No.

岳南地区パルプ・製紙廃水の海中放流に関する基礎調査報告書

建設省　土木研究所

下水道研究室

S.40.5.10 登記

土木資料

29

No.

目　　次

§ 1　水質試験　P 1

§ 2　沈降に関する調査　P 7

§ 3　スクリーンに関する調査　P 11

§ 4　拡散計算　P 14

§ 5　発泡試験　P 22

§1. 水質試験

昭和39年7月から同年12月迄5回行なった。5回の試験の採水日と実験期間は以下の通りである。

1回目の水質試験

採水日　昭和39年　7月28日

実験期間　〃　8月3日 ～ 8月中旬

2回目の水質試験

採水日　昭和39年　8月18日

実験期間　〃　8月24日 ～ 9月2日

3回目の水質試験

採水日　昭和39年　9月23日

実験期間　〃　9月29日 ～ 10月7日

4回目の水質試験

採水日　昭和39年　11月14日

実験期間　〃　11月19日 ～ 11月30日

5回目の水質試験

採水日　昭和39年　12月3日

実験期間　〃　12月9日 ～ 12月19日

以下 混合廃水についての水質試験 結果を表-1, 2, 3, 4に示す。

表-1

項　　目	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目
蒸発残留物*	880	557	667	755	838
溶解性物質*	364	344	386	480	604
浮遊物質*	516	213	281	275	234
熱灼残留物	535	362	390	322	432
熱灼減量	345	255	277	433	406
pH	6.22	6.38	6.68	6.57	6.96
硫酸イオン	76	52	46	45	58
塩素イオン	168	47	71	114	126

単位　ppm

* 1, 2, 3回目は検水量 200cc, 4, 5回目は 50cc である。

[考察]

各試験について 値がかなりばらついているが, 蒸発残留物は 557 ～ 880 ppm, 平均 740 ppm であり その内 300 ppm 程度が浮遊物質と考えられる。熱灼減量は平均すると 343 ppm で 蒸発残留物の約 45% である。

ヨウ素消費量

混合試料のヨウ素消費量と ヨウ素消費量に対する温度の影響を調べるために 5°, 20°, 37°C で保存した試料について ヨウ素消費量を測定した。実験によるとヨウ素消費量は貯蔵日数によって 値が変化（特に37°Cの場合）する。 5日目に測定した値を表-2に示す。

表-2 ヨウ素消費量

温度	ヨウ素消費量 (Ippm)	
	範囲	平均
5°C	1.9 ～ 16.5	8.9
20°C	5.0 ～ 26.0	14.4
37°C	26.8 ～ 48	34.1

[考察]

ヨウ素は硫化物以外にも 次亜塩素酸塩, 亜硝酸塩, フェノール類, ナフトール類 等と反応するので, ヨウ素消費量がただちに硫化物総量を表わすわけではないが, 硫化物のおよその多少と検討するためには 一つの目安となる。ヨウ素が全て硫化物によって消費される場合には, ヨウ

素消費量(I) 1mgは 硫黄(S) 0.134mgに相当する。温度が37℃の場合には 5日間貯蔵してもなお ヨウ素消費量は増加する傾向があるが、5°, 20℃の場合にはあまり変化しない。従って 混合廃水の最終的なヨウ素消費量は 常温では 10～25 (Ippm)であると考えられる。

COD (化学的酸素要求量)

COD試験は 混合廃水について 3通したものと、そのままのものについて行なった。結果を表-3に示す。

表-3 COD

	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	平均
廃水(そのまま)	206	150	130	128	178	158
廃水(3通したもの)	54	92	84	66	59	71

注. 試験は全て過マンガン酸カリウム・アルカリ高温法で行なった。

[考察]

CODは 平均すると約 160ppm であり、このうち約 55% は 浮遊物質による COD であった。従って

浮遊物質が沈降性の良いものであれば，沈降によって廃水のCODはかなり減少する筈であるが，後の沈降実験の所で示す様に，廃水が相当程度稀釈されると沈降性が悪くなるので，CODとしては3週しか廃水についての値をとるのが適当であると考えられる。

