

【解 説】

鉱山における廃滓かん止堤について

坂 口 麗 紀 ・ 夫*

まえがき 非鉄金属鉱山においては、一般に母岩中に含まれる鉱石の品位は 10% 以下なので、探掘された岩石の 90% 以上は廃滓となる。この処理がなかなか厄介な問題であつて、ことにその廃滓は、近來選鉱技術の進歩にともない、浮遊選鉱の尾鉱が大部分で、粒度も No. 200 (タイラーふるい) 内外の微粒のものを 1 日数百トンあるいは数千トンも捨てる“ため場”すなわち“堆積場”が必要となつてくる。この堆積場を流失崩壊せしめないように設けるえん堤が、いわゆる“かん止堤”と称せられるものである。

堆積場はこのように鉱山とは不可欠の関係にあるので、各鉱山とも従来から相当に関心を払つていたわけであるが、この監督機関としては中央に通産省鉱山保安局があり、地方には各通産局に保安監督部が設けられている。またその設計、計画に当つては、同局制定の建設基準があつて、高さ 15 m 以上のものは、すべてこれによつて計画することになつてゐる。日常の管理についてもそれぞれ保安規則によつて規制され、流失、崩壊などの事故の防止につとめてゐる。

以下順を追つて、かん止堤およびその付帯設備について述べる。

1. かん止堤の特質

上述のごとく、かん止堤は、鉱山の操業上重要な施設の一つであつて、一般にその構造は、山間の谷間に溪流を横断して、廃滓のうちの粗粒のもので、えん堤を築造し、細粒のものをその背後に堆積せしめる方法が用いられている。

鉱石の選鉱には通常粗鉱の 4~5 倍の水を使用するのが普通なので、廃滓は過量の水分で飽和されており、この流動性を利用して、ポンプ輸送を行いうる利点もあるが、さて堆積された廃滓については、なるべく早く脱水固化されて、流動性のない安定した状態になることが望ましい。このためには水抜暗きょ、盲溝などの適当な脱水の施設を設ける必要がある。

かん止堤が一般の貯水えん堤と異なるおもなところを列記すれば

(1) 堤体は濁水の浸出しな範囲で、なるべく透水性であることが望ましい。

(2) えん堤の安全性から、沢水、山腹水などの堆積場外の水が場内に流入しないことが望ましい。

(3) コンクリートかん止堤の場合を除いて、堤体と堆積物とは一体をなしているのが普通で、安定計算はこれを考慮して行わなければならない。

以上のように貯水えん堤の場合といちじるしく異なる性質を有するので、その計画、設計に際して採用する外力には、慎重な注意が必要である。しかも堆積物の性質については、現在なお多くの不明の点を残している状態で、今後の研究にまつところが多い。

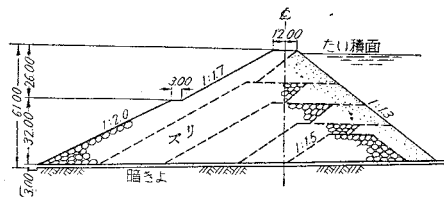
2. かん止堤の種類

堆積場のかん止堤の築堤材料は、通常廃滓のうちの粗粒のものを使用する機会が多い。また手選を行う場合は、廃石(これをズリと称している)を生ずるので、これを築堤材料に使用することもある。

築堤材料によつて分類すると、

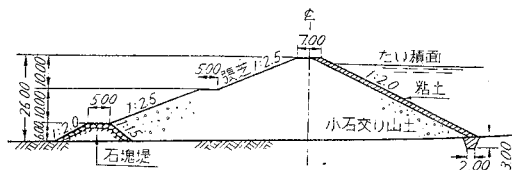
(1) 石塊かん止堤：堤体の大部分が石塊またはズリからなつてゐるもの(図-1)。

図-1 石塊かん止堤



(2) 土かん止堤：金山の青化製錬の場合などは、廃滓の粒度が細かく、築堤材料として使用する粗粒のものが少ないので、このような場合は、付近の山土を堤体として用いる。このように堤体が大部分土で構成されているものをいう(図-2)。

