

〔 連 載 〕

流量計測の歴史

< 10 . 流量計開発の歴史 II >

(株)オーバル 小川 胖
Yutaka Ogawa

1 . 計器としての流量計へ

(1) 水道メータ

水道メータの開発の歴史については、ドイツ人のフリードリッヒ・ラックス (Friedrich Lux) が1893年にASME (米国機械技術学会) のシカゴ会議で詳しい演説を行っているので紹介したい。

水道メータの最初の特許は1824年と考えられるが、最初のピストン式は1828年にブルントン (Brunton) により、また最初の翼車式は1858年にダン (Dunn) によって特許が取得された。

最初のアイデアは傾斜ベッセル式で二つの容器に水が満杯と空とによって左右に振動しゼンマイ仕掛けで積算されるものであった (前号で紹介したクロスレーのポケットメータであろう)。別のものとして湿式ガスメータがあったが、両方とも高压下では使用できなかった。乾式ガスメータ (膜式) を水の計測に試みたが、失敗に帰した。その主なる理由は、水の揺動がしばしば激しく生じて、薄膜がそれに耐えられなかったからである。そこでスペース又はピストン式と呼ばれる方式のものと、最初にジューメンスが作ったスピード又は翼車式と呼ばれる方式のものが脚光をあびることになる。

奇妙なアイデアとして、ガス置換方式が提案されている。これは容器に水が入り追い出された空気量をガスメータで間接的に測るというものである。

もう一つは吐出パイプ中に雪花石膏の丸棒を挿入して、周期的にそれを取り出して量り、水に溶け出した硫酸カルシウムの量によって水の量を測定しようとするものであった。勿論こんなものが飲料水に混ざることには許されなかった。

ところであのエディソン (Edison, Thomas Alva, 米、1847 ~ 1931) が、彼最初の「電気カウンター」又は「積算装置 (計器)」のレポートの中で、電極と

して亜鉛を用いて、2次電流によって溶解した亜鉛の量が通過した流体の総量の計算に役立つという同じような考えを持っていたのである (筆者としてはまさかエディソンが流れの計測に関心を持っていたとは思っていませんのでここに敬意を表して写真1にエディソンの肖像を掲げたい)。



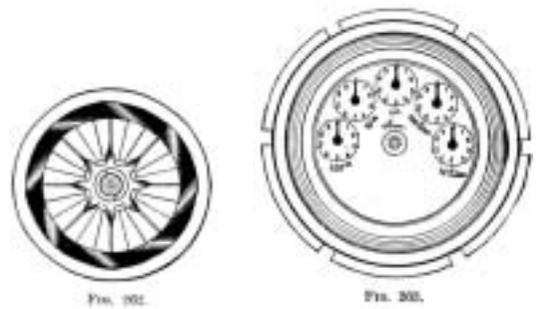
写真1 水道メータを考えていたエディソン

ピストン式はしっかりと組み込まれているために、摩擦力が大きく、従って圧損が大きい、磨耗しやすい、小流感度が悪い、コスト高であるなどの欠点がある。しかし翼車式は故障しても水が通過してしまうという欠点があり甲乙つけがたいところがある。事実フランスではピストン式が優勢であるが、ドイツとオーストリアでは翼車式が大勢を占めている。翼車式は二つのグループに分けられる。第1の方式は複数の噴出孔から水が噴出して均等に羽根にあたるのでピボットの片当たり磨耗が避けられる方式のもので、ジューメンス、マイネッケ、ヴァレンティン、レオポルダーなど各社の水道メータがこのグループである。第2の方式は、一ヶ所から全部水が噴出し、翼車にあたるためピボットの片側に歪みがかかる方式のものだが、最もよく

知られた水道メータであり、ファーラ・グループと称され、ドレイヤー、ローゼンクランツ、ドゥループなどの各社がこれに属する。

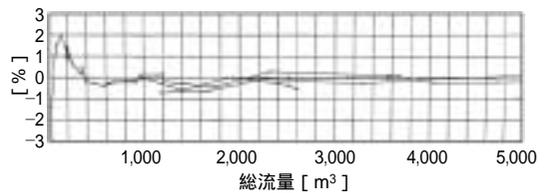
第1の方式の利点は主軸の磨耗が少ない、感度が良い、精度が永続する、などであるが、欠点としては、複数の噴出孔に水を分けるために摩擦損失が大きくなり、圧力損失が増大し、水道メータの作動動力が大きくなることである。

