

第3章 排水

1 排水の意義

坑内への地下水の湧出や地表水の浸透あるいは流入をそのままに放置すると、作業の支障となる。特に、大量の湧出や流入の場合には、坑内の一部あるいは全部が水没することにもなる。従って、坑内排水の第一歩は、坑内水の源泉を明らかにして、坑内への出現を防止することである。これを坑内の防水という。坑口水準以上の水は適当な水路によって直ちに坑外に放流させ、同水準以下の水は適当な場所にバック(水溜)を設けて集水し、ポンプで必要な高さまで揚水して坑外に排出する。以上のとおり、坑内排水の課題は、防水、集水および揚水の3つに分けて考えることができる。

わが国の鉱山では、一般に、坑内の湧水量が多く、従って排水作業は生産に多大の負担となっている。多量の坑内湧水がある場合には、排水設備も大型となり、その投資と維持に多大の経費を要する。特に、洪水による坑口からの地表水浸入の恐れのある鉱山や、溜水のある旧坑、多量の高圧水を含む水脈を付近に持つ鉱山、さらには海底で作業を行なっている炭鉱では、出水による坑内水没の危険が常に存在しているため、坑内作業における排水の占める役割は極めて重要である。

2 坑内水

(1) 坑内水の根源

地表に降った雨の一部は、地下に浸透して地層中を透過流動する地下水となる。従って、地下の資源を採掘する鉱山では、この地下水を切り離して仕事を考えることはできない。坑内水の大部分がこの地下水であり、坑内構造の周辺に含水層があるときは、坑内水は多くなり、不透水性の岩石に囲まれている場合には、湧水の量は少ない。

(2) 湧水と出水

坑内水は、大きく湧水と出水とに分けられ、不透水性の岩ばんや石灰石のように空隙のある岩ばんの中に蓄えられている。

金属鉱床の母岩となる岩石は、不透水性のことが多いが、その割れ目、層理または比較的軟弱なところを通して、あるいは石炭層の場合にはその上部の砂岩など、水を透しやすい地層を通して水が湧き出してくる。これを湧水と呼ぶが、湧水は容易には止まらず、大きく水量が変化することもない。

この湧水に対し、岩ばん中の空洞の内部や、断層、水脈などにある溜り水は、これに突当たると急に流出して、しばしば重大災害となる出水災害を引き起こすことがある。このときの出水量は日時の経過につれて次第に減少するのが常である。このような、坑内水の一時的な異常増加を出水と呼び、湧水とは区別して取扱う。

湧水と出水には本質的な相違はないが、出水は、坑内の重大災害を引き起こし、人命の損傷や資源の放棄、あるいは復旧のための莫大な日時や費用の損失を招く。

(3) 坑内水の性質

多孔質の帯水性岩ばんによってろ過された地下水は、一般に有機化学的には純水であるといわれているが、実際にはいろいろの物質を溶解している。地下水に含まれる不純物の中で最も普通であり、かつ排水上有害であるものは、泥土、酸類、塩類である。

金属鉱山で主要なものは硫酸塩であり、海底炭鉱では食塩である。いずれも鉄類を腐食させるので、ポンプ、パイプなどの機械、設備の保守管理には特に関心を払う必要がある。

石炭鉱山の坑内水は中性か弱酸性のことが多いが、金属鉱山では一般的に酸性が強く、銅、亜鉛、鉛、鉄などの金属イオンや多量の硫酸塩を含むものが多い。

(4) 排水溝による排水

通洞により開坑し、その地並以上で稼行している坑内では、湧水をこの通洞に集めて坑外に流出させる。金属鉱山では通洞地並以上を稼行している鉱山も多く、これら鉱山では一般にこの方法が用いられている。この方法では、なんら機械設備も動力も必要とせず、作業も簡単である。また、この地並以下に坑内が発展した場合でも、地形の許す限り排水専用の坑道を開さくして排水することが行なわれている。この坑道は一般に長大となり、開さく費を多く要するが、排水の経費が軽減されるので、金属鉱山では広く利用されている。この種の坑道を一般に疎水坑道と呼んでいる。

湧水量の少ない場合には専用の疎水坑道を設けず、主要運搬坑道に側こうを設け、水路に勾配をつけた自然流水による排水を行うが、その勾配は、金属鉱山、石炭鉱山の別なく、運搬と流水の両面から、 $1/200 \sim 1/300$ の勾配とするのが通常である。

