

給水設備における上水汚染防止に関する研究 そのII 大気圧式バキュームブレーカについて

江 川 隆 進

A Study on Water Pollution Control in Water Supply Systems. Part II. Atomospheric Type Vaccum Brekers of Backflow Preventers

Takayuki EGAWA

In the continuous experimental study from the previous reports, tests were conducted on the following two points to make clearer what had been experimented before.

- 1) The model of nonmoving types in atomospheric type vaccum brekers.
- 2) The substance of moving types in atomspheric type vaccum brekers.

1. ま え が き

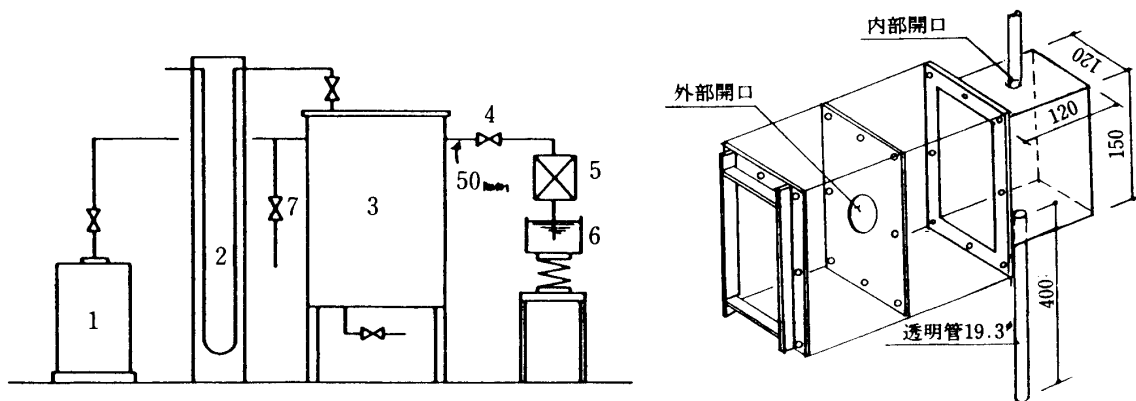
給排水の設備規準がここ数年の間に急速に整備され、衛生上、安全な飲料水の供給が確立されつつある。この上水汚染に関する一連の研究は建築設備における飲料水の安全な設備規準を作成するための一資料となることを目的としている。

前報では、上水汚染防止対策、特に吐水口空間と逆流防止器の概要についてと、さらに逆流防止器に関する空気力学理論からの解析に重点を置いた。本研究は前報の基礎理論をもとにしてより一層明確にするために、逆流防止器の一種である大気圧式バキュームブレーカについての模型並びに実物実験を行って考察することにする。また HASS₂₁₁-1981大気圧式バキュームブレーカ（案）でブレーカの規格と試験方法が提案されているので、本研究の結果と比較検討を加えることにする。

2. 実験装置およびその方法

2-1. 実験装置

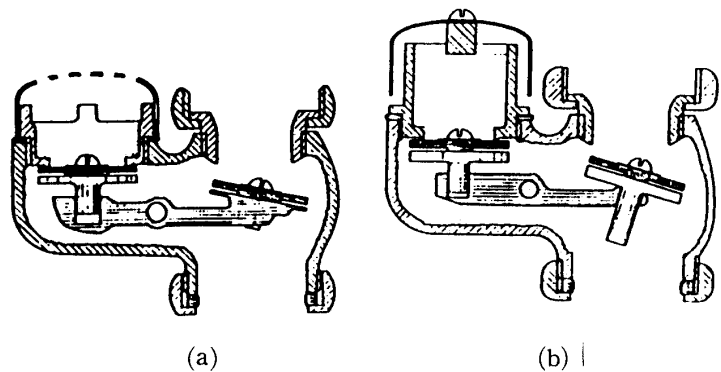
実験装置は給水管内が負圧になったことを想定し、給水パイプの代わりに真空タンクを設けて図-1のような装置とした。その真空タンクは容量を0.5m³としたために2インチパイプで約255m、4インチパイプで約65mに相当するが、空気流入テストには、小口径に対する負圧持続しか望めないので、小口径用実験装置と言える。



