

第2章 水質汚濁

第1節 水質汚濁の概況

1 概要

清浄な水域では、一般に汚濁物質の量は少なく、溶存酸素は豊富で、生息する生物の種類も多い。このような水域に汚濁物質が流入した場合、その量がある程度以下では、時間の経過とともに再びもとの清浄な状態にまで戻ることができる。これは、水系自体の自然の浄化能力（自浄作用）による。自浄作用には、物理的作用として希釈、拡散、沈殿、生物化学的作用として微生物による酸化などがある。

有機汚濁水流入の影響を受けた後、水質や生物相が、下流に行くに従い再び回復されていく様子を、図5.27に示す。図中のA、Bは主として物理的・化学的変化、Cはバクテリアおよび微小動植物の変化、Dは大形動物の影響を表す。

流入汚濁物質の量がある限度以上になると、この均衡が破れ、水質汚濁の現象が発生する。例えば、有害物質の多量の沈殿は河床の底質を悪化させて生物の棲み家を奪う。また、水中の溶存酸素の欠乏は魚類の生息環境を悪化させるだけでなく、有害ガスを発生し、これらが相互に関連して二次対的に種々の悪影響を引き起こす。

重金属や化学物質には、比較的濃度が低くても、生物濃縮の過程を経て、人間の健康に重大な被害をもたらすものがある。

我が国の水質汚濁は、全国的にみれば汚濁の進行は近年鈍化し、一部の水域では改善の兆しが見えている。共用水域におけるカドミウム等の有害物質による汚濁状況は著しく改善され、また、アルキル水銀および有機リンは昭和52年度以降全く検出されていない。その他の有害物質についても、ごく一部の水域で検出されたものの、総体的には改善されてきている。

一方、大都市およびその近郊の中小河川、湖沼、内湾等においては依然として汚濁域が認められる。

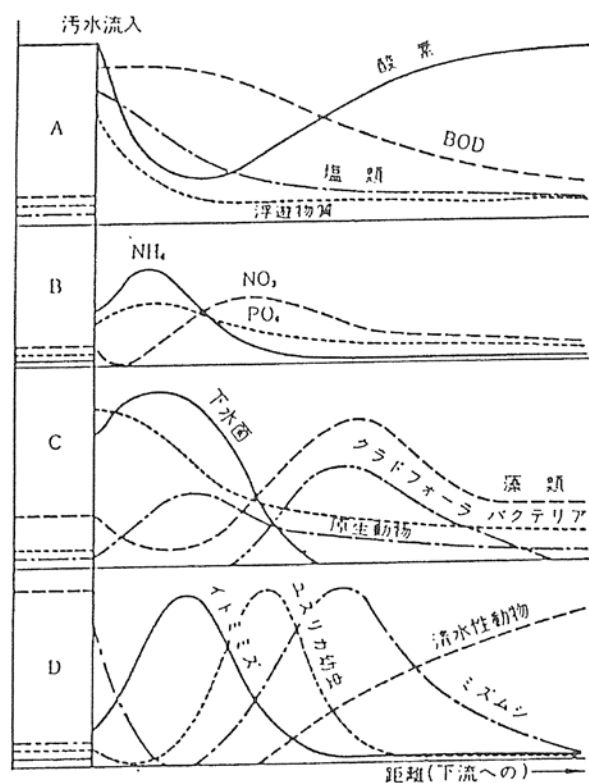


図 5.27 流れに伴う水質等の変化の概念図

内湾、内海、湖沼等の閉鎖性水域においては、特に窒素、リン等の栄養塩類の流入による富栄養化の進行や、プランクトンの異常増殖による赤潮の発生、汚濁物質の沈降による底質の悪化（低質汚染）などの汚濁が依然として観察される。汚濁海域の例として、東京湾、大阪湾、伊勢湾および瀬戸内海、湖沼では琵琶湖、霞ヶ浦、諏訪湖等があげられる。

各種化学製品による水質汚濁では、既に製造・使用が禁止されているPCB、有機スズ化合物などが高い濃度で魚介類から検出されており、非意図的生成有害物のダイオキシン類も微量ではあるが底質、魚介類から検出されている。また、発がんの可能性があるとするトリクロロエチレン、テトラクロロエチレンによる地下水汚染が発覚し、有害物質として追加規制された。

2 鉱山、製錬所における水質汚染の特色

明治時代に入って産業の近代化が進められると、公害問題が社会的に大きく認識され始めた。水質汚濁に関する事例では、19世紀末から始まる足尾銅山の渡良瀬川流域における鉱害事件に端を発し工業都市では、重化学工業化に伴い工場排水による河川の汚濁が顕在化した。

第二次大戦後の復興期を経て、昭和30年代には、急速な技術革新と経済の高度成長による産業構造の高度化に伴い、水質汚濁が進行した。代表的な事例として、重金属による健康被害問題がある。昭和30年に、富山県神通川流域のイタイイタイ病は上流鉱山より排出されたカドミウムに起因するとの説が発表された。また熊本県水俣市および新潟県阿賀野川流域で発生した水俣病は、化学工場の排水に起因する有機水銀中毒であることが明らかにされた。これらは、いずれも水を介して発生した公害病として認定されるに至っている。

鉱業は地下資源開発を主とするものであり、その特殊性から特別の配慮が必要であるとともに、過去の操業にかかる休廃止鉱山坑廃水による鉱害防止技術の確立も重要な課題である。

第2節 水質汚濁の発生機構

1 物理的作用

(1) 希釈、拡散

鉱山、工場から河川に流入した排水は、次第に拡散されながら帯状に流れ、やがて汚濁物質の量と河川水量との比率に応じた希釈濃度となる。ただし、完全混合に達する条件は、流量、流速、河床状態などで異なる。希釈・拡散は、水域の汚濁負荷の観点から、根本的解決にはならない。特に鉱業では、発生量が天然の湧水などに支配される場合が多く、対応が難しい。

(2) 沈殿

水中の懸濁物質は、河川の流速の減少に伴って沈降を生じ系外に除かれるので、水質に限っていえば浄化されることになる。ただし、再び系内に戻る可能性もあり、また、ヘドロ状の沈殿物が河床にたい積して底質を形成し、底質汚染の原因となる場合もある。

2 生物化学的作用

(1) 微生物による分解

生物化学的作用は、主として水中の微生物による有機物の酸化分解である。有機物は通常炭素、水素、酸素を主成分とし、微量の窒素、リン等を含んでいる。水中に有機物が流入すると、これを栄養源として微生物が繁殖し、その結果有機物は酸化分解されて最終的に安定な無機物に変わる。

微生物による分解は好気性分解と嫌気性分解に分類される。有機物の汚濁物質は、まず水中の溶存酸素が十分存在する環境下で好気性酸化が行われるが、有機物の量が増えると、分解に必要な酸素が不足し嫌気性微生物が繁殖するに至る。このため、正常な自浄作用には、常に好気的な環境の維持が必要である。

① 好気性分解

十分な溶存酸素の存在する環境下では、好気性微生物の働きで酸化され、最終的には二酸化炭素 (CO_2)、水 (H_2O)、硝酸塩 (NO_3^-)、硫酸塩 (SO_4^{2-})、リン酸塩 (PO_4^{3-}) 等になる。

② 嫌気性分解

溶存酸素が欠乏する環境下では、嫌気性微生物の働きで分解され、この場合は、メタン (CH_4)、アンモニア (NH_3)、硫化水素 (H_2S)、メルカプタン等となり、悪臭を発生して腐敗現象を呈する。その限界溶存酸素濃度は約 2mg/l である。

(2) 無機水銀の有機化

メタン発酵菌の嫌気性培養において無機水銀からメチル水銀が生成される。自然界においても、有機化の機構が明らかにされてきており、北海道や奈良県など自然的要因によりバックグラウンドの高い地域が認められている。

(3) 有機汚染等の基準

有機汚染判断には、生物化学的酸素要求量 BOD (Biochemical Oxygen Demand) や、化学的酸素要求量 COD (Chemical Oxygen Demand) を用いる。

BODは、水中の好気性菌の増殖や呼吸作用によって消費される溶存酸素量である。水の有機汚染が大きいほど酸素消費量が増大するため、これを測定して汚染の度合いを判定する。

CODは、一般には過マンガン酸カリウムによる 100°C での酸素消費量をいい、これを測定して同じく有機汚染の大小を判定する。共存する還元性のイオンも検出されるため BOD 値とは若干異なる。

有機汚染指標として、生物相の変化が注目されている。BOD、COD、pH、重金属濃度などの測定値が一時的であるのに対し、本法は長期的な履歴を把握できる点から、意義あるものといえよう。

3 化学的作用

(1) 酸 化

化学的酸化は、水中の溶存酸素に基づく酸化作用である。清浄な河川中の溶存酸素は通常飽和（20℃で約9mg/l）に近い。この酸素は、主に流下時における大気との接触などで空気中の酸素を溶解することにより、大気から供給する。

(2) 中 和

一般に、酸性を示す物質と塩基性を示す物質とが反応する現象を中和という。酸性坑排水などに人為的に石灰等を投入して中和することは広く行われている。

(3) 加水分解

金属の硫酸塩等が水中で希釈され、水と反応して不溶性の化合物を生成し、不溶性が沈殿する現象が加水分解である。

一般に、酸性坑排水などが中性河川に流入して徐々に希釈されると、pH3付近から水酸化鉄（Ⅲ） $[\text{Fe}(\text{OH})_3]$ の沈殿が生じて黄褐～赤褐色に河床が汚染され赤水現象を呈し、さらにpHが上昇すると、水酸化アルミニウム $[\text{Al}(\text{OH})_3]$ の白色沈殿が生成する（次式参照）。



たい積汚泥が有機物を含む場合には、分解に伴って下層水の酸素を消費するため、水中の溶存酸素が減少し、富栄養化の原因となる窒素、リン等の溶出も起こる。また、無機性の汚泥であっても、有害な重金属を含む場合は、金属イオンの溶出等が考えられる。

第3節 水質汚濁による影響

1 健康被害

(1) 被害の態様

水質汚濁による健康被害には、直接的なものと間接的なものがある。飲料水源となる河川水や井戸等に病原菌や有害物質が混入する場合は前者であり、水域に排出された有害金属や化学物質が次第に魚介類や農地の農作物中に摂取・吸収され、それを人間が長期間食用に供する場合は後者である。

最近の被害では、有機水銀、鉛、カドミウムによる慢性中毒など、次第に間接的で更に複雑な形として広範囲に現れ、重大な影響を及ぼす傾向がある。

(2) 生物濃縮

通常、水中の有害物質の濃度は微量で、水からの摂取のみでは慢性中毒は起こりにくい。近年、水俣病のように悲惨な被害を発生するに至る原因に、生物濃縮が関与することが明らかになった。

生物濃縮には、貝類の重金属、頭足類（たこ、いか）の肝のカドミウム、魚類のPCB等に見られる直接濃縮と、微生物→プランクトン→小魚→大魚のような経路で餌として摂取されて濃縮される食物連鎖がある。

2 農業被害

(1) 生育阻害

水質汚濁による農業被害は、灌がい水使用量が多い水稻に現れる場合が多い。生育阻害には、直接的被害と間接的被害がある。前者は、酸、アルカリなど高濃度の有害物質が農作物に直接付着、あるいは吸収されて生じるものであり、後者は、水中の有害物質が土壌中に蓄積して土質を悪化させる場合（土壌の酸性化、重金属汚染、土壌物性など）のほか、土壌の嫌気化などにより土壌中微生物の活動に悪影響を及ぼし、二次的に作物の生育を阻害する場合である。

