

# 圧力式バキュームブレーカにおける水位上昇試験の 基礎的検討

江 川 隆 進\*

## A Fundamental Study on the Water Rise Test of the Pressure Type Vacuum Breaker

Takayuki EGAWA

In this study, first of all, the water rise test was conducted using the real pressure type vacuum breaker, and an author compared the air flow quantity in the water rise test with an experimental formula of the fundamental experiment using the aluminum pipe. Yet, this time experiment and the fundamental experiment took the same method as HASS (Heating, Air-conditioning and Sanitary Standard). And, the water rise test was conducted in accordance with the test method of HASS, but this time negative pressure was not the constant vacuum.

As the results of this experiment, the estimated formula on an inner opening of the real pressure type vacuum breaker was confirmed by the fundamental experiment, and it was clear that the real pressure type vacuum breaker conformed to the value of HASS by this time experiment.

### 1. はじめに

既報（文献1）では、バキュームブレーカの空気流入に関する基礎実験の結果を報告した。本研究はその結果を踏まえ、実物の圧力式バキュームブレーカにおける水位上昇実験を試みた。

さて、空気調和衛生工学会の規格である「HASS 211-1988」と「HASS 215-1988」のバキュームブレーカの試験方法では、試験負圧を一定にすることになっている。しかし、空気流入が微少である場合は別として、空気流入がある程度ある場合は負圧を一定に保つことが不可能になる。したがって、HASSの規格による試験方法はバキュームブレーカ内に流入する空気量が微少で、かつ試験用の真空タンクの容量もそれ相応に大きくなければならない。

そこで、本研究ではM整品の圧力式バキュームブレーカを用い、空気流入実験と水位上昇の実験を行った。実験はHASS規格の試験方法に準じるようにしたが、管内への空気流入方法は根本的に異なっている。また、実験に使用する真空タンクの容量を $0.5\text{m}^3$ 、 $1.0\text{m}^3$ 、 $1.5\text{m}^3$ の3種類と

---

\* 建設工学科建築学専攻

し、タンクの容量による影響を検討した。さらに、圧力式バキュームブレーカの安全性に対する検討のひとつとして、外部開口部の大きさについて検討と提案を行った。

## 2. 実験装置及びその方法

実験装置並びにその方法は、既法と全く同じである。異なるところは基礎実験の試供体はアルミパイプであるのに対し、今回は呼径 25mm の実物の圧力式バキュームブレーカを使用した。

ここで断っておくが、空気流入および水位上昇の両実験ともバキュームブレーカ内の逆止弁のパッキンを取り外してワイヤを挟んだ状態とした。その理由として、パッキンの弾性によって、またワイヤを取り付ける際に取り付け位置が微妙にずれることにより、ワイヤを挟んだときの隙間（以下、内部開口部という）が異なってくるのである。つまり、スプリングの押し上げによるパッキンの欠込みが大きければ内部開口部は小さくなる。そのために、パッキンのくい込み方によって空気流入量にばらつきがでる。なかには完全に空気流入を止めるときもある。そこで、図-1のように逆止弁とジスクの間にワイヤを挟むことにした。

このようなパッキンを取り外した条件は、パッキンがすべて破損し、さらに異物が挟まった最も危険な状態と仮定したものとなり、いかなる状態でも十分に安全側にある実験である。

## 3. 空気流入の実験結果とその考察

### 3-1 負圧減少時間の検討

呼径 25mm の実物の圧力式バキュームブレーカを使用し、その逆止弁の弁座とジスクとの間にワイヤ径が 0.5mm, 0.7mm, 1.0mm, 1.2mm, 1.5mm の 5 種類を挟んだ。また、3 種類のタンク別に最大負圧 600mmHg からの負圧減少を求めた。なお、バキュームブレーカの通水出口を閉鎖し、空気流入口からの空気流入を行った。

