

サイホン排水システムの流れ特性に関する研究  
 (その14) 通気弁設置の長配管における封水損失と流れ特性  
 Studies on Flow Characteristics in Siphonic Drainage Systems

Part 14 Seal Loss and Flow Characteristics in Long piping model installed Air-admittance valve

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 木 村 香桜里 (明治大学大学院) 学生会員 阿久津 健 太 (明治大学大学院)

Takehiko MITSUNAGA \*<sup>1</sup> Kyosuke SAKAUE \*<sup>2</sup> Tsutomu NAKAMURA \*<sup>3</sup>

Tomoo INADA \*<sup>3</sup> Kaori KIMURA \*<sup>2</sup> Kenta AKUTSU \*<sup>2</sup>

\*<sup>1</sup> Yamashita Sekkei Inc. \*<sup>2</sup> Meiji University \*<sup>3</sup> SUGA Co., Ltd

It is important to retain the seal water in general drainage system not only siphonic drainage system in wastewater. However, studies on the retention of seal water is insufficient about siphonic drainage system. In this study, We experimented by using long piping(20m) installed air-admittance valve, and verified about trap seal loss and flow characteristics.

1. はじめに

雨水排水のサイホン排水システムは、欧州にて規格 (EN12056-3:2000) があり、日本国内の建物においても適用事例が多数ある。雑排水においても、すでに様々な器具を対象にフィールド試験が行われており、今後の普及が期待されている。ただし、雑排水システムにおいては、雨水排水と異なり、臭気の逆流防止機構としてトラップ部が非常に重要な役割を果たしている。しかし、トラップの封水の保護については、課題の解決に至っていない<sup>1)</sup>。

既往の研究では、工場での排水システムをモデル化し、硬質ポリ塩化ビニル管 (以下、塩ビ管という) およびポリブテン管を用いて、水平管長 20m と 100m における流れ特性を明らかにした<sup>2)~5)</sup>。ただし、いずれも流れ特性に着目し、封水については破封の有無を確認する程度で留まっている。

そこで本研究では、封水の保護を目的として設置する通気弁をサイホン排水システムに適用した場合における、トラップの封水損失、および管内の流れ特性への影響に着目し、実験および考察を行った。

2. 封水損失と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に、トラップおよび通気弁の外観と仕様を図2と図3に示す。排水流入部の構成は、流入筒径は 150A で統一し、接続するトラップおよび通気

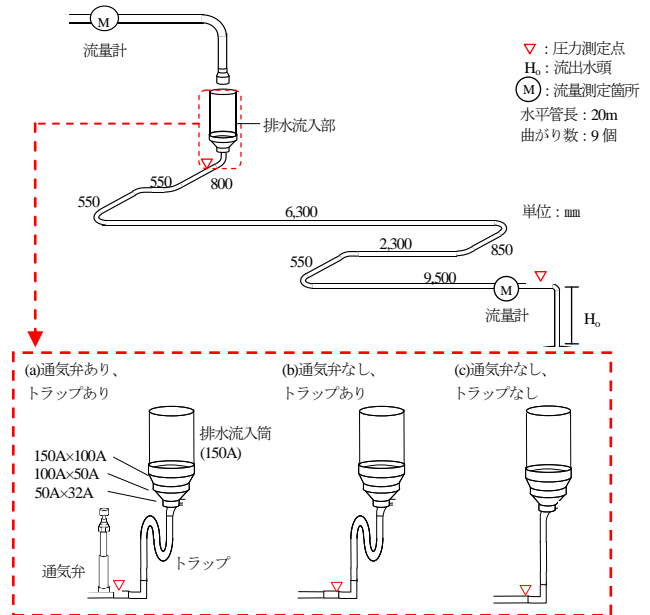
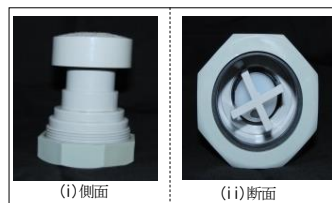