稀釈水に海水を用いた場合の酸素要求量（BOD）

廃水は海水中に放流されるので稀釈水は海水を用いた。静置して觸卵したものと，攪拌しながら觸卵したものについて酸素消費量を測定した。結果を表-4に示す。

表-4　5日間酸素要求量

	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	平均
静置	120	77	88	93	98	91
攪拌	196	104	101	105	104	122

〔考察〕

表-4によると攪拌した場合の方が30%程度大きくなる。実際の状態は攪拌した場合に近いと思われる

ので、5日間酸素要求量は平均すると約120ppmと考えられる。

海底の泥の分析

表-5 底泥の分析結果

採取年月日	採取深さ(m)	堆積層の厚さ(m)	含水率(%)	乾燥資料中の強熱減量(%)	硫化物(5mg/1g乾燥資料)
39·12·14	20	1.2	70.0	20.8	1.91
〃	30	0.6	70.3	19.9	2.30
39·12·15	62	>1.5	71.2	17.3	1.50
39·12·16	20		76.2	23.9	2.15
〃	40	0.7	74.2	27.0	1.86
〃	50	1.4	71.9	19.1	1.86

§2. 沈降に関する調査

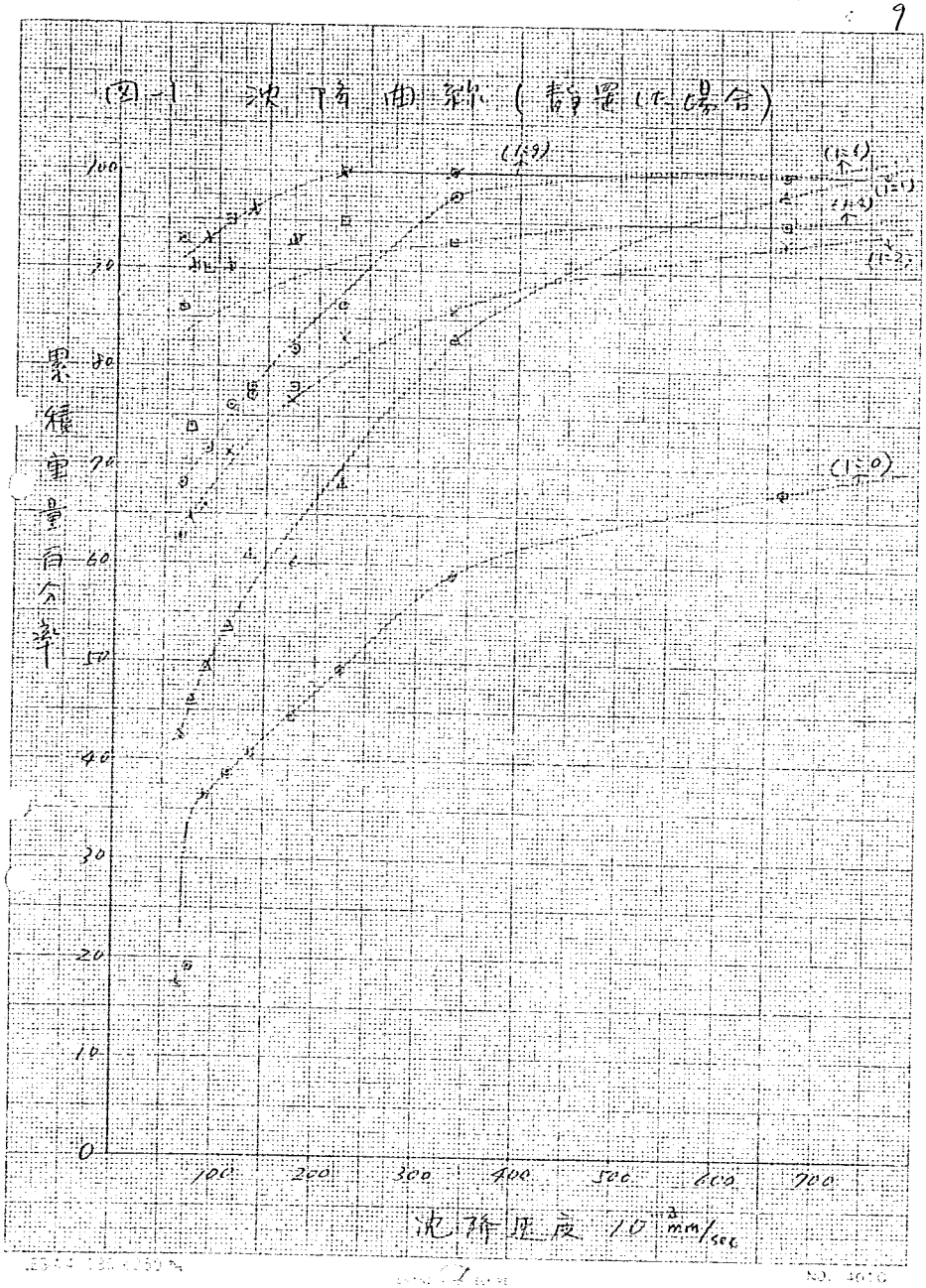
廃水中の浮遊物質がどの程度の沈降速度を持っているか，更に浮遊物質のどの程度が沈澱して行くかを調査するために沈降分析を行なった。試料は廃水と海水を混合比 0:1, 1:1, 1:2, 1:4, 1:6, 1:9, 1:19 で混合したものを用いた。試験には沈降塔を用い，静置した場合と緩かに撹拌した場合について行なった。結果を図-1，2に示す。

