

サイホン排水システムの洗濯機排水への適用に関する実験 (その2) 自封式トラップの適用

A study on application of Siphonic Drainage Systems to washing machine drainage Part2 A application of self-sealing trap

学生会員 ○植村 悠太郎 (明治大学大学院) 技術フェロー 坂上 恭助 (明治大学)
正会員 南雲 一郎 (ジャパソエンジニアリング) 正会員 光永 威彦 (山下設計)
学生会員 木村 香桜里 (明治大学大学院)

Yutaro UEMURA*¹ Kyosuke SAKAUE*¹ Ichiro NAGUMO*²

Takehiko MITSUNAGA*³ Kaori KIMURA*¹

*¹ Meiji University *² JAPAN-Engineering Co.,Ltd *³ YAMASHITA SEKKEI INC.

Washing machines have been spread to almost homes, and become a necessity of life. A washing machine has been installed in a dressing room next to a bathroom, and an extended hose for drain has been used through the bathroom because drainage pipes of washing machines have not been installed in apartments built in 1970 before. We investigated the influence on flow characteristics by a self-sealing trap which connected for prevention of self destruction and a detergent discharge.

1. はじめに

1970年以前に建設された集合住宅では、洗濯機排水用の排水管は設けられておらず、洗濯機の排水用ジャバラホースを浴室まで延長し、浴室を介した排水を行っている。しかし、そのジャバラホースは、脱衣所において障害となり、漏水の原因となっている。

配管勾配を要する従来式の排水管を設けることは困難である。そこで、小口径かつ無勾配・跨ぎ配管が可能なサイホン排水システムを適用することで、改善することが可能と考えられる。

既往の研究¹⁾では、清水・洗剤排水の流れ特性及び排水時間を明らかにした。ただし、いずれの実験においてもトラップを設置しておらず、もし設置した場合においても水封式トラップを設置した場合は、サイホン現象により破封が生じる可能性が高い。

本研究では、流入部に水封式ではなく、自封式トラップ(以下、供試トラップという)を設置した場合の管内圧力特性および流れ特性を調べた。

2. 自封式トラップの局部抵抗係数

2.1 実験目的

サイホン排水システムにおけるサイホン負圧および流速の理論値を算出するために、必要なパラメータとして、供試トラップの局部抵抗係数を求める。

2.2 自封式トラップの概要

供試トラップの断面形状を図1に示す。供試トラッ

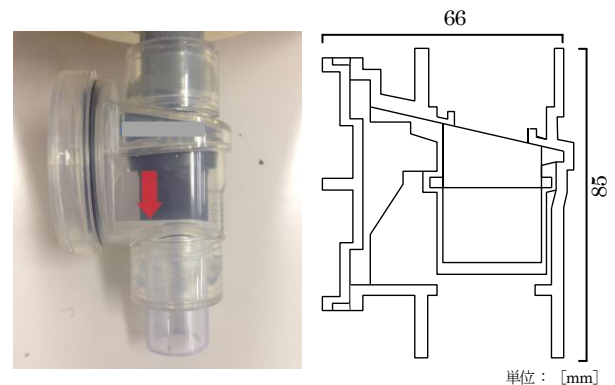


図1 供試トラップの断面形状

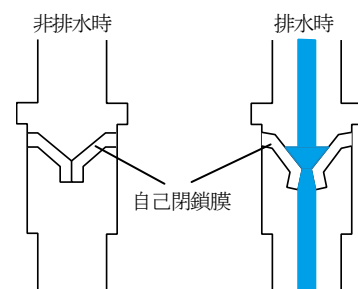


図2 非排水時・排水時の自己閉鎖膜

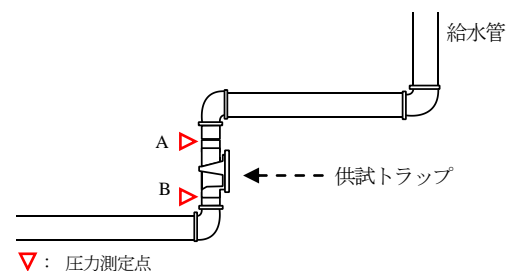


図3 実験装置

は、封水を要さないトラップで、非排水の場合、自己閉鎖膜で密閉されているが、排水時は、自己閉鎖膜が開き排水が行われる（図2）。

2.3 実験装置

実験装置を図3に示す。管材は透明の硬質ポリ塩化ビニル管（以下、塩ビ管という）とし、管径は20Aとした。圧力測定点は実験装置においてA、B点の2点とし、管内流量は10、15、20L/minの3通りとした。