図1 実験装置の構成



口径	40A
種類	逆流機能付き小型通気弁
作動圧力	-35Pa
通気量	7.3[L/s] ※差圧 250Pa 時

図2 通気弁の外観と仕様



口径	30A
種類	Sトラップ (透明)
封水の深さ	60mm
脚断面積比	1.0

図3 トラップの外観と仕様

弁の有無により、(a) ~ (c) の3種類とした。水平管長は 20m、管材は透明な塩ビ管とし、管径は 20A と 25A とした。流水頭は 0.5m、1.0m、1.5m、2.0m の3種類とし、圧力測定点、流入部と流出部の2点とした。排水流量および流速は、流出部に設置した超音波式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。配管構成である排水流入部と流水頭の配管モデルの種類他に、流入部への給水量は 10、12、18、24、30、36 L/min の6種類とした。サンプリング周期は 50Hz、測定時間は 2 min とし、各実験条件につき2回ずつ測定した。

なお、管径 20A においては、予備実験において、流入部からの越流の懸念があったため、流水頭 0.5、1.0m での給水量 24 L/min と、流水頭によらず給水量 30、36 L/min は実験を実施せず、総組合せ数は 114 通りとした。

## 2.2 実験結果と考察

### (1) 管内圧力分布と流速分布

図2に実験結果の一例として、管径 25A、流水頭 1.0m、給水量 24L/min における排水流入部の種類ごとの管内圧力分布と流速分布を示す。(a) ~ (c) いずれの排水流入部の条件においても、排水開始後 25s 程度で、流入部圧力が最大となり、同 30s 過ぎからサイホン起動に伴い、管内流速が約 1.5m/s に大きく上昇する傾向がみられる。その後、流入部圧力、流出部圧力、流速ともに、概ね平衡状態でサイホン起動が連続的に発生していることがわかる。サイホン起動に要する時間、サイホン負圧や管内流速の分布について、排水流入部の通気弁およびトラップの有無による差異はほとんどみられなかった。

### (2) サイホン負圧

流水頭ごとの最大負圧と給水量の関係を図5に示す。サイホン起動が発生していない給水量 10L/min かつ最大負圧が概ね 0 kPa の場合を除き、いずれの給水量においても概ね流水頭の水頭圧に近似する最大負圧を示しており、流水頭が最大負圧に強く影響することが確認された。

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6に示す。通気弁の有無による差異はみられず、管径での比較においても、20A と 25A でのサイホン負圧の差異はほとんどみられなかった。また、実測値と理論値の比較においても有意な差異はみられなかった。これより、通気弁の有無によるサイホン負圧への影響は軽微であると考えられる。なお、理論値は排水流入部により合計の抵抗係数が若干異なるが、その影響は微小なため、代表して通気弁およびトラップともに設置時の理論値を比較対象とした。

表1 実験条件

CASE 名称の付け方	管径 [A]	流入部形状	流水頭 [m]	給水量 [L/min]
CASE-20-通無・ト無-0.5-10	20 25	トラップ無し 通気弁無し トラップ有り 通気弁無し トラップ有り 通気弁有り	0.5 1.0 1.5 2.0	10
①サイホン水平管の管径[A]				12
②流入部形状				18
③流出水頭[m]				24
④給水量[L/min]				30
				36