- 1) : 真空ポンプ (150 ℓ /min)
 2) : 水銀マンメータ
 3) : 真空タンク (0.5 m^3)
 4) : 50 mm バルブ
 5) : 実験用大気圧式バキュームブレーカ
 6) : 透明水そう 7) : 負圧調整バルブ

図一 1 実験装置

図一 2 模型大気圧式バキュームブレーカ



図一 3 大気圧式バキュームブレーカ (実物)

実験操作は真空ポンプを作動させて実験に使用する負圧以上とし、使用負圧になるようにマンメータの指示にしたがい負圧調整バルブで調整する。次にバルブを手動で急開させ、実験用バキュームブレーカの下部に取り付けている透明管に上昇する水位を目視により測定する。したがってバルブ開閉が手動であることや水位上昇測定が目視ということから、実験誤差が生じることを考慮し、同一実験を5回行ってその平均値を実験値とする。

2-2. 実験用大気圧式バキュームブレーカ

模型大気圧式バキュームブレーカ (図一 2) は大便器の洗浄弁の下部に取り付けられるブレーカを想定して製作したものであるが、実用的には過大となっている。しかもわが国で市販されている大気圧式バキュームブレーカ (図一 3) は可動部分をもつ可動型になっているのに対し、模型のブレーカは可動部分のない固定型となっている。固定、可動のどちらも給水管内へ自動的に空気が導入される機能は同じであるので、この模型実験の結果が可動型のブレーカにも適応されることが考えられる。

次に図一 2 の模型ブレーカの内、外開部分の寸法を表一 1 に示す。内部開口とはブレーカ内の

通水弁体部の開口部を示すものであるが、一般に弁座部分のパッキンが消耗したときの隙間程度の開口しか考えられない。そこで今回は内部開口が4.5mm (15.9mm²) と7.8mm (47.8mm²) の2種類を採用することにした。また外部開口はブレーカの空気取入れ口であり、実用的には複雑な形状となろうが、今回は円形とし表一1のような寸法を採用した。

以上のように小口径の模型ブレーカであるが、外部開口と内部開口との比が水の上昇に関係することが前報で明らかになっているので、この寸法による実験で適宜な結果が得られると考えたからである。

実物実験用バキュームブレーカはわが国に現存する二製品（洗浄弁の下部に取り付けられている大気圧式バキュームブレーカ）について、次に示す二つの方法による実験とする。

(1)現状（図一3）の場合。ただし洗浄弁は取り付けない。

(2)通水弁と空気取入口の両パッキンを取りはずした場合。ただし(1)と同様に洗浄弁なし。

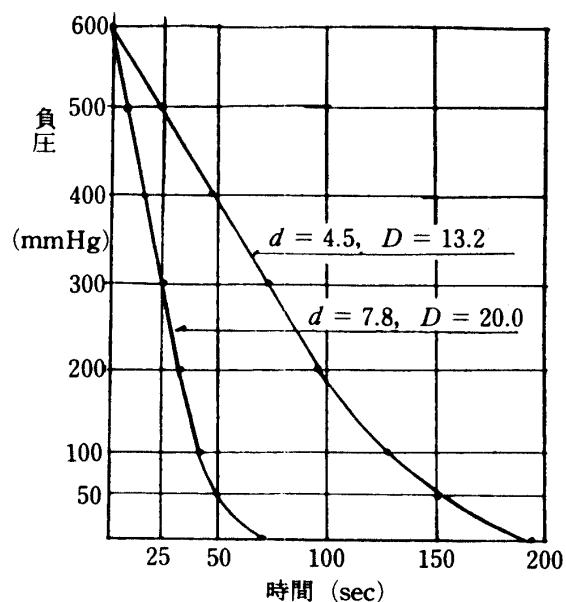
以上の二つの方法で(1)は可動部分の瞬時の作動の仕方、(2)は(1)と同様に作動の仕方とパッキンが腐食等によって消耗した場合の二つの影響を調べるためである。

