宮田又鉦山の廃さい処理について

正会員 縄 田 守 彦*

正会員 疋 田 秀 穂**

Tailing Disposal at Miyatamata Mine

Morihiro NAWATA and Hideho HIKITA

The method of tailing disposal at Miyatamata Mine is a so-called "pile up" method. Pulp from the mill plant, 19% solid, -200mesh 50%, flows by gravity in ditches which have been built on the preceding pile up sand terraces, and are paralld with the base dam. Deslimed sand in the ditches is shoveled up into border crests. When the ditches become shallow, the outside of border crest is conditioned in 14° slope forming dam face.

Advantages of this method are as follows:

- 1) Low cost of construction of base dam.
- 2) Easy selection of dam situation.
- 3) Natural sizing of slime in ditches.
- 4) Sufficient inspection and good control of dam by laborers.

1. 緒 言

鉦山における鉦さいの処理は鉦害、用地選定、建設費、経費、保守等の問題があり、鉦山経営上にしめる地位はなおざりに出来ない。今後各鉦山共に鉦さいたい積場の建設費は嵩んで行くものと推測されるが、宮田又鉦山においては捨石鉦さいたい積場建設基準に則りながらも建設費が経済的にすみ、かつ用地の比較的求め易いたい積法として積み上げたい積法を採用し、過去4年間にわたり実施して来たのでいままでの経緯と構築法の大略を発表し参考に供せんとするものである。

2. 位置及び地形

宮田又鉦山は秋田県仙北郡協和村宮田又にあり、奥羽本線羽後境駅より12 kmに位置し駅より林用軌道が通じている。鉦さいたい積場は選鉦場から沢に沿って500m上流にあり周囲は鍋倉山(530m)を主峯とする、400m前後の山に囲まれている。そしてこれ等の地域は官有林で有名な秋田天然杉の産地である。この附近は宮田又沢とその支流である鍋倉沢及び芦倉沢以外はすべて浅く小さな沢よりなく選鉦場附近にはたい積場に選定出来る様な地形がない。また上述の沢は本沢であるため借地が不可能である。現在の東沢たい積場を使用するまで2カ所も選鉦場近くの小さな

第1図 宮田又鉦山地形図

沢を堰止めて使用していたが、たい積量少なく合計17,500tよりたい積出来なかつた。また現東沢たい積場も普通のかん止堤を築造し、相当量のたい積を行うと思えばいたずらに高さの高いかん止堤が必要となつて莫大な建設費を要するが、これに積み上げたい積法を採用すれば小額の建設費でしかも20万t以上のたい積を行い得る地形である事が分つた。

3. 概 要

* 新鉱業開発株式会社生産課長

** 同 宮田又鉦業所選鉦主任

本法はかつて鯛生金山を中心とした九州地方の金製錬所廃さい処理に採用されて、鯛生式掻上法と呼ばれていたものを当鉦山で硫化物の浮選廃さい処理に適用し、積雪に耐える様に工法を改良したものである。金山との相違は岩質では金山の変朽安山岩に対して当所は頁岩、凝灰岩を主体とする第三紀水成岩であり、粒度は金山は細粒であるが当所は-200 mesh 50%の粗粒の鉦石を取扱っている。これらの点を勘案して鯛生式とは幾分異なつた方法を行っている。

本工法は基礎堤と積み上げたい積部との二つの部分に分れ、基礎堤は普通のかん止堤と何等変りないが高さを低く取り基礎堤のみのたい積容量は小さくてもよい。またたい積部の水分排除がよく行われるように石積かん止堤が望ましいが当所は山土による土かん止堤である。

積み上げたい積部は基礎かん止堤の天端下1mまで自然たい積された鉦さい上に施行される。まず基礎堤に平行な2本乃至3本の放泥水路を鉦さい上に造り、これに選鉦場より送泥された鉦さい液を流し、水路中に沈殿した粗粒の砂を水路の両側にショベルで掻き上げて水路の保護とする。この作業を繰返し水路保護の砂盛りが所定の高さになれば使用を中止し、たい積傾斜として定められた14°にならす。水路は基礎堤に近い側から使用し、使用済となれば新たに上流側に水路を造る。このようにして順次水路を上流側に移して行き積み上げを進行させるものである。