※共通条件 管材：硬質ポリ塩化ビニル管（透明）, 水平管長 20m

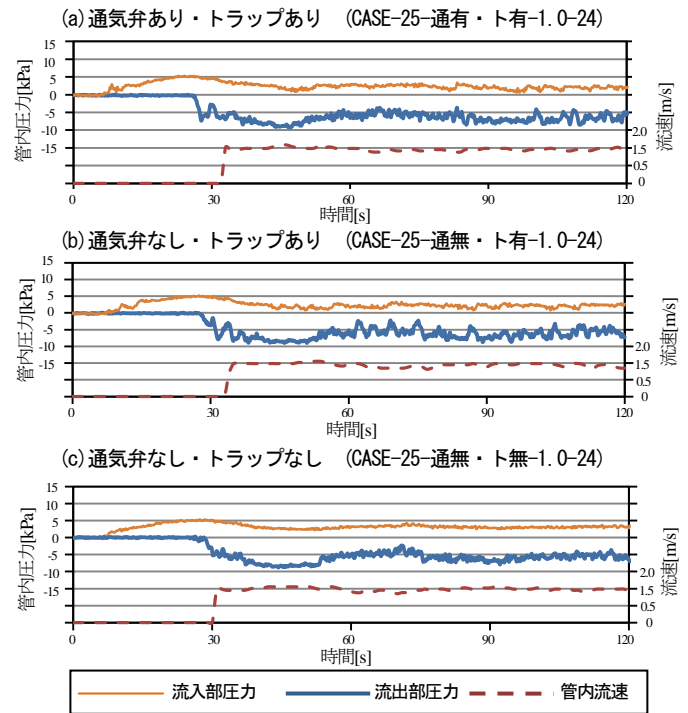


図4 管内圧力分布と流速分布（排水流入部の種類別）

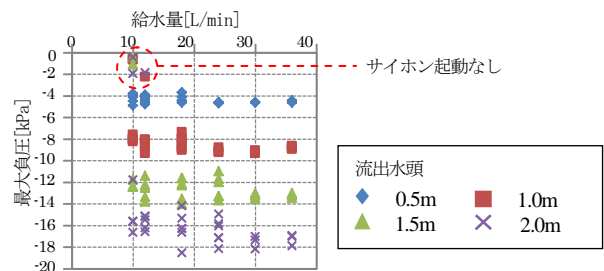


図5 サイホン負圧と給水量（流水頭別）

表2 サイホン負圧の算定式(P式)

$$P_o = \left\{ (H_a - Z_m) - \frac{(1 + \lambda \frac{L_m}{d} + \sum \zeta)}{(1 + \lambda \frac{L_a}{d} + \sum \zeta)} H_s \right\} \rho g \quad \dots (1)$$

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]  
 $\lambda$ : 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]  $\zeta$ : 局部抵抗係数[-]  
 $H_s$ : 流出部末端から水面までの高さ[m]  
 $\rho$ : 密度[kg/m<sup>3</sup>]  $g$ : 重力加速度[m/s<sup>2</sup>]

### (3) サイホン起動時の管内平均流速

排水流入部の種類別のサイホン起動時の内平均流速と給水量の関係を図7に示す。これより、平均流速は、排水流入部の形状の相違による影響はみられなかった。給水量 10~18L/min の相対的に低流量の条件においては、流れ様相が下位滴流や間欠流が多く、平均流速は約 0.4~1.4m/s の広範囲に分布した。なお、平均流速は、流出部の流量計よりサイホン負圧時の平均流量と断面積の関係より算出した。

表3にサイホン起動時の流速の算定式（以下、V式という）を示す。また通気弁の有無ごとの流速の実測値、およびV式より算出した理論値の比較を図8に示す。管径 20A、25A とともに実測値より理論値の方が平均流速の大きくなる傾向がみられたが、概ね近似していた。また通気弁の有無による流速の差異はみられず、その影響は確認されなかった。

### (4) 流量線図

実験値と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。管径 20A、25A および通気弁の有無による流量線図を図9に示す。通気弁の有無での結果は概ね近似しており、有意な差異はみられなかった。これより、通気弁の有無による流量への影響は軽微であると考えられる。また、回帰係数が管径 20A と 25A では、その面積比に応じて異なる結果となった。

### (5) 流れの様相

流れの様相を実験条件別の一覧を表4に、流れの様相のイメージ図を図10に示す。実験条件で通気弁の有無以外の条件が同一の場合において、事前予想より通気弁あり時、管内がサイホン起動により著しく負圧となるため、通気弁なし時と比較して、通気弁からのエアの流入量が増加し、気泡流や間欠流が発生しやすいと推察していた。しかし、結果としては流れ様相は通気弁の有無による違いはほとんどみられなかった。これはサイホン起動時の通気弁設置部近辺の流入部圧力は正圧となることが要因であると考えられる。通気弁の有無による流れ様相への影響はほとんどみられなかった。

### (6) 封水損失

管径別での封水損失と給水量の関係を図11に示す。本件の供試トラップの封水の深さが 60 mm であることから、封水損失が 60 mm 以上においては、破封となり、雑排水の排水システムとしては不相当となる。通気弁なしの場合をみると、封水損失が大きく、管径 20A ではすべての給水条件において完全破封している。また管径 25A においても 12L/min 以上の給水条件の場合、半水 (30 mm) 以上の封水損失をする結果となった。一方、通気弁ありの場合は、封水損失が著しく低減している。