(2) 農業施設の被害

酸性水や土砂等による用水路その他農業施設の耐用年数の短縮、維持管理費の増加、微粒懸濁物による土壌の固結などがある。

3 水産被害

(1) 魚介類等の大量へい死

突発的な大量へい死には、シアンなどの急性毒物や温熱排水による直接的なものと、海域における赤潮、湖沼のアオコによる酸素欠乏の結果発生するものがある。

継続的な汚染の影響には、生物相の変化により餌となる生物の減少に伴う魚介の減少、枯渇や魚質の変化。産卵場、藻場、稚魚に必要な育成場の荒廃。水銀、PCBなどの魚介類への濃縮、あるいは油による魚体の着臭による販売不能や品質低下などがある。

(2) 生物に及ぼす影響

生物の有毒物に対する抵抗力は、魚種、大小によって差があり、マスなどは比較的弱く、コイ、フナなどは強い。また、海藻ではノリなども比較的弱い。

魚が短時間にへい死する場合は窒息死が多い。その原因は、①水中の酸素欠乏、②微細な懸濁物がエラをふさぐ、③毒物がエラを侵すなどである。なお、魚が毒物に接すると、自己防御として粘液の分泌が多くなり、そのため粘液によってエラが覆われることにより機能障害を起こし、さらに毒物によってエラ、体表面が侵される。

(3) 致死量、嫌忌反応

急性的な毒物の標準を示すために、一般にLC50 (Median Lethal Concentration 50) が用いられ、24時間または48時間に供試生物の50%が死ぬ濃度で表す。生物学的安全濃度は、48時間LC50×0.1が妥当とされる。

また、魚類は水中で自由に行動できるため、好まない水質を避け、汚濁環境には進んで入ろうとしない。これを嫌忌反応と呼び、濃度により嫌忌量と不良量に分けられる。前者は魚が全く入らない濃度の限界をいい、後者は短時間にこれを避ける限界濃度をいう。

(4) 漁労への影響

漁船、漁具、養殖施設等の被害や、汚染漁場の復旧に影響がある。

第4節 水質汚濁防止技術

1 汚濁物質の種類

(1) 汚濁の様式

水質汚濁現象は、多分に相対的な概念で厳密な規定は難しいが、次のように分類する。

1) 量（濃度）による汚濁

天然水中には適量の有機物や溶存塩類が存在している。しかし、有機物の供給が増大して自浄作用の限界を超えると、溶存酸素は一方的に消費され、やがて嫌気性微生物が発達して、水域は死んでしまう。また、溶存塩類濃度が増大すると、浸透圧が変化し生態系に大きな変化を生じる。

2) 有害物質による汚濁

人体に対する急性毒であるシアン、フェノールなど、蓄積性の慢性毒あるいは亜急性毒物である重金属類、あるいは発がん性物質などによる汚染がある。

3) 懸濁物質による汚濁

水中に存在する懸濁物質（不溶性固形物）は美観を損じる。有機性懸濁物質は溶存酸素を消費し、ヘドロを生成して底生生物に悪影響を及ぼし、悪臭を発する。無機性であっても底生生物への影響は無視できない。この種の問題は、特に選炭、窯業、採石などの排水で生じやすい。

4) 油分による汚濁

油分は概して水と混合せず、浮上しやすいので、含油廃水の場合は美観を損じ、悪臭を放ち、酸素の供給を阻害し、あるいは油分自体が生態系へ悪影響を与える。

5) その他

酸、アルカリ、色、温度変化などもある限界を越すと影響を生じる。

(2) 汚濁物質

1) 有害物質

法律では、人の健康に大きな影響を有するものを有害物質として規定している。この分類では、①カドミウム、②シアン、③有機リン、④鉛、⑤6価クロム、⑥ヒ素、⑦水銀、⑧アルキル水銀、⑨PCBのほかに、ジクロロメタン～セレンの15項目が付加されている。

2) 生活環境項目

生活環境の保全に特定濃度以上は好ましくないものとして、次の15項目が指定されている。

①pH、②BOD、③COD、④浮遊物質、⑤ヘキサン抽出物質、⑥フェノール類、⑦銅、⑧亜鉛、⑨溶解性鉄、⑩溶解性マンガン、⑪全クロム、⑫フッ素、⑬大腸菌群数、⑭窒素、⑮リン

このうち、銅、亜鉛、鉄、マンガンなどは有害物質としての一面も持つ。また、鉄、マンガンに限定して溶解性に限定しているのは、全く非汚染の環境でのこれらの存在量は非常に多いため、人為的な汚染と直接関係すると考えられる「溶存成分」だけを対象にするためである。

3) その他

環境基準には、以上のほかに溶存酸素、アルカリ性過マンガン酸カリウムによる酸素消費量などが

ある。また、湖沼に対して窒素およびリンが定められている。また県条令による上乗せ基準では、ニッケル、界面活性剤、ほう素なども対象になっている。

発がん性物質としてのベンゼン、ナフテルアミン、0-トリジンなど、あるいは有機塩素系の各種薬品、フタル酸エステル、有機凝集剤モノマーなどに対しても一部規制が実施され、今後ともその取扱いには厳しい制限が課されそうである。その他、有害性という面で論議されているものに、バナジウム、アンチモン、ニッケル、コバルト、セレン、ベリリウム、モリブデンなどがある。

(3) 基準値

国の定める排水基準値と環境基準値を、表5.20～表5.22に示す。

2 汚濁水の発生源

(1) 金属鉱山および製錬所

金属鉱山および製錬所からの排水は、坑内水、選鉱廃水、製錬所廃水、ダム、鉱さい置場からの浸透水などに大別できる。

製錬所では各精鉱を原料とするほか、製錬での中間生成物やいったん市場に出て回収されたスクラップ類やめっきスラッジなどの金属含有廃棄物も処理する事例が増えている。取り扱う鉱石は鉱山、製錬所により異なり、排水中には、銅、鉛、亜鉛をはじめ、種々の金属イオンが含まれる。陰イオンは硫酸イオンが主であり、そのほか塩化物イオンやふっ化物イオンなどがある。

(2) 石炭鉱山

石炭鉱山の排水には坑内水と選炭廃水がある。我が国の場合、坑内排水量は石炭トン当たり平均12m³である。一般に、水質面の問題は少ないが、通常選炭廃水が問題となる。

選炭工程では、数100mmから数 μ m以下の粒度構成からなる原炭を処理して、廃石および石炭に付着する粘土等の不純物を除き、品位や粒度を整える。

選炭方法には乾式と湿式があるが、原炭湿分の関係から、亜炭を除いて、大部分は水を使用する湿式である。用水には坑内水、河川水、時には海水を利用し、微粉炭を除去・回収した選炭水は再利用する（全使用量の80～95%は循環水）。選炭廃水では、SS（懸濁物質）とCODが重要であり、両成分はおおむね比例関係がある。また、同じSS濃度でも、純炭分の多い所ほどCOD値は高い。なお、COD濃度はBOD濃度の数百～数千倍であり、一般的な排水（数倍以下）とは異なる。

(3) 石灰石鉱山

石灰石鉱山（含ドロマイト鉱山）における廃水は、主に坑内水と水洗廃水である。

1) 坑内水

坑内採掘を行う一部の鉱山および露天採掘を行う鉱山では、鉱石運搬のための立坑および水平坑道が設けられる場合があり、掘さくに伴う坑内水の湧出を見ることがある。通常、湧水は重金属イオン等をほとんど含まず、またpHは中性ないし弱アルカリ性で、水質上の問題は比較的少ない。

表 5.20 排水基準値と測定方法

	項 目	基 準 値 ¹⁾		試 験 方 法 (工 場 排 水)
		排 水	環 境	
有害物質	シ ア ン	1	不 検 出	蒸留-吸光度法 (ピリジン-ピラゾロン, 4-ピリジンカルボン酸-ピラゾロン)
	Hg(アルキル)	不 検 出	不 検 出	抽出-GC法; 抽出-TLC-原子吸光法
	Hg(全)	0.005	0.0005 ⁴⁾	原子吸光法 (還元気化法及び加熱気化法)
	有機りん	1	不 検 出	吸光度法 (アベレルノリス, p-ニトロフェノール, モリブデン青; 抽出-GC法)
	Cd	0.1	0.01	抽出-原子吸光法
	Pb	1	0.1	抽出-原子吸光法
	Cr(VI)	0.5	0.05	吸光度法 (ジフェニルカルバジド); 原子吸光法
	As	0.5	0.05	吸光度法 (DDTC-銀); 原子吸光法 (水素化物生成)
	PCB	0.003	不 検 出	抽出-GC法
	ジクロロメタン	0.2	0.02	
	四塩化炭素	0.02	0.002	
	1,2-ジクロロエタン	0.04	0.004	
	1,1-ジクロロエチレン	0.2	0.02	
	シス-1,2-ジクロロエチレン	0.4	0.04	
	1,1,1-トリクロロエタン	3	1	
	1,1,2-トリクロロエタン	0.06	0.006	
	トリクロロエチレン	0.3	0.03	
	テトラクロロエチレン	0.1	0.01	
	1,3-ジクロロプロペン	0.02	0.002	
	チウラム	0.06	0.006	
	シマジン	0.03	0.003	
	チオベンカルブ	0.2	0.02	
	ベンゼン	0.1	0.01	
	セレン	0.1	0.01	
生活環境項目	Cu	3	—	原子吸光法
	Zn	5	—	原子吸光法
	Cr(全)	2	—	吸光度法 (ジフェニルカルバジド); 原子吸光法
	Mn(溶解性)	10	—	原子吸光法
	Fe(溶解性)	10	—	原子吸光法
	pH	5.8~8.6	表 2-2	ガラス電極pH計
	BOD	5.0~9.0(海) 160(120) ²⁾	表 2-2	標準希釈法
	COD	160(120)	表 2-2	酸性過マンガン酸法
	浮遊物質	200(150)	表 2-2	重量分析法
	ヘキサ	5(鉱油)	表 2-2	抽出-重量分析法
	抽出物質	30(油脂)		
	フェノール類	5		蒸留-吸光度法 (4-アミノアンチピリン)
	F-	15		蒸留-吸光度法 (La-アリリソコアラキソ); 蒸留-イオン電極法
	大腸菌群数 (溶存酸素)	(3,000) ³⁾ —	表 2-2 表 2-2	希釈-培養-計数法 容量分析法; 隔膜電極法
	全窒素	0.6	0.1	
	全りん	0.05	0.005	

注 ¹⁾ mg/l (pHと大腸菌群数を除く) ²⁾ ()は日間平均値 ³⁾ 個/ml ⁴⁾ 年間平均値,

自然汚染のある河川では0.001

表 5.21 生活環境に係る環境基準値

	河川						湖沼・人工湖				海 域		
類 型	AA	A	B	C	D	E	AA	A	B	C	A	B	C
pH	6.5~8.5				6.0~8.5		6.5~8.5			6.0~8.5	7.8~8.3		7.0~8.3
COD	—						1	3	5	8	2	3 ³⁾	8
DO	7.5		5		2		7.5		5	2	7.5	5	2
BOD	1	2	3	5	8	10	—				—		
浮 遊 物 質	25			50	100	¹⁾	1	5	15	¹⁾	—		
ヘ キ サ ン 抽 出 物 質	—						—				不 検 出		—
大腸菌群数 ²⁾	5	1000	5000	—			50	1000	—		1000	—	

注 ¹⁾ ごみなどの浮遊が認められないこと²⁾ MPN/100ml³⁾ COD₀₁₁

2) 水洗廃水

採掘された鉱石は、選鉱場に送り、破碎、水洗、ふるい分け等の処理により、整粒化と付着スライム除去とを行い、製鉄、生石灰製造原料等に供する。

水洗工程では、鉱石トン当り1 m³程度の洗浄水が使用される。廃水は、粗粒子の除去・回収のため更に分級機に供する。分級機オーバーフロー中には数%から10%の懸濁物質が含まれるため、沈殿、ろ過等の処理を行う。

