

トラップ封水の挙動の数値解析

浅	野	良	晴* ¹
高	橋	紀	行* ²
紀	谷	文	樹* ³
小	林	陽	太郎* ⁴
松	井	昌	幸* ⁵

衛生器具に接続されたトラップ封水は、衛生学上有用な役割を果たしている。しかし、トラップ封水は自己サイホン作用および排水配管内の圧力変動などにより封水損失される。著者らはトラップ封水の挙動をモデル化し、そこに巨視的な運動エネルギー平衡式を導き、封水損失の機構を理論解析した。そして、つぎに示すような結果を得た。

- 1) サイホン作用による封水の損失において、理論解析の結果と実験結果とを比べ、良い近似を得た。
- 2) トラップ封水の挙動は、本研究の理論を数値解析することによりよく把握できることが明らかとなった。

はじめに

建築の給排水設備の分野におけるわが国の規準・規格などは、設計・施工を通じての諸経験に基づいており、今まで長い期間にわたって実用上有用な役割を果たしてきた。けれども、現在の建築における水使用に関しては節水が要求され、それに従って器具の形状を変えることにより排水特性を変化させたり、あるいは少ない水量で汚物を搬送するために配管の径を細くすることなどが検討されている。給排水設備において、こうした厳しい状況に対処しながら、給排水配管内において生ずるさまざまな現象を実験的および理論的に解明し、排水設備に要求されている機能を十分に保持させていかなければならない。

そのために、器具トラップの封水は静水状態において、下水ガスの逆流防止および排水管からの非衛生動物の侵入を防ぐなどの衛生学上有用な役割を担っていることから、トラップにおいてはその機能を保持させていくことが必要である。

排水管系統の許容流量を決定する場合には、その各部分において、トラップ水封を破封させるほどの吸引力をもたらす過度な気圧変動を生じさせてはならないことが指摘されている。けれどもトラップ水封を破封させないための、排水管系統で生ずる気圧変動の許容される範囲について、現在まだ十分に明らかにされていない。また器具から排水が流出するときに、自己サイホン作用により封水が損失され、場合によっては破封してしまうことがある。この現象に関して、現在幾つかの報告^{1),2)}がなされており、自己サイホン作用を起こしている場合のトラップ内部の封水の挙動特性について、ある程度解明されつつある。けれども、それらの報告^{1),2)}における実験では、モデルの設定、実験条件の与え方により封水の挙動特性は少しずつ異なっている。

本研究では、洗面器に接続したトラップにおいて自己サイホン作用の発生時における封水の挙動特性と、排水管系統内に気圧変動が生じた場合における封水の挙動特性とを理論的に解明した。まず、トラップ内部での基本的であると考えられる封水の挙動特性を取り上げて、その運動方程式を導き、封水の挙動特性を解析した。このことは、今後においてより実際的な実験・解析へ進む際に汎用性のあるものとする。

*¹ 東京工業大学 正会員*² (株)竹中工務店技術研究所 正会員*³ 武蔵工業大学建築学科 正会員*⁴ 豊橋技術科学大学 特別会員*⁵ 東京工業大学大学院総合理工学研究科社会開発工学専攻

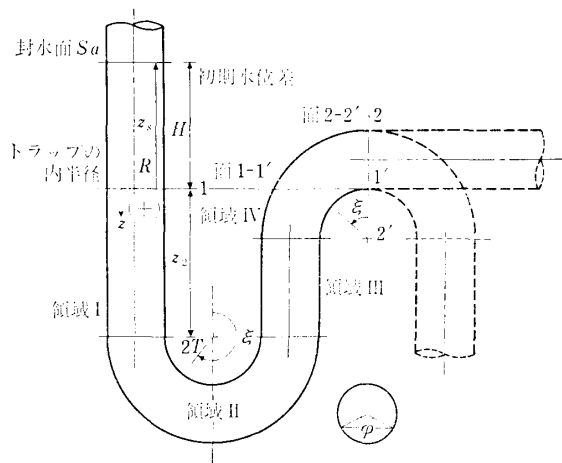


図-1 トラップのモデル

1. 研究方法概説

French と Eaton¹⁾ は、器具排水横管を接続させた P トラップの自己サイホン作用について実験を行った。そして、器具排水横管の長さ、すなわちトラップから立て管までの距離とそのこう配との積を管径で除した値を用いて損失された封水量と関連付けている。けれども、器具排水横管を連結したトラップは、サイホン作用だけでなく、横管内のプラグフローにより封水損失されることから、横管の長さ・こう配および管径により損失量は異なる。したがって、サイホン作用自体による封水損失量を検討するためには、トラップ封水の過渡的な挙動そのものを解析する必要がある。

金杉ら²⁾ は、排水管に接続された器具トラップにおいて、ため洗い後および流し洗い時の器具からの排水がトラップ内でプラグフローとなって、自己サイホン作用が生ずる現象について、その流れ性状を高速度撮影法を用いて明らかにした。

以上が、自己サイホン作用に関する既往の研究報告であり、つぎに誘引サイホン作用に関する既往の研究報告を概説する。

Christiansen³⁾ は、器具側より配管側のほうが断面積の大きい隔壁だけで仕切られたトラップに配管側から負圧を繰り返し加える実験を行い、その場合には封水損失が増加することを確認した。そして、圧力の状況に応じてトラップ形状、特に断面積について、配管側のほうが大きくする必要のあることを指摘している。

Dauphin⁴⁾ は、S トラップの器具側内部に白金電極棒を挿入しておき、他器具からの排水により排水立て管内に生ずる圧力変動に対する封水の水位変動を測定した。これは、実際の排水による圧力変動で生ずるトラップの封水損失の過程を解明するうえで、非常に有用な方法で

