

【整番】FE-14-TM-006	【標題】分岐管の圧力損失計算
分類：流れ(圧力損失)／種別：技術メモ	作成年月：H18.12／改訂：Ver0.5 (H25.01) 作成者：N.Miyamoto

第1回改訂：例題追加/見直しなど

全12枚

1.はじめに

分岐管(管路交差部分)の圧力損失係数は流速比(あるいは流量比)のパラメータが含まれ、やや特異である。ここでは、Blevins のテキスト⁽⁰⁾などに基づいて、同径直角ティ、異径直角ティ、対称 Y 形ティ及び側出し Y 形ティなどについて、圧力損失の算定式を示す。なお基本的にティは円筒パイプ状とする。

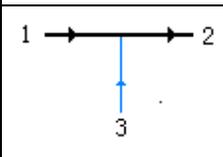
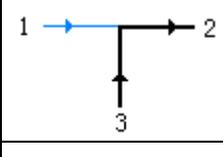
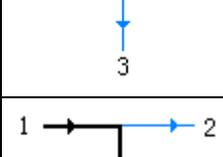
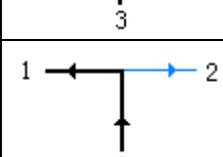
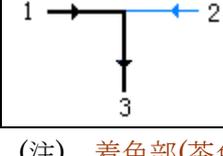
2. 圧損計算方法

(1) 分岐管前後の全圧(静圧+動圧)損失 ΔP_{ij} は次式による⁽⁰⁾。

$$\Delta P_{ij} = P_i - P_j + 0.5 \rho (U_i^2 - U_j^2) = 0.5 \rho K_{ij} U_n^2 + 0.5(f_i L_i / D_i) \rho U_i^2 + 0.5(f_j L_j / D_j) \rho U_j^2 \quad \text{-----(1)}$$

ここで P =静圧(Pa or N/m²)、 ρ =流体密度(kg/m³)、 U =流速(m/s)(=Q/A)、 Q =流量(m³/s)、 Re =レイノルズ数(=UD/ ν)、 ν =動粘度(m²/s)、 L =長さ(m)^(*1)、 D =主管の内径(m)、 d =異径直角ティの内径(m)、 r =分岐コーナーR(m)^(*2)、 A =管の流れ断面積(m²)、 m =面積比(=主管断面積/分岐管断面積)、 f =管摩擦損失係数(Moody 線図)、 K =圧力損失係数(乱流の場合は表 1~5、層流の場合は表 6)、 θ =分岐角(度)、サフィックス i, j → 流路の“入口”、“出口” サフィックス n → “圧損算定のベース”
(なお、 i, j, n → いずれも 1, 2 or 3)

表 1 同径直角ティの圧力損失係数⁽⁰⁾【乱流($Re \geq 10^4$)】

	i, j, n	圧力損失係数 K_{ij}
	$i=1$ $j=2$ $n=2$	$K_{12} = 0.045 + [1.38 - 1.94(r/D)^{0.5} + 1.34(r/D)](U_3/U_2)$ $- [0.90 - 0.95(r/D)^{0.5} + 1.23(r/D)](U_3/U_2)^2$ 但し $0 \leq (r/D) \leq 0.5$ 、 $0 \leq (U_3/U_2) \leq 1$ 、 $A_1 = A_2 = A_3$ (以下同じ)、(*5)
	$i=3$ $j=2$ $n=2$	$K_{32} = 1.09 - 0.8(r/D)^{0.5} - [0.53 + 1.27(r/D)^{0.5} - 1.86(r/D)](U_1/U_2)$ $- [1.48 - 2.28(r/D)^{0.5} + 1.80(r/D)](U_1/U_2)^2$ 但し $0 \leq (r/D) \leq 0.5$ 、 $0 \leq (U_3/U_2) \leq 1$ 、(*5)
	$i=1$ $j=2$ $n=1$	$K_{12} = 1.55(0.22 - U_3/U_1)^2 - 0.03$ ($0 \leq (U_3/U_1) < 0.22$) $= 0.65(U_3/U_1 - 0.22)^2 - 0.03$ ($0.22 \leq (U_3/U_1) \leq 1$) 但し $0 \leq (r/D) \leq 0.5$ 、 $0 \leq (U_3/U_2) \leq 1$ 、(*5)
	$i=1$ $j=3$ $n=1$	$K_{13} = 0.99 - 0.23(r/D)^{0.5} - [0.82 + 0.29(r/D)^{0.5} + 0.30(r/D)](U_3/U_1)$ $+ [1.02 - 0.64(r/D)^{0.5} + 0.76(r/D)](U_3/U_1)^2$ 但し $0 \leq (r/D) \leq 0.5$ 、 $0 \leq (U_3/U_2) \leq 1$ 、(*5)
	$i=3$ $j=1$ $n=3$	$K_{31} = 0.59 + [1.18 - 1.84(r/D)^{0.5} + 1.16(r/D)](U_1/U_3)$ $- [0.68 - 1.04(r/D)^{0.5} + 1.16(r/D)](U_1/U_3)^2$ 但し $0 \leq (r/D) \leq 0.5$ 、 $0.2 \leq (U_1/U_3) \leq 0.8$ 、 $U_1 = U_2$ (*3)
	$i=1$ $j=3$ $n=3$	$K_{13} = 1.19 - 1.16(r/D)^{0.5} + 0.46(r/D) - 1.73[1 - (r/D)](U_2/U_3)$ $+ [1.34 - 1.69(r/D)](U_2/U_3)^2$ 但し $0 \leq (r/D) \leq 0.5$ 、 $0 \leq (U_2/U_3) \leq 1$ 、 $U_1 = U_2$ (*4)

(注) 着色部(茶色)については Blevins テキストに疑問が残る。現状、無視してよい。

表 2 異径直角ティの圧力損失係数⁽¹⁾【乱流($Re \geq 10^4$)】

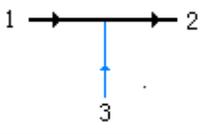
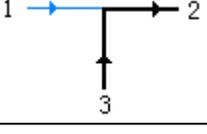
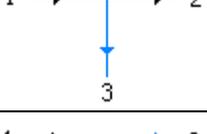
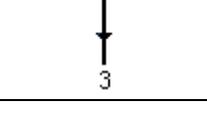
	i,j,n	圧力損失係数 K_{ij}
	i=1 j=2 n=2	$K_{12} = [1.55 - 3.5(r/d_2)](0.96 + 0.04m)(Q_3/Q_2) - [0.45 + \{0.6 - 1.7(r/d_2)\}/m](Q_3/Q_2)^2$
	i=3 j=2 n=2	$K_{32} = -1 + [3.81 - 3.3(r/d_3)](Q_3/Q_2) + [m^2 - \{0.75 - 1.3(r/d_3)\}m - 2](Q_3/Q_2)^2$
	i=1 j=2 n=1	$K_{12} = -[\{0.29 + 0.9(r/d_1)\}/m](Q_3/Q_1) + (0.67 + r/d_1)(0.54 + 0.46/m)(Q_3/Q_1)^2$
	i=1 j=3 n=1	$K_{13} = 1 - (0.34 + 2r/d_3 + 0.5/m)(Q_3/Q_1) + [\{0.5 - 2.4(r/d_3)\}m^2 + \{0.62 + 2.4(r/d_3)\}/m^2](Q_3/Q_1)^2$

