

# 水質汚濁と大気汚染

杉木 昭典\*

## は し が き

読者諸兄には、水質汚濁や大気汚染は、コンクリートや河川などと違って、いささか馴じみのうすいことと思われる。さらに、これらは、それぞれで一書をなすほどの内容をもってあり、限られた紙数では十分意を尽せない憾がある。したがって、著者は、できるだけ簡単に、現況とそれが人類におよぼす影響、さらに測定法の概要をのべるにとどめることにした。さらにくわしくは、本章末尾に参考文献を掲げておくので、それらを参照して戴きたい。

## 1. 水質汚濁の調査

日本における近代的水道建設は、1890年代に着手され、その歴史は比較的古い。しかし、1963年においてその普及率は総人口の11%、また、処理されるのは7.2%と非常に低い。日本における都市化のすう勢はいちじるしいものがあり、昭和40年において4726万人、全人口の41%で、昭和35年の実績からの推定を上回ること131万人であり、昭和60年には総人口の80%、9300万人が都市に住むと予測されている。さらに、工業生産の伸びは、昭和30年頃からの所得倍増計画の推進から、毎年の伸び率は13%から14%、実質国民総生産で9%をこえている。これらのことが重なって、水公害の形で水質汚濁がひき起こされ、隅田川をはじめ都市河川の汚濁はいちじるしく、また上水道水源も次第に水質について神経をとがらさざるをえなくなってきた。都市河川の例として隅田川の水質の経過を示すと、昭和25年三河島下水処理場付近の水質がBODで10ppmであったものが、昭和30年20ppm、昭和40年50ppmをこえている。さらに経済企画庁の推計によれば、隅田川に流入する1日当りのBOD負荷量は195.3tの多きに上り、そのうち32%が家庭下水、68%が工場排水と推

\* 正会員 東京大学助教授 工学部都市工学科

定されている。多摩川における最下流に位置する東京都の玉川浄水場の原水は、昭和30年頃から次第に悪化し、BODは30年2.5ppmから昭和40年4.8ppmに、アンモニア性窒素0.04ppmから4.97ppmに、さらに合成洗剤ABSが昭和40年1.95ppmとなって、ほぼ浄水技術の限度まで達し、薬品費も、昭和30年0.244円/m<sup>3</sup>から昭和40年には1m<sup>3</sup>当り、5.16円もかかるようになってきた。かかる見地から、昭和33年12月「公共水域の水質に関する法律」と「工場廃水の規制に関する法律」が公布され、昭和41年度末において調査済河川84水域、指定水域の指定と水質基準の設定されたものは17水域である。

### (1) 利水上必要な水質

#### a) 水道原水

上水道原水に対する水質基準は、浄水方法によってことなる。近藤正義は、水質汚濁限界として表-1のような値を示し、さらに原水水質と浄水方式との関係を表-2のように示している。

表-1 水道水源汚濁限界 (近藤)

区分	濁度	BOD (ppm)	溶存酸素 (ppm)	大腸菌群 (100ml)	一般細菌 (1ml)
小規模水道	通常10以下 最大30	1~2	5以上	500	1000以下
中規模水道	〃30以下 〃100	平均2.5 最大4.5	〃	2000以下	10000以下
大規模水道	—	平均4.0 最大6.0	〃	平均10000 最大25000	平均25000 最大100000

表-2 原水水質と浄水方式 (近藤)

濾過	予備処理	濁度 (BOD)	大腸菌群 (100ml)	一般細菌 (1ml)
緩	1 不要	10以下 2以下	500以下	1000以下
	2 普通沈殿	10~30 2~3	500~2000	1000~5000
	3 凝集沈殿 (間断的)	30以上 3以下	2000以上	5000以上
	4 凝集沈殿 (強化) 又は予備ろ過	50以上 3~4	2500 〃	10000 〃
速	特 前塩素凝集沈殿 (常時) 又は予備ろ過	100以上 4~6	10000 〃	100000 〃
急	1 凝集沈殿	50以下 2~3	2500以下	10000以下
	2 前凝集 塩素 (殺菌) 凝集沈殿	50以上 2~3	2500以上	10000以上
	3 前凝集 塩素 (酸化) 凝集沈殿	100以上 4~6	10000以上	100000 〃

表-1, 2 から原水として許容しうる限度は、BODが4~6ppmとされ、BODがこれより高くなれば、上水の水質基準中の蒸発残留物が500ppmをこえ、さらにアンモニアやABSのために特殊の処理が必要となる。表-1, 2 に示される水質以外の原水の水質許容限度は、通常の浄水方法では溶存イオンは除去されないと考えて飲料水基準と同じと考えた方が無難である。WHOが

表-3 WHO 水源水質標準

色度	300	亜鉛	1.5 mg/l	全窒素 (除 NO <sub>3</sub> )	1 mg/l	沸素	1.5 mg/l
全溶存物質	1500 mg/l	マグネシウム + ナトリウム	1000 mg/l	NH <sub>3</sub>	0.5 mg/l	フェノール類	0.002 mg/l
鉄	50 mg/l	ABS	0.5 mg/l	有機物 (カーボンクロホルム抽出)	0.5 mg/l	砒素	0.05 mg/l
マンガン	5 mg/l	COD	10 mg/l	グリース	1 mg/l	シアン	0.2 mg/l
銅	1.5 mg/l	BOD	6 mg/l	NO <sub>3</sub> -N	45 mg/l	鉛	0.05 mg/l
大腸菌群 100 ml		消毒のみ 0~50	普通浄化 50~5000	特別浄化 5000~50000	不適 50000 以上		

表-4 木村 試案

項目	対 象	
	農作物 (水稲)	農地 (水田)
pH	5.5~7.5	5.5~7.5
塩類濃度	500 ppm	200 ppm
硫酸イオン	50 "	30 "
アンモニア態窒素	0.5 "	10 "
塩素	900 "	1500 "
銅	0.8 "	0.5 "
亜鉛	40 "	30 "
ニッケル	2.0 "	1.0 "
コバルト	3.0 "	1.5 "
マンガ	100 "	100 "

(出所)「用水と廃水」7, No. 10, p. 60 (1965).

