

サイホン排水システムの流れ特性に関する研究
(その 12) 管径 25A を用いた長配管 (100m) における流れ特性

A Study on Characteristics of Filled Flow in Siphonic Drainage Systems

Part 12 Characteristics of Filled Flow in Long Piping (100m) of Diameters of 25mm

正会員 ○光 永 威 彦 (山下設計) 技術フェロー 坂 上 恭 助 (明治大学)
 技術フェロー 中 村 勉 (須賀工業) 技術フェロー 稲 田 朝 夫 (須賀工業)
 学生会員 植 村 悠 太 郎 (明治大学大学院) 学生会員 木 村 香 桜 里 (明治大学大学院)

Takehiko MITSUNAGA *¹ Kyosuke SAKAUE*² Tsutomu NAKAMURA*³

Tomoo INADA*³ Yutaro UEMURA*² Kaori KIMURA*²

*¹ Yamashita Sekkei Inc. *² Meiji University *³ SUGA Co., Ltd

A large piping space (height) is required in the conventional drainage method based on slope such as in plants where the floor planning tends to be large. The use of the siphonic drainage system makes it possible to construct long piping with small pipe diameters and no slope, and to reduce a piping space. In this study, We examined about long piping(100m) of diameter of 25mm using actual-scale experimental models ,and compared with the results of the previous report .

1. はじめに

工場などの平面計画が大きい建物用途において、水使用場所が排水立て管や排水桝等から隔離されている場合、従来の排水方式では大きな配管スペース（高さ）を確保する必要がある。サイホン排水システムを適用することにより、小口径かつ無勾配での配管が可能となり、そのスペースを圧縮することができる。

既往の研究では、硬質ポリ塩化ビニル管（管径 20A・25A）およびポリブテン管（管径 20A）を用いて、水平管長 20m における流れ特性を明らかにした^{1)~3)}。また、前報では、水平管長 100m に配管を延伸した実大実験装置を用いた管径 20A の硬質ポリ塩化ビニル管（以下、塩ビ管という）とポリブテン管の流れ特性を明らかにしている⁴⁾。

本研究では、管材および水平管長は前報と同様とし、管径 25A に変更した配管モデルを用いて、流れ特性に関する実験を行った。また既往の研究結果を踏まえ、長配管におけるサイホン排水システムの流れ特性について考察した。

2. 流れ特性に関する実験

2.1 実験概要

(1) 実験装置

実験装置の概要を図 1 および図 2 に示す。管材は塩ビ管 (25A) とポリブテン管 (25A) を用いた。排水流入器は横取り出しタイプとし、流入筒径は 150A、立上りの構成は前報と同様の立上りエルボ（高さ 50mm）と通気弁

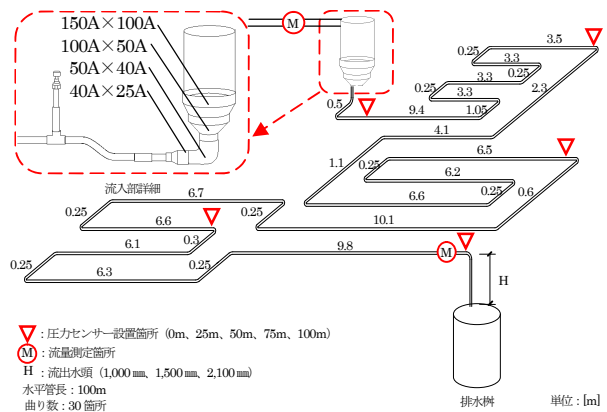


図 1 硬質ポリ塩化ビニル管モデルの概要

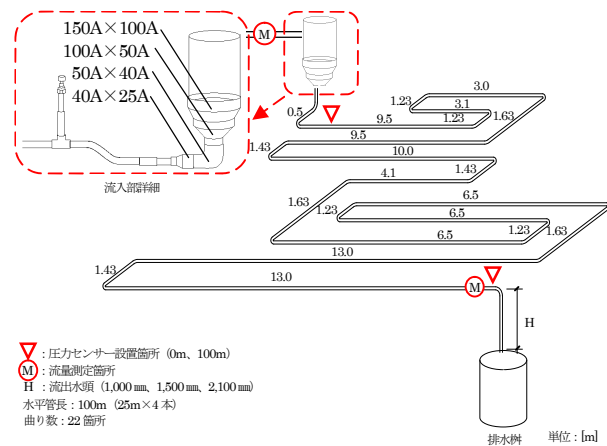


図 2 ポリブテン管モデルの概要

の併用とした。水平管長は100mとし、流出水頭は1,000mm、1,500mm、2,100mmの3種類とした。圧力測定点は、塩ビ管では流入部、流入部から25m、50m、75m、流出部の5点とし、ポリブテン管では流入部、流出部の2点とした。排水流量および流速は、流出部に設置した流量計の測定結果を用いて算出した。

