

バキュームブレーカの 空気流入に関する基礎実験

江 川 隆 進 ・ 小 林 英 一

A Fundamental Experiment on Air Flow of the Vacuum Breakers

Takayuki EGAWA and Eiichi KOBAYASHI

In this paper, a fundamental experiment of the air flow was conducted in the vacuum breakers anti-siphon pressure type using aluminum pipe. particular tendencies and characteristics of air flow were obtained through the experimen results.

On the bases of the experimental tendencies and characteristics, comparing with the HASS(Heating,Air-Conditioning and Sanitary Standard), the opening among the three points, that is to say, check valve, wire, disk, can be estimated by using the air flow theory.

This experimental results establish the the bases of the air fiow and rise water test in order to give an enough function for backflow prevention using the vacuum breakers anti-siphon pressure type.

1 まえがき

バキュームブレーカの試験方法は、[HASS 211-1988]と[HASS 215-1988]に規格化されている。前者は大気圧式バキュームブレーカで、後者は圧力式バキュームブレーカである。いずれも空気調和・衛生工学会の規格委員会で検討されたものである。

しかし、空気流入が多ければ多いほどタンク内の負圧が減少するので、HASSの試験方法で定義されている負圧を一定に保つことや、または一定の割合で負圧を増すという試験方法は到底不可能となる。そのようなことから、現在まで検討を加えてきたが、実験装置が小容量で、かつ一つのタンクであったこともあり、筆者の疑問点を明確に実証するには至らなかった。

そこで、今回は試験装置に大容量のタンクを加えることにより、空気流入の基礎的な実験を行うことにした。すなわち、空気流入に伴う負圧減少傾向の把握を主たる目的とした実験である。また、空気流入理論からその特性の把握、さらに実物バキュームブレーカにおける空気流入と水位上昇試験において、逆止弁とジスクの間にワイヤを挟んだときの隙間(内部口径)を算定する推定式を実験的手法によって裏付けるためでもある。なお、HASSの負圧一定での空気流入の試験方法と比較検討するための参考資料とすることも目的としている。

2 空気流入理論の空気流入実験への適用

空気流入理論については文献1で報告済みなので、その理論式に基づいて今回の基礎実験結果を適用させてみた。

そこで、文献1により次の理論式が導き出されている。

$$\frac{Pr}{Pa} = t \left(1 - \frac{\Delta T}{Ta} \right) \left(\frac{C \pi d^2 \sqrt{g h a}}{4 V r} \right) \sqrt{\left(\frac{2k}{k-1} \right) \left(\frac{Pc}{Pa} \right) \left\{ 1 - \left(\frac{Pc}{Pa} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right\}} \quad \dots\dots\dots (1)$$

あるいは、

$$\frac{Pr}{Pa} = \left(\frac{C \pi N}{4 V r} \right) \left(\frac{d^2 \sqrt{g h a}}{V r} \right) \left(1 - \frac{\Delta T}{Ta} \right) t \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$\text{ここにおいて、} N = \sqrt{\left(\frac{2k}{k-1} \right) \left(\frac{Pc}{Pa} \right)^{\frac{2}{k}} \left\{ 1 - \left(\frac{Pc}{Pa} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right\}} \quad \dots\dots\dots (3)$$

とする。

ただし、記号は下記の通りである。

- Pr: タンク内圧力 [mmHg] Pa: 大気圧 [mmHg] Pc: 臨界圧力 [mmHg]
 ΔT : 温度変化 [°K] Ta: 大気圧の温度 [°K] t: 負圧減少時間 [sec]
 C: 流量係数 g: 重力加速度 [m²/sec²] ha: 大気圧 [水柱 m]
 Vr: タンク容量 [m³] k: 空気の比熱比 π : 円周率
 d: パイプの内部口径・空気流入口の直径 [m]