図-2 土かん止堤



(3) 砂かん止堤：廃滓中の粗粒のもので構築されたもの(図-3)。

(4) コンクリートかん止堤：これは(2)の場合と同じような条件の場合、あるいは操業上の理由などから、まれに設けられる場合がある。堤体がコンクリートで構成されているので、堆積物の脱水を特にかはることを要

* 正員 三井金属鉱業KK 施設部土建課長代理

図-3 砂かん止堤

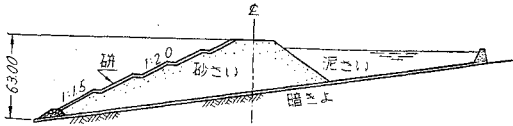
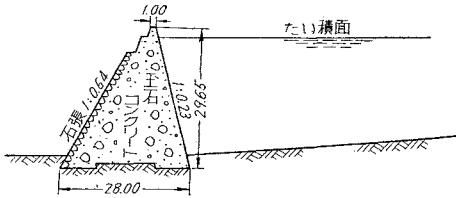


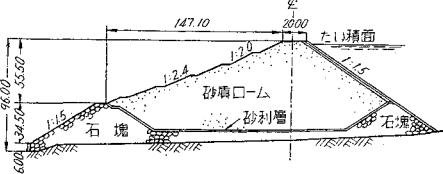
図-4 コンクリートかん止堤



しない。重力式のもが一般に用いられる(図-4)。

(5) 混成かん止堤：以上のものの混成されたものが一体となつて、かん止堤となつていゝもので、たとえば石塊堤との混成などの例が多い(図-5)。

図-5 混成かん止堤



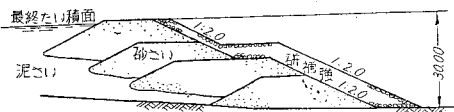
3. 築堤および堆積の方法

かん止堤の築堤は、通常堆積物の上昇と平行して進行せしめる。1カ所の堆積場の寿命は、鉱山の規模によって異なり、数年から数十年におよぶ場合がある。

築堤を廃滓の扱ひ方によつて分類すると、

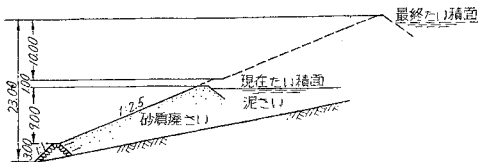
(1) 分離堆積：廃滓のうちの粗粒のものと細粒のものを機械的に分離して、築堤および堆積を行う。この一例を 図-6 に示す。

図-6 かさ上げ堆積法(分離堆積)



(2) 混合堆積：廃滓を機械的に分離せず、堆積場に放流の際に、自然に分離せしめ、粗粒のもので築堤をなしつつ積上げていく方法で 図-7 に示す。

図-7 積上げ堆積法(混合堆積)



(3) ケーク堆積：廃滓をあらかじめ機械的に脱水

し、ある程度固形体として堆積するもので、この場合はあらかじめ築堤をしておく。

近来廃滓の輸送、分級などの技術が急速に発達し、圧力ポンプによる流送、湿式サイクロンによる分級など、鉱山の日常操業も非常に能率化されてきている。これらの一例を 表-1 および 図-8,9 に示す。

表-1 廃滓流送ポンプ仕様(実例)

ポンプ	運転データ
口径 127 mm	実際流量 90 m ³ /h
筒径衝程 171×335 mm	実揚程 330 m
筒数 2	液比重 1.2~1.3
回転数 55 rpm	圧力計読み 48~53 kg/cm ²
容量 104 m ³ /h	所要馬力 測定 210 HP
全揚程 600 m	
電動機	流送液
馬力 250 HP	固体の比重 3.1
回転数 580 rpm	液濃度(重量%) 30~35
電圧 3300 V	”(容積%) 14~17
サイクル 60	液比重 1.2~1.3

