

小樽運河の水質汚濁調査結果と浄化対策の提案

北海道大学工学部 正員 神山桂一

1. まえがき

ここに報告する小樽運河の汚濁調査は「小樽運河を守る会」よりの要請を受け、日本科学者会議北海道支部の公害委員会が同委員会の会員、地元有志ならびに寺町和宏、菅原厚の諸氏の協力を得て行なったものである。調査結果の取まとめを担当した筆者がこの機会をかりて発表する。調査の内容は広く社会科学や人文科学に周する事項にまで及んだが、ここでは表題のごとく衛生工学に関連する部分のみに限定し、運河の将来をいかに取扱ひまた視点を拡大し小樽市将来の都市計画といかに関連づけるかという問題には深く立ち入ることを避けた。これらの問題は地域住民の良識にもとづき検討されるべきものであると考えたからであり、本報告がその際の一つの参考資料となることを願っている。

2. 小樽運河の概況

通称“小樽運河”と呼ばれているのは小樽市北沢町から堺町にかけて幅員約40m、長さ約1.1kmの南北にのびる水路である。これは明治以来行なわれてきた北海道開拓のため、人員、物資の輸送基地として大きな役割を果たしてきた小樽港が、その開港の初期に船入間や着船岸壁として埋立地を造成したが、その時に旧河川との間にこの水面を残し、ハシケや小型船舶の着船、けい留の場所としたものである。当初はこの運河内を水深3mに保つように計画され、浚渫も時々行なわれていた。運河の周囲には倉庫が建ち並び、けい留されているハシケと共に小樽港特有の雰囲気を醸し出している。この細長い水面には下図のごとく中央部に色内川（流域面積約7.6km²）が、また南端には妙見川（同9.2km²、一名：^{ゴゴツ}古釜川）が流入している。またこの水面は幅約25mの水路3本で小樽港内の海面と連絡しており、これらの水路が船の出入口および前記河川水の放水口となっている。現在（昭和49年12月）まだ小樽市内の下水道整備が進行中のために、市内中心部の下水は上記2河川や運河に直接用いている数本の下水管渠によってこの運河内へ放流されている。また運河周辺の魚市場や水産加工工場などの産業廃水は運河内へ無処理のままで放流されている。

こうした河川などの流入によって運河内には泥土の堆積が起ることは容易に予想されるが、さらに下水や廃水の放流が運河内の水環境を著るしく不快なものとし、夏季には悪臭が周辺住民や港を訪れる人々を悩ませるようになってきた。しかも近年に至り苦小樽港の新設、物資流通機構の改変、あるいは小樽港の荷役設備の老朽化などが原因となり、古い歴史をまつ小樽港では荷役量の減少が著るしくハシケの利用はほとんど行われなくなった。周辺の古い倉庫群も次第に取りこわされようとしている。さらに小樽市は小樽自動車道に接続する臨港自動車道をこの運河の南半分を埋立ててその跡地を通過させる計画をたて、道路新設工事の一部を終っている。運河埋立を計画した理由としては堆積土砂の浚渫を行なう必要がなくなること、運河の機能が現在ではほとんど消滅したと考えていること、自動車道新設用地として取得し易いこと、並びに周辺住民から苦情の出ている悪臭問題の解消が期待されることなどをあげることができる。