(2) 実験条件

実験条件を表1に示す。流入部への給水量は12L/min、15L/min、18L/min、22L/minの4種類とし、各実験条件(全23パターン)につき、1回ずつ測定を行った。

2.2 実験結果と考察

図3に、実験結果の一例として、流出水頭2,100mm、給水量18L/minにおける管内圧力分布と流速分布を示す。流れの様相は、塩ビ管では気泡流となっており、サイホン現象後の管内圧力と流速が概ね定常状態となっていることが読み取れる。また、ポリブテン管では間欠流となっており、サイホン現象以降の管内圧力と流速が脈動していることがわかる。なお、ポリブテン管の給水量12L/min、15L/minにおいては、下位満流で管内充水率が小さかったため、適切な流量の測定が行えなかった。

(1) サイホン負圧

表2にサイホン負圧の算定式(以下、P式という)を示す。各配管モデルにおけるサイホン負圧の実測値とP式より算出した理論値の比較結果を図4に示す。いずれの実験条件においても、実測値と理論値に大きな差異はみられなかった。また、管材での比較をみても、塩ビ管とポリブテン管のサイホン負圧に大きな差異はみられなかった。

(2) 流速

表3に流速の算定式(以下、V式という)を示す。流速の実測値、およびV式より算出した理論値を図5に示す。なお、流速は、流出部においてサイホン負圧が最大値時の流量より算出した。管材を比較すると、ポリブテン管の方が塩ビ管より流速が大きくなる傾向がみられた。これは、管摩擦抵抗係数の差異によるものと考えられる。また、実測値と理論値では、塩ビ管およびポリブテン管ともに若干の差異がみられたが、概ね近似値を示した。合致しない要因としては、管内の充水率や、ポリブテン管の場合は、材質の特性上発生する配管の不陸における空気溜まりにあると推察される。

(3) 流量線図

実測値と、V式の流速値に断面積を乗算し得られた流量を用いて、動水勾配の平方根との関係より流量線図を作成した。各配管モデルの流量線図を図6に示す。図より、ポリブテン管の方が塩ビ管より回帰直線の傾きが大きく、若干であるが排水流量の方が大きくなる傾向がみられた。また、両配管とも実測値と理論値は近似の線図を描き、理論値の有効性を確認した。

表1 実験条件

| 管材 | 流出水頭 [mm] | 管径 [A] | 給水量 [L/min] |
|--------|-----------|--------|-------------|
| 塩ビ管 | 1.0 | 25 | 12 |
| | 1.5 | | 15 |
| | 2.1 | | 18 |
| ポリブテン管 | 2.1 | | 22* |

※: 22L/minはポリブテン管のみ測定

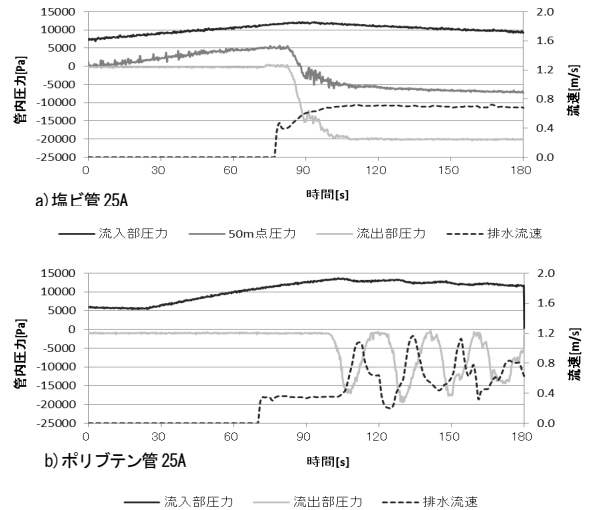


図3 サイホン現象前後の管内圧力分布と流速分布

(流出水頭: 2,100mm, 給水量: 18L/min)

表2 サイホン負圧の算定式

$$P_o = \left\{ \begin{array}{l} (1 + \lambda \frac{L_m}{d} + \sum^m \zeta) \\ (1 + \lambda \frac{L_a}{d} + \sum^a \zeta) \end{array} \right\} \rho g$$

