

真空式管路システムによる家畜ふん尿の  
搬送に関する研究

共同研究報告書

平成23年10月

独立行政法人土木研究所寒地土木研究所  
積水化学北海道株式会社

Copyright © (2011) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Chief Executive of P.W.R.I.

この報告書は、独立行政法人土木研究所理事長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、独立行政法人土木研究所理事長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

# 真空式管路システムによる家畜ふん尿の 搬送に関する研究 共同研究報告書

独立行政法人土木研究所 寒地土木研究所  
寒地農業基盤研究グループ 資源保全チーム

積水化学北海道(株)

環境土木システム事業部  
管財技術課

技術グループ

上席研究員

研究員

部長

課長

係長

グループ長

係長

横濱 充宏

桑原 淳

関 裕之

橋本 好弘

荒木 建国

杉本 芳紀

我孫子正和

## 要旨

家畜ふん尿は、肥培かんがいやバイオマス分野でも有効な有機資源として利用されるようになってきたが、トラックやバキュームカーの輸送コストが高い等の問題があった。

問題解決可能な真空式管路システムの実用化を行うために、予備実験としてベントナイト水溶液を使用し小規模の管路施設で実験を行い、高粘度流体の搬送性等に問題ないことを確認した。次に、別海町の寒地土木研究所の実験ヤードに管路延長が約540mとなる実証プラントを作製し、実際のふん尿で搬送性等を検証した。空気とふん尿をある割合で吸引すれば、ふん尿の長距離収集を可能とするシステムが構築可能であることが確認できた。条件にもよるがトラック搬送と比較して、燃料費や人件費等が削減可能なため維持管理費を含むトータルコストは安価にできると考えられる。真空管路で搬送するため、ふん尿の流出や搬送時に臭気が漂うリスクは極めて低く、ふん尿搬送作業の省力化も期待できる。

キーワード：バイオマス、肥培かんがい、家畜ふん尿、ふん尿搬送、生産施設、環境保全、  
農村振興

## もくじ

1. はじめに	1
2. 真空式管路システムの概説	
(1) 既存の真空式管路システムの概要	2
(2) 真空式管路システムを構成する主な施設	3
3. 研究目的	7
4. 研究方法及び研究結果	
(1) 研究の主な内容	7
4-1. 小型試験管路による予備実験	
(1) 実験内容	8
(2) 実験結果	11
(3) 実験の考察	15
4-2. 別海資源循環試験施設内の試験管路（実証プラント）による実験	
(1) 実験内容	17
(2) 実験結果	27
(3) 実験の考察	38
<b>資料4-2-1 真空式管路（水）の圧力損失の考え方</b>	43
<b>資料4-2-2 真空式管路（ふん尿）の圧力損失の考え方</b>	45
<b>資料4-2-3 真空ステーションの（真空）ポンプの選定の考え方</b>	46
5. 研究結果のまとめ	47
6. 結論	50
7. 今後の問題点等	51
8. 実験立会状況	52
9. モデルケースにおける経済性の検討	
(1) モデルケース及び検討条件	53
(2) 真空式管路システム適用時の検討条件	53
(3) 真空管路の設計	54
(4) 建設費（概算）の算出	55
(5) 維持管理費（電気代）の算出	56
(6) 維持管理費（小型真空ステーション）の算出	58
(7) 維持管理費（真空弁ユニット）の算出	59
(8) 概算費用のまとめ	60

## 1. はじめに

日本では家畜のふん尿は、以前から農作物の肥料等に活用されてきた。近年では、肥培かんがいの分野やバイオマス分野でも有効な有機資源として利用されるようになってきている。

一方、家畜のふん尿を搬送する方法は、トラックやバキュームカーによる搬送が主体となっており、輸送時の道路面の汚れや臭気の発生、輸送コストの高騰等の問題が懸念される。また、圧送ポンプを利用し管路で圧送する方法もあるが、この場合家畜のふん尿を水で希釈して損失水頭を小さくする必要があった。

そこで、集落排水等でも実績も多く問題解決に寄与可能な真空式管路システムが活用できないかと考え、家畜のふん尿を真空式管路で搬送するシステムを共同で開発した。

本システムが実用化できれば、上記のトラックやバキュームカー搬送での問題点がほとんど解決することが期待できるとともに、トラック搬送等が困難な冬季においては、真空式管路で搬送するメリットが生かされると考えられる。

## 2. 真空式管路システムの概説

### (1) 既存の真空式管路システムの概要

既存の真空式管路システムは主に真空弁ユニット、真空管路、真空ステーションの3要素で構成される。(図2-1参照)。

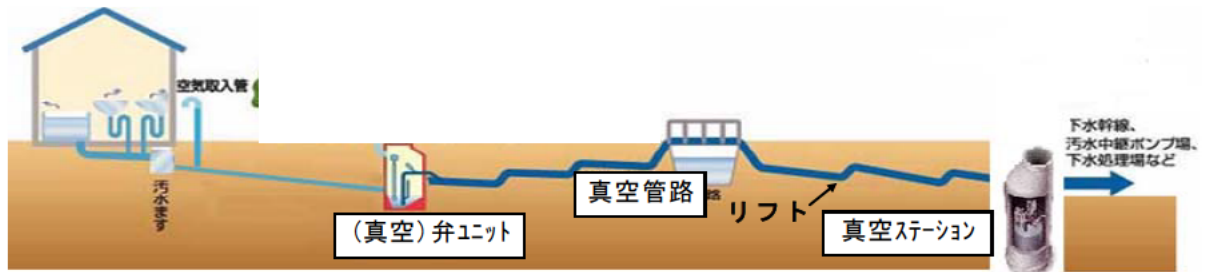


図2-1 既存の真空式管路システムの主な構成

真空式管路システムでは、汚水は真空と大気圧との差圧により流送される。家屋等から排出された汚水(ふん尿)は、重力を利用した自然流下式管路システムで真空弁ユニットまで搬送される。一定量汚水が溜まると真空弁ユニット内の真空弁が自動的に開き、真空に保たれている真空管路内に吸い込まれる。

この時、空気を吸い込み、当初は汚水と空気とが混ざり合った状態(二相流)で吸い込まれ、汚水が流送されることとなる。真空管路は効率的に汚水が流送されるよう「のこぎりの歯」状の形状(下り勾配と上り勾配を有するリフトからなる管路形状)となっている。下り勾配では、汚水は主に重力により流送され、リフト部では主に真空の力(空気の膨張する力)を利用し流送される(図2-2参照)という考え方である。真空弁ユニットから吸い込まれた汚水は、真空弁が開く度に吸い込まれ空気と汚水のせん断力などにより断続的に流れ、真空ステーションの集水タンクまで流送されていく。集水タンクに汚水がある一定量以上溜まると、圧送ポンプにより汚水は処理施設や自然流下管路などまで流送される。真空弁ユニットから真空ステーションまでの範囲を一般的に真空式管路システムと呼ぶ。

真空式管路システムの技術の根幹は、真空と大気圧の差圧を利用し、汚水と空気とを混ざり合った状態(二相流)で吸い込むことで、見掛けの比重が小さくなり、汚水の搬送効率が大幅に向上することにある。

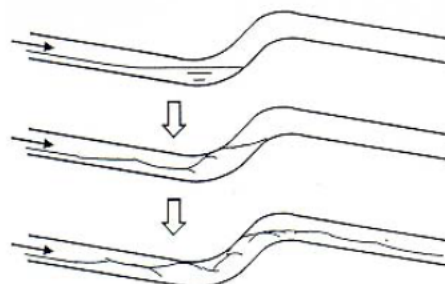


図2-2 真空管路内(リフト部)での流れ

## (2) 真空式管路システムを構成する主な施設

### 1) 真空弁ユニット

真空弁ユニットは、宅地や公共施設などから排出される汚水を一時貯留し、内部に取り付けた真空弁を開いて真空管路に排出する施設である。真空弁ユニット内には真空弁、コントローラ、吸込管、仕切弁などが設置されている。

真空弁ユニットには、樹脂製やコンクリート製のものがある（写真2-1参照）。樹脂製真空弁ユニットは主に宅地内に、コンクリート製真空弁ユニットは主に道路下に設置される。

真空弁ユニットの上流の管路は、自然流下管路か圧力管路となり、通常は真空管路になることはない。真空弁ユニットに流入する汚水量に応じ、適切な真空弁ユニットを選定する必要がある。



[樹脂製真空弁ユニット]

[コンクリート製真空弁ユニット]

写真2-1 真空弁ユニットの構造 (例)

真空弁ユニット内の真空弁の作動パターンの概要図を図2-3に示す。

真空弁は自動で開閉するが作動パターンを以下に示す。

- ①真空弁ユニットの汚水溜まりに汚水が溜まってくると水位検知管内の空気が圧縮され、一定量に達するとコントローラのスイッチが入り本体空気室に真空が流入し真空弁の弁体が開く。
- ②真空弁が開くと汚水を吸い込んだ後に空気を吸い込む。
- ③汚水溜まりの水位が下がると水位検知管内の圧力が下がり、コントローラのスイッチが切れる。本体空気室は空気が外部よりニードル弁で量を調整し流入できるようになっており、流入量を調整することで真空弁の開時間が調整できるようになっている。
- ④管路内は汚水と空気が混合（二相流）した状態で搬送されていく。汚水と空気が混合させることにより、汚水を効率的に搬送できる。

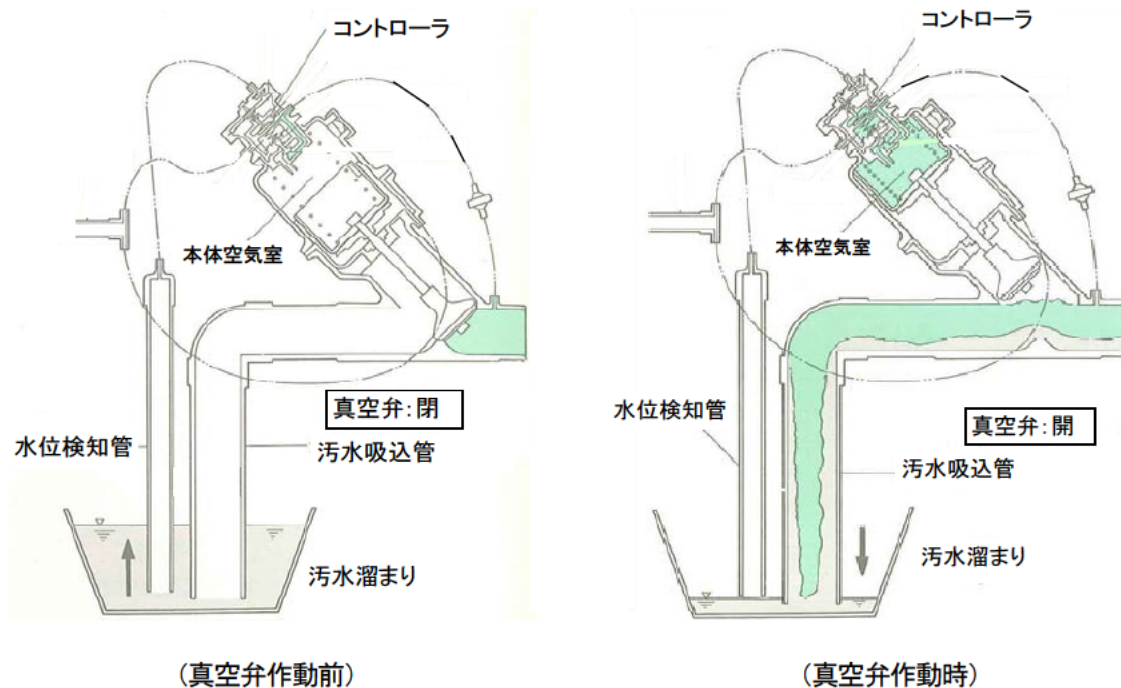


図2-3 真空弁ユニット（真空弁）作動パターン

## 2) 真空管路

真空管路は汚水を真空（真空と大気圧の差圧）により搬送する管路で、管路内部は負圧状態となっている施設である。

真空管路に使用される管・継手は、「特殊高密度ポリエチレン管」（写真2-2参照）を基本的に使用する。柔軟性と従来のポリエチレン管にない高い剛性とを併せ持つ。継手の接合は、電気融着方式のエレクトロフュージョン継手（図2-4参照）を使用し、管と継手が熔融し一体化することで、優れた可とう性、高い気密性と長期信頼性が得られる。

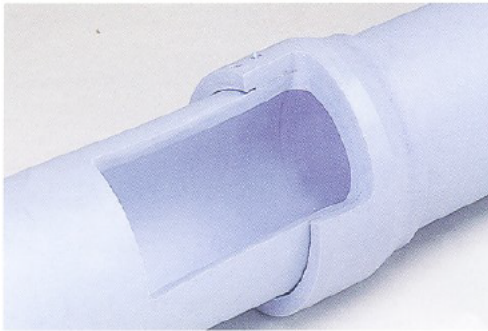
ポリエチレン管・継手で構築された管路は、50年以上の耐久性を有し、軟弱地盤における不等沈下、地震などによる地盤の変化に追従するため、管路に対する信頼性という意味に於いては抜群の性能を誇る。国内でもガス用配管には同様のポリエチレン管が普及しており、昨今の地震（阪神淡路・釧路沖地震・宮城県北部地震等の震災）（写真2-3参照）においても、ポリエチレン管のみライフラインの破損がなかった。また、海外に於いても上下水・ガス分野に於けるポリエチレンの普及は急速に進んでおり、現在は主流となっている。また、施工も簡単で、作業者により継手融着性能レベルに差が生じないこともメリットとなっている。国内に於いては、県道、国道下埋設の実績も多い。

真空式管路システムの真空管路は、一般に緩やかな下り勾配部分と立ち上がり部分リフトが交互に繰り返す「のこぎりの歯」のような縦断形状をしており、管路内は真空に保たれる。

汚水は真空と大気との差圧（空気の助け）により流送されるので、効率良く搬送するためには適量の空気を取り入れる必要がある。空気の体積（大気圧状態での体積）と汚水の体積の比率を気液比と呼び、空気の多さの程度を表す。真空式管路施設では、この気液比が、実質上、施設の適用範囲や経済性を決定する重要な要因となっている。



一般的には、気液比が小さすぎると汚水の流速が低下して、固形物の滞留などの恐れが生じ、逆に大きすぎると真空ポンプの動力費が高むこととなり非効率になる。

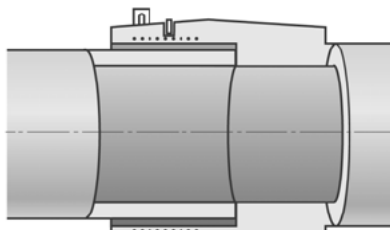


[ポリエチレン管接合部状況]

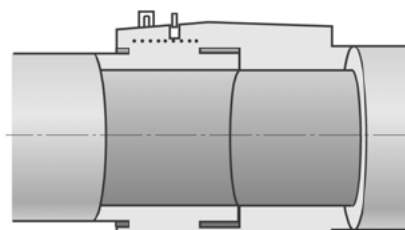


[ポリエチレン管EF接続状況]

写真2-2 ポリエチレン管



[接続前 (通電前)]



[接続後 (通電後)]

図2-4 EF (エレクトロフュージョン) 接合



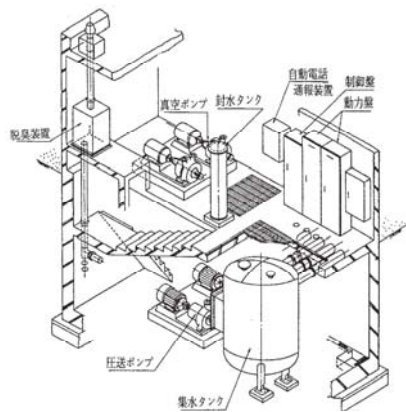
\* ポリエチレン管は被災なし

写真2-3 宮城県北部地震時の被災状況ポリエチレン管

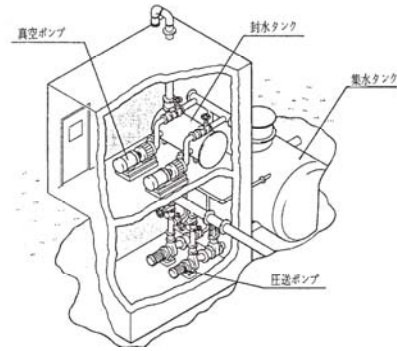
### 3) 真空ステーション

真空ステーションは真空を発生することによって多数の真空弁ユニットから汚水を真空ステーション内の集水タンクに集め、圧送ポンプで汚水処理施設などに送る施設である。

真空ステーションは主に真空ポンプ、圧送ポンプ、集水タンクなどで構成されている。真空ステーションの構成(例)を図2-5に示す。



(集水タンク建屋内設置)



(集水タンク建屋外設置)

図2-5 真空ステーションの構成 (例)

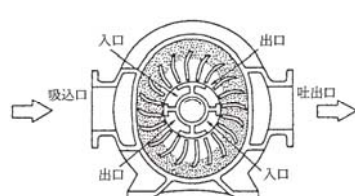
真空の発生手段には、一般的には真空ポンプを用いる。

真空ステーションの主な構成要素は以下のとおりである。

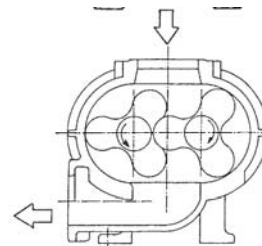
① 真空ポンプ

真空ポンプは、一般に2～3台設置し、うち1台を予備機とする。2台設置する場合は各々のポンプが必要容量をもち交互運転を行う。3台設置する場合は各々のポンプが必要容量の1/2の容量をもち、1台または2台が自動交互運転を行う。

