

河川部門一自由課題

第19回建設省技術研究発表会

感潮河川(隅田川)における汚濁予知について

107

昭和40年11月

建設省土木研究所
下水道研究室

感潮河川（隅田川）における 汚濁予知について

杉 木 昭 典

1. 序

隅田川は岩淵水門で、荒川放水路から分岐している。岩淵水門から河口までの距離は23 Km、主な支川として新河岸川、石神井川、神田川があり、その他内水排除のための小水路が流入している。

流域面積は211 Km²であり、その人口は526万人である。この地域は東京都の主たる工業地帯の一つで、統計によると3,164の工場（従業員30人以上）から排水が隅田水系に放流されている。新河岸川沿岸と江東地区には製紙・パルプ工場、種々の化学工場等が集中している。

隅田川流域には、小台、落合、三河島、砂町の4つの下水処理場があり、処理人口は約200万人である。この地区の工業廃水は1日約60万トンで、その内20～30%が上記4処理場で処理されている。残余の廃水は未処理のまま隅田水系に放流されている。図1(a)、図1(b)に隅田水系の一般図を示す。

図2に一例として示す様に隅田川水系の水質は年々悪化している。夏季には殆んど全ての区間に亘つて嫌気性の状態になっており、メタンガス、硫化水素の発生がみられる。

この様な状態を改善するために下水処理施設の改良、下水処理場の新設、秋ヶ瀬導水路を建設し、利根川又は荒川から新河岸川に淡水を導き稀釈する計画、荒川放水路から比較的きれいな海水を導入する計画等の方策が計画又は検討されている。これ等の方策のうち処理場の改良、底泥の浚渫等は既に実施されて来ており、秋ヶ瀬導水路は39年8月に完工した。

昭和35年度以来、建設本省、荒川下流工事事務所及び本研究室は汚濁調査、水理調査を行なつて来ており、このたびその成果の一部を発表することとした。

2. 計算の基礎とした水理条件

感潮河川における拡散課程は、非感潮河川の場合に比べて複雑である。感潮河川に於ては汚濁物質は河川固有流によつて下流に運ばれ、潮汐によつて混合され拡散して行く。実際にはこの現象は同時に起る。

隅田川感潮部について汚濁計算を行なうには、岩淵水門と新河岸川からの淡水流量、水深等の水理条件が既知でなければならない。計算に用いた水理的な改良案は次のA、Bである。

A 隅田川の上流14 Km地点の秋ヶ瀬に於て、荒川と新河岸川を結ぶ水路を計画し、39年8月に完工した。この水路によつて、岩淵で隅田川に接続している新河岸川に荒川、

