

極小径サイホン排水に関する研究
 (その 3) 小型パッケージユニット空調機ドレンへの適用
**Studies on Flow Characteristics of Siphonic Drainage Systems
 with Extra Small Diameter Piping**
Part 3 Apprication to Drain of Small Packaged Air Conditioner

学生会員 ○木 村 香桜里 (明治大学大学院) 技術フェロー 坂 上 恭 助 (明治大学)
 技術フェロー 稲 田 朝 夫 (須賀工業) 正 会 員 岡 内 繁 和 (鹿島建設)
 正 会 員 光 永 威 彦 (山下設計) 学生会員 阿久津 健 太 (明治大学大学院)

Kaori KIMURA^{*1} Kyosuke SAKAUE^{*1} Tomoo INADA^{*2}

Shigekazu OKAUCHI^{*3} Takehiko MITSUNAGA^{*4} Kenta AKUTSU^{*1}

^{*1} Meiji University ^{*2} SUGA Co., Ltd. ^{*3} Kajima Corp. ^{*4} Yamashita Sekkei Inc.

The use of the siphonic drainage system makes it possible to drain with no slope, and to step over other pipes. In the previous report, we carried out the experiment on the air conditioning drain using siphonic drainage system. In this paper, we conducted experiments with two types of flow rate, and two types of piping models, horizontal piping model and the model which assumed to step over other pipes. And we compared these results with theoretical results.

1. はじめに

空調機のドレン排水においては、従来の重力式排水システムによる配管では接続箇所が多く、漏水の恐れがあり、勾配を必要とするため、設計自由度が低いなどのデメリットがある。そこで、管内を満流にし、生じた負圧を搬送力とするサイホン排水システムの適用が期待されている。サイホン排水システムにおいては、可とう管を利用することによって接続部を減らせるので、漏水のリスクを低減でき、無勾配で排水が可能のために設計の自由度も向上する。また、ドレン排水の流量に対応した極小径配管を用いることにより、省スペース化でき、他配管などを跨いで配管することも可能である。

既往の研究^{1), 2)}では、水平管長を 10m、流出水頭を 1,500mm、曲がりの数を 5箇所とした基本配管および跨ぎ配管モデルを作成し、ドレンアップポンプを用いた場合の排水に適した管径 (8A、10A) について調べ、理論値との比較と流量線図の作成を行った。

本研究では、天吊型パッケージユニット空調機 (以下、天吊り型 PAC という) において、実測したドレン水量に基づいた給水量を用いて、基本配管および跨ぎ配管モデルにおいて排水実験を行い、理論値との比較を行った。

2. ドレン水量の測定

2.1 実験目的

天吊り型 PAC (写真 1) で発生するドレン水量を実測し、温湿度から算出したドレン水量の理論値と比較を行

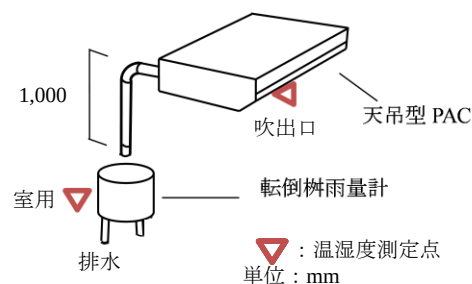


図 1 実験装置の概要

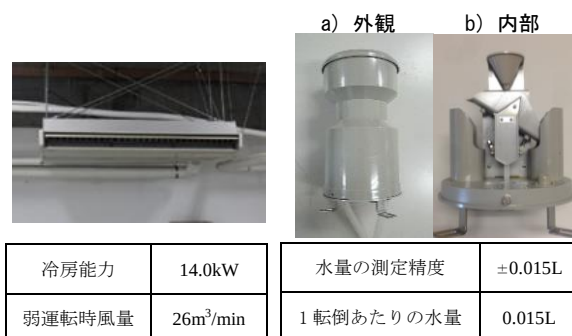


写真 1 天吊型 PAC

写真 2 転倒樹雨量計

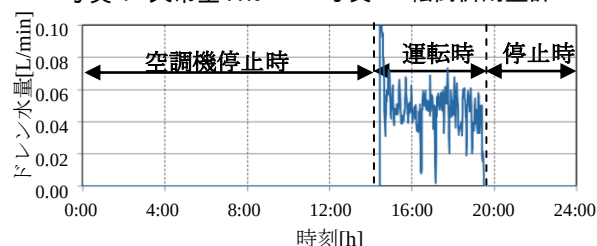


図 2 温湿度計によるドレン水量の理論値 (2015 年 8 月 12 日)

