スラリー輸送に関する最近の動向

川 島 俊 夫*
Toshio KAWASHIMA

1. はじめに

固液混相流の研究を基にしたいわゆるスラリー輸送なる技術が最近とみに発展をみていることは、読者のすでに御承知のことであろう。

アメリカ、ブラックメサにおける石炭水スラリーの長距離(440km)大量(450万t/年)輸送¹⁾や、わが国北鹿地方におけるスライムスラリー輸送(68km, 350 m³/h)いわゆる大館ラインなどはすでに世界的に知られているところである²⁾。

最近、佐久間ダムに堆積した砂の除去のため、ダムサイトから3460m間の砂スラリー輸送の実証試験が行われ、すでに1000時間以上を経過している³⁾。これもやがては実用化されるであろう。

また、アメリカや中国では、1000kmにも及ぶ石炭スラリー輸送の計画がとり上げられている。

このように、わが国内外において、スラリー輸送に関しては、基礎研究にはじまって応用研究、さらに実用化へと、その発展は誠にめざましいものがある。

本稿では、学会の報文、シンポジウムあるいは諸機関からの調査報告書などを通じて、スラリー輸送の概要を述べることにしたい。

なお、以上のことなどを含めて、昨年、スラリー輸送研究会**が「スラリー・カプセル輸送技術要覧」を発刊し、基礎編、装置工法編、計画実施編にわけ、それぞれ詳細に記述し、研究者、技術者の便に供するにいたっている***。

昭和60年8月3日受付

* 東北大学工学部資源工学科(〒980 仙台市荒巻字青葉)
TEL 0222-22-1800

** スラリー輸送研究会：〒107 東京都港区赤坂9-6-41 乃木坂ビル, 日本鉱業会内(03-402-0541)

*** 「スラリー・カプセル輸送技術要覧」 pp.1~752, (1984-2), 開発問題研究所(東京都中央区日本橋茅場町2-3-6 宗和ビル内, 03-667-0891, 6万円)

2. 学会などにみられる研究の動向

2.1 日本機械学会

機械工学年鑑特集の流体工学編においては、混相流のうち、固液二相流として、流動特性、測定技術やさらには伝熱の面まで研究されるにいたっていることが報告されており(計28編)⁴⁾、また、非ニュートン流体として、物性・構成式、伸長流・噴流、内部流れおよび外部流れについて、研究報告が紹介されている(計93編)⁵⁾。

2.2 日本鉱業会

最近3ヶ年の会誌を通観すると、沈降性粒子に関しては、堆積層を伴うスラリーの流動^{6,7)}、水平管内固液二相流における粒子の挙動を論じているもの^{8,9,10)}がみられる。

さらに、搬送流体を非ニュートン流体として取り扱う場合、フライアッシュ中の粒子群の見掛け干渉速度に関する研究¹¹⁾、ハーシェル、バルクレイ流体の管内流れについて下限臨界レイノルズ数を論じたもの¹²⁾、ビンガム流体の充てん層内流れの圧損に関するもの¹³⁾、希薄高分子溶液中を沈降する粒子の抗力係数に関する研究¹⁴⁾などがある。

次いで、粉炭については、湿潤粉炭のプラグ輸送¹⁵⁾や、高濃度石炭スラリーの流動性に関する研究がみられる¹⁶⁾。

なお、垂直管内ベンドにおける圧力損失についてトムズ効果を論じたもの¹⁷⁾や、垂直管内壁から沈降性粒子スラリーへの熱伝達に関する研究¹⁸⁾もみられる。

さらに、日本鉱業会、研究業績発表講演会においては、沈降性スラリーの流動に関する研究のほか、非ニュートン流体の流動解析、ポリウレタンの耐摩耗性、無添加コムの再流動化特性、高濃度石炭水スラリーの流動特性、また、電極法による粒子流速や粒子濃度の測定などの研究成果が報告されている¹⁹⁾。

なお、日本鉱業会、スラリー輸送研究会などの共催になる秋季大会時の分科研究会においても、時宜に適したテーマにより、研究成果が報告されている。ちなみに、1984年度においては、次の通りであった²⁰⁾。