表 3 対称 Y 形ティの圧力損失係数⁽⁰⁾⁽²⁾⁽⁵⁾【乱流($Re \geq 10^4$)】

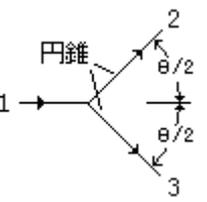
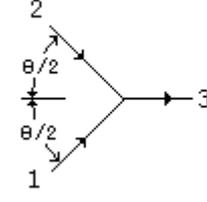
	i,j,n	圧力損失係数 K_{ij}																																																			
	i=1 j=2 n=1	<table border="1" data-bbox="718 1086 1157 1556"> <thead> <tr> <th rowspan="2">U_2/U_1</th> <th colspan="3">圧損係数 K_{12}</th> </tr> <tr> <th>$\theta = 90^\circ$</th> <th>$\theta = 60^\circ$</th> <th>$\theta = 45^\circ$</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0.0</td><td>0.54</td><td>0.55</td><td>0.53</td></tr> <tr><td>0.2</td><td>0.43</td><td>0.44</td><td>0.41</td></tr> <tr><td>0.4</td><td>0.30</td><td>0.29</td><td>0.25</td></tr> <tr><td>0.6</td><td>0.22</td><td>0.17</td><td>0.15</td></tr> <tr><td>0.8</td><td>0.16</td><td>0.08</td><td>0.08</td></tr> <tr><td>1.0</td><td>0.14</td><td>0.06</td><td>0.04</td></tr> <tr><td>1.2</td><td>0.13</td><td>0.04</td><td>0.03</td></tr> <tr><td>1.4</td><td>0.14</td><td>0.05</td><td>0.07</td></tr> <tr><td>1.6</td><td>0.17</td><td>0.07</td><td>0.14</td></tr> <tr><td>1.8</td><td>0.22</td><td>0.13</td><td>0.27</td></tr> <tr><td>2.0</td><td>0.32</td><td>0.29</td><td>0.52</td></tr> </tbody> </table> <p>文献(5)による。</p>	U_2/U_1	圧損係数 K_{12}			$\theta = 90^\circ$	$\theta = 60^\circ$	$\theta = 45^\circ$	0.0	0.54	0.55	0.53	0.2	0.43	0.44	0.41	0.4	0.30	0.29	0.25	0.6	0.22	0.17	0.15	0.8	0.16	0.08	0.08	1.0	0.14	0.06	0.04	1.2	0.13	0.04	0.03	1.4	0.14	0.05	0.07	1.6	0.17	0.07	0.14	1.8	0.22	0.13	0.27	2.0	0.32	0.29	0.52
U_2/U_1	圧損係数 K_{12}																																																				
	$\theta = 90^\circ$	$\theta = 60^\circ$	$\theta = 45^\circ$																																																		
0.0	0.54	0.55	0.53																																																		
0.2	0.43	0.44	0.41																																																		
0.4	0.30	0.29	0.25																																																		
0.6	0.22	0.17	0.15																																																		
0.8	0.16	0.08	0.08																																																		
1.0	0.14	0.06	0.04																																																		
1.2	0.13	0.04	0.03																																																		
1.4	0.14	0.05	0.07																																																		
1.6	0.17	0.07	0.14																																																		
1.8	0.22	0.13	0.27																																																		
2.0	0.32	0.29	0.52																																																		
	i=2 j=3 n=3	<table border="1" data-bbox="718 1624 1157 2094"> <thead> <tr> <th rowspan="2">U_2/U_3</th> <th colspan="3">圧損係数 K_{13}</th> </tr> <tr> <th>$\theta = 90^\circ$</th> <th>$\theta = 60^\circ$</th> <th>$\theta = 30^\circ$</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0.0</td><td>-1.30</td><td>-2.05</td><td>-2.56</td></tr> <tr><td>0.2</td><td>-0.93</td><td>-1.51</td><td>-1.89</td></tr> <tr><td>0.4</td><td>-0.55</td><td>-1.00</td><td>-1.30</td></tr> <tr><td>0.6</td><td>-0.16</td><td>-0.53</td><td>-0.77</td></tr> <tr><td>0.8</td><td>0.20</td><td>-0.10</td><td>-0.30</td></tr> <tr><td>1.0</td><td>0.56</td><td>0.28</td><td>0.10</td></tr> <tr><td>1.2</td><td>0.92</td><td>0.69</td><td>0.41</td></tr> <tr><td>1.4</td><td>1.26</td><td>0.91</td><td>0.67</td></tr> <tr><td>1.6</td><td>1.61</td><td>1.09</td><td>0.85</td></tr> <tr><td>1.8</td><td>1.95</td><td>1.37</td><td>0.97</td></tr> <tr><td>2.0</td><td>2.30</td><td>1.55</td><td>1.04</td></tr> </tbody> </table> <p>文献(2)による。</p>	U_2/U_3	圧損係数 K_{13}			$\theta = 90^\circ$	$\theta = 60^\circ$	$\theta = 30^\circ$	0.0	-1.30	-2.05	-2.56	0.2	-0.93	-1.51	-1.89	0.4	-0.55	-1.00	-1.30	0.6	-0.16	-0.53	-0.77	0.8	0.20	-0.10	-0.30	1.0	0.56	0.28	0.10	1.2	0.92	0.69	0.41	1.4	1.26	0.91	0.67	1.6	1.61	1.09	0.85	1.8	1.95	1.37	0.97	2.0	2.30	1.55	1.04
U_2/U_3	圧損係数 K_{13}																																																				
	$\theta = 90^\circ$	$\theta = 60^\circ$	$\theta = 30^\circ$																																																		
0.0	-1.30	-2.05	-2.56																																																		
0.2	-0.93	-1.51	-1.89																																																		
0.4	-0.55	-1.00	-1.30																																																		
0.6	-0.16	-0.53	-0.77																																																		
0.8	0.20	-0.10	-0.30																																																		
1.0	0.56	0.28	0.10																																																		
1.2	0.92	0.69	0.41																																																		
1.4	1.26	0.91	0.67																																																		
1.6	1.61	1.09	0.85																																																		
1.8	1.95	1.37	0.97																																																		
2.0	2.30	1.55	1.04																																																		

