

サイホン排水システムの流れ特性に関する研究
 (その7) 立ち上りエルボの流れ特性およびサイホン負圧に関する実験
A Study on Characteristics of Filled Flow in Siphonic Drainage Systems
Part7 Experiments on Flow Characteristics and Siphonic Negative Pressure of
the Convex Rising Elbow Pipe

学生会員 ○田中 祐樹 (明治大学) 正会員 坂上 恭助 (明治大学)
 正会員 光永 威彦 (山下設計)

Yuki TANAKA*¹ Kyoosuke SAKAUE*¹ Takehiko MITUNAGA*²

*¹ Meiji University *² Yamashita Sekkei Inc.

This study aimed to accumulate the basic data concerned about the design of the siphonic drainage system. We carried out the verification experiments about the flow characteristic in the following circumstances in the cases that the convex rising elbow pipe was connected to the outlet part of the horizontal drain pipe or it wasn't connected. And in addition, we also examined on experiment about the effectiveness of the formula derived from the Bernoulli's equation to calculate the pressure in the pipes when the siphon effect has been started.

1. はじめに

小径管 (20A) を用いて後続排水を吸引するサイホン作用を利用したサイホン排水システムでは、その排水流れは高速の満流となる。また、無勾配にできることから、波打ち配管や交差配管に対処できる可能性がある。

サイホンの作用力は、管内に生じる負圧 (以下、サイホン負圧という) に比例し、サイホン負圧はサイホン水頭 (流入水頭+流出水頭) に比例する。一方、流し洗いにおいては、初期サイホン作用を生じさせる方法として、立ち上りエルボを器具排水横管の末端に設けるのが有効であるが、ため洗いにおいては、抵抗がわずかに増すことが確認されている¹⁾。流出垂直管の管長は流出水頭に相当するが、その末端まで満流であることが前提となる。しかし、その末端部では、立ち上りエルボと管長により、必ずしも満流とはならない場合がある。

そこで本研究では、立ち上りエルボを設けた配管にお

けるため洗いの排水形態について、その局部抵抗係数 ζ を算定するとともに、提案したサイホン負圧算定式による理論値と実測値とを比較することにより、立ち上りエルボと流出水頭 (流出垂直管長) のサイホン負圧への影響と算定式の有効性に関する実験的検討を行った。

2. 立ち上りエルボの局部抵抗係数に関する実験

2.1 実験目的

立ち上りエルボの局部抵抗係数 ζ を明らかにすることを目的とした。

2.2 実験概要

(1) 実験装置

配管モデルを図1に示す。排水器具には洗面器の代替として、430×600×320Hの水槽を用いた (図2)。配管寸法は、水槽の底面から器具排水横管までの高さを500mm、水平管長を3,000mm、流出水頭を1,000mmとし