- 大庭成元(川崎製鉄)：パワーモデルによる石炭スラリーの圧損解析
- 佐藤英輔，ほか(東亜建設工業)：鶴見川浚渫工事のパイプライン輸送について
- 岡田剛，ほか(電源開発)：佐久間貯水池堆砂の砂スラリー輸送実証試験について

2.3 スラリー輸送研究会

スラリー輸送研究会においては、前述のように分科研究会において、特定の研究事項に関しシンポジウム形式によりその内容を紹介している。さらに、昭和57年度までは各年度毎スラリー輸送に関する国内外の文

表1 スラリー輸送に関する文献集(スラリー輸送研究会編)に現れた論文の内容とその割合(%)

内容 \ 年度	53	54	55	56	57
1. 一般	4.4	8.5	3.8	13.8	6.4
2. 物性					
2.1 レオロジー，粘度	3.2	2.0	4.1	4.8	5.0
2.2 沈降	2.4	1.3	4.1	0.9	2.5
2.3 その他	2.8	2.0	3.8	1.7	2.8
3. 流動					
3.1 基礎	6.0	14.4	13.2	11.2	13.5
3.2 圧力損失					
(1) ニュートン流体	5.5	2.9	3.2	3.0	2.2
(2) 非ニュートン流体	8.0	6.5	1.5	1.3	4.4
3.3 その他	9.6	14.4	13.2	11.2	13.5
4. 伝熱	3.2	13.0	5.6	3.5	6.4
5. 輸送技術					
5.1 パイプラインエンジニアリング	17.3	17.1	16.9	12.6	15.5
5.2 ポンプ及び輸送機器	11.2	7.9	14.0	14.8	8.8
5.3 スラリーハンドリング	11.2	—	7.0	4.3	9.1
5.4 摩耗・腐食	4.4	2.0	1.2	6.5	4.4
6. 経済性	3.2	5.3	3.8	2.2	1.9
7. 輸送の実施例	7.6	6.5	7.3	9.0	6.9
総 数 (編)	258	270	333	232	361

献調査を行い、文献集を発刊してきた。

表1がこの内容を示したもので、基礎的研究に対して輸送技術や経済性さらに実施例を含めた応用面とでは、むしろ後者の方が多いようにみうけられる。

なお、最近のスラリー輸送の特徴ともいえるが、粗粒子と微粒子とが混在している場合の研究や応用例が増えてきており、これらに関する調査報告書も刊行されている²¹⁾。

2.4 日本学術会議、混相流シンポジウム

日本学術会議、水力学・水理学研究連絡委員会、混相流小委員会においては、関係学協会の協力を得て、混相流シンポジウムを過去3年にわたって開催している。これらは、講演論文集として刊行されているが、これらは、固液のみならず土石流などにまで広範囲にわたっているものであり、その中から関係あるものについて、そのテーマを紹介すれば次のようである。

第1回(1982-12)

「混相流の基礎理論と応用技術」

基礎編

- 野田佳六：スラリー輸送(固液二相流)における流動の固有の性質，129
- 茂呂端生：スラリー輸送(固液二相流)における圧力損失，209
- 赤川浩爾：混相流における圧力損失，エネルギー損失の総括，233

応用編

- 岡田剛：水力輸送によるダムの排砂，11

第2回(1983-12)

「混相流の流動機構と応用技術」

基礎編

- 川島俊夫：非ニュートン流体の流動，221

応用編

- 中林恭之：国内外炭のスラリー輸送に関するトータルシステムのフィージビリティスタディ，59

第3回(1984-12)

「混相流の流動のダイナミクスと応用技術」

基礎編

- 鮎川恭三：固液二相流内流れの流動特性と乱れ構造，3
- 野田佳六，ほか：円管路内固液二相流の堆積層を伴う流れの粒子挙動，19

応用編

- 米田精：ダムの排砂と砂スラリー輸送実証試験，

このほか、固液気三相流としてのエアリフトポンプについての次の講演がなされている。

○斎藤隆之，ほか：200m立型水槽を用いたエアリフトポンプの揚鉦実験，167

第4回(1985-12)(予定)