[考察]

図-1，2によると，稀釈倍数が大きくなる程沈降し難くなり，又撹拌した方が沈降し易いことが判る。これは廃水にフロックを生成する性質が若干あることによるものと思われる。又稀釈倍数が小さい場合には比較的沈降性が良いが，大きくなると沈降性が悪くなる。1:19の割合の場合は105分間では全く沈降しなかった。後の拡散計算の所で述べる様に，重力拡散のみで10～20倍に稀釈され，又拡散時間も短いので沈殿による浮遊物質の除去は，短時間の拡散現象を考える限り，

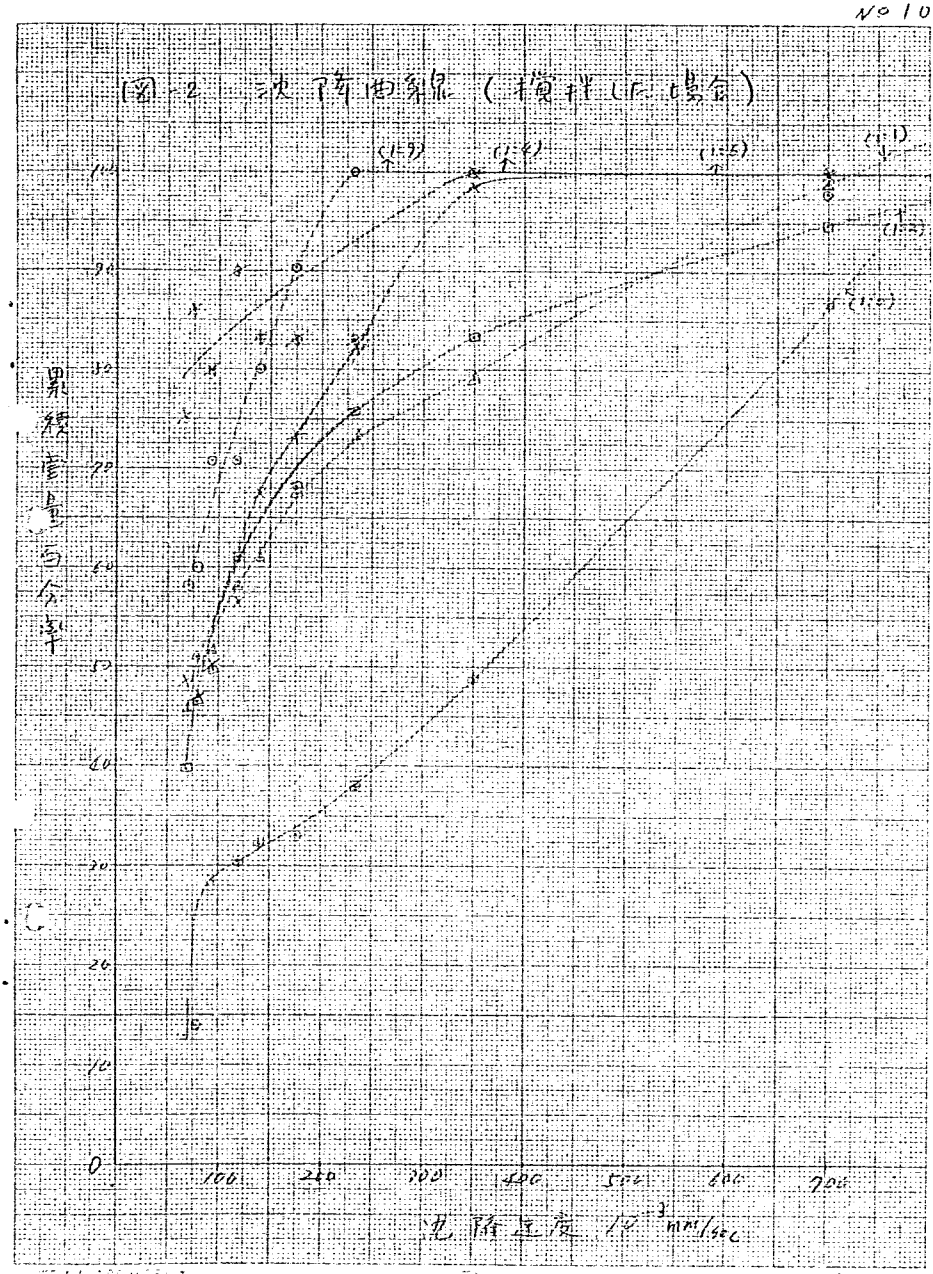
あまり期待出来ない様に思われる。しかし長期的に考えれば 1日 390 ton 程度の SS が放流されるのであるから 潮流によって全て運び去られる分を除きに沈澱し蓄積して行くものと思われる。従って沈澱性の良否にかかわらず 底泥による 海底附近の水質の変化が起こる可能性はある。

(図-1 沈下曲線(静置した場合))



注 累積重量百分率とは 或る沈降速度より 沈降速度の小さい粒子の、全体に対する百分率をいう。

(図-2) 沈降曲線 (標準試料の場合)



注. 累積重量百分率とは全粒子の沈降速度より沈降速度の小さい粒子の、全体に対する百分率をいう。

§ スクリーンに関する調査

パルプ製紙工場廃水には 繊維状の木のカス，木の皮，古紙等比較的大型の浮遊物がかなり含まれている．従って海中放流を考える場合，スクリーンは単にポンプを保護するためばかりでなく，木のカス等特に浮上性のものがあまり多量に放出されない様除去するためにも必要である．この様な観点から スクリーンの有効間隔を定めるための資料を得るために スクリーンかすの量，成分について調査した．

調査に用いた スクリーンは 16″×16″の大きさのもので 有効間隔は次の通りである．

No.	有効間隔 (mm)
1	55
2	43
3	31.5
4	24
5	17
6	10.3

以上のスクリーンを用いて 1号廃水路で調査した．結果を表-6に示す．又表-6をプロットし曲線で結んだものが図-3である．

表-6

スクリーン有効間隔(mm)	スクリーンかすの湿潤重量(gr/廃水1m³)			
	1回目	2回目	3回目	平均
55	4.85	6.5	30	13.5
43	8.5	14.5	16	13
31.5	8.5	21.5	15.5	15.5
24	21.6	27.5	21	23.5
17	20	18.5	21	20
10.3	67.5	34.0	41	47.5