2-3. 実験に使用した負圧

理論的には大気圧の1/2、すなわち負圧が380mmHg 附近で最大流速、最大流量となり、それ以上の負圧になってもその変化がないということが前報で明らかになっている。そこで最大となる380mmHg の負圧の実験で最上昇水位が得られることになるが、今回の実験は負圧の上昇にともなう上昇水位の変化も測定する。そのために実験に使用する負圧を50mmHg と100～600mmHg まで100mmHg ごとに、各々の負圧における水の上昇高さを測定することにした。しかしながら前述の負圧は一定時間一定負圧を意味するものではなく、例えば図一4のごとく負圧の減少がある

表一1 模型大気圧式バキューム
ブレーカの寸法

内部口径 d mm	外部口径 D mm	d/D
4.5	7.8	0.58
4.5	10.0	0.48
4.5	13.2	0.34
4.5	15.5	0.29
7.8	15.5	0.50
4.5	20.0	0.23
7.8	20.0	0.39
4.5	24.9	0.18
7.8	24.9	0.31
7.8	30.2	0.26
7.8	39.8	0.20



図一4 負圧の減少時間

場合の実験となる。つまり空気取入れ口から真空タンク内へ空気が導入され、タンク内の圧力が高くなるような装置となっているからである。

一定負圧に持続するためには、真空ポンプで空気導入分だけ空気量を排気しなければならない。したがって各々の実験ごとにその排気空気量を調整できる大がかりな装置が必要となる。

今回は小口径用ブレーカのための装置と考えているので、負圧減少のある実験となるが、その減少は $d = 4.5\text{mm}$ で約25秒、 $d = 7.8\text{mm}$ で約8秒で100mmHgの負圧の低下となる。

3. 実験結果とその考察

前述の実験装置による模型大気圧式バキュームブレーカと実物実験の結果を次の3項目に分けて検討する。

3-1. 負圧と水の上昇高さ

今回の実験は大気圧のときによるもので、高地などの気圧が低い地方では同一負圧の実験に対して水の上昇は小さくなる。したがって大気圧の実験値は気圧の低い地方を含めば安全を見込んだ値となる。

ここで水の上昇高さを簡単に定義すれば、ブレーカ内の圧力が大気圧より水の上昇分の圧力だけマイナスになったことになる。そのマイナス分、つまり水の上昇を小さくすることがブレーカの性能を決める一要素となると云っても過言ではない。

以上のような水の上昇（最上昇水位）を負圧変化で表わすと図-5、6のようになる。この結果は模型ブレーカによる場合であるが、図-5は内部開口が4.5mm、図-6は7.8mmの実験結果

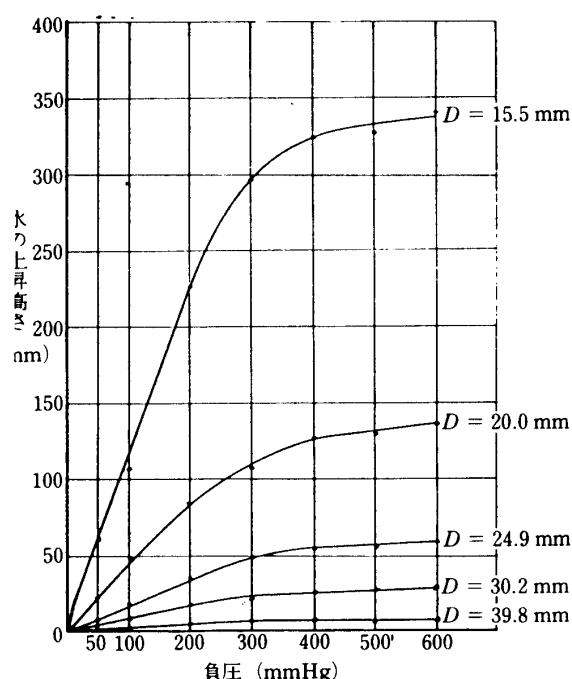


図-5 負圧と水の上昇高さ
($d = 4.5\text{mm}$)