「混相流の流動機構と計測」を主なテーマとして、固液二相流の流量計測とポンプリフトに関する各種計測の講演が持たれる予定である。

2.5 その他のシンポジウム

- (1) Nagata K., et al.: Energy Efficiency Comparison of Coal Slurry Transportation Systems, 7th International Symposium on "Coal Slurry Fuels Preparation and Utilization", New Orleans, U.S.A. 1, (1985)

この報告では、輸送方式間の定量的な比較に役立てるため、ブラックメサ型の微粉スラリー、CWMおよび三井造船で開発した脱水改善型(MES型)の3つのシステムについて、各構成要素、全体のエネルギー効率の比較などを行っている。最後には、各システムの長短を明らかにすることができ、輸送距離に応じた最適のシステムの選択の指針を得ることができたとしている。

- (2) 大阪科学技術センタ，日本産業技術振興協会主催工業技術院大型プロジェクト成果発表会「マンガング塊採鉦システムに関する講演」(1985)

このシンポジウムにおいては、マンガング塊採鉦システムの研究開発の概要(技術研究組合マンガング塊採鉦システム研究所)，マンガング塊開発の研究(公資研)，集鉦機の海底上の走行運動性能(川崎重工)，大粒径スラリーの傾斜管における流動特性(荏原製作所)，エアリフト装置機能確認実験の結果と海洋総合実験計画への適用(日立造船)，揚鉦管の強度(日本鋼管)，深海光伝送用データターミナルの開発(住友電工)がそれぞれ報告された。

- (3) 野田佳六，ほか：管路による石炭の水力輸送，化学工学協会，米沢大会，SC 107, 144 (1985)

この報告では、最近の海外炭の輸入の現状を紹介し、粗粒炭のスラリー輸送の必要性を論じている。かつ、小口径のパイプによる実験結果から、大口径のパイプを用いた場合の流動抵抗の予測について種々のデータから詳しく述べている。

- (4) 日本鉦業会，スラリー輸送研究会共催，秋季大会，「COM, CWMの諸特性(L)」分科研究会

(1985)

この分科研究会においては、COM, CWMについての流動特性(公資研，東北大)，CWMの技術開発(バブコック日立)，CWMのパイロットプラントの実証試験(電源開発)およびCOM輸送船の開発(三重工)などの講演が予定されている。

2.6 解説記事

- (1) 日本鉄鋼協会，西山記念技術講座，第67回，第68回，川島俊夫：スラリー輸送と管路摩耗1，(1980)

この講座においては、管路内スラリーの流動特性とこれに関連する管路の摩耗を取り上げているが、特に摩耗試験の結果や、摩耗に関するデータシートの必要性が述べられている。

- (2) 日本粉体工業技術協会，日刊工業新聞社主催，粉体工学会後援，「粉粒体プロセス設計演習シリーズ」No.4

川島俊夫：スラリー輸送，1，(1984)

ここでは、ニュートン流れと非ニュートン流れにおける流動特性とその解析法ならびに、応用面との関連性について述べられている。

3. 調査研究報告書にみられる最近の動向

3.1 日本建設機械化協会，建設機械化研究所

「砂スラリー流送試験」報告書(電源開発，委託)1，(1981)

この報告書には、佐久間ダムにおける堆砂のスラリー輸送を開始するに当たって、基礎試験としてパイプラインング材にポリウレタンを用いることになった摩耗試験と、流動特性や閉塞に関する各種試験の結果がまず述べられている。これより、砂スラリーの流送の可能性を確かめたあと、ダムサイトにおいてハイドロホイスを圧送装置として用いたループテストを行った結果を述べ、実証試験を速かに開始すべきであると結んでいる。

3.2 日本産業機械工業会

- (1) 「パイプライン輸送システムの多目的利用エンジニアリング事業」報告書(1980)

この報告書では、総論として、「パイプライン輸送システムの調査研究」を述べ、システムとしてのパイプライン輸送の可能を強調している。次いで、国外炭の輸送荷役、ダム堆砂の除去、大量土砂の長距離輸送および人工汀の造成の各システムについて詳述している。

- (2) 「固体のパイプライン輸送システムの多目的利用

に関する調査研究」報告書(1981)

