

「高放射性廃液移送配管の
詰まり防止に関する設計研究」

昭和59年10月

この資料は、動燃事業団の開発業務を進めるため、限られた関係者だけに配布するものです。従って、その取扱いには十分注意を払って下さい。なお、この資料の供覧、複製、転載、引用等には事業団の承認が必要です。

本資料は 年 月 日付けで登録区分、
変更する。

02. 5. 20

[技術情報室]

「高放射性廃液移送配管の 詰まり防止に関する設計研究」

昭和59年10月

千代田化工建設株式会社

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせください。

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村大字村松4番地49
核燃料サイクル開発機構
技術展開部 技術協力課

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:
Technical Cooperation Section,
Technology Management Division,
Japan Nuclear Cycle Development Institute
4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki, 319-1184
Japan

© 核燃料サイクル開発機構 (Japan Nuclear Cycle Development Institute)
2001



配付限定

PN~~S~~J199 84-58

1984年10月

高放射性廃液移送配管の詰まり防止に関する設計研究 *

日置任工**、栗間昭典**、中神秀俊**、大浅田 薫**

要 旨

使用済核燃料再処理工場より排出されるパルスフィルターの濾過残渣（スラッジ）を含む高放射性廃液を中間貯槽から蒸発缶へ送る際発生している詰まりを防止する方法を見い出すため現状分析、スラッジ輸送のモックアップ試験、スラッジ輸送技術の調査を行い、いくつかの詰まり防止方法を立案し、比較評価した。その結果高放射性廃液移送配管の途中に圧力水を注入することによって詰まりを防止する方法が最適であるとの結論を得、モックアップ試験により詰まりが防止できることを確認した。

また、併せて本方法の概念設計および工事に係わる概念設計も行った。

* 本報告書は、千代田化工建設株式会社が動力炉・核燃料開発事業団の委託により実施した研究の成果である。

** 原子力プロジェクト部



STUDY FOR PREVENTION OF CLOGGING IN HIGHLY
ACTIVE LIQUID WASTE TRANSFER LINES*

** ** ** **
T. HIKI, A. KURIMA, H. NAKAGAMI and K. OOASADA

Abstract

When highly active liquid waste containing residue (sludge) from the pulse filter is discharged from the spent fuel reprocessing facilities and transferred from the intermediate storage vessel to the evaporator, clogging problems frequently occurred. To find out the method of preventing this clogging, analyses of the present condition, mock-up tests for sludge transportation and an investigation of the technology to transport sludge were made. Several methods of preventing clogging were drawn up, compared and evaluated. As a result, it was concluded that the most appropriate method is to inject pressurized water halfway into the highly active liquid waste transfer line. Moreover, it was proved by mock-up tests that this method would prevent clogging. Also, conceptual design of this method was made and the procedures for construction were prepared.

* Work performed by Chiyoda Chemical Engineering & Construction Co., Ltd. under contract with Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation.

** Nuclear Energy Project Department

目 次

| | 頁 |
|--------------------------------|-----|
| 1. 概 要 | 1 |
| 2. 現状分析 | 2 |
| 2.1 運転データの分析 | 2 |
| 2.2 スラッジ組成の調査 | 8 |
| 2.3 スラッジ粒子の沈降速度の算出 | 12 |
| 2.4 スラッジ粒子の限界流速の算出 | 17 |
| 2.5 エアリフト流量の算出 | 24 |
| 2.6 現状分析の結論 | 32 |
| 3. モックアップ試験 | 34 |
| 3.1 モックアップ装置の設計 | 34 |
| 3.2 モックアップ予備試験 | 37 |
| 3.3 モックアップ本試験 | 106 |
| 4. スラッジ輸送技術の調査 | 146 |
| 4.1 一般スラッジ輸送技術の調査 | 146 |
| 4.2 放射性スラッジ輸送技術の調査 | 157 |
| 4.3 スラッジ輸送技術の本工場への適用性の検討 | 167 |
| 5. 詰まり防止方法の比較・検討 | 169 |
| 6. 最適詰まり防止方法の概念設計 | 177 |
| 6.1 詰まり防止装置の概念設計 | 177 |
| 6.2 工事の概念設計 | 188 |
| 7. 今後の課題 | 199 |
| 引用文献 | 200 |

1. 概要

再処理工場化学処理工程分離第1サイクルより発生する高放射性廃液（図1-1ではHAWと略す。）は、使用済燃料の溶解液をパルスフィルター（243F16）で濾過した不溶性の濾過残渣（以下スラッジと言う。）と共に一時、高放射性廃液中間貯槽（252V13, 14）に貯蔵されたのちエアリフトにより高放射性廃液蒸発缶（271E10）へ送液され、蒸発濃縮処理される。しかしながら、送液時配管の一部にスラッジの堆積によると考えられる詰まりが発生し、運転に支障を来たしている。

本設計研究は現状分析、モックアップ試験などにより詰まりの発生メカニズムを解明すると共に詰まり防止方法について調査、立案を行う。しかる後詰まり防止方法の比較検討を行い、またモックアップ試験により詰まり防止の実証試験を実施し、最適と考えられる詰まり防止方法の概念設計を行う。なお、高放射性廃液移送フローシートを図1-1に示す。

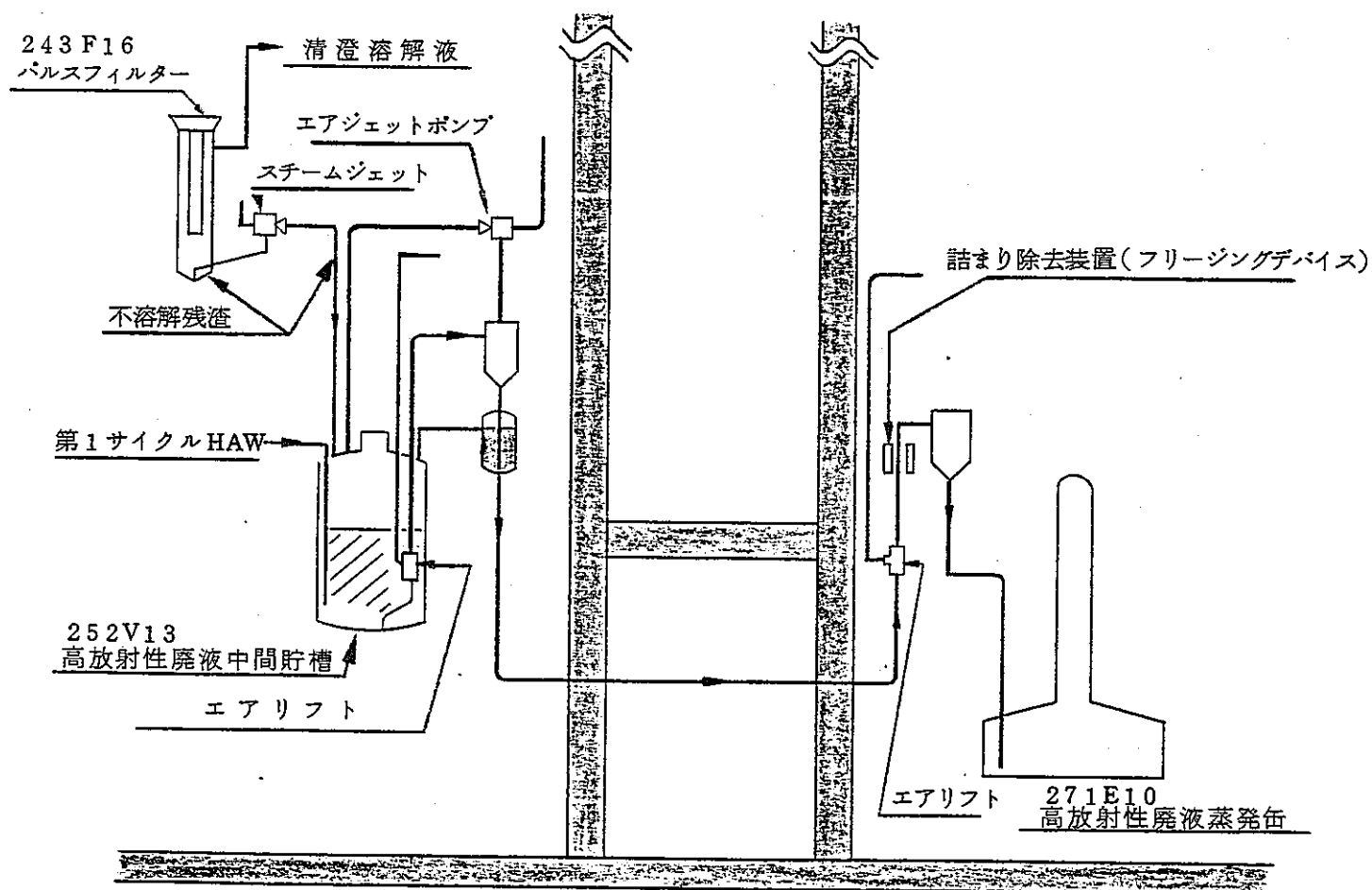


図1-1 高放射性廃液移送フローシート

2. 現状分析

2.1 運転データの分析

動燃事業団殿より提示されたキャンペーン期間中のログシート（昭和57年1月1日～昭和57年3月31日）、レポートブックおよびトラブル報告書（題名；252V13～271E10間エアリフト配管詰まりについて）をもとに詰まり発生に関する現状分析を行った。

詰まりの発生については、

- 1) 252V13から271E10へエアリフトにより送液できなくなった場合
- 2) 詰まりの発生に起因すると考えられる運転時のトラブル

の2項目についてチェックを行った。

2)についてはログシートより252V131の水封切れのみが想定されたため2)を252V131が水封切れを起こした場合とした。

表2-1および表2-2に各々運転時の1)および2)のトラブル一覧表を示す。

表 2 - 1 252V13から271E10への送液不可トラブル一覧表

| ロケット 日付 | 詰まり 発生時刻 | 詰まり発生の状況および処置 | 詰まりの形態および個所 |
|-------------|-------------|--|--|
| 昭57年 2/9 | 23:00 頃 | 23:30 252V131 水封切れ 23:50 252V13 フィードスタート 0:00 252V131 水封切れ 252V13 フィードストップ 1:42 " " スタート 1:55 " " ストップ 2:45 " " スタート 2:55 " " ストップ | DWa の圧力1.4~1.5 kg/cm ² G および水量約1 m ³ で詰まりが 除去されていることから(2/ 12のデータ) 詰まりは、架橋 現象であるらしい。 |
| 2/10 | | 10:20 ~12:00 フリージングデバイスによる 詰まり除去 DWa 約 360 ℓ 注入 (圧1.4~1.5 kg/cm ² G) 252V13液レベル上昇 14:20 252V13フィードスタート 15:53 " " ストップ (流量がでない。≒0) 18:20 フリージングデバイスによる 詰まり除去 21:32 DWa 注入 (圧1.4~1.5 kg/cm ² G) 22:28 " (圧1.4~1.5 kg/cm ² G) 1:39 252V13フィードスタート 送液できず | また詰まり発生前に252V131 の水封切れを起こしているこ とおよびDWa の注入 (2/10 のデータ) で252V13の液レベ ルが上昇し、スラッジ輸送配 管が詰まっていなくてもかか わらず252V13より送液できな いことを考慮すると252A132 の下部吸い込み配管の下端の 詰まりの可能性が大きい。 |
| 2/11 | | 7:10 252V13フィードスタート 送液できず | |
| 2/12 | | 13:15 ~14:48 フリージングデバイスによる 詰まり除去 DWa 注入 (約1 m ³) 252V13液レベル上昇 18:15 252V13フィードスタート 23:00 連続フィード(370~170 ℓ/hr) 5:20 252V13フィードスタート 定常運転 | |
| 2/26 | 0:00 頃 | 0:00 252V13スパージング開始 1:55 " フィードストップ 2:00 " " スタート (252V13 液レベル14%) 送液量ほぼ0 | DWa のフィードで詰まりが解 消されているらしいので、詰 まりは、架橋現象か。 |

表2-1 続き

| ロケット 日付 | 詰まり 発生時刻 | 詰まり発生の状況および処置 | 詰まりの形態および個所 |
|------------|-------------|-----------------------------|---|
| 昭57年 | 0:00 頃 | 18:16 252V13フィードストップ | 252V13のスパージングを行いながら送液し、その後詰まりを生じていることから、スラッジ輸送配管に高濃度のスラッジおよび大粒径のスラッジ粒子が堆積したための詰まりか。 |
| 2/27 | | 10:53 252V13フィードスタート | |
| 2/28 | | 13:59 " " ストップ | |
| | | 16:05 " " スタート | |
| | | 17:02 " " ストップ | |
| | | 18:10 271A108 DWaフィード | |
| | | ~18:36 | |
| 3/11 | | 4:25 252V13フィードスタート 定常運転 | |

表 2 - 2 運転時の252V131 の水封切れ一覧表

| ロケット 日付 | 水封切 れ時刻 | 水封切れ前後の運転状態 | 中間貯槽 液レベル (水封切れ時) | 運転状態の特徴 | 水封切れ推定原因 |
|---------------|------------|---|-------------------------|--|--|
| 昭57年 2 / 4 | 4:20 | 3:30 252V13 フィードストップ 3:45 " " スタート 4:05 " " ストップ 4:15 " " スタート 4:20 252V131水封切れ | 約40% | エアリフトによるフィードのスタートおよびストップを繰り返している。 | スタートアップ時の圧力バランスの乱れか。 |
| 2 / 8 | 8:02 | 2/7 17:10 より 252V13定常運転 | 19% | 水封切れ時の中間貯槽液レベルが低い。 | 252V13のエアリフト吸い込み口のスラッジ濃度が上がったための詰まりか。 |
| 2 / 9 | 23:30 | 2/8 8:02 252V13 フィードストップ 2/9 22:40 " スタート 23:30 252V131 水封切れ | 約60% | 2/8 8:02~2/9 22:40まで 252V13 のフィードストップしている。 | スラッジの沈降による252V13エアリフト吸い込み口の詰まりか。 |
| 2 / 9 | 0:00 | 23:50 252V13 フィードスタート 0:00 252V131水封切れ | 約50% | 252V13から 271E10送液できず。 | 同上 |
| 2 / 16 | 17:42 | 17:40 252V13 スパージング 17:40 252V131水封切れ | 約15% | 水封切れ時の中間貯槽液レベルが低い。 | スパージングによりスラッジがまきあげられエアリフト吸い込み口を詰めたためか。 |
| 2 / 23 | 3:25 | 18:15 252V13 フィードストップ 23:10 " " スタート 3:25 252V131水封切れ | 約25% | 18:15~23:10 まで252V13フィードストップしている。 | スラッジの沈降による252V13エアリフト吸い込み口の詰まりか。 |
| 3 / 14 | 4:35 | 21:20 252V13 フィードスタート 21:30 " " ストップ 23:47 " " スタート 4:35 252V131水封切れ | 約38% | 23:47 よりスタートした送液量が、200 → 175 ℓ/hr と徐々に小さくなっている。 | 252V131 の液面低下による水封切れか。 |
| 3 / 19 | 0:57 | 23:37 252V13 フィードスタート 0:57 252V131水封切れ | 約60% | 252V13より271 E10 へ至る送液量が約 350 ℓと多い。 | 送液量が多かったので252V131 が空になったためか。 |

以上の結果より次の事が推定される。

(1) 詰まりの形態について

詰まりについては

- 1) DWa の圧 1.4~1.5 kg/cm²G で逆洗すると252V13へ液が流れること。
- 2) DWa の圧 1.4~1.5 kg/cm²G 水量約 1 m³の逆洗で詰まりが解消されること。
などのデータから詰まりは、閉塞 (clogging) ではなく架橋現象 (bridge) であろうと推定される。

(2) 詰まりの個所について

詰まりにより271D101 へ送液できない場合の原因は次の2つのケースが考えられる。

- 1) 252V131 から271D101 へ至る配管に詰まりを生じ、271A108 を稼働させても液がリフトされない。
- 2) 252V13から252D136 へ至る配管の下端が詰まり252D136 に液が供給されない。
252V131 のシール切れを起こす場合は2)、それ以外は1)が原因と推定される。

(3) 252V131 の水封切れについて

水封切れについては、252V13から252D136 へ至る配管の下端が詰まり、252D136 に液が供給されないか、あるいは供給される液量が271A108 により271D101 に供給される液量より少ない場合252V131 の液のホールドがなくなり水封切れを起こすと考えられる。

(4) スパージングの効果について

252V13内でスパージングを行うと以下の理由により252D136 に供給されるスラッジ量が多くなり、252V131 から271D101 に至る配管の詰まりが促進されると考えられる。

- 1) スパージングを行うことにより堆積スラッジがまき上がり、より高濃度のスラッジが連続的に配管に吸い込まれる。
- 2) スラッジ均一化によりスラッジ干渉現象を起こし、スラッジの沈降速度が個々の粒子の沈降速度より小さくなり、大粒径の粒子が配管に吸い込まれる可能性がある。

- 3) スパージングによりスラッジ粒子に気泡が付着し粒子の見掛け密度が小さくなり、配管より吸い込まれる。

2.2 スラッジ組成の調査

高放射性廃液移送配管の詰まりの原因となっているスラッジの組成を調べるため、オンラインリサーチ（データベースは原子力弘済会のINISなど）および手作業による文献調査を行った。その結果、事業団殿再処理工場の高放射性溶液中のスラッジ（残渣）組成に関する文献¹⁾中の溶解槽沈澱物が本スラッジを代表すると考えられるので表2-3に組成をまとめた。

表2-3 溶解槽沈澱物組成

| 粒 径 (mm) | 組 成 (w t %) | | | |
|----------------|-------------|------|--------|------|
| | ジルカロイ | クラッド | 不溶解性PP | 合 計 |
| > 4 | 4 | | | 4 |
| 4 ~ 2 | 2 2 | | | 2 2 |
| 2 ~ 1 | 2 2 | | | 2 2 |
| 1 ~ 0.5 | 1 4 | | | 1 4 |
| 0.5 ~ 0.1 (注1) | 9.3 | 9.3 | 9.3 | 27.9 |
| < 0.1 (注1) | 3.3 | 3.3 | 3.3 | 9.9 |
| 合 計 | 74.6 | 12.6 | 12.6 | 99.8 |

(注1) 1)の文献P105右欄下から12行目以降に0.5~0.1および<0.1のジルカロイ、クラッド、不溶解性PPの重量分率は、ほとんど同じであるとの記載があるので、合計を3等分した。

ここで、不溶解性PPは、沈降性が悪いので(1)の文献P104左欄の5行目~17行目に記載)不溶解性PPを除いた沈降性スラッジのみの組成に直したものを表2-4に示す。

表 2 - 4 溶解槽の沈降性スラッジ組成

| 粒 径 (mm) | 組 成 (w t %) | | | |
|-------------|-------------|------|--------|-------|
| | ジルカロイ | クラッド | 不溶解性FP | 合 計 |
| > 4 | 4.6 | | | 4.6 |
| 4 ~ 2 | 25.2 | | | 25.2 |
| 2 ~ 1 | 25.2 | | | 25.2 |
| 1 ~ 0.5 | 16.0 | | | 16.0 |
| 0.5 ~ 0.1 | 10.7 | 10.7 | 0 | 21.4 |
| < 0.1 | 3.8 | 3.8 | 0 | 7.6 |
| 合 計 | 85.5 | 14.5 | 0 | 100.0 |

したがって、詰まりの原因となるスラッジ組成を表 2 - 4 と推定した。

また、本スラッジ組成を他の文献値と比較しようとしたが、ほとんどの文献がスラッジ中のFPに関するもので、粒度分布のでている文献は、1 件であった。

この文献値²⁾と表 2 - 3 の組成を比較したものを表 2 - 5 に、粒度分布の比較を図 2 - 1 に示す。

図 2 - 1 より事業団殿の文献値では平均粒径は1.17mm、K F K の文献値では0.66 mmとなる。

文献1)と文献2)の差異は、文献2)がMOX 燃料であるためと考えられる。

表 2-5 スラッジ組成の比較

| 事業団殿の文献 ¹⁾ | 粒 径 (mm) | K F K の文献 ²⁾ |
|---|-------------|--|
| ジルカロイの切れ端 | 4.0 | 金属残留物 [スプリング、ワッシャー、 ジルカロイ被覆管、 セラミック相] (Al ₂ O ₃ , SiC, SiO ₂ , ZrO ₂) |
| ジルカロイの切れ端 | 3.0 | |
| ジルカロイの切れ端 | 2.0 | |
| ジルカロイの切れ端 | 1.0 | |
| ジルカロイの切れ端 | 0.5 | 主として Ru, Mo その他 Rh, Pd, Tc, Zr, Be, O, U |
| 微細な切れ端 (Zr) 不溶解性FP (主としてRu, Mo, Sb) クラッド (Fe, Cr, Ni) | 0.315 | 酸化亜鉛 |
| 同 上 | 0.1 | 酸化亜鉛 |
| | 0 | |

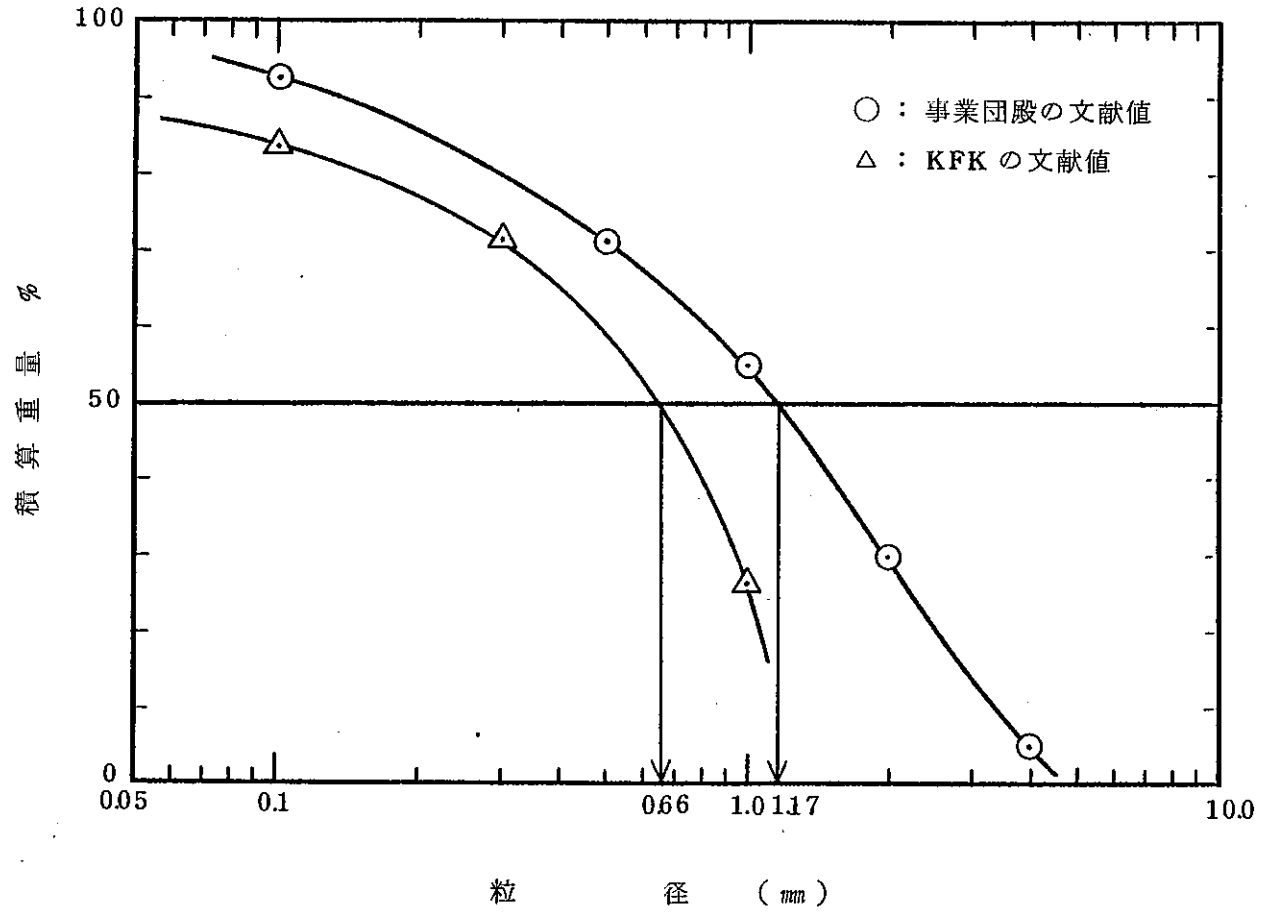


図 2 - 1 スラッジの重量積算分布

2.3 スラッジ粒子の沈降速度の算出

(1) 粒子の沈降速度

粒子の沈降速度は、抵抗法則を用いると下式のようになる。³⁾

$$U_t = g (\rho_p - \rho) D_p^2 / 18 \mu \quad (\text{Re} < 2) \dots\dots(1)$$

$$U_t = \left\{ \frac{4g^2(\rho_p - \rho)^2 D_p^3}{225 \mu \rho} \right\}^{1/3} \quad (2 < \text{Re} < 5 \times 10^2) \dots\dots(2)$$

$$U_t = \left\{ \frac{3.03g(\rho_p - \rho) D_p}{\rho} \right\}^{1/2} \quad (5 \times 10^2 < \text{Re} < 10^5) \dots\dots(3)$$

ただし、

$$\text{Re} = \rho U_t D_p / \mu \dots\dots\dots (4)$$

U_t : 粒子の沈降速度 (m/sec)、 g : 重力加速度 (=9.8m/sec²)

ρ_p : 粒子密度 (kg/m³)、 ρ : 流体密度 (kg/m³)

D_p : 粒子径 (m)、 μ : 流体粘度 (kg/m·sec)

Re : 粒子レイノルズ数 (-)

ここで、粒子が球状でない場合は、形状係数により相当粒子径を算出する。

$$D_p = 6 / \phi_s S_v \dots\dots\dots (5)$$

ϕ_s : 形状係数 (-)、 S_v : 粒子の体積基準の比表面積 (m²/m³)

本スラッジ粒子の場合は、表 2-6 より $\phi_s = 0.73$ と推定される。

表 2-6 球形でない粒子に対する形状係数⁴⁾

| 物 質 | 粒子の性状 | ϕ_s | 文献 |
|------------------------|----------|----------|----|
| アーノルドのスパイラル、スパイラルリング | | 0.2 | 4 |
| ベールサドル | | .3 | 3 |
| 粉 炭 (自然のもの) (9.5 mmまで) | | .65 | 2 |
| 粉 炭 (粉碎物) | | .73 | 2 |
| コルク | | .69 | 2 |
| 煙道の粉塵 | 融解、球形 | .89 | 2 |
| 煙道の粉塵 | 融解、凝集 | .55 | 2 |
| デッサン用本炭繊維 | | .38 | 2 |
| ガラス (粉碎物) | ギザギザ | .65 | 2 |
| 雲 母 | | .28 | 3 |
| ラシヒリング | | .3 | 4 |
| 砂 | | | |
| 平均値 | | .75 | 1 |
| フリント砂 | ギザギザ | .65 | 1 |
| フリント砂 | ギザギザ、偏平 | .43 | 1 |
| オクタワの砂 | ほぼ球形 | .95 | 1 |
| 砂 | 丸味をおびたもの | .83 | 1 |
| 砂 | 角ばったもの | .73 | 1 |
| ウィルコックスの砂 | ギザギザ | .60 | 1 |
| タングステン粉末 | | .89 | 2 |

1) Carman, P.C.: Trans. Inst. Chem. Engrs. (London), 15, 155 (1937): 透過法による値。2) ibid.: 顕微鏡法による値。3) Brown, G.G.: "Unit Operations", P. 214, John Wiley & Sons, New York (1950). 4) Perry, J.H.: "Chemical Engineers' Handbook", 5-50, McGraw-Hill, New York (1963).

また、粒子の体積基準の比表面積 S_v は、粒子のよび径を $D'p$ (m) とすると、粒子を図 2-2 のように仮定すれば、(ジルカロイ被覆管の厚さ 0.4 mm)

$$\begin{aligned}
 S_v &= \frac{2(D'p/\sqrt{2})^2 + 4(D'p/\sqrt{2})(0.4 \times 10^{-3})}{(D'p/\sqrt{2})^2(0.4 \times 10^{-3})} \\
 &= \frac{2(D'p/\sqrt{2}) + (0.4 \times 10^{-3})}{(D'p/\sqrt{2})(0.4 \times 10^{-3})} \\
 &= 5,000 + 4\sqrt{2}/D'p \quad \dots\dots\dots (6)
 \end{aligned}$$

となる。

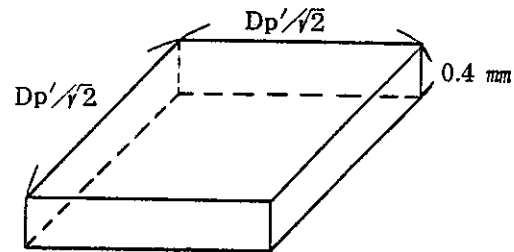


図 2-2 粒子形状

(2) スラッジ粒子の沈降速度の算出

1) 相当径の算出

表2-4のスラッジ組成の粒径に基づき(6)式によって粒子の体積基準の比表面積 S_v を求めて(5)式に代入して相当粒子径 D_p を算出した。

ϕ_s : 形状係数 0.73

表2-7に計算結果を示す。

表2-7 相当粒子径

| | | | | | | |
|---------------------|-------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|
| $D'p$ (m) | 0.0500×10^{-3} | 0.100×10^{-3} | 0.500×10^{-3} | 1.000×10^{-3} | 2.00×10^{-3} | 4.00×10^{-3} |
| S_v (m^2/m^3) | 1.181×10^5 | 6.157×10^4 | 1.631×10^4 | 1.066×10^4 | 7.828×10^3 | 6.414×10^3 |
| D_p (m) | 0.0696×10^{-3} | 0.133×10^{-3} | 0.504×10^{-3} | 0.771×10^{-3} | 1.05×10^{-3} | 1.28×10^{-3} |

2) スラッジの沈降速度の算出

(1)式、(2)式または(3)式を用いてスラッジ中のジルカロイおよびクラッド(鉄で代表)の沈降速度 U_t を算出した。

ρ_p : 粒子の密度 $6,520 \text{ kg/m}^3$ (ジルカロイ)、 $7,860 \text{ kg/m}^3$ (鉄)

g : 重力加速度 9.8 m/sec^2

ρ : 流体密度 $1,090 \text{ kg/m}^3$ (3N HNO_3 at 15°C)

μ : 流体粘度 $0.0011 \text{ kg/m} \cdot \text{sec}$ (3N HNO_3 at 15°C)

表2-8、表2-9に計算結果を示す。

表2-8 ジルカロイ粒子の沈降速度

| | | | | | | |
|---------------|-----------------------|----------------------|----------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| $D'p$ (m) | 0.05×10^{-3} | 0.1×10^{-3} | 0.5×10^{-3} | 1×10^{-3} | 2×10^{-3} | 4×10^{-3} |
| U_t (m/sec) | 0.016 | 0.054 | 0.20 | 0.31 | 0.42 | 0.49 |
| Re (-) | 1 | 7 | 101 | 237 | 440 | 616 |
| 適用式 | (1) | (2) | (2) | (2) | (2) | (3) |

表 2 - 9 鉄粒子の沈降速度

| | | | |
|-------------|-----------------------|----------------------|----------------------|
| D' p (m) | 0.05×10^{-3} | 0.1×10^{-3} | 0.5×10^{-3} |
| U t (m/sec) | 0.013 | 0.046 | 0.18 |
| Re (-) | 1 | 6 | 87 |
| 適用式 | (1) | (2) | (2) |

(3) 沈降速度算出のまとめ

沈降速度と粒径の関係を図 2 - 3 に示す。

垂直管内の流速が粒子の沈降速度より遅い場合粒子が沈降する。252V13から252D136へ至る吸い込み配管および271D101への垂直配管の流速は運転時各々0.20 m/sec (450 ℓ/hr)および0.19m/sec(250 ℓ/hr)なので計算上0.5 mm以上の粒子は、輸送されない。したがって、現在の運転条件では、0.5 mm以上の粒子は、252V13に滞留することになる。また何らかの要因により0.5 mm以上の粒子が水平配管内に運ばれても271D101に輸送されず水平配管内に滞留することになる。

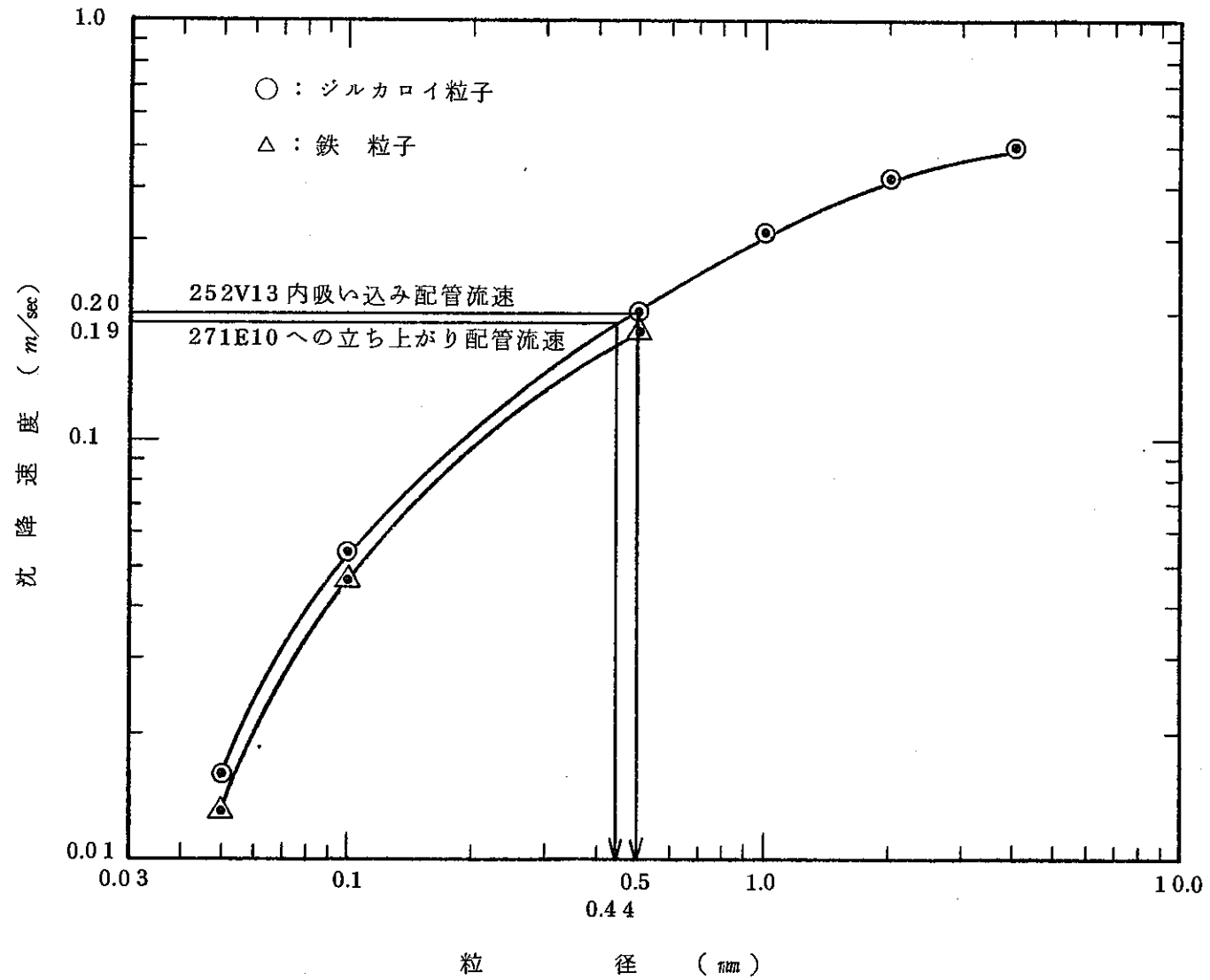


図2-3 沈降速度と粒径の関係

2.4 スラッジ粒子の限界流速の算出

(1) 水平配管のスラッジ輸送速度

スラッジ輸送の場合の実用流速は、スラッジの沈降による堆積防止の限界流速を算出することによって求められる。

一般には、限界流速は、沈降速度の4～5倍程度といわれている。

以下にいくつかの限界流速の算出式を示す。⁵⁾

1) ジュラン等の式

本式は、砂と水、石炭と水、鉄と灯油の組合せおよび鋼管、黄銅管に対してもよく合うということが発表されている。

$$V_{\ell} = F_{\ell} \sqrt{2gD (\rho_p - 1)} \quad \dots(7)$$

V_{ℓ} : 限界流速 (m/sec)

F_{ℓ} : 定数 (-)

g : 重力加速度 (=9.8 m/sec²)

D : 管径 (m)

ρ_p : 粒子比重 (-)

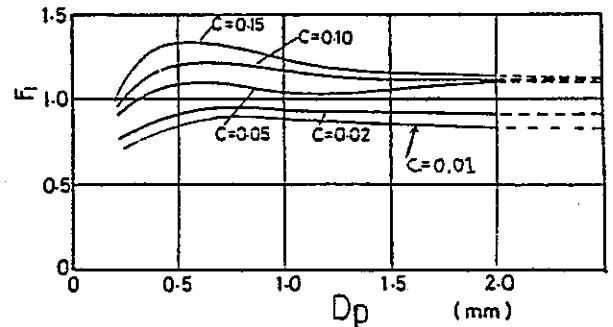


図2-4 D_p と F_{ℓ} の関係

2) スマルズイレフの式

スマルズイレフは、粒子群混合液 (粒径 $150\mu \sim 2.0$ mm) に対して次式を提示している。

$$V_{\ell} = C' \sqrt{D} \sqrt[3]{\frac{C (\rho_p - 1) V_{sg}}{\sqrt{D_p}}} \quad \dots\dots\dots (8)$$

$$V_{sg} = (1 - C)^n U_t \quad \dots\dots\dots (9)$$

$$n = 5 (1 - 0.2 \log Re)$$

ただし、 $1 < Re < 450$

C' : 定数 (=8～9)

C : スラッジ濃度 (-)

D_p : 粒子径 (m)

U_t : 沈降速度 (m/sec)

V_{sg} : 粒子群の干渉沈降速度

Re : 粒子レイノルズ数 (-)

(2) 水平配管のスラッジ輸送速度の計算

1) ジュラン等の式による算出

水平配管中でスラッジが堆積を初める限界流速 V_L を(7)式 (ジュラン等の式) を用いて算出した。なお、粒子径は「2.3 スラッジ粒子の沈降速度の算出」の中で使用した最大粒径 (4 mm) の相当粒子径: $D_p = 1.28\text{mm}$ の値を使用した。

F_L : 図 2-4 の D_p と F_L の関係のグラフでスラッジ濃度 $C = 0.01$ のときの値である。

g : 動力加速度 9.8 m/sec^2

D : 管径(32A) 0.0367 m

ρ_p : 粒子比重 (ジルカロイ) 6.52

以上の値を(7)式に代入し、限界速度 V_L を求めた。

$$V_L = 1.71 \text{ m/sec}$$

2) スマルズイレフの式による算出

スマルズイレフの式(8)を用いて限界流速 V_L を算出した。

まず、(9)式にて粒子群の干渉沈降速度 V_{sg} を求める。しかしながら 2.3 スラッジ粒子の沈降速度の算出で使用した最大粒径 (4 mm) の相当粒子径 (1.28 mm) の粒子レイノルズ数は 616 で(9)式のレイノルズ数の範囲には当てはまらない。そこで、相当粒子径 0.0696, 0.133, 0.504, 0.771, 1.05 (mm) の各相当粒子径の干渉沈降速度の値を算出し、図 2-5 のグラフから 1.28mm の値を外挿することによって求めた。

表 2-10 に濃度 $C = 0.01$ のときの各値の干渉沈降速度の計算結果を示す。

表 2-10 干渉沈降速度の計算結果

| | | | | | |
|---------------------------|--------|-------|-------|-------|------|
| 相当粒子径 : D_p (mm) | 0.0696 | 0.133 | 0.504 | 0.771 | 1.05 |
| 自由沈降速度 : U_t (m/sec) | 0.016 | 0.054 | 0.20 | 0.31 | 0.42 |
| 粒子レイノルズ数 : Re (-) | 1 | 7 | 101 | 237 | 440 |
| 干渉沈降速度 : V_{sg} (m/sec) | 0.015 | 0.052 | 0.91 | 0.30 | 0.41 |

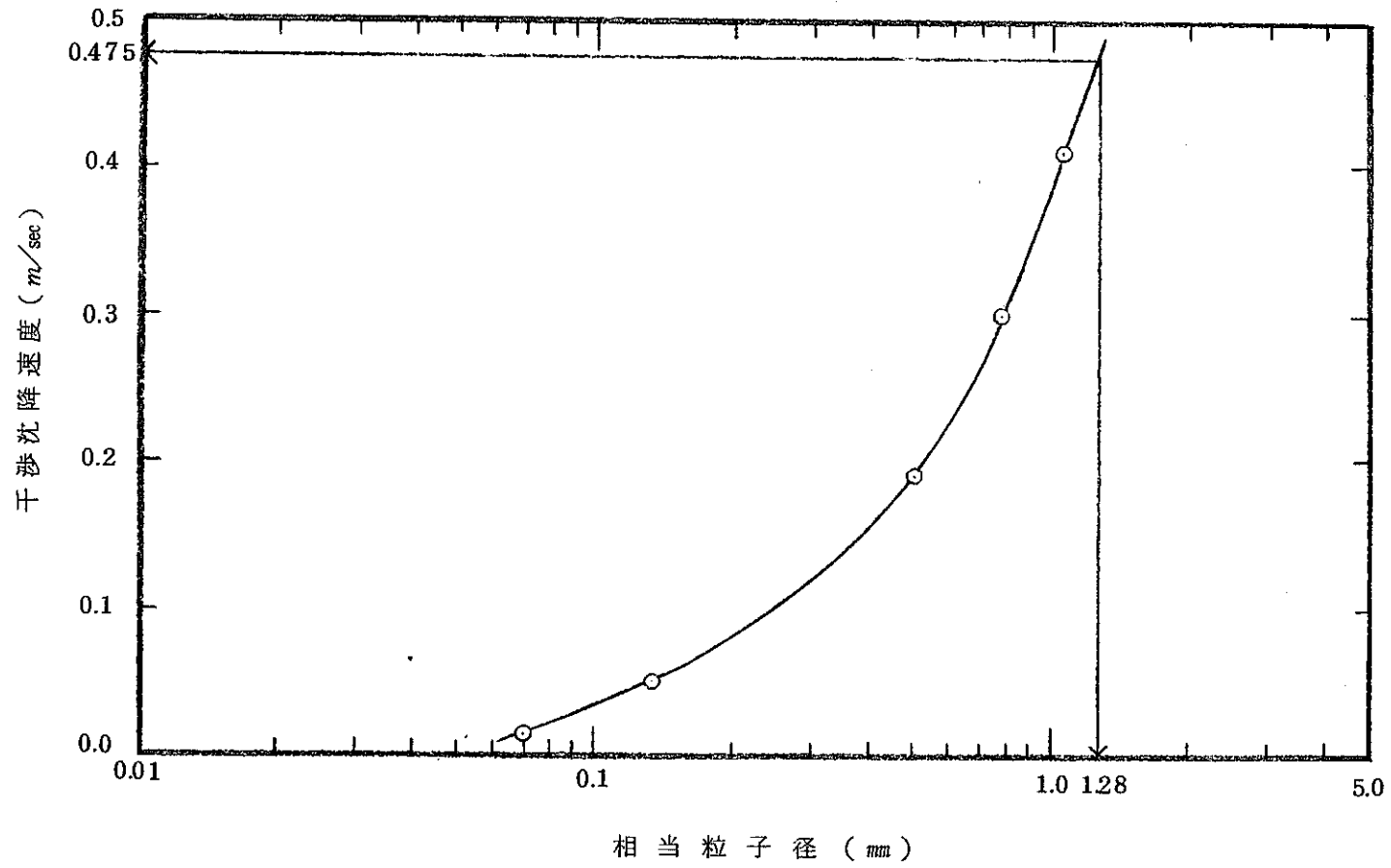


図 2 - 5 相当粒子径と干渉沈降速度の関係

以上の結果を図2-5のグラフに示す。

グラフから相当粒子径が1.28mmのときの干渉沈降速度は 0.475 m/secとなる。

次に(8)式を用いて限界流速 V_{L} を求めた。

$$\begin{aligned} C' : \text{定数} & \quad 9 \\ D : \text{管内径 (32A)} & \quad 0.0367 \text{ m} \\ \rho_p : \text{粒子比重 (ジルカロイ)} & \quad 6.52 \\ V_{\text{sg}} : \text{干渉沈降速度} & \quad 0.475 \text{ m/sec} \\ V_{\text{L}} = 1.55 \text{ m/sec} \end{aligned}$$

3) 限界流速の比較

ジュラン等の式とスマルズイレフの式で算出した相当粒子径1.28mmの限界流速の結果を表2-11に示す。

表2-11 計算結果の比較表

| | ジュラン等の式 | スマルズイレフの式 |
|-------------|---------|-----------|
| 限界流速(m/sec) | 1.71 | 1.55 |

スマルズイレフの式は細粗粒子の混じっている場合での式を適用したため限界流速はジュランの式で算出した値よりも小さいが両者の値は比較的良好一致している。

本スラッジ粒子は、細粗粒子が混合しているのでスマルズイレフの式を適用するのが妥当と考えられる。

4) 粒径の異なるスラッジ粒子の限界流速の算出

スラッジ中のジルカロイおよびクラッド（鉄で代表）の各粒子径に対する限界流速をスマルズイレフの式で算出すると表2-12、表2-13および図2-6の様になる。

表 2-12 ジルカロイ粒子の限界流速

| | | | | | | |
|--------------|--------|-------|-------|-------|------|------|
| 粒子径 (mm) | 0.05 | 0.1 | 0.5 | 1.0 | 2.0 | 4.0 |
| 相当粒子径 (mm) | 0.0696 | 0.133 | 0.504 | 0.771 | 1.05 | 1.28 |
| 限界流速 (m/sec) | 0.80 | 1.08 | 1.34 | 1.45 | 1.53 | 1.55 |

表 2-13 鉄粒子の限界流速

| | | | |
|--------------|--------|-------|-------|
| 粒子径 (mm) | 0.05 | 0.1 | 0.5 |
| 相当粒子径 (mm) | 0.0696 | 0.133 | 0.504 |
| 限界流速 (m/sec) | 0.80 | 1.10 | 1.40 |

水平配管内の流速は通常運転時 250 ℓ/hr なので、0.066 m/sec となり、252V13内から吸い上げられた粒子は図 2-6 より判断すると全て水平配管部に堆積すると考えられる。

しかしながら、ある程度スラッジ粒子が水平配管内に堆積すると管流路が狭められやがて限界流速となりスラッジが輸送されると考えられる。したがって、スラッジの堆積により完全に流路が塞がれることはない。

(3) 水平配管におけるスラッジ堆積高さの推定

「2.3 スラッジ粒子の沈降速度の算出」から現状の運転条件 (252V13よりの吸い込み量 450 ℓ/hr) では、約 0.5 mm以下の粒子が水平配管に輸送されてくる。表 2-12 より 0.5 mmの粒子径の限界流速は、1.34 m/secであり、上述のように現状の水平配管内の流速は、0.066 m/sec であるから、スラッジが堆積し、限界流速になった時の流路断面積が管断面積に占める割合は、

$$0.066/1.34 \times 100 = 4.9 \%$$

したがって、流路高さ/管内径=0.096

となるので、

$$\text{流路高さ} = 36.7 \times 0.096$$

$$= 3.5 \text{ (mm)}$$

$$\text{堆積高さ} = 36.7 - 3.5$$

$$= 33.2 \text{ (mm)}$$

となり、水平配管部の上部約 4 mm の流路を形成し、その下に約 33 mm のスラッジが堆積していることになる。

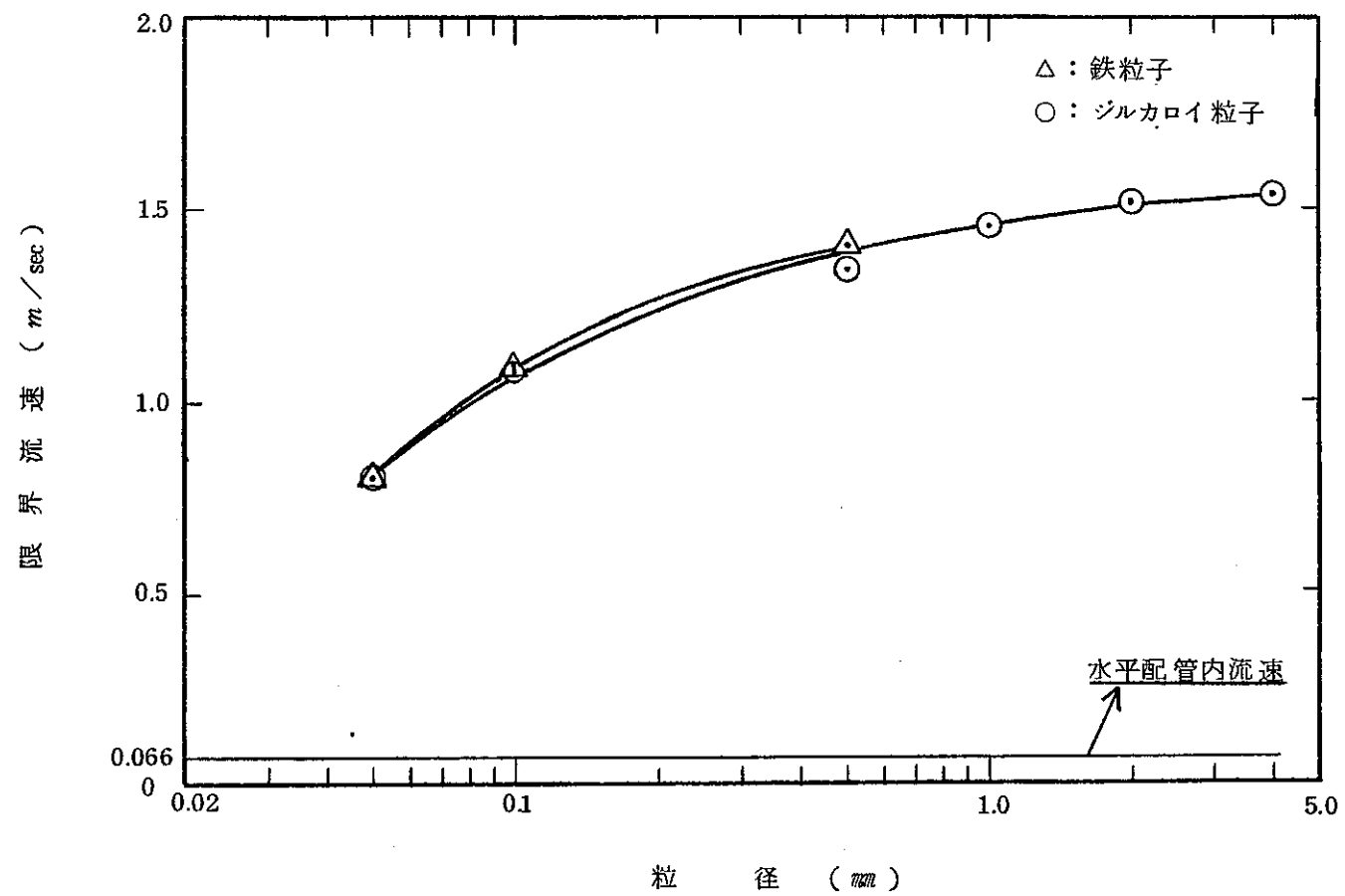


図2-6 粒径と限界流速の関係

2.5 エアリフト流量の算出

(1) バキュームとエアリフトによる揚液の原理

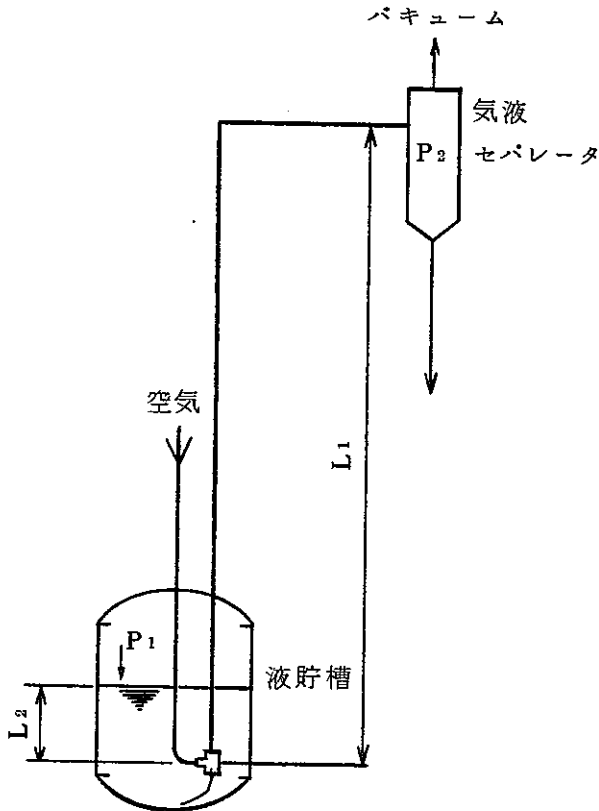


図2-7 バキュームとエアリフトによる揚液

液貯層内の液をバキュームにより、空気吹き込み口以上に吸い上げ、次いで空気を吹き込むことにより揚液を行わせる場合、圧力バランスより下式が成立する。

$$P_1 + \rho_L L_2 = P_2 + \rho_L L_1 (1 - \phi) + \rho_G L_1 \phi + \Sigma \Delta P \dots\dots\dots (10)$$

P_1 : 貯槽内圧力 (mmAq)

P_2 : 気液セパレータ内圧力 (mmAq)

ρ_L : 液密度 (kg/m^3)

L_1 : 気液部鉛直配管長 (m)

L_2 : 液面よりエア注入部までの深さ (m)

ϕ : ガスホールドアップ (-)

(気液2相流におけるガスの全体に占める体積比)

ρ_G : 空気密度 (kg/m^3)

ΔP : 配管内圧力損失 (mmAq)

配管内圧力損失としては、配管による圧力損失の外、エルボ・バルブなどによる圧力損失がある。

(2) ガス流速と液流速の相関

(1)項で示したガスホールドアップ ϕ を用いることによりガス側と液側の実流速は次のように表わされる。

$$\text{ガス側実流速} : V_G = (G/S \phi) \cdot (1/P) \cdot (1000/3600) \text{ (cm/sec)} \dots\dots (11)$$

$$\text{液側実流速} : V_L = L/S(1 - \phi) \cdot (1000/3600) \text{ (cm/sec)} \dots\dots (12)$$

G : 空気流量 (N ℓ /hr)

L : 揚液量 (ℓ /hr)

P : エアリフト部圧力 (atm)

(空気吸入口圧力と出口圧力の相加平均)

S : エアリフト配管断面積 (cm²)

ϕ : ガスホールドアップ (—)

図 2-8⁶⁾ にガス側実流速と液側実流速の相関関係を示す。

(3) 揚液に必要な空気流量の算出法

(10)式の圧力損失項 $\Sigma \Delta P$ および $P_0 \phi L_1$ の項は無視できると考えられるのでこのときのガスホールドアップ ϕ を計算する。次に(11)式で液側実流速 V_L を求め図 2-8 のグラフで V_L に対するガス側実流速 V_G を読み取り(12)式で空気流量 G を算出する。