また、流速があまり遅すぎると、粉じんや土砂が沈殿して、水路の断面が小さくなるので、これらを流し去る最小流速 7.2m/min 以上は維持する。排水溝の容量計算は流積 $[\text{m}^2] \times \text{流速} [\text{m/s}]$ で示され、流速の算出には、次のクッターの公式がよく使われる。流送係数は径深と排水溝の種類によって決まる(表2.5参照)。

$$V = C \sqrt{R \cdot S} \quad \dots\dots\dots (2.9)$$

V = 平均流速 m/sec

C = 流速係数

R = 径 深 m

S = 水面こう配 ($= \tan \theta$, θ ……こう配角)

表 2.5 クッターの公式流速係数 (C)

径 深	コンクリート	岩石そのままの
0.05	36	30
0.10	42	34
0.15	44	36
0.20	47	37
0.25	50	39

径深とは、水流に直角な断面において、流れの断面積を水に接触する水路壁全長で割ったものである。

例えば、図2.32の場合では次式となる。

$$R = \frac{a \times b}{a + 2b} \quad \cdots \cdots (2.10)$$

自然流下法だけで排水を処理することは、実際は極めて稀で、ほとんどの鉱山では、水準以下の採掘に伴って生ずる湧水を、ポンプによる機械的動力で揚水排出する。

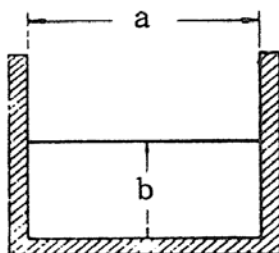


図 2.32 排水溝断面(例)

第4章 坑内火災

坑内火災は、一般火災と異なり、一度発生すると坑道が煙突の役割を果たし、よく燃焼伝播する。また、消火作業も一般火災のように周囲から消火作業に当ることができず、風上側の坑道からしか消火できないといった特異性を持っている。

坑内火災は、潜伏火災と露出火災に大別される。潜伏火災は自然発火をいい、露出火災は坑内の坑道、採炭および掘進箇所等の現場空間で可燃物が燃焼し、くすぶり・火源や炎が認められる火災をいう。以下露出火災について述べる。

1 火災の災害要因

過去25年間の坑内火災を要因別に分類すると、表2.6の結果となる。また、要因と発生原因について示すと、表2.7となる。

表 2.6 坑内火災を要因別分類
(昭和 39 年～昭和 61 年：石炭鉱山のみ)

件 数	要 因 別	電 気		機 器			ボ ー リ ン グ	熔 断 器	発 破	V ベ ル ト	不 明	計
		ケ ー ブ ル	ト ロ リ ー 線	ベ ル ト コ ン ベ ヤ ー	流 体 接 手	コ ン プ レ ッ サ						
発生件数		7	1	7	2	1	3	2	2	1	5	31
%		22.6	3.2	22.6	6.5	3.2	9.6	6.5	6.5	3.2	16.1	100

坑内火災の原因の推移を見ると電気器具による火花が多かったようであるが、近年の電気器具の品質や器具そのものの発達により減少傾向にある。例えば変圧器などは過去においては油入りの湿式のものであったが現在はすべて乾式となっている。また、圧縮機はかつては坑内コンプレッサーが活躍していたが、昭和36年坑内コンプレッサーによる坑内火災が続いて2件も起り、各々死亡者71名と23名という大災害となった。それ以来坑内コンプレッサーは坑内に設置しないようになった。

表2.6に見るようにコンベヤベルト、ケーブルによる火災が多い。次いでボーリング孔内での火災である。これは近年先進ボーリング、ガス抜ボーリングが増加したため、その頻度も多くなったものと考えられる。

ケーブル類の火災原因は局部扇風機やモータの過負荷或は落石等によるケーブル損傷等のためのケ

ケーブルの局部的な過熱による。

ベルトコンベヤー災害はいずれもベルトスリップによる摩擦過熱の発火である。ベルトは難燃性を使用し、ベルトコンベヤー専用坑道では消火栓の配備並びに煙感知器を取り付けている。