あるが、実験時の器具からの排水の排出特性および排水立て管内の排水の流れ性状などの影響を検討する必要があるものと考えられる。

松平ら⁵⁾ は、正方形断面をもつ S トラップにおいて、通気なしの立て管に導入された排水の流れにより生ずる負圧に対するトラップ内の封水の水位変動を高速度撮影法を用いて測定している。この場合の立て管内に発生する負圧の大きさは相当なものであり、実際の排水管系統では最も危険な負圧の発生する状態であると考えられる。そして、彼らは封水の挙動の解析に一般の振動方程式を導入し、ステップ状の負圧パルスを繰り返し加えた場合の封水の挙動と、パルスの発生頻度との関係に対して検討を加えている。

篠原ら⁶⁾ は J 字型をしたトラップの器具側の内部に電極を設置して、正弦曲線の形で変化する圧力変動を加えた場合の封水の水位変動を測定している。

本研究では、トラップ封水が損失する原因として、つぎの二つの要因を挙げ、封水の過渡的な挙動に関して水力学的に解析を行った。

- 1) 自己サイホン作用により封水が損失する場合
- 2) 排水配管内に負圧が発生し、封水が損失する場合

上の二つの要因に関してトラップ内で短い時間に起こる過渡現象について、封水全体を巨視的にとらえてエネルギー平衡式を導き、封水の挙動を理論的に解析した。自己サイホン作用については、圧力差によって仕事はなされていないが、初期水位が器具から封水に与えられている場合を解析して、実験による結果と対比させた。この実験は理論解析に使用したモデルと同じ形状のトラップを用いて行った。器具のため洗い後の排水時に起こるトラップ内のプラグフローにより、自己サイホン作用が生じて、封水が損失する過程を想定して、数値解析と同じ設定条件下で実験を行い、高速度撮影法により封水の水位変動を測定し、別報⁷⁾ に報告したものである。負圧が封水に仕事をなしている状態のその水位変動の解析は、負圧が一定の場合と周期変動している場合の 2 種類の場合について行っている。

2. モデルの設定

洗面器に接続された 図-1 に示すような円形断面を持つ S トラップ、ないしは P トラップの封水部の封水の挙動について解析を行った。封水が運動を引き起こされる原因の中で、ため洗いの状態からの排水時において封水の両水面の間に水位差が存在しており、その水位差により運動が始まる場合、および配管内に生じた気圧変動により封水が運動し始める場合に注目している。そこでのトラップ内の水の流れを巨視的にとらえて、水の挙動の

状態をつぎの三つの場合に分けて理論を展開した。すなわち、トラップの封水が以下の状態の場合である。

- 1) トラップウェア面、すなわち図-1における面1-1'から損失されていく状態
- 2) 損失されずにトラップ内部で周期運動している状態
- 3) 周期運動を繰り返しながら、図-1における面2-2'の右側に封水が進むことにより、その水はトラップ内に戻ることがないとみなされる状態

以上三つの場合である。これらの状態において、それぞれのエネルギー平衡式を導いている。また封水面が移動する場合には、その水面は直管部にあるときには水平を保っており、湾曲部においては湾曲の半径方向に水面が位置しているものと考えている。

3. 理論の展開

本研究で使用した記号を、つぎに示す。

A_0 : トラップ内で封水が管壁と接触している面積	[cm ²]
A : トラップ断面積	[cm ²]
E_v : 摩擦によるエネルギー損失割合	[dyn·cm/s]
g : 重力加速度	[cm/s ²]
h_a : 水面 Sa の基準線から移動した距離	[cm]
K : 運動エネルギー	[erg]
l : 封水長	[cm]
l_0 : 面 2-2' から水面 Sa までの長さ	[cm]
P : 圧力差が変動する場合の振幅	[mmAq]
ΔP : 圧力差	[dyn/cm ²]
R : トラップの内半径	[cm]
r : 半径方向の中心からの距離	[cm]
r^* : r を無次元化したもの	[—]
Sa : トラップ内の器具側の封水面	
T : トラップの曲がりの半径	[cm]
T_p : 変動周期	[s]
t : 時間	[s]
v : 速度	[cm/s]
\bar{v} : 平均速度	[cm/s]
v_0 : 管軸での速度	[cm/s]
W : 外部からなされた仕事割合	[dyn·cm/s]
z : 重力方向への基準線からの距離	[cm]
α : T を無次元化したもの	[—]
τ : 摩擦せん断力	[dyn/cm ²]
μ : 粘性係数	[dyn·s/cm ²]
ν : 動粘性係数	[cm ² /s]
φ : 角度	[rad]
ϕ : 位置エネルギー	[erg]

$\frac{d}{dt}\phi_I$: 図-1の領域Iに封水面がある場合の位置エネルギーの変化率 [dyn·cm/s]

$\frac{d}{dt}\phi_{II} \sim \frac{d}{dt}\phi_{IV} : \frac{d}{dt}\phi_I$ と同様に図-1の領域II～IVに封水面がある場合のそれぞれの位置エネルギーの変化率 [dyn·cm/s]

$\frac{d}{dt}\phi_1$: 封水損失を起こしている場合の位置エネルギー変化率で、器具側水面の位置エネルギーの変化率のみで示される [dyn·cm/s]

$\frac{d}{dt}\phi_2$: 封水が周期運動している場合の位置エネルギーの変化率で、左右両水面の位置エネルギー変化率の差で示される [dyn·cm/s]

ρ : 密度 [g/cm³]