一方、この独特の雰囲気をもつ運河ならびの周辺の古い石造りの

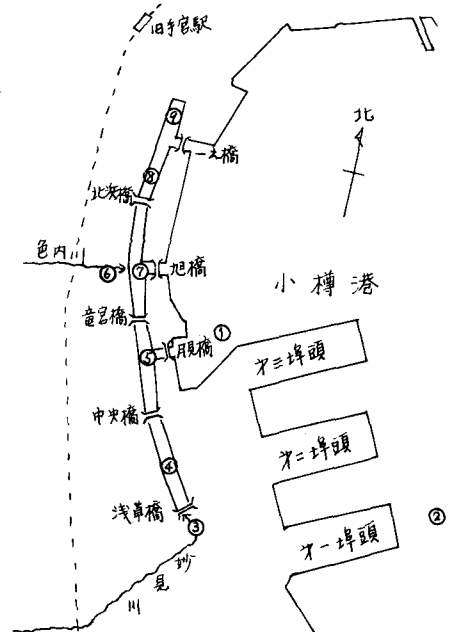


図-1 小樽運河概略図

倉庫群は明治以来変らばい風景であるとして小樽市民のみでなく、一度ここを訪れた人々に深い印象を与え、歴史的な建築物と共に小樽運河を残しておきたいという強い希望が表されるようになった。この声は臨港自動車道の建設計画の公表と共に急激に大きくなり、「運河を守る会」が多数の市民の参加の下で結成されるに至った。この会の主旨には道路建設に反対する前に、まず現在の運河をより良い状態で保存していきなという市民の気持がこめられている。こうした市民の要請にこたえるためには道路新設計画の再検討も必要であるが、まず第一に如何にすれば小樽運河をより健康的な状態に回復できるか、また昔の通りではなく、小樽運河に新しい機能として今後何を期待すべきかを検討すべきであろう。

3. 調査方法

この調査が協力者の全くの奉仕活動として行なわれたものであるため、実際に現地調査を行なったのは昭和49年8月10日(土)午後および9月8日(日)の2回である。第1回は主として運河内表層水および底質の汚濁度の調査を行ない、他に運河内の水深および水の出入量の概略測定を行なった。第2回は前回の調査結果をもとに運河内海水の流動状態ならびに底泥の堆積状態の実態把握を主として調査した。流入する下水や廃水の濃度測定も行なったが、土曜日や日曜日の採水であること、特に第2回目は採水中に雨が降り出したことなどの影響を考慮する必要がある。なお両日の小樽港における満潮と干潮は右表の時刻に起っていた。

49. 8. 10 (土)				49. 9. 8 (日)			
満 潮		干 潮		満 潮		干 潮	
時 分	cm	時 分	cm	時 分	cm	時 分	cm
7:33	29	0:19	19	6:14	29	13:45	13
		14:15	18				

(基準水面：平均海面下 15.8cm)

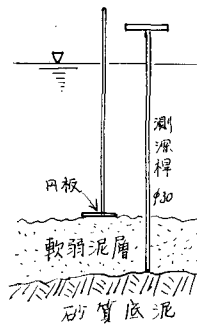
8月10日の調査では表層水は舟上から直接採取し、底層水は北原式中層採水器により行なった。また9月8日の中層及び底層水はボート上からポリエチレン製

灯油ポンプ(手動の大型のもの)を用いて採取した。採泥はエクマンバージ式採泥器で行なった。水温の測定は試料採取後に棒状温度計で測定したが、図-9の水深ごとの精密測定にはサーミスター水温計を用いた。水中の溶存酸素濃度はEIL社製のけい帯用のものを使用し、塩分の補正を行なった。海水のBOD測定には運河内試料水の等量混合水をN.O.5Aの濾紙で濾過したものを標準希釈水に接種(10ml/l)し、各採水点ごとの電気伝導度に一致するだけ食塩を加えて希釈水を用いた。底泥中の重金属の分析は硝酸および過塩素酸を加えて加熱分解した試料と蒸留・イオン交換した水で若干希釈し、N.O.5Cの濾紙を用いて濾過したものについて原子吸光法で行なった。ただし水銀のみは還元気化法によっている。底泥の溶存酸素消費速度は資料をBOD小卵瓶にとり底泥上の海水を満し、マグネチックスターラーを回転させながらベツフマンDOメーターにより溶存酸素の減少速度を求め、後に小卵瓶に加えた流量を測定する方法によって求めた。

運河に出入りする海水の流速はフロウ式小型流速計(CM10S型、最小2.0 cm/sec測定可能)を用いて測定し、水面下0.5m以下の流向は耐水合板製十字形水中浮子に清涼飲料水の空缶を表面浮子として双浮子により確認した。河川および下水の流量は表面浮子あるいは広井式流速計による流速測定によって求めた。運河内の水深は直径150mmの円板つき測深桿によって求め、軟弱な底質の深さは測深桿を右図のごとく逆に挿入することによって測定した。港内の水深は測深錘を吊下げて測った。