表 2.7 坑内火災の要因と発生原因

	原 因	現 象	場 所
① ケー ブル 類	不 明 " 過負荷（絶縁劣化） 岩石によるケーブルの損傷 接続部浸水，短絡 不 明 過熱（原因不明）	配線途中で燃焼 " ケーブルのループ状の所より発火 損傷部加熱発火 短絡発熱 発 火 発 火	コンプレッサー近傍 局部扇風機配線 モータ用配線 " 動力配線 局部扇風機配線
② コン ベ ア ベ ル ト	岩石がリタンローラに挟まる 不 明 石炭の過供給 不明（スリップ？） テールプーリが研（岩石磨石）にうまる 不 明	ベルトスリップによる発熱 発火燃焼 テールプーリとベルトのスリップ ベルトスリップによる発火 スリップ発火 スラスタブレーキより発火	タンデムプーリの接続部 原動機付近 テールプーリ原動機付近 プーリ付近 原動機付近
③ ボー リ ン グ	ピット或はロッドと孔壁との摩擦 " "	摩擦熱による石炭への着火 孔口元より煙 " 黒煙	先進ボーリング ガス抜孔 ガス抜孔
④ 溶 断 器	溶断中の炎 溶断の飛散火花	炎が支保枠石炭に類焼 6時間後に煙を見る	坑 道 "

2 坑内火災の火源

火災やガス爆発を起こす発火源には次の5つの種類がある。

- a) 高温の固体
- b) 断熱圧縮
- c) 衝撃・摩擦火花
- d) 高温ガス
- e) 電気火花

衝撃・摩擦火花とは、高温の固体と摩擦などで加熱された物体（例えば、電熱器の裸火や溶接・溶断のときに飛び散る火花）である。高温ガスとは、ガスバーナーの裸火やエンジンの排気ガス等をいう。

電気火花や摩擦火花はメタンガスや炭じん爆発への火源となりうるが、坑内火災の直接の火源とはなりにくい。坑内火災の具体的な火源となるものには、裸火および溶接・溶断，発破，機器の過熱お

よび摩擦、電気機器およびその火花、静電気火花がある。これらのほかに、自然発火やガス炭じん爆発からの二次災害等が挙げられる。

① 裸火および溶接・溶断

最近では、裸火による出火はほとんどないが、かつて照明用にアセチレン灯を使用していた頃は坑木やカンバスなどの燃えやすいものに引火して火災になった例がある。また、かつては喫煙が許されていた坑内でタバコ、マッチによる出火の例も少なくない。

溶接中の火花や、跡始末の悪さから火災になった例もある。溶接では、十分な消火設備を準備してから作業を行ない、作業終了後は、十分な散水を行なって火源を完全に無くすことが肝要である。溶接終了後数時間もたってから煙を発見した事例もあるから、特に注意を要する。

② 機器の過熱および摩擦

空気圧縮機、特に往復動型は過熱しやすい。冷却系統の不良、給油の不良(油の種類の不適、油量の過少、過多)、各種弁の作動不良などで過熱して、空気圧縮機の吐出弁およびその付近に沈積附着している炭化物(潤滑油の分解および炭化によって生ずる)が発火し、火災になる。

空気圧縮機の外部に引火しないまでも、管内の燃焼のために発生した一酸化炭素が、空気管を通して作業現場に至り、作業員を中毒させた事例もある。空気圧縮機の点検手入れ、内部スケールの定期的な除去、適正油の適量注油が肝要である。

ベルトコンベヤーや動力伝達用ベルトがスリップし、プーリとの摩擦によって発火したり、プーリやアイドルプーリとベルトの間に木片、石炭などがはさまり、摩擦熱によって木片、石炭あるいはベルトが発火することがある。また、ローラの軸受けが摩耗して摩擦が大となり、その熱によって付近の炭じんその他の可燃物に着火することもある。

3 坑内火災の防止

坑内火災を防止するには、まず不燃化や防火性或は難燃化を図り、防火・耐火構造とすることである。何らかの原因で発火現象が起きても、その周辺のものが燃焼しなければ火災事故とならない。また、炭鉱坑内の可燃物には、石炭以外にも坑木をはじめコンベアベルト、風管、ケーブル、シートその他のプラスチック類の器材があり、各国ともこれら可燃性物質の難燃化に努めている。