2.4 実験結果と考察

実験装置におけるAB間の差圧を測定し、供試トラップによる圧力損失を求めた。また、表1の式(1)より局部抵抗係数は、各給水量時の平均値より約6.82となった（表2）。

3. 自封式トラップ設置時の管内圧力特性と流れ特性

3.1 実験目的

供試トラップの設置により洗濯機排水におけるサイホン排水システムにどのような影響を与えるのかを確認するため、管内圧力特性および流れ特性を調べた。

3.2 実験概要

(1) 実験装置

実験装置の概要を図4に、供試洗濯機は前報と同様のものを使用した。管材は塩ビ管とし、管径は20Aとした。水平管長は4,000mmとし、流水水頭は1,000、1,500mmの2種類、洗濯機の床面からの高さは50、100、150mmの3種類とした。供試トラップを設置する場合は、防水パンと水平管をつなぐ立て管に設置した。圧力測定点は流出部のエルボ付近、排水特性測定槽の2点とした。

(2) 供試洗剤

供試洗剤は、市販されている粉末洗剤A、B、Cの3種類を対象に気泡力を測定することにより決定した。供試洗剤の気泡力の比較を表3に示す。気泡力に大きな差異はなかったため、洗剤Aを供試洗剤とした。供試洗剤Aの仕様を表4に示す。なお、洗剤の気泡力の測定方法²⁾を、図5に示す。標準使用量0.6倍の試料溶液（粉末洗剤を標準使用量0.6倍に薄めた溶液）30ccを内径25mm×長さ200mmの試験管に入れ、上下に20cmのストロークを15秒間に50回振り、1分後に気泡力を測定した。

(3) 実験方法

実験条件を表5に示す。使用水量をうずまき式では15、40、55L、ドラム式では11、16、20Lの各3種類、洗濯機の床面からの高さを50、100、150mmの3種類、流水水頭を1,000、1,500mmの2種類とした。洗剤量は洗剤の使用量の目安（水55Lあたり47g）に従い、1Lあたり0.85gを標準とした。各使用水量に対する洗剤量を表6に示す。洗剤を洗濯機の水槽に入れてから1分間攪拌し泡立て、脱水開始時を測定開始点とし、3分間（サン

表1 局部抵抗係数の算出式

$$P_f = \zeta \times \left(\frac{1}{2} \rho v^2 \right) \quad \dots \dots \dots (1)$$

ここに
 P_f : 圧力損失[Pa] ρ : 密度[kg/m³] v : 流速[m/s] ζ : 局部抵抗係数[-]
 v : 流速[m/s]

表2 供試トラップにおける圧力損失および局部抵抗係数

自封トラップの諸特性値	給水量[L/min]		
	10	15	20
圧力損失[Pa]	920	1,610	3,050
局部抵抗係数[-]	6.80	6.75	6.90