これは、上記報告書に基いて、上述の4件のシステムのほか、汚泥の輸送および木材チップの輸送システムについても、フィージビリティスタディを行い、パイプラインによる輸送の優秀さを強調している。

3.3 日本産業機械工業会

「流体化による石炭のハンドリング技術の合理化の調査研究」報告書、——粗粒炭スラリーのハンドリング技術——

- (1) 第1部として、石炭のハンドリング技術の展望、粗粒炭スラリーの基礎性状およびトータルシステムの予備的検討についてそれぞれ記述している。1, (1983)
- (2) 第2部として、オーストラリア東部炭の輸入をモデルとして、コストの試算を詳細にわたって行っている。今後、海外炭の大量輸入を考える場合の適切な指針を与えているものと思う。1, (1984)

4. 海外における研究活動の動向

4.1 水力輸送国際会議*

1970年、コベントリー市(イギリス)で第1回の国際会議が開催されたが、1980年には仙台市で第7回を、また、1984年にはローマ市で第9回の会議を開催している。その都度、査読を経た論文がProceedingsとして発刊されているが、最近5回分の内容を紹介する

表2 Proc. of Hydrotransportにおける論文の内容の分類と論文数

回 年	5	6	7	8	9
内容	1978	1979	1980	1982	1984
1. 流動機構	9(5)	3	10	9	5
2. 限界速度	3	6(1)	3	—	1
3. 圧力損失	6(2)	2(1)	4	6(1)	4(1)
4. 測定制御	6	5	1	3	2
5. システム	3	—	—	4	3
6. パイロットプラント	3	5	1	5	3
7. 装置	10	5	5	5	4
8. 摩耗、腐食	3	3	2	4	3
9. 経済性	7	2	2	1	—
10. カプセル	1	3	—	—	—
計	51	34	28	37	25

()内は、微粒子と沈降性粒子が混在するスラリーに関するもので内数。

* International Conference on Hydraulic Transport of Solids in Pipes: B. H. R. A. Cranfield MK43 OAJ, Bedford, England

と、表2のようにになっている。

発足当初は、やや基礎的なものに傾いていた面もあったが、最近では、基礎、応用の両面にわたって、平均的に研究の動向が同われ、かつ主要各国の研究者が集り討論の場を提供している中味の濃い国際会議といえるであろう。

(筆者はこの会議のHonorary Memberであり、かつCorresponding Memberとなっている。)

4.2 フレイトパイプラインに関する国際シンポジウム**

国際シンポジウムとして、最近毎年のようにアメリカで開催されるようになったもので、機関誌としては、Journal of Pipelinesが刊行されている。

最近の研究動向を知る上で参考になればと、関係ある論文の内容を分けて紹介すると次の通りである。

(1) 沈降性粒子に関するもの

○ Ponce-Campos, C.D., et al.: A Model for the Calculation of Hold-up in Turbulent Solid-Liquid Flow, 4, 177 (1984)

管内におけるホールドアップ比(流体の速度/粒子の速度)は、圧力損失と直接関連しており、重要な因子であるが、この値を実験によって測定するのは困難である。著者らは、このホールドアップ比を計算により求めるモデルを提示している。すなわち、流体の速度および粒子の速度、さらに濃度など5つの未知数を含む5つの方程式をたて、これらの式をNewton-Raphson法により解き、ホールドアップ比を速度の比として求めている。

本モデルから計算される値とBonningtonによる実験値とを比較した結果、よい一致がみられたと述べている。

○ Ricks, B.L.: Application of Pressure Transient Analysis in a Long-Distance Slurry Pipeline, 3, 73 (1982)

パイプラインの設計に際しては、流量の変化によって生ずる圧力の遷移現象に注意する必要がある。特にスラリーパイプラインを設計する場合には、これは重要な問題となる。本論文においては、はじめに、スラリーパイプラインで生じる圧力の遷移現象に対する計算式が示され、次いで、応用例として、La Perla-Herculesの鉄鉱石パイプラインをとり

** International Symposium on Freight Pipelines, Iraj Zandi, National Centre Professor, Dept. of Civil Eng. University of Pennsylvania, Philadelphia, Pennsylvania, 19104, U.S.A.

