのような作用を受け、正規圧密粘土が一見過圧密粘土の性質を持つようになるものと思われる。

(5) あとがき

今まで得られている資料によれば、大陸棚における土質に関しては、未圧密の問題が特殊ではあるけれども、一般に陸地における土質力学の考え方が、そのままではまる。

深海における土質については過圧密の問題を含めてまだ残されている問題が多い。

現在まで発表されたデータの大部分は海底面下数メートルを対象としており、基礎工学の立場からみると、さらに深部の土質調査の結果が要望される。

(委員 国生 剛治・訳)

防舷材に作用する衝撃エネルギーの測定

“Measurement of Impact Energies on Fenders”

Svendsen, I.A.

Dock and Harbour Authority

Vol. 51, No. 599, pp. 180~188 September (1970)

Vol. 51, No. 600, pp. 230~237 October (1970)

まえがき

巨大タンカー用棧橋の設計に際して防舷材の設計が大きな問題になっている。防舷材の問題としては、応力-ひずみの関係と吸収エネルギーがあげられるが、特に後者については未解決な点が多い。

この報告はデンマークの3つの棧橋で防舷材に働く衝

撃エネルギーを測定し、解析した結果である。接岸エネルギーの測定は従来も行なわれてきたが、

(a) 排水量と load condition, (b) 付加質量, (c) 流れ, (d) 風速, 風向, (e) タグの利用などの影響が大きいため十分とはいえない。ここでは以上のほか (f) human factor の影響を考慮して、数百 t ~ 約 9 万 t までの 750 ケースについて検討している。

(1) 観測を行なった港湾について

観測を実施したのはデンマークの3つの棧橋で、その概要は次のとおりである。

1) Kalund borg pier この棧橋は航路の側にあり、潮流はない。水深 12 m で最大対象船舶は 54 000 t、また防舷材は円筒ゴム防舷材である。

2) Pier at Prøvestenen バルチック海に面し、棧橋方向に最大 3 ノットの潮流があり、風も強い。最大対象船舶は約 4 万 t、水深 11.2 m であり、防舷材は重力式である (図-1 参照)。