その実験結果を図-2に示す。さらに、ワイヤ口径 1.2mm のタンク容量別の負圧 400mmHg からの負圧減少傾向を図-3に示す。当然ながら、タンク容量の大きいほど負圧減少はゆるく、小さいほど負圧減少は急になる。また、図-3から HASS 規格の水位上昇試験のように 400mmHg を 30秒間も持続することは到底できないことがわかる。したがって、本実験では空気流入にともなっ

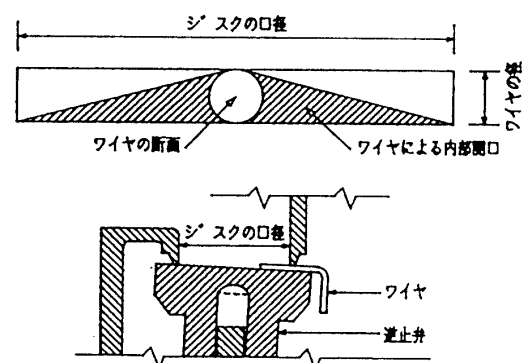
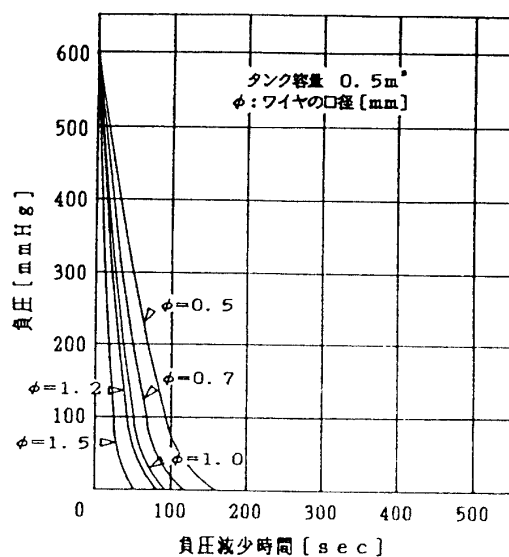
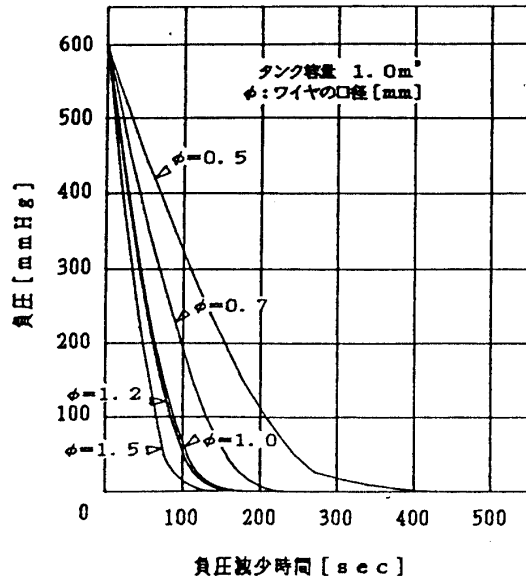


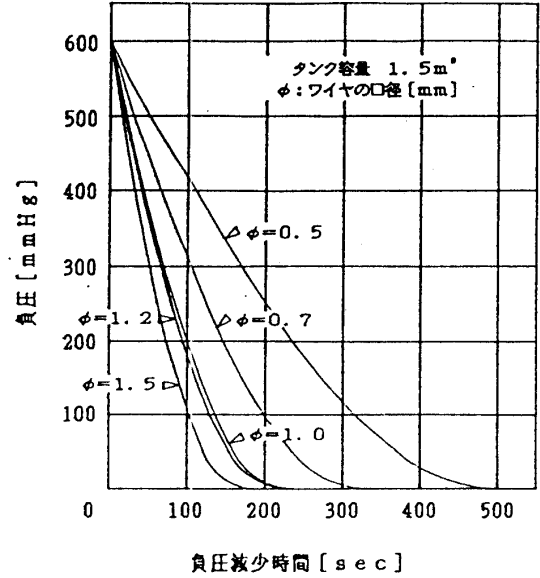
図-1 プレーカ内にワイヤを挟んだ状態



(a)図 タンク容量 0.5m³



(b)図 タンク容量 1.0m³



(c)図 タンク容量 1.5m³

図-2 負圧と負圧減少時間

て負圧の減少がある。

ここで、600mmHg から 200mmHg までは比較的一定の割合で負圧が減少しているので、その間で負圧減少を一次式で表わすと次のようになった。ただし、ワイヤ径は 1.2mm の場合とする。