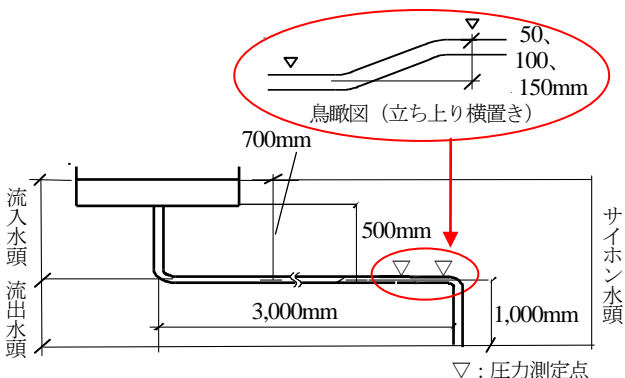


図1 配管モデルの概要

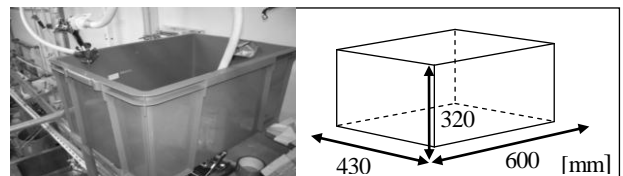


図2 水槽の仕様

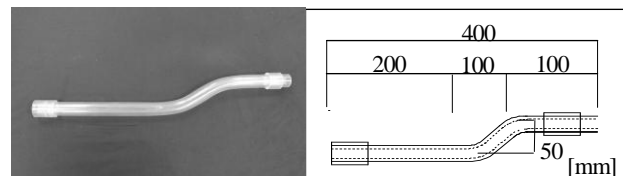


図3 立ち上りエルボ 50mm の形状寸法

た。立ち上りエルボは、高さが 50、100、150mm の 3 種類 (図 3～図 5) とした。

(2) 実験方法

実験条件を表 1 に示す。管内を満流とするため、配管内を充水後、流入水頭が 700mm となるように、水槽内の水位が 200mm の一定となったことを確認した後、水槽の排水栓を開栓して流出させた。各実験条件 (全 3 パターン) において実験回数を 3 回として、排水実験を行った。圧力測定点は、立ち上りエルボの流入部と流出部の 2 点とした。

2.3 実験結果と考察

各立ち上りエルボの局部抵抗係数 ζ を、測定した 2 点間の圧力差を用いて表 2 の (1) 式より算定し、また、表 2 の (2) 式より相当管長を算定した。算定結果を表 3 に示す。立ち上りエルボ 50、100、150mm の局部抵抗係数はそれぞれ 0.53、0.59、0.67、相当管長はそれぞれ 438、492、557mm となった。立ち上りエルボが大きくなるに従って、局部抵抗係数も相当管長も大きくなることから明らかとなった。

3. 立ち上りエルボのサイホン負圧に関する実験

3.1 実験目的

ため洗いにおいて、立ち上りエルボの流出部への設置の有無によるサイホン負圧への影響を明らかにし、立ち上りエルボとサイホン負圧算定式 (以下、P 式という) の有効性の検証を目的とした。

3.2 実験概要

P 式の導出を表 4 に、関連パラメータを図 6 に示す。

(1) 実験装置

配管モデルを図 7 に示す。水槽は 2. の実験と同様のものを使用した。水槽の底面から器具排水横管までの高さを 500mm、水平管長を 3,000mm、流出水頭を 500、1,000、1,500、2,000mm とし、流入垂直管と器具排水横管の接続部と立ち上りエルボと流出垂直管の接続部には 80R の曲り管 (図 8) を使用した。また、立ち上りエルボの形状によってサイホン水頭が変化しないように、立ち上りエルボの高さに相当する長さだけ流出垂直管を長くし、流出水頭を一定とした。立ち上りエルボの実験条件としては、設置なしと、高さ : 50、100、150mm の 4 ケースとした。立ち上りエルボを設けない場合は、管長 400mm の直管 (図 9) を接続した。また、水槽内の水位変化を測定するため、水槽内に水位センサーを設置した。

(2) 実験方法

実験条件を表 5 に示す。流し形態はため洗いとし、水位調整、排水等の実験手順は、2.2 (2) と同様とした。各実験条件 (全 16 パターン) において実験回数は 3 回とした。また、圧力測定点は立ち上りエルボの流出部の 1 点とした。

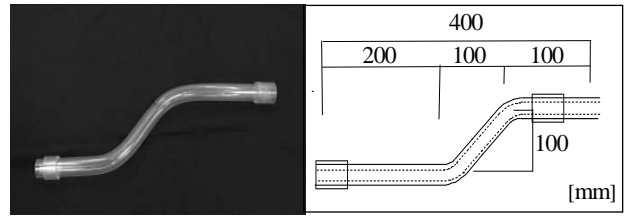


図 4 立ち上りエルボ 100mm の形状寸法

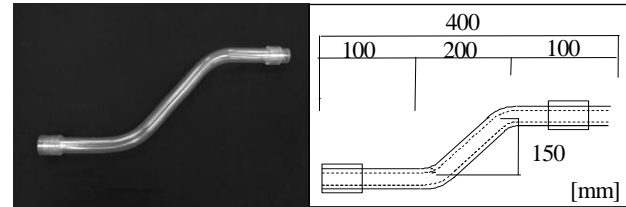


図 5 立ち上りエルボ 150mm の形状寸法

表 1 実験条件

流入水頭 [mm]	水平管長 [mm]	流出水頭 [mm]	立ち上り [mm]
700	3,000	1,000	50 100 150

(全 3 パターン×3 回測定)