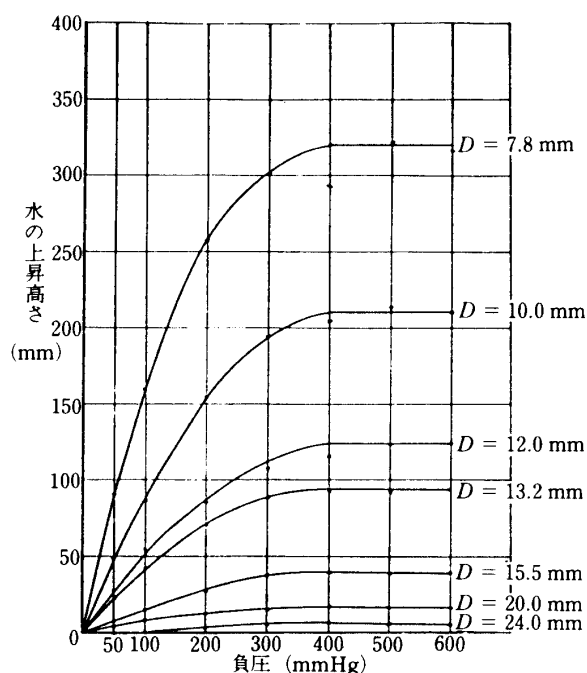


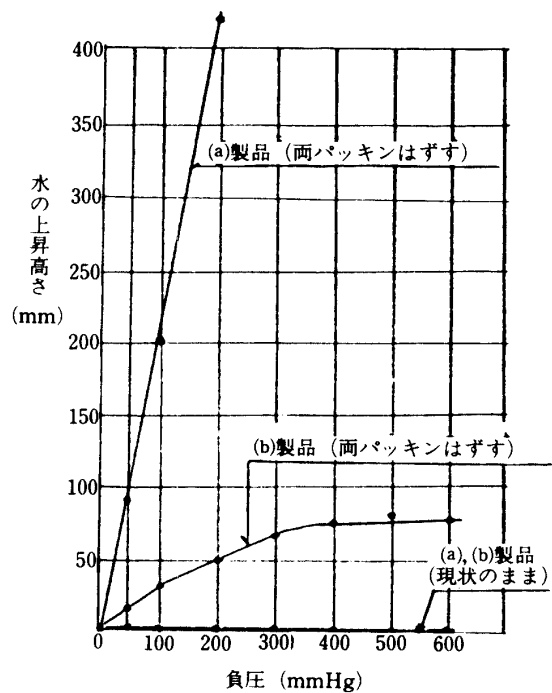
図-6 負圧と水の上昇高さ
($d = 7.8\text{mm}$)

を示している。これらの結果から負圧が約400mmHg 附近からほぼ一定の値を示している。このことは理論的にも大気圧の1/2, すなわち380mmHg で最大流速, 最大流量となり, また最大の水の上昇になるということからも, 今回の実験でも明確になった。

負圧の変化に対しては, 0～200mmHg までは急激に増加し, 200～400mmHg まではゆるやかに, 400mmHg 以上はほぼ一定の値を示している。しかし外部口径が大きくなるにつれて水の上昇高さの変化は非常にゆるやかになっている。例えば $d=7.8\text{mm}$, $D=20.0\text{mm}$, 24.9mm の場合, $d=4.5\text{mm}$, $D=39.8\text{mm}$ の場合では, 200mmHg 附近からほぼ一定の値を示している。したがって内部口径 (d) に対する外部口径 (D) の比率が大きくなれば, つまり d/D がほぼ0.2以下になると, 負圧が200mmHg 附近より最大上昇水位となることが明らかになった。しかしながらこの現象は理論による380mmHg で最大となることに反することになるので, 微小(10mm 程度)の上昇水位の目視による測定誤差も考慮し, さらに検討を加える必要がある。

次に実物実験の結果を図一7に示す。(1)の現状のままでは両製品とも全く水の上昇は見られない。つまりブレーカの役割を十分に果している有効な器具と判定できる。しかしながら(2)のパッキンを取りはずした場合, (a)製品は100mmHg で約200mmの水の上昇が見られ, (b)製品では最高80mm程度の水の上昇であった。これは両パッキンが同時に全て腐食して破損してしまうことが万が一にもないにしても, 恒久的なパッキンでない限り以上のような実験結果となる場合も考えられる。それよりも可動部分の完全作動が最も要求される。