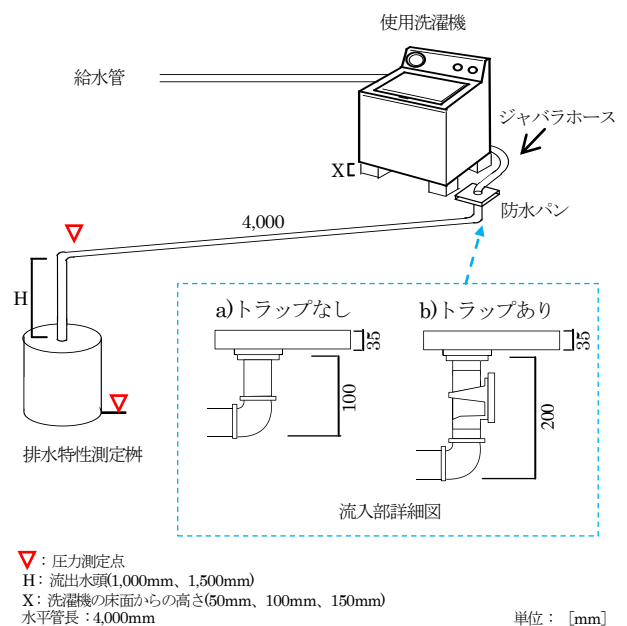


図4 実験装置

表3 供試洗剤の気泡力の比較

供試洗剤	A	B	C
気泡力[mm]	59	58	53

表4 供試洗剤Aの仕様

用途	綿・麻・合成繊維用
液性	弱アルカリ性
成分	界面活性剤(22%、直鎖アルキルベンゼンスルホン酸ナトリウム、ポリオキシエチレンアルキルエーテル)、アルカリ剤(炭酸塩)、水軟化剤(アルミノけい酸塩)、工程材(硫黄塩、分散剤、蛍光増白剤、酵素)
気泡力	59mm

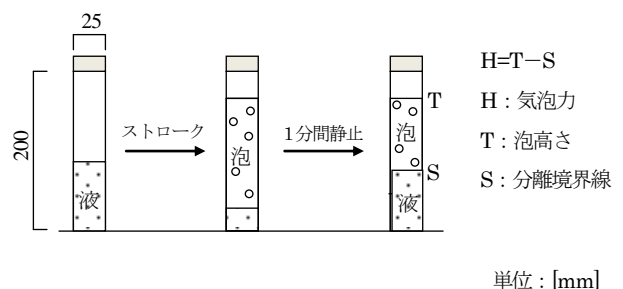


図5 洗剤の気泡力の測定方法

リング周波数 50Hz) 測定を行った。各実験条件 (全 144 パターン) において、3 回測定を行った。

3.3 実験結果と考察

(1) 流れの様相

表 5 の実験条件のいずれにおいても、サイホン現象の発生が確認され、洗濯機からの漏水はみられなかった。流れの様相については、うずまき式洗濯機において、管内は常に満流となり、連続的にサイホン現象が発生した。ドラム式洗濯機においては、管内に空気が混入し、間欠的にサイホン現象が発生した。また、ゴミ取りフィルターからの漏水もみられなかった。

(2) 最大サイホン負圧

実験結果の一例として、うずまき式洗濯機、流出水頭 1,500mm、清水排水における最大サイホン負圧を表 7 に、ドラム式洗濯機、流出水頭 1,500mm、清水排水における最大サイホン負圧を表 8 に示す。供試トラップを設置した場合の方が設置しなかった場合よりも、最大サイホン負圧が約 1,000 から 2,000Pa 小さくなること確認された。これは供試トラップの抵抗により、サイホン負圧が小さくなったと考えられるが、洗濯機からの漏水や水槽内の残水がみられなかったことから、供試トラップを設置しても問題なく排水が行われることが確認された。また、うずまき式洗濯機、使用水量 55L、流出水頭 1,500mm、床面からの高さ 50mm、清水排水における管内圧力変動と流速変動を図 6 に、ドラム式洗濯機、使用水量 20L、流出水頭 1,500mm、床面からの高さ 50mm、清水排水における管内圧力変動と流速変動を図 7 に示す。

(3) 最大流速

実験結果の一例として、うずまき式洗濯機、流出水頭 1,500mm、清水排水における最大流速を表 9 に、ドラム式洗濯機、流出水頭 1,500mm、清水排水における最大流速を表 10 に示す。最大サイホン負圧と同様に、供試トラップを設置した場合の方が、最大流速が約 0.1 から 0.5m/s 小さくなること確認された。

(4) 排水時間

供試トラップを設置した場合は、設置しなかった場合より排水時間が長くなる傾向がみられた。供試トラップを設置した場合の方が、設置しなかった場合よりも流速が遅くなるためと考えられる。実験結果の一例として、流出水頭 1,500mm、清水排水、床面からの高さ 50mm、における排水時間を表 11 に示す。