表 2 局部抵抗係数および相当管長の算定式

$$\zeta = \frac{2P}{\rho v^2} \dots \dots \dots (1)$$

$$L_h = \frac{\zeta \times d}{\lambda} \dots \dots \dots (2)$$

ここで、

Z: 局部抵抗係数[-] P: 局部抵抗による圧力損失[Pa]
 ρ: 密度[kg/m³] v: 流速[m/s] L_h: 相当管長[mm]
 d: 管径[mm] λ: 管摩擦係数[-]

表 3 立ち上りエルボの局部抵抗係数と相当管長

立ち上り [mm]	局部抵抗係数[-]	相当管長[mm]
50	0.53	438
100	0.59	492
150	0.67	557

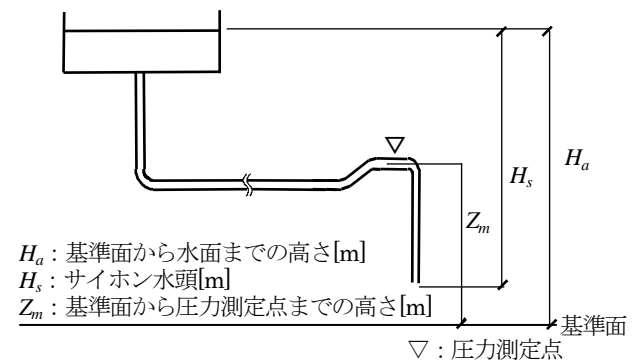


図 6 P 式のパラメータ

表 4 P式の導出

$$\frac{P_s}{\rho g} = (H_a - Z_m) - \frac{(1 + \lambda \frac{L_m}{d} + \sum \zeta_m)}{(1 + \lambda \frac{L_a}{d} + \sum \zeta_a)} \times H_s \quad \dots \dots (1)$$

$$h_t = \frac{\Delta h_0}{\Delta h_t} \quad \dots \dots (2)$$

$$P_{st} = P_s = \left\{ [H_a - (\Delta h \times h_t) - Z_m] - \frac{(1 + \lambda \frac{L_m}{d} + \sum \zeta_m)}{(1 + \lambda \frac{L_a}{d} + \sum \zeta_a)} [H_s - (\Delta h \times h_t)] \right\} \times \rho g \quad \dots \dots (3)$$

$$P_h = P_o \times h_t \quad \dots \dots (4)$$

P_s : 流出部での圧力[Pa] ρ : 密度[kg/m³]
 g : 重力加速度[m/s²] 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 : 水槽の底面から流出部の圧力測定点までの管長[m]
 L_a : 管長[m] d : 管の内径[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]
 h_t : 水位変化の補正係数[-] Δh : 水位変化[mm]
 Δh_0 : 立ち上りエルボなしの水位変化[mm]
 Δh_t : 各立ち上りエルボの水位変化[mm]
 P_{st} : 補正係数を乗じたサイホン負圧の理論値[Pa]
 P_h : 補正係数を乗じたサイホン負圧の実験値[Pa]
 P_o : 実験値[Pa]