定めた、種々のイオンの源水許容限度を示すと表-3のようで、上水用水源として水質を考慮する場合には、表-3を参照するとよい。

b) 農業用水

農業用水の水質許容限度は、一般に都市用水に要求されるものよりゆるい場合が多い。用水の農業被害は、用水中の物質が水田など土壌に蓄積した結果被害が起きるもの、たとえば鉱山廃水中の銅イオンなど、と用水中の物質そのものによって影響を受ける場合とがある。木村学面による農産物(水稲)そのものに対する許容限度と、土壌の蓄積を考慮した水質限度を示すと表-4のようである。昔は、鉱山廃水や海水など、無機汚染による水稲の被害について研究されたが、最近では都市排水、工場廃水による被害が目だってきた。

c) 水産用水

水産用水の水質基準に、昭和40年水産資源保護協会<sup>22)</sup>の示した水質許容限度がある。この基準を示すとつぎのようである。

① BOD (生物化学的酸素要求量) : 20°C 5日間のBODが5ppm以下であること。ただし、サケ科およびアユについては、3ppm以下であること。

② DO (溶存酸素) : 24時間中16時間以上は5ppm以上、いかなるときでも3ppm以上であること。

③ pH : 淡水域においては、6.5~8.5であること。

④ 濁り

④の1:人為的に加えられた懸濁物質は10ppm以下であること。

④の2:藻類が対象となるとき、(1)海洋にあって

は、藻類の繁殖水位において、その繁殖に必要な光度が保持されること、(2)河川にあってはいちじるしい着色のない水であること、(3)有機物などによって底

土上に汚泥床などが生じないこと。

⑤:商品価値低下をきたす成分

⑤の1:漁獲物に異常な臭いがつかない水であること。たとえば、(1)鉱油については水中含有量が0.01ppm以下であること、(2)フェノールについては、0.01ppm以下であること。

⑤の2:その他商品価値を低下させない水であること。たとえば、(1)ミドリガキを生じないためには、銅は0.0075ppm以下であること、(2)水俣病の原因となる魚介類ができることを防止するためには、環境条件によっては水銀が存在しないこと。

⑥ 水温:棲息する生物に悪影響をおよぼすほど、自然水の水温の変化がないこと。

⑦:急性毒物質

表-5 規制基準

物質名	記号	濃度 (ppm)
水銀	Hg	0.004
銅	Cu	0.01
カドミウム	Cd	0.03
亜鉛	Zn	0.1
鉛	Pb	0.1
アルミニウム	Al	0.1
ニッケル	Ni	0.1
クロム	Cr	1.0
マンガ	Mn	1.0
錫	Sn	1.0
鉄	Fe	1.0
シアン化物CNとして	CN	0.01
遊離塩素	Cl	0.02
臭素	Br	1.0
弗化物Fとして	F	0.5
硫化物		f pH 6.5 における (許容濃度Sとして) 1.0
アンモニア		f pH 8.0 における (許容濃度Nとして) 1.0

⑦の1:純粋な化学成分は表-5の濃度以下であること。

⑦の2:産業廃水等(多くの急性毒物質が、不等定の比率によって混合している水)については、その関係水域の重要生物を用いた48時間TLM値(検水中の魚の50%が弊死する濃度)の1/10以下であること。

⑦の3:複数の産業廃水が混合する場合、その条件に応じた生物試験結果より得た安全だと思われる濃度以下であること。

d) 水浴レクリエーション

水浴および遊泳に関する水質基準は、河川水を飲むことなどにより起こる赤痢、チブス罹患を考えるので、大腸菌群数が重要な意義をもっている。昭和 32 年厚生省制定の「夏季観光地等の清掃基準」では、(1) 大腸菌の最確数は 100 ml 中 10 000 までよい、(2) 50 000 まではやむをえない、(3) 50 000 以上はいけない」と定められている。

昭和 35 年の測定では、鎌倉で 1 100~49 000、横浜港で 3 200~350 000 となっている。アメリカでは 50~3 000/100 cc と日本での数よりいくらか厳しく、水質汚濁東京会議でシドニー港では 2 000 が望ましいとしている。その他の物質について、数値を定めているところでもかなり大きく変動しているが、一例としてアメリカ合

衆国カリフォルニア<sup>(2,20)</sup>の例を表-6 に示しておく。

### (3) 水質項目の意義

読者はすでにいくつかの水質項目についての知識をえたと考えるが、ここに一般に共通に用いられるものに解説しておく。

有機汚染した廃水が河水中に入ると、この有機物は河川中の微生物によって分解される。水中に溶存酸素が存在するときは、好気性菌によって酸化され、最終的には炭酸ガスと水となる。溶存酸素がなくなると嫌気性菌によって分解され、メタンや炭酸ガス、硫酸還元菌によって硫化水素などが発生する。したがって、汚濁の主要指標として有機物量を計ることが大きい意義がある。

#### a) BOD 生物化学的酸素要求量

水中の有機物などの被酸化物が、好気性微生物により生物化学的に酸化分解される際に消費される酸素量を mg/l で表わすか、ppm (1/10<sup>6</sup>) で表わしたものである。水中の溶存物質が酸化を受ける状況は、まずはじめに不安定な化学成分、たとえば亜酸化物、亜硫酸塩、亜硝酸塩、硫化物などが分解する。これは大体 1 日で終了する。

ついで、有機物のうち炭水化物が酸化分解を受け、さらに窒素化合物を硝化バクテリアが亜硝酸、または硝酸に酸化したり、他の難酸化物質を酸化するのに水中の溶存酸素が消費される。一般に BOD は、20°C の恒温室に 5 日間培養したとき消費される酸素量で表わされるが、Thames 河のように汚濁水が河水中に 20 日以上も停滞するような所では、BOD<sub>5</sub> は示標として不適当である。したがって、このような所では理論必要酸素量、すなわち有機炭素はすべて炭酸ガスに、窒素は硝酸に酸化されるとしたときの酸素量を示標として用いる。これを UOD (Ultimate Oxygen Demand) ppm と称し、次式で表わされる。

$$UOD = 2.67 c + 4.57 N \dots\dots\dots(1)$$

c: 汚染水中の有機炭素量 (ppm)

N: 汚染水中のアンモニア態、有機性窒素 (ppm)

#### b) COD

BOD は測定に少なくとも 5 日間を要するので、被酸化物質を酸化剤で化学的に酸化したときに消費される酸素量を測定することによって、時間的に早く汚濁物質の量を早く知るのに利用されるのが COD (Chemical Oxygen Demand) である。利用される酸化剤は、過マンガン酸カリおよび重クロム酸カリで、前者は有機物の 60% ぐらい、後者は 80% 位酸化できるといわれている。COD 値は、有機物の種類や酸化剤の種類、測定法によって大きくことなるので、COD 値には測定条件を明示しなければならない。BOD 値と COD 値の相関は