真空ポンプの必要容量は、集水タンク内の真空度が高い状態で、設計対象汚水量の数倍の空気量を吸引する能力をもつように決定する。主な真空ポンプの構造 (例) を図2-6に示す。



(水封式)



(ルーツ式)

図2-6 真空ポンプの構造 (例)

② 圧送ポンプ

圧送ポンプは、一般に2台設置し、うち1台を予備機とする。各々のポンプが必要容量をもち交互運転を行う。圧送ポンプの必要容量は、集水タンク内の真空度が最も高く、かつ実揚程が最も高い状態で、設計対象汚水量を排出する能力をもつように決定する。

③ 集水タンク

集水タンクは、真空度を保持し、真空管路から流入する汚水を一旦貯留する施設である。

真空ステーションを構成するその他の施設としては、真空ステーションの運転を制御する制御盤、真

空ポンプなどの排気の臭いを取り除く脱臭装置などがある。

また、近年では、真空ステーションとして、上記以外にマンホール内に設置可能な小型真空（CP）ステーション（**図2-7**，**写真2-4**参照）も開発されておりコストが比較的安価なことから採用事例が増えてきている。



**図2-7 小型真空（CP）ステーション概要図**



**写真2-4 小型真空（CP）ステーション**

### 3. 研究目的

下水の搬送に既に実用化されている真空式管路搬送システムによる家畜ふん尿搬送実験を行い、当システムによる家畜ふん尿搬送の適性を検証する。

### 4. 研究方法及び研究結果

#### （1）研究の主な内容

寒地土木研究所が所有する別海資源循環試験施設内に真空式管路搬送システムを利用した試験管路を組み、施設に搬入される家畜ふん尿を実験試料として、家畜ふん尿の搬送試験を行い、管路の高低差、口径や家畜ふん尿の粘度、温度等の変化に伴う圧力損失のデータ収集を行い、（寒地土木研究所が検証したポンプ圧送方式による家畜ふん尿の管路搬送データおよびスラリータンカー方式による搬送データと比較検証することにより、）当システムによる家畜ふん尿搬送の適性を検証する。

なお、真空式管路システムをバイオマス分野で使用する場合はふん尿にできるだけ水を加えない方が良く、肥培かんがい分野で使用する場合はふん尿の約3倍の水で薄めて使用することを考慮し、ふん尿搬送には厳しい条件となるふん尿単体で実験することとした。

#### 4-1. 別海資源循環試験施設内の試験管路（実証プラント）による実験

##### (1) 実験内容

###### 1) 実験の目的

本実験により、実際のふん尿を用い家畜のふん尿の搬送性、真空ステーション、吸い込み設備等の有効性を確認することでシステムの実用化に耐え得る技術であることを確認する。また、ふん尿の搬送では、厳しい条件とされている冬季で硬いふん尿（粘度の高い牛舎のふん尿）を使用し、システムの有効性の確認や課題等を抽出・改善を行う。

###### 2) 実験場所

別海資源循環試験施設（北海道野付郡別海町中西別108番地）

###### 3) 実験実施日

夏 季	冬 季
平成20年7月 7日（月）～11日（金） 平成20年9月24日（水）～27日（土）	平成20年3月11日（火）～13日（木）* 平成21年2月17日（火）～19日（木）

注）\*の期間はバキュームカーによりふん尿を収集、その他の期間は真空ステーションにより収集

###### 4) 確認事項

###### ①主な確認項目

- (a) 真空弁及び吸い込み設備での吸引能力の確認
- (b) 実際のふん尿における真空管路の搬送性（水理特性）の把握と確認
- (c) 真空ステーションの適用性の確認
- (d) 緊急時を想定したバキュームカーの適用性の確認

###### ②確認要領

- (a) 真空ステーション（CP200）またはバキュームカーが接続できる管路施設及びFRP製真空弁ユニットを利用した設備を作製する。  
**（図4-1-1、図4-1-2、写真4-1-1、写真4-1-2参照）。**  
また、真空ステーションの作動パターンを**図4-1-3、図4-1-4**に示す。
- (b) 前記の設備を利用して、実際のふん尿の吸引試験を実施し、配管各所の真空圧のデータ測定、真空ステーション、吸い込み設備の搬送性の確認及び課題の抽出、改善を行う。

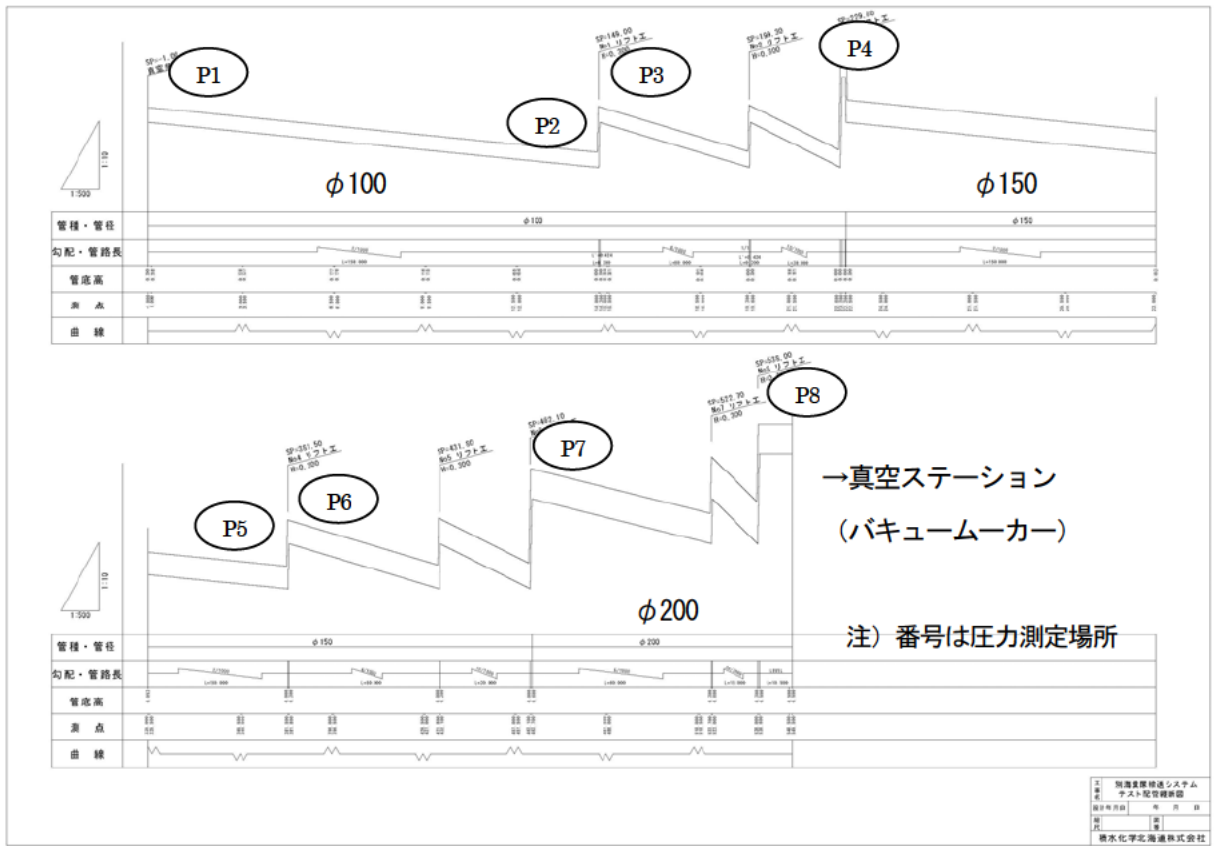


図4-1-1 別海実験設備概要図 (縦断配管図)

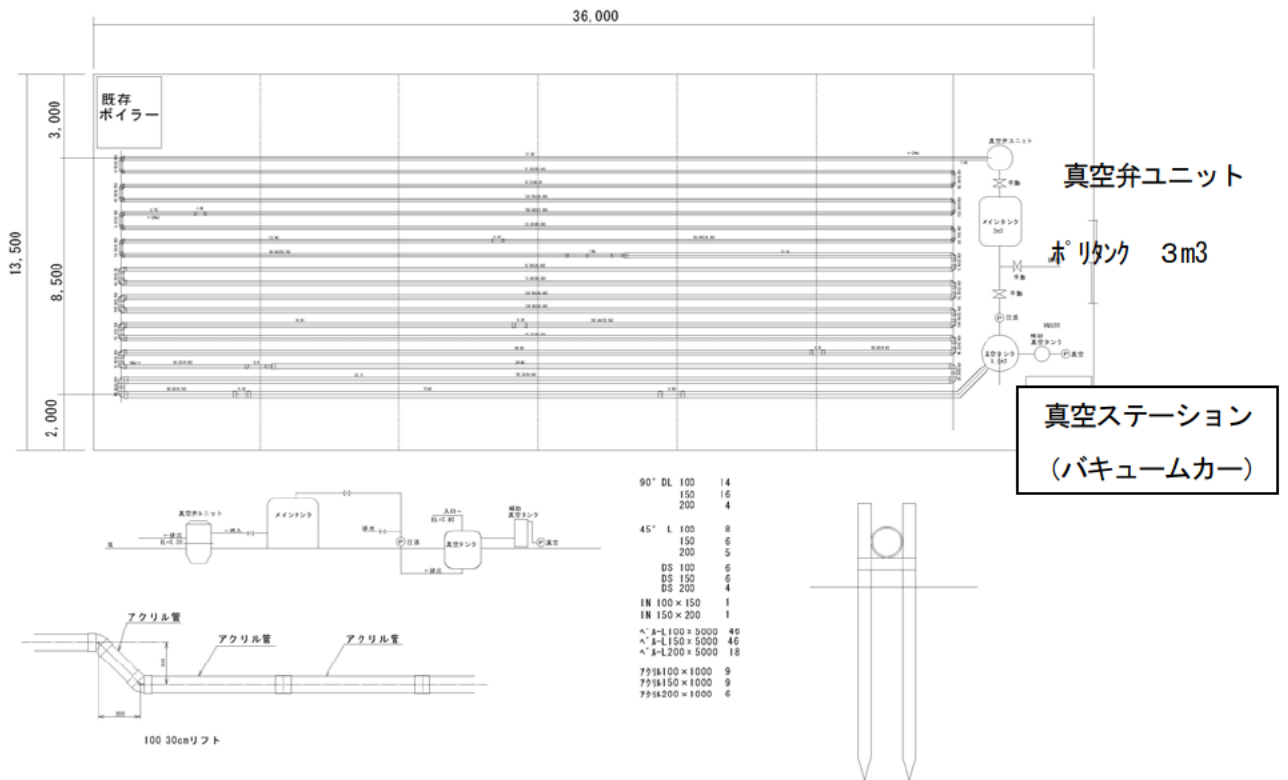


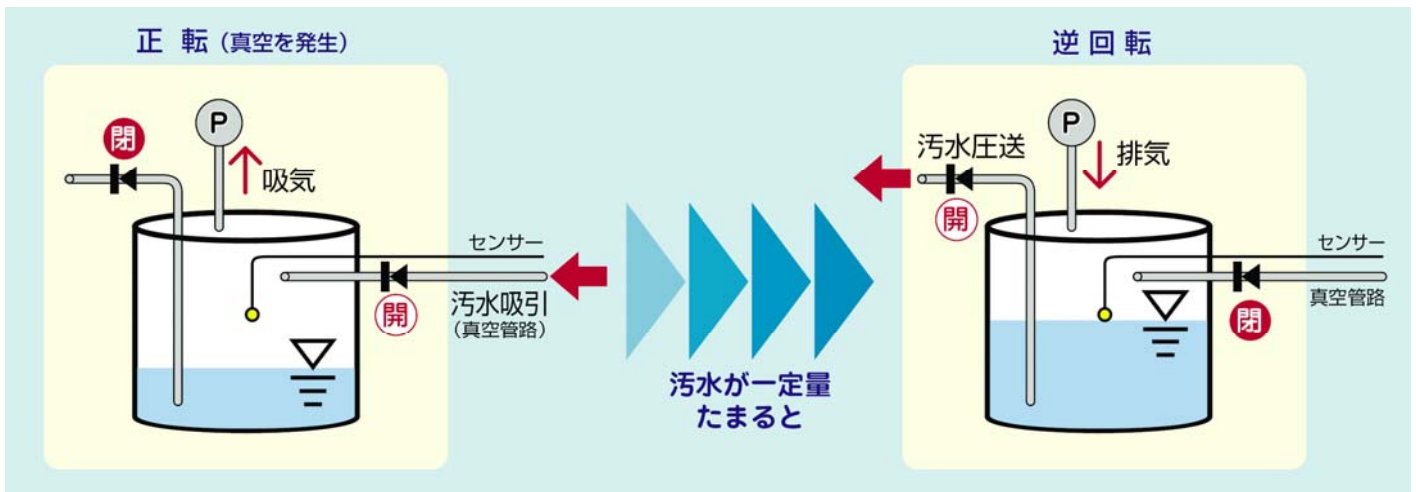
図4-1-2 別海実験設備概要図 (平面配管図)



写真4-1-1 試験管路（実証プラント）の設置状況



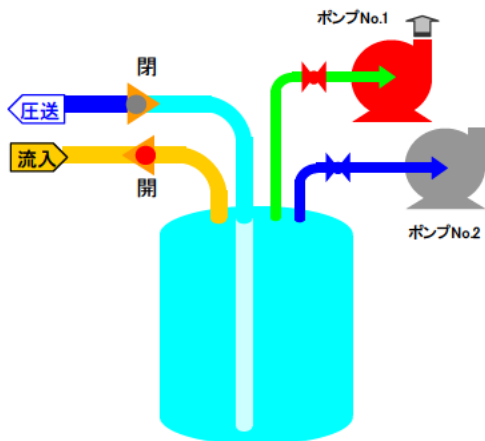
写真4-1-2 小型真空ステーション（CP200）の設置状況



真空ポンプと圧送ポンプを兼ねたポンプとなっており、正転することで真空を発生し、逆回転させることで正圧（空気圧）を発生する。

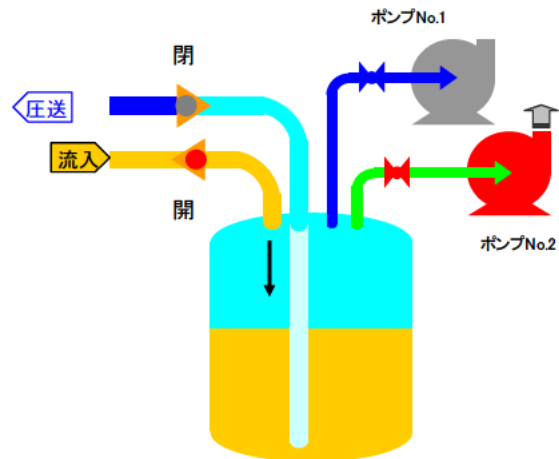
図4-1-3 真空ステーションのパターン

①タンク内が真空となり、ふん尿が流入



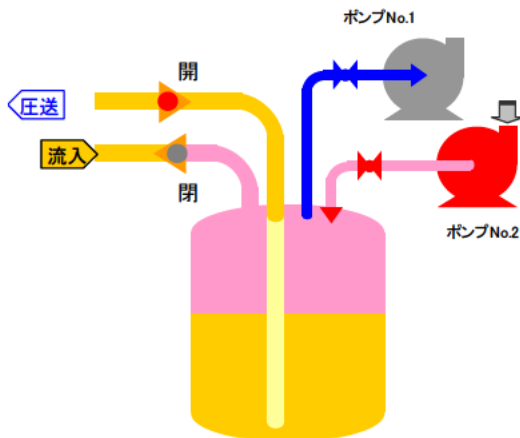
{機器の状態}  
 ポンプ No. 1 正転 (真空発生)  
 ポンプ No. 2 停止  
 圧送管路の弁：閉  
 真空管路の弁：開

②真空でふん尿をタンク内に連続吸引 (貯留状態)



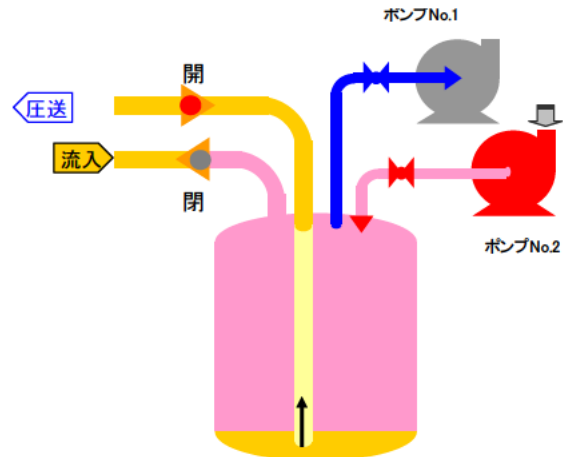
{機器の状態}  
 ポンプ No. 1 停止  
 ポンプ No. 2 正転 (真空発生)  
 圧送管路の弁：閉  
 真空管路の弁：開

③ポンプが反転しタンク内は正圧になる



{機器の状態}  
 ポンプ No. 1 停止  
 ポンプ No. 2 反転 (空気圧発生)  
 圧送管路の弁：開  
 真空管路の弁：閉

④空気圧でタンク内のふん尿が圧送される



{機器の状態}  
 ポンプ No. 1 停止  
 ポンプ No. 2 反転 (空気圧発生)  
 圧送管路の弁：開  
 真空管路の弁：閉

凡例：  真空状態  ふん尿  空気圧 (正圧)