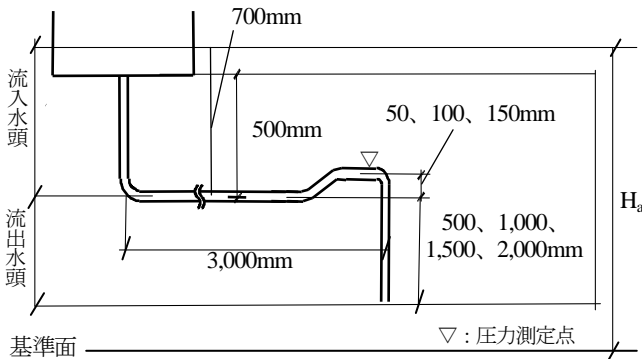


図 7 配管モデルの概要

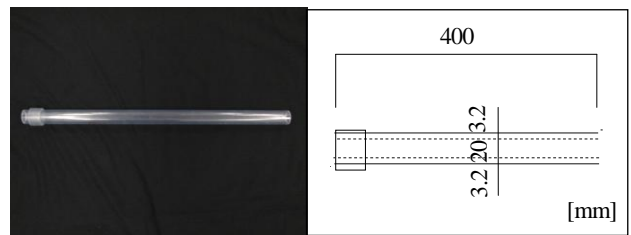


図 9 直管 (400mm) の形状寸法

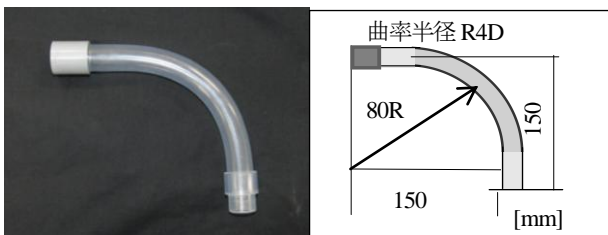


図 8 曲り管 (80R) の形状寸法

表 5 実験条件

流し形態	水平管長[mm]	流出水頭[mm]	立ち上り[mm]
ため洗い	3,000	500	なし
		1,000	50
		1,500	100
		2,000	150

(全 16 パターン×3 回測定)

3.3 実験結果と考察

P式(表4の(1)式)により算定されたサイホン負圧の理論値 P_s に水位変化を一定とするために、水位変化に補正係数 h_t (表4の(2)式)を乗じた管内圧力の理論値を P_{st} (表4の(3)式)とした。実験により得られたサイホン負圧 P_o も同様に、補正係数 h_t を P_o に乗じたサイホン負圧の実験値を P_h (表4の(4)式)とした。

(1) 立ち上りエルボを設置しない場合

流出部に立ち上りエルボを設置しない場合のサイホン負圧 P_o 、 $P_h (=P_{h0})$ 、 P_s 、 $P_{st} (=P_{s0})$ を表6に示す。実験値 P_{h0} と理論値 P_{s0} を比較すると、流出水頭 1,500mm の場合において、その差異は最も大きく、その誤差率は+11~+16%となった。

(2) 立ち上りエルボ 50mm の場合

流出部に立ち上りエルボ 50mm を設置した場合のサイホン負圧 P_o 、 $P_h (=P_{h50})$ 、 P_s 、 $P_{st} (=P_{s50})$ を表7に示す。実験値 P_{h50} と理論値 P_{s50} を比較すると、本実験において

表 6 サイホン負圧の実験値と理論値の比較
(立ち上りエルボなしの場合)

流出水頭 [mm]	実験 No.	P_o [Pa]	P_{h0} [Pa]	P_s [Pa]	P_{s0} [Pa]
500	1	-3517	-3578	-3197	-3192
	2	-3508	-3569	-3569	-3192
	3	-3508	-3569	-3569	-3192
1,000	1	-6639	-6976	-6213	-6287
	2	-6898	-7248	-6196	-6287
	3	-6971	-7324	-6276	-6287
1,500	1	-9633	-9793	-9558	-9645
	2	-9397	-9553	-9605	-9645
	3	-9387	-9543	-9596	-9645
2,000	1	-12460	-12603	-11846	-11952
	2	-12144	-12283	-11713	-11952
	3	-12466	-12609	-11844	-11952

最もその差異は小さく、誤差率は±5%となった。

(3) 立ち上りエルボ 100mm の場合

流出部に立ち上りエルボ 100mm を設置した場合のサイホン負圧 P_o 、 $P_h (=P_{h100})$ 、 P_s 、 $P_{st} (=P_{s100})$ を表 8 に示す。実験値 P_{h100} と理論値 P_{s100} を比較すると、流出水頭 1,500mm の場合に最も差異が大きくなり、その誤差率は -19% となった。

この原因として、立ち上りエルボによって、配管内を流れる水に気泡が発生し、非満流となったこと、およびそれによって流出垂直管内を気泡が通過するため十分にサイホン水頭を確保出来なかったことによるものと考えられる。

(4) 立ち上りエルボ 150mm の場合

流出部に立ち上りエルボ 150mm を設置した場合のサイホン負圧 P_o 、 $P_h (=P_{h150})$ 、 P_s 、 $P_{st} (=P_{s150})$ を表 9 に示す。実験値 P_{h150} と理論値 P_{s150} を比較すると、本実験において、最もその差異が大きく、誤差率は -2~ -18% となった。大きな差異が起きた原因として、この場合も立ち上りエルボ 100mm の場合と同様に、立ち上りエルボが配管内を流れる水の抵抗となり気泡が発生し、管内が非満流となったことによると考えられる。