4. 調査結果

第1回(8月10日)の採水、採泥地点は図-1の丸印に番号を記入して示した。水質試験の結果は表-1に、底質試験の結果は表-2に示す値となった。この時の3本の水路での海水の流速は図-2に示すような値で、これから推定すると表-3に示すように運河内への水の流入・流出量に3.5 m³/secの差を生じた。測定時間が上記潮汐表からみて上潮時でありながら、流出量が多いことは測定の不正確さ以外に他の原因もあることが疑われたので、第2回の調査では運河内への海水流入、流出量の時間変化、流入河川水や下水流量のより正確な測定、運河内での海水の流動状況の調査、底質汚泥の堆積状況および運河内の水質の垂直分布とその時間変化を



把握することを目的として行なった。

運河内の水深は図-3の通りであり、前記の方法で測定した軟泥の堆積深さは図-4のようになった。これらの図では運河の延長方向を5分の1に圧縮して作図した。

水路における海水の出入の様子は複雑で、比較的短時間に流向が逆転することがしばしば認められた。その様子を水路ごとに図-6~8に示した。一般にこの日は降雨があったために表面は海側へかなり速く流れている(風向は逆)が、その時間変動は大きい。特に一の橋水路の流れは時間によって複雑な変化を示している。こうした流向の変化に関連があると思われるが、運河内の水位の変化を図-6に示した。測定点は中央橋および北浜橋の東岸である。観測間隔が不揃いであるが、潮位と関係なく運河内の水位がかなり短い周期で変動していることがわかる。運河内の水は才1回の調査時にも表層と下層とでかなり水質の異なることがわかったので、才2回の調査時には図-9の点で水質の垂直分布を調べた。各採水点ごとのDO

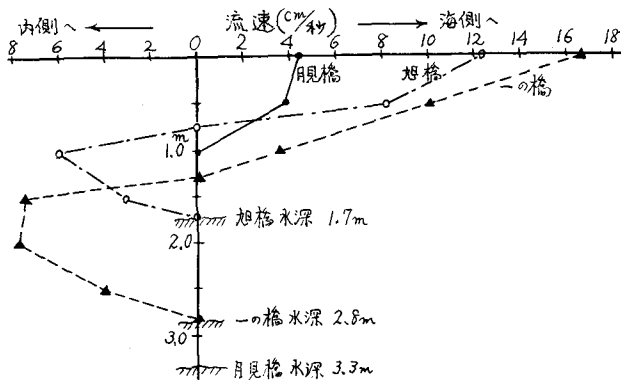


図-2 各水路における流速

(飽和%), 塩分(‰)

および水温についての値を

曲線で示した。またS.T.4およびS.T.8での水質の垂直分布の時間変動も調べたが、その結果は紙面の都合で省略する。図-9に示されるごとく表層には溶存酸素の多い淡水が薄く流れており、水面から50cm以下の層には海水が浸入している。表面の淡水は当日水温は下層の海水より1~2℃

表-1 小樽運河・港内水質試験結果 (49.8.10)

番号	採水地点	試料	気温 (°C)	水温 (°C)	pH	透明度 (cm)	電導度 (μm/cm)	DO (mg/l)	TOC (mg/l)	SS (mg/l)	採水時間
①	月見橋沖	表層水	26.0	24.3	8.0	26	21.50	11.99	16.9	~0	14:00
①	"	底層水			8.13		22.70				
②	オー埠頭沖	表層水	26.0	24.0	8.6	30	23.85	13.45	13.2	~0	14:20
②	"	底層水	26.0	22.0	8.36		23.30	8.87			
③	妙見川・浅草橋	河水	23.9	18.9	7.55	5	0.197		20.5	410	18:35
⑥	色内川・河口	河水	23.9	18.7	7.25	~20	0.291		20.0	60	18:30
④	函館製網前	表層水	29.0	23.0	7.00	13	1.155	4.37	9.9	11	15:20
⑤	小松鉄工所前	"	27.5	24.0	6.88	8	7.35	3.44	22.4	974	15:30
⑦	色内川・河口前	"	27.5	23.2	6.89	11	6.97	5.48	35.6	246	15:50
⑧	魚卸売市場前	"	29.5	25.3	7.13	23	15.95	3.23	9.9	337	16:10
⑨	北星トラツク前	"	27.0	24.0	7.02	6.5	11.70	2.46	40.9	825	16:30

表-2 小樽港内および小樽運河 底質調査結果 (49.8.10)