図4-1-4 真空ステーション (CP200) の作動状況



5) 実験条件

①実験設備

実験設備を構成する主な材料を**表4-1-1**に示す。

**表4-1-1 実験設備を構成する主な材料**

	主な設備 (材料)	仕様等
1	真空弁ユニット (吸い込み設備)	FRP製真空弁ユニット1弁 (φ75mm真空弁使用) (手動バルブ付のふん尿の吸込管および手動バルブ付の空気吸込管が設置された装置)
2	真空ステーション	CP200 (タンク容量1.5m <sup>3</sup> ) 3.7kW
3	圧送設備	CP200の空気圧送設備 または φ50mmのグラインダーポンプ 新明和工業製
4	バキュームカー	-70kPa タンク容量7m <sup>3</sup>
5	貯留タンク	ポリタンク 3m <sup>3</sup>
6	主な配管部材 塩ビ管φ100~250 ポリエチレン管φ100 フランジ、バルブ 等	本管は100~200mm 部分的に透明管の亚克力管を使用
7	ふん尿	別海の牛舎より入手
8	測定機器	データロガー、圧力センサー

②実験条件

主な実験の条件を**表4-1-2**に示す。

**表4-2-2 主な実験条件**

	項目	条件	備考
1	試験真空圧 (元の真空圧)	-60~-70kPa	小型真空ステーションまたは、バキュームカーより調達
2	真空弁サイズ	φ75	FRP製真空弁ユニット1弁
3	真空管路	φ100~200	管路延長：約546m φ100、150：各230m φ200：約86m リフト高：30~60cm リフトトータル高：330cm

### ③実験ケース

#### (a) バキュームカーを利用した場合

バキュームカー使用時の実験ケースを**表4-1-3**に示す。

**表4-1-3 バキュームカー使用時の実験ケース**

時期	ケース	ふん尿量	気液比	ふん尿硬さ	備考
冬季	1	120L/分	約3:1	水	水を真空弁にて吸い込み
	2	120L/分	約3:1	中(Ts=6.9)	実際のふん尿を真空弁で吸い込み
	3	120L/分	約5:1	〃	〃

注) ふん尿の硬さの指標として、固形分(Ts)測定の結果の平均値を記載している。

#### (b) 真空ステーション(CP200)を利用した場合

真空ステーション(CP200)使用時の実験ケースを**表4-1-4**に示す。

**表4-1-4 真空ステーション(CP200)使用時の実験ケース**

時期	ケース	ふん尿量	気液比	ふん尿硬さ	備考
夏季	1*	120L/分	3:1	軟(Ts=4.4)	1回目収集のふん尿
	2*	120L/分	5:1	中(Ts=5.9)	2回目収集のふん尿が主体
	3	60L/分	7:1	〃	〃
	4	60L/分	0:1	硬(Ts=8.2)	最終収集のふん尿 Ts=7.5~8.7 平均8.2
	5	60L/分	3:1	〃	〃
	6	60L/分	7:1	〃	〃
	7*	60L/分	10:1	〃	〃
冬季	8*	60L/分	10:1	硬(Ts=8.0)	最終収集のふん尿 Ts=7.7~8.3 平均8.0

注1) ふん尿の収集は1日3回実施しており、遅い収集ほどふん尿は硬くなっている。硬いふん尿は収集対象で一番硬いとされている最終収集のふん尿を用いている。

注2) ふん尿の硬さの内、硬いふん尿はTs測定の結果の平均値を記載している。

注3)\*は、ふん尿を管路内に吸い込んだ後、管路内に滞留させ、翌日(約15時間後)に再度吸い込みを実施した実験ケースである。

### ③実験方法

(a) 貯留タンクに所定の粘度の牛ふん尿(約3m<sup>3</sup>)を投入する。

(b) 貯留タンクより真空弁ユニット(写真4-1-3)にふん尿を流入させ、真空管路に吸い込ませる。この時、貯留タンクから真空弁ユニットへの流入は自然流下で行い、流入量はバルブで調整

する。なお、貯留タンクより吸い込み設備（写真4-1-4）によってふん尿を吸い込む場合は、バルブの開度を調整し、ふん尿の吸い込み速さと同時に吸い込む空気のを速さを実験条件に合うように調整する（図4-1-5）。

(c) 吸い込み状況の確認を目視等（ビデオ撮影を含む）で行う。ふん尿の吸い込み速さ等の条件はほぼ定常状態を保つよう調整し、管路の真空圧を圧力センサー（写真4-1-5）で連続的に測定する。

(d) 真空管路に吸い込んだふん尿は、リフト（逆勾配部）（写真4-1-6）を越え真空ステーションまで搬送された後、圧送設備にて貯留タンクまで圧送され、連続的に実験を行う。

\*表4-1-4の実験ケースにおいては、ふん尿を管路内に滞留（約15時間）させた後、再度吸い込み確認を実施する。

(e) 圧送設備で循環させながら（b）～（d）の作業を行い、必要に応じて貯留タンクにふん尿を補充する。この時、真空ステーション、真空弁ユニットなどの設備が問題なく稼働しているかどうかを確認しておく。

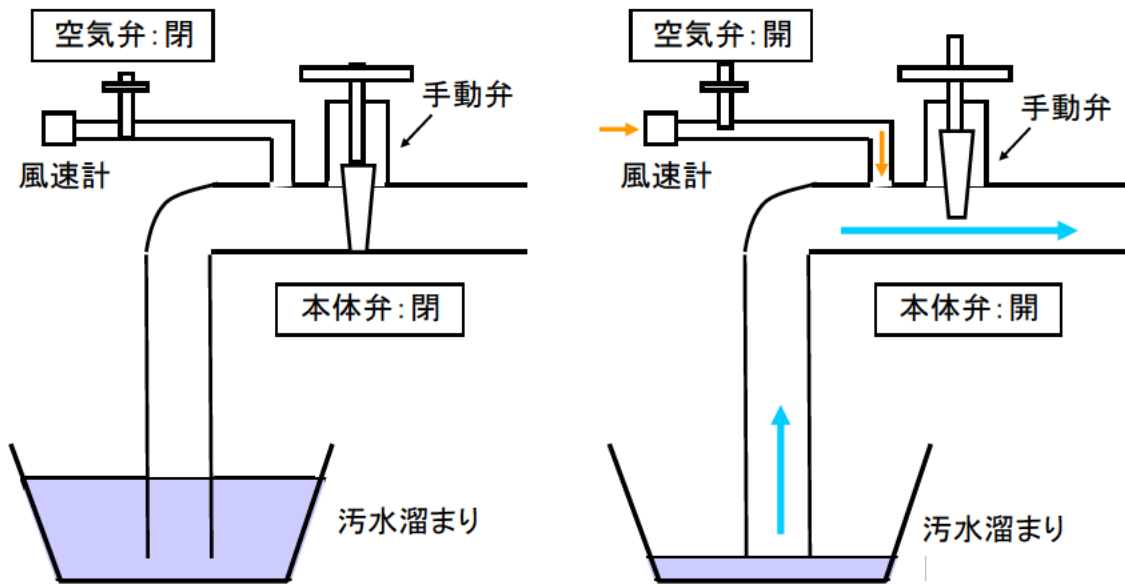
\*真空ステーションの代わりにバキュームカー（写真4-1-7）で実験を行う場合は、バキュームカーでふん尿を吸い込む方法で実験を実施した。



写真4-1-3 真空弁ユニット（真空弁）によるふん尿吸い込み状況



写真4-1-4 吸い込み設備によるふん尿吸い込み状況



\* 空気弁の開度と風速計にて空気量を調整

弁開前 (弁閉時)

弁開時

図4-1-5 吸い込み設備によるふん尿吸い込みパターン



写真4-1-5 圧力センサー



写真4-1-6 リフトでのふん尿の流送状況



写真4-1-7 バキュームカー設置状況

6) 測定項目等

- ①実験に使用したふん尿のサンプル採取し、T<sub>s</sub>を測定する。
- ②ふん尿が真空式管路システムで連続的に吸引され、搬送されることを確認する。(目視およびビデオ撮影等)
- ③ふん尿を吸い込ませた時の真空管路8箇所真空圧を測定する(真空圧の測定位置は、**図4-1-1**参照)。

(2) 実験結果

1) ふん尿のT<sub>s</sub>の測定結果

実験に使用した牛ふん尿のサンプルを採取し寒地土木研究所でT<sub>s</sub>を測定した結果を**表4-1-5**～**表4-1-9**に示す。

**表4-1-5 ふん尿(中ぐらい) [バキュームカー使用時] のT<sub>s</sub>の測定結果**

試料名	ルツボ番号	ルツボ重量 (g)	全湿重 (g)	105℃乾重 (g)	550℃乾重 (g)	湿物重 (g)	乾物重 (g)	灼残重 (g)	固形分 (%)	灰分 (%)	有機分 (%)	平均値	
												T <sub>s</sub> (%)	V <sub>s</sub> (%)
3/13 水谷氏 原料スラリー①	41	21.5749	53.7893	23.6396	21.9374	32.2144	2.0647	0.3625	6.4	1.1	5.3	6.8	5.6
	46	22.3998	51.7355	24.5474	22.7766	29.3357	2.1476	0.3768	7.3	1.3	6.0		
	53	21.6261	49.3093	23.5037	21.9574	27.6832	1.8776	0.3313	6.8	1.2	5.6		
3/13 水谷氏 原料スラリー②	65	22.9172	51.1653	24.8839	23.2574	28.2481	1.9667	0.3402	7.0	1.2	5.8	7.0	5.8
	114	22.2760	52.5127	24.4071	22.6452	30.2367	2.1311	0.3692	7.0	1.2	5.8		
	124	23.1709	51.0478	25.0923	23.5030	27.8769	1.9214	0.3321	6.9	1.2	5.7		

注) 表中のデータは寒地土木研究所の測定値

**表4-1-6 ふん尿(軟らかい) [夏季] のT<sub>s</sub>の測定結果**

試料名	ルツボ番号	ルツボ重量 (g)	全湿重 (g)	105℃乾重 (g)	湿物重 (g)	乾物重 (g)	固形分 (%)	平均値	
								T <sub>s</sub> (%)	V <sub>s</sub> (%)
林氏	90	19.7094	42.7328	20.7366	23.0234	1.0272	4.5	4.4	
	99	19.4225	41.3057	20.3615	21.8832	0.9390	4.3		
	372	21.4452	41.4791	22.3486	20.0339	0.9034	4.5		

注) 表中のデータは寒地土木研究所の測定値

**表4-1-7 ふん尿(中ぐらい) [夏季] のT<sub>s</sub>の測定結果**

試料名	ルツボ番号	ルツボ重量 (g)	全湿重 (g)	105℃乾重 (g)	湿物重 (g)	乾物重 (g)	固形分 (%)	平均値	
								T <sub>s</sub> (%)	V <sub>s</sub> (%)
丹羽氏	35	20.0083	38.9727	21.1239	18.9644	1.1156	5.9	5.9	
	59	23.6633	43.4912	24.8088	19.8279	1.1455	5.8		
	351	21.2543	41.8325	22.5026	20.5782	1.2483	6.1		

注) 表中のデータは寒地土木研究所の測定値

表4-1-8 ふん尿（硬い）[夏季]のTsの測定結果

試料名	ルツボ番号	ルツボ重量 (g)	全湿重 (g)	105°C乾重 (g)	550°C乾重 (g)	湿物重 (g)	乾物重 (g)	灼残重 (g)	固形分 (%)	灰分 (%)	有機分 (%)	平均値	
												Ts (%)	Vs (%)
No.1	35	20.0100	32.3940	20.9940	20.1920	12.3840	0.9840	0.1820	7.9	1.5	6.4	7.5	6.0
	4	20.0100	31.5340	20.8250	20.1710	11.5240	0.8150	0.1610	7.1	1.4	5.7		
	73	20.5030	33.2100	21.4440	20.6800	12.7070	0.9410	0.1770	7.4	1.4	6.0		
No.2	5	29.9280	46.6470	31.3710	30.1890	16.7190	1.4430	0.2610	8.6	1.6	7.0	8.7	7.1
	40	29.7730	44.5480	31.0630	30.0050	14.7750	1.2900	0.2320	8.7	1.6	7.1		
	123	23.8050	44.9650	25.6790	24.1390	21.1600	1.8740	0.3340	8.9	1.6	7.3		
No.3	10	18.6320	41.2490	20.5060	18.9780	22.6170	1.8740	0.3460	8.3	1.5	6.8	8.3	6.8
	39	29.3470	46.6320	30.7850	29.6130	17.2850	1.4380	0.2660	8.3	1.5	6.8		
	6	19.5600	38.7290	21.1580	19.8550	19.1690	1.5980	0.2950	8.3	1.5	6.8		

注) 表中のデータは寒地土木研究所の測定値

表4-1-9 ふん尿（硬い）[冬季]のTsの測定結果

試料名	ルツボ番号	ルツボ重量 (g)	全湿重 (g)	105°C乾重 (g)	湿物重 (g)	乾物重 (g)	固形分 (%)	平均値	
								Ts (%)	Vs (%)
No.1	69	29.8485	45.7828	31.1794	15.9343	1.3309	8.4	8.3	
	23	25.9197	41.6266	27.2082	15.7069	1.2885	8.2		
	205	21.6960	36.8323	22.9578	15.1363	1.2618	8.3		
No.2	29	28.2852	43.7033	29.4296	15.4181	1.1444	7.4	7.7	
	66	29.7353	48.2809	31.1710	18.5456	1.4357	7.7		
	12	19.1406	35.5804	20.4383	16.4398	1.2977	7.9		

注) 表中のデータは寒地土木研究所の測定値

2) ふん尿の搬送性の確認結果

①バキュームカーを利用した場合

バキュームカー使用時のふん尿の搬送性の実験結果を表4-1-10に示す。

表4-1-10 バキュームカー使用時のふん尿の搬送性（真空弁）

時期	ケース	ふん尿量	気液比	ふん尿硬さ	搬送性の実験結果
冬季	1	120L/分	約3:1	水	◎ 問題なく搬送
	2	120L/分	約3:1	中ぐらい	○ 搬送可能であるが連続で吸い込むと吸い込み力がやや落ちる。
	3	120L/分	約5:1	〃	◎ 問題なく搬送

注) ふん尿の吸い込みは真空弁で実施

②真空ステーション（CP200）を利用した場合

真空ステーション（CP200）使用時のふん尿の搬送性の実験結果を表4-1-11に示す。

表4-1-11 真空ステーション（CP200）使用時のふん尿の搬送性（吸い込み設備）

時期	ケース	ふん尿量	気液比	ふん尿硬さ	搬送性の実験結果
夏季	1*	120L/分	3 : 1	軟(Ts=4.4)	◎ 問題なく搬送 15時間滞留後でも問題なし
	2*	60L/分	5 : 1	中(Ts=5.9)	◎ 問題なく搬送 15時間滞留後でも問題なし
	3	60L/分	7 : 1	〃	◎ 問題なく搬送(ケース2より動的損失が少ない)
	4	60L/分	0 : 1	硬(Ts=8.2)	× 約30m吸わせた時点で吸い込み不可
	5	60L/分	3 : 1	〃	○ 搬送は可能であるが動的損失が大きい
	6	60L/分	7 : 1	〃	◎ 問題なく搬送
	7*	60L/分	10 : 1	〃	◎ 問題なく搬送 15時間滞留後でも問題なし
冬季	8*	60L/分	10 : 1	硬(Ts=8.0)	◎ 問題なく搬送 15時間滞留後でも問題なし