分級機オーバーフローの懸濁物質成分分析例を、表5.23に示す。

表 5.22 湖沼の窒素およびりんに係る環境基準値

項目 類型	利用目的の適応性	基 準 値	
		窒 素 (T-N)	り ん (T-P)
I	自然環境保全及びⅡ以下の欄に掲げるもの	mg/l 0.1以下	mg/l 0.005以下
Ⅱ	水道1, 2, 3級(特殊なものを除く) 水産1種 水浴及びⅢ以下の欄に掲げるもの	0.2以下	0.01以下
Ⅲ	水道3級(特殊なもの)及びⅣ以下の欄に掲げるもの	0.4以下	0.03以下
Ⅳ	水産2種及びⅤの欄に掲げるもの	0.6以下	0.05以下
Ⅴ	農業用水, 水産3種 工業用水及び環境保全	1以下	0.1以下

表 5.23 水洗廃水中固形物の分析例

排水 分析項目	石灰石水洗廃水	ドロマイト水洗廃水
Ig-Loss ^{注)}	34.94	43.98
SiO ₂	17.85	4.59
Fe ₂ O ₃	1.45	0.58
Al ₂ O ₃	2.96	1.11
CaO	38.59	34.95
MgO	3.29	14.48

注) Ig-Loss: 強熱減量 Ignition Loss

3 坑廃水処理技術

(1) 坑廃水の処理

1) 坑廃水処理の基本的考え方

坑廃水処理の対象となる水は、坑内水、選鉱廃水などであり、坑廃水処理では、これらの坑廃水を処理することにより、放流排水中の汚濁物質を、基準値以下にする。処理に当っては、「負荷量主義」（「絶対量主義」）の考え方にもとづき、濃度とともに流量も考慮する。

坑廃水処理水量を少なく抑えることは、設備効率上極めて有効である。このため、水質良好な廃水の分離排水、湧水箇所の水止め、酸化防止等の手段を講ずる。また、処理設備および放流口は、できるだけ集約することが、技術上・管理上望ましい。各種シックナオーバーフロー等は原則として場外に出さず、繰り返し使用や水の用途別使い分け等により、処理水量の軽減を考慮する。

一般に排水処理に採用されている処理技術を、単位操作の面から分類すれば、次のようになる。この項では、主として乾燥を含めた固液分離について記述する。

- ① 固液分離（凝集、沈降、ろ過・脱水、浮上、遠心沈降・遠心分離、その他）
- ② 中和
- ③ 酸化
- ④ 還元
- ⑤ 沈殿（化学的）
- ⑥ イオン浮選その他の浮選
- ⑦ その他の物理化学的処理（吸着、イオン交換、逆浸透、電気透析）
- ⑧ 生物化学的処理（活性汚泥、散水ろ床、嫌気性消化、ラグーン）
- ⑨ 熱処理（乾燥、蒸発、凍結処理、焼却）

2) 固液分離

懸濁固形物（Suspended Solids, 略称SS）の負荷量を減少させる処理法として、凝集、沈降、ろ過・脱水、浮上法のほか遠心沈降・遠心ろ過等の遠心分離法等がある。

① 沈 降

沈降は最も重要かつ普遍的な固液分離法であり、坑排水中のSSを粒子自身の重みで沈降させ、液体と粒子を分離する操作である。液体中の固体粒子の沈降速度は、粒子の大きさと密度、液体の粘性と密度等に左右される。一般に排水処理対象の固一液懸濁系に適用できる粒子の沈降速度は、ストークスの式を用いる。ただし、水の流れを特徴づける係数であるレイノルズ数 R_e (Reynolds Number) が0.4以上になると、アレンの式やニュートンの式等を用いる。

粒子の沈降速度は、粒子と液体との密度差が大きいほど、粒子の径が大きいほど、また液体の粘性係数が小さいほど大きくなる（例えば、水温が上昇すると粘性係数が低下し、沈降速度が上昇する）。また、遠心力を利用する遠心沈降法も、沈降速度を上昇させる。

Stokesの式； $R_e < 0.4$

$$V = \frac{g \cdot (P_s - P_w) \cdot d^2}{18\mu} \quad \dots\dots\dots (5.31)$$

Allenの式； $30 < R_e < 500$

$$V \left\{ \frac{4}{225} \cdot \frac{g^2 (P_s - P_w)}{\mu \cdot P_w} \right\}^{1/3} \cdot d \quad \dots\dots\dots (5.32)$$

Newtonの式； $500 < R_e < 10^5$

$$V = \left\{ \frac{3 \cdot g^2 (P_s - P_w)}{P_w} \right\}^{1/2} \cdot d^{1/2} \quad \dots\dots\dots (5.33)$$

ただし、

V ：沈降速度， P_w ：液体の密度， P_s ：固体の密度，

μ ：液体の粘性係数， d ：粒子の径， g ：重力の加速度

② 凝 集

凝集は沈降・ろ過・脱水の促進手段であり、処理技術上重要な役割を持つ。

沈降しにくい微細粒子（粒径1mmから500nm程度のコロイド状粒子も含む）の大部分は水中で負に荷電している。粒子表面では、表面荷電に対して反対符号の荷電が相対し、固定の電気2重層が形成される。その外側は拡散層となり、正負の荷電の分布は一様ではない。このように、帯電した微細粒子が動くときに、粒子に固定された電気2重層の表面、すなわち固定2重層と拡散層との界面（滑り面）に、ゼータ電位（Zeta Potential：界面動電位あるいは動的界面電位）を生じる。この電位は、微細粒子間に反発を来し、粒子相互の凝集を妨害する原因となる。

電解質濃度を増すとゼータ電位は低下するので、薬品を用いてこのゼータ電位を調節し、これらの微細粒子を結合させてフロック（大粒の凝塊）を生成させる操作が凝集である。フロック形成により、見掛けストークス粒径が大きくなり、沈降速度を増加するとともに、ある条件下では、コロイド状粒子を吸着・ろ過して、清澄な上澄水を得る。これに用いる薬品が凝集剤である。

各種凝集剤の種類を、表5.24～表5.26に示す。

無機凝集剤を使用する場合、最も留意すべき因子はpHであり、最適pH値は粒子の質や濃度、共存イオン、添加量によって変わる。

有機凝集剤には、高分子凝集剤と界面活性剤とがあるが、一般的には高分子凝集剤が多く使用されている。これは水溶性高分子物質であり、電荷を中和する作用のほか無機凝集剤にはない架橋作用により、粒子間の橋渡しで粒子を結びつける、凝集作用がある。一般的に、高分子凝集剤は重合度の高いものが優れた凝集作用を持つ。ただし、添加量が過剰になると粒子表面が親水性となり、凝集効果が低下する。

凝集剤の選定・使用では、沈降試験を行い、界面沈降速度、上澄水の濃度、および固形物の沈降容積を測定して、目的に適した凝集剤の選定、最適使用量、使用法等を決定する。

表 5.24 凝集剤の種類（無機物）

分 類	物 質 例
無 機 塩	硫酸アルミニウム 硫酸鉄（Ⅲ） 硫酸鉄（Ⅱ） アルミン酸ナトリウム 塩化鉄（Ⅲ） 塩化亜鉛 四塩化チタン ポリ塩化アルミニウム
酸	硫 酸 塩 酸 二酸化炭素
ア ル カ リ	炭酸ナトリウム 水酸化ナトリウム 石 灰
金属電解産物	電解水酸化アルミニウム 電解水酸化鉄
そ の 他	活性けい酸

表 5.25 凝集剤の種類（海面活性剤）

分 類	物 質 例
陰 イ オ ン 性	ラウリン酸ナトリウム ステアリン酸ナトリウム オレイン酸ナトリウム ドデシルベンゼンスルホン酸ナトリウム ロジン酸ナトリウム そ の 他
陽 イ オ ン 性	ドデシルアミン・アセテート オクタデシルアミン・アセテート ロジンアミン・アセテート オクタデシル・トリメチル・アンモニウム・クロライド オクオクタデシル・ジメチル・ベンジル・アンモニウム・クロライド そ の 他

表 5.26 凝集剤の種類（高分子凝集剤）

分 類		物 質 例
重 合 度	イ オ ン 性	
低 重 合 { 分子量約 1000 ～数万 }	陰 イ オ ン 性	アルギン酸ナトリウム, CMC-Na そ の 他
	陽 イ オ ン 性	水溶性アニリン樹脂塩酸塩, ポリエチレンイミン ポリビニル・ベンジル・トリメチル・アンモニウム・クロライド, その他
	非 イ オ ン 性	デンプン, 水溶性尿素樹脂, その他
	両 性	ゼラチン, その他
高 重 合 { 分子量約10万 ～約1000万 }	陰 イ オ ン 性	ポリアクリル酸ナトリウム, マレイン酸共重合物塩 ポリアクリルアミド部分加水分解物塩, その他
	陽 イ オ ン 性	ポリビニルピリジン塩酸, ビニルピリジン共重合物塩, その他
	非 イ オ ン 性	ポリアクリルアミド, ポリオキシエチレン

③ ろ過・脱水

ろ過とは、固形物の懸濁液を、無数の小孔をもつ多孔質ろ材あるいは網目や、数 $10\mu\text{m}$ から数 mm の径をもつ固体充てん層を通すことにより、懸濁液中の固体粒子群をろ滓として捕捉するとともに、これらを通過する清澄液をろ液として分離する操作である。

ろ過は、その目的によって、清澄ろ過と脱水ろ過とに分けられる。

a) 清澄ろ過

清澄ろ過は清澄液を得ることを目的とする。上水の浄水場、一般排水処理の最終仕上げ等の急速ろ過、緩速ろ過等がある。本法は、坑排水処理では、さほど利用されない。

浄化の主要因子はろ材のスクリーン作用、ろ材空隙での重力による沈降、吸着作用等で、ろ材には砂、アンストラサイト（無煙炭）等を使用する。

ろ材の表面にろ過助材をコーティングしてプレコートし清澄なる液を得るプレコートろ過も、清澄ろ過に入る。ろ過助材は、珪藻土、パーライト、セルロース、石綿、炭素等で作られている。

b) 脱水ろ過

脱水ろ過は、液体中から分離された精鉱や汚泥（スラッジ）の含水率を小さくすることを目的とする。圧力ろ過、真空ろ過、重力ろ過、絞り加圧ろ過、遠心力ろ過等がある。

- ・ 圧力ろ過 各種ポンプあるいは圧縮空気等を用いて、大気圧以上、通常は $0.4\sim 0.6\text{MPa}$ （ $4\sim 6\text{kgf/cm}^2$ ）程度の圧力で、ろ過する方式である。
- ・ 真空ろ過 真空ポンプを用いて、 $50\sim 80\text{kPa}$ （ $400\sim 600\text{mmHg}$ ）程度に減圧することにより、ろ過する方式である。
- ・ 重力ろ過 回転式スクリーンを用い重力だけでろ過する方式と、加圧ローラ、キャタピラ等を用いて脱水する絞り加圧ろ過方式がある。いずれも、ろ材には非金属性ろ布（木綿、化学繊維、ガラス繊維等）、金属性ろ布（ステンレスクロス、アイアンクロス等）などを使用する。

④ 浮上

浮選法（泡沫浮選法）は、鉱業関係で利用されている技術である。本法では、水中懸濁液（パルプ）の形で浮選機内に入った固体粒子が選択的に水中の気泡に付着し、その浮力によって液面に浮上し形成された泡沫（フロス）を回収する。