番号	採泥地点	外観	水深 (m)	湿式重量 乾燥率 (%)	固形物のうち 有機物の割合 (%)	重金属濃度 (ppm: 乾燥固形物当たり)									
						Zn	Cd	Hg	Cu	Pb	As	Cr	Mn	Co	Ni
①	月見橋沖	黒色 粘泥状	8.7	12.5	-	700	1.0	-	88	192	13	32	240	16	28
②	オー埠頭沖	黒色 粘泥状	10.6	9.9	2.35	1320	3.4	ND	64	192	27	30	260	13.5	38
④	函館製網前	黒色	2.0	13.8	4.23	880	1.2	-	76	126	5	28	440	2.0	24
⑤	小松鉄工所前	"	3.4	16.1	-	1120	1.6	ND	124	166	9	30	160	15.5	24
⑦	色内川・河口前	" 粘泥状	1.1	14.3	4.85	760	0.8	-	88	300	13	32	480	24	28
⑧	魚卸売市場前	"	3.25	23.5	-	1420	2.4	-	136	360	9	34	180	18	24
⑨	北星トラツク前	" 粘泥状	1.95	19.7	6.62	1120	0.9	ND	144	200	16	32	440	2.0	26
比較	石川七尾湾 (48.11.9)					51	0.22		27	55		30		6	14
⑦	東京湾大森沖 (43.11.12)					900	0.71					102			
⑦	札幌下水汚泥 (49.11.6月)					~2620	1.0	1.2	88	18	1.4	32	135	10	~145

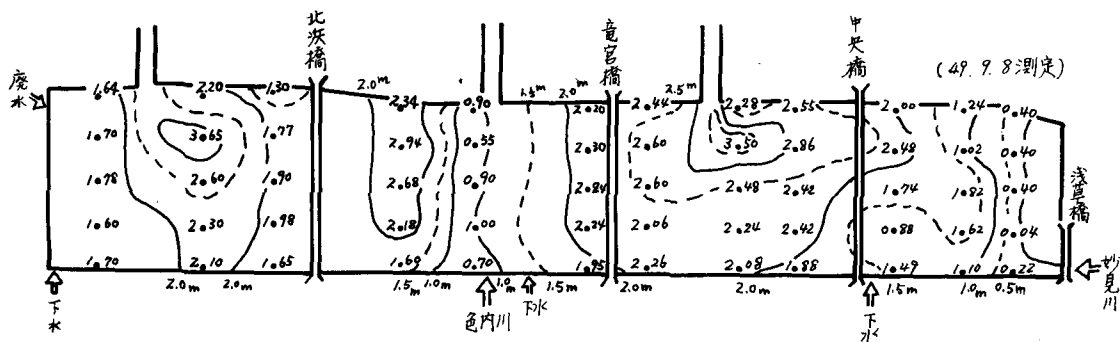


図-3 小樽運河内等深線図 (軟い泥泥表面より水深)

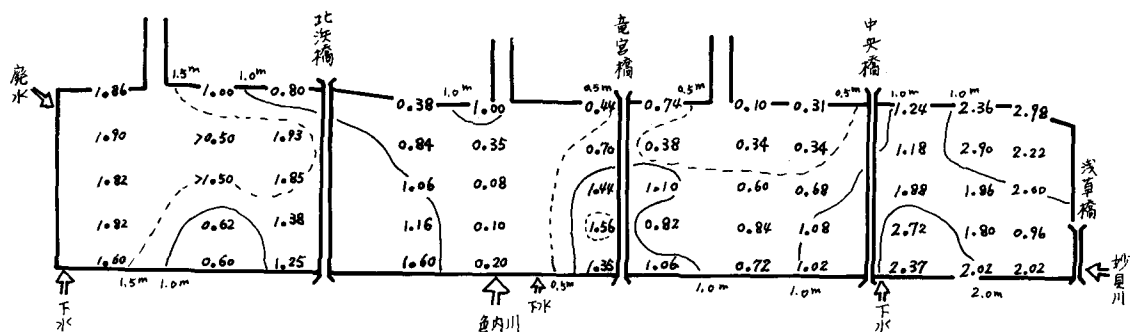


図-4 小樽運河内軟泥堆積深さ (堆積軟泥量 52,272 m³)

ひくつかつに、塩分濃度からみてほとんど行なわれていない。垂直分布の時間変動からみてもおおむね同様のことが言えるが、S.T.8では12時30分から13時30分にかけて一時的に底層水に汚れた海水が浸入してきた。これは運河内を舟が通過したことによる。舟の通行によって底泥がまきあげられると表-1の⑤地点のSS値が示すように泥泥が浮遊する。このように泥泥が浮遊状態にあれば沈殿状態にある時よりも速かに水中の溶存酸素を消費する。その程度を

