

新日鉄広畑におけるスラリー輸送とスラリーポンド

野 田 朝 博*
杉 浦 貴*
前 田 昭*

1. まえがき

近年、土砂・鉱石・石炭等の輸送を、スラリー(泥状)にし、パイプラインを通じて流送することが行われるようになってきた。

本報告は、日本で初めての鉄鉱石スラリー輸送設備である新日鉄広畑製鉄所のスラリー輸送システムの概要とスラリーを貯蔵するスラリーポンドの選水工法(ブチルゴムシート工法)について記述する。

スラリー輸送される鉄鉱石は、昭和48年1月に移動した年産250万tのペレットプラントの主原料となるもので、ペルーのマルコナ鉱山から専用船で運ばれ、その性状は、表-1 のようである。

広畑製鉄所がスラリー輸送にふみ切ったのは、公害対策上からであり、次の理由による。

① 亜硫酸ガス対策：マルコナ粉鉱石中のイオウ分は非常に高いために、山元で微粉化磁選して、イオウ分を1/10に下げる。この作業および専用船への積み込みは、スラリー状で行われ、また、専用船の構造もスラリーで荷揚げされるよう計画された。

② 粉塵対策：荷揚げ、および貯鉱時に発塵飛散の心配がない。

③ 海洋汚染対策：貯鉱時降雨による海洋汚染の心配がない。

その他、一般的には、船への積み込み作業の能率化・港湾設備費用の節減(鋼矢板等岸壁でなくドルフィン形式でも荷役可能)など、その経済的効果は大きいといわれ

表-1 マルコナ粉鉱石の性状

平均粒径 (mm)	0.04
最大粒径 (mm)	0.20
真比重	5.00
ブレン指数 (cm ² /g)	1300

* 正会員 新日本製鉄(株)広畑製鉄所設備部

ている。

2. スラリー輸送システムの概要^{a)}

スラリー輸送システムの概要を図-1に示す。その特徴は、

- ① スラリー専用船の使用。
- ② 淡水循環化によるクローズドシステムで系外に水を排出しないので、海洋汚染がない。
- ③ スラリーポンドによる貯鉱(二次公害の防止)。
- ④ センターポスト型分配管によるポンドへの均一な