図 1 (a) 隅田水系一般図

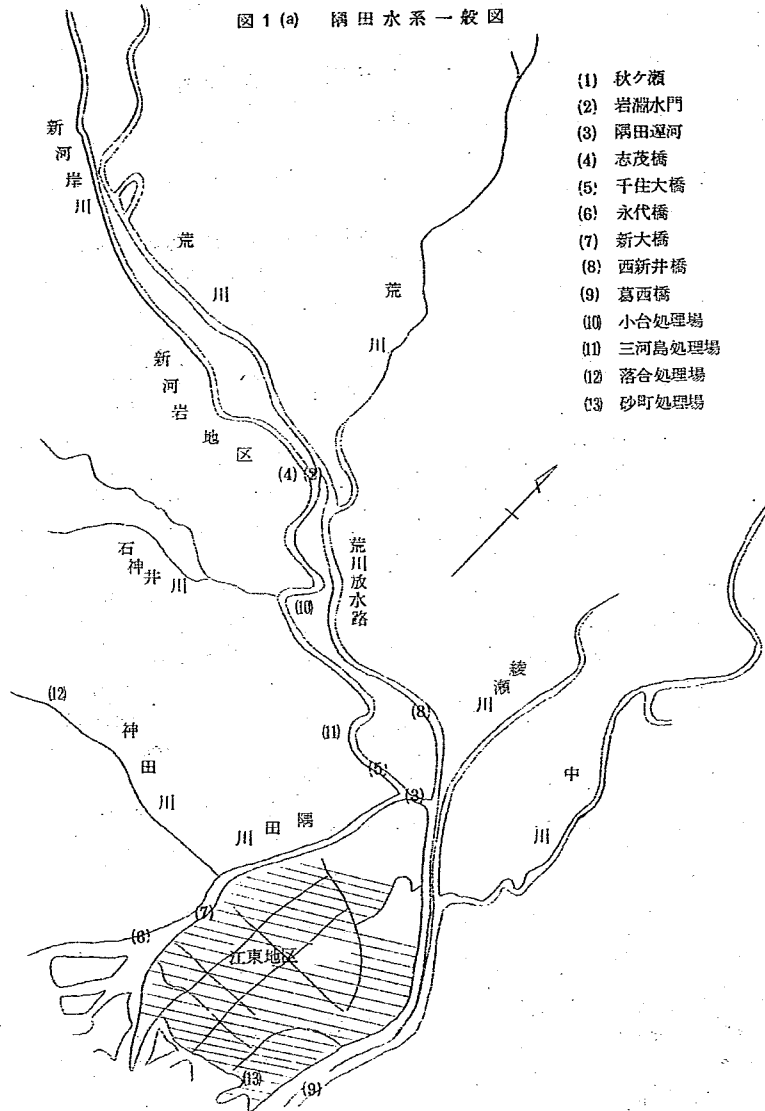
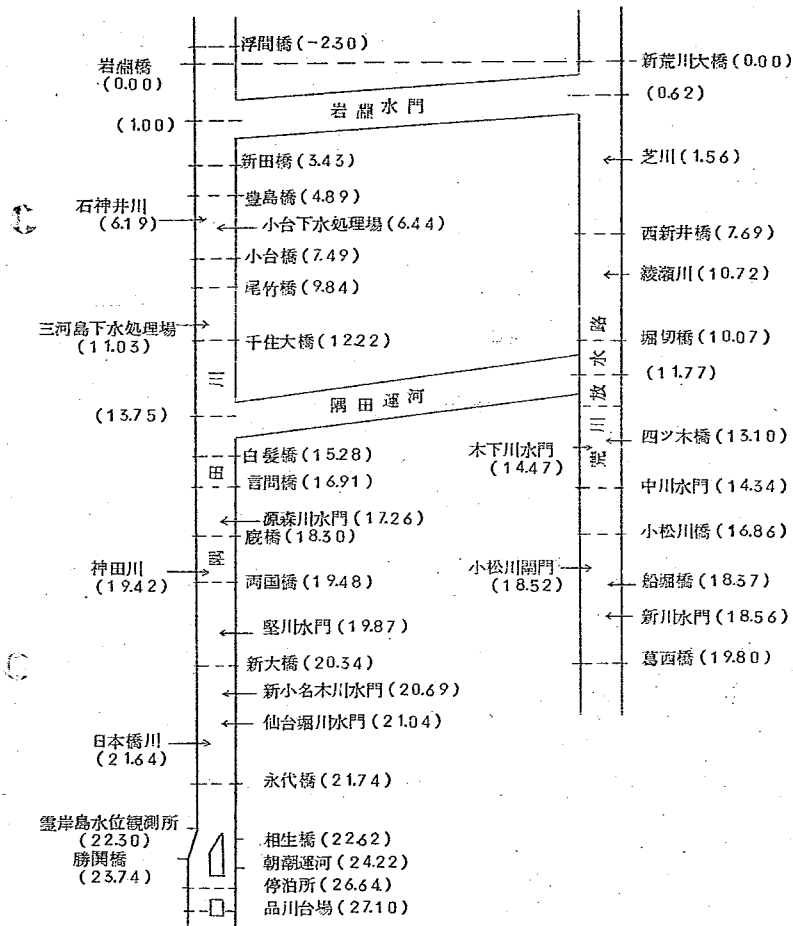