4. まとめ

本研究の結果をまとめると、次になる。

- ①立ち上りエルボの局部抵抗係数：局部抵抗係数と相当管長は、立ち上りエルボの高さ（立ち上り部分）が大きくなるに従って、大きな値を示した。
- ②P式の有効性：本実験において、 P_h と P_{st} を比較すると、ほとんどの実験条件において最大サイホン負圧は、ほぼ同じであったことから、P式は有効であるといえる。
- ③立ち上りエルボの有効性：立ち上りエルボは、ため洗いにおいて、実験値 P_h と理論値 P_{st} がほぼ同じであった。また、立ち上りエルボ 50mm については、立ち上りエルボを設けない場合とほぼ同じサイホン負圧が発生していたことから、サイホン負圧への影響は極めて小さいと考えられる。

今後の課題として、可撓管やホースから構成されるサイホン排水システム、自封式トラップを組み合わせたサイホン排水システムなどについて、排水の流れ特性とサイホン負圧の発生特性を調べることで、洗面器形状の差異による自己サイホン作用発生の有無や最大封水損失と最大負圧の関係を調べることで、排水流れとサイホン負圧に関して CFD を適用することなどが挙げられる。

[参考文献]

- 1) 田中祐樹ほか：サイホン排水システムの流れ特性に関する研究（その6）立ち上りエルボの排水特性に関する実験、本学会大会学術講演論文集、pp.755-758、2009

表 7 サイホン負圧の実験値と理論値の比較
(立ち上りエルボ 50mm の場合)

流出水頭 [mm]	実験 No.	P_o [Pa]	P_{h50} [Pa]	P_s [Pa]	P_{s50} [Pa]
500	1	-3708	-3857	-3726	-3727
	2	-3749	-3900	-3727	-3727
	3	-3467	-3607	-3721	-3727
1,000	1	-6470	-6579	-6905	-6919
	2	-6835	-6949	-6915	-6919
	3	-7234	-7355	-6276	-6919
1,500	1	-9442	-10638	-10363	-10399
	2	-9380	-10568	-10280	-10399
	3	-9393	-10583	-10373	-10399
2,000	1	-13636	-13191	-12761	-12804
	2	-13352	-12916	-12762	-12804
	3	-13138	-12709	-12643	-12804

表 8 サイホン負圧の実験値と理論値の比較
(立ち上りエルボ 100mm の場合)

流出水頭 [mm]	実験 No.	P_o [Pa]	P_{h100} [Pa]	P_s [Pa]	P_{s100} [Pa]
500	1	-3869	-4762	-4141	-4157
	2	-3860	-4752	-4144	-4157
	3	-3598	-4429	-4147	-4157
1,000	1	-7179	-8009	-8116	-8110
	2	-6858	-7652	-8122	-8110
	3	-6875	-7671	-8108	-8110
1,500	1	-9712	-11361	-12699	-12716
	2	-9718	-10250	-12702	-12716
	3	-9718	-11367	-12711	-12716
2,000	1	-13640	-15602	-16388	-16397
	2	-13698	-15668	-16356	-16397
	3	-13589	-15544	-16367	-16397

表 9 サイホン負圧の実験値と理論値の比較
(立ち上りエルボ 150mm の場合)

流出水頭 [mm]	実験 No.	P_o [Pa]	P_{h150} [Pa]	P_s [Pa]	P_{s150} [Pa]
500	1	-4023	-4540	-4660	-4655
	2	-4018	-4534	-4660	-4655
	3	-3980	-4491	-4655	-4655
1,000	1	-6373	-7364	-8664	-8658
	2	-6163	-7121	-8677	-8658
	3	-6381	-7372	-8672	-8658
1,500	1	-11214	-11289	-13291	-13282
	2	-11063	-11136	-13280	-13282
	3	-11036	-11110	-13288	-13282
2,000	1	-14157	-15530	-16926	-16954
	2	-13785	-15122	-16931	-16954
	3	-13790	-15127	-16930	-16954