4 坑内火災の消火

(1) 坑内火災の特徴と消火対策

消火対策は、一般的には初期消火のための消火対策と拡大した火災の消火、すなわち消防の2つに大別される。しかし坑内においてはこの消防作業が著しく困難となる。

坑内では、坑内構造および坑内通気の機構から、風上のしかも狭い坑道内からしか消火作業が行えない。火災の状況によっては、煙および有害ガスは入気側の相当な距離まで逆流するから、風上側であつても有害ガスの観測を十分行なった後でなければ進入は危険である。このことは、消火作業に従

事する人員、水ホースなどの放水口の数に極端に制限されることを意味する。従って、火災がある程度以上拡大した場合は、直接消火が困難になり、幸い成功したとしても非常に時間が掛かる。

一方、火災自体の燃え広がり方は、坑道に沿って逐次延焼していくのが普通であり、飛び火などの恐れは少ないから消火作業は火災の燃え盛る地点に集中することができる。一般に、坑内火災は先ず風下側に延焼拡大するが、酸素が不足するに従って風上側に燃えて行くものである。消火用水源としては、撒水管、排水管などの配管にたよる外ない。管の直径、ポンプの能力などから水量、水压とも制約されるし、平常坑内水の少ない所では、水源の水量自体にも限度がある。

平素から、非常時の消火用水の給水について、例えば圧気管の転用、主排水から分岐させる非常用取り出し口の設置、火災現場に集中給水ができるよう散水管系統のバルブ配置など、水源確保の手段を講じておくことが重要である。

(2) 消火器

初期消火に対しては一般火災と同様可搬式の消火器と消火用水が最も有効である。これらは坑内どこでも手早く、誰でも使用できる状態にしておくことが望ましい。特に、ベルトコンベヤー専用坑道やテプラー室、電気設備等火災になりやすい所は密に設置するよう努める。

消火器の性能、すなわちその放出時間、射程距離や適応火災を十分に知る必要がある。消火剤は、木材、紙などの火災、液などの火災および電気設備などの火災と3種類に分類し、それに有効な消火器を使用する。炭鉱では消火器とともに、乾燥砂または岩粉を風上側に設けることが規定されている。

(3) 消火設備

消火設備としては消火栓、水噴霧およびスプリンクラーなどがある。消火栓は水の取り出し口と消火用ホース、ノズル等を備えたものであり、措置事例第6章2(4)に放水圧力は0.15MPa以上で、かつ、放水量は300ℓ/分以上の性能のものとして規定されている。

ベルトコンベヤー専用坑道においては、これを200m以内ごとに設備することになっている。

水噴霧やスプリンクラーは、坑内電気設備室や巻線室等においては火災感知器と連動で作動する。

アメリカでは移動用タンク車(水容量3,800ℓ、ノズル付ホース300ft)あるいは可搬式化学車(水タンク車相当の消火能力をもった消火剤を搭載する可搬式高発泡機(114ℓ/分 35分間発泡)等)について、坑内での設置場所とその容量に関して規定している。また、ドイツの採炭坑道では、50m間隔、ベルト専用坑道や斜坑では25m間隔で消火栓を設置するよう規定している。

(4) 消火方法

1) 直接消火

火災の初期においては、ガス爆発の恐れがなければ、適当な消火器、砂、岩粉などを使って消火する直接消火が有効である。消防ホースなどを使った水による直接消火も一般火災に対しては極めて有効であるが、B級、C級火災に対しては危険な場合があるから十分注意しなければならない。

直接消火は火災発生個所の周辺に居る者がとっさに消火に当るのであるから、消火器、砂、消火栓、消防ホースなどの配置および使用方法を、平素から周知徹底しておくことが必要である。この平素の

準備，教育の良否が，直接消火作業に着手する早さに大きく影響し，従って，直接消火の成否を決定する要因となる。

直接消火作業の際，係員としては，煙，有毒ガスおよび通気の点に留意し，可能な場合には通気変更(方向および風量)を工夫し，直接消火の作業がしやすく効果があがるように努めるべきであるが，この場合，消火作業のことだけを考えて軽々しく行くと，不測の影響を他の方面に及ぼすことが少なくないから，坑内全般の状況を十分検討してから実施に移すことが大切である。