- ① タンク容量 0.5m³  $p = -12.9t$
- ② タンク容量 1.0m³  $p = -6.5t$
- ③ タンク容量 1.5m³  $p = -4.2t$

ただし、 $p$ : 負圧 [mmHg],  $t$ : 時間 [sec]

このように負圧の減少にともなう水位上

昇実験であり、HASS の規格のように 400mmHg を 30秒も持続するものではない。なお、このような負圧の減少と水位上昇との関係は 4 の水位上昇実験の項目のところで述べる。

### 3-2 負圧減少時間と圧力比

文献 1 の基礎実験と同様に負圧減少時間と圧力比との関係を求めた。まずは 3-1 に指摘してあるように、負圧 600mmHg~200mmHg (圧力比  $r = 0.2105 \sim 0.7368$ ) の範囲内はほぼ一定の割合で負圧が減少している。そこで、負圧を圧力比に換算し、負圧 600mmHg ( $r = 0.2105$ ) のときをゼロして横軸に圧力比、縦軸に負圧減少時間を表わす。つぎに、それぞれの圧力比に対する負圧減少時間のデータをもとにして最小二乗法により回帰直線を求めて作図したのが図-4 である。ただし、圧力比の範囲は 0.2105~0.7368 とし、実験データは複雑になるので省略した。なお、圧力比ゼロのところが負圧 760mmHg になり、マイナス部分の時間が負圧 760mmHg から 600mmHg までに減少する時間ということになる。この間の時間を  $\Delta t$  (sec) とすると、負圧減少時