表4 側出しY形ティの圧力損失係数⁽⁰⁾⁽²⁾⁽⁴⁾【乱流($Re \geq 10^4$)】

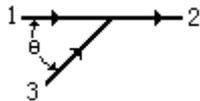
	i,j,n	圧力損失係数 K_{ij}																																																																																										
 <p>但し $A_1 = A_2$ $(A_3/A_1) \leq 1.0$</p>	i=1 j=3 n=1	<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th colspan="7">圧損係数 K_{13}</th> </tr> <tr> <th rowspan="2">U_3/U_1</th> <th colspan="2">$\theta = 90^\circ$</th> <th colspan="2">$\theta = 60^\circ$</th> <th colspan="2">$\theta = 45^\circ$</th> </tr> <tr> <th>$r/D=0$</th> <th>$r/D=0.1$</th> <th>$r/D=0$</th> <th>$r/D=0.1$</th> <th>$r/D=0$</th> <th>$r/D=0.1$</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0.0</td><td>1.0</td><td>1.0</td><td>1.0</td><td>1.0</td><td>1.0</td><td>1.0</td></tr> <tr><td>0.5</td><td>1.1</td><td>1.1</td><td>0.7</td><td>0.6</td><td>0.5</td><td>0.5</td></tr> <tr><td>1.0</td><td>1.5</td><td>1.3</td><td>0.8</td><td>0.7</td><td>0.5</td><td>0.5</td></tr> <tr><td>1.5</td><td>2.1</td><td>1.7</td><td>1.3</td><td>1.0</td><td>0.9</td><td>0.7</td></tr> <tr><td>2.0</td><td>2.8</td><td>2.3</td><td>2.0</td><td>1.5</td><td>1.5</td><td>1.2</td></tr> <tr><td>2.5</td><td>3.8</td><td>2.8</td><td>2.8</td><td>2.1</td><td>2.4</td><td>1.7</td></tr> <tr><td>3.0</td><td>5.0</td><td>3.6</td><td>3.9</td><td>2.8</td><td>3.3</td><td>2.5</td></tr> <tr><td>3.5</td><td>6.5</td><td>4.6</td><td>5.0</td><td>3.7</td><td>4.4</td><td>3.2</td></tr> </tbody> </table> <p>• $0.3 \leq (A_3/A_2) \leq 1.0$ の場合 K_{13} は殆ど (A_3/A_1) に依存しない。 • $\theta = 90^\circ$ & $A_1 = A_3$ については、より正確には表1によること。</p>	圧損係数 K_{13}							U_3/U_1	$\theta = 90^\circ$		$\theta = 60^\circ$		$\theta = 45^\circ$		$r/D=0$	$r/D=0.1$	$r/D=0$	$r/D=0.1$	$r/D=0$	$r/D=0.1$	0.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.5	1.1	1.1	0.7	0.6	0.5	0.5	1.0	1.5	1.3	0.8	0.7	0.5	0.5	1.5	2.1	1.7	1.3	1.0	0.9	0.7	2.0	2.8	2.3	2.0	1.5	1.5	1.2	2.5	3.8	2.8	2.8	2.1	2.4	1.7	3.0	5.0	3.6	3.9	2.8	3.3	2.5	3.5	6.5	4.6	5.0	3.7	4.4	3.2														
圧損係数 K_{13}																																																																																												
U_3/U_1	$\theta = 90^\circ$		$\theta = 60^\circ$		$\theta = 45^\circ$																																																																																							
	$r/D=0$	$r/D=0.1$	$r/D=0$	$r/D=0.1$	$r/D=0$	$r/D=0.1$																																																																																						
0.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0																																																																																						
0.5	1.1	1.1	0.7	0.6	0.5	0.5																																																																																						
1.0	1.5	1.3	0.8	0.7	0.5	0.5																																																																																						
1.5	2.1	1.7	1.3	1.0	0.9	0.7																																																																																						
2.0	2.8	2.3	2.0	1.5	1.5	1.2																																																																																						
2.5	3.8	2.8	2.8	2.1	2.4	1.7																																																																																						
3.0	5.0	3.6	3.9	2.8	3.3	2.5																																																																																						
3.5	6.5	4.6	5.0	3.7	4.4	3.2																																																																																						
	i=1 j=2 n=3	$K_{12} \doteq 0.5(U_3/U_1)^2$ また、殆ど θ や r/D に依存しない。 <p style="text-align: right;">文献(4)による。</p>																																																																																										
 <p>$A_1 = A_2 = A_3$ $(A_3 < A_2$ の時も $A_2 = A_3$ のデータ に近似する。)</p>	i=3 j=2 n=2 i=1 j=2 n=2	<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">U_3/U_2</th> <th colspan="3">圧損係数 K_{32}</th> <th colspan="3">圧損係数 K_{12}</th> </tr> <tr> <th>$\theta = 60^\circ$</th> <th>$\theta = 45^\circ$</th> <th>$\theta = 30^\circ$</th> <th>$\theta = 60^\circ$</th> <th>$\theta = 45^\circ$</th> <th>$\theta = 30^\circ$</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0.0</td><td>-1.0</td><td>-0.95</td><td>-1.0</td><td>0.0</td><td>0.0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0.1</td><td>-0.62</td><td>-0.57</td><td>-0.63</td><td>0.18</td><td>0.08(a)</td><td>0.17</td></tr> <tr><td>0.2</td><td>-0.26</td><td>-0.37</td><td>-0.35</td><td>0.32</td><td>0.14(a)</td><td>0.29</td></tr> <tr><td>0.3</td><td>-0.10</td><td>-0.18</td><td>-0.10</td><td>0.42</td><td>0.19(a)</td><td>0.35</td></tr> <tr><td>0.4</td><td>0.28</td><td>-0.02</td><td>0.16</td><td>0.48</td><td>0.18(a)</td><td>0.36</td></tr> <tr><td>0.5</td><td>0.50</td><td>0.12(a)</td><td>0.27</td><td>0.50</td><td>0.13(a)</td><td>0.32</td></tr> <tr><td>0.6</td><td>0.68</td><td>0.20(a)</td><td>0.31</td><td>0.48</td><td>0.08(a)</td><td>0.25</td></tr> <tr><td>0.7</td><td>0.84</td><td>0.28(a)</td><td>0.40</td><td>0.42</td><td>-0.03</td><td>0.10</td></tr> <tr><td>0.8</td><td>0.92</td><td>0.32(a)</td><td>0.45</td><td>0.32</td><td>-0.20</td><td>-0.15</td></tr> <tr><td>0.9</td><td>0.99</td><td>0.33(a)</td><td>0.40</td><td>0.18</td><td>-0.35</td><td>-0.45</td></tr> <tr><td>1.0</td><td>1.00</td><td>0.32(a)</td><td>0.27</td><td>0.0</td><td>-0.57</td><td>-0.75</td></tr> </tbody> </table> <p>(a)については、文献(2)は同じ条件で2倍の値を与えている。</p>	U_3/U_2	圧損係数 K_{32}			圧損係数 K_{12}			$\theta = 60^\circ$	$\theta = 45^\circ$	$\theta = 30^\circ$	$\theta = 60^\circ$	$\theta = 45^\circ$	$\theta = 30^\circ$	0.0	-1.0	-0.95	-1.0	0.0	0.0	0	0.1	-0.62	-0.57	-0.63	0.18	0.08(a)	0.17	0.2	-0.26	-0.37	-0.35	0.32	0.14(a)	0.29	0.3	-0.10	-0.18	-0.10	0.42	0.19(a)	0.35	0.4	0.28	-0.02	0.16	0.48	0.18(a)	0.36	0.5	0.50	0.12(a)	0.27	0.50	0.13(a)	0.32	0.6	0.68	0.20(a)	0.31	0.48	0.08(a)	0.25	0.7	0.84	0.28(a)	0.40	0.42	-0.03	0.10	0.8	0.92	0.32(a)	0.45	0.32	-0.20	-0.15	0.9	0.99	0.33(a)	0.40	0.18	-0.35	-0.45	1.0	1.00	0.32(a)	0.27	0.0	-0.57	-0.75
U_3/U_2	圧損係数 K_{32}			圧損係数 K_{12}																																																																																								
	$\theta = 60^\circ$	$\theta = 45^\circ$	$\theta = 30^\circ$	$\theta = 60^\circ$	$\theta = 45^\circ$	$\theta = 30^\circ$																																																																																						
0.0	-1.0	-0.95	-1.0	0.0	0.0	0																																																																																						
0.1	-0.62	-0.57	-0.63	0.18	0.08(a)	0.17																																																																																						
0.2	-0.26	-0.37	-0.35	0.32	0.14(a)	0.29																																																																																						
0.3	-0.10	-0.18	-0.10	0.42	0.19(a)	0.35																																																																																						
0.4	0.28	-0.02	0.16	0.48	0.18(a)	0.36																																																																																						
0.5	0.50	0.12(a)	0.27	0.50	0.13(a)	0.32																																																																																						
0.6	0.68	0.20(a)	0.31	0.48	0.08(a)	0.25																																																																																						
0.7	0.84	0.28(a)	0.40	0.42	-0.03	0.10																																																																																						
0.8	0.92	0.32(a)	0.45	0.32	-0.20	-0.15																																																																																						
0.9	0.99	0.33(a)	0.40	0.18	-0.35	-0.45																																																																																						
1.0	1.00	0.32(a)	0.27	0.0	-0.57	-0.75																																																																																						