この方法が排水処理の固液分離に利用される場合には、浮上法と呼ばれる。

浮上分離法は、含油排水、金属表面処理排水、パルプ排水等で適用されており、その他合ゴム排水、電着塗料排水、染色排水、選炭排水、古紙再生時のカーボンブラック排水等でも近年利用されている。

次のような場合に浮上法の適用が考えられる。

- a) 排水中の固形物粒子が、水より比重の小さい物質や、水と同じくらいの比重で、気泡を抱きやすい性質を持つ。
- b) 水酸化物フロックの比重が水に近づき、フロックの沈降速度が小さい。

c) 水と油の混合物のほか、エマルジョンや種々の懸濁物を含み、重力分離が不可能。

イオン浮選では、水溶液中のイオンに、これと反対符号の界面活性剤（これを捕収剤という）を添加し、水溶性錯化合物あるいは不溶性沈殿を作り、これを気泡につけて浮上させ、フォーム (Foam) あるいはスカム (Scum) として回収する。広義には、イオンを硫化物として沈殿させ浮上分離する沈殿浮選、イオンをベントナイト等の粒子表面に吸着させ浮上分離する吸着粒子浮選なども含まれる。

3) 乾 燥

回収固形物の有効利用を考慮した場合、乾燥の工程を固液分離のプロセスとして考える必要がある。固液分離プロセスは、沈降（浮上）・ろ過・脱水・乾燥の順に進行するが、乾燥工程では、固形物の含水率を機械的に十分下げた後に行う。乾燥には天日乾燥と熱乾燥とがある。

a) 天日乾燥： 汚泥を砂床上に載せて、水分の一部を砂床でろ過除去し、同時に太陽熱や風で自然乾燥させる。天日乾燥床は、建設費が安く、作業が簡単という利点があるが、反面、広い土地面積を必要とするため、湿潤な気候、狭い国土の日本では適用が困難である。

b) 熱乾燥： 乾燥方式には通気乾燥、噴霧乾燥、回転乾燥、気流乾燥、流動層乾燥、伝熱加熱型乾燥、凍結乾燥などがあり、対象坑排水汚泥の性状に応じた乾燥方式を採用する必要がある。

4) 中 和

酸性の坑排水をアルカリで中和する場合と、アルカリ性の坑排水を酸で中和する場合とがある。

アルカリで中和する場合、中和剤としては通常消石灰が用いられる。石灰石（通称炭カル）の利用も現在では一般化し、石灰石と消石灰の二段中和法が行われる事例もある。

金属イオンが混在している溶液では、アルカリ中和して、金属水酸化物を生成させ、沈殿分離させる。本法は、排水処理では最も一般的である。

溶解度積を K_s とすると、金属 M の溶存イオンが M^{2+} の場合は、

$$K_s = [M^{2+}] [OH^-]^2 \quad \dots\dots\dots (5.34)$$

$$\log [M^{2+}] = \log K_s - 2 \log [OH^-] \quad \dots\dots\dots (5.35)$$

水のイオン積を K_w とすると

$$K_w = [H^+] [OH^-] = 10^{-14} \quad \dots\dots\dots (5.36)$$

$$\text{また, } pH = -\log [H^+] \quad \dots\dots\dots (5.37)$$

(5.36), (5.37) を (5.35) に代入して

$$\begin{aligned} \log [M^{2+}] &= \log K_s - 2 \log K_w - 2 pH \\ &= \text{const} - 2 pH \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (5.38)$$

M^{3+} の場合は、同様にして

$$\log [M^{3+}] = \text{const} - 3 pH \quad \dots\dots\dots (5.39)$$

この結果を、表5.27および図5.28に示す。溶解度積の小さい順に各水酸化物が沈殿し、pHが高いほど金属濃度は低くなる。Al, Cr, Zn, Pbなどは、更に高pH域で再溶解現象が生じ、イオン化する。各金属に対する排水基準を満たすpH値を、表5.27から算定した結果を、表5.28に示す。単純な水溶液では、順次沈殿が生成して来るので、各金属の分別が可能である。

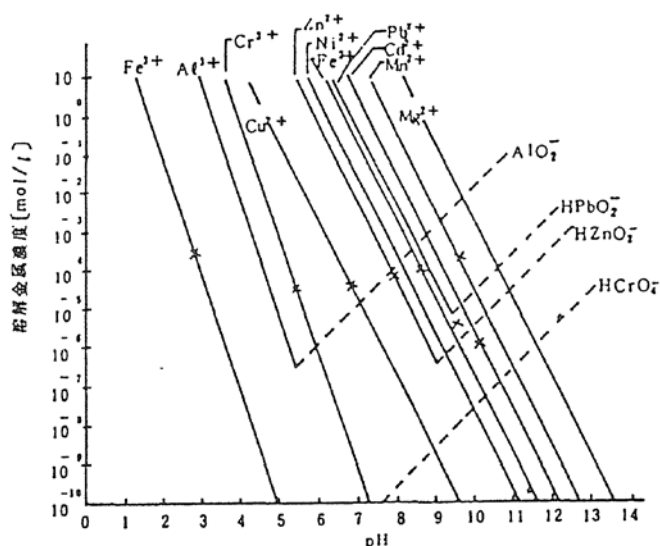


図 5.28 各種金属水酸化物の溶解度と pH との関係

表 5.27 金属水酸化物の溶解度積, 金属イオン濃度と pH との関係

金属イオン	解 離 反 応	溶 解 度 積	金属イオン濃度と pH との関係
Fe^{3+}	$\text{Fe}(\text{OH})_3 = \text{Fe}^{3+} + 3 \text{OH}^-$	6.0×10^{-38}	$\log [\text{Fe}^{3+}] = 4.78 - 3 \text{pH}$
Al^{3+}	$\text{Al}(\text{OH})_3 = \text{Al}^{3+} + 3 \text{OH}^-$	5.0×10^{-33}	$\log [\text{Al}^{3+}] = 9.70 - 3 \text{pH}$
Cr^{3+}	$\text{Cr}(\text{OH})_3 = \text{Cr}^{3+} + 3 \text{OH}^-$	6.0×10^{-31}	$\log [\text{Cr}^{3+}] = 11.78 - 3 \text{pH}$
Sn^{2+}	$\text{Sn}(\text{OH})_2 = \text{Sn}^{2+} + 2 \text{OH}^-$	3.0×10^{-27}	$\log [\text{Sn}^{2+}] = 1.48 - 2 \text{pH}$
Cu^{2+}	$\text{Cu}(\text{OH})_2 = \text{Cu}^{2+} + 2 \text{OH}^-$	1.6×10^{-19}	$\log [\text{Cu}^{2+}] = 9.20 - 2 \text{pH}$
Cr^{2+}	$\text{Cr}(\text{OH})_2 = \text{Cr}^{2+} + 2 \text{OH}^-$	1.0×10^{-17}	$\log [\text{Cr}^{2+}] = 11.00 - 2 \text{pH}$
Zn^{2+}	$\text{Zn}(\text{OH})_2 = \text{Zn}^{2+} + 2 \text{OH}^-$	4.5×10^{-17}	$\log [\text{Zn}^{2+}] = 11.65 - 2 \text{pH}$
Ni^{2+}	$\text{Ni}(\text{OH})_2 = \text{Ni}^{2+} + 2 \text{OH}^-$	1.6×10^{-16}	$\log [\text{Ni}^{2+}] = 12.20 - 2 \text{pH}$
Fe^{2+}	$\text{Fe}(\text{OH})_2 = \text{Fe}^{2+} + 2 \text{OH}^-$	1.8×10^{-15}	$\log [\text{Fe}^{2+}] = 13.26 - 2 \text{pH}$
Pb^{2+}	$\text{Pb}(\text{OH})_2 = \text{Pb}^{2+} + 2 \text{OH}^-$	4.2×10^{-15}	$\log [\text{Pb}^{2+}] = 13.62 - 2 \text{pH}$
Cd^{2+}	$\text{Cd}(\text{OH})_2 = \text{Cd}^{2+} + 2 \text{OH}^-$	2.0×10^{-14}	$\log [\text{Cd}^{2+}] = 14.30 - 2 \text{pH}$
Mn^{2+}	$\text{Mn}(\text{OH})_2 = \text{Mn}^{2+} + 2 \text{OH}^-$	2.0×10^{-13}	$\log [\text{Mn}^{2+}] = 15.30 - 2 \text{pH}$
Mg^{2+}	$\text{Mg}(\text{OH})_2 = \text{Mg}^{2+} + 2 \text{OH}^-$	8.9×10^{-12}	$\log [\text{Mg}^{2+}] = 16.95 - 2 \text{pH}$

ただし、液中には実際には数種の金属イオンが混入しており、これらが沈殿するときには共沈現象等が生じ、一般にその金属水酸化物が生成する理論値よりも低いpH値で同時に沈殿し、混合水酸化物となることが多い。

pH制御の基本方式を、図5.29に、また、中和剤の種類一覧表を、表5.29に示す。

5) 酸 化

坑废水处理では、中和・沈殿・固液分離等の処理を容易にするための予備手段として、酸化を行うことが多い。Fe(II)を酸化してFe(III)にする操作は、その代表的なものである。空気酸化法(曝気法)、バクテリア酸化法などが、工業的に実施されている。

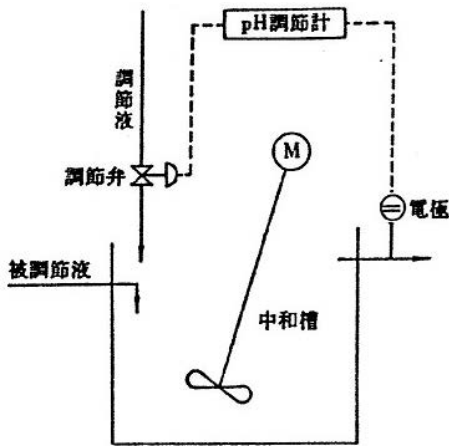


図 5.29 pH制御の基本方式

表 5.28 各金属が排水基準を満たす pH 値

金属イオン	排水基準 mg/l	排水基準を満たす pH
Fe ³⁺	10	2.8
Cr ³⁺	2	5.4
Cu ²⁺	3	6.8
Zn ²⁺	5	7.9
Fe ²⁺	10	8.5
Pb ²⁺	1	9.5
Mn ²⁺	10	9.5
Cd ²⁺	0.1	10.2

表 5.29 排水処理に用いられる酸およびアルカリ中和剤

酸及びアルカリ	化 学 式	溶 解 度 [g/100 g H ₂ O] 肩数字は温度	
水酸化ナトリウム (カセイソーダ)	NaOH	42°	溶解度、反応速度共に大。 供給が容易で処理も便利であるが価格が高い。
炭酸ナトリウム (ソーダ灰)	Na ₂ CO ₃	7.1°, 21.6°	
酸化カルシウム (生石灰)	CaO		溶解度が小さいのでスラリーとして供給するので、攪拌機付注入装置を要す。反応速度小で、反応生成物が不溶性の場合が多い。 反応生成物の脱水性はよい。 価格が安い。
水酸化カルシウム (消石灰)	Ca(OH) ₂	0.185°	
アセチレンさい	Ca(OH) ₂		
炭酸カルシウム (石灰石)	CaCO ₃	0.014 ²⁵	主として強酸性の排水が対象。 処理水を中性にするために更に消石灰などの添加が必要。
セメントダスト	CaO		
ドロマイト	CaCO ₃ ・MgCO ₃	0.032 ¹⁸	
硫 酸	H ₂ SO ₄		溶解度、反応速度大、液体のため制御は容易であるが、取扱い危険。
塩 酸	HCl		