い、ピーク時のドレン水量を調べた。

2.2 実験装置

本実験における実験装置の概要を図1に示す。また、実験で使用した転倒枥雨量計を（写真2）に示す。

2.3 実験方法

空調機から排出されたドレン水を雨量計内に落とし、ドレン水量の測定を行った。また、空調機の吹出温湿度と室内温湿度の測定を行った。測定間隔はいずれも1分間に1回とした。測定期間は、7月28日から9月12日のうち27日間で測定を行った。温湿度計で測定した2点の温度・湿度よりドレン水量の理論値を算出し、雨量計で実測したドレン水量との比較を行った。

2.4 結果と考察

測定を行った期間において、空調機の冷房運転時のドレン水量の平均流量は約0.04～0.08 L/minであった。一例として、8月12日（14:30-19:45の運転において19L）における空調機のドレン水量の理論値を図2に、実測値および室温・湿度を図3に示す。1日のドレン水発生量は図3中の①で示す、まとまったドレン排水は実測値からも確認できたが、図中の②で示す少量のドレン排水は実測では確認できなかった。このとき、理論値ではドレン水の発生がみられないことから、ピーク時に発生したドレン水がドレンパン等に残っており、少量ずつ排水されたと考えられる。また、実測値より、ピーク時の平均流量は約0.06L/minであることがわかった。

3. 極小径配管の流れ特性に関する排水実験

3.1 実験目的

天吊り型 PAC のピーク時の平均流量（0.06L/min）を用いて排水実験を行い、流れ特性を調べた。

3.2 実験概要

(1) 実験装置

空調ドレン配管における配管モデル（基本配管、跨ぎ配管）の概要を図4に示す。管材は透明塩化ビニルチューブ（以下、塩ビチューブという）を用いて、水平管長を10m、曲りの数を5箇所とし、管径を4、6、8、10A、流水頭を1,200、1,300、1,400、1,500mmに可変できるようにした。跨ぎ配管は、流入部から6.25m点に1箇所の跨ぎを設置した。圧力測定点は2点とし、流入部、流出部において測定を行った。流入部には点滴を設置して給水量の調節を行った。また、排水流速については、管内流量が微量のため、流量計や排水特性枥を用いた算出は困難である。そこで図5に示すように、簡易測定としてビデオカメラを用いて1秒間における水位変動を目視で確認し、瞬時流量を算出した。また、瞬時流量および管径の断面積を用いて流速を算出した。