(2)式において、今回の実験では負圧による温度変化の Δt が極めて小さく無視できる値であるので、 $\left(1 - \frac{\Delta T}{Ta} \right) = 1$ となる。また、本実験の実験装置(真空ポンプ)の性能ではタンク内を負圧760 mmHg、圧力比(以下、 $Pr/Pa = r$ とする。)がゼロの状態からの空気流入実験は不可能なので、負圧600 mmHg状態からの負圧減少時間(t)と圧力比(r)の関係から、 $r = 0$ のときの時間を最小二乗法によって推定することができ、その時間を Δt とする。よって、負圧760 mmHg状態からのそれぞれの測定負圧時における負圧減少時間は($t_0 = \Delta t + t$)として表わすことができる。そこで、(2)式は次式のようになる。

$$r = \left(\frac{C \pi N}{4} \right) \left(\frac{d^2 \sqrt{g h a}}{V r} \right) t_0 \quad \dots\dots\dots (4)$$

ただし、Nは(3)式と同じである。

以上のように圧力比は、(4)式において右辺の前項は係数として扱えるので、後項(空気流入口の断面積、大気圧、タンク容量、負圧減少時間)によって変化することを次節で明らかにする。

アルミパイプ No.	内 部 口 径 [mm]	外 径 [mm]	厚 さ [mm]
1	1.8	3.0	0.6
2	2.9	4.0	0.55
3	4.0	5.0	0.5
4	5.0	6.0	0.5
5	6.0	7.0	0.5
6	7.0	8.0	0.5
7	8.0	9.0	0.5
8	9.0	10.0	0.5

表-1 空気流入口のアルミパイプ

負 圧 [mmHg]	圧力比(r)
760	0.0000
600	0.2105
500	0.3421
400	0.4737
300	0.6053
200	0.7368
100	0.8684
50	0.9342
0	1.0000

* 大気圧(負圧 0 mmHg)を1.00とする。

表-2 負圧と圧力比

3 空気流入の基礎実験

3.1 実験装置とその方法

実験装置及びその方法は、既報までと全く同じ方法によるが、タンクの容量が既設の 0.5 m^3 に加えて、今回は 1.0 m^3 のタンクを増設してのもので、タンクの容量が 0.5 m^3 、 1.0 m^3 、 1.5 m^3 の3タイプのタンク容量による実験が可能となった。さらに、真空ポンプの容量を大きくして排気速度 550 l/min のものを使用したこと、また測定に水銀マンノメータの代わりにデジタル表示の真空計を使用した。なお、実験装置についての詳細は既報（文献1）に報告済みなので、ここでは省略する。

そこで、基礎実験として、表-1に示してあるような8種類のパイプからの空気流入試験を負圧 600 mmHg から大気圧なるまで、 500 mmHg 、 400 mmHg 、 300 mmHg 、 200 mmHg 、 100 mmHg 、 50 mmHg における負圧減少時間を測定し、負圧減少の傾向を比較検討することにした。

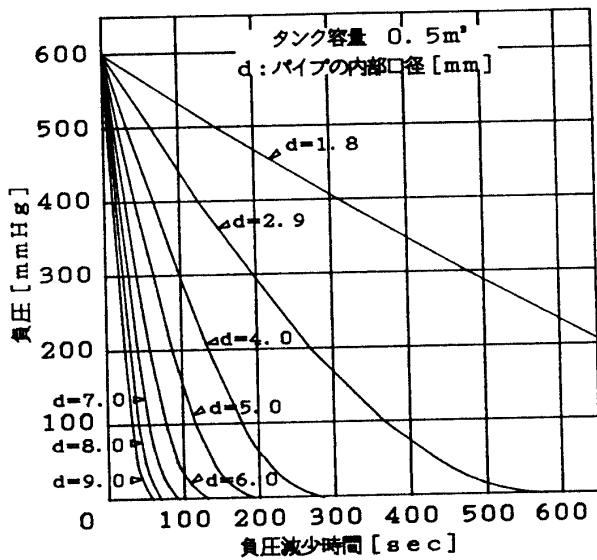


図-1A 負圧減少時間(タンク容量 0.5 m^3)