ただし、管径 20A 給水量 18L/min 以上、管径 25A 給水量

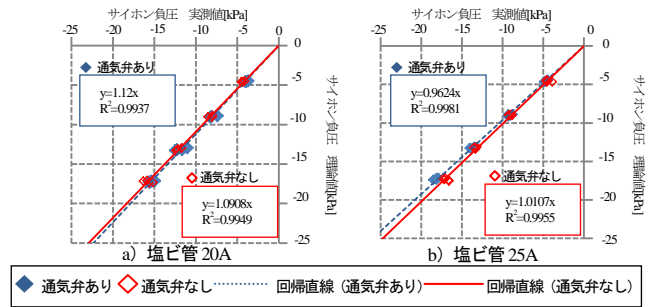


図6 通気弁の有無によるサイホン負圧

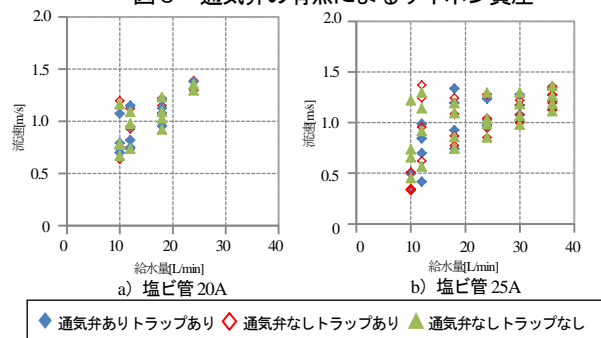


図7 サイホン起動時の管内平均流速と給水量

表3 流速の算定式 (V式)

$$v = \sqrt{\frac{2gH_s}{\lambda \frac{l}{d} + \sum \zeta + 1}} \quad \dots\dots (2)$$

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、

$$v = 4.43\sqrt{I} \quad \dots\dots (3)$$

ここに、  
 $v$ :流速[m/s]  $g$ :重力加速度[m/s<sup>2</sup>]  $H_s$ :サイホン水頭[m]  
 $\lambda$ :管摩擦係数[-]  $l$ :全管長[m]  $d$ :管の内径[m]  
 $\zeta$ :局部抵抗係数[-]  $L_e$ :相当管長[m]  $I$ :動水勾配[-]

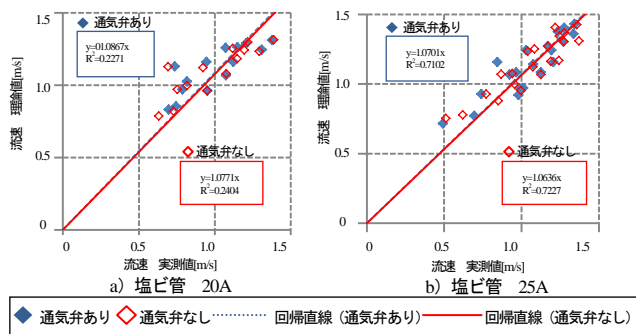


図8 通気弁の有無によるサイホン起動時の管内平均流速

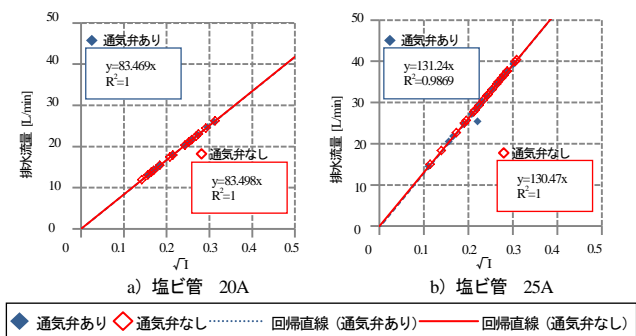


図9 通気弁の有無による流量線図

表4 流れの様相 (実験条件別)

管径	20A								25A							
	通気弁あり				通気弁なし				通気弁あり				通気弁なし			
給水量 [L/min]	0.5	1.0	1.5	2.0	0.5	1.0	1.5	2.0	0.5	1.0	1.5	2.0	0.5	1.0	1.5	2.0
10	気泡流	間欠流	間欠流	間欠流	気泡流	間欠流	間欠流	間欠流	下位満流	下位満流	下位満流	下位満流	下位満流	下位満流	下位満流	下位満流
12	気泡流	間欠流	間欠流	間欠流	気泡流	気泡流	気泡流	間欠流	間欠流	間欠流	間欠流	下位満流	間欠流	間欠流	間欠流	間欠流
18	満流	気泡流	気泡流	気泡流	満流	気泡流	気泡流	気泡流	気泡流	間欠流	間欠流	間欠流	気泡流	間欠流	間欠流	間欠流
24			満流	気泡流				満流	満流	気泡流	気泡流	気泡流	間欠流	気泡流	気泡流	間欠流
30										満流	気泡流	気泡流	気泡流	満流	気泡流	気泡流
36										満流	満流	満流	気泡流	満流	満流	気泡流