表-6 水質に関する必要事項

(カリフォルニア州)

特 色	娛 楽			美観上の 限 度
	水 浴 と 水 泳		漕艇と 釣 り	
	淡 水	海 水		
1. 細菌学的—ml/中				
Coliform (最 適 値)	0	1.0	10	
Caliform (最 大 値)	1.0	10	100	
2. 有機物—ppm				
BOD (最 適 値)	5	5	10	20
COD (最 大 値)	10	10	30	100
DO (最 適 値)	5	5	5	5.0
DO (最 低 値)	2	2	2	1.0
油 (最 適 値)	0	0	0	0
油 (最 大 値)	2	2	5	10
3. 反 応				
pH (最 適 値)	6.8~7.2	6.8~7.2		
pH (臨 界 値)	6.6~8.0	6.6~8.0		
4. 物理的—ppm				
濁り (最 適 値)	5	5	10	50
濁り (最 大 値)	20	30	50	
色 (最 適 値)	10	10	10	20
色 (最 大 値)	30	30	50	100
懸濁固形物 (最 適 値)	50	50		
懸濁固形物 (最 大 値)	100	100		
浮遊固形物 (最 適 値)	0	0	0	微量
浮遊固形物 (最 大 値)	144	144	144	144
5. 化学的—ppm				
全固形物 (最 適 値)				
全固形物 (最 大 値)				
Cl (最 適 値)				
Cl (最 大 値)				
F (最 適 値)				
F (最 大 値)				
有毒金属類 (最 適 値)	0.1	0.5		
有毒金属類 (最 大 値)	5	10		
Phenol (最 適 値)	5	50	1	
Phenol (最 大 値)	50	1	10	
硼 素 (最 適 値)				
硼 素 (最 大 値)				
Na の割合 (最 適 値)				
Na の割合 (最 大 値)				
硬 度 (最 適 値)				
硬 度 (最 大 値)				
6. 温 度—F (最 大 値)	65	65		
7. 臭 い (最 大 値)	皆 無	皆 無	中程度	異臭なし
8. 味 (最 大 値)				

表一 塩素イオン濃度による飽和酸素濃度 (ppm)

温度 (°C)	塩素イオン濃度 (Cl <sup>-</sup> ppm)				
	0	5000	10000	15000	20000
0	14.16	13.40	12.64	11.88	11.12
10	10.92	10.36	9.80	9.23	8.67
20	8.84	8.41	7.98	7.54	7.11
30	7.53	7.16	6.79	6.42	6.05

一般には認めたいが、特定の河川、特定の廃水について相関が認められる場合もある。廃水中に、微生物の活動を抑止する物質、たとえば、酸・アルカリ、フェノール、銅、クロム、シアン、さらに殺虫剤などが含まれて BOD が測定しがたい場合には、COD が重要な汚濁の示標となる。

c) 溶存酸素 (Disolved Oxygen, DO)

自然水域での溶存酸素量は、温度と塩分の関係で変化し、大体 5~10 ppm 含まれる。飽和溶存酸素量は、温度の高いほど少なく、また塩分によっても少なくなり、海水中では淡水の 80% ぐらいである。溶存酸素の飽和値は表一に示すようである。溶存酸素は生物の呼吸・有機物の酸化で消費され、植物の同化作用や、空気中から再曝気で補給される。河川における溶存酸素不足量は次式で表わされる。

$$D_t = \frac{K_1 L_a}{K_2 - K_1} (10^{-K_1 t} - 10^{-K_2 t}) + D_a 10^{-K_2 t} \dots (2)$$

これは、はじめの酸素不足量を  $D_a$  (ppm) とし、 $t$  日後の溶存酸素不足量を  $D_t$  (ppm) としたもので、 $K_1$  を脱酸素係数 (下水等で 0.1 1/日) で、 $K_2$  は再曝気係数 (小さな池などでは 0.05~0.1, 急流では 0.5 以上) である。 $L_a$  は第一段 BOD を表わしている。水理条件から  $K_2$  を求める方法は、参考文献<sup>9)</sup>に詳しい。

河川中の溶存酸素は、汚染物質によって消費されてはなほだしいときは皆無となる。一般に飽和酸素濃度の 50% 程度が魚類の生存の限界といわれ、溶存酸素が皆無となれば河水は嫌気状態となり、メタンガスや硫化水素が発生し、水中の鉄と結合して硫化鉄を生ずるために水の色は黒色となる。溶存酸素の測定には、採水中または固定するまでの間、空気中の酸素が検水に溶けないよう配慮する必要がある。

d) 大腸菌群

水中における大腸菌は、人間もしくは動物の排せつ物による汚染の示標として重要視され、前述のように水泳用水には限度があり、水道用水としても、100 ml 当り 10000 をこえると処理が困難といわれている。

e) 微量成分

微量成分として、考慮すべき項目は、水道や水産用水の項目に示されるものと考えてよい。これらの項目は、それぞれ急性毒あるいは慢性毒を考慮して定められたものであるが、分析限界で定められたものがあることは注

表一 水質分析項目とその意義<sup>9)</sup>

分析項目	汚濁の型と意義
透視度	有機・無機コロイドによる濁度
非溶解液	油
pH	酸・アルカリの強さ・河川構造物の腐蝕
酸度・アルカリ度	酸・アルカリの量・河川構造物の腐蝕
BOD, COD (過マンガン酸カリ, 重クロム酸・有機炭素)	有機汚濁
溶存酸素	酸化性汚濁の概略示標・魚に対する影響
浮遊物質	河床への沈殿する物質・魚の産卵の妨害、河床の推積
溶存固型物	溶解性の各種塩・植物・水産に影響
相対安定度	水質の安定性, H <sub>2</sub> S による臭気発生の有無の決定
各種窒素化合物—アンモニア・アルブミノイドまたは有機性・亜硝酸・硝酸	窒素化合物の安定化の程度
金属イオン・シアン	毒性
フェノール・遊離塩素	毒性・臭・味
硫化水素	毒性・臭
塩素イオン	塩分・水産用水として考慮・溶存酸素の飽和濃度
硫酸	コンクリートの腐蝕
カルシウム・マグネシウム	硬度
合成洗剤	泡立ち・毒性
鉄・アルミニウム	浮遊物質
遊離炭酸	毒性・河川構造物の腐蝕