3.4 サイホン負圧と最大流速の理論値・実測値の比較

(1) 最大サイホン負圧

表 12 にサイホン負圧算定式³⁾ (以下、P 式という) を示す。実験結果の一例として、うずまき式洗濯機、清水排水、流出水頭 1,500mm、床面からの高さ 50mm とした場合におけるサイホン負圧の実測値および P 式より算出

表 5 実験条件

洗濯方式	使用水量 [L]	床面からの高さ [mm]	流出水頭 [mm]	自封トラップ	洗剤
うずまき式	15	50	1,000	あり	あり
	40				
	55				
ドラム式	11	100	1,500	なし	なし
	16				
	20				

表 6 使用水量と使用洗剤量

洗濯機	使用水量 [L]	使用洗剤量 [g]
うずまき式	15	13
	40	34
	55	47
ドラム式	11	9
	16	14
	20	17

表 7 最大サイホン負圧(うずまき式)

a) トラップあり				b) トラップなし			
床面からの高さ [mm]	使用水量 [L]			床面からの高さ [mm]	使用水量 [L]		
	15	40	55		15	40	55
50	-11,700	-11,200	-11,000	50	-13,100	-12,900	-13,000
100	-12,300	-12,100	-12,500	100	-12,800	-12,700	-12,900
150	-12,000	-11,700	-11,600	150	-12,800	-12,500	-12,600

単位: [Pa]

表 8 最大サイホン負圧(ドラム式)

a) トラップあり				b) トラップなし			
床面からの高さ [mm]	使用水量 [L]			床面からの高さ [mm]	使用水量 [L]		
	11	16	20		11	16	20
50	-11,700	-11,800	-11,900	50	-12,900	-12,500	-12,400
100	-11,200	-11,400	-11,100	100	-12,300	-12,400	-12,400
150	-12,100	-12,100	-12,200	150	-12,200	-12,300	-12,500

単位: [Pa]

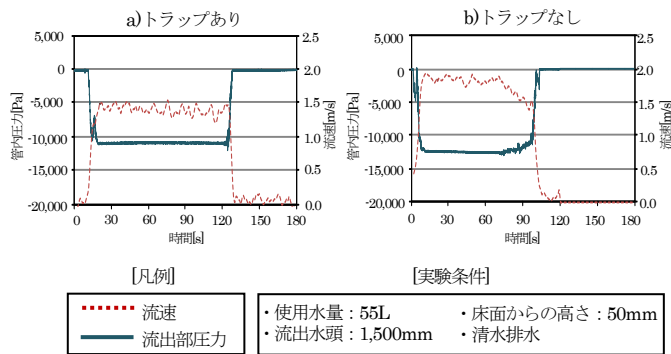


図 6 管内圧力変動と流速変動(うずまき式)

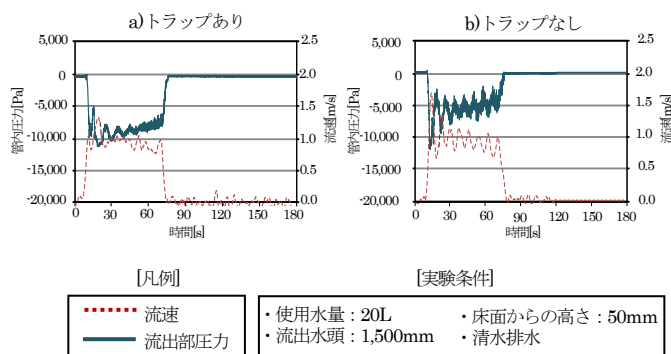


図 7 管内圧力変動と流速変動(ドラム式)

した理論値の比較結果を図8に示す。いずれの実験条件においても、実測値と理論値はほぼ同程度の値を示した。

(2) 最大流速

表13に流速の算定式⁴⁾(以下、V式という)を示す。実験結果の一例として、うずまき式洗濯機、清水排水、流出水頭1,500mm、床面からの高さ50mmとした場合における流速の実測値およびV式より算出した理論値の比較結果を図9に示す。いずれの実験条件においても、実測値と理論値はほぼ同程度の値を示した。