ここに、
 P_o : 流出部の圧力[Pa] H_a : 基準面から水面までの高さ[m]
 Z_m : 基準面から流出部の圧力測定点までの高さ[m]
 λ : 管摩擦係数[] L_m : 流出部の圧力測定点までの管長[m]
 L_a : 管長[m] d : 管径[m] ζ : 局部抵抗係数[]
 H_s : 流出部末端から水面までの高さ[m]
 ρ : 密度[kg/m³] g : 重力加速度[m/s²]

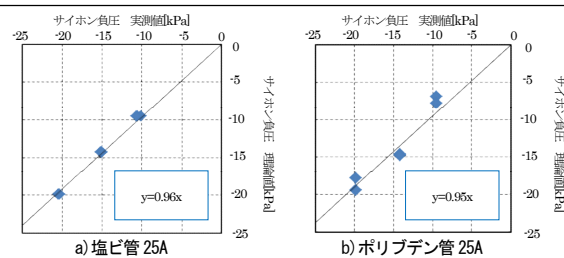


図4 サイホン負圧の実測値と理論値

表3 流速の算定式

$$v = \sqrt{\frac{2gH_s}{\lambda \frac{L}{d} + \sum \zeta + 1}}$$

相当管長 L_e

動水勾配 $I = H_s/L_e$ と $g = 9.8$ を上式に代入すると、
 $v = 4.43\sqrt{I}$

ここに、
 v : 流速[m/s] g : 重力加速度[m/s²] H_s : サイホン水頭[m]
 λ : 管摩擦係数[] L : 全管長[m] d : 管の内径[m]
 ζ : 局部抵抗係数[] L_e : 相当管長[m] I : 動水勾配[]

3. 流れ特性に関する考察

前報の配管条件が水平管長 100m、管径 20A における実験と、本報の水平管長 100m、管径 25A における実験で得られた結果に基づき、塩ビ管とポリブテン管のサイホン排水システムの流れ特性およびサイホン負圧について、検証し考察した。

3.1 サイホン負圧

サイホン負圧と給水量の関係について、図7に管材・管径ごとに整理した図を、また図8に流出水頭ごとに整理した図を示す。これより、サイホン負圧は管材・管径にはあまり影響されず、流出水頭に依りて、サイホン負圧が大きくなることが確認された。

3.2 流れの様相

管内の流れの様相は、下位満流、間欠流、気泡流、満流の4種の形態となることがわかっている(図9)。配管条件ごとの流れの様相を表4に示す。管径20Aにおいては、塩ビ管もポリブテン管も同様の流れの様相を示した。一方で、管径25Aにおいては、塩ビ管とポリブテン管で流れの様相に相違がみられ、給水量12 L/min、15L/minの場合は、ポリブテン管では、サイホン現象の発生しない下位満流となったが、塩ビ管では、気泡流が満流となった。これより、管径25Aにおいては、ポリブテン管の方が塩ビ管より許容される排水流量が大きいと言える。また、流れの様相の全般の傾向として、流出水頭が小さく、給水量が大きくなることにより、満流や気泡流といった管内充水率の高い流れの様相となる傾向がみられた。

3.3 流速と排水流量

流速および排水流量と、給水量との関係をそれぞれ図10と図11に示す。また、図12に排水流量と給水量の関係について、流れの様相ごとに整理した図を示す。流速は、塩ビ管よりポリブテン管が大きくなる結果となった。排水流量も同様に、塩ビ管よりポリブテン管がやや大きくなる傾向がみられた。これは摩擦抵抗係数および内径の差異によることに起因すると考察される。流れの様相における給水量と排水流量の関係は、満流では平均で給水量を排水流量が1.5L/min上回る程度であったが、気泡流では4.5L/min、間欠流では6.0L/min上回り、流れ様相によって異なる結果となった。