注1) ふん尿の吸い込みは吸い込み設備で実施

注2) ふん尿の収集は1日3回実施しており、1回目が軟、2回目が中、3回目が硬としている。

注3) ふん尿の硬さは、Ts測定の結果の平均値を記載している。

注4)\*は、ふん尿を管路内に吸い込んだ後、管路内に滞留させ、翌日(約15時間後)に再度吸い込みを実施したが全く問題なかった実験ケース

3) 真空圧の測定結果（水理特性の把握）

試験管路の縦断の概要と真空圧の測定位置を図4-1-6に示す（図4-1-1参照）。

バキュームカーを利用した時の真空圧測定結果を図4-1-7～図4-1-9に示す。

真空ステーションを利用した時の真空圧測定結果を図4-1-10～図4-1-17に示す。なお、真空圧は0.5秒毎に測定した。

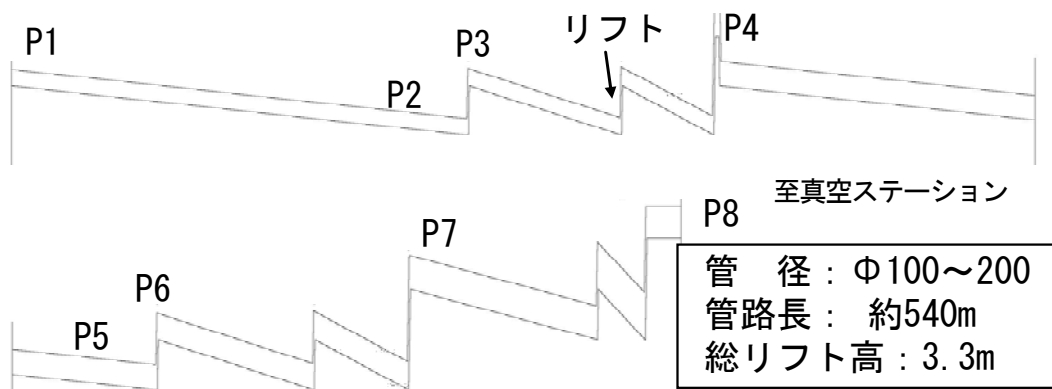


図4-1-6 試験管路の縦断の概要と真空圧の測定位置



①水を真空弁で吸い込んだ場合（バキュームカー使用時）

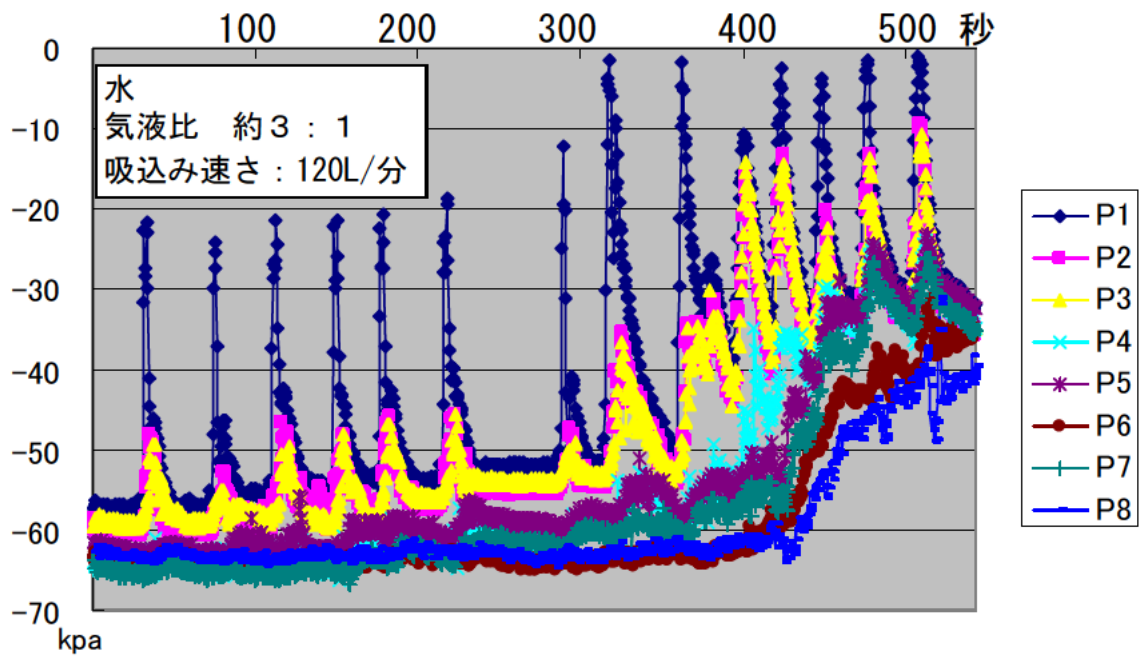


図 4-1-7 真空圧測定結果（水を真空弁吸い込み [冬季]（バキュームカー使用時））

②ふん尿を真空弁で吸い込んだ場合（バキュームカー使用時）

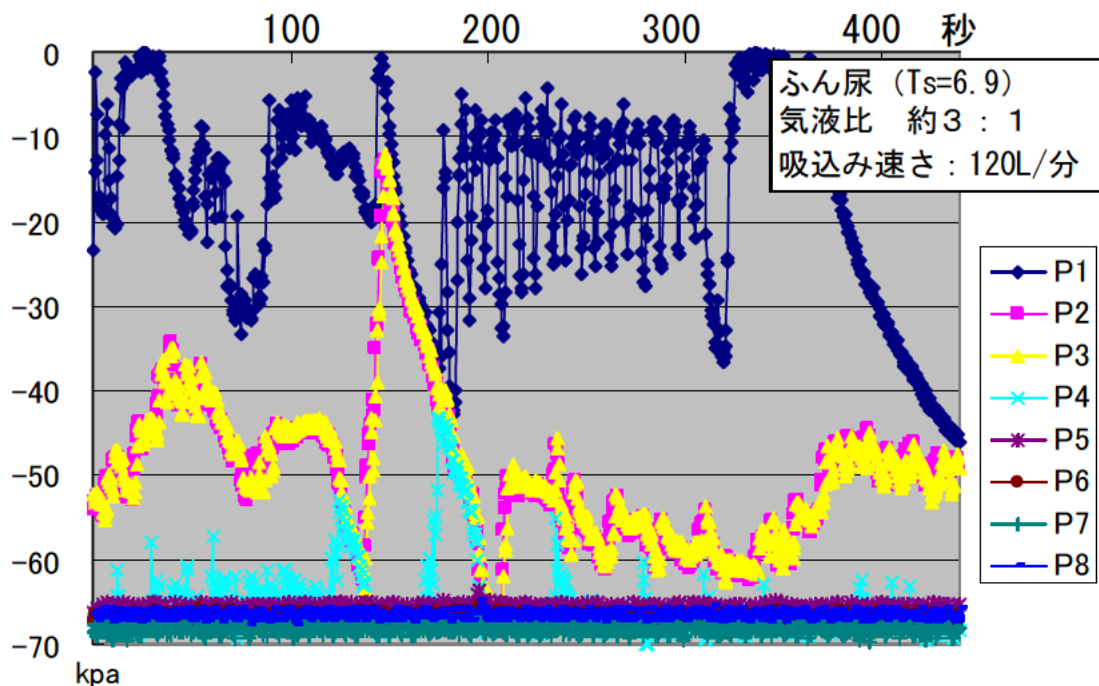


図 4-1-8 真空圧測定結果（真空弁で吸い込み [冬季]（バキュームカー使用時））

③ふん尿を真空弁で空気量多めで吸い込んだ場合（バキュームカー使用時）

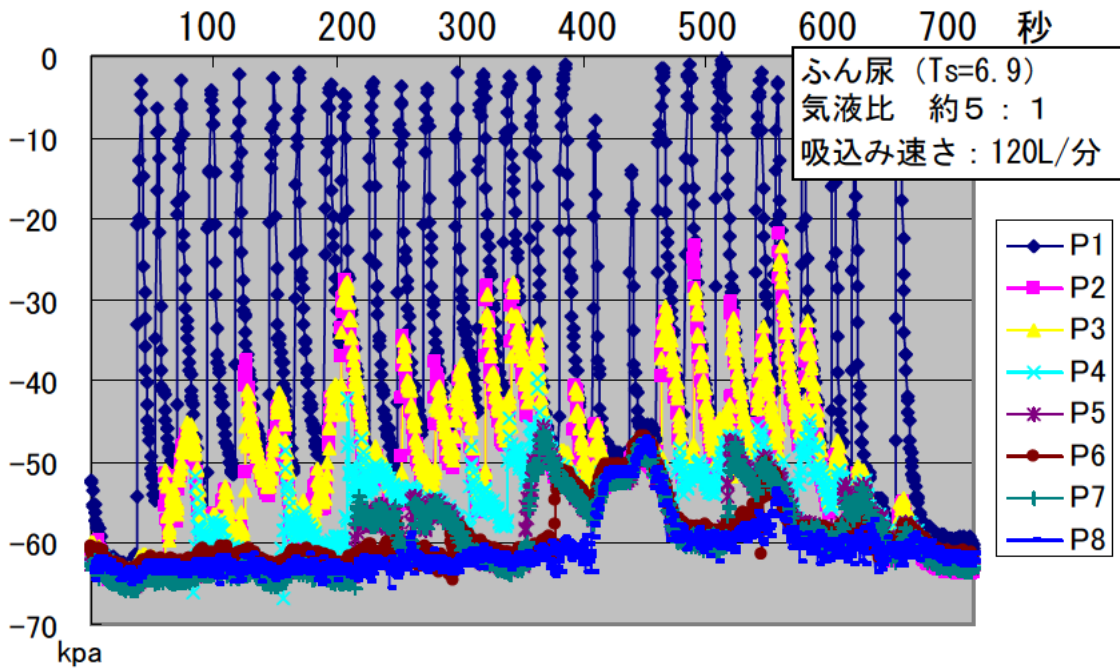


図4-1-9 真空圧測定結果（真空弁で空気量多めで吸い込み [冬季]（バキュームカー使用時））

④軟らかいふん尿 [120L/分]（CP200使用時）

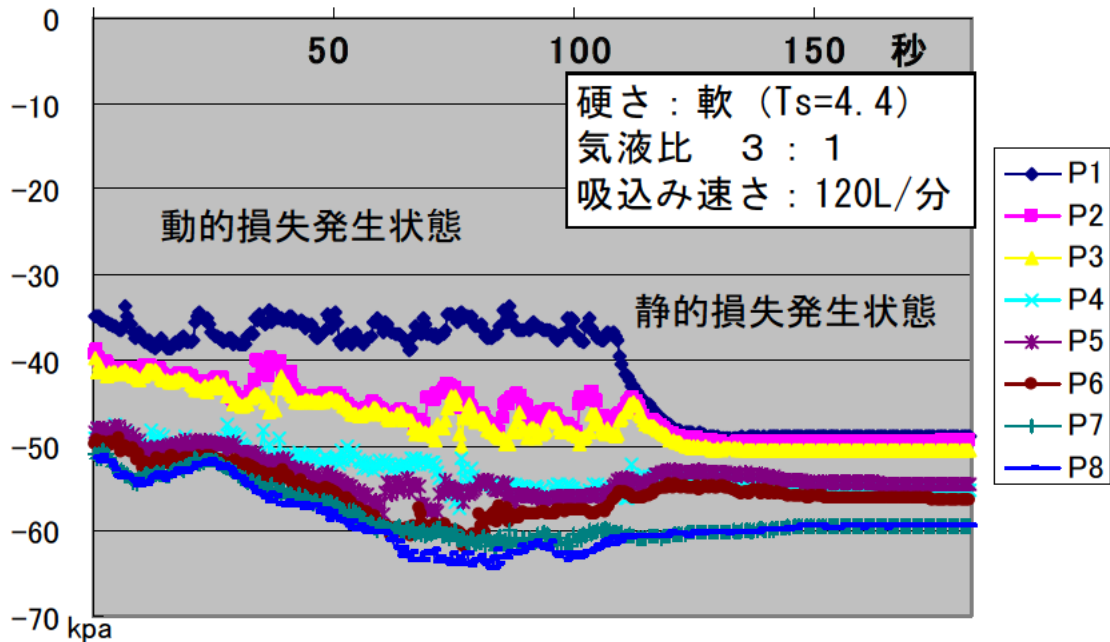


図4-1-10 真空圧測定結果（軟らかいふん尿 [120L/分] [夏季]（CP200使用時））

⑤中くらいの硬さのふん尿 [気液比5 : 1] (CP200使用時)

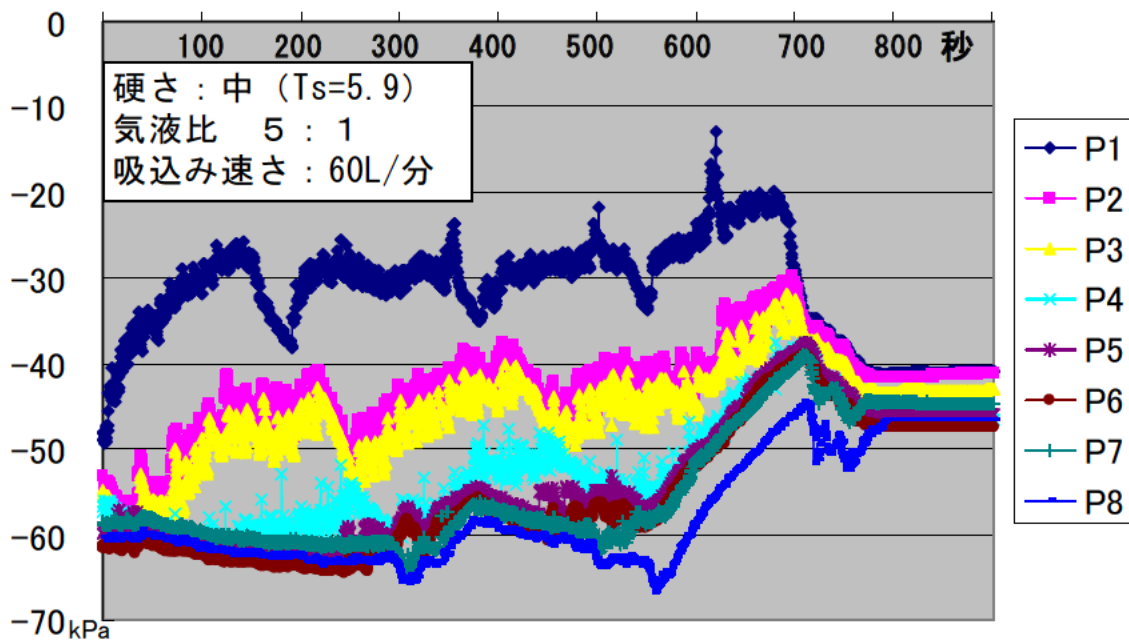


図4-1-11 真空圧測定結果 (中くらいの硬さのふん尿 [気液比5 : 1] [夏季] (CP200使用時))

⑥中くらいの硬さのふん尿 [気液比7 : 1] (CP200使用時)

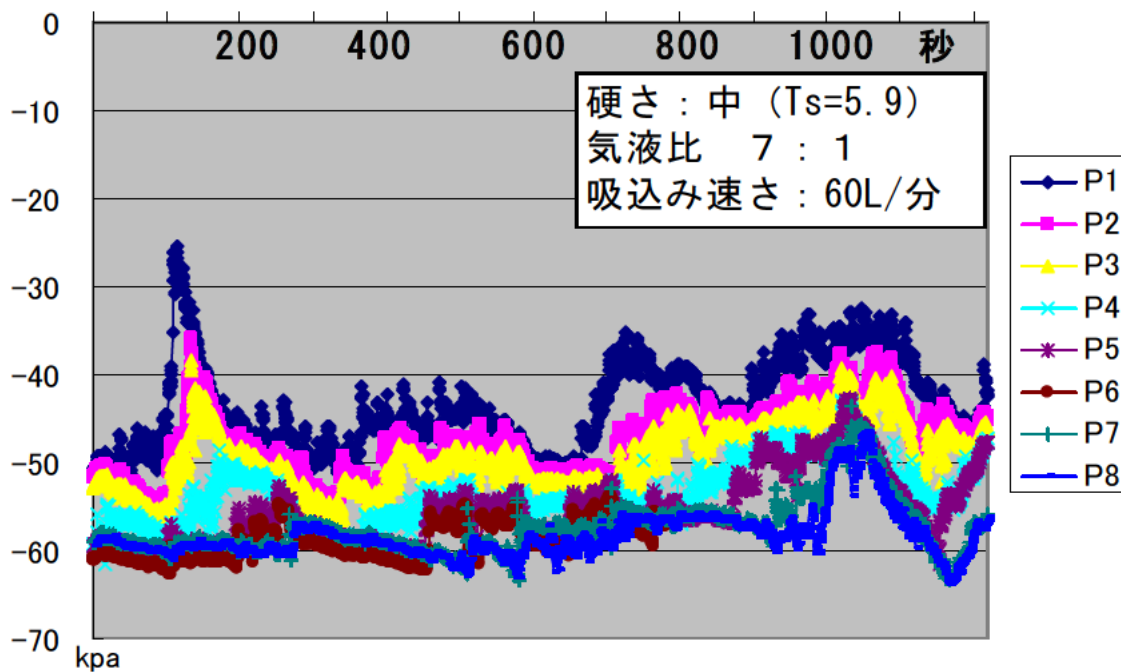


図4-1-12 真空圧測定結果 (中くらいの硬さのふん尿 [7 : 1] [夏季] (CP200使用時))

⑦硬いふん尿 [気液比0 : 1] (CP200使用時)

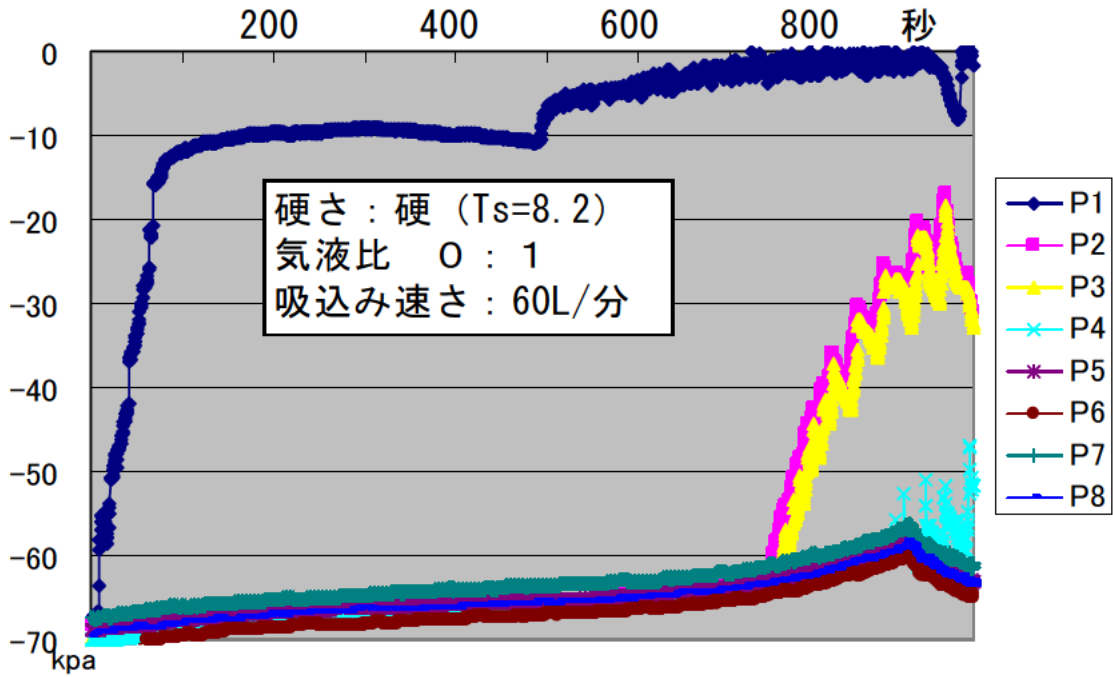


図4-1-13 真空圧測定結果 (硬いふん尿 [気液比0 : 1] [夏季] (CP200使用時))