(4) エアリフトの流動特性

エアリフト空気量の変化に伴う流動状態の変化を大別して図 2-9 に示す。

① ② ③ ④ ⑤ ⑥

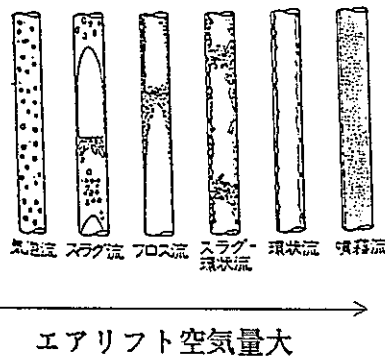


図 2-9 エアリフトの流動状態

流動状態は空気量が大きくなるにしたがって、順次左側から右側の図へと移行する。

空気量が比較的少ない場合には気液は図 2-9 の①のような気泡流の状態を上昇していくが、空気量が増大するにつれて配管中における気体部分の占める割合が増大し②のスラグ流の状態となる。

空気量の増大に伴って、揚液量も増大するが、さらに多くなると④、⑤のよう

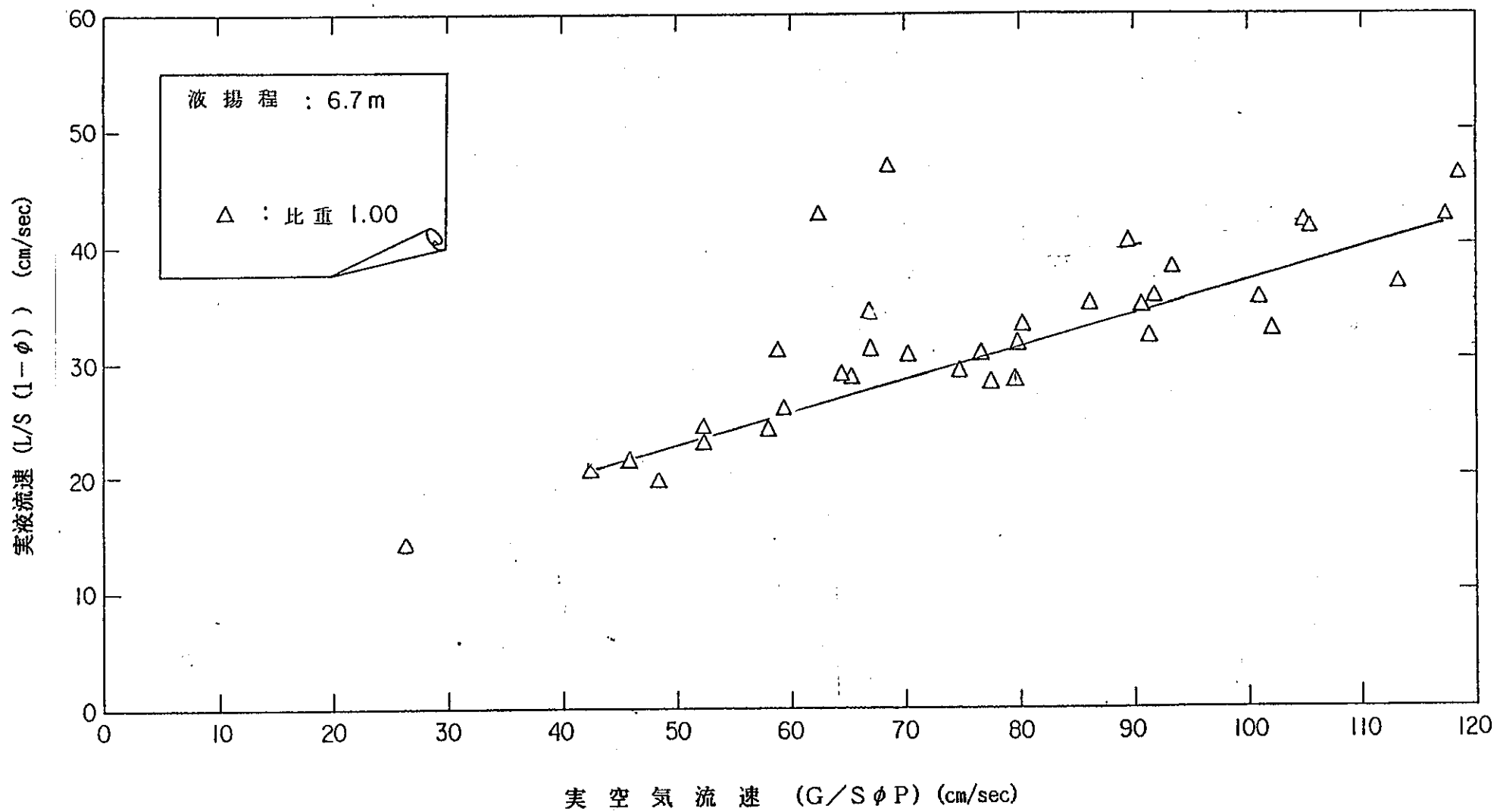


図 2-8 実空気流速と実液流速の相関

に液が配管の内壁部だけに存在し、配管の中心部をガスが吹き抜ける状態になる。

これを一般に環状流と呼び、この状態になると揚液量は大きく低下する。

既設配管の場合の流動状態は運転条件からスラグ流であると予想される。

(5) エアリフト用空気流量の算出

既設のエアリフトの揚液量は、既知であるが注入空気量は、既設に流量計がないため未知である。

したがって、現在の運転条件（252V13よりの吸い込み量 450 ℓ/hr、271D101 への揚液量 250 ℓ/hr）における空気量を算出した。

算出空気量は、モックアップ試験の参考になる。

1) 252A132 の空気量

252V13から252D136へ450 ℓ/hrの液を揚液するとき必要な空気流量を求めた。

図2-10に各機器の配置を示す。

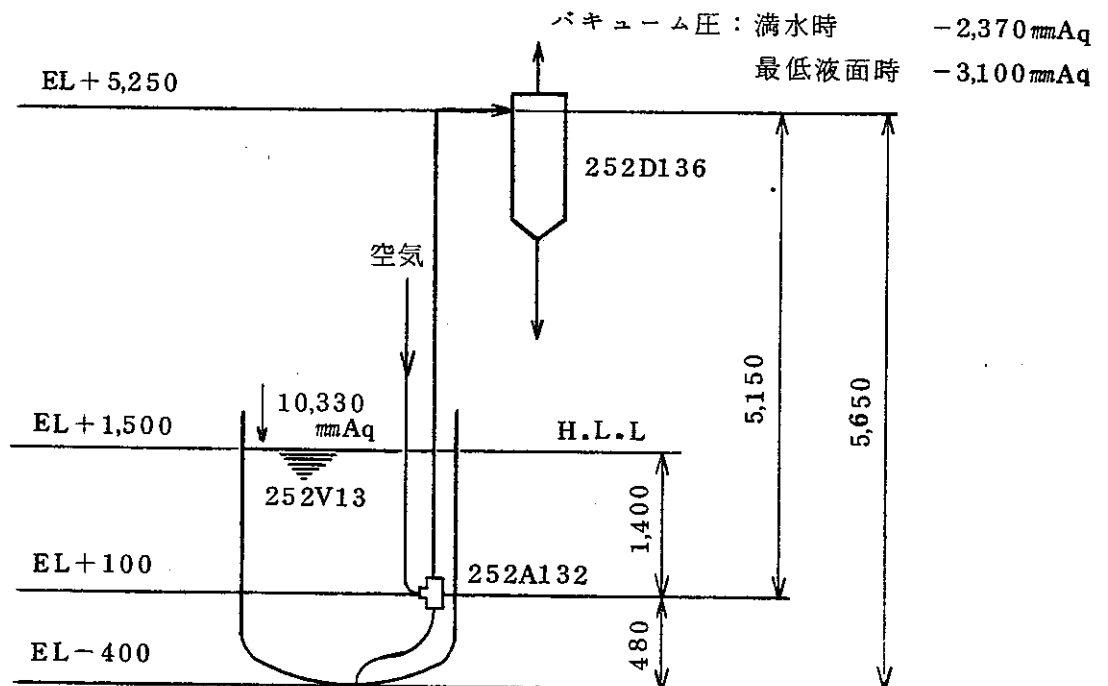


図2-10 各機器配置図

① ガスホールドアップ ϕ の算出

(10)式を用いてガスホールドアップ ϕ を算出する。

なお、圧力損失項および $\rho_L L_1 \phi$ の項は無視した。

P_1 : 大気圧 10,330 mmAq

P_2 : エアセパレータ内真空圧

満水時 -2,370 mmAq G

最低水面時 -3,100 mmAq G

ρ_L : 水の密度 1,000 kg/m³

L_1 : 気液部鉛直配管長 5.15 m

L_2 : 液面より空気注入部までの深さ

満水時 1.4 m

最低液面時 0 m

| 満水時 | | 最低液面時 |
|---|--|---|
| $10,330 + 1,000 \times 1.4$ | | $10,330 = 10,330 - 3,100 + 0.48 \times 1,000$ |
| $= 10,330 - 2,370 + 1,000 \times 5.15 (1 - \phi)$ | | $+ 1,000 \times 5.15 (1 - \phi)$ |
| $\phi = 0.27$ | | $\phi = 0.49$ |

② 液側実流速 V_L の算出

(12)式を用いて液側実流速 V_L を算出する。

L : 揚液量 450 ℓ/hr

S : エアリフト配管断面積 32A 6.15cm²

ϕ : ガスホールドアップ 満水時 : 0.27 、最低液面時 : 0.49

| 満水時 | | 最低液面時 |
|---|--|---|
| $V_L = \frac{450}{6.15(1-0.27)} \times \frac{1,000}{3,600}$ | | $V_L = \frac{450}{6.15(1-0.49)} \times \frac{1,000}{3,600}$ |
| $= 27.8 \text{ (cm/sec)}$ | | $= 39.9 \text{ (cm/sec)}$ |

③ 空気流量の算出

図2-8のグラフで V_L に対するガス側実流速 V_G を読み取り(1)式を用いて空気流量 G を算出する。

V_G : ガス側実流速満水時 : 68 cm/sec、最低液面時 : 114 cm/sec

S : エアリフト配管断面積 : 6.15cm²

ϕ : ガスホールドアップ 満水時 : 0.27、最低液面時 : 0.49

P : エアリフト部圧力

空気吸入口圧力と出口圧力の相加平均

(i) エアリフト部圧力 P の算出 (図2-10参照)

| 満水時 |
|--------------------------------------|
| ・空気吸入口圧力 |
| -3,100 + 5,150 (1-0.27) |
| = 659.5 (mmAq G) |
| ・出口圧力 |
| -3,100 (mmAq G) |
| ・相加平均 |
| $\frac{659.5 - 3,100}{2} = -1,220.3$ |
| (mmAq G) |
| よって $P = 0.88$ (atm) |

| 最低液面時 |
|--------------------------------------|
| ・空気吸入口圧力 |
| -2,370 + 5,150 (1-0.49) |
| = 256.5 (mmAq G) |
| ・出口圧力 |
| -2,370 (mmAq G) |
| ・相加平均 |
| $\frac{256.5 - 2,370}{2} = -1,056.8$ |
| (mmAq G) |
| よって $P = 0.90$ (atm) |

(ii) 空気流量 G の算出

(1)式に各値を代入し計算する。

| 満水時 |
|--|
| $68 = \frac{G}{6.15 \times 0.27 \times 1.88} \times \frac{1,000}{3,600}$ |
| $G = 357.7$ (Nℓ/hr) |

| 最低液面時 |
|---|
| $114 = \frac{G}{6.15 \times 0.5 \times 0.9} \times \frac{1,000}{3,600}$ |
| $G = 1,135.8$ (Nℓ/hr) |

2) 271A108 の空気量

271A108 によって271D101へ 250ℓ/hr の水を揚液するとき必要な空気流量を求めた。

計算は1)項と同様に行えばよい。

図2-11に各機器の配置を示す。

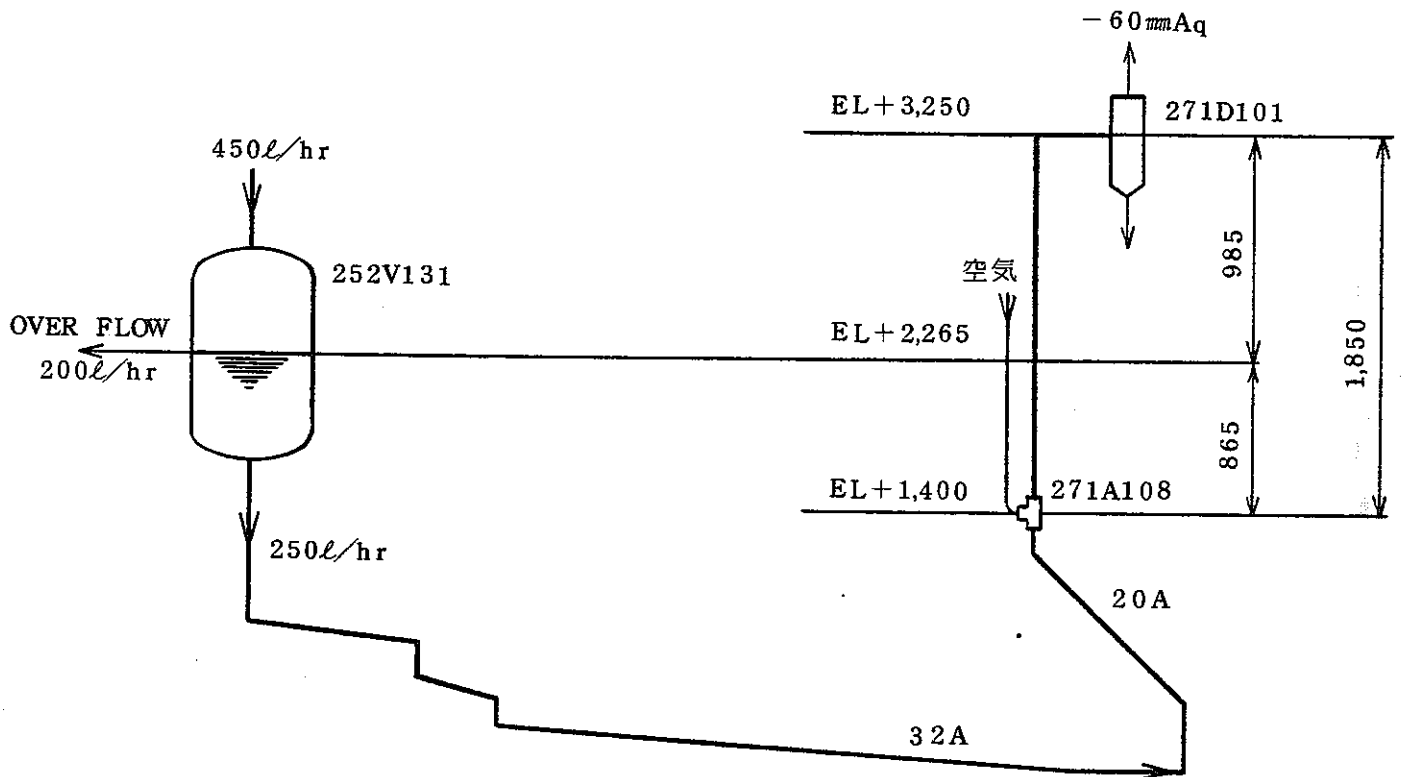


図2-11 各機器の配置図

① ガスホールドアップφの算出

(0)式において圧力損失項および $P_0 L_1 \phi$ 項目を無視し、このときのガスホールドアップφを計算する。

$$10,330 + 1,000 \times 0.865 = 10,330 - 60 + 1,000 \times 1.85(1 - \phi)$$

$$\phi = 0.50$$

② 液側実流速 V_L の算出

(2)式を用いて液側実流速 V_L を算出する。

S : エアリフト配管断面積 (20A) 3.59 cm^2

$$V_L = \frac{250}{3.59(1-0.50)} \times \frac{1,000}{3,600} = 38.7 \text{ (cm/sec)}$$

③ 空気流量 G の算出

まず、エアリフト部圧力 P を求める。(図 2-11 参照)

・ 空気吸入口圧力

$$-60 + 1,850(1-0.50) = 865 \text{ (mmAq G)}$$

・ 出口圧力

$$-60 \text{ (mmAq G)}$$

・ 相加平均

$$\frac{865-60}{2} = 402.5 \text{ (mmAq G)} = 1.04 \text{ (atm)}$$

(1)式を用いて空気流量 G を算出する。

V_g ガス側実流速 106.5 cm/sec (図 2-8 参照)

$$106.5 = \frac{G}{3.59 \times 0.50 \times 1.04} \times \frac{1,000}{3,600}$$

$$G = 715.7 \text{ (N} \ell \text{/hr)}$$

(6) エアリフト空気量の計算値と実測値の比較

計算値と後述するモックアップ試験において測定した実測値との比較を表 2-14 に示す。

表 2-14 計算値および実測値との比較

| | 252A132 空気流量 (N ℓ /hr) | | 271A108 空気流量 (N ℓ /hr) |
|-----|------------------------|---------|------------------------|
| | 満水時 | 最低液面時 | |
| 計算値 | 357.7 | 1,135.8 | 715.7 |
| 実測値 | 420 | — | 580 |

計算値と実測値の誤差は平均 20% である。

2.6 現状分析の結論

以上の運転データの分析、スラッジ粒子の沈降速度・限界流速の算出およびエアリフト流量の算出から以下のことが推定される。

(1) 詰まりの個所は、

- 1) 252V13から252D136 へ至る配管の下端（吸い込み口）
- 2) 252V131 から271D101 へ至る水平配管部

と推定される。

(2) 詰まり発生のプロセスは、

- 1) 252V13の吸い込み口については、吸い込み口より吸い込めない粒子（計算では粒径0.5 mmを越えるもの）の堆積により吸い込み流量が低下し、252V131 から271D101 へ供給している流量の方が大となり、252V131 の水封切れを起す。
- 2) 252V131 から252D101 へ至る水平配管部の流路がスラッジ粒子の堆積により狭められ（計算では、流路約4 mmすなわち管断面積の約10%）
 - ① スラッジ濃度が上昇した場合
 - ② 271D101 への送液量が著しく低下した場合

（水平配管部の流速が低下した場合）

水平配管部がスラッジ粒子により詰まり、271D101 へ送液できなくなるか、または流路が著しく狭められ271D101 への送液量が低下する。

と推察される。

(3) 詰まりの形態については、DWa の圧1.4 ~1.5 kg/cm²G、水量約1 m³で水平配管部の詰まりが解消される等のデータから詰まりは、閉塞（clogging）と言うよりむしろ架橋現象（bridge）であると考えられる。

(4) スパージング（252V13内）については、以下の理由により詰まりが発生し易くなると思われる。

- 1) スパージングを行うことにより252V13内の堆積スラッジが巻き上がりより高濃度のスラッジが配管に吸い込まれる。
- 2) スパージングにより微細スラッジが巻き上げられスラッジの干渉沈降速度が

小さくなりスラッジの沈降速度が個々の粒子より小さくなり、大粒径の粒子が配管に吸い込まれる。

- 3) スパージングによりスラッジ粒子に気泡が付着し、粒子の見掛け密度が小さくなり配管より吸い込まれる。
- (5) スラッジ粒子の沈降速度の計算から判断すると252V13に供給されたスラッジ粒子のうち0.5 mm以下の粒子（供給粒子の約40%）のみがエアリフトにより吸い込まれ残りの0.5 mmを越える粒子（供給粒子の約60%）は、252V13に蓄積される。
- (6) スラッジ粒子の限界流速の計算から判断すると水平配管部の管径の約90%はスラッジが堆積し、約10%は流路となり0.5 mm以下のスラッジ粒子が輸送されている。
- (7) エアリフト流量の計算から判断すると252V13の液を揚液している252A132 のエアリフトの空気流量は、252V13の液レベル63.2%から1.7%まで減る間中、揚液量が450 ℓ/hr で一定とすれば約0.4 m³/hr ～約1.1 m³/hr まで変化することになる。また271D101 へ揚液する271A108 のエアリフトの空気流量は揚液量が250 ℓ/hr とすれば約0.7 m³/hr である。

3. モックアップ試験

3.1 モックアップ装置の設計

モックアップ装置は、現状の装置をできるだけ模擬するため下記の点に留意して設計を行った。

- (1) 装置は、配管も含めて実寸通りとした。(ただし、271D101 より271E10に至る配管のように試験に直接影響を与えない部分については模擬しなかった。)
- (2) スラッジの挙動に重要な影響を及ぼす部分(例えば配管の傾き、曲り等)については、出来る限り実物の形状・機能を模擬した。
- (3) スラッジの挙動観察ができるよう、また改造がし易いよう材質は、透明塩ビとした。(ただし、252V13下部鏡部は透明塩ビでは製作困難なためSS41とした。しかし252V13胴部より鏡部を見る事が可能である。)
- (4) 流量計および液のサンプリングポイントなどを設け試験に必要なデータが採取できる装置とした。

モックアップ試験装置図を図3-1にモックアップ試験装置配管図を図3-2に示す。

この頁はPDF化されていません。
内容の閲覧が必要な場合は、技術資料管理
担当箇所では原本冊子を参照して下さい。

3.2 モックアップ予備試験

(1) 試験目的

予備試験においては、実際の運転条件を模擬した試験を行い、現状の詰まり発生のプロセスを観察すると共に現装置において詰まりを防止する運転条件に関する知見を得ることを目的とする。

- 1) 252V13底部における配管の詰まり発生プロセス
- 2) 252V13から271D101 に至る配管の詰まり発生プロセス
- 3) 現状の装置で詰まりを防止する運転条件の模索
について試験を行う。

(2) 試験装置

試験装置図は、図3-1に示す通りである。

(3) 試験条件

1) 模擬スラッジ物質および組成

模擬スラッジ物質は、「2.2 スラッジ組成の調査」で選定したスラッジ物質および組成を出来るだけ模擬するよう考慮した。したがってジルカロイとクラッドの模擬物質を調査した。

① ジルカロイ

スラッジ物質としてジルカロイそのものを使用しようとした場合以下の問題点がある。

- (i) 4mm～0.1mmの粒径のジルカロイを調製しようとするると微小粒子が発火する。(主成分のジルコニウムが発火する。)
- (ii) ジルカロイは、通常、管またはインゴットになっており、これを大量(数10ℓ)に粒状にすることは、技術的に難しい。

したがってジルカロイの密度($\rho = 6.52 \text{ g/cm}^3$)に近い密度を持つ模擬物質を金属単体、金属化合物、合金の中から選定し、比較検討を行った。

(ただし、貴金属、有害物質は除いた。)

表3-1 ジルカロイ模擬物質比較表

| 物質名 | 密度 | 長所 | 短所 |
|--------------------------|---------|-----------------------|----------------------------------|
| アンチモン (Sb) | 6.69 | ・0.1～10mm程度の粒径のものがある。 | |
| 酸化第一スズ (SnO) | 6.45 | ・密度がジルカロイに近い。 | ・粉末で粒状にするのが困難。 ・空気中で徐々に酸化される。 |
| 炭酸鉛 (PbCO ₃) | 6.5～6.6 | ・密度がジルカロイに近い。 | ・粉末状のものしかない。 (325メッシュ) |

表3-1よりジルカロイの模擬物質としては、アンチモンが最適であると判断した。なお、ジルカロイとアンチモンの密度差が沈降速度に与える影響は最大で (流体の密度1.09 = 3N HNO₃)

$$1 - \frac{6.69 - 1.09}{6.52 - 1.09} = -0.031$$

となり、約3%の誤差であるから問題ない。

② クラッド

平均的なクラッドの組成を表3-2に示す。

表3-2 クラッドの組成¹⁾

| 構成元素 | 密度 (g/cm ³) | 重量 % | 平均重量 % |
|------|-------------------------|-------|--------|
| Fe | 7.86 | 50～90 | 70 |
| Cr | 7.19 | 2～20 | 11 |
| Ni | 8.85 | 8～30 | 19 |

以下の理由によりクラッドは、鉄により代表させることにした。

- (i) クラッドの大部分 (平均70%) は、鉄であること。
- (ii) クラッドのスラッジ組成に占める割合が少なく、かつ小粒径なのでク

ラッド中の他の微量元素を鉄に置き換えてもスラッジ全体の組成および沈降性に大きな影響を与えないこと。

しかしながら鉄は、水中で酸化され密度が変わるため鉄の模擬物質を選定し比較・検討を行った。(選定基準は、ジルカロイ模擬物質選定と同じである。)

表3-3 クラッド模擬物質比較表

| 物質名 | 密度(g/cm ³) | 長所 | 短所 |
|-----------------------------|------------------------|----------------------|---------|
| セメント (Fe ₃ C) | 7.66 | ・鉄化合物であること。 | ・入手困難 |
| はんだ (Sn90%+Pb10%) | 7.68 | ・0.1~0.5mmの粒径のものがある。 | ・調製が難しい |

表3-3よりクラッドの模擬物質として、はんだ(Sn90%+Pb10%)が適切であると判断した。なお、密度誤差が沈降速度に与える最大誤差は

$$1 - \frac{7.68 - 1.09}{7.86 - 1.09} = 0.027$$

となり約3%であるから問題ない。

③ 模擬スラッジ組成

模擬スラッジの組成は、「2.2 スラッジ組成の調査」で選定した組成と同一とした。

しかし、組成のうち>4mmについては、計算によると現在の運転条件ではエアリフトによって輸送されないため、JIS規定の4,000μのフルイのすぐ上のフルイである4,760μのふるい下を上限値とした。

また<0.1mmについては、スラリー配管により輸送されと推定されるので特に下限は設定しなかった。

以上より模擬スラッジ組成は、表3-4のようになる。

表3-4 模擬スラッジ組成

| 粒 径 (mm) | 組 成 (wt%) | | |
|-------------|-----------|------------------|-------|
| | アンチモン(Sb) | はんだ(Sn90%+Pb10%) | 合 計 |
| 4.76~4 | 4.6 | | 4.6 |
| 4~2 | 25.2 | | 25.2 |
| 2~1 | 25.2 | | 25.2 |
| 1~0.5 | 16.0 | | 16.0 |
| 0.5~0.1 | 10.7 | 10.7 | 21.4 |
| <0.1 | 3.8 | 3.8 | 7.6 |
| 合 計 | 85.5 | 14.5 | 100.0 |

2) 模擬スラッジ濃度および重量

模擬スラッジ濃度は、文献値⁹⁾を参考とし事業団殿と協議の上、以下の推定値を採用した。すなわち、

$$\begin{aligned} \text{スラッジ濃度} &= 2 \text{ kg} / 2,400 \text{ ℓ 高放射性廃液} \\ &= 0.833 \text{ W/V\%} \end{aligned}$$

また、252V13の1バッチ処理量は、4,700 ℓであるから、252V13中のスラッジ重量は、

$$\begin{aligned} \text{スラッジ重量} &= 2 \text{ kg} \times 4,700 / 2,400 \\ &= 3.92 \text{ kg} \end{aligned}$$

となる。したがって、ジルカロイを模擬するアンチモンおよびクラッドを模擬するはんだの重量は、各々

$$\text{アンチモン重量} = 3.92 \times 0.855 = 3.35 \text{ (kg)}$$

$$\text{はんだ重量} = 3.92 \times 0.145 = 0.57 \text{ (kg)}$$

となる。1バッチ処理量中の模擬スラッジの重量分布を表3-5に示す。

表 3-5 模擬スラッジの重量分布 (1 バッチ中)

| 粒 径 (mm) | 重 量 (kg) | | |
|-------------|-----------|------------------|-------|
| | アンチモン(Sb) | はんだ(Sn90%+Pb10%) | 合 計 |
| 4.76~4 | 0.180 | | 0.180 |
| 4~2 | 0.988 | | 0.988 |
| 2~1 | 0.988 | | 0.988 |
| 1~0.5 | 0.627 | | 0.627 |
| 0.5~0.1 | 0.419 | 0.419 | 0.838 |
| <0.1 | 0.419 | 0.419 | 0.298 |
| 合 計 | 3.351 | 0.568 | 3.919 |

3) 模擬高放射性廃液

実際の高放射性廃液は 3N HNO₃であるが、表 3-6 に示すようにスラッジの輸送に影響を及ぼす密度、粘度が水に近いので、水を模擬 HAW 溶液とする。

表 3-6 密度および粘度の比較⁷⁾ (at 15℃)

| | 密度 (g/cc) | 粘度 (cp) |
|----------------------------------|-----------|---------|
| 高放射性廃液 (3N HNO ₃) | 1.09 | 1.1 |
| 水 | 1.00 | 1.1 |

4) 運転条件

予備試験において行う運転条件を表 3-7 に示す。

運転条件は、実際の運転条件を模擬するもの (2 種類) と詰まりを防止する運転条件 (1 種類) の 3 種類である。

表 3-7 予備試験運転条件

| 試験No. | 吸込量 | 送液量 | 循環量 | スージング | 送液パターン |
|-------|-------------------|---|----------|---------------------|---|
| 1 | 450 ℓ/hr | 250 ℓ/hr | 200 ℓ/hr | 無 | 実際の送液パターン (10 時間送液) |
| 2 | 同上 | 同上 | 同上 | 10分間スージング 20分間停止 | 同上 |
| 3 | エアリフトで 可能な最大流量 | (注1) 5.4m ³ /hr以上 (252V131に 水をメイクアップ) | ≒ 0 ℓ/hr | 無 | スラッジの吸い込み がなくなった時点 でスラッジと水を メイクアップ |

(注1) 水平配管におけるスラッジ輸送の限界流速計算値 1.55 m/secの流量

(「2.4 スラッジ粒子の限界流速の算出」参照)

(4) 試験方法

1) 通常の運転条件における試験 (試験No.1)

- ① 252V131 に水を供給し、252V131 から252V13へ水がオーバーフローした時点で供給をストップする。
- ② 271E10に水を供給し、271D101 より271E10に至る配管を約 50 mm水封する。
- ③ 252V13に水4,700 ℓを張り込む。
- ④ 予め混合しておいた模擬スラッジ3.92kgを252V13に少しずつ投入する。
- ⑤ 252P03を稼働させ252D136 の真空度を-2,370 mmAqにセットする。
- ⑥ 271P02を稼働させ271D101 の真空度を-60mmAqにセットする。
- ⑦ 252A132 エアリフトを作動させ、252V13よりの液の吸い込み量が 450 ℓ/hr になるよう空気量を調節する。
- ⑧ 271A108 エアリフトを作動させ271E10への送液量が 250 ℓ/hr になるよう空気量を調節する。
- ⑨ 252V13の液レベルの低下に伴い、252D136の真空度が図 3-3 にしたがうよう252P03を自動調節する。
- ⑩ 252V13より271E10へ10時間送液した後全系をストップする。

- ① 252V13に水をメイクアップし、全量を 4,700ℓとする。
- ② ④～①を 2 回繰り返し合計 3 バッチの送液を行う。
- ③ 移送配管に詰まりが生じない場合は、送液時252V13よりスラッジの吸い込みが認められなくなった時点で模擬スラッジ 3.9 2 kgを252V13に徐々に投入し、メイクアップする。(加速試験)
- ④ ⑩にもどり詰まりが発生するまで試験を継続する。
(ただし、3 バッチの送液は行わない。)

2) スパージングを行う運転条件における試験 (試験No.2)

- ① 1)の①～④を行う。
- ② スパージングを開始する。スパージングは、スラッジの均一攪拌が起る最少流量とする。(予めスパージングエア量を変え252V13底部より 20 mm (吸い込み口)、50mm、100 mmの高さのサンプリングを行い、スラッジ濃度、粒径分布がほぼ等しくなる最少流量を決定する。)
- ③ 1)の⑤～⑧を行う。
- ④ スパージングを行いながら 10 分間送液し、次いでスパージングを 20 分間止め送液するパターンを繰り返す。
- ⑤ 1)の⑨～⑭を行う。

3) 詰まりを防止する運転条件における試験 (試験No.3)

- ① 1)の①～④を行う。
- ② 252P03を稼働させ252D136 の真空度を既設の最高許容真空度に $-2,900\text{mm Aq}$ にセットする。
- ③ 271P02を稼働させ271D101 の真空度を既設の最高真空度 -500 mmAq にセットする。
- ④ 252A132 エアリフトを作動させ、252V13よりの液の吸い込み量を最大とする。(4 mmの粒子の沈降速度計算値 0.5 m/sec 、流量 $1.1\text{ m}^3/\text{hr}$ 以上とする。「2.3 スラッジ粒子の沈降速度の算出」参照。)
- ⑤ モックアップ装置で新たに271D101 への下部配管に取り付けた271A108 エアリフトを作動させ最大流量を271B10へ送液する。

- ⑥ さらに252V131 に水をメイクアップし271E10への送液速度をスラッジ輸送の限界流速計算値 (1.55 m/sec、5.4 m³/hr 程度) 以上とするよう試みる。
- ⑦ 252V13よりの吸い込みがなくなった時点で全系をストップさせる。
- ⑧ 252V13に水をメイクアップし全量を 4,700 ℓ とし、模擬スラッジ3.92kg を少しずつ投入する。
- ⑨ ②～⑧を繰り返し252V13のスラッジの累積の有無、移送配管の詰まりの有無について観察する。

(5) 測定項目

- 1) 配管全域にわたるスラッジ堆積量の分布
堆積個所をカラー写真撮影する。堆積量は配管中の堆積高さより算出する。
- 2) 252V13中および配管中のスラッジの流れおよび堆積物の挙動
カラーVTR (VHS) により撮影する。
- 3) 詰まり発生形態
カラー写真撮影する。
- 4) 装置の各サンプリングポイントにおける粒度分布
粒度分布は、フルイ分け法で行う。

(6) 検討項目

以上の試験結果を整理し、以下の項目について検討する。

- 1) スラッジの堆積から詰まりの発生までのプロセス
(252V13底部配管の詰まりおよびスラッジ輸送配管の詰まり)
- 2) スラッジの堆積および詰まりの発生し易い個所
- 3) 現状の装置における送液方法

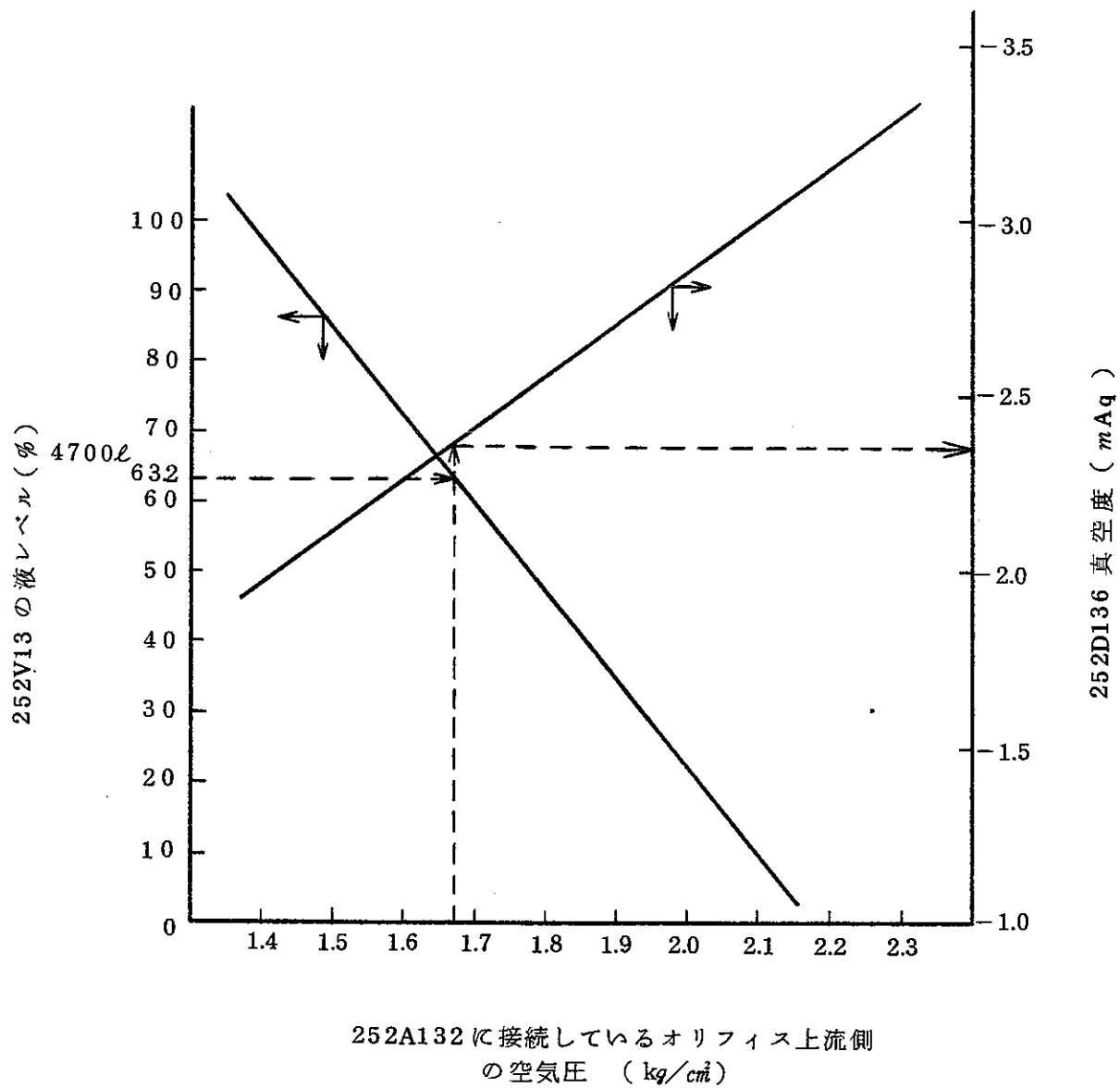


図 3 - 3 252V13 の液レベルと 252D136 の真空度の関係

(7) 試験結果および考察

1) 通常の運転条件における試験 (試験No.2)

① 運転状況

まず試験に先だって測定したエアリフト空気量と揚液量の相関を図3-4、図3-5に示す。また、スラッジ1バッチ (3.92 kg) 投入時の運転データを表3-8に示す。

表3-8 スラッジ1バッチ投入時の運転データ

| | 運転開始時 | 1 hr後 | 2 hr後 | 3 hr後 |
|-----------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| 252A132 空気量 (Nm ³ /hr) | 0.39 | 0.39 | 0.39 | 0.39 |
| 252A132 揚液量 (ℓ/hr) | 425 | 418 | 398 | 378 |
| 吸い込み配管内流速 (m/sec) | 0.192 | 0.189 | 0.180 | 0.171 |
| 271A108 空気量 (Nm ³ /hr) | 0.61 | 0.61 | 0.61 | 0.61 |
| 271A108 揚液量 (ℓ/hr) | 255 | 249 | 250 | 247 |
| 271E10への立ち上がり配管内流速 (m/sec) | 0.225 | 0.220 | 0.221 | 0.218 |
| 水平配管内流速 (m/sec) | 0.074 | 0.072 | 0.072 | 0.071 |
| 252V13内液レベル (%) | 63.2 | 61.3 | 58.0 | 55.3 |
| 252V131 内液レベル (mm) | 380 | 380 | 378 | 377 |

| | 4 hr後 | 5 hr後 | 6 hr後 | 7 hr後 |
|-----------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| 252A132 空気量 (Nm ³ /hr) | 0.39 | 0.39 | 0.39 | 0.39 |
| 252A132 揚液量 (ℓ/hr) | 375 | 370 | 353 | 330 |
| 吸い込み配管内流速 (m/sec) | 0.169 | 0.167 | 0.159 | 0.149 |
| 271A108 空気量 (Nm ³ /hr) | 0.61 | 0.61 | 0.61 | 0.61 |
| 271A108 揚液量 (ℓ/hr) | 241 | 246 | 245 | 246 |
| 271E10への立ち上がり配管内流速 (m/sec) | 0.213 | 0.218 | 0.217 | 0.218 |
| 水平配管内流速 (m/sec) | 0.070 | 0.071 | 0.071 | 0.071 |
| 252V13内液レベル (%) | 52.1 | 49.3 | 46.5 | 43.6 |
| 252V131 内液レベル (mm) | 370 | 372 | 371 | 373 |

表 3 - 8 続き

| | 8 hr後 | 9 hr後 | 10hr後 |
|-----------------------------------|-------|-------|-------|
| 252A132 空気量 (Nm ³ /hr) | 0.39 | 0.39 | 0.39 |
| 252A132 揚液量 (ℓ/hr) | 328 | 315 | 300 |
| 吸い込み配管内流速 (m/sec) | 0.148 | 0.142 | 0.135 |
| 271A108 空気量 (Nm ³ /hr) | 0.61 | 0.61 | 0.61 |
| 271A108 揚液量 (ℓ/hr) | 243 | 242 | 234 |
| 271E10への立ち上がり配管内流速 (m/sec) | 0.215 | 0.214 | 0.207 |
| 水平配管内流速 (m/sec) | 0.070 | 0.070 | 0.068 |
| 252V13内液レベル (%) | 40.1 | 37.3 | 34.1 |
| 252V131 内液レベル (mm) | 363 | 367 | 355 |

10時間運転後表3-8に示す様に詰まりは発生しなかったので加速試験を行った。

スラッジ33.5バッチ (131.32kg) 投入後252V13内の水を入れ替えて内部を目視できる状態にして試験を行った。また、252V13内の吸い込み配管の性能は吸い込み口の近傍だけであるため、スラッジをメイクアップするかわりに本試験では、人為的に吸い込み口の回りにスラッジをかき寄せ252V13内の吸い込み口のスラッジ堆積高さを高くする方法に変更したこの時の運転データを表3-9に示す。

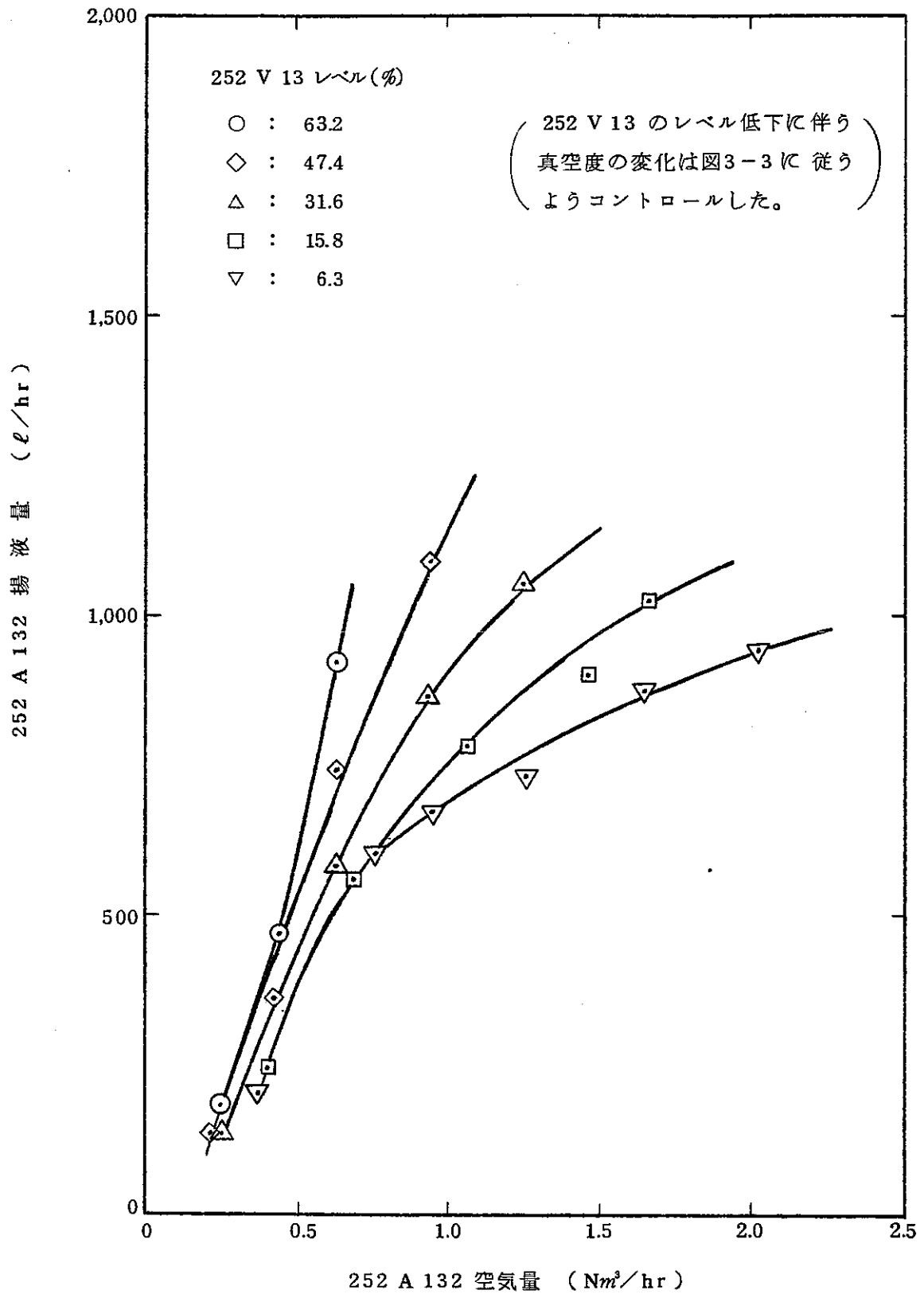


図 3-4 252 A 132 空気量と揚液量の関係

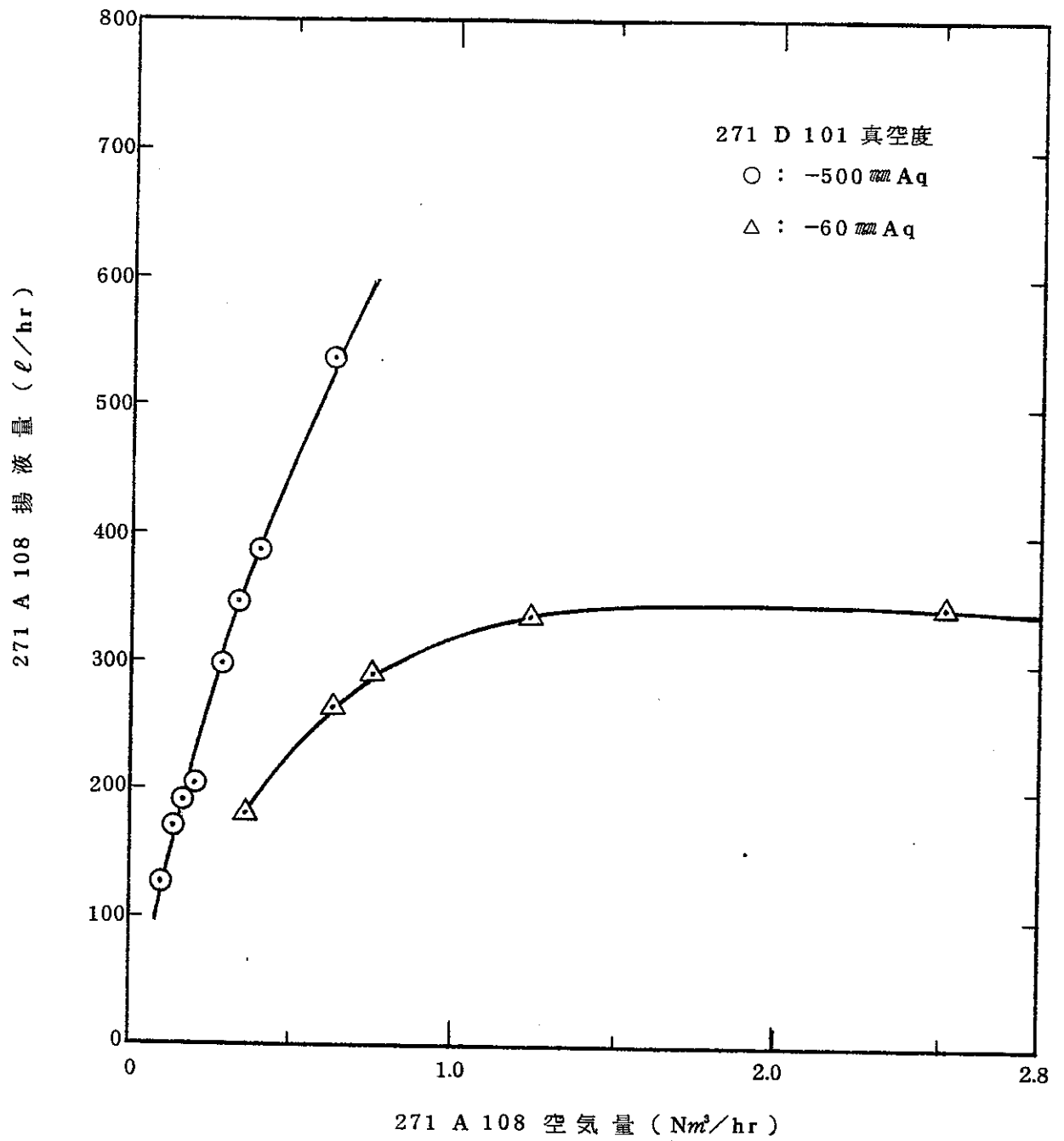


図 3-5 271 A 108 エアリフト空気量と揚液量の相関

表 3 - 9 加速試験時運転データ

| | I | II | III | IV | V |
|-----------------------------------|-------|-------|-------|-------|------|
| 252A132 空気量 (Nm ³ /hr) | 0.40 | 0.40 | 0.39 | 0.39 | — |
| 252A132 揚液量 (ℓ/hr) | 318 | 310 | 246 | 130 | — |
| 吸い込み配管内流速 (m/sec) | 0.143 | 0.140 | 0.111 | 0.059 | — |
| 271A108 空気量 (Nm ³ /hr) | 0.61 | 0.61 | 0.61 | 0.61 | — |
| 271A108 揚液量 (ℓ/hr) | 244 | 249 | 238 | 156 | — |
| 271E10への立ち上がり配管内流速 (m/sec) | 0.216 | 0.220 | 0.210 | 0.138 | — |
| 水平配管内流速 (m/sec) | 0.070 | 0.072 | 0.069 | 0.045 | — |
| 252V13内液レベル (%) | 53.7 | 53.1 | 51.8 | 50.6 | 50.6 |
| 252V131 内液レベル (mm) | 380 | 373 | 368 | 229 | 0 |

I → Vにしたがって252V13内の吸い込み口スラッジ堆積高さを高くした。
 そしてVにおいて252V131 が水封切れを起こしたので運転を停止した。

② 詰まりの発生プロセス

(i) 252V13内の吸い込み口

表 3 - 9 に示すように252V13内のスラッジ堆積量が増加するにしたがって吸い込み口にスラッジが詰まるので252A132 エアリフトの揚液量が減少していく。したがって、スラッジ堆積高さが高くなると252A132 エアリフト揚液量より、271A108 エアリフト揚液量の方が多くなり、需給のバランスがくずれ、252V131 のレベルが減少しだし、ついには水封切れを起こし、揚液が停止する。

現状の運転においても、この現象が多く発生している。

(「2.1 運転データの分析」参照)

この時の吸い込み口の状態を図 3 - 6 に示す。

(ii) 水平配管部

試験終了時、スラッジは水平配管部 1 (図 3 - 2 配管図参照) に大

部分が堆積しているが、詰まるまでには到らなかった。

この時の状態を図3-7に示す。

また、水平配管部の堆積スラッジ粒度分布をフルイ分け法で測定すると、表3-10、表3-11の様になる。

表3-10 水平配管部1~3堆積スラッジ粒度分布

| 粒径 (mm) | スラッジ重量(g) | 重量 % | 積算重量 % |
|--------------|-----------|-------|--------|
| >4.76 | 0 | 0 | 0 |
| 4.76~4.00 | 0 | 0 | 0 |
| 4.00~2.00 | 0 | 0 | 0 |
| 2.00~1.00 | 0.154 | 0.2 | 0.2 |
| 1.00~0.50 | 20.845 | 20.9 | 21.1 |
| 0.50~0.105 | 65.915 | 66.1 | 87.2 |
| 0.105 ~0.074 | 12.753 | 12.8 | 100.0 |
| 合計 | 99.667 | 100.0 | |

表3-11 水平配管部4~6堆積スラッジ粒度分布

| 粒径 (mm) | スラッジ重量(g) | 重量 % | 積算重量 % |
|--------------|-----------|-------|--------|
| >4.76 | 0 | 0 | 0 |
| 4.76~4.00 | 0 | 0 | 0 |
| 4.00~2.00 | 0 | 0 | 0 |
| 2.00~1.00 | 0.022 | 0.4 | 0.4 |
| 1.00~0.50 | 0.979 | 17.4 | 17.8 |
| 0.50~0.105 | 3.537 | 62.8 | 80.6 |
| 0.105 ~0.074 | 1.095 | 19.4 | 100.0 |
| 合計 | 5.633 | 100.0 | |

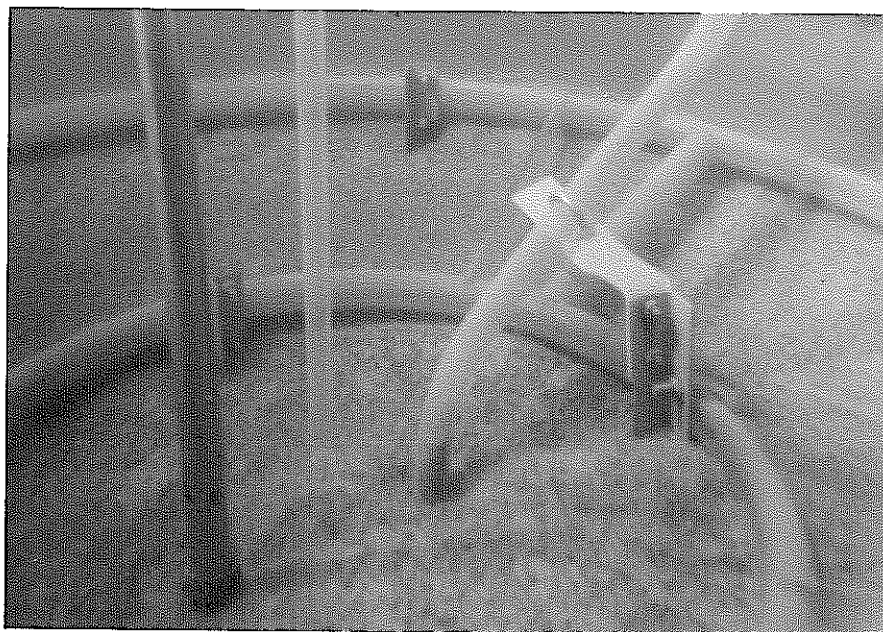


図 3 - 6 試験終了時252V13内の吸い込み口の状態

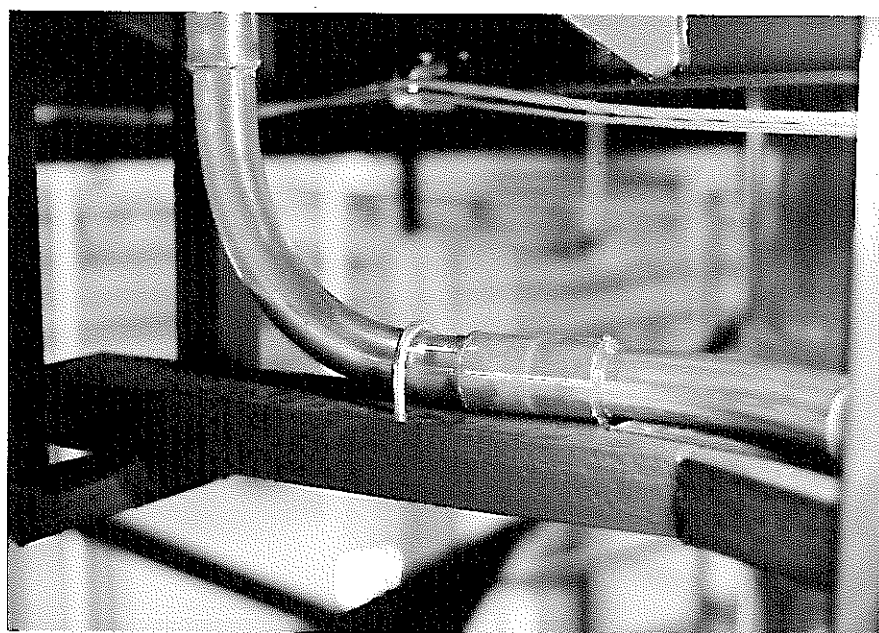


図 3 - 7 試験終了時水平配管部1のスラッジ堆積状態

また、積算分布曲線を図3-8に示す。この時の平均粒径（50%径またはメジアン径）は、図3-8より表3-12に示す通りになる。

表3-12 水平配管部における堆積スラッジ平均粒径

| | 平均粒径 (mm) |
|-----------|-----------|
| 水平配管部 1～3 | 0.24 |
| 水平配管部 4～6 | 0.20 |