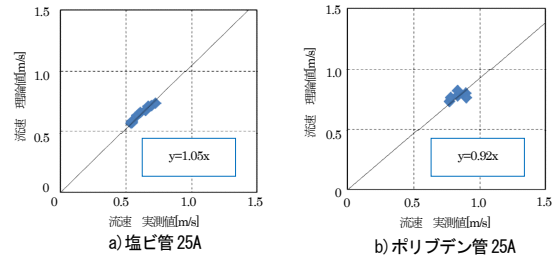


図5 流速の実測値と理論値

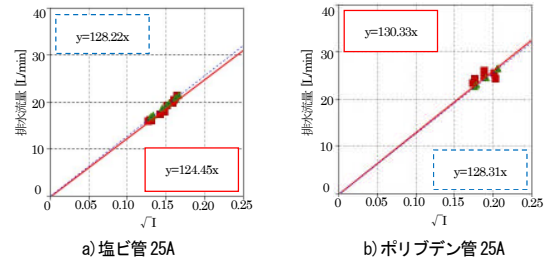


図6 流量線図

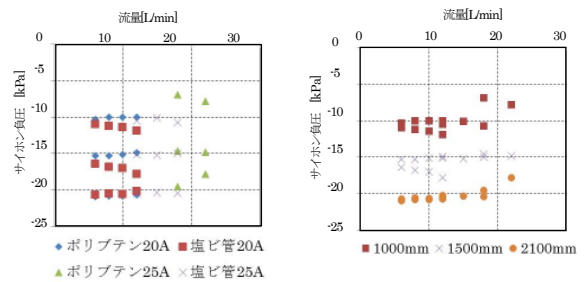


図7 サイホン負圧と給水量 (管材・管径)

図8 サイホン負圧と給水量 (流出水頭)

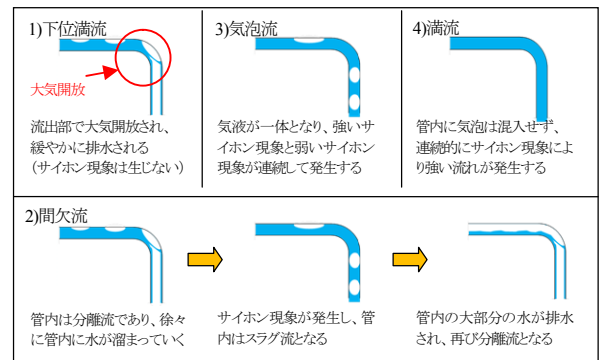


図9 流れの様相のイメージ図

表4 流れの様相 (配管条件別)

| 管径 | 20A | | | | | | 25A | | | | | |
|-------------|-----------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|
| | 塩ビ管 | | | ポリブテン管 | | | 塩ビ管 | | | ポリブテン管 | | |
| 給水量 [l/min] | 流出水頭 [mm] | | | | | | | | | | | |
| | 1,000 | 1,500 | 2,100 | 1,000 | 1,500 | 2,100 | 1,000 | 1,500 | 2,100 | 1,000 | 1,500 | 2,100 |
| 6 | 気泡流 | 気泡流 | 気泡流 | 気泡流 | 気泡流 | 気泡流 | | | | | | |
| 8 | 気泡流 | 気泡流 | 気泡流 | 気泡流 | 気泡流 | 気泡流 | | | | | | |
| 10 | 気泡流 | 気泡流 | 気泡流 | 気泡流 | 気泡流 | 気泡流 | | | | | | |
| 12 | 満流 | 満流 | 気泡流 | 満流 | 満流 | 気泡流 | 気泡流 | 気泡流 | 気泡流 | 下位満流 | 下位満流 | 下位満流 |
| 15 | | | | | | | 満流 | 気泡流 | 気泡流 | 下位満流 | 下位満流 | 下位満流 |
| 18 | | | | | | | 満流 | 気泡流 | 気泡流 | 気泡流 | 間欠流 | 間欠流 |
| 22 | | | | | | | | | | 気泡流 | 間欠流 | 間欠流 |

3.4 流入部の最大水位

流入部の最大水位と排水流量の関係について、図 13 に管材・管径ごとに整理した図を示す。これより、塩ビ管 20A と 25A、ポリブテン管 20A は、最大水位が 110cm 前後となったが、ポリブテン管の 25A については、下限を 140cm とし、最も高い場合で 167cm となった。これはポリブテン管 25A が、20A と比較し、配管を水平に施工する事が難しく、不陸となった箇所に空気が溜まることにより、抵抗になったためと推察される。

3.5 動水勾配 I'

流れの様相の形態は、流出管頂部より流下する以前に決定されると推察し、排水流入器内の水面から水平管までの高さ H_i を排水流入器から流出管頂部までの相当管長 Le' で除した動水勾配 I' に着目した。

動水勾配 I' と排水流量の関係について、図 14 に管材・管径ごとに整理し、図 15 に流れの様相ごとに整理した図を示す。塩ビ管 20A とポリブテン管 20A は、動水勾配 I' が 0.006 から 0.008 に概ね集約する結果となった。塩ビ管 25A は 0.008 から 0.012 となり、ポリブテン管 25A は 0.013 から 0.016 となった。これより、配管径の拡大によって、許容される排水流量が大きくなったとしても、必要となる押し込み圧は、一定以上を確保する必要があることがわかった。ただし、ポリブテン管については、その配管の施工における不陸の状況にも依存すると思われる、今後、知見を深める必要がある。