あげ、そこで生じる圧力の遷移現象について考察を行っている。さらに、操業条件、境界条件や流動特性の差異による影響などが検討されている。

○Wilson, K. C.: Analysis of Contact-Load Distribution and Application to Deposition Limit in Horizontal Pipes, **4**, 171 (1984)

堆積限界時の状態を力の釣り合いのモデルから検討するためには、堆積層表面における摩擦を評価する必要がある。SRC (Saskatchewan Research Council) における研究は、堆積層表面に流体によるせん断応力に関係するせん断層が存在することを示している。著者は、このせん断層内の速度分布などについて理論的に考察を進め、せん断層の上下における速度差は、摩擦速度の 8.2 倍になることを確かめている。さらに、この結果を用いて、水平管における堆積限界速度について考察し、実験値との比較検討を行っている。

○Wani, G. A., et al.: Studies on Hold-up and Pressure Gradient in Hydraulic Conveying of Settling Slurries through Horizontal Pipes, **3**, 215 (1983)

パイプライン中を流れるスラリーの圧力勾配は、吐出体積濃度よりもむしろ粒子と流体との相対速度および管内濃度に依存すると考えられる。それゆえ、著者らは、粒子と流体との相対速度および管内濃度より、スラリーの圧力勾配を求めるモデルを提示している。なお、モデルに含まれる定数は、従来、発表された数多くのデータを用いて求められている。実験値と計算値との比較検討から、本モデルは、均質流および非均質流の両方に適用できることが確かめられた。

○Keska, J. K.: Fluctuations of the Solid Spatial Concentration in the Stationary Two-Phase Turbulent Flow of Heterogeneous Mixtures in Pipelines, **4**, 149 (1984)

パイプライン中における非均質流の運動は、十分長い区間を考えれば定常であるが、狭い区間をみると流速や濃度といった二相流を特徴づけるパラメータに変動がみられる。これらは、定常成分と変動成分の和として考えられる。本論文では、砂-水混相流を用いて実験を行い、管内濃度の測定結果が述べられている。測定に用いた測定器および測定方法の原理なども補遺として記述されている。なお、測定器からの信号は、フーリエ変換器を用いて解析された。参考になる論文である。

○Kakka, R. S., et al.: Coarse Coal Slurry Pipeline Technology, **3**, 267 (1983)

本論文は、粗粒炭のパイプライン輸送を計画設計する際の指針を与えるように、摩擦損失および堆積限界速度に関する式を再調査したものである。各々の式から計算される計算値と SRC (前出) および Gaessler 氏によって得られた実験値との比較検討が行われている。さらに、石炭の摩滅、管の腐食、主な実験装置などについても記述されており、エンジニアリングの面からは役立つであろう。

(2) CWS に関するもの

○Duckworth, R. A., et al.: The Hydraulic Transport of Coarse Coal at High Concentration, **3**, 251 (1983)

微粒子の水力輸送では、輸送後の脱水にかかる費用が非常に大きい。粗粒炭の水力輸送は、スラリーから石炭を除去し脱水乾燥させるのに要する費用が格段に少ないことから、最近かなり注目されるようになってきている。本論文は、微粒子の重液を搬送流体とし、粗粒炭を流送する際の流動特性を検討し、スラリーの流動に対する搬送流体のレオロジー特性および粗粒炭の濃度の影響について考察している。

(3) CWM に関するもの

ここでは、Coal Water Slurry (CWS) に対して、添加剤の入ったものを Coal Water Mixture (CWM) と分けて記述する。

○Davos, P. K., et al.: Rheological and Pumping Characteristics of Coal-Water Suspensions, **3**, 97 (1982)

石油に代る燃料として、石炭-水混合体が考えられているが、本研究では、この石炭-水混合体の安定性およびレオロジー的特性について検討している。さらに、これらのデータを基にして、混合体をパイプラインにより流送するのに必要な動力が計算された。なお、混合体は、ボールミル内で 6 時間粉碎されることにより作られ、また、重量濃度は 33~58% の範囲内のものであり、それぞれの粘度は、Rou-tovisco RV-12 型粘度計により測定された。混合体は凝塑性流体になることが確かめられ、この物性値を用いることにより輸送動力が計算された。