トラップ封水の挙動について、巨視的にとらえたエネルギー平衡式は次式で示される。

運動エネルギー変化率+位置エネルギーの変化率
+摩擦によるエネルギー損失割合
=圧力差によって外部からされる仕事割合

記号で表示すると、次式になる。

$$\frac{d}{dt}K + \frac{d}{dt}\phi + E_v = W \quad \dots\dots(1)$$

トラップ内の水の流れについて松平ら⁵⁾が指摘しているように、振動している流れとなった場合には、複雑な二次流れも発生しているであろうが、その詳細については現在のところ不明である。けれども、著者らは自己サイホン作用を起こすプラグフローは、トラップ内で満流であることから、トラップの直管部分では乱流と仮定した。またトラップの曲がりの部分に予想される複雑な流れは、現在のところ十分に明らかにされていないことから、そこにおける流れについても同じく乱流であると仮定した。そして、断面速度分布に1/7乗則を適用し、管中心での速度 v_0 は最大であるとみなし、速度分布を次式で表した。

$$v(r, t) = v_0 \left(1 - \frac{r}{R}\right)^{1/7} \quad \dots\dots(2)$$

式(2)を用いて、管断面内平均速度 \bar{v} と管の中心での速度 v_0 との比は、次式で示される。

$$\frac{\bar{v}}{v_0} = \frac{1}{\pi R^2} \int_0^R \left(1 - \frac{r}{R}\right)^{1/7} 2\pi r dr = \frac{49}{60} \quad \dots\dots(3)$$

封水の運動エネルギーの変化率は、次式で表される。

$$\frac{d}{dt}K = \frac{d}{dt} \int \int \frac{1}{2} \rho v^2 dAdl \quad \dots\dots(4)$$

式(4)は水の挙動状態により、つぎの三つの場合に分けて表した。

- 1) サイホン作用が生じた場合には，トラップウェア面，すなわち，**図-1**における面 1-1' で封水が損失されていくとして，そのときの運動エネルギーの変化率は次式で示される．

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} K_1 &= \frac{d}{dt} \int_0^{l_0} \int_0^R \frac{1}{2} \rho v_0^2 \left(1 - \frac{r}{R}\right)^{2/7} 2\pi r dr dl - \frac{d}{dt} \left[2 \int_0^\pi \int_0^R \left\{ \frac{1}{2} \rho v_0^2 \left(1 - \frac{r}{R}\right)^{2/7} r dr d\varphi (R+T-r \cos \varphi) \right. \right. \\ &\quad \left. \left. \times \cos^{-1} \left(\frac{T}{R+T-r \cos \varphi} \right) \right\} \right] \\ &= \frac{25}{49} \rho \pi R^2 \frac{d}{dt} (\bar{v}^2 l_0) - \left[\left(\frac{60}{49} \right)^2 \rho \pi R^3 \int_0^\pi \int_0^1 \left\{ (1-r^*) r^* \right. \right. \\ &\quad \left. \left. \times (1+\alpha-r^* \cos \varphi) \cos^{-1} \left(\frac{\alpha}{1+\alpha-r^* \cos \varphi} \right) \right\} dr^* d\varphi \right] \times \frac{d}{dt} (\bar{v}^2) \\ &= \frac{25}{49} \rho A \left(2l_0 \bar{v} \frac{d\bar{v}}{dt} - \bar{v}^3 \right) - \left[\left(\frac{60}{49} \right)^2 \rho A R \int_0^\pi \int_0^1 \left\{ (1-r^*) r^* \right. \right. \\ &\quad \left. \left. \times (1+\alpha-r^* \cos \varphi) \cos^{-1} \left(\frac{\alpha}{1+\alpha-r^* \cos \varphi} \right) \right\} dr^* d\varphi \right] \times 2\bar{v} \frac{d\bar{v}}{dt} \quad \dots\dots(5) \end{aligned}$$

- 2) 封水が損失されながら，器具側水面はトラップウェア面よりも低くなっていくと，それに伴って増加する位置エネルギーにより，水の動く方向は逆転する．そして，封水損失することなく，トラップ内部で封水が流れの方向のみを変える周期運動の状態になる．その場合について運動エネルギーの変化率は，封水の長さは変わらないものとして，次式で示される．

$$\frac{d}{dt} K_2 = \frac{d}{dt} \int_0^R \frac{1}{2} \rho v_0^2 \left(1 - \frac{r}{R}\right)^{2/7} 2\pi r l dr = \frac{25}{49} \rho A \left(2l \bar{v} \frac{d\bar{v}}{dt} \right) \quad \dots\dots(6)$$

- 3) 封水が周期運動をしながらも，圧力差の変化に伴い，外部からなされる仕事割合が変化することにより，**図-1**の面 2-2' の右側へ進んだ場合には，その面 2-2' を超えた水は損失されたものとみなすことにより，運動エネルギーの変化率は次式で示される．

$$\frac{d}{dt} K_3 = \frac{d}{dt} \int_0^{l_0} \int_0^R \frac{1}{2} \rho v_0^2 \left(1 - \frac{r}{R}\right)^{2/7} 2\pi r dr dl = \frac{25}{49} \rho A \left(2l_0 \bar{v} \frac{d\bar{v}}{dt} - \bar{v}^3 \right) \quad \dots\dots(7)$$

つぎに位置エネルギーの変化率を考えてみると，それは室内側の水面 Sa と配管内側の水面 Sb 両方の水位差の変化状態によるものであるから，一般的には次式で表される．

$$\frac{d}{dt} \phi = \frac{d}{dt} \int \int \rho g z dA dl \quad \dots\dots(8)$$

封水が損失されつつある場合は，室内側水面とトラップウェア面との水位差の変化のみをとらえ，封水が損失せずに周期運動している場合は，両水面の水位差の変化をとらえている．封水面の位置による位置エネルギーの変化率をつぎに示す．

- 1) 封水面が **図-1** における領域 I にある場合は，トラップウェア面との間の距離を z_s として次式で示される．

$$\frac{d}{dt} \phi_I = \frac{d}{dt} \int_0^{z_s} \rho g z A dz = \rho g A z_s \frac{dz_s}{dt} = \rho g A z_s \bar{v} \quad \dots\dots(9)$$