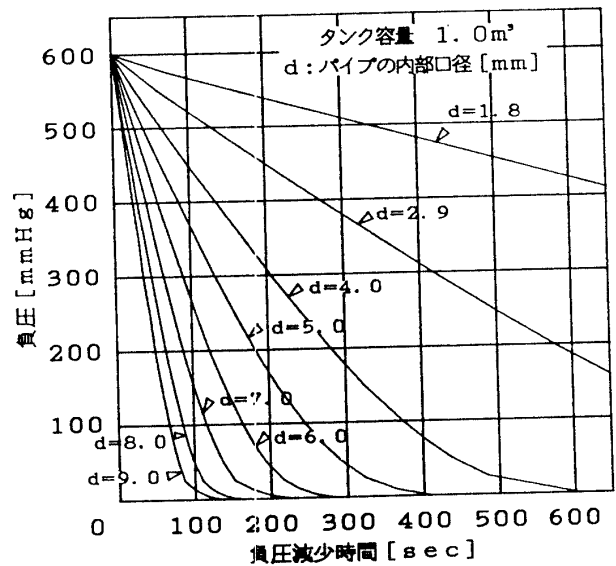


図-1B 負圧減少時間(タンク容量 1.0 m^3)

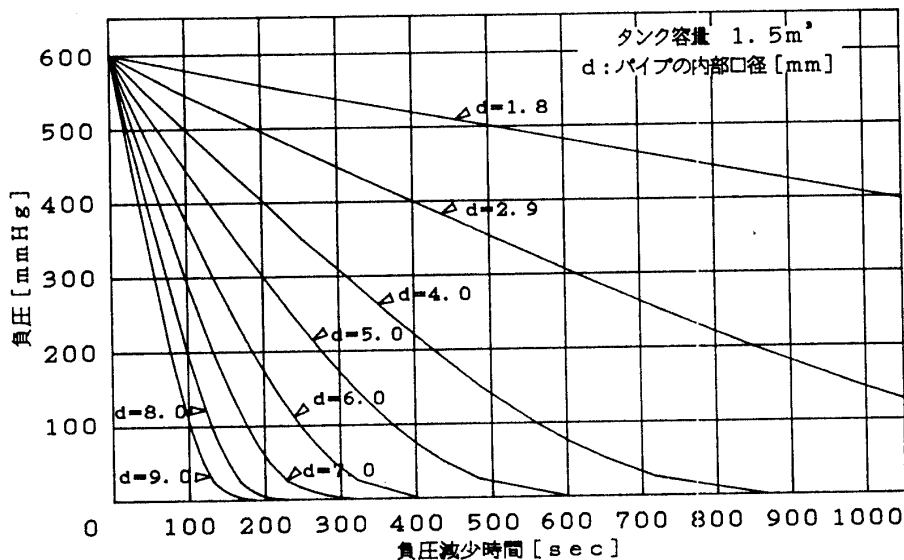


図-1C 負圧減少時間(タンク容量 1.5 m^3)

3.2 実験結果とその考察

3.2.1 負圧減少時間と圧力比

バキュームブレーカの研究において、本実験では負圧の減少をとまなう実験となっている。空気流入における実験結果(図-1A,B,Cとして示す。)の負圧減少時間のデータを換算して検討することにした。図-1A,B,Cにおいて、負圧600mmHg~200mmHg($r=0.2105\sim0.7368$)の範囲内では、ほぼ一定時間の割合で負圧は減少していることから、比例していることを示している。したがって、このことについて考察することにする。まず負圧を表-2のように圧力比(r)に換算する。次にタンクが負圧600mmHg($r=0.2105$)状態の時間をゼロとし、横軸に圧力比を、縦軸に負圧減少時間を表わし、それぞれ圧力比における負圧減少時間のデータをもとに、最小二乗法により回帰直線を求めて作図したものが図-2A,B,Cである。ただし、 $0\leq$ 圧力比 ≤ 0.7368 、大気圧をプラス760mmHgとして換算したものである。なお、実験値・解析データを図中に描くと、非常に煩雑になるために回帰直線だけを図に表わした。