図-8 湿式サイクロンによる廃滓処理

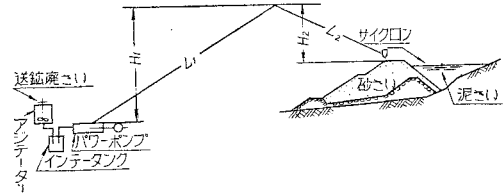


図-9 湿式サイクロン概要図

分級用湿式サイクロン			
溢流(泥)	円筒部内径	D	8"
	円筒部高さ	H	9"
	円錐部頂角	θ	15°
	給入口寸法	幅×高	1"×3"
	アンダーフローノズル径	d_u	3"
	オーバーフローファインダー径	d_o	3"
	”挿入深さ	L	6"
給餌	材質	円筒部	ガス管
		オーバーフローファインダー	”
		その他	6mm 鉄板

表-2 にかん止堤の種類別の規模を示す。

4. かん止堤の付帯構造物

廃滓の堆積場では、堆積物になるべく早く脱水固化的ことが望ましい。このためには、沢水、山腹水などが堆積場内に流入することを極力防止するようつとめなければならない。この目的のために設置する構造物として、沢水排水路、山腹水路、堆積場の上澄水抜暗キョ、非常排水路などがある。

(1) 沢水排水路：一般に堆積場を設けるカ所は、流域面積 1 km² 以内の小さな山間の谷間が多く、この沢水を場内に流入させないように、溪流を切りかえて排除

表—2 かん止堤の種類別高さ一覧表

高さ (m)		0~5	5~10	10~15	15~20	20~30	30~50	50~70	70~100	100~	計
かん止堤の種類別	石塊	3	15	6	4	5	3	2	1		39
	砂	1	5	1	1	3	2	3	4	1	21
	土	58	41	20	9	7	3				138
	混成	2	1	4	2	5	3	2	2		21
	コンクリート	7	9	7	2						25
	石積	28	21	11	5	8					73
	その他	22		2			2				26
	計	121	92	51	23	28	13	7	7	1	343

する。沢水排水路はトンネルとなる場合が多い。トンネルの断面は馬蹄形が普通で、断面の大きさは流量によって異なるが、内部をときどき検査する必要があるため、その最小断面はおのづから決められる。水路の勾配は一般に急で 1/10~1/20 くらいである。内部はコンクリート巻立てを行うのが普通で、計画流量は 50 年期待雨量以上としている。

(2) 山腹水路：堆積場の両側部分の山腹水を集めて、排水する目的で設けられる。その構造は一般に矩形開きで、コンクリート造または鉄筋コンクリート造とする。流量は 50 年期待雨量としているが、断面をあまり大きくすることは、山はだを荒し豪雨の際、かえって山崩れを誘発して水路の埋没、流水の越流、ひいては水路の欠壊をきたすもとなるので、山腹水路を小さなものとして、その越流を非常排水路などに導いて排水する方が有利な場合もある。

(3) 上澄水抜暗き：堆積場の上面に溜つた水を排除する目的のもので、なるべく上澄の水を排出するように、かん止堤側から放流した濁水中の浮遊物を沈殿せしめるため、堆積場の上端に近く設けている。この排水路の能力は、主として選鉱に使用する水と、降雨の際、場内に溜る水を排除できればよい。一般に堆積場内を縦断してその深部に設ける。構造的に外力関係もお不明の点もあり、あまり大きな断面とすることは望ましくない。円形、馬蹄形、矩形などで鉄筋コンクリート造が普通である。

(4) 非常排水路：堆積場の場外水排除施設としては以上の沢水排水路、山腹水路であるが、豪雨の際に、これらが故障を起すと、その被害はおそるべき結果となるので、さらに非常の場合を考慮して、排水路を設けなければならない。この非常排水路は 100 年期待雨量で計画する。

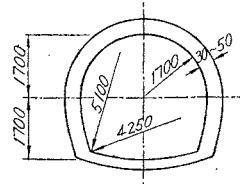
一般の貯水池のアースダム、ロックフィルダム等では余水吐は 200 年こう水量をとつており、このかん止堤の流量が、いくぶん小さい感じがするが、腐滓のえん堤においては、背後に堆積する泥滓も次第に脱水固化され、えん堤と一体となつて働らくこととなるので、堤体の安全率としては、貯水ダムの場合より、いくぶん小さくと