- 2) 封水面が **図-1** における領域 II にある場合は，次式で示される．

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \phi_{II} &= - \frac{d}{dt} \int_{\xi}^{3\pi/2} \int_{-R}^R \rho g \{ z_1 - (R+T-r) \cos \xi \} 2\sqrt{R^2-r^2} (R+T-r) dr d\xi \\ &= - \rho g \frac{d\xi}{dt} \int_{-R}^R \{ z_1 - (R+T-r) \cos \xi \} 2\sqrt{R^2-r^2} (R+T-r) dr \\ &= - \rho g \frac{d\xi}{dt} \pi R^2 \left[(R+T) \{ z_1 - (R+T) \cos \xi \} - \frac{1}{4} R^2 \cos \xi \right] \end{aligned}$$

ここで， $\frac{d\xi}{dt} = -\frac{1}{R+T} \bar{v}$ の関係があるから，次式の形に整理される．

$$\frac{d}{dt} \phi_{II} = \frac{1}{4} \rho g A \frac{1}{R+T} \bar{v} [4(R+T) \{ z_1 - (R+T) \cos \xi \} - R^2 \cos \xi] \quad \dots\dots(10)$$

- 3) 封水面が **図-1** における領域 III にある場合は，次式で示される．

$$\frac{d}{dt} \phi_{III} = \frac{d}{dt} \int_{z_2}^{z_s} \rho g z A dz = \rho g A z_s \frac{dz_s}{dt} = \rho g A z_s \bar{v} \quad \dots\dots(11)$$

- 4) 封水面が **図-1** における領域 IV にある場合は，2) の場合と同様にして次式で示される．

$$\frac{d}{dt} \phi_{IV} = \frac{1}{4} \rho g A \frac{1}{R+T} \bar{v} [4(R+T) \{z_2 - (R+T) \cos \xi\} - R^2 \cos \xi] \quad \text{.....(12)}$$

式(9)~(12)を組み合わせることにより、水の各挙動状態における位置エネルギーの変化率をつぎに示す。

1) 封水損失を起している場合は、次式で示される。

$$\frac{d}{dt} \phi_1 = \frac{1}{4} \rho g A \frac{1}{R+T} \bar{v} \{F(\xi_a)\} \quad \text{.....(13)}$$

2) 封水が周期運動している場合は、次式で示される。

$$\frac{d}{dt} \phi_2 = \frac{1}{4} \rho g A \frac{1}{R+T} \bar{v} \{F(\xi_a) - F(\xi_b)\} \quad \text{.....(14)}$$

ただし、ここにおける $F(\xi)$ は、次式で表される。

$$F(\xi) = [4(R+T) \{z_2 - f(\xi)\} - R^2 \cos \xi] \quad \text{.....(15)}$$

$$f(\xi) = \begin{cases} (R+T) \cos \xi & \left(0 < \xi < \frac{1}{2}\pi, \frac{1}{2}\pi < \xi < \frac{3}{2}\pi\right) \\ z_2 - z_s & \left(\xi = \frac{1}{2}\pi, \xi = \frac{3}{2}\pi, \text{直管部}\right) \end{cases}$$

摩擦によるエネルギー損失割合は、一般には内部摩擦によるエネルギー損失を含めて考える必要があるが、本研究におけるモデルのように水だけで構成される単相流において損失されるエネルギーは、壁面摩擦のみを考えればよいことが一般的であるから、管壁での摩擦せん断力 τ_0 は Blassius の式を用いて次式で表される¹⁴⁾ものとする。

$$\tau_0 = 0.0225 \rho v_0^2 \left(\frac{v}{|v_0|R}\right)^{1/4} \quad \text{.....(16)}$$

したがって、摩擦によるエネルギー損失割合 E_v は、次式で示される。

$$E_v = \tau_0 A_0 v = 0.0108 A_0 \frac{1}{R^{1/4}} \left(\frac{\bar{v}^3}{|\bar{v}|^{1/4}}\right) = 0.0216 A \frac{l}{R^{5/4}} \left(\frac{\bar{v}^3}{|\bar{v}|^{1/4}}\right) \quad \text{.....(17)}$$

トラップの封水の左右に圧力差があり、速度 \bar{v} で動く場合には、圧力差によって外部からなされる仕事割合は次式で表される。

$$W = (P_a - P_b) \pi R^2 \bar{v} = \Delta P A \bar{v} \quad \text{.....(18)}$$

運動を巨視的にとらえた場合の平衡式である式(1)に式(5)から式(18)までの諸式を代入すると、2階非線形常微分方程式となる。それは封水の各挙動状態において、つぎのように表される。

1) 図-1における面 1-1' で封水損失を起している場合は、次式で示される。

$$\left\{ \frac{50}{49} l_0 - 2 \left(\frac{60}{49}\right)^2 RB \right\} \frac{d\bar{v}}{dt} - \frac{25}{49} \bar{v}^2 + \frac{1}{4} g \frac{1}{R+T} F(\xi) + 0.0216 \frac{l}{R^{5/4}} \frac{\bar{v}^2}{|\bar{v}|} = \frac{\Delta P}{\rho}$$

$$\frac{d\bar{v}}{dt} = \frac{1}{\frac{50}{49} l_0 - 2 \left(\frac{60}{49}\right)^2 RB} \left\{ 0.0216 \frac{l}{R^{5/4}} \frac{\bar{v}^2}{|\bar{v}|} + \frac{25}{49} \bar{v}^2 - \frac{1}{4} g \frac{F(\xi_a)}{R+T} + \frac{\Delta P}{\rho} \right\} \quad \text{.....(19)}$$

ただし、ここにおける B は次式で表される。

$$B = \int_0^\pi \int_0^1 (1-r^*) r^* (1 + \alpha - r^* \cos \varphi) \cos^{-1} \left(\frac{\alpha}{1 + \alpha - r^* \cos \varphi} \right) dr^* d\varphi$$