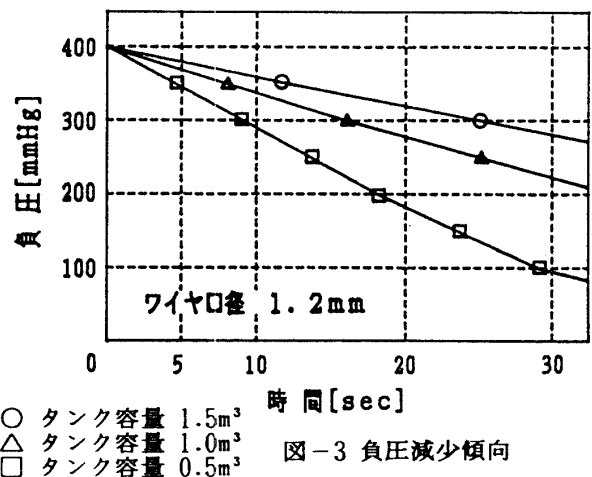
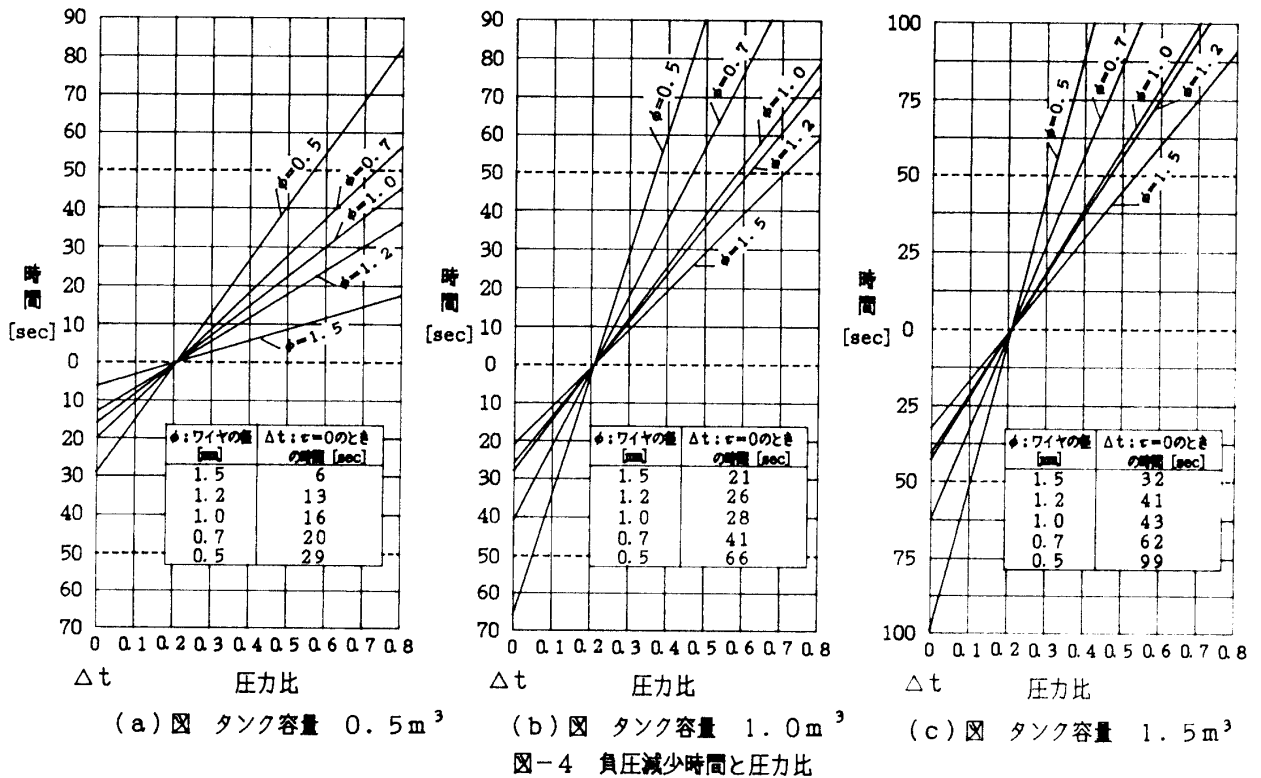


図-3 負圧減少傾向

間 ( $t_0$ ) は、 $t_0 = (t + \Delta t)$  として表わせる。この  $t_0$  は、つぎの 3-3 の項目で検討するとき、基礎実験で求められた 3-2, 3-3, 3-4 式の  $t_0$  に代入するときに用いる。

ここで図-4 から、タンク容量の大きいほど、またワイヤの径が小さいほど負圧の減少に時間がかかることがわかる。言い換えれば、負圧の減少時間が遅くなるということである。したがって、HASS の規格のように一定負圧を持続させるにはより大きなタンクが必要になる。反面、空



気流入がさらに微小でなければならない。

### 3-3 ワイヤの内部口径の裏付け

ワイヤを挟むことによってどれくらいの隙間が生じるのかを以下のように計算するが、この値はあくまでも推定値である。

図-1 から、以下ワイヤによって生じた隙間をワイヤによる内部開口とし、その開口面積 ( $A$  mm<sup>2</sup>) を口径に換算したものをワイヤによる内部口径 (直径  $d$  mm) とする。

しかるに、一般にバキュームブレーカの内部開口および外部開口を直径で表わすことが多いので、ワイヤによる内部開口も円形に換算し、直径で表わすことにする。

そこで、ワイヤによる内部開口の面積 ( $A$  mm<sup>2</sup>) を求める推定式は次のようになる。

$$A = (\phi \pi d' / 2) - (\phi / 2)^2 \pi = (\pi / 2) \cdot (d' \phi - \phi^2 / 2) \quad \cdots \cdots (3-1 \text{ 式})$$

ただし、 $A$ : ワイヤによる内部開口の面積 (mm<sup>2</sup>)

$d'$ : バキュームブレーカのジスクの口径 (mm)

$\phi$ : ワイヤの径 (mm)