⑧硬いふん尿 [気液比3 : 1] (CP200使用時)

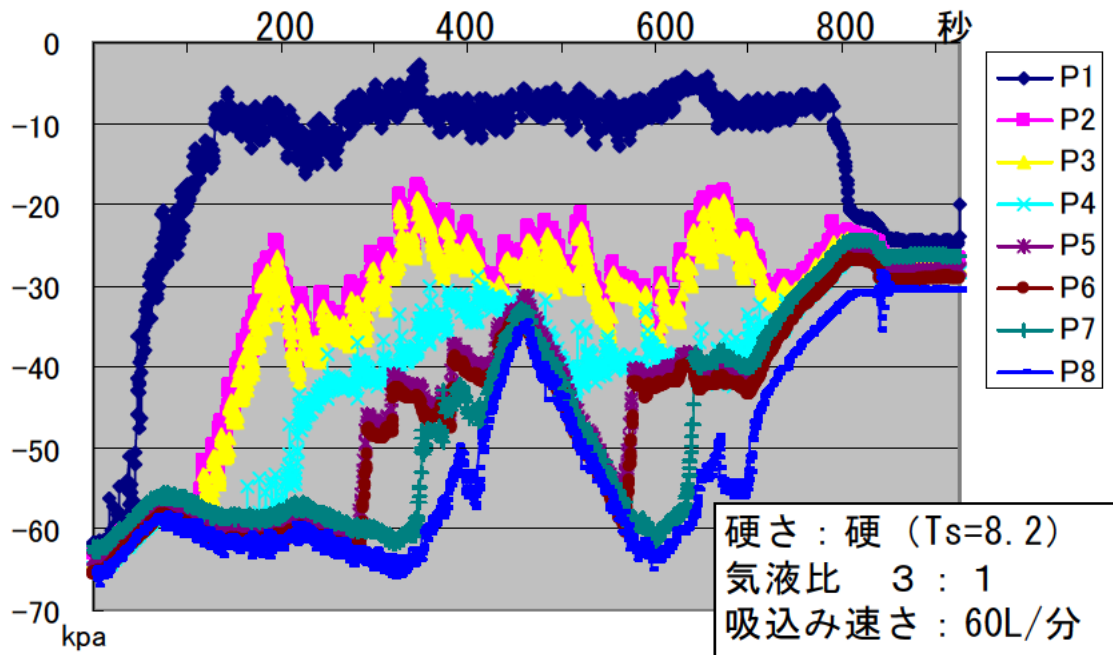


図4-1-14 真空圧測定結果 (硬いふん尿 [気液比3 : 1] [夏季] (CP200使用時))

⑨硬いふん尿 [気液比 7 : 1] (CP 200 使用時)

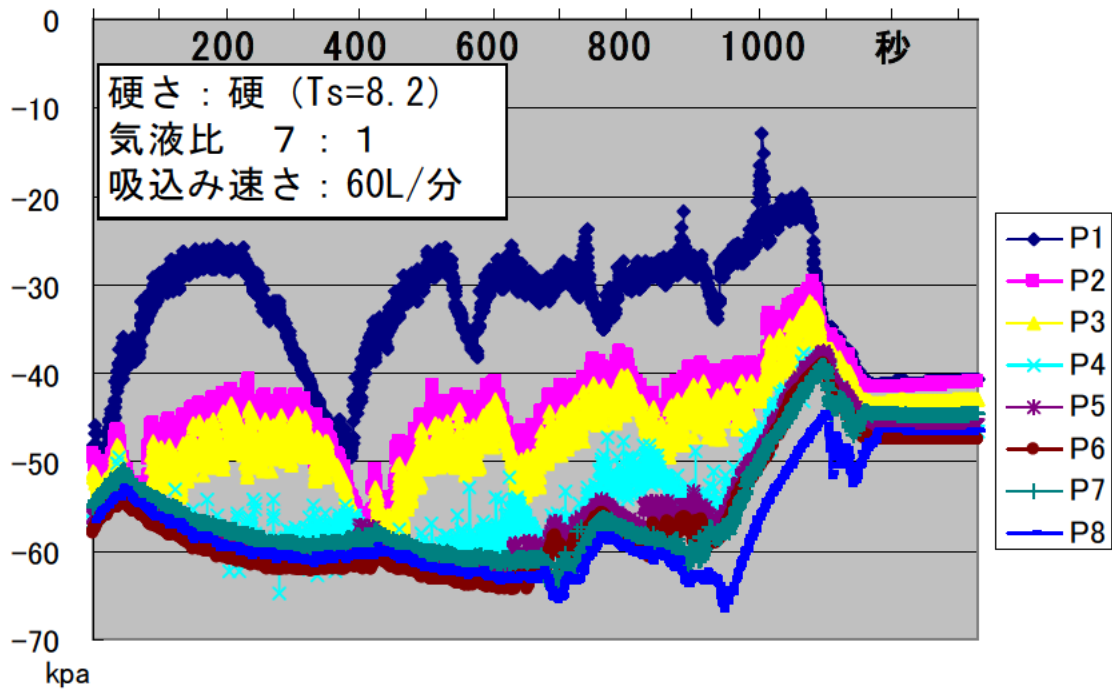


図4-1-15 真空圧測定結果 (硬いふん尿 [気液比 7 : 1] [夏季] (CP 200 使用時))

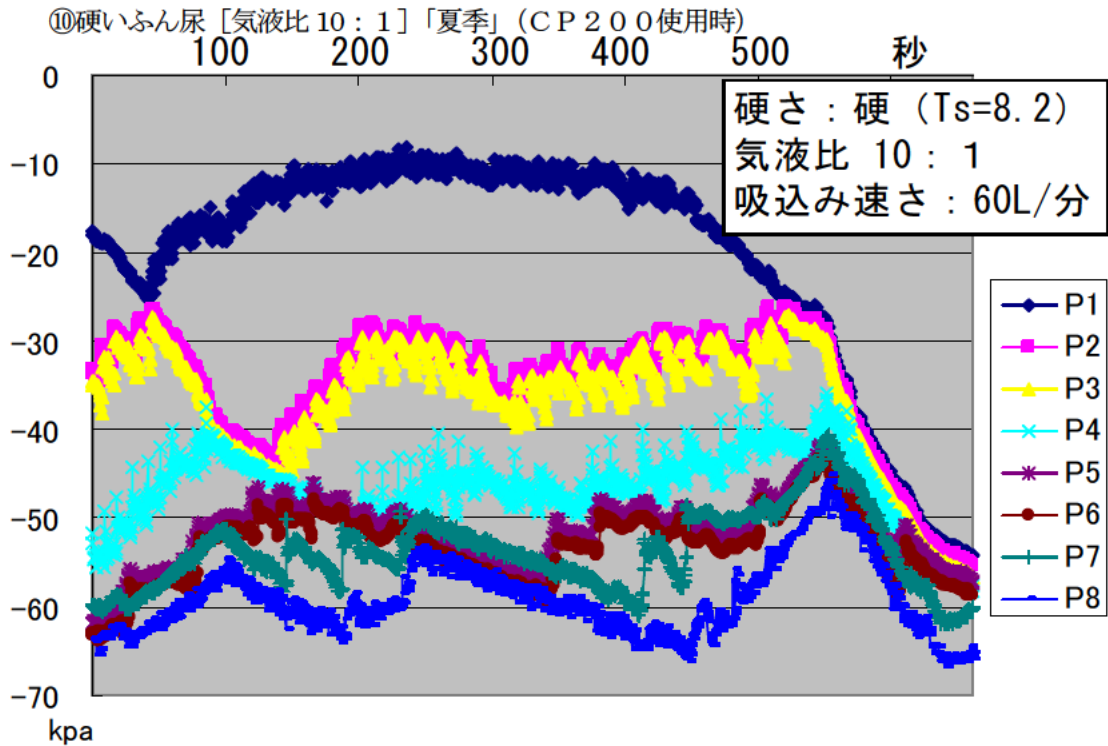


図4-1-16 真空圧測定結果 (硬いふん尿 [気液比 10 : 1] [夏季] (CP 200 使用時))

①硬いふん尿 [気液比 10 : 1] 「冬季」 (CP 200 使用時)

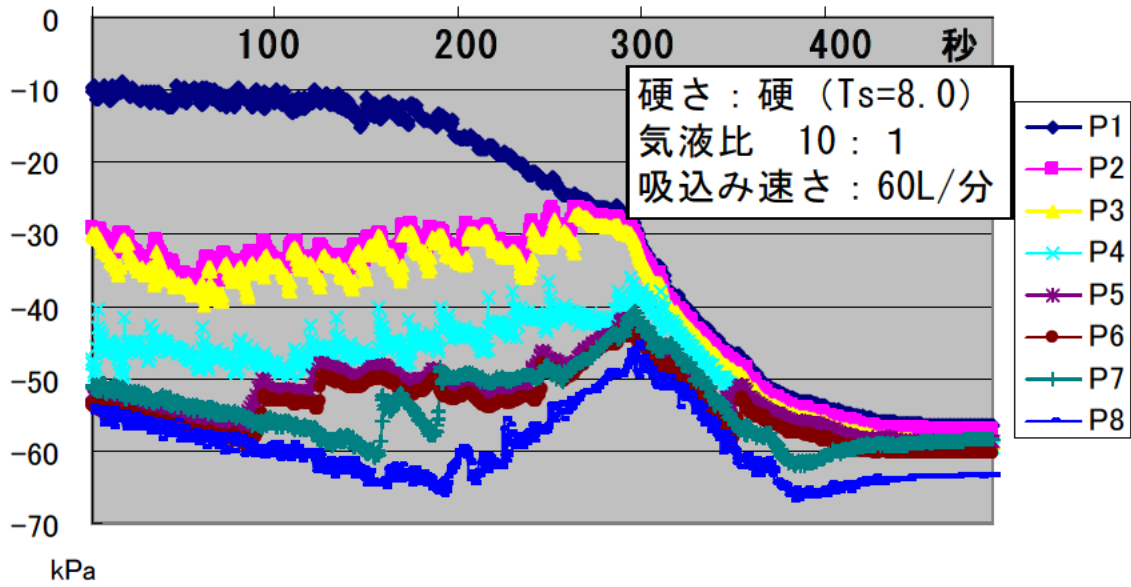


図 4-1-17 真空圧測定結果 (硬いふん尿 [60L/分] {冬季} (CP 200 使用時))

#### 4) 各設備におけるふん尿の搬送性等についての確認結果

##### ①真空弁（吸い込み設備）での吸い込み性の確認結果

###### (a) 真空弁利用の場合

今回は、ふん尿を吸いきってから空気を吸わせる方式で真空弁により自動でふん尿を吸い込ませていた（真空弁の作動パターンはP4の図2-3参照）が、吸い込みは可能でありトラブルの発生もなく良好であった。気液比3：1（図4-1-8参照）でも吸い込んでいるが、真空弁近傍の真空圧は低めとなっている。気液比5：1（図4-1-9参照）では真空弁近傍の真空弁閉時の真空圧は約-40kPaであり真空弁が開くのに十分な真空圧が得られていたことが分かる。

真空発生源の能力が充分であれば、一般的に気液比を高くすると、動的損失及び静的損失（真空弁閉時の圧力差）は減るが実験結果はそれを裏付けたかたちとなった。

ただし、硬いふん尿を吸い込ませる場合はふん尿の流入量を変えると気液比が安定しにくかった。

実際の真空弁が開くために必要な真空圧は-20kPa程度であるが、設計上は、真空弁が開く真空圧は-25kPaとして運用するのが良いと考えられる（従来技術と同じ設計値）。

###### (b) 吸い込み設備利用の場合

今回はふん尿を専用<sup>①</sup>に吸い込む管と空気を吸い込む管のバルブを手動で同時に開け、ふん尿と空気を同時に吸わせる方式で吸い込みを実施したが、ふん尿の吸い込みは良好であった。

ただし、硬いふん尿で気液比0：1（空気を全く吸わせない状態）の場合は、当初はふん尿を吸い込んだが、約30m程度ふん尿が移動した地点で、ふん尿をほとんど吸い込まなくなった。硬いふん尿で気液比3：1の場合（図4-1-14参照）でも連続してふん尿の吸い込みは可能であったが、吸い込み設備近傍の真空圧は-5～-15kPaの範囲であった。気液比7：1の場合（図4-1-15参照）のふん尿の吸い込みは良好であった。吸い込み設備近傍の真空圧は-20～-50kPaの範囲であった。気液比10：1の場合（図4-1-16参照）のふん尿の吸い込みは良好であったが、吸い込み設備近傍の真空圧は-10～-25kPaの範囲となった。真空発生源の能力が充分であれば、一般的に気液比を高くすると、動的損失及び静的損失（真空弁閉時の圧力差）は減るということを考えると真空ステーションのポンプの能力がやや劣ったことが原因として考えられる。

吸い込み設備において実際にふん尿を吸い込むことが可能な真空圧は-10kPa程度であったが、安全を見込んで設計上は-15kPaで運用すると良いと考えられる。

##### ②真空管路の搬送性の確認結果

###### (a) 管路

最小勾配はφ150以下では2%、φ200では実験の都合上もあり5%として実験したが問

題なく搬送できた。気液比が低くなると管路内に滞留するふん尿の量が増えた。

また、ふん尿（軟、中、硬）を吸い込んだ後、それぞれ約15時間放置すると管路内のリフト部付近でふん尿の固液の分離が発生したが、翌日に再度吸い込むと問題なく搬送可能であった。

#### (b) リフト

リフトに関しては、リフト高30cm、60cmを作製し実験したが問題なく搬送できた。

### ③真空ステーションの性能確認結果

#### (a) ポンプ

ポンプは通常の真空式下水道で使用されているルーツ式のポンプ（正転で真空、反転で圧送）で3.7kw×2台で実験を実施したが問題なくふん尿を収集できた。

今回準備したポンプは、硬いふん尿で気液比7：1以下の範囲ではポンプの能力も充分であった。

気液比10：1で適用する場合はP274)①(b)の吸い込み設備利用の場合に記載したが、気液比7：1の場合に比較して静的損失は10：1の方が小さくなっているが、動的損失が大きくなったことから10：1の実験を行うには、真空ステーションのポンプの吸引能力がやや不足していたと考えられる。実際の設備に適用する場合は設計に見合ったポンプの選定をする必要があるが、性能は問題ないことが確認できた。

#### (b) 集水タンク

今回準備したタンクの容量は約1.5m<sup>3</sup>あったが、実験の流量では十分な容量であった。

#### (c) 圧送設備

今回の実験では圧送設備としてはグラインダーポンプを使用していたが、「わら」が実験中にポンプに詰まった。そこで、真空ステーション（CP200）のルーツポンプによる空気圧送による方式に切り替え実験を実施した結果、問題なくふん尿を圧送できた。



(d) その他設備

今回、実験開始から約5日間経過した時点で真空ステーションののチャッキ弁で「わら」が詰まった（写真4-2-8参照）。今回は吸い込み管の呼び径が75mmでチャッキ弁の直前にエルボを使用したということもあり、チャッキ弁近傍を起点にわらが詰まったものと考えられる。

対策としては、吸い込み管の呼び径を100mm以上に上げることやチャッキ弁の直前にエルボを使用しないことで充分対応可能と考えられる。



写真4-1-8 チャッキ弁にわらが詰まった状況

④バキュームカーの性能確認結果

真空ステーションの変わりにバキュームカー（真空圧：-70kPa、タンク容量：約7m<sup>3</sup>）を接続して実験を実施したが、全く問題なく吸引することができた。

(3) 実験の考察

今回の実験によって、真空ステーションのチャッキ弁近傍の改善や凍結対策は必要であるが、システムの搬送性等は確認できたことから真空式管路システムは実用化可能なシステムであることが検証できた。ふん尿の搬送性はTsや気液比に大きく影響されるが、実験結果（図4-1-16と図4-1-17の比較）からは季節による影響は比較的少いと考えられる。また、管路は基本的には埋設することを考慮すれば気温ほどはふん尿の温度（硬さ）は変化しないと考えられる。

管路水理設計の考え方に関しても、水との比重や粘度の違いを考慮し係数を導入することで、従来の水理設計手法が適用可能と考えられる。

1) 真空弁ユニット（吸い込み設備）について

実験結果から真空弁（ユニット）、吸い込み設備ともふん尿の吸い込みには問題がなかったが、ふん尿の硬さにもよるが、今回の吸い込み設備においては、1箇所当り、ふん尿の硬さが軟らかい場合は約120L/分、中程度または硬いふん尿で約60L/分以下の吸い込み速さにする方が好ましいと

考えられる。

上記の速さ以上で吸い込もうとすると初期は問題なく吸い込むが、ふん尿の粘度等の抵抗により損失が増大し、吸い込み能力（吸い込み速さ）は低下していくと考えられる。吸い込み能力を向上させようとする、真空管路の口径アップや真空ステーションの能力アップが必要と考えられる。

安全性を考慮して真空弁で吸い込む場合は、末端で $-25\text{ kPa}$ の設計で、吸い込み設備の場合は $-15\text{ kPa}$ で設計すると良いと考えられる。実際の作動圧力は、真空弁で約 $-20\text{ kPa}$ 、吸い込み設備で $-10\text{ kPa}$ である。

## 2) 真空管路について

今回の実験結果よりリフト高 $30\text{ cm}$ と $60\text{ cm}$ で問題なく搬送したことから、設計上はリフト高を最大 $60\text{ cm}$ とする。以下にふん尿の硬さ別の搬送性について記載する。