表-3 運河内水収支概算 (49.8.10)

水路	測定時刻 (時:分)	流入 (m³/秒)		流出 (m³/秒)
		淡水	海水	
妙見川	15:20	0.42		
色内川	18:30	~ 0.2		
月見橋水路	16:25		~ 0	0.77
旭橋水路	16:45		0.86	1.63
一の橋水路	17:20		2.15	2.74
合計		3.63		5.14

表-4 運河流入河川・下水の流量、水質調査結果 (49.9.8)

採水場所	時刻 (時:分)	流量 (m³/秒)	流速 (m/秒)	水温 (℃)	透明度 (cm)	電導度 (mS/cm)	pH	BOD ₅ (mg/L)	TOC (mg/L)
妙見川・浅草橋	12:00	0.525	0.913	17.0	14.5	0.201	6.70	17.4	11.0
"	16:00	1.053	1.17	-	1.5	0.210	7.15	56.5	62.7
中央橋直下下水	13:30	0.037	0.61	-	4.5	0.317	7.10	80.3	29.0
色内2目下水溝	13:00	0.031	0.21	18.0	10.0	0.320	7.30	39.7	22.4
色内川 河口	12:30	0.216	0.17	18.0	13.5	0.439	7.30	26.6	12.0
運河北端下水渠	12:40	0.062	0.78	17.0	7.0	0.748	6.95	116.1	62.5
日産廃水放出口	3/11:00	~ 0	-	-	17.0	0.773	7.25	20.4	9.2

知るために第1回目の調査で採取した泥泥について単位重量当りの酸素消費速度を測定したが、港内より比較的汚染度の少ない②地点の泥に比べて運河内の泥は2~3倍の酸素を消費する能力をもっている。(表-2参照)

5. 考察

以上の調査結果をもとに現在の小樽運河の汚濁状況およびその改善方法について考察を加えてみた。まず、現在の運河内の水質は海水の流入が多い部分は比較的良好的状態にあるが、北部の④地点、S.T.9付近は下水や工場廃水の影響で汚濁が著しい。また南部の妙見川河口付近も河水と共に流入する下水の影響を受けている。しかし全般的に有機物濃度が高いので

停滞した海水は沈泥の影響もうけて溶存酸素の不足をきたし、腐敗状態になり易く、ガスの発生を見るに至っている。こうした状態を生じに原因は無処理の下水や廃水の流入が続いているためである。従って改善対策の第一としては下水道の整備と工場排水の充分な処理によって運河内へ有機汚濁物質の流入を停止させることである。市としては現在下水道建設工事を進めているが、一日も早く該当区域の下水の収集管を整備

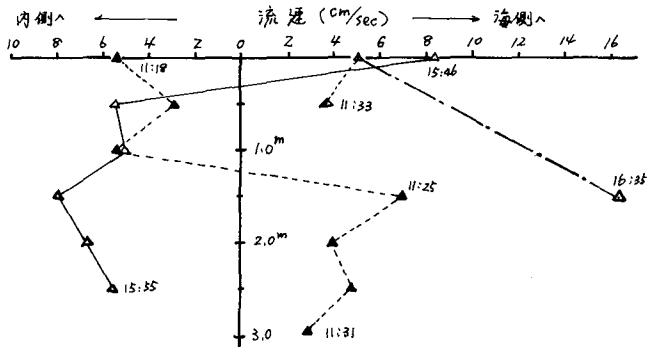


図-6-1 榑水路水深別流速時間変化 (49.9.8)