つぎに、ワイヤによる内部開口の面積を円形の開口面積として換算すると、 $A = (d/2)^2 \pi$  によ

り、ワイヤによる内部口径は  $d = \sqrt{4A/\pi}$  として表わせる。

なお、ここで付け加えておくが、内部口径は図－1 から算定したものではあるが、あくまでも推定値であることは言うまでもない。そのために、次の項目で基礎実験による空気流入の実験式から裏付けることにする。

アルミパイプを使用した基礎実験により、空気流入に関する特性として、つぎに示す実験式が得られている。ただし、文献1では小数点6位までの実験式となっていたが、今回は簡略して小数点3位までに訂正したことを断っておく。

① タンク容量 0.5m<sup>3</sup>  $(d^2\sqrt{gha/V_r}) \cdot t_0 = 0.080r$  ..... (3－2式)

② タンク容量 1.0m<sup>3</sup>  $(d^2\sqrt{gha/V_r}) \cdot t_0 = 0.085r$  ..... (3－3式)

③ タンク容量 1.5m<sup>3</sup>  $(d^2\sqrt{gha/V_r}) \cdot t_0 = 0.086r$  ..... (3－4式)

ただし、g：重力加速度 [m<sup>2</sup>/sec<sup>2</sup>]、ha：大気圧 [水柱 m]、V<sub>r</sub>：タンク容量 [m<sup>3</sup>]、r：圧力比、t<sub>0</sub>：負圧減少時間 (t+Δt) [sec] t：負圧0～600mmHg間の負圧減少時間 [sec] Δt：負圧760mmHg (圧力比 r = 0) から 600mmHg間の負圧減少時間 [sec]

これらの式において、g と ha と V<sub>r</sub> は定数なので、変数である r (圧力比) と t<sub>0</sub> (負圧減少時間 = t+Δt) を代入すれば内部口径が求められる。この口径を内部口径実験推定値と称する。そこで、図－4 からそれぞれの負圧に対する (t<sub>0</sub> = t+Δt) を代入した値が表－1 の内部口径実験推定値である。ただし、ワイヤ径は 1.2mm の場合とする。また、(2－1)式から実物のバキュームブレーカの内部開口面積と、さらにワイヤによる内部開口 (直径 d mm) を求める。この値を内部口径推定値と称し、表－1 に示す。よって、推定式で求めた値と実験式より求めた値を比較したものが表－1 となる。ワイヤの口径ごとに負圧は 600mmHg～200mmHg までの 100mmHg ごとに、タンク容量ごとに算定した。200mmHg 以下については、負圧減少が一次式にならないために省略してある。ただし、600mmHg～200mmHg の間で一定の割合に減少するとは限らないが、一次式として表わせることを記しておく。

ここで、推定式で求めた値と実験式より求めた値を比較してみると、ほぼ同じような数値になっている。したがって、推定式によるワイヤの内部口径を水位上昇実験での実験結果の解析に適応できることがわかった。

#### 4. 水位上昇実験

##### 4－1 水位上昇の測定方法

実験装置本体については、文献1やその他で報告済みなのでここでは省略するが、

ワイヤ口径 1.2mm

負 圧 [mmHg]	内 部 口 径 推定値 [mm]	タンク容量 [ m <sup>3</sup> ]	内部口径実験 推定値 [mm]
6 0 0	8 . 4	1 . 5	8 . 1
		1 . 0	8 . 3
		0 . 5	8 . 0
5 0 0	8 . 4	1 . 5	8 . 5
		1 . 0	8 . 6
		0 . 5	8 . 2
4 0 0	8 . 4	1 . 5	8 . 5
		1 . 0	8 . 7
		0 . 5	8 . 5
3 0 0	8 . 4	1 . 5	8 . 5
		1 . 0	8 . 6
		0 . 5	8 . 3
2 0 0	8 . 4	1 . 5	8 . 3
		1 . 0	8 . 4
		0 . 5	8 . 2