たい積量は基礎堤法先より垂直高50mで215,000tで9カ年の寿命がある。

4. 暗 渠

暗渠は第3図に示す様な形状で、鉄筋は上蓋のみに入れ、両壁及び底盤は配合1:3:6の無筋コンクリートで造られている。上蓋には場内水の排水孔が設けられ、終端は開口し暗渠の両側に止水壁を設け沢水を導入する。故に当初の暗渠は場内水と沢水排除用の2つを兼ねている。

暗渠の流量はマンニングの公式によれば次のようになる。

$$\text{流水断面 } A = 0.392 \text{ m}^2$$

$$\text{潤 辺 長 } P = 1.90 \text{ m}$$

$$\text{動水半径 } R = \frac{A}{P} = 2.063 \text{ m}$$

$$\text{勾 配 } J = \frac{12.3}{100} = 0.123$$

$$\text{流 速 } V = \frac{1}{n} \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot J^{\frac{1}{2}} = 7.66 \text{ m/sec}$$

ただし $n = 0.016$

$$\text{流 水 量 } Q = A \cdot V = 3.003 \text{ m}^3/\text{sec}$$

$$\text{降雨強度 } 50 \text{ mm/h} \quad (1 \text{ km}^2 \text{ 当り } 13.9 \text{ m}^3/\text{sec})$$

$$\text{流出係数 } 85\%$$

$$\text{流域面積 } 0.129 \text{ km}^2$$

$$\text{故に集水面積内の流出水量 } Q_1 = 1.524 \text{ m}^3/\text{sec}$$

$$\text{降水による常時流量 } Q_2 = 0.02 \text{ m}^3/\text{sec}$$

$$\text{融雪時流量 } Q_3 = 0.05 \text{ m}^3/\text{sec}$$

$$\text{選鉦用水 } Q_4 = 0.008 \text{ m}^3/\text{sec}$$

$$\text{合計最大流量 } \Sigma Q = 1.602 \text{ m}^3/\text{sec}$$

第2図 東沢たい積場

第3図
暗渠

よつて暗渠流量 $3.003 \text{ m}^3/\text{sec} > \text{最大流量 } 1.602 \text{ m}^3/\text{sec}$

5. 基礎かん止堤

基礎かん止堤（基礎堤と呼ぶ）の構築材料は山土であり、高さ10.5m、長さ40m、天端巾4m、外法面は3段で各段に犬走が造られ、勾配は下より1段2割、2段2.5割、3段3割である。内法勾配は1.7割で石積である。

たい積場として理想的な条件は谷が深く、傾斜が緩か

で、かん止堤構築個所の谷が狭まっている事であるが、東沢たい積場はこの条件に当てはまらず沢の関係から基礎堤が大きなものとなつた。第4図は基礎堤の縦断面である。

安定計算は円形滑面法を用い、滑動半径 30m の場合安全率最小となり ($m=1.65$)、滑動半径 50m の場合安全率最大となる ($m=2.35$)。

6. 積み上げたい積施行法

6.1 積み上げたい積作業

放流した鉱さいが基礎堤天端より 1m下部まで自然沈積されると次の段階として積み上げ作業にかかる。作業はまず鉱さい放流口附近の砂の固まつた個所から導水路を基礎堤に平行に造り、これを徐々に延長して他端に達せしめる。普通このようにして 2~3 本の導水路を造り交互に使用する。1本の導水路が完成するのに約 1ヵ月かかる。当所の場合導水路の直線部は 60m でその先は山岸に沿つて 20m上流に向つて導水路が延長している。この程度の長さで粗粒の砂は導水路中に大体沈積される。