さて水道メータにも計数部に関して、いわゆる「ウェット・ランニング」と「ドライ・ランニング」の二つがある。前者はスタッフィング・ボックスを持たないため、摩擦が少なく感度的に優れているが、特に不純な水や止水配管内では、ダイヤルがすぐに濁ってしまい、金属製の場合、酸化したり、見にくくなってしまふ。更にメータの最上部は簡単に濺んだ水溜りとなって、バクテリアの繁殖に陥りかねないのである。三番目として、急激な圧力上昇によってガラス板が簡単に破損してしまうかもしれない。静的な水圧は3、5又は8気圧（スイスでは15気圧）もあり、弁の急閉時にはそれ以上圧力が上昇するのである。そこで我々は以上述べたことに鑑み開発した、「シンツェルのエポナイト水道メータ」について述べることにしよう。これはジームスグループに属する方式のもので、内室と羽根車はエポナイト製である。羽根車軸がデルタ金属でできており、研磨された紅玉髓（carnelian）軸受の中のエポナイト・ピボットによって回転するので磨耗が少ない。第1図がこのドライ・ランニング計数部付シンツェル・エポナイト水道メータであり、第2図が噴出孔形状を示し、第3図が計数部を示すものである。



第2図 噴出孔形状

第3図 計数部

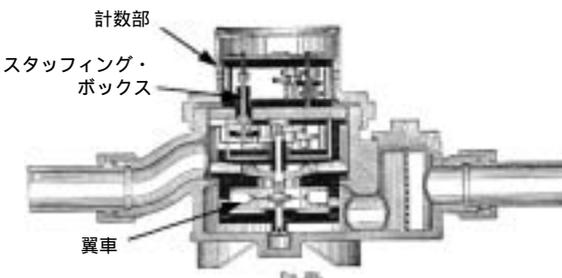


第4図 耐久度試験結果

このように現在の水道メータは今から110年も前にほとんど確立されたといつてよい。恐らくアメリカでは1893年前後に水道メータが普及したのであろう。日本で水道メータを取り付けるようになったのはずっと後であるが、水が豊富な日本では精度はほとんど問題にされず、節水を目的としたことから、その多くがドイツ各社の翼車式が採用され今日にいたっている。現在では家庭用のものは、安価な第2のグループのものが、単箱式として主流を占めており、第1のグループの複数噴射式のもの精度が良く耐久性がよいため、複箱式として実験用や基準器として使用されている。

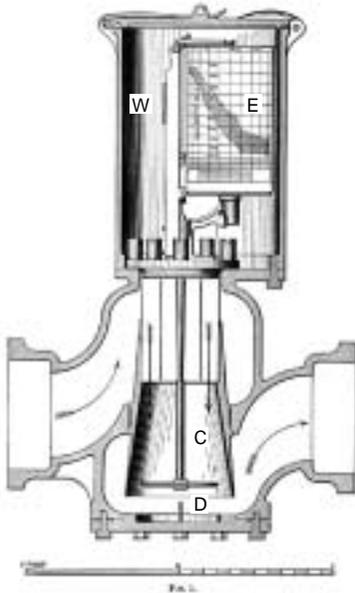
第5図に示すものは、1873年に開発されたディコーン（G. F. Deacon, 1843 ~ 1909）による上昇円板水量計である。この構造について説明すると、本体は鑄鉄製で、中空部にはブロンズ製の円錐型の内室Cがあり、その中に円板Dが吊り下がっている。円板のロッドの先端には細いワイヤーが付いており、滑車Rを経て釣合い錘Wにつながっている。流体が流れていないときは、円板は円錐室の上段に位置する。

流量が増えるに従って円板は下に押し下げられる。ワイヤーに付けられたペンによって、円板の動きは24時間に1回ゼンマイを廻すドラムEの上に記録される。従って普通の家庭用メータのような総量を積算する水量計ではなかったが、水量の時間的変化が分かるので英国では大量に使用されていた。1885年頃アメリカで