2) 封水損失せずにトラップ内部で封水が周期運動している場合は、次式で示される。

$$\frac{50}{49} l \frac{d\bar{v}}{dt} + \frac{1}{4} g \frac{1}{R+T} \{F(\xi_a) - F(\xi_b)\} + 0.0216 \frac{l}{R^{5/4}} \frac{\bar{v}^2}{|\bar{v}|} = \frac{\Delta P}{\rho}$$

$$\frac{d\bar{v}}{dt} = \frac{1}{\frac{50}{49} l} \left\{ -0.0216 \frac{l}{R^{5/4}} \frac{\bar{v}^2}{|\bar{v}|} - \frac{1}{4} g \frac{F(\xi_a) - F(\xi_b)}{R+T} + \frac{\Delta P}{\rho} \right\} \quad \text{.....(20)}$$

3) 封水が周期運動しながら水を損失している場合は、次式で示される。

$$\frac{50}{49} l \frac{d\bar{v}}{dt} - \frac{25}{49} \bar{v}^2 + \frac{1}{4} g \frac{F(\xi_a)}{R+T} + 0.0216 \frac{l}{R^{5/4}} \frac{\bar{v}^2}{|\bar{v}|} = \frac{\Delta P}{\rho}$$

$$\frac{d\bar{v}}{dt} = \frac{1}{\frac{50}{49} l} \left\{ -0.0216 \frac{l}{R^{5/4}} \frac{\bar{v}^2}{|\bar{v}|} + \frac{25}{49} \bar{v}^2 - \frac{1}{4} g \frac{F(\xi_a)}{R+T} + \frac{\Delta P}{\rho} \right\} \quad \text{.....(21)}$$

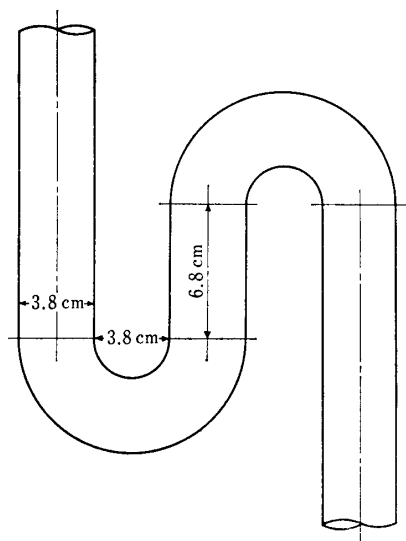


図-2 内径 3.8 cm のトラップのモデル (a)

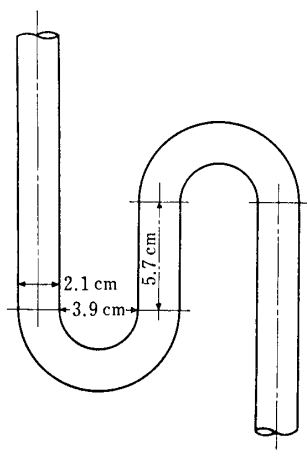


図-3 内径 2.1 cm のトラップのモデル (b)

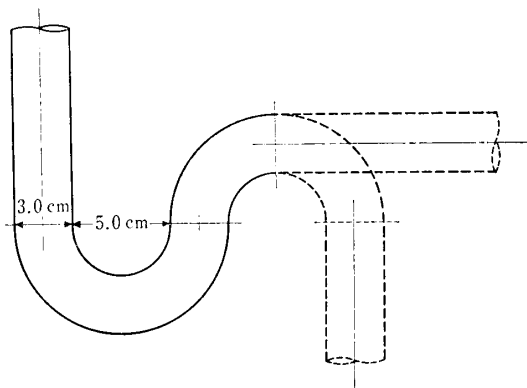


図-4 内径 3.0 cm のトラップのモデル (c)

4. 数値解析

封水の挙動を巨視的にとらえて導いたエネルギー平衡式 (19)~(21) を電子計算機を用いて数値解析を行った。これらの式は2階非線形常微方程式であるから、つぎの形の連立方程式として整理される。

$$F_1 = \frac{d\bar{v}}{dt} = \dot{h}_a = f_1(h_a, h_a, t) \quad \dots\dots(22)$$

$$F_2 = \bar{v} = \dot{h}_a = f_2(h_a, t) \quad \dots\dots(23)$$

封水の三つの挙動状態の解析における設定条件をつぎに示す。

- 1) 自己サイホン作用の解析に使用したトラップのモデルは、図-2および図-3に示す2種類である。トラップ(a)の径は3.8 cm、封水深は10.6 cmであり、トラップ(b)の径は2.1 cm、封水深は9.6 cmである。封水の両水面での圧力差はない ($\Delta P=0$) ので、この場合は外部からなされる仕事割合はない。そして、封水の挙動は静水状態から始まるものとし

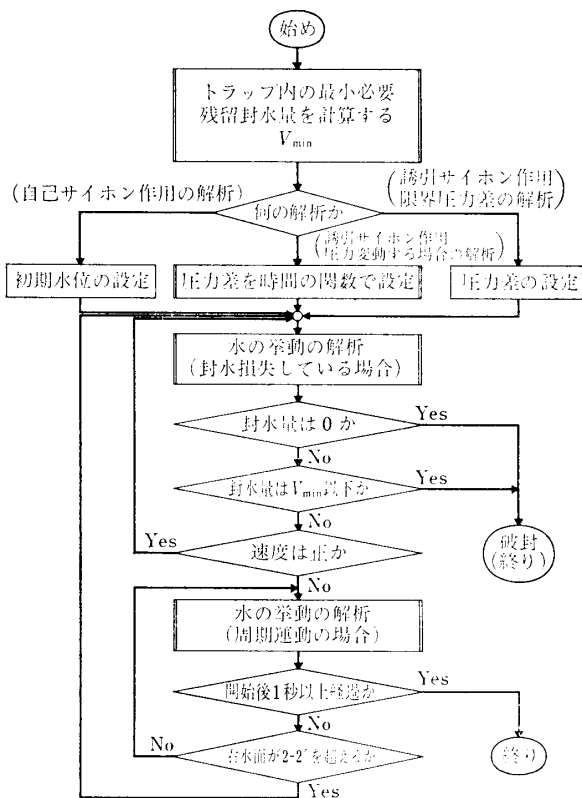


図-5 トラップ封水の挙動の解析のフローチャート

た。すなわち、 $t=0$ において $F_1=0$, $F_2=0$, $h_a=H$ で示される。ただし、 H は器具側封水面のトラップウェア面からの高さであり、2 cm ごとに変化させて解析した。