6) 還元

坑廃水処理法として重要な還元処理の例は、クロム（Ⅵ）をクロム（Ⅲ）にする操作である。還元剤には二酸化硫黄、亜硫酸ナトリウム、亜硫酸水素ナトリウム等が用いられる。くず鉄収銅法による

沈殿銅の生成も一種の還元反応である。

7) 沈 殿

特定の溶存物質を化学的に沈殿させる操作で、中和操作と同時に行う場合と、単独で行う場合とがある。金属イオンを水酸化物として沈殿させる中和沈殿法は、最も一般的な処理技術である。また、沈殿を1段階で行わず、pHその他の条件を都度調整して、各種溶存物質を何段階かで順次沈殿させる分別沈殿法（または優先沈殿法）がある。

硫化物沈殿法は、硫化水素 H_2S 、硫化ナトリウム Na_2S 、水硫化ナトリウム NaHS などを加え、各金属を水溶液から硫化物として沈殿させる主要な処理技術の1つである。Cu、Pb、As除去への適用例がある。ただし、溶液中に Fe^{3+} 、 CrO_4^{2-} などがあると、硫化剤はその分だけ消費され、コロイド状の遊離硫黄が懸濁する。また、遊離硫黄や金属硫化物は沈降しにくいこと、残存する S^{2-} を除去する工程を必要とすること等の課題がある。

8) その他の処理法

① 吸 着

吸着処理は、固体吸着剤を何らかの方法で処理対象水と接触させ、汚濁成分を吸着除去した後、吸着剤と処理水を分離する方法である。吸着剤としては、粉末あるいは粒状の活性炭、白土、ゼオライト、ボーキサイト、種々の粘土、骨炭、アルミナ、マグネシア、シリカゲル、活性シリカ等があるが、いずれも高価である。

排水処理に一般的に用いられているのは活性炭で、木材、泥炭等を原料として炭化賦活する。活性炭は多くの微細な空隙を持つ複雑な網目構造をしている。空隙孔径は $10\text{\AA} \sim 100,000\text{\AA}$ の範囲で、細孔表面積は $800 \sim 1,200\text{m}^2/\text{g}$ の範囲にあり、この内表面への溶質の濃縮（吸着）を行う。吸着力が低下した活性炭は再生して使用し、再生損失分は補給する。一般に、活性炭処理はコストが高いため、他の方式と組合せて行う場合が多い。

② イオン交換

イオン交換体は、主にイオン交換樹脂が用いられる。イオン交換樹脂は、イオン交換基の種類により、陽イオン交換樹脂、陰イオン交換樹脂およびキレート樹脂がある。キレート樹脂は特殊のイオンのみを選択的に吸着する性質を持っている。吸着されたイオンは、高濃度の食塩水、塩酸、水酸化ナトリウムなどで溶離させて再生使用する。

本法では、廃水中の各種有用イオンの回収や、汚濁物質の選択的除去を行い、キレート樹脂による特定重金属の選択的捕集も一部実用化されている。排水中の不純物濃度が高い場合は、イオン交換樹脂の閉そくや、いたみが生ずる。イオン交換樹脂は高価であるため、いったん処理した処理水を更に高度処理する場合に使用されることが多い。

③ 逆浸透

溶媒は通すが溶質は通さない半透膜を介して、一方に希薄溶液（水）、反対側に濃厚溶液を同一水面になるように置くと、希薄溶液は半透膜を通して濃厚溶液側に動き、濃厚溶液の水面が次

第に高くなり、ある高さで安定する。この原理を浸透といい、この水位の差が浸透圧である。

このとき、濃厚溶液側に浸透圧以上の圧力をかけると、濃厚溶液中の水だけが半透膜を通過する。この原理が逆浸透であり、有機物や無機溶解物質を除去して、非常に良質の淡水が得られる。

半透膜には、酢酸セルロース、ナイロン、カーボン等を用いる。

逆浸透法の原理を、図5.30に示す。

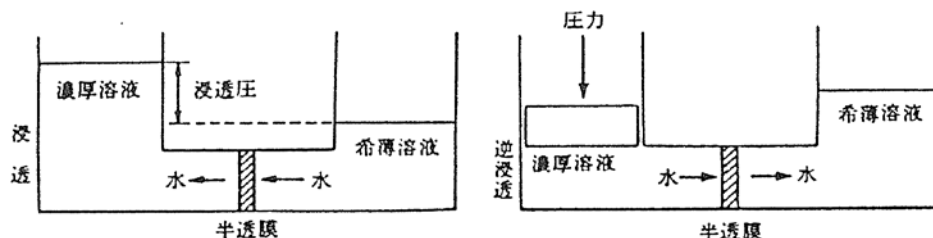


図 5.30 逆浸透法の原理

④ 電気透析

電気透析では、イオン交換膜のイオン選択透過性を利用して、水中のイオン性成分（無機塩類など）を除去する。陽イオンのみを通す陽イオン交換膜と、陰イオンのみを通す陰イオン交換膜とを交互に多数配列し、その膜群の両端に一对の電極を配置し、その電位差により液中の電解質は1つとばした次の部屋で濃縮され、また脱塩される。

本法は、製塩のための海水濃縮等に実用化されているが、排水処理等への応用事例はまだわずかである。

電気透析法の原理を、図5.31に示す。

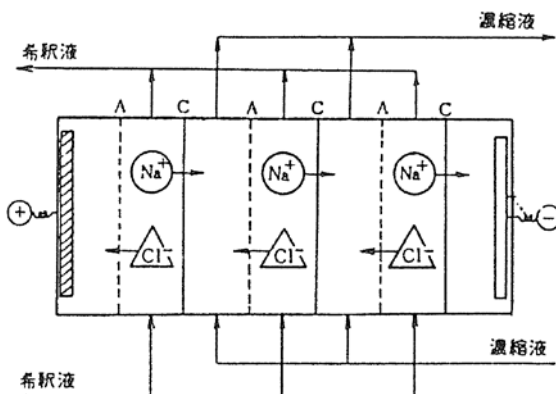


図 5.31 電気透析法の原理

⑤ 生物化学的処理

バクテリアなどの微生物の働きで、主として有機物を含む排水を分解処理する。有機性の排水は、処理方

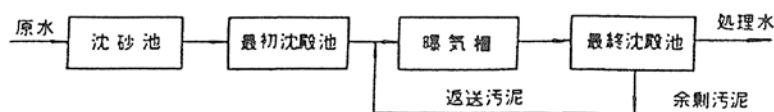


図 5.32 標準的な活性汚泥法フロー

法も好気性処理と嫌気性処理に分類される。有機物の含有量が低い場合は好気性処理が有効であり、高い場合（BOD10,000mg/l以上）は嫌気性処理が有利である。

a) 好気性処理:好気性処理は、好気性微生物の働きで、脂肪、炭水化物、たん白質のような比較的複雑な分子構造を持つ有機物を、加水分解や酸化で分解し、最終的には二酸化炭素、硝酸塩、

硫酸塩、水のような汚染性を持たない簡単な化合物にする処理法である。代表的な方法の1つに活性汚泥法がある(図5.32参照)。

また散水ろ床法も、好気性処理法の1つである。本法は、碎石などを積み上げた床を設け、上部から原水を散布して、原水がろ材の表面に沿って流れる間に、表面に膜状に付着生成した微生物で汚濁物を吸着・分解する。

- b) 嫌気性処理:嫌気性処理は、消化法あるいはメタン発酵法とも呼ばれる。空気および溶存酸素の少ない嫌気性条件下で、嫌気性微生物の働きにより、有機物を最終的にはメタン、窒素ガス、硫化水素、二酸化炭素などに分解する。

嫌気性処理は、沈殿処理で得られた有機性沈殿汚泥、活性汚泥法の余剰汚泥、し尿、発酵廃液などの処理に用いる。発生したメタンをエネルギーとして利用できる。

⑥ ラグーン

ラグーン(潟(かた)、潟湖(せきこ) Lagoon)は、その形式から、好気性池、エアレーション式ラグーン、嫌気性池の3種に大別できる。いずれも比較的広い面積を必要とする。

- a) 好気性池:藻類の光合成作用による酸素および溶存酸素を利用して、有機物を好氣的に酸化分解する処理法である。
- b) 嫌気性池:有機物を嫌気性発酵によって処理する池である。
- c) エアレーション式:好気性池の改良形である。

4 処理施設の原理・機能

(1) 沈降分離装置

沈降分離装置には回分式と連続式とがある。

回分式では、汚泥を取り除く際、原排水の流入を一時停止する。原排水中の懸濁物を沈降分離する目的で、原排水を一時滞留させる機能を持つ池や水槽(沈殿槽、沈殿池等)がこれに該当する。

一方、連続式には、濃厚懸濁液を対象として、濃厚なスラリーを得ることを目的とする連続濃縮装置(シッケナ)と、比較的希薄懸濁液を対象として、清澄な上澄水を得ることを目的とする連続清澄装置(クラリファイア)があり、両者には装置上本質的な相違はない。

① 沈殿池(沈殿槽)

沈殿池を設計するに当たり考慮すべき事項は、滞留時間、池の容量および数、水の流速、池の深さ、池の幅と長さとの関係、流入口および流出口の設計、覆いまたは屋根、排泥設備、沈殿保有能力である。

回分式の場合、沈殿池仕様は概ね次のとおりである。

- ・ 滞留時間 一連の実験により決定。最短2時間から長い場合は1か月以上と幅があるが、一般には4時間程度である。
- ・ 流速 小さいほど沈殿効果がよいが、通常は0.2～0.4m/min程度である。

- ・ 深さ, 幅, 長さ 深さは通常2～4.5m程度。長さとの比は4:1で, 最大長さは普通30m程度である。池の容積に比べ, 表面積が大きすぎると, 風により水の流れが乱れる恐れがある。大体の標準は, 1m^2 当りの1日の処理水量40～50 m^3 として設計する。また, 沈殿作用には細長い池が適しているが, 経済的には正方形が有利である。

- ・ 排泥設備 排泥はスラッジ状で排出する場合, 流入停止後一定時間静置し, 上澄水を排出して機械力, あるいは人力で排出する場合など, さまざまな方式がある。なお, 地形を利用してダムを築いたり, 大きな素掘り沈殿池を造ることもある。

② 傾斜板沈降装置

沈降分離の場合, その分離速度 V と装置に必要な沈降面積 A と処理量 Q には, 次の関係がある。

$$A = Q/v \quad \dots\dots (5.40)$$

従って, 処理装置を能率化するには, 沈降速度を大きくするか, あるいは装置の占有面積内で分離面積をできるだけ大きくすればよい。前者には凝集剤の使用, 後者には傾斜板の使用がある。

ビーカー中に懸濁水を入れて静置する場合(図5.33参照), Aの場合は懸濁粒子が, 上面の a から底面の b まで沈降しな

ければ沈降は終了しない。これをBの場合のように, ビーカーを4等分して柵を設けると, 粒子は $a' \sim b'$ 間を沈降すればよく, Aの場合に比べて時間的に $1/4$ でよいことになる。しかしこの方法は, スラッジの取出しが困難なため, 実用的とはいえない。

そこでCのように, 柵の仕切りを斜めにして, $a'' \sim b''$ 間の垂直距離を $a' \sim b'$ 間の距離と同様にすると, 分離された粒子は坂上を流れて底部にたい積するため, 排出が容易になり, 静置時間もBの場合と同じになる。

傾斜板沈降装置はこの原理を利用している。実際に沈降装置に使用する場合, 例えば, 板をくの字形に, 2段, 3段, 4段と吊り下げる(図5.34参照)。懸濁物は板の表面に沿って下降し, 同時に清澄水は板の裏面に沿って上昇できるように, 上段と下段の板と板の間にスリットを設け, 上昇する清澄水と沈降する濁質との混合を避ける。