以上より水平配管部には、主に粒径が0.074～2.00mmのスラッジが堆積しているのがわかる。

「2.3 スラッジ粒子の沈降速度の算出」において、252V13より吸い込まれる粒径（すなわち水平配管に堆積する粒径）は0.5mm以下と推定したが、本試験では2.0mm未満となっている。

推定値よりかなり大きい粒径まで252V13より吸い込まれる理由の1つに252V13よりの吸い込み流量のハンチングがある。

すなわち図3-9に示すように吸い込み流量（揚液量）が50ℓ/hr～800ℓ/hr（積分計で平均すると450ℓ/hr）、吸い込み配管流速換算で0.023 m/sec～0.361 m/sec（1.3mm以下の粒子を吸い上げる速度）と変動する。したがって、2.0mm未満の粒子も瞬間的に吸い込まれるのではないかと推定される。

このハンチングの理由は、エアリフト252A132の空気量が少ないため（約0.4 m³/hr）、空気が吸い込みラインに注入される間隔が長くなり、空気が注入された時は、エアリフトにより急激に揚液量が上昇するが、注入されない時は、逆に液が管壁を伝わって下方の気泡部に流れる現象のため揚液量は、著しく低下するためと考えられる。ちなみにもう一方のエアリフト271A108は空気量が約0.6 m³/hrと252A132より多いため図3-9からも明らかなようにハンチング

幅は狭い。また、252V13の堆積スラッジの粒径を2.0 mm以上とすれば1 バッチ (3.92kg、約1 ℓ) のうち1.17kg、約300cc(29.8%) のスラッジが堆積していることになる。

例えば 100バッチ投入しているとすれば 117kg、約30 ℓが堆積していると考えられる。

③ まとめ

以上より通常の運転条件における試験では

- (i) 詰まりは、252V13内の吸い込み口にて最初に発生すると考えられる。
- (ii) 吸い込みスラッジ粒子の粒径は、2.00mm未満 (平均0.2 mm程度) であった。
- (iii) 吸い込み液流量 (揚液量) は50 ℓ/hr ~800 ℓ/hr (平均 450 ℓ/hr) と著しくハンチングする。

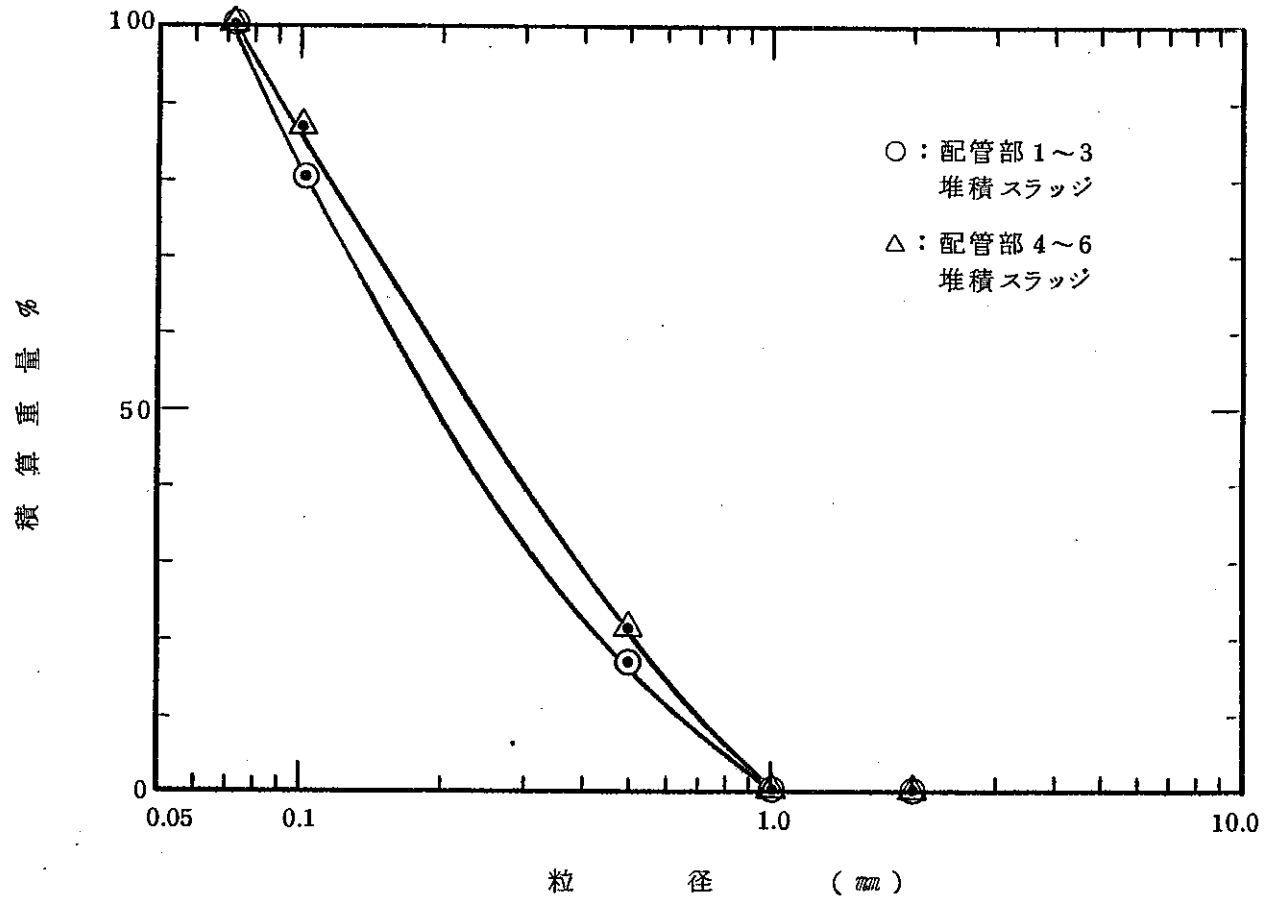
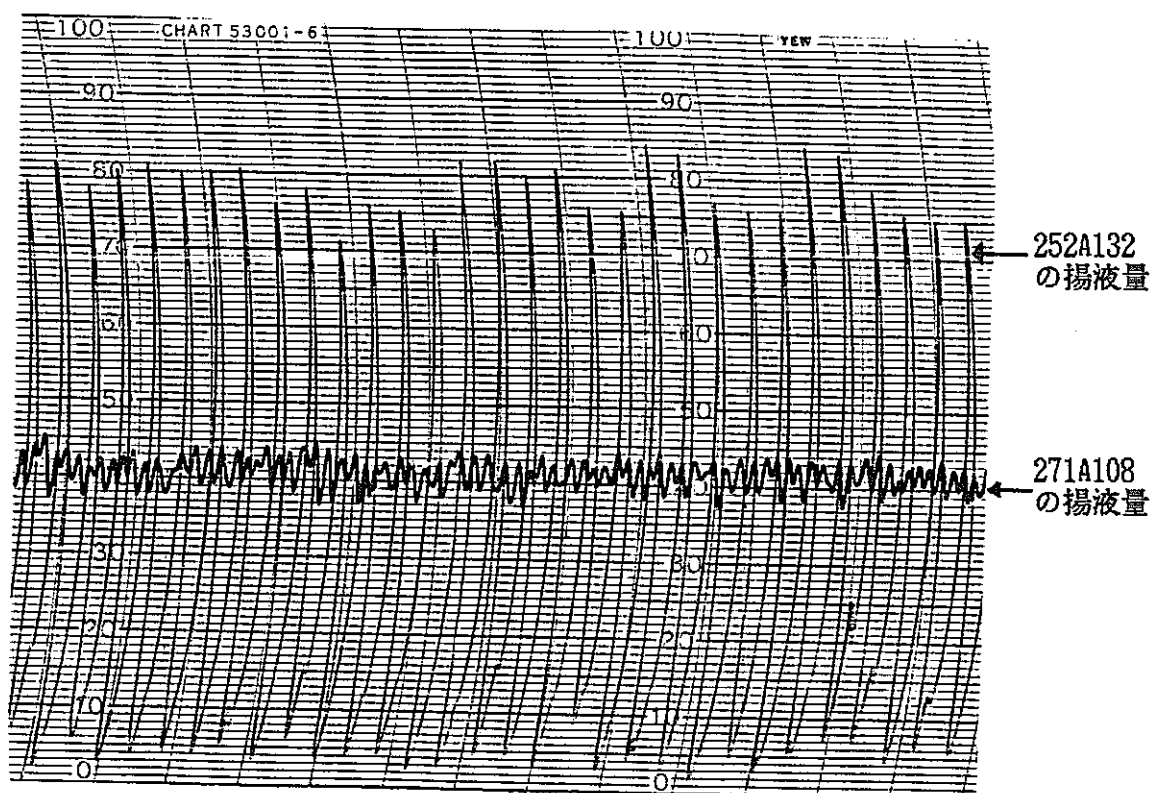


図 3-8 スラッジの重量積算分布



(注) 図のスケールは252A132 が0～1000 ℓ/hr、271A108 が0～500 ℓ/hr である。

図3-9 エアリフト流量のハンチング

2) スパージングを行う運転条件における試験 (試験No.2)

① 最少スパージングエア量を求める試験

スパージング試験のサンプル液中のスラッジの粒径分布を表3-13～表3-22に示す。

また、積算分布曲線を図3-10～図3-19に示す。

スパージングによる均一攪拌条件として

(i) 高さ方向のスラッジ濃度が等しい。

(ii) 高さ方向のスラッジ平均粒径が等しい。

の2点を条件とすると均一攪拌に必要な最小スパージングエア量は50 Nm^3/hr となる。

表3-13 スパージングエア量20N³/hrにおける

スラッジ粒度分布、スラッジ濃度および平均粒径

| 粒径 (mm) | スラッジ重量 (g) | | | 重量 % | | | 積算重量 % | | |
|-------------|------------|-----------|------------|-----------|-----------|------------|-----------|-----------|------------|
| | $\ell=20$ | $\ell=50$ | $\ell=100$ | $\ell=20$ | $\ell=50$ | $\ell=100$ | $\ell=20$ | $\ell=50$ | $\ell=100$ |
| >4.76 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4.76~4.00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4.00~2.00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2.00~1.00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1.00~0.50 | 0.001 | 0.010 | 0.001 | 7.7 | 34.5 | 11.1 | 7.7 | 34.5 | 11.1 |
| 0.50~0.105 | 0.009 | 0.014 | 0.006 | 69.2 | 48.3 | 66.7 | 76.9 | 82.8 | 77.8 |
| 0.105~0.074 | 0.003 | 0.005 | 0.002 | 23.1 | 17.2 | 22.2 | 100.0 | 100.0 | 100.0 |
| 合計 | 0.013 | 0.029 | 0.009 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | | | |

* ℓ はサンプリングポイントの252V13底部からの高さ (mm)

$\ell=20$ は吸い込み口の高さと等しい。

| | $\ell=20$ | $\ell=50$ | $\ell=100$ |
|--------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| スラッジ+液重量 (g) | 12,270 | 12,880 | 14,640 |
| スラッジ濃度 (wt%) | 1.1×10^{-4} | 2.5×10^{-4} | 6.1×10^{-5} |
| 平均粒径 (mm) | 0.61 | 0.31 | 0.17 |

表3-14 スパージングエア量30Nm³/hrにおける

スラッジ粒度分布、スラッジ濃度および平均粒径

| 粒径 (mm) | スラッジ重量 (g) | | | 重量 % | | | 積算重量 % | | |
|-------------|------------|-----------|------------|-----------|-----------|------------|-----------|-----------|------------|
| | $\ell=20$ | $\ell=50$ | $\ell=100$ | $\ell=20$ | $\ell=50$ | $\ell=100$ | $\ell=20$ | $\ell=50$ | $\ell=100$ |
| >4.76 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4.76~4.00 | 0.766 | 0 | 0 | 12.4 | 0 | 0 | 12.4 | 0 | 0 |
| 4.00~2.00 | 1.758 | 0 | 0 | 28.6 | 0 | 0 | 41.0 | 0 | 0 |
| 2.00~1.00 | 1.363 | 0 | 0 | 22.1 | 0 | 0 | 63.1 | 0 | 0 |
| 1.00~0.50 | 0.975 | 0.014 | 0.001 | 15.8 | 9.5 | 2.1 | 78.9 | 9.5 | 2.1 |
| 0.50~0.105 | 1.192 | 0.107 | 0.035 | 19.4 | 72.3 | 72.9 | 98.3 | 81.8 | 75.0 |
| 0.105~0.074 | 0.107 | 0.027 | 0.012 | 1.7 | 18.2 | 25.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 |
| 合計 | 6.161 | 0.148 | 0.048 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | | | |

* ℓ はサンプリングポイントの252V13底部からの高さ (mm)

$\ell=20$ は吸い込み口の高さと等しい。

| | $\ell=20$ | $\ell=50$ | $\ell=100$ |
|--------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| スラッジ+液重量 (g) | 13,490 | 13,190 | 13,460 |
| スラッジ濃度 (wt%) | 4.6×10^{-2} | 1.1×10^{-3} | 3.6×10^{-4} |
| 平均粒径 (mm) | 1.55 | 0.18 | 0.15 |

表3-15 スパージングエア量40 N m³/hr における

スラッジ粒度分布、スラッジ濃度および平均粒径 (1回目)

| 粒径 (mm) | スラッジ重量 (g) | | | 重量 % | | | 積算重量 % | | |
|--------------|------------|-----------|------------|-----------|-----------|------------|-----------|-----------|------------|
| | $\ell=20$ | $\ell=50$ | $\ell=100$ | $\ell=20$ | $\ell=50$ | $\ell=100$ | $\ell=20$ | $\ell=50$ | $\ell=100$ |
| >4.76 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4.76~4.00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4.00~2.00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2.00~1.00 | 0.039 | 0.094 | 0.039 | 34.5 | 37.2 | 43.8 | 34.5 | 37.2 | 43.8 |
| 1.00~0.50 | 0.024 | 0.011 | 0.003 | 21.2 | 4.3 | 3.4 | 55.7 | 41.5 | 47.2 |
| 0.50~0.105 | 0.038 | 0.107 | 0.037 | 33.7 | 42.3 | 41.6 | 89.4 | 83.8 | 88.8 |
| 0.105 ~0.074 | 0.012 | 0.041 | 0.010 | 10.6 | 16.2 | 11.2 | 100.0 | 100.0 | 100.0 |
| 合計 | 0.113 | 0.253 | 0.089 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | | | |

* ℓ はサンプリングポイントの252V13底部からの高さ (mm)

$\ell=20$ は吸い込み口の高さと等しい。

| | $\ell=20$ | $\ell=50$ | $\ell=100$ |
|--------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| スラッジ+液重量 (g) | 13,090 | 14,100 | 14,120 |
| スラッジ濃度 (wt%) | 8.6×10^{-4} | 1.8×10^{-3} | 6.3×10^{-5} |
| 平均粒径 (mm) | 0.62 | 0.25 | 0.41 |

表3-16 スパージングエア量40Nm³/hrにおける

スラッジ粒度分布、スラッジ濃度および平均粒径(2回目)

| 粒径 (mm) | スラッジ重量 (g) | | | 重量 % | | | 積算重量 % | | |
|-------------|------------|-----------|------------|-----------|-----------|------------|-----------|-----------|------------|
| | $\ell=20$ | $\ell=50$ | $\ell=100$ | $\ell=20$ | $\ell=50$ | $\ell=100$ | $\ell=20$ | $\ell=50$ | $\ell=100$ |
| >4.76 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4.76~4.00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4.00~2.00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2.00~1.00 | 0 | 0.031 | 0 | 0 | 34.8 | 0 | 0 | 34.8 | 0 |
| 1.00~0.50 | 0.008 | 0.009 | 0.003 | 26.7 | 10.1 | 9.7 | 26.7 | 44.9 | 9.7 |
| 0.50~0.105 | 0.016 | 0.038 | 0.020 | 53.3 | 42.7 | 64.5 | 80.0 | 87.6 | 74.2 |
| 0.105~0.074 | 0.006 | 0.011 | 0.008 | 20.0 | 12.4 | 25.8 | 100.0 | 100.0 | 100.0 |
| 合計 | 0.030 | 0.089 | 0.031 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | | | |

* ℓ はサンプリングポイントの252V13底部からの高さ (mm)

$\ell=20$ は吸い込み口の高さと等しい。

| | $\ell=20$ | $\ell=50$ | $\ell=100$ |
|--------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| スラッジ+液重量 (g) | 13,630 | 13,090 | 13,420 |
| スラッジ濃度 (wt%) | 2.2×10^{-4} | 6.8×10^{-4} | 2.3×10^{-4} |
| 平均粒径 (mm) | 0.21 | 0.35 | 0.14 |

表3-17 スパージングエア量45 N^m/hr における

スラッジ粒度分布、スラッジ濃度および平均粒径 (1回目)

| 粒径 (mm) | スラッジ重量 (g) | | | 重量 % | | | 積算重量 % | | |
|--------------|------------|-----------|------------|-----------|-----------|------------|-----------|-----------|------------|
| | $\ell=20$ | $\ell=50$ | $\ell=100$ | $\ell=20$ | $\ell=50$ | $\ell=100$ | $\ell=20$ | $\ell=50$ | $\ell=100$ |
| >4.76 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4.76~4.00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4.00~2.00 | 0.553 | 0 | 0 | 19.4 | 0 | 0 | 19.4 | 0 | 0 |
| 2.00~1.00 | 0.672 | 0.014 | 0 | 23.6 | 10.1 | 0 | 43.0 | 10.1 | 0 |
| 1.00~0.50 | 0.760 | 0.035 | 0.007 | 26.7 | 25.2 | 13.7 | 69.7 | 35.3 | 13.7 |
| 0.50~0.105 | 0.807 | 0.067 | 0.032 | 28.4 | 48.2 | 62.8 | 98.2 | 83.5 | 76.5 |
| 0.105 ~0.074 | 0.052 | 0.023 | 0.012 | 1.8 | 16.5 | 23.5 | 100.0 | 100.0 | 100.0 |
| 合計 | 2.844 | 0.139 | 0.051 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | | | |

* ℓ はサンプリングポイントの252V13底部からの高さ (mm)

$\ell=20$ は吸い込み口の高さと等しい。

| | $\ell=20$ | $\ell=50$ | $\ell=100$ |
|--------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| スラッジ+液重量 (g) | 14,070 | 13,990 | 13,770 |
| スラッジ濃度 (wt%) | 2.0×10^{-2} | 9.9×10^{-3} | 3.7×10^{-4} |
| 平均粒径 (mm) | 0.83 | 0.27 | 0.17 |

表3-18 スパージングエア量45Nm³/hrにおける

スラッジ粒度分布、スラッジ濃度および平均粒径（2回目）

| 粒径 (mm) | スラッジ重量 (g) | | | 重量 % | | | 積算重量 % | | |
|-------------|------------|-----------|------------|-----------|-----------|------------|-----------|-----------|------------|
| | $\ell=20$ | $\ell=50$ | $\ell=100$ | $\ell=20$ | $\ell=50$ | $\ell=100$ | $\ell=20$ | $\ell=50$ | $\ell=100$ |
| >4.76 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4.76~4.00 | 0.200 | 0 | 0 | 0.9 | 0 | 0 | 0.9 | 0 | 0 |
| 4.00~2.00 | 3.708 | 0 | 0 | 17.0 | 0 | 0 | 17.9 | 0 | 0 |
| 2.00~1.00 | 8.543 | 0.055 | 0 | 39.1 | 20.1 | 0 | 57.0 | 20.1 | 0 |
| 1.00~0.50 | 5.977 | 0.075 | 0.008 | 27.4 | 27.4 | 17.8 | 84.4 | 47.5 | 17.8 |
| 0.50~0.105 | 3.224 | 0.114 | 0.024 | 14.8 | 41.6 | 53.3 | 99.2 | 89.1 | 71.1 |
| 0.105~0.074 | 0.180 | 0.030 | 0.013 | 0.8 | 10.9 | 28.9 | 100.0 | 100.0 | 100.0 |
| 合計 | 21.832 | 0.274 | 0.045 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | | | |

* ℓ はサンプリングポイントの252V13底部からの高さ (mm)

$\ell=20$ は吸い込み口の高さと等しい。

| | $\ell=20$ | $\ell=50$ | $\ell=100$ |
|--------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| スラッジ+液重量 (g) | 13,780 | 14,780 | 13,780 |
| スラッジ濃度 (wt%) | 1.6×10^{-1} | 1.9×10^{-3} | 3.3×10^{-4} |
| 平均粒径 (mm) | 1.11 | 0.47 | 0.17 |

表3-19 スパージングエア量50N^m/hrにおける

スラッジ粒度分布、スラッジ濃度および平均粒径(1回目)

| 粒径 (mm) | スラッジ重量 (g) | | | 重量 % | | | 積算重量 % | | |
|--------------|----------------|-----------|------------|-----------|-----------|------------|-----------|-----------|------------|
| | * $\ell=20$ | $\ell=50$ | $\ell=100$ | $\ell=20$ | $\ell=50$ | $\ell=100$ | $\ell=20$ | $\ell=50$ | $\ell=100$ |
| >4.76 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4.76~4.00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4.00~2.00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2.00~1.00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1.00~0.50 | 0.004 | 0.006 | 0.005 | 9.3 | 11.3 | 14.7 | 9.3 | 11.3 | 14.7 |
| 0.50~0.105 | 0.028 | 0.037 | 0.017 | 65.1 | 69.8 | 50.0 | 74.4 | 81.1 | 64.7 |
| 0.105 ~0.074 | 0.011 | 0.010 | 0.012 | 25.6 | 18.9 | 35.3 | 100.0 | 100.0 | 100.0 |
| 合計 | 0.043 | 0.053 | 0.034 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | | | |

* ℓ はサンプリングポイントの252V13底部からの高さ (mm)

$\ell=20$ は吸い込み口の高さと等しい。

| | $\ell=20$ | $\ell=50$ | $\ell=100$ |
|--------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| スラッジ+液重量 (g) | 13,860 | 13,270 | 12,230 |
| スラッジ濃度 (wt%) | 3.1×10^{-4} | 4.0×10^{-4} | 2.8×10^{-4} |
| 平均粒径 (mm) | 0.16 | 0.17 | 0.15 |

表3-20 スパージングエア量50Nm³/hrにおける

スラッジ粒度分布、スラッジ濃度および平均粒径(2回目)

| 粒径 (mm) | スラッジ重量 (g) | | | 重量 % | | | 積算重量 % | | |
|-------------|----------------|-----------|------------|-----------|-----------|------------|-----------|-----------|------------|
| | * $\ell=20$ | $\ell=50$ | $\ell=100$ | $\ell=20$ | $\ell=50$ | $\ell=100$ | $\ell=20$ | $\ell=50$ | $\ell=100$ |
| >4.76 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4.76~4.00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4.00~2.00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2.00~1.00 | 0 | 0.005 | 0 | 0 | 9.6 | 0 | 0 | 9.6 | 0 |
| 1.00~0.50 | 0.014 | 0.005 | 0.007 | 12.2 | 9.6 | 20.0 | 12.2 | 19.2 | 20.0 |
| 0.50~0.105 | 0.079 | 0.032 | 0.018 | 68.7 | 61.6 | 51.4 | 80.9 | 80.8 | 71.4 |
| 0.105~0.074 | 0.022 | 0.010 | 0.010 | 19.1 | 19.2 | 28.6 | 100.0 | 100.0 | 100.0 |
| 合計 | 0.115 | 0.052 | 0.035 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | | | |

* ℓ はサンプリングポイントの252V13底部からの高さ (mm)

$\ell=20$ は吸い込み口の高さと等しい。

| | $\ell=20$ | $\ell=50$ | $\ell=100$ |
|--------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| スラッジ+液重量 (g) | 13,340 | 13,570 | 15,810 |
| スラッジ濃度 (wt%) | 8.6×10^{-4} | 3.8×10^{-4} | 2.2×10^{-4} |
| 平均粒径 (mm) | 0.18 | 0.19 | 0.19 |

表3-21 スパージングエア量60Nm³/hrにおける

スラッジ粒度分布、スラッジ濃度および平均粒径（1回目）

| 粒径 (mm) | スラッジ重量 (g) | | | 重量 % | | | 積算重量 % | | |
|-------------|------------|-----------|------------|-----------|-----------|------------|-----------|-----------|------------|
| | $\ell=20$ | $\ell=50$ | $\ell=100$ | $\ell=20$ | $\ell=50$ | $\ell=100$ | $\ell=20$ | $\ell=50$ | $\ell=100$ |
| >4.76 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4.76~4.00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4.00~2.00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2.00~1.00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1.00~0.50 | 0.013 | 0.002 | 0.004 | 31.7 | 8.3 | 16.0 | 31.7 | 8.3 | 16.0 |
| 0.50~0.105 | 0.016 | 0.012 | 0.011 | 39.0 | 50.0 | 44.0 | 70.7 | 58.3 | 60.0 |
| 0.105~0.074 | 0.012 | 0.010 | 0.010 | 29.3 | 41.7 | 40.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 |
| 合計 | 0.041 | 0.024 | 0.025 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | | | |

* ℓ はサンプリングポイントの252V13底部からの高さ (mm)

$\ell=20$ は吸い込み口の高さと等しい。

| | $\ell=20$ | $\ell=50$ | $\ell=100$ |
|--------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| スラッジ+液重量 (g) | 13,060 | 13,510 | 13,510 |
| スラッジ濃度 (wt%) | 3.1×10^{-4} | 1.8×10^{-4} | 1.9×10^{-4} |
| 平均粒径 (mm) | 0.21 | 0.12 | 0.13 |

表3-22 スパージングエア量60Nm³/hrにおける

スラッジ粒度分布、スラッジ濃度および平均粒径(2回目)

| 粒径 (mm) | スラッジ重量 (g) | | | 重量 % | | | 積算重量 % | | |
|-------------|----------------|-----------|------------|-----------|-----------|------------|-----------|-----------|------------|
| | * $\ell=20$ | $\ell=50$ | $\ell=100$ | $\ell=20$ | $\ell=50$ | $\ell=100$ | $\ell=20$ | $\ell=50$ | $\ell=100$ |
| >4.76 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4.76~4.00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4.00~2.00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2.00~1.00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1.00~0.50 | 0.027 | 0.025 | 0.002 | 61.4 | 54.4 | 18.2 | 61.4 | 54.4 | 18.2 |
| 0.50~0.105 | 0.009 | 0.010 | 0.004 | 20.4 | 21.7 | 36.4 | 81.8 | 76.1 | 54.6 |
| 0.105~0.074 | 0.008 | 0.011 | 0.005 | 18.2 | 23.9 | 45.4 | 100.0 | 100.0 | 100.0 |
| 合計 | 0.044 | 0.046 | 0.011 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | | | |

* ℓ はサンプリングポイントの252V13底部からの高さ (mm)

$\ell=20$ は吸い込み口の高さと等しい。

| | $\ell=20$ | $\ell=50$ | $\ell=100$ |
|--------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| スラッジ+液重量 (g) | 16,080 | 15,150 | 12,130 |
| スラッジ濃度 (wt%) | 2.7×10^{-4} | 3.0×10^{-4} | 9.1×10^{-5} |
| 平均粒径 (mm) | 0.68 | 0.56 | 0.12 |