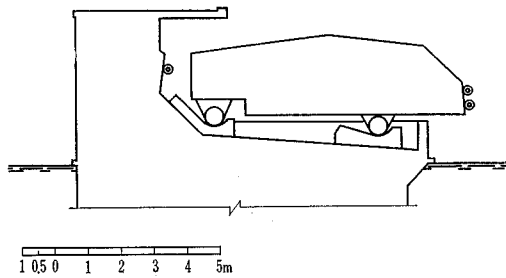


図-1 Prøvestenen 棧橋の重力式防舷材

3) Stignæs pier Prøvestenen と同様にバルチック海に面し 3 ノットの潮流がある。最大対象船舶は 8

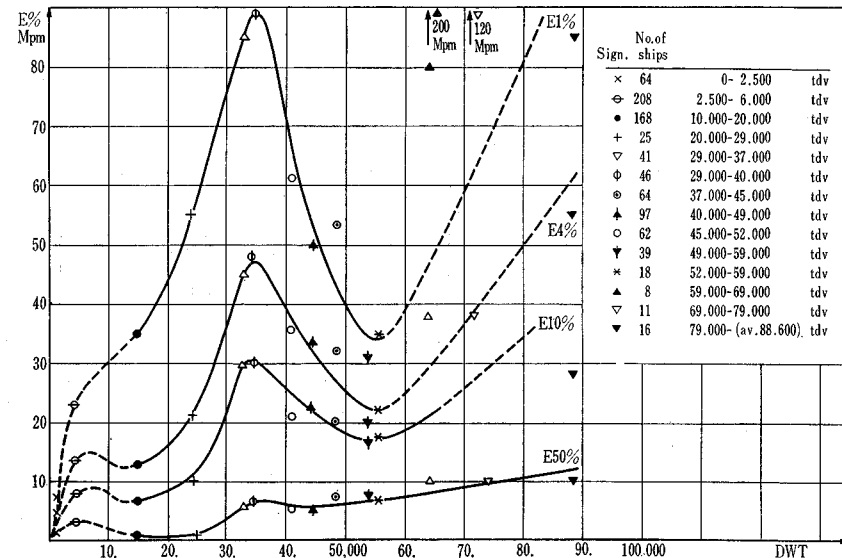


図-3 船型に対応する衝撃エネルギー

万 t で、円筒ゴム防舷材が取り付けられている。

(2) 測定装置について

測定装置は取扱いが簡単で、連続測定も可能である。Kalund borg の設置例を 図-2 に示す。この装置はステンレスのスチールテープでできており、一方は岸壁に固定され、他方は防舷材の端に取り付けられている。防

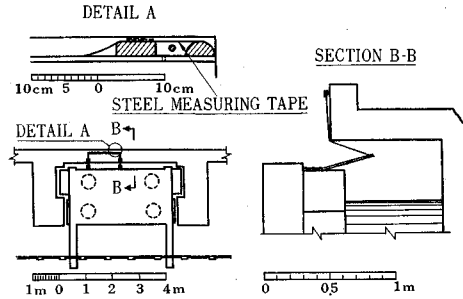


図-2 Kalundborg エネルギー測定装置

舷材が衝撃を受けて圧縮され、その最大ひずみを測定するようになっている。また、この装置は4つの防舷材にも取り付けられており、回転も測定できるようになっている。

次にこのようにして測定した結果を示す。

(3) 衝撃エネルギーに対する船型の影響

衝撃エネルギーに対する船の大きさの影響については過去にも検討されてきたが、観測データが不足していた。今回の観測データは船型によって表-1 のように分割され、図-3 はおのおのの船型の衝撃エネルギーの未発生確率を示したものである。この図で明らかなように、衝撃エネルギーは船型とともに直線的に増加せず、35 000

表-1

DWT	No. of ships
0-10 000	
10 100-20 000	168
20 100-29 000	25
29 100-37 000	41
29 100-40 000	46
37 100-45 000	64
40 100-49 000	97
45 100-52 000	62
49 100-59 000	39
52 100-59 000	18
59 100-69 000	8
59 100-75 000	
69 100-79 000	18
>75 000	
>79 000	16

DWT 付近で大きくなっている。この傾向は衝撃エネルギーが大きくなるにつれて顕著になっている。これは棧橋構造がエネルギーに対して十分耐えうるというパイロットの安心感 (human factor) のためだと考えられる。

(4) 排水量と load condition

load condition の影響を調べるために排水量と重量トンの比 (displ./dwt) により次のように分類している。

- displ./dwt < 0.8 “unloaded ship”
- 0.8 < displ./dwt < 1.05 “partly loaded ships”
- 1.05 < displ./dwt “loaded ships”

Prøvestenen で測定した結果によると “unloaded ship” の衝撃エネルギーは “loaded ship” の衝撃エネルギーの 2~3 倍である。

(5) 流れの影響

Prøvestenen と Stignæs では 3 ノットの流れがあるが、観測結果によると 1 ノット以上の流れに沿って着積すると 30~50% の大きなエネルギーを生じている。また、ここでは着積の方向、回転、エンジンの位置、疲労などについても考察している。

(6) 風速と風向

ここでは、風向を海側・陸側それぞれ 90° の範囲に分けて海風、陸風とし残りをその他としている。観測結果によると、風速が 12 m/sec 以上になると陸風の影響がでてくることがわかった。しかし、load condition や流れなどとの総合的な検討を加える必要があり、そのためには、さらに多くの観測が必要である。

(7) タグの利用と防舷材の配列について

観測を行なった港では 500~1 200 IP のタグボートを使用しているが、使用隻数が多いほど接岸エネルギーが大きいことがわかった。また、防舷材についていえば、外側の防舷材のほうが内側のものより大きなエネルギーを受ける。