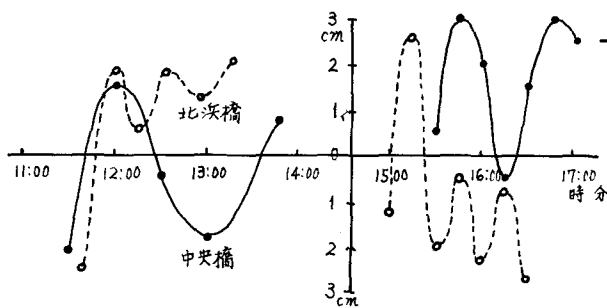


図-5 運河内水位の時間変動

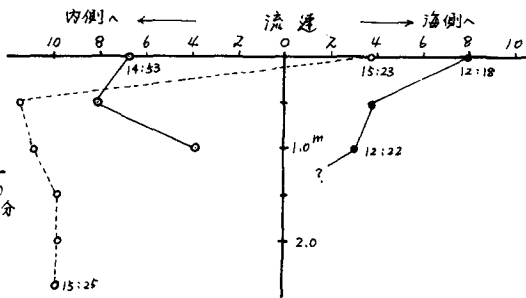


図-7 月見橋水路水深別流速時間変化 (49.9.8)

されることを望む。つぎに、既に堆積している沈殿汚泥の没没が不可避である。堆積している軟弱な汚泥の量は図-4から算定すると52,272m³となる。水深が浅くなっているためにこの底質は舟の通行時に簡単にきあげられ、水の腐敗を助長する。溶存酸素濃度Cの変化は巨視的にみて次の式であらわされる。

$$\frac{dC}{dt} = K_L \frac{A}{V} (C_s - C) + \left[\sum (D_i C_i) - \sum (D_e C_e) \right] - rS + pCh$$

ここでAは運河の水面積、K_Lは再び気に関する交換係数、Vは運河内水量、C_sは飽和酸素濃度、D_iはVに対する流入下水(河水等)の割合(=B_i/V)、D_eは同様に流出水の割合、rは底質の酸素消費速度(単位量当たり)、Sは水中での汚泥濃度、Chは光合成に参与する微生物量、pはγのO₂発生速度である。運河内では

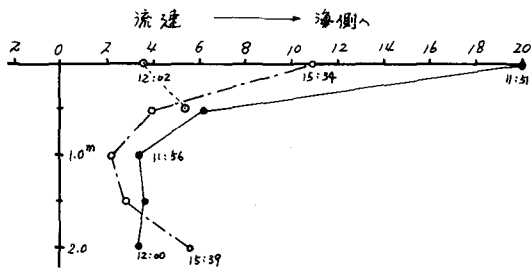


図-8 榑水路水深別流速時間変化 (49.9.8)

表-5 小樽運河内水質試験結果 (49.9.8)

地点番号	採水地点	時刻(時:分)	水深(m)	採水深(m)	水温(°C)	pH	透明度(cm)	塩分(%)	電導度(mS/cm)	Cl ⁻ (%)	DO(%)	BOD ₅ (mg/l)	TOC(mg/l)
ST.1	浜倉庫(220口)前	11:30	0.25	0.2	17.7	7.2	6.5	1.7	3.21	0.93	57.9	13.0	24.0
ST.2	函館製網前	11:45	2.0	1.5	20.9	7.65	17.0	31.7	42.70	17.55	33.5	8.3	10.2
ST.3	北日本倉庫中央前	11:30	3.0	2.5	21.0	8.0	>30	28.5	43.15	15.77	34.5	8.2	11.3
ST.4	協精工業前	15:30	2.8	2.7	21.2	8.05	>30	32.2	43.95	17.82	47.5	2.7	13.7
ST.6	北海製油前	16:15	2.2	2.0	21.1	7.80	>30	32.3	42.65	17.82	3.1	4.2	18.5
ST.7	二葉倉庫前	16:35	1.8	1.5	21.0	7.75	17.0	32.2	45.80	17.82	10.2	7.3	13.6
ST.8	製氷工場前	16:50	2.9	2.5	20.7	6.9	28.0	32.5	44.55	17.91	27.9	4.4	3.6