(2) 実験条件

実験条件を表1に示す。給水量は、実測を行った空調

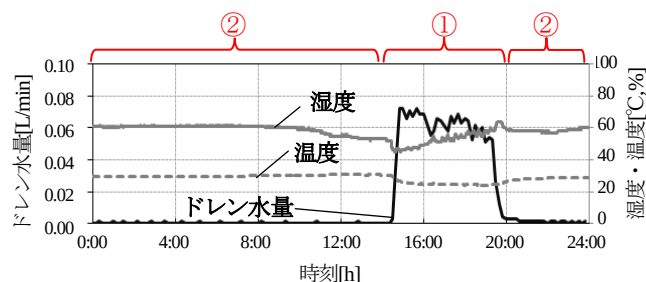


図3 ドレン水量・室内温湿度の実測値（2015年8月12日）

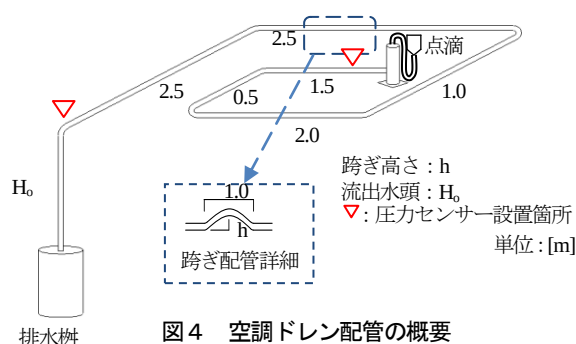


図4 空調ドレン配管の概要

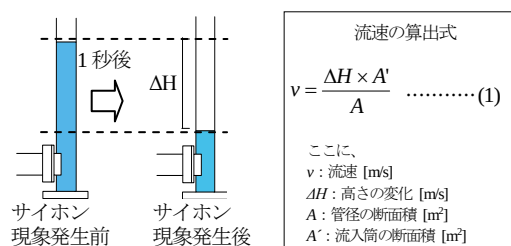


図5 最大流速の算出方法

表1 実験条件

管径 [A]	給水量 [L/min]	基本配管	跨ぎ配管	
		流水頭 [mm]	流水頭 [mm]	跨ぎの高さ [mm]
4	0.06	1,200	1,500	100
6		1,300		200
8	0.003※	1,400		300
10		1,500		

※ 管径10A、基本配管、流水頭1500mmの場合のみ

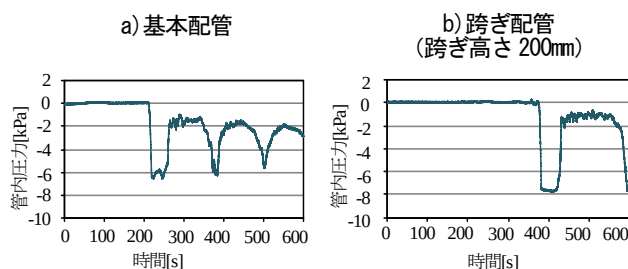


図6 基本配管・跨ぎ配管における
流出部付近の管内圧力変動（管径4A、流水頭1,500mm）

機（天吊り型 PAC）のピーク時のドレン水量を想定した 0.06L/min と、管径 10A、流水頭 1,500mm、基本配管の場合のみ、ドレン水が少ない場合を想定し、0.003L/min とした。また、基本配管においては、流水頭を 1,200、1,300、1,400、1,500mm の 4 種類とし、跨ぎ配管においては流水頭を 1,500mm、跨ぎの高さを 100、200、300mm の 3 種類とした。サンプリング周波数を 50Hz、流入筒に給水された時点から 10 分間測定し、各実験条件において 2 回測定を行った。また、毎回測定終了後に自転車用ポンプを用いて管内の残水を排出した。

3.3 実験結果と考察

(1) 流れの様相

実験結果の一例として、流水頭 1,500mm、管径 4A、基本配管および跨ぎ配管（200mm）における流出部付近の管内圧力変動を図 6 に示す。管径を 4、6A とした場合は、いずれの条件においてもサイホン現象が発生したが管径を 8、10A とした場合は、サイホン現象は発生しなかった。給水量を 0.003L/min とした場合はサイホン現象の発生はみられなかったが、排水は可能となった。

サイホン現象の発生中は常にエアが混入しているが、エアの混入時の様相は、小径配管の場合は配管の上部にわずかなエアが混入するのに対し、極小径配管では水とエアが分離する（図 7）。これは管径が小さいため表面張力の影響が顕著にみられたと考察される。また、エア部分に対してもサイホン負圧がかかっているため、サイホン現象が発生していると考えられる。

(2) 最大負圧

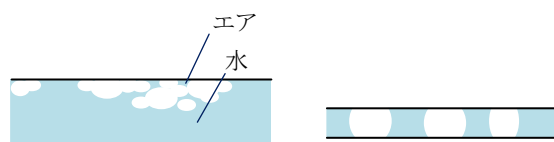
基本配管および跨ぎ配管における最大負圧を表 2 に示す。流水頭が小さくなるとサイホン水頭が小さくなり、最大負圧が小さくなる傾向がみられた。跨ぎ配管の場合は、基本配管よりも最大負圧が大きい傾向がみられた。これは、跨ぎの頂部を流入水位としてサイホン現象が発生しているためと考えられる。

(3) 最大流速

基本配管および跨ぎ配管における最大流速を表 3 に示す。流水頭が小さくなると流速は小さくなった。また、最大負圧と同様に、跨ぎ配管の場合は基本配管よりも流速が大きくなる傾向がみられた。