表一 主要分析項目誤差一覧表

分析項目	分析対象	標準偏差	誤差
1 溶存酸素	希釈水	0.043 ml	1%
	N/40 テオ硫酸	0.058 ml	2%
2 BOD	生水	0.112 ml	3~8%
	沈殿下水	0.071 ml	2~5%
	活性汚泥処理水	0.084 ml	2~6%
	散水床処理水	0.075 ml	2~5%
3 COD (重クロム酸 N/4) サンプル 50 ml		0.07 ml	1.4~7%
4 Cl <sup>-</sup> モール法 硝酸第2水銀法			2.5%
			1.5%
5 SS* T.S-D.S 法	検水量 500 ml で T.S=100 mg/l, D.S=1 mg/l の検水の場合		20%

注) \* 半谷: 水質調査法による。 T.S: 全固型物 D.S: 溶存固型物

意する必要がある。くわしくは参考文献<sup>15), 27)</sup>を参照されたい。さらに、表一に水質項目の意義とその影響を示しておく。

f) 水質分析の精度

水質分析は、種々の手順で行なわれるので、当然採水方法によって起こる誤差のほか、分析そのものにおいても誤差が生ずる。アメリカの水質分析法(1-5)によれば、熟練した分析者が行なった場合の誤差は、表一に示すような値となる。普通日本で行なわれている方法では、表一に示された以上の誤差があるものと考えられる。

(4) 水質汚濁の調査

水質汚濁の調査は、大別して (1) 水系の水質変化を研究するための調査、(2) 現状を把握するための調査、(3) 紛争解決のための資料を得るための調査などがある。したがって、調査にはその目的を十分反映して計画し、実施しなければならないことは言をまたない。しかし一般に水質汚濁は、水理現象と密接に関連するので、現況把握のためには、対象水系の水理現象を十分考慮しなければ十分な成果をあげないだろう。さらに、大きな汚染源となっている工場廃水は、その工場の規模、種類によって大きくことなり、さらに同一工場でも、季節・時間によって、質・量ともに大きくことなることに注意しなければならない。

#### a) 環境調査

廃水の流入は、自然水域を変化させる。水域にある水について影響を受ける区域では、その水質が変化する。水質の変化だけでなく、河床さらに海底に変化がおよび、沈殿物によって底質の影響を受ける。これによって生物相に変化を与え、底棲生物、水域の生物、河岸に住む生物に変化を与える。したがって、調査は流水ばかりでなく、底質の分析を行なうことが望ましい。いくつかの水域について概況を述べる。

① 湖沼の汚濁：湖沼は、一般に汚濁に対して敏感である。有機汚染によって水質悪化が憂慮されている水域は、諏訪湖、琵琶湖の南湖など、次第に多くなってきた。酸化池として水深 1~1.5m の湖は、藻類による同化作用によって下水処理に用いられるが、一般の湖は水深ははるかに深く、また湖沼に水の躍層ができて、停滯期、夏冬には表面水と底層水との混合が行なわれず、また春秋には水の混合が行なわれる。浮遊物が湖底に沈殿し、有機物が堆積して底質が悪化するとともに、さらに分解したアンモニアが栄養分として利用されて水質を悪化させる。一般に正常な湖沼は pH が中性で、栄養塩もバランスがとれ、生物層も普通にみられ、溶存酸素も十分存在する。しかし、汚濁物質の流入によって溶存酸素が不足し、さらに栄養塩(窒素や燐化合物)の増加による生物の発生し底質の悪化がみられる。湖沼の許容汚濁量の計算法は参考文献<sup>15), 16)</sup>を参照されたい。

② 河川の汚濁：河川の自浄作用は、汚濁物質の希釈・拡散・沈殿および生物化学的酸化作用である。生物化学的酸化作用については、1. (3) e) に述べたので、希釈・拡散・沈殿について簡単に述べる。希釈は、物理的に廃水の希釈で河川流量が問題となる。河川の流量は四季によって変化があるが、九州、関東、東海地区では夏または秋に最大、冬に渇水が起こる地方と、東北、東山、山陰、瀬戸内のように、春と夏に多雨の時期があり、冬、晩春に雨が少ない地方がある。水質汚濁を考える場合には、渇水量をどの程度考えるかが大きな問題と

なる場合が多く、水流量をよく調査する必要がある。河川は乱流によって割合水深方向の拡散は容易であるが、川幅方向の拡散は、あまりよく行なわれない。河口近くの所では、たとえば右岸からの廃水が長く右岸によって流れることは良くみられることである。したがって、採水などには横方向の拡散について注意が必要で、横方向の拡散について南部の研究<sup>9)</sup>がある。

河川の流速がある限度以下となると、浮遊物が沈殿して浄化される。しかし、これについては比重が 1 に近い浮遊物なので、理論的取り扱いが困難で、実測によることが多い。河川の水域に住む生物相を調査することは、水質判定上きわめて重要なことである。水域は、強腐水性、中腐水性、貧腐水性に分けられることが多い。強腐水性域は腐敗のはげしいところで、BOD 10 ppm 以上で、酸素皆無かほとんどなく、硫化水素臭があり、底泥は硫化鉄がみられる。したがって生物相もバクテリアが大量に存在し、水わたのコロニーがみられ、硫黄バクテリアにおおわれ、一般に葉緑素をもつ植物のないことが特長となっている。中腐水性は、汚水より悪化した水域が回復しつつある水域で、 $\alpha$  は不安定、 $\beta$  は安定な水域である。

$\alpha$  水域は昼間は酸素を増すが、夜間は減少し、コイ、フナ、ナマズは生息する。 $\beta$  水域は BOD 5~2 ppm の水域で、水ワタは無く、水産用水としてきわめて適している。

貧腐水性は、完全に浄化が行なわれている清浄な水域で、溶存酸素も多く水は透明である。昆虫の幼虫は多種類出現している。

③：感潮河川の汚濁：感潮河川は、河川内を海水が潮の干満によって出入し、意外に河川水が水域内に停滯するので、多くの問題が起こっている。隅田川、大阪、名古屋市内河川などがこの例である。感潮河川では河水と海水の混合状態が強、弱、緩混合の三つに分類されるので、調査の場合その感潮部の特徴を明らかにするよう調査すべきであろう。感潮部ではさらに沈殿物質が多く沈殿し、水温上昇とともに嫌気性状態となり、硫化水素の発生をみることが多いので、この調査もぜひ行ないたいものである。