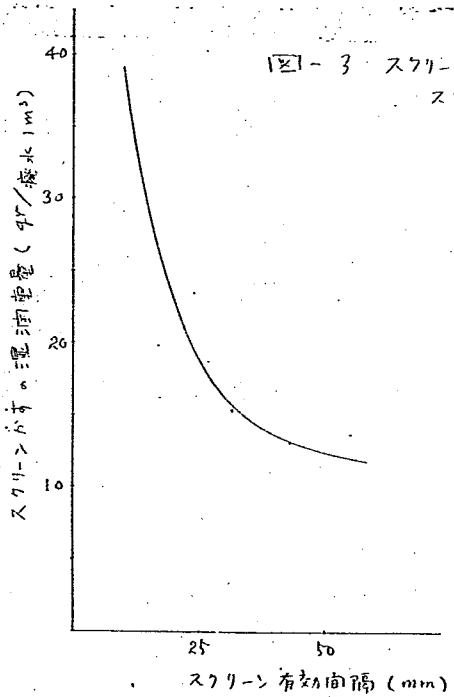


図-3 スクリーンの有効間隔とスクリーンかすの量

スクリーンかすの分析結果を表-7に示す。

表-7　スクリーンかすの含水率及び強熱減量

試料＼項目	含水率(%)	強熱減量(%)
55mm スクリーンのかす	89.5	88.5
24mm 〃 〃	91.7	82.7
10.3mm 〃 〃	93.0	82.3

[考察]

スクリーンかすの成分は主として繊維状の木片，木の皮，古紙であり，時折屠殺かすが混入することもあった。

図-3から判断すると有効間隔が30mm程度より小さくなるとスクリーンかすの量は急激に多くなる。浮遊物，特に木の皮は相当小さいものも除去してやることが望ましいので，スクリーンの有効間隔は少なくとも20mmよりも小さいことが必要である様に思われる。この場合のスクリーンかすの量は廃水量15ton/secとして，約30ton/日と思われる。

表-7によると強熱減量は80～90%であるから若干乾燥させれば焼却処分が可能である。

§4. 拡散計算

廃水を海中に放流処分する場合には沿岸漁業や公衆衛生上障害とならない様設計されなければならない。

廃水の稀釈の程度は放流口の水深，海岸からの距離，放流装置の構造，潮流等によって定まるがここでは主として水深について検討し，水深 30m，60m，100m の場合について計算した。

(1) 重力拡散

重力拡散は密度の大きい液体（海水）中に密度の小さい液体（廃水）が放流された場合，主として浮力によって起る拡散現象である。放流口が水平の場合については Brooks 等の研究[1]があり，垂直の場合については Abraham の研究[2),3)]がある。

この計画の放流口は水平のものが考えられており，その意味では Brooks 等の研究の結果が参考になると思われる。が，Brooks 等の方法は Rawn，Palman の実験結果を整理したものであり，一般に Abraham の式よりも精度が低いといわれている。一方 Abraham の式は放流口の方向が

垂直な場合に対するものであるから，放流口が水平の場合に適用すると若干の誤差を生じると思われるが，この誤差は，噴流軸に沿った距離として水深を用いれば，実際の距離は水深より長いので安全側の誤差といえる。

以上の理由により Abraham の式で計算することにする。

$$\frac{C_m}{C_0} = 9.7\, F_r^{-2/3} \left(\frac{Y}{D} + 2\right)^{-5/3} \quad \cdots\cdots\cdots (1)$$

ここで $C = \rho - \rho_s / \rho_0 - \rho_s$

ρ ; 密度

ρ_s ; 海水の密度

ρ_0 ; 放流口での密度

C_m ; 噴流中心での C

C_0 ; 放流口での C

F_r ; フルード数 $= u_0 / \sqrt{\frac{\rho_s - \rho_0}{\rho} g D}$

u_0 ; 放流口での流速 (m/sec)

D ; 放流口の直径 (m)

Y ; 噴流軸に沿った距離 (m)