導水路勾配は自然勾配であるが放流口に近い程粒子の沈積量が多いので、放流口より対岸に向つて 1/50~1/60 程度の自然勾配がつく。鉱さい濃度は 19% 固体、粒度分布は第1表の通りである。導水路の巾は流速と水路両岸に与える影響が大きく、余り狭いと流速が付き鉱粒の沈降が悪くなり、かつ水路を破損し易く、その補修に手数がかかるので最低巾 1m は必要である。常に砂を両岸に盛り上げて行くため水路は狭くなり易いので造り始めは巾 2m 程度に取つてやる必要がある。水路維持のため作業員は常に水路に入り、沈降砂を掻き上げ両岸の保持に心掛けねばならない。所定の高さ迄水路が上昇すると、

第1表 鉱さい粒度分布

粒 度 mesh	重 量 %	累 計 %
+35	3	3
+45	5	8
+65	6	14
+100	11	25
+150	4	29
+200	18	47
-200	53	100
計	100

第4図 基礎かん止堤縦断面図

第2表 水路仕様

名 称	寸 法
水路長	80 m
水路幅	1.8~1.0 m
盛砂高	5 m
勾配速度	1/50~1/60
流速	0.57m/sec
流況	19%固体

これを傾斜 14° に掻き均し積上げたい積の斜面を形作って行く。1本の導水路の寿命は約3ヵ月である。

第5図は導水路断面を示し、第2表は水路の寸法、勾配等を示す。

第5図 水路断面

6.2 法面保護

14° の傾斜で積み上げられた砂上に山土を約20cm程度の厚さで被覆し、これに雑草を植えて砂の流失を防ぐのであるが周囲に山土のない場合は本作業は困難を伴う。被覆用の土はたい積内部の水分蒸発を妨げないような質のものがよい。また張芝用の草は根張りが強く、根の周囲に水分を留めないものが適しており、松、杉等の背伸びのするものは強風の場合根に振動を与え地盤を弛める恐れがある。

斜面集水路は第6図の如き形状をしたものを“へ”字形に造り、降雨の場合斜面を流れる水を受止め、真土流失を防ぎ、雨水を側水路に導く役目をしており25m間隔に1本は是非造らねばならない。また、たい積部の両側地山に $0.6\text{m} \times 0.6\text{m}$ の練石積水路を積み上げの進行に従い造る。当所では半年に1回延長している。この水路は非常溢水路と山腹水路を兼ねている。

6.3 冬期のたい積

積雪地方では冬期のたい積に困難を伴うので当たい積

第6図
斜面集水路及び側水路

法が九州地方の暖地に発達し、東北地方に発達しなかった理由もここにある。しかしながら1m程度の積雪は大きな障害とはならない。当鉦山附近で昭和30年度の最低気温は -8°C 、積雪1.2mであったが、冬期を通じて使用することが出来た。ただし積雪多量で常に吹雪が襲来する地方では本方法は困難かと思われる。

当所の冬期の鉦さい液温は放出口で 4°C を保っているので、鉦さい液を通せば導水路中の雪は溶解し作業に支障はない。水路両側の盛砂上の雪は常に掃き捨て根雪にならないよう心掛ける事が必要である。氷結した雪の上に掻上砂をたい積すれば融雪期に崩壊する恐れがある。したがって公休日といえども降雪日は除雪人夫を就業せしめ盛砂部の除雪を行うがよい。こうすれば冬期も順調にたい積を行う事が出来る。しかしながら積雪のためダム傾斜が分らなくなるので積み上げたい積部の傾斜補正と真土被覆は融雪後でないと行われない。

スライム沈澱池の上澄水は時により氷結する場合もあったが、暗渠溢流口附近の結氷を割る程度で特別な操作は必要がなかった。

7. 積上部の安定度

7.1 浸潤線

たい積内部の飽和水線の測定には比抵抗法とソイルオーガーによる法と二通りを比較試験したがほとんど同数値を得たので、ここではソイルオーガーによる浸潤線測定について述べる。

たい積部を縦横に10m間隔に切った交点にボーリングを降ろし、その横断面、縦断面を図示したのが第7図である。基礎堤付根附近で浸潤線がピークを示した後、急降下している原因は不明であるが基礎堤内張を石積目地モルタルにしたのが影響しているのではないかと推定される。