#### b) 汚濁源調査

水域の利用によって、汚濁源の調査も異なってくる。しかし、一般に汚濁源として下水処理場、し尿処理場のほか、下水道のない所では台所廃水などの家庭汚水が大きな汚染源となる。家庭廃水について、BOD のほか、窒素化合物、ABS などが調査項目となる。主なる工場廃水について、調査分析項目を表-10 に掲げておいた。

表-10 廃水による分析項目

廃水の種類	分析項目
ガス製造	フェノール, アンモニア, シアン, チオシアン化物, 硫化水素
電気メッキ	シアン, クロム, 銅, ニッケル, カドミウム亜鉛, 錫, 銀
化学工業	酸, アルカリ, フェノール, アミン, その他有機化合物
クロムなめし	石灰, 硫化水素, クロム, 窒素化合物
ビスコースレーヨン	硫酸, 硫化ソーダ, 亜鉛
鉄酸洗・鉱山廃水	硫化鉄, 硫酸
紙	繊維, 遊離塩素, 樹脂, 糊および他のサイジング用薬剤, 酸化チタン, 粘土, その他充てん物
綿漂白	苛性ソーダ, 炭酸ソーダ, 石灰・有機物
乳業・糖・食品・下水	有機物, 窒素化合物
綿製品	糊類, 染料, 酸, アルカリ, 遊離塩素, 硫化物, 石鹼, 洗剤
羊毛整理	脂肪, グリース, アルカリ
合成樹脂	フェノール, フォルムアルデヒド等
機械油	油等
石油精製	フェノール, 炭化水素, 油, 酸, 硫化物その他硫黄化合物

2. 大気汚染の測定

今年に入って、アメリカの土木学会誌に「石油は大量にはあるが、しかし空気汚染によりその使用量が規制される」という論文が載っている。人間活動は多くの自然をかえてきたが、エネルギー消費は大きく空気の組成をかえるまでになってきた。

すなわち、大気中の炭酸ガスは、普通 300 ppm あるが、キャリンダーによると、大気中の炭酸ガスは、1900年頃より1940年頃まで平均して10%程度増加していることがわかった。すなわち、1900年頃 290 ppm 程度であったものが、現在 330 ppm, 約 13% 増加している。この原因を世界の燃料消費から換算してみると、ほぼその傾向が一致することがわかった。日本におけるエネルギー消費は、昭和9年 56 000 t から昭和39年 184 000 t と増加の一途であり、さらに石炭から石油にエネルギーが転換されていっている。したがって、大気汚染も、そのエネルギー源の種類によって次第にその形をかえてきた。国連の推計によれば、西暦 2000 年には、大気中の炭酸ガスのうち、ほぼ半分が、有機燃料の燃焼によって生じた炭酸ガスによると予想されている。この炭酸ガスの増加は、炭酸ガスがある波長の赤外線を吸収し、熱が地球外に逃げるのを防ぐので、地球の平均気温が上昇するかも知れないということで、一時新聞をにぎわした。1960年のIGY以後多くの地点で炭酸ガスの測定が行なわれはじめ、燃焼による炭酸ガスの増加を示す証拠がえられつつある。このことは、大気の大きな変化であるが、局部的にはさらに種々の要因によって、大気の組成はかわる。ここでは、簡単な解説にとどめる。くわしくは末尾の参考文献によられたい。

(1) 大気汚染の発性と性状

大気汚染を形成する主なる工業汚染物には、どんなものがあるかを示すと表-11 のようになる。

表-11 大気汚染物の分類表

微細なる固体粉末 (直径 100 μ 以下)	カーボン (炭素), 飛灰, CaCO <sub>3</sub> , ZnO, PbCl <sub>2</sub> など
粗大な粒子 (直径 100 μ 以上)	
硫黄化合物	SO <sub>2</sub> , SO <sub>3</sub> , H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , H <sub>2</sub> S, メルカプタン
窒素化合物	NO, NO <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> O, HNO <sub>2</sub> , HNO <sub>3</sub> , NH <sub>3</sub> など
酸素化合物	O <sub>3</sub> , 過酸化物など
ハロゲン化合物	F <sub>2</sub> , Cl <sub>2</sub> , HF, HCl
有機化合物	炭化水素, アルデヒド, ケトン 有機酸, 有機ハロゲン化合物 タールなど

このような汚染物は、ガス (蒸気を含む) およびエアロゾル (Aerosol) に大別できる。前者は大気中でいわゆる分子状態で存在するもので、後者はこれらの分子が集合して、いわゆるコロイド状として存在するものである。

a) 石炭および石油の燃焼による汚染物

石炭・石油中には、硫黄が必ず含まれている。石炭中には、0.5~2.5%, 石油には平均 1% 程度含まれている。ガソリン中には、0.25% 以下、軽油中には 0.5~0.75% 以下であるが、特に重油中には多く、A 重油には 2.0%, B 重油には 3.0% 以下、C 重油には 3.5% 以下となっている。硫黄含有量 1% の石炭を 1 t 燃やすと、20 kg の亜硫酸ガスが発生する。さらに亜硫酸ガスは煙突から放出される時、一部酸化されて硫酸となる。粉炭の場合この量は 1% 以下、普通石炭の場合 1.6~3%, 油の燃焼では 0.5~7.5% であるが、普通ドロマイト、アンモニアなどで中和される。亜硫酸ガスと同様にまたはそれ以上に人体に悪影響を与えるものとして、酸化窒素 (NO) と二酸化窒素 (NO<sub>2</sub>) がある。酸化窒素は空気と窒素を加熱すると酸素と窒素とが

表-12 NO と炉内温度

温度 (°C)	NO 濃度 (ppm)
20	0.001
427	0.3
527	2.0
1538	3700
2200	25000

化合してできる。炉内温度と酸化窒素との平衡濃度の関係を示すと表-12 となる。

各種燃焼機からの窒素酸化物は、4~4000 ppm で、火力発電所で 400~700 ppm, 自動車は 20~4000 ppm と報告されている。

石油・ガス燃料は、不完全燃焼を引き起こすと、アルデヒド、酢酸などの有機酸やメチルアルコール、一酸化炭素、芳香族炭化水素を発生する。石炭は、固定炭素、揮発分、および灰分からなり、無煙炭では、それぞれ 87~91, 1~3, 8~9% である。石炭の煤は、大きさが 0.01~1 ミクロンの炭素粒子に芳香族炭素粒子から成り