図 1 (b) 隅田川、荒川放水路距離図



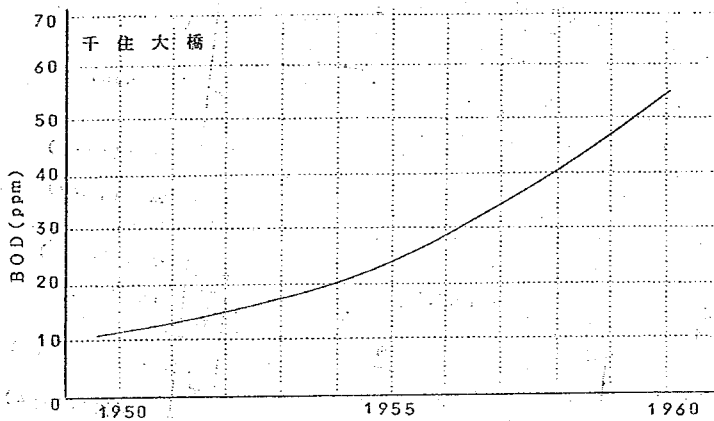


図-2 千住大橋における年平均BOD

利根川から最大30 m³/secの淡水を導入して渇水時の流量を増加し、汚濁を稀釈する。

B 岩淵附近の荒川放水路に流量調整堰を設ける計画。この堰によつて満潮時に比較的きれいな海水を貯留し、干潮時に放流する。この堰の操作により次の2つの効果が期待される。

- (a) 感潮部において、汚濁物質の流下時間が短くなること。
- (b) 比較的きれいな海水による稀釈効果。

河川研究室は上記の改良案を含むいくつかのケースについて下に示す運動の方程式

(1)式、連続の方程式(2)式を解いて水理条件を計算した。

$$\frac{\partial v}{\partial t} + v \frac{\partial v}{\partial x} + g \frac{\partial H}{\partial x} + G v |v| = 0 \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$B \frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (A v) = 0 \quad \dots\dots\dots (2)$$

v : 速度、 t : 時間、 x : 距離
 g : 重力の加速度、 H : 水深、 G : 粗度を表わす係数
 B : 河幅、 A : 河積、

水理計算の結果を表-1に示す。

表-1 水理計算結果

	1 潮時当りの流量 (100万トン)						隅田川及び新河岸川 の 流 下 時 間		
	新 河 岸 川			隅 田 川			新河 岸川	隅田川	計
	下流 方向	上流 方向	差	下流 方向	上流 方向	差			
A-1	1.27	1.04	0.23	8.39	7.55	0.84	81	232	343
A-2	1.08	0.75	0.33	13.14	4.91	8.23	81	37	118
A-3	1.80	0.02	1.78	5.98	4.07	1.91	12	136	147
A-4	0.72	0.04	0.68	3.02	3.85	-0.83	-	-	-

A-1 現在の状態

A-2 荒川放水路に堰を設けた場合

A-3 秋ヶ瀬に於て利根川又は荒川から淡水を導入した場合
(岩欄水門を閉じた場合)A-4 秋ヶ瀬に於て利根川又は荒川から淡水を導入した場合
(岩欄水門を開いた場合)

この表によれば、A-2、A-3の場合、水理の見地からみて改善の望みがある。
非常定流の場合により詳細な計算は、アナログ計算機によつて現在行なわれている。

3. 潮汐による混合の理論及び汚濁計算

感潮河川の汚濁計算法としていくつかの方法が提案されている。KETCHAM と STOMMEL はタイダルプリズムの概念及びそれを修正した方法を提案した。KENT は拡散方程式の数値計算を提案した。しかしこれ等の計算方法はいずれも縦方向拡散係数を特定の水利条件で求めることは非常に困難である。BOWDEN はイギリスの感潮河川に於ても縦方向拡散係数を用いて汚濁計算ができることを示している。PREDDY 等はタイダルプリズムの概念に修正を加えテームズ方式を提案した。テームズ方式では ARONS と STOMMEL の方法とは異なり、流れの方向の混合は完全ではなく潮汐による移動距離と潮汐の振幅の積に比例しない。

テームズ方式では、1 潮時の間に汚濁物質が上流と下流とに分れる割合を導入した。即ち "1 潮時の最初にある特定の点にあつた水塊はその潮時の終りには広がってしまう。もし下流に移動した割合を P_1 、上流に移動した割合を P_2 とすると残余の $(1 - P_1 - P_2)$ は最初の地点の極く近傍に留る" として広がった距離については、1 潮時の間に上下流 L なる距離に P_1 P_2 に分かるとし、 L を混合距離とした。