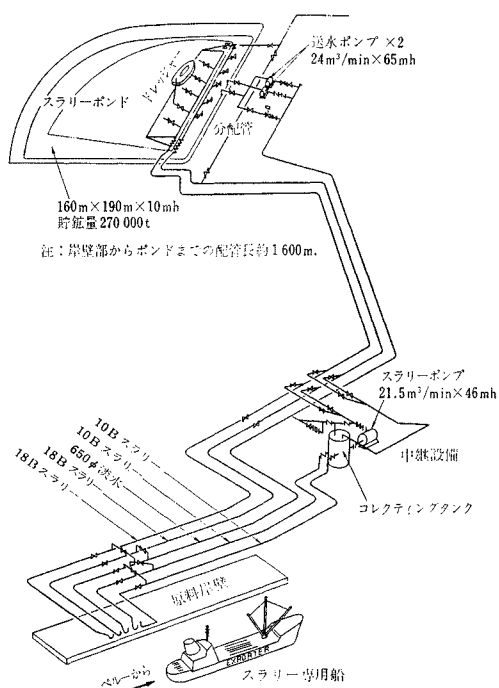


図-1 スラリー輸送システムの概要図

a) 詳細は、千葉俊雄・藤田慶喜・杉浦貴、新日鉄広畑製鉄所の鉄鉱石スラリー荷揚げシステムについて、港湾荷役18巻9号。

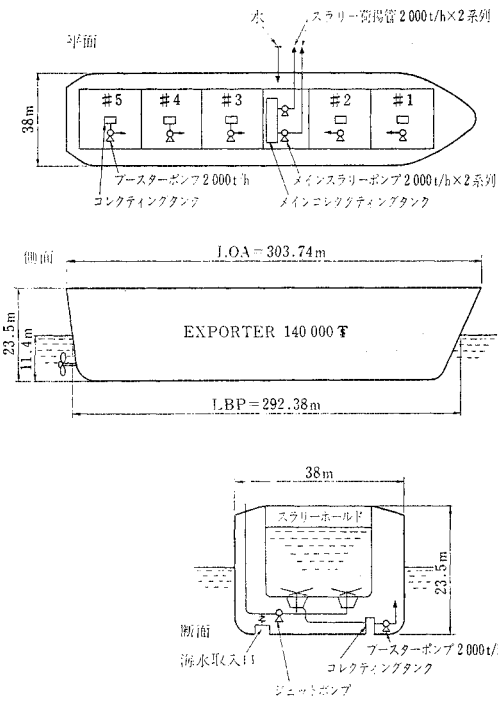


図-2 スラリー専用船(エキスポーター号)の構造図

スラリー分配(鉱石の偏析防止)。

- ⑤ ジェット式ドレジャーによるポンドからのスラリー払い出し。
- ⑥ プチルゴムシートライニングによる完全遮水のスラリーポンド。

などである。以下、各項の概要について述べる。

(1) 山元での積込みと海上輸送

マルコナ鉄鉱石中のイオウ分はかなり高く、これを日本でそのまま使用することは公害上問題となるため、ペルーの山元で破碎微粉化し、スラリー状態で浮遊選鉱にかけイオウ分を下げる。これをコンクリート槽に貯え、自然流下によってスラリー専用船に積み込む。ホールド内の粉鉱石は直ちに沈降し、重量濃度 85% となり、その上澄水は船の安定性確保のため排除される。ペルーから日本への航行中船体のローリング、ピッチングにより鉄鉱石は締固まり、広畑に入港した時点には、含水率 8~9% と通常のグラブバケットでは、とうてい歯が立たない状態になる。

(2) スラリー専用船の構造

スラリー専用船は、14万 DWT のエキスポーター号 7万 DWT のマーチャント号の2隻で、年間 100 万 t の鉱石を運ぶ。エキスポーター号の構造を図-2 に示す。各ホールド下部に 6~7 個の回転ジェットノズルが

設置されており、このノズルから 40 kg/cm^2 の淡水を噴射し、ホールド内の固結した粉鉱石を切削、再びスラリー化し、下部のコレクティングタンクに集め濃度調整しスラリーポンプで圧送するようになっている。

(3) スラリー配管

岸壁部からスラリーポンドまでのスラリー配管の計画・設計にあたっては当社での実験結果、マルコナ社からのリコメンド、外国の実施例、国内における鉱滓および泥土などのスラリー輸送の実態を調査し決定したり²⁾。

特に留意した点は、

- ① 摩耗による取替を考慮し、パイプの取外し、回転が可能なコンクリート基礎サポート構造とした。
- ② 岸壁付近のスプラッシュゾーンの管の材質は、耐食性の優秀なマリロイ S を用いた。
- ③ 曲管部は圧損・摩耗を考慮し $R \geq 20D$ とした。
- ④ 管路圧損の算定は管径によっても異なるが、 $2.4 \sim 3.9 \text{ m/sec}$ の範囲で管内流速を想定し計算した。
- ⑤ バルブ類はスラリーによる閉塞を考え、小管径部はピンチバルブ、大管径部はナイフゲートバルブを採用した。
- ⑥ 岸壁部の船側との接続は作業性を考え、シーベルジョイントを用いたユニバーサルアンローディングアーム方式とし、接続フランジ部はカムロックを用い、ワンタッチ方式とした(写真-1)。