立っている。粉炭を用いれば、ほぼ完全に燃焼されるが、無機質の灰が飛散する。しかし、煤塵は電気集塵器などで回収される。

b) 自動車の排ガス

ロスアンゼルス型のスモッグの原因は、主として自動車の排気ガスが主因となる光化学スモッグといわれている。表-13 に自動車運転時の排ガス成分を示す。

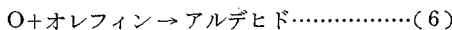
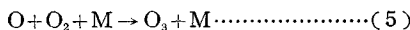
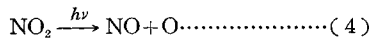
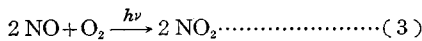
表-13 自動車運転時の排ガス成分

運行状況	空気/燃料	体積濃度			排ガス量 (m <sup>3</sup> /分)
		酸化窒素 (ppm)	炭化水素 (%)	一酸化炭素 (%)	
空 転	11.9	30	0.3~1.1	6.6	0.2
巡 行 速	13.6	900~1600	0.1~0.8	1.4~3.4	0.9~1.7
加 速 (調気弁全開)	12.7	500~1200	0.1~0.7	4.8~5.8	3.2~4.4
加 速 (調気弁半開)	13.3	1700~2500	0.7	3.1	1.5
減 速	119	60	1.5~3.6	6.7	0.2

表-13 から一酸化炭素の発生をみると、空転、減速時に多く、ついで加速時に多くなっている。酸化窒素は完全燃焼に近いほど大きい。炭化水素の成分は、多種であるが、光化学スモッグでは、オレフィンが特に大事である。オレフィンは、燃料の系によって異なるが、約20~60%が含まれ、芳香族、アセチレンなどが20%となっている。さらに排ガス中には、炭化水素以外に、アルデヒド、ケトン、アルコール等が含まれ、アルデヒドは100ppmぐらゐ含まれて悪臭の原因となっている。またガソリン中のアンチノック剤としての4エチル鉛は、数マイクロン以下の鉛化合物の微粒子となって排出される。ディーゼルの場合、一酸化炭素はガソリンの場合の100分の1程度であるが、炭化水素、酸化窒素の排出量はガソリンエンジンの場合より多い。

c) 光化学スモッグ

1951年、ロスアンゼルス市周辺のスモッグ頻発事件以来、国と州あげての調査の結果、オゾンに似た酸化性ガスが含まれ、この量が夏期、そして日中特に大きいことがわかった。ハーゲン スミット (Haagen-Smit) 教授は、これらの事実から、紫外線の作用によって、つぎの反応が考えられた。すなわち、



NO<sub>2</sub> は 4000 Å の紫外線を吸収して活性の酸素が発生し、アルデヒドができて体を刺激するといわれる。さらに実験室においても、酸化窒素のエチレンの混合ガスに紫外線を照射すると、NO<sub>2</sub>、フォルムアルデヒド、一酸化炭素、過酸化物質 (主としてオゾン) ができることが

確かめられている。東京のスモッグも、いわゆるロンドン型からロスアンゼルス型、すなわち光化学スモッグに移りつつあるといわれ今後注目に値する。

d) 化学工場からの汚染物質

化学工場からの排煙中注目すべき、汚染物質を示すと表-14 のようになる。一応常識として知っておくと便利である。

表-14 排煙中の汚染物質<sup>29)</sup>

ガス, 粉塵	工 場	備 考
カーボン ブラック	カーボン ブラック 製造工場	天然ガス、重油を不完全燃焼させてつくるので亜硫酸ガスも同時に発生する。芳香族炭化水素も同時に発生するおそれがある。
弗素化合物 (弗化水素, 4 弗化珪素及びこ れらの塩類)	{アルミニウム精練 工場 過燐酸工業 セラミック工場	ガス状、ミスト状、粉塵状の3種ある。原料の螢石、燐灰岩中に弗化物が含まれている。
亜硫酸ガス } 硫酸ミスト }	硫酸製造工場	
硫 化 水 素	{石油精製工場 (コープスガス工場) ピースコープ工場	原油中の硫黄分の硫化水素にかえ、最後には煙突で燃やして亜硫酸ガスにかえて放出する。
塩 素	{塩素製造工場 塩化カルシウム 工場 マグネシウム工場	事故以外には大気汚染とならない。
塩化水素 } 塩酸ミスト }	塩酸製造工場	事故以外には大気汚染となる可能性が少ない。
窒素酸化物 (二酸化窒素, 酸化窒素)	{硫酸製造工場(鉛 室法) 硝酸製造工場 硝酸セルロース, ニトロベンゼン 等の製造工場 窒素肥料工場	
アンモニア	{窒素肥料工場 ソーダ灰工場	
炭 化 水 素	精油所等の油タンク, 有機溶剤使用 工場	主として洩れによる。
磷(燐化水素, 燐酸を含む)	磷製造工場	
二硫化炭素	二硫化炭素製造工 場, 化繊工場	
セメント粉塵	セメント工場	

e) その他の汚染

比較的煙害を起こすものに、金属製錬がある。たとえ、酸素製鋼によって、鋼1tにつき10kg、主として酸化鉄の微粒子が飛散し、その85%が1マイクロン以下といわれている。そのほか、鉄、マンガン、シリコンなどの酸化物が入っている。非鉄金属では、硫化鉍を培焼したときの亜硫酸ガスがでて過去大きな問題となった。これらは、現在、いずれも電気集塵や亜硫酸の回収などによって技術的に解決されている。最近、ニューヨークの汚染源として、塵芥焼却炉からの煤煙が注目されはじめています。

これは、焼却物は種々雑多のうえ、水分を含んでいるため、十分高温で焼却できないためである。焼却場からの煙のなかには、煤塵量として、塵芥1t当り4~5kgといわれており、ときには少量の亜硫酸ガス、アンモニ