C は密度差の比であるが 濃度比と考えて良い。

$\rho_s = 1.025$, $\rho_0 = 1.000$, $u_0 = 2.12$ m/sec

$D = 3$m を用いると

水深 30m のとき

$$\frac{C_m}{C_0} = 0.28 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (2)$$

水深 60m のとき

$$\frac{C_m}{C_0} = 0.10 \quad \cdots\cdots\cdots (3)$$

水深 100m のとき

$$\frac{C_m}{C_0} = 0.047 \quad \cdots\cdots (4)$$

参考のために Brooks 等の方法による稀釈率を以下に示す。

水深 30m のとき $\frac{C_m}{C_0} = 0.25$ ···· (2')

水深 60m のとき $\frac{C_m}{C_0} = 0.083$ ····· (3')

水深 100m のとき $\frac{C_m}{C_0} = 0.042$ ···· (4')

(2) 乱流拡散

重力拡散によって上昇しながら拡散してきた廃水は，表面に到達して潮流の乱れによって拡がって行く。拡散のスケール L 及び濃度 C_m は次式で表わされる。[4]

$$\frac{L}{b}\left(1+\frac{2}{3}\beta\frac{x}{b}\right)^{3/2} \qquad \cdots\cdots (5)$$

$$C_m = C_0 e^{-at}\,\mathrm{erf}\sqrt{\frac{3/2}{(1+\frac{2}{3}\beta)^3-1}} \qquad \cdots\cdots (6)$$

ここで $L = 2\sqrt{3}\sigma$ で拡散現象におけるスケール (cm)

σ ; x における濃度分布関数の標準偏差 (cm)

b ; $x=0$ における廃水幅 (cm)

$\beta = \dfrac{12 K_{00}}{V_x b}$

K_{00} ; $x=0$ における拡散係数 (cm^2/sec)

V_x ; x 方向の海流の流速 (cm/sec)

C_0 ; $x=0$ における濃度 (ppm)

C_m ; x における最大濃度 (ppm)

a ; 減衰率

$x=0$ における拡散幅 b は Brooks によると 噴流軸に沿った距離 Y の 1/3 と考えられる。[5] Y は放流口が水平の場合 Brooks によれば次式で表わされる。[5]