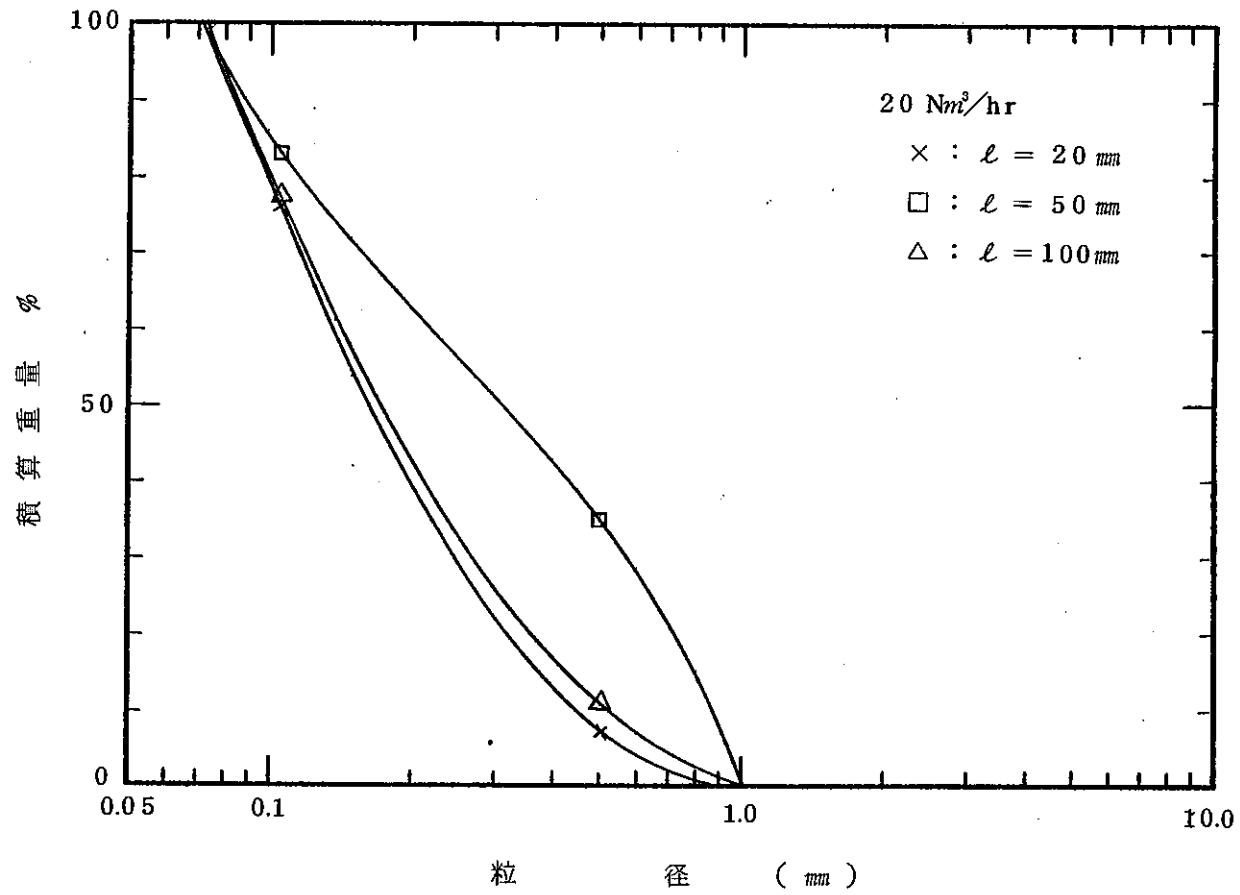


図 3 - 10 スラッジの重量積算分布

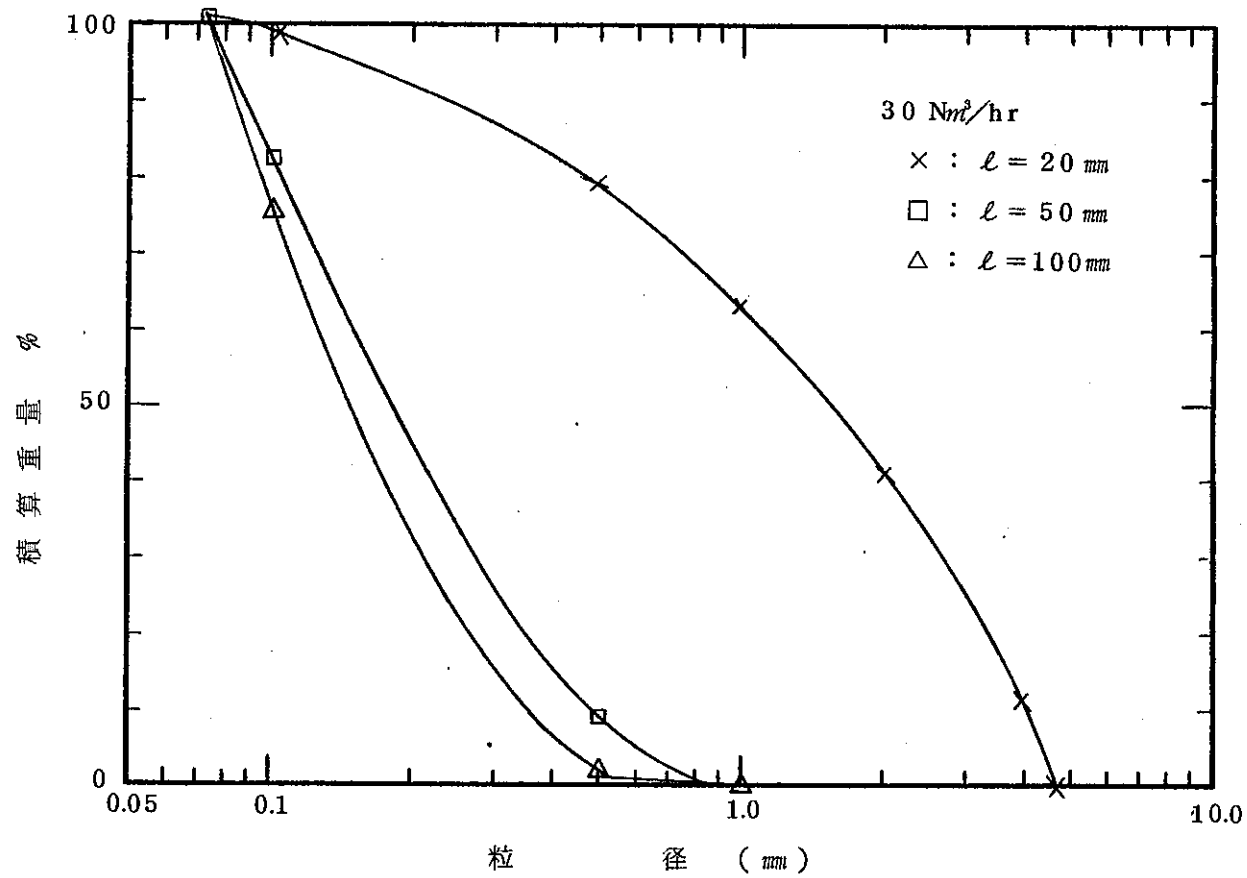


図 3 - 11 スラッジの重量積算分布

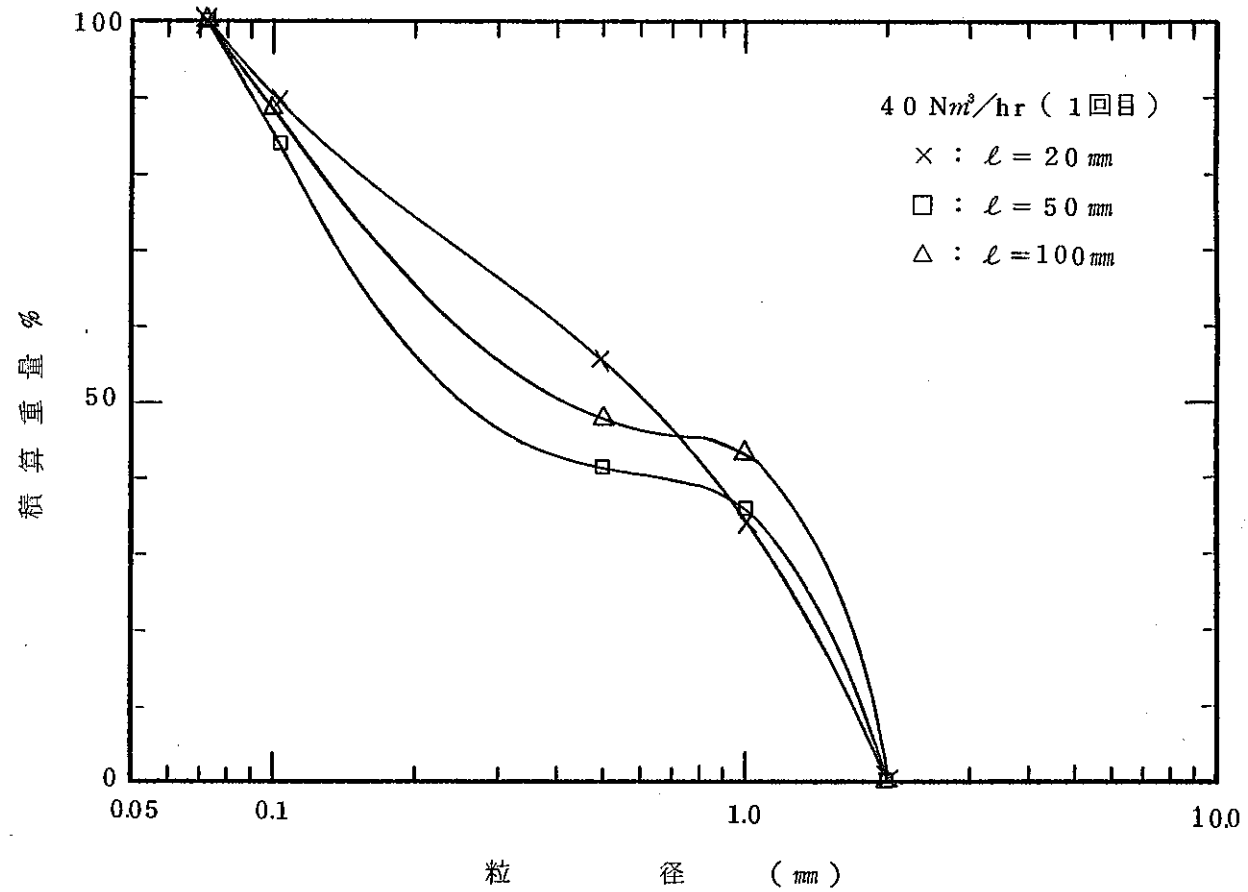


図 3 - 12 スラッジの重量積算分布

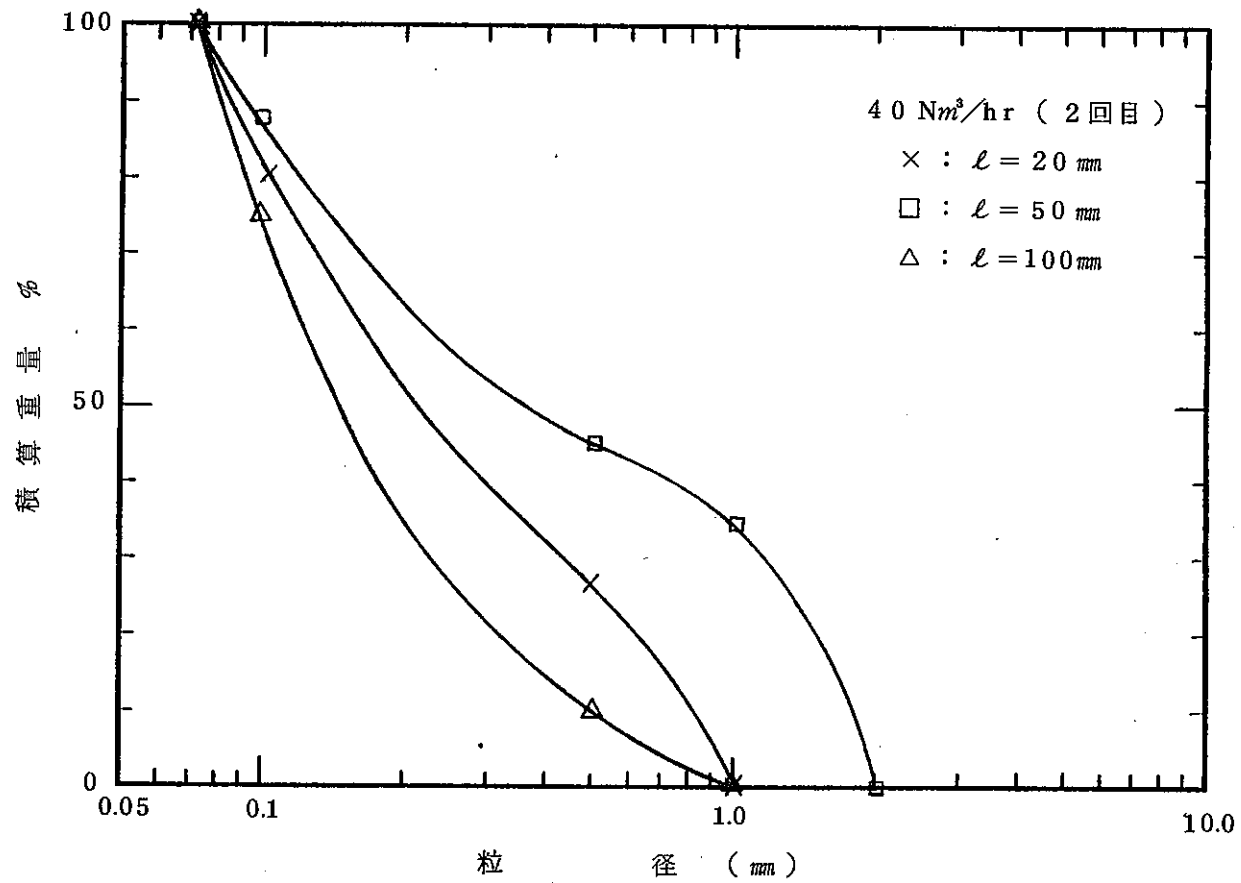


図 3 - 13 スラッジの重量積算分布

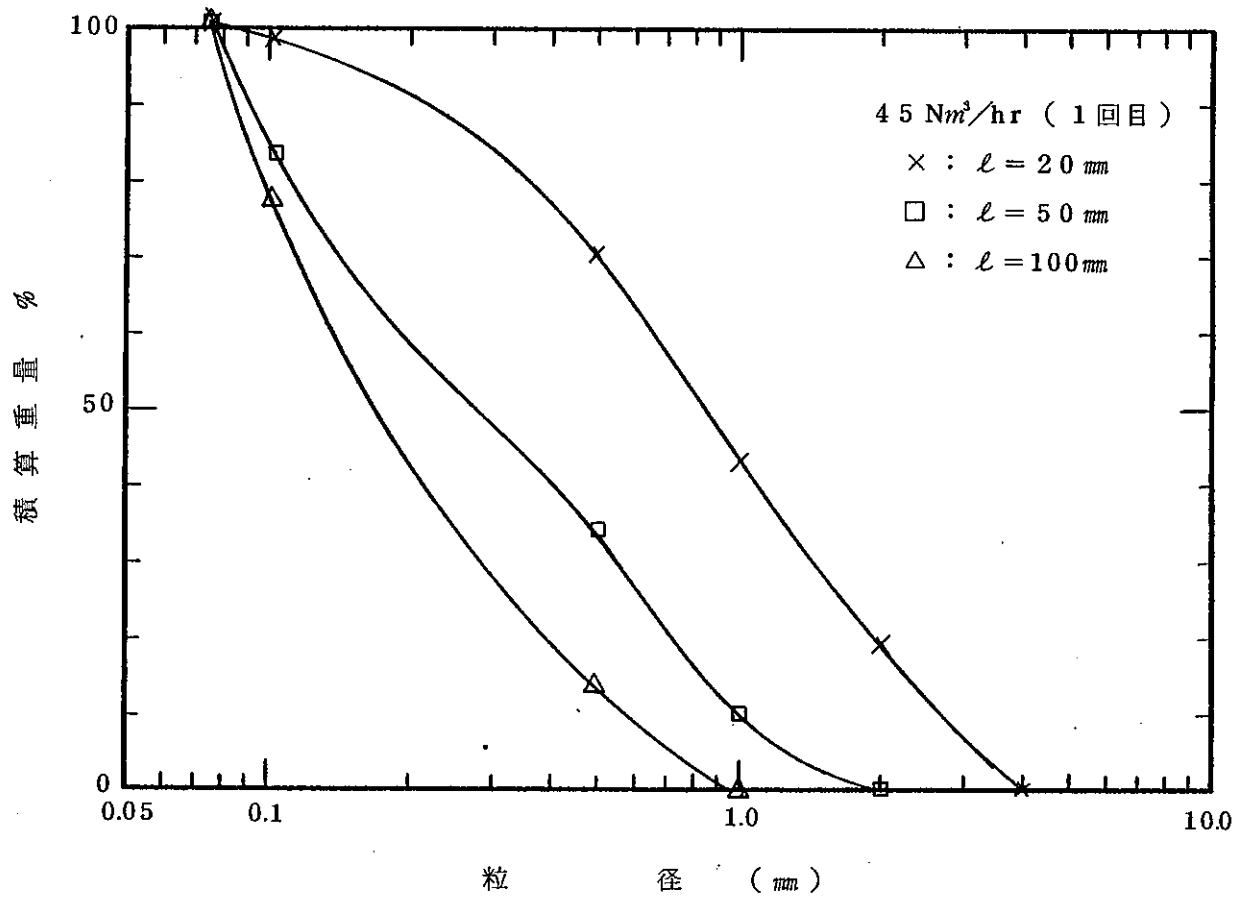


図 3 - 14 スラッジの重量積算分布

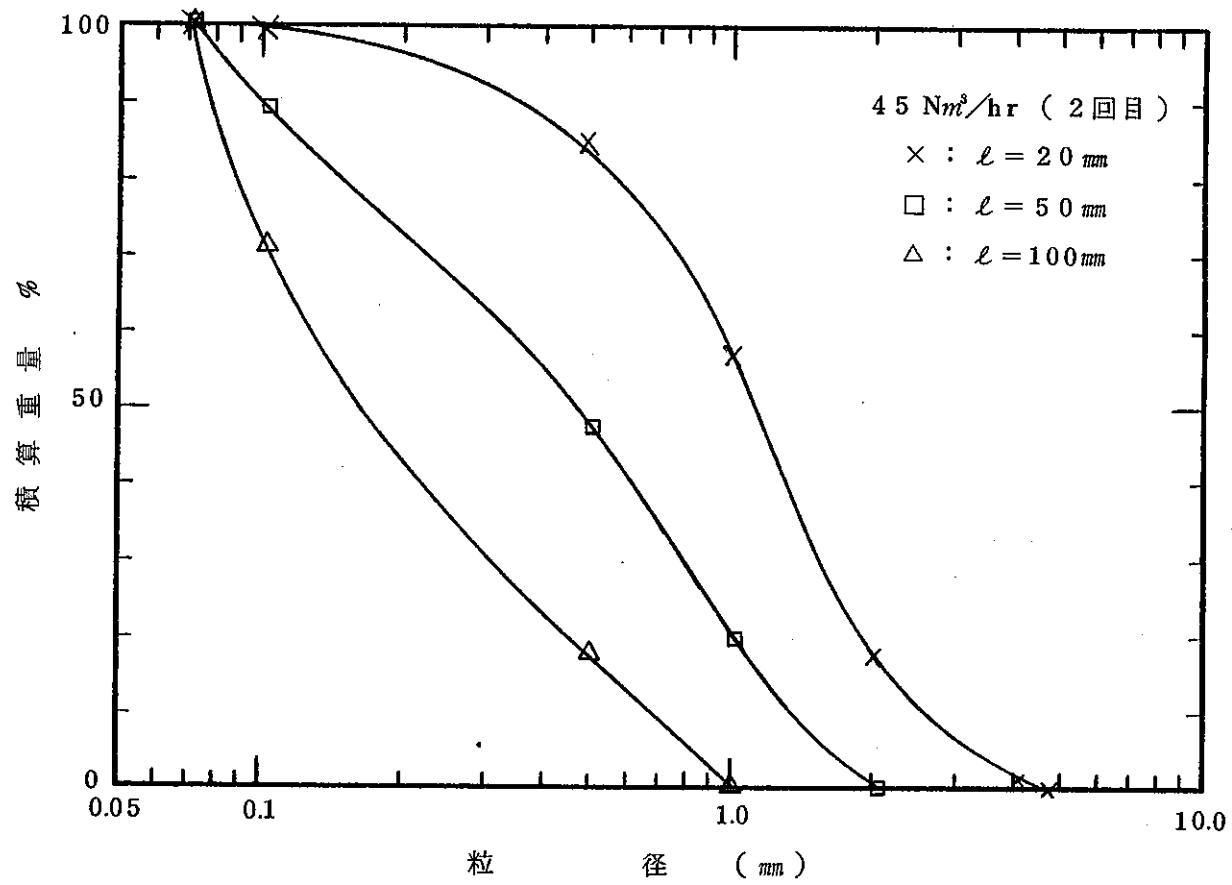


図 3 - 15 スラッジの重量積算分布

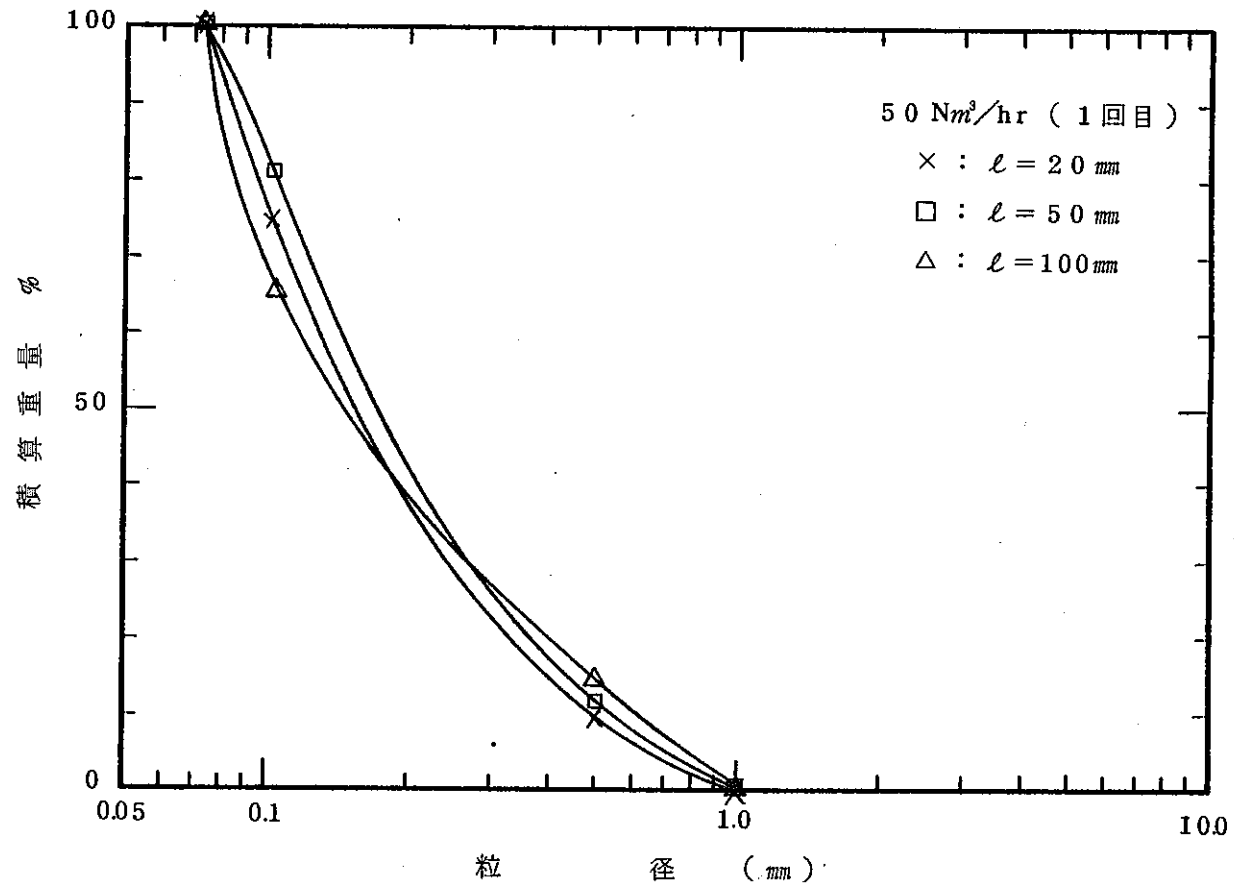


図 3 - 16 スラッジの重量積算分布

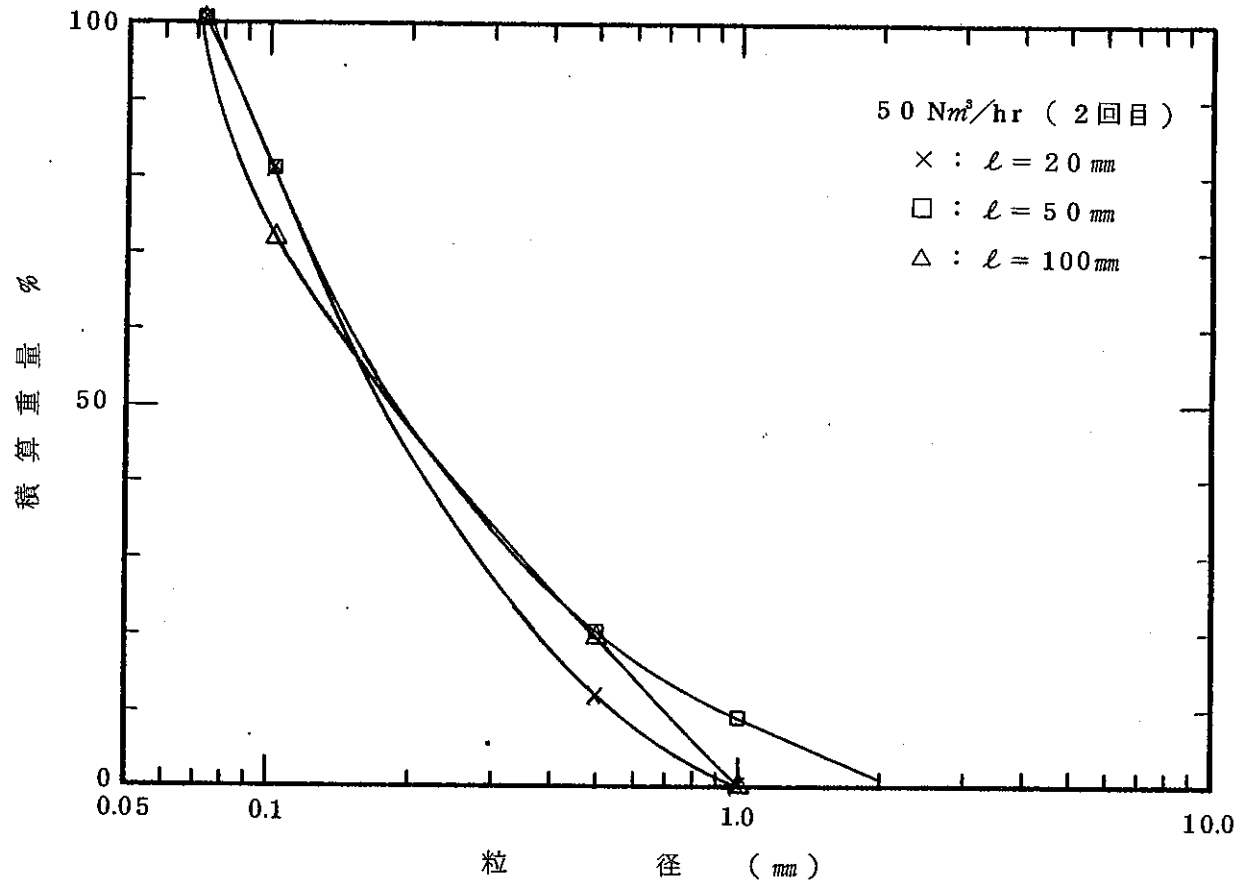


図 3 - 17 スラッジの重量積算分布

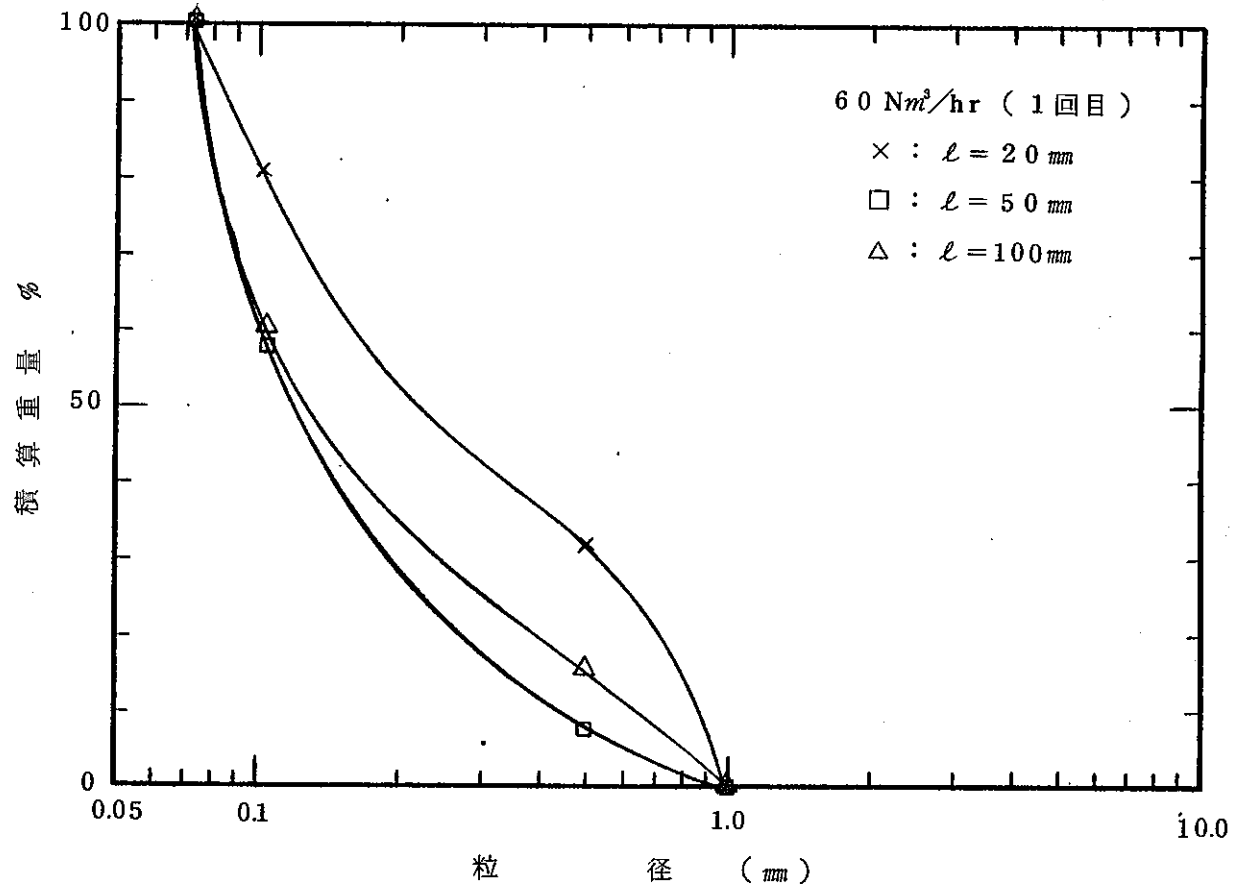


図 3 - 18 スラッジの重量積算分布

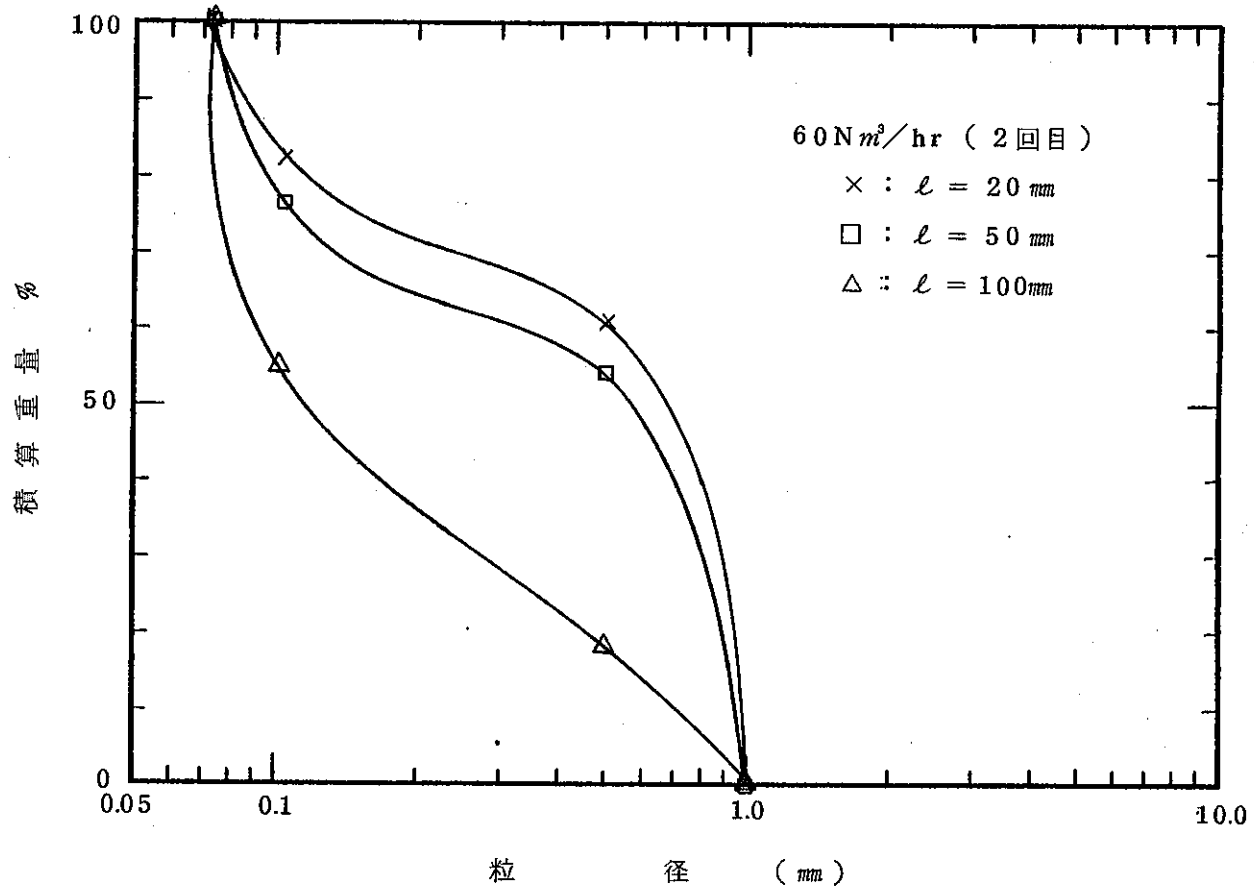


図 3 - 19 スラッジの重量積算分布

② 運転状況

運転はスパージングエア量 $50 \text{ N m}^3/\text{hr}$ で行った。

スパージング後の252V13内のスラッジ状態を図3-20に示す。

最初は、試験No.1終了後のスラッジ量で新たにスラッジを投入せずに10時間運転を2回行った。最初の10時間運転データを表3-23に示す。

表3-23 運転データ

| | 運転開始時 | 1 hr後 | 2 hr後 | 3 hr後 |
|--|-------|-------|-------|-------|
| 252A132 空気量 ($\text{N m}^3/\text{hr}$) | 0.37 | 0.37 | 0.37 | 0.37 |
| 252A132 揚液量 (ℓ/hr) | 446 | 400 | 376 | 340 |
| 吸い込み配管内流速 (m/sec) | 0.201 | 0.180 | 0.170 | 0.153 |
| 271A108 空気量 ($\text{N m}^3/\text{hr}$) | 0.64 | 0.68 | 0.64 | 0.65 |
| 271A108 揚液量 (ℓ/hr) | 264 | 264 | 268 | 251 |
| 271E10への立ち上がり配管内流速 (m/sec) | 0.233 | 0.223 | 0.237 | 0.222 |
| 水平配管内流速 (m/sec) | 0.076 | 0.076 | 0.077 | 0.073 |
| 252V13内液レベル (%) | 62.6 | 60.0 | 58.1 | 55.0 |
| 252V131 内液レベル (mm) | 378 | 378 | 374 | 374 |

| | 4 hr後 | 5 hr後 | 6 hr後 | 7 hr後 |
|--|-------|-------|-------|-------|
| 252A132 空気量 ($\text{N m}^3/\text{hr}$) | 0.37 | 0.37 | 0.37 | 0.37 |
| 252A132 揚液量 (ℓ/hr) | 320 | 320 | 276 | 270 |
| 吸い込み配管内流速 (m/sec) | 0.144 | 0.144 | 0.124 | 0.122 |
| 271A108 空気量 ($\text{N m}^3/\text{hr}$) | 0.68 | 0.68 | 0.72 | 0.74 |
| 271A108 揚液量 (ℓ/hr) | 262 | 252 | 242 | 222 |
| 271E10への立ち上がり配管内流速 (m/sec) | 0.232 | 0.223 | 0.214 | 0.196 |
| 水平配管内流速 (m/sec) | 0.076 | 0.073 | 0.070 | 0.064 |
| 252V13内液レベル (%) | 51.8 | 48.7 | 46.1 | 42.7 |
| 252V131 内液レベル (mm) | 355 | 360 | 330 | 318 |

表 3 - 2 3 続き

| | 8 hr後 | 9 hr後 | 10hr後 |
|-----------------------------------|-------|-------|-------|
| 252A132 空気量 (Nm ³ /hr) | 0.37 | 0.37 | 0.37 |
| 252A132 揚液量 (ℓ/hr) | 264 | 232 | 244 |
| 吸い込み配管内流速 (m/sec) | 0.119 | 0.105 | 0.110 |
| 271A108 空気量 (Nm ³ /hr) | 0.74 | 0.74 | 0.74 |
| 271A108 揚液量 (ℓ/hr) | 213 | 209 | 196 |
| 271E10への立ち上がり配管内流速 (m/sec) | 0.188 | 0.185 | 0.173 |
| 水平配管内流速 (m/sec) | 0.061 | 0.060 | 0.057 |
| 252V13内液レベル (%) | 39.8 | 37.0 | 34.8 |
| 252V131 内液レベル (mm) | 270 | 255 | 235 |

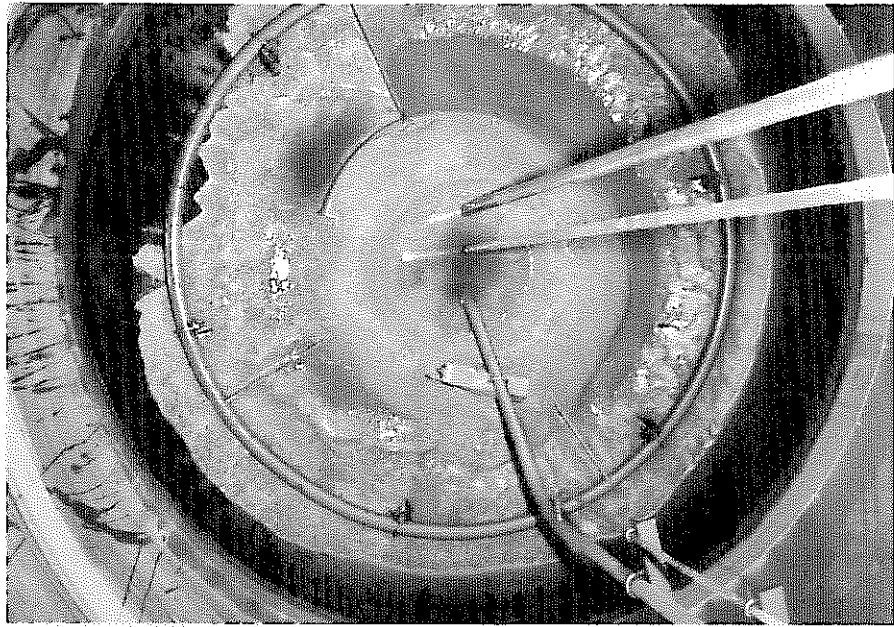


図 3 - 2 0 スパージング終了時の252V13内スラッジ堆積状態

以上の試験では詰まりは発生しなかったので加速試験を行った。(P 43参照)
 加速試験においてスラッジの投入は、スパージング停止直後、1時間間隔で行った。

最初の10時間運転においては詰まりは発生しなかった。

次の10時間運転で、スラッジ7バッチ投入後詰まりが発生した。

この時の運転データを表3-24に示す。

表3-24 運転データ

| | 運転開始時 | 1 hr後 | 2 hr後 | 3 hr後 |
|------------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| 252A132 空気量 (N m ³ /hr) | 0.39 | 0.39 | 0.39 | 0.39 |
| 252A132 揚液量 (ℓ/hr) | 476 | 416 | 344 | 332 |
| 吸い込み配管内流速 (m/sec) | 0.215 | 0.188 | 0.155 | 0.150 |
| 271A108 空気量 (N m ³ /hr) | 0.62 | 0.68 | 0.64 | 0.64 |
| 271A108 揚液量 (ℓ/hr) | 247 | 268 | 252 | 254 |
| 271E10への立ち上がり配管内流速 (m/sec) | 0.218 | 0.237 | 0.223 | 0.225 |
| 水平配管内流速 (m/sec) | 0.071 | 0.077 | 0.073 | 0.073 |
| 252V13内液レベル (%) | 63.2 | 60.7 | 58.1 | 55.0 |
| 252V131 内液レベル (mm) | 380 | 378 | 378 | 376 |

| | 4 hr後 | 5 hr後 | 6 hr後 | 7 hr後 | 8 hr後 |
|------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 252A132 空気量 (N m ³ /hr) | 0.38 | 0.37 | 0.37 | 0.37 | 0.37 |
| 252A132 揚液量 (ℓ/hr) | 250 | 230 | 206 | 210 | 170 |
| 吸い込み配管内流速 (m/sec) | 0.113 | 0.104 | 0.093 | 0.095 | 0.077 |
| 271A108 空気量 (N m ³ /hr) | 0.62 | 0.62 | 0.62 | 0.62 | 0.62 |
| 271A108 揚液量 (ℓ/hr) | 240 | 242 | 210 | 198 | 174 |
| 271E10への立ち上がり配管内流速 (m/sec) | 0.212 | 0.214 | 0.186 | 0.175 | 0.154 |
| 水平配管内流速 (m/sec) | 0.069 | 0.070 | 0.061 | 0.057 | 0.050 |
| 252V13内液レベル (%) | 52.5 | 49.3 | 46.1 | 44.2 | 41.7 |
| 252V131 内液レベル (mm) | 374 | 353 | 329 | 293 | 234 |

③ 詰まりの発生プロセス

(i) 252V13内の吸い込み口

表3-24に示すように、252V13内のスラッジ堆積量が増加するにしたがって、252A132の揚液量が減少し、271A108の揚液量とほぼ等しくなる。

これは、No.1試験と同様吸い込み口にスラッジが詰まったためで、さらにスラッジを供給すれば、252A132揚液量はさらに減少して271A108揚液量より少なくなり、やがては252V131が水封切れを起こし、揚液が停止すると考えられる。実験終了時の吸い込み口の状態を図3-21に示す。

(ii) 水平配管部

試験終了時スラッジは水平配管部1と2に大部分が堆積していたが詰まるまでには到らなかった。

この時の状態を図3-22に示す。

また、水平配管部堆積スラッジ粒度分布を表3-25、表3-26に示す。

表3-25 水平配管部1~3の堆積スラッジ粒度分布

| 粒径 (mm) | スラッジ重量 (g) | 重量 % | 積算重量 % |
|--------------|------------|-------|--------|
| >4.76 | 0 | 0 | 0 |
| 4.76~4.00 | 0 | 0 | 0 |
| 4.00~2.00 | 0 | 0 | 0 |
| 2.00~1.00 | 0.172 | 0.3 | 0.3 |
| 1.00~0.50 | 10.104 | 17.2 | 17.5 |
| 0.50~0.105 | 43.318 | 73.7 | 91.2 |
| 0.105 ~0.074 | 5.167 | 8.8 | 100.0 |
| 合計 | 58.761 | 100.0 | |



図3-21 スパージング試験終了時における252V13内吸い込み口の状態

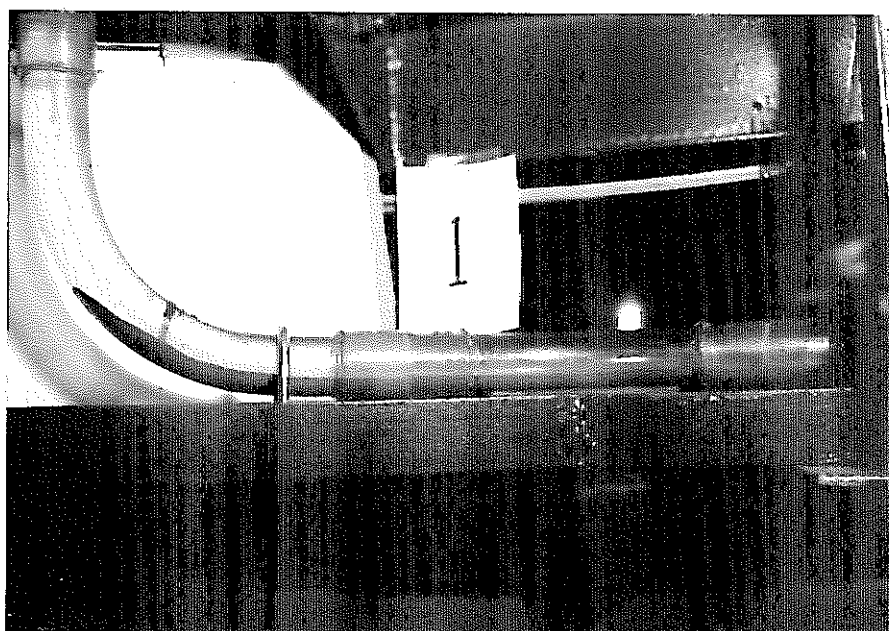


図3-22(a) スパージング試験終了時における水平配管部1のスラッジ堆積状態

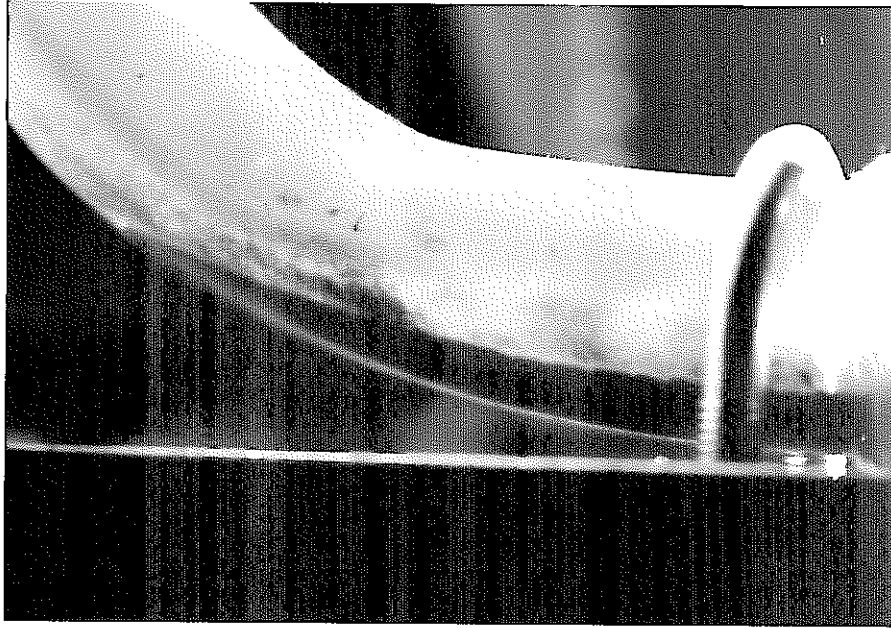


図 3 - 2 2 (b) スパージング試験終了時における水平配管部 2 のスラッジ堆積状態

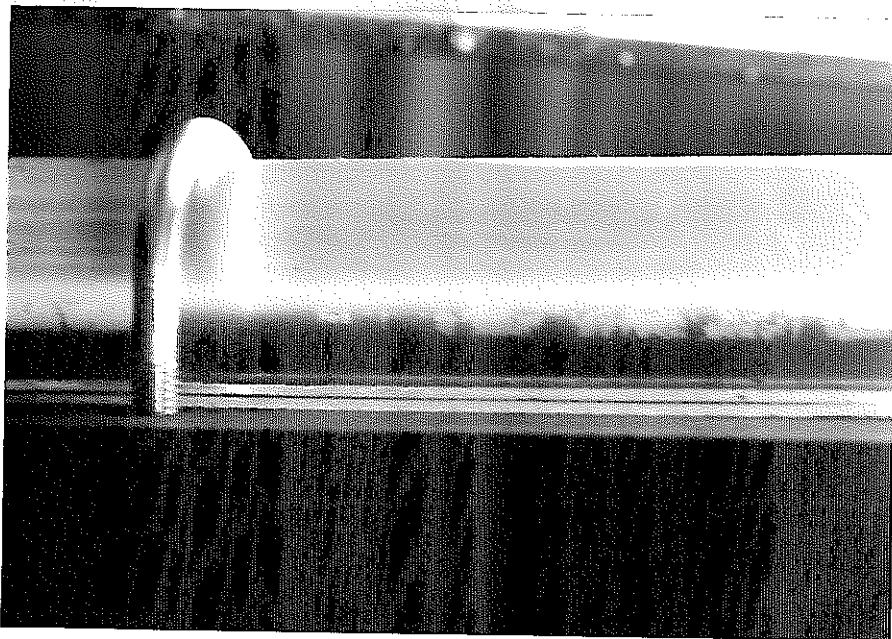


図 3 - 2 2 (c) スパージング試験終了時における水平配管部 2 のスラッジ堆積状態

表 3-26 水平配管部 4~6 の堆積スラッジ粒度分布

| 粒径 (mm) | スラッジ重量 (g) | 重量 % | 積算重量 % |
|--------------|------------|-------|--------|
| >4.76 | 0 | 0 | 0 |
| 4.76~4.00 | 0 | 0 | 0 |
| 4.00~2.00 | 0 | 0 | 0 |
| 2.00~1.00 | 0.044 | 1.1 | 1.1 |
| 1.00~0.50 | 0.335 | 8.1 | 9.2 |
| 0.50~0.105 | 3.274 | 79.0 | 88.2 |
| 0.105 ~0.074 | 0.489 | 11.8 | 100.0 |
| 合計 | 4.142 | 100.0 | |

また、積算分布曲線を図 3-23 に示す。

この時の平均粒径は図 3-23 より表 3-27 のようになる。

表 3-27 水平配管部における堆積スラッジ平均粒径

| | 平均粒径 (mm) |
|-----------|-----------|
| 水平配管部 1~3 | 0.20 |
| 水平配管部 4~6 | 0.14 |

以上の結果より水平配管部には主に粒径が 0.074~2.00mm のスラッジが堆積しているのがわかる。

状況は、No.1 試験と同様である。

④ まとめ

以上よりスパージングを行う運転条件における試験についても、

- (i) 詰まりは 252V13 内の吸い込み口にて最初に発生すると考えられる。
- (ii) 図 3-20 に示すように、スパージングにより 252V13 内のスラッジが中央部に偏ってくるので、スラッジ堆積高さが増加し、吸い込み口で詰まりやすくなると考えられる。

(iii) 水平配管部に輸送されるスラッジ量もスパージング時の方が多い。

以上の結果からスパージングは詰まり防止に対しては逆効果である。

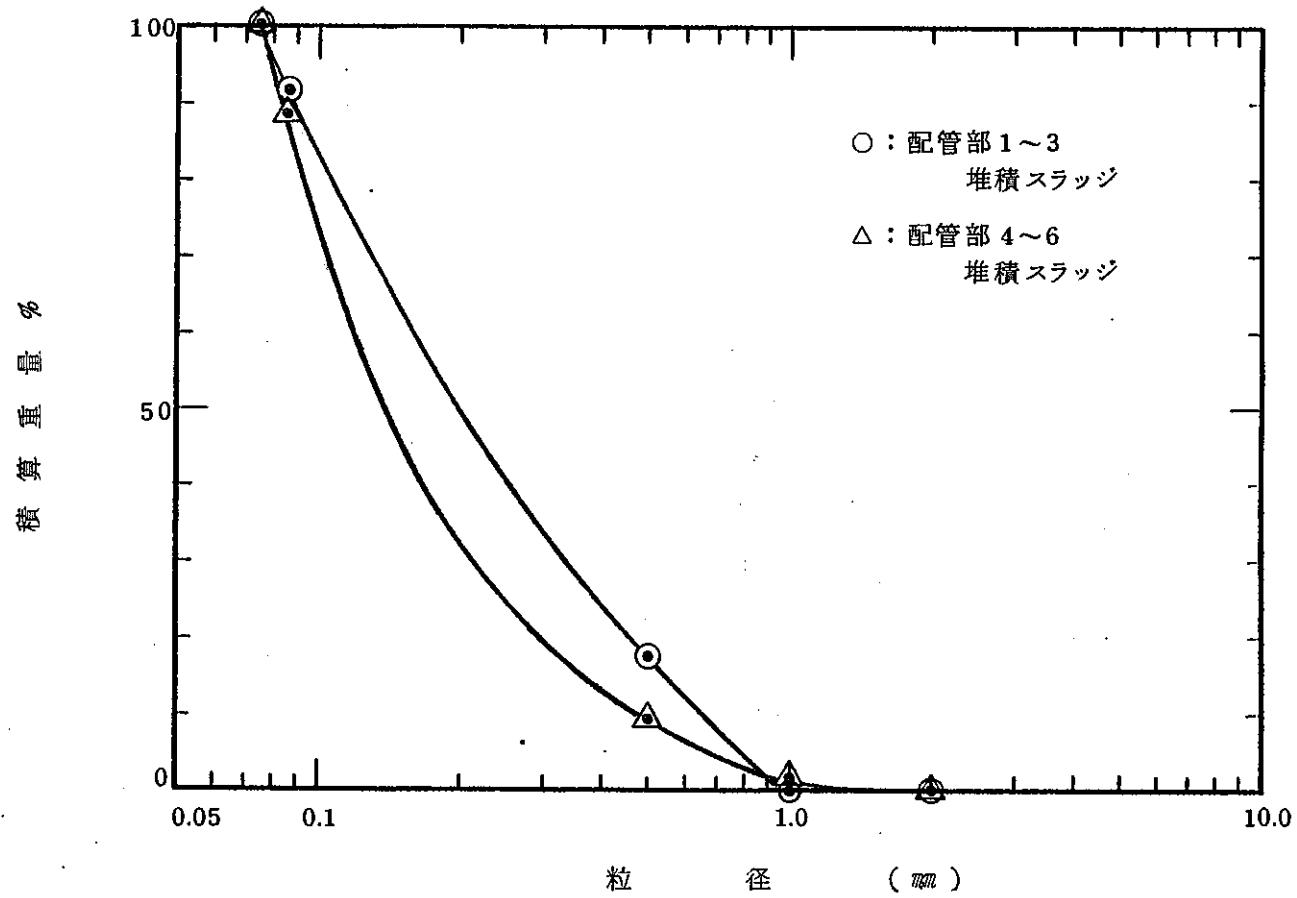


図3-23 スラッジの重量積算分布

3) 詰まりを防止する運転条件における試験 (試験No.3)

① 252A132、271A108 エアリフトの最大揚液量をもとめる試験

(i) 252A132 エアリフトの最大揚液量

252D136 の真空度を既設で可能な最大真空度 $-2,900$ mmAqに252V13内液レベルを63.2%に設定し、252A132 の空気量と揚液量の関係を測定した。結果を表3-28および図3-24に示す。

表3-28 252A132 空気量と揚液量の関係

| | | | | | | | |
|---------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 空気量 (Nm ³ /hr) | 0.25 | 0.42 | 0.63 | 0.83 | 1.02 | 1.21 | 1.41 |
| 揚液量 (ℓ/hr) | 552 | 1080 | 1416 | 1640 | 1800 | 1920 | 2020 |
| 吸い込み配管内流速 (m/sec) | 0.249 | 0.487 | 0.639 | 0.740 | 0.812 | 0.866 | 0.911 |

| | | | |
|---------------------------|-------|-------|-------|
| 空気量 (Nm ³ /hr) | 1.62 | 1.81 | 2.28 |
| 揚液量 (ℓ/hr) | 2104 | 2192 | 2208 |
| 吸い込み配管内流速 (m/sec) | 0.949 | 0.989 | 0.996 |

(ii) 271A108 エアリフトの最大揚液量

271D101 の真空度を既設ブローの最大真空度 -500 mmAqと改造時を模擬した場合の -1400 mmAq (271A108 配管入口と252V131 オーバーフローのエレベーションの差 -985 mm+最大真空度 -500 mm= -1485 mm、安全率を考慮して -1400 mmとする。)について252V13内液レベルを63.2%に設定した場合の271A108 空気量と揚液量の関係を測定した。

結果を表3-29、表3-30および図3-25に示す。

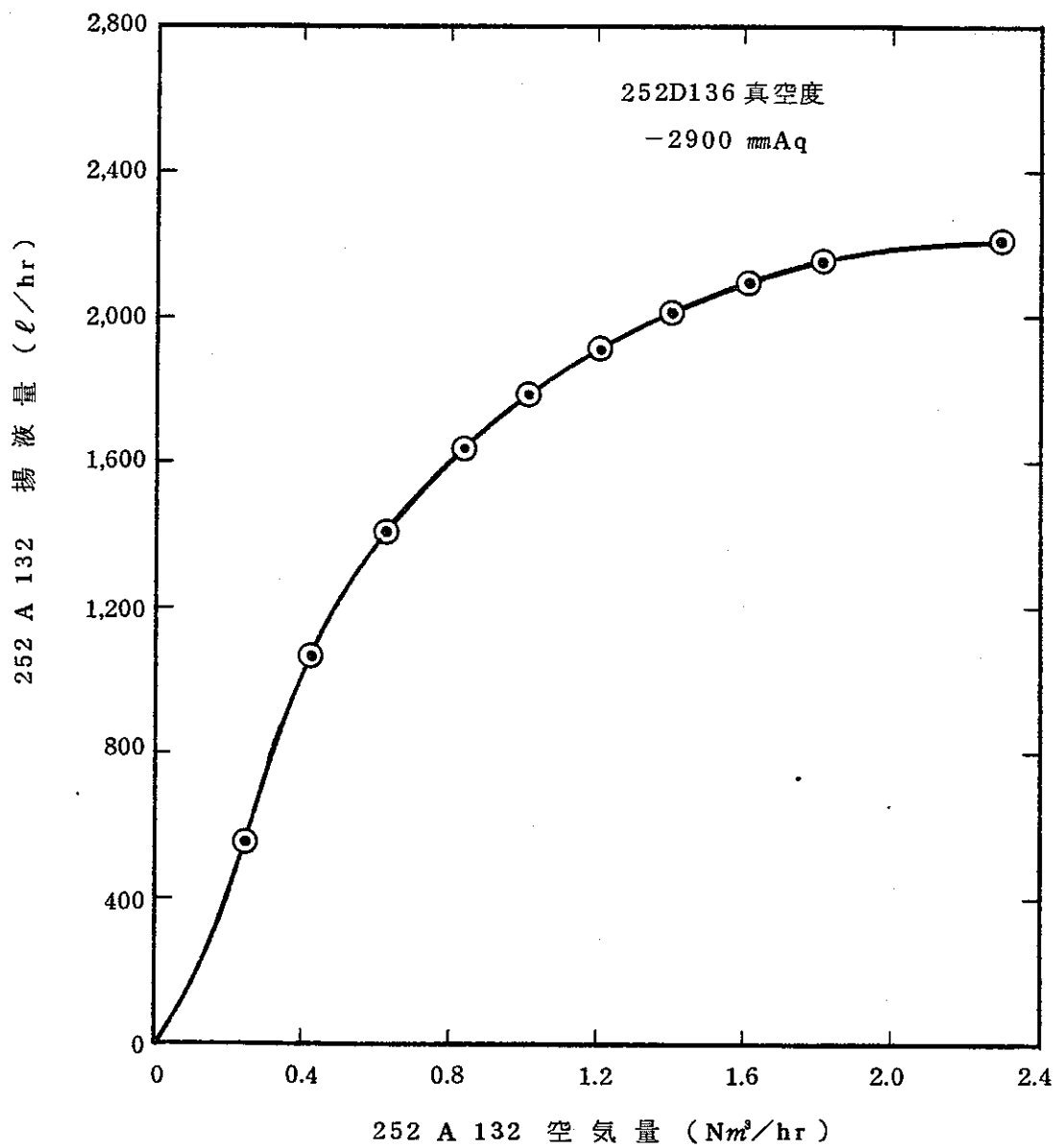


図3-24 252 A 132 空気量と揚液量の関係

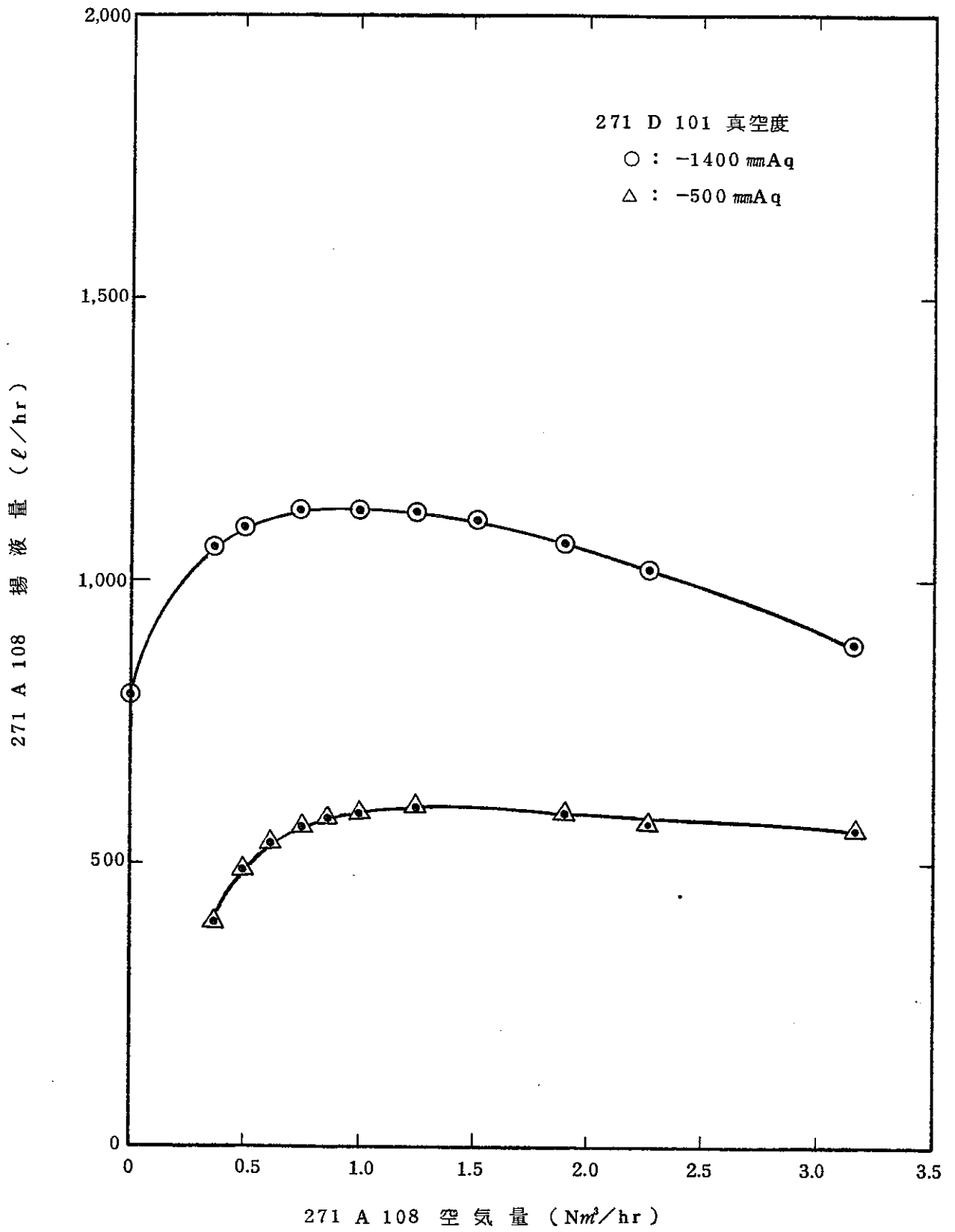


図 3-25 271 A 108 空気量と揚液量の関係

表 3 - 2 9 271D101 真空度-500 mmAq時の271A108 空気量と揚液量の関係

| | | | | | | | |
|----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 空気量 (Nm ³ /hr) | 0.36 | 0.49 | 0.61 | 0.74 | 0.87 | 1.00 | 1.25 |
| 揚液量 (ℓ/hr) | 395 | 490 | 540 | 565 | 580 | 590 | 598 |
| 271E10への立ち上がり配管内流速 (m/sec) | 0.349 | 0.433 | 0.477 | 0.500 | 0.513 | 0.522 | 0.529 |
| 水平配管内流速 (m/sec) | 0.114 | 0.141 | 0.156 | 0.163 | 0.167 | 0.170 | 0.173 |

| | | | |
|----------------------------|-------|-------|-------|
| 空気量 (Nm ³ /hr) | 1.89 | 2.25 | 3.15 |
| 揚液量 (ℓ/hr) | 590 | 570 | 560 |
| 271E10への立ち上がり配管内流速 (m/sec) | 0.522 | 0.504 | 0.495 |
| 水平配管内流速 (m/sec) | 0.170 | 0.165 | 0.162 |

表 3 - 3 0 271D101 真空度-1400mmAq時の271A108 空気量と揚液量の関係

| | | | | | | | |
|----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 空気量 (Nm ³ /hr) | 0 | 0.36 | 0.49 | 0.74 | 1.00 | 1.25 | 1.51 |
| 揚液量 (ℓ/hr) | 790 | 1060 | 1096 | 1124 | 1124 | 1120 | 1110 |
| 271E10への立ち上がり配管内流速 (m/sec) | 0.698 | 0.937 | 0.969 | 0.994 | 0.994 | 0.990 | 0.981 |
| 水平配管内流速 (m/sec) | 0.228 | 0.306 | 0.316 | 0.324 | 0.324 | 0.323 | 0.320 |

| | | | |
|----------------------------|-------|-------|-------|
| 空気量 (Nm ³ /hr) | 1.89 | 2.25 | 3.15 |
| 揚液量 (ℓ/hr) | 1070 | 1020 | 890 |
| 271E10への立ち上がり配管内流速 (m/sec) | 0.946 | 0.902 | 0.787 |
| 水平配管内流速 (m/sec) | 0.309 | 0.294 | 0.257 |

以上の測定はそれぞれ単独のエアリフトのみを運転して行った。

表3-30の結果からも明らかなように271E10への揚液量は最大で約1.1 m³/hr であるため、試験方法にあるように252V131 へ水を供給して(約4.3 m³/hr) 水平配管部の送液速度をスラッジ輸送の限界流速以上にしようとすることは不可能であった。

② 運転状況

以上の結果より最大粒子の沈降速度0.50 m/sec (「2.3 スラッジ粒子の沈降速度の算出」参照) を考慮して252D136 の真空度-2900mmAq、252A132 の空気量1.89 Nm³/hr、271D101 の真空度-1400mmAq、271A108 の空気量0.74Nm³/hr で試験を行った。

252V13内のスラッジはスパージング試験終了時の量50.5バッチ(197.96 kg) で、また吸い込み配管の性能は吸い込み口の近傍だけなのでスラッジを人為的に吸い込み口にかき寄せて加速試験を行った。

さらに、252V13内液レベルの低下によるエアリフト揚液量の低下を防ぐため、252V13内液レベルは常に63.2%で行った。(連続送液を想定) この時の運転データを表3-31に示す。

表 3-31 運転データ

| | I | II | III | IV | V |
|-----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 252A132 空気量 (Nm ³ /hr) | 1.89 | 1.89 | 1.89 | 1.89 | 1.89 |
| 252A132 揚液量 (ℓ/hr) | 2040 | 2088 | 1933 | 2120 | 2064 |
| 吸い込み配管内流速 (m/sec) | 0.920 | 0.942 | 0.872 | 0.956 | 0.931 |
| 271A108 空気量 (Nm ³ /hr) | 0.74 | 0.74 | 0.74 | 0.74 | 0.74 |
| 271A108 揚液量 (ℓ/hr) | 1130 | 888 | 790 | 740 | 460 |
| 271E10への立ち上がり配管内流速 (m/sec) | 0.999 | 0.785 | 0.698 | 0.654 | 0.407 |
| 水平配管内流速 (m/sec) | 0.326 | 0.256 | 0.228 | 0.214 | 0.133 |
| 252V131 内液レベル (mm) | 415 | 415 | 415 | 415 | 415 |

I : 運転開始時

II→Vにしたがって水平配管部のスラッジ堆積部の長さが増加する。

Vにおいては配管部5まで到達していた。

しかしながら271E10への揚液量が低下しスラッジを輸送できない速度となったためVにおいて試験を終了した。

試験終了時の配管部スラッジ堆積状態を図3-26に示す。



図3-26(a) 配管部1のスラッジ堆積状態

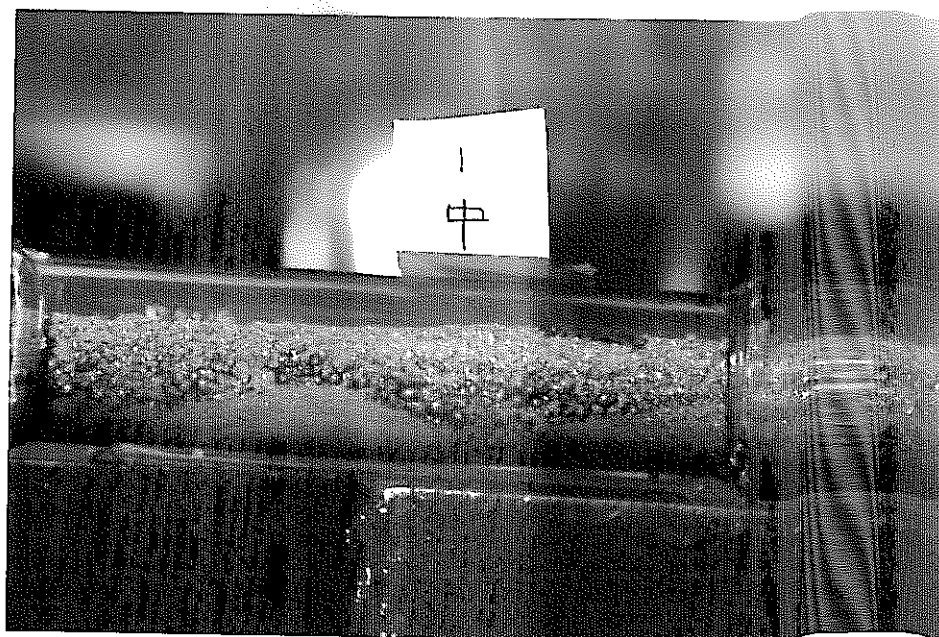


図3-26(b) 配管部1のスラッジ堆積状態

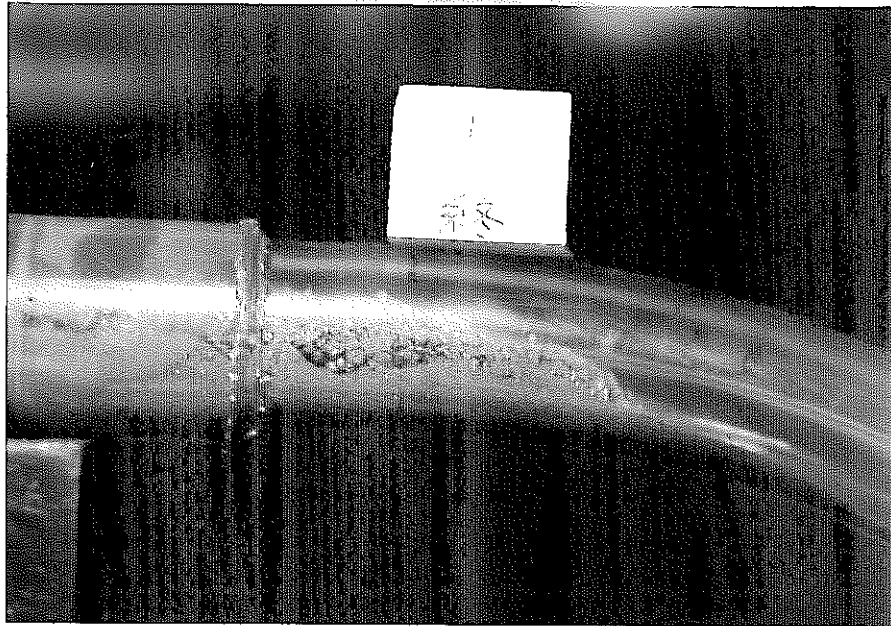


図3-26(c) 配管部1のスラッジ堆積状態

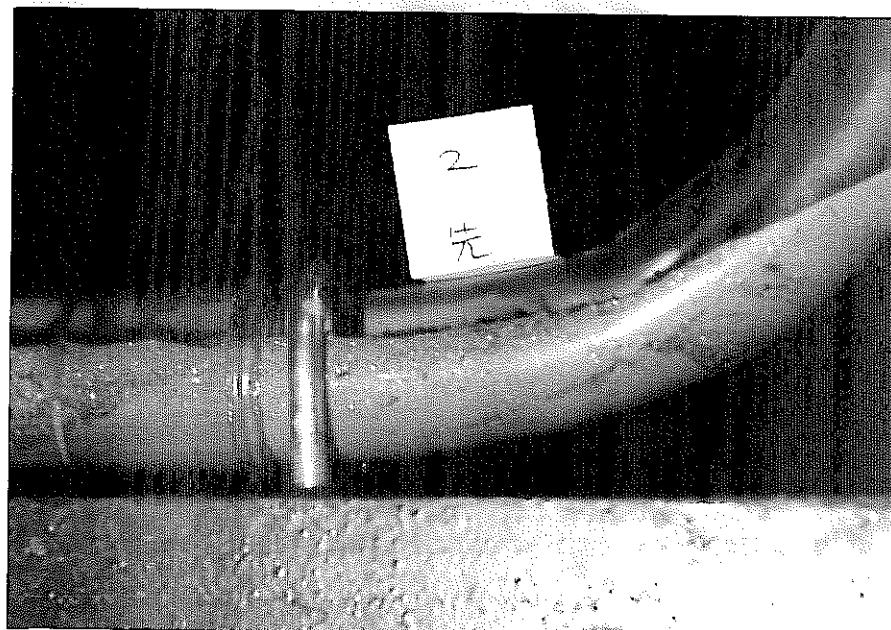


図3-26(d) 配管部2のスラッジ堆積状態

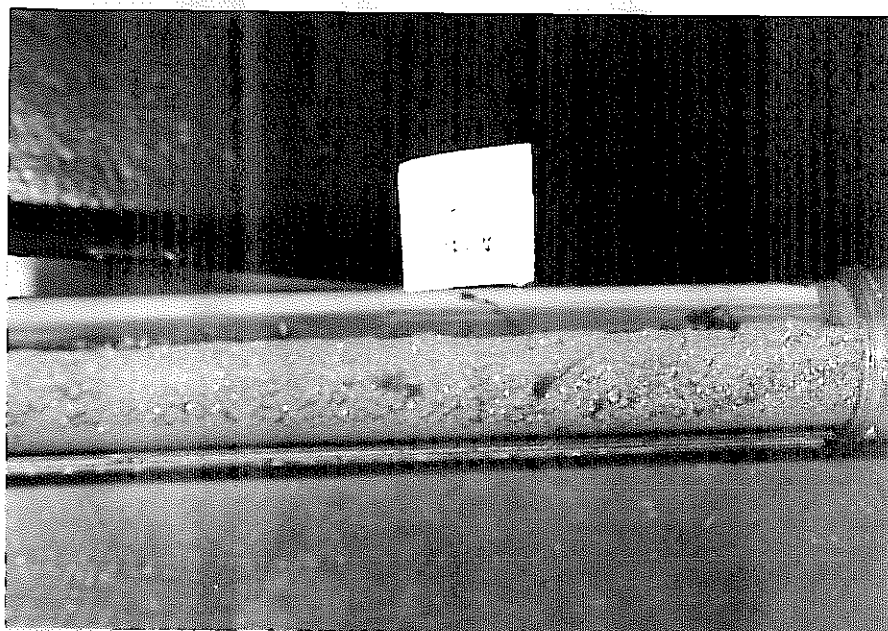


図3-26(e) 配管部2のスラッジ堆積状態

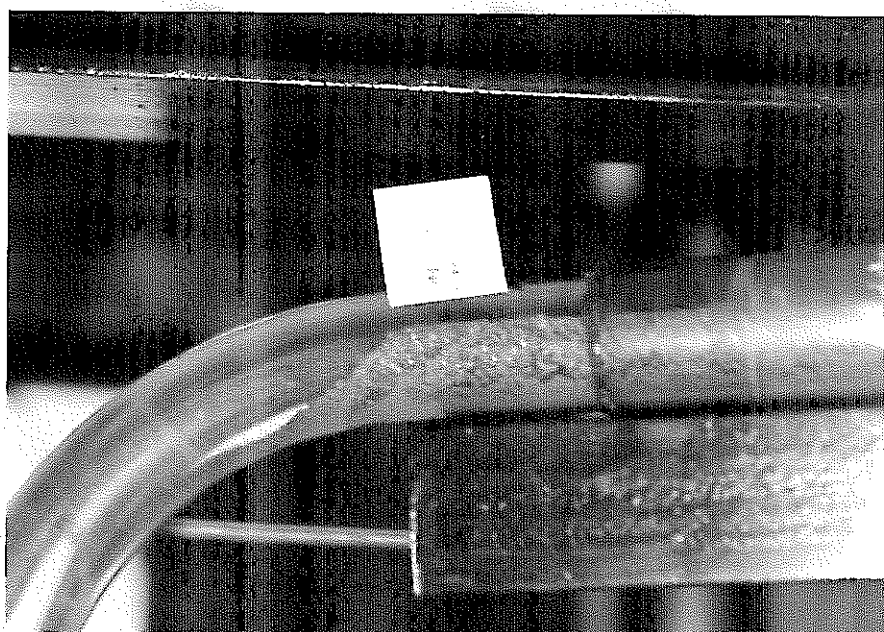


図3-26(f) 配管部2のスラッジ堆積状態



図3-26(g) 配管部3のスラッジ堆積状態

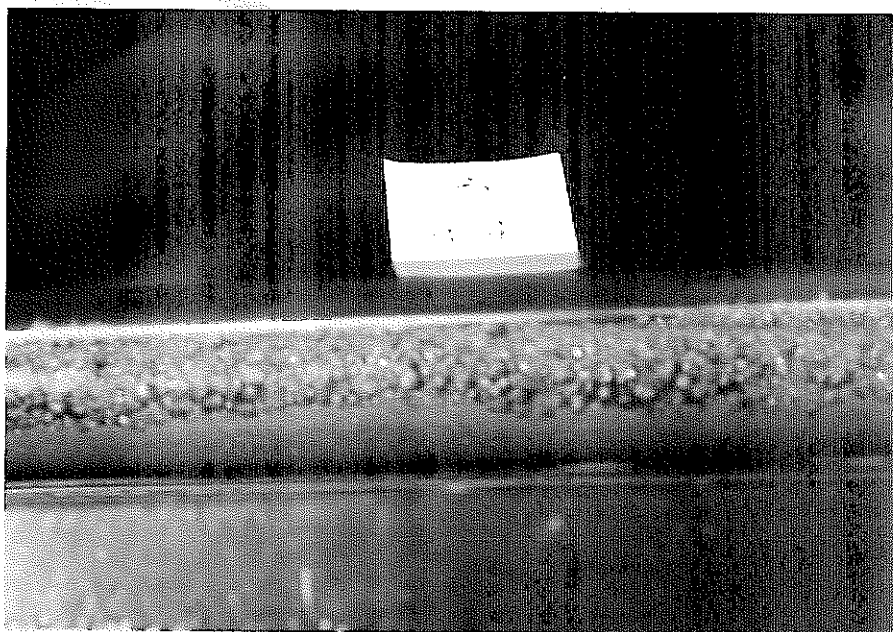


図3-26(h) 配管部3のスラッジ堆積状態



図3-26(i) 配管部3のスラッジ堆積状態

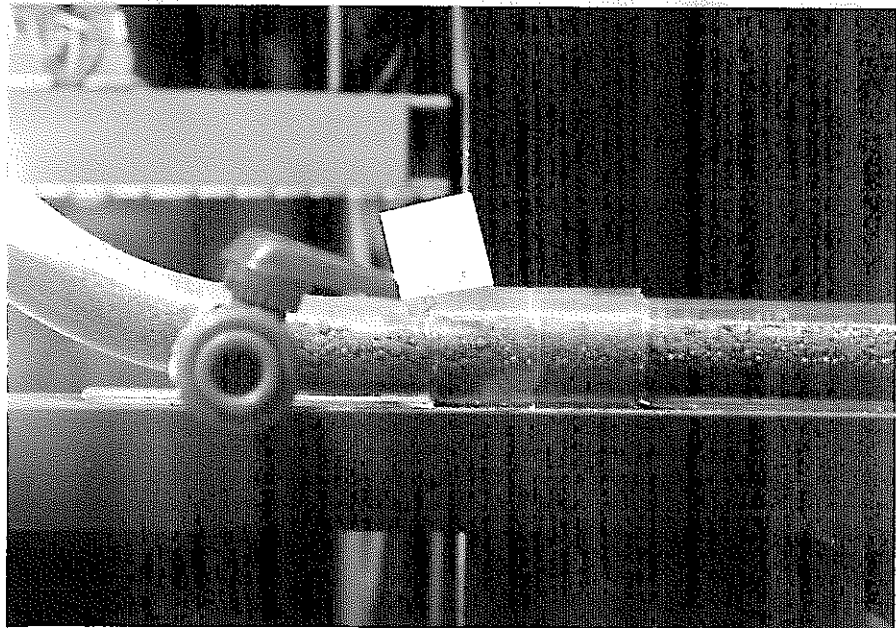


図3-26(j) 配管部4のスラッジ堆積状態

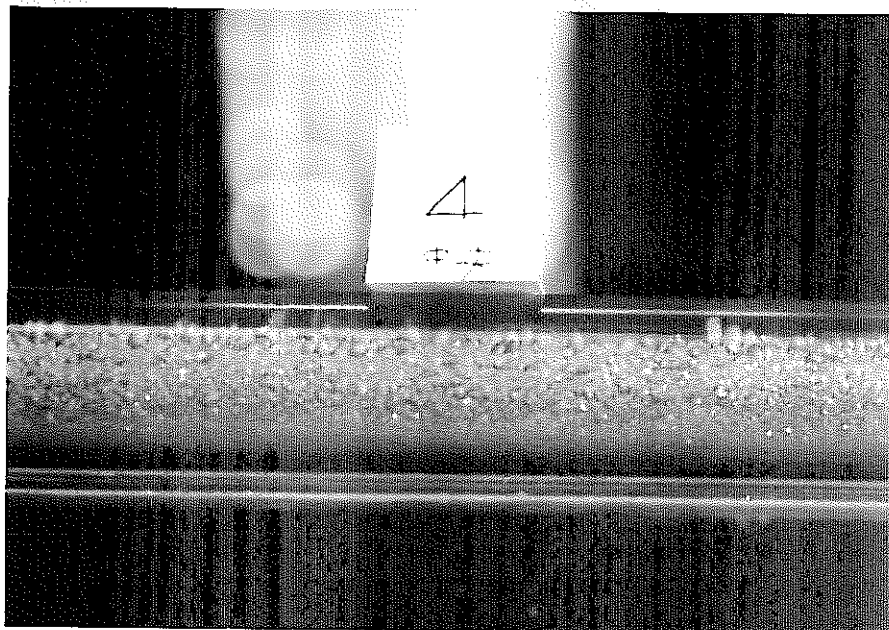


図3-26(k) 配管部4のスラッジ堆積状態

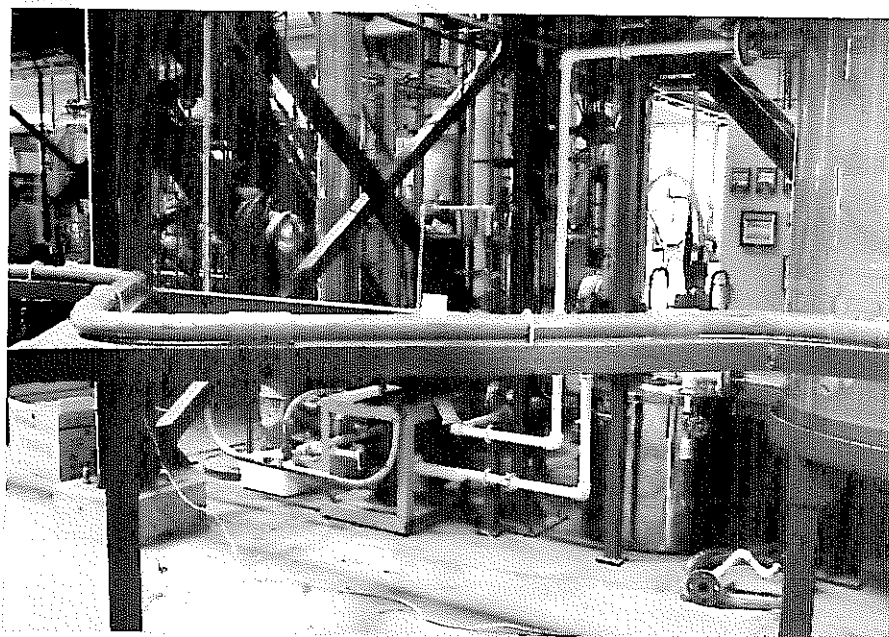


図3-26(ℓ) 配管部4のスラッジ堆積状態

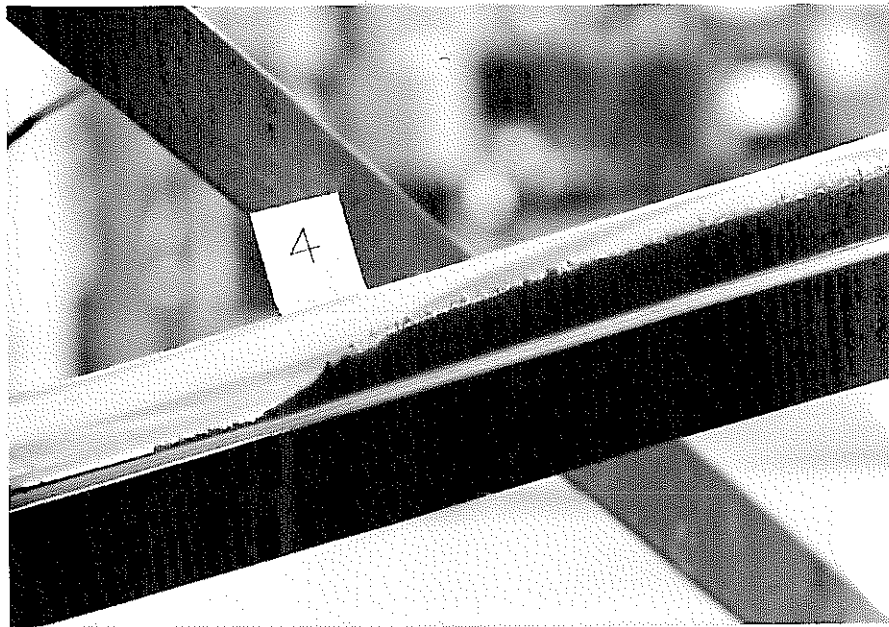


図3-26(㉓) 配管部5のスラッジ堆積状態

③ 詰まりの発生プロセス

(i) 252V13内の吸い込み口

全ての粒子径のスラッジが吸い込まれるので吸い込み口においては詰まりは発生せず、252A132 の揚液量も低下しなかった。

(ii) 水平配管部

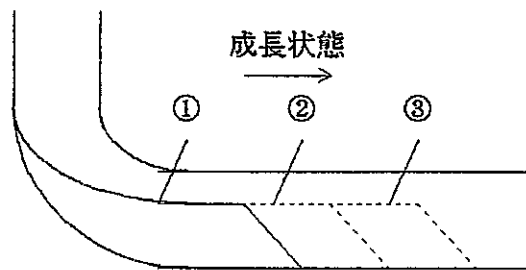


図3-27 水平配管部1のスラッジ堆積成長状態

運転開始時における水平配管内の流速は0.33 m/secであるため252V13から吸い上げられたスラッジは、水平配管部1において図3-27の①の様に堆積する。スラッジが堆積していくと配管の実質の断面積が小さくなって流速が速くなり限界流速以上になると配管上部は、スラッジが堆積せず、すき間ができ、その上をスラッジが流れていき、図3-27の②、③へとスラッジの堆積が成長していく。そして、順に水平配管部2、3へと成長していく。