### ①軟らかいふん尿の搬送

$T_s$ が4程度のふん尿であれば、通常の真空式管路システムと同様な条件（気液比 $3:1$ ）で吸い込んでも**図4-1-10**に示すように静的損失： $13\text{ kPa}$ 程度、動的損失： $15\sim 25\text{ kPa}$ と圧力損失も少なく、従来の水の場合と同じ考え方でも適用できると考えられる。

\*（参考）水の場合（ $120\text{ L/分}$ ）の圧力損失

静的損失： $21.1\text{ kPa}$ 、動的損失： $22.3\text{ kPa}$

### ②中程度の硬さのふん尿の搬送

$T_s$ が6前後のふん尿であれば、気液比 $5:1$ という条件で吸い込んだ時の圧力損失は、**図4-1-11**、気液比 $7:1$ という条件で吸い込んだ時の圧力損失は、**図4-1-12**に示すように、静的損失： $8\text{ kPa}$ 程度、動的損失： $15\sim 33\text{ kPa}$ となり、水とふん尿の比重及び粘度の違いを考慮して従来の水の場合の圧力損失に係数を掛ける手法が適用可能と考えられる。

なお、ふん尿が軟らかい場合に比較して静的損失が減っているのは、気液比の比率が高くなったためと考えられる。

\*（参考）水の場合（ $60\text{ L/分}$ ）の圧力損失

静的損失： $21.1\text{ kPa}$ 、動的損失： $17.9\text{ kPa}$

### ③硬いふん尿の搬送

$T_s$ が8前後のふん尿であれば、気液比 $7:1$ という条件で吸い込んだ時の圧力損失は、**図4-1-15**、に示すように、静的損失： $8\text{ kPa}$ 程度、動的損失： $15\sim 35\text{ kPa}$ となった。気液比 $10:1$ という条件で吸い込んだ時の圧力損失は、**図4-1-16**、**図4-1-17**に示すように静的損失： $8\text{ kPa}$ 程度、動的損失： $25\sim 50\text{ kPa}$ となった。したがって、水とふん尿の比重及び粘度の違いを考慮して従来の水の場合の圧力損失に係数を掛ける手法が適用可能と考えられる。

なお、気液比10：1で動的損失が大きくなっている（元真空圧が低い、到達真空圧は顕著に低い）が、連続的（20分前後）にふん尿を吸い込ませている影響と真空ステーションの吸い込み能力がやや低いことが影響していると考えられる。

なお、ふん尿が軟らかい場合に比較して静的損失が減っているのは、気液比の比率を高めたためと考えられる。

\*（参考）水の場合（60L/分）の圧力損失

静的損失：21.1kPa、動的損失：17.9kPa

以上のことを整理すると表4-1-12のようになる。

表4-1-12 圧力損失の測定結果と割増係数

時期	ケース	ふん尿 硬さ	ふん 尿量 (L/分)	気液比	測定損失 (kPa)		水設計損失 (kPa)		割増係数 $\beta$
					静的 損失	動的 損失	静的 損失	動的 損失	
夏 季	1	軟 ( $T_s=4.4$ )	120	3 : 1	約13	15~25	22.1	22.3	1~1.2
	2	中 ( $T_s=5.9$ )	60	5 : 1	約8	25~33	22.1	17.9	1.2~1.8
	3		60	7 : 1	—	12~33	22.1	17.9	1~1.8
	4	硬 ( $T_s=8.2$ )	60	0 : 1	約60	約60	22.1	17.9	—
	5		60	3 : 1	約7	25~55	22.1	17.9	1.2~3.4
	6		60	7 : 1	約8	15~35	22.1	17.9	1~2
	7		60	10 : 1	約12	37~50	22.1	17.9	2.1~3
冬 季	8	硬 ( $T_s=8.0$ )	60	10 : 1	約8	35~45	22.1	17.9	2~2.7

注1) 水における圧力損失計算結果を表4-1-13に、圧力損失の考え方は資料4-1-1に、割増係数の考え方は資料4-1-2に示す。

注2) 割増係数 $\beta$ は、測定された動的損失と、水での設計値に係数( $\beta$ )を掛けた値がほぼ同じになるように求めた値である。

硬いふん尿を用い気液比10：1という条件で真空ステーションの能力がやや不足していたこと、ふん尿の硬さが中程度の結果からも分かるように、真空ステーションの能力内では気液比が高くなると損失が低下することを考慮し、硬いふん尿における割増係数は気液比7：1の結果の最大値の2とし、中程度では1.8、軟かいは1.2で良いと考えられる。

表4-1-13 水における圧力損失計算結果

120L/分吸引の場合(水の場合の損失計算)

管径	管路延長 (m)	勾配 (%)	流量 (L/分)	リフト高		静的リフト 損失(m)	動的リフト 損失(m)	動的管路 損失(m)	動的損失 合計(m)	備考
				30cm	60cm					
100	150	2	120	1		0.20	0.15	0.3548	0.5048	
100	50	6	120	1		0.20	0.15	0.1183	0.2683	
100	30	10	120		1	0.50	0.3	0.0710	0.3710	
150	150	2	120	1		0.15	0.15	0.0493	0.1993	
150	50	6	120	1		0.15	0.15	0.0164	0.1664	
150	30	10	120		1	0.45	0.3	0.0099	0.3099	
200	60	5	120	1		0.10	0.15	0.0049	0.1549	
200	26	20	120		1	0.40	0.3	0.0021	0.3021	
合計	546			5	3	2.15	1.65	0.63	2.28	
						21.1	16.2	6.1	22.3	kPa表示

60L/分吸引の場合(水の場合の損失計算)

管径	管路延長 (m)	勾配 (%)	流量 (L/分)	リフト高		静的リフト 損失(m)	動的リフト 損失(m)	動的管路 損失(m)	動的損失 合計(m)	備考
				30cm	60cm					
100	150	2	60	1		0.20	0.15	0.0984	0.2484	
100	50	6	60	1		0.20	0.15	0.0328	0.1828	
100	30	10	60		1	0.50	0.3	0.0197	0.3197	
150	150	2	60	1		0.15	0.15	0.0137	0.1637	
150	50	6	60	1		0.15	0.15	0.0046	0.1546	
150	30	10	60		1	0.45	0.3	0.0027	0.3027	
200	60	5	60	1		0.10	0.15	0.0013	0.1513	
200	26	20	60		1	0.40	0.3	0.0006	0.3006	
合計	546			5	3	2.15	1.65	0.17	1.82	
						21.1	16.2	1.7	17.9	kPa表示

3) 真空ステーションについて

①ポンプ

ルーツ式のポンプ(正転で真空、反転で圧送)は適していることが確認できた。但し、設計に応じたポンプの選定(ポンプの選定の仕方は資料4-1-3に示す。)が必要となる。

②タンク

今回の実験では、1.5 m<sup>3</sup>のタンクで充分であったが、実際の施設を設計する場合は、設計に応じたタンクの選定が必要となる。

③圧送設備

実験結果より、グラインダーポンプは「わら」を切断することができなかったことから、本システムでは、不向きである。圧送設備は、今回の空気圧送方式か「わら」の影響の少ないポンプを選定し対応する必要がある。

④その他の設備

今回の実験では、真空ステーションの吸い込み管の呼び径が75 mmでチャッキ弁の直前にエルボを使用したということもあり、チャッキ弁近傍を起点にわらが詰まり管路が閉塞した。

実際の設備では、吸い込み管路の呼び径を100 mm以上に上げることやチャッキ弁の直前にエルボを使用しない設備にする必要がある。

#### 4) バキュームカーについて

今回の実験から、ふん尿の吸引はバキュームカーで充分対応可能であった。実際の管路を設計する場合は、緊急の事態を考慮し、バキュームカーの接続口を設けておくことが好ましいと考えられる。

#### 5) その他

硬いふん尿を吸い込んだ後は、管路内面が見えない場所もあったが、水を加え濃度を薄くしたふん尿で吸引すると管内に付着したふん尿の付着が解消された。ふん尿の管内付着が万が一発生し真空式の搬送性が低下した場合は、水等を吸い込ませる（フラッシングする）ことで搬送性の回復が期待できると考えられる。

#### 資料4-1-1 真空式管路（水）の圧力損失の考え方

圧力損失は、流れのない時の静的な損失と、流れる時の動的な損失を求める。静的な損失にはリフト損失を考慮する。また、動的な損失には摩擦損失（管路）とリフト損失を考慮する。圧力損失は、管路の摩擦による損失と、曲りなどによる損失があるが、曲り等による損失は非常に微量なため通常は無視し、摩擦損失とリフト損失の和を設計対象汚水量における圧力損失とする。

##### (1) 静的損失（リフト損失限度）の計算

真空管路内の流れがまったく止まった状態でも、リフトでの圧力損失は発生する。理論上発生する圧力損失の最大値をリフト損失限度といい、リフト部分の下部管頂から上部管底までの高さをいう。

各リフトにおけるリフト損失限度は次式で求められる。

$$p_{st} = H - D \quad \text{ただし、} \quad H - D \leq 0 \quad \text{のときは} \quad p_{st} = 0 \quad \text{————— 式①}$$

ここで、 $p_{st}$ ：リフト損失限度（ $\times 9.8 \text{ kPa}$ ）

$H$ ：リフト高さ（m）

$D$ ：管の内径（m）

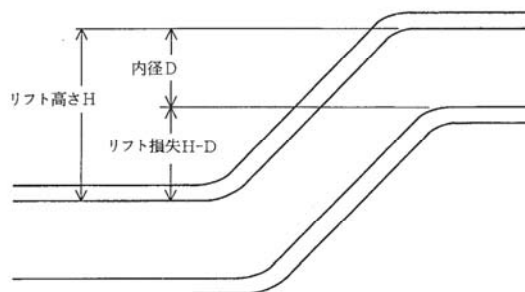


図4-1-18 リフト損失限度

##### (2) 動的損失（摩擦損失）の計算

摩擦損失を求める基本式はヘーゼン・ウィリアムスの式とし、汚水と空気の二相流となって流れることから、汚水だけが満管で流れると仮定して計算した損失に補正係数を乗じ実用上の摩擦損失とする。

汚水と空気の二相流となってリフトを流れる時の損失は、リフト高さに係数を乗じリフト損失とする。

###### ① ヘーゼン・ウィリアムスの式

ヘーゼン・ウィリアムスの式は次のとおりである。

$$h_{fw} = 10.666 \times C^{-1.85} \times D^{-4.87} \times Q^{1.85} \times L$$

ここで、 $h_{fw}$  : 損失水頭 (m)

$C$  : 流速係数

$Q$  : 管内流量 ( $m^3/sec$ )

$D$  : 管径 (m)

$L$  : 管の全長 (m)

## ② 二相流係数 $\Phi^2$

二相流係数 $\Phi^2$ をヘーゼン・ウィリアムズ式に乗じて真空管路の摩擦損失 $h_f$ を求める。

$$h_f = \Phi^2 \times 10.666 \times C^{-1.85} \times D^{-4.87} \times Q^{1.85} \times L$$

## ③ 真空式管路の摩擦損失

従来の真空式管路で定められている値(実験データや経験値に基づく)を  $C=140$ ,  $\Phi^2=2.75$  (水での設計)を代入すると、

$$h_f = 1.85 \times 10^3 \times d^{-4.87} \times q^{1.85} \times L \quad \text{————— 式②}$$

ここで、 $h_f$  : 真空管路の摩擦損失 ( $\times 9.8kPa$ )

$q$  : 設計汚水量 ( $L/min$ )

$d$  : 管内径 (mm)

$L$  : 管路長さ (m)

## (3) 動的損失(リフト損失)の計算

リフト損失は、リフト高さを基に算定する。真空管路のリフトでは、汚水のみが流れている時、空気のみが流れている時、また、汚水と空気の混合状態で流れている時があり、時間と場所によって流れの状態が変化している。そこで、全体のリフトの損失を考える場合、これらのすべての状況を一括してリフト高さに乗ずる係数で表すものとする。

$$P_{lf} = \alpha \times \Sigma H \quad \text{————— 式③}$$

ここで、 $P_{lf}$  : リフト損失 ( $\times 9.8kPa$ )

$H$  : リフト高さ (m)

$\alpha$  : 係数 (0.5)

係数 $\alpha=0.5$ は、従来の真空式管路(水)で定められている値(実験データや経験値に基づく)である。

## 資料4-1-2 ふん尿の圧力損失の考え方

実験結果により、静的損失の設計については従来の水の考え方、動的損失の設計については、ふん尿の粘度が高いことから割増係数を導入する考え方とする。考え方を整理すると以下のようになる。

### (1) ふん尿の静的損失（リフト損失限度）の計算

$$p_{st} = H - D \quad \text{ただし、} \quad H - D \leq 0 \text{ のときは } p_{st} = 0 \quad (\text{式①参照})$$

### (2) 動的損失（摩擦損失）の計算

$$HF = \beta \times hf = \beta \times 1.85 \times 10^3 \times d^{-4.87} \times q^{1.85} \times L \quad (\text{式②参照})$$

ここで、 $\beta$  : 割増係数 (ふん尿の状態により 1.2~2)

HF : ふん尿の真空管路の摩擦損失 (×9.8kPa)

hf : 水の真空管路の摩擦損失 (×9.8kPa)

### (3) 動的損失（リフト損失）の計算

$$PLF = \beta \times Plf = \beta / 2 \times \Sigma H \quad (\text{式③参照})$$

ここで、PLF : ふん尿のリフト損失 (×9.8kPa)

$\beta$  : 割増係数 (ふん尿の状態により 1.2~2)

Plf : 水のリフト損失 (×9.8kPa)

なお、 $\beta$  の運用は表4-1-14のように定める。

表4-1-14 ふん尿の硬さ別の割増係数 ( $\beta$ )

ふん尿の硬さ (Ts)	軟 (4.5以下)	中 (4.5~6)	硬 (6~9)
割増係数 ( $\beta$ )	1.2	1.8	2.0

注) 設計対象地区の最も硬いふん尿のTsを用い、 $\beta$ 値を選定する。

### (4) 許容損失

通常、真空ステーションは-70~-60kPaで運転している

一方、実験の結果等により実際にふん尿を吸い込むことが可能な圧力は、真空弁で約-20kPa、また、吸い込み設備で約-10kPaである。安全性を考慮し真空弁の作動圧-25kPa、吸い込み設備の作動圧-15kPaとすると真空ステーションの下限との差が許容損失となる。

従って、許容損失は真空弁使用時で35kPa、吸い込み設備使用時で45kPaとなる。



### 資料4-1-3 真空ステーションの（真空）ポンプの選定の考え方

#### (1) 設置台数

真空ステーションでは、通常では（真空）ポンプの設置台数は2台（内1台予備、交互運転）とする。特殊対応としては3台（内1台予備、2台同時交互運転）も可能である。

#### (2) 容量計算

##### ①（真空）ポンプ設備容量（設置台数2台の場合）

（真空）ポンプ設備容量 $Q_{VP}$ は、

$$\begin{aligned} Q_{VP} &= R \times \{101.3 / (101.3 + P_t)\} \times Q_{max} \\ &= R \times \{101.3 / (101.3 - 70)\} \times Q_{max} \\ &= 3.236 \times R \times Q_{max} \end{aligned}$$

となる。

$Q_{VP}$  （真空）ポンプの必要容量(大気圧換算) ( $m^3$ /分)

R 気液比

$P_t$  集水タンク運転真空度  $-70.0$  (kPa)

$Q_{max}$  計画汚水量 ( $m^3$ /分)

##### ②（真空）ポンプ設備容量（設置台数3台の場合）

（真空）ポンプ設備容量 $Q_{VP}$ は、

$$\begin{aligned} Q_{VP} &= R \times \{101.3 / (101.3 - P_t)\} / 2 \times Q_{max} \\ &= R \times \{101.3 / (101.3 - 70)\} / 2 \times Q_{max} \\ &= 1.618 \times R \times Q_{max} \end{aligned}$$

#### (3) ポンプの選定

(2) 容量計算 で計算された能力以上の（真空）ポンプを選定する。

## 5. 研究結果のまとめ

### (1) 実験結果のまとめ

別海の実験の結果から、表5-1-1の条件であれば、2km程度の長距離搬送が可能と考えられる。

表5-1-1 長距離搬送が可能と考えられる実験条件と実験結果

時期	ケース	ふん尿 硬さ	ふん 尿量 (L/分)	気液比	測定損失 (kPa)		水設計損失 (kPa)		割増係数 $\beta$
					静的 損失	動的 損失	静的 損失	動的 損失	
夏季	1	軟 ( $T_s=4.4$ )	120	3 : 1	約13	15~25	22.1	22.3	1~1.2
	2	中 ( $T_s=5.9$ )	60	5 : 1	約8	25~33	22.1	17.9	1.2~1.8
	3		60	7 : 1	—	12~33	22.1	17.9	1~1.8
	6	硬 ( $T_s=8.2$ )	60	7 : 1	約8	15~35	22.1	17.9	1~2
	7		60	10 : 1	約12	37~50	22.1	17.9	2.1~3
冬季	8	硬 ( $T_s=8.0$ )	60	10 : 1	約8	35~45	22.1	17.9	2~2.7