表－1 内部口径の比較

バキュームブレーカ内に吸い込まれる水の高さの測定方法については、図-5の簡略図で説明する。バキュームブレーカ内の逆止弁とジスクの間に挟むワイヤは空気流入と同じであるが、通水出口側に目盛り付きの透明管を取り付け、負圧のために吸い込まれる水の高さを測定するのである。ただし、水位は目視によって最高の高さを測定したので、数回同じ実験を行って平均値で示すようにした。しかし、目視による測定ゆえ少々の誤差が生じるのはやむを得ない。なお、本実験は空気流入と同様に逆止弁の弁座のパッキンはずした状態の実験であることを付け加えておく。つまり、パッキンがすべて摩耗したりしてなくなった状態に、さらにワイヤという異物が挟まれたときの実験なので、十分に安全側になる。

#### 4-2 負圧と水位上昇高さ

水位が上昇することは、ブレーカ内の圧力が大気圧よりも上昇した水位分だけマイナスになることになる。よって、そのマイナス分、つまり水位の上昇を小さくすることがブレーカの逆流防止機能を決

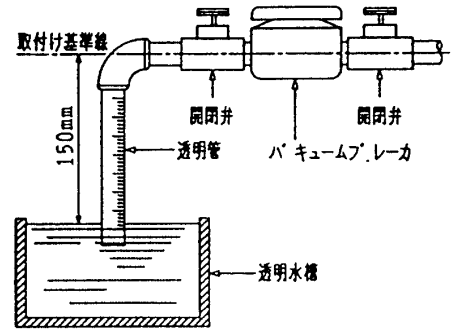
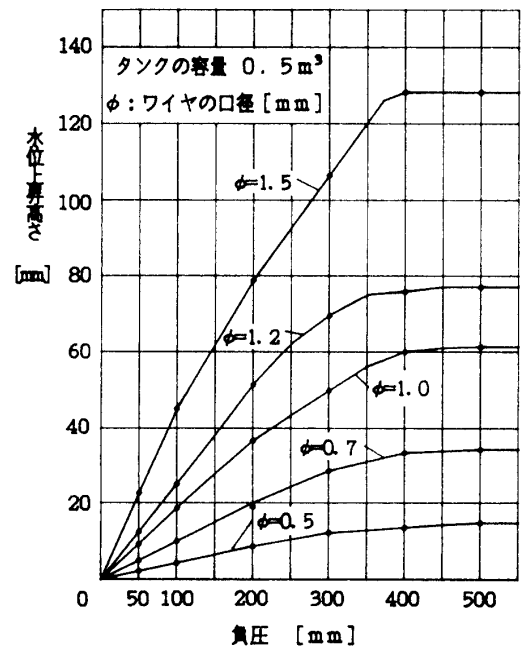
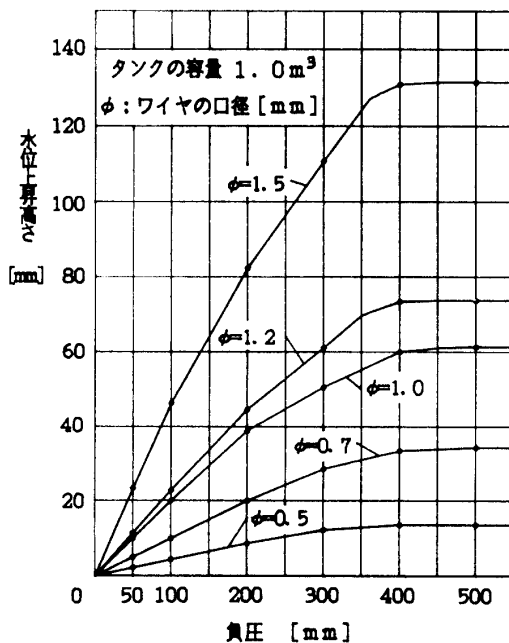