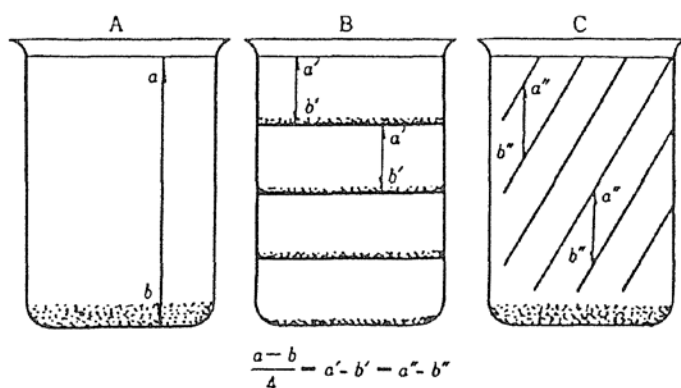


図 5.33 傾斜板沈降装置の原理

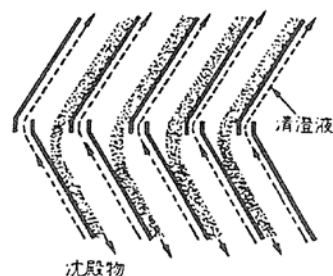


図 5.34 傾斜板沈降装置の設置図

(2) ろ過、脱水装置

① 清澄ろ過装置

排水処理で用いる清澄ろ過装置は、急速ろ過装置や高速ろ過装置が多く、沈殿装置その他の処理装置からキャリーオーバーしたわずかの固形分を除去する、仕上げ工程に用いる。

急速ろ過装置には、重力式、自動式、立体式がある。一般的な重力式急速ろ過装置は表面洗浄装置、ろ過層、砂利層、集水装置から構成され、ろ層の厚さは600～700 mm、ろ材は有効径0.45～0.70 mm、均等係数1.7以下の砂またはアンスラサイト（無煙炭）等を使用する。

急速ろ過装置の一例を、図5.35に示す。

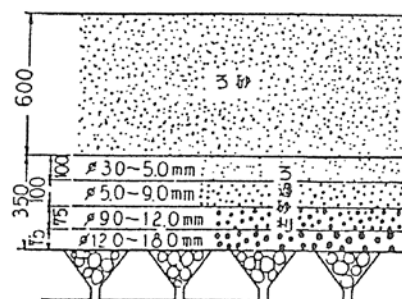


図 5.35 急速ろ過装置

② 脱水ろ過装置

脱水ろ過法には、圧力ろ過、真空ろ過、重力ろ過、絞り加圧ろ過等があり、液体中から分離された汚泥の含水率を低くすることを目的とする。なお、脱水ろ過を行う前に、物理化学的操作による汚泥脱水性の改善を行うことが多く、前処理添加剤としては、灰、消石灰、けいそう土、微粉炭、無機凝集剤、高分子凝集剤等が用いられる。

- ・圧力ろ過装置 最も代表的なものはフィルタプレス（圧ろ機）である。ろ過圧力は通常0.4～0.6 MPaである。

フィルタプレスは極微粒子のスラッジに適しており、ケーキ含水率が低いという利点がある。一方、回分式であること、ろ過速度が小さいこと等の欠点がある。使用するろ布は、パイレン、ナイロン、テトロン等の化学繊維が多い。

- ・真空ろ過装置 回分式と連続式があるが、一般には連続式が使用される。多孔式ドラムやディスクなどにろ布を取付けてこれを回転させ、内部を真空ポンプで真空度50～80 kPa（400～600 mmHg）程度に減圧する。ドラム等が汚泥に浸漬しているときには、汚泥は真空の負圧でろ布面に吸着され、回転が進んで汚泥が液面を離れると、吸着し

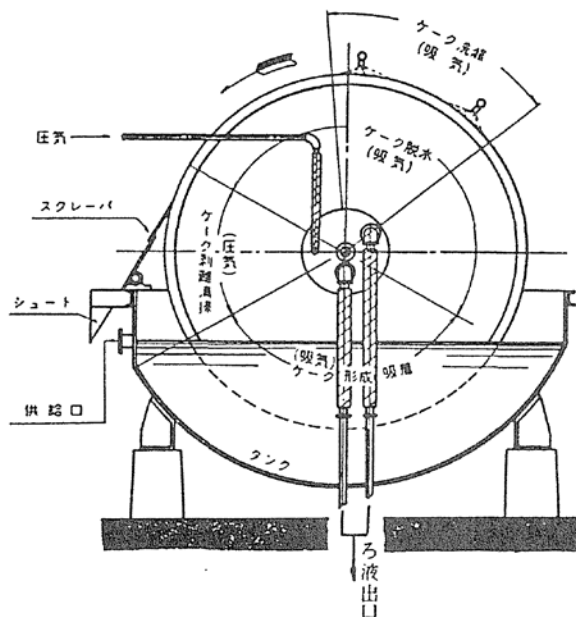


図 5.36 連続式真空ろ過装置の原理

た汚泥の脱水が行われる。一定の排出位置にきた所で、バルブの自動動作により、圧縮機の正圧に切り替わり、ケーキが円筒表面から排出される。ろ布のケーキ洗浄も行うことができる。オリバ形真空ろ過機などが用いられる。

真空ろ過の原理を、図5.36に示す。

- ・絞り加圧ろ過装置 汚泥を上下2段のエンドレス布で挟み、これを加圧ローラで絞り取る。ろ材としてスポンジを使用し、毛細管現象を利用してろ材に水分を吸収させ、その後圧搾用エンドレスベルトによって絞り取るタイプもある。

ロールプレスろ過機の一例を、図

5.37に示す。

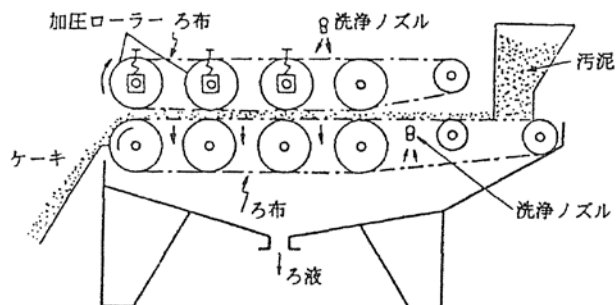


図 5.37 ロールプレスろ過機

③ その他の脱水装置

- ・遠心分離機 遠心脱水は、遠心力を利用して汚泥と水分を分離するもので、遠心ろ過を行わせるバスケット型と、遠心力の差で分かれた固形物と水を分離排出するスクリュデカンタ型がある。通常、汚泥の脱水には、スクリュデカンタ型が使用される。
- ・湿式造粒脱水機 汚泥に高分子凝集剤その他の脱水助剤をあらかじめ添加・攪拌し、フロックを作った原液を、回転円筒内でゆっくりと転がり運動を与えると、この運動により、フロックは次第に造粒されてケーキ状となり、水と分離しやすい状態になる。円筒部周速は、汚泥の性状によって適正速度に調整する。

(3) 乾燥装置

① 通気乾燥装置

通気乾燥法では、被乾燥物層の空隙に熱風を強制通過させる、バンド形通気乾燥機が代表的である。これは、金網または多孔板で構成されるコンベヤの一端を供給口として、1段または数段のコンベヤ上を運搬し、13～15cm程度の厚みの被乾燥物層に、上方または下方から熱風を強制通気して乾燥する。通気乾燥装置の一例を、図5.38に示す。

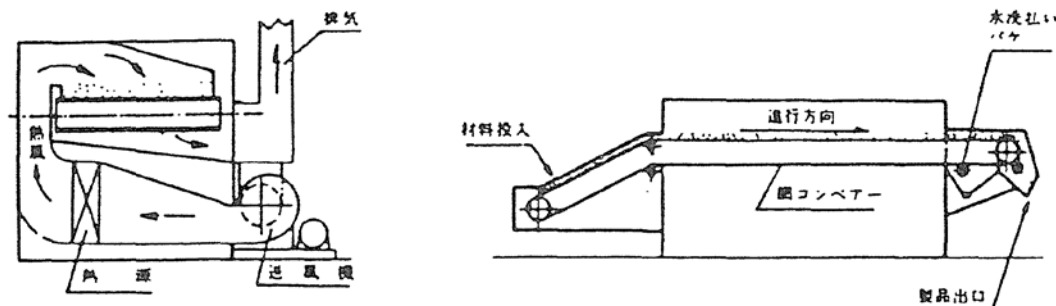


図 5.38 通気乾燥装置（一段式）

② 回転乾燥装置

回転乾燥機の主体は、適当な傾斜と回転を与えられて運転されている円筒状の部分でありその中に被乾燥物がフィードされ、次いで通過中に乾燥される。このタイプは、大量処理に適し、構造が簡単で取扱いが容易であるうえ、被乾燥物の性状（含水率、粒度など）の変化に対する順応性が高い。また熱源の選定範囲が広い等の特徴がある。

③ 気流乾燥装置

気流乾燥機は、被乾燥物を高速（通常15～40m/s）で流れる熱気流中に供給・分散させて、熱気流と並流に搬送しながら迅速に乾燥させる方式である。熱容量係数が高い、乾燥時間が短い、熱効率が高い、処理量が高い、構造が簡単である等の利点があるが、解砕機でよくほぐれないような被乾燥物の場合は適用が困難である。

④ 流動層乾燥装置

流動層乾燥機は、円形または長方形の乾燥室内で、多孔板などの整流器の上にある被乾燥物の下方より熱風を送り、熱風中に被乾燥物を浮遊させ流動層を形成させながら、熱風と激しく混合させて乾燥する方式である。熱風と接触する材料表面積が高い、滞留時間を任意にとれる、構造が比較的簡単等の利点があるが、凝集性のある被乾燥物には適しない。

5 処理施設の選定と維持管理

(1) 処理施設の選定

鉱山排水に含まれる汚濁物質の処理設備を選定する際に、考慮すべき点を次に示す。

- ・ 浮遊物質 浮遊物質濃度と沈降性を検討する。沈降性が悪いときは凝集剤を選択して凝集沈降試験を行う。
- ・ 中和試験 金属イオンを含む排水では、一定量の試験排水にアルカリ溶液を加えて、pH変化を追跡する（中和曲線の作成）。同時に上澄水中の金属イオン濃度を追跡する。これも広義の中和曲線の作成である。これらの情報は処理装置の選定の重要なファクタとなる。この際、生成する沈殿の性状（安定容積、ろ過性など）も見逃してはならない。
- ・ 高度処理 特殊な処理を必要とするときは、それに見合った基礎条件の検討が必要である。
- ・ 製造工程の検討 排水によっては既存の技術では経済的に処理不能なこともあり得る。このような場合は全プロセスとしての製造工程を再検討する必要も生じよう。
- ・ 実装置の選定 このような検討を経た後、実装置を選定する場合には、設置場所、建設費、運転費、スラッジ量と処理、処分、維持管理の難易、担当メーカーの能力、実績、アフターサービスなどの事項を検討する。

ここで、石炭鉱山を例に処理設備選定について具体的に述べる。

石炭鉱山の選炭廃水処理技術は、大きく分けて次のように分類される。

- ① 懸濁物を含む排水を清澄な処理水と汚泥とに分離する清澄・濃縮技術。

- ② 生成した汚泥を処理水と脱水ケーキとに分離する脱水技術。
- ③ pH調節のための中和技術（必要に応じて適用）。

清澄・濃縮工程 凝集沈降および加圧浮上が適している。凝集沈降工程では、前段にシクナを置いて比較的粗粒の固形物を自然沈降させ、オーバーフローをクラリファイアで凝集沈降させる方式が、経済的および管理技術的に有利と考えられる。加圧浮上の場合も、なるべく微細な固形物および比較的低濃度の方が良好な結果が得られるため、凝集沈降と同じく前段にシクナを設ける必要がある。