注1) ケースの番号は、4-1. 別海資源循環試験施設内の真空ステーションの実験ケースの番号となっている。

注2) 気液比10 : 1の動的損失は、4-1. の考察に記載したような理由から大きめに計測されていると考えられる。

以上の実験結果を踏まえ以下の考え方を適用すれば、実用化できると考えられる。

### (2) 実用化可能な条件

今回の実験結果を踏まえ、現状では安全性を考慮し以下のような条件で適用するものとする。

#### 1) ふん尿に関して

牛舎に「わら」が使用されている場合は、長いわらは事前に固液分離機等で取り除いておく必要があると考えられる。

#### 2) ふん尿の吸引設備1箇所当りの吸い込み条件

- ① 軟らかいふん尿 ( $T_s = 4.5$ 以下) の場合 吸込み速さ : 120 L以下/ (分・箇所)
- ② 中くらいより硬いふん尿 ( $T_s = 4.5$ 以上) の場合 吸込み速さ : 60 L以下/ (分・箇所)

3) 管路の条件

- ①最小勾配 : 2‰
- ②限界リフト高 : 60 cm
- ③本管径 : 100 mm以上  
100 mmの管径が使用できるのは管路延長200 mまでとする。  
吸込み設備（真空弁ユニット）の接続管径 75 mmで可能

4) ふん尿の圧力損失の考え方

①ふん尿の静的損失（リフト損失限度）の計算

$$p_{st} = H - D \quad \text{ただし、} H - D \leq 0 \text{ のときは } p_{st} = 0$$

ここで、 $p_{st}$  : リフト損失限度 (×9.8kPa)

H : リフト高さ (m)

D : 管の内径 (m)

②動的損失（摩擦損失）の計算

$$HF = \beta \times 1.85 \times 10^3 \times d^{-4.87} \times q^{1.85} \times L$$

ここで、 $\beta$  : 割増係数 (ふん尿の状態により決定する値 1.2~2)

HF : ふん尿の真空管路の摩擦損失 (×9.8kPa)

q : 設計汚水量 (L/min)

d : 管内径 (mm)

L : 管路長さ (m)

③動的損失（リフト損失）の計算

$$PLF = \beta / 2 \times \Sigma H$$

ここで、PLF : ふん尿のリフト損失 (×9.8kPa)

$\beta$  : 割増係数 (ふん尿の状態により決定する値 1.2~2)

H : リフト高さ (m)

表5-1-2 ふん尿の硬さ別の割増係数 ( $\beta$ )

ふん尿の硬さ (Ts)	軟 (4.5以下)	中 (4.5~6)	硬 (6~9)
割増係数 ( $\beta$ )	1.2	1.8	2.0

注) 設計対象地区の最も硬いふん尿のTsを用い、 $\beta$ 値を選定する。

④許容損失

実験結果から許容損失は真空弁使用時に35 kPa、吸込み設備使用時に45 kPaとする。

5) (真空) ポンプの選定の考え方

①容量計算

(a) (真空) ポンプ設備容量 (設置台数2台の場合)

$$Q_{VP} = 3.236 \times R \times Q_{max}$$

$Q_{VP}$  (真空) ポンプの必要容量(大気圧換算) ( $m^3/分$ )

R 気液比

$Q_{max}$  計画汚水量 ( $m^3/分$ )

(b) (真空) ポンプ設備容量 (設置台数3台の場合)

$$Q_{VP} = 1.618 \times R \times Q_{max}$$

②ポンプの選定

容量計算 で計算された能力以上の (真空) ポンプを選定する。

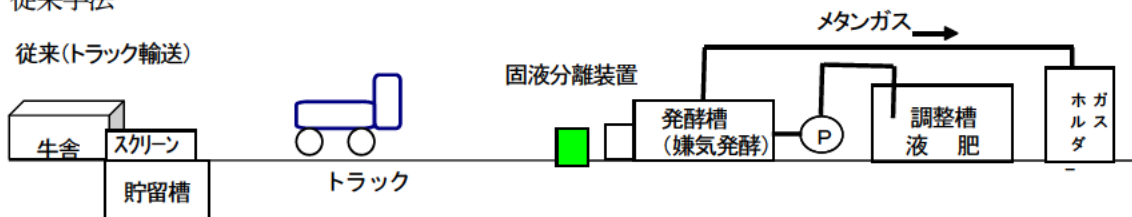
## 6. 結論

今回開発された家畜ふん尿を搬送する真空管路システムは、水を加えなくてもふん尿を搬送できることが確認できた。

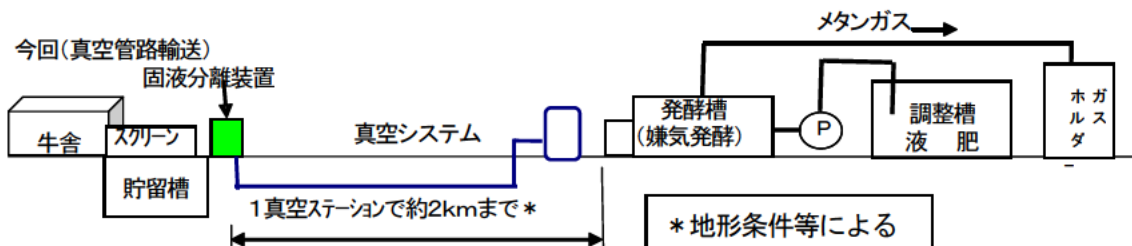
ふん尿の搬送には厳しい条件となる冬季で水を加えない条件でふん尿搬送が可能なが確認できたことから、水を基本的には加えないメタン発酵分野やふん尿に水を加える肥培かんがい分野においても実用化できる技術であり、家畜ふん尿搬送の適性は充分にあるシステムであることが検証できた。条件にもよるが下記のような経済性にもメリットのある提案が可能と考えられる。

### (1) メタン発酵分野

#### 1) 従来手法

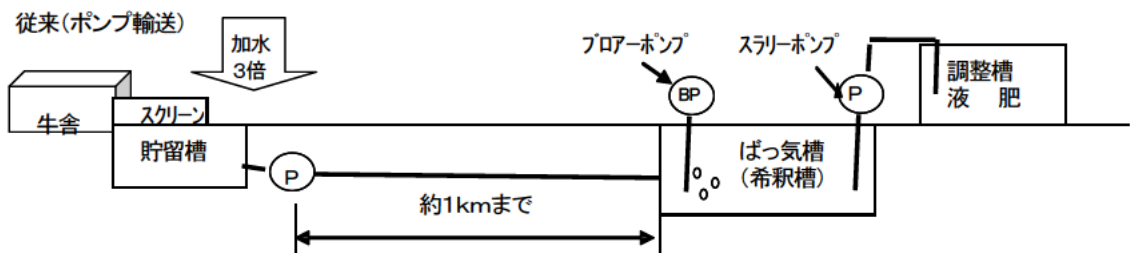


#### 2) 今回手法 (真空管路システム)

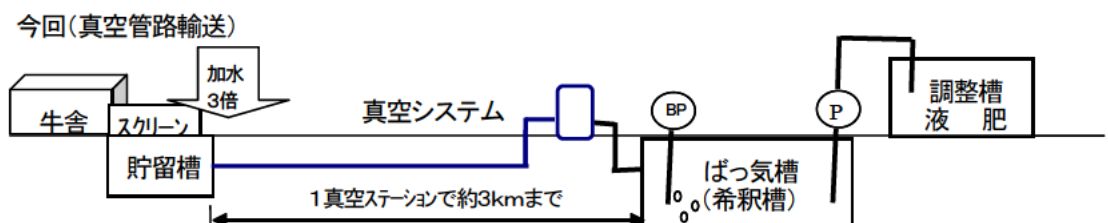


### (2) 肥培かんがい分野

#### 1) 従来手法



#### 2) 今回手法 (真空管路システム)



## 7. 今後の問題点等

### (1) 凍結対策について

別海資源循環試験施設内の実験では地上に設置した真空ステーションの凍結対策を実施せず屋外に設置していたため、2台のポンプの内1台が凍結ししばらく稼動しない状況となった。今後は、寒冷地で使用する場合は、管路だけでなく真空ステーションも必要に応じ、バルブ廻りに保温材を巻くなどの凍結対策を実施することとした。また、真空ステーションを建屋内もしくは埋設し設置するなどの手法も併用すると更に効果があると考えられる。

### (2) ふん尿に含まれるわら対策について

ふん尿を収集後、真空ステーションより圧送するラインで牛ふん等に含まれる「わら」が原因でグライNDERポンプ等が詰まるというトラブルが発生したが、空気圧送による方式に変えることで対処可能となった。

ふん尿には「わら」が含まれているため、真空ステーションの吸い込み管径等に留意するとともに、少しでも引っかかりにくい部材を選定しシステムを構築していく必要がある。牛舎に「わら」を使用している場合は、固液分離装置の導入を検討する必要がある。

### (3) 本システム実用化

実験の結果から、真空式管路システムは実用化可能な技術であることが検証された。

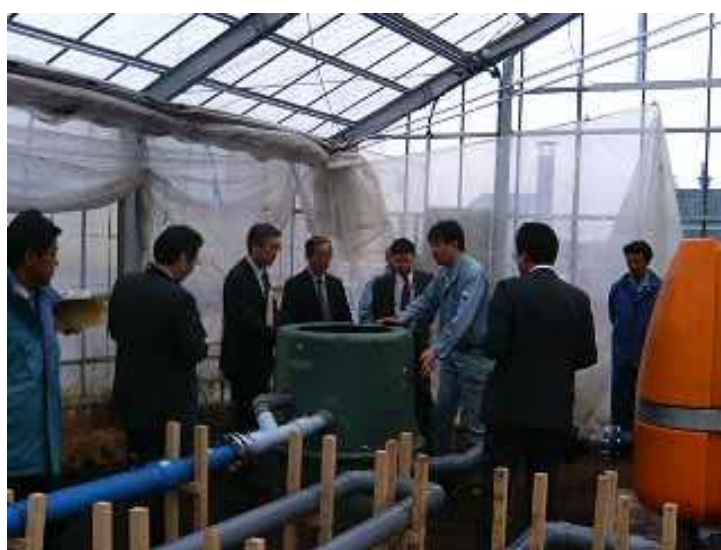
## 8. 実験立会状況

### (1) 別海資源循環試験施設内の試験管路の実験立会い状況

別海資源循環試験施設内の実験において実験立会い（見学会）を実施した状況を  
**写真8-1、写真8-2**に示す。



**写真8-1 別海資源循環試験施設内の実験立会い（見学会）の状況1**



**写真8-2 別海資源循環試験施設内の実験立会い（見学会）の状況2**

## 9. モデルケースにおける経済性の検討

### (1) モデルケース及び検討条件

経済性を検討するモデルケースの条件を図9-1、表9-1、表9-2に示す。

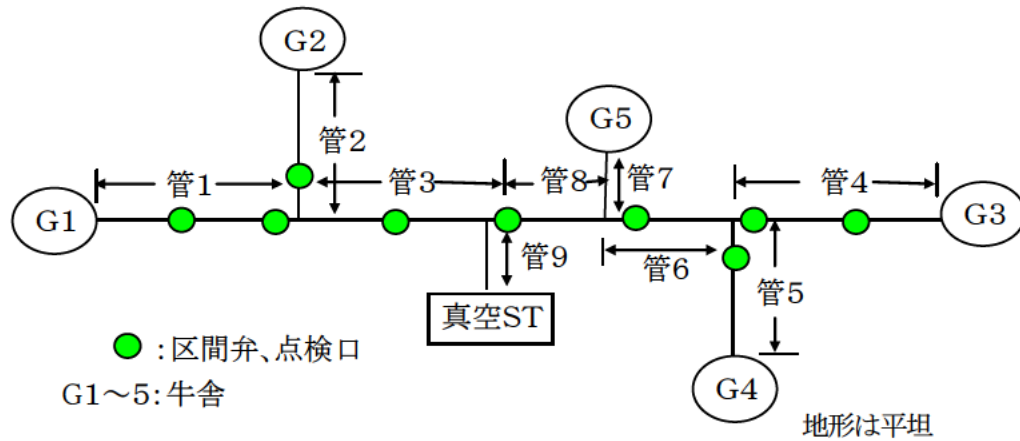


図9-1 モデルケース (平面図)

表9-1 管路延長

路線No	延長(m)
管1	800
管2	500
管3	700
管4	700
管5	500
管6	400
管7	200
管8	300
管9	200
総延長	4300

表9-2 ふん尿量と必要空気量

牛舎No	頭数	日平均ふん尿量 (l/日)	時間最大ふん尿量 (l/分)	必要空気量 (l/日)
G1	100	6,000	16.67	60,000
G2	100	6,000	16.67	60,000
G3	100	6,000	16.67	60,000
G4	100	6,000	16.67	60,000
G5	100	6,000	16.67	60,000
合計		30,000	83.33	300,000

注1) ふん尿量は60kg/頭として算出

注2) 時間最大ふん尿量=日平均ふん尿量×4として算出

注3) 必要空気量=日平均ふん尿量×(気液比)10

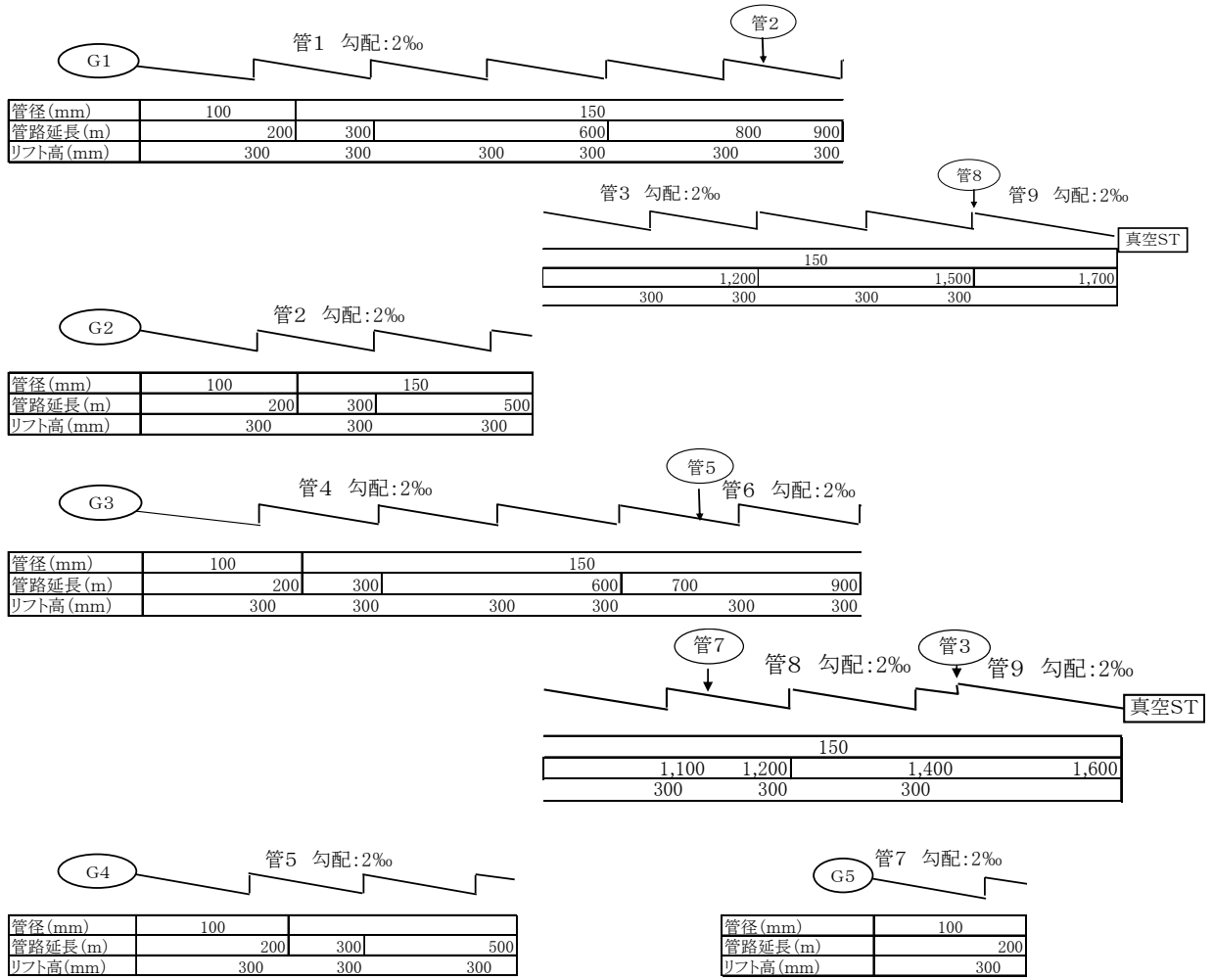
### (2) 真空式管路システム適用時の検討条件

- ① 真空ステーション：1基 (真空ステーション CP300)
- ② 真空管路：本管はφ100及びφ150
- ③ ふん尿吸い込み設備：真空弁タイプで検討



### (3) 真空管路の設計

モデルケースにおいて真空式管路システムを適用した時の縦断面図を**図9-2**に、水理（損失）計算結果を**表9-3**に示す。本設計はP47の5. 研究結果のまとめの考え方に基づいて設計を行った。



管径Φ100 は管路延長 200mまでとし、それ以降はΦ150 としている。

図9-2 モデルケース（真空管路の縦断面図）

表9-3 水理（損失）計算結果

#### 【水理(損失)計算書】

#### 【許容損失の確認】

静的損失 **29.40 kPa** < 許容損失 (35 kPa) → OK(収集可能)  
 動的損失 **30.87 kPa** < 許容損失 (35 kPa) → OK(収集可能)