つてもさしつかえないものと考えられる。

以上がかん止堤の付帯構造物であるがこれらの一例を図-10, 11 に示す。このほか、えん堤の法面保護としては次のものがある。

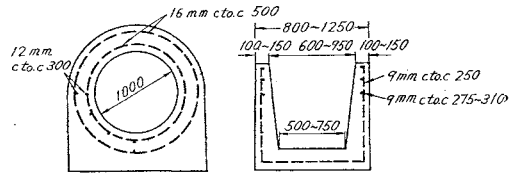
(5) 法面保護：土えん堤においては芝付け、

図-10 堆積物付帯構造物の一例



切替水路の一例
勾配 1/20
延長 1782 m
最大流量 120 t/s

図-11 同上



(a) 上澄水抜暗き
延長 1227 m
勾配 1/5~1/25
流量 5 t/sec

(b) 山腹水路
左岸延長 3245 m
右岸延長 3142 m
勾配 1/200 (主要部)

砂えん堤の場合は客土被覆、石張りなどが用いられる。この場合の石材は選鉱の廃石すなわちズリが多く用いられ、厚さは 50 cm 内外である。

5. 腐滓の性質

腐滓の化学的性質は母岩の性質によって異なるが、比重、粒度などの物理的性質は各鉱山ともあまり大差はない。次に二、三の鉱山における腐滓のこれらの性質をかかげる。

表-3 腐滓の化学的性質の一例
pH 値 8.6 (Zn 腐滓)

(組成)							
Pb	Zn	Fe	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	MnO
0.03	0.12	9.9	15.8	48.7	6.1	1.6	1.24

6. かん止堤設計上の要件

かん止堤は一般に、腐滓中の粗粒の砂滓をもつて築堤を行い、その背後に堆積する泥滓の流出を防止せしめるものであるが、手選を行うところでは、その廃石で石塊堤を築堤し、その裏に砂滓、泥滓を堆積する場合もある(図-5 参照)。

表—4 廃滓の粒度分布の一例

ふるい番号 (mm)	+48	+65	+100	+150	+200	+325	+29 μ	+22 μ	+17 μ	+10 μ	-10 μ	計
鉱山名	0.295	0.208	0.147	0.104	0.074	0.044	0.029	0.022	0.017	0.010		
A	6.6	13.4	15.3	16.0	8.4	19.8	0.24	1.08	3.43	3.85	11.90	100
B	8.3	12.7	15.6	16.5	4.9	22.2	〃	4.67	3.78	4.14	7.21	100
C	0.6	1.9	4.7	12.3	9.2	37.5	〃	1.84	9.21	11.03	11.72	100

註：ふるいはタイラー標準ふるい A：銅， B：鉛， 亜鉛， C：金

かん止堤は豪雨，地震などの場合でも安全でなければならぬことは，いうまでもない。このために，かん止堤は種類に応じ，その法勾配，築堤の方法などが定められている。

また，廃滓のかん止堤では，築堤と堆積とが平行して進んでゆく場合が多いので，堤体の安定計算は完成後のみでなく，築堤の途中における場合も考慮しなければならない。次に堤内の浸潤線はなるべく下方にあることが望ましく，このために堤内適当カ所に盲溝などを設けて極力浸潤線の下降をはかることにつとめている。

なお堤内浸潤線については以下に記す。

7. 堤内の浸潤線

貯水えん堤の場合，堤内の浸潤線の形状は堤体を構成する土粒子が比較的均一なので，計算によつて算出すれば大差はないが，かん止堤の場合は，築堤材料および堆積物の粒子の不均一，堆積方法の影響などで，浸潤線の形状も複雑となつてくる。