脱水工程 極微粒のみの固形物には、フィルタプレスの適用が最も確実である。脱水後のケーキのハンドリングを考慮すると、湿式造粒脱水機と圧さく脱水機との組合せが考えられる。

廃滓処理 たい積処理が一般的である。坑内採掘跡空洞部（古洞）に、清澄・濃縮後の汚泥を放流する旧坑放流（あるいは圧入）方式があるが、旧坑は有限のため、処理方法では限定される。一般的な処理方式を考えた場合の代表的なフローシートを図5.39～図5.41に示す。

(2) 処理施設の維持管理

処理施設は日常の維持管理が重要であり、各施設が故障等を起こさず、機能を適正に保持させることが大切である。そのためには、計測装置や自動制御装置を含めた施設全体の定期的な運転管理と、処理水等の水質分析で機能チェックをする水質管理の実施が必要である。

1) 予備処理装置

① スクリーン

スクリーンの目的は、排水中の浮遊物や粗大夾雑物を除去し、ポンプ、配管等の損耗を防止し、その後の処理施設での障害を防止することである。

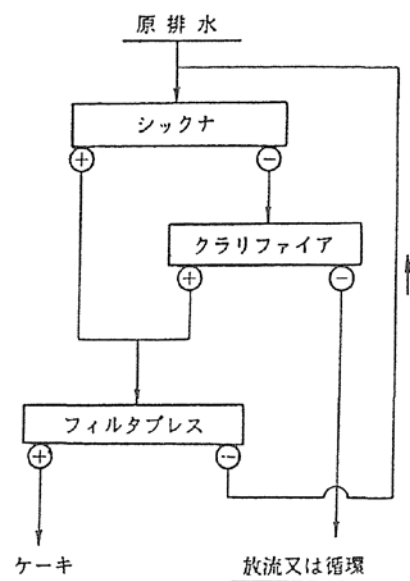


図 5.39 選炭廃水処理フローシート（例 1）

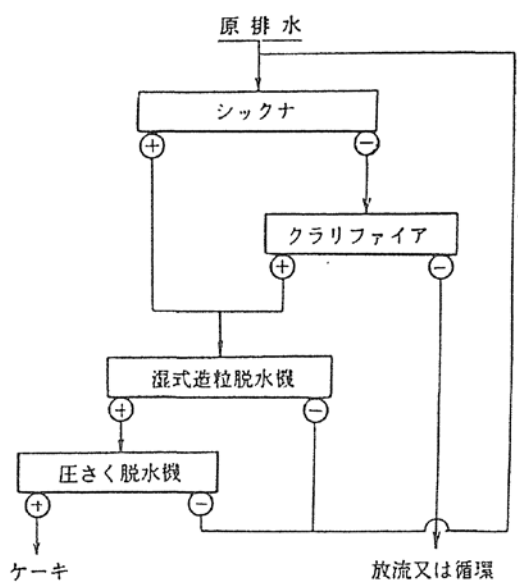


図 5.40 選炭廃水処理フローシート（例 2）

② 沈砂池

沈砂池の目的は、比較的比重の大きな無機質除去であり、例えば、窯業土工場の砂質除去等がこれに当たる。沈砂池は工場によっては排水ますとして利用することもあり、かなりの数が設置される。一般に沈砂池の平均流速は $0.15 \sim 0.3 \text{ m/s}$ 、滞留時間 $30 \sim 60 \text{ s}$ とされている。通常、沈砂池の中央水深が、有効水深の $2/3$ 程度になれば沈砂を排出することが望ましい。

③ 貯留槽・調整槽

貯留槽、調整槽の目的は、排出水量・水質の時間的変動を均一化することであり、これによってその後の処理を安全、円滑に運転することが可能になる。適当な攪拌装置設置が望ましい。

2) 沈降分離装置

① 沈殿池

自然沈殿を利用した沈殿池では、処理排水を自然または人工の池に導入し、その流速を落とし、あるいは地中に一定時間静置することにより、固形物を沈殿させる。沈殿池の効率は、固形物粒子の大きさ、密度、水温、構造等で決まる。沈殿池には、短絡が起こらないよう、阻止板、整流壁等を設置すると効果がある。

② シックナおよびクラリファイア

これらの装置の効率は、粒子の大きさ、密度、水温、装置の構造等で決まる。装置の機能を十分に発揮するためには、固形物粒子の粒径をできるだけ大きく維持し、沈殿物は界面が上昇しないように除去する必要がある。

槽内における沈殿物界面が原水濃度、流量等の増加で急激に上昇した場合は、オーバーフローの水の水質が悪化する恐れがある。できれば連続界面検出装置等を設置し、界面上昇に留意する。

高分子凝集剤は、攪拌不足では十分に反応せず、フロックの生成ができない。逆に攪拌が強過ぎると、生成フロックが壊れる。このため、実操業の凝集剤注入では、特に無機および高分子凝集剤の併用方式で、添加順序、攪拌条件、適用pH範囲等に十分な配慮が必要である。

また、流入原排水の流量、固形物濃度を検出し、固形物量を計算し、凝集剤添加率を変える比率制御、あるいはこれに伴って汚泥排出量を変化させる等の自動制御も検討する必要がある。

3) 測定装置

① pHの調整

pH調整には、ガラス電極pH計による制御が多く行われているが、ガラス電極は油の付着等により誤差を生じやすい。pH調整のためには、次の点に留意して作業を行う必要がある。

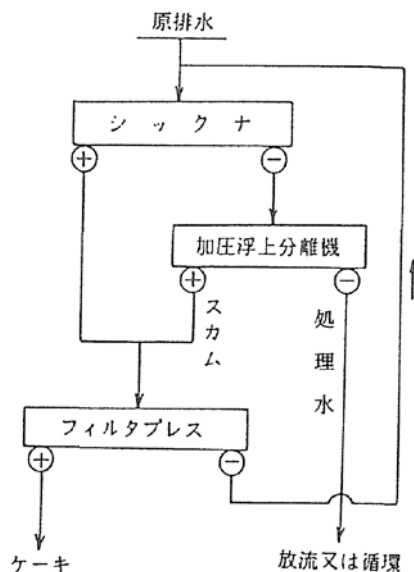


図 5.41 選炭廃水処理フローシート(例3)

- a) pH計は毎日1回校正する。
- b) 必要に応じて、週に1回程度は電極部を取り外して洗浄する。
- c) 中和用を使用する硫酸は、できれば希硫酸を使用し、コンクリート槽の侵食を防止する。
- d) pHの自動記録や自動制御の採用が好ましい。

② 酸化還元電位の調整

酸化還元処理の制御は、ORP計により酸化還元電位（ORP；Oxidation Reduction Potential）を測定して行う。排水処理においては、例えば、反応槽の出口のORP計電位をセットし、セットした電位以上の場合には酸化剤の注入を中止する等の制御が行われる。酸化還元電位はpHによって変動するので、水質の変動には注意が必要である。

第5節 測定技術

1 流量測定

河川、水路、管路などにおける流量測定は、各種の利水計画、水力機械の効率判定などの目的で、広く行われている。

(1) 容器による測定

小流量（ $<0.01\text{m}^3/\text{s}$ ）に適用する。容量既知の容器、例えば、バケツ、ドラムかん（200ℓ）およびこれを適当に切断したもので満水に10秒以上、できれば20秒以上を要する大きさのものを選ぶ。といなどで導水して落差を設け、流水が全量容器に入るように水路を絞る。満水に要する時間を測定し、数回の測定値の平均を求め、流量を算出する。

(2) せきによる測定

流量に応じて、直角三角せき（ $0.01\sim0.05\text{m}^3/\text{s}$ ）、四角せき（ $0.05\sim0.15\text{m}^3/\text{s}$ ）、全幅せき（ $0.15\text{m}^3/\text{s}$ 以上）を用い、水頭 h を測って流量 Q 測定する。

せき水路は、導入部分（ L_2 ）、整流装置部分（ L_s ）および整流部分（ L_1 ）から成る（図5.42参照）。整流装置部分では4枚ほどの多孔板を垂直に取り付け、流れを整える。水路の最下流端に支え板で支持したせき板を設ける。せき板は、黄銅、ステンレス銅等さびや腐食に強い材質で作製する。

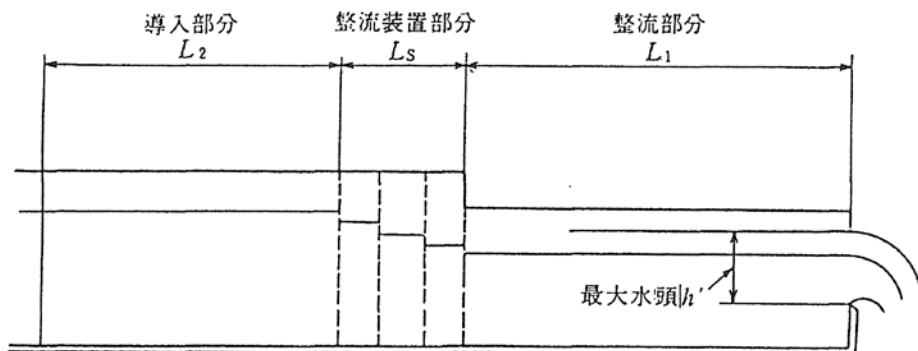


図 5.42 せきの水路

① 直角三角せき (図5.43参照)

$$Q = Kh^{\frac{5}{2}} \quad \dots\dots\dots (5.41)$$

Q : 水量 [m³/min] h : 「せき」の水頭 [m]

$$K : \text{流量係数} = 81.2 + \frac{0.24}{h} + \left(8.4 + \frac{12}{\sqrt{D}}\right) \left(\frac{h}{B} - 0.06\right)^2$$

B : 水路の幅 [m]

D : 水路の底面から切欠底点までの高さ [m]

この算式の適用範囲は次のとおりとする。

B : 0.5~1.2m D : 0.1~0.75m

h : 0.07~0.26m h : B/3 以内

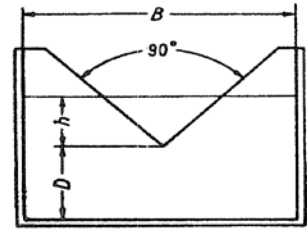


図 5.43 直角三角せき

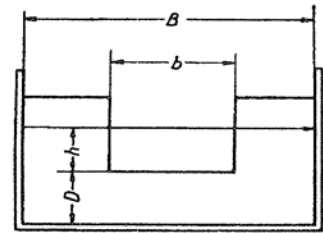


図 5.44 四角せき

② 四角せき (図5.44参照)

$$Q = Kbh^{\frac{3}{2}} \quad \dots\dots\dots (5.42)$$

Q : 水量 [m³/min] b : 切欠の幅 [m]

h : 「せき」の水頭 [m] D : 水路の底面から切欠下縁までの高さ [m]

$$K : \text{流量係数} = 107.1 + \frac{0.177}{h} + 14.2 \times \frac{h}{D} - 25.7 \sqrt{\frac{(B-b)h}{Db}} + 2.04 \sqrt{\frac{B}{D}}$$

この算式の適用範囲は次のとおりとする。

B : 0.5~6.3m b : 0.15~5m

D : 0.15~3.5m h : 0.03~0.45√b m

bD/B² : 0.06 以上

(3) 流速計による測定

河川、水路などの開水路の流量測定に適用される。流況のよい地点を選び、水流に直角な断面において適当に分割した小区間の水流の断面積（深さの測定から求める）とその区間の平均流速を乗じて区間流量を求め、その総和として流量を算出する。