飽和水点における含水率の状態を第8図に示す。含水率は20%から27.7%迄であり、鉦さい放出口附近を中心にして離れるに従い含水率が大きくなる。また浸潤線も同傾向を示し、放出口附近が深く、基礎堤に近づくにしたがい浅くなり、かつ上流に向つて右側が浅くなっている。

7.2 安定計算

第8図
飽和水点の含水率

第7図 東沢たい積場浸潤線調査図

たい積試料2個について行なつた二面剪断試験の結果は第3表の通りであり、平均含水比 19.87%, 内部摩擦角 $\theta=26^\circ$, 粘着力 $C=0.05 \text{ kg/cm}^2$ となる。

これらの試験値を基にして傾斜 14° , 距離 50m の場合の法面滑動計算は次のようである。

$\theta=25^\circ 40'$, $C=0.05 \text{ kg/cm}^2$, 比重 1.7 とし円形滑面法により 50m, 40m, 35m, 30m の半径を画いた時安全率は次式で与えられる。図式は略す。

$$m = \frac{OL + \tan \theta \Sigma N}{\Sigma T}$$

ただし m : 安全率

L : 弧長 m ,

ΣN : 円弧に囲まれた部分の土塊の重量の円弧の法線方向の分力の和, t

ΣT : 円弧に囲まれた部分の土塊の重量の切線方向の分力の和, t

θ : 内部摩擦角

C : 粘着力

すなわち半径 40m の場合滑動面における安全率は最小になる。

浸潤線を考慮する場合次式によつて安全率を計算する。

$$m = \frac{\Sigma(N - \mu) \tan \theta + C \cdot L}{\Sigma T}$$

ここに $\Sigma \mu$: 間隙水圧の和, t

浸潤線は第7図 C~

第3表 二面剪断試験

5,300,000円

試料	No. 1							No. 2						
	20	30	40	50	60	70		20	30	40	50	60	70	
上下の加圧力 P kg/cm ²	20	30	40	50	60	70		20	30	40	50	60	70	
上下の圧力強 n kg/cm ²	1,250	1,875	2,500	3,125	3,750	4,375		1,250	1,875	2,500	3,125	3,750	4,375	
上抜き力(測定値) F kg/cm ²	32.0	35.0	42.0	54.0	62.0	72.0		22.5	30.5	40.0	53.0	59.0	69.0	
平均剪断強 f kg/cm ²	1.00	1.09	1.31	1.70	1.94	2.25		0.70	0.95	1.25	1.60	1.85	2.16	
$A = \text{剪断面の太さ}$ $n = \frac{P}{A}$, 含水比 17.64%, $\theta = 26^\circ 50'$, $f = \frac{F}{2A}$, $C = 0.05 \text{ kg/cm}^2$.								含水比 22.1%, $\theta = 25^\circ 40'$, $C = 0.05 \text{ kg/cm}^2$						

28年9月

暗渠延長其他 130m

1,347,000円

30年7月 暗渠延長

150m 2,369,000円

合計 9,016,000円

第4表

C'を用いて計算す

滑動半径m	ΣN	ΣT	L	m
50	406	82	54.1	2.70
40	527	118	56.1	2.37
35	632	129	58.0	2.57
30	816	152	62.0	2.78

ると,

$$\Sigma \mu = 248 \times 1.0 =$$

$$248 \text{ t}$$

安全率最小である滑

動半径 40mをとれば $m = 1.37$ となる。故に積み上げたたい積の法面は傾斜 14° , 水平距離 50mを1段として犬走りにより積上げを連絡しながら, 進行せしめることにした。

7.3 粒度分子

廃さい放泥水路に沈積した粒子を水路に沿い, 10m間隔に採取し粒度と含水比を調査したものが第5表である。

第5表 水路の粒度分布

試料採取位置	放泥口よりの距離 m									
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	
含水比%	14.3	14.4	14.5	13.3	13.6	15.8	16.7	16.7	23.1	
粒度 mesh										
+48	23.00	28.18	28.67	20.33	17.33	13.33	8.33	10.00	6.50	
+60	10.33	9.55	12.00	8.33	9.33	8.00	6.33	6.33	5.83	
+100	38.33	41.36	40.33	40.33	39.33	37.33	42.33	45.67	43.33	
+150	12.00	10.00	9.00	13.67	14.00	15.67	18.33	16.67	17.60	
+200	9.00	6.36	5.67	10.00	11.00	13.67	14.01	12.33	15.07	
-200	7.34	4.55	4.33	7.33	8.67	12.00	10.67	9.00	11.67	
計	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	