あとがき

以上、750 ケースの観測結果をもとにして種々の検討を行なったが、防舷材は棧橋の設計上重要な factor であり、今後も類似の観測を実施して研究を進める必要がある。

(委員 門司 剛至・訳)

“大河川における拡散実験”

“Measurement of Mixing Characteristics of the Missouri River Between Sioux City, Iowa, and Plattsmouth, Nebraska”

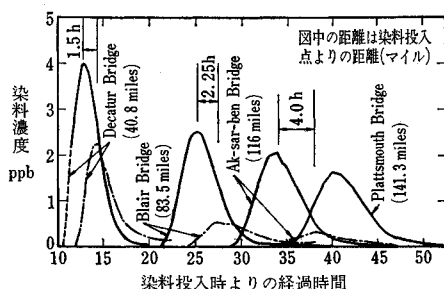
Yotsukura, N., Fischer, H.B. and Sayre, W.W.
Geological Survey Water-Supply Paper 1899-G, pp. 1~29

(1) 概 説

水質汚染のコントロール、トレーサー技術や拡散の予測理論の確立など現今の水質汚染の諸問題を解決するには、まず、実河川の諸現象の観測と理解とが必要である。Fischer 法による縦拡散係数 D の予知のためには、河道の幾何学特性、横断流速分布および横拡散係数 E_z が既知なることが必要だが、とくに E_z の評価がむずかしい。 $E_z = kU_*d$ と表わした場合、小さな様幅水路における諸家の研究によれば $k=0.17\sim 0.24$ であるが、大河川になると通常の乱れ以外に 2 次流の影響が加わって、 k の値が非常に増加することが知られている。

(2) 縦拡散係数の測定

ミズリー河のスー市とプラットマウス市間の 225.6 km のテスト区間において、染料のローダミン WT 20% 溶液による拡散の現地実験を 1967 年 11 月に行なった。川幅は 150~400 m、流量 33 000 cfs、エネルギー勾配は 0.000 2 であった。投入点より下流の 4 つの道路橋より、dye cloud の濃度を 25 cc のガラスビンによるサンプリングで調査した。濃度測定には Turner Model 111 という蛍光度計を使用した。この計器は 0.1 PPb まで直線性がよい。4 つの観測点の時間ごとの濃度変化は図-1 のようで、225.6 km の流下中の損失染料は 22.5% であった。このとき個人誤差の入りこみにくい Fischer 法¹⁾ で推定すると $D \approx 16 000 \text{ ft}^2 \text{ per sec}$ が得られた。また、モーメント法²⁾ では $D \approx 15 000 \text{ ft}^2 \text{ per sec}$ がそれぞれ平均値として得られた。モーメント法では堤防付



— 1967 年 11 月 13 日の実験
--- 1966 年 10 月 3 日の実験

図-1 縦拡散測定結果

近の残留染料濃度の評価法が困難な点の一つであった。

(3) 横拡散係数の測定

上述の区間内に、ゆるやかな複わん曲部をもつ延長 9.6 km の河道をテスト区間とした。染料はローダミン BA の 40% 溶液で染料の流量は 13.05 ml で、380 時間継続投入した。河川流量は約 33 000 cfs であった。この染料は、しかしわずか 9.6 km の流下に、最大 51% も損失した。染料のサンプリングは 10 断面、代表流速測定は 2 断面とした。このときモーメント法³⁾によると $E_z=1.56 \text{ ft}^2/\text{sec}$ となり、 $d=9.1 \text{ ft}$ (水深)、 $U_* = 0.24 \text{ ft/sec}$ (摩擦速度) であったから、 $k=0.71$ を得、Glover の得た値に近い。これはしかし近似値であるため、著者は流速分布形状の効果の導入を試みた。染料の保存式より得られる関係式