しかし、スラッジが成長していくにつれ、せばめられた配管部が多くなりその通水抵抗のため271A108 の揚液量が表3-31に示す様に低下していく。

ゆえに271E10への立ち上がり配管内の流速が低下し、大粒子の沈降速度より小さくなり、吸いあげられない粒子径のスラッジが水平配管部に詰まると予想される。

また、水平配管部の堆積スラッジ粒度分布を表3-32、表3-33に示す。

表 3-32 水平配管部 1～3 の堆積スラッジ粒度分布

| 粒径 (mm) | スラッジ重量 (g) | 重量 % | 積算重量 % |
|-------------|------------|-------|--------|
| >4.76 | 36.0 | 0.4 | 0.4 |
| 4.76～4.00 | 263.0 | 2.6 | 3.0 |
| 4.00～2.00 | 3495.0 | 34.3 | 37.3 |
| 2.00～1.00 | 2634.8 | 25.8 | 63.1 |
| 1.00～0.50 | 1479.0 | 14.5 | 77.6 |
| 0.50～0.105 | 1922.0 | 18.9 | 96.5 |
| 0.105～0.074 | 355.0 | 3.5 | 100.0 |
| 合計 | 10184.8 | 100.0 | |

表 3-33 水平配管部 4～6 の堆積スラッジ粒度分布

| 粒径 (mm) | スラッジ重量 (g) | 重量 % | 積算重量 % |
|-------------|------------|-------|--------|
| >4.76 | 40.2 | 0.2 | 0.2 |
| 4.76～4.00 | 361.0 | 2.0 | 2.2 |
| 4.00～2.00 | 5596.5 | 31.0 | 33.2 |
| 2.00～1.00 | 5273.0 | 29.2 | 62.4 |
| 1.00～0.50 | 3738.5 | 20.7 | 83.1 |
| 0.50～0.105 | 2830.5 | 15.6 | 98.7 |
| 0.105～0.074 | 230.8 | 1.3 | 100.0 |
| 合計 | 18070.5 | 100.0 | |

また、積算分布曲線および投入スラッジの積算分布曲線を図 3-28 に示す。

これらより平均粒径をもとめると表 3-34 の様になる。

表 3-34 スラッジ平均粒径

| | 平均粒径 (mm) |
|-----------|-----------|
| 水平配管部 1～3 | 1.43 |
| 水平配管部 4～6 | 1.32 |
| 投入スラッジ | 1.14 |

以上より、水平配管部に堆積したスラッジの粒度分布は、ほぼ投入スラッジのそれと等しいことが判明した。

④ まとめ

以上の結果より詰まりを防止する運転条件における試験においては、252V13内の吸い込み口は吸い込み配管内の流速が最大粒子の沈降速度以上を維持できるので詰まらないが、水平配管部は既設では271E10への立ち上がり配管内の流速が最大粒子の沈降速度を維持できない（水平配管部の通水抵抗が大きいため）ため、スラッジが堆積し、詰まりが発生すると考えられる。

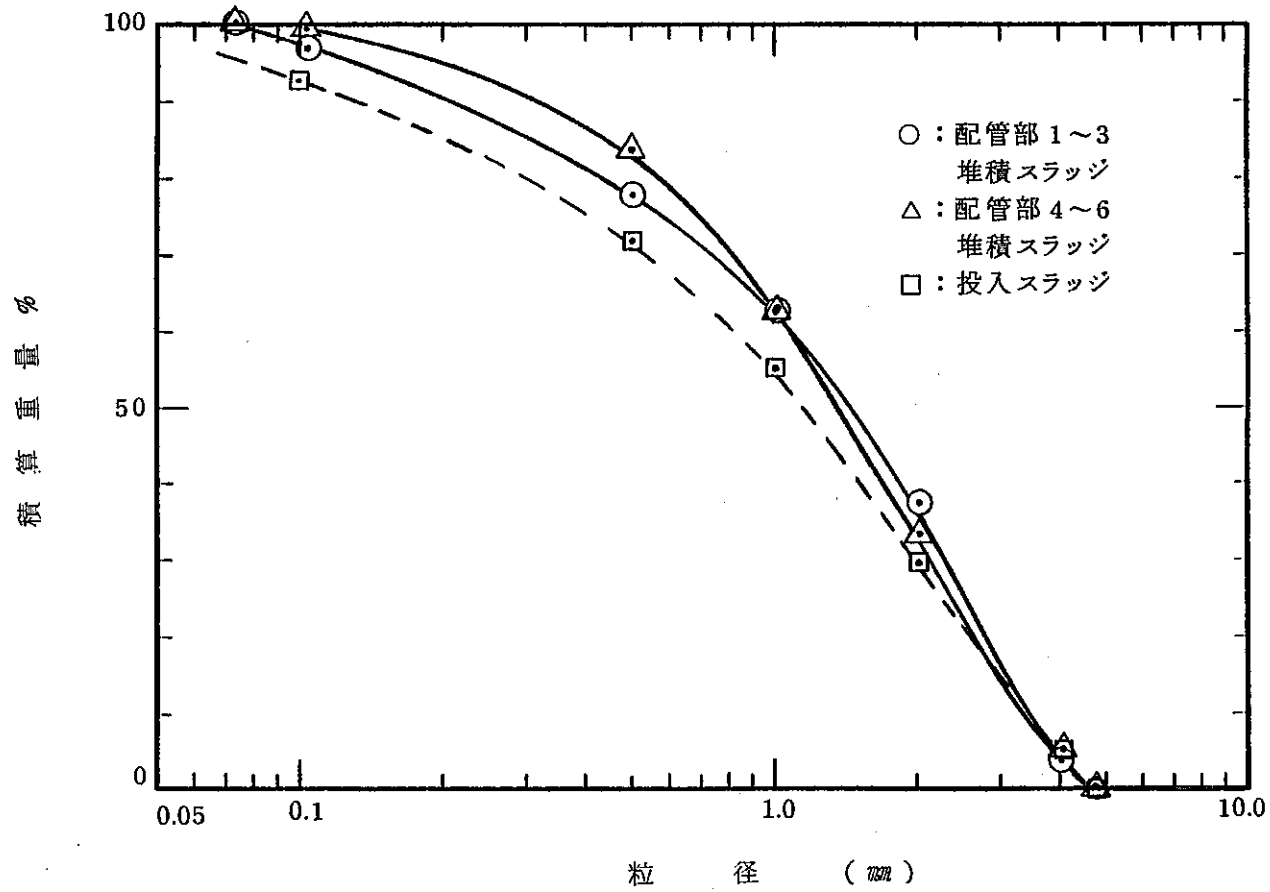


図3-28 スラッジの重量積算分布

(8) 結 論

- 1) 通常の運転条件およびスパージングを行う運転条件における試験については詰まりは、252V13の吸い込み口で発生した。水平配管部については、スラッジは堆積するが上部に流路を形成するため、詰まりは発生しなかった。
- 2) 通常の運転条件およびスパージングを行う運転条件における試験については252V13から吸い込まれる粒子の粒径は、2.00mm未満（平均粒径0.2mm程度）であり、2.00mm以上の粒子は、252V13内に蓄積される。
- 3) スパージングを行うことにより252V13内のスラッジは、中央部に偏りスラッジ堆積高さが増加し、吸い込み口が詰まりやすくなる。
- 4) 詰まりを防止する運転条件における試験については、252D136 の真空度を-2,900 mmAqまで上昇させ、かつ252A132 の空気量を上昇させ揚液量を2 m³/hr まで上げるにより全ての粒径のスラッジ粒子を吸い上げることができるので252V13の吸い込み口の詰まりは、防止できる。
- 5) 詰まりを防止する運転条件における試験により、水平配管部にスラッジが堆積し、流路が狭められその通水抵抗のため271A108 の揚液量が低下し、271D101 へ大粒子をリフトできず水平配管部に詰まりが発生することが想定された。

3.3 モックアップ本試験

(1) 試験目的

予備試験で得られた結果を基に現状の装置で詰まりを防止する方法を見出すことを目的とする。

(2) 試験装置

試験装置は、予備試験で使用した装置を一部改造して使用する。改造箇所は、水平配管部の一部（配管部4に水を圧入する配管と圧空を注入する配管を取り付けた。）および垂直配管部の一部（配管部3と4の間にボールバルブを設置した。）である。

詳しくは、図3-29のモックアップ装置図および図3-30のモックアップ装置配管図を参照されたい。

(3) 試験条件

1) 模擬スラッジ物質

予備試験と同一とする。

2) 模擬スラッジ物質の粒度分布

予備試験と同一とする。

3) 模擬スラッジ濃度

模擬スラッジ濃度は、以下の3点とし、各々の濃度について試験を行う。

① 予備試験と同一濃度 (0.834wt% = 3.92Kg/ 4,700 ℓ)

② ①の2倍濃度 (1.67wt% = 7.84Kg/ 4,700 ℓ)

③ ①の4倍濃度 (3.34wt% = 15.68Kg/4,700 ℓ)

③の濃度については、文献8)を参考とした。

4) 模擬高放射性廃液

予備試験と同一とする。

(4) 試験方法

1) 試験方法の選定

予備試験の結果、詰まりの発生箇所および発生プロセスについて以下の知見を得た。

- ① 詰まりの発生個所は、252V13のエアリフト吸い込み口と水平配管部（水平配管部は予備試験では、閉塞しなかったが、長時間運転すれば閉塞すると予想された。）であった。
- ② 詰まりの発生プロセスとしては、252V13のエアリフト吸い込み口については現状の運転条件では2 mm以上のスラッジ粒子が吸い込めないためであり、水平配管部については、スラッジ堆積により狭められた流路が詰まるためである。

いずれの詰まりも配管内の液流速がスラッジを移送するのに必要な流速を満たしていないことが原因である。

さらに、予備試験中の詰まりを防止する運転条件における試験において

- ① 252V13のエアリフト吸い込み口の詰まりについては、252D136 の真空度を上昇させること、およびエアリフトの空気流量を上げることにより4 mm程度の大粒子でも吸引できるため、詰まりは解消できる。
- ② 水平配管部の詰まりについては、271D101 の真空度を現状で可能な最大値とし、かつ271A108 の空気流量を上昇させ最大の揚液量（約 600 ℓ /hr）としても水平配管部にスラッジ粒子が堆積することを防止できない。
- ③ 水平配管部のスラッジの堆積は、図3-30の水平配管部1から順次6に移動していき、水平配管部が完全に閉塞することはないが、水平配管部の流路が著しくせばめられるため圧力損失により271D101 への揚液量が著しく低下する。（約 100 ℓ /hr）

また既設装置を改造しようとした場合

- ① セルR006およびR019は、高放射性容器（252V13,271E10 など）があるためセルを開封し工事をするのが極めて困難である。
- ② セルR026は、配管部のみなので工事が可能である。
ということが事業団殿との打合せにより判明した。

以上の内容を検討した結果

- ① 252V13エアリフト吸い込み口の詰まりを防止するため252D136 の真空度を上昇させ、エアリフトの空気流量を上げ、すべての粒径のスラッジ粒子を

吸い上げるようにする。

- ② 水平配管部 1～3 までに堆積したスラッジは 252V131 のヘッドを利用して水平配管部 4 以降に輸送する。
- ③ 工事可能なセル R026 の水平配管部 4 に圧力水注入ノズルを設置し、水平配管部 4、5 および 6 の堆積スラッジを圧力水を瞬間的に注入することにより 271E10 へ輸送する。その際逆流を防止するため水平配管部 3 と 4 の間にボールバルブを設置し、注入時は全閉とする。

万一水平配管部 1～3 に堆積スラッジによる閉塞を生じた場合には、水平配管部 4 の圧力水注入ノズルより水を注入し、水平配管部 1～3 側に逆流させることにより閉塞を解除する。(ボールバルブを開としておく。)

以上の運転方法によりスラッジの詰まりを防止し、252V13 に供給されたスラッジを 271E10 へ輸送することが可能であると判断し、本方法を選定した。

2) 試験手順

- ① 271E10 に水を供給し 271D101 より 271E10 に至る配管を約 500mm 水封する。
- ② 252V131 に水を供給し、252V131 から 252V13 へ水がオーバーフローした時点で供給をストップする。(252D136 の水封)
- ③ 252V13 に水を張り込み全量を 4,700ℓ とする。
- ④ 予め混合しておいた模擬スラッジの所定量 (3.92kg または 7.84kg または 15.68kg) を 252V13 のエアリフト吸い込み口近傍に投入する。(予め吸い込み口のスラッジをすり鉢状にし、安息角を形成させておく。)
- ⑤ 252P03 を稼働させ 252D136 の真空度を -2,900mmAq にセットする。
- ⑥ 271P02 を稼働させ 271D101 の真空度を -500mmAq にセットする。
- ⑦ 252A132 のエアリフトを作動させ FI02 の目盛を 1.25、PI02 の目盛を 0.15 にセットする (約 300ℓ/hr)。この時 FR01 が 600ℓ/hr ± 5% (570～630ℓ/hr) であることを確認する。(この範囲外であれば FI02 を調節する。)
- ⑧ 271A108 のエアリフトを作動させ、FI01 の目盛を 1.0、PI01 の目盛を 0.10 にセットする (1.25Nm³/hr)。この時 FR02 が 600ℓ/hr ± 5% (570～630ℓ/hr) であることを確認する。(この範囲外であれば FI01 を調節する。)

この時の配管部1～3のスラッジ堆積および輸送状態をビデオ撮影する。

- ⑨ ⑦、⑧の条件で5分間運転した後、PI02の目盛は0.15のままFI02の目盛を3.0 にあげる(約 $1.0\text{Nm}^3/\text{hr}$)。この時FR01が $1.4\text{m}^3/\text{hr}$ 程度であることを確認する。この運転を5分間継続する。この時の配管部1～3のスラッジ堆積および輸送状態をビデオ撮影する。
- ⑩ さらにFI02の目盛4.0 としFR01を $2.0\text{ m}^3/\text{hr}$ まで上げ252V13よりスラッジが吸い込まれなくなるまで運転する。
- ⑪ その後配管部3と4の間のボールバルブを全閉とした後271P01を稼働させ、圧力水を約 $5\text{m}^3/\text{hr}$ (FI05)で瞬間的に配管部4に注入し、配管部4～6のスラッジが271D101に輸送されたことをもって注入ストップとする。次に、配管部4に空気を圧入し配管部4以降の水を大部分排除した後、ボールバルブを全開とし252V131のヘッドを利用して配管部1～3の堆積スラッジを配管部4以降に輸送する。
- ⑫ PI01の目盛は、0.10のままFI01の目盛を下げ、FR02の流量を $250\text{ l}/\text{hr}$ にセットする。
- ⑬ PI02の目盛は、0.15のままFI02の目盛を下げ、FR01の流量を $450\text{ l}/\text{hr}$ にセットする。
- ⑭ このまま10時間運転を続けた後、全系をストップする。
- ⑮ 271E10より輸送スラッジを回収し、粒径分布および容量を測定する。
- ⑯ 配管部1～3のスラッジの堆積状態をビデオテープおよび写真に撮る。また、スラッジの堆積量を堆積高さを測定することにより算出する。
- ⑰ 271P01を稼働させ271E10の水を252V13に供給し、252V13の全量を $4,700\text{ l}$ とする。
- ⑱ 4)～16) を繰り返す。
- ⑲ 投入スラッジ量を変えて1)～17) を繰り返す。
- ⑳ 以上の試験により
 - (i) 詰まりが発生しないか否かを確認する。
 - (ii) 271E10より回収されたスラッジの粒径分布および容量が投入スラッジの

この頁はPDF化されていません。
内容の閲覧が必要な場合は、技術資料管理
担当箇所では原本冊子を参照して下さい。

それとほぼ同一であるか否かをチェックする。

(5) 試験結果および考察

1) 安息角の測定

図3-31に安息角の測定方法を示す。

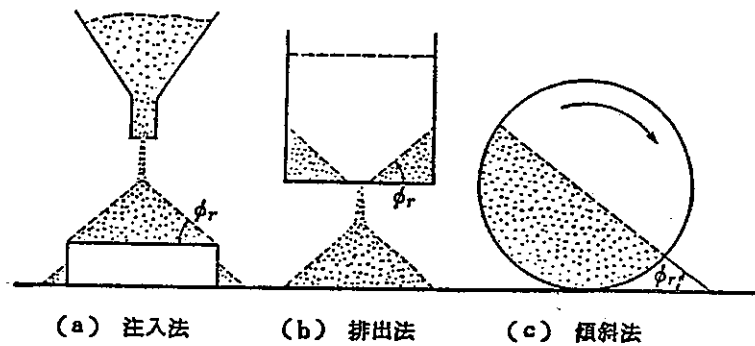


図3-31 安息角の測定法

スラッジの安息角を図3-31 (a) 注入法により測定した結果を表3-35に示す。

表3-35 投入スラッジの安息角

| | 1回目 | 2回目 | 3回目 | 平均 |
|---------|------|------|------|------|
| 安息角 (度) | 34.0 | 33.0 | 32.3 | 33.1 |

一般に注入法の値は、排出法、傾斜法のそれと比べると小さい値をとると言われている。252V13内のスラッジ吸い込みは吸い込み配管下端の近傍だけであるので、252V13内のスラッジ堆積状態は最終的に図3-32の様に吸い込み口を中心とした安息角を形成すると考えられる。

それゆえ本試験は、安息角を形成させ投入スラッジが吸い込み口近傍に集中するようにした。

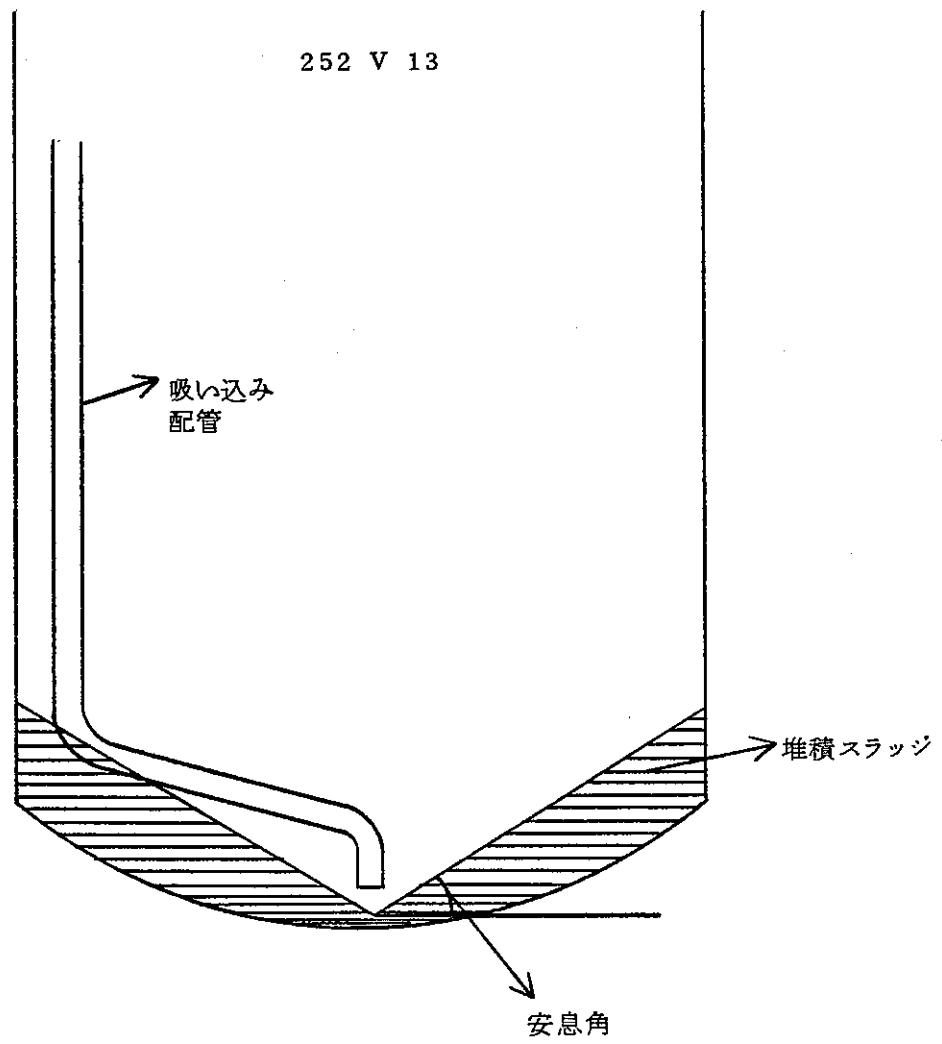


図 3-32 252 V 13 内の最終的なスラッジ堆積状態

2) 投入スラッジ濃度 0.834wt%(3.92kg, 1000cc)の試験

① 回収率と粒径分布

図3-33に示すように最初252V13内吸い込み口の回りにスラッジの山を作り、スラッジの投入はその中心部めがけて行なった。この時、スラッジの投入回数と252V13内より吸い上げたスラッジの回収率の関係を表3-36および図3-34に示す。ただし、回収スラッジ量の測定は配管部の堆積スラッジ高さより算出した。また〔 〕内は、配管部堆積スラッジの実測値（ランダム充填）である。

配管部に堆積せずに271E10へ輸送されるスラッジ量は目視で判断するとごく少量であり、それによる誤差は無視できると考えられる。

表3-36 スラッジ投入回数と回収率の関係

| 投入回数 | スラッジ回収量 (cc) | スラッジ回収率 (%) |
|------|--------------|-------------|
| 1 | 少量のため計測せず | ————— |
| 2 | ” | ————— |
| 3 | 164 | 16.4 |
| 4 | 315 | 31.5 |
| 5 | 343 | 34.3 |
| 6 | 457 | 45.7 |
| 7 | 535 | 53.5 |
| 8 | 706 (650) | 70.6 (65.0) |
| 9 | 696 (655) | 69.6 (65.5) |
| 10 | 711 (655) | 71.1 (65.5) |

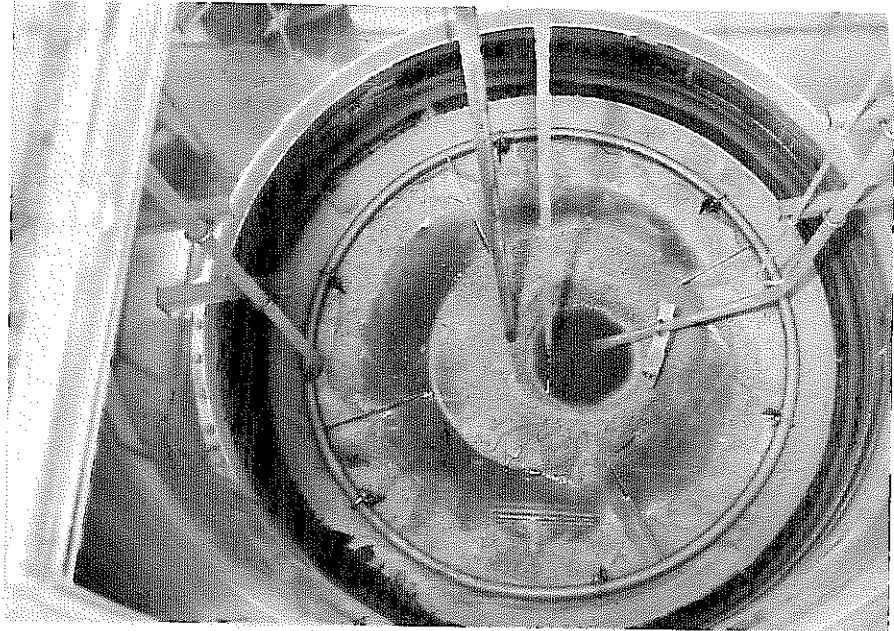


図3-33 252V13内のスラッジ堆積状態

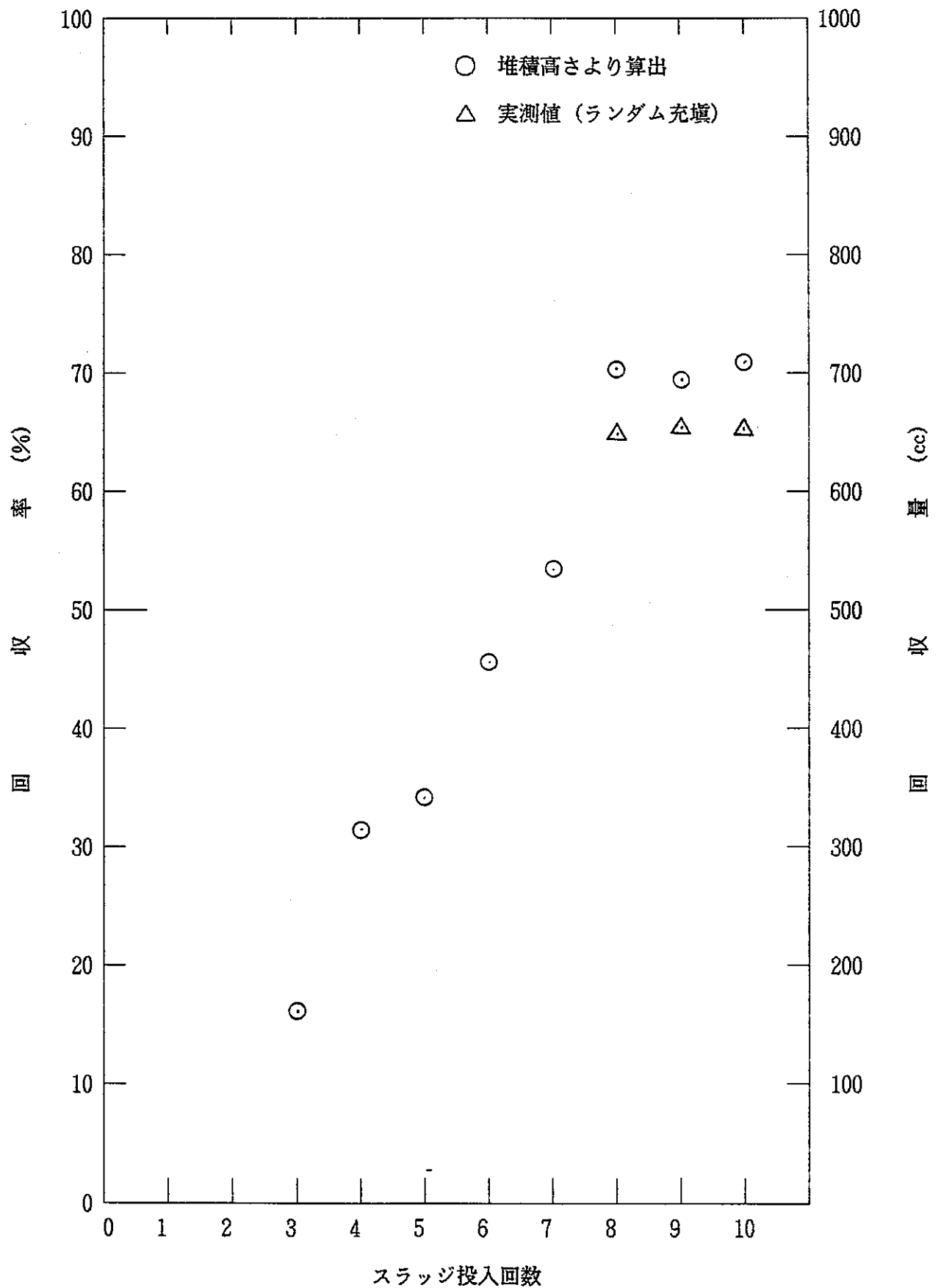


図3-34 濃度0.834wt%スラッジの投入回数と回収率の関係

図3-34より投入回数が8回目以降で平衡状態になったと考えられるので、10回目のサンプルの粒度分布を測定した。結果を表3-37に示す。

表3-37 回収スラッジの粒度分布

| 粒径 (mm) | 重量 (g) | 重量 % | 積算重量 % |
|------------|--------|-------|--------|
| 4.76 ~ 4.0 | 117.7 | 5.0 | 5.0 |
| 4.0~2.0 | 781.3 | 33.4 | 38.4 |
| 2.0~1.0 | 813.3 | 34.8 | 73.2 |
| 1.0~0.5 | 430.0 | 18.4 | 91.6 |
| 0.5~0.105 | 186.9 | 8.0 | 99.6 |
| 0.105> | 9.9 | 0.4 | 100.0 |
| 合計 | 2339.1 | 100.0 | |

表3-37より重量による回収率は

$$\frac{2339.1}{3920} \times 100 = 59.7(\text{wt}\%)$$

である。

回収率が約60%と低いのは、

- (i) 安息角上の粒子のすべりが悪い事によるロス。
- (ii) 安息角を形成している山の外にスラッジが沈降した事によるロス。

の2点の影響であると推定される。

また、積算分布曲線を図3-35に示す。図3-35より平均粒径は1.63mmと投入スラッジ (1.14mm) に比べてやや大きい。その理由は、

- (i) 大粒子の方が小粒子より沈降速度が速いので、大粒子が吸い込み口近傍に集中するため大粒子の回収率が良い。
- (ii) 大粒子の方が安息角の壁をすべり易いので、吸い込み口に達し易い。

によるものと推定される。

積算重量%

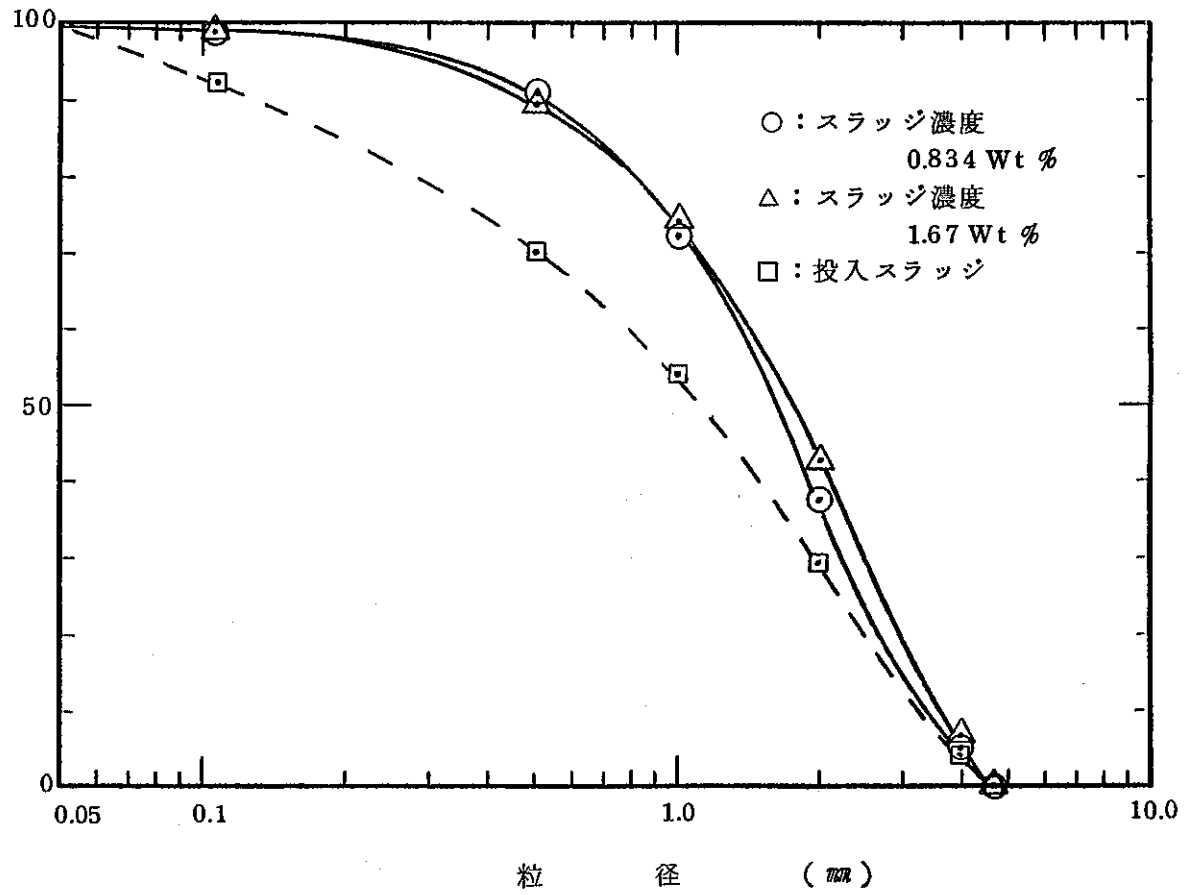


図3-35 スラッジの重量積算分布

② 運転状況

(i) 252D136 , 271D101 真空度の設定

252D136 の真空度を -2900mmAq 、271D101 を -500mmAq に設定した。

(ii) 252A132 揚液量の設定

252A132 空気量 $0.33\text{Nm}^3/\text{hr}$ にて揚液量 $570\text{ℓ}/\text{hr}$ を得た。

(iii) 271A108 揚液量の設定

271A108 空気量 $1.25\text{Nm}^3/\text{hr}$ にて揚液量 $570\text{ℓ}/\text{hr}$ を得た。

以上の条件で5分間運転を行なった。

この時、小粒径のスラッジが少量配管部1に堆積した。

この時の吸い込み配管の流速は $0.256\text{m}/\text{sec}$ (0.7mm 以下の粒子が吸い上げられる速度)、水平配管の流速は、 $0.165\text{m}/\text{sec}$ であった。

(iv) 252A132 揚液量の上昇

揚液量の上昇は、一度に高濃度スラッジが吸い込まれるのを防ぐため2段階で行なった。

最初252A132 空気量を $1.0\text{Nm}^3/\text{hr}$ に上昇させ、揚液量 $1400\text{ℓ}/\text{hr}$ を得た。この時、大粒径のスラッジが多量配管部1および2に堆積したが詰まるまでには至らなかった。

配管部堆積スラッジのため通水抵抗が大きくなり、271A108 揚液量は $550\text{ℓ}/\text{hr}$ に低下していた。

この時の吸い込み配管の流速は $0.631\text{m}/\text{sec}$ (全ての粒子が吸い上げられる速度) 水平配管の流速は $0.159\text{m}/\text{sec}$ であった。

7分後、スラッジの吸い込みがほぼなくなったので252A132 空気量を $1.39\text{Nm}^3/\text{hr}$ に上昇させ揚液量 $1944\text{ℓ}/\text{hr}$ を得た。この時、大粒径のスラッジが少量配管部1および2に堆積したが詰まるまでには至らなかった。この通水抵抗のため、271A108 揚液量は $540\text{ℓ}/\text{hr}$ に低下していた。

この時の吸い込み配管の流速は $0.877\text{m}/\text{sec}$ (全ての粒子が吸い上げられる速度)、水平配管の流速は $0.156\text{m}/\text{sec}$ であった。

10分間この条件で運転した後、スラッジの吸い込みが認められなくなったので271A108の揚液を停止した。

この時の水平配管部スラッジ堆積状態を図3-36に示す。

配管上部流路の高さは8～10mm（配管内径35mm）で、断面積にして約25%であった。

(v) 堆積スラッジの輸送

(a) 配管部4の既堆積スラッジ

前の実験で既に堆積しているスラッジの堆積状態を図3-37に示す。

堆積高さは、5～10mm程度である。

圧力水の注入（ $3.5\text{m}^3/\text{hr}$ 、2分20秒）によりこの既堆積スラッジは全量271E10へ輸送された。

輸送後の配管部の状態を図3-38に示す。

(b) 配管部1および2の堆積スラッジ

圧空を注入（ $2.6\text{ kg/cm}^2\text{G}$ 、 $1.3\text{Nm}^3/\text{hr}$ 、2分30秒）し、配管部4以降の水を大部分排除した後、配管部3と4のバルブをゆっくり開いて252V131のヘッドにより全量配管部4に輸送した。

(vi) 252A132, 271A108 揚液量の現状流量への設定

252A132の空気量 $0.22\text{Nm}^3/\text{hr}$ にて揚液量 440 l/hr （252V13レベルは60.4%）、271A108の空気量 $0.20\text{Nm}^3/\text{hr}$ にて揚液量 250 l/hr を得た。

この時、吸い込み配管の流速は 0.198m/sec （ 0.5mm 以下の粒子が吸い上げられる速度）水平配管の流速は 0.072m/sec であった。

これらの流量（271A108揚液量はほとんど変化しないが252A132揚液量は252V13レベルの減少につれて低下するので約 450 l/hr になるように順次空気量を増大させた。）にて9時間40分運転した。

運転終了時、配管部1に小粒径のスラッジが少量堆積していたが、詰まりに対しては問題はなかった。

この時の状態を図3-39に示す。

③ まとめ

- (i) 投入スラッジ濃度0.834wt%において252A132 による揚液量の増大により全ての粒子径のスラッジが吸い上げられるので252V13の吸い込み口の詰まりは発生しない。
- (ii) 吸い上げられたスラッジは配管部1および2に堆積するが、上部に約25%の流路があり詰まりは発生しない。
- (iii) (ii)において堆積したスラッジは配管部4に圧空を注入し、配管部4以降の水を大部分排除した後、配管部3と4の間のバルブを開け、2552V131のヘッドにより配管部4に輸送できる。
- (iv) 配管部4に堆積したスラッジは圧力水の注入により271E10へ輸送することができる。

