III—7　全断面平均値法による管水路内の流量測定に関する実測的考察

中央大学工学部　正員　　春日屋　伸　昌
中央大学工学部　正員　　○寺　中　啓一郎

昭和33年5月12日～14日にわたり中部電力大井川発電所の圧力隧道において行なわれた流速計による実測資料に基づき，従来の方法による結果と全断面平均値法による結果とを比較し，それらの精度について考察する。

平均値法の原理を領域が円である3次元に拡張すれば，観測点は図-1のようになり，それらの点での流速をv_0，v_1，v_2，……，v_8とすると，全断面平均流速V_mは，

$$V_m=\frac{1}{4}v_0+\frac{3}{32}(v_1+v_2+\cdots\cdots+v_8) \qquad (1)$$

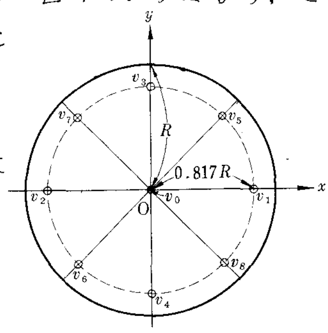

図-1

(1) 式は，流速曲面の方程式をx，yの高々5次の有理整函数で近似させるとき誤差のないことが証明される。同一円周上の8点で測定するのが困難であるとき，ある程度の助走距離があれば，等流速線は管壁付近で同心円となる事実から，斜め直径上の4点を省略するか，さらに1本の直径上の3点のみをとり，つぎの式から平均流速V_mを算定する。

$$V_m=\frac{1}{4}v_0+\frac{3}{16}(v_1+v_2+v_3+v_4) \quad (2) \qquad V_m=\frac{1}{4}v_0+\frac{3}{8}(v_1+v_2) \quad (3)$$

(1)，(2)および(3)式を用いるとき，なるべく同時測定とし，観測点の位置の算出には平均半径を用いるか，あるいはあらかじめ定められた直径の長さをそのまま用い，上記3式より求められた平均流速V_mに平均半径から算出した平均断面積Aを掛けて求める流量Qとする。今回の流量測定ではOtt式流速計（翼の直径が12.5cmと8cmの2種）を取水口より200m，圧力隧道曲線部終端より150m奥の地点に設置した。曲線部終端からの助走距離は円形隧道の平均直径5.172mの約30倍であり，下流に十分な直線部が存在する。流速計は図-2のような点に合計21個とりつけられている。この中0.817Rの点は全断面平均値法の測定点であるが，他の測定点はこの平均値法の点のために環状等面積5点法が適用できなくなったので適宜それぞれの面積中心になるよう定められた。実測は負荷33,000KW，18,000KW，52,500KW，45,000KWに対しては各2回，60,000KWに対しては4回，66,000KWおよび68,000KWに対しては各3回実施された。図式積分法および全断面平均値法を使用して流量を計算した1例が表-1である。この表中，図式積分のR_1の行の流量36.33 m³/sは図-2のR_1の半径に沿っての5観測点より求めた流量であり，R_2，L_1およびL_2も同様である。以下これらをR_1流量，L_1流量などとよぶ。平均流量の35.04 m³/sはR_1，R_2，L_1，L_2流量の平均値であり，1直径流量の34.96，35.12 m³/sはそれぞれR_1とR_2流量およびL_1とL_2流量の平均値である。全断面平

表－1

	負荷	33,000 KW			
	測定半径	流量 (m³/s)	直径流量 (m³/s)	相加平均	絶対値平均
図式積分法	R_1	36.33	34.96		
	R_2	33.59			
	L_1	34.23	35.12		
	L_2	36.02			
	平均流量	35.04			
全断面平均値法	5点法	35.19 [1.675]			
	3点法 ($R_1\to R_2$)		34.90 [1.661]		
	3点法 ($L_1\to L_2$)		35.46 [1.688]		
各種流量間の誤差の百分率	①$_R$	−0.23		+1.16	1.19
	①$_L$	+0.23		−1.16	1.19
	②	+0.43		−0.10	0.58
	③$_R$	−0.17		−0.33	0.44
	③$_L$	+0.97		+0.13	1.01
	④$_R$	−0.82		+0.94	1.12
	④$_L$	+0.82		−0.94	1.12
	⑤$_R$	−0.40		−0.83	0.97
	⑤$_L$	+1.20		−1.04	1.39