各粒子の沈積比は +150 mesh 以下の細粒は放泥口よりの距離に正比例し +100 mesh は均等な沈積をなし, +48 mesh は反比例しているが各級共沈積比の差は余り開いていない。放泥口よりの距離と共に細粒の含有率は幾分高くなるので積み上げたい積の左右両側では強度に差が出来るものと思われる。また沈積量は放泥口に多くなり勝ちで, 積み上げの進行速度は放泥口側が早くなる。故にこの場合沈積砂の移動も時に必要で, 常に谷頭に向って直角に積み上げを進行させる様注意すべきである。

8. 経費

8.1 起業費

たい積場建設当時より昭和30年7月までの起業費合計は 9,016,000円 で, 7月の工事をもって本たい積場は所定垂直高 50m, 21,500 tをたい積して満載となる予定である。したがって t 当り起業費は約42円である。

起業費の支出を年別に挙げると次の通りである。

26年11月 基礎かん止堤, 暗渠 220m, 沈澱池 2基

8.2 経常費

たい積場の作業人員は5名(男3, 女2)で積み上げ作業, 暗渠埋戻及び夜間の監視等たい積全般の作業を行っている。ただ冬期に積み上げた砂の傾斜補正, 真土被覆には約60工程の臨時工数が必要である。物品費はもつこ, ショベルその他土工用品が少量掛るのみで支出の90%は人件費で占めている。1カ月の平均経常費は工賃 45,637円, 物品費 5,021円, 合計 50,658円で取扱粗鉾 t 当り20円である。

9. 積み上げたい積法の特徴

9.1 利点

a. かん止堤の建設費が少額である

鉾さいたい積場を建設の場合, 余程地形に恵まれない限りかん止堤は非常な高さを必要とし, 建設費の大半はこれが築堤のために費さる。本法ではこの点甚だ有利で, 当所の如き狭い地形でもかん止堤の高さは 10.5m である。たい積開始後は年 1~2 回側水路, 斜面集水路を延長し, 暗渠は 2~3 年の間隔で構築すればよい。

b. 土地選定が容易である

かん止堤が低くてもよいので設置個所の沢巾が広くても差程大きな負担にはならない。また谷に沿って上部にたい積が進行して行くので谷の傾斜が積み上げの傾斜以下であれば谷の続かぎり積み上げを上昇させる事が出来る。沢でなくとも山の麓に基礎堤を築き, 山の斜面に沿って積み上げて行く事も不可能ではない。

c. 導水路中でスライムの自然分粒が行われる

この結果堤体の前面に粗粒の砂が集まり, 理想的な砂かん止堤が出来上り, 機械的に分粒を行って砂たい積をする必要がない。また水路面と場内水面は 1m以上の上下間隔があり, 水路部分の巾は2本合計すると10mあるので場内水がたい積部に接近する事がなく, 普通の嵩揚法に比較して場内水のためにたい積部が浸蝕される危険性が少ない。

d. たい積の監視及び充分な管理が行われる

常時作業員を配置し, 毎日少しづつたい積して行くので堤体の構築に充分な監視と管理が行われ, 濁水の流失等の事は起り難く, 夜中の事故等も未然に防止出来る。

9.2 欠点

a. 経常費がかかる

建設費が少なくすむかわりに、常に作業員を配置しまた年 1.2 回の側水路、斜面集水路および法面保護の工事費を必要とするので経常費が増額する。

b. 場内水及び沢水の排除は充分に行わねばならない。たい積物が腐さい砂なので真土に比べ粘着力が弱く、強度が劣るので場内水及び沢水の排除には特に注意し、溜水が出来ない様にしなければならない。また天候気温によつても浸潤線が影響を受けるので、たい積面は水分の蒸発し易い状態に保つことが必要である。