30 L/min 以上においては、通気弁ありにおいても、完全破封、もしくはそれに近い封水損失をする結果となった。これは、本配管モデルにおいて、トラップ流出側の立ち下がり部に通気弁が設置されていないため、給水量が大きく管内が満流の流れの場合では、立ち下がり部で流下する排水の誘因作用により自己サイホン作用が発生したと考察され、改善案のような位置に通気弁を設置する必要があったと考えられる (図 12)。

4. まとめ

本研究により、得られた知見を以下に示す。

- 1) 通気弁の有無による、サイホン負圧、管内流速、流量、および流れ様相への影響はほとんどない。
- 2) 通気弁を設置することにより、封水損失量を減少させることができ、雑排水におけるサイホン排水システムにおいて、通気弁の設置が非常に有効であると考察される。
- 3) 通気弁ありの場合においても、給水量によって、封水損失が大きくなる場合がある。その要因は通気弁の位置によるものと考えられる。

今後の検討課題として、今回提案した通気弁の設置位置の改善によって、通気弁の封水保護性能にどの程度の差異が生じるのか検証を行う必要がある。

参考文献

- 1) 小池道広他：集合住宅対応サイホン排水システムの実用化に関する研究(第1報)従来トラップを用いた排水能力の検証, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, pp. 727-730, 2007
- 2) 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
- 3) 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
- 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
- 5) 光永威彦他：サイホン排水システムの流れ特性に関する研究(その13) 管径 25A を用いた長配管 (100m) における流れ特性, 空気調和・衛生工学会学術講演論文集, pp. 129-132, 2015

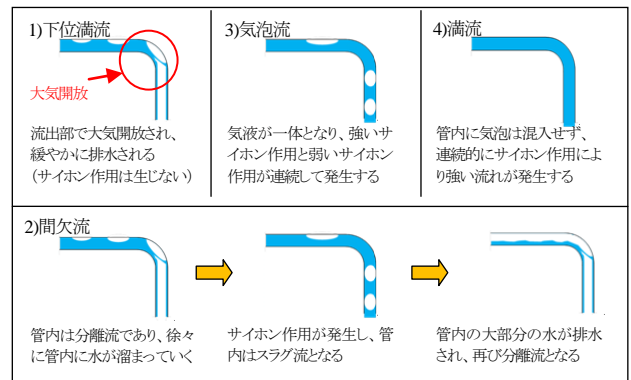


図 10 流れの様相のイメージ

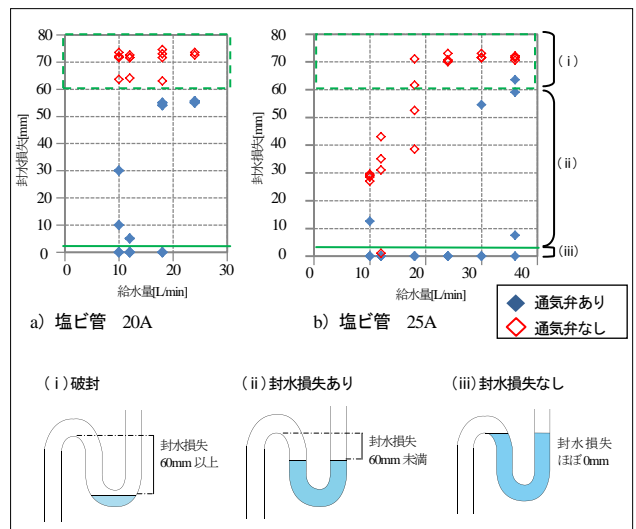


図 11 封水損失と給水量

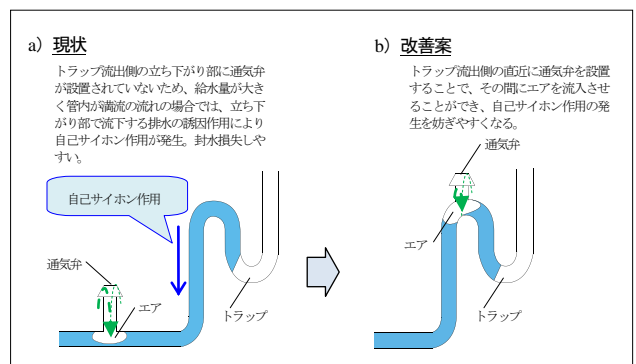


図 12 通気弁の設置位置