表5 3股分岐管の圧力損失係数⁽⁰⁾⁽¹⁰⁾【乱流($Re \geq 10^4$)】

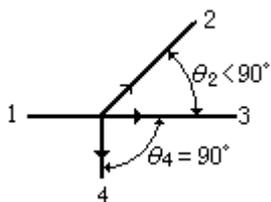
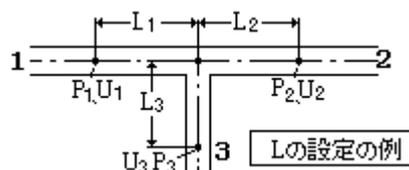
	i,j,n	圧力損失係数 K_{ij}
 <p>但し $A_1 = A_2 = A_3$ $A_2 \leq A_1$、$\theta_3 = 0$</p>	i=1 j=j n=1	$K_{1j} = 0.96 \sin^2 \theta_j + \alpha_j (\cos \theta_j - U_j/U_1)^2 + \beta_j (U_j/U_1)$ <p>ここで、</p> $\alpha_j = 0.0277 \theta_j \cos \theta_j + 1.2 \sin \theta_j \sin 60 - \theta_j $ $\beta_j = [0.00698(45 - \theta_j) + 0.075 A_j/A_1 + 0.0262 \theta_j] \sin(75 - \theta_j)$ <p>ただし $\theta =$ 単位 degree</p> <p style="text-align: right;">文献(10)による。</p>

表6 同径直角ティの圧力損失係数⁽⁰⁾⁽⁷⁾⁽⁸⁾

【層流】

	i, j, n	圧力損失係数 K_{ij}
	$i=1, j=2, n=2$	$K_{12}=2100/(U_1D/\nu)$ ($U_1D/\nu < 2000$ のとき)
	$i=3, j=2, n=2$	$K_{32}=7300/(U_3D/\nu)$ ($U_3D/\nu < 2000$ のとき)
	$i=1, j=2, n=1$	$K_{12}=3650/(U_2D/\nu)$ ($U_2D/\nu < 2000$ のとき)
	$i=1, j=3, n=1$	$K_{13}=7000/(U_3D/\nu)$ ($U_3D/\nu < 2000$ のとき)

(*1) L寸法は下図で定義される。分岐管に接続する直管側で摩擦損失分 $0.5 \rho f(L/D) U^2$ をカウントするときは $L=0$ としてよい(計算しなくてよい)。



- (*2) コーナーR(r)は 曲がり角の内表面の接円半径。解説の Fig.6 - 20 を参照のこと。
 (*3) レグ3からレグ2への流れでも同じ式を用いる(但し $U_1 \rightarrow U_2$ に変更)。
 (*4) レグ2からレグ3への流れでも同じ式を用いる(但し $U_2 \rightarrow U_1$ に変更)。
 (*5) Blevins は異径ティ ($A_3 < A_2$) の場合も当該圧損係数式で近似できるとしているが、疑問が残る。異径ティでは表2を使用するのがよい。

例題1: 内径 $\Phi 200$ 同径ティの圧損係数の傾向を調べよ。但しコーナーRは10mm。この項追加

表1より、各パターンでの圧損を計算。但し $r/D=0.01/0.2=0.05$

$$\begin{aligned} K_{12} &= 0.045 + [1.38 - 1.94(r/D)^{0.5} + 1.34(r/D)](U_3/U_2) - [0.90 - 0.95(r/D)^{0.5} + 1.23(r/D)](U_3/U_2)^2 \\ &= 0.045 + [1.38 - 1.94 \times 0.05^{0.5} + 1.34 \times 0.05](U_3/U_2) - [0.90 - 0.95 \times 0.05^{0.5} + 1.23 \times 0.05](U_3/U_2)^2 \\ &= 0.045 + 1.0132(U_3/U_2) - 0.749(U_3/U_2)^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K_{32} &= 1.09 - 0.8(r/D)^{0.5} - [0.53 + 1.27(r/D)^{0.5} - 1.86(r/D)](U_1/U_2) - [1.48 - 2.28(r/D)^{0.5} + 1.80(r/D)](U_1/U_2)^2 \\ &= 1.09 - 0.8 \times 0.05^{0.5} - [0.53 + 1.27 \times 0.05^{0.5} - 1.86 \times 0.05](U_1/U_2) - [1.48 - 2.28 \times 0.05^{0.5} + 1.80 \times 0.05](U_1/U_2)^2 \\ &= 0.9111 - 0.72(U_1/U_2) - 1.06(U_1/U_2)^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K_{12} &= 1.55(0.22 - U_3/U_1)^2 - 0.03 \quad (0 \leq (U_3/U_1) < 0.22), \\ &= 0.65(U_3/U_1 - 0.22)^2 - 0.03 \quad (0.22 \leq (U_3/U_1) \leq 1) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K_{13} &= 0.99 - 0.23(r/D)^{0.5} - [0.82 + 0.29(r/D)^{0.5} + 0.30(r/D)](U_3/U_1) + [1.02 - 0.64(r/D)^{0.5} + 0.76(r/D)](U_3/U_1)^2 \\ &= 0.99 - 0.23 \times 0.05^{0.5} - [0.82 + 0.29 \times 0.05^{0.5} + 0.30 \times 0.05](U_3/U_1) + [1.02 - 0.64 \times 0.05^{0.5} + 0.76 \times 0.05](U_3/U_1)^2 \\ &= 0.9386 - 0.899(U_3/U_1) + 0.915(U_3/U_1)^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
K_{31} &= 0.59 + [1.18 - 1.84(r/D)^{0.5} + 1.16(r/D)](U_1/U_3) - [0.68 - 1.04(r/D)^{0.5} + 1.16(r/D)](U_1/U_3)^2 \\
&= 0.59 + [1.18 - 1.84 \times 0.05^{0.5} + 1.16 \times 0.05](U_1/U_3) - [0.68 - 1.04 \times 0.05^{0.5} + 1.16 \times 0.05](U_1/U_3)^2 \\
&= 0.59 + 0.8266(U_1/U_3) - 0.5054(U_1/U_3)^2 \\
K_{13} &= 1.19 - 1.16(r/D)^{0.5} + 0.46(r/D) - 1.73[1 - (r/D)](U_2/U_3) + [1.34 - 1.69(r/D)](U_2/U_3)^2 \\
&= 1.19 - 1.16 \times 0.05^{0.5} + 0.46 \times 0.05 - 1.73[1 - 0.05](U_2/U_3) + [1.34 - 1.69 \times 0.05](U_2/U_3)^2 \\
&= 0.9536 - 1.6435(U_2/U_3) + 1.2555(U_2/U_3)^2
\end{aligned}$$