均値法の項の5点法による35.19 m^3/s，3点法による（$R_1 \rightarrow R_2$）および（$L_1 \rightarrow L_2$）の34.90 m^3/sおよび35.46 m^3/sは(3)式を用いての値である。各種流量間の誤差の百分率の項の①$_R$，①$_L$は平均流量と各1直径流量との比較，②は平均流量と平均値5点法流量との比較，③$_R$，③$_L$は1直径流量とその直径における平均値3点法流量との比較，④$_R$，④$_L$は平均値5点法流量と各平均値3点法流量との比較，⑤$_R$，⑤$_L$は平均流量と各平均値3点法流量との比較誤差の百分率を示し，18回の実測値の相加平均と絶対値平均が表-1の右端に示してある。つぎに，表-1の右端の表を参照しながら考察を進める。①$_R$と①$_L$とに対する考察（1直径流量と2直径流量との比較）ではRとL直径に対しての誤差百分率は，52,500KWの場合に最大でそれぞれ+3.40%と−3.40%を示し，他は±2%以内で18個の相加平均はそれぞれ+1.16%，−1.16%，絶対値平均はいずれも1.19%であった。このように2直径流量と1直径流量との間にある程度の差違が認められることは，助走距離が直径の30倍である場合にも流速分布曲面を管の中心軸のまわりの回転面で十分近似的に表わしうるという仮定が，流量測定の結果に1〜2%の誤差をともなうものであることを示している。18回の測定（負荷7種）にわたって誤差が，R流量では常に正，L流量では常に負であった。これは，助走距離，流線の曲り，壁面などの影響により，R直径に沿っての流速がL直径に沿っての流速に比べて負荷には無関係に常に大きくなるということで，少なくとも2直径に沿っての実測により，このかたよりを消去すべきことを表わしている。②に対する考察（平均値5点法流量と2直径流量との比較）では，全実測を通じ最大誤差は+2.13%で，他の17例の絶対値誤差は1.5%以下で，1%以下のものは15例である。全実測の相加平均は−0.10%，絶対値平均は0.58%で，極めてよい結果がえられる。すなわち，図式積分法による2直径流量と同じ精度の流量が，平均値法の僅か5点での流速測定で求められることを意味している。換言すれば，21個の流速計は5個で十分であり，2直径に沿っての21個の観測点を1直径に沿っての11個の観測点に減らすよりも，精度はよほどよくなる。さらに，適当な流速計支持方法を考え，平均値5点法よりも理論的に精度のよい平均値9点法を採用すれば，管壁付近での流速分布が同心円上で同一であることの仮定を必要としないから，より高い精度が期待される。⑤$_R$と⑤$_L$との考察（平均値3点法流量と2直径流量との比較）では，誤差はR流量で最大+3.48%，L流量で最大−3.86%，相加平均はそれぞれ−0.83%，−1.04%，絶対値平均はそれぞれ0.97，1.39%で，絶対値誤差が1.0%以下である個数は，前者が12例，後者が6例である。これは②の誤差よりかなり大きい。平均値5点法に代わって平均値3点法を用いることについては2次流の影響を受けるので幾分危険が伴うようである。天野氏が従来の方法を用いて200個の実測資料を整理した結果によると観測点数6〜8の場合の精度は約1.2%で，この程度の精度は僅か3点の平均値法によってえられる。

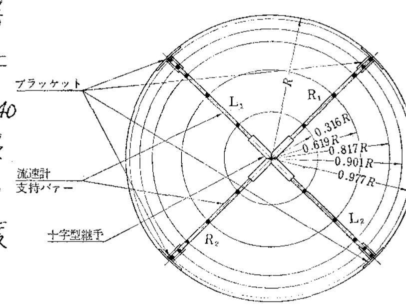

図-2

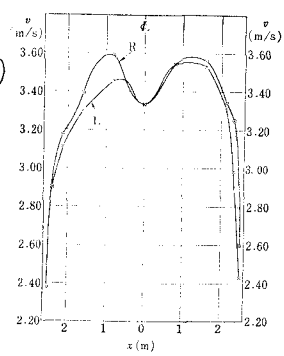

図-3