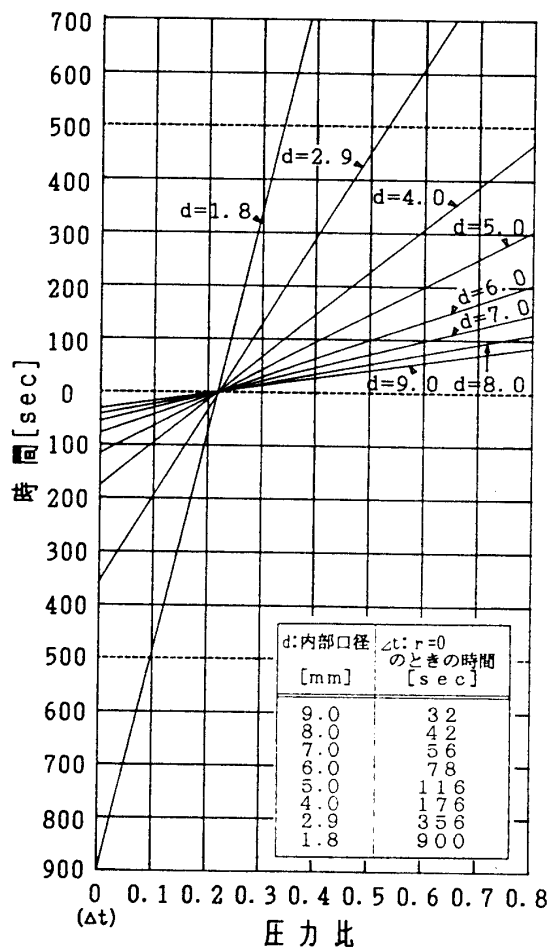


図-2C 負圧減少時間と圧力比(タンク容量1.5m³)

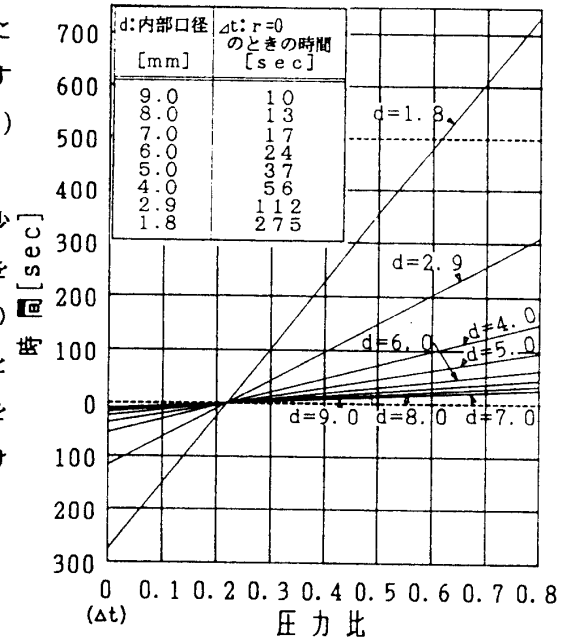


図-2A 負圧減少時間と圧力比(タンク容量0.5m³)

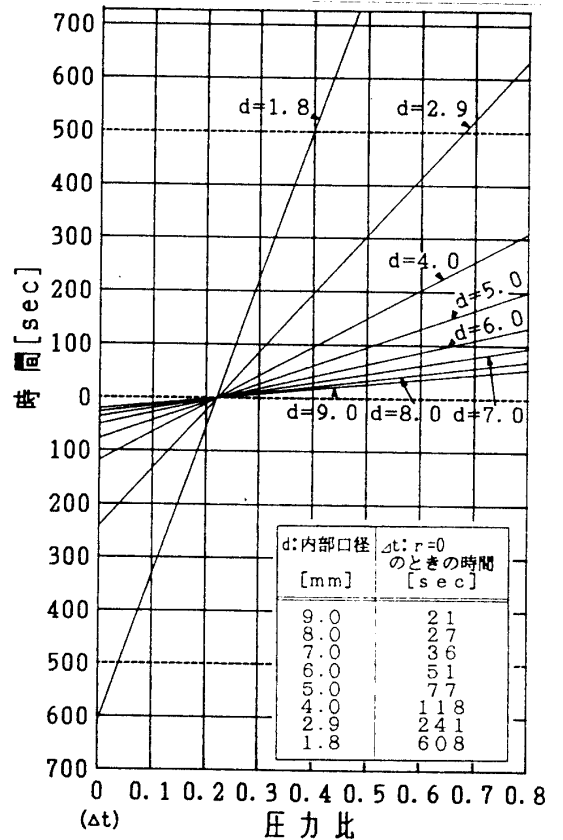


図-2B 負圧減少時間と圧力比(タンク容量1.0m³)

図-2A,B,Cにより、圧力比ゼロのところが負圧760mmHgのことになり、マイナス部分の時間が、負圧760mmHgから600mmHgまでに減少するに要する時間となる。すなわち、前項の Δt に相当するのである。