	速度比 : (U ₃ /U ₂)、(U ₁ /U ₂)、(U ₃ /U ₁)、(U ₃ /U ₁)、(U ₁ /U ₃) or (U ₂ /U ₃)				
	0	0.25	0.5	0.75	1.0
① K ₁₂	0.045	0.252	0.364	0.384	0.309
② K ₃₂	0.911	0.665	0.286	-0.226	(-0.87)
③ K ₁₂	0.045	-0.03	0.021	0.153	0.370
④ K ₁₃	0.939	0.771	0.718	0.779	0.955
⑤ K ₃₁	0.590	0.765	0.877	0.926	0.911
⑥ K ₁₃	0.954	0.621	0.446	0.427	0.566

①の K₁₂は主管流れのため元々圧損は少なく、分岐側からの流入 U₃が小さい時は然り。しかし流入分が増加すると圧損が少し大きくなる。一方③の K₁₂は同じ主管流れであるが、分岐側からの流入がないので総じて低い。②,④,⑤,⑥の分岐流れの場合は圧損が大きくなる。分岐流量が大きい時には 1.0 に近くなる。②は主管流れが増えると分岐側で静圧降下して負の圧損になっている。

例題 2 : Φ200 主管/面積比 2.25 異径ティの圧損係数の傾向を見よ。コーナーR は 10mm。この項追加

表 2 より、各パターンの圧損を計算する。

$$\begin{aligned}
K_{12} &= [1.55 - 3.5(r/d_2)](0.96 + 0.04m)(Q_3/Q_2) - [0.45 + \{0.6 - 1.7(r/d_2)\}/m](Q_3/Q_2)^2 \\
&= [1.55 - 3.5 \times 0.05](0.96 + 0.04 \times 2.25)(Q_3/Q_2) - [0.45 + \{0.6 - 1.7 \times 0.05\}/2.25](Q_3/Q_2)^2 \\
&= 1.444(Q_3/Q_2) - 0.679(Q_3/Q_2)^2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
K_{32} &= -1 + [3.81 - 3.3(r/d_3)](Q_3/Q_2) + [m^2 - \{0.75 - 1.3(r/d_3)\}m - 2](Q_3/Q_2)^2 \\
&= -1 + [3.81 - 3.3 \times 0.075](Q_3/Q_2) + [2.25^2 - \{0.75 - 1.3 \times 0.075\} \times 2.25 - 2](Q_3/Q_2)^2 \\
&= -1 + 3.562(Q_3/Q_2) + 1.595(Q_3/Q_2)^2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
K_{12} &= -[\{0.29 + 0.9(r/d_1)\}/m](Q_3/Q_1) + (0.67 + r/d_1)(0.54 + 0.46/m)(Q_3/Q_1)^2 \\
&= -[\{0.29 + 0.9 \times 0.05\}/2.25](Q_3/Q_1) + (0.67 + 0.05)(0.54 + 0.46/2.25)(Q_3/Q_1)^2 \\
&= -149(Q_3/Q_1) + 0.536(Q_3/Q_1)^2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
K_{13} &= 1 - (0.34 + 2r/d_3 + 0.5/m)(Q_3/Q_1) + [\{0.5 - 2.4(r/d_3)\}m^2 + \{0.62 + 2.4(r/d_3)\}/m^2](Q_3/Q_1)^2 \\
&= 1 - (0.34 + 2 \times 0.075 + 0.5/2.25)(Q_3/Q_1) + [\{0.5 - 2.4 \times 0.075\} \times 2.25^2 + \{0.62 + 2.4 \times 0.075\}/2.25^2](Q_3/Q_1)^2 \\
&= 1 - 0.713(Q_3/Q_1) + 1.776(Q_3/Q_1)^2
\end{aligned}$$

	速度比 : (Q ₃ /Q ₂)、(Q ₃ /Q ₂)、(Q ₃ /Q ₁)、(Q ₃ /Q ₁)、(U ₁ /U ₃) or (U ₂ /U ₃)				
	0	0.25	0.5	0.75	1.0
K ₁₂	0	0.32	0.55	0.70	0.77
K ₃₂	-1	-0.01	1.18	2.57	4.16
K ₁₂	0	-0.004	0.06	0.19	0.39
K ₁₃	1	0.99	1.09	1.46	2.06

総じて 同径ティの傾向に似るが、絞りが含まれるので、圧損係数は大きくなる。

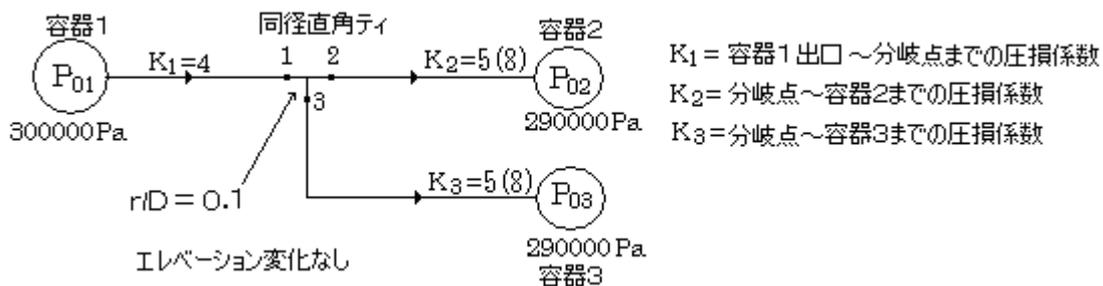
なお同径の場合、面積比は $m=1$ になる。この時の各圧損係数は次のようになる。

	速度比				
	0	0.25	0.5	0.75	1.0
K_{12}	0 (0.045)	0.28 (0.252)	0.45 (0.364)	0.49 (0.384)	0.41 (0.309)
K_{32}	0.96 (0.91)	0.786 (0.67)	0.401(0.29)	-0.19(-0.23)	-1.0(-0.87)
K_{13}	0 (0.045)	-0.04(-0.03)	0.015(0.021)	0.154(0.153)	0.385 (0.37)
K_{13}	1.0(0.94)	0.835(0.77)	0.81(0.72)	0.925 (0.78)	1.18 (0.96)

表中の()内は、例題1の同径ティの結果を転記している。本来、これらは一致すべきであるが、略5~25%程度の食い違いがある(ただ傾向としては一致している)。式の構成の違いによると思われる。実質的にはデータのバラツキ程度で大きな影響はでないだろう。

例題3: 下図のような流れがある。各レグの流速を求めよ。

この項、見直し及び追記



各レグにおいて

$$\text{レグ 1: } P_1 + 0.5 \rho U_1^2 = P_{01} - 0.5 K_1 \rho U_1^2$$

$$\text{レグ 2: } P_2 + 0.5 \rho U_2^2 = P_{02} + 0.5 K_2 \rho U_2^2$$

$$\text{レグ 3: } P_3 + 0.5 \rho U_3^2 = P_{03} + 0.5 K_3 \rho U_1^2$$

また、 L_1, L_2, L_3 は無視して、本文(1)式より

$$\text{レグ 1} \rightarrow \text{レグ 2} : (P_1 + 0.5 \rho U_1^2) - (P_2 + 0.5 \rho U_2^2) = 0.5 K_{12} \rho U_1^2 \quad \text{----- (a)}$$

$$\text{レグ 1} \rightarrow \text{レグ 3} : (P_1 + 0.5 \rho U_1^2) - (P_3 + 0.5 \rho U_3^2) = 0.5 K_{13} \rho U_1^2 \quad \text{----- (b)}$$