(4) スラリーの荷揚げと他の設備

スラリー船接岸後、陸上配管と船側アンローディングアームとの接合が行われ、ただちにスラリーポンドの上澄水が、ポンド堰堤下の送水ポンプにより船に供給される。これに合せ船側の低圧・高圧系統のポンプならびにメインスラリーポンプを起動し水をポンドまで返し、水の循環を行い系路の確認をする。つぎに船底のジェットポンプに送られた水は、 40 kg/cm^2 の圧力でノズルから

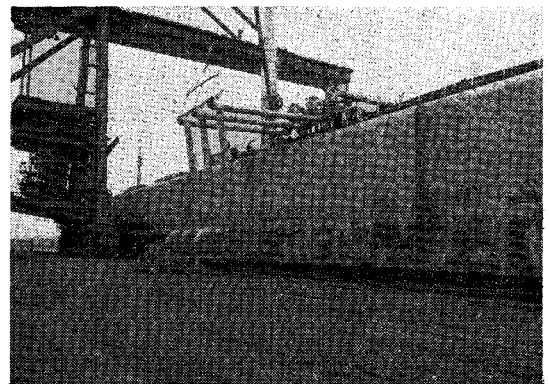
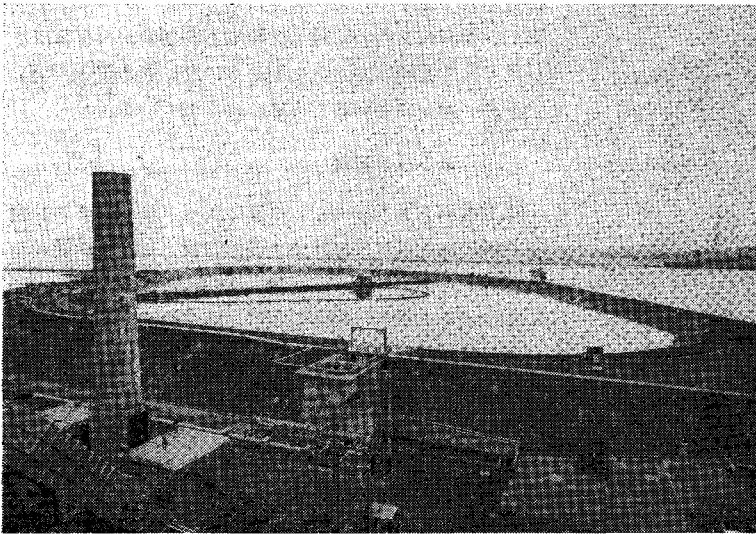


写真-1 スラリー専用船のアンローディングアーム



(分配管, ドレヅジャーが見える)
写真-2 スラリーポンド全景

噴射され、固化した鉱石をスラリー状にする。スラリーは、重量濃度 60~70% に濃度調整され、メインスラリーポンプで、1600 m 離れたポンドまで圧送される。

エクスポート号のスラリーポンプは、陸上の 18 B スラリー管 2 本を通じポンドまで直送可能な 4000 t/h の能力を持っている。マーチャント号のそれは、ポンドまで直送不可能で、10 B のスラリー管 2 本を通じ岸壁から 150 m に設置された中継設備までの能力しかない。中継ポンプは、18 B スラリー管 1 本を通じ、2000 t/h の能力を持つ。

圧送されたスラリーは、ポンド内に設置されている長さ 130 m の分配管の 10 個の排出口から均一に分配される。この分配管は、扇形のポンドのかなめの部位をセン

ターにして、ウインチにより左右に旋回できる機構になっている。ポンド内では、鉱石と水は直ちに分離され、その上澄水は取水口から再び船に供給される。

ポンドからのスラリーの払出しは、分配管に接続されたドレヅジャーで行い、ペレットプラントのシクナーに送られる。ドレヅジャーは、自走ウインチにより分配管に沿って前後進でき、分配管自体の動きとあいまって、ポンド内の任意の位置の鉄鉱石を揚げる事ができる。

スラリーポンドは、土堰堤方式で、その大きさは、190 m × 160 m × 深さ 10 m の扇形で、総容量 21 万 m³、貯鉱量 27 万 t である(写真