また，直接消火の作業中に状態が悪化して消火不能となり，密閉など別の方法に切替えなければならない場合がしばしば起る。そのために密閉の時期を失することがないように，直接消火作業と併行して密閉の準備をし，もし直接消火に失敗したら直ちに密閉が行えるようにしておかねばならない。この直接消火法の代表的なものは水であるが，消火剤や高発泡による消火がある。

泡沫流送による発泡消火は，当初坑内火災消火として導入されたが，一般火災での消火，すなわち，消防用として実用化されている(図2.30参照)。

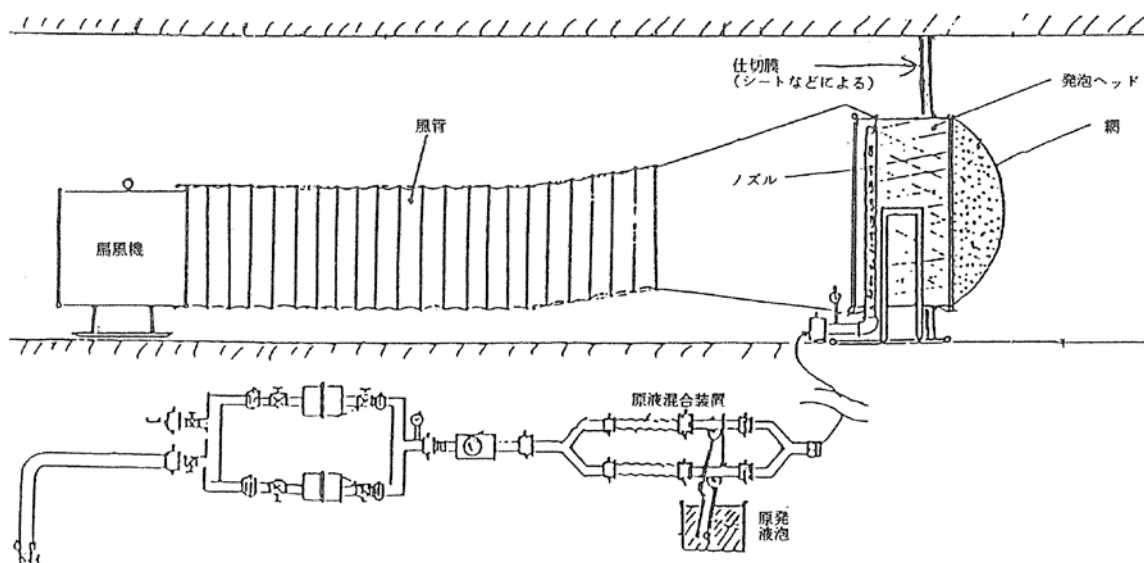


図 2.30 高発泡消火機全体図

2) 間接消火

① 密 閉

直接消火による消火が困難な場合，直接消火に失敗した場合などは，密閉によって消火する。火災現場に通じるすべての坑道に気密のダムを構築し，火災区域への空気の供給を断ち，内部の酸素量を減少させて窒息消火させる。

② 水 没

密閉設備で，消火が不可能な場合の非常手段である。一般に火災区域だけを水没させることは難しく，広範囲にわたって水没させる。水没箇所は損傷が甚だしく，復旧には多大の労力と経費

を要する。場合によっては、放棄のやむなきに至るから、最後の手段と考えるべきである。

(5) 退 避

坑内では、火災や爆発が起ると直ちに坑内の情報を収集し、坑内で作業している人々を危険地区から脱出させるために誘導し、人命を救助するよう最大の努力を払わなければならない。このためには坑内の情報をいかに迅速かつ正確に収集するか、個々人がガス、煙中をいかにすれば脱出することができるか、何処へ退避するか、またこれら坑内作業の人々をいかに誘導すべきかを常日頃考え、訓練を行う。さらに、個々の人の保護具はどうあるべきか等を考慮しなければならない。退避訓練は坑内火災のシミュレーションを基礎として行われることが望ましい。

緊急脱出用のCO自己救命器は、酸欠等の雰囲気では効果がないため、COマスクに替わる酸素発生式自己救命器が開発されつつある。自己救命器の開発とともに、アメリカでは自己救命器、緊急避難室および退避所(ろう居する場所)を一つのシステムとして捉えた研究が行なわれている。