施設名	流量表 時間最大ふん尿量 (l/分)	(損失計算)											
		路線	延長 (m)	累積ふん尿量 (l/分)	管径 (mm)	静的リフト損失(kPa)			動的損失(kPa)				
					リフト損失	累積最大損失	摩擦損失	リフト数	総リフト高	リフト損失	リフト+摩擦	累積最大損失	
G1	16.67	管1	200	16.67	100	2.94		0.19	1	300	2.94	3.13	
		管1-2	600	16.67	150	11.76	14.70	0.09	4	1200	11.76	11.85	14.98
G2	16.67	管2	200	16.67	100	2.94		0.19	1	300	2.94	3.13	
		管2-2	300	16.67	150	5.88	8.82	0.05	2	600	5.88	5.93	9.06
G3	16.67	管3	700	33.33	150	14.70	29.40	0.39	5	1500	14.70	15.09	30.08
		管4	200	16.67	100	2.94		0.19	1	300	2.94	3.13	
G4	16.67	管4-2	500	16.67	150	11.76	14.70	0.08	3	1200	11.76	11.84	14.97
		管5	200	16.67	100	2.94		0.19	1	300	2.94	3.13	
G5	16.67	管5-2	300	16.67	150	5.88	8.82	0.05	2	600	5.88	5.93	9.06
		管6	400	33.33	150	8.82	23.52	0.23	3	900	8.82	9.05	24.01
G5	16.67	管7	200	16.67	150	2.94	2.94	0.03	1	300	2.94	2.97	2.97
		管8	300	50.00	150	5.88	29.40	0.36	2	600	5.88	6.24	30.25
		管9	200	83.33	150	0.00	29.40	0.61	0		0.00	0.61	30.87

(4) 建設費（概算）の算出

モデルケースにおける真空式管路システムを適用した時の建設費（概算）の算出結果を表9-4に示す。

表9-4 建設費（概算）の算出結果

項目	数量	単価（円）	金額（円）	備考
<b>1 管路</b>				
<b>材料費</b>				
1. 真空弁ユニット（コンクリート製）	（ 5 ） 基	1,020,300	5,101,500	真空弁・鉄蓋込み
2. 真空本管（PE100）	（ 800 ） m	5,200	4,160,000	バンド・その他接続部材含む
3. 真空本管（PE150）	（ 3300 ） m	9,900	32,670,000	バンド・その他接続部材含む
4. 点検口（呼び径150）浅埋設型	（ 9 ） 個	120,000	1,080,000	防護ハット型
5. 区間弁（呼び径150）浅埋設型	（ 9 ） 個	407,300	3,665,700	防護ハット型
		小 計	46,677,200	
<b>2 工事費</b>				
1. 真空弁ユニット（コンクリート製 75mm）	（ 5 ） 基	234,700	1,173,500	土木工 ユニット掘削・埋戻し・仮復旧
真空弁ユニット（コンクリート製 75mm）	（ 5 ） 基	41,800	209,000	機械設備据付費（真空弁調整・ユニット据付）
3. 真空配管（PE100）市町村道	（ 800 ） m	9,300	7,440,000	平均土被り1.1m 土留めなし
3. 真空配管（PE150）市町村道	（ 3300 ） m	10,100	33,330,000	平均土被り1.1m 土留めなし
4. 点検口（呼び径150）浅埋設型	（ 9 ） 個	17,400	156,600	
5. 区間弁（呼び径150）深埋設型	（ 9 ） 個	24,600	221,400	
		小 計	42,530,500	
<b>3 小型真空ステーション（CP300）</b>				
設 備 費	（ 1 ） 式	31,080,000	31,080,000	CP本体、蓋、人孔含む
据付け工事（材料含）	（ 1 ） 式	2,000,000	2,000,000	
電気工（材料含）	（ 1 ） 式	1,200,000	1,200,000	
		合 計	34,280,000	
<b>4 総合試算</b>				
1 管路材料費			46,677,200	
2 管路工事費			42,530,500	
3 真空ステーション			34,280,000	
4 総合試算			500,000	
<b>直接工事費合計</b>		<b>合 計</b>	<b>123,988,000</b>	

なお、表9-4の建設費（概算）の算出を行うに当たっての条件を以下に示す。

- ① 概算工事費は直接工事のみであり、消費税・諸経費等は含まない。
- ② 道路は、市町村道で算出している。
- ③ 真空管路の布設工事の土工は平均土被りは1.1mとして算出した。
- ④ 掘削工事は機械掘削、埋め戻しは発生土埋め戻し、残土処分は場外自由処分とした。
- ⑤ 地盤等の状況は考慮していない。
- ⑥ 舗装復旧は仮復旧までとした。
- ⑦ 水替工事は含まない。
- ⑧ 真空弁ユニットの鉄蓋は、全て含まない。含む場合は、市章デザインではない。
- ⑨ 真空ステーションからの通報装置は含まない。
- ⑩ 真空ステーションは引込工事、動力工事は含まない。

(5) 維持管理費（電気代）の算出

真空ステーションの電気代（概算）の算出を以下のように行う。

1) 真空ステーション設計仕様

関係戸数		—	戸	
時間最大ふん尿量		0.001389	m <sup>3</sup> /sec	83.33L/分
時間最大ふん尿量時の空気吸込量		0.013888	m <sup>3</sup> /sec	833.3L/分
日平均汚水量	Q <sub>ave</sub>	30.00	m <sup>3</sup> /日	
				※時間最大ふん尿量：日平均汚水量（L/日・人）＝4：1
真空ポンプ出力	P 1	5.5	k W	※2台設置1台運転1台予備
真空ポンプ容量	V <sub>p</sub>	120.0	m <sup>3</sup> /時間	( 2.00 ) m <sup>3</sup> /分
気液比	F	3		
圧送ポンプ容量	Q <sub>d p</sub>	120.0	m <sup>3</sup> /時間	( 2.00 ) m <sup>3</sup> /分
圧送ポンプ出力	P 2	5.5	k W	
制御用電源容量	P 3	0.1	k W	
入力電源の効率	E <sub>f</sub>	1.25		
機器の負荷率	L <sub>f</sub>	0.9		
電気料金	基本料金	1,228.5	円/kW・月	北海道電力 2010年2月の金額
北海道電力	電力料金	11.61	円/kWh	

2) 契約電力 小型真空ステーション（CP300）

(a) 入力算定

動力負荷 設備	出力 (kW)	設置台数 (台)	稼動台数 (台)	稼動出力 (kW)	入力 (出力×1.25) (kW)	1台当たり (kW)
真空ポンプ	5.5	2	1	5.5	6.875	6.875
圧送ポンプ	5.5	(2)	1	5.5	6.875	6.875

(b) 契約電力の算出

- ・ 台数圧縮係数は、最大入力のものから最初の2台に関して1.00、次の2台に関して0.95、5台目以降に関して0.90である。従って、台数圧縮後電力W' は次の通りとなる。

最初の2台につき	100%	6.875	+	6.875	×	1.00=	13.75	kW
次の2台につき	95%	0	+	0.1	×	0.95=	0.1	kW
	90%	0	+	0	×	0.90=	0.0	kW
小 計							13.8	kW

- ・ 容量圧縮係数は、最初の6kwに関して1.00、次の14kwに関して0.90、次の30kwに関して0.80、50kw超過分に関して0.7とする。

最初の6kWにつき	100%	6.0	kW×1.00=	6.0	kW	
次の14kWにつき	90%	7.8	kW×0.90=	7.1	kW	
次の30kWにつき	80%	0.0	kW×0.80=	0.0	kW	
小 計					13.06	kW

したがって、契約電力は 14 kW となる。

3) 使用電力 小型真空ステーション (CP300)

動力負荷 設備	出力 P (kW)	稼働台数 (台)	負荷率 L f	稼働動力 P × 台数 × E f (kW)	入力 F × 1.25 (kW)	年間運転時間 T (h/年)	年間使用電力 Pe (kWh/年)
真空ポンプ	5.5	1	0.9	4.95	6.1875	2957	18296
圧送ポンプ	5.5	1	0.9	4.95	6.1875	92	569
制御用	0.1	1	0.9	0.09	0.1125	876	99
合計							18964

(a) 年間運転時間の算定

真空ポンプ運転時間 T1

$$T1 = \{ Q_{ave} \times A / (V_p \times \text{台数}) \} \times 365$$

空気排出量 A

$$\begin{aligned} A &= \text{気液比} \times \text{大気圧 (絶対圧)} / \text{タンク圧力 (絶対圧)} \\ &= 10 \times 101.33 \text{KPa} / (101.33 \text{KPa} - 70 \text{KPa}) \\ &= 32.4 \end{aligned}$$

よって、

$$\begin{aligned} T1 &= \{ 30.0 \times 32.4 / 120.0 \times 1 \} \times 365 \\ &= \underline{2,957 \text{ 時間}} \end{aligned}$$

圧送ポンプの年間運転時間 T2

$$\begin{aligned} T2 &= (Q_{ave} / Q_{dp}) \times 365 \\ &= \underline{92 \text{ 時間}} \end{aligned}$$

制御用電源の年間使用時間 T3

$$\begin{aligned} T3 &= 24 \times 365 \times 0.1 \\ &= \underline{876 \text{ 時間}} \end{aligned}$$

(b) 年間消費電力の算定

$$P_e = P \times \text{台数} \times L f \times E f \times T$$

基本料金	14	kW	×	1,229	円/kW・月	×	12ヶ月	206,388	円/年
使用料金	52.0	kW	×	11.61	円/kW	×	365日	220,175	円/年
								426,563	円/年

よって、年間電気料金は、426,563 円/年

(6) 維持管理費（小型真空ステーション）の算出

小型真空ステーションの維持管理費（概算）は以下の通りである。

小型真空ステーション維持管理費（参考）

＜CP300＞ 年間の維持管理費 929,504 円/年 (円)

①交換ポンプ部品代	単位	周期	単価	5年目	10年目	15年目	20年目	
(1)真空ポンプ(4,390,000円/台)	1式	1/20年	8,780,000				8,780,000	
(2)ポンプ部品								
ベアリング	1式	1/5年	81,600	81,600	81,600	81,600		
カラーRオイルシール付	1式	1/5年	64,000	64,000	64,000	64,000		
カラーOリング	1式	1/5年	6,400	6,400	6,400	6,400		
ハウジングオイルシール	1式	1/5年	41,600	41,600	41,600	41,600		
ノンアスギアカバーPK	1式	1/5年	4,800	4,800	4,800	4,800		
液体PK	1式	1/5年	3,200	3,200	3,200	3,200		
ハウジングPK	1式	1/5年	4,000	4,000	4,000	4,000		
Vシール	1式	1/5年	20,800	20,800	20,800	20,800		
スナップリングS	1式	1/5年	3,200	3,200	3,200	3,200		
タイミングギヤ	1式	1/5年	174,400	174,400	174,400	174,400		
オイルキャップ	1式	1/5年	3,200	3,200	3,200	3,200		
オイルゲージ	1式	1/5年	7,200	7,200	7,200	7,200		
Vベルト	1式	1/5年	19,200	19,200	19,200	19,200		
(3)脱臭装置	1式	1/1年	100,000	100,000	100,000	100,000	100,000	
小 計				533,600	533,600	533,600	8,880,000	
②委託費	単位	周期	単価	5年目	10年目	15年目	20年目	
現地	日常点検	1式	1/2週間	10,000	240,000	240,000	240,000	240,000
ポンプメーカー	ポンプ交換費	1式	1/20年	200,000				200,000
	ポンプ部品交換費	1式	1/5年	196,000	196,000		196,000	
システムメーカー	定期点検	1式	1/1年	160,000	160,000	160,000	160,000	
小 計				596,000	400,000	596,000	600,000	
合 計				1,129,600	933,600	1,129,600	9,480,000	

25年目	30年目	35年目	40年目	45年目	50年目	その他の年	その他の年合計	50年間合計
			8,780,000				0	17,560,000
81,600	81,600	81,600		81,600			0	571,200
64,000	64,000	64,000		64,000			0	448,000
6,400	6,400	6,400		6,400			0	44,800
41,600	41,600	41,600		41,600			0	291,200
4,800	4,800	4,800		4,800			0	33,600
3,200	3,200	3,200		3,200			0	22,400
4,000	4,000	4,000		4,000			0	28,000
20,800	20,800	20,800		20,800			0	145,600
3,200	3,200	3,200		3,200			0	22,400
174,400	174,400	174,400		174,400			0	1,220,800
3,200	3,200	3,200		3,200			0	22,400
7,200	7,200	7,200		7,200			0	50,400
19,200	19,200	19,200		19,200			0	134,400
100,000	100,000	100,000	100,000	100,000		100,000	4,000,000	4,900,000
533,600	533,600	533,600	8,880,000	533,600	0	100,000	4,000,000	25,495,200
25年目	30年目	35年目	40年目	45年目	50年目	その他の年	その他の年合計	50年間合計
240,000	240,000	240,000	240,000	240,000		240,000	9,600,000	11,760,000
			200,000				0	400,000
196,000		196,000		196,000			0	980,000
160,000	160,000	160,000	160,000	160,000		160,000	6,400,000	7,840,000
596,000	400,000	596,000	600,000	596,000	0	400,000	16,000,000	20,980,000
1,129,600	933,600	1,129,600	9,480,000	1,129,600	0	500,000	20,000,000	46,475,200

(7) 維持管理費（真空弁ユニット）の算出

真空弁ユニットの1基当たりの維持管理費（概算）は以下の通りである。

(参考)真空弁ユニット維持管理費  
 <真空弁ユニット>

1 基当たり

①部品代		数量	単位	周期	単価	3年目	6年目	9年目	12年目	15年目
真空弁		1	式	1/36年	150,000					
ローリングタイヤフラム		1	個	1/12年	2,700				2,700	
軸受・シール類		1	個	1/12年	20,000				20,000	
弁座ゴム		1	個	1/12年	900				900	
カップリング継手ゴム		1	個	1/12年	3,000				3,000	
逆止弁		1	個	1/12年	1,100				1,100	
コントローラー本体		1	個	1/12年	25,000				25,000	
内部部品		1	個	1/12年	4,200				4,200	
部品交換作業時代替真空弁		1	個	1/12年	1,260				1,260	
小 計						0	0	0	58,160	0
②委託費		数量	単位	周期	単価	3年目	6年目	9年目	12年目	15年目
現地	現地交換作業 (人工2人作業[特 13,300円/日 普 11,000円/日] 経費率×1.4、10基/日)	1	個	1/12年	3,402				3,402	
	定期点検 (人工2人作業[特 13,300円/日 普 11,000円/日] 経費率×1.4、30基/日)	1	個	1/1年	1,134					
	真空弁ユニット清掃費 (人工2人作業[特 13,300円/日 普 11,000円/日] 経費率×1.4、15基/日)	1	個	1/3年	2,268	2,268	2,268	2,268		2,268
メーカー	メーカー部品交換、検査作業 (人工40,000円/日で1人作業 経費率×1.4、10基/日)	1	個	1/12年	11,200				11,200	
小 計						2,268	2,268	2,268	14,602	2,268
合 計						2,268	2,268	2,268	72,762	2,268

※ 特殊作業員、普通作業員の人工は建設物価 2009.4 北海道を参照。緊急点検費、真空弁送料、破損交換部材は別途

50年周期 1年当たりの真空弁 平均ランニングコスト	<b>8,681</b> 円/台
----------------------------	------------------

18年目	21年目	24年目	27年目	30年目	33年目	36年目	39年目	42年目	45年目	48年目	50年目	その他の年	その他の年合計	50年間合計
						150,000							0	150,000
		2,700								2,700			0	8,100
		20,000								20,000			0	60,000
		900								900			0	2,700
		3,000								3,000			0	9,000
		1,100								1,100			0	3,300
		25,000								25,000			0	75,000
		4,200								4,200			0	12,600
		1,260								1,260			0	3,780
0	0	58,160	0	0	0	150,000	0	0	0	58,160	0	0	0	324,480
18年目	21年目	24年目	27年目	30年目	33年目	36年目	39年目	42年目	45年目	48年目	50年目	その他の年	その他の年合計	50年間合計
		3,402											0	6,804
												1,134	37,422	37,422
2,268	2,268		2,268	2,268	2,268	2,268	2,268	2,268	2,268	2,268			0	31,752
		11,200								11,200			0	33,600
2,268	2,268	14,602	2,268	2,268	2,268	2,268	2,268	2,268	2,268	13,468	0	1,134	37,422	109,578
2,268	2,268	72,762	2,268	2,268	2,268	152,268	2,268	2,268	2,268	71,628	0	1,134	37,422	434,058

(8) 概算費用のまとめ

1) 建設費（直接工事費）の概算費用

項目		単価	金額	備考
1.材料費、土工費、総合試運転	1式		89,707,700	
2.機械設備費	1式		34,280,000	
小計			123,987,700	
改め			<b>123,988,000</b>	

2) 維持管理費（50年サイクル）の概算費用

項目		単価	金額(円/年)	金額(50年間)
1.ランニングコスト				
真空弁ユニット	5基	8,681	43,406	2,126,884
小型真空ステーション	1式		929,504	45,545,696
2.電気代				
	1式		426,563	20,901,577
50年間維持管理費				68,574,157
改め				<b>68,574,000</b>
年間の維持管理費(円/年)			1,399,473	
改め			<b>1,399,000</b>	

主な機器の維持管理周期

	5	10	12	15	20	24	25	30	35	36	40	45	48	50
真空弁														
部品交換			○			○							○	
真空弁交換										○				
真空ステーション														
ポンプ交換					○						○			

3) 建設費（直接工事費）と維持管理費（50年サイクル）との合計の概算費用

概算直接工事費、50年間維持管理費	
合計	<b>192,562,000</b>

---

共同研究報告書  
COOPERATIVE RESEARCH REPORT of P.W.R.I.  
No.422 October 2011

編集・発行 ©独立行政法人土木研究所

---

本資料の転載・複写の問い合わせは

独立行政法人土木研究所  
寒地土木研究所 寒地技術推進室  
〒062-8602 北海道札幌市豊平区平岸1条3丁目1番34号 電話 011-590-4046