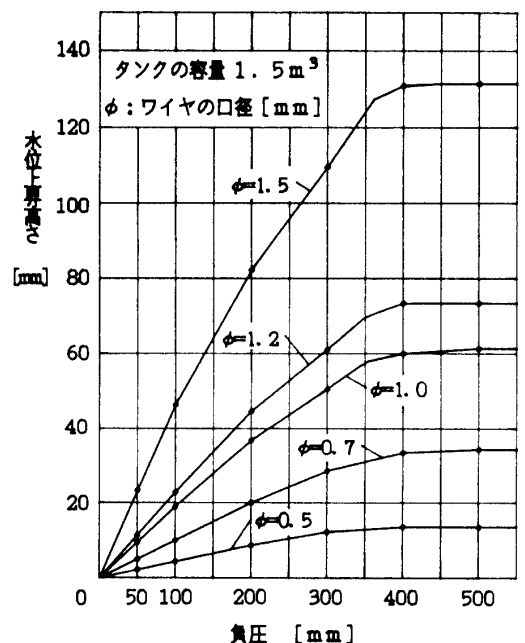
図-5 水位上昇の測定方法



図(a) タンク容量 0.5 m³



図(b) タンク容量 1.0 m³



図(c) タンク容量 1.5 m³

図-6 負圧と水位上昇高さ

める大きな要素となる。

そこで、今回の実物のブレーカによる水位上昇の実験を試みた。その水位上昇を負圧の変化で表わすと図－6のように示される。この図には、5つのワイヤ径ごとの水位上昇高さを3つのタンク別に図示した。水位上昇は、0～200mmHgまでは急激に、200mmHg～400mmHgまではゆるやかに、そして400mmHg以上ではほぼ一定の値になっている。しかし、ワイヤの口径が細くなるにつれて、すなわちワイヤの内部口径が小さいほど上昇高さが緩やかになることがわかる。ただし、ワイヤ径0.5mmの場合、水位上昇が最大15mm程度までなので、目視による測定誤差も考えられる。

つぎに、タンク容量の大小と水位上昇との関係を明確にさせたいが、今回の実験からはその差異はほとんどなかった。つまり、3－2式、3－3式、3－4式のような負圧減少による水位上昇高さへの影響がなかったことになる。

以上の結果から判断すれば、空気流入のため急開弁を開くと同時に最大上昇水位になるものと推定できる。なお、実験での上昇水位高さの測定でも、急開弁を開くと同時に最大上昇水位となり、負圧の減少とともに上昇高さがじょじょに低下していくことが見られた。

#### 4－3 空気取入れ口の寸法の提案

逆流防止器の基礎理論により、水位上昇高さ( $\Delta h$ )は次式より求められる。

$$\Delta h = 5,469(d/D)^4 \text{ [mm]} \quad \dots\dots\dots (4-1 \text{ 式})$$

ただし、 $d$ ：内部口径（直径）[mm]     $D$ ：外部口径（直径）[mm]

ここで、HASSの規格によって $\Delta h \leq 75\text{mm}$ になっている。

そこで、4－1式により

$$d/D \leq 0.34 \quad \dots\dots (4-2 \text{ 式})$$

となる。さらに、直径を面積に換算すると、

$$A/B \leq 0.12 \quad \dots (4-3 \text{ 式})$$

となる。ただし、 $A$ ：内部開口面積[mm<sup>2</sup>]、 $B$ ：外部開口面積 [mm<sup>2</sup>]

ブレーカの 呼径 [A]	ワイヤの口径 φ[mm]	内部開口面積 A [mm <sup>2</sup> ]	最低必要外部 面積 B [mm <sup>2</sup> ]	最低必要外部 開口 D [mm]
15	0.80	27.8	232	17.2
20	1.00	36.9	308	20.0
25	1.20	46.0	384	22.2
32	1.40	58.8	490	25.0
40	1.60	73.4	612	28.0
50	2.00	91.1	760	31.2