3.6 流量線図

塩ビ管とポリブテン管の管径 25A と 20A の実測値による流量線図を図 16 に示す。これより、ポリブテン管の方が塩ビ管より回帰直線の傾きが大きく、排水流量が大きい傾向が確認できる。これも流速等と同様に摩擦抵抗係数および内径の差異に起因すると考察される。

4. まとめ

本研究による実験結果を以下に示す。

- 1) 長配管 (100m) の管径 25A の硬質ポリ塩化ビニル管およびポリブテン管のサイホン負圧および流れ特性を示した。
- 2) 管材と管径の違いによる流れ特性への影響について、流れ特性における各パラメーターの傾向の検証し考察した。

今後の検討課題として、流れ特性の傾向については、今回の検証のみでは、N 値が少ないことから、今後の N 値の拡充を図り補填していく必要がある。また本研究で空気溜りを指摘したポリブテン管の不陸による流れ特性への影響の確認を行う。また、運用段階においては、小径管による管閉塞などが生じる可能性があり、配管の清掃方法に関しても検討していく。

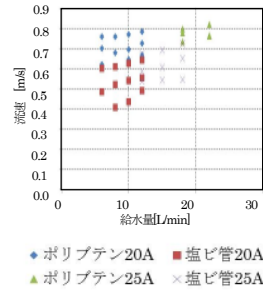


図 10 流速と給水量 (管材・管径)

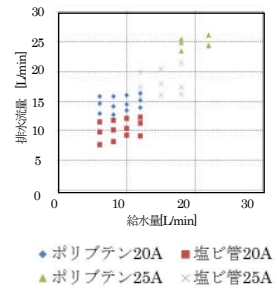


図 11 排水流量と給水量 (管材・管径)

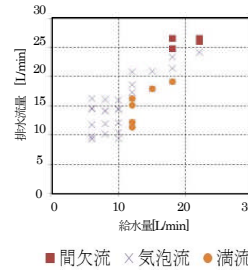


図 12 排水流量と給水量 (流れの様相)

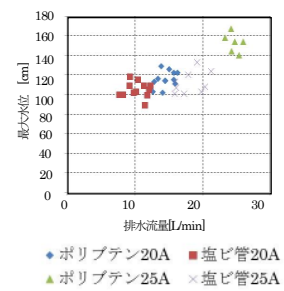


図 13 最大水位と給水量 (管材・管径)

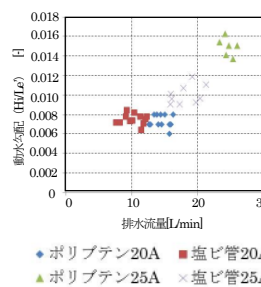


図 14 動水勾配と排水流量 (管材・管径)

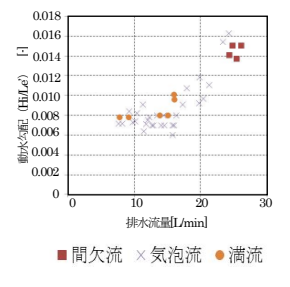


図 15 動水勾配と排水流量 (流れの様相)

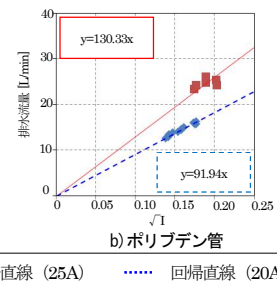
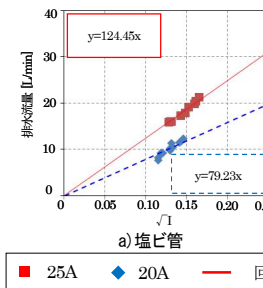


図 16 流量線図 (25A, 20A 実測値)

参考文献

- 1) 稲田朝夫他：サイホン排水システムの流れ特性に関する研究(その 8) 長配管の流れ特性に関する実験, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, pp. 827-830, 2011
- 2) 桑原海他：サイホン排水システムの流れ特性に関する研究(その 10) 長配管における流入部形状と水平管口径検討, 空気調和・衛生工学会学術講演論文集, pp. 133-136, 2013
- 3) 吉浜空広他：サイホン排水システムの流れ特性に関する研究(その 9) 長ポリブテン管の流れ特性に関する実験, 空気調和・衛生工学会学術講演論文集, pp. 1147-1150, 2012
- 4) Kai KUWAHARA 他：A Study on characteristics of filled flow in Siphonic drainage systems Part 11 Flow characteristics and drainage noise in long piping(100m), 空気調和・衛生工学会学術講演論文集, pp. 85-88, 2014