- 2) 一定の圧力差が封水に働く場合の解析に使用したトラップのモデルを図-4に示す。トラップの径は3.0 cm、封水深は5.0 cmである。封水の挙動は静水状態から始まるものとした。すなわち、 $t=0$ において $F_1=0$, $F_2=0$, $h_a=0$ で示される。そして破封する限界の圧力差を算出した。
- 3) 封水に働く圧力差が周期変動する場合の解析に使用したトラップのモデルは、2)の場合と同じであ

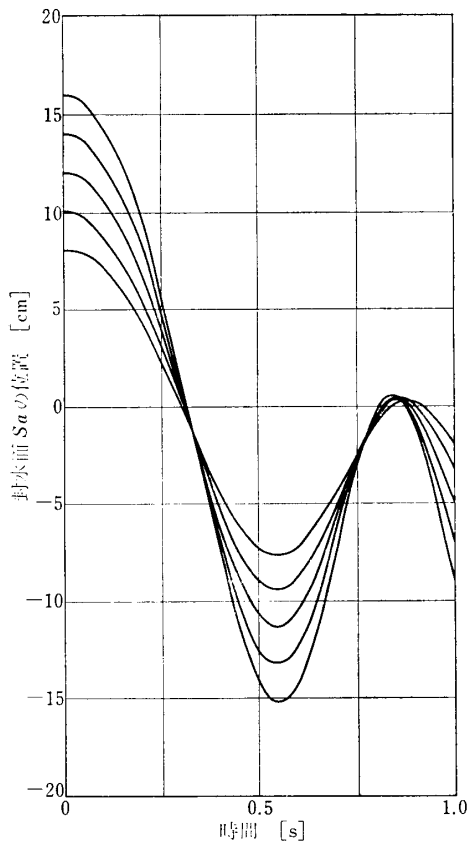


図-6 封水面 Sa の位置の時間による変化——トラップ (a) を用いて初期水位差 8~16 cm の場合の数値解析した結果

る。圧力差は振幅 P 、周期 T_p で変動するものとした。すなわち、 $\Delta P = \left(\frac{\rho g P}{10}\right) \sin(2\pi t/T_p)$ で示される。封水の挙動は静水状態から始まるものとした。それは $t=0$ において $F_1=0$ 、 $F_2=0$ 、 $h_a=0$ で示される。本研究では圧力差の変動について振幅を 50 mmAq とし、周期を 1 秒、1/2 秒、1/4 秒の 3 段階に変えて解析を行った。

著者らは式 (22)、(23) の連立式を解くにあたり、ルンゲクッタ-ジル法を用いて時間 t をパラメータとして数値計算を行った。解析はトラップの封水の挙動に関し約 1 秒間にわたって行い、1/100 秒ごとに封水の流速および封水面の位置を求めた。そのフローチャートを 図-5 に示す。

5. 結 果

5.1 自己サイホン作用の場合

自己サイホン作用による封水の挙動の解析に用いたトラップのモデルは 図-2 および 図-3 に示す 2 種類である。トラップ (a) を用いて、初期水位差を 8 cm から 16 cm まで 2 cm ごとに変えた場合の、水面 Sa の位置の時間による変化について振動の初めの一周期の範囲に

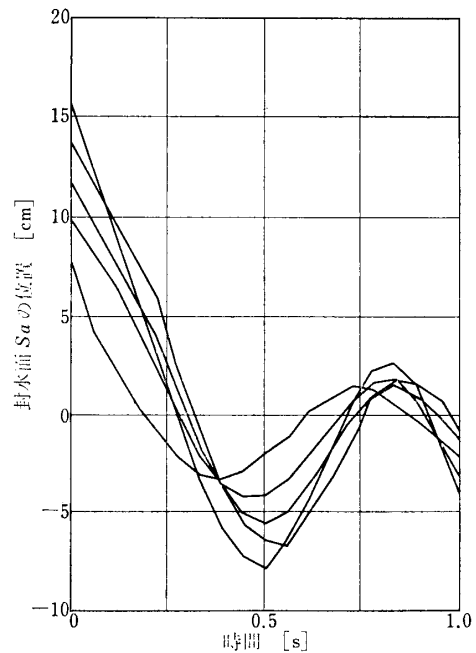


図-7 封水面 Sa の位置の時間による変化——トラップ (a) を用いて初期水位差 8~16 cm の場合の実験による結果

における解析結果を 図-6 に示す。水面 Sa は挙動開始後約 0.55 秒後にトラップウェアの下方の最も低い位置に下がり、そこで流れの方向は逆転して、以後、水面位は上昇する。開始後約 0.8~0.9 秒後に再度流れの方向は逆転し、水面は下降し始める。ここで、挙動開始後に、流れの方向が逆転する時間に関し、初期水位差の違いによる差は認められなかった。また同じ設定条件における実験結果を 図-7 に示す。実験による線は封水の挙動が開始されてから 0.2 秒後より 0.05 秒間隔に測定した値を結んだ線である。ここでも数値解析による結果と同様な結果が得られている。つぎにトラップ (b) を用いて、初期水位差が 8 cm の場合 および 10 cm の場合の水面 Sa の位置の時間による変化について、数値解析の結果および同じ設定条件における実験結果を対比させて 図-8 および 図-9 に示す。トラップ (a) の場合と同様に、挙動開始後の封水の振動の初めの一周期の範囲において、下向きの流れが上向きに変わる時間とつぎに流れの向きが変わる時間に関して、初期水位差が 8 cm および 10 cm の場合でも、数値解析の結果と実験による結果とはほぼ同じであるとみなせる。しかし、流れの方向が逆転するときの水面 Sa の位置に関して、数値解析の結果と実験による結果とは若干のずれがみられる。これは、数値解析・実験ともに同じ設定条件になるように努めたが、実験では開始時間の判定に若干の遅れが生じたことによるものと考えられ、将来に予定している実験関係の報告での検討課題としたい。