この方式では、2つの物質、即ち水塊と塩分についての連続条件と、上記3つの混合定数 P_1 、 P_2 、 $(1 - P_1 - P_2)$ に基づいて汚濁計算法を發展させた。テームズ河感潮部での研究によると、混合定数 P_1 、 P_2 、 $(1 - P_1 - P_2)$ は水利条件がかな

り変化しても各地点については殆んど一定である。

1. BOD分布について

各地点で流入する汚濁負荷量の見積りは、5回の水質調査によるBOD分布を定常なものと考え、次にT期間後の分布を計算して、この両者が定常になるよう汚濁負荷があるものとして計算した。

計算式は

$$B' = B e^{-KT} + \int_0^T I e^{-KT} dt \dots\dots\dots(1)$$

$$B'' = \frac{1}{A} \int_0^L \frac{BY}{L} dx + \int_L^{\infty} \frac{BY}{L} dx \dots\dots\dots(2)$$

B ; ある期間Tの始めに海水中にあるBOD

B' ; 河水による移送後のBOD分布

B'' ; 潮汐による混合後のBOD分布

K ; 河水中の脱酸素係数、0.1

X ; AP_1 、Y ; AP_2 、A ; 河 積

P_1 、 P_2 ; 分配係数

(1)および(2)式によつて、流水から見積つた負荷量を示すと表-2のようになる。

表-2 流入汚濁負荷量 (BOD)

計 算 結 果		資 料	
流入地点 (km)	流入量 (ton/T)	地 域	流入量 (ton/T)
2	25.0	新河岸川	34.9
1	5.5		
5	14.0		
7	16.5	志茂橋～小台橋	24.6
10	9.0		
13	9.2		
15	6.1	小台橋～白髪橋	21.9
18	7.0		
20	12.3	神田川	19.7
21	9.4		

表-2によれば、ほぼ両者の値は一致しているといえる。この汚濁負荷に対して、表-3に示す水理条件に対して、BOD分布をThames方式によつて計算した結果を表-4、図-3に示した。

表-3 計算ケース一覧表

ケース	新河岸川 流入流量	秋ヶ瀬 流入流量	岩瀬水門 流入流量	備 考
	(m^3/T)	(m^3/T)	(m^3/T)	
I	11.2	0	24.1	A-1.負荷量現状
II	11.2	134.1	0	A-3.負荷量現状
III	11.2	134.1	-3.94	A-4.負荷量現状
IV	11.2	67.1	57.3	A-2.秋ヶ瀬流入量 $15m^3/S$
V	11.2	0	24.1	A-1.全負荷量 50%
VI	11.2	134.1	-3.94	A-4.全負荷量 50%
VII	11.2	0	24.1	A-1.新河岸負荷量 0%
VIII	11.2	0	24.1	A-1.新河岸負荷量 50%