以上のごとく実物のブレーカは実験方法によって異なる結果となるので, 特に可動型のブレーカの実験方法の確立が望まれる。現在は HASS では, ブレーカのシートとディスクの間にワイヤーを挟む方法の実験となっているが, そのワイヤーを固定する方法は非常に困難なので, 将来は迅速でかつ簡単な方法による実験にすべきである。



図一7 負圧と水の上昇高さ
(実物)

3-2 内外開口比と水の上昇高さ

前報の空気力学理論により, 逆流防止器の水の上昇高さを求める方法を簡略すると次の(1)式のようにになる。

$$\Delta h = \frac{h_a r^{\frac{k+1}{k}}}{2} \cdot k \left(\frac{C_i}{C_o} \right)^2 \left(\frac{d}{D} \right)^4 \quad (\text{mm}) \quad \dots\dots\dots (1)$$

ただし記号は次の通りである。

Δh : 水の上昇高さ (mm)

h_a : 大気圧 (mm)

r 臨界圧力比

k : 空気の比熱比

C_i : 内部開口の流れ係数

C_o : 外部開口の流れ係数

d : 内部開口 (直径) (mm)

D : 外部開口 (直径) (mm)

ここで $h_a = 10,340\text{mm}$, (1 気圧), $r = 0.528$, $K = 1.40$ を (1) 式に代入すると (2) 式として表わせる。

$$\Delta h = 2,423 \left(\frac{C_i}{C_o} \right)^2 \left(\frac{d}{D} \right)^4 \text{ (mm)} \quad \dots\dots\dots (2)$$

(2) 式より Δh と d/D の関数として表わせるので、今回の模型大気圧式バキュームブレーカの実験結果から図-8 のようにまとめることができる。ただしこの実験値は各々の実験の中で負圧に関係なく最上昇水位の値で表わしたものである。

図-8 から実験式を内部口径別に導いても同一式となつて次の (3) 式として表わすことができる。

$$\Delta h = 5,469 \left(\frac{d}{D} \right)^4 \text{ (mm)} \quad \dots\dots\dots (3)$$

次に (2) 式と (3) 式が同一となると仮定し、 C_i を最大値 1.0 とすれば $C_o = 0.67$ となる。つまり外部開口からの空気の流れ係数が 0.67 になる。しかしながら実際のバキュームブレーカは外部開口部分が構造的にも機能的にももっと複雑なかたちになっているので、その係数をそのまま利用するわけにはいかないが、原理的に同じである実物のブレーカに応用できる部分も多くあると思う。

さらに面積比による実験式を (3) 式より導くと (4) 式となる。

$$\Delta h = 5,469 \left(\frac{A}{B} \right)^2 \text{ (mm)} \quad \dots\dots\dots (4)$$

ただし、 $A = \frac{\pi d^2}{4} \text{ (mm}^2\text{)}$, $B = \frac{\pi D^2}{4} \text{ (mm}^2\text{)}$ とする。