Δt はパイプの内部口径別に、圧力比と負圧減少時間の関係を最小二乗法により求めた回帰直線より負圧760mmHg($r=0$)における値、すなわち Δt を得た。当然、パイプの内部口径が小さい程、また負圧状態の体積(負圧状態のタンクの容量)が大きい程負圧減少時間を要することは判るが、内部口径が大きくなるにつれてその時間差は少なくなってくる。

3.2.2 空気流入口(内部口径)

による空気流入の特性

第2節で得られた(4)式に基づき、圧力比と関連する式の後項目を取り出し、その関係を求めることにした。その理由は(4)式の前項が変数ではなく、ほぼ係数として判断できるからである。

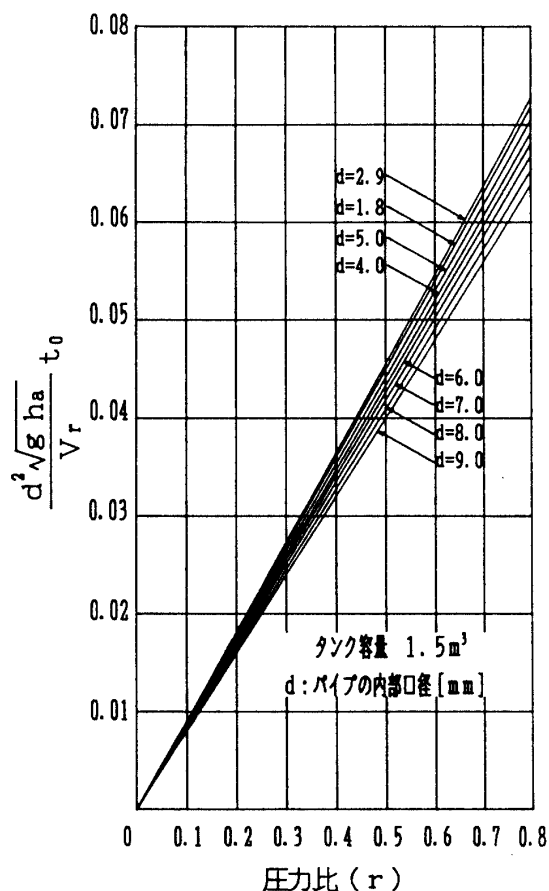


図-3C 圧力比と $\frac{d^2 \sqrt{g h_a}}{V_r} t_0$ との関係(タンク容量1.5m³)

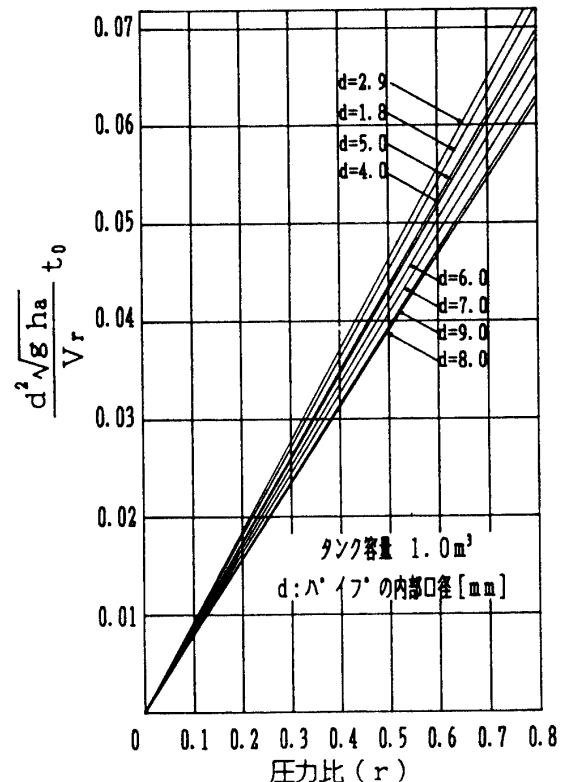


図-3B 圧力比と $\frac{d^2 \sqrt{g h_a}}{V_r} t_0$ との関係(タンク容量1.0m³)