A-1. 現在の状態

A-2. 秋ヶ瀬よりの流入量 $15m^3/S$

A-3. 秋ヶ瀬に於て利根川又は荒川から淡水を導入した場合
(岩瀬水門を閉じた場合) $50m^3/S$

A-4. 秋ヶ瀬に於て利根川又は荒川から淡水を導入した場合
(岩瀬水門を開いた場合) $50m^3/S$

表-4

地点	ケース	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
		(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)
-	2	73.5	14.9	14.9	32.1	36.8	7.4	0	36.8
-	1	72.1	14.8	14.7	31.7	36.2	7.3	0	36.2
0		71.2	14.6	14.6	31.3	35.6	7.2	0	35.6
1		44.8	14.3	14.9	22.6	22.8	8.6	4.8	24.8
2		41.6	14.0	14.5	21.6	21.1	7.4	5.5	23.5
3		36.2	13.5	14.1	21.1	18.2	7.1	4.3	20.3
4		32.9	13.1	13.5	21.1	16.7	6.9	4.2	18.6
5		47.4	19.8	20.3	27.6	23.8	10.3	21.5	34.5
6		43.5	18.8	19.5	26.3	22.0	9.8	20.5	32.3
7		44.7	23.2	24.1	30.8	22.4	12.0	28.2	36.4
8		43.0	22.0	23.1	29.2	21.5	11.7	27.9	35.6
9		39.8	20.9	22.0	27.3	19.9	11.0	25.9	32.8
10		42.2	23.4	24.5	32.7	21.1	12.3	29.4	35.7
11		35.5	22.1	22.9	29.4	18.0	11.5	25.2	30.1
12		32.0	19.5	20.3	24.8	16.3	10.2	22.9	27.2
13		31.8	20.6	20.5	25.8	16.0	10.4	23.4	27.3
14		34.3	21.0	20.5	28.5	17.5	10.4	25.9	29.9
15		32.5	21.4	22.4	28.2	16.5	11.4	25.4	28.7
16		26.8	19.0	19.7	23.2	13.7	10.0	21.2	23.6
17		20.9	15.0	15.3	18.6	10.7	7.9	16.1	18.4
18		14.4	11.5	12.0	15.6	6.5	6.4	10.5	12.1
19		11.7	9.8	10.4	12.6	5.4	5.5	8.5	9.7
20		8.1	6.7	6.9	12.6	4.2	4.0	6.3	7.0
21		8.4	6.9	7.6	13.3	4.2	4.3	6.5	7.2

2. 溶存酸素の分布

T期間(1潮時)における溶存酸素分布の変動を、1. 潮時による場合
2. 移送による変動とに分けて考える。

1) 計算式は

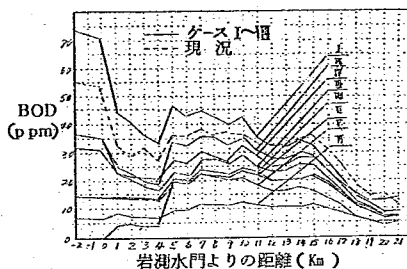


図 - 3

$$D' = \frac{1}{A} \left[\int_0^L \frac{DY}{L} dx + \int_L^T \frac{DX}{L} dx + D(A - X - Y) \right] \dots\dots\dots(3)$$

$$D'' = D' e^{-\int_0^T \frac{G}{H} dt} + \int_0^T k B e^{-\int_0^T \frac{G}{H} dt} \times dt \dots\dots\dots(4)$$

D ; T期間の始めに河水中にあるDO不足量

D' ; 混合後のDO不足量

D'' ; T期間の再曝気、脱酸素を受けたDO不足量

k ; 脱酸素定数 (1/day)

G ; 酸素交換係数 (cm/hr)

H ; 平均水深 (cm)

B ; BOD値 (ppm)

実際の演算にあつては(1)式を和分になおし、(2)式における k 、 G 、 H 、 B が時間的に変化しないものとする。

(3)式より

$$D' = \frac{1}{A} \left[\frac{\Delta x}{L} \left(\frac{D_L Y_L}{2} + \sum_{i=1}^{L-1} D_i Y_i + \frac{D_0 Y_0}{2} \right) + \frac{\Delta x}{L} \left(\frac{D_0 Y_0}{2} + \sum_{i=1}^{L-1} D_i X_i + \frac{D_{-L} X_{-L}}{2} \right) + D_0 (A_0 - X_0 - Y_0) \right] \dots\dots\dots(5)$$

(4)式より

$$D'' = D' e^{-\frac{G}{H} 24T} + k B T e^{-\frac{G}{H} 24T} \dots\dots\dots (6)$$

2) 計算条件

(i) k $k = 0.1$ (1/day 20℃)

(ii) G 昭和39年10月7日、10月28日の実測より算定した。§ 3参照。

(iii) H 昭和38年度実測の第1回、第3回および第5回調査により0 Km~2.1 Km間を求め、また、2.1 Km~3.5 Km間は海図より求めた。

0 Km~2.1 Km間..... 440 (cm)

2.1 Km~2.5 Km間..... 605 ("

2.5 Km~3.0 Km間..... 730 ("

3.0 Km~3.5 Km間..... 1,145 ("

(iv) T $T = 0.518$ (day)