表 4 各種抵抗係数の算出式

・摩擦抵抗係数の算出式	
$P_{rf} = \lambda \frac{L}{d} \times \left(\frac{1}{2} \rho v^2 \right)$	(2)
・局部抵抗係数の算出式	
$P_{rl} = \zeta \times \left(\frac{1}{2} \rho v^2 \right)$	(3)
・相当管長の算出式	
$L_e = \zeta \times \left(\frac{d}{\lambda} \right)$	(4)
ここに、 P_{rf} : 圧力損失 [Pa] λ : 摩擦抵抗係数 [-] L : 管長 [m] d : 管径 [m] ρ : 密度 [kg/m ³] v : 流速 [m/s] ζ : 局部抵抗係数 [-] L_e : 相当管長 [-] v : 流速 [m/s]	



a) 小径配管 (20、25A) b) 極小径配管 (4~10A)

図 7 長配管および極小径配管のエアの混入状況

表 2 基本配管および跨ぎ配管における最大サイホン負圧

流水頭 [mm]	最大負圧 [Pa]		跨ぎ高さ [mm]	最大負圧 [Pa]	
	管径 4A	管径 6A		管径 4A	管径 6A
1,200	-4,600	-7,600	100	-7,700	-9,100
1,300	-5,100	-8,300	200	-7,800	-9,100
1,400	-5,200	-8,900	300	-7,700	-9,300
1,500	-6,600	-8,500	※ 跨ぎ配管の流水頭 1,500mm		

表 3 基本配管および跨ぎ配管における最大流速

流水頭 [mm]	最大流速 [m/s]		跨ぎ高さ [mm]	最大流速 [m/s]	
	管径 4A	管径 6A		管径 4A	管径 6A
1,200	0.30	0.21	100	0.32	0.28
1,300	0.32	0.26	200	0.33	0.21
1,400	0.38	0.34	300	0.36	0.59
1,500	0.29	0.43	※ 跨ぎ配管の流水頭 1,500mm		

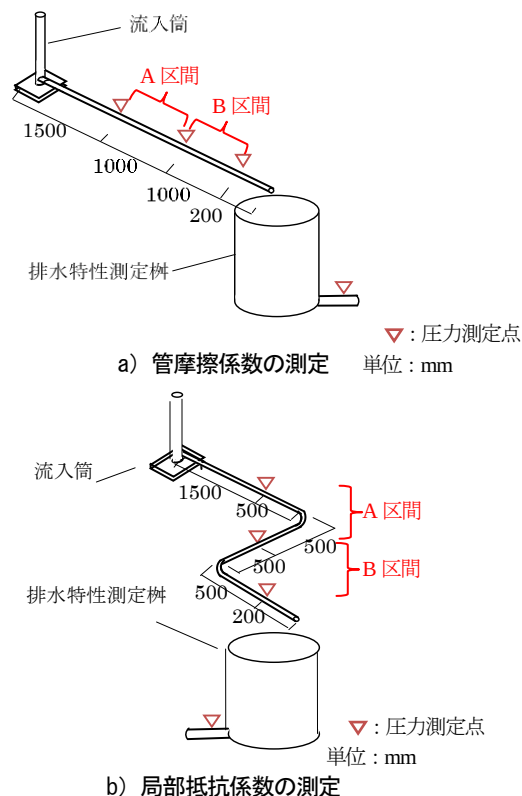


図 8 塩ビチューブの抵抗係数の測定における配管モデル

4. 管摩擦係数および局部抵抗係数の測定

4.1 実験目的

塩ビチューブの各種抵抗係数を測定して理論値を算出し、排水実験における実測値との比較を行った。

4.2 実験概要

(1) 実験装置

配管モデルを図8に示す。管材は塩ビチューブ(10A)とし、水平管長は3.7mとした。また、曲がりの部分においては、配管上の圧力測定点間の500mm点を中心としてR=100、200、300、400とした。圧力測定点は流入筒から1,500mm点、2,500mm点、3,500mm点、排水特定桝の4点とし、1,500-2,500mm点間(以下、A区間という)と2,500-3,500mm点間(以下、B区間という)の2区間で圧力損失を測定し、それらの平均値を用いて抵抗係数の算出を行った。

