536. 242 : 621. 1. 016. 4

新 伝 熱 管 の 性 能 研 究*

(第 4 報 混合配列管群の場合)

中村 行三** , 中谷 洵*** , 原田 一郎****
 木村 和雄*****, 田中 忠夫*****, 西野 一男****

Researches on New Heat Transmitting Tubes
 (4th Report, On the Combination Bundles of the Circular
 and New Finned Tubes)

by Kōzō NAKAMURA, Makoto NAKATANI, Ichirō HARADA, and Others

We have obtained the heat transmitting tubes of a new type which are superior in point of heat transmission in the case of fluid flowing across the tubes. We have studied experimentally the characteristics of our tubes, and already reported the results three times.

We researched the heat transmission characteristics of the bundles of circular tubes having one, two or three rows of our new No. I tubes ahead. And we researched the characteristics of the ordinary tubes having transverse circular fins on its outer surface. The main results of our researches are as follows:

(1) The combination bundles of No. I tubes as the 1st and 2nd rows and single circular tubes as the other rows has the heat transmission ability of more than 95 %, and the pressure loss of 85 %, comparing with the bundles of No. I tubes only.

(2) No. I tube has same heat transmission ability as the ordinary ribbed tube, which has the fin area of about three times as large as the one of No. I tube.

1. 緒 言

伝熱管として最も一般的なものは円管であるが、これに種々のひれを取付け伝熱面積を増加することにより伝達熱量の増加をはかっているのが現況である。筆者らは直交流のもとに使用して（その管が単独もしくは管群の場合）性能の優秀な新しい形式、すなわち多少の伝熱面積の増加はあるが、管外に取付られたひれにより管外気流のうず流を増加せしめることにより伝熱能力の増進をはかる形式の伝熱管を考案し、その性能について調査してきた。その結果を単独管の場合を第 1 報⁽¹⁾に、管群の場合を第 2, 3 報⁽²⁾⁽³⁾に報告してきた。本研究においては新伝熱管群（I 号管群）よりさらに重量、製作費の低減をはかるため、新伝熱管と単純円管を組合わせた場合、管群としていかなる伝熱性能を発揮するかについて調査するため単純円管群、新

伝熱管群との伝熱性能の比較をおこなった。すなわち前列部に新伝熱管を配置し、後列部に単純円管を取付けた組合せ管群の場合、前列部の新伝熱管によって管外気流に発生せしめられたうず流が、後列部の単純円管の伝熱性能にいかなる影響をおよぼすかについての実験、ならびに従来よく用いられている円環ひれ付管（後述）と新伝熱管の単独管における伝熱性能の比較をおこなった。これらの結果について報告をおこなう。

2. 実験装置ならびに方法

実験装置ならびに方法については、すでに前報までに述べてきたので本論においては省略する。

組合せ管群の伝熱性能の調査に用いたテスト管は第 1 図に示す 3 種類のもので、詳細は前報で報告したので省略する。本実験においては第 2 図に示す六つの組合せについて前報同様熱貫流率、管群の圧力損失および抗力の 3 項目について実験をおこなった。なお管群のピッチは第 3 報で最も良好な結果をおさめた縦横ピッチ 80 mm の千鳥配列とした。

また I 号管との比較に用いた円環ひれ付管は第 3 図に示すような円環ひれが 3, 5, 7, 9 および 11 枚のひ

* 昭和 34 年 3 月 18 日 関西支部第 204 回講演会において講演、原稿受付 昭和 34 年 10 月 1 日。

** 正員、大阪府立大学工学部（堺市百舌鳥梅町 4）。

*** 准員、大阪府立大学工学部。

**** 講演当時 大阪府立大学学生。

***** 准員、東洋リノリューム会社。

***** 准員、南海毛織紡織会社。

れ付管で、ひれの材質は管部と同一のものを使用して製作した。この円環ひれ3枚のひれ表面積がI号管のひれ表面積にだいたい等しくなるように作った。実験に際してはI号管と、これらのテスト管との熱貫流率

の比較を単独管の場合についてのみおこなった。

3. 実験結果とその考察

(1) 組合せ管群の熱貫流率

組合せ管群の II, III および IV 列のみかけの熱貫流率 K kcal/m²h°C, すなわちひれによる管表面積の増加を考慮せぬ管外表面からの熱貫流率, および単純円管の熱貫流率 (真の熱貫流率) k kcal/m²h°C と管群前面における空気速度 u m/s との関係を示すと第4図 (a), (b), (c) およ

び第5図 (a), (b), (c) のようになる。なお I 号管群および単純円管群のピッチ 80 mm における第 2, 3 報に述べた実験結果と今回おこなった同一条件での実験結果とは多少の差違が認められたがだいたいよく一致した。また各管群第 I 列めの熱貫流率の値は組合せ A, B, C 管群については I 号管群の第 I 列めに, D, E, F 管群については III 号管群の第 I 列めにだいたい一致したので図は省略する。また図からもわかるように縦横ピッチ 80 mm では伝熱管の熱貫流率は測定管の前部に配置された管種の影響は受けるが、後部の管種の影響はほとんど受けないことがわかる。