(4) 式は開口部分が複雑な形をしている場合、その形を面積に換算すれば適応できる。

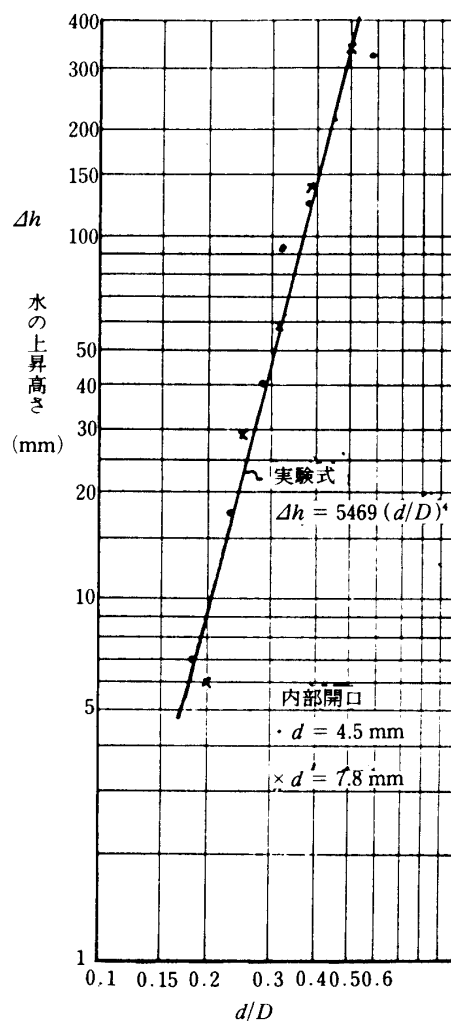


図-8 Δh と d/D との関係

3-3 負圧減少速度による水の上昇高さへの影響

今回の実験は一定時間一定負圧によるものではなく図-4のごとく負圧の減少をともなうものである。その減少の割合は次式の通りである。

$$d = 4.5\text{mm}, p = -4t \text{ (mmHg)} \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$d = 7.8\text{mm}, p = -12t \text{ (mmHg)} \quad \dots\dots\dots (6)$$

ただし p : 負圧 (mmHg), t : 時間 (sec) とする。ここで一例をあげて説明すると、負圧が 600mmHg の実験を 30sec 持続すれば、 $d=4.5\text{mm}$ では 480mmHg まで低下し、 $d=7.8\text{mm}$ では 240mmHg まで低下することになる。しかしながら、今回の 2 種類の実験から負圧減少の影響は全く見られず、図-8 では全く同じ実験式となっている。以上の結果から早急かもしれないが、瞬時の最大負圧で最上昇水位になる可能性が大であると推定できる。なおその最大負圧の持続で水位がそれ以上に上昇するかについては今後大規模実験装置で確かめる必要はある。

4. HASS 規格の検討

4-1 水位の上昇

性能とし水位上昇試験により水位の上昇を 75mm を越えてはならなくなっている。しかしながら空気取入れ口は空気を有効に導入できる寸法としか定義してない。ここで今回の実験でその寸法を示すと、(3) 式の $\Delta h \leq 75$ とすれば、 $d/D \leq 0.34$ となる。すなわち内部開口の約 3 倍の空気取入れ口が必要となる。また (4) 式から $A/B \leq 0.12$ となり、内部開口面積の約 8.5 倍の面積をもつ空気取入れ口が必要となる。

4-2 水位上昇試験

ブレーカの取付位置はブレーカの基準線から水面までの距離が 150mm としておる。また許容水位が 75mm なので、その範囲内の水位上昇テストであればよい。ここでテストの A 試験の a の場合は最低 30 秒間 400mmHg の一定負圧となっているが、実際に一定負圧に保持できるか疑問である。

b のテストは負圧を 5 秒間加え 5 秒間大気に戻すとなっている。例えば 150mmHg の負圧を 5 秒間一定とし、大気に戻すとは 5 秒間の負圧の減少を意味するものと思う。今回の実験では d/D がほぼ 0.2 以下になると、200~400mmHg までの実験が必要と思われるので、このテストで最大水位が生じる場合もあると考えられる。c のテストは最大負圧 400mmHg で最上昇水位となるが、負圧変化による上昇水位の変化を知ることに意義がある。

4-3 可動型ブレーカのテスト

可動型ではブレーカのシートとディスクの間にワイヤーを挟み、4-2 と同様のテストを行うことになっている。このテスト方法に今回の実験結果を適応させると表-2 のようになる。ただしブレーカの呼び径を d' mm, ワイヤーの径を ϕ mm とすると、内部開口面積 $A = \pi d' \phi$ (mm²) となる。また $\Delta h = 75\text{mm}$ から $A/B = 0.12$, $D = 2\sqrt{\frac{d}{\pi}}$ (mm²) となる。なお呼び径 d' は内部開口の