流速計には、回転式、電気式、電磁式、超音波式などいろいろな形式のものがあ、水流の規模、流速などによって使い分けられる。なお、大河川ではこのような実測に基づいて水位一流量曲線が作られており、水位の測定から流量を容易に知ることができる。

(4) 流量計による測定

開水路や管路に流量計を設置し、流量を自動測定する。開水路用としては、せき式、プリューム式、流速計式などがあり、管路用としては電磁式、オリブイス式、ベンチュリ管式、フロート形面積式、超音波式、渦式、羽根車式などがある。

このうち、鉱山でよく使用されるベンチュリ計について説明する。ベンチュリ計は直径5 cm以上の送水管の流量測定器として最も好結果を得ている。本方式では、管路を流れる流量を測定するために管路を絞って、絞り前後の圧力差を計る（図5.45参照）。図のA、B2点における圧力水頭の差を h 、それぞれにおける断面積を A_1 、 A_2 とすると、

$$Q = C \frac{A_1 A_2}{\sqrt{A_1^2 - A_2^2}} \sqrt{2gh} \quad \dots\dots (5.43)$$

であり、 A_1 、 A_2 、 h を測定して流量 Q を求める。ここで、 C は定数で0.96～0.99である。

2 水質測定

(1) 吸光光度法

吸光光度法では、試料物質、その溶液、適当な試薬（発色試薬）等を加えて発色させた溶液の吸光度を測定して、試料中の目的成分の濃度を求める。通常は、光源からの連続光をモノクロメータあるいはフィルタで狭い波長範囲の光束とし、光電測光で吸光度を測定し、目的成分の濃度を求める。図5.46に示すように、強さ I_0 の単色光束が濃度 c 、長さ l の液層を通過するとき、光が吸収されて強さ I_t になったとする。このとき、ランバート・ベアの法則によって I_t と I_0 の間には次の関係が成立する。

$$I_t = I_0 \cdot 10^{-\varepsilon c l} \quad \dots\dots (5.44)$$

ここで、 ε は比例定数で、吸光率と呼ぶ。特に、 $c=1\text{mol/l}$ 、 $l=10\text{mm}$ のときの ε 値を、モル吸光係数という。 I_t と I_0 の関係とその名称を次に示す。

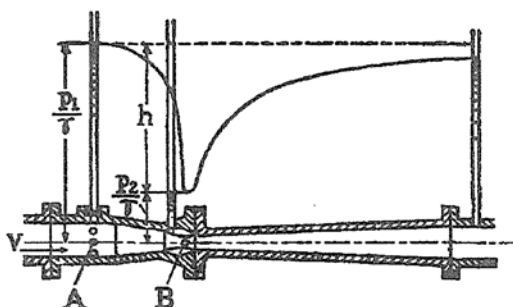


図 5.45 ベンチュリ管式流量計

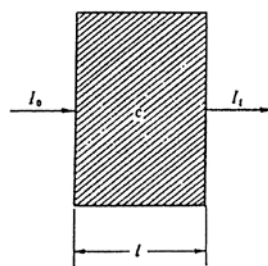


図 5.46 液層による光の吸収

$$\frac{I_t}{I_0} = t \cdots \cdots \text{透過度}, t \times 100 = T \cdots \cdots \text{透過パーセント}$$

$$\log \frac{1}{t} = E \cdots \cdots \text{吸光度}$$

ランバート・ベアの法則を吸光度で表すと、

$$E = \varepsilon cL \cdots \cdots (5.45)$$

となる。すなわち、液層の厚さが一定のとき、吸光度は濃度に比例する。既知濃度標準液の吸光度を測定し ε を求めておけば、試料溶液の吸光度を測定して定量できる。通常は、一連の異なった濃度の標準液の吸光度を測定して検量線を作成し、検量線から濃度を求めて定量する方式をとる。

(2) フレーム原子吸光法

原子吸光法では、試料を原子蒸気化し、生成した基底状態（最低のエネルギー状態）の原子が特有波長の光を吸収する現象を利用して、その波長における吸光度から試料中の元素の濃度を測定する。フレーム原子吸光法ではアセチレン—空気、アセチレン—酸化二窒素などのフレーム中に試料を噴霧して原子化する。アセチレン—空気フレームはほとんど総ての金属の分析に有効である。アセチレン—酸化二窒素フレームは高温フレームで、クロム、アルミニウムなどの分析に適する。

(3) 電気加熱原子吸光法

フレーム原子吸光法のフレームの代わりに黒鉛炉、金属炉などの電気加熱炉を用いて原子蒸気を生成させる方式である。金属元素の定量に用いられるが、フレーム原子吸光法に比べて感度が著しく高いのが特徴であるが、共存成分による影響が大きいためその懸念の少ない試料に適用する。

(4) ICP発光分析法

ICP発光（ICP-AES：ICP - Atomic Emission Spectrometry）分析法は誘導結合プラズマ（Inductively Coupled Plasma、略称 ICP）中に試料を噴霧し、励起された原子による発光の強度を測定して、試料中の成分を定量する。

気体の温度を上げていくと、電子の外殻電子が離れてイオンを生じ、やがて電子、イオン、原子、分子などが共存した弱電離プラズマが生成される（温度6,000～18,000K）。プラズマ光源部は、トーチと誘導コイルで構成される。トーチは石英ガラス製の三重管で、外側に冷却ガス、中間に補助ガス、中心にキャリアガスとしてアルゴンを流す（図5.47参照）。生成したプラズマ中に試料を噴霧し、励起された原子による発光の強度を測定する。

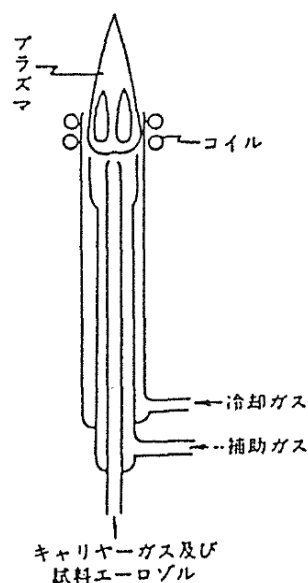


図5.47 プラズマ光源部トーチ

(5) ICP質量分析法

ICP質量 (ICP-MS: ICP-Mass Spectrometry) 分析法は前記 ICP 発光分析法の場合と同様に、試料を誘導結合プラズマ中に導入し、生成したイオンを質量分析計に導入して、元素の同定・定量を行う方法である。質量分析計を用いるので、ppt レベルの超高感度分析が可能である。

(6) ガスクロマトグラフ (GC) 法

ガスクロマトグラフ (GC : Gas Chromatography) 法は分離カラム内を気体試料または気化した試料を適当な気体 (キャリアガス) で展開させ、各成分を分離、検出、定量する方法である。

分離カラムには、従来充てんカラムが用いられたが、最近、分離特性が優れたキャピラリーカラム (毛管カラム) の利用が増えている。キャピラリーカラムは石英ガラスや硬質ガラス製の中空管 (内径 0.1~0.5mm, 長さ 5~100m) で、内面にシロキサン系ポリマーが塗布されている。

ガスクロマトグラフ重量分析 (GC/MS) 計は、ガスクロマトグラフに質量分析装置を設置した分析器である。MS 計で生じたイオンを質量分離部で分離して、定性、定量する。クロマトグラムとマススペクトルが同時に得られるため各ピーク成分の定量がきわめて容易であり、特に有機化学の分野で用いられている。

(7) イオン電極法

特定のイオンに感応するように作製されたイオン電極と、参照電極との組合せを試料中に浸すと、イオンの活量に応じた電位差が生じる。この電位を測定して、目的成分のイオン濃度を求める。シアニ化物イオン、ふっ化物イオン、アンモニウムイオンなどに対して好成績が得られている。

3 生活環境項目の測定

(1) 水素イオン濃度 (pH)

水中に存在する水素イオン mol 濃度 (正確には水素イオンの活量) の逆数の常用対数を pH という。

$$\text{pH} = -\log_{10} [\text{H}^+] \quad \dots\dots\dots (5.46)$$

一般に、pH 計にはガラス電極と参照電極を組み合わせた「ガラス電極 pH 計」を用い、溶液中に浸したときに生じる両電極間の電位差を高入力抵抗の電位差計で測定する。pH11 以上の試料で、特にアルカリ金属濃度が高い場合は、アルカリ誤差を生じることがあるので、リチウム電極を用いる。

なお、pH は液温により変化するので、測定時の試料と pH 標準液の温度はできるだけ一致させる。

pH 標準液には、しゅう酸塩 pH 標準液 (pH1.68, 25℃), フタル酸塩 pH 標準液 (pH4.01, 25℃), 中性リン酸塩 pH 標準液 (pH6.86, 25℃) など 5 種類が規定されている。

(2) 生物化学的酸素要求量 (BOD)

BOD は、水中の生物分解性の有機物が生物化学的に分解されて安定化するのに要する溶存酸素量であり、水の BOD 値が高いことは、その水が有機物によって汚染されていることを意味する。通常は、20℃ で 5 日間静置時の値、BOD₅ を用いる。

(3) 化学的酸素要求量 (COD)

CODは、試料中の被酸化性物質（還元性物質）、主に有機物によって消費される酸化剤の量を酸素量 [mg/l] として表示する。この場合、使用する酸化剤の種類や濃度、反応温度、反応時間などの酸化条件が当然、結果に大きく影響する。酸化剤には、過マンガン酸カリウムやニクロム酸カリウムがあるが、我が国では安全性が高く反応時間が短い、過マンガン酸カリウムを用いている。

(4) 浮遊物質（懸濁物質）

水中の濁りの程度を測定する方法である。まず、2mm目のふるいを通過した試料を孔径1μm、直径24～55mmのガラス繊維ろ紙で吸引ろ過し、ろ紙上の浮遊物質などを水洗する。十分に吸引脱水したろ紙を取り外し、時計皿上に移して105～110℃で2時間乾燥し、質量を測る。

$$\text{浮遊物質質量 [mg/l]} = (b-a) \times \frac{1000}{\text{試料量 [ml]}} \quad \dots\dots\dots (5.47)$$

ここで、b：乾燥後のろ紙と浮遊物質の質量 [mg]，a：ろ紙の質量 [mg]

金属元素の検定方法のまとめを、表5.30に示す。

表 5.30 金属元素の検定方法

金属元素	AAS	EAAS	ICP-AES	ICP-MS	ABS	GC
Cd	◎	◎	◎	(還付1)		
Pb	◎	◎	◎	(還付1)		
Cr(VI)	◎	◎	◎	(排付3)	◎	
As	◎ * ¹		(還付2)		◎	
Hg	(還付3) * ²					
メチルHg	(排付4) * ³					(還付4)
Cu	◎	◎	◎	(排付3)		
Zn	◎	(排付7)	◎	(排付3)		
Fe	◎	(排付7)	◎			
Mn	◎	◎	◎	(排付3)		
Cr	◎	◎	◎	(排付3)	◎	
Se	◎ * ¹		(還付2)		◎	

◎はJIS K 0102に規定されているもの

(還付)は環境基準告示付表，(排付)は排水基準告示付表

AAS：フレイム原子吸光法，EAAS：電気加熱原子吸光法，ICP-AES：ICP発光分析法

ICP-MS：ICP質量分析法，ABS：吸光光度法，GC：ガスクロマトグラフ法

*¹ 水素化合物発生， *² 冷蒸気方式， *³ 薄層クロマトグラフ分離