—2)。その内面には、鉱石からの赤水が堤外に浸透しないよう、1.5 mm 厚のブチルゴムシートを 3.3 万 m² 張った。

3. スラリーポンドの遮水工法

(1) 土堰堤の築造

スラリーポンド建設地点の土質は、図-3 に示すようにシルト層が 5 m もあり、土堰堤を所定の高さまで一度に盛土することが不可能なのでプレロード工法をとった。図-3 には、土堰堤断面、スラリー堆積状況、プレロードの方法ならびにプレロード時、水張り時、および鉱石満載時それぞれの沈下状態等も合せて示す。

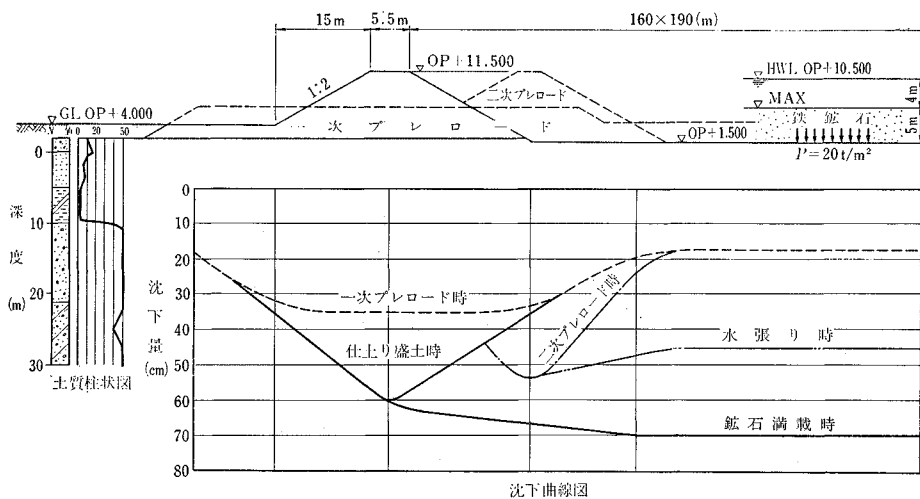


図-3 土堰堤断面等の略図

(2) 遮水工法の検討

貯水池等の遮水工法として、現在多く使われているのは歴史質材料であるが、本ポンドでは各種工法の中より以下の理由によりブチルゴムシート工法を採用した。

- ① 大きな地盤沈下に追従可能（伸び率500%）。
- ② 工費が安い。
- ③ 工期の短縮。
- ④ 日本でこの種工法の開発を行う。

遮水工法にブチルゴムシートを用いたものは世界各地に多数あり、この中でも、ハワイモロカイ島のものは、650万tの貯水容量で世界最大である。しかし、これらはいずれも地盤条件が良好な所にあり、水を貯める目的のもののみである。今回のような軟弱地盤で、しかもスラリーを貯蔵するものは、世界で最初のものであろう。このため、基礎的な各種の試験を行い、安全性を確認した。貯水池を対象にした遮水工法の一般的優劣を表-2に、ブチルゴムシート厚みの最小基準を表-3に、今回用いたブチルゴムシートの仕様を表-4に示す。

(3) ブチルゴムシートの施工

施工面での特徴としては、

- ① 現場での接着長を短くし品質の確保と工期の短縮を目的とした広幅シートを製作した(最大23m×60m)。
- ② 工場および現場接着とも、加熱接着の方が強度が高いが信頼性が低い。接着部のしわが漏水の原因になるため常温接着とした。
- ③ 接着剤は、ネオプレン系より含水率の低いブチル系のものを用いた。

表-2 ブチルゴムシート最小膜厚
(ASAEのリコメンド・単位:mm)

下地の土質	ナイロン補強されたもの	ナイロン補強のないもの
粗土 (SM, SP, SW)	0.50	0.76
砂利土 (GC, GM, GP, GW)	0.76	0.76