○Shook C. A., et al.: Flow of a Coal Slurry with a Yield Stress, **4**, 289 (1984)

石炭の長距離輸送を考える際、これを石炭-水スラリーとして、パイプラインで輸送する方法は、現

在最も有効な方法の1つとして考えられている。著者らは、石炭-水スラリーにアルカリを添加すると石炭粒子の表面が濡れやすくなり、降伏応力が減少することを確認している。本論文では、次亜塩素酸ナトリウムを添加した石炭-水スラリーを用いて流送実験を行い、これらのスラリーの流動特性について検討している。なお、スラリーは、ビンガム流体で近似できることを報告している。

○Sasiadek, J., et al.: On the Hydraulic Transport of Coal-Oil-Water Slurry in Pipelines, 4, 259 (1984)

本論文は、はじめに、coal-oil-water スラリーとはいかなるものかについて述べている。著者らは、coal-oil-water スラリーを非均質流として扱っている。なお、oil は凝集作用を起こすために添加された。次に coal-oil-water スラリーの流送実験の結果について述べられている。臨界速度および圧力損失についての実験データは、非均質流として得られた半実験式による計算値と比較検討されているが、かなり一致しているようである。

5. 佐久間ダムにおける砂スラリー輸送実証試験

いままで、わが国内外のスラリー輸送に関し、基礎的な研究や応用研究などを数多く眺めてきたが、世界で初めてのダム堆砂のスラリー輸送について、改めて稿を起しここに述べてみる。これは、ダム堆砂というものについて始めて挑戦したということのみならず、対象物にはけい砂という極めて固い砂が含まれており、これが、パイプその他圧送装置、計測装置などの摩耗

に非常に影響するものであること、ならびに、その困難さを乗り越えて実証試験を開始するに至ったことに、いたく感動を覚えるからである。5000時間の試験について、すでに7月末現在、1000時間を越えて各種データを提供している現状である。

5.1 実証試験の概要

電源開発株式会社の説明によると次の通りである。

実証試験用配管ルートは、可能な限り会社所有地を利用し、合理的、経済的に計画し、佐久間貯水地湖岸に発ステーションを設け、途中の中継ステーションを経由して、新豊根調整池湖岸を着ステーションとする。

主な試験設備は、この配管ルートに敷設した輸送管、発および中継ステーションの圧送機、付属機械設備ならびに遠方監視・制御設備より構成されている。この設備で5000時間の流送試験を実施して下記事項の検証、説明を行うとされている。

- (1) 設備全体の運転制御方法および事故防止対策
- (2) 長距離、長時間運転に対する設備の実用性
- (3) 長距離管路の閉塞現象
- (4) 中継技術

5.2 試験諸元及び試験設備

輸送物	砂(粒径5mm以下, $d_{50} = 750 \mu\text{m}$)
スラリー重量濃度	$Cw : 35\%$ ($\rho = 1.28 \times 10^3 \text{kg/m}^3$)
流速	$V : 2.7 \text{m/s}$
輸送管路延長	$L : 3460 \text{m}$
輸送管路高低差	$H : 237 \text{m(上り)}$
輸送管材料	ポリウレタンライニング鋼管