(2) 実験条件

流入筒の水位が約250mmになるように給水を行い、管内が満流となった時点を測定開始点とし、各実験条件において測定時間を30秒、測定回数を3回とした。

4.3 実験結果と考察

実験により得られた、塩ビチューブの管摩擦係数を表5に、局部抵抗係数を表6に示す。管摩擦係数は0.063、局部抵抗係数はそれぞれ約5~7となった。また、相当管長がR=100の場合で1.12m、R=200以上の場合はおおむね1mとなっていることから、R=200以上の曲がりによる影響は少ないと考えられる。

4.4 理論値との比較

各管径における最大負圧の実測値と表7のサイホン負圧の算定式³⁾より算出した理論値との比較および、最大流速の実測値と表8の流速の算定式⁴⁾より算出した理論値との比較を図9に示す。最大負圧においては理論値より実測値が大幅に小さくなった。これは、配管内に混入したエアがクッションとなり負圧を吸収したためと考えられる。また、流速の決定係数が0.83、0.72と小さくなったが、これは流速の測定方法が目視であるため、実測値にばらつきが生じたと考えられる。

5. まとめと今後の課題

本研究より、以下の知見を得た。

- 1) 給水量0.06L/minのとき、管径を4、6Aとした場合は、サイホン現象が発生し、8、10Aの場合は発生しなかった。
- 2) 跨ぎ配管の場合は基本配管よりも最大負圧・最大流速ともに大きくなる傾向がみられた。
- 3) 塩化ビニルチューブの管摩擦係数は0.063、R=100の場合の相当管長は1.12mとなった。

今後の課題として、流入部の形状の検討、および理論値を算出する際の極小径配管内の表面張力による抵抗を考慮する必要がある。

表5 塩ビチューブにおける管摩擦係数

管摩擦係数	区間 A	区間 B	平均値
圧力損失[Pa]	561.8	520.4	541.1
管摩擦係数[-]	0.065	0.060	0.063

表6 塩ビチューブにおける局部抵抗係数

曲率半径 R	100	200	300	400
局部抵抗係数	7.03	5.46	6.08	5.24
相当管長 [m]	1.12	0.87	0.97	0.83

表7 サイホン負圧の算定式

$$P_o = \left\{ (H_a - Z_m) - \frac{(1 + \lambda \frac{L_m}{d} + \sum \zeta) H_s}{(1 + \lambda \frac{L_a}{d} + \sum \zeta)} \right\} \rho g \quad \dots (5)$$

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]

表8 流速の算定式

$$v = \frac{\sqrt{2gH_s}}{\sqrt{\lambda \frac{L}{d} + \sum \zeta + 1}} \quad \dots (6)$$

相当管長 L_e

動水勾配 $I = H/L_e$ と $g = 9.8$ を式(2)に代入すると、
 $v = 4.43 \sqrt{I} \quad \dots (7)$

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]

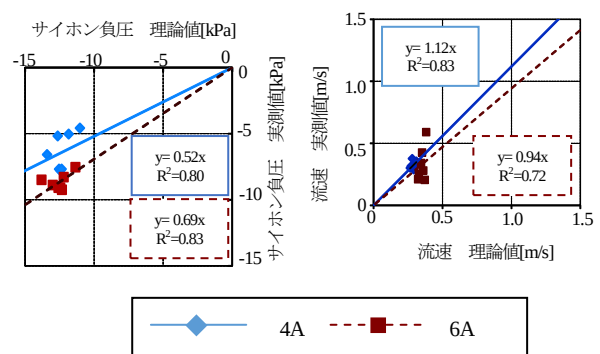


図9 最大負圧・流速における実測値及び理論値

参考文献

- 1) 岡内繁和他: 極小径サイホン排水に関する研究-空調ドレン排水のサイホン排水化, 空気調和・衛生工学会学術講演論文集, pp. 165-168, 2014
- 2) 木村香枝里他: 極小径サイホン排水に関する研究(その2)-流量線図とサイホン起動時間, 空気調和・衛生工学会学術講演論文集, pp. 117-120, 2015
- 3) 田中祐樹他: サイホン排水システムの流れ特性に関する研究(その7) 立ち上りエルボの排水特性およびサイホン負圧に関する実験, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, pp. 751-754, 2010
- 4) 光永威彦他: サイホン排水システムに関する実験的研究(その5)CFDを用いたサイホン排水配管の流れ特性および流速式の検討, 空気調和・衛生工学会学術講演論文集, pp. 1563-1566, 2008