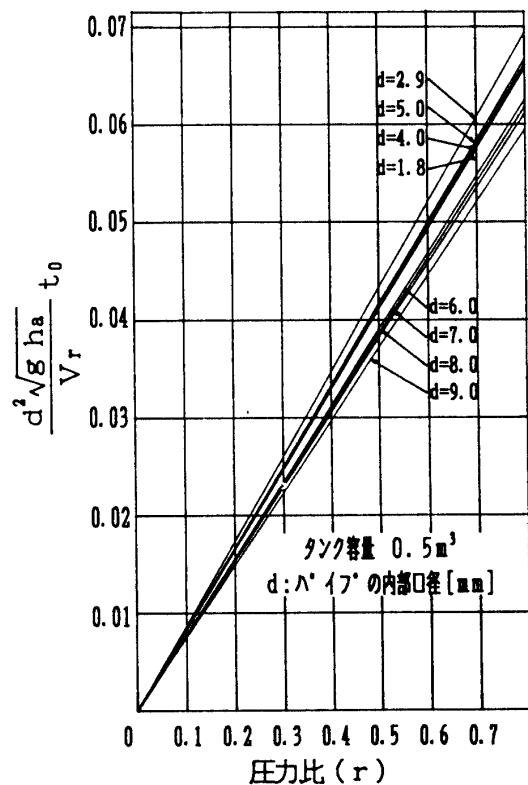


図-3A 圧力比と $\frac{d^2 \sqrt{g h_a}}{V_r} t_0$ との関係(タンク容量0.5m³)

ところが(4)式の右辺の後項 $\frac{d^2 \sqrt{g h a}}{V_r} t_0$ (以下、 S として表わす。)のうち、 g と $h a$ が定数、また V_r は同じタンク容量で実験されているために定数となるが、その他の内部口径(d)と時間(t_0)は変数であるので、後項全体は変数になる。なお、後項は何か特別に実証された変数でないことを付け加えておく。

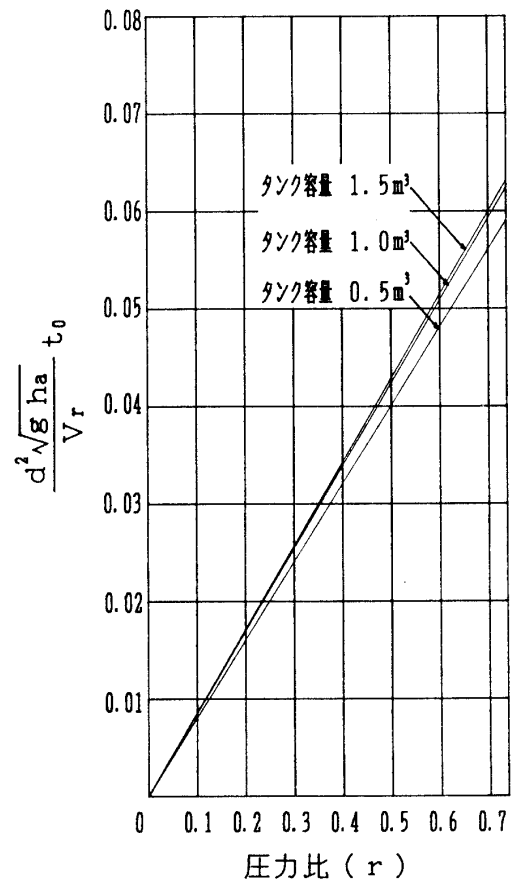
以上のような関係は、実物のバキュームブレーカの空気流入実験に、共通点の有無を知る上で必要になる。そこで各内部口径・タンク容量ごとに圧力比と(4)式との関係を図-3A,B,Cのように示す。この図-3A,B,Cは、圧力比と負圧が一定時間の割合で減少する範囲($0 \leq \text{圧力比} \leq 0.7368$)における S との関係を最小二乗法により回帰直線として表わした図である。

本目的からは8つの口径ともほぼ同じような回帰直線が求められると仮定していたが、圧力比が大きくなるほど、すなわち負圧が小さくなればなるほど S のばらつきが大きくなっており、すべてのタンク容量についても同じ傾向がある。しかし、内部口径がほぼ同じくらいであれば、回帰直線はほぼ一致するが、内部口径が極めて異なる場合は回帰直線の傾きにおいての違いが出てくる。 $r = 0.7368$ のとき、 S のばらつきが最も大きい、HASSの逆サイホン防止機能試験での負圧一定の空気流入の原則では、一定負圧を400mmHg($r = 0.4737$)として定めている。圧力比(r)=0.4737のときは、さらにばらつきが小さくなり、同じような傾向を示している。これらだけでは空気流入の特性は見いだせない、次節において三つの異なるタンク容量から、空気流入における共通の特性を推察する。