水深をH，放流口から表面での噴流の中心迄の水平距離をxとすると

$\frac{H}{x} > \frac{1}{3}$ のとき

$$Y = H + (0.8b)^{3/2} - \frac{0.1685b^2}{\sqrt[3]{H}} \quad \cdots\cdots (7)$$

$\frac{H}{x} < \frac{1}{3}$ のとき

$$Y = H\left[1 + 0.9\left(\frac{H}{x}\right)^2\right] \quad \cdots\cdots (8)$$

但し $b = \sqrt[3]{u_0^2 D}$

K_{00} は水理公式集 図-9.7より求める。

海流の方向又及び流速 V_x は 海岸に於て最も危険な状態を考え，方向は海岸に直角，流速は 0.21/ノット*) (11 cm/sec) とした。

又減衰率 a は短時間の拡散を考えるので 0 とする。

(5), (6), (7) 又は (8) 式により

水深 30m の場合，汀線より噴流軸中心迄の距離 x を 259m として

$$\frac{C_m}{C_0} = 0.43 \quad \cdots\cdots (9)$$

*) 流速は 静岡県の調査によると 第1図の表に示した如くであった。

水深 60m の場合，　$x = 358\,m$ として

$$\frac{C_m}{C_0} = 0.55 \qquad \cdots\cdots (10)$$

水深 100m の場合，　$x = 495\,m$ として

$$\frac{C_m}{C_0} = 0.64 \qquad \cdots\cdots (11)$$

(3) 考察

(2)·(9)式，(3)·(10)式，(4)·(11)式より 合計の稀釈率は

水深 30m の場合

$$\frac{C_m}{C_0} = 0.28 \times 0.43 = 0.12$$

水深 60m の場合

$$\frac{C_m}{C_0} = 0.10 \times 0.55 = 0.055$$

水深 100m の場合

$$\frac{C_m}{C_0} = 0.047 \times 0.64 = 0.030$$

廃水の BOD を 120 ppm，浮遊物質を 300 ppm と仮定すると，以上の計算により 汚染の BOD，浮遊物質は 表－6 の如くなると予測される。

表-6 予測される汀線でのBOD及び浮遊物質

放流口の水深(m)	BOD (ppm)	浮遊物質(ppm)
30	14.4	36
60	6.6	13.5
100	3.6	9.0

以上の結果はAbrahamの式に基づいて計算したものであるが，Abrahamの式には表面に上昇してきた廃水は潮流によって連続的に運びさられ，蓄積は起らないという仮定が用いてある。しかし作り田子，浦に沿っては一定方向の潮流は存在しない様に見うけられるので実際の水質は表-6に予測した値より多少悪くなる可能性がある。

参考文献

1) A.M. Rawn, F.R. Bowerman, N.H. Brooks, "Diffusion for Disposal of Sewage in Sea Water", Proc. ASCE, SA2, 1960

2) G. Abraham, "Jet Diffusion in Liquid of Greater Density", Proc. ASCE, HY6, 1960

3) 水理公式集 p.440

4) 〃 p441

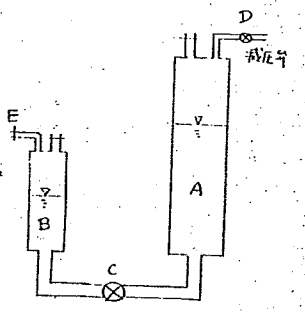
5) "An Investigation of the Effect of Efficacy of Submarine Outfall Disposal of Sewage and Sludge" State Water Quality Control Board, State of Calif.

§5 発泡試験

バルブ廃水には泡を生成し易い性質があるため，海水中に放流されて上昇して行く間に減圧されて，溶解しているガスが気泡となり，泡を生成する可能性がある。又稀釈されながら海面に到達した廃水が，波等によって撹拌されて泡を生成する可能性もある。これ等について調査するため，以下の簡単な実験を行なった。

(1) 海水中における減圧による泡の生成試験

右図の様な実験装置を使った。



先ずA筒に海水，B筒に廃水を入れ，その後コンプレッサーでA筒に3kg/cm²，B筒に3.1～3.2kg/cm²の圧力をかける。暫く静置した後バルブCを開いてB筒の廃水をA筒の海水中に混入させる。その後バルブCを閉じて減圧弁Dを開き，除々に（約30秒間で）減圧する。

以上の様な操作で実験を行なった結果，微細な気泡は筒全体に発生したが，この気泡は水表面ですぐ消えてしまい

持続のある泡は生じなかった。

(2) 波打際の撹拌による泡の生成試験

§4の拡散計算で求めた海岸での希釈率になる様
希釈した廃水を 浅い槽に入れ強く撹拌した。
その結果 撹拌による泡は発生したが、廃水によるもの
とは思われず 撹拌をやめると直ちに消えた。

(3) 考察

以上の実験の結果では 泡は生成されなかったが、
非常に小規模な実験だったため 実際の場合に
泡は発生しないと断定は出来ない。しかし もし発生
しても 多量に発生することはない様に思われる。

海岸に対して 60°～120°の角度で流れる潮流の速度及び頻度（計画局の調査より）

昭和39年7月27日～8月19日の調査

水深	流速（ノット）		潮流が海岸に向って流れる時間の割合(%)
	最大	平均	
1 m	0.895	0.196	18.1
3 m		0.114	6.4
6 m	0.622	0.185	11.0
12 m	0.673	0.259	9.3

昭和39年12月25日～昭和40年1月7日の調査

水深	流速（ノット）		潮流が海岸に向って流れる時間の割合(%)
	最大	平均	
1 m	0.497	0.227	18.0
6 m	0.173	0.118	4.1
12 m	0.318	0.137	12.3

廃水は放流された後 海面へと上昇するので，乱流拡散の計算に用いた"海岸に向って流れる潮流の流速"としては水深1mの所の流速を用い，2回の調査の平均値より 0.21 ノット とした。