$$C_{i+1} = C_i + E_z \frac{4x}{u} \frac{\partial^2 C}{\partial z^2}$$

を用いて、観測による横断方向 i 番目の点の染料濃度 C_i より E_z の最適値を求めようとしたものである。ここに $4x$ は流下方向の距離で今回は 60 m とし、 U は i と $i+1$ のサンプルの中間の流速の大きさ、 z は横断方向距離である。10 断面の各断面の流速分布が、代表 2 断面のそれに等しいと仮定し、 k の値をいろいろに変えていった場合の計算値と実測値との適合度を調べると、 $k=0.6$ がもっとも良好であった。この様子を図 2 に示す。また $k=0.6$ を用いると Tracer cloud の分散が観測値ともよく一致するので、このテスト区間では $k=0.6$ の値が妥当であると考えられる。このように実河川のわん曲部では、 k の値は小さな直線水路の値より大きくない、約 3 倍の値をとったことが注目された。実

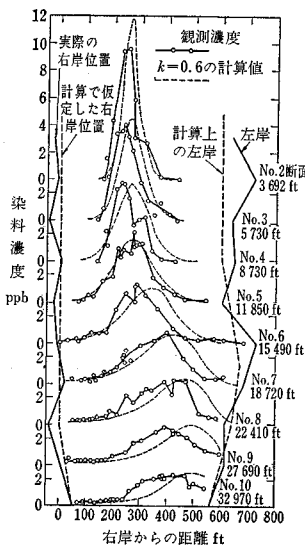


図 2 横拡散の観測値と計算値の比較

河川の汚染のシミュレーションには、こうした点の考慮が必要である。

- 1) Fischer H.B.: The mechanics of dispersion in natural streams, Jour. of A.S.C.E., Vol. 93, No. HY 6, pp. 187~216.
- 2) Fischer H.B.: A note on the one dimensional dispersion model, Air and Water Pollution, an Internat. Jour., V. 10, pp. 443~452.

(委員 馬場 洋二・訳)

下水処理水の海洋処分

“Engineering Consideration in the Design of an Ocean Outfall”
Beckman, W.J.

Jour. of Water Pollution Control Federation, Vol. 42, No. 10, pp. 1805~1831, October (1970)

ニューヨーク州東部の Wantagh 処理場では、下水の処理水を、ロングアイランドの大小の島々の間を通りぬけて大西洋に放流するための、海底放流管の建設を計画している。ところが、この付近の海は、美観、漁業、水浴、ボート、釣りなど市民の利用度も高く、州当局も水質環境基準「A」水域に指定しており、当然、下水道処理施設からの放流水も水質をきびしく規制されている。

そこで、放流管敷設にあたって、次のような項目について各種の専門家を通じて詳細な調査が行なわれた。

- 1) 海洋学的調査
 - a) 海流の方向と速さ、b) 染料を使った拡散実験、c) 波と潮の調査、d) 海水の水質試験
- 2) 地質学および地球物理学的調査
 - a) 地震学的探査、b) 土質調査、c) 水深など地形調査
- 3) 生物学的調査
 - a) 汚濁の指標となるバクテリア、b) 大腸菌、c) BOD、d) プランクトン、e) C^{14} 、f) その他海洋生物への影響
- 4) 漁業資源の調査
 - a) 魚の卵や稚魚の時間的分布、b) 魚貝類の漁獲高
 これらの調査をもとにして、放流管の最適ルートと放出地点の選定を行なうために次の 10 項目について検討を加えた。
 - 1) 建設の経済性に与える諸要因：建設業者、機械、工法、地元対策、管の材質と継手等。
 - 2) ルート選択の決定要因：管の曲り部の防護にコストがかかるので、これを少なくする方向で考慮する。
 - 3) 土質調査：土質をきわめて詳細に調査し、海底の砂の移動や、安定性からそれぞれの場所に適した施工方法と構造（管の基礎と埋戻し）を決定した（海底土かぶり 1.5~2.4 m、内径 84 in (2.13 m) コンクリートパイ