表-15 主な大気汚染環境測定法<sup>9)</sup>

	汚染物質	積算測定法	瞬間濃度測定法	連続測定法(自動測定法)	
粒状物質	降下ばいじん	デポジットゲージ またはダストジャー t/km <sup>2</sup> /月法	ベトリ皿法 (g/m <sup>2</sup> /日)		
	浮遊ばいじん	数を数える方法		デジタル粉じん計, カスケードインパクター	浮遊粉じん自動測定法
		重量濃度法		ハイボリウムエアサンプラー 電気集塵器 (mg/m <sup>3</sup> )	
		相対濃度法			ろ紙式エアサンプラー-労研式インパクター
		海塩シスト (NaCl)	ガーゼ捕集法		
ガス状物質	硫黄酸化物 (SO <sub>2</sub> , SO <sub>3</sub> )	二酸化鉛法 アルカリ, ろ紙法 SO <sub>3</sub> mg/日/100 cm <sup>2</sup>	ロザニン, フォルマリン法 (SO <sub>2</sub> ppm) モリブデン酸バリウム法 検知管法	亜硫酸ガス自動測定法	
	窒素酸化物 NO, NO <sub>2</sub>		ザルツマン法 (NO <sub>x</sub> ppm) 検知管法 (NO <sub>x</sub> ppm)	窒素酸化物自動測定法	
	硫化水素 H <sub>2</sub> S		メチレンブルー法 (H <sub>2</sub> S ppm) 検知管法 (H <sub>2</sub> S 0.5 ppm)	硫化水素自動測定法	
	一酸化炭素 (CO)		検知管法 (CO 10 ppm)	一酸化炭素自動測定法	
	オゾンおよび過酸化物質	ゴムひび割れ法	ヨードメトリー法 フェノールフタールン法 (ppm)	オゾンメーター法	
その他のガス		インピンジャーによる 捕集法 検知管法 ガスクロマト法			

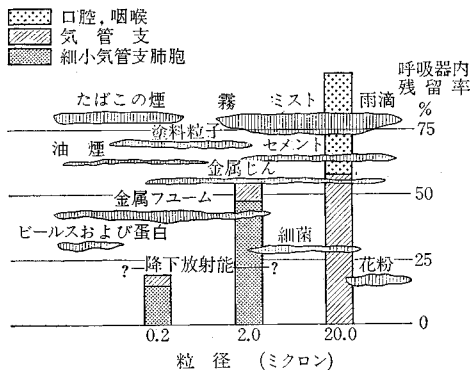
注) 検知管については検知限度

アガス、フェノール エステルなどが含まれている。最近では、塩化ビニールから、塩素ガスや塩酸が生じ、炉などにも悪影響を与える。

(2) 大気汚染の測定と人体に対する影響

大気汚染に関する測定は、大別して排出源における測定法と、環境における測定とに分けられる。前者は煙突における測定である。環境測定は、積算測定法、瞬間測定法、連続測定法がある。積算測定法は、1週間とか1カ月とかにわたってガスを捕集して分析する法である。汚染物質の環境測定法は現在開発中であるが、主な大気

図-1 大気汚染物の粒径と呼吸器内残留率



汚染測定法を表に示すと表-15 となる。

a) エアロゾル

空気中の大小さまざまな微粒子は、図-1 のように、20 ミクロンの粒子は、口から気管でとりのぞかれ、0.2, 2 ミクロンの粒子は肺の奥に達し、毛細気管支に沈着する。この粒子は、肺胞に達した量がある限度をこえると繊維増殖を起し、特に遊離珪酸を含む場合この傾向が多い。また粉塵の種類によっては、アレルギー症状(ぜん息など)を起す。

降下ばいじんは、イギリス規格によるデポジットゲージかアメリカ型のダストジャーの2種によって、1カ月にわたって測定する。前者は乾式、後者は湿式で、雨量、pH、不溶性物質、タール分、タール分以外の可燃性物質、灰物、溶解性物質、カルシウムイオン、硫酸イオン、塩素イオン、固型物総量がイギリス規格によって系統的に分析す

図-2 デポジットゲージ組立図

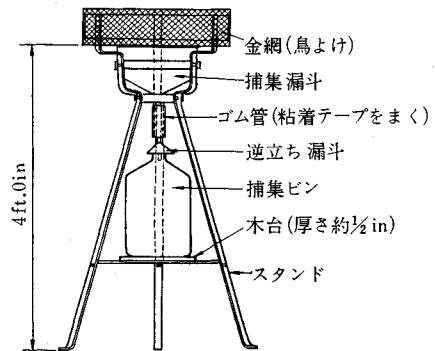
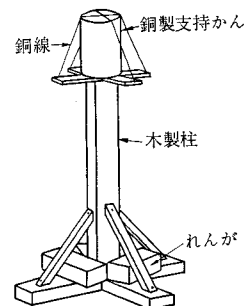


図-3 ダストジャー (円筒型)

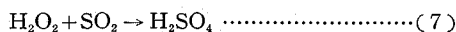




る。浮遊ばいじんは表-15に示す方法で調査する。日本での測定では、東京 25.0、川崎 21.0、四日市 9.7、大阪 14.8、北九州 16.0 t/km<sup>2</sup>/月となっている。

#### b) 亜硫酸ガス

亜硫酸ガスは、それ自身の場合には 100 ppm で声帯および呼吸がけいれんし、10 ppm で長時間亜硫酸ガスを吸っても我慢できる限界といわれる。亜硫酸ガスになれない人は 4 ppm でも短時間に軽いせきがかで、多くの場合 0.3~1 ppm 程度で感知できるといわれる。作業場の最高許容限度は 5 ppm である。1952 年 12 月ロンドンのスモッグで、亜硫酸ガスの濃度が 1 ppm 以下でも多くの死者がでたところから、亜硫酸ガスは単独ではそれほど問題にならない濃度においても、エアロゾル粒子が共存するとその有害作用がいちじるしく増強されることがわかった。亜硫酸ガスの定量には、一般に二酸化鉛法とアルカリ紙法が用いられる。いずれも相対的測定法であって、絶対値をもとめるものとはことなる。二酸化鉛法は、1932 年イギリスの D.S.I.R で考案されたもので、SO<sub>2</sub> が PbO<sub>2</sub> と反応して PbSO<sub>4</sub> となって固定されることを利用したものである。これは、PbO<sub>2</sub> を塗布した円筒をまきつけ、百葉箱または円筒カバーの中に入れて一定期間放置しておき、生成した PbSO<sub>4</sub> の SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> を BaSO<sub>4</sub> として沈殿、秤量するか、クロラニル酸バリウムによる吸光度によって定量する。ろ紙法は、炭酸カリ (K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) などのアルカリを付着させたる紙を大気中に放置し、硫酸化物その他の酸性物質をアルカリ塩として固定した。のち、クロラニル酸バリウムで発色させ、350 mμ の吸光度から定量する。この方法は硫酸化物のほか窒素化合物、塩化水素なども捕収できる。自動測定として、過酸化水素水を吸収液とし、大気中の SO<sub>2</sub> を吸収酸化し