3.2.3 タンク容量による空気流入の特性

図-2A,B,Cにより内部口径が等しいとき、タンクの容量が大きくなれば、負圧減少時間は長くなり、 Δt の値が大きくなり、当然 t_0 も大きくなる。

ここで、圧力比($0 \leq r \leq 0.7368$)と今回の空気流入実験に使用したパイプの内部口径1.8mmから9.0mmまでにおけるすべての S とをデータとしてタンク容量別に回帰直線を算出した。(図-4に示す。)



タンク容量 [m ³]	回帰直線の傾き
0.5	0.0801490
1.0	0.0847355
1.5	0.0856939

図-4 タンク容量0.5,1.0,1.5m³における回帰直線

算出された回帰直線は三つの異なったタンク容量ともほぼ同じような回帰直線が得られ、特にタンク容量 1.5 m^3 と 1.0 m^3 においてはほとんど一致した回帰直線が得られている。タンク容量 0.5 m^3 における回帰直線が他のタンク容量の回帰直線と一致しなかった原因として、タンク容量 0.5 m^3 における空気流入実験では真空計に水銀マノメータを使用し、他のタンク容量ではデジタル表示の真空計を使用したためと思われる。それは真空度の感度の違いにより、負圧減少時間の測定に多少のずれがあったのではないかと推察できる。

したがって、今回の空気流入実験としての結論は、タンク容量の違いに関係なく図-4に示すように圧力比とSには同じような傾向があるということが判断され、ほぼ同じ回帰直線が導かれたとしてとどめおき、この結論を負圧減少をとまなう空気流入の傾向と特性とする。また、今回の空気流入実験で得られた圧力比とSとの関係の回帰直線を、タンク容量別に実験式としてバキュームブレーカの実物実験に適用する。

4 HASS規格の逆サイホン作用防止機能試験について

バキュームブレーカの逆サイホン作用防止機能試験では、ワイヤをブレーカの逆止弁の弁座とジスクの間に挟み、瞬時的に 400 mmHg の負圧を加え、30秒間以上この負圧を維持するとされている。

しかしながら、逆止弁の弁座とジスクの間に挟んだときの隙間を、本実験でのパイプの内部口径として考えて比較すると、内部口径が 8.0 mm の場合では、図-5A,B,Cに示すような負圧減少傾向が把握されている。本実験において負圧減少を伴う空気流入実験であることを考慮しても、HASS規格に定義されている負圧 400 mmHg の一定負圧を維持することは、困難であると推察できる。負圧一定に維持するには精密な試験装置とテクニックが必要とされる。また、タンク容量も大規模なものを設置しなければならず、空気流入口の口径が大きい場合は、技術的に不可能に近いと推察できる。したがって、空気流入が多い試験に対する試験方法でないことを、ここで指摘おく。