ブ)。

4) 建設後の維持管理：処理場での2次処理の段階で、油脂質や浮遊物などが、完全に除去されない場合を考慮して

- a) 微生物発生を防ぐ塩素滅菌施設
- b) 検査のためのマンホール
- c) そうじ用機械の出入口
- d) 放出部分に設置する特別の吐出口

などを設ける。

5) 荒天時の管の安定性：放流管が嵐の際に移動しないよう基礎とアンカーを、強固なものとする。また調査の結果、放出部分での水深は、波の影響を比較的受けにくい15.2mより深くすることとした。

6) 海流、潮、風の影響：海流や風の影響で、放出された処理水が海岸に漂着するおそれが多分に考えられるので、設計にあたってさらに十分検討する必要がある。

- 7) 放流水の水質
- 8) 放流先の海域の状態
- 9) 拡散と混合の状態(6)~8)を総合的に検討
- 10) 美観上の問題点

健康管理、公衆衛生の点からあるいは放流管をさらに遠くに設置するようになることも考慮しなくてはならない。

以上の検討の結果、パイプの径、型、継手、延長、ディフューザー(放出部分)の構造などが決定された。このように、放流管の計画には、きわめて複雑な技術的問題点が多く、しかも建設費もぼう大であるから、多くの専門家(土質工学、海洋科学、衛生工学、土木工学、生物学、化学、地球物理学、気象学など)による十分な調査と慎重な検討が必要である。さらに、困難な工事であるので施工中の管理と、建設後の維持管理による計画の適否を確かめることも重要である。

(委員 藤田 昌一・訳)

カリフォルニア、サンディエゴ市 排水の海洋への影響

"Effects on San Diego's Wastewater Discharge
on the Ocean Environment"

Chen, C.W.J

Jour. of Water Pollution Control Federation, Vol. 42,
No. 8, Part 1, pp. 1458~1467, August (1970)

サンディエゴ市では、簡易処理した下水を、海岸から約3.7km沖まで、深さ60mに敷設された管を通じて、太平洋に放流している。

この放流管の敷設の前後にわたって、付近の海水および海底土壌について、さまざまな検討を行ない、その影響を調査した。

1962年5月から始まったこの調査は、大別すると次の3つの期間に分けられる。

- 1) 放流が始まる前 1年
- 2) 簡易処理水の放流期間 2.5年
- 3) 消化汚泥を混合して放流 1.5年

この3つの期間で、ある種の検査項目については、大きな変化が期待されたのであるが、結論的には、そのような傾向はみられなかった。

<方法>

放流管を中心に合計28地点で、数種類の水深、および海底について調査を行なった。

<水質の変化>

水質については、DO、Cl、透視度、プランクトン数などについて調査したが、前記の3つの期間にわたり水質に大きな変化は見られず、むしろ安定しているように思われた。また放流管のディフューザーの影響は9.3km以上にわたり、ディフューザーが十分その機能を果していることが明らかとなった。しかし、一般に、水深の大なるところでは汚水の影響がややみられた。海底土壌については、有機性炭素、N、BOD、砂、シルト、温度、海底微生物、バイオマス、生物指標などについて調査を行なったが、土壌のほうが、水質より影響を多く受けているようである。

<季節的变化>

季節的变化は多くの測定項目で顕著に見られた。

<プランクトン集団の変化>

3つの時期について、ある種のプランクトンに消長がみられたが、全体的には変化はわずかであった。また、第2段階でやや変化が起ったものも、第3段階で、時を経るに従ってもとにもどるなど、安定化の傾向もみられた。

<海底微生物の変化>

海底微生物はほとんど一様にひろがっており、放流によって以前より少し増殖しているようにみられる。

<結論>

汚水放流による海洋環境の変化を調査した結果は、次の3点に要約できる。

- 1) 放流管は周囲に汚水を拡散するために有効に働いている。水質的には、これによる大きな変化は認められず、一番大きな変化といえば、季節変化であった。
- 2) 水質は安定化の方向にむかっている。
- 3) 海洋生態的には、プランクトンも水底生物もおおむね安定しているが、水底生物は放流によりやや増殖している。

(訳者注：本論文において、サンディエゴ市の汚水放流量および水質は明らかにされていない)

(委員 藤田 昌一・訳)