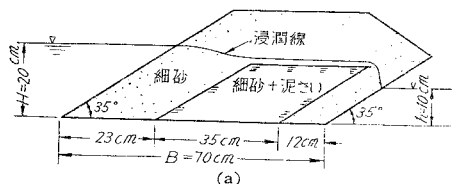
堤体の安全をはかるために浸潤線の下降を目的とした工法について，図—8 に示すように堤内に石塊堤を設け，浸透水を盲溝で下流に導く方法が用いられている。この場合，石塊堤と堤体土粒子との間の粒度関係が適当でないとき，浸透水による貫孔作用を生ずるおそれがある。

かん止堤では堆積物の上昇につれて，堤頂の上昇と堤幅の増大をはかるので，堆積の初期に堤体がまだ十分な断面を有しない場合の危険が多い。

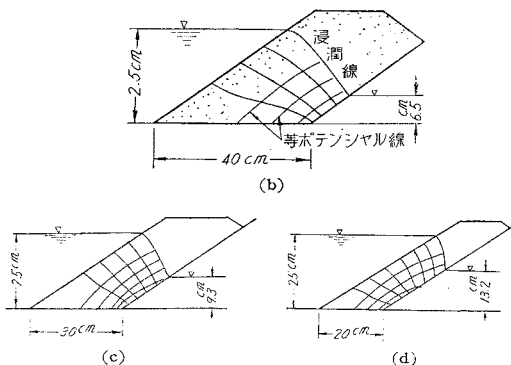
このような事故を防止するために，石塊と砂滓との間に適当なる過層を設けなければならない。この過層は泥滓の流失を防止するとともに，透水性であることを要する。

堤内の浸潤線の形状については，模型実験によつたものを次の図—12 に示す。

図—12 浸潤線の形状



図—12



	B cm	H cm	h cm	q cc/sec/cm
(a)	70	20	10.0	0.0044
(b)	40	25	6.5	0.0120
(c)	30	25	9.3	0.0165
(d)	20	25	13.2	0.0265

8. 各種の測定調査

かん止堤を合理的に建設し，安全な管理を行うためには，各種の調査測定が必要なことは土えん堤の場合と同様である。また堆積場全般の内部土質の構成はその安定度を検討する上に，きわめて重要な要素であつて，この調査も重要な項目である。

戦前においては，昭和 11 年尾去沢鉱山における，かん止堤の欠陥が契機となり，その後主として試験井の掘削によつて堆積物の内部試料を採取し，土の内部摩擦角，粘着力の測定が行われた。かん止堤の崩壊が主としてその土質の内部摩擦角と粘着力の関連において，崩壊面を形成して滑り出すことは土質力学的に一応説明されており，その方面に関する研究が行われたことは，当然の帰結であると考えられる。

しかるに当時の方法では，採取された試料は乱された試料であり，実際に堆積された状態で試料を採ることは不可能であつた。その後，堆積場建設に当り，あらかじめ鉄筋コンクリート造の井戸状の試料採取塔を立て，泥面の上昇とともに次第に継ぎ足してゆき，任意のときに任意の深さから土の試料を採取しようとする試みがなされた。しかしこの試料採取塔から実際に試料を採取した結果は，採取塔周辺が他の普通のカ所と圧密の状態が異な

つていることがわかり、この方法もよい結果は得られなかつた。

しかし、このような調査も戦争の激化と戦後の混乱のため支障をきたし、各鉱山の堆積物も荒廃にまかされる状態となつた。しかるに敗戦による国土の狭あい化と国内資源開発の要請とは、堆積場の取得難とからんで、戦前をはるかに越える、大規模なかん止堤の建設を必要とすることとなり、たまたま急速に発達した新しい土質力学が、わが国においても実用化されるに至り、これがかん止堤および堆積場への応用も近來さかんになつてきた。現在利用されている試験方法は JIS によるものほか次のようなものである。

(1) 貫入試験：主としてかん止堤の締め具合、セソ断強度を測定する。

(2) ベーンテスト：泥滓沈殿池のセソ断強度を測定するのに利用する。

(3) 現場透水試験：かん止堤および堆積場の透水係数を求めるには、従来実験室内で試料により求めていたが、注水式による現場透水試験が比較的操作も容易で、その測定結果も相当信頼できるので、この方法は今後各所に利用されると思われる。