(注) ① ジスクの口径は呼径と同じとする。

② 許容上昇水位 ( $\Delta h$ ) は75[mm]とする。

③ 内部開口面積 ( $A$ )は 2-1式 による。

④ 最低必要外部面積( $B$ )は ( $A/0.12$ )以上とする。

表－2 空気取入れ口の必要寸法

以上のことから、HASS

規格の逆サイホン作用防止機能試験で規定されている呼径別に空気取入れ口の寸法を、4－2式および4－3式より表－2のように提案する。ただし、3－1式による内部開口面積とした場合なので、十分に安全側になる空気取入れ口となる。

#### 4－5 実物バキュームブレーカの HASS 規格への適応

今回の水位上昇実験で使用した実物の圧力式バキュームブレーカについて、HASS規格に適合しているかを確認してみる。

ブレーカの呼径は25mmであるが、ジスクの口径は30mmであった。HASS規格によれば、ワ

ワイヤ径は1.2mmを挟むことになっているので、内部口径面積( $A \text{ mm}^2$ )を3-1式から求めると次のようになる。

$$A = \pi/2(30 \times 1.2 - 1.2/2) = 55.4 \text{ mm}^2$$

なお、内部口径は、 $d = 2\sqrt{55.4/\pi} = 8.40 \text{ mm}$ となる。

つぎに、実物のブレーカの外部開口の面積( $B \text{ mm}^2$ )を測定して求めると次のようになる。

$$\text{外部開口面積 } B = \left\{ (35^2 - 15^2) / 4 \right\} \pi = 785 \text{ mm}^2$$

なお、外部開口は、 $D = 2\sqrt{785/\pi} = 31.6 \text{ mm}$ となる。

よって、4-3式より、 $A/B = 55.4/785 = 0.07 < 0.12$  OK

4-2式より、 $d/D = 8.40/31.6 = 0.27 < 0.34$  OK

以上のように、HASS規格に適合であると判定できる。

なお、今回の実験においては、ワイヤ径1.2mmでは水位上昇が75mmまでかろうじて達しなかった。したがって、パッキンが破損や腐食しない通常の場合ならば、十分に逆流防止の役割を果たし得るブレーカといえる。

## 5. 結 語

本研究では、実物の圧力式バキュームブレーカを使用した空気流入と水位上昇の実験を行ってHASSの試験方法とを比較検討しながら、さらに逆サイホン機能に関する基礎的検討をした結果を以下に要約する。

1) 既報(文献1)の空気流入の基礎実験から得られた実験式が、今回の実物のバキュームブレーカの内部口径推定値に適用できることがわかった。すなわち、3-1式で求められる内部開口面積でよいことが確認された。

2) 3つの容量の異なるタンク( $0.5 \text{ m}^3$ ,  $1.0 \text{ m}^3$ ,  $1.5 \text{ m}^3$ )を使用した実験において、水位上昇の相違が見当たらなかった。つまり、図-3のような空気流入の減少時間が異なっても、水位上昇への影響がなかったことになる。したがって、空気流入のための急開弁を開くと同時に最大上昇水位になるものと推定される。なお、実験においてもほとんどその傾向であった。

3) HASS規格には許容水位上昇は75mmである。そこで、その許容し得るための空気取入れ口の最低必要面積及びその口径寸法を表-2のように提案した。ただし、パッキンが破損したり、また摩耗してすべらない場合の寸法なので、実際には十分に安全側にある空気取入れ口となる。

4) 今回使用したM製品の圧力式バキュームブレーカを現行のHASS規格に適用させると、理論的に、また実験においても適合であった。

本研究では基礎的な検討ではあったが、以上のような結果が得られた。今後はその結果を踏まえ、バキュームブレーカの試験方法を再検討する。



## 参 考 文 献

- 1) 江川隆進・小林英一：バキュームブレーカの空気流入に関する基礎実験 福井工業大学紀要 第22号 1992
- 2) 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
- 3) 空気調和・衛生工学会：空気調和・衛生工学会規格（HASS 211<sub>1988</sub>）大気圧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 215<sub>1988</sub>）圧力式バキュームブレーカ
- 5) 空気調和・衛生工学会：給排水設備規準（HASS 206<sub>1982</sub>）

（平成6年9月21日受理）