という知見を得た。

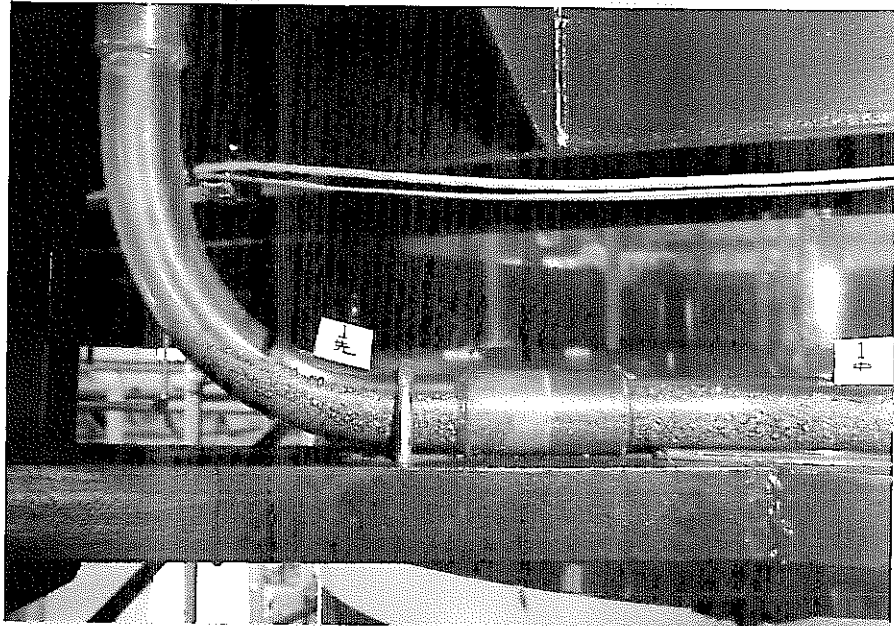


図3-36(a) 配管部1のスラッジ堆積状態



図3-36 (b) 配管部1のスラッジ堆積状態

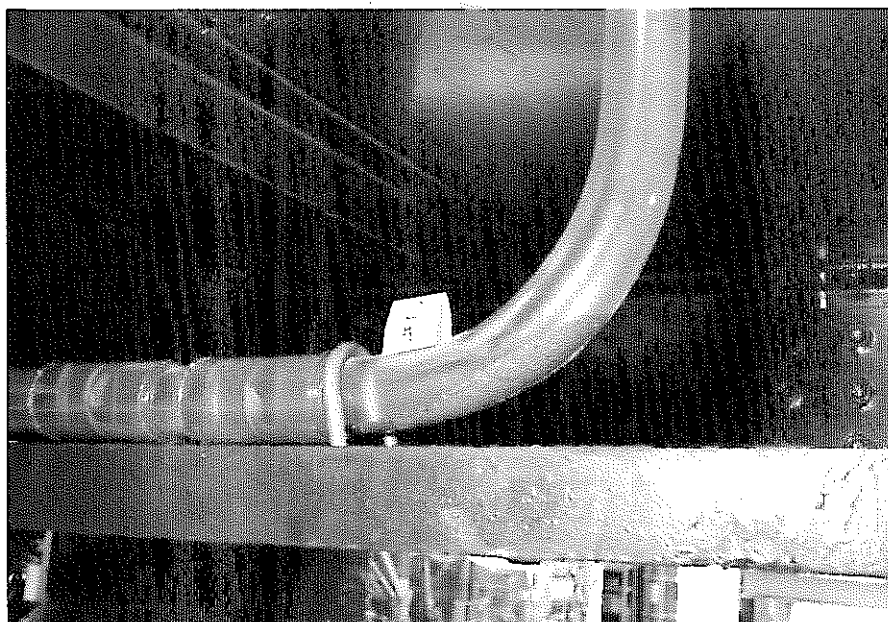


図3-36 (c) 配管部2のスラッジ堆積状態

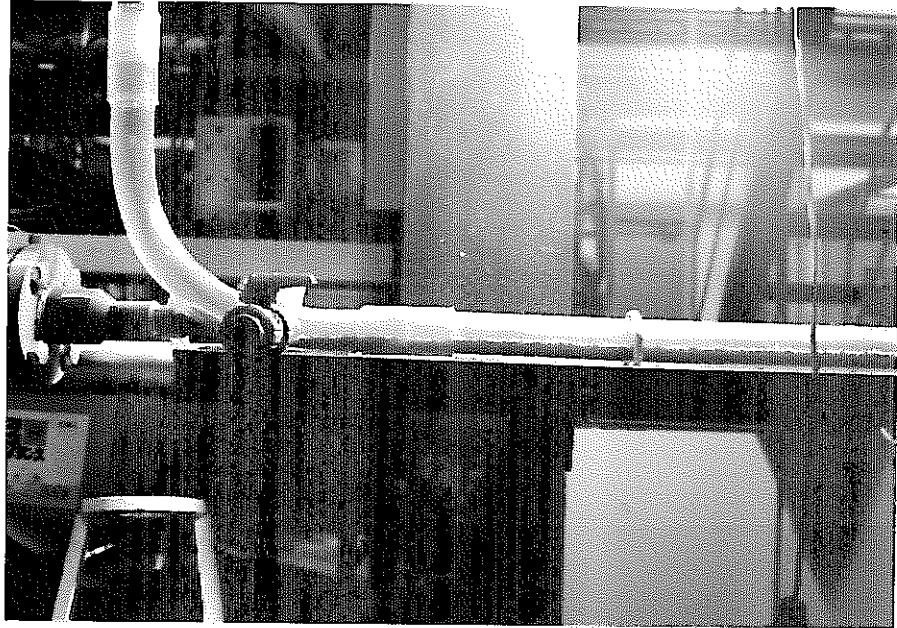


図3-37 (a) 配管部4のスラッジ堆積状態

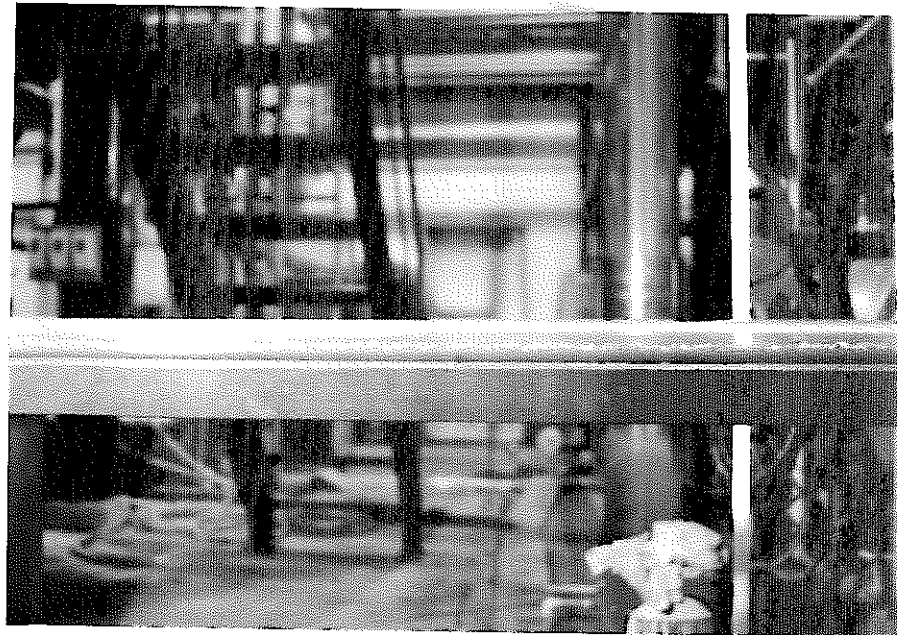


図3-37 (b) 配管部4のスラッジ堆積状態

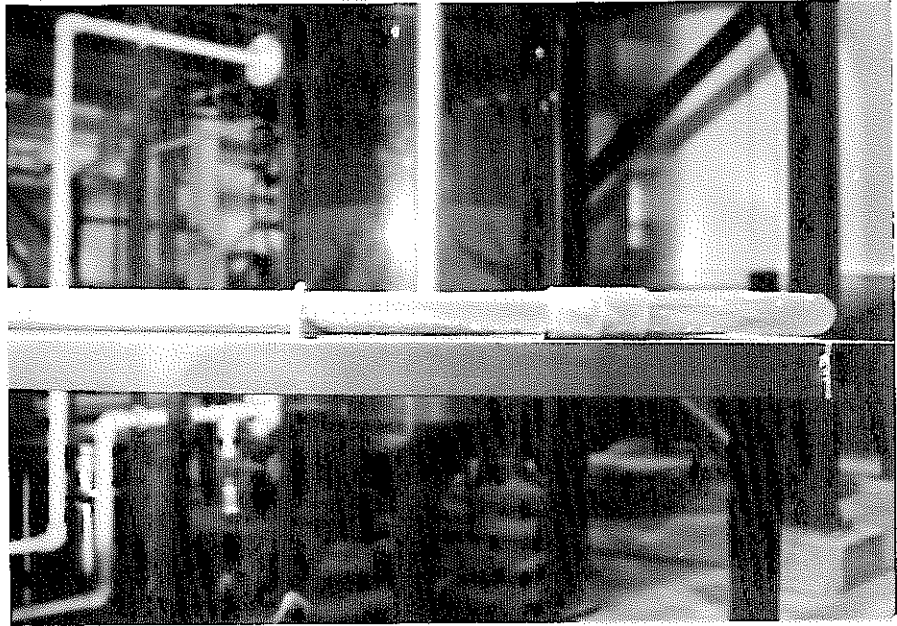


図3-37 (c) 配管部4のスラッジ堆積状態

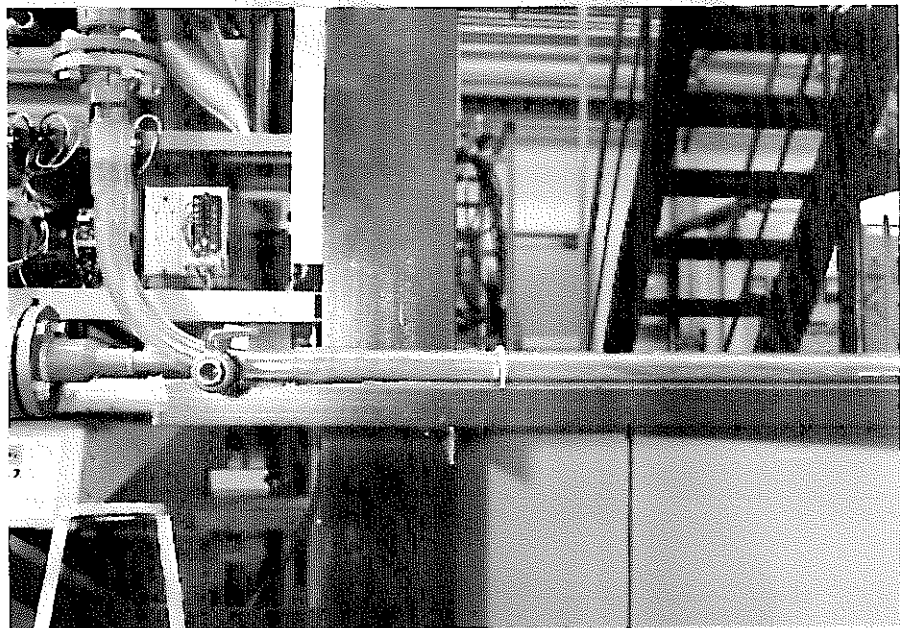


図3-38 スラッジ輸送後の配管部4の状態

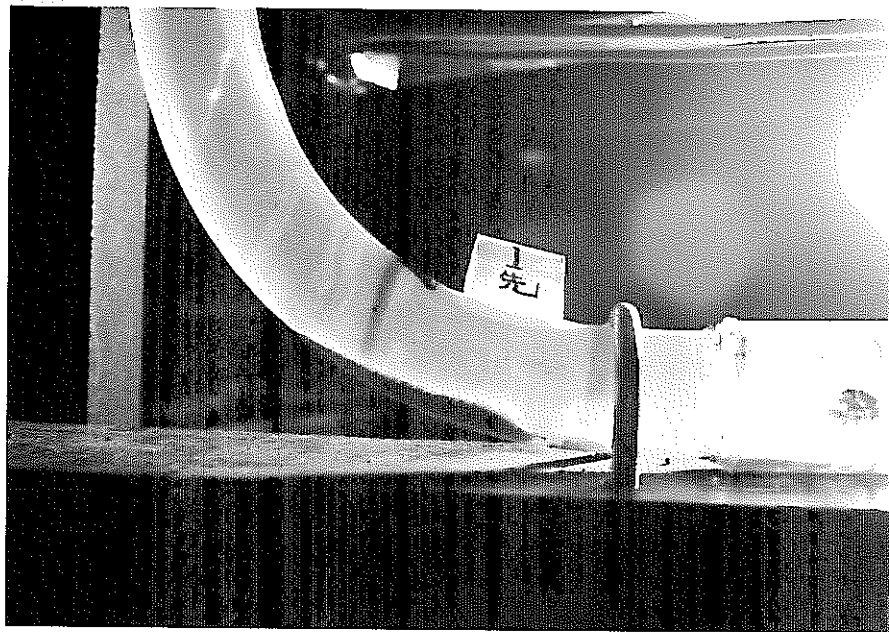


図3-39 (a) 10hr 運転後の配管部1の状態

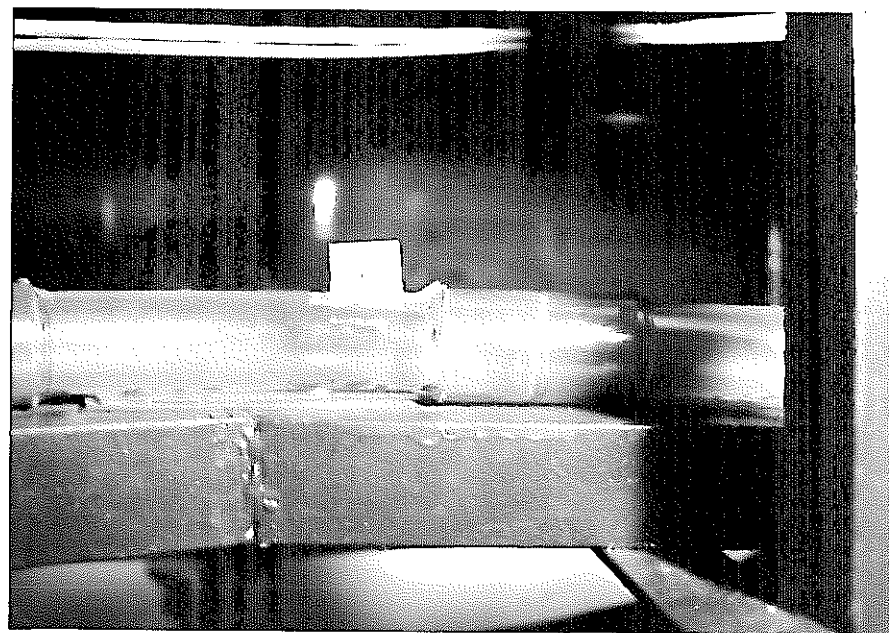


図3-39 (b) 10hr 運転後の配管部1の状態

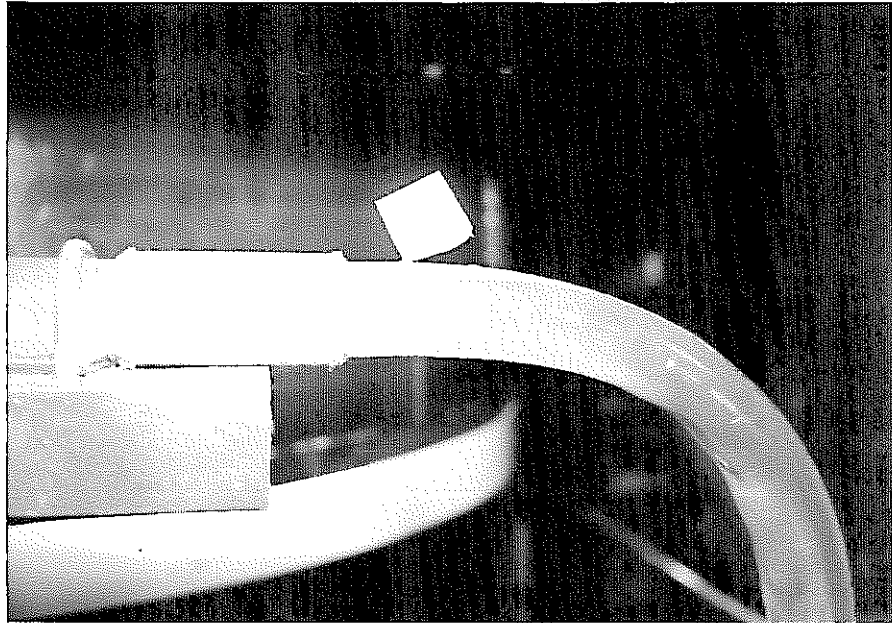


図3-39 (c) 10hr 運転後の配管部1の状態

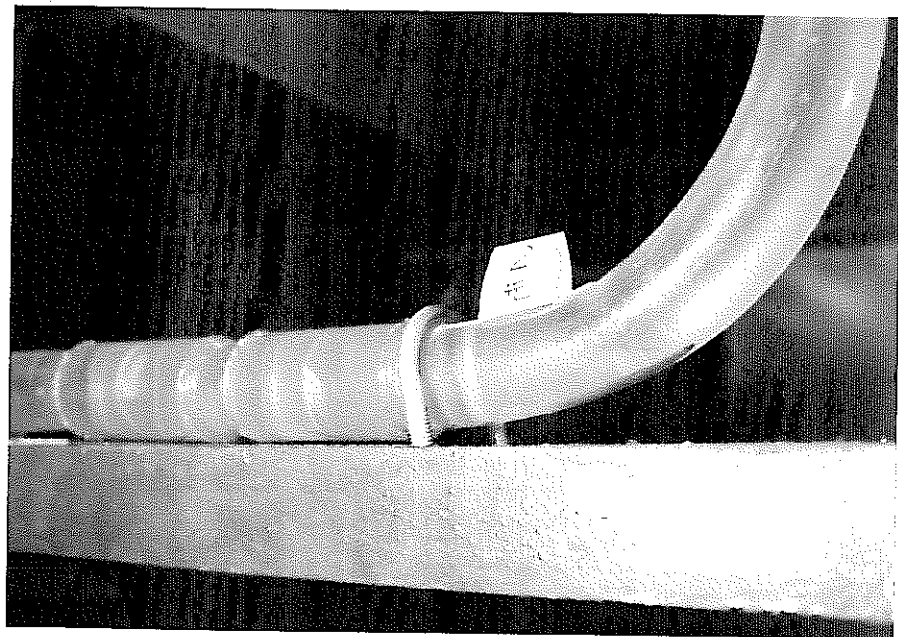


図3-39 (d) 10hr 運転後の配管部2の状態

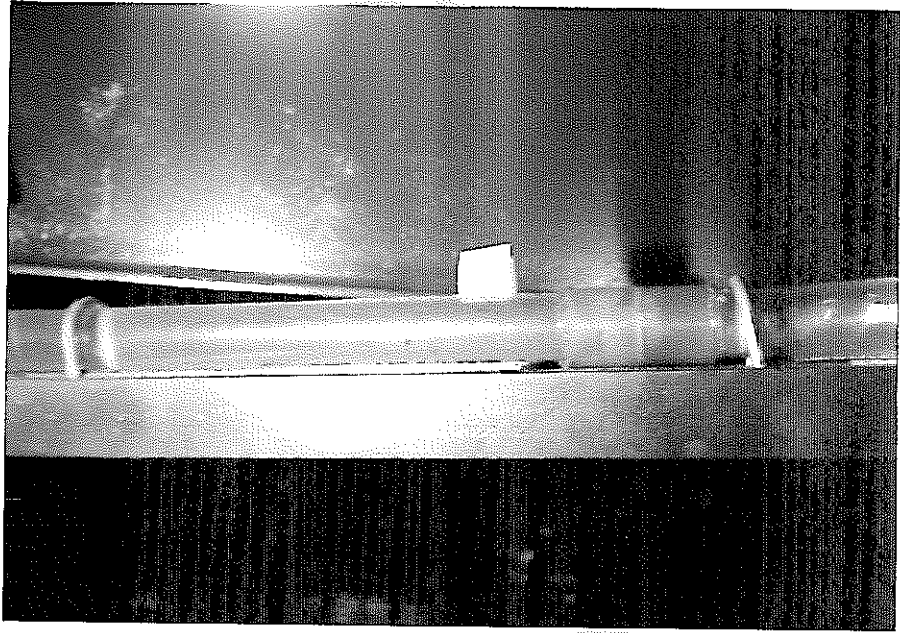


図3-39 (e) 10hr 運転後の配管部2の状態

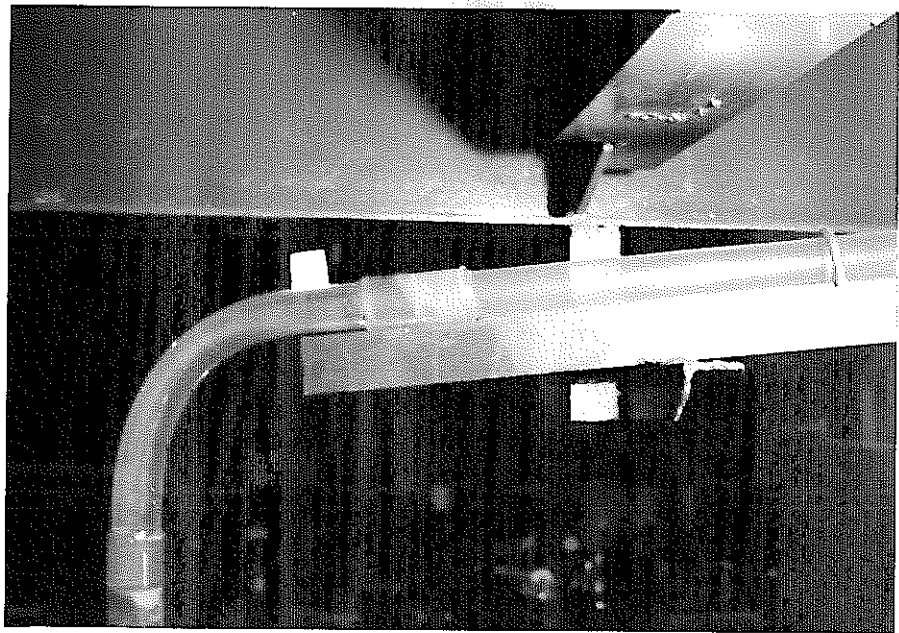


図3-39 (f) 10hr 運転後の配管部2の状態

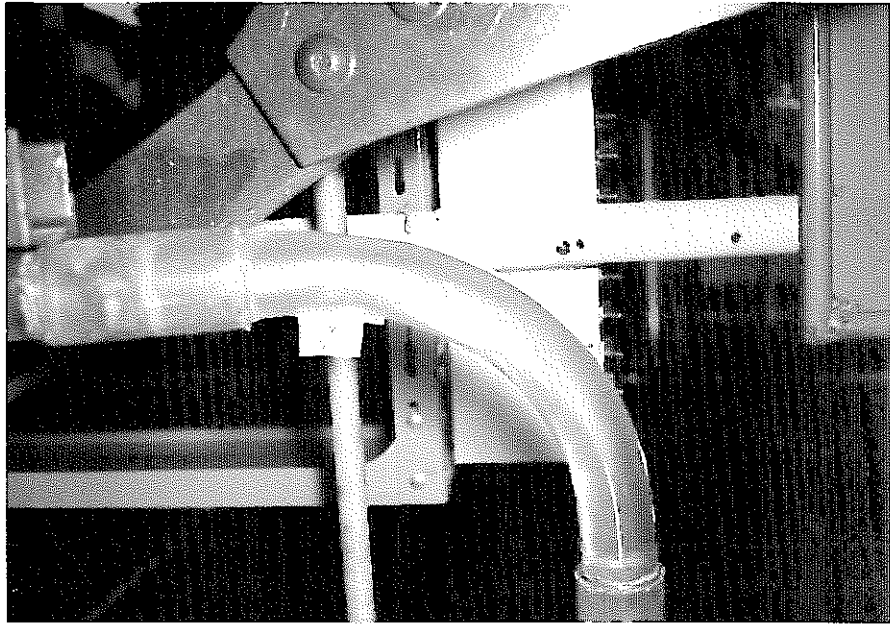


図3-39 (g) 10hr 運転後の配管部3の状態

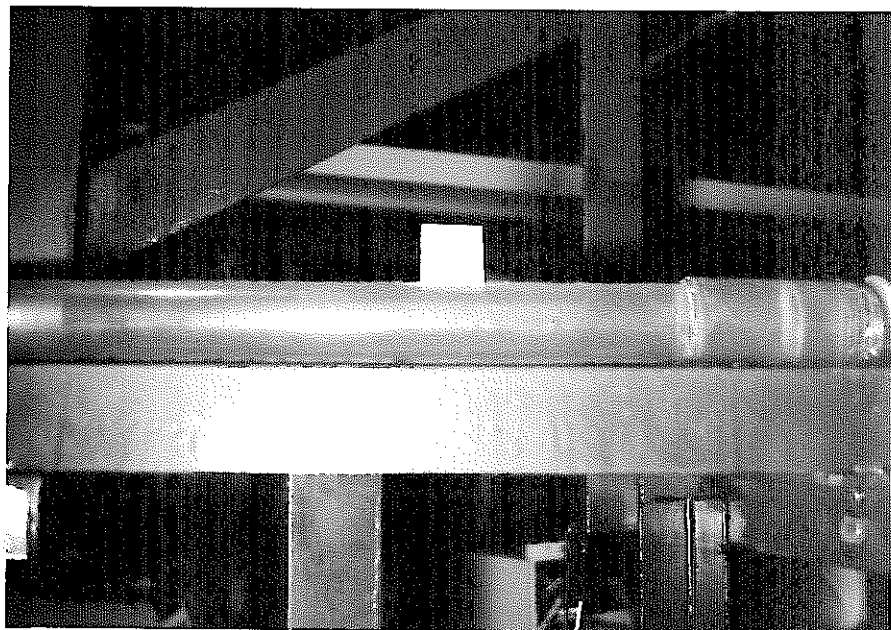


図3-39 (h) 10hr 運転後の配管部3の状態



図3-39 (i) 10hr 運転後の配管部3の状態

3) 投入スラッジ濃度1.67wt%(7.84kg, 2000cc)の試験

① 回収率と粒径分布

投入スラッジ濃度0.834wt%と同様に252V13内吸い込み口の回りに安息角を作って試験を行なった。

スラッジ投入回数と回収率の関係を表3-38および図3-40に示す。ただし、スラッジ回収量は配管部スラッジ堆積高さより算出した。また、〔 〕は配管部堆積スラッジの実測値（ランダム充填）である。

表3-38 スラッジ投入回数と回収率の関係

| 投入回数 | スラッジ回収量 (cc) | スラッジ回収率 (%) |
|------|--------------|-------------|
| 1 | 1267 (1140) | 63.4 (57.0) |
| 2 | 1513 (1350) | 75.7 (67.5) |
| 3 | 666 (700) | 33.3 (35.0) |
| 4 | 1869 (1650) | 93.5 (82.5) |
| 5 | 1818 (1620) | 90.9 (81.0) |
| 6 | 1534 (1378) | 76.7 (68.9) |
| 7 | 1545 (1405) | 77.3 (70.3) |

6回目以降において平衡状態になったと考えられるので、7回目のサンプルの粒度分布を測定した。（4および5回目は、堆積スラッジの山くずれを起したものと推定される。）

結果を表3-39に示す。

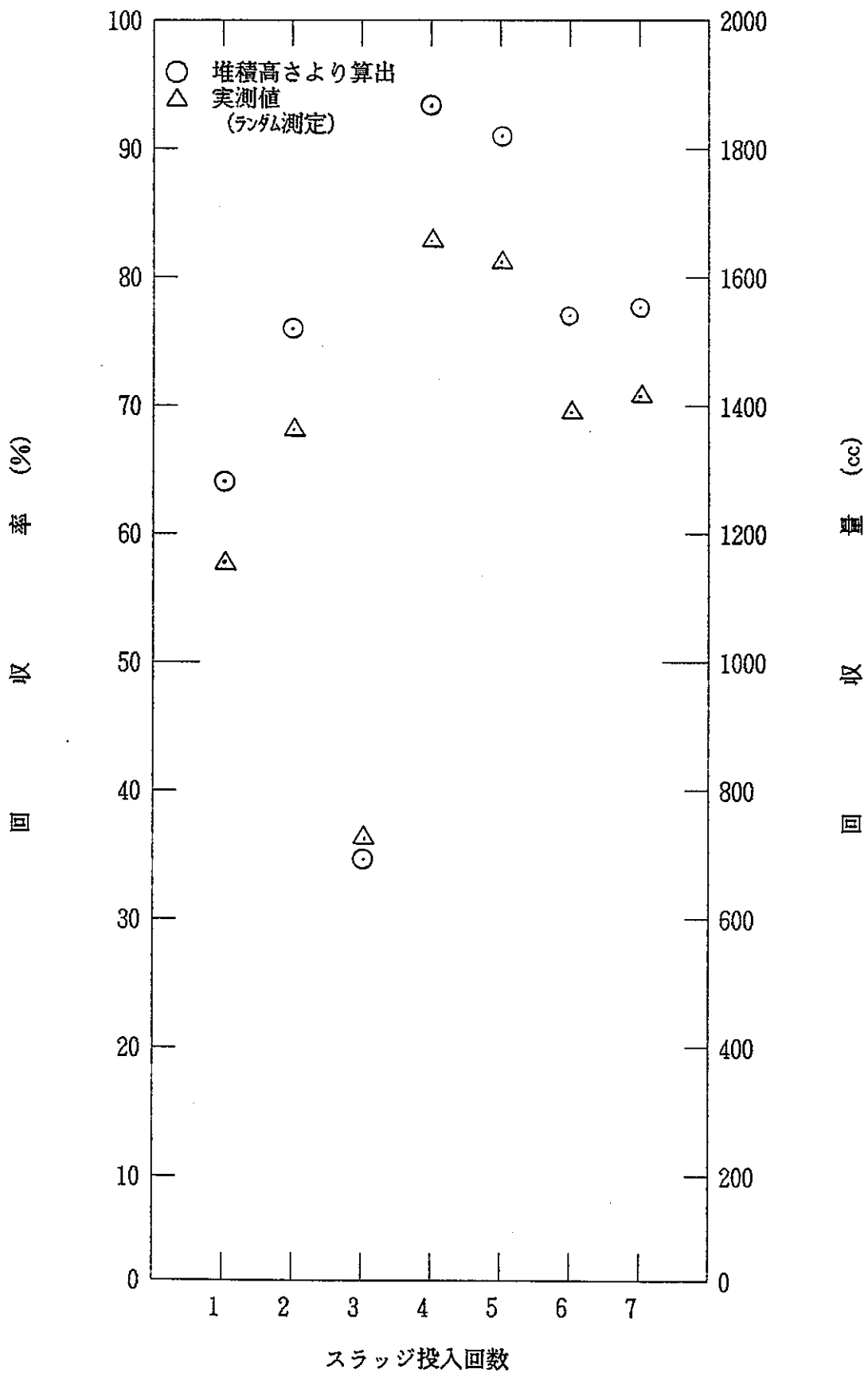


図3-40 濃度 1.67wt%スラッジの投入回数と回収率の関係

表3-39 回収スラッジの粒度分布

| 粒 度 (mm) | 重 量 (g) | 重 量 % | 積算重量% |
|-------------|---------|-------|-------|
| 4.76 ~ 4.0 | 352.1 | 6.7 | 6.7 |
| 4.0 ~ 2.0 | 1911.0 | 36.4 | 43.1 |
| 2.0 ~ 1.0 | 1658.8 | 31.6 | 74.7 |
| 1.0 ~ 0.5 | 809.9 | 15.5 | 90.2 |
| 0.5 ~ 0.105 | 495.0 | 9.4 | 99.6 |
| 0.105 > | 21.6 | 0.4 | 100.0 |
| 合 計 | 5248.4 | 100.0 | |

表3-39より 重量による回収率は

$$\frac{5248.4}{3920 \times 2} \times 100 = 66.9(\text{wt}\%)$$

である。

回収率が約67% と低いのは

- (i) 安息角上の粒子のすべりが悪いことによるロス
- (ii) 安息角を形成している山の外にスラッジが沈降した事によるロス

の2点の影響であると推定される。

また、積算分布曲線を図3-35に添える。図3-35より平均粒度は1.76mmとスラッジ濃度0.834wt%とほぼ同じ粒度分布である。また投入スラッジの平均粒径

(1.14mm) より大きい。

その理由は前述 2) の①の通りである。

② 運転状況

- (i) 252D136, 271D101 真空度の設定
252D136 の真空度を-2900mmAq, 271D108 を-500mmAqに設定した。
- (ii) 252A132 揚液量の設定
252A132 の空気量0.33Nm³/hrにて揚液量 640 ℓ/hr を得た。

(iii) 271A108 揚液量の設定

271A108 の空気量 $1.25\text{Nm}^3/\text{hr}$ にて揚液量 $560 \ell/\text{hr}$ を得た。

吸い込み配管の流速は $0.289\text{m}/\text{sec}$ (0.9mm 以下の粒子が吸い上げられる速度)、水平配管の流速は $0.162\text{m}/\text{sec}$ であった。

2分後、スラッジの吸い上げが少量であったため次のステップへと移ったが、この時小粒径のスラッジが少量配管部1に堆積しただけであった。

(iv) 252A132 揚液量の上昇

高濃度スラッジのため、空気量をスラッジ濃度 $0.834\text{wt}\%$ より更に段階的に上げる事にした。

最初、空気量を $0.89\text{Nm}^3/\text{hr}$ に設定した。この時252A132 の揚液量は最初 $1200 \ell/\text{hr}$ に上昇したが、すぐに吸い込み配管内のスラッジ流動現象による圧力損失のため $400 \ell/\text{hr}$ に低下した。また、271A108 の揚液量も252V131 内の液レベル低下のため $430 \ell/\text{hr}$ に低下した。この時の吸い込み配管の流速は $0.180\text{m}/\text{sec}$ (0.4mm 以下の粒子が吸い上げられる速度)、水平配管の流速は $0.124\text{m}/\text{sec}$ であった。

7分後スラッジの吸い込みが減ってきたので252A132 空気量を $1.0\text{Nm}^3/\text{hr}$ に上昇させ揚液量 $440 \ell/\text{hr}$ を得た。271A108 の揚液量は $420 \ell/\text{hr}$ であった。この時の吸い込み配管の流速は $0.198\text{m}/\text{sec}$ (0.5mm 以下の粒子が吸い上げられる速度)、水平配管の流速は $0.121\text{m}/\text{sec}$ であった。

この状態で15分間運転し、小粒径のスラッジはかなり吸い上げたが依然、吸い込み配管内でスラッジが流動現象をおこしているため252A132 の空気量を更に $1.12\text{Nm}^3/\text{hr}$ に上昇させ揚液量 $584 \ell/\text{hr}$ 、吸い込み配管流速 $0.263\text{m}/\text{sec}$ (0.7mm 以下の粒子が吸い上げられる速度)を得た。271A108 の揚液量は $500 \ell/\text{hr}$ 、水平配管流速 $0.144\text{m}/\text{sec}$ であった。

7分後流動層から輸送層に変化し、流動していたスラッジが吸い上げられ、配管部1から2にかけて堆積した。

この時252A132 揚液量は1720 ℓ/hr、吸い込み配管流速は0.776m/sec (全ての粒子が吸い上げられる速度)、271A108 揚液量は 520 ℓ/hr、水平配管の流速は0.150 m/sec へと上昇した。

20分後大部分のスラッジを吸い上げたので252A132 空気量を1.39Nm³/hrに上昇させ揚液量1880 ℓ/hr を得たがスラッジの吸い込みはほとんどなかった。この時の吸い込み配管の流速は0.848m/sec (全ての粒子が吸い上げられる速度)、水平配管の流速は0.150m/secであった。

20分後配管部においてスラッジの輸送が認められなくなったので271A108 の揚液を停止した。

この時の配管部のスラッジ堆積状態を図3-41に示す。

配管上部の流路の高さは 8~10mm、断面積にして約25%と詰まりは発生しなかった。

この試験において、一度に高濃度スラッジを輸送するのを防ぐため 252A132 空気量を段階的にあげたが、吸い込み配管内のスラッジ流動現象による圧力損失のため著しい効果はなかった。

また、一度に空気量を1.39Nm³/hrにすると輸送層になりスラッジ流動による圧力損失を受けないが一度に高濃度スラッジが輸送され配管部1において詰まりが発生する場合がある。

したがって、最初に252A132 空気量を流動層から輸送層に変化する 1.0Nm³/hr 程度 (揚液量約 1,400 ℓ/hr) に上昇させるのが良い。

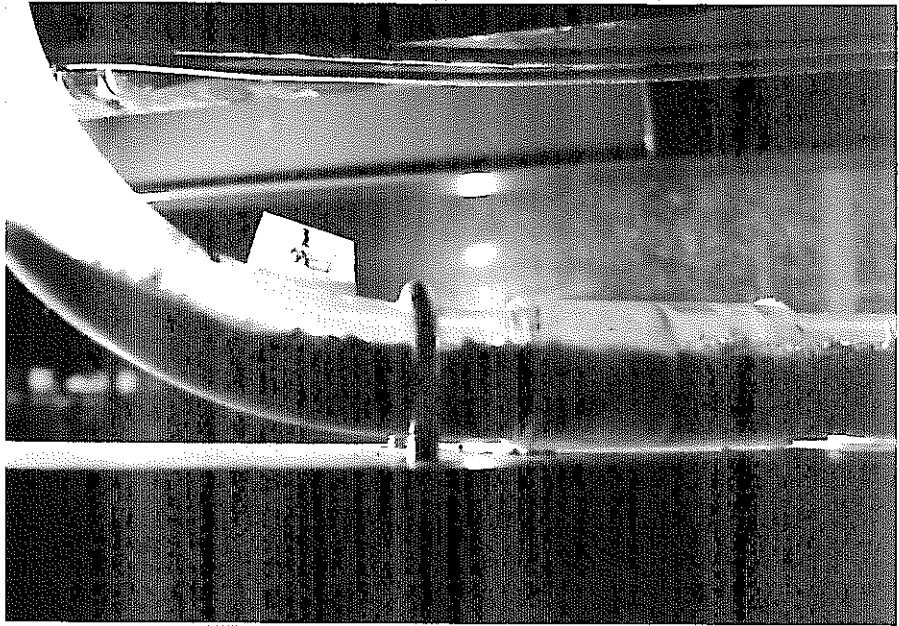


図3-41(a) 配管部1のスラッジ堆積状態

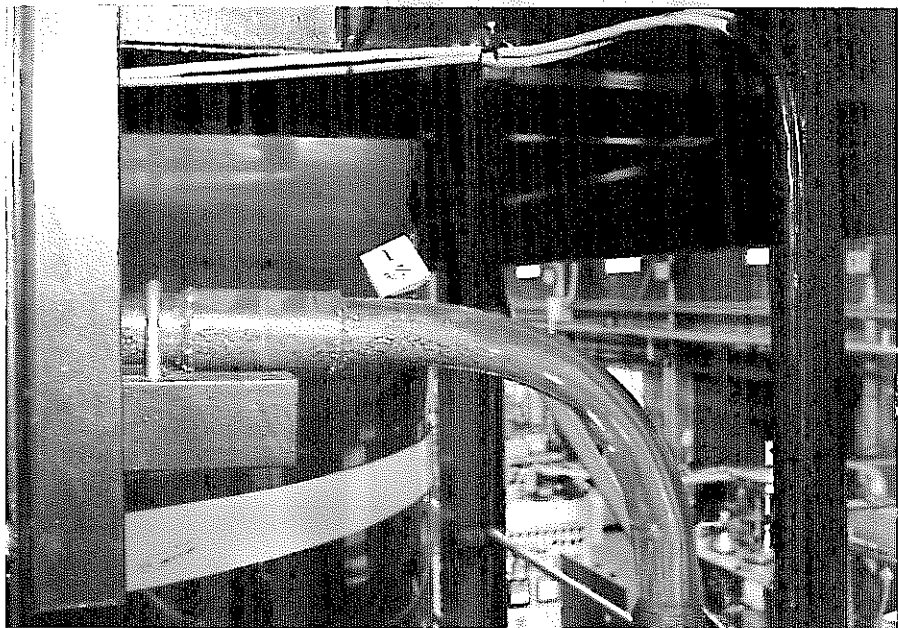


図3-41(b) 配管部1のスラッジ堆積状態

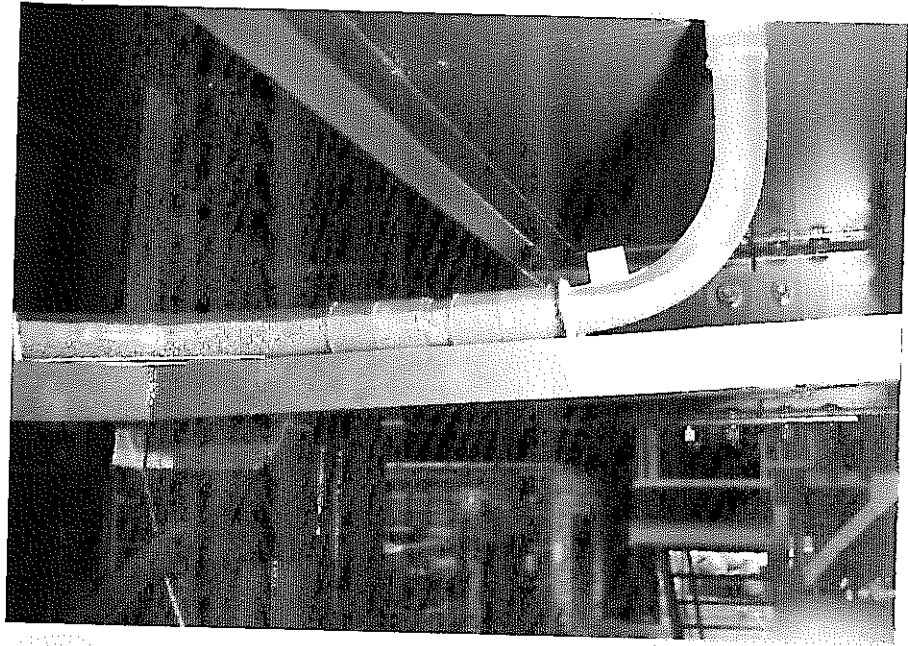


図3-41(c) 配管部2のスラッジ堆積状態

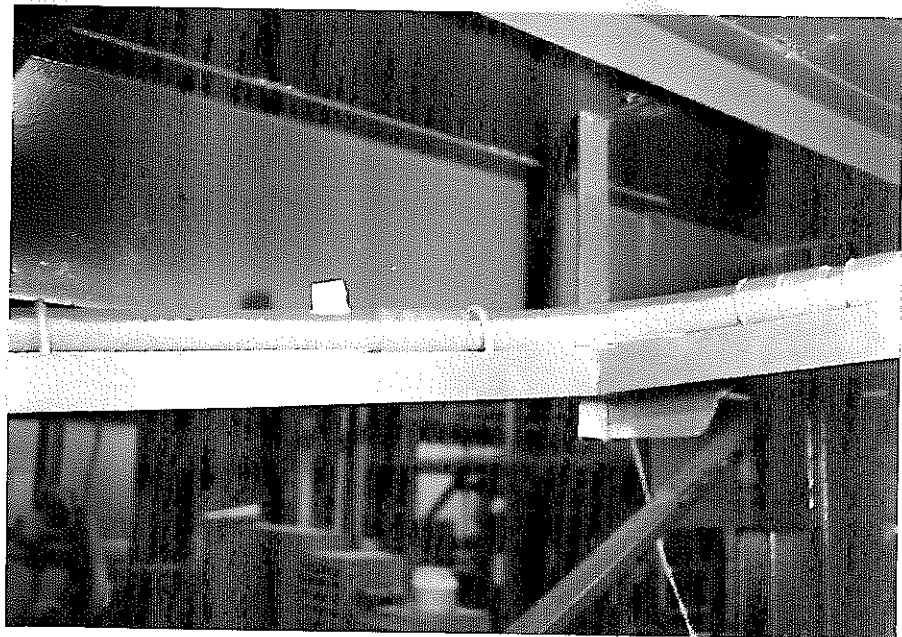


図3-41(d) 配管部2のスラッジ堆積状態

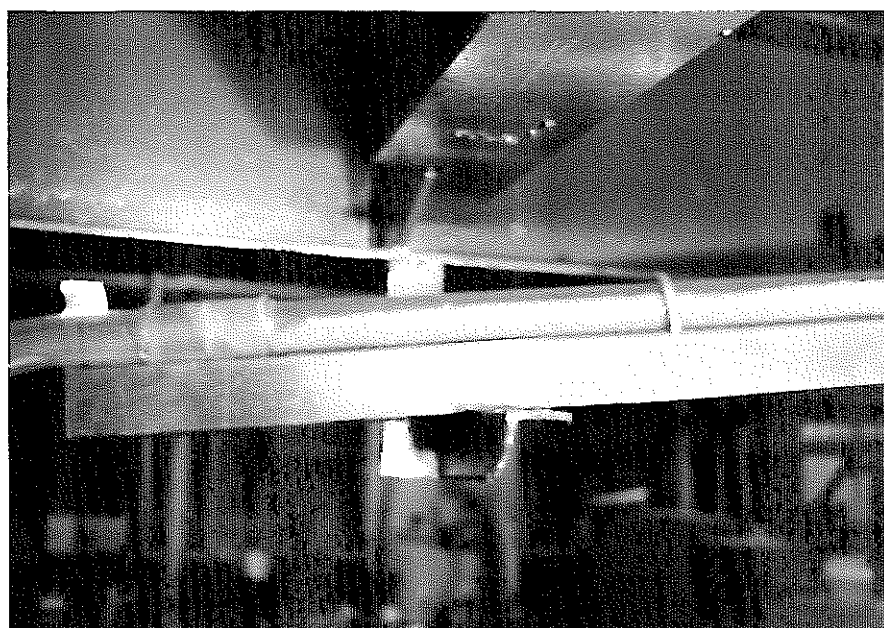


図3-41(e) 配管部2のスラッジ堆積状態

(v) 堆積スラッジの輸送

(a) 配管部4の既堆積スラッジ

前の試験で既に堆積しているスラッジは、圧力水の注入 ($4.0\text{Nm}^3/\text{hr}$ 、50秒) により全量271E10へ輸送された。

(b) 配管部1および2の堆積スラッジ

圧空を注入 ($2.6\text{Kg}/\text{cm}^2\text{G}$ 、 $1.3\text{Nm}^3/\text{hr}$ 、2分30秒) し、配管部4以降の水を大部分排除した後、配管部3と4の間のバルブをゆっくり開いて252V131のヘッドにより輸送した。ただし堆積スラッジ量が多いため少量配管部3に残った。

この時の配管部の状態を図3-42に示す。

配管部4以降のスラッジ堆積高さは5~10mmで詰まりに対しては何ら問題はない。

(vi) 252A132、271A108 揚液量の現状流量への設定

現状流量にて9時間運転を行なったが前回と同様配管部、吸い込み口共にほとんど変化なく詰まりは発生しなかった。

③ まとめ

スラッジ濃度 1.67wt%の実験において

- (i) 252A132 の揚液量を吸い込み配管において流動層から輸送層に変化する近傍の値 (約1,400 ℓ/hr) に設定することにより、吸い込み口、水平配管部ともに詰まりが発生することなく、効率よくスラッジを吸い上げることができる。
- (ii) 吸い上げられたスラッジは配管部 1 および 2 に堆積するが配管上部に約25%の流路があり詰まりは発生しない。
- (iii) (ii) において堆積したスラッジは配管部 4 に圧空を注入し、配管部 4 以降の水を大部分排除した後、配管部 3 と 4 の間のバルブを開け、252 V131のヘッドにより配管部 4 に輸送できる。
- (iv) 配管部 4 に堆積したスラッジは高圧水の注入により271E10へ輸送することができる。

という知見を得た。

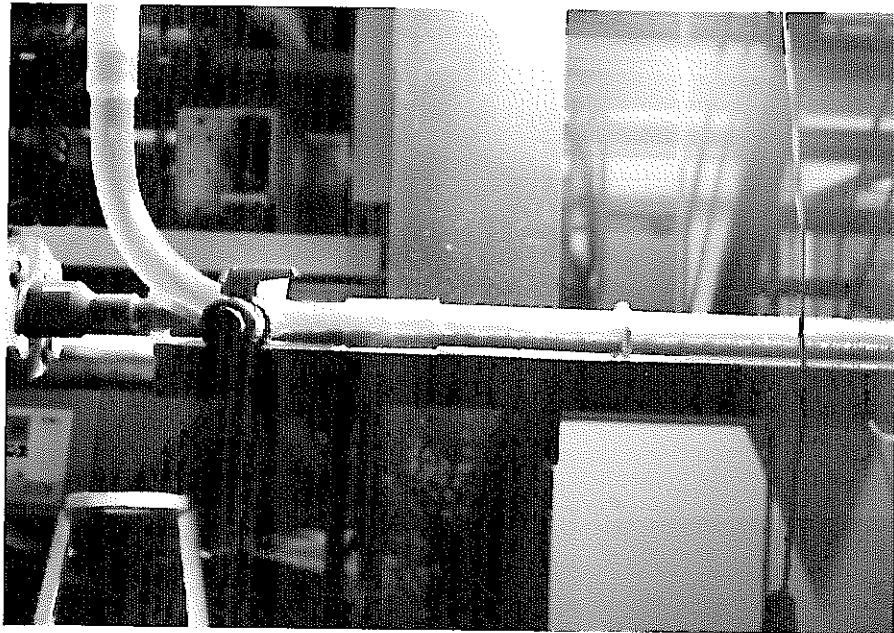


図 3-42 輸送後の配管部 4 のスラッジ堆積状態

4) 投入スラッジ濃度 3.34wt% (15.68Kg、4000cc) の試験

① 運転状況

スラッジ濃度3.34wt% においては、252A132 による揚液量を流動層から輸送層に変化する近傍の値 (約 1,400 ℓ/hr、0.63m/sec) に設定しても大粒子スラッジ流動による圧力損失が大きいため252V13内の吸い込み配管の流量が低下し、配管内で大粒子の詰まりが発生した。(図3-43)

また、最初に252A132 の揚液量を完全な輸送層の値 (約 1,600 ℓ/hr、0.72m/sec) に上昇させると、スラッジの吸い上げは可能であるが現状の最大水平配管流速 (約 0.26m/sec, 271A108 揚液量約 570 ℓ/hr) では、吸い上げスラッジ濃度があまりにも高濃度であるため、配管部1 に詰まりが発生した。(図3-44)

② まとめ

252V13内吸い込み口周りのスラッジが安息角を形成し、濃度3.34wt% (15.68 kg) のスラッジが投入されると、その輸送は現設階では以下の点で不可能である。

- (i) 252A132 による揚液量を流動層から輸送層に変化する近傍の値 (約 1,400 ℓ/hr, 0.63m/sec) に設定すると、吸い込み口にてスラッジの詰まりが発生する。
- (ii) 252A132 による揚液量を完全な輸送層 (約 1,600 ℓ/hr, 0.72m/sec) に設定すると、スラッジの吸い上げは可能であるがスラッジが高濃度のため配管部1 にて詰まりが発生する。

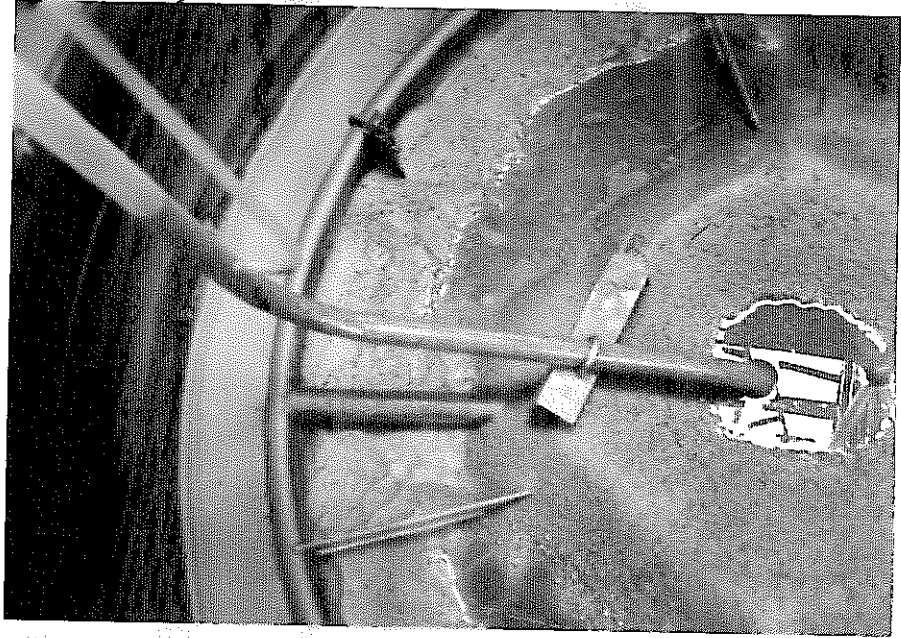


図3-43 252V13内吸い込み配管のスラッジ詰まり状況

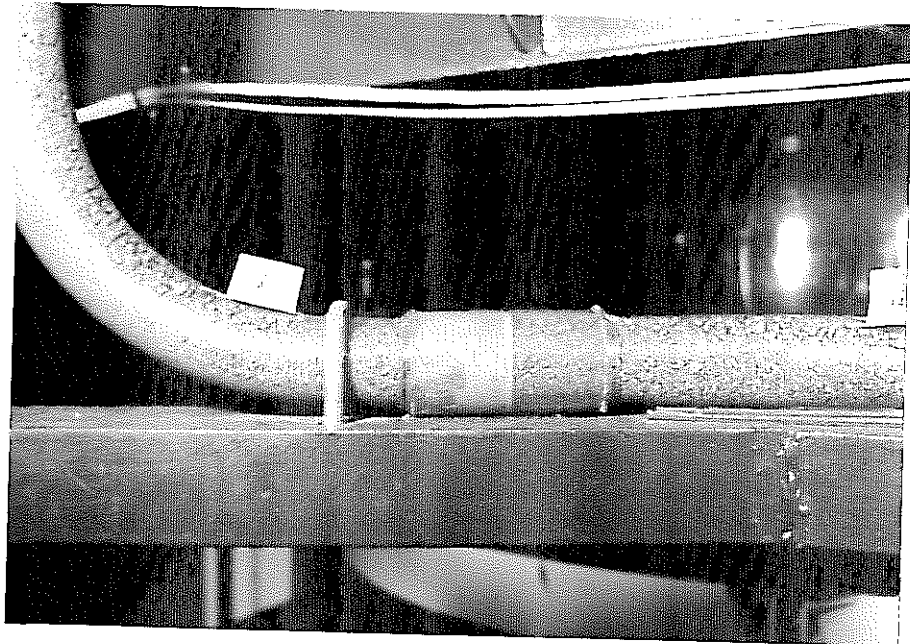


図3-44 配管部1のスラッジ詰まり状況

5) 252V13内の現状堆積スラッジの引き抜き試験

① 現状のスラッジ堆積状態の予想

現状の252A132 揚液量では、2.0mm 未満の粒径のスラッジしか吸い上げられず、大粒子のスラッジは残っていると考えられるので安息角は形成しておらず、ほぼ水平に堆積していると推定される。

また、現状の運転においては吸い込み口の詰まりによると考えられる252A132 揚液量低下による水封切れが多いので、吸い込み口はスラッジにおおわれていると考えられる。

しかし、現状の運転において、252A132 は 450 l/hr 揚液できるので吸い込み口はそれほど高くスラッジにおおわれていないと考えられる。

② 堆積スラッジのブローおよび引き抜き

以上より吸い込み口から15mm (吸い込み口からのスラッジ堆積高さ15mmという数字は、スラッジの吸い上げができなかった時の高さである。) と30mmの高さに水平にスラッジを堆積させて試験を行った。

まず、252D136 の真空度を徐々に上げ(スラッジの吸い込みを防ぐため)、-2900mmAq になった時点で瞬時に252D136 を大気圧にし、そのヘッドによるブローダウンで吸い込み口回りのスラッジを吹きとばす。(図3-45)

その後、2) の投入スラッジ濃度0.834wt%の試験同様の運転を行なう。吸い込み口からの堆積高さ15mmと30mmのブローダウン後の252A13揚液量の比較を表3-40に示す。



図3-45 ブローダウン後の252V13内吸い込み口回りの状況

表3-40 吸い込み口ブローダウン後の揚液量

| | | |
|-----------------------------------|------|------|
| 吸い込み口上部の スラッジ堆積高さ (mm) | 15 | 30 |
| 252A132 空気量 (Nm ³ /hr) | 0.33 | 0.33 |
| 252A132 揚液量 (ℓ/hr) | 832 | 140 |
| 252A132 空気量 (Nm ³ /hr) | 1.0 | — |
| 252A132 揚液量 (ℓ/hr) | 1768 | — |
| 252A132 空気量 (Nm ³ /hr) | 1.39 | 1.39 |
| 252A132 揚液量 (ℓ/hr) | 1976 | 2000 |
| 配管部1の スラッジ堆積量 (cc) | 250 | 280 |

スラッジ堆積高さ30mmにおいて252A132 空気量が0.33Nm³/hrの時、揚液量が140ℓ/hr (通常は約600ℓ/hr)しか得られなかった。したがってスラッジ堆積高さ30mmでは、スラッジを十分に飛散させることはできないと推定される。しかしながら、空気量を1.39 Nm³/hrまで上昇させると約2 m³/hrの揚液量があり、詰まりは解消される。

一方、堆積高さ15mmでは、空気量が0.33Nm³/hrでも約800ℓ/hrの揚液量があり、スラッジは十分に飛散し、詰まりは解消されていることがわかる。

③ ま と め

現状の堆積スラッジの引き抜きは、堆積高さ約30mm以下であれば252D136のヘッドのブローダウンによって堆積スラッジを吹き飛ばすことにより可能であると考えられる。

6) 252D136 より排出されるミスト量の測定

252D136 の真空度-290mmAqにて252A132 エアリフトを表3-41に示す様に運転した。

表3-41 252A132 運転状態

| | | | |
|----------------------------------|------|-----|------|
| 252132 空気量 (Nm ³ /hr) | 0.33 | 1.0 | 1.39 |
| 252A132 運転時間 (分) | 150 | 20 | 190 |

運転後の総ミスト量を252P03に捕集された水量を測定することによって求めた。水量は約3cc（運転時間6時間）、したがって、252D136 真空度を-2900mmAqに上げることによるミスト量の影響は問題ないと思われる。

(6) 結論

- 1) スラッジ濃度1.67wt%（通常の2倍濃度）までは252A132 空気量の調節により全ての粒径のスラッジを吸い上げ、配管部に詰まりを発生することなく堆積させることができる。
- 2) 配管部1および2に堆積したスラッジは配管部4に圧空を注入し、配管部4以降の液を大部分排除した後、配管部3と4の間のバルブを開け、252V131のヘッドにより配管部4以降へ輸送できる。
- 3) 配管部4に堆積したスラッジは圧力水の注入により271E10へ輸送できる。
- 4) スラッジ濃度3.34wt%の場合は、252V13より全ての粒径のスラッジを吸い上げることは可能であるが、瞬時に高濃度のスラッジが配管部1に殺到するので配管部1に詰まりが発生する。
- 5) 252D136の真空度を-2900mmAqにして、運転を行なっても真空系へのミスト量の影響はないと考えられる。
- 6) 現状の252V13堆積スラッジは、252D136のブローダウンにより吸い込み口の詰まりを防止しつつ輸送することが可能であると考えられる。

4. スラッジ輸送技術の調査

4.1 一般スラッジ輸送技術の調査

調査は、主にオンラインリサーチを中心として検索した。データベースとしては、JICST(Japan Information Center of Science and Technology)、CA(Chemical Abstract)、NTIS(National Technical Information Service)、FLUIDEX(BHRA Fluid Eng.製作)、INIS(International Nuclear Information System)を使用した。

(1) スラッジ輸送機器について

スラッジ輸送機器は表4-1に示すように分類することができる。

表4-1 スラッジ輸送機器の分類⁹⁾

| 形 | | 式 | | 適用範囲 | | 用途 |
|---------|-----------|---------|-----------|------|-----------------------|---------------------|
| 大分類 | 中分類 | 小分類 | 容量 | 吐出圧力 | | |
| ポンプ | 往復ポンプ | ピストン形 | 中・小 | 低～特高 | 微鉍用、微粉炭用、生コンクリート用 | |
| | | ダイヤフラム形 | 中・小 | 低～高 | 微鉍用、汚泥用 | |
| | 渦巻ポンプ | 単段 | カドポンプ | 大～小 | 低・中 | 一般スラリー用、浚せつ用 |
| | | | フルードレスポンプ | 中・小 | 低・中 | 大塊用、結晶粒用、生・鮮魚用、生汚物用 |
| | | 多段 | 中・小 | 高 | 微粉炭用、スラリー用 | |
| | 回転ポンプ | | 中・小 | 低・中 | 高粘度液用、結晶粒用、スラリー用 | |
| | チェンポンプ | | 小 | 低 | スラリー用、生コンクリート用 | |
| ハイドロピスト | 側筒重力式 | | 中・小 | 高 | 粗粒用 | |
| | 側筒差圧式 | | 中・小 | 高 | 微粗混合用 | |
| | 側筒繰出式 | | 中・小 | 高 | 粗粒用 | |
| | 主管圧送式 | | 中・小 | 中～高 | 微粗混合用、生汚物用 | |
| | 球体利用主管圧送式 | | 中・小 | 中～高 | スラリー用 | |
| | カプセル式 | | 中・小 | 中～高 | 乾燥固体輸送用、特殊液体および気体の輸送用 | |

表4-1 続き

| 形 式 | | | 適 用 範 囲 | | 用 途 |
|---------|-------|-------|---------|---------|---------|
| 大 分 類 | 中 分 類 | 小 分 類 | 容 量 | 吐 出 圧 力 | |
| ジェットポンプ | | | 小 | 低～中 | 採砂用、送灰用 |
| エアリフト | | | 中・小 | 低 | |

一般にスラッジ輸送機器で問題となるのは、その耐摩耗性である。この問題に対しての改善は、材質の改善および構造の改善からの二種類のアプローチがなされてきた。その結果摩耗の程度は大幅に減少し、機器によっては1年程度の連続運転が可能になったものもある。

以下に上記各機器の特徴について述べる。

1) ポンプ¹⁰⁾

① 往復ポンプ

往復ポンプは85～95%の高効率、ランニングコストが安価、スラッジが閉塞しにくい等の長所がある。揚液量も数ℓ/hrから数百m³/hrまであり、遠心ポンプよりも高圧が得られる。

図4-1に往復ポンプの構造を示す。構造は大きく分けて駆動部と溶液部から成り立っている。

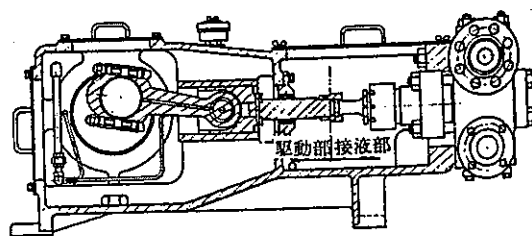


図4-1 往復ポンプの構造

駆動部は電動機等の回転運動をクランク機構によって往復運動へ変換する部分である。

接液部は直接スラッジと接触するため耐摩耗性、耐食性、耐圧性構造となっている。また、数μmから数mmまでのスラッジが摺動部へ入り込んでプ

ランジャおよびパッキンを傷つけたり、チェッキバルブにかみ込んでミスチェッキの原因となったりしないように対策がとられている。

図4-2にスラッジ輸送用プランジャポンプを示す。

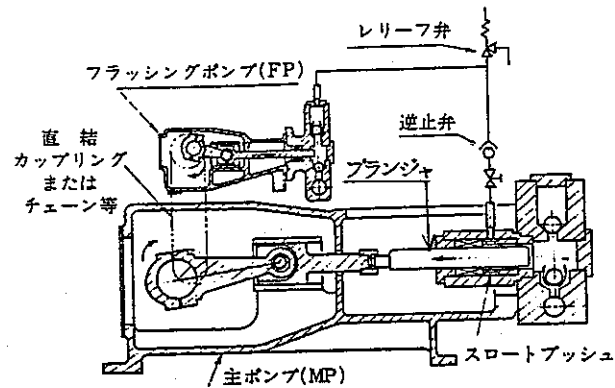


図4-2 スラッジ輸送用プランジャポンプ

この型はプランジャとパッキン間にスラッジが入り込まないようにフラッシングポンプによって圧力水を流し込んで洗浄している。

図4-3にもう1つの往復ポンプであるスラッジ輸送用ダイヤフラムポンプを示す。

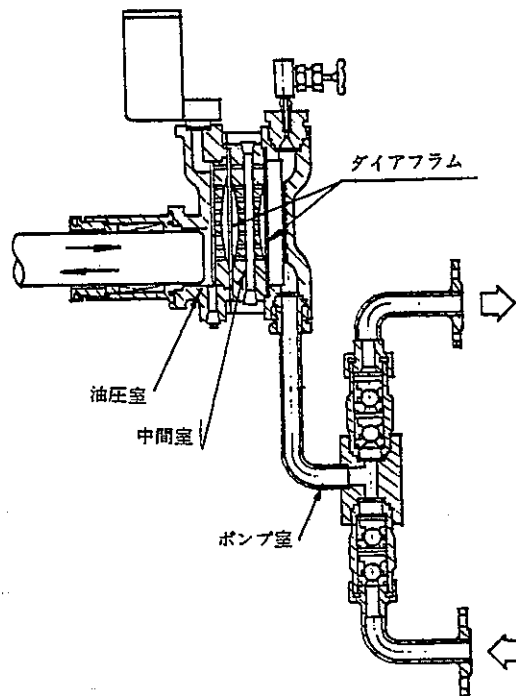


図4-3 スラッジ輸送用ダイヤフラムポンプ

この型は2重のダイアフラムによって完全にスラッジとパッキン部を隔てている。

② 渦巻ポンプ 11)