(v) BODおよび流量は昨年度BOD分布を計算する際のケースⅢおよびケースⅣを用いた。

すなわち、ケースⅢ、ケースⅣ共に秋ヶ瀬より30 m³/Sの浄化水を放流したものであるが、流入負荷量がケースⅢの場合は現況の50%としたものである。

3) 酸素交換係数; G (cm/hr) の算定

38年度の観測では、隅田川全川にわたって溶存酸素はほとんど零であつたので、39年9月10日より行われた浄化用水の放流時の観測資料により G を算定した。

計算にあつては、数々の G によりDO分布を算定し実測との比較から $G = 1.0$ cm/hr とした。

計算結果は表-5、図-4に示す。

表 - 5

地 点	DO不足量	DO(ppm)	地 点	DO不足量	DO(ppm)
- 2	7.8	1.0	10	8.5	0.3
- 1	7.8	1.0	11	8.5	0.3
0	7.9	0.9	12	8.4	0.4
1	7.9	0.9	13	8.5	0.3
2	7.9	0.9	14	8.6	0.2
3	8.0	0.8	15	8.5	0.3
4	8.0	0.8	16	8.2	0.6
5	8.1	0.7	17	7.9	0.9
6	8.1	0.7	18	8.0	0.8
7	8.2	0.6	19	7.7	1.1
8	8.3	0.5	20	7.3	1.5
9	8.4	0.4	21	6.6	2.2

4) 境界条件

○上流端

～2 Km地点より流入する水の溶存酸素量は、38年度における5回の観測資料および39年度10月7日・28日の通水後の観測結果により求めた。

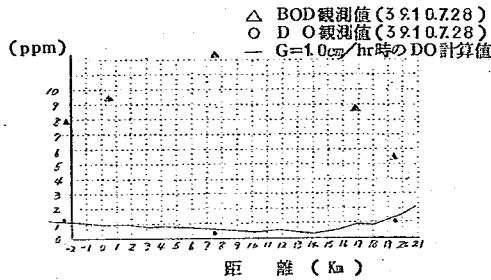


図 - 4

38年実測平均 $Q = 156.4 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{T}$ DO = 0.60 ppm

39.年10.7・28平均 $Q = 185.0$, DO = 0.90

上の2点間を一次近似して当該流量に相当する溶存酸素量を算定した。

なお流入負荷量の変化にともなう溶存酸素量の変化は実測がないため算定できず、ケースⅥの計算に当たっての上流端境界条件としてはケースⅢと同じ条件を用いた。

○下流端

40年3月に実施した東京港内の水質調査の結果が間に合わなかつたので38年観測資料のみによつた。

すなわち、27.5 Km地点においてDO = 1.40 ppm を固定し、35 Kmで飽和に達するものとした。

5) ケースⅢ、ケースⅥにおけるDOの分布計算結果は下表一、図-5のごとくである。

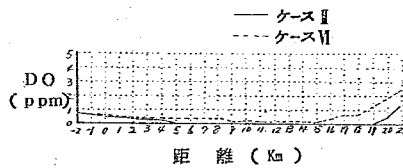


図 - 5

表 - 6

地 点	ケ ー ス	ケ ー ス Ⅲ		ケ ー ス Ⅵ	
		BOD (ppm)	DO (ppm)	BOD (ppm)	DO (ppm)
— 2		14.9	0.7	7.4	0.7
— 1		14.7	0.6	7.3	0.6
0		14.6	0.5	7.2	0.6
1		14.9	0.4	8.6	0.5
2		14.5	0.3	7.4	0.4
3		14.1	0.3	7.1	0.4
4		13.5	0.2	6.9	0.3
5		20.3	0	10.3	0.3
6		19.5	0	9.8	0.3
7		24.1	0	12.0	0.3
8		23.1	0	11.7	0.4
9		22.0	0	11.0	0.1
10		24.5	0	12.3	0.2
11		22.9	0	11.5	0.1
12		20.3	0	10.2	0.1
13		20.5	0	10.4	0.2
14		20.5	0	10.4	0.1
15		22.4	0	11.4	0.1
16		19.7	0	10.0	0.3
17		15.3	0	7.9	0.7
18		12.0	0	6.4	0.7
19		10.4	0	5.5	1.1
20		6.9	0.4	4.0	1.7
21		7.6	1.4	4.3	2.5