先前のレグの式を(a)式に代入して

$$\downarrow (P_{01} - 0.5 K_1 \rho U_1^2) - (P_{02} + 0.5 K_2 \rho U_2^2) = 0.5 K_{12} \rho U_1^2$$

$$\downarrow P_{01} - P_{02} = 0.5 K_{12} \rho U_1^2 + 0.5 K_1 \rho U_1^2 + 0.5 K_2 \rho U_2^2$$

ここで $U_2 = U_1 - U_3$ であるから

$$2(P_{01} - P_{02}) / \rho = \{(K_{12} + K_1) + K_2 (1 - U_3/U_1)^2\} U_1^2$$

$$U_1^2 = \{2(P_{01} - P_{02}) / \rho\} / \{(K_{12} + K_1) + K_2 (1 - U_3/U_1)^2\} \quad \text{----- (c)}$$

同様に(b)式に代入して

$$U_1^2 = \{2(P_{01} - P_{03}) / \rho\} / \{(K_{13} + K_1) + K_3 (U_3/U_1)^2\} \quad \text{----- (d)}$$

(c)=(d)なので

$$\{2(P_{01} - P_{02}) / \rho\} / \{(K_{12} + K_1) + K_2 (1 - U_3/U_1)^2\} - \{2(P_{01} - P_{03}) / \rho\} / \{(K_{13} + K_1) + K_3 (U_3/U_1)^2\} = 0$$

$$\downarrow$$

$$\{2(P_{01} - P_{02}) / \rho\} \{(K_{13} + K_1) + K_3 (U_3/U_1)^2\} - \{2(P_{01} - P_{03}) / \rho\} \{(K_{12} + K_1) + K_2 (1 - U_3/U_1)^2\} = 0 \quad \text{----- (e)}$$

同径ティの場合、表1の3フレーム目/4フレーム目からわかるように K_{12} と K_{13} は (U_3/U_1) の2次関数で

あるから、(e)は速度比 (U_3/U_1) を変数とする2次式である。従って(e)式を解けば (U_3/U_1) が得られる。また、 (U_3/U_1) がわかれば(c)または(d)式より U_1 が得られ、次いで U_3 , U_2 が得られる。

さて(e)式において、

$$2(P_{01}-P_{02})/\rho = 2x(0.3-0.29)x10^6/1000=20、$$

$$2(P_{01}-P_{03})/\rho = 2x(0.3-0.29)x10^6/1000=20$$

$$K_{12}=0.65(X-0.22)^2-0.03=0.65X^2-0.286X+0.00146 \quad \text{as} \quad X=U_3/U_1$$

$$K_{13}=0.8936X^2-0.9417X+0.9173 \quad \text{as} \quad r/D=0.1$$

従って

$$\begin{aligned} & \downarrow 20x(5.8936X^2-0.9417X+4.9173)-20x(5.65X^2-10.286X+9.00146)=0 \\ & \downarrow 0.2436X^2+9.3443-4.08416=0 \end{aligned}$$

これを解くと、 $X=U_3/U_1=0.432$ (< 1)

従って、ティの圧損係数は、

$$K_{13}=0.8936x0.432^2-0.9417x0.432+0.9173=0.677$$

$$K_{12}=0.65x0.432^2-0.286x0.432+0.00146 \doteq 0$$

各レグの流速は、

$$U_1=[20/\{(0.677+4)+5x0.432^2\}]^{0.5}=1.888\text{m/s}$$

$$U_3=0.432x1.888=0.816\text{m/s} \quad , \quad U_2=1.888-0.816=1.072\text{m/s}$$

$K_2=K_3=8$ とすると、同様に計算して $X=0.4583$ であるから

$$K_{13}=0.673, \quad K_{12}=0.0069$$

$$U_1=1.774\text{m/s}, \quad U_3=0.813\text{m/s}, \quad U_2=0.961\text{m/s}$$

ここで、速度比 (U_3/U_2) を比べると

$$K_2=K_3=5 \text{ のとき} : (U_3/U_2)=0.76$$

$$K_2=K_3=8 \text{ のとき} : (U_3/U_2)=0.85$$

ティ下流の圧損係数(流体抵抗)が大きくなるほど、偏流は少なくなる傾向がある。

場合によっては、ティ以降を等しく分流する必要がでてくる。この場合どうすればよいか?

$U_2=U_3=(1/2)U_1$ であるから $X=U_3/U_1=0.5$ になる。そのとき、ティの圧損係数は、

$$K_{12}=0.65x0.5^2-0.286x0.5+0.00146=0.02096$$

$$K_{13}=0.8936x0.5^2-0.9417x0.5+0.9173=0.66985$$

(e)式において、 $U_3/U_1=0.5$ とし、 K_{12}, K_{13} を代入すると

$$\begin{aligned} & \downarrow 20x\{(0.66985+4)+0.25K_3\}-20\{(0.02096+4)+K_2(1-0.5)^2\}=0 \\ & \downarrow 4.66985+0.25K_3=4.02096+K_2x0.25 \end{aligned}$$

ここで $K_2=5$ とすると $K_3=2.405$ になる。以上より、

$$K_2=5 \text{ のとき} \quad K_3=2.405 \text{ をとれば、レグ 2、レグ 3 側に等しく分流できる。}$$

念のため、この結果をチェックしてみる。(e)式に $K_2=5$, $K_3=2.405$ を代入すると、

$$\begin{aligned} & \downarrow 20x(3.2986X^2-0.9417X+4.9173)-20x(5.65X^2-10.286X+9.00146)=0 \\ & \downarrow \end{aligned}$$

$$2.3514X^2 - 9.3443X + 4.08416 = 0$$

これを解くと $X = [9.3443 - \{(-9.3443)^2 - 4 \times 2.3514 \times 4.08416\}^{0.5}] / (2 \times 2.3514) \doteq 0.5$ OK

【 解 説 】 全般見直し

1. 交差部(分岐管)の圧損については種々の文献データがあるが、Blevins はこれらを取捨選択/吟味してそのテキストの中でまとめている^④。本 TS ではその結果を殆どそのまま用いている。ただ異径ティについて Blevins は同径ティである程度近似できるという考えをとっているが、伊藤氏の文献(1)に異径直角ティの圧損式が提案されているので、本 TS ではこれを採用した。伊藤式は Miller のテキスト^⑥にも取り入れられている。因みに汎用管路流れプログラム Flow-master は、Miller のテキストにある分岐管(交差部)の圧損データを用いている。