第1図 シンツェルのエポナイト水道メータ

第4図はウイーンで耐久度試験を行った結果で、12ヵ月後5,000m³（通常使用の5～7年分に相当）流した後も精度は益々良くなり±1%の精度に十分入る性能を示している。



第5図 ディコーンによる円板型水量計

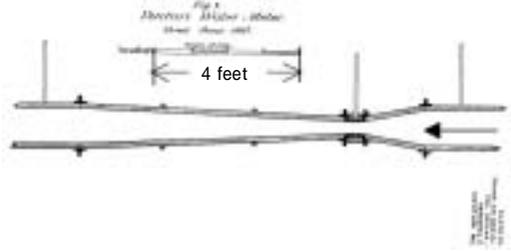
は水道の使用量の急激な増大に悩んでいた⁽³⁾。その原因を分析するために、このディコーンの水量計が着目された。1880年に米国土木工学者学会 (American Society of Civil Engineers) のデービス (J. P. Davis) が、最初にこのメータをボストンに設置したという。サイズは6インチで記録容量は25,000ガロン/時 (95m³/h)で大体3,000から6,000人への供給量であった。今や市内全体で83台が設置され、420,000人への量が測れる。これにより使用水量の時間あたりのトレンドが毎日記録され、人々が水道を使用するはずがない夜中の1時から4時での水道使用量が1日の時間当たりの平均使用量の約60%にも及ぶことが判明した。この原因は水道管からの漏洩に起因するものであるので、検査員がディコーン1台毎に各家庭を廻り、漏洩の音を頼りに欠陥水道管を修理し漏洩水量を減らしたことが報告されている。

(2) ヴェンチュリ・メータ

ヴェンチュリ・メータ (第6図) の出現が遅かったのは、この計器の基礎となっている理論がずっと以前から知られていただけに、意外な感じがする。

ローマ帝国のシーザ (Caesar, 前100 ~ 前44) 時代に、ローマの所帯主への水の分配用に、既にパイプサイズによる絞りの原理が使われていたといわれている。

17世紀初頭にカステリ (伊、Benedetto Castelli) とトリチェリ (Evangelista Torricelli, 伊1608 ~ 47)



第6図 ハーシェルが試作したヴェンチュリ・メータ

が流量は面積掛ける流速に等しく、また絞り部からの流出量はヘッド (圧力差) の平方根によって変化するというそれぞれの概念を発展させて絞り流量計の理論の基礎を導き出した。1783年にベルヌーイが「ベルヌーイの定理」を確立している。ヴェンチュリ管の理論を作り上げたのは、勿論ヴェンチュリ (Giovanni Battista Venturi, 1746 ~ 1822) である。ヴェンチュリは、イタリアのレジオで生まれ、恵まれた環境の中で、高等な教育を受けて育った。天才的な頭脳の持ち主であった彼は23才で司教となり、ついでモデナ大学に招聘され、そこで地理と哲学を教え、その後は河川と下水道技術を受け持つ国選技師に任命され、研究室を設立し、余暇には文学や詩も勉強していた。まるでレオナルド・ダ・ヴィンチの再来のような人であったという。そのヴェンチュリはパリに派遣されていた時に、多くの学者や知識人たちと交際するという幸運にも恵まれていた。1797年に執筆した「差圧現象による説明を用いた、流体内の運動の側面伝達による原理についての実験的調査研究」が彼の名前を広めるものとなった。

ヴェンチュリ・メータを開発したのは、実はハーシェル (Clemens Herschel, 米、1842 ~ 1930) であった。ハーシェルは水処理、下水処理技師として、ヴェンチュリの理論に基づく多くの実験を繰返し、それまで不可能とされていた空気や水の大口径管による流量測定を可能にしたのである。彼はハーバード大学を卒業後ドイツ、フランスで学び土木技師をしていたが、水理工学に惹かれるようになり、1887年から大口径管の流れの測定に専念した。オフィスでは圧力損失が大きいのでゆるやかなカーブのディフューザを持つ絞り流量計を製作し、現在知られているヴェンチュリ・メータの公式を作りあげた。しかしフランス人であるヴェンチュリの実験を尊重し、このメータをヴェンチュリ・メータと名づけたのである。とかく人の功績を自分のものとしたがる世の中で、実に賞賛されること