表一 2 HASS のテスト方法による空気取入れ口の必要寸法

ブレーカの呼び径 d' (mm)	ワイヤーの径 ϕ (mm)	内部開口面積 A (mm ²)	最低必要外部開口面積 B (mm ²)	最低必要外部開口 D (mm)
13	0.18	7.4	62	8.8
20	1.00	62.8	523	25.8
25	1.20	94.2	785	31.6
32	1.40	141	1,175	38.6
40	1.60	201	1,675	46.2
50	2.00	314	2,617	57.8
65	2.30	469	3,908	70.6
80	2.90	729	6,075	88.0
100	3.50	1,099	9,158	108.0

$\Delta h = 75\text{mm}$ としたときの値である。

d に相当するが、実際は $d' > d$ となっている。この結果からブレーカの呼び径以上の空気取入れ口が必要となることが明らかになった。

ここでわが国で市販されている製品（図一 3）について、前述の方法により計算すると次のようになる。

(a)製品 $A = 22\pi \times 1.20 = 83\text{mm}^2$ 、ワイヤー径は1.20mm とする。

$$d = 2\sqrt{\frac{83}{\pi}} = 10.3\text{mm}$$

$$B = 3.9^2\pi \times 19 = 907\text{mm}^2$$

$$D = 2\sqrt{\frac{907}{\pi}} = 34.0\text{mm}$$

$$\text{よって, } \frac{A}{B} = \frac{83}{907} = 0.09 < 0.12 \text{ OK}$$

$$\frac{d}{D} = \frac{10.3}{34.0} = 0.30 < 0.34 \text{ OK}$$

(b)製品 $A = 22\pi \times 1.20 = 83\text{mm}^2$ ワイヤーは(a)と同じ。

$$d = 10.3\text{mm}$$

$$B = (35.5^2 - 32.0^2)\pi = 742\text{mm}^2$$

$$D = 2\sqrt{\frac{742}{\pi}} = 30.7\text{mm}$$

$$\text{よって, } \frac{A}{B} = \frac{83}{742} = 0.11 < 0.12 \text{ OK}$$

$$\frac{d}{D} = \frac{10.3}{30.7} = 0.34 = 0.34 \text{ OK}$$

以上のように HASS 規格に辛うじて適格と判定できるが、今回の実験方法では図-7に示すように不適格となる。その理由はパッキン（厚さ2.0mm）を取りはずした実験によるからである。

5. ま と め

給水設備における逆流防止器の研究の第2報として、大気圧式バキュームブレーカについて検討を加えたが、今回の模型、実物実験の結果によって明らかになったことを要約すれば次のようになる。

(1) 負圧が400mmHg 附近より水の上昇高さはほぼ一定の値を示す。これは理論的に大気圧の1/2、すなわち380mmHg で最大流速、流量になり、それ以上の負圧に対して変化がないことが明らかになっているので、実験によっても確かめることができた。しかし d/D が約0.2以下になれば、200mmHg 附近よりほぼ一定の水の上昇高さになることも明らかになった。

(2) 模型実験による水の上昇 (Δh) の実験式は次のように表わせた。

$$\Delta h = 5,469 \left(\frac{d}{D} \right)^4 \text{ (mm)}$$

(3) 今回の実験の範囲内では、 $\Delta h = 75\text{mm}$ まで許容させれば、内外開口比として $d/D \leq 0.34$ 、内外面積比として $A/B \leq 0.12$ という結果が得られた。

(4) 負圧減少速度による水の上昇高さへの影響は今回の実験範囲では全く見られず、瞬時の最大負圧によって決まるものと推定できた。

(5) HASS 規格については、一定時間一定負圧のテスト方法やワイヤーをブレーカのシートとディスクの間に挟む方法など若干検討を要するものと考えられる。

以上の結果から判断すると、空気流入テストの簡素化と器具別ブレーカの規格化が早急に必要であると思える。

終わりに、実験に多大の協力を頂いた当研究室の学生並びに卒業生の皆様に謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 江川：福井工業大学紀要7号（1977）
- 2) "：日本建築学会北陸支部研究報告集，21号（1978）
- 3) 空気調和・衛生工学会：HASS211-1981 大気圧式バキュームブレーカ(案) 空気調和・衛生工学会 第55号 8巻（1981）