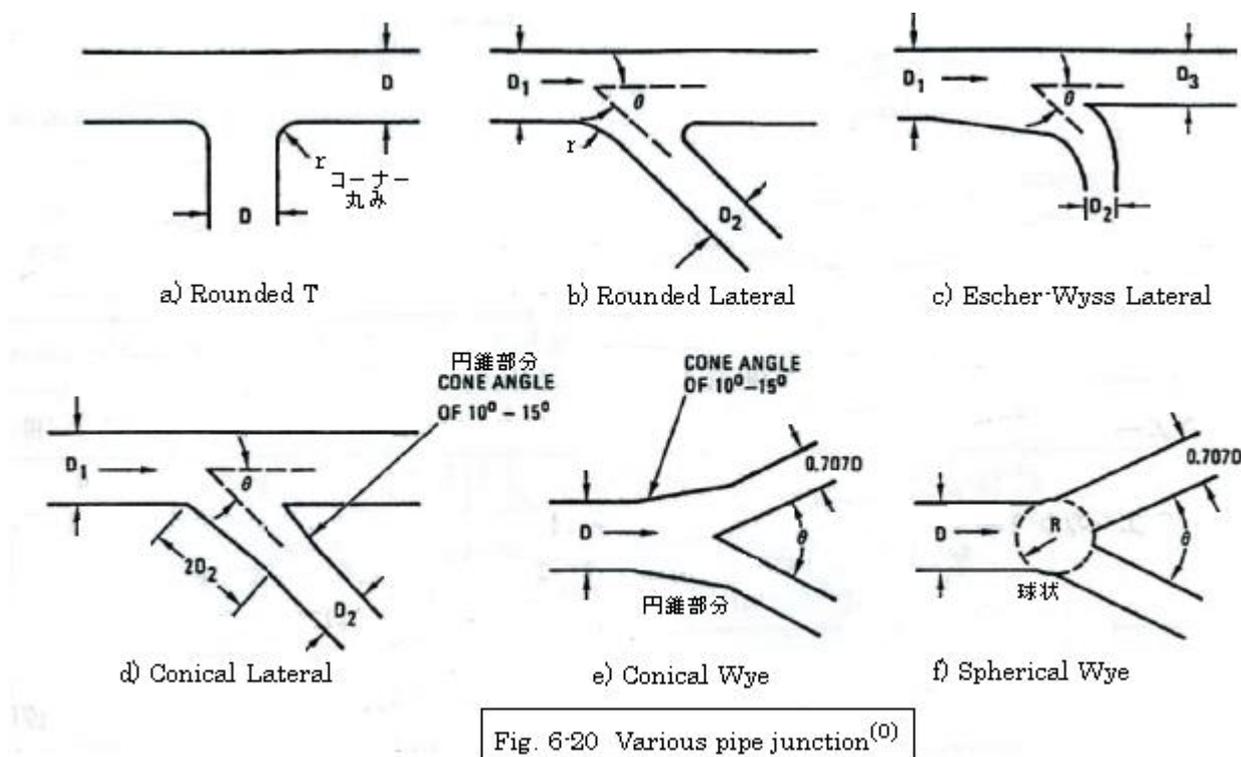
当然ながら Blevins のまとめた式が、Miller データに全く一致することはないが、幾つかの計算例では、特に両者の間に有意な差異はみられなかった。

[Miller データについては、JSME データなどつき合わせて整理し別途、発行する予定である。]

2. まず管路交差部分の流れ現象について。2つの流速の違う流れが結合/分離すると流体の混合/拡散と共に流速変化や圧力変化が起きる。例えば結合では流体の運動量の交換によって共通の流れ場が形成され高速流れから低速流れにエネルギーが移る。高速流れの方はエネルギーが低下し、その運動量の一部が低速流れに移るので、入った時より出た時の方が高いエネルギーになることもある(負の圧損係数になる)。

集合流れ/分配流れにおける最小のエネルギーロス、結合/分離時の前後の速度&方向(速度ベクトル)が同じになるときに得られる。即ち入口/出口ノズルを交差部分における滑らかな曲がりにつなぎ輪郭や寸法を調整することで得られる。しかしこのような交差部の構造は、大きな水門鉄管設備以外では、コスト高になる[Fig.6-20 (c)を参照]。

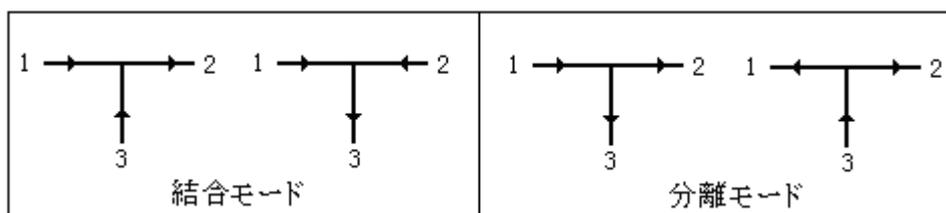
通常の直角ティ(90° 交差)では方向と流速が大きく変わるので、分配前や集合後の動圧(=0.5 ρ U²)に匹敵する圧力損失が起きる。交差部の圧損を低減するには Y 形分岐にしたり、Fig.6-20(a)(b)のようにコーナー R をとるか、Fig.6-20(d)(e)のように円錐トランジションを設けるのが効果的である。



3. Y形分岐、コーナーRあるいは円錐トランジションのほかに、圧損や圧損係数に影響を与えるパラメータとして、次のようなものが挙げられる。

流れモード、流れ断面積、分岐角、表面粗さ、レイノルズ数

流れモードには下図のように結合(集合)モードと分離(分配)モードの2つがある。これらの圧損係数は自ずと異なり圧損に影響するが、一概にどちらが有利とは云えない。



流れ断面積も流速のファクタとして圧損の多寡に影響するが、直管の延長として扱われ、特に交差部分のサイズをアップすることは殆どない。

分岐角は直角ティの場合、圧損がきつくなる。側出しティやY形ティのように流れ方向に沿ってできるだけ分岐角を閉じれば圧損は減少する。交差部分の方向転換や渦による縮流が影響している。

表面粗さの影響は詳細不明。Blevinsは、(粗い管の摩擦損失係数)/(滑らかな管の摩擦損失係数)の比を通常の式で計算した圧損係数に乗じて補正することを勧めている。

レイノルズ数の影響は乱流/遷移流/層流の影響を意味する。直管の場合と同様に層流になるにつれ圧損係数自身は大きくなる。逆にレイノルズ数が 10^4 を越えると、殆ど圧損係数のレイノルズ数依存はなくなる。乱流及び層流のデータはあるが、遷移流についてはデータが見当たらない。

4. 管路の交差部分における圧損係数式の特徴は、

- ①フローパターン(流れモードを含む)によって異なること、
- ②流量比(または流速比)がパラメータに含まれること

である。①については、例えば表 1 からわかるように 3 つのレグ(連結管)が接合するティではフローパターンは 6 通りあり夫々の係数式は異なっている。通常の管路流れでは、このフローパターンはシステムから決まるため調整が効かないことが多い。

②については、必ずしも 3 者の流量が全てわかっているわけではないので、例えば分岐前の流量と静圧がわかっているときは分岐後の流量配分を仮定し、圧損損失の反復計算から真の流量配分を求めるということになる。これは**交差部の圧損係数そのものが、管路流れの反復計算(管路網解析)に依存して決まる**ことを意味し、幾何形状パラメータのみで圧損係数が固定される管路構成要素に比べて、かなりの手間になる。ただ、いずれのレグ側の流量も付帯する絞り弁などによって調節できる場合は、計画された流量比を使って予め圧損係数を予測できる。

5. 表 1～表 6 は、工業分野で使用される各種ティの圧損係数を示している。これらは何れも円形断面を有する分岐管を対象にしている。しかし、非円形断面の交差部分についても、下記で定義される**水力径ないし相当径**を円形断面の径に置き換えれば、式の適用が可能である。ただ精度はやや低下する。