渦巻ポンプは設備費が安く小型であるという長所を持っており、揚程40～50m 程度の比較的低下の用途に使われる。

図4-4にスラッジ輸送用渦巻ポンプの構造を示す。

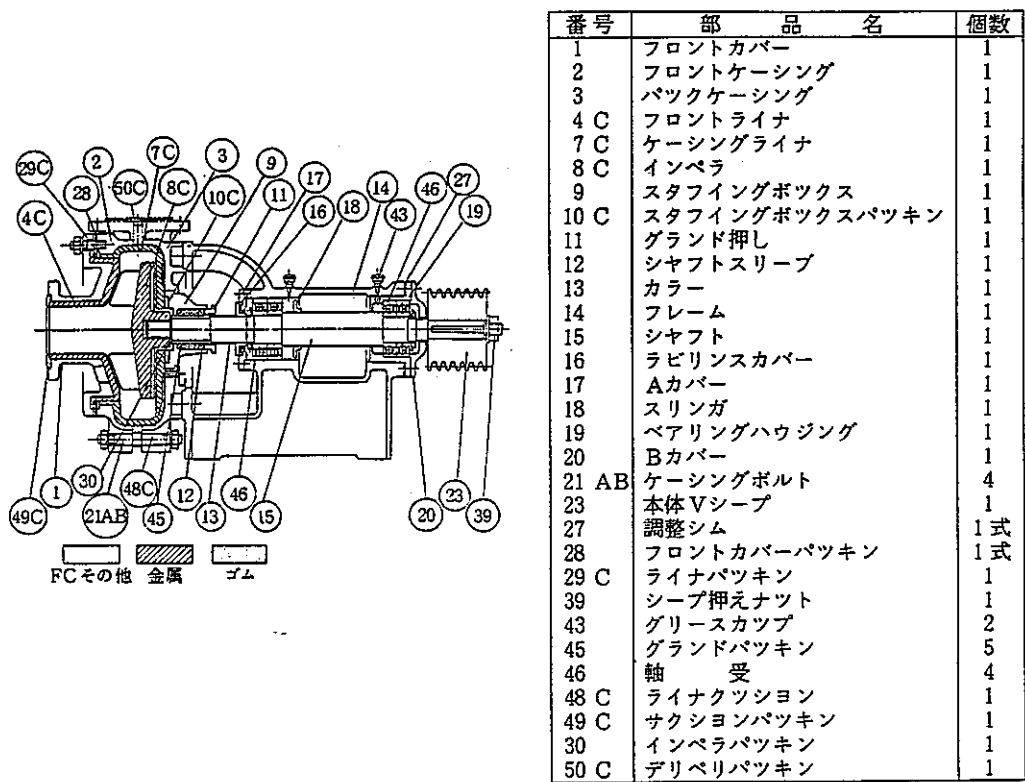


図4-4 スラッジ輸送用渦巻ポンプ

図4-4からわかるように耐摩耗対策としてケーシングおよびインペラは耐摩耗性のある金属およびゴムでライニングしてある。

パッキン部はスラッジを巻き込まないようにインペラに裏羽を設けスラッジを押し戻すと共に圧力水を注入しシャフト表面の洗浄とパッキン間の潤滑をしている。

③ 回転型容積ポンプ ¹²⁾

このポンプは粘性の特に高い流体を移送するのに適している。

図4-5にその構造を示す。

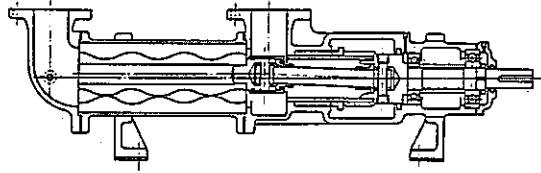


図4-5 モノポンプ

動作は1条の太いねじ棒が2条ねじのめねじ状のケースの内部を回転して、しごき作用でポンプの役目をする。

2) ハイドロホイスト ¹³⁾

ハイドロホイストは往復ポンプおよび遠心ポンプの適用が困難な高圧、大容量用に開発された。

また前述のポンプよりも長期間保守点検なしで運転が可能である。

図4-6にハイドロホイスト説明図を示す。

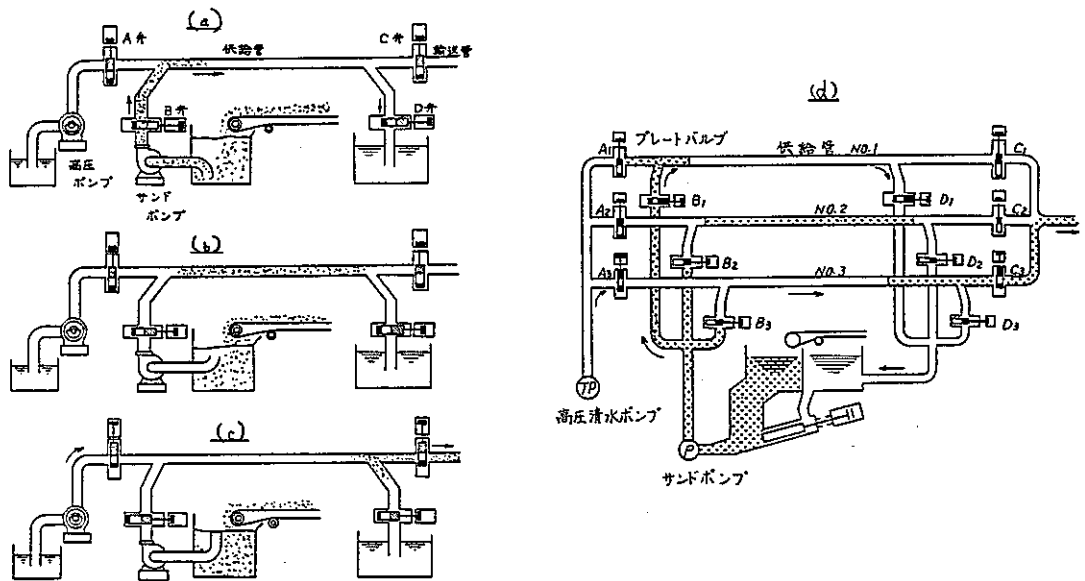


図4-6 ハイドロホイスト説明図

ハイドロホイストは主に高圧ポンプ、スラリ供給ポンプA、B、C、Dの各操作弁から成る。

動作は次の順序で行われる。

- ① A、C弁を閉じB、D弁を開きスラッジ供給ポンプによってスラッジを管内へ入れる。(図4-6中の(a))
- ② 管内がスラッジで充満すると同時にB、D弁を閉じる。(図4-6中の(b))
- ③ A、C弁を開き管内に充満しているスラッジを高圧清水ポンプからの高圧清水で輸送する。(図4-6中の(c))

以上の動作を図4-6中の(d)のように順次繰り返し連続して輸送を行う。

図4-7に hidroホイストの全体図を示す。

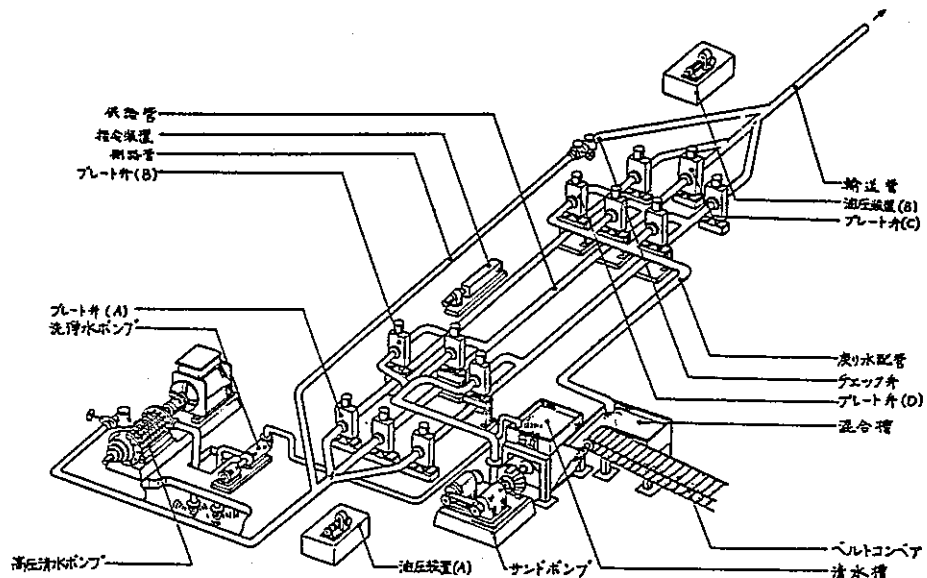


図4-7 hidroホイスト全体図

hidroホイストの特徴としては次の項目がある。

- ① 保守時に運転を止める必要がない。
hidroホイストは供給管が3本で1組なので、そのうちの1本を保守していても他の2本で運転が可能。
 - ② 前述のポンプに比べて保守点検なしで運転できる時間が2～3倍程度長い。
 - ③ 装置がかなり大型であり、小規模のものには適さない。
- 3) ジェットポンプ¹⁴⁾

ジェットポンプは効率が20%程度であり大容量輸送には向かないが可動部が

なく構造もシンプルなので故障等に対する信頼性が高い。

図4-8にジェットポンプの構造を示す。

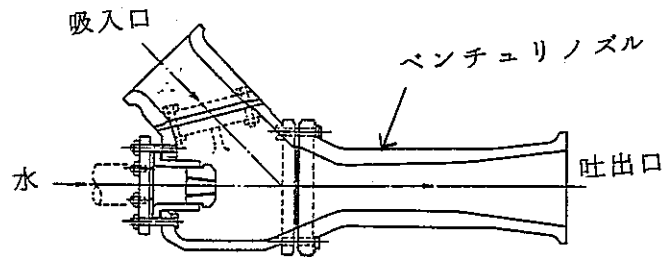


図4-8 スラッジ用ジェットポンプ

動作としては水をノズルから噴射してベンチュリノズルに吹き込んで生じた真空によってスラッジを吸い込み、それを噴射水と共に吐出する。

次にジェットポンプの原理を応用したスラッジ輸送配管の加圧装置¹⁵⁾を図4-9に示す。

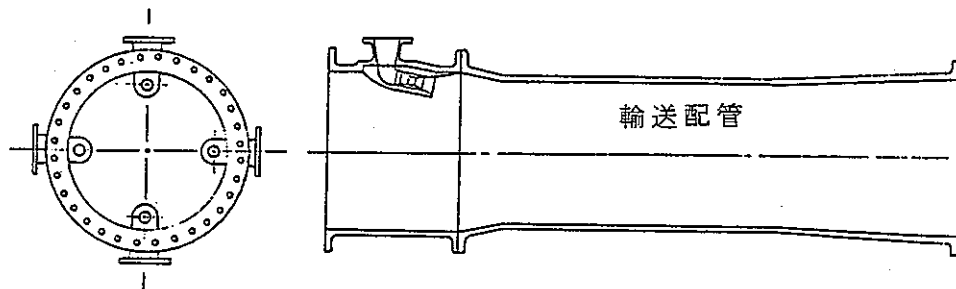


図4-9 スラッジ配管加圧装置

これは輸送配管の1部をベンチュリ管の構造にならって絞り管とし噴射ノズルから圧力水を噴出させる方法である。この装置は効率が低く、スラッジが水によって希釈される欠点があるが故障等の心配はほとんどなく信頼性が高い。また、この方法は運輸省港湾技術研究所で基礎的な研究が行われ、現在では大形浚渫船に広く採用されている。それらの設計諸元はスラッジによって異なるが実績値より主要なものを示すと下記の通りである。

| | |
|-----------------------|-----------|
| 水量比 (輸送管流量と噴出水の比) | 0.15~0.20 |
| 面積比 (輸送管断面積と絞り部分断面積比) | 0.6 ~0.8 |
| 噴射ノズル数量 | 4 ~6 |

4) エアリフト ¹⁶⁾

エアリフトの原理を図 4-10 に示す。

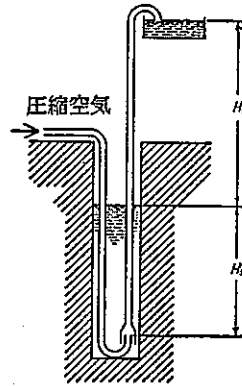


図 4-10 エアリフト

揚液管に圧縮空気を吹き込むと揚液管中の気-液混合液の見かけ比重が外部の液の比重よりも小さくなるため管内の液面が上昇し、管の上端から吐出される。

揚液量はサブマージェンス： $\sigma = H_s / (H_t + H_s)$ によって変わる。

図 4-11 に 20A、25A 配管の揚水量と空気流量の関係のグラフを示す。¹⁷⁾

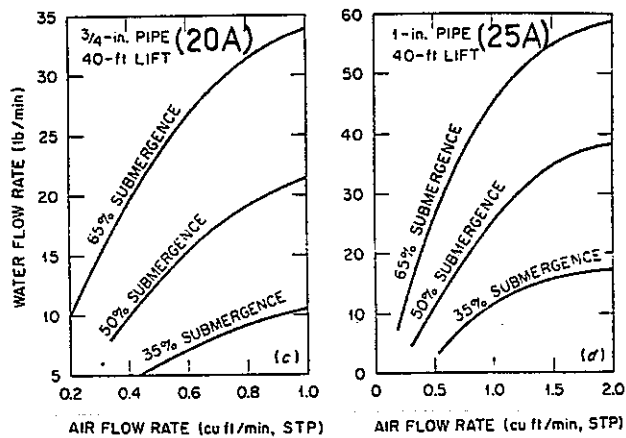


図 4-11 揚水量と空気流量の関係

次にエアリフトによる固体粒子の輸送について報告があるので以下に示す。

宇佐美ら¹⁸⁾ は管径： $D=46.7\text{mm}$ における粗砂（粒径 $d=6.4\text{mm}$ 、比重 $\rho=2.71$ ）の輸送量をサブマージェンス： $\sigma=0.70、0.75、0.80$ をパラメータにとり実験を行っている。

図4-12にその結果を示す。

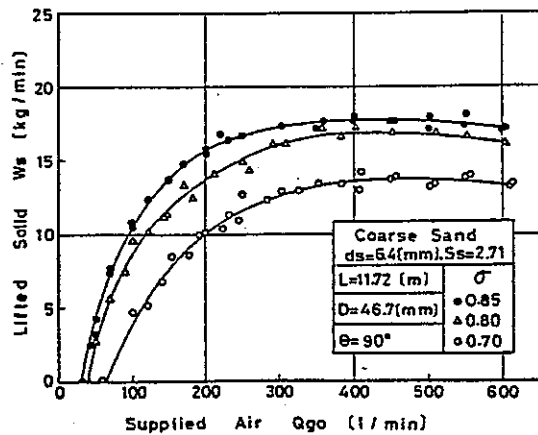


図4-12 固体粒子輸送量曲線

5) スラッジ輸送機器のまとめ

以上のまとめを表4-2のスラッジ輸送機器比較表に示す。

(2) スラッジ輸送配管について

スラッジ輸送配管の設計では一般に

- 1) 閉塞
- 2) 摩耗
- 3) 粒子の破碎防止

に気をつけねばならない。

しかし、本件では1)の項目が特に重要であり、それに比較して2)、3)は現在問題とはなっていない。したがって、ここでは1)に関してのみの文献調査を行った。




一般に閉塞の原因^{19)、20)}としては以下の理由が考えられる。

- ① 流速低下あるいは濃度上昇による管内堆積層の成長
- ② 管内ブリッジ現象あるいは傾斜、垂直管下部への集積
- ③ 流送停止による沈殿堆積層の圧密

これらの対策としては

- ① 極端な傾斜管は最低部に圧密沈殿が生じやすいので避ける。
- ② 傾斜管下部の曲率半径の小さい曲管部にはバルブを設け輸送停止時には沈殿物を排出できるようにする。
- ③ 沈殿閉塞を起こしにくいスラッジを調製する。
例えば微粒子を添加し輸送流体の見かけの粘度および比重を増大させ粒子を沈降しにくくする。
- ④ 粒子の沈殿、閉塞を生じない最低流速を確保する。
- ⑤ 連続運転を行う。また、運転を停止する場合は管内を水で置換する。
- ⑥ 配管洗浄をしやすいように考慮する。閉塞した場合でも洗浄用ノズルを配管に設ける等して洗浄できるようにしておく。

表 4 - 2 スラッジ輸送機器比較表

| 形 式 | | 容 量 | 吐出圧力 | 主 な 用 途 | 特 徴 |
|----------|-----------------------|---------------|------|-------------------|---|
| ボ | 往復ポンプ プランジャ型 | 大～小 | 低～特高 | 微鋳用、微粉炭用、生コンクリート用 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 中、小容量 高圧用。 ○ シール部にスラッジが入り込まぬようフラッシング機構付。 |
| | 往復ポンプ ダイヤフラム型 | 中・小 | 低～高 | 微鋳用、汚泥用 | <ul style="list-style-type: none"> ○ ダイヤフラムによってスラッジとシール部が隔離されている。 ○ 高温流体はダイヤフラムが損傷するので適さない。 |
| ン | 渦巻ポンプ ノン クログポンプ | 大～小 | 低・中 | 一般スラリー用、浚せつ用 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 摩耗および閉塞対策のため効率を犠牲にしてオープンインペラまたはセミオープンインペラを使用。 <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">    </div> <p style="text-align: center;">オープン セミオープン クローズ</p> |
| | ン ブ | ブレードレス ポンプ | 中・小 | 低・中 | 大塊用、結晶粒用、生・鮮魚用、生汚物用 |
| | 回 転 ポ ン プ | 中・小 | 低・中 | 高粘度液用、結晶粒用、スラリー用 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 高粘度のものに適す。 ○ 低粘度のものを扱う場合ロータ焼きつきの原因となるので注意。 |
| ハイドロホイスト | | 大～中 | 高 | 微粗混合用 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 高圧、大容量を輸送できる。 ○ パイプ径と同等程度の大塊を輸送できる。 ○ 6ヶ月～1年間は保守点検なしで運転できる。 ○ 流量制御が容易である。 ○ 衝撃がない。 ○ 予備器が不用である。 |
| ジェットポンプ | | 小 | 低・中 | 採砂用、送灰用 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 可動部がなく構造がシンプルである。 ○ 故障する心配がほとんどなく信頼性が高い。 ○ 移送液が希釈されるという欠点がある。 ○ 効率が20%程度で低い。 |
| エアリフト | | 中・小 | 低 | 採砂用、浚せつ用 | <ul style="list-style-type: none"> ○ 可動部がなく構造がシンプルである。 ○ 故障する心配がほとんどなく信頼性が高い。 ○ 効率が低い。 |

4.2 放射性スラッジ輸送技術の調査

調査は、主にオンラインリサーチを中心として検索した。データベースは、一般スラッジの調査と同じである。以下に関連のある文献の抄訳を示す。

(1) スラリーポンプによる輸送

1) アメリカハーンフォードサイトの例 ²¹⁾

1940年代後半よりハーンフォードサイトで地下貯蔵タンクからの放射性廃棄物スラッジの大規模の引き抜きと再処理の技術が開発された。以下に1960年代後半より運転が開始されたピューレックス核燃料再処理工場から出るスラッジの輸送について述べる。

図4-13にハーンフォードサイトの概略図を示す。

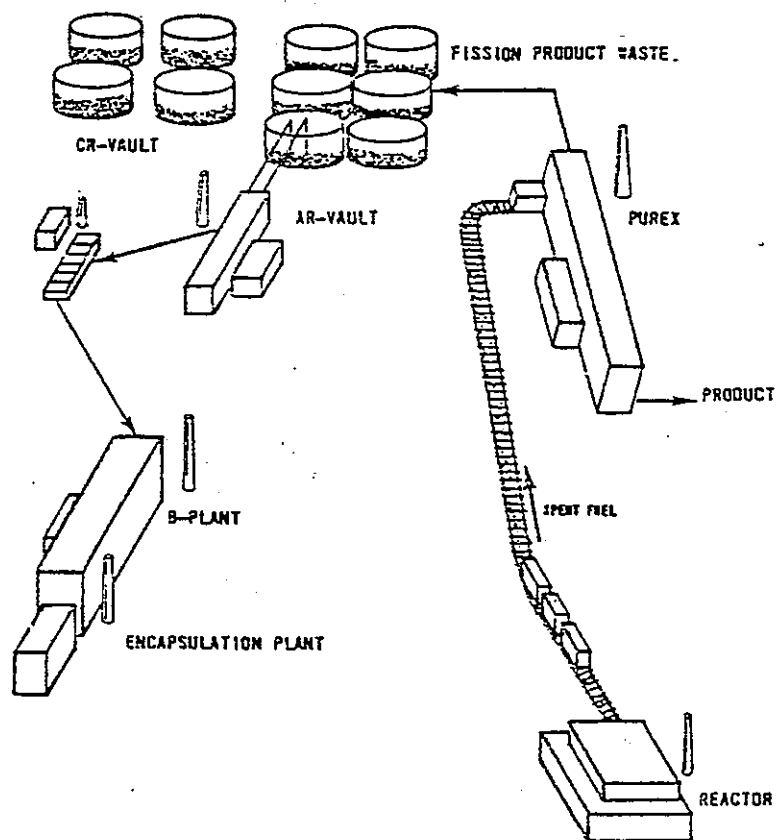


図4-13 ハーンフォードサイト概略図

① スラッジ処理システムにおけるスラッジ輸送

図4-14にスラッジ処理システムにおけるスラッジ輸送の概略を示す。

数字はポンプの番号である。

スラッジはポンプ①によりスリュースタンクから244-AR貯蔵室のスラッジ収集タンクに輸送され、そこで濃縮されてからポンプ③によりスラッジ溶解タンクに輸送され、そこで硝酸に溶解されポンプ④により244-CR貯蔵室に送られる。またスラッジ収集タンクの上部の希薄スラッジは、ポンプ②によりスリュースタンクに戻される。

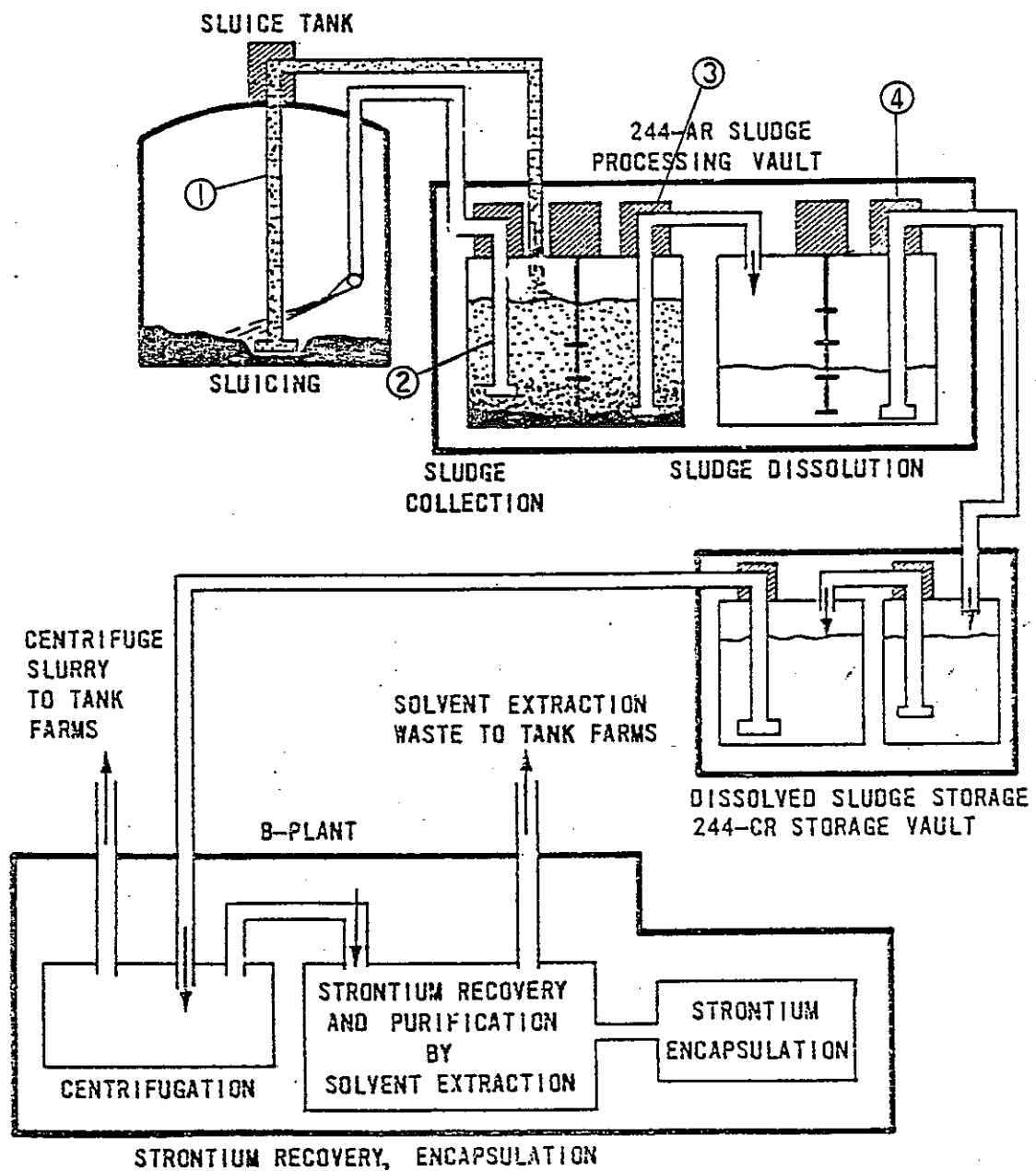


図 4-14 スラッジ処理システムの概略図

表4-3にポンプ①の特徴を示す。

表4-3 ポンプ①の特徴

| | |
|------|--|
| 使用機器 | 高出力遠心スラリーポンプ (Barrett Haentjens製) (heavy-duty centrifugal slurry pump) |
| 特徴 | 重量6 t、一段ポンプ、輸送能力79.5~90.8m ³ /h、高濃度スラリー用液面が低下しても使用できるよう、吸い込み口が逆じょうご状になっている。 保守性が良い。(数年) ベアリングは水を潤滑材として使っていてプロセス溶液から分離されている。 |
| スラッジ | Purex プロセスから出てくる廃棄物。 主にSr ⁸⁹ 、Sr ⁹⁰ 、Cs ¹³⁷ 。 平均粒径は10~50μm。 |

表4-4にポンプ②の特徴を示す。

表4-4 ポンプ②の特徴

| | |
|------|--|
| 使用機器 | 遠心スリユースポンプ |
| 特徴 | 1段ポンプ 水潤滑 保守性が良い(数年) 出力 150hp (112KW) |

表 4-5 にポンプ③の特徴を示す。

表 4-5 ポンプ③の特徴

| | |
|------|--|
| 使用機器 | 遠心スラリーポンプ |
| 特徴 | 1 段ポンプ 水潤滑 6～8 ヶ月ごとの保守。(タービンポンプなら 2 週間) 濃縮スラッジ輸送用。 出力 5 hp |

表 4-6 にポンプ④の特徴を示す。

表 4-6 ポンプ④の特徴

| | |
|------|---|
| 使用機器 | タービンポンプ |
| 特徴 | ステンレススチール製 多段縦型ポンプ 清澄工程を経た硝酸溶解スラッジの輸送用。 |

② 最終クリーンアウト工程におけるスラッジ輸送

スラッジレベルが低くなるにつれて、スラッジの回収がむずかしくなる。そこで吸い込み口がスカート型になった縦型スラリーポンプにより、タンクの底に残るスラッジ量を少なくしている。

図 4-15 にタンク間の輸送の概略図を示す。

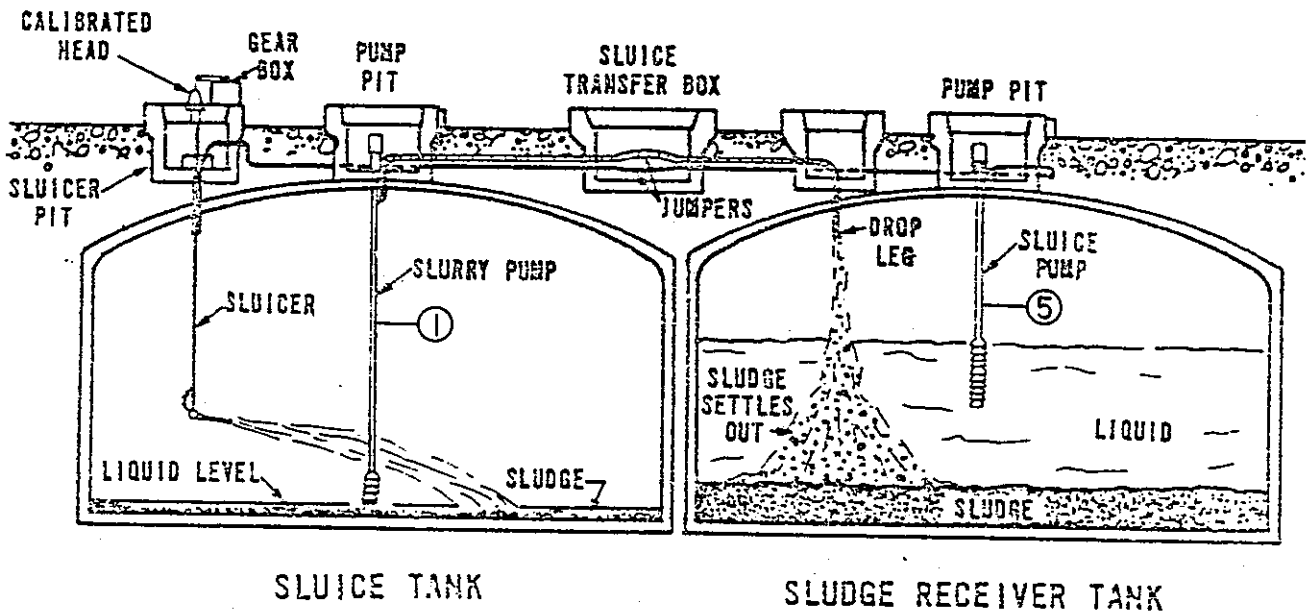


図4-15 タンク間のスラッジ輸送概略図

表4-7にポンプ⑤の特徴を示す。

表4-7 ポンプ⑤の特徴

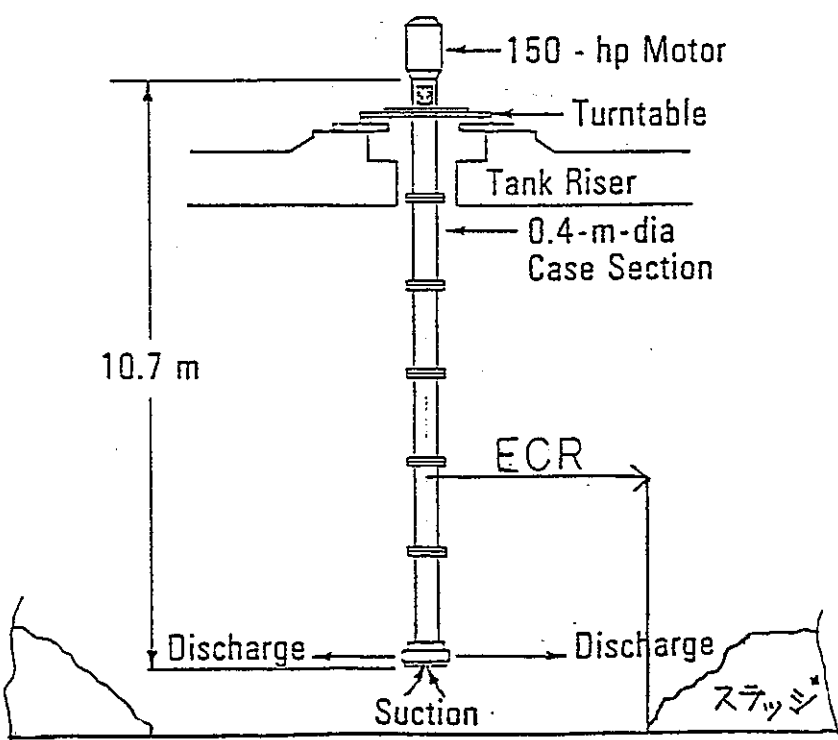
| | |
|------|--|
| 使用機器 | 特注タービンポンプ |
| 特徴 | プロセス潤滑とオイル潤滑の2種類がある。 濃度4%以下のスラッジに適する。 |

2) アメリカサバンナプラント(SRP)の例²²⁾

SRPでは旧廃液貯槽から新廃液貯槽へスラッジを輸送するために開発されたスラリーポンプでフルスケールのモックアップ試験を行っている。

表4-8にスラリーポンプの特徴を示す。

表4-8 SRPのスラリーポンプの特徴

| | |
|---------------|---|
| <p>使用機器</p> | <p>長軸、再循環、遠心ポンプ (long-shaft, recirculating, centrifugal pump)</p> |
| <p>スラッジ組成</p> | <p>不溶性酸化物および鉄、アルミ、マグネシウムの水酸化物 粒径：1～80μ（ここではスラッジをカオリン粘土で模擬した。）</p> |
| <p>特徴</p> | <p>ポンプはターンテーブルの上を回転しながらポンプ下部のノズルからジェット流を噴出している。これによって攪乱されたスラッジはポンプ下部から吸込まれ搬出されている。</p> <p>ここでは吸込み可能な半径 (ECR effective cleaning radius) を算出する実験式を求めている。</p> $ECR = C_1 \exp \{-C_2 (\tan(1/2\theta))^2\} V_0 \left(\frac{\rho}{2g\tau_0} \right)^{1/2}$ <p>C_1, C_2 : 定数</p> <p>θ : ノズルから噴出するジェット流の広がり角度</p> <p>D : ノズル径 V_0 : 初速度 τ_0 : ビンガム物体の降伏応力</p> <p>ρ : スラッジ密度 g : 重力加速度</p>  |

(2) 水中ポンプによる輸送

1) 原子力発電所からの液状廃棄物（エバポレータ濃縮廃液、濾過助材、イオン交換樹脂）の輸送²³⁾

原子力発電所から出る液状廃棄物の脱塩処理を集中化して行うための輸送容器の開発がKFKで行われている。この容器内のスラッジの混合・排出に水中ポンプが用いられている。

また、表4-9に容器の特徴を示す。

表4-9 KFKで開発された輸送容器の特徴

| | |
|------|--|
| 容器形状 | 内容量9 m ³ 、重量25 t、鉛遮蔽およびステンレス被覆の2重構造 |
| 使用機器 | 水中ポンプ |
| フラッジ | 珪藻土汚泥のような沈殿しやすい廃棄物 |
| 特徴 | 水中ポンプで液をかきまわし、均一にして排出する。 充 填：1時間 捲き上げ：2～3時間 排 出：1時間 放射線強度 最高20 μCi/g |
| 使用例 | KRBおよびKKSからGfK Karlsruhe まで10回輸送が行われた。 |

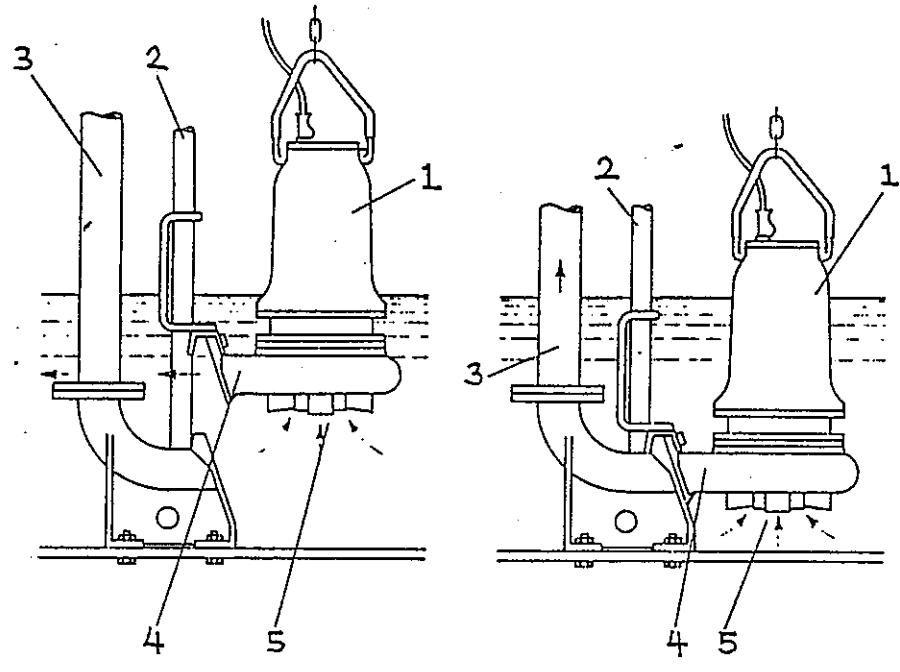
また、イオン交換樹脂は水で洗浄されたのち輸送タンクで運ばれるが、樹脂による配管の詰まり防止のため逆洗ラインを設けている。

2) 原子力発電所から発生するスラッジ状廃棄物の輸送²⁴⁾

原子力発電所から発生する放射性スラッジ廃棄物の混合および排出システムに水中ポンプを適用した例である。

表4-10にシステムの特徴を示す。

表4-10 システムの特徴

| 使用機器 | 垂直動可能水中ポンプ |
|------|--|
| 特 徴 |  <p>(a) (b)</p> <p>1 : 水中ポンプ 2 : 垂直動を可能にするガイド棒 3 : 排出配管 4 : 吐出配管 5 : 吸い込み口</p> <p>上図(a)のようにポンプが上部に位置する時はタンクの内容物を捲き上げ、均一にする作用をし、図(b)のようにポンプが下部に位置する時は排出配管と接続し、捲き上げたスラッジを系外へ輸送する。</p> |
| 使用例 | <p>沈降性スラッジ状の固形分約25%を含んだ10 m³の溶液を2~3時間で捲き上げかつ排出した。</p> |

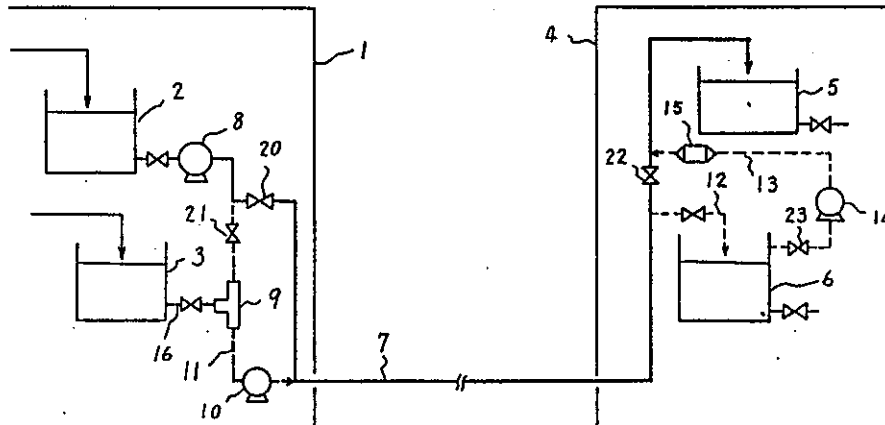
(3) エゼクタによる輸送

1) 原子力発電所から発生する使用済イオン交換樹脂の輸送²⁵⁾

原子力発電所から発生する使用済イオン交換樹脂の輸送にエゼクタを使用している例である。

表4-11にその特徴を示す。

表4-11 輸送の特徴

| | |
|------|--|
| 使用機器 | ポンプおよびエゼクタ |
| スラッジ | 使用済イオン交換樹脂 |
| 特徴 |  <p>上部にフローシートを示す。</p> <p>1は原子力発電所である。通常、収集タンク2内の機器ドレン廃液はポンプ8により輸送管7および弁20、22を経て機器ドレン受けタンク5に連続的に輸送されている。一方、間欠的に発生した使用済イオン交換樹脂が収集タンク3内に所定量たまったとき、輸送管7の弁20を閉じると同時にバイパス管11の弁21を開きポンプ8により送られる機器ドレン廃液をエゼクタ9に導入する。ついでポンプ10を作動させれば樹脂吸入管16を経て収集タンク3内の使用済イオン交換樹脂はエゼクタ9に吸入されて機器ドレン廃液と混合される。この混合液をポンプ10により昇圧し輸送管7および樹脂排出管12を経て使用済イオン交換樹脂受タンク6に輸送する。</p> |

4.3 スラッジ輸送技術の本工場への適用性の検討

一般スラッジの輸送技術の調査からスラッジ輸送方法は、下記のように大別される。

- (1) ポンプ
- (2) ハイドロホイスト
- (3) ジェットポンプ
- (4) エアリフト

さらに、放射性スラッジ輸送技術の調査から放射性スラッジの輸送には(1)のポンプ、(3)のジェットポンプ（エゼクタ）が主として使われているようである。

さて、上述(1)～(4)の方法の本工場の適用性を考慮すると

(1)のポンプは

- 1) 既設装置の大幅な改造が必要である。
- 2) ポンプのメンテナンス方法を考慮しなければならない。

などの問題点があり適用し難い。

(2)のハイドロホイストは、

- 1) 既設装置の大幅な改造が必要である。
- 2) ポンプのメンテナンス方法を考慮しなければならない。
- 3) 高圧・大容量用であり、既設装置のような低圧、少流量には不向きである。

などの問題点がありやはり適用し難い。

(3)のジェットポンプは

- 1) 既設配管の簡単な改造で取り付けられる。
- 2) 可動部がなく構造もシンプルなので故障しにくい。
- 3) 低圧・少流量用である。

などの理由により本装置に適用することができる。

(4)のエアリフトは、既設のスラッジ輸送方法であるが、

- 1) 可動部がなく構造もシンプルであるので故障の心配がない。
- 2) 低圧・少流量用である。

などの理由により特に問題はないと考えられる。

以上の検討結果からジェットポンプが本工場の装置に適用可能であるとの結論を得た。

5. 詰まり防止方法の比較・検討

(1) 詰まり発生個所と詰まり発生原因

モックアップ予備試験の結果、詰まり発生個所と発生原因が以下のように判明した。

1) 詰まり発生個所

- ① 252V13中の252A132 エアリフト吸い込み口の詰まり
- ② スラッジ輸送配管のうち水平配管部の詰まり

2) 詰まり発生原因

- ① 252A132 エアリフト吸い込み口の詰まり

252V13中の252A132 エアリフト吸い込み口の詰まりについては、現状の運転条件（揚液量約 450 l/hr）では、吸い込み流速が遅いので、1 mmを越えるスラッジ粒子（全スラッジ粒子の約 55%）を確実に吸い込めないためである。つまり、吸い込み口に 1 mmを越える粒子が堆積して詰まりを生ずる。

- ② 水平配管部の詰まり

水平配管部については、現状の運転条件（水平配管部流量約 250 l/hr）ではスラッジを輸送できる限界流速以下なので、252V13より吸い込まれた粒子が水平配管部に堆積し流路が狭められ、狭められた流路に詰まりを生ずるためである。

以上いずれの詰まりも配管内の液流速がスラッジを輸送するのに必要な流速を満たしていないことが原因である。

(2) 詰まり防止方法

モックアップ予備試験結果の解析およびスラッジ輸送技術の調査結果からいくつかの詰まり防止方法を立案した。

以下に立案した詰まり防止方法について述べる。

1) 252V13中の252A132 エアリフト吸い込み口の詰まり防止方法

252A132 吸い込み口の詰まり防止については、モックアップ予備試験で実施したように、既設の装置を改造せずに

- 1) 252D136 の真空度を上げる。
- 2) 252A132 の空気流量を増加させる。

ことにより大粒径（粒径 4 mm程度）の粒子も吸い込みむことが可能なため、詰ま

りを防止することができる。

2) 水平配管部の詰まり防止方法

① 全ての水平配管部の上流側に圧力水注入ノズルを取り付ける方法

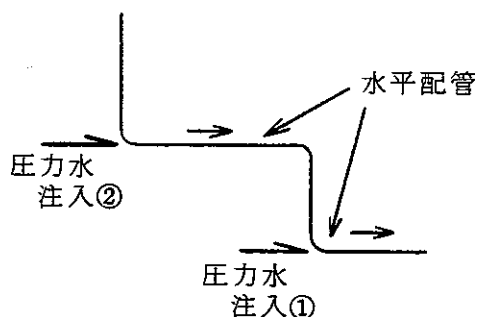


図5-1のように水平配管部の上流側に圧力水注入ノズルを取り付け271E10に近い方の配管から順次圧力水を噴射し、各配管部のスラッジを下流側の配管部に輸送し、水平配管部の詰まりを防止する方法。

図5-1 圧力水の注入

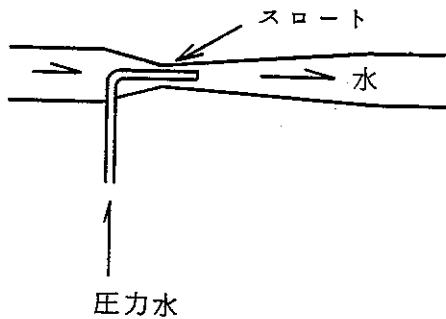
② 配管部にフリージングデバイスと圧力水注入ノズルを取り付ける方法

配管部の上流側にフリージングデバイスを取り付け、下流側に圧力水注入ノズルを取り付ける。

まず、フリージングデバイスにより配管部を凍らせて閉塞させ、しかる後圧力水注入ノズルより圧力水を注入し、水平配管部に堆積したスラッジを271E10へ輸送する。

取り付け位置は、252V131の直下部が好ましいが、工事の都合上他の位置に取り付けることも可能である。

③ ウォータージェットポンプ設置による詰まり防止方法



配管の垂直管部またはエルボ部にウォータージェットポンプを設置し、圧力水を注入し、圧力水+吸引水により水平配管部に堆積したスラッジを271E10へ輸送する。取り付け位置は、252V131の直下部が好ましいが、工事の都合上他の位置に取り付けることも可能である。

図5-2 ウォータージェットポンプ

④ 271D101専用ブローを設置する方法

271D101の真空度を上げ水平配管部にスラッジが堆積しても水平配管部上部の流路でスラッジを輸送でき、かつ水平配管部から271D101へ至る垂直配管でスラッジをリフトできるようにし、水平配管部における詰まりを防止する方法である。つまり、水平配管部のスラッジ堆積によりもたらされる流路縮少による圧力損失の増大を271D101の真空度を上昇させることにより、スラッジ輸送に必要な流速（流量）を低下させることなく、連続的にスラッジを輸送する方法である。

(3) 詰まり防止のための運転方法

1) モックアップ予備試験よりの知見

モックアップ予備試験結果より252V13よりのスラッジの吸い込みについての以下の知見を得た。

① スパージングを行わない場合

252V13の下部に堆積したスラッジのうち吸い込み口の近傍にあるスラッジのみが短時間（数分）で吸い込まれ、その後は殆どスラッジを吸い込まない。

② スパージングを行った場合

252V13の下部に堆積したスラッジのうち1mm未満の粒子が捲き上げられ連続的に吸い込み口に吸い込まれる。

したがって、スパージングを行わない時よりスラッジの吸い込み量が多くなる。
しかしながら1 mm以上のスラッジ粒子を捲き上げることはできない。

2) 蒸発缶271E10の運転上の制約

高放射性廃液の受入れ側である271E10については、運転上下記の制約がある。

- ① 蒸発処理能力が 250 ℓ/hr 程度であり、大流量を連続的に処理することは、困難である。
- ② フォーミング・腐食等の問題からバッチ運転を行うことが難しい。

3) 詰まり防止のための運転方法

以上の結果から運転方法については以下のようにするのが好ましいと考えられる。

- ① 252V13のスパージングを行わず吸い込み口の流速を上げ短時間（数分）でスラッジを吸い込み、水平配管部を経由して271E10に輸送する。
- ② その後は、スラッジを吸い込まないので吸い込み口の流速および水平配管部の流速を現状の運転条件に戻し、高放射性廃液のみを271E10へ送液する。

(4) 詰まり防止方法の比較検討

252V13中の252A132 エアリフト吸い込み口の詰まりについては(2)の1)で述べたように運転条件を変更することによって解決できるので特に問題はないと思われる。したがって、ここでは(2)の2)に示した水平配管部の詰まり防止方法について比較する。

表 5 - 1 詰まり防止方法の比較表

| 詰まり防止方法 | 利 点 | 問 題 点 | |
|------------------------------------|--|--|--|
| | | プ ロ セ ス | 工 事 |
| 1) 水平配管部に圧力水注入ノズルを取り付ける方法 | <ul style="list-style-type: none"> ・瞬間的な注入水量が少なくて済む。 | <ul style="list-style-type: none"> ・注入水が配管の上流側に逆流する可能性有。 ・順次注入を行っていかねばならないので操作が複雑である。 | <ul style="list-style-type: none"> ・セル R006, R019, R026を開封しなければならない。 |
| 2) 配管部にフリージングデバイスと圧力水注入ノズルを取り付ける方法 | <ul style="list-style-type: none"> ・水平配管部のスラッジを全量かつ確実に271E10へ輸送できる。 | <ul style="list-style-type: none"> ・特になし。 | <ul style="list-style-type: none"> ・252V131 の直下部に取り付ける場合は、セルR006を開封しなければならない。 |
| 3) ウォータージェットポンプ設置による詰まり防止方法 | <ul style="list-style-type: none"> ・水平配管部のスラッジを全量271E10へ輸送できる。 | <ul style="list-style-type: none"> ・大粒子が閉塞する可能性有。 ・スロート部がスラッジ粒子により摩擦耗する可能性有。 ・エロージョンを起こす可能性有。 | <ul style="list-style-type: none"> ・252V131 の直下部に取り付ける場合は、セルR006を開封しなければならない。 |
| 4) 271D101 の専用ブローを設置する方法 | <ul style="list-style-type: none"> ・既設スラッジ輸送配管を改造しなくて済む。 | <ul style="list-style-type: none"> ・水平配管部に常に一定量のスラッジが堆積している。 | <ul style="list-style-type: none"> ・セルR019を開封し271D101 専用ブロー配管工事が必要である。 |

1) 最適詰まり防止方法の選定

表5-1に示す詰まり防止方法を比較検討した結果

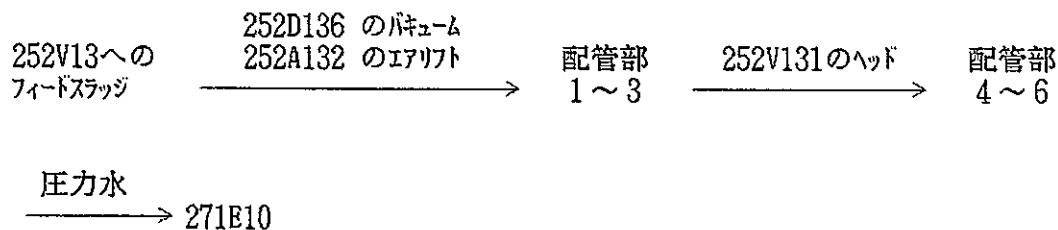
2)の配管部にフリージングデバイスと圧力水注入ノズルを取り付ける方法が最も適した方法であろうと判断した。

ただしノズル取り付け位置は、セルR006、R019の開封が困難なためセルR026にある配管部3と4の間とする。

したがって、水平配管部1～3の堆積スラッジを水平配管部4以降へ輸送するため圧空配管を圧力水注入ノズルに取り付け以下の操作を行う。

- ① 252V13より吸い込んだスラッジを配管部1～3に堆積させる。
- ② フリージングデバイスにより水平配管部3と4の間の垂直配管の1部を凍らせ閉塞させる。(この時271A108のエアリフトはストップさせる。)
- ③ 圧力水を注入し、配管部4以降のスラッジを271E10へ全量輸送する。
- ④ しかる後圧力水をとめ代わりに圧空を注入し、配管部4から271D101へ至る配管の水をできるだけ271D101へエアリフトする。
- ⑤ 圧空を止め、水のレベルが安定した時点でフリージングデバイスに高温流体(スチーム、ホットエアーなど)を流し、凍結部を融解させる。
- ⑥ その瞬間252V131のヘッドにより瞬間的に高流速で配管部1～3に水が流れ、配管部1～3のスラッジを配管部4以降に輸送する。

したがって、スラッジの輸送フローは以下のようになる。



2) 選定理由

以上の方法を採用した理由は、以下の通りである。

- ① 工事が困難なセルR006およびR019を開封せずに工事が比較的容易なセルR026のみを開封すればよい。
- ② 全ての水平配管部1～6のスラッジを輸送できる。

- ③ 水平配管部 1～3 において万一スラッジ堆積により詰まりが生じても圧力水を注入することにより圧力水が水平配管部 3 から 1 へと逆流し詰まりを解消することができる。
- ④ 水平配管部 4～6 において万一スラッジ堆積により詰まりが生じてもフリージングデバイスにより水平配管部 3 と 4 の間を凍結させ圧力水を注入することにより詰まったスラッジを 271E10 へ輸送することができる。

ただし、モックアップ試験ではフリージングデバイスの代わりにボールバルブを使用し、フリージングデバイスを模擬した。

3) プロセス上の最適詰まり防止方法

工事上の問題点を無視し、単にプロセス的な観点から上述の詰まり防止方法を比較すると

- ① 271D101 専用ブローアを設置する方法
- ② ウォータージェットポンプ設置による詰まり防止方法
- ③ 配管部にフリージングデバイスと圧力水注入ノズルを取り付ける方法
- ④ 水平配管部に圧力水注入ノズルを取り付ける方法

の順に優れていると考えられる。すなわち①の方法は、スラッジ輸送に必要な流速（流量）を確保する方法（その流速における配管の圧力損失をブローアによる真空度でカバーする。）であり、プロセス的にも最も理にかなっている。

次いで②の方法は、水平配管内の限界流速を確保し、水平配管内にスラッジを堆積させず輸送できるという点において優れている。

本装置のスラッジ輸送用に設計したウォータージェットポンプの寸法図を図 5-3 に示す。

③の方法はプロセス的には、最適とは言い難いが

- 1) 装置が単純なので装置上の故障が殆どないこと。
 - 2) 万一詰まりが生じても容易に回復させることができること。
- などに長所があると思われる。

④の方法は、プロセス的にも問題があり、この中では最も劣っていると考えられる。

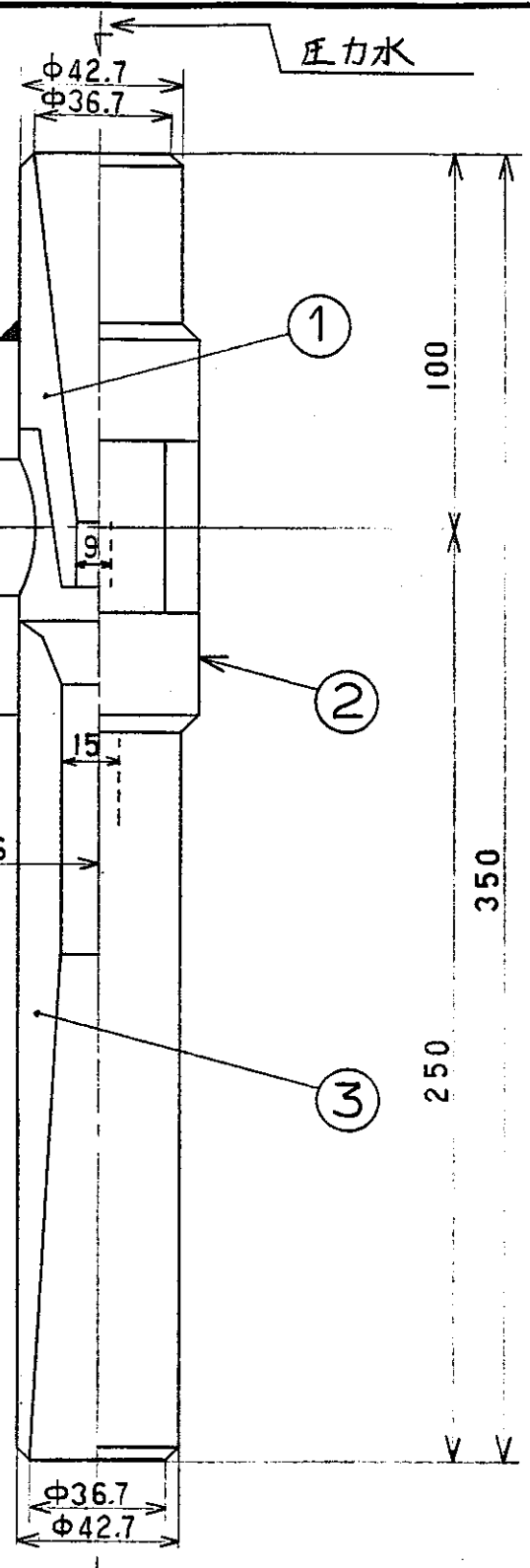
圧力水

HAW+スラッジ

ウォータージェットポンプ仕様

| | |
|-------|--------------------------|
| 圧力水水圧 | 4.5 kg/cm ² G |
| " 水量 | 6.5 m ³ /hr |
| 吸込水量 | 5.0 m ³ /hr |
| 吐出水量 | 11.5 m ³ /hr |
| 吸込高さ | +5.0 m |
| 吐出圧 | 1.0 kg/cm ² G |

| | | | | |
|----|---------|---------|----|----|
| 3 | ディフューザー | SUS304L | 1 | |
| 2 | 本体 | " | 1 | |
| 1 | ノズル | SUS304L | 1 | |
| 符号 | 品名 | 材質 | 個数 | 摘要 |



| | | | | | |
|-------------------------|-------------|----|------|------|------|
| NO. | DESCRIPTION | BY | CHKD | APVD | DATE |
| REVISIONS | | | | | |
| REV | DATE | | APVD | | |
| ISSUED FOR CONSTRUCTION | | | | | |
| SCALE 1/2 | | | | | |
| JOB NO. | | | | | |