第1図 テ ス ト 管

組 合 せ 管 群 配 置

組合せ記号	第 I 列	第 II 列	第 III 列	第 IV 列
A	I 号管		単純円管	
B	I 号管		単純円管	
C	I 号管		単純円管	
D	III 号管		単純円管	
E	III 号管		単純円管	
F	III 号管		単純円管	

第2図 組合せ管群配置図

ひ れ 数	3	5	7	9	11
ピ ッ チ p mm	122.5	81.7	61.3	49.0	40.8

第3図 円環ひれ付テスト管

図中 A, B, C は組合せ管群の種類を表す

第4図 各列の K, k の u における比較

図中 D, E, F は組合せ管群の種類を表わす

第 5 図 各列の K, k の u における比較

第 6 図 ϕ と u の関係

第 7 図 ϕ と u の関係

(i) Ⅰ号管と単純円管の組合せ管群について
第 5 図でもわかるようにⅠ号管の熱貫流率はⅠ号管群の場合でも組合せ管群の場合でも同じ列においては同一の値を示している。これは前述のごとくテスト管の前列部の管の影響は受けるが、後列部の管の種類に影響されないということを表わしている。なおこれは筆者らの用いたテスト管についておこなった実験範囲についての結果である。しかしⅠ号管の後部に配置された単純円管は、単純円管群のその列に相当する管の熱貫流率の値よりはるかに高く、むしろⅠ号管群のその列に相当する管のみかけの熱貫流率の値に近い値を示している。この傾向はⅢ,Ⅳ列において特に強い。これは第Ⅰ,Ⅱ列におかれたⅠ号管によって管外気流が乱され、小さなうずが多数発生し、後部におかれた単純円管の熱伝達に好影響を与えるからである。

A, B, C 各組合せ管群の伝熱性能を比較するため各管群の平均熱貫流率 K_n を求めⅠ号管群の平均熱貫流率 (K_I) を 100% としたときの A, B, C 管群の K_n

のこれに対する割合 ϕ と管前面における空気速度 u m/s との関係と求めると第 6 図のようになる。図からわかるように第Ⅰ,Ⅱ列にⅠ号管、Ⅲ,Ⅳ列に単純円管を配置した組合せ B 管群および第Ⅰ,Ⅱ,Ⅲ列にⅠ号管、第Ⅳ列に単純円管を配置した組合せ C 管群は筆者らのおこなった実験範囲ではⅠ号管群の 95% 以上であるのに対し管群の重量はⅠ号管群に比して B 管群は約 8%, C 管群は約 4% ほど軽減されている。

(ii) Ⅲ号管と単純円管の組合せ管群について
第 5 図からもわかるように、前列におかれたⅢ号管の後列におかれた単純円管におよぼす影響はⅠ号管ほど顕著でない。それはⅠ号管の伝熱機構とは多少違った機構、すなわちⅠ号管のように管外気流にうず流を生ぜしめることによって伝達熱量の増加をはかるのとはようすを異にしているからであろう。

そこで (i) と同様Ⅲ号管群の平均熱貫流率 (K_{III}) を 100% とし、これに対する D, E, F 各組合せ管群の平均熱貫流率の割合 ϕ を求め、管群前面の空気速

度との関係を示すと第7図のようになる。図においてF管群はⅢ号管群の約95%の伝熱能力を有しているが重量の点から考えてB管群にはるかに及ばない。なお第3報においても報告したように、Ⅰ号管群とⅢ号管群のみかけの熱貫流率は縦横ピッチ80mmのときほぼ同一の性能を有している。

(2) 組合せ管群の圧力損失 熱貫流率の測定において優秀な成果をおさめたⅠ号管と単純円管の組合せ管群について、さらにその性能を詳細に調査するため管群前後の圧力差、すなわち風洞損失を考慮した圧力損失 Δp mm 水柱を測定した。その結果を第8図に示す。図において縦軸は圧力損失 Δp mm 水柱、横軸は風洞入口の空気速度 u m/s であり、両対数目盛であらわしている。この図からもわかるように組合せ管群のBが最も圧力損失が少なく、C, A, Ⅰ号管、単純円管の各管群の順になっている。ここでⅠ号管群より組合せ管群の方が圧力損失の少ないこと、とくにⅠ, Ⅱ列にⅠ号管, Ⅲ, Ⅳ列に単純円管を用いたB管群の圧力損失が最も少ないということは注目すべきである。

(3) 抗力 圧力損失の測定において組合せ管群の方が単純円管はもちろんのことⅠ号管群よりも圧力損失が少ないという我々の予想に反した結果が出たので、これをさらに詳細に調べるために各管群の、各列の代表管(熱貫流率の測定をおこなった場合と同じ位置の代表管)の管表面の静圧分布を測定し、これからそれぞれの抗力を求めた。その結果を第1表に示す。

第8図 u における各管群の Δp の比較

なお測定方法等については第2, 3報に詳細に述べてあるから参照されたい。また本実験においても管群前面の空気速度を7m/s一定としておこなった。その結果圧力損失の測定で得た結果とまったく同様の傾向を得た。