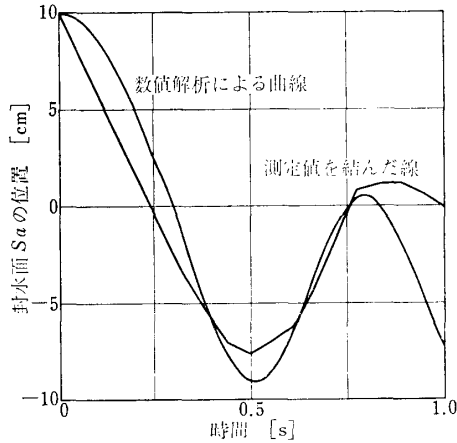


図-8 封水面 S_a の位置の時間による変化——トラップ (b) を用いて初期水位差 10 cm の場合の数値解析と実験による結果の比較

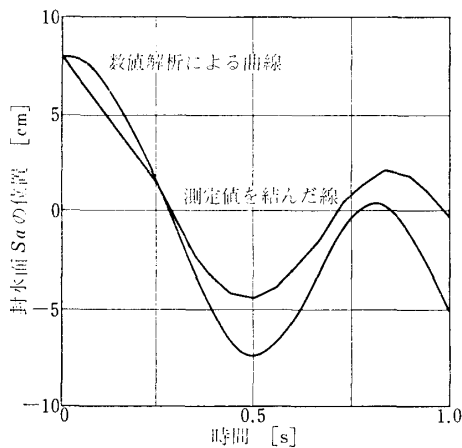


図-9 封水面 S_a の位置の時間による変化——トラップ (b) を用いて初期水位差 8 cm の場合の数値解析と実験による結果の比較

5.2 封水に圧力差が働いている場合

解析に用いたトラップのモデルとしては、洗面器に取り付けられている図-4に示すような、一般的なSトラップないしはPトラップを想定している。圧力差が一定の場合に、その大きさの違いによる封水面 S_a の移動距離の時間による変化を図-10に示し、そのときの速度の変化を図-11に示す。図-10および図-11において、負圧が 40 mmAq, 44 mmAq および 46 mmAq の場合には、封水面は挙動開始後 0.5 秒前後のときから戻り始め、必要最小残留封水量はまだ確保されているが、47 mmAq 以上の負圧が働く場合には残留封水量は少なくなり、破封してしまっている。

つぎに、このトラップの封水に働く圧力差が周期変動する場合における封水面 S_a の移動距離の時間による変化について、圧力差の変動は振幅を 50 mmAq とし、そして変動周期を 1 秒, 1/2 秒, 1/4 秒として解析した結果を図-12に示す。この図において、封水面の位置変

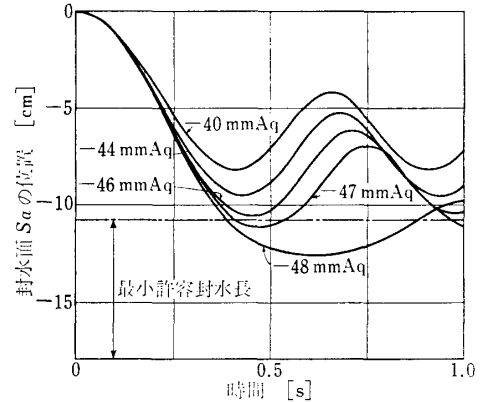


図-10 封水面 S_a の位置の時間による変化——トラップ (c) を用いて負圧が一定の場合の数値解析した結果

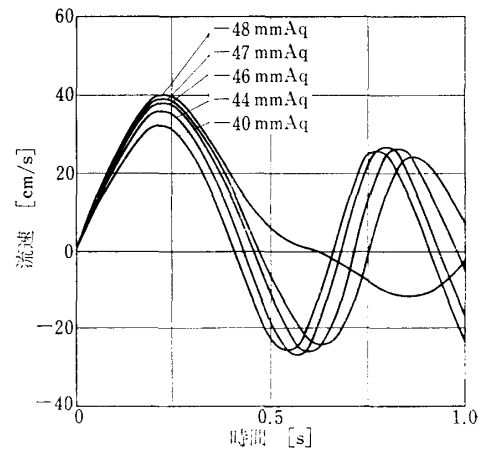


図-11 封水の流速の時間による変化——トラップ (c) を用いて負圧が一定の場合の数値解析した結果

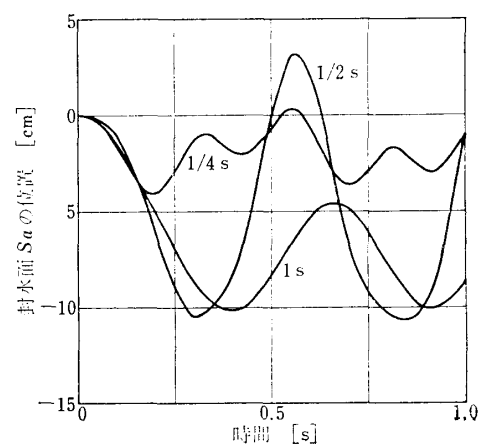


図-12 封水面 S_a の位置の時間による変化——トラップ (c) を用いて負圧が周期を 1 s, 2 s, 1/4 s で変動した場合の数値解析した結果

化は、外部から封水に働く圧力差の変動周期に従った変動傾向を表している。そして、封水の挙動開始から流れ方向が逆転するまでの封水の損失量は、変動周期が 1/4

秒の場合よりも1秒、1/2の場合のほうが多くなっている。

なお本解析において、封水が挙動開始後に最初に流れの方向を変えるまでは式(19)を式(22),(23)の連立方程式の形で表して数値解析し、続いて水面が封水を損失せずに振動している場合は、式(20)を連立方程式の形で表して数値解析した。その場合、両者は式(22),(23)を同じ値として接続させた。また封水のどの挙動状態においても、0秒から1秒までの数値解析では、式(21)で示される振動をしながら、図-1の面2-2'を超える状態はなかった。