4. まとめ

本研究における実験結果を以下に示す。

- 1) 流入部に自封式トラップを設置した際の、管内圧力特性と流れ特性および排水時間が明らかとなった。自封式トラップを設置することで、最大サイホン負圧は約1,000から2,000Pa、最大流速は約0.1から0.5m/s小さくなり、排水時間は長くなる傾向がみられた。しかし、洗濯機からの漏水はみられないことから、自封式トラップを設置しても問題なく排水が行われることが明らかとなった。
- 2) P式およびV式により算出したサイホン負圧と最大流速の理論値と、本実験の実測値はほぼ同程度の値を示した。

本研究に関する今後の検討として、流入部に水封式トラップを設置した場合の排水実験を行い、自封式トラップを設置した場合との管内圧力特性および流れ特性の比較を行う。

表13 流速の算定式

$$v = \frac{2gH_s}{\sqrt{\lambda \frac{L}{d} + \sum \zeta + 1}} \quad \dots\dots\dots (3)$$

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、

$$v = 4.43\sqrt{I} \quad \dots\dots\dots (4)$$

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[]

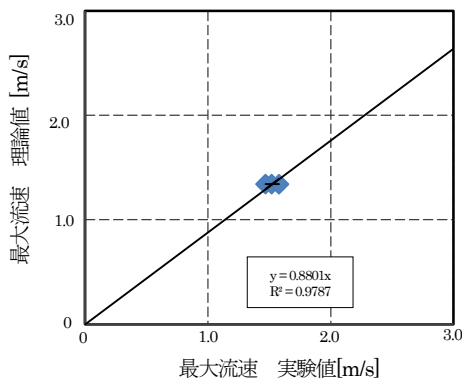


図9 最大流速の実験値および理論値

表9 最大流速(うずまき式)

床面からの高さ [mm]	a)トラップあり			b)トラップなし		
	使用水量 [L]			使用水量 [L]		
	15	40	55	15	40	55
50	1.47	1.52	1.58	1.72	2.11	1.94
100	1.42	1.61	1.63	1.82	1.89	1.97
150	1.46	1.52	1.59	1.86	1.92	2.07

単位: [m/s]

表10 最大流速(ドラム式)

床面からの高さ [mm]	a)トラップあり			b)トラップなし		
	使用水量 [L]			使用水量 [L]		
	11	16	20	11	16	20
50	0.97	1.10	1.10	1.54	1.59	1.62
100	1.33	1.30	1.32	1.56	1.55	1.63
150	1.00	1.03	1.25	1.52	1.56	1.58

単位: [m/s]

表11 トラップの有無による排水時間

トラップの有無	a)うずまき式(清水排水)			b)ドラム式(清水排水)		
	使用水量 [L]			使用水量 [L]		
	15	40	55	11	16	20
トラップあり	50	103	124	39	52	62
トラップなし	35	75	98	32	44	60

単位: [s]

表12 サイホン負圧の算定式

$$P_o = \left\{ (H_a - Z_m) - \frac{(1 + \lambda \frac{L_m}{d} + \sum \zeta) H_s}{(1 + \lambda \frac{L_a}{d} + \sum \zeta)} \right\} \rho g \quad \dots\dots\dots (2)$$

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]

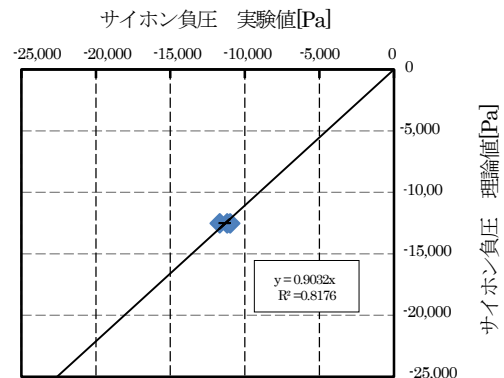


図8 サイホン負圧の実験値および理論値

参考文献

- 1) 植村悠太郎他: サイホン排水システムの洗濯機排水への適用に関する実験, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, pp. 149-152, 2014
- 2) 杉田慎之介他: 洗剤排水の起泡力試験法に関する研究, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, pp. 779-782, 2007
- 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