FOR

CHIYODA CHEMICAL ENGINEERING & CONSTRUCTION CO., LTD.
YOKOHAMA, JAPAN

☑ 5-3 ウォータージェットポンプの寸法図

| | | |
|---------|-------------|-----|
| PROJECT | DRAWING NO. | REV |
| | | ◇ |

6. 最適詰まり防止方法の概念設計

5.の「詰まり防止方法の比較・検討」の結果、現状では工事上の制約から配管部にフリージングデバイスと圧力水注入ノズルを取り付ける方法が詰まり防止に最適であるとの結論を得、モックアップ本試験で詰まりが防止できることを確認した。

したがって本章では、この方法に基づく装置の概念設計および工事の概念設計について述べる。

6.1 詰まり防止装置の概念設計

詰まり防止装置は、配管部3と4の間の垂直配管上に設置したフリージングデバイス、垂直配管の下部の氷受け部および、圧力水注入ラインに設置したエアロック部とに別れる。本装置概念図を図6-1に示す。

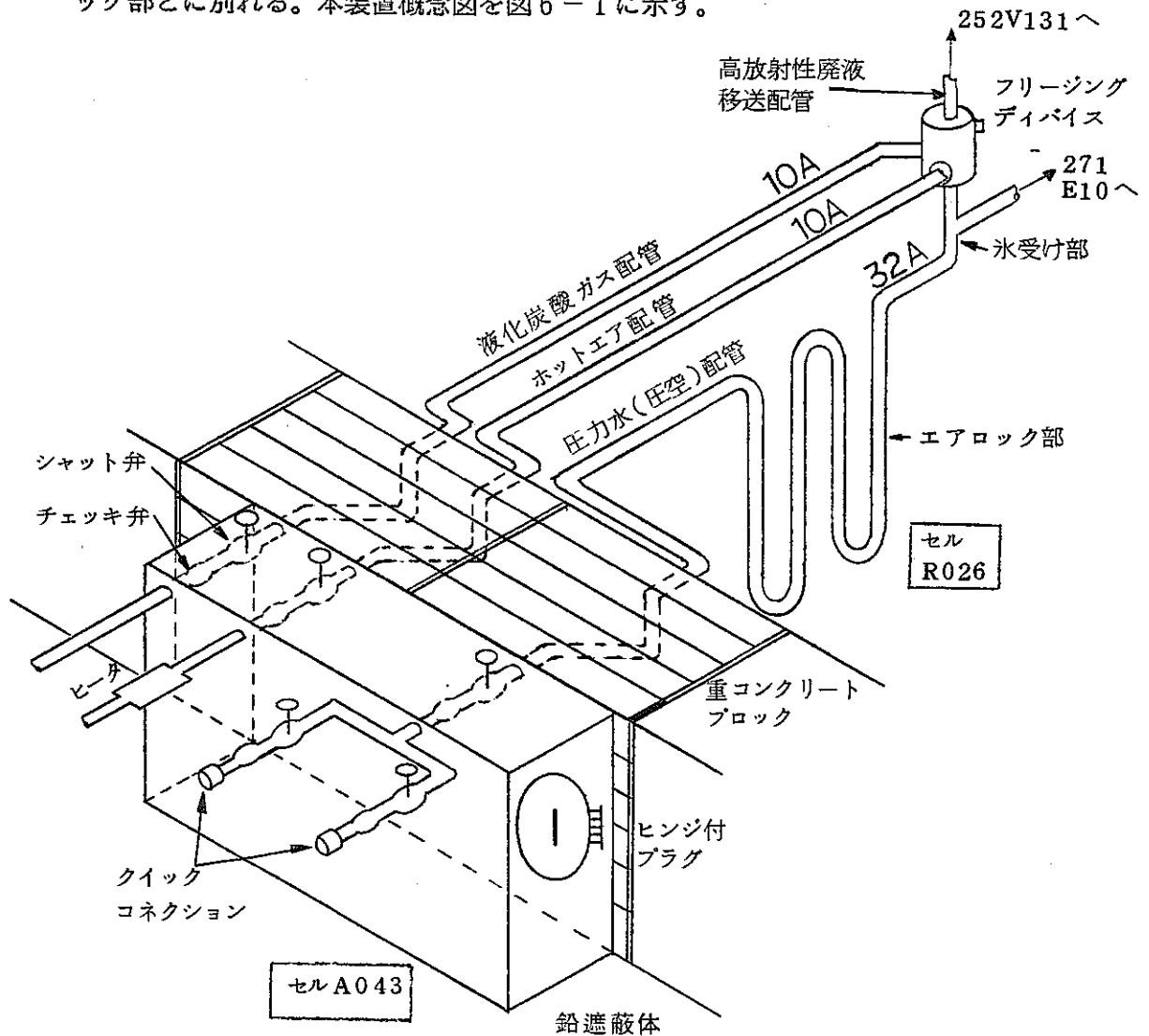


図6-1 詰まり防止装置概念図

(1) フリージングデバイス

フリージングデバイスは、既設配管 (32A) にジャケット (65A) を約50mm行ったもので、ジャケット下部に液化炭酸ガス注入ラインと加熱流体 (ホットエア) 注入ラインが取り付けられている。また上側部に排気口が設置されている。さらに冷却時および加熱時の配管およびジャケットの収縮を吸収するためジャケット下部に金属ベローズを使用している。フリージングデバイスの概略図を図6-2に示す。

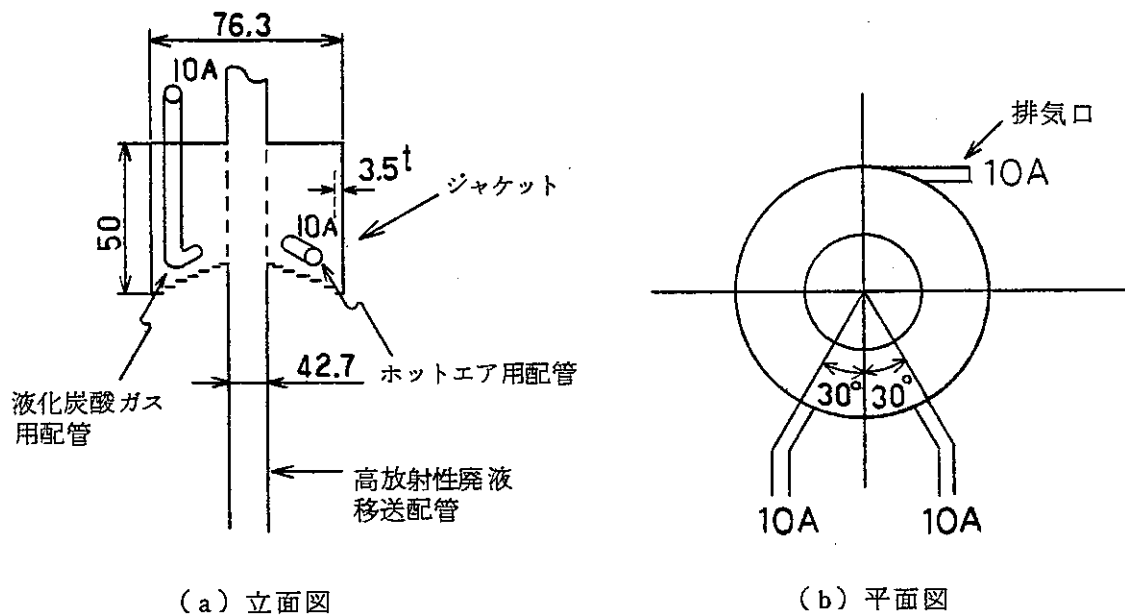


図6-2 フリージングデバイス概念図

(2) 氷受け部

氷受け部は、フリージングデバイスで凍結させた高放射性廃液の氷を加熱流

体で配管部に密着している部分を解かし、落下する氷のブロックを受ける部分である。

この部分は、既設配管と同じ32A である。

(3) エアロック部

エアロック部は、圧力水注入後、圧空を吹き込みチェック弁によりエアロックをかけ配管部4 から高放射性溶液の逆流を防止しようとするものである。エアロックに使用するU字管を図6-3に示す。

エアロックの先には、緊急シャット用のシャット弁およびエアロック用のチェック弁が設置されている。

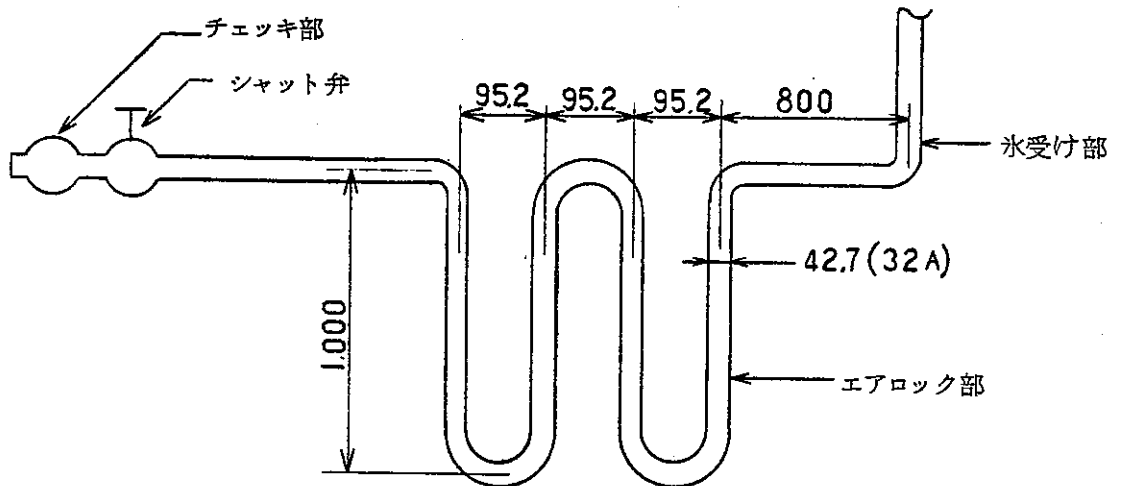


図6-3 エアロック部

(4) 詰まり防止装置の操作法

- 1) フリージングデバイスのジャケットに液化炭酸ガスを注入し、ジャケットで覆われた配管部中の高放射性溶液を凍結させる。

(この時は、当然エアリフト271A108 は、ストップしており271D101 へは揚液していない。)

- 2) クイックコネクションに接続した圧力水注入ラインより圧力水を注入し配管部4～6のスラッジを271E10へ輸送する。
- 3) ついでクイックコネクションに接続した圧空注入ラインより圧空を注入しかつ圧力水を止め配管部4～6の大部分の水を271E10へ輸送する。
- 4) 圧空を止めチェック弁によりエアロック部をエアロックする。
- 5) フリージングデバイスのジャケットに加熱流体（ホットエア）を注入し、配管と氷の凍結面を解かし氷を氷受け部に落下させる。
- 6) すると252V131のヘッドにより高放射性廃液が配管部1～3を急激に流れスラッジを配管部4以降に押し流す。

以上により水平配管部1～6でスラッジの詰まりを起させることなくスラッジを輸送できる。

- (5) 詰まり防止装置に必要なユーティリティー量

詰まり防止装置は、252V13より271E10へ10時間送液する間に（通常運転パターン）1度使用する。

この時使用するユーティリティー量は、モックアップ本試験により下記の結果を得た。

圧力水（1 kg/cm²G）

$$4,000 \text{ } \ell / \text{hr} / 60 \times 1 = 70 \text{ } \ell$$

圧 空（2.6 kg/cm²G）

$$1,300 \text{ } \ell / \text{hr} / 60 \times 2.5 = 60 \text{ } \ell$$

また、フリージングデバイスに必要な液化炭酸ガス量および加熱流体量は、以下の計算により求めた。

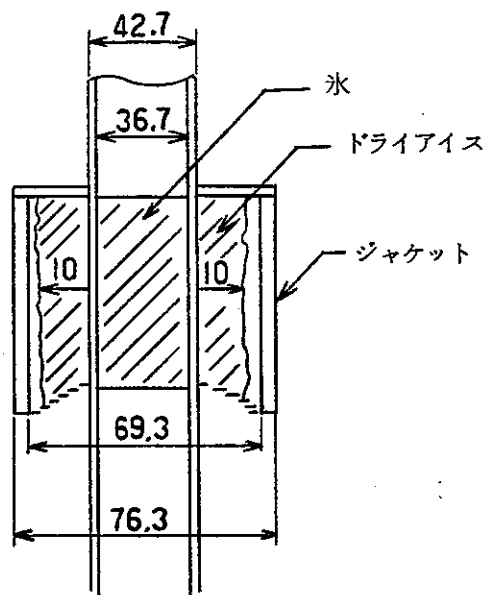


図6-4 凍結状態図

1) 算出条件

- ① 凍結部長さ 50mm
- ② ドライアイス付着長さ 10mm
- ③ 高放射性廃液温度 40℃

2) 物性値^{26), 27)}

- ① 氷の密度 0.917g/cm³
- ② 氷の融解熱 80cal/g
- ③ ドライアイス密度 1.53 g/cm³
- ④ ドライアイス気化熱 137cal/g
(at -78.9℃)
- ⑤ 液化炭酸ガス密度 0.766g/cm³
(at 20℃)
- ⑥ 液化炭酸ガス気化熱 36.8cal/g
(at 20℃)
- ⑦ スチーム凝縮熱 539cal/g
(at 100℃)

3) 凍結に必要な液化炭酸ガス量 F_c

$$\begin{aligned}
 F_c &= (0.785) (3.67)^2 (5) \{ (1) (40-0) + (0.917) (80) \} / 36.8 \\
 &= 163(\text{g}) \\
 &= 213(\text{cc})
 \end{aligned}$$

4) 融解に必要な加熱流体量

図6-4のように凍結終了時点で高放射性廃液移送配管にドライアイスが10mm付着していると仮定すると、ドライアイス気化に要する熱量 L_D は、

$$\begin{aligned}
 L_D &= (0.785) \{ (6.27)^2 - (4.27)^2 \} (5) (1.53) (137) \\
 &= 17,300(\text{cal})
 \end{aligned}$$

また凍結部については、配管の内表面1mmの厚さの氷を解かすとするば、融解に必要な熱量 L_1 は、

$$\begin{aligned}
 L_1 &= (0.785) \{ (3.67)^2 - (3.47)^2 \} (5) (0.917) (80) \\
 &= 411(\text{cal})
 \end{aligned}$$

となる。

つぎに加熱流体としてホットエアおよびスチームを使用した場合の必要量を算出する。

① ホットエアを使用した場合

- (i) ホットエア入口温度 100 °C
- (ii) " 出口温度 90 °C
- (iii) " 平均比熱 7.02 cal/g-mol · °C (at 95°C)

とすれば、

必要量 V_A は、

$$\begin{aligned} V_A &= (17,300 + 411) / (7.02) / (100 - 90) (22.4) / (1,000) \\ &= 5.65 \text{ (Nm}^3\text{)} \end{aligned}$$

② スチームを使用した場合

必要量 V_s は、

$$\begin{aligned} V_s &= (17,300 + 411) / (539) \\ &= 32.9 \text{ (g)} \end{aligned}$$

ホットエアよりスチームを使用した方が、量は少くて済むが、スチームを使用すると

- (i) ドレンをセルR026に排出しなければならない。
- (ii) スチームラインに保温を必要とする。
- (iii) 急激にスチームを入れた場合ドライアイスが突沸する可能性がある。
などの理由により加熱流体としては、ホットエアを採用した方が良いと思われる。

以上の結果をまとめると表6-1のようになる。

表6-1 ユーティリティー使用量

| ユーティリティー | 使用量 |
|-------------------------------|---------------------|
| 圧力水 (1 kg/cm ² G) | 約 70 ℓ |
| 圧空 (2.6 kg/cm ² G) | 約 60 Nℓ |
| 液化炭酸ガス (20 ℃) | 約 200 cc |
| ホットエア (100 ℃) | 約 6 Nm ³ |

ただし、ヒートロス分および装置に到達するまでの配管滞留分は含まない。

(6) 詰まり防止装置の安全性および信頼性

図6-1からも明らかなように圧力水注入ラインは、エアロック部を介して高放射性廃液移送配管とつながっている。したがって安全性を確保するため

- 1) エアロック用チェック弁の前にシャット弁を取り付け、緊急時には、シャット弁を閉じて高放射性廃液の逆流を防止するようにした。(実際には、クイックコネクションの後にもチェック弁があるので2つのチェック弁が同時に作動不良を起さない限り、エアロックは維持される。)
- 2) エアロック用チェック弁の前に圧力水用(DWa) および圧空用クイックコネクションを取り付け、通常は、圧力水ラインおよび圧空ラインと高放射性廃液移送ラインの縁を切るようにした。
- 3) 安全性を考慮してエアロック用チェック弁およびシャット弁を鉛の遮蔽体で取り囲んだ。(ただし、シャット弁は、緊急時操作できるようハンドルは、遮蔽体の外に出した。)
- 4) エアロック部のU字管の下部に圧力水(DWa) が常に溜まり高放射性廃液側からの蒸気を遮断できる構造とした。

本装置では、チェック弁のもれによりエアロックのエアがもれるトラブルが一番恐ろしいと考えられるので信頼性のあるチェック弁(スプリング式など)を使用し、一定期間使用したらもれる、もれないに関係なくチェック弁を交換することにより信頼性を維持する。

(7) 詰まり防止装置の保守性

本装置は、配管ジャケット、バルブから成り立っており、極めてシンプルであり、特に保守をする必要はないが、上述したようにチェック弁を一定期間毎に交換するのが唯一の保守作業となる。

図6-5に示すようにチェック弁、シャット弁を囲む遮蔽体のサイドにヒンジ付のプラグを設けプラグを開けることによりチェック弁の交換ができる構造とした。

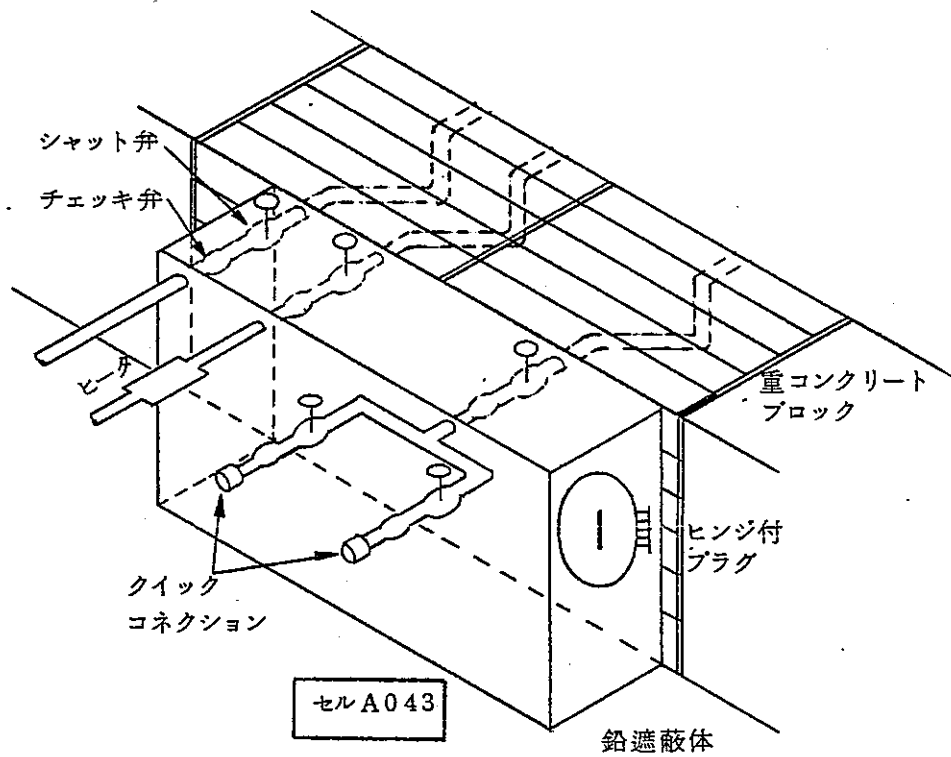


図6-5 遮蔽体部

(8) 詰まり防止装置の設置位置

詰まり防止装置の設置図の平面図、正面図、側面図を各々図6-6、図6-7、
図6-8に示す。

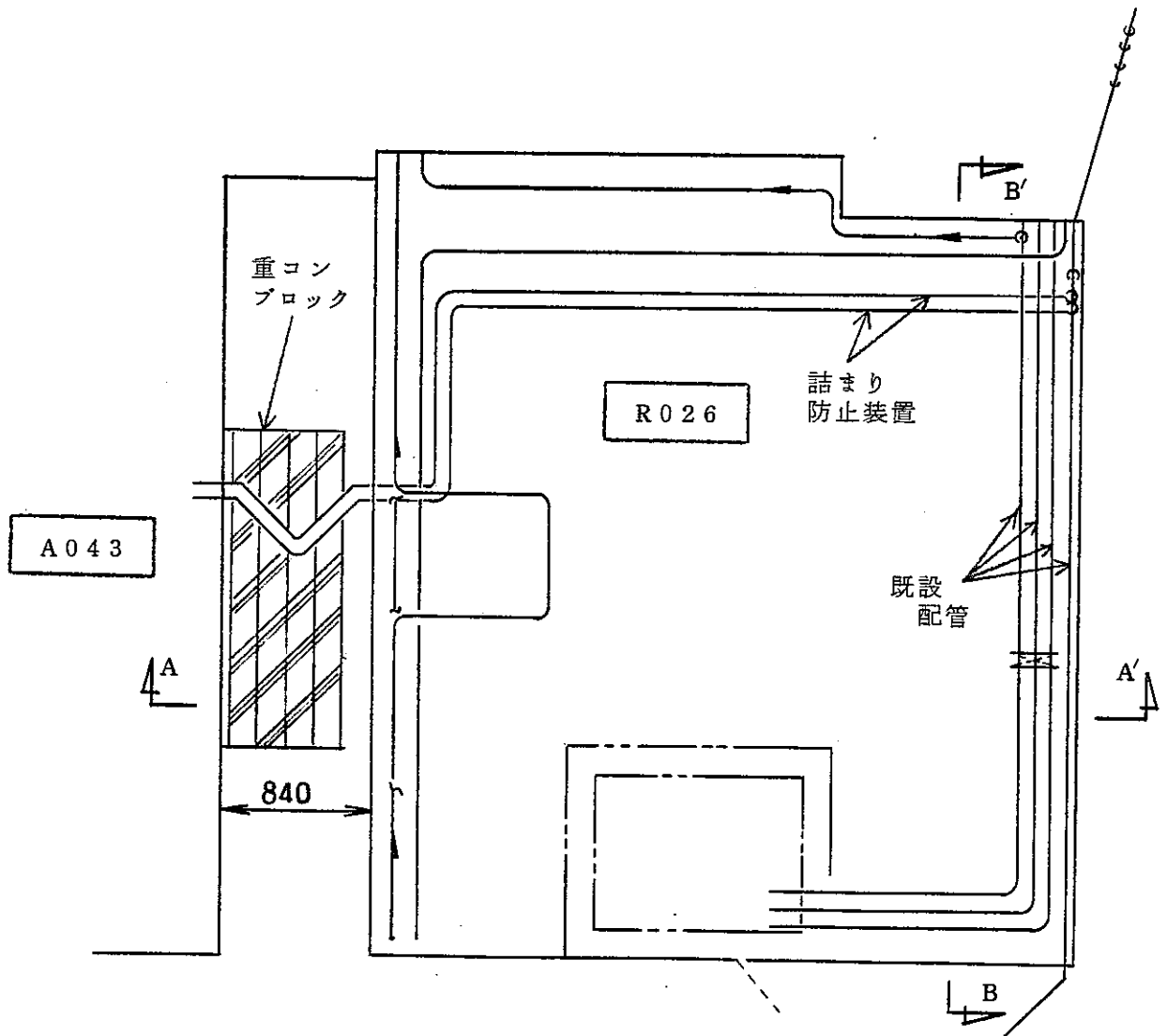
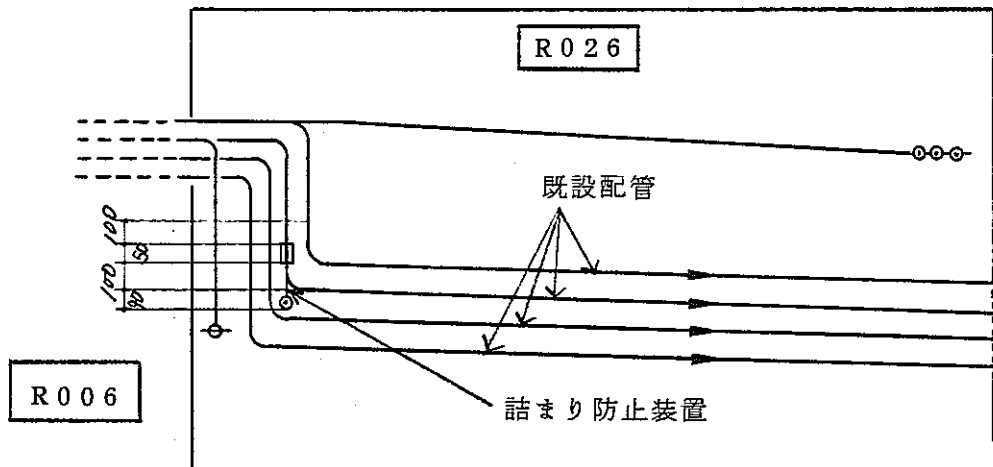
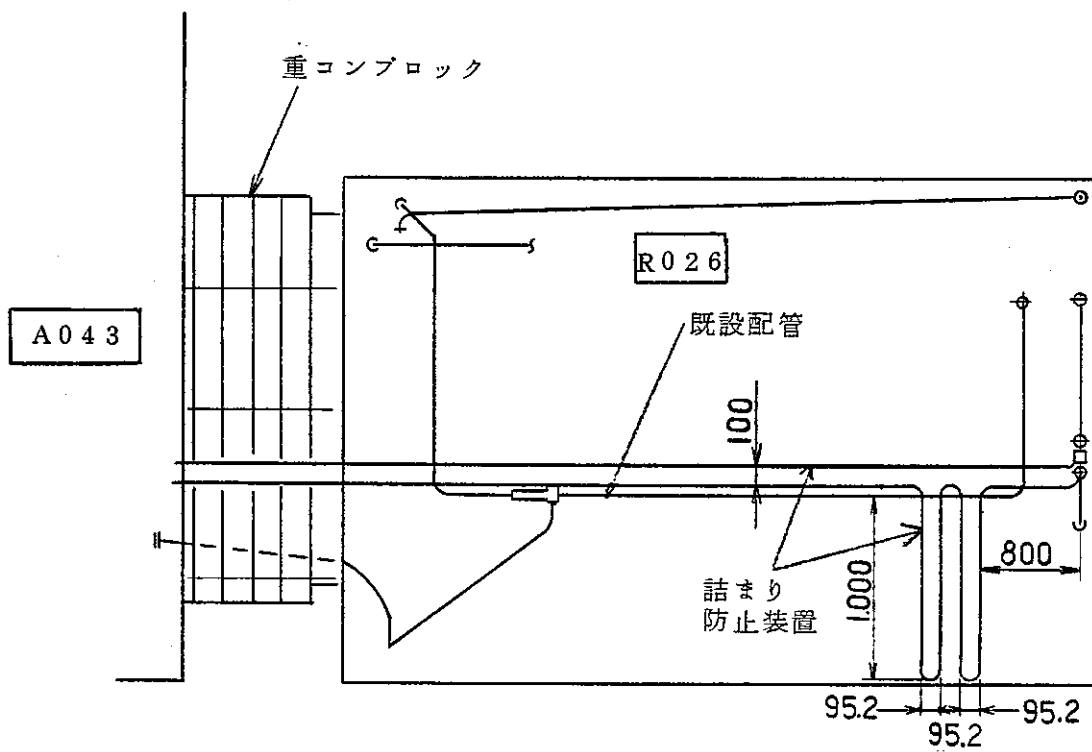


図6-6 設置平面図



B - B' 断面

図6-7 設置正面図



A - A' 断面

図6-8 設置側面図

フリージングデバイスおよび氷受け部は1体で製作し、既設配管部3と4の間にあるエルボ部を切り取って取り付ける。

またエアロック部は、セルR026内に設置する。

エアロック部よりの延長配管は、重コンクリートブロックの中をベンディングして突き抜け、セルA043に出る。

セルA043に出た部分にチェック弁およびシャット弁を取り付けこれらを鉛の遮蔽体で覆う。

さらに鉛を貫通した部分に圧力水および圧空用のクイックコネクション、チェック弁、グローブ弁を取り付ける。

6.2 工事の概念設計

(1) 工事の概要

工事内容は、セルR026の既設高放射性廃液移送配管の一部を切り取り、本詰まり防止装置を取り付けることである。

したがって、主たる工事は、以下のようになる。

- 1) セルR026の入室のためセルR026の開口部を養生し正面の重コンクリートブロックを撤去する。
- 2) 工事時の汚染拡散防止のためセルA043内にグリーンハウス（以下GHと略す。）を設置する。
- 3) セルR026の高線量率配管を鉛板により遮蔽する。
- 4) 既設移送配管の一部を切断撤去し、既設移送配管切断箇所を除染する。
- 5) 溶接用の一部壁をはつた後、本詰まり防止装置を設置する。
- 6) セルR026を除染した後セル開口部を養生し閉じる。
- 7) 重コンクリートブロックを復旧した後、GHを解体撤去する。
- 8) セルA043に配管部を覆う鉛遮蔽体を設置する。

(2) 工事要領

1) 工事上の留意点

工事要領の策定にあたっては、下記の点に特に留意した。

- ① 作業期間中は、被曝低減化・汚染防止に努める。
- ② 廃棄物の発生量は、極力少なくする。
- ③ 作業者の装備については、安全のためセルR026内では原則として全面マスクを着用する。

2) 作業手順

工事に伴う作業手順は以下の通りである。

① 入域手続

入所に関して必要な手続、すなわち入所教育、マスクマンテスト、ホールボディーカウンター（W.B.C）などを受ける。

② 仮設工事

工事に必要な機材の搬入、電源の仮設、室内整理（A043）、床面養生などを行う。

③ 重コンクリートブロックの撤去

(i) A043側の壁パネルを取りはずす。

(ii) 防塵用簡易テントを設置する。（図6-9参照）

(iii) 重コンクリートブロックを取りはずし、各ブロック層表面の線量率を測定した後、指定場所へ仮置きする。

④ GHの設置

GHを組み立てフィルタおよびモニタリング設備の取り付けを行った後、GH設備機能の点検を行う。

併せて、GH使用時の訓練（防護具の着脱、入退室手順、物品・廃棄物などの搬出入手順の確認）も行う。

GHの配置図を図6-10に示す。

⑤ R026側のパネル取りはずし

R026側のパネルを取りはずし、セルを開口する。

⑥ セルR026内のサーベイ

R026内の線量率および汚染密度を測定する。

⑦ セルR026の養生

汚染防止のためセル内の養生を行う。

⑧ 既設配管の遮蔽

切断する配管の近傍にある高線量率配管（表面線量率100 mR/hr 4本）を鉛板で遮蔽し、遮蔽後の線量率を測定する。また汚染防止のためR026内の養生を行う。（図6-11参照）

⑨ 壁のはつり

切断撤去する配管部の切断個所（詰まり防止装置取り付けの溶接個所）の回りの壁を径約50mm、深さ約30mm程度はつる。

- ⑩ セルR026の清掃
はつりコンクリートなどをかたづけ、セル内を整理清掃する。
- ⑪ 防塵用簡易テストの撤去
セルR026の重コンクリートブロック取りはずし部に設置しておいた防塵用簡易テントを撤去する。
- ⑫ 既設配管の切断撤去
切断個所のマーキングを行った後、既設配管を切断し（図6-12参照）、切断した配管部を遮蔽材により梱包し、容器に収納した後搬出する。
- ⑬ 既設配管切断部の除染
除染具に硝酸を含浸させたスポンジを取り付け、配管切断部を除染する。
（図6-13参照）
- ⑭ 詰まり防止装置の据付
除染の終了した配管切断部の開先加工を行った後詰まり防止装置をセルR026に搬入する。
既設配管のバックシールを行った後詰まり防止装置を既設配管部に溶接して取り付ける。
- ⑮ 壁補修
溶接のためにはつった壁をモルタルで補修した後、塗装する。
- ⑯ セルR026内除染
養生材、遮蔽材を撤去、搬出した後セル内の汚染検査を行い、汚染個所を除染する。
- ⑰ セル側壁パネルの穴あけ
セル側壁パネルにパイプ穴をあけ、詰まり防止装置の配管部を貫通させる。
- ⑱ セルR026の閉口
セル側壁パネルを取り付け、パイプ穴部および周囲をコーキングする。
- ⑲ 新設配管のベンディング
セル側壁パネルを貫通した配管を重コンクリートブロック部でベンディングする。

- ⑳ 重コンクリートブロックの取り付け
重コンクリートブロックを取り付けモルタル仕上げを行う。なお、ベンディングした配管の貫通部は、小型の重コンクリートブロック（または、鉛ブロック）で補修し、隙間には、鉛もうを詰める。その後壁パネルを取り付け復旧する。
- ㉑ GHの撤去
GH内の物品を搬出した後汚染検査を行い汚染のある部分を除染する。その後GHを解体撤去する。
- ㉒ 鉛遮蔽体の設置
セルA043側に突き出た配管部を鉛遮蔽体で覆う。
- ㉓ セルA043の整理
作業区域を整理し、機材、廃棄物を搬出する。
また同時に作業区域周辺の汚染検査も行う。
- ㉔ 退域手続
退所手続、W.B.C.などを済ませ退域する。
- ㉕ 作業実施報告書の作成
作業実施報告書を作成し、事業団殿に提出する。

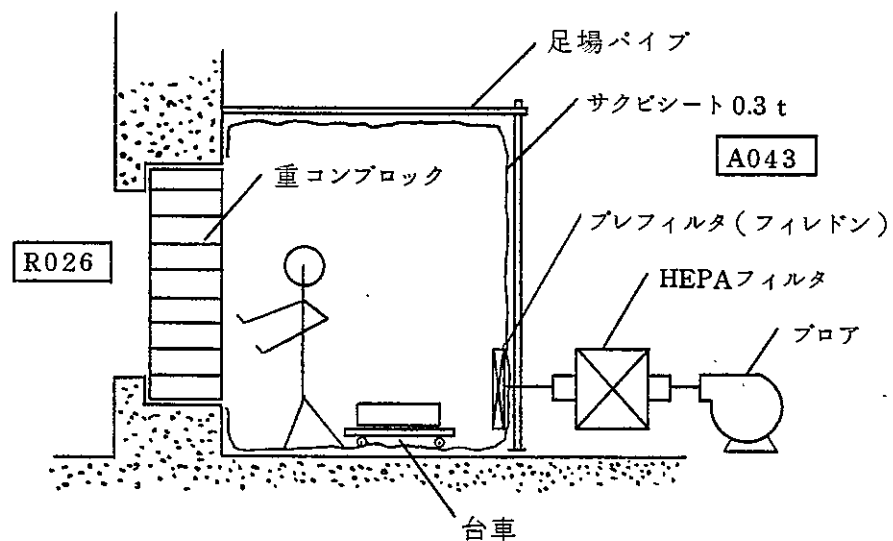


図6-9 防塵用簡易テント

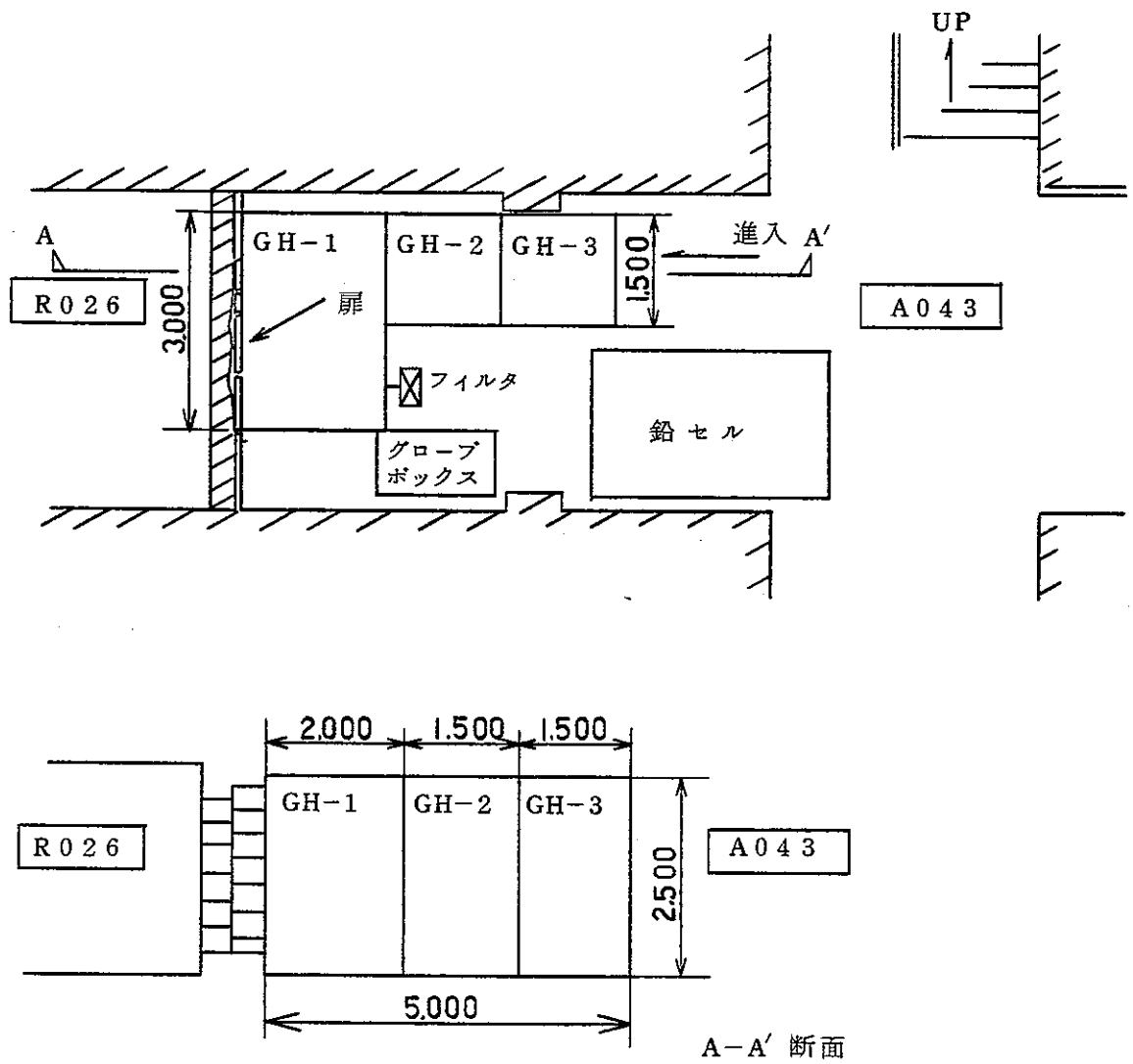


図6-10 GH 配置図

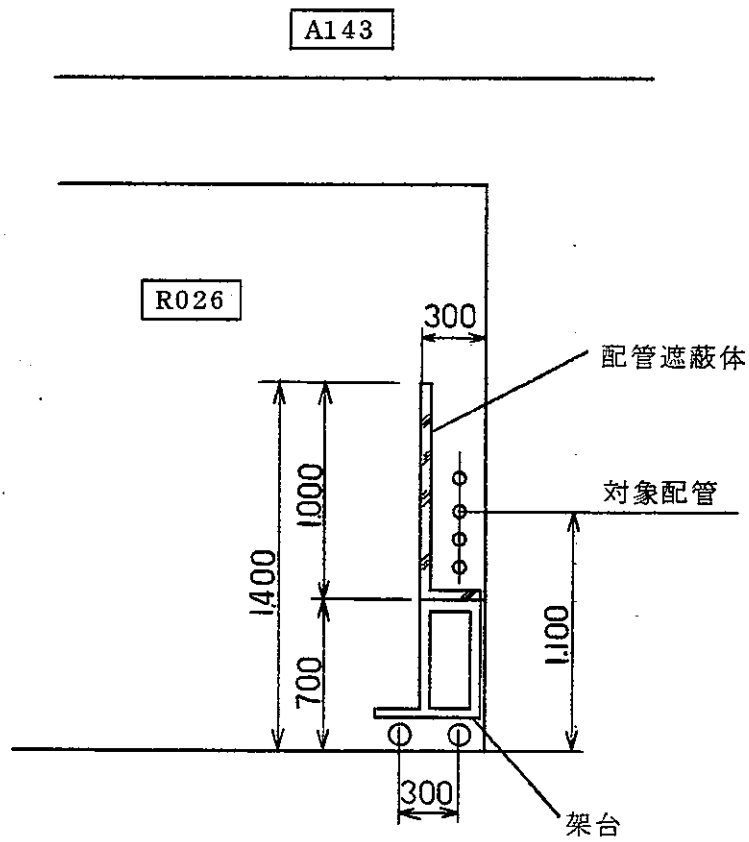


図6-11 既設配管遮蔽の概念図

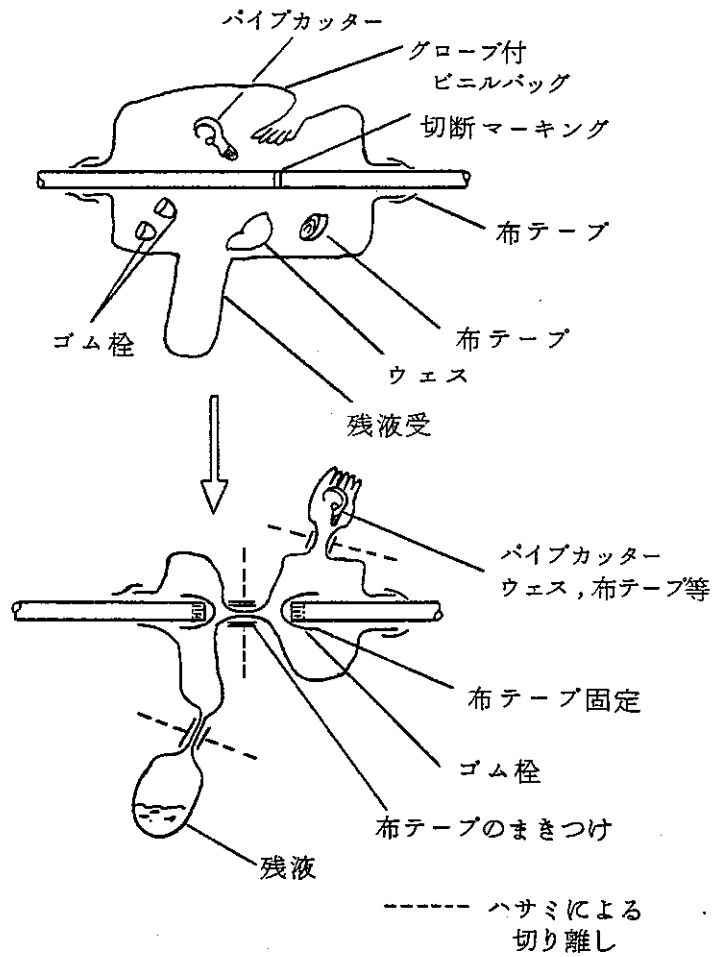


図6-12 既設配管切断要領図

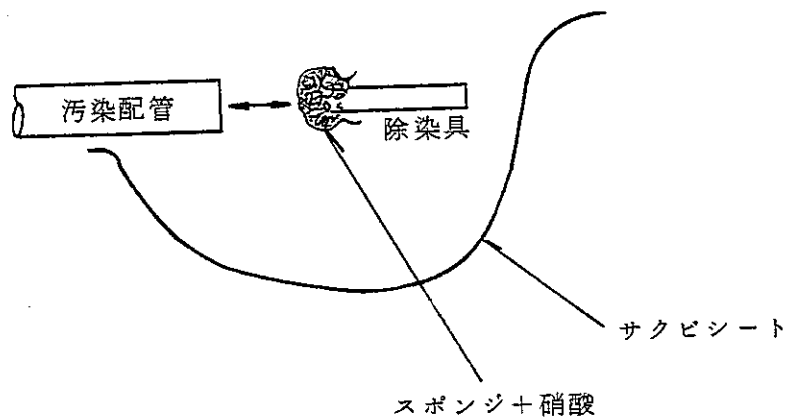


図6-13 配管切断部除染図

(3) 被曝管理

本工事を実施した場合の1人・1日当りの平均被曝線量当量の推定値を表6-2に示す。

また表6-3に被曝管理値を表6-4に作業に必要な防護具を示す。

表6-2 被曝量の推定値

| 作業項目 | 1人当りの推定被曝量 (ミリレム/人・日) | 被曝を考慮する日数 (日) |
|------------|--------------------------|------------------|
| 重コンブロックの撤去 | 20 | 1 |
| 配管遮蔽 | 50 | 3 |
| 壁のはつり | 50 | 2 |
| 配管切断除染 | 50 | 2 |
| 装置据付 | 50 | 8 |
| セル内除染 | 30 | 3 |
| 壁補修 | 100 | 1 |
| セル閉口 | 20 | 1 |

以上よりセル内に立入る作業者は、1人当り980ミリレムとなる。

したがって 3人×5班=15人では、トータルマンレムは、14.7レムと推定される。

表6-3 被曝管理値

| 被曝管理値 | 被曝量 |
|----------------|---------|
| 1人・1日当りの被曝限度 | 100ミリレム |
| 1人・1週間当りの被曝限度 | 300 " |
| 1人・3ヶ月間当りの被曝限度 | 3レム |

表 6 - 4 着用防護具

| 防護用品名 | セルR026 | セル A043 | | | |
|----------|----------|---------|------|------|-----|
| | | GH-1 | GH-2 | GH-3 | GH外 |
| カバーオール | ① (注1) | ① | ① | ① | ① |
| 布 帽 子 | ① | ① | ① | ① | ① |
| 靴 下 | ① | ① | ① | ① | ① |
| 綿 手 袋 | ① | ① | ① | ① | ① |
| R I シューズ | ① | ① | ① | ① | ① |
| 全面マスク | ① | ① | (注2) | (注2) | |
| 半面マスク | | | ① | ① | |
| タイベックスーツ | ② | ① | | | |
| マスクカバー | ① | | | | |
| チオックス | ③ | ② | ① | | |
| アームカバー | ① | ① | ① | | |
| シューズカバー | ③ | ③ | ② | ① | |
| オーバーシューズ | ① | | | | |
| 皮 手 袋 | 必要に応じて着用 | | | | |

(注 1) ○の中の数字は、着用数を示す。

(注 2) R026およびGH-1から退出してきた場合は全面マスクのままとする。

(4) 工事期間および人員

工事を実施する場合の概略工程表を表6-5に示す。

また作業人員構成図を図6-14に示す。

したがって、工事に要する延べ人数は、約2,000人と推定される。

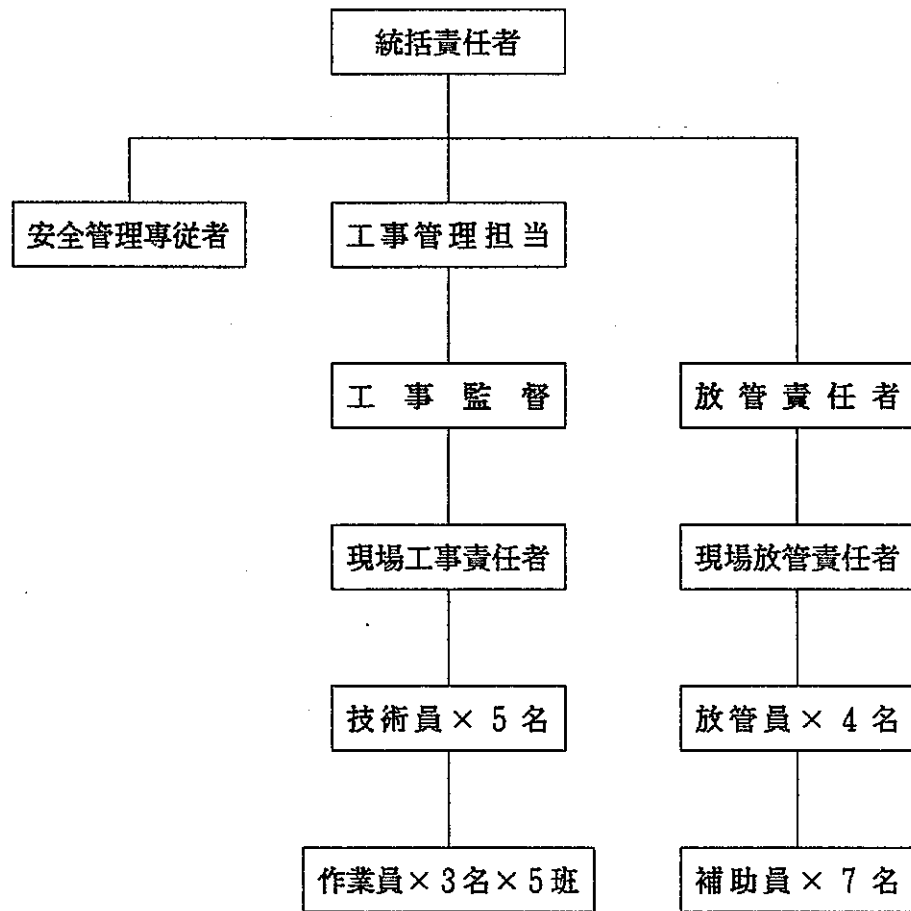


図6-14 作業人員構成図

表6-5 概略工程表

| No. | 工 事 項 目 | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45 | 50 | 55 | |
|-----|---------------------|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|
| 1 | 入域手続 | △ | ○ | | △ | ○ | | | | | | | |
| 2 | 仮設工事 | | △ | ○ | | | | | | | | | |
| 3 | 重コンブロックの撤去 | | △ | ○ | | | | | | | | | |
| 4 | GH設置 | | | △ | ○ | | | | | | | | |
| 5 | パネル取りはずし、セル内サーベイ、養生 | | | | △ | ○ | | | | | | | |
| 6 | 配管遮蔽 | | | | △ | ○ | | | | | | | |
| 7 | 壁のはつり、清掃 | | | | | △ | ○ | | | | | | |
| 8 | 配管の切断撤去 | | | | | △ | ○ | | | | | | |
| 9 | 配管切断部の除染 | | | | | △ | ○ | | | | | | |
| 10 | 詰まり防止装置の据付 | | | | | △ | ○ | | | | | | |
| 11 | 壁補修 | | | | | | | △ | ○ | | | | |
| 12 | セル内除染 | | | | | | | △ | ○ | | | | |
| 13 | セル閉口 | | | | | | | △ | ○ | | | | |
| 14 | 重コンブロック取付 | | | | | | | △ | ○ | | | | |
| 15 | GHの撤去 | | | | | | | | △ | ○ | | | |
| 16 | 鉛遮蔽体の設置 | | | | | | | | | △ | ○ | | |
| 17 | A043室整理 | | | | | | | △ | ○ | | △ | ○ | |
| 18 | 退域手続 | | | | | | | | △ | ○ | | △ | ○ |

7. 今後の課題

- (1) 本モックアップ試験において使用した模擬スラッジは、比重・粒径分布については、実スラッジを充分模擬していると考えられるが形状については、実スラッジの形状が不明のため、実際の形状より輸送しにくいと考えられる形状を用いた。したがって、今後形状に関する調査・試験を行った方がよい。
- (2) 本モックアップ試験においては、配管が塩ビのためフリージングデバイスの代わりにボールバルブを使用して模擬試験を行ったが、フリージングデバイスを使用した確認試験を行った方がよい。
- (3) 今回の詰まり防止装置の比較・検討でウォータージェットポンプは、特にスラッジ粒子による摩耗・エロージョンの問題から不適としたが、材質を選定し、これらの長期的な確認試験を行う必要がある。
- (4) 252V13内の残留スラッジの堆積量、圧密化、および有機溶媒による凝着について調査・推定し、問題になる点があるか否かを検討する必要がある。

引用文献

- 1) Nonsoluble Fission Product Residues , Crud , and Fine Chips of Zircaloy Cladding in Headend Process of Nuclear Fuel Reprocessing , Kozo Gonda , Koichiro Oka , and Keiichi Hayashi : Nuclear Technology , Vol. 65 , P. 102 (1984)
- 2) Experiment of the Composition of Solution Residues From the Reprocessing of LWR Pins , Kleykamp , H. : Dounreay-Trans-823 , 31P. (1983)
- 3) 化学工学便覧、化学工学協会編 : 改訂3版、丸善、東京、 P. 870
- 4) ibid., P. 924
- 5) 固体混合液の管路輸送、寺田 進 : 理工図書、P. 132-135 (1973)
- 6) 動燃事業団向「HA系サンプリングベンチ改造に関する設計研究」報告書 : P. 56 (1983)
- 7) 化学便覧(基礎編 II)、日本化学協会編 : 丸善、東京 (1966)
- 8) Analysis of Dissolution Residues of Irradiated Fuels , Regnaud , F. , Tcherniatine , N. : CEA-CONF -5558 , 9P. (1980)
- 9) 固体混合液の管路輸送、寺田 進 : 理工図書、P. 7 (1973)
- 10) 最近の往復動ポンプ、神田 直 : 配管技術9月号臨時増刊号、Vol.25、No. 10、 P. 145 (1983)

- 11) 粒体含有液体の輸送ポンプに就て、木村 千敏夫 : 燃料及燃焼、Vol. 49、No.9、
P. 11 (1982)
- 12) スラリ輸送システム実用化技術資料集、スラリ輸送研究会資料編集委員会編 :
日本技術経済センタ、P. 264 (1974)
- 13) *ibid.*, P. 253- 262
- 14) *ibid.*, P. 262- 264
- 15) *ibid.*, P. 378- 383
- 16) 化学工学便覧、化学工学協会編 : 改訂4版、丸善、東京、P. 242 - 243
- 17) Engineering for Nuclear Fuel Reprocessing , Justin T. Long : American
Nuclear Society , P. 440 (1978)
- 18) エアーリフトポンプによる固体粒子の輸送について、宇佐美 毅、齊藤 隆之 :
採鉱と保安、 Vol. 26、No. 7、P. 20- 32 (1979)
- 19) スラリー配管のチェックポイント、岩松 幸男 : 化学工場、Vol. 27、No. 2、
P. 68 (1983)
- 20) スラリー輸送における沈澱とその防止法、久光、武石、伊藤 : 住友金属、Vol. 33、
No. 2、P. 219 - 229 (1981)
- 21) Hanford Radioactive Tank Cleanout and Sludge Processing , O.R.Rasmussen :
Research and Engineering , 38P. (1980)

- 22) Prediction of Centrifugal Pump-cleaning Ability in Waste Sludge , Churnetski,
B.v. : DP-MS - 81-68 , CONF-811103-117, 17P. (1981)
- 23) Transport and Solidification of Liquid Wastes from Nuclear Power Plants,
Christ , R. and Witte , H. : Leopoldshafen , F.R. Germany , ZAED ,
P. 293-296 (1974)
- 24) Unloading System from a Transport Container for Radioactive Sludges ,
Rittscher , D. : German (F.R.) patent document 2330521/B/, 2P. (1976)
- 25) 放射性廃棄物の輸送方法およびその装置、神谷 九二男、遊佐 英夫、杉本 義和：
日本特許公報 昭55-13560 (1980)
- 26) 内外化学品資料D無機 : シーエムシー、P. D8311 (1970)
- 27) 8683の化学商品 : 化学工業日報社、P. 190 (1983)