(4) 土圧計による地圧測定：かん止堤および堆積場の下には多くの場合上澄水抜暗キョが通つている。これに加わる土圧を実際に測定しようとする試みが最近各所で行われている。ただ築堤の期間が相当長期にわたるため、土圧計も耐久力のあるものでなければならぬ。従来のものはこの点で使用が困難であつたが最近の改良型では 10 年以上の使用にたえるものもあるようで、現在

はまだ実験の程度であり、設置カ所によつて測定結果も同一でないが、将来設置カ所も増え、長期の測定の結果がまとまれば、ある程度の総合的結論が得られるものと考えられる。

9. 結 び

以上鉱山における廃滓のかん止堤ならびに堆積場の概要について述べた次第であるが、堆積場の使用期間は十数年から数十年におよぶものもあつて、この間に堆積物がいかに変化するものか、現在なお不明な点も多くあり、今後の研究にまつところが多い。

またかん止堤の欠壊事故も、管理を十分に行つているにもかかわらず、ときとして生ずる場合があつて、これらはまた経済上の問題もあつて、根本的な解決はなかなか容易でないと思われる。

しかしながら、最近の土質工学の発達にともない、順次現在の不明な点も解明され、より合理的な計画がなされることが期待される。

なお、廃滓を坑内に充填することについても従来から研究され、現在すでに実施している所もある。ただ充填は現在のところ砂滓に限られるので、今後この方法が進むとしても、泥滓の処理の問題は依然として残されるものと考えられる。また砂滓を充填した場合、築堤材料をいかにするかなど、なお今後の研究問題も多い。

本文は一般土木関係者にはいくぶん縁の薄い問題であると思われるが、かくのごときところにも土木技術が活用されていることを御紹介するため、稿を草し解説した次第である。

書 評

応用水理学 中巻 I, II. 石原藤次郎・本間 仁編 丸善 刊

既刊応用水理学上巻(一般水理学)の続編として刊行されたもので、既刊の基礎的事項を用いて水理学に関連した土木工学の諸問題について記述されている。すなわち 1) 水による土砂の浸食、輸送、堆積(岩垣雄一、足立昭平、石原藤次郎、田中 茂、樫木 享)、2) せきと水門(岩崎敏夫、本間 仁)、3) 水衝作用とサージタンク(林 泰造)、4) 水力機械(藤本武助)以上が I に収録され、5) 河川と地下水の問題(吉川秀夫、赤井浩一、速水頌一郎)、6) 上下水道の問題(合田 健、石原藤次郎)、7) 道路、飛行場の問題(石原安雄、石原藤次郎、植下 協)、8) ダ

ムその他の問題(坂本龍雄、岩佐義朗)、9) 海岸と港湾の問題(田中清、室田 明)以上 5 つの項目は II に収録されている。

執筆者はそれぞれの分野における権威で、在来の内外で行われた研究や調査の業績を多く取り入れ、諸問題を解説している。自然現象は非常に複雑であるから、それらに直面したとき現象の本質を理解することが大切で、さらに実際問題を、いかに合理的に取扱うべきであるかということがらを解説しようとするのが応用水理学であると思う。その観点から本書をながめたとき各章の足並みがそろわなかつたと思われる点

がお生まれ、また「理論的展開が不十分であつてさらに検討すべきところも少なくない……」と序文に述べられているように不備の点が見受けられるが、戦後 10 年間のめざましく進歩した水理学の分野を實際面に適用しようとする技術的立場から見ると、それらの要望にこたえうるものと思うとともに、このような水準の高い本が刊行されたことは土木工学に貢献するところ大なるものと思う。なお水工技術者並びに大学院学生には好ましい本である。

編者：石原(京大教授・工博)

本間(東大教授・工博)

I：B 5 版、288 ページ、

定価 700 円、昭 33.1.15.発行

II：B 5 版、328 ページ、

定価 850 円、昭 33.4.1.発行