表-3 各種遮水工法の比較

特性	ブチルシート工	プラスチック・フィルム工法	コンクリート	アスファルト
耐候性	優	劣	優	優
耐熱・耐寒性	優 { -40°C +100°C	劣	優-建設中凍結させないこと	
施工性	簡単で確実	簡単、しかし傷が付きやすい	基礎、各種の建設機械必要	
補修の難易性	容易	保護層があるため困難	比較的困難	比較的困難
基盤の変動影響	受けない	平滑、強固な基盤が必要	受ける	強固な基盤が必要
耐用年数(年)	25~40	5~7、保護層のある場合は15年	50	20
価格(円/m ²) (施工費とも)	1800~2500	800~1000	2500~3500	2000~3000

表-4 ブチルゴムシート仕様

材質	E.P.T/ブチル=70/30	
厚み	比	1.5 mm 以上
	重	1.20±0.03
物理性状	引張強さ	300% モジュラス 80 kg/cm ² 以上
		極限伸び 500% 以上
	引裂強度	30 kg/cm ² 以上
		耐水圧性 10 kg/cm ² 以上

④ 現場接着部は、真空試験機により全数検査を行った。

⑤ 底面、斜面とも、降水後の施工を容易にするため砂層を設けた。

⑥ ドレーン管は可撓性のあるナイロン製のものを使用した。

などであり、3.3万m²を実質30日間で施工した。施工中の状況を写真-3~7に示す。

4. 将来の展望

コンクリートの打設が、タワー、ネコ車からポンプに浚漕がグラブからポンプに変遷したように、物を運ぶということは、バッチ式からより連続性の多いものに移行するほど経済的なことはいうまでもない。とくに最近のように大プロジェクトが多く、単位輸送量が大いものほど効果が大きくなる。

スラリー輸送は、連続性が大きく、かつ、運搬に伴う騒音・振動・粉塵等のいわゆる公害の発生がほとんどないことが特色といえよう。このような観点から、建設工事に伴う土砂類の輸送、たとえば埋立・盛土・トンネル工事のずり出し等に応用可能であると思われる。

広畑製鉄所における鉄鉱石の運搬を、従来の方法と対比したのが表-5である。

ブチルゴムシートによる遮水は、土木材料としてなじみのうすいものであるが、経済的で、耐久性・耐薬品性も大で、非常に有用なものである。揚水発電の貯水池、農業用貯水池、工業用水処理池、廃棄物の投棄など、利用範囲は大きいと思われる。

ただ、比較的新しい材料・工法であるため接着剤、接着の機械化、波浪による影響など各種の問題点・開発すべき点が多く残っており今後の研究を待ちたい。デンバーの開拓局材料研究室でも、ブチルゴムシートの基礎的な実験を行っているのが現状である。

5. あとがき

以上、広畑製鉄所におけるスラリー輸送システムとスラリーポンドの遮水工法について

表-5 スラリーシステムと従来の荷揚法との比較
(新日鉄広畑の場合)

項目	スラリーシステム	従来の方法 (クレーン+コンベア)
適用粒度	65 mesh	制限なし
設備	スラリーポンプ 配管 貯鉱用池 (スラリーポンド)	クレーン コンベヤ 貯鉱用ヤード
要員	荷揚 清掃 必要なし	9 20
輸送能力 (t/h)	1000~4000	1000~3600
輸送中休止率	なし	粘性鉱石揚時あり
公害対策	なし	あり
作業性	計器監視が主	ハッチ、ベルト散水 ベルト裏面洗い あり
輸送コスト	安い	高い