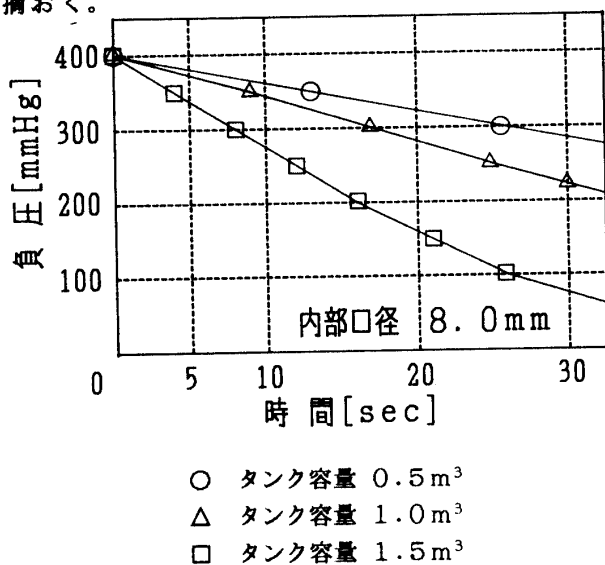


図-5A 負圧400mmHgにおける負圧減少傾向

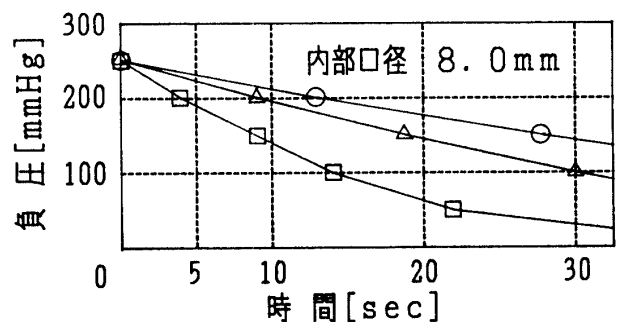


図-5B 負圧250mmHgにおける負圧減少傾向

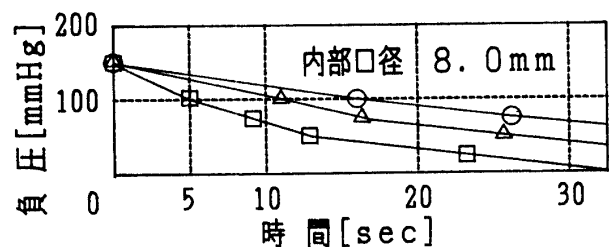


図-5C 負圧150mmHgにおける負圧減少傾向

5 結語

今回の空気流入実験で、空気流入口から給水システムへの負圧による空気流入について検討してみたが、その基礎的な傾向と特性は見いだすことができたが、確定的に結論づけるまでには至らなかった。

しかし、実物におけるバキュームブレーカの実験的研究の基礎的資料としての結果が得られた。そこで、今回の空気流入実験の結論をまとめてみる。

【1】 実験的に困難である負圧760mmHgからの負圧減少時間が図-2より推定できる。

ただし、今回の空気流入実験はタンク容量が $0.5\text{ m}^3 \cdot 1.0\text{ m}^3 \cdot 1.5\text{ m}^3$ 、最小内部口径0.18mm、最大内部口径9.0mm、負圧600mmHg～0mmHgまでの継続時間によるものである。

【2】 HASS規格による負圧一定による試験と比較し、空気流入実験から検討すると、空気流入量だけをさらにタンクから空気を抜き、同じ負圧状態にしなければならず、HASS規格においては空気流入口が微小でなければならない。

【3】 本基礎実験では空気流入の特性として圧力比と $\left(\frac{d^2\sqrt{gha}}{V_r}t_0\right)$ 関係から一致した回帰直線

は得れなかったが、タンク容量別に次の実験式が得られた。

$$V_r = 0.5\text{ m}^3 \text{ のとき } S = 0.080149r$$

$$V_r = 1.0\text{ m}^3 \text{ のとき } S = 0.084736r$$

$$V_r = 1.5\text{ m}^3 \text{ のとき } S = 0.085694r$$

ただし、記号は下記の通りである。

$$r: \text{圧力比} \quad S: \frac{d^2\sqrt{gha}}{V_r}t_0 \quad V_r: \text{タンク容量} [\text{m}^3] \quad \text{とする。}$$

今回の基礎実験では三つの異なったタンク容量の実験を行ったが、ほぼ同じ傾向の結果を得たにしても一致するまでには至らなかったため、各タンク容量における実験式を結論とした。

以上のような結果は、実物におけるバキュームブレーカの空気流入実験・水位上昇実験に十分に適用され、参考資料となるであろう。これにより空気流入基礎実験の結びとする。

参考文献

1) 江川隆進：負圧による給水システム内への空気流入について

日本建築学会北陸支部研究報告集 第32号

2) 空気・調和衛生工学会：空気調和・衛生工学会規格

HASS 211-1988 大気圧式バキュームブレーカ

3) 空気・調和衛生工学会：空気調和・衛生工学会規格

HASS 215-1988 圧力式バキュームブレーカ

4) 空気・調和衛生工学会：空気調和・衛生工学会規格

HASS 206-1982 給排水設備基準

(平成3年12月17日受理)