水力径： $D_h = 4x(\text{流れ断面積})/(\text{断面の濡れ縁長さ})$

相当径： $D_e = (64/k)D_h$ 但し $k = \text{層流摩擦係数}(=fR_e)$ 、 $f = \text{摩擦損失係数}$ 、 $R_e = \text{レイノルズ数}$
相当径は Jones が提案したもの。係数 k は、ずんぐりした管路では 64 に近い値であるが、ほっそりした管路では 64 以上になる(具体的には Blevins のテキストによる)。

表に示される圧損係数 K の添字 i, j は、入口、出口を意味し、例えば K_{13} はレグ 1 からレグ 3 への流れに生じる圧力損失係数を表わしている。

また各流れの圧力損失は、圧損係数 K_{ij} に動圧 $0.5 \rho U_n^2$ を乗じて得られるが、流速 U_n は基準流速を意味し、例えば U_1 はレグ 1 の流速になる。基準流速 U_n としては、

結合モード→結合後の流速、 分離モード→分離前の流速

が採られている。即ち、各レグの動圧で最大の値が圧損計算のベースになっている。

なお、表 1,2 の圧損係数にはコーナー R の影響が含まれるが、表 3～6 には含まれていないので、表 3～6 のデータは、 $r/D=0$ の場合に該当するものと解釈する。

6. 表 1 は乱流のときの同径直角ティの圧損係数を示す。全圧損失は $-1 \sim 1.2$ の範囲にある。何れの場合も交差部コーナーの丸み(r/D)によってかなり圧損係数が変化する。表 1 の 6 フレーム目について $U_1=U_2=U_3/2$ とおいて K_{13} を計算すると次のようになる。

r/D	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
K_{13}	0.66	0.38	0.32	0.30	0.29	0.29

注目すべきは、**(r/D)=0.1 にするとドンと半減近く**に下がることである。そして 0.1 を 0.3 にかえてもそれほど K_{13} は下がらないことである。

表 1 は乱流 ($R_e > 10^4$) 域に適用するが、層流 ($R_e \leq 2000$) では表 6 を適用する。乱流域で $R_e > 10^4$ にデータが限られるのは、前述のようにレイノルズ数が 10^4 を越えると圧損係数のレイノルズ数依存がなくなって実験データとして **fix** できるからである。問題は、ブランクになる $2000 \sim 10^4$ の間をどうするか? 次のような案が考えられる。

2000 < Re < 4000 → 表 6 準用、 4000 < Re < 10000 → 表 1

7. 表 2 は乱流のときの異径直角ティの圧損係数を示す。前述のように伊藤文献から引用している。これらは表 1 の 1~4 フレーム目に対応しているが、5, 6 フレーム目に対応するフレームはない。表 1 の 5, 6 フレーム目は、枝管→両側主管ないし両側主管→枝管への流れになっているが、いずれも径の小さな枝管側の流量が主管側よりも大きくなるのは不自然であるため、5, 6 フレームのようなフローパターンは割愛されたのだろう。どうしてもそういう流れになるなら、表 1 の 5, 6 フレーム目を引用せざるを得ないが、誤差は大きくでるかもしれない。

8. 表 3 は乱流のときの対称 Y 形ティの圧損係数を示す。2つの股管の断面積の和は主管の断面積に等しい。各々の股管を通る流量が等しいとき、Y ティの圧損は最小になる。しかし、この場合でも流れの中に生じる非対称性の故に、一方の股管の圧損が他方の股管よりも 12%ほど高くなっている。もし Y の交差部が円錐ではなく球になるときは、圧損が下記のように高めになる⁽⁵⁾。

U_2/U_1	0.0	0.4	0.8	1.2	1.6	2.0
K_{12} 円錐	0.54	0.30	0.16	0.13	0.17	0.32
K_{12} 球	0.53	0.28	0.20	0.22	0.33	0.45

9. 表 4 は乱流のときの側出し Y ティの圧損係数を示す。この表の 1 フレーム目は ASCE のサーベイの結果に依っている。側出し管の圧損は分岐角の減少やコーナー丸みの増加につれて減少する。圧損はコーナー丸み(r/D)が 0.1 の時に最もドラスティックに減少する⁽⁶⁾。試験結果では、 $0.35 < d/D < 0.7$ の範囲で、交差点を通過する全圧損失は側出し管の径 d に依存しない。但し側出し管流速 > 主管流速に限る⁽⁴⁾。 $0.7 < d/D \leq 1.0$ の範囲では、実際の圧損は表 4 の 1 フレーム目で与えられる値よりもやや低めになる傾向がある⁽⁵⁾。

特殊な輪郭を持った側出し管(円錐トランジション/Escher Wyss)は、表 4 の 1 フレーム目よりもかなり低い圧損になる。[45 度分離モードで側出し管径が主管の 1/2]の場合の比較を下記に示す。

	圧損係数 K_{13} [$\theta = 45^\circ$] ⁽⁴⁾						
	速度比 U_3/U_1						
	0.0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
Standard($r/D=0$)	1.0	0.5	0.5	0.9	1.5	2.4	3.3
Conical Trans.(円錐角 12 度)	1.0	0.5	0.4	0.5	0.8	1.3	1.7
Escher Wyss	0.4	0.3	0.2	0.2	0.3	0.6	1.0

円錐トランジション/Escher Wyss については Fig.6-20 参照のこと。円錐トランジションは円錐角が 10~15 度のときに圧損は最小になる⁽⁴⁾。

10. 表 6 は層流の場合の同径直角ティの圧損を示している⁽⁷⁾⁽⁸⁾。層流では圧損係数はレイノルズ数に反比例する。また圧損係数は乱流の場合より高くなる。なおこの表は異径直角ティにも有効と思われる。

引用文献/テキスト：

- (0) R. D. Blevins 「Applied Fluid Dynamics Handbook」 6.6.2 Pipe Junctions
(Van Nostrand Reinhold Co)
- (1) 高速研レポート： 分岐、合流損失の理論および損失公式 伊藤英覚
- (2) Idel'chik 「Handbook of Hydraulic Resistance」 U.S Department of Commerce NTIS Report
- (3) **Ito, H., and K. Imai, "Energy Losses at 90° Pipe Junctions," *ASCE J. Hydraulics Div.* 99, 1353-1369 (1973).**
- (4) **Williamson, J. V., and T. J. Rhone, "Dividing Flow in Branches and Wyes," *ASCE J. Hydraulics Div.* 99, 747-769 (1973).**
- (5) **Ruces, E., "Head Losses in Wyes and Manifolds," *ASCE J. Hydraulics Div.* 96, 593-608 (1970).**
- (6) Miller D,S. 「Internal Flow System」 BHRA Fluid Engineering Cranfield,England1978
- (7) **Jamison, D. K., and J. R. Villemonete, "Junction Losses in Laminar and Transitional Flows," *ASCE J. Hydraulics Div.* 97, 1045-1063 (1971).**
- (8) **Khatri, K. C., et al., "Hydraulics of Microtube Emitters," *ASCE J. Irrigation Drainage Div.* 105, 163-173 (1979).**
- (9) **Hudson, H. E., et al., "Dividing-Flow Manifolds with Square Edged Laterals," *ASCE J. Environmental Eng. Div.* 105, 745-755 (1979).**
- (10) **Rao, B. C. S., et al., "Distribution of Energy Losses at Conduit Trifurcations," *ASCE J. Hydraulics Div.* 94, 1363-1374 (1968).**

(2)~(10)は Blevin のテキストで引用されているもの。