6. 結 論

トラップの封水の挙動について、巨視的エネルギー平衡式から導いた理論式は2階非線形常微分方程式である。自己サイホン作用の解析では、数値解析した結果は、別報による実験の結果と比較し、振動の初めの一周期の範囲において封水の水位変動の性状および流れの方向の逆転する時間に関して良い近似を得た。トラップの破封限界圧力差はトラップの形状・封水深によって異なると考えられるが、本研究でモデルとしたトラップでは、空気の逆流を無視し、水はトラップ内を満流で流れるものとした場合における数値計算の結果は、封水深よりも値の小さい負圧によって破封した。圧力差が時間変動する場合には変動幅が同じであっても、変動周期によって封水損失量は異なることが数値計算の結果認められ、これは松平⁹⁾によっても同様な結果が指摘されている。

さらに、これはトラップの形状や封水の損失状況などによって変化すると考えられる封水挙動の固有の周期と関連付けることができ、今後の研究課題として、継続して検討したいと考えている。

なお、本研究の理論式について、自己サイホン作用に関しては、初期水位を与えた場合の封水の挙動を2種類の管径のトラップについて、実験値と理論値を対比させているが、今後は異なる形状のトラップについても同様な解析を行う必要があるものとする。また誘引サイホン作用の場合に関しては、排水管系統に生ずる圧力の変

動現象は複雑であり、かつ過渡的なものであることから、実験による研究は現在のところ非常に難しくかつ困難であるため、本研究では理論解析により、封水の挙動特性を解明している。今後は、自己サイホン作用の場合と同様に実験を行い、本研究の結果を確認することを予定している。

参 考 文 献

- 1) J.L. French, H.N. Eaton: Self-Siphonage of Fixture Traps. BMS Report 126, (1951)
- 2) 金杉憲幸・紀谷文樹・青木一義: 衛生器具における給排水の関連性に関する研究, その3, 日本建築学会学術講演梗概集, p. 9 (昭53-9)
- 3) J. Christiansen: Characteristics of Traps. CIB-W 62 Seminar No. 5, (1973)
- 4) P. Dauphin: Un Nouveau Dispositif d'enregistrement des Variations de Niveau dans les Siphon d'appareils Sanitaires CIB-W 62 Seminar No. 3, (1973)
- 5) 松平秀雄・小林義一: 排水トラップ中の水の動特性, 空気調和・衛生工学会論文集 No. 3, p. 89, (1977)
- 6) 篠原隆政・貝塚正光・坂上恭助: トラップ封水の変動特性に関する研究, 空気調和・衛生工学会学術講演論文集, p. 205, (1976)
- 7) 青木一義・金杉憲幸・浅野良晴・紀谷文樹: 初期水位を与えた時のトラップ封水の挙動について, 日本建築学会大会学術講演梗概集, p. 11, (1978)
- 8) 高橋紀行・浅野良晴・紀谷文樹・小林陽太郎: サイホン作用の理論解析に関する研究, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, p. 195, (1975)
- 9) 浅野良晴・高橋紀行・小林陽太郎: サイホン作用の理論解析に関する研究, その2, 速度分布に乱流則を用いた方法, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, p. 209, (1976)
- 10) 浅野良晴・高橋紀行・小林陽太郎: サイホン作用の理論解析に関する研究, その3, 自己サイホン作用と圧力差に変動のある場合, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, p. 213, (1976)
- 11) 浅野良晴: 建築給排水分野における数値解析の手法について, 日本建築学会関東支部環境部会シンポジウム, 環境工学における数値計算 No. 7, (1978)
- 12) A. Schlag, E. van Peeterssen: Etude des Coupe-air sous l'effet d'une Fluctuation de Pression à l'aval CIB-W 62 Seminar No. 4, (1973)
- 13) R.B. Bird, W.E. Stewart, E.N. Lightfoot: Transport Phenomena, A. Wiley International Edition
- 14) 植松時雄: 流体力学, 機械工学講座 15, 共立出版, (1961)
(昭和 53. 9. 20 原稿受付)

Numerical Analysis for the Behavior of Seal Water in a Trap

by Yoshiharu ASANO*¹, Noriyuki TAKAHASHI*², Fumitoshi KIYA*³,
Yotaro KOBAYASHI*⁴ and Masayuki MATSUI*⁵

Synopsis : The traps connected to sanitary fixtures perform the hyginical functions. However, the trap seal is induced a water loss by the

selfsiphonage or the pressure variation in the drainage systems. The authors introduced the macroscopic mechanical energy balance in regard to the motions of the trap seal water and numerically analyzed the mechanism of a trap seal-loss.

Results of this study are as follows ;

1) Comparing to the measured values, a certain degree of approximation was obtained.

2) The motions of the seal water were understood well depending on this theory.

(Received August 20, 1978)

*¹ Department of Environmental Engineering, Tokyo Institute of Technology, Member

*² Takenaka Technical Research Laboratory, Member

*³ Department of Architecture, Musashi Institute of Technology, Member

*⁴ Department of Architecture and Building Engineering, Toyohashi Institute of Technology, Fellow Member

*⁵ Department of Environmental Engineering, Tokyo Institute of Technology