c. 法面保護用の土が必要

堆積物を雨水の流失から防ぐため真土被覆が必要となるので堆積場附近に山土採取の出来易い場所がなければ

ならない。

10. 結 語

本積上げたい積を始めてから 4 年を経過し設計変更、冬期の作業等色々な曲節はあつたが、現在は安全度、作業共に安定状態にある。しかし今後積み上げの進行に伴い間隙水圧の変化とたい積内部でサンドとスライムがどの様な状態で分布しているか等、将来に残された問題が多い。この点本報文は未熟なものであるが、今後本方式を採用される現場で何かの参考になれば望外の幸いである。なお本法施行に当り 2.5 年に亘り現場監督として尽瘁した元鯛生金山勤務松尾卯三郎君の功績を謝す。

製品紹介

ドルコーフルオソリッド焙焼装置

流体の上昇流中に固体粒子を浮遊させながら化学反応や物理的变化を行わせる Fluidization 法を焙焼に応用して工業的成功を収めたのが Fluo-Solids Roaster である。この画期的な方式は、鉄・銅・亜鉛・コバルト・金・クロム・燐鉱石・石灰石等の鉱石の焙焼処理に適用されて成功を収めている。また硫化鉄鉱・磁硫鉄鉱の燃焼による亜硫酸ガス発生に利用されており、すでに 80 炉が世界全般にわたり稼動している。わが国でも同和鉱業・三菱金属の両社で銅あるいは亜鉛鉛の製錬に採用している。またこの装置によつて微粉状の鉱

石の任意温度による乾燥が行われる。

本機の特徴としては次のようなことが挙げられる。

- (1) 炉内ベッドの焙焼温度の均一 (2) 反応温度の保持が容易 (3) 発生ガスの調節が可能 (4) 燃料の節約 (5) 維持費が少ない (6) 操作が簡単である。

(三機工業ドル機械部提供)

	塊状パイライト	選鉱パイライト	含銅パイライト
銅	42.5	45.6	13.3
鉄	48.3	49.4	34.6
全硫黄	0.3	0.6	40.0
可溶性硫黄	4.8	...	0.3
不溶成分	...	...	...
篩 分 析			
+14	3.2		
+20	23.5		
+28	43.7	全通	全通
+35	57.4		
+48	68.6		
+65	78.0		
+100	85.0		
+150	90.6		
+200	93.5		
焙 焼 温 度	900°C	700°C	700°C
焙焼室捕集製品	Wt 70.4	49.8	47.7
サイクロン捕集製品	Wt 29.6	50.2	52.3
ガス濃度一乾量基準	SO ₂ 14.3	16.2	7.0
	SO ₃ tr	...	...
	O ₂ 0.1	...	3.0
焙焼物分析一焙焼室捕集製品			
鉄	46.9	70.6	
全硫黄	0.42	0.75	
硫化物硫黄	0.32	0.25	
不溶性成分	29.5	0.71	
サイクロン捕集製品			
銅	69.4	69.4	
鉄	0.42	1.1	
全硫黄	0.09	0.33	
硫化物硫黄	3.5	0.58	
不溶性成分			

含銅パイライト	水 溶 性 分			5% H_2SO_4 可溶性分			
	煅焼物	残滓	可溶性分%	煅焼物	残滓	可溶性分%	
煅焼室捕集製品							
	銅	29.2	2.6	91.5	31.1	0.9	97.3
	鉄	0.6	58.2	1.0	1.4	61.2	2.3
サイクロン捕集製品							
	銅	19.6	2.2	87.2	20.8	1.3	92.7
	鉄	0.35	62.3	0.4	1.2	63.6	1.5
全溶解度	水溶性銅	90.2					
	5% H_2SO_4 可溶性銅	95.2					

註：上表は Mining Congress J., Mar. 1951 より

なお SO₂ gas 発生を目的とした場合 46% S 程度の pyrite に対する Reactor Area の大略は給鉱 Dry basis ton/day に対して 2.5~3.0 である。