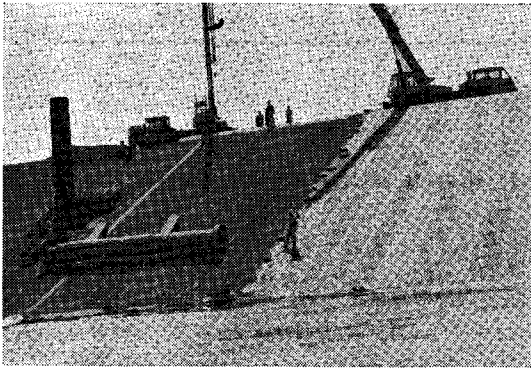


写真-3 ゴムシートの梱包状態と吊込状況

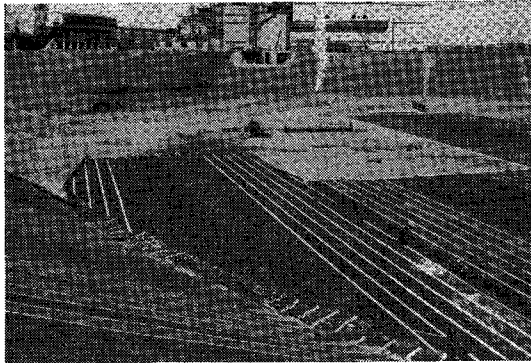


写真-4 ゴムシート敷広げおよび接着状況



写真-6 接着部の転圧

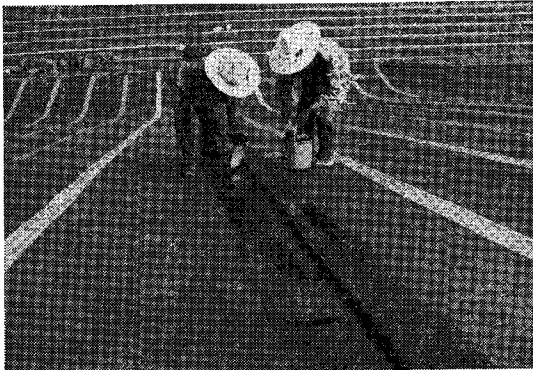


写真-5 接着剤の塗布

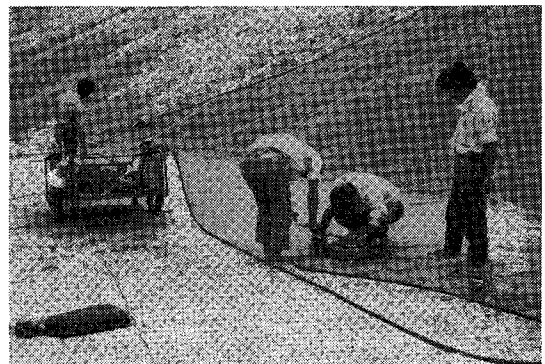


写真-7 接着部の検査

述べた。なお、スラリー輸送システム全体の工事費は、5.74億円、工期は1年2か月であった。設備稼働後のトラブルとしては、スラリーポンド内の粉鉱石の硬度が実験した値より大きく、ドレヅジャーの液濃度が低下し、ジェットノズルの改良を行った。そのほかは、稼働後1年経過したが順調な作業を継続中であり、所期の目的を達成している。

本報告が、今後のこの種プロジェクトの計画に参考となれば幸いである。

最後に、本システム建設にあたり多くの方々のご協力

をいただいたことを感謝する。

参考文献

- 1) 老田芳行・松本 康・亀田卓一・繁富一彬：鉄鉱石のスラリー輸送，住友重機技報，Vol. 20, No. 59
- 2) 吉田信之・西沢正之・井上司朗・大鈞英治：秋田県鉱さいのパイプ流送，日立造船技報，第32巻，2号
- 3) 黒田太郎・向江協公雄・仲村 功：スラリー輸送用パイプライン，日本学術会議，流体輸送に関するシンポジウム，46年1月
- 4) 佐々木和郎：石炭の水力輸送，機械学会誌，70巻，578号
- 5) 山田貴司：スラリー輸送，スチールデザイン，85号
(1973.11.26・受付)