の反応により、液中の電気伝導度を測定して、亜硫酸ガスの濃度を求める。H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> で 0~10 ppm、H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> の代り Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> を用いて 0~1 000 ppm の測定ができる。わが国では、気象条件をかん案して、亜硫酸ガスまたは無水硫酸の大気中における含有率が容量比で千万分の 2 以上で 3 時間、または千万分の 3 以上 2 時間続いたとき、都道府県知事は、ばい煙排出者に、その排出量の減少に協力を求めることになっている。

#### c) 窒素化合物

人体に影響ある窒素化合物は、酸化窒素 (NO)、二酸化窒素、さらに二酸化窒素がオゾンと反応して生ずる五酸化窒素である。高濃度のガスを吸入すると気管支炎、肺気腫などとなり、さらに酸化窒素は一酸化炭素と同じく血液中のヘモグロビンと結びつき、チアノーゼを生ずるといわれている。

#### d) オゾン

オゾンは従来人体により影響があるといわれていたが、現在人体に有害なガスとされている。ロスアンゼルスでは、光化学反応で、オゾンの濃度は 0.2~0.3 ppm であるが、最高 0.9 ppm にもなる。しかし人間に対しては、大きな影響がないが、これは大気中の油滴によって防護されているためといわれている。オゾンは、ヨードカリ水溶液に吸収させると褐色のヨードを分離するので、吸光度から定量するか、微小電流を測定して求める。

#### e) 一酸化炭素

一酸化炭素は、赤血球中のヘモグロビンと結合してカーボキシヘモグロビンとなる。血液中のカーボキシヘモグロビンが 5% 増加すると、その人の健康をそこなうといわれる。30 ppm の一酸化炭素を 4~5 時間、120 ppm のガスを 1 時間吸入するとこの程度の値となる。30 ppm の一酸化炭素の濃度は、交通のはげしい交差点ではしばしばみられる。一酸化炭素の測定には、表-15 に述べた方法のほか、連続測定には、赤外線吸収を用いて定量する。

#### f) その他

その他、微量成分として、発ガン物質などがあるが、紙数から割愛する。なおくわしくは文献を参考にされたい。

### 参 考 文 献

#### (1) 水質分析に関するもの

- 1) 下水試験方法、1964 年度版、日本水道協会
- 2) 上水試験方法、1965 年度版、日本水道協会
- 3) 水の分析、1966、化学同人社
- 4) Louis Klein: River Pollution I. Chemical Analysis, 1959, Butterworth.
- 5) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 12th Edition, 1965, APHA.
- 6) 工業用水試験方法、JIS K 0101-1966、日本規格協会
- 7) 工場排水試験法、JIS K 0102-1964、日本規格協会

#### (2) 水質汚濁に関するもの

- 8) 土木学会編：水理公式集、昭 38、土木学会
- 9) 半谷高久：水質調査法、1960、丸善
- 10) 菅原・半谷編：地球化学入門、1964、丸善
- 11) 西条八東：湖沼調査法、1957、古今書院
- 12) 桑原麟児：衛生工学入門—水質衛生、1964、積文堂
- 13) 松江吉行編：水質汚濁調査指針、1961 恒星社厚生閣
- 14) 新田忠雄：水質保護論、1960、恒星社厚生閣
- 15) 石橋・西脇編：徳平・杉木著：公害・衛生工学大系 II、下水道工業廃水・水系汚濁、1966、日本評論社
- 16) 津田松苗：汚水生物学、1964、北隆館
- 17) 水利科学大系 第 7 巻・水質汚濁と廃水処理、1964、地人書館
- 18) 水利科学大系 第 8 巻・水質調査法、1965、地人書館
- 19) 広瀬孝六郎編：工場廃水とその処理、1965、技報堂
- 20) 用水廃水便覧、1964、丸善
- 21) 工業用水便覧、1958、産業図書

- 22) 水産用水基準, 1965, 日本水産資源保護協会  
 23) Louis Klein: River Pollution・II Causes and Effects, 1962, III Control, 1966, Butterworths.  
 24) J.R. Erichsen Jones: Fish and River Pollution, 1964, Butterworths.  
 25) E.B. Phelps: Stream Sanitation, 1944, John Wiley.  
 26) Clark and Viesman: Water Supply and Pollution Control, 1965, International Text Book Co.  
 27) Water Quality Criteria, Pub. No. 3-A, 1963, The Resources Agency of California.

- 29) 西脇・石橋編, 鈴木 伸著: 公害・衛生工学大系 III, 1966, 日本評論社.  
 30) 大気汚染ハンドブック, 1966, コロナ社.  
 31) 伊東疆自編著: 大気汚染と制御, 1961, 地人書館.  
 32) 大気汚染の測定, 1962, コロナ社.  
 33) 厚生省環境衛生局公害課: 公害対策の現状と課題, 1967.  
 34) 厚生省環境衛生局公害課: 大気汚染の測定法, 1966.  
 35) 厚生省環境衛生局公害課: 全国大気汚染状況測定資料・第2集, 1963.10~1964.9

(3) 大気汚染に関するもの

- 28) 大喜多敏一: 大気汚染, 1966, 総合図書.

## 水 理 公 式 集 ご 希 望 の 方 へ

水理公式集の初版が刊行されたのは昭和 17 年……それ以来土木学会の水理公式集として親しまれ、土木を学んだ人々は必ず読んだ本です。昭和 38 年に増補改訂された本書は第 1 編 河川, 第 2 編 発電水力, 第 3 編 上下水道, 第 4 編 港湾および海岸の 4 つの大項目を 7~11 の中項目に分け、それらを詳細に解説したもので、世界でも珍しいユニークな公式集です。

体 裁: A 5 判 603 ページ 定価 1400 円(会員特価 1100 円)(〒 150 円)

### ■ACI・611 委員会編

日本コンクリート会議 監修/田中正己訳 B 6・240 頁/定価 650 円

# ACI・コンクリート検査便覧

この便覧はアメリカコンクリート学会のコンクリート検査に関する委員会 611 委員会が厳重な審査、討議を重ね 4 版の改訂を経て、完成した権威書。アメリカの多くの団体、個人から提供された資料にもとづき、一般に良好とされているコンクリート工事検査方法を網羅、平易に解説した手引書。

★主 要 内 容 検査/検査員/コンクリートの基本/ミックスの配合の決定/ミックスの配合の管理/材料の検査および試験/コンクリート打込み前の検査 /コンクリート 打ちの検査 /コンクリート打込み後の検査 /コンクリートの試験/記録および報告/特殊コンクリート打ち工法/参考文献/標準仕様書試験法/検査事項照合リスト。



東京港芝西久保桜川 7  
TEL (591) 2277

## 技 報 堂