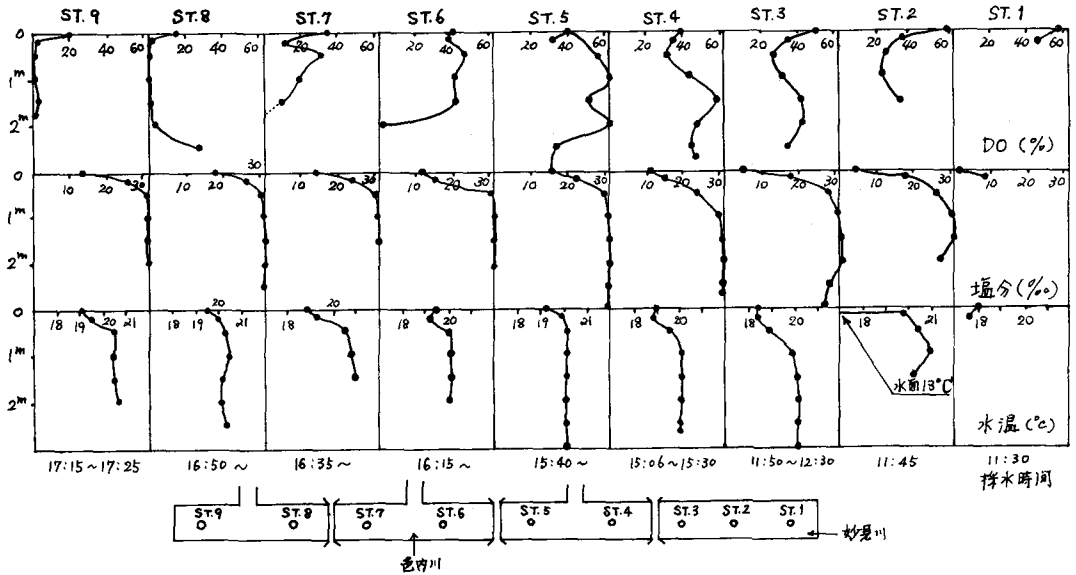


図-9. 運河内水質の垂直分布 (49.9.8)

は最終項は無視しうるもので、(a) C_i に C_s 以上の値をもたせるか、(b) 何らかの方法で KL を大きくするかのいずれかでなければ rS の存在を許したままに運河内の水に溶存酸素を充分に保持することはできないことになる。(a)の方法としては港内から表-1の①、②におけるような C_s 以上に DO をもつ海水が存在しているの3本の水路を通じて水の交換が良好に行なわれるならば自然にその条件をみたしうるが、図-5~8の実測結果からみてこれは期待できない。従って何らかの方法で強制的に外海の清浄な海水を流入させるしかない。(b)の方法としては水中に強制的に酸素を供給する設備を取りつけることである。最も動力効率のよい表面ばう気装置を用いるとして $r=5\text{ mg/Hr/g}$ 、 $S=1,000\text{ mg/l}$ として計算すると、30kWのエアレータ7台を配置して常時運転すればよいことになる。ただし、これらの2つの方法とも動力費を市の財政として負担しうるかが疑問である。従って rS をできるだけ小さくする方法としての浚渫が必要となる。この際に浚渫土砂の処分地での公害問題発生懸念は表-2の分析値からみてそれ程心配することはないであろう。埋立地から流出する排水の凝集沈殿処理を行なうことによっておおむね有害物質の流出を防止できる。運河内を平均3mの水深になるように浚渫するならば土砂量は上記の値よりわずかに43,267 m^3 となる。軟泥のみの浚渫では色内川河口の付近では水深1m以下となる部分も生ずるので、実際には一定の水深となるような浚渫が望ましい。またその程度の浚渫によって上記の目的は達せられるであろう。最後に、以上のような浚渫を行なっても色内川、妙見川からの天然の土砂流入は今後も継続して行なわれるであろう。また下水道が整備されるまでは下水の流入が続く。切角浚渫を行なってもその効果が持続しないことになる。流動状態を考えたとき、色内川(地橋水路への疎通)が良いが、妙見川は土砂や有機汚濁物質の沈殿を生じ易い。この運河南端の水面の一部を利用して仮締切りを行ない、この部分に仮設の沈殿池をおき、少なくとも浮遊固形物の除去を行なうようにすれば南端部への泥泥堆積を大巾に防止できる。また北端部分への廃水や下水の流入に対しては、一ノ橋水路までの北側部分を仮締切りによって運河と区分し、約3600 m^2 のばう気式ラグーンとして利用することにより、一時的に廃水の処理が可能となる。この運転費用は負荷量に比例して市および工場側が配分して負担することを提言したい。紙面の都合上、詳細な算定法や建設費の予測までふれられなかったが、恒久的な対策は下水道の整備を急ぐことであることを繰返してこの報告を終る。

1) 山本 善一、特定研究「環境汚染制御」水質予知班 第107-73377資料(昭49.7月) 2) 寺町和忠、第29回土木学会年次学術講演会、514 (昭49.10月)