である。この年に最初に作られたヴェンチュリ管は直径108インチ(2.74m)長さ87~89フィート(26.5~27.1m)の大きなものであった。彼のヴェンチュリ管の特許は1893年に英国のジョージ・ケントと米国のBIFに実施権を与え、商品化された。

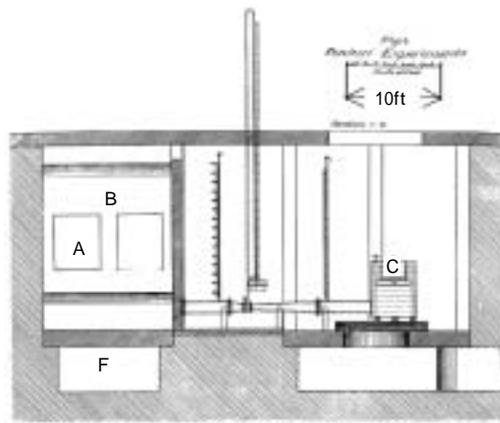
ハーシェルは米国土木技術者学会に多くのヴェンチュリ・メータのレポートを提出しており、参考文献(2)が有名なものであるので抜粋して紹介する。

彼はこの中で従来のせき式流量計、風速計、ピトー管に比べいかにヴェンチュリ・メータが優れているかを述べ、第6図に示すような実験用のヴェンチュリ・メータを試作した。

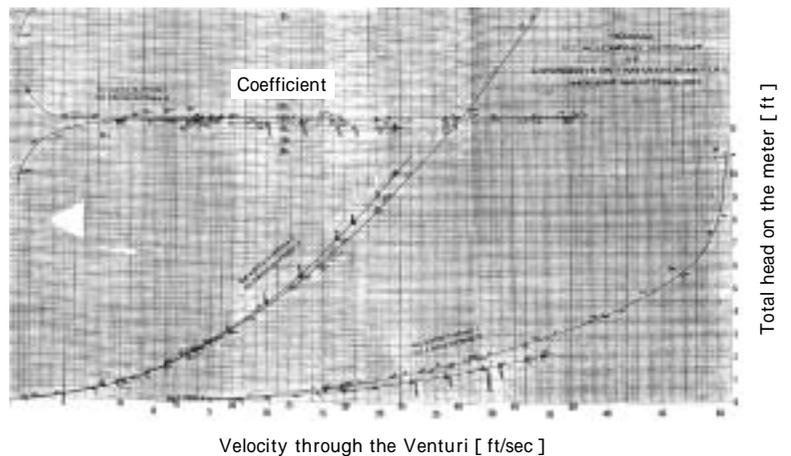
図中の縮尺から全長が3.58m、口径が300mm、絞り口径100mm位の寸法であるのが分かる。これは実際に製作しようとしているものの1/9のモデルであった。

第7図に示す試験装置を用いてこれを試験している。この装置について若干説明する

ると、Aが取水口、Bが貯水槽であり、水はヴェンチュリを通過してタンクCに流出する。この図には見えないがダイバータがあり、オーバーフローしてタンクDに入るようになっている。ヴェンチュリの入口、出口及びスロート部にマンメータが設置されているが、特にスロート部は完全真空でも計測可能なほど34.5フィート(約10.5m)の高さがある。試験結果を第8図に示すが、流量係数や圧力ヘッドの図が精密に画かれており、しかも流量係数のばらつきもほぼ±5%以内に入っており、110年も前のハーシールのヴェンチュリ管の製作及び実験のすばらしさに驚く。



第7図 Holyoke Water Power Company の実験装置



第8図 ヴェンチュリ・メータの実験結果

<参考文献>

- (1) 小泉袈裟勝：「商用メータが語る、実用化への軌跡」, オーバル, Specialty No.3, 1988, 10月
- (2) Clemens Herschel "The venture water meter" Transactions of American Society of civil engineers, Vol.17, 1888
- (3) Friedrich Lux "On water measurements, with special reference to Shinzel's ebonite water meter" Transactions of ASME, Vol.14, 1893
- (4) Dexter Brackett "Consumption and waste of water" Transactions of American Society of civil engineers, Vol.34, 1895

【筆者紹介】

小川 胖
 (株)オーバル 技術顧問
 〒236-8645 横浜市金沢区福浦1-9-5
 TEL : 045-785-7259