表からわかるようにいかなる管群においても第Ⅰ, Ⅱ列めは単純円管の方が抗力が大きく、Ⅲ, Ⅳ列は単純円管の方が小さいという結果を得た。また抗力においても熱貫流率と同様測定管の前列の管種によって影響は受けるが、後列部にくる管の種類には関係しないことがわかった。そこでⅠ号管の抗力を円管とひれの部分に分けて考えてみると第2表のようになる。この表からもわかるように、ひれによる抗力が各列ともかなり大きな割合を占めている。このひれの抗力は後列にゆくにしたがって増加しているのに対し、円管部については流れが乱れると境界層のはく離点が後退し抗力が少なくなるため、むしろ前列よりも後列にゆくに従って減少している。ところが、単純円管群の場合Ⅰ, Ⅱ列では流れの乱れが比較的少ないため抗力は大きな値を示すが、後列にいて流れが乱れるに従って境界層のはく離点が後退し抗力は減少する。この点よ

第1表 抗力 R g/cm²

列	管群の種類				
	単純円管群	A管群	B管群	C管群	Ⅰ号管群
第Ⅰ列	0.859	0.771	0.771	0.771	0.771
第Ⅱ列	0.947	0.870	0.478	0.478	0.478
第Ⅲ列	0.432	0.428	0.548	0.714	0.714
第Ⅳ列	0.593	0.507	0.597	0.608	0.700
合計	2.831	2.576	2.394	2.571	2.663

第2表 Ⅰ号管各部の抗力 R g/cm²

	列番			
	第Ⅰ列	第Ⅱ列	第Ⅲ列	第Ⅳ列
円管部	0.525	0.152	0.280	0.299
ひれ部	0.246	0.326	0.434	0.401
合計	0.771	0.478	0.714	0.700

第3表 Ⅰ号管群の縦ピッチの変化による抗力の値 R g/cm²

列	縦ピッチ p mm				
	50	60	80	100	120
Ⅰ	1.217	1.013	0.771	0.757	0.881
Ⅱ	0.778	0.572	0.478	0.600	0.694
Ⅲ	1.058	0.756	0.714	0.927	0.766
Ⅳ	0.808	0.619	0.700	0.613	0.683
合計	3.861	2.960	2.663	2.897	3.024

第 9 図

り考えて前列部に I 号管を用い、後列部に単純円管を用いた方が抗力、すなわち圧力損失の少なくなるということがうなずける。

なお第 3 報において発表した第 1 表、第 11 図の I 号管群の抗力が本実験においておこなった結果と相当な開きがあるので、この点を詳細に調べた結果新たに第 3 表、第 9 図の結果を得たので訂正する。

(4) I 号管と円環ひれ付管との熱貫流率の比較

伝熱管のみかけの熱貫流率 K kcal/m²h°C および単純円管の熱貫流率 k kcal/m²h°C と管前面の空気速度 u m/s との関係を示すと第 10 図のようになる。図からも明かなように円環ひれ付管の熱貫流率 K はひれ枚数が増加するほど増しているが、これは管表面積の増加から考えて当然である。図に示すように円環ひれが 9 枚のとき I 号管のみかけの熱貫流率と一致し、だいたい同一の伝熱能力を有することがわかる(筆者らの実験の結果ほぼ同一の値を得たのでこれを 1 本の線で示した)。これは I 号管のひれの約 3 倍のひれ面積をもつものであり、I 号管に比べて重量にして 27%、表面積にして 46% 増加している。すなわち真の熱貫流率 k kcal/m²h°C について比較してみると空気速度 7 m/s に対して I 号管の真の熱貫流率 $k_1 = 71$ kcal/m²h°C であるのに比べ、9 枚の円環ひれ付管のそれは $k_0 = 48.5$ kcal/m²h°C と単純円管のそれにもおよばない。これは I 号管が従来のひれ付管とは違った機構

第 10 図 円環ひれ付管と I 号管、単純円管との K, k の比較

(詳細は前報に記した)によって伝達熱量の増加をはかっているからである。以上の結果からみても筆者らのおこなった実験範囲では I 号管の伝熱性能の優秀なことは明らかである。

4. 結 言

本論においては次の結果を得た。

(1) 新伝熱管とくに I 号管は I 号管群としてはもちろんであるが、単純円管群の前列部のみを I 号管に取換えても I 号管群に近い伝熱性能が得られ、しかも圧力損失がさらに少なくなり重量、製作費、動力費等の軽減をはかることが可能である。

(2) I 号管と円環ひれ付管とを比較したとき I 号管が非常に優秀な伝熱能力を示した。

筆者らは数年来新伝熱管の性能を実験的に調査してきた。我々が得たこれまでの結果を総合し無次元化するなどにより一般化することが可能である。これは第 5 報として発表する予定である。

文 献

- (1) 中村, 福永, 松下, 機械学会論文集, **22**, 116(昭 31-4), 253.
- (2) 中村, 沢田, 松下, 機械学会論文集, **22**, 120(昭 31-8), 570.
- (3) 中村, 福永, 加茂, 機械学会論文集, **24**, 148(昭 33-12), 984.