図1 砂スラリー輸送実証試験設備位置図および配管ルート図

1. 発ステーション
 - ① ハイドロホイスト $Q=1.24 \text{ m}^3/\text{min}$, 200 kW , $P=50 \text{ kg/cm}^2$ 1台
 - ② サンドポンプ $Q=1.04 \text{ m}^3/\text{min}$, 45 kW , $P=4 \text{ kg/cm}^2$ 1台 (可変速)
 - ③ 混合設備 112 m^3 (濃度自動制御装置付) 1基
 - ④ 取水ポンプ $Q=1.24 \text{ m}^3/\text{min}$, $P=4.5 \text{ kg/cm}^2$ 1台
 - ⑤ 清水槽 50 m^3 1基
 - ⑥ 高圧清水ポンプ $Q=1.24 \text{ m}^3/\text{min}$ 1台
 - ⑦ 洗浄ポンプ $Q=0.5 \text{ m}^3/\text{min}$, $P=21 \text{ kg/cm}^2$ 1台
 - ⑧ 循環水設備 $Q=0.2 \text{ m}^3/\text{min}$, $P=1.1 \text{ kg/cm}^2$ 1式
 - ⑨ 供給設備 60 t/h 1式
2. 中継ステーション
 - ⑩ マルスポンプ $Q=1.24 \text{ m}^3/\text{min}$, 200 kW , $P=60 \text{ kg/cm}^2$ 1台
 - ⑪ 混合設備 12 m^3 1基
3. 着ステーション
 - ⑫ ストックヤード 17000 m^3
4. パイプライン
 - ⑬ 1号パイプライン (4B) $L=1280 \text{ m}$, $H=116 \text{ m}$
 - ⑭ 2号パイプライン (4B) $L=2180 \text{ m}$, $H=127 \text{ m}$

図2 実証試験設備概要および主要機械設備仕様

輸送管内径 $D=98.5 \text{ mm}$ (ライニング厚: 3 mm)

圧送機

発ステーション, 日立ハイドロホイスト

圧力: 50 kg/cm^2 , 200 kW 1台

中継ステーション, 三菱マルスポンプ

圧力: 60 kg/cm^2 , 200 kW 1台

なお, 実証試験に関するルートならびに設備概要については, 図1および図2にそれぞれ示されている。

6. むすび

スラリー輸送に関する最近の動向をまとめてみた。読者諸賢の期待されているところとはかけはなれたかも知れない。しかし, これは, 私なりの研究の場をふまえた結果として御了承を願いたい。また, 実際面に重点をおいたようにもなったが, このように応用されるに至ったものと了解されたい。

ともあれ, スラリー輸送に関しては, ここ30年位の間に急速に技術が発達したものである。今後, 国の内外を問わず, 種々スラリー輸送が実施されることを期待して本稿を結びたい。

引用文献

- 1) スラリー輸送研究会篇: スラリー・カプセル輸送技術要覧, 608, (1984)
- 2) 同上, 615
- 3) Murakami, S., et al.: Proc. of Hydrotransport, 7, 315 (1980)
岡田剛: 日本学会会議, 混相流シンポジウム, 11, (1982)
米田精: 日本学会会議, 混相流シンポジウム, 149, (1984)
- 4) 野田佳六, ほか: 日本機械学会, 機械工学年鑑特集, 7, 3 混相流, 87, 70 (1984)
- 5) 益山忠, ほか: 同上, 7.6 非ニュートン流体, 73
- 6) 佐藤博, ほか: 日本鉱業会誌, 100, 233 (1984)
- 7) 佐藤博, ほか: 同上, 101, 19 (1985)
- 8) 野田佳六, ほか: 日本鉱業会誌, 100, 657 (1984)
- 9) 野田佳六, ほか: 同上, 101, 295 (1985)
- 10) 野田佳六, ほか: 同上, 101, 363 (1985)
- 11) 朝倉国臣: 日本鉱業会誌, 99, 457 (1983)
- 12) 益山忠, ほか: 日本鉱業会誌, 99, 195 (1983)
- 13) 益山忠, ほか: 同上, 99, 463 (1983)
- 14) 石橋修, ほか: 日本鉱業会誌, 100, 29 (1984)
- 15) 花崎芳朗, ほか: 日本鉱業会誌, 100, 800 (1984)
- 16) 四元弘毅, ほか: 日本鉱業会誌, 100, 834 (1984)
- 17) 石橋修, ほか: 日本鉱業会誌, 100, 1127 (1984)
- 18) 幾世橋広: 日本鉱業会誌, 99, 500 (1983)
- 19) 日本鉱業会: 春季大会, 研究業績発表講演会, 講演要旨集, (1983)~(1985)
- 20) 日本鉱業会: 秋季大会, 分科研究会, スラリー輸送(M) (1984)
- 21) スラリー輸送研究会, 第4小委員会: 微粒子と粗粒子